



**UNIVERSITÉ DE LIÈGE**

**FACULTÉ DE MÉDECINE VÉTÉRINAIRE**

**DÉPARTEMENT DE GESTION VÉTÉRINAIRE**

**DES RESSOURCES ANIMALES**

**SERVICE DE BIOSTATISTIQUE ET BIOINFORMATIQUE**

**APPLIQUÉES AUX SCIENCES VÉTÉRINAIRES**

**CARACTÉRISATIONS GÉNÉTIQUE ET PHÉNOTYPIQUE DE  
DEUX RACES DE POULETS (*GALLUS GALLUS*) DU  
VIETNAM : LES RACES HO ET DONG TAO**

**GENETIC AND PHENOTYPIC CHARACTERIZATIONS OF TWO  
VIETNAMESE CHICKEN (*GALLUS GALLUS*) BREEDS: HO AND  
DONG TAO**

**Duy NGUYEN VAN**

**THÈSE PRÉSENTÉE EN VUE DE L'OBTENTION DU GRADE DE  
Docteur en Sciences Vétérinaires**

**ANNÉE ACADÉMIQUE 2021-2022**

## Remerciements

Une thèse est un travail de longue haleine, avec des obstacles techniques, des barrières linguistiques, des séparations avec la famille. Malgré ces difficultés, il faut garder un état d'esprit positif et ouvert. Mais c'est aussi, et surtout, une formidable histoire de relations, de rencontres et d'amitiés. La pratique de la recherche scientifique et les solutions se sont imposées par le fruit des multiples contacts que j'ai eu l'occasion de créer avec de nombreuses personnes. J'aimerais remercier toutes les personnes qui m'ont directement ou indirectement aidé pour réaliser cette thèse.

Ces études et recherches ont été réalisées dans le cadre du programme d'appui institutionnel (AI) de l'Académie de recherche et d'enseignement supérieur – Commission de la coopération au développement (ARES-CCD) de la Communauté Française de Belgique à l'Université Nationale d'Agriculture du Vietnam (VNUA).

Mes remerciements particuliers vont à mes promoteurs, les Professeurs Frédéric Farnir et Vu Dinh Ton, qui m'ont toujours écouté et conseillé pour me faire évoluer. Merci pour votre confiance et votre patience. Votre engagement et votre enthousiasme ont été d'une valeur inestimable pour mener le travail à bien. Encore merci pour votre disponibilité à tout moment et vos encouragements.

Cette thèse ne serait sans doute pas ce qu'elle est sans la collaboration du docteur Evelyne Moyse et du docteur Nassim Moula. Je voudrais vous remercier pour votre travail, votre relecture attentive de mon travail ainsi que pour vos réflexions et vos conseils lors de l'écriture des publications et de cette thèse. Je voudrais aussi remercier Nassim pour son amitié, sa gentillesse et surtout son aide précieuse au cours de mes études.

Je voudrais remercier les professeurs Didier Marlier, Philippe Lebailly, Pascal Leroy, Nicolas Antoine-Moussiaux, Jean-Luc Hornick, Jean-François Cabaraux, Etienne Verrier et François-Xavier Philippe qui vont lire ce mémoire.

Je voudrais enfin remercier tous mes collègues du Département des Ressources Animales à Liège et du CEIDR du VNUA à Hanoi, ainsi que tous les amis qui m'ont aidé aussi bien dans le travail que dans la vie lorsque j'en avais besoin.

## **Abréviations**

- ASEAN: Association of Southeast Asian Nations
- DAP: Département d'Animal Production
- FAO: Food and Agriculture Organization
- GSO: General Statistics of Office of Vietnam
- MADR: Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural
- OMC: Organisation Mondiale du Commerce
- PIB: Produit Intérieur Brut
- SNPs: Single Nucleotide Polymorphisms

## TABLE DES MATIÈRES

|   |          |
|---|----------|
| Table des matières.....   | 1        |
| Liste des tableaux.....   | 1        |
| Liste des figures.....  | 1        |
| <b>Résumé</b> .....   | <b>I</b> |
| <b>Summary</b> .....  | <b>V</b> |
| Préambule général.....  | 1        |
| Introduction générale.....  | 2        |
| 1. Problématique.....   | 4        |
| 2. Justification de la thématique.....  | 4        |
| Chapitre 1: Revue de la littérature.....  | 7        |
| 1. La production avicole au vietnam.....  | 8        |
| 1.1. Place de l'agriculture et de la production animale au Vietnam.....                             | 8        |
| 1.1.1. Rôle de l'agriculture dans l'économie Vietnamienne.....                                      | 8        |
| 1.1.2. Production animale dans les activités agricoles.....   | 12       |
| 1.2. Production aviaire au Vietnam.....   | 13       |
| 1.2.1. Développement de l'élevage de poulets lors des deux dernières décennies.....                 | 13       |
| a. Les changements dans la population animale et la population de poulets au Vietnam.....           | 13       |
| b. La production de poulet de chair lors des deux dernières décennies au Vietnam.....               | 14       |
| c. La production d'œufs des deux dernières décennies au Vietnam.....                                | 15       |
| d. Exploitation des races de poulets au Vietnam.....  | 16       |
| e. Évolution de la transformation de la production de poulets de la petite à la grande échelle..... | 17       |
| 1.2.2. Distribution de la population de poulets par région au Vietnam.....                          | 17       |
| 1.2.3. Systèmes d'élevage de poulets au Vietnam.....  | 19       |
| a. Système d'élevage extensif.....  | 19       |
| b. Système d'élevage semi-intensif.....   | 19       |
| c. Système d'élevage intensif.....  | 20       |
| 1.3. Caractéristiques des principales races de poulets indigènes.....                               | 20       |
| 1.3.1. Distribution des races de poulets indigènes selon les régions géographiques.....             | 20       |
| 1.3.2. Caractéristiques des races poulets indigènes principales.....                                | 22       |
| a. Races de poulets indigènes au Nord du Vietnam.....   | 22       |
| b. Races de poulets indigènes au Centre du Vietnam.....   | 27       |
| c. Races de poulets locales du Sud du Vietnam.....  | 28       |

---

|   |     |
|---|-----|
| 2. Conservation et développement des races indigènes de poulets au vietnam .....  | 30  |
| 2.1. Diversité des races de poulets au Vietnam .....  | 30  |
| 2.2. Recherche génétique sur les races aviaires Vietnamiennes.....  | 32  |
| 2.3. Conservation des races de poulets .....  | 33  |
| Chapitre 2: Objectifs et hypothèses .....   | 38  |
| 1. Objectifs.....   | 39  |
| 1.1. Objectif général .....   | 39  |
| 1.2. Objectifs spécifiques .....  | 39  |
| 2. Hypothèses .....   | 39  |
| Étude 1: Section expérimentale.....   | 40  |
| Chapitre 3 Étude 1: Caractéristiques des systèmes d'élevage des poules Ho et poules Dong Tao .....  | 41  |
| Article 1: Characteristics of Vietnamese indigenous chicken farming systems: The case of Dongtao chicken .....  | 42  |
| Article 2: Ho chicken breed: morpho-biometric characteristics and economic efficiency of production. 63   |     |
| Chapitre 4 Étude 2 : Caractéristiques morpho-biométriques des deux races Ho et Dong Tao.....  | 72  |
| Article 3: Morphological characteristics of indigenous chicken Ho and Dong Tao in vietnam.....  | 73  |
| Article 4 : Ho chicken in Bac Ninh province (Vietnam): from an indigenous chicken to local poultry breed .....  | 84  |
| Chapitre 5: Étude 3 : Caractéristiques zootechniques des deux races Ho et Dong Tao: performances de production et de reproduction.....                | 99  |
| Article 5: Productive performance and egg and meat quality of two indigenous poultry breeds in Vietnam, Ho and Dong Tao, fed on commercial feed ..... | 100 |
| Chapitre 6: Étude 4 : Caractéristiques génétiques des deux races de poule Ho et Dong Tao .....  | 126 |
| Article 6: High-resolution genomic analysis of four local Vietnamese chicken breeds .....   | 127 |
| Chapitre 7: Discussion générale, Conclusion générale, Perspectives.....   | 148 |
| Discussion générale .....   | 149 |
| Conclusion générale.....  | 160 |
| Perspectives.....   | 162 |
| Bibliographie.....  | 164 |

**LISTE DES TABLEAUX**

Table 1. Population vietnamienne, surface, densité: répartition par régions écologiques ..... 9  
Table 2. Statut des 21 races indigènes de poules du Vietnam..... 31

**LISTE DES FIGURES**

|  |    |
|--|----|
| Figure 1. Géographie du Vietnam .....  | 8  |
| Figure 2. Superficie des terres agricoles du Vietnam, répartition par région.....          | 10 |
| Figure 3. Population vietnamienne rurale et urbaine en 2000 et 2020.....                   | 10 |
| Figure 4. Pourcentages d'emploi par secteur lors des deux dernières décennies .....        | 11 |
| Figure 5. Évolution du PIB par habitant au Vietnam.....                                    | 11 |
| Figure 6. Produit intérieur brut par secteur .....   | 12 |
| Figure 7. Population de poulets lors des deux dernières décennies au Vietnam .....         | 13 |
| Figure 8. Production de viande de poulet lors des deux dernières décennies au Vietnam..... | 14 |
| Figure 9. Production d'œufs de poule dans la période de 2000 au 2020 au Vietnam.....       | 15 |
| Figure 10. Population de poulets par région du Vietnam en 2020 .....                       | 18 |
| Figure 11. Production de viande de poulet par région du Vietnam en 2020 .....              | 18 |
| Figure 12. Distribution des races de poulets indigènes par région au Vietnam.....          | 21 |
| Figure 13. Répartition des effectifs de poulets indigènes par région au Vietnam .....      | 21 |
| Figure 14. Poulets et œufs de la race Ri.....  | 23 |
| Figure 15. Poulets et œufs de la race Dong Tao.....  | 23 |
| Figure 16. Poulets et œufs de la race Ho.....  | 24 |
| Figure 17. Poulets de la race Mia .....  | 25 |
| Figure 18. Poulets de la race Mong .....   | 26 |
| Figure 19. Poulets et œufs de la race H'mong.....  | 27 |
| Figure 20. Poulet de la race Choi .....  | 28 |
| Figure 21. Poulets de la race Tau Vang .....   | 29 |
| Figure 22. Poulets et œufs de la race Ac.....  | 29 |
| Figure 23. Statut mondial des races de poulets indigènes.....                              | 34 |

---

# **Résumé - Abstract**

---



## Résumé

Le Vietnam est situé en Asie du Sud-Est, il est connu comme un pays en développement avec un revenu annuel par habitant de 2 785,72 USD en 2020 et la population du Vietnam a atteint 97 millions d'habitants, la population rurale représentant 63,18% du total. Par conséquent, l'agriculture joue toujours un rôle important dans la stratégie de développement de la nation. L'agriculture assure non seulement la sécurité alimentaire de grandes populations mais contribue également au développement économique du pays. Elle contribue à 14,84% du produit intérieur brut (PIB).

Dans le secteur agricole, l'élevage de poulets joue un rôle important, la production annuelle de viande de poulet étant la deuxième après le porc. Le Vietnam est un pays où il y a une grande diversité de races de poulets indigènes, avec environ 21 races publiées. Les systèmes d'élevage utilisant des races de poulets indigènes sont populaires au Vietnam. Au cours de la dernière décennie, le Vietnam a adopté de nombreuses politiques en faveur du développement d'un élevage intensif à grande taille, et de nombreuses races exotiques sont entrées dans le pays. Les races de poulets indigènes ont été négligées pendant longtemps, menant même à la disparition de certaines d'entre elles. Par exemple, la race de poulets Van Phu a été déclarée disparue en 2008 et cette information a été réaffirmée en 2015. Le statut de conservation des races de poulets indigènes du Vietnam est le plus souvent considéré comme « vulnérable », notamment en raison de leur faible capacité de production. Parallèlement à cela, le manque de connaissances sur les pratiques d'élevage, le manque de gestion de l'accouplement et le manque de connaissances sur les caractéristiques génétiques de ces races de poulets rendent difficile l'établissement de stratégies de conservation.

Cette thèse est menée sur deux races de poulets indigènes du Vietnam, les poulets Ho et Dong Tao. L'objectif spécifique de la thèse est de fournir des informations détaillées sur les caractéristiques des systèmes d'élevage, les caractéristiques morpho-biométriques et la capacité de production de ces deux races de poulets, afin de proposer de nouvelles stratégies pour la conservation et l'exploitation durable de ces deux races. Une hypothèse est que ces deux races sont élevées dans des systèmes extensifs, sans gestion de l'accouplement. Il pourrait en résulter une diversité génétique réduite et une consanguinité accrue. L'utilisation de la génomique pourrait nous aider à vérifier cette hypothèse et nous permettre de caractériser ces races de poulets au niveau moléculaire.

Cette thèse se compose de sept chapitres. Le premier chapitre est une introduction générale. Basé sur une revue de la littérature, il donne un aperçu des informations les plus récentes sur la situation du développement agricole au Vietnam et sur le développement et les changements dans l'élevage de poulets du pays dans les dernières années. Ce chapitre donne également un aperçu général des systèmes de production de poulets existant au Vietnam. Il présente ensuite une vue d'ensemble des races de poulets indigènes du Vietnam, et introduit les recherches sur l'élevage des poulets indigènes et sur les caractéristiques génétiques de ces races de poulets. Enfin, ce chapitre présente les programmes de conservation des poulets indigènes au Vietnam.

Le deuxième chapitre présente les objectifs et hypothèses de la thèse

Le troisième chapitre décrit les caractéristiques des systèmes d'élevage de poulets Ho et Dong Tao sur la base d'enquêtes auprès de 120 ménages élevant des poulets Dong Tao (sélectionnés au hasard parmi les 1640 disponibles au moment de l'enquête) et de 34 ménages élevant des poulets Ho (soit, de tous les ménages élevant des poulets Ho et ayant accepté l'enquête dans la commune de Ho, province de Bac Ninh, au moment de l'enquête). Le site d'enquête est le lieu d'origine de ces races de poulets, selon les instructions du le Ministère d'Agriculture et Développement rural du Vietnam. Cette étude montre que les poulets Ho et Dong Tao sont élevées dans un système d'arrière-cour, avec des élevages de petite taille, parfois seulement quelques têtes par ménage dans le cas des poulets Ho. Dans l'élevage de poulets de Dong Tao, trois types d'élevage différents apparaissent. Le groupe 1, composé de près de la moitié des éleveurs (45,83%), est semi-intensif avec une tendance vers un élevage intensif. Le groupe 2 se compose de 31,67% des éleveurs, avec un mode d'élevage extensif évoluant vers un élevage semi-intensif. Le groupe 3 se compose des éleveurs restants, pratiquant un élevage extensif. Ces trois groupes sont fondamentalement différents en termes de superficie occupée, de taille d'élevage, de gestion et de pratiques d'élevage. Les éleveurs de poulets Ho et Dong Tao ont tendance à augmenter l'utilisation d'aliments industriels concentrés pour améliorer l'apport de nutriments et améliorer la productivité de l'élevage. Bien que de nombreux éleveurs aient essayé d'améliorer le système d'élevage de ces deux races de poulets, des problèmes persistants sont reportés. Ces deux races de poulets sont réparties dans un espace géographique étroit, les pratiques d'élevage et l'utilisation de la vaccination sont faibles et il manque un protocole de gestion de l'accouplement. Ces problèmes conduisent à une consanguinité accrue dans les populations, à tout le moins à une réduction de la diversité génétique et à une sensibilité croissante aux pathologies. Cette situation augmente le risque de perdre ces deux races.

Le quatrième chapitre décrit les caractéristiques morpho-biométriques des deux races de poulets Ho et Dong Tao. Cette étude décrit les dimensions du corps, la couleur de plumes, la couleur des targes, la couleur du bec et les types de crêtes des poulets Ho et Dong Tao sur 165 individus Ho (42 poules et 123 coqs) et 240 individus Dong Tao (69 coqs, 171 poules) à environ 28 semaines d'âge. La pratique consistant à identifier les caractéristiques morpho-biométriques de ces deux races de poulets est conforme aux directives de la FAO, 2012. Cette étude a montré que les poulets Ho et Dong Tao ont des caractéristiques morpho-biométriques très variées. Les plumes des poulets ont différentes couleurs (couleur blé, brun foncé et brun clair), alors que celles des coqs n'ont que deux couleurs (plumes noires avec lumière bleue, noires avec lumière bronze). Il existe trois types de crêtes, appelés rose, noix et pois. Les targes des poulets Dong Tao sont de grandes tailles et rouges, ce qui constitue une caractéristique morpho-biométrique spécifique permettant de distinguer cette race de poulets des autres poulets indigènes. Les poulets Ho et Dong Tao ont une taille du corps et un poids élevés. L'étude montre également comment distinguer les deux races de poulets Ho et Dong Tao sur la base d'une combinaison de caractéristiques morpho-biométriques. Parallèlement à ces caractères d'aspect général, ces races sont

associées à une faible reproduction et à des difficultés à s'accoupler en raison de leur poids élevé et des tarses trop grands, conduisant à des bris fréquents des oeufs.

Le cinquième chapitre s'intéresse à la capacité de production des deux races de poulets Ho et Dong Tao. Cette étude évalue la capacité de croissance, de reproduction, la qualité de la viande et la qualité des œufs de ces deux races de poulets. L'étude a été menée sur 125 poulets purs indigènes pour chaque race (62 coqs et 63 poules Ho ; 61 coqs et 64 poules Dong Tao). Les poulets de chaque race ont été répartis en lots de 25, et on a évalué la capacité de croissance de manière longitudinale pendant 28 semaines. Les performances sur la production de viande et la qualité de la viande ont été mesurées à partir de 12 semaines d'âge (2 individus (1 coq et 1 poule) par lot, sélectionnés au hasard), puis toutes les 4 semaines jusqu'à 28 semaines d'âge. Les performances de reproduction des deux races ont été examinées pendant 52 semaines sur 36 poules Ho et 36 poules Dong Tao. Chaque individu était maintenu dans une cage séparée pour surveiller les performances de reproduction, les poules étaient inséminées artificiellement 1 fois tous les 2 jours, et les œufs fécondés étaient récoltés pour être couvés dans un incubateur automatique. La qualité des œufs a été évaluée sur 108 œufs pour chaque race. Cette étude a montré que les performances de croissance et de reproduction des poulets Ho et Dong Tao étaient faibles. L'efficacité de conversion des aliments de ces deux races de poulets est faible par rapport aux races de poulets de chair commerciales. Il a été prouvé que l'âge d'abattage affectait certaines caractéristiques de performance de la carcasse, ce qui suggère que l'abattage entre 16 et 20 semaines pourrait être amélioré en abattant à 28 semaines. Nous avons constaté que la productivité, la composition des carcasses et la qualité de la viande sont différentes entre les deux races de poulets. Les performances de ponte des deux races étaient faibles, le taux d'éclosion chez les poulets Ho étant inférieur à celui des poules Dong Tao. Les indicateurs de la dureté de la viande, la force maximale de rupture de la coquille et le taux jaune sur albumen des œufs des deux races de poules Ho et Dong Tao sont intéressants. Ces résultats suggèrent de nouvelles recherches pour améliorer l'efficacité de production de ces deux races de poulets, ainsi que d'autres recherches investiguant l'intérêt d'utiliser ces deux races de poulets pour améliorer la qualité de la viande et des œufs des races commerciales de poulets.

Le sixième chapitre étudie les caractéristiques moléculaires de 4 races de poulets: les poulets Ho, les poulets Dong Tao, les poulets Mia et les poulets Mong. Cette étude a utilisé une puce de SNPs à haute densité pour analyser 96 échantillons d'ADN, dont 28 échantillons d'ADN de poulets Ho, 32 échantillons d'ADN de poulets Dong Tao, 18 échantillons d'ADN de poulets Mia et 18 échantillons d'ADN de poulets Mong. Cette étude a caractérisé les différences génétiques entre les quatre populations de poulets Ho, Dong Tao, Mia et Mong. Les poulets Ho et Dong Tao sont des groupes séparés, tandis que les populations de poulets Mong et Mia semblent former un groupe. Les résultats de cette étude ont également montré une diversité génétique plus faible chez les poulets Ho et plus élevée chez les poulets Mia. Les poulets Ho et Dong Tao ont un taux de consanguinité élevé, tandis que les poulets Mia ont les taux de consanguinité le plus bas. Le déclin de la diversité génétique et la

consanguinité accrue de ces races de poulets est cohérent avec l'hypothèse de la thèse. Dans le même temps, l'utilisation de SNPs à haute densité permet de distinguer ces populations de poulets, ce qui est également cohérent avec l'hypothèse posée au début de cette thèse. Les résultats de cette thèse sont discutés dans le septième chapitre, qui inclut la discussion générale, les conclusions générales et les recommandations pour le futur. Les travaux de cette thèse sont liés à des propositions de conservation, d'exploitation et de développement durable des deux races de poulets Ho et Dong Tao. Ils suggèrent de viser à améliorer les systèmes de production, à renforcer la gestion des accouplements et à accroître l'exploitation de ces races de poulets.

## Summary

Located in Southeast Asia, Vietnam is known as a developing country with a per capita income of USD 2,785.72. In 2020, Vietnam's population reached 97 millions, of which the rural population accounts for 63.18%. Therefore, agriculture still plays an important role in the development strategy of the nation. Agriculture not only ensures food security for its large populations but also contributes to the country's economic development. It contributes 14.84% to the gross domestic product (GDP).

Chicken farming sector is important and the annual production of chicken meat is second after pork. Diversity of indigenous chicken in Vietnam is remarkable with about 21 breeds. Husbandry systems using indigenous chicken breeds are common in Vietnam. Over the past decade, Vietnam has adopted many policies for the development of intensive large-scale animal husbandry. Many exotic breeds have entered the country. Indigenous chicken breeds have been neglected for a long time, sometimes leading to extinct breeds, such as for example the Van Phu chicken breed, declared extinct in 2008, an information reaffirmed in 2015. The status of indigenous chicken breeds in Vietnam is vulnerable due partly to low production capacity. Along with this, the shortage of knowledge about husbandry practices, mating management, and the genetic characteristics of these chicken breeds make it difficult to establish conservation strategies.

This thesis studies two breeds of indigenous chickens in Vietnam: the Ho and Dong Tao chickens. The main objective is to provide detailed information of the characteristics of the breeding system, morpho-biometric characteristics, and production capacity of these two breeds. Furthermore, the thesis aims to propose new strategies for the conservation and sustainable use of these two breeds. The hypothesis is that these two breeds are raised in extensive systems, without mating management. This will result in reduced genetic diversity and increased inbreeding. The use of molecular genetic techniques of high-density SNPs can allow distinguishing these breeds.

This thesis is made of seven chapters. The first chapter is a general introduction about the latest updates of agriculture in Vietnam, the development and change of chicken farming in recent years including a general overview of existing chicken production systems and indigenous chicken breeds in Vietnam. The chapter also introduces research on the breeding of indigenous chickens, genetic characteristics of these breeds and conservation programs for indigenous chickens in Vietnam. The second chapter presents the objectives and hypotheses of the thesis.

The third chapter describes the characteristics of Dong Tao and Ho chicken farming systems based on surveys of 120 Dong Tao chicken farming households and 34 Ho chicken farming households. The survey site is the origin of these breeds of chickens, according to the instructions of the Ministry of Agriculture and Rural Development of Vietnam. The 120 breeding households are sampled from a total of 1,640 Dong Tao chicken breeding households at the time of the survey. Samples were randomly selected from all villages in Dong Tao commune, Hung Yen province. The survey sample of 34 Ho chicken breeding households is composed of all Ho chicken breeding households that accepted the

survey in Ho communes, Bac Ninh province at the time of the survey. This study shows that Ho and Dong Tao chickens are reared in a backyard system, with small-scale rearing (for Ho chicken, rearing typically with only a few heads per household). In the Dong Tao chicken farms, three different types of breeding systems are visible. Group 1, composed of almost half of the farmers (45.83%), is semi-intensive and tends towards intensive farming. Group 2 consists of 31.67% of farmers is extensive farming, and tends to be semi-intensive. Group 3 consists of the remaining farmers who use extensive farming. These three groups are fundamentally different in terms of area, farm size, management, and husbandry practices. Ho and Dong Tao chicken farmers tend to increase the use of concentrated industrial feed to improve nutrient supply and improve breeding productivity. Although many breeders have tried to improve the breeding system for these two chicken breeds, persistent problems are reported. These two breeds of chickens are spread over a narrow geographic space, husbandry practices and vaccination use are weak, and there is a lack of mating management. These issues relate to the possible results of increased inbreeding in the population, reduced genetic diversity, and the risk of losing these two breeds because their reduced adaptability to changing conditions (for example in the case of a disease outbreak).

The fourth chapter illustrates morpho-biometric characteristics of the two chicken breeds Ho and Dong Tao. This study describes the body dimensions, feather color, tarsi color, beak color, and crest type of Ho and Dong Tao chickens on 165 individuals Ho chickens (42 cocks and 123 hens) and more than 240 individual Dong Tao chickens (200 cocks, 40 hens) at about 28 weeks of age. The identification of the morpho-biometric characteristics of these two chicken breeds is in line with the guidelines of FAO, 2012. This study shows that Ho and Dong Tao chickens have a variety of morpho-biometric characteristics. Hens have colored feathers (wheat color, dark brown and light brown), cocks have two colored feathers (black feathers with blue light, black with bronze light). There are three types of crests including rose, walnut and polka dot. The tarsi of Dong Tao chickens are large and red, which is a special morpho-biometric characteristic that distinguishes this breed from other indigenous breeds of chickens. Ho and Dong Tao chickens have large body size and body weight. The results of the research also concern the diversity of the genetic characteristics of these two breeds of chickens based on the introduced phenotypic diversity. Along with this is the association with poor reproduction and they have difficulty to mate due to their heavy weight and too large tarsi. It is possible to distinguish the two breeds Ho and Dong Tao based on a combination of morpho-biometric characteristics.

The fifth chapter is related to the production capacity of the two chicken breeds Ho and Dong Tao. This study evaluated the growth capacity, reproduction, meat quality and egg quality of these two breeds. The study was conducted on 125 pure indigenous chickens for each breed, Ho chickens: 62 cocks and 63 hens and Dong Tao chickens: 61 cocks and 64 hens. For each breed, the chickens were randomly split into batches of 25 chickens, and their growth capacity was assessed during 28 weeks. The performance on meat productivity and meat quality was carried out from 12 weeks of age (2 individuals: 1 cock and 1 hen for a batch, randomly selected samples), and every 4 weeks until the age

of 28 weeks. The reproductive performances of laying hens were measured during 52 weeks on 36 Ho and 36 Dong Tao hens. Each individual was kept in a separate cage to monitor breeding performance, hens were artificially inseminated once every 2 days to collect embryonic eggs for hatching chicks. The hatching process was carried out in an automatic incubator. Egg quality was assessed on 108 eggs for each breed. This study showed that the growth and reproduction performances of Ho and Dong Tao chickens were poor. The feed conversion efficiency of these two breeds of chickens was low compared to commercial broiler breeds. Slaughter age had been shown to affect certain carcass performance characteristics, suggesting that slaughter at 16 to 20 weeks may be better than at the usual age of 28 weeks. We found that productivity, carcass composition and meat quality are different between the two breeds of chickens. The laying performance of both breeds was low, the hatching rate in Ho hens was lower than that of Dong Tao hens. The indicators of meat hardness, max shell strength and yolk rate per albumen of eggs of two breeds of chickens Ho and Dong Tao were interesting. These results suggest research to improve the production efficiency of these two breeds of chickens, as well as research for the use of these two breeds of chickens in the idea of improving the quality of meat and eggs in commercial chicken breeds.

The sixth chapter studies the molecular genetic characteristics of 4 breeds of chickens, including Ho chickens, Dong Tao chickens, Mia chickens, and Mong chickens. This study used a high-density SNP molecular genetics technique to analyze 96 DNA samples, including 28 Ho, 32 Dong Tao, 18 Mia, and 18 Mong. This study presented the genetic differences between the four populations of Ho, Dong Tao, Mia, and Mong chickens. The populations of Ho and Dong Tao chicken were in separate groups, while that of Mong and Mia had been combined. The results of this study also showed that the polymorphism was the lowest for Ho chickens and the highest for Mia chickens. Ho and Dong Tao chickens had a high inbreeding rate, while Mia chickens had the lowest inbreeding rate. The decline in genetic diversity and increased inbreeding of these chicken breeds were consistent with the thesis hypothesis. At the same time, the use of the molecular genetic technique of high-density SNPs makes it possible to distinguish these chicken populations, which is also consistent with the hypothesis posed at the beginning of this thesis.

The results of this thesis have been reported in the seventh chapter, including general discussions, general conclusions, and recommendations for the future. The achievements of this thesis are related to proposals for conservation, exploitation and sustainable development of the two breeds of chickens Ho and Dong Tao. It aims to improve production systems, strengthen mating management and increase the exploitation of these chicken breed.

---

# Préambule général

---



Cette thèse est structurée sous forme d'une compilation d'articles scientifiques publiés, acceptés ou soumis dans les revues scientifiques suivantes : *Animals, Journal of Animal Breeding and Genetics, International Journal of Poultry science, Journal of Animal Husbandry Sciences and Technics, Veterinary World*.

Cette étude, traitant des caractérisations génétique et phénotypique des races de poulets Ho et Dong Tao au Vietnam, comporte sept chapitres. Après une introduction générale introduisant la problématique, le premier chapitre présente une revue de la littérature.

Le deuxième chapitre présente les objectifs et hypothèses de la thèse.

Le troisième chapitre présente les caractéristiques des systèmes d'élevage de poulets Ho et Dong Tao (article 1 et article 2).

Le quatrième chapitre aborde les caractéristiques morpho-biométriques des deux races Ho et Dong Tao (article 3 et article 4).

Le cinquième chapitre compare les performances zootechniques des deux races au niveau de la production et de la reproduction (article 5).

Le sixième chapitre est dédié à la caractérisation génétique des races Ho et Dong Tao (article 6).

Dans le septième chapitre, une analyse intégrée des différents résultats est présentée et discutée. Enfin, une conclusion générale suivie de perspectives a été développée.

---

# **Introduction générale**

---

Le Vietnam est connu comme un pays en développement, avec un essor important du secteur industriel. L'agriculture a également joué un rôle important pour le développement du pays. Aujourd'hui encore, l'agriculture contribue à assurer la sécurité alimentaire de plus 97 millions d'habitants, dont la population rurale représente 63,18% (GSO, 2021). En agriculture, l'élevage animal est en deuxième position, après la culture, et représente 30 % du produit intérieur brut (PIB) du secteur agricole (MARD, 2021). Les porcs, les poulets et les bovins sont les animaux prioritaires du développement. Au cours de la dernière décennie, le système de production avicole au Vietnam a connu un important progrès caractérisé par l'intensification des systèmes d'élevage (Tung, 2017). Selon le Ministère de l'agriculture et du développement rural (MARD, 2017), le Vietnam a mis en œuvre de nombreuses politiques et lois et développé plusieurs projets visant à promouvoir le développement de l'élevage intensif et l'élevage à grande échelle. D'importants investissements ont notamment été enregistrés dans la filière avicole ces dernières années. De nombreuses activités de soutien (système de transport, système de crédit bancaire, système d'approvisionnement en électricité, etc.) dans cette filière ont été soutenues par les organismes publics afin de renforcer et favoriser les systèmes de production modernes et intensifs. Ces aides publiques concernaient les élevages modernes de minimum 2 000 poulets. L'objectif du gouvernement vietnamien via cette politique favorisant la subvention des grands éleveurs est de créer des zones d'élevage de grande taille dans des zones à faible densité démographique.

Bien que de nombreuses politiques encouragent le développement de l'aviculture à grande échelle et le développement de systèmes d'élevage intensifs, les systèmes d'élevage semi-intensifs représentent cependant actuellement la majorité des élevages au Vietnam. Ce système d'élevage peut contribuer environ 30% du revenu total du ménage, cette contribution étant essentielle pour les ménages vivant en dessous du seuil de pauvreté en milieu rural (Phuong et al., 2015). En 2020, le Vietnam a recensé environ 8 millions de fermes avicoles de petites tailles possédant moins de 50 poulets par ferme, représentant 88,8% des fermes d'élevage du pays (GSO, 2021). Les élevages extensifs et semi-extensifs utilisent principalement des races de poulets locales. Plus précisément, 75% de ces élevages utilisent des races indigènes et 25% des races croisées (exotique x indigène) (Giap et al., 2015).

La diversité des races indigènes du Vietnam s'explique notamment par les différents climats au sein du pays. Selon le MARD (2016), le Vietnam recense 21 races locales de poulets. Le delta du fleuve Rouge compte 11 races locales, représentant 52% des races locales du pays. Actuellement, les races locales sont principalement élevées dans des fermes de petite taille, avec une population et une surface d'élevage réduites, et des performances de production faibles.

Le programme national de conservation des races indigènes de poulets a débuté en 1993. Cependant, le nombre de races concernées est limité et l'apport d'information sur leur statut irrégulier (Thieu., 2016).

Les études sur les races indigènes de poulets portent principalement sur les caractéristiques phénotypiques et les performances de production. En ce qui concerne la recherche en génétique moléculaire, celle-ci se limite aux microsattellites (Cuc et al., 2011a, Pham et al., 2013).

## 1. Problématique

Actuellement, au Vietnam, les systèmes d'élevage extensifs tendent à diminuer en raison des risques importants de maladies (notamment les épidémies de grippe aviaire) et de leur faible productivité (Son, 2016). Ceci a conduit à une réduction des ressources génétiques des races indigènes de poulets au Vietnam.

Selon l'étude de Cuc et al. (2011b) portant sur 11 races indigènes au Vietnam, jusqu'à 48% des races indigènes pourraient disparaître (notamment les races Ho, Dong Tao et Mia) dans les 30 à 50 prochaines années en l'absence de stratégies de conservation appropriées.

Le manque de connaissance technique au sein des systèmes d'élevage extensifs induit un risque d'augmentation du taux de mortalité, ainsi qu'une diminution de la productivité et de l'efficacité. Une mauvaise gestion d'élevage peut notamment s'observer au niveau de l'infrastructure, de soins de santé insuffisants, d'un mauvais assainissement des poulaillers, de l'utilisation d'aliments nutritionnellement inadéquats ou de mauvaises pratiques d'alimentation. Selon Yitbarek et Zewudu (2013), la faible productivité observée dans l'élevage de races indigènes de poulets est une cause de la compétitivité réduite de celles-ci par rapport aux races exotiques.

La sélection des races d'élevage, orientée par les producteurs, a conduit à une réduction de la diversité génétique des races indigènes (Van Marle-Köster et al., 2008). Au Vietnam, la sélection des races est principalement guidée par des indicateurs phénotypiques (Pham et al., 2013) et de productivité (Duc et Long, 2008).

Les systèmes d'élevage vietnamiens de races indigènes ont peu de contrôle de la reproduction (Moula et al., 2011, Pham et al., 2013). Ce manque de gestion s'explique notamment par des infrastructures étroites et une population d'élevage réduite, induisant une augmentation du risque de consanguinité et l'émergence de maladies génétiques.

La recherche en génétique moléculaire est importante pour contribuer à des stratégies de conservation plus précises. Actuellement, la recherche en génétique moléculaire des races de poulets indigènes du Vietnam est limitée et se limite à l'utilisation de quelques microsatellites. Le nombre limité de microsatellites ne peut cependant pas décrire les différences génétiques entre des races étroitement apparentées (Mekchay et al., 2014). Pham et al. (2013) ont utilisé 22 microsatellites afin de caractériser génétiquement des races indigènes Vietnamiennes. Ils ont rapporté que les races Ho et Mong formaient un groupe génétique et que les races Dong Tao et Mia faisaient partie d'un même groupe génétique. En revanche, Cuc et al. (2011a), utilisant 29 microsatellites pour caractériser génétiquement des races indigènes Vietnamiennes, ont rapporté des résultats différents de Pham et al. (2013) en catégorisant les races Ho, Dong Tao et Mia au sein d'un même groupe génétique.

## 2. Justification de la thématique

Selon Chen et al. (2008), la conservation de races indigènes ayant un coût financier important, il est nécessaire de définir au préalable quelles races conserver, en tenant compte des risques de

diminution de la diversité génétique et d'augmentation de la consanguinité. Les races Ho, Dong Tao, Mia et Mong sont quatre races indigènes prioritaires pour la conservation, selon le Ministère vietnamien de l'agriculture MARD (2016). Ces quatre races sont originaires du Delta du Fleuve Rouge, dans un espace géographique réduit. Selon Cuc et al. (2011a), la faible distance géographique permet aux gènes de circuler au sein des populations de race indigène. Dès lors, des problèmes de consanguinité et de croisement entre ces quatre races ont été rapportés (Thuy et al. (2009), Cuc et al. (2011a) et Pham et al. (2013)).

Des efforts de conservation et de nombreuses études des races Ho, Dong Tao, Mia et Mong ont été réalisées mais ne suffisent pas lorsque la taille de l'élevage est réduite. Par conséquent, le risque d'extinction de ces races continue d'être élevé (Cuc et al., 2011b).

Pour étudier cette problématique, cette thèse comprend des études sur les systèmes d'élevage, les caractéristiques phénotypiques, la performances zootechniques et la qualité de la viande et des œufs des races Ho et Dong Tao et étudie les caractéristiques génotypiques des races Ho, Dong Tao, Mia et Mong afin d'aider au développement de stratégies de conservation, d'exploitation et de développement durable de ces races adaptées au Vietnam. L'étude des systèmes de production des races indigènes est indispensable pour comprendre leurs conditions d'élevage et les risques de leur pérennité (maladie, consanguinité, demande des consommateurs...). Ces informations fournissent une base de travail afin d'améliorer les pratiques et la gestion des élevages pour augmenter en productivité et en efficacité avec, comme but final, d'augmenter la valeur des races indigènes au sein des systèmes actuels de production avicole.

L'étude des caractéristiques phénotypiques aide à distinguer les races indigènes de poulets entre elles (Dana et al., 2010). Les indicateurs phénotypiques sont simples et les éleveurs peuvent dès lors les utiliser facilement pour distinguer et sélectionner une race indigène. Ceci aura comme conséquence d'améliorer la qualité des races indigènes de poulets. Selon Choo et al. (2014) le progrès génétique peut notamment être obtenu par la sélection.

L'étude des performances zootechniques et de la qualité de la viande et des œufs a contribué à l'utilisation et à l'élaboration de stratégies d'élevage de races indigènes de poulets au sein de la filière avicole. Ainsi, la quantité d'embryons par poulet et le pourcentage d'éclosion peuvent par exemple être améliorés par un changement de certaines pratiques d'élevage, telles qu'un bon équilibre nutritionnel, l'utilisation de l'insémination artificielle et une optimisation des techniques d'éclosion. Selon Dottavio et al. (2005), la proportion de jaune dans les œufs de races indigènes est plus élevée que dans les races exotiques. Selon Benabdeljelil et Arfaoui (2001), le croisement de races indigènes et exotiques est une stratégie à envisager dans l'utilisation de races indigènes au sein d'un élevage. Ainsi, l'utilisation de races indigènes permettrait par exemple d'améliorer la proportion jaune/albumine dans les œufs issus de croisements avec des races exotiques (Moula et al., 2009).

Les progrès des technologies de séquençage du génome contribuent à élargir le rôle de la recherche génétique dans les stratégies de conservation (DeSalle et Amato, 2004). Selon Mekchay et

al. (2014), les polymorphismes nucléotidiques uniques (single nucleotide polymorphisms, SNPs) permettent une caractérisation génétique plus fine et fournissent une meilleure estimation de la variation génétique. Par conséquent, des SNPs ont été utilisés dans ce travail afin d'améliorer la caractérisation génétique des races indigènes de poulets au Vietnam.

---

## **Chapitre 1**

# **Revue de la littérature**

---

## 1. LA PRODUCTION AVICOLE AU VIETNAM

### 1.1. Place de l'agriculture et de la production animale au Vietnam

#### 1.1.1. Rôle de l'agriculture dans l'économie Vietnamienne

La République Socialiste du Vietnam est un pays de l'Asie du Sud-Est dont le développement économique s'accélère de plus en plus. Le Vietnam est limité au Nord par la Chine, à l'Ouest par le Laos et le Cambodge, au Sud-Ouest par le golfe de la Thaïlande et à l'Est par la mer de Chine Méridionale avec une zone côtière de 3 260 km de long. Il faut signaler également la présence de plus de 2 800 îlots (Figure 1).

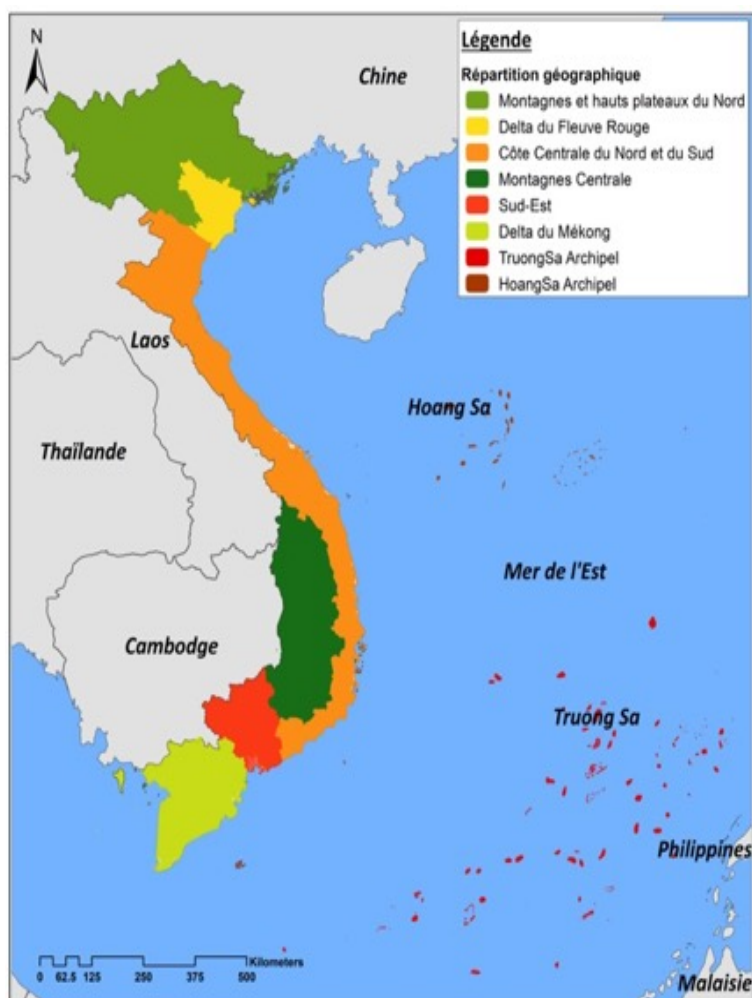


Figure 1. Géographie du Vietnam

Le Vietnam est divisé en six régions (présentées à la Table 1 et Figure 1). Ces régions sont caractérisées par une grande diversité culturelle et ethnique. Le Vietnam compte 54 groupes ethniques, dont 53 ethnies minoritaires qui représentent environ 14% de la population totale du pays. L'ethnie Kinh représente environ 86% de la population totale du pays. Elle est concentrée dans les régions des deltas ou dans la plaine côtière. Les minorités ethniques sont concentrées dans les régions montagneuses et les hauts plateaux. La culture du Vietnam est une culture nationale unifiée des diverses cultures



ethniques. La différence dans la topographie, la structure, le climat et la répartition des groupes ethniques a créé des régions culturelles qui ont leurs propres caractéristiques. La diversité culturelle est une condition pour la formation de différentes activités d'élevage.

Le Vietnam se divise en deux climats principaux dépendant de la région : le climat du Nord et le climat du Sud. Le Nord est une région caractérisée par un climat subtropical avec mousson, l'humidité est présente lors des quatre saisons (printemps, été, automne et hiver). Au Sud, l'année est coupée en 2 saisons, la saison sèche de décembre à avril et la saison pluvieuse de juillet à septembre. Cette région est caractérisée par un climat tropical avec mousson.

La superficie du Vietnam est estimée à 331 235,97 km<sup>2</sup>, ce qui représente la moitié de la superficie de la France et plus de dix fois celle de la Belgique. En 2020, la population Vietnamienne est estimée à 97 582 800 habitants, soit une densité de 294,6 habitants par km<sup>2</sup> (GSO, 2021). La Table 1 détaille la population Vietnamienne en fonction des six zones géographiques.

Table 1. Population vietnamienne, surface, densité: répartition par régions écologiques

| <b>Région</b>                   | <b>Population<br/>(x10<sup>3</sup> habitants)</b> | <b>Surface<br/>(km<sup>2</sup>)</b> | <b>Densité<br/>(habitants/km<sup>2</sup>)</b> |
|---------------------------------|---|-------------------------------------|---|
| <b>Tout le pays</b>             | <b>97 582,80</b>                                  | <b>331 235,97</b>                   | <b>294,60</b>                                 |
| Delta du fleuve Rouge           | 22 920,20   | 21 260,76                           | 1 078,05                                      |
| Montagnes et collines du Nord   | 12 725,80   | 95 221,95                           | 133,64  |
| Côte Centrale du Nord et du Sud | 20 343,20   | 95 875,83                           | 212,18  |
| Hauts plateaux                  | 5 932,10  | 54 508,26                           | 108,83  |
| Sud-Est                         | 18 342,90   | 23 552,78                           | 778,80  |
| Delta du Mékong                 | 17 318,60   | 40 816,39                           | 424,31  |

*Source: (GSO, 2021)*

Au Vietnam, les sources principales d'approvisionnement en eau du pays sont les systèmes fluviaux du Mékong du Sud et ceux du fleuve Rouge. Ils créent les deux régions de plaines les plus grandes du Vietnam, le delta du Mékong et celui du fleuve Rouge. Le delta du fleuve Rouge est une région du nord du Vietnam (Figure 1). La terre de la région est fertile et propice au développement agricole. La superficie des terres agricoles représente 6,87% de la superficie agricole totale du pays (Figure 2). Le climat du delta du fleuve Rouge est subtropical, avec deux cultures de riz par an; entre deux cultures de riz, les agriculteurs cultivent du maïs d'hiver, des légumes ou du soja. Cette région a une forte concentration de population, plus de 3,65 fois la densité moyenne du pays (GSO, 2021). Le delta du Mékong est une région du sud du Vietnam où règne un climat tropical, favorable au développement agricole (Figure 1). Dans cette région, il y a trois cultures de riz par an. La superficie agricole représente 22,75% de la superficie agricole totale du pays (Figure 2). Le riz d'exportation vient principalement de cette région. Les régions des Hauts plateaux, de la Côte Centrale du Nord et du Sud, des montagnes et collines du Nord, et du Sud – Est représentent respectivement 21,12%; 19,04%,

18,43% et 11,79% de la superficie agricole totale du pays. Cependant, ces régions sont moins densément peuplées et le climat n'est pas très favorable au développement agricole.

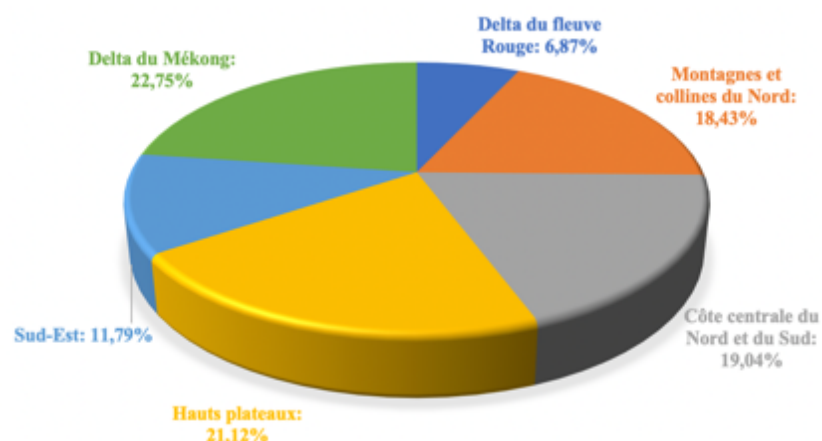


Figure 2. Superficie des terres agricoles du Vietnam, répartition par région (GSO, 2021)

Au Vietnam, la population vit principalement en milieu rural (63,18%). Le secteur agricole joue donc un rôle important pour le pays, non seulement économiquement mais aussi sur les plans politique, culturel et sociétal (Figure 3). Signalons toutefois que durant les deux dernières décennies, le Vietnam a présenté un changement structurel de sa population, la population rurale ayant diminué de 12,7% (GSO, 2021).

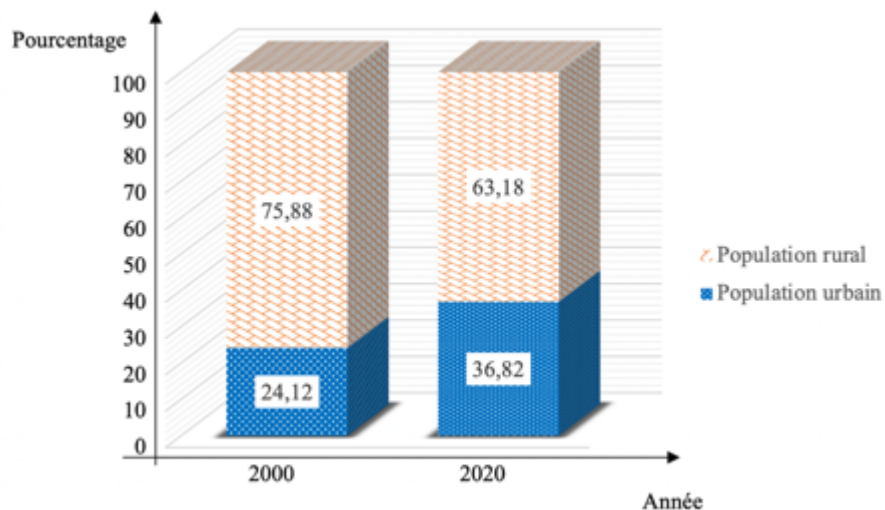


Figure 3. Population vietnamienne rurale et urbaine en 2000 et 2020 (GSO, 2021)

Parallèlement aux diminutions de la population vivant en milieu rural, on observe un processus de réduction du pourcentage de travailleurs dans le secteur agricole. En 2020, les travailleurs dans ce secteur représentaient 36,30% de la masse salariale (Figure 4), une diminution de 40,73% par rapport à 2000. Dans la période correspondante, les pourcentages de travailleurs dans les secteurs de l'industrie et de la construction et le secteur service ont augmenté de 20,61% et 20,12%, respectivement, par rapport à 2000 (GSO, 2021).

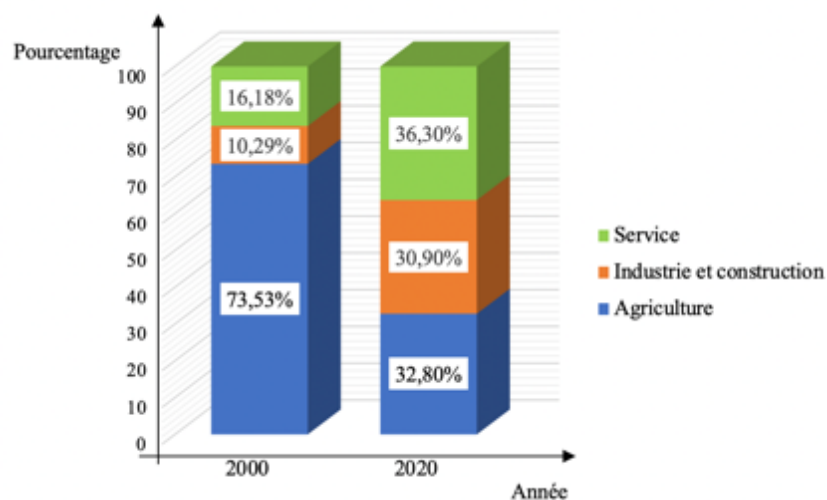


Figure 4. Pourcentages d’emploi par secteur lors des deux dernières décennies (GSO, 2021)

Les processus d’industrialisation et d’urbanisation au Vietnam rendent les agriculteurs plus vulnérables. Ils ont perdu les terres utilisées pour la production agricole et ne trouvent pas toujours un nouveau gagne-pain. De plus, l’environnement agricole est gravement pollué à cause des déchets industriels. Cela a pour conséquence que l’agriculture traditionnelle est de plus en plus érodée et les difficultés sociales se font de plus en plus nombreuses en zone rurale.

Le Vietnam participe aux économies régionales et mondiales, comme le prouve son entrée dans l’ASEAN en 1995, puis dans l’OMC en 2007. Le pays est connu comme un pays en développement. Ces dernières années, le PIB du pays a augmenté rapidement (Figure 5).

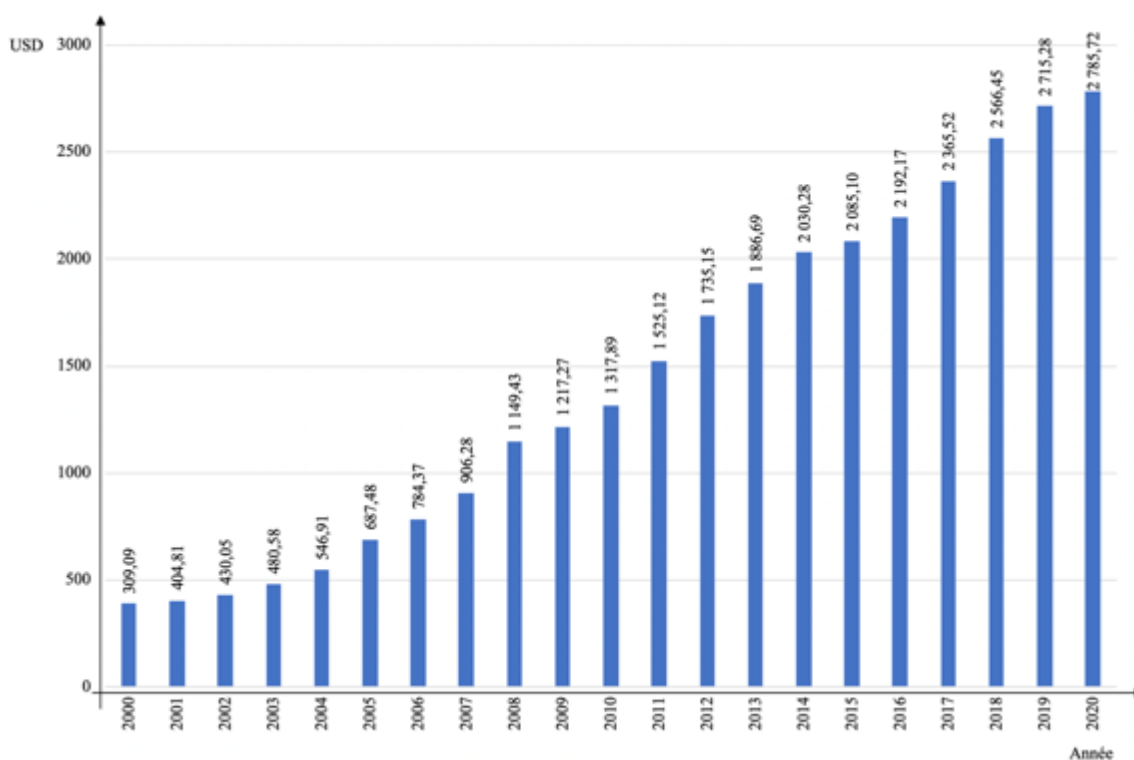


Figure 5. Évolution du PIB par habitant au Vietnam (World Bank, 2020)

En 2020, le Vietnam est un pays à revenu intermédiaire, le PIB par habitant est de 2 785,72 USD, 7,14 fois plus élevé qu'en 2000 (World Bank, 2020). L'économie du Vietnam est une économie ouverte avec une intégration économique dans la région asiatique et le monde. Le pays est passé d'une économie subventionnée à une économie de marché. Il s'agit d'un élément favorable pour le développement économique du pays. Ces dernières années, le Vietnam a également connu une croissance économique dans le secteur des services. Cela a entraîné un changement radical de la structure du PIB. En 2000, le secteur agricole représentait 24,53% du PIB du pays. En 2020, la part du PIB national provenant du secteur agricole a diminué de 9,69% par rapport en 2000 (Figure 6). Dans la même période, la part du PIB provenant de l'industrie et de la construction et celle des services est passée de 36,73% à 33,73% et de 38,74% à 51,43%, respectivement (GSO, 2021).

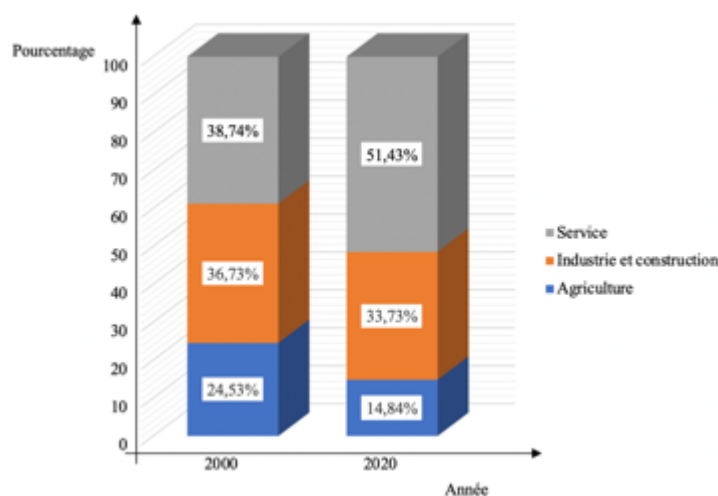


Figure 6. Produit intérieur brut par secteur (GSO, 2021)

Cette diminution de l'importance relative du secteur agricole dans la structure du PIB est due, en partie, à la croissance rapide dans les secteurs de l'industrie et des services. Cependant, il ne faut pas minimiser le rôle de l'agriculture dans le développement économique du pays. Au Vietnam, l'agriculture joue un rôle important, notamment en fournissant de la nourriture à plus de 97 millions d'habitants. La sécurité alimentaire est un facteur important dans le maintien de la stabilité sociale. L'agriculture fournit aussi des matières premières pour les industries de transformation et pour les exportations (GSO, 2018). En 2020, le PIB du secteur agricole (secteur agro-forestier et aquaculture) est de 40,25 milliards de dollars, dont les secteurs de l'agriculture et de l'élevage représentent 72,8%, l'aquaculture représente 22,4% et le secteur forestier représente 4,8% (GSO, 2021).

### 1.1.2. Production animale dans les activités agricoles

L'élevage joue un rôle important dans le développement agricole du Vietnam. Il fournit des sources alimentaires de protéines (viande, œufs, lait) et fournit traction et engrais pour la culture. Les objectifs du pays sont de développer l'élevage pour répondre aux besoins de la consommation domestique et de l'exportation. En 2020, le gouvernement vietnamien a défini la norme 1520/QĐ-TTg

relative à la stratégie de développement de l'élevage du pays. Cette norme stipule que les porcs, les volailles et les bovins sont les animaux prioritaires du développement. L'orientation du Vietnam est d'encourager le développement de l'élevage à grande échelle et les systèmes intensifs. Ainsi, pour l'aviculture, l'objectif est un total de 550 millions de poulets élevés en 2030, dont 60% seront élevés dans des systèmes intensifs. En 2014, le ministère de l'agriculture avait défini la norme 984-QD-BNN en vue de la restructuration du secteur de l'élevage. L'idée était de réduire la population animale dans les régions des deltas et de développer l'élevage dans les régions montagneuses. La croissance de la population animale devrait favoriser le développement de l'économie en région montagneuse, tout en réduisant la pression de la pollution environnementale dans les régions des deltas (Ton et Hanh, 2017).

En plus de sa politique d'augmentation de la productivité de l'élevage, le Vietnam donne également la priorité à la conservation et au développement des races indigènes. Ainsi, les programmes de sélection et de conservation des populations de poulets locaux se proposent d'améliorer la productivité de ces races. A cette fin, en 2016, le gouvernement vietnamien a publié la norme 1671/QĐTTg sur le programme de conservation et d'utilisation durable des ressources génétiques avec des objectifs stratégiques en 2025 et 2030. Les politiques gouvernementales ont montré le rôle de l'élevage de poulets locaux dans la stratégie de développement de l'élevage du pays.

## 1.2. Production aviaire au Vietnam

### 1.2.1. Développement de l'élevage de poulets lors des deux dernières décennies

#### a. Les changements dans la population animale et la population de poulets au Vietnam

Au Vietnam, l'élevage de poulets joue un rôle très important dans l'économie et dans la satisfaction des besoins alimentaires. La population de poulets dans les dernières décennies est présentée dans la Figure 7.

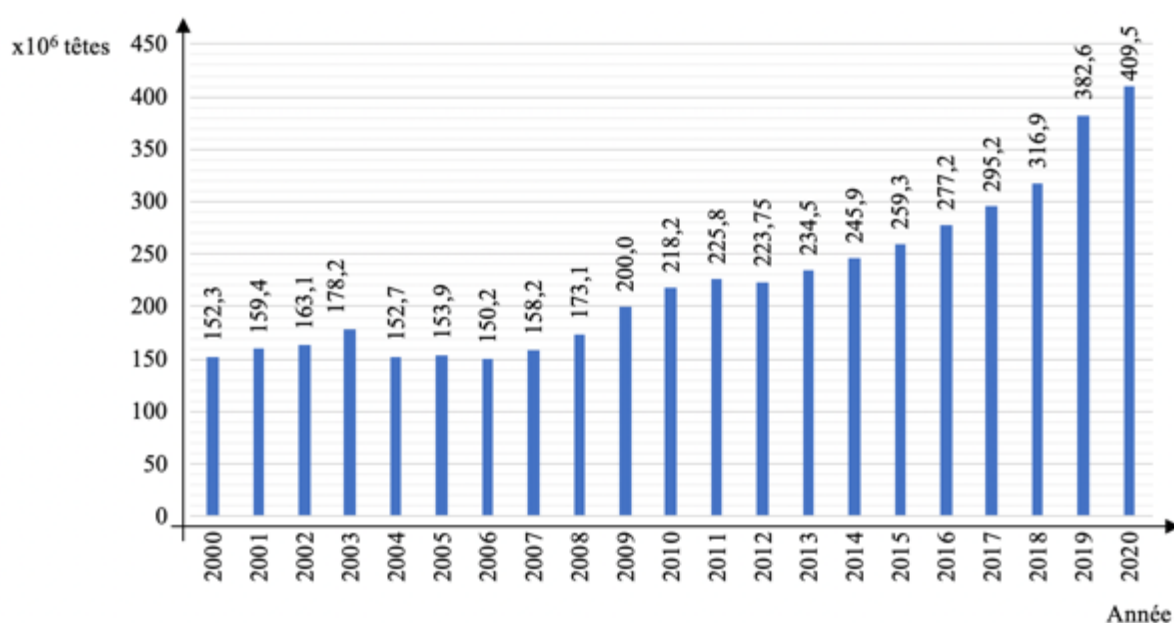


Figure 7. Population de poulets lors des deux dernières décennies au Vietnam (GSO, 2021)

Dans les deux dernières décennies, la population de poulets a diminué entre 2003 et 2006 à cause de la grippe aviaire. Après cet épisode, l'effectif a augmenté rapidement. En 2020, il y avait 409,5 millions têtes, soit 2,68 fois plus qu'en 2000 (GSO, 2021).

### b. La production de poulet de chair lors des deux dernières décennies au Vietnam

L'évolution de la production de viande de poulet est présentée à la Figure 8. En 2020, la production de viande de poulet dans tout le pays représentait 1465 mille tonnes, représentant une augmentation de plus de 395% par rapport à 2000 (GSO, 2021). La production de viande de poulet a augmenté de manière explosive en 2019 et 2020 pour compenser la réduction sérieuse de la viande de porc due à l'épidémie de peste porcine africaine.

Ces dernières années, le Vietnam a encore eu besoin d'importer du poulet. En 2020, 214,897 tonnes de produits de poulet ont été importés, pour une valeur de 207,64 millions USD. Les produits importés sont principalement des cuisses (71,5%), des tarse (8,7 %), des poulets entiers (8,2%), des ailes (5,8%) et d'autres parties (viscères...) (5,8%) (GSO, 2021). Ces produits sont principalement importés des États-Unis, qui fournit 61,8 % du total. En même temps, le Vietnam a également exporté de la viande de poulet pour une valeur modeste de 24,79 millions de dollars, le marché principal étant la Chine (GSO, 2021).

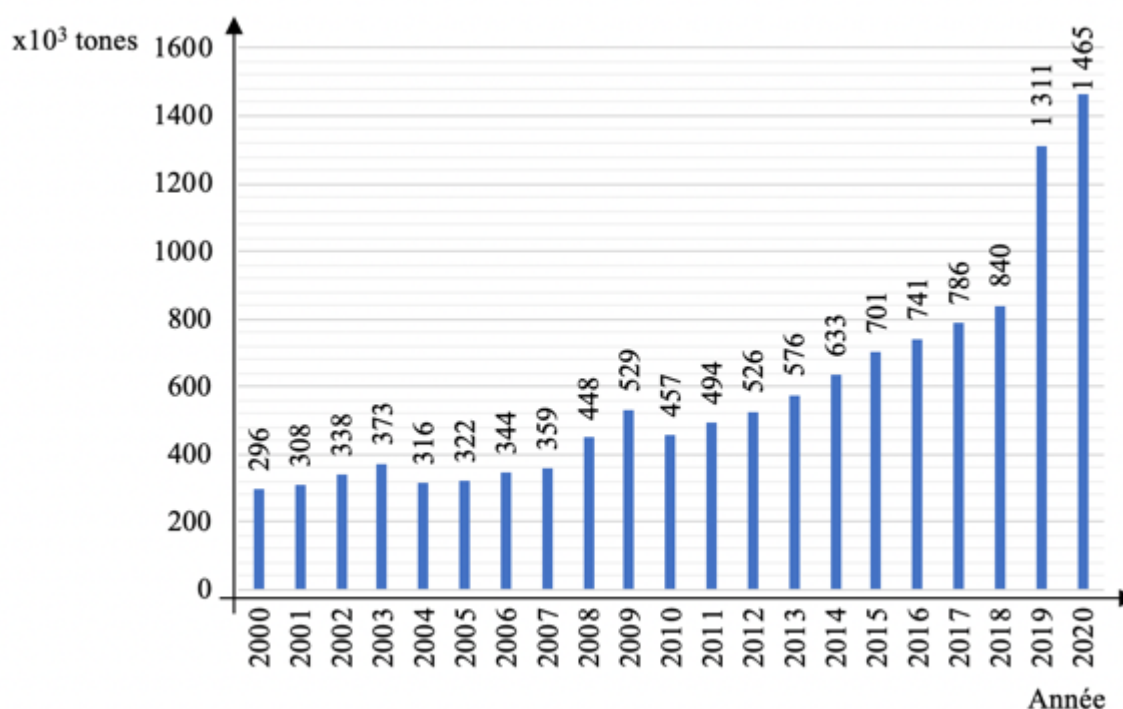


Figure 8. Production de viande de poulet lors des deux dernières décennies au Vietnam (GSO, 2021)

Le développement rapide du secteur de l'élevage a entraîné une diversification des produits d'origine animale. En parallèle, des politiques visant à faciliter l'accessibilité aux produits pour les consommateurs ont permis d'améliorer le niveau de vie en zone rurale. Ces dernières années, la

consommation de poulet a rapidement augmenté (Hansen, 2018). Au Vietnam, la consommation de viande de poulet est classée deuxième en importance après la viande de porc (GSO, 2021). La consommation de viande de poulet est un processus en croissance rapide. Une des principales raisons est la demande croissante de produits de meilleure qualité. En effet, la viande de poulet est considérée comme une viande saine et faible en cholestérol (Moula et al., 2013).

### c. La production d'œufs au Vietnam

Les œufs de poule jouent un rôle important dans l'approvisionnement, fournissant une source d'alimentation riche en protéines répondant aux besoins humains. En outre, cela fournit des matières premières pour l'industrie de la transformation des aliments. En deux décennies, en 2020, la production d'œufs de poule au Vietnam a augmenté de plus de 300 % par rapport à 2000 (Figure 9) (GSO, 2021). L'augmentation de la production d'œufs au Vietnam est principalement attribuable à l'augmentation des élevages intensifs grande taille, ces derniers utilisant des races exotiques à haut potentiel de ponte (Yitayih, M et al., 2021).

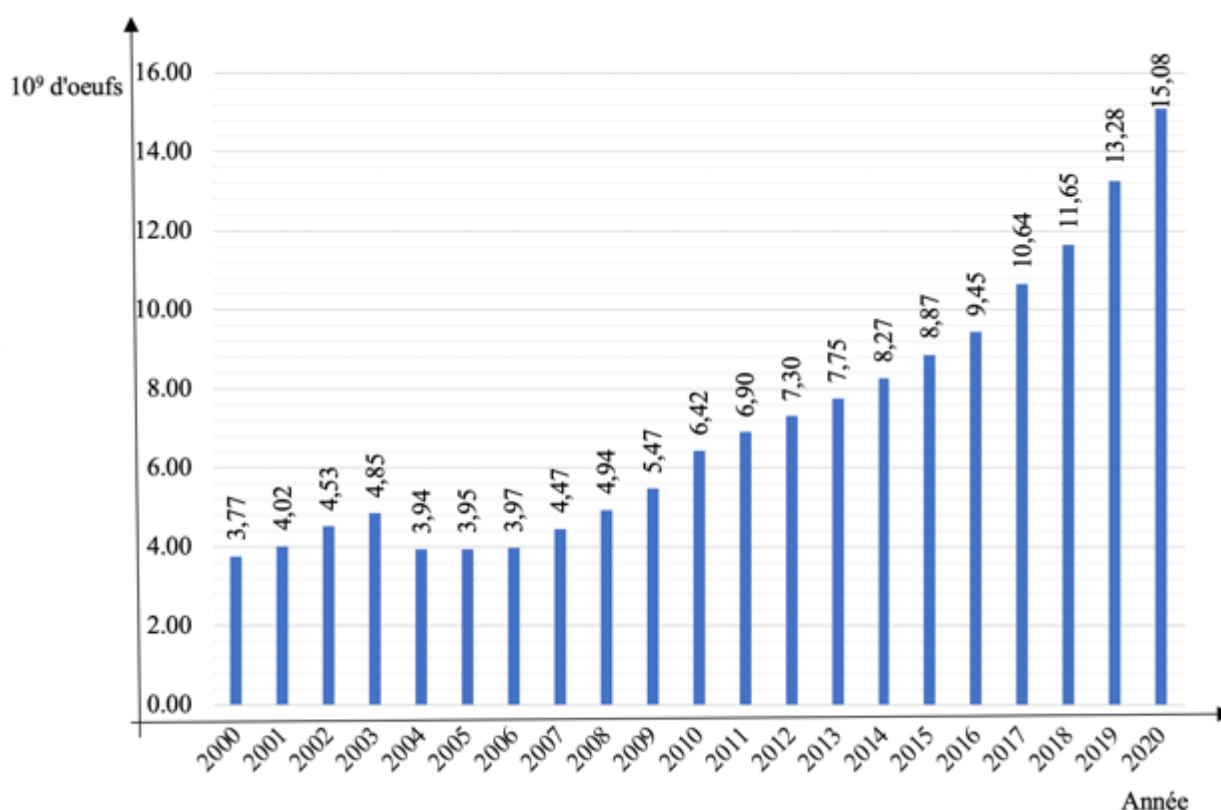


Figure 9. Production d'œuf de poule dans la période de 2000 au 2020 au Vietnam (GSO, 2021)

La production d'œufs de poule au Vietnam est principalement constituée d'œufs des races de poule exotiques. En 2020, le nombre d'œufs de poule produits au Vietnam est de 15,08 milliards d'œufs, dont environ 60% proviennent de poules exotiques (GSO, 2021). La consommation a également augmenté ces dernières années, passant de 2,64 œufs/personne/mois en 2006 à 4,0 œufs/personne/mois en 2018 (GSO, 2021).

#### **d. Exploitation des races de poulets au Vietnam**

##### *\* Poulets de chair*

Les élevages de poulets de chair au Vietnam sont principalement des productions privées. Il y a une diversité de tailles d'élevage, incluant des petits élevages, des fermes familiales de taille moyenne et des grandes fermes avec un système d'élevage intensif (Yitayih, M et al., 2021). Les races de poulets utilisées dans ces systèmes sont également diverses, comprenant les races indigènes, des races croisées et des races exotiques.

Les races indigènes fréquemment utilisées sont les races Ri et Mia. Ces races sont communément appelées «Gà Ta» pour les distinguer des souches croisées et des souches exotiques. Le cycle d'élevage de la race indigène dure plus de 6 mois avant l'abattage. Les produits de ce type d'élevage sont généralement destinés à l'autoconsommation, ou utilisés comme cadeaux et vendus sur les marchés locaux (Phuong et al., 2015).

Les races croisées utilisées dans l'élevage des poulets de chair sont obtenues par croisement de races exotiques et de races indigènes, comme (Dong Tao x Luong Phuong) x Sasso ou (Ho x Luong Phuong) x Mia (Giap et al. (2015). Les souches croisées sont souvent appelées « poulets au plumage coloré » - pour les distinguer des poulets exotiques, au plumage blanc - ou « poulets de jardin » - pour distinguer la pratique d'élevage, dans laquelle les poulets courent librement dans les jardins, par opposition à l'élevage intensif, où les poulets sont conservés à l'intérieur du poulailler. Les éleveurs utilisent des aliments industriels pour poussins à partir de 1 jour et jusqu'à 1 mois, des lampes chauffantes et un apport d'eau volontaire. Après un mois, les poulets sont autorisés à sortir à l'extérieur du poulailler, et la nourriture provient de produits agricoles locaux, tels que le maïs, le riz et le son de riz, mélangés avec des aliments concentrés industriels. Le cycle d'élevage des races hybrides dure de 4 à 6 mois avant l'abattage (Desvaux et al., 2008). Les produits d'élevage provenant des races hybrides sont vendus soit via des petits commerçants locaux (62%), soit directement sur les marchés locaux (38%) (Burgos et al., 2007).

Les races exotiques sont des races d'importation et incluent les races Kobb 700, Ross 308, Kabir, AA et Hubbard ISA (Giap et al. (2015). Les races exotiques sont appelées « poulets industriels », car ces races sont nourries avec 100% d'aliments industriels. Ces poulets sont élevés dans des systèmes intensifs avec de grandes tailles de troupeaux. Pendant toute la période d'élevage, les poulets vivent dans le poulailler. Les poulaillers sont modernes, avec la possibilité de contrôler les paramètres climatiques comme la température, la lumière, l'humidité, et le vent. Ces races ont une croissance rapide, le cycle d'élevage durant généralement 1,5 mois avant l'abattage (Desvaux et al., 2008). Les produits des races exotiques alimentent généralement les restaurants et les supermarchés.

##### *\* Poules pondeuses*



Au Vietnam il y a deux types d'élevage de poules pondeuses. Le premier type d'élevage utilise les races indigènes. Les œufs de ce type d'élevage sont souvent utilisés pour l'autoconsommation, comme cadeaux ou pour la vente sur les marchés locaux (Duc et Long, 2008). Le deuxième type d'élevage utilise des races exotiques, telles que Leghorn, Goldline, Hyline. Ces races sont élevées dans des poulaillers modernes à un ou plusieurs étages. Les éleveurs utilisent uniquement des aliments industriels. Le cycle d'exploitation des poules pour avoir des œufs dure généralement entre 10 et 12 mois (Desvaux et al., 2008). Les œufs des poules de race exotique sont généralement vendus dans les supermarchés, les restaurants ou dans le domaine de l'industrie de la transformation.

*\* Poulets pour la reproduction*

Les races utilisées pour la reproduction sont principalement des races exotiques telles que Luong Phuong, Sasso, Kabir, ISA color, Ai Cap. En outre, les races indigènes sont souvent utilisées au niveau des exploitations familiales. Les poussins sont fournis aux éleveurs lors de chaque nouveau cycle d'exploitation (Moula et al., 2011). Les éleveurs choisissent les œufs pour incubation durant des périodes météorologiques favorables, souvent du mois d'août au mois d'octobre. Les éleveurs sélectionnent ensuite les poussins destinés à la reproduction ou à l'élevage de poulets de chair.

**e. Évolution de la transformation de la production de poulets de la petite à la grande échelle**

Le développement économique et la croissance démographique sont des opportunités de développement pour le secteur de l'élevage. Les revenus plus élevés conduisent à une augmentation de la consommation de produits riches en protéines tels que la viande et le lait. En parallèle, l'industrie de l'alimentation animale s'est également bien développée. En 2019, le Vietnam comptait 264 entreprises de production d'aliments industriels, avec une production annuelle cumulée de 19 millions de tonnes par an (DAP, 2020). Ces dernières années, le Vietnam a importé plus de 60% des matières premières pour la production d'aliments d'animaux. En 2021, le Vietnam a importé de 22,3 millions de tonnes de matières premières, pour un montant total de 10 milliards de dollars. Les maïs et tourteaux de soja sont les principales matières premières importées pour l'industrie alimentaire pour les animaux (GSO, 2021).

Le développement d'entreprises alimentaires pour les animaux est une condition nécessaire pour le développement de fermes de grande taille. Dans les dernières années, on a constaté une augmentation rapide du nombre de grandes fermes. Selon Ton et Hanh (2017), il y a eu une réduction du nombre d'élevages de volaille à petite échelle et une augmentation de ceux à grande échelle. En 2011, on comptait 16 600 fermes de plus de 1 000 poulets, soit 4,32 fois plus qu'en 2006.

**1.2.2. Distribution de la population de poulets par région au Vietnam**

La répartition des populations de poulets par région est présentée à la Figure 9. En 2020, la population de poulets la plus importante se situait dans la région du delta du fleuve Rouge. C'est la

région où se développe le plus ce secteur, se situant non loin de la capitale, ce qui facilite la vente des produits.

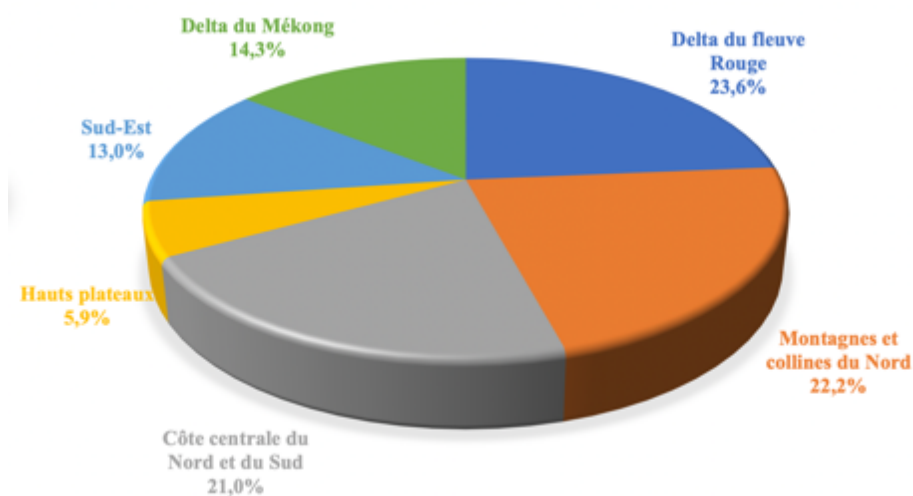


Figure 10. Population de poulets par région du Vietnam en 2020 (GSO, 2021)

Les régions montagneuses et les collines du nord et hauts plateaux sont riches en terre et ont un potentiel important d'élevage. Parallèlement à cela, le système de transport est de plus en plus développé, ce qui est favorable au commerce et services associés au secteur de l'élevage, qui sont en amélioration constante. Cette région est le moteur du développement de l'élevage de poulet dans les années à venir.

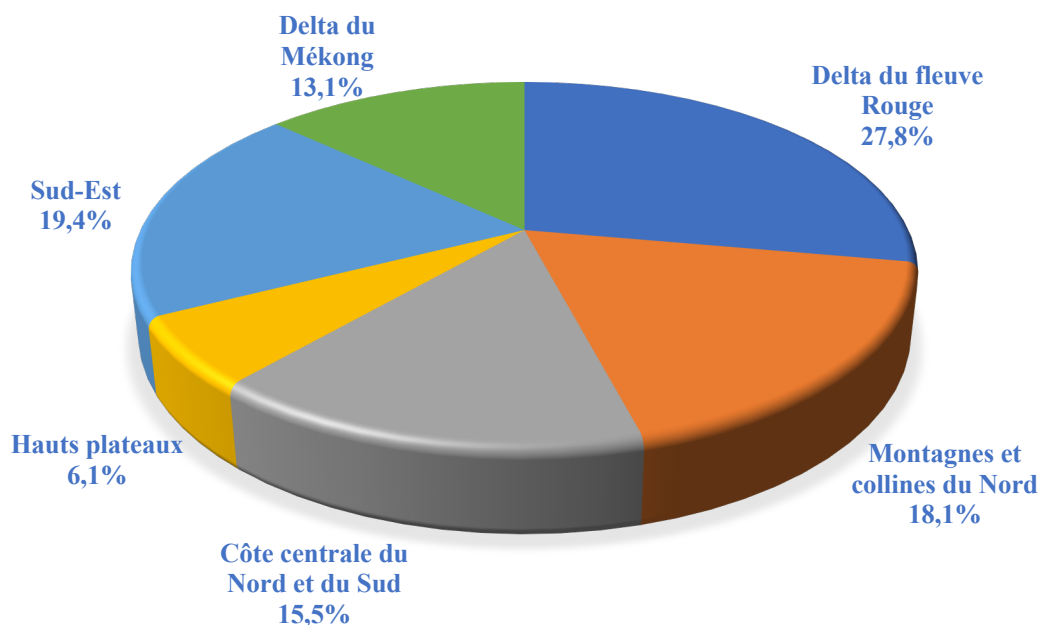


Figure 11. Production de viande de poulet par région du Vietnam en 2020 (GSO, 2021)

Le delta du fleuve Rouge représente plus de 27 % de la production totale de viande de poulet du pays. C'est également la région avec la plus grande population du pays, et donc la plus grosse demande des consommateurs. Par conséquent, le développement de l'élevage de poulet y est favorisé. En région de Hauts Plateaux, la production de poulet est la plus faible, représentant environ 6% de la

production totale de viande de poulet du pays. C'est la région la moins peuplée du pays, et les produits de l'élevage doivent être exportés vers d'autres provinces. L'augmentation des coûts de transport des produits n'est pas propice au développement de la production de l'élevage dans cette région.

### **1.2.3. Systèmes d'élevage de poulets au Vietnam**

Les systèmes d'élevage de poulets au Vietnam sont diversifiés (Dang Thang et al., 2009). Les trois principaux systèmes d'élevage de poulets sont: (1) le système d'élevage extensif, défini par un système familial d'élevage de poulets; (2) le système d'élevage semi-intensif, incluant des élevages de taille moyenne et orientés vers le marché, et (3) le système d'élevage intensif, incluant des élevages de grande taille (Burgos et al., 2007).

#### **a. Système d'élevage extensif**

Le système d'élevage de poulets extensif est pratiqué par les agriculteurs à travers tout le pays. Les exploitations sont de petite taille, avec environ 50 poulets par ménage (Yitayih, M et al., 2021). Dans ce système, il est courant d'utiliser des races indigènes, ces races étant considérées comme bien adaptées aux conditions climatiques locales et nécessitant de faibles coûts d'investissement. La source d'approvisionnement alimentaire des animaux provient principalement des déchets de cuisine. De plus, les poulets de chair peuvent recueillir 20 à 25% de leurs besoins en protéines dans le jardin (Duc et Long, 2008). Les agriculteurs peuvent également fournir des aliments à partir de matières premières disponibles localement, comme le maïs, le riz et le son de riz (Desvaux et al., 2008). La fréquence et la quantité des compléments alimentaires distribués ne suivent aucune norme (Duc et Long, 2008) et varient en fonction de l'importance des poulets dans la consommation des ménages et de leur niveau économique. Ce système est considéré comme faible en matière de biosécurité, en raison du niveau limité des soins de santé prodigués aux poulets et du manque de contrôle des maladies. Les poulets sont souvent hébergés le soir dans des poulaillers temporaires, dans un coin du jardin ou dans une porcherie (Duc et Long, 2008). Le taux de mortalité des poulets en raison du mauvais temps est élevé, s'élevant à environ 40-50% (Burgos et al., 2007). L'ensemble de la famille, incluant les femmes et les enfants, contribuent à l'élevage (Moula et al., 2011). Le système d'élevage extensif joue un rôle économique important pour les familles à faible revenu. Il est assimilé à une banque qui aide lors de frais d'urgence. En effet, les revenus provenant de la vente de produits de poulets sont souvent utilisés pour couvrir les coûts de scolarité et de soins de santé, ou sont autoconsommés en présence d'invités (Phuong et al., 2015). Le nombre de poulets élevés dans ce système est d'environ 110 millions de têtes par an (Desvaux et al., 2008). En 2007, la production de viande issue de ce système représentait 26% du total et la production d'œufs représentait 39% de la production nationale (Burgos et al., 2007).

#### **b. Système d'élevage semi-intensif**

Dans le système d'élevage semi-intensif, les élevages sont de taille intermédiaire entre ceux du système extensif et ceux du système intensif. La taille des élevages varie généralement entre 200 et 500

poulets par cycle, certaines fermes allant jusqu'à 2 000 poulets par cycle (Burgos et al., 2007). Les éleveurs pratiquant ce système ont une meilleure connaissance des techniques d'élevage que ceux impliqués dans le système extensif. Ainsi, jusqu'à 80% des ménages utilisant l'élevage semi-intensif ont participé à des formations sur les techniques d'élevage, la nutrition animale et la vaccination préventive (Duc et Long, 2008). Les races utilisées dans ce système semi-intensif sont des races indigènes, telles que les races Mia et Ri, des races croisées (race exotique x race indigène) ou des races exotiques telles que Tam Hoang, Luong phuong (Chine), Kabir (Israël), ISA-color et Sasso (France) (Duc et Long, 2008). Les éleveurs ont tendance à choisir des races de poulets ayant des caractéristiques phénotypiques similaires aux races indigènes. Le temps d'élevage des poulets de chair dure entre 4 et plus de 6 mois par cycle (Desvaux et al., 2008). Les aliments industriels sont utilisés dans ce système pour réduire le pourcentage de poussins morts et augmenter la quantité de poulets élevés. L'élevage est une combinaison d'expérience traditionnelle et de technologie améliorée (Burgos et al., 2007). Il y a une tendance à une transition de la production de type semi-intensif vers le système d'élevage intensif. En 2007, Le système d'élevage semi-intensif fournissait 49% de la production nationale de viande de poulet et 24% de la production d'œufs (Burgos et al., 2007).

### **c. Système d'élevage intensif**

Le système d'élevage intensif est un système moderne, avec des poulaillers qui permettent de contrôler l'environnement pour l'adapter à l'âge des poulets. La nourriture est uniquement à base d'aliments industriels et adaptée à l'âge des poulets et aux performances de croissance attendues. Le système d'élevage intensif est un système d'élevage à haute biosécurité (Burgos et al., 2007). Il est constitué de fermes privées indépendantes ou d'élevages privés dans le cadre de coopératives avec des entreprises privées. Des entreprises privées, notamment Charoen Pokphan group (Thaïlande), Japfa (Indonésie), Cargill (États-Unis), Proconco (France) et Dabaco (Vietnam) fournissent les poussins et les aliments industriels. Les systèmes d'élevage intensifs ne représentent que 10-15% de la population nationale de poulets (Desvaux et al., 2008). En 2020, le Vietnam comptait un total 8 164 fermes d'élevage de poulets, avec des tailles à partir 4 000 poulets par cycle (MARD, 2021). Selon Yitayih, M et al. (2021), la taille de l'élevage plus fréquente est de 2 000 à 11 000 têtes par cycle. Le système d'élevage intensif est étroitement lié au développement d'usines fournissant les aliments industriels. En 2007, le système d'élevage intensif a fourni 25% de la production de viande et 37% de la production d'œufs au niveau national (Burgos et al., 2007).

## **1.3. Caractéristiques des principales races de poulets indigènes**

### **1.3.1. Distribution des races de poulets indigènes selon les régions géographiques**

Le Vietnam est divisé en six régions présentées dans la section 1.1.1 et à la Table 1. Au niveau aviaire, le Vietnam compte 21 races indigènes de poulets (Table 2) (MARD, 2016). Elles ont été

répertoriées dans l'Atlas du Vietnam 2016. La distribution des principales races de poulets Vietnamiennes par régions est présentée sur la Figure 11.

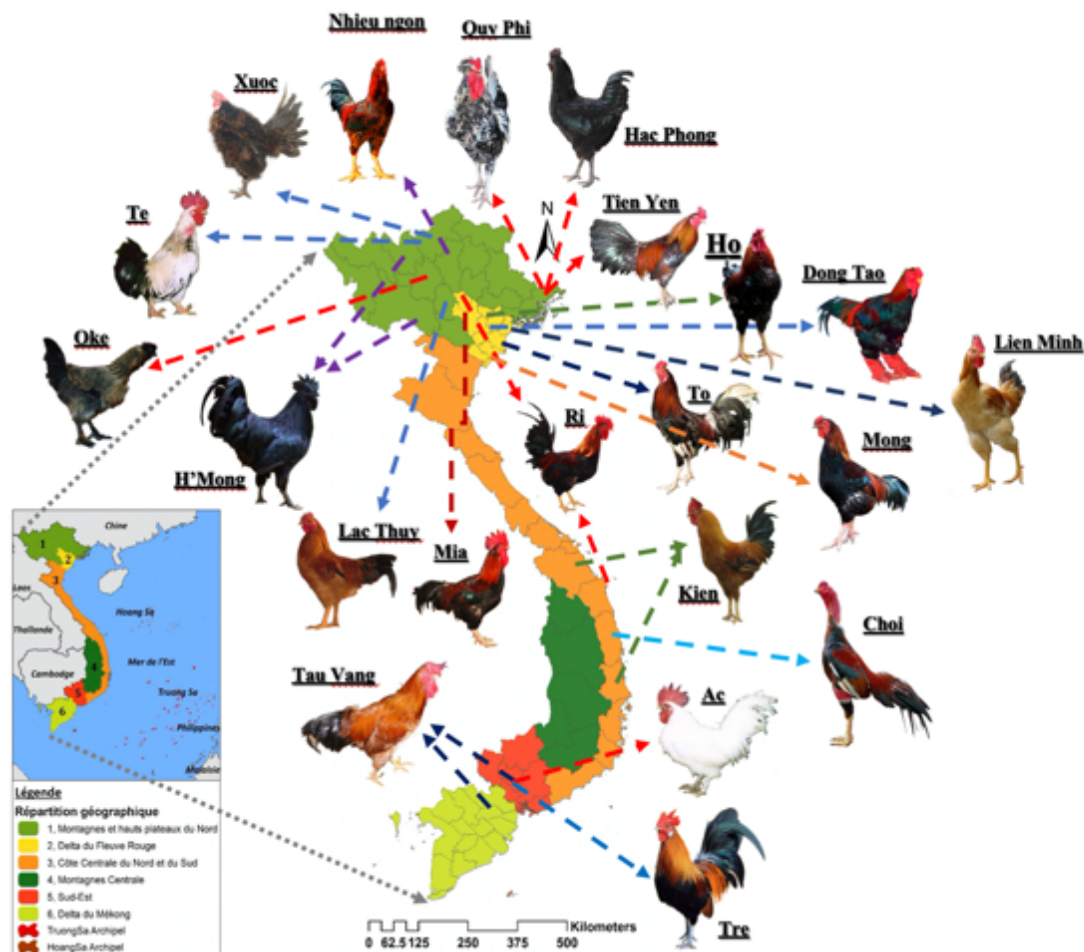


Figure 12. Distribution des races de poulets indigènes par région au Vietnam

Le delta du fleuve Rouge est historiquement la zone de la capitale, ce qui pourrait être une condition ayant conduit à la formation de nombreuses races indigènes. Il y a en effet 11 races indigènes dans cette région (Figure 12). Parmi celles-ci, cette région compte notamment les races de poulets Ho, Dong Tao, Mong et Mia. Ces poulets étaient utilisées comme cadeaux pour le Roi (Phuong et al., 2015).



Figure 13. Répartition des effectifs de poulets indigènes par région au Vietnam (MARD, 2016)

La région des montagnes et collines du Nord recense cinq races locales de poulets. C'est une région avec une grande diversité de groupes de minorités ethniques. Dans les zones de haute montagne, les groupes de minorités ethniques ont moins accès aux autres zones. Cet isolement est également favorable pour créer différentes races locales de poulets. La Côte Centrale du Sud et le delta du Mékong comptent chacune deux races indigènes. Dans la région du Sud-Est, il n'existe qu'une race indigène. Dans la région des Montagnes Centrales, aucune race locale de poulets n'a été enregistrée.

### **1.3.2. Caractéristiques des races poulets indigènes principales**

Les races indigènes ont été développées avec certaines caractéristiques particulières permettant de mieux s'adapter aux conditions environnementales. Parmi les critères d'adaptation, on peut citer la rusticité, la résistance à certaines maladies et la capacité de vivre dans des systèmes d'élevage extensifs ayant peu d'intrants. De plus, la viande obtenue est de bonne qualité, tout en respectant les valeurs traditionnelles des éleveurs et des populations indigènes. MARD (2016) ont rapporté que les races indigènes du Vietnam comprenaient les races Ri, Ac (viande noire, plumes blanches ou noires), Te (ou Lun, jambes courtes), Mia, Ho, Dong Tao, H'mong, Tre, Tau Vang, Choi (poulet de combat), Oke, To, Mong, Lien Minh, Tien Yen, Hac Phong, Quy Phi, Xuoc, Nhieu Ngon, Kien et Lac Thuy. Avec un troupeau d'environ 12,5 millions d'individus, la race Ri, communément appelée «Ga Ta» représente la principale race rencontrée sur tout le territoire vietnamien (Eaton et al., 2006).

#### **a. Races de poulets indigènes au Nord du Vietnam**

##### *\* Poulet Ri (gà Ri)*

La race Ri est une race originaire de la région du delta du fleuve Rouge. Actuellement, ces poulets se retrouvent dans de nombreuses régions du Vietnam (MARD, 2016). Cette race est la plus importante des populations indigènes du Vietnam, représentant 70% de la population totale des poulets indigènes du pays (Man, 2013). Les tarsi sont de couleur jaune clair. Les plumes sont de couleur saumonée doré fourni, noir, doré sauvage (coq) et froment (poulet). Le bec et la peau sont de couleur jaune. La crête est de type simple (Duc et Long, 2008). C'est une race adaptée aux systèmes d'élevage extensif et semi-intensif. Le poulet Ri est très affairé à chercher sa nourriture et capable de s'adapter à une alimentation pauvre en nutriments (Man, 2013).



Figure 14. Poulets et œufs de la race Ri (MARD, 2016)

La race Ri est de petite taille. Le premier œuf est produit après 135 à 140 jours. Les performances de ponte rapportées dans un système extensif sont de 80 à 90 œufs par an. Dans un système semi-intensif, une production de 120 à 124 œufs par an peut être obtenue (Man, 2013).

La poule Ri est une bonne couveuse. Le taux d'œufs fécondés est de 80 à 90% et le taux d'éclosion de 80 à 85% par couvaison (MARD, 2016). Le poids d'un poussin au premier jour est de 25 à 28g (Man, 2013). Le poids d'un poulet à 8 semaines est de 739 g (coq) et 712 g (poule) en moyenne et de 1390 g (coq) et 1320 g (poule) à 12 semaines (Hanh, 2016). Le poids d'un poulet à 12 mois est de 2200 à 2300 g (coq) et de 1700 à 1800 g (poule) (Man, 2013).

La couleur des œufs est brun clair et le poids d'un œuf est de 42 à 45g (MARD, 2016). Le taux de jaune d'un œuf est de 33 à 34%. La force maximale de rupture de la coquille est de 3,66 kg/cm<sup>2</sup> (Mui et Dang, 2016). La viande est de bon goût, ce qui fait de cette race une des préférées par les consommateurs Vietnamiens (Man, 2013).

#### \* Poulet Dong Tao

La race est originaire de la commune de Dong Tao dans la région du delta du fleuve Rouge (MARD, 2016). Les poulets Dong Tao sont caractérisés par la grosseur des tarses, qui peuvent être de couleur rouge et jaune foncé. Deux types de crêtes sont présentes: les formes noix et pois (Man, 2013).

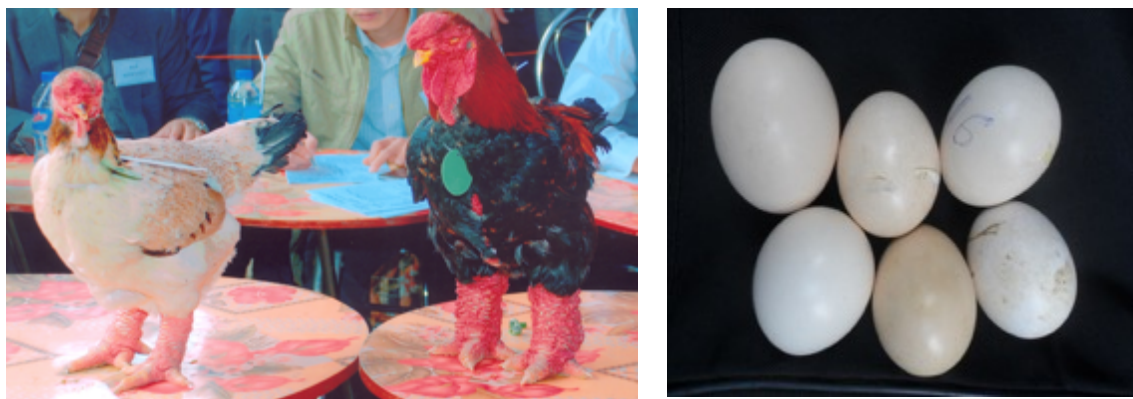


Figure 15. Poulets et œufs de la race Dong Tao

Les poules de la race Dong Tao sont de mauvaises pondeuses. L'âge au premier œuf est de 168 jours. Il y a entre quatre et six couvaisons par an, et le nombre d'œufs est de 90 à 95 œufs par an (Nguyen Van Duy et al., 2020). C'est une race lourde, qui supporte difficilement la forte chaleur et l'humidité pour la couvaison. Le nombre de poussins est de 45 à 57 par poule et par an (Hiep, 2013). Le poids d'un œuf est de 50 à 52g (Nguyen Van Duy et al., 2020). Le poids moyen d'un poussin au premier jour est de 35-38 g. Le poids d'un poulet à 8 semaines est de 700 g (coq) et 650 g (poule) et de 3452 g (coq) et 3022 g (poule) à 24 semaines (Nguyen Van Duy et al., 2020). Le poids d'un poulet de 12 mois est en moyenne de 4500 g (coq) et 3500 g (poule) (MARD, 2016).

Au niveau de la production, le rendement de carcasse d'une poule Dong Tao à 24 semaines est de 67%. Le pH de la viande du filet à 24h est de 5,06 et la dureté de la viande de filet est 28,66N (Tham et al., 2016). La bonne qualité de la viande de cette race et son goût jugé délicieux en ont fait un mets utilisé comme cadeau pour faire une offrande au Roi (Lan Phuong et al., 2015).

Les produits commercialisés des poulets Dong Tao sont principalement des poussins de moins d'un mois (95,1%). L'utilisation comme poulet de chair ou pour la reproduction représente 4,6% et 0,3%, respectivement (Hiep, 2013).

#### \* Poulet Ho

La race Ho est originaire de la commune de Ho dans la région du delta du fleuve Rouge (MARD, 2016). La population de poulets Ho est limitée. Les poulets sont principalement élevés dans les ménages, avec une moyenne de 6 poules et 2 coqs par élevage (Nguyen Van Duy et al., 2015a).

Les poules de la race Ho sont de mauvaises pondeuses. L'âge à la ponte du premier œuf est de 196 days (Nguyen Van Duy et al., 2020). Il y a en moyenne 4,27 couvaisons par poule et par an. La poule ne supporte pas bien la forte chaleur et l'humidité pour la couvaison (Nguyen Van Duy et al., 2015a).

Le poids d'un poussin au premier jour est de 33-38g. Le poids d'un poulet à 8 semaines est de 720 g (coq) et 640 g (poule) à 24 semaines et de 3470 g (coq) et 2957 g (poule) (Nguyen Van Duy et al., 2020). Le poids d'un poulet de 12 mois est d'environ 4500 à 5500 g (coq) et de 3500 à 4000 g (poule) (MARD, 2016).



Figure 16. Poulets et œufs de la race Ho



Le poids d'un œuf est d'environ 50-52 g. La force maximale de la rupture de la coquille est d'environ 35,38 N. Le poids du jaune est de 16,76 g, ce qui représente 32,59% de l'œuf (Nguyen Van Duy et al., 2020).

Le rendement de carcasse de cette race à 12 semaines est de 72,67%, dont 18,64% de filet et 24,65% de cuisse (Doan et Luu, 2006). La composition chimique de la viande est de 24,60% de protéines brutes, 0,51% de lipides bruts et 1,19% de cendres (Nguyen Van Duy et al., 2020).

Les produits d'élevage sont principalement des poussins de moins d'un mois (87%), dont 20% sont vendus aux éleveurs dans la province et 80% dans d'autres provinces du pays. Le poulet de chair représente les 13% restants, dont 38% sont autoconsommés et 62% vendus sur le marché local (Nguyen Van Duy et al., 2015a).

#### \* Poulet Mia

La race Mia est originaire de la commune de Duong Lam dans la région du delta du fleuve Rouge. Actuellement, cette race se distribue centralement dans certaines provinces du delta : à Hanoi, et dans les provinces de Hung Yen, de Hoa Binh et de Bac Ninh. Au niveau du plumage, les poulets Mia sont caractérisés chez le coq par des plumes de couleur noire, bleue ou dorée pailletée noire. Chez la poule, la couleur des plumes est noire, brune dorée ou saumonée dorée. Les tarsi sont de couleur jaune clair (MARD, 2016).

L'âge à la ponte du premier œuf est de 154 jours (22 semaines) (Cuc et al., 2016a). En ce qui concerne les performances de reproduction, le nombre de couvaisons est de quatre à cinq couvaisons par poule et par an. Le nombre d'œufs par poule et par an est d'environ 55 à 60 (MARD, 2016). Selon Cuc et al. (2016a), le taux d'embryons par couvée est d'environ 90%, et le taux d'éclosion par couvée atteint 72%.



Figure 17. Poulets de la race Mia (MARD, 2016)

Le poids d'un poulet Mia au premier jour est de 31 à 35,5g (Man, 2013). À 8 semaines, le poids atteint 583 g et à 20 semaines, 1510 g (Cuc et al., 2016a). Selon MARD (2016), le poids d'un poulet à 12 mois est d'environ 3000 g (coq) et de 2300 g (poule).

Les œufs pèsent en moyenne 45,63 g, l'épaisseur de la coquille mesure 0,41 mm et la force maximale de la rupture de coquille est de 3,79 kg/cm<sup>2</sup> (Cuc et al., 2016a). La viande de la race Mia est

de bonne qualité et est également un produit utilisé comme offrande au Roi. Actuellement, les populations indigènes les utilisent durant les festivals culturels traditionnels (MARD, 2016).

*\* Poulet Mong*

La race Mong est originaire et se retrouve uniquement dans la commune de Tien Phong, dans la région du delta du fleuve Rouge (MARD, 2016). Les poussins sont caractérisés par des plumes de couleur froment. Les plumes des coqs sont noires dorées et noires cuivrées. Les poulets ont des plumes de couleur fauve. Les tarses sont de couleur jaune foncé. La crête est du type noix (Cuc et al., 2016b).



Figure 18. Poulet de la race Mong

Dans cette race, l'âge à la ponte du premier œuf est de 22 semaines. La production de cette race est de 85 à 86 œufs par an, avec un taux d'éclosion de 69 à 71% (MARD, 2016).

Le poids d'un poulet Mong à 8 semaines est de 680 g (coq) et 588 g (poule), et de 1820 g (coq) et 1530 g (poule) à 20 semaines. Le poids d'un œuf est de 46,62 g. La force maximale de la rupture de la coquille est de 3,47 kg/cm<sup>2</sup> (Cuc et al., 2016b).

*\* Poulet H'mong*

Cette race est originaire des régions montagneuses dans la région des montagnes et hauts plateaux du Nord et provient de la minorité ethnique H'mong. Actuellement, cette race est distribuée dans les provinces de Son La, Yen Bai et de Lao Cai, dans la région des montagnes et des hauts plateaux du Nord (MARD, 2016). Elle présente un type simple de crête, de couleur noire ou mixte noire et rouge. Le poulet H'mong présente une peau, des tarses et de la viande de couleur noire. Le plumage est de couleur variée. Les poussins ont trois couleurs de plumage : noir liséré bleu, doré sauvage et tricolore à camail. La couleur noire représente 90% de la population.



Source : [http://hatthocvang.com/ga-hmong-viet-nam\\_586.aspx](http://hatthocvang.com/ga-hmong-viet-nam_586.aspx) (9/07/2022)

Figure 19. Poulets et œufs de la race H'mong

Les poules sont caractérisées par 10 couleurs de plumes : quatre pour les coqs (surtout blanche (1); noire et perdrix dorée (2); noire, perdrix dorée et jaune clair (3) et noire, perdrix dorée, blanc et jaune (4)). La couleur « noire et perdrix dorée » est la couleur la plus fréquente (70,10% de la population de la race H'mong). Les poules comptent six couleurs de plumage : principalement noire (6); brune porcelaine à panaché (7); principalement blanche (8); froment, tricolore à camail doré (9) et porcelaine (10). La couleur dominante est la couleur « principalement noire » (Dao et al., 2011).

L'âge au premier œuf chez la poule H'mong est de 150 jours. Le poids d'une poule H'mong à l'âge du premier œuf est de 1320 g. La production est de 24-25 œufs par 42 semaines et le taux de ponte de poule de 17% par 42 semaines (Nguyen Thi Phuong et al., 2017a). Le taux de fécondation des œufs est de 96% et le taux d'éclosion de 77 à 80% par couvain (Man, 2013).

En conditions d'élevage industriel, le poids rapporté d'un poussin au premier jour est de 25-27g. Le poids d'un poulet H'mong à 8 semaines est de 715g (coq) et 622g (poule). Le poids d'un poulet à 12 semaines est de 1190 g (coq) et de 1000 g (poule) (Nguyen Thi Phuong et al., 2017b).

Selon (Nguyen Thi Phuong et al., 2017a), le poids moyen d'un œuf est d'environ 38g, le jaune représentant 29,67% de l'œuf, et l'albumen 59,07%. La force maximale de la rupture de la coquille est de 3,83kg/cm<sup>2</sup>. L'œuf est composé de 9,45% de protéines dans le jaune et 16,51% dans l'albumen, et de 25,5% de lipides dans le jaune et 0,06% dans l'albumen.

La viande du poulet H'mong à 12 semaines représente 71 à 72% de la carcasse, dont 15 à 16% de filet, et 20 à 21% de cuisse. La composition de la viande est de 19 à 20% de protéines brutes, de 0,6 à 1,4% de lipides, et de 1,3% de cendres (Nguyen Thi Phuong et al., 2017b). La viande de poulet H'mong est de bonne qualité et les consommateurs considèrent qu'elle agit comme un aliment fonctionnel pour améliorer la santé humaine (Duc et Long, 2008).

## b. Races de poulets indigènes au Centre du Vietnam

### \* Poulet Choi

Cette race provient de la province de Binh Dinh dans la région de la côte centrale du Nord et du Sud. C'est une race de poulets de combat. Actuellement, cette race est distribuée dans plusieurs

régions: la région du delta du fleuve Rouge (ville de Hanoi et province de Bac Ninh); la région de la côte centrale du Nord et du Sud (provinces de Binh Dinh, Hue, Quang Nam et Phu Yen), la région du Sud-Est (ville de Ho Chi Minh), la région des Hauts Plateaux du centre (provinces de Gia Lai et Dak Lak) (Man, 2013).

Cette race est caractérisée par une absence de plumage sur la tête, le cou, la poitrine et les cuisses. La peau dans ces zones est de couleur rouge. La tête de la poule est petite, les crêtes ne sont pas développées, les yeux sont petits et le bec est court, gros et très fort. Les poulets Choi sont caractérisés par une variété de plumages : neuf couleurs de plumes existent, dont cinq pour les coqs: noire; noire et dorée; blanche; blanche, noire et dorée; et noire, dorée saumonée. Les quatre couleurs chez la poule sont: froment ; tricolore; fauve et noire. Les trois couleurs observées pour les tarse sont: noire, jaune et grise (Man, 2013).



Figure 20. Poulet de la race Choi (MARD, 2016)

L'âge au premier œuf est d'environ 220 jours. La reproduction est assurée par 3,65 couvaisons par an, 11 œufs par couvaision et environ 48 œufs par an. 90% des œufs sont fécondés et le taux d'éclosion est de 80% (Quy et Son, 2008).

Le poids d'un poulet Choi à 12 mois est de 4000 à 5000 g (coq) et de 3500 à 4000 g (poule) (MARD, 2016). Le poids d'un œuf est de 47-50 g. La composition chimique des œufs est de 53,16 g et le jaune représente 37,77% de l'œuf (Quy et Son, 2008). Le poulet Choi est une poule de combat, utilisée dans le cadre d'activités culturelles traditionnelles du Vietnam (Duc et Long, 2008).

### **c. Races de poulets locaux du Sud du Vietnam**

#### *\* Poulet Tau Vang*

Cette race est originaire et distribuée dans la région du delta du Mékong et du Sud-Est (Man, 2013, MARD, 2016). Les poulets Tau Vang sont caractérisés par la couleur jaune du plumage, des tarse et de la peau. La forme de la crête est simple. Les caractéristiques phénotypiques sont proches de celles des poulets Ri, mais la taille du corps du poulet Tau Vang est plus grande (Man, 2013). Selon

MARD (2016), l'âge au premier œuf est de 120 à 140 jours, et les poules pondent 90 à 120 œufs par an. Le poids d'un œuf est de 48 à 49 g (Man, 2013).



Figure 21. Poulets de la race Tau Vang (MARD, 2016)

Le poids du poussin au premier jour est de 18 à 20 g, et à 16 semaines, le poids atteint 2000 g (coq) et 1400 g (poule) (MARD, 2016). Les performances de production du poulet Tau Vang à 13 semaines sont de 1649 g et 68,03% de rendement de carcasse, avec 22,33% de filet et 33,47% de cuisses (Do Anh Khoa et al., 2012).

\* *Poulet Ac*

La race Ac est également originaire de la région du delta du Mékong, au Sud du Vietnam. Cette race se concentre dans quatre provinces : Long An, Tra Vinh, Tien Giang (delta du Mekong) et Ha Noi (delta du fleuve Rouge). Les poulets de la race Ac sont de petite taille. La couleur des plumes est blanche. La couleur des tarsi est jaune et les tarsi sont emplumés. La crête est de type simple et de couleur rouge. La couleur de la peau, des tarsi et de la viande est noire (MARD, 2016).



Figure 22. Poulets et œufs de la race Ac (MARD, 2016)

L'âge au premier œuf est de 110 à 120 jours. Le nombre d'œufs est de 90 à 105 œufs par an. Le taux d'œufs fécondés est de 90% par couvain et le taux d'éclosion est d'environ 64% par couvain (Man, 2013).

Le poids d'un poussin au premier jour est de 18 à 20g (MARD, 2016). Le poids d'un poulet Ac à 8 semaines est de 330g (Man, 2013). Le poids à 12 semaines est de 1390 g (coq) et 1320 g (poule) (Hanh, 2016). Le poids d'un poulet 12 mois est de 700 à 750g (coq) et de 550 à 600g (poule) (MARD, 2016).

La couleur des œufs est brun clair, avec un œuf de 42 à 45g (MARD, 2016). Le taux de jaune est de 33 à 34% par œuf et la force maximale de la rupture de la coquille est de 3,66 kg/cm<sup>2</sup> (Mui et Dang, 2016). Le rendement de carcasse chez le poulet Ac est de 69,5 à 72,9%, dont 18 à 20% de cuisse et 22 à 23% de filet (Man, 2013). La viande de la race Ac est très bonne et très appréciée par les consommateurs. Elle est utilisée comme nourriture fonctionnelle pour améliorer la santé humaine (MARD, 2016). La viande de poulet Ac est composée de 24,04% de matière sèche, de 23,86% de protéines brutes, de 0,87% de lipides bruts et de 0,36% de cendres. Dans 100 g de viande, il y a 19,05 mg de Fer et 54,65 mg de cholestérol (Tien et al., 2010).

## **2. CONSERVATION ET DÉVELOPPEMENT DES RACES INDIGÈNES DE POULETS AU VIETNAM**

### **2.1. Diversité des races de poulets au Vietnam**

La biodiversité au Vietnam est très importante. En effet, le pays est classé parmi les premiers au monde pour le nombre abondant de races animales et de variétés végétales. Plus de 10% des espèces animales du monde ont été trouvées au Vietnam (Ly, 1993). Selon Berthouly et al. (2009), la grande diversité génétique des races indigènes de poulets au Vietnam peut être en partie expliquée par la position géographique du pays. Ly (1993) a réalisé le premier travail sur la conservation et la promotion de la race Ho. Dans ce travail, l'auteur a élevé des poussins d'un jour durant 4 semaines dans un centre fermé équipé de manière à intensifier et contrôler l'élevage. Les poussins ont ensuite été distribués aux éleveurs intéressés. Les principales conclusions de cette expérience, et de celle de Lung et al. (2004), ainsi que les résultats d'analyses moléculaires réalisées pour cette race (Thuy et al., 2009, Cuc et al., 2011a, Pham et al., 2013), sont que les caractéristiques morphologiques de la race Ho sont instables et que la race Ho n'est pas pure. Malgré l'intérêt des scientifiques et des éleveurs pour la race, celle-ci reste menacée d'extinction en raison de ses faibles performances reproductives. La mise en place d'un projet de conservation de cette race présente dès lors un intérêt historique et culturel important. Allant dans le sens de ces résultats, Hiep (2013) a rapporté que la race Ho a connu des croisements avec d'autres races. L'étude était basée sur environ 700 individus, avec un effectif moyen de 45 sujets par élevage. Dans le cadre d'une recherche sur d'autres races, Thanh (2008) a réalisé une étude de recensement et de caractérisation de la morpho-biométrie et des performances zootechniques des trois races indigènes de poulets Ho, Dong Tao et Mia. Les résultats ont montré que les effectifs de ces trois races étaient très faibles Ho: 575 individus; Dong Tao: 820 individus, Mia: 2 804 individus.

De nombreuses recherches ont été réalisées sur les races indigènes de poulets au Vietnam. Parmi celles-ci, Cuc (2010) a réalisé une thèse intitulée «Vietnam local chicken breed: Genetic diversity

and prioritizing breeds for conservation». Les résultats de l'analyse génétique réalisée ont démontré que les races Vietnamiennes provenant de différentes zones agro-écologiques représentent des populations génétiquement distinctes. Les races du Nord du Vietnam sont clairement séparées génétiquement des races du Sud et du centre du Vietnam. Selon cette étude, les races Te, Dong Tao et Ac, doivent être favorisées et sélectionnées en priorité dans les politiques nationale et internationale de conservation des ressources génétiques aviaires Vietnamiennes.

Les races indigènes de poulets du Vietnam, comme beaucoup d'autres races indigènes, ont subi des croisements anarchiques conduisant à une diminution drastique de leurs effectifs en race pure. Cette érosion menace la biodiversité nationale et, par conséquent, implique des défis écologiques et économiques futurs. Le table 2 présente la situation des races de poulets indigènes du Vietnam.

Table 2. Statut des 21 races de poulets indigènes du Vietnam (Phuong et al., 2015)

| <b>Race</b> | <b>Origine</b> | <b>Statut de conservation</b> | <b>Année de détection/introduction dans la liste</b> |
|-------------|----------------|-------------------------------|--|
| Ac          | Vinh Long      | Normal                        | 2009   |
| Choi        | Binh Dinh      | Normal                        | 2009   |
| Dong Tao    | Hung Yen       | Normal                        | 2008   |
| Hac Phong   | Quang Ninh     | Normal                        | 2009   |
| H'mong      | Son La         | Normal                        | 2009   |
| Ho          | Bac Ninh       | Vulnérable                    | 2009   |
| Lien Minh   | Cat Ba         | Pas de données                | 2009   |
| Mia         | Son Tay        | Normal                        | 2008   |
| Mong        | Ha Nam         | Pas de données                | 2009   |
| Oke         | Ha Giang       | Vulnérable                    | 2004   |
| Ri          | North Vietnam  | Normal                        | 2008   |
| Nhieu ngon  | Lang Son       | Vulnérable                    | 2009   |
| Tau Vang    | South Vietnam  | Normal                        | 2009   |
| Te          | Ha Giang       | Normal                        | 2008   |
| Tien Yen    | Quang Ninh     | Normal                        | 2009   |
| To          | Thai Binh      | Normal                        | 2009   |
| Tre         | Long An        | Normal                        | 2009   |
| Xuoc        | Ha Giang       | Vulnérable                    | 2008   |
| Kien        | Quang Ngai     | Pas de données                | -  |
| Lac Thuy    | Hoa binh       | Pas de données                | -  |
| Quy Phi     | Quang Ninh     | Pas de données                | -  |

Selon Phuong et al, (2015), dans les 21 races de poulets indigènes du Vietnam il y a 4 races des poulets vulnérables et 5 races des poulets sans données. Ainsi, pour être en mesure de promouvoir des races de poulets indigènes, des mesures de gestion appropriées et une stratégie de développement à long terme de la conservation, ainsi que l'exploitation et le développement durable des ressources génétiques indigènes, doivent être mises place. Dans le secteur de l'élevage en général et des poulets en particulier, la solution la plus efficace pour un développement durable serait l'utilisation de ressources locales. Malheureusement, la situation actuelle est marquée par un raisonnement économique à court terme basé sur l'exploitation de races et lignées exotiques, caractérisées par une productivité supérieure aux races indigènes, et menaçant ainsi la pérennité de ces dernières. En conséquence, les ménages élevant des races indigènes de poulets sont confrontés au développement des élevages intensifs et aux importations massives. La diminution de la taille de la population et le rétrécissement des surfaces allouées à l'élevage de races indigènes ont conduit à la dégradation progressive des ressources génétiques. Ainsi, par exemple, aucun sujet de la race Van Phu n'a été répertorié ces dernières années, présageant son extinction (Thieu., 2016).

## **2.2. Recherche génétique sur les races aviaires Vietnamiennes**

Thuy et al. (2009) ont étudié le génome de neuf races indigènes de poulets vietnamiens, incluant les races Tre, H'mong, Choi, Dong Tao, Mia, Ri et Tau Vang. Les résultats ont permis d'estimer le niveau de consanguinité de ces races. Les trois races ayant en moyenne une consanguinité plus élevée que les autres races sont les races Tre (0,274), Ho (0,179) et H'mong (0,17). Selon Thuy et al. (2009), les races H'mong, Ac et Tre forment un groupe de races proches génétiquement. La distance génétique entre la race Ac et la race Tre est de 0,122, entre les races H'mong et Tre de 0,139 et entre les races Ac et H'mong de 0,163. Les quatre races Choi, Mia, Dong Tao et Ho forment un autre groupe avec une distance génétique réduite. La distance génétique entre les races Ho et Dong Tao est de 0,104, entre les races Mia et Dong Tao de 0,057, entre les races Mia et Ho de 0,087 et entre la race Choi et la race Mia de 0,062. Les races Ri et Tau Vang forment un troisième groupe de races génétiquement proches. La distance génétique entre la race Ri et la race Tau Vang est de 0,108.

Cuc et al. (2010) ont utilisé 29 microsatellites pour analyser la diversité génétique de neuf races Vietnamiennes et de deux races chinoises. Les résultats ont montré une faible diversité génétique des races Ho et Dong Tao. Selon Cuc et al. (2010), les races Te et H'mong sont génétiquement proches. Les races Ri, Mia, Ho et Dong Tao forment un autre groupe de races proches génétiquement, comme déjà partiellement relevé par Thuy et al. (2009). Signalons toutefois que Thuy et al. (2009) n'avait pas identifié la race Ri comme appartenant à ce groupe.

Pham et al. (2013) ont répété ces analyses avec 20 microsatellites afin de déterminer la diversité génétique de 21 races de poulets indigènes du Vietnam. Les résultats de cette étude montrent à nouveau une faible diversité génétique des trois races Ho, Dong Tao et Mia, avec cependant une grande richesse allélique de la métapopulation. Dans cette étude, les races Ho, Mong, Te et Tre sont génétiquement



proches. Un autre groupe est formé par les races Dong Tao, Mia, Ri et To. Ces résultats diffèrent de ceux rapportés par Cuc et al. (2010) et par Thuy et al. (2009) en n'incluant pas les races Ho et Dong Tao dans le même groupe. Toutefois, Pham et al. (2013), Cuc et al. (2010) et Thuy et al. (2009) confirment tous que les races Mia et Dong Tao sont génétiquement proches.

Récemment, des études ont cherché à caractériser les races de poulets Vietnamiennes sur base des caractéristiques phénotypiques et également génomiques, en employant des marqueurs de type microsatellite. L'évaluation des variétés génétiques basée sur les marqueurs moléculaires peut être utilisée comme guide initial pour identifier les sources de gènes sous-tendant la variabilité génétique et phénotypique. Si ces études ont permis une première approche au niveau moléculaire de l'évaluation des structures génétiques des populations de poulets indigènes du Vietnam, il est aujourd'hui possible d'aller plus loin en utilisant les techniques, devenues abordables, de génotypage à haut débit, voire de séquençage. Un type de marqueurs devenu prépondérant dans ce type d'approches plus fines est le polymorphisme au niveau d'un nucléotide (SNP = Single Nucleotide Polymorphism). A notre connaissance, aucune recherche approfondie basée sur les SNPs chez les races indigènes de poulets vietnamiens n'a encore été publiée.

De nos jours, les technologies basées sur les SNPs ont été couramment appliquées dans les domaines de la recherche avicole, notamment pour l'identification de la biodiversité, la construction de cartes génétiques et l'identification multifonctionnelle de gènes. En réalité, l'utilisation de matrices de génotypage de SNPs à haute densité (jusqu'à 600 000 SNPs) a constitué une étape clé remarquable dans un certain nombre de réalisations relatives à la production de poulets et à la construction de cartes génétiques (Kranis et al., 2013, Seo et al., 2014, Wang et al., 2015).

Parallèlement, plus de 90% des variations individuelles proviennent de SNPs, montrant l'importance de ces marqueurs pour en savoir plus sur la biodiversité au niveau moléculaire et pour la cartographie du génome (Frohlich et al., 2004). Pour cette raison, les SNPs ont été largement utilisés dans les recherches génétiques sur l'homme et les animaux tels que les vaches, les porcs et les poulets (Seo et al., 2014).

### **2.3. Conservation des races de poulets**

La diversité génétique est la matière première pour améliorer une race afin qu'elle s'adapte à un changement de l'environnement et à un changement du besoin des consommateurs (FAO, 2015). Actuellement, la connaissance des races indigènes est limitée, alors que la diminution de leurs ressources génétiques est constante. La disparition des races avicoles a été principalement observée chez les poulets. Jusqu'à 60 races de poulets ont disparu, représentant 73,17% des races avicoles, et 15 races de canard, représentant 18,29%. Au niveau mondial, 1 729 races indigènes de poulets ont été identifiées, dont 1 089 races pour lesquelles aucune information n'est disponible, 60 races considérées comme disparues, 67 races en danger-maintenu, 147 races en danger, 7 races à un stade critique-maintenu, 147 races au stade critique et seulement 212 races ne courant aucun risque (FAO, 2015). Le statut des races locales de poulets est présenté à la Figure 22.

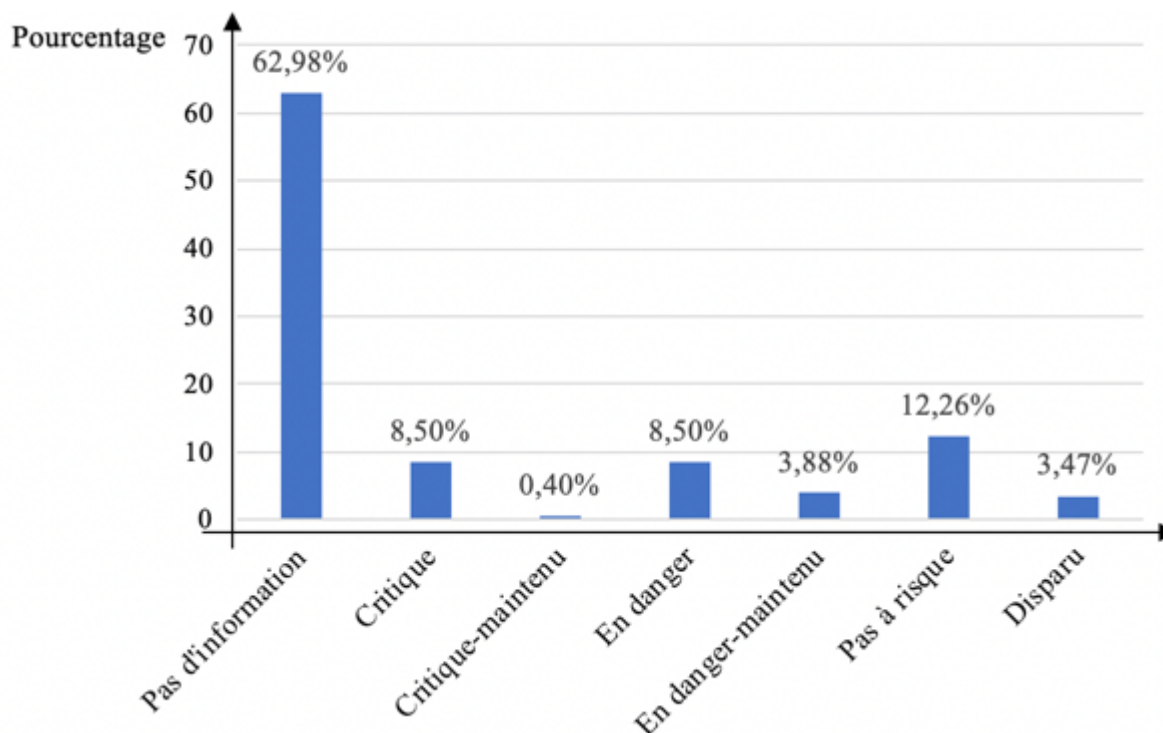


Figure 23. Statut mondial des races de poulets indigènes (FAO, 2015)

Selon la FAO (2015), les différents statuts des races indigènes se définissent comme suit :

**Disparu** : race pour laquelle il ne reste aucun mâle ou femelle reproducteur. Cependant, le matériel génétique qui permettrait la reproduction de la race pourrait être cryoconservé. De cette manière, la conservation peut être réalisée avant la perte du dernier animal ou la perte du dernier matériel génétique.

**Critique** : race pour laquelle le nombre total de femelles reproductrices est égal ou inférieur à 100 ; ou pour laquelle le nombre total de reproducteurs mâles est égal ou inférieur à 5 individus ; ou encore si la taille globale de la population est égale ou inférieure à 120 individus avec un pourcentage de femelles accouplées inférieur à 80% ; et qui n'est pas classée comme disparue.

**Critique-maintenu** : race répondant aux critères du statut critique, mais pour laquelle des programmes de conservation sont actifs, ou des systèmes de maintien des populations mis en place par des sociétés commerciales ou des instituts de recherche.

**En danger** : race pour laquelle le nombre total de femelles reproductrices est situé entre 100 et 1000 individus ; ou pour laquelle le nombre total de mâles reproducteurs est de 5 à 20 individus ; ou si la taille globale de la population est estimée entre 80 et 100 individu avec un pourcentage de femelles accouplées supérieur à 80% ; ou si la taille globale de la population est entre 1000 et 1200 individus avec un pourcentage de femelles accouplées inférieur à 80% ; et qui n'est pas classée comme disparue, critique ou critique-maintenu.

En danger-maintenu : race répondant aux critères du statut en danger, mais pour laquelle des programmes de conservation sont actifs, ou des systèmes de maintien des populations mis en place par des sociétés commerciales ou des instituts de recherche.

Sans risque : race n'étant pas classée comme critique, critique-maintenu, en danger ou en danger-maintenu.

Depuis 1960, nous sommes de plus en plus conscients des effets négatifs de la disparition de races animales indigènes (Moula et al., 2009). Aujourd'hui, le développement durable de l'élevage est de plus en plus confronté à des nombreux problèmes tels que la pression de l'augmentation démographique, les effets du changement climatique, l'augmentation de maladies dangereuses, ou l'émergence de nouvelles maladies. Par conséquent, la conservation des races présentant un risque de disparition est nécessaire et urgente. Selon Van Marle-Köster et al. (2008), les principales raisons de conserver les races indigènes de poulets sont les suivantes :

Les races exotiques présentent toujours un risque d'érosion par la maladie ;

Les races indigènes expriment leur potentiel dans des conditions environnementales (température, humidité, nutrition, pathogènes...) qui ne permettraient pas aux races exotiques une production importante (voire qui ne leur permettraient pas de survivre), ce qui suppose un background génétique adapté;

Les races locales fournissent des produits (œufs, viande) correspondant aux souhaits des consommateurs. On peut là aussi supposer la présence d'un profil génétique supportant cette qualité différenciée;

La demande en races indigènes pour l'élevage a augmenté en raison de leur bonne capacité d'adaptation et du faible investissement nécessaire.

Selon la FAO (2007), la définition de la conservation des ressources génétiques est toute activité humaine, y compris les stratégies, politiques et actions entreprises afin de garantir une diversité des ressources génétiques et permettant de contribuer à la production et à la productivité alimentaires et agricoles, ou pour maintenir ces ressources sous d'autres aspects présents et futurs (écologiques, culturels). Actuellement, il y a trois programmes de conservation : la conservation *in situ*, la conservation *ex situ in vivo* et la conservation *ex situ in vitro*.

La conservation *in situ* est la conservation d'animaux d'élevage par une production continue de la part des éleveurs dans un système de production pour lequel ils ont évolué et sont habituellement présents et élevés. Ce programme de conservation est mis en œuvre par la plupart des pays.

Les programmes de conservation *ex situ* sont moins courants que les programmes *in situ*. Il existe deux programmes de conservation *ex situ*. La première est le programme de conservation *ex situ in vivo*. Ce programme consiste en la conservation par le maintien de populations animales non élevées en conditions de gestion normale (par exemple, parcs zoologiques et, dans certains cas, fermes gouvernementales) et/ou en dehors de la zone dans laquelle ils ont évolué ou se trouvent habituellement. La frontière entre la conservation *in situ* et celle *ex situ in vivo* n'est pas claire et il est important de

décrire les objectifs de conservation et la nature de la conservation de chaque cas. Le deuxième programme est le programme de conservation *ex situ in vitro*. Il s'agit de la conservation externe à l'animal vivant dans un environnement artificiel, dans des conditions cryogéniques comprenant, entre autres, la cryoconservation d'embryons, de sperme, d'ovocytes, de cellules ou de tissus somatiques ayant le potentiel de reconstituer ultérieurement des animaux vivants.

Selon Alderson (2018), la conservation des races animales indigènes en risque de disparition peut être maintenue par sa conservation dans les systèmes d'élevage. Les races animales en risque de disparition peuvent ne pas répondre aux critères commerciaux aujourd'hui, mais à ceux de l'avenir.

La capacité de conservation est limitée. Il est donc important de donner la priorité de conservation aux races présentant un risque de disparition élevé. L'utilisation de méthodes de recherche en génétique moléculaire, combinées à des méthodes de recherche sur les caractéristiques phénotypiques, la compréhension de l'histoire des races et la géographie des races, est la base des décisions prioritaires en matière de conservation (Alderson, 2018).

Au Vietnam, depuis 1990, le gouvernement vietnamien a commencé des programmes de conservation des ressources génétiques animales indigènes. Ce programme est mis en œuvre par l'Institut national de l'élevage.

La première activité de conservation est basée sur des enquêtes permettant de récolter les informations suivantes: identification des races sur base de caractéristiques phénotypiques, origine des races, taille de la population et performances de production. Les résultats de ce programme mené de 1990 à 2016 a permis d'identifier 83 races indigènes, dont 23 de poulets. En 2016, le Ministère de l'Agriculture vietnamien a défini 21 races de poulets indigènes, incluant: (1) Ri, (2) Ho, (3) Dong Tao, (4) Mia, (5) Mong, (6) Ac (viande noire, plumes blanches ou noires), (7) Te (ou Lun, jambes courtes), (8) H'mong, (9) Tre, (10) Tau Vang, (11) Choi (poulet de combat), (12) Oke, (13) To, (14) Lien Minh, (15) Tien Yen, (16) Hac Phong, (17) Quy Phi, (18) Xuoc, (19) Nhieu Ngon, (20) Kien et (21) Lac Thuy (MARD, 2016).

Les races Ho, Dong Tao, Mia et Mong sont quatre races qui jouent un rôle important dans l'élevage et les activités socioculturelles de la communauté vietnamienne. Depuis 1993, les races Ho, Dong Tao et Mia ont été incluses dans des programmes de conservation à l'échelle nationale (Cuc et al., 2011b, Thieu., 2016). La race Mong a été incluse dans des programmes de conservation nationaux en 2001 (Cuc et al., 2016b). Actuellement, 18 races de poulets indigènes ont une autorisation commerciale du Ministère de l'Agriculture pour réaliser des croisements, incluant les races Ho, Dong Tao, Mia et Mong (MARD, 2018). Cela renforce le rôle important de ces quatre races.

Le Vietnam possède des centres nationaux de conservation, cependant, actuellement, la plupart des races indigènes de poulets sont conservées dans des élevages privés (conservation *in situ*) (Thieu., 2016). Toutefois, les programmes de conservation sont intermittents et manquent de méthodes de sélection des races et de méthodes de gestion des accouplements. Par conséquent, les risques de dérive

génétique et d'augmentation de la consanguinité sont toujours présents (Thuy et al., 2009, Cuc et al., 2011a).

---

## **Chapitre 2**

# **Objectifs et hypothèses**

---

## **1. Objectifs**

### **1.1. Objectif général**

Déterminer le niveau de production des races indigènes de poulets au Vietnam afin de proposer des pistes de stratégies durables de conservation et d'exploitation de ces races.

### **1.2. Objectifs spécifiques**

- Fournir une information détaillée des caractéristiques d'élevage des races indigènes Ho et Dong Tao.
- Déterminer les caractéristiques phénotypiques des races Ho et Dong Tao.
- Caractériser les performances zootechniques et la qualité de productions des races Ho et Dong Tao.
- Caractériser génétiquement les races Ho, Dong Tao, Mia et Mong.

## **2. Hypothèses**

Les races indigènes de poulets sont élevées dans des systèmes extensifs manquant de gestion d'accouplement et de sélection adaptée. Cela a induit une diminution de la diversité génétique et une augmentation de la consanguinité de ces races. Une caractérisation génétique des quatre races indigènes Ho, Dong Tao, Mia et Mong va permettre de les distinguer entre elles.

---

# **Section expérimentale**

---



---

# Chapitre 3

## Étude 1

### Caractéristiques des systèmes d'élevage des poules Ho et poules Dong Tao

---

Les systèmes d'élevage extensif et semi-intensif représentent la majorité des élevages aviaires au Vietnam. En 2020, la population de poules de races indigènes et de races croisées (race exotique x race locale) représentait 73,21% du total de la population de poules au niveau national (GSO, 2021). Il s'agit d'élevages de types extensif et semi-intensif. Dans le système d'élevage extensif, les poules peuvent se déplacer librement, sans contrôle des accouplements. Ces systèmes conduisent à l'augmentation des risques de maladie et à la réduction du rendement productif. Cependant, la plupart des éleveurs préfèrent ces systèmes en raison du moindre investissement qu'ils impliquent et de leurs habitudes d'élevage.

Toutefois, ces systèmes d'élevage extensif de poules et de petites fermes sont actuellement en déclin en raison des risques des maladies accrues, de la faible rentabilité économique et de la productivité faible de l'élevage (DAP, 2020). Selon un rapport de Giap et al. (2015), le nombre de fermes utilisant l'élevage semi-intensif est en croissance, la taille des fermes devenant de plus en plus grande en parallèle.

Les études sur les systèmes de production des races indigènes sont très utiles pour comprendre les conditions d'élevage, les risques en élevage (maladie, consanguinité...) et la possibilité d'améliorer la productivité de ces races

Cette étude présente la caractérisation des systèmes d'élevage de poules indigènes du Vietnam, utilisant deux races comme cas d'étude: la race Ho et la race Dong Tao. Les résultats présentés ont été publiés sous la forme d'un article scientifique dans la revue nationale vietnamienne « Journal of Animal Husbandry Sciences and Technics » et d'un autre accepté dans la revue "Veterinary World".

---

# Article 1

## **Characteristics of Vietnamese indigenous chicken farming systems: The case of Dongtao chicken**

---

Accepté dans Veterinary World

**Duy Nguyen Van<sup>1,2</sup>, Evelyne Moyse<sup>1</sup>, Nassim Moula<sup>1</sup>, Xuan Nguyen Thi<sup>3</sup>, Luc Do Duc<sup>3</sup>, Ton Vu Dinh<sup>2</sup>, Frédéric Farnir<sup>1\*</sup>**

\*Corresponding author: Frédéric Farnir

Tel: +32 (0)497 73 85 35, Fax: +32 (0)4 366 41 28, E-mail: [F.Farnir@uliege.be](mailto:F.Farnir@uliege.be)

<sup>1</sup>Department of Animal Production, FARAH research unit, Faculty of Veterinary Medicine, University of Liege, Liege 4000, Belgium

<sup>2</sup>Centre for Interdisciplinary Research on Rural Development, Vietnam National University of Agriculture, Hanoi 100000, Vietnam

<sup>3</sup>Faculty of Animal Science, Vietnam National University of Agriculture, Hanoi 100000,

**Characteristics of Vietnamese indigenous chicken farming systems: The case of Dongtao chicken**

Duy Nguyen Van<sup>1,2a</sup>, Evelyne Moyses<sup>1a</sup>, Nassim Moula<sup>1a</sup>, Xuan Nguyen Thi<sup>3a</sup>, Luc Do Duc<sup>3a</sup>, Ton Vu Dinh<sup>2a</sup>, Frédéric Farnir<sup>1a\*</sup>

**\*Corresponding author:** Frédéric Farnir

**Tel:** +32 (0)497 73 85 35, **Fax:** +32 (0)4 366 41 28, **E-mail:** [F.Farnir@uliege.be](mailto:F.Farnir@uliege.be),

<sup>1</sup>Department of Animal Production, FARAH research unit, Faculty of Veterinary Medicine, University of Liege, Liege 4000, Belgium

<sup>2</sup>Centre for Interdisciplinary Research on Rural Development, Vietnam National University of Agriculture, Hanoi 100000, Vietnam

<sup>3</sup>Faculty of Animal Science, Vietnam National University of Agriculture, Hanoi 100000, Vietnam

<sup>a</sup>These authors contributed equally to this work.

**ORCID**

Frédéric Farnir <http://orcid.org/0000-0003-3430-9930>

Duy Nguyen Van <http://orcid.org/0000-0001-8971-5245>

Ton Vu Dinh <http://orcid.org/000-0002-2041-8901>

Luc Do Duc <http://orcid.org/0000-0003-3364-1296>

Evelyne Moyses <https://orcid.org/0000-0002-1592-608X>

Nassim Moula <https://orcid.org/0000-0003-4438-8759>

Xuan Nguyen Thi <https://orcid.org/0000-0001-6369-6816>

**Title of the manuscript :** Characteristics of Vietnamese indigenous chicken farming systems: The case of Dongtao chicken

**ABSTRACT**

**Objective:** The objective of this study aimed to understand the willingness of breeders to improve their husbandry, as well as the constraints and opportunities for improving practices, including the management of the Dongtao breed.

**Methods:** We conducted a survey of 120 households from September 2014 to April 2015 on 120 households raising Dongtao chickens in the Dongtao commune. The interviews were semi-structured, to allow the breeders to come up with novel perspectives. The survey covered household socio-economic characteristics (household composition, activities, agricultural assets, and animal species kept), poultry-keeping motivations, breeding practices (feeding, housing), poultry breeds (number, animal categories and production type) and management (breeding schemes, criteria).

**Results:** The results reveal three distinct systems of Dongtao husbandry. Nearly half (45.83%) of the breeders can be described as semi-intensive, although tending towards intensive breeding. The second system includes 31.67% of the breeders and can be described as a semi-extensive breeding system, evolving towards semi-intensive breeding. Finally, the third system was extensive breeding. These three groups differ in terms of land area, number of Dongtao chickens, animal genetics, feeding management and breeder education level.

**Conclusion:** The Dongtao chicken farming with an economic objective report many problems, such as chick malformations and low laying rates in their Dongtao flocks. Therefore, educating breeders in good management practices could be advantageous from an economic point of view, but also for the conservation of this local breed.

**Keywords:** Vietnam; Native chicken; Breeding systems

## INTRODUCTION

In the context of an increasing global demand for animal products, livestock remains an important and promising agricultural sector [1]. The livestock industry not only produces food, but also generates income and supports livelihoods for rural people [2]. Native chickens are very important for low-income farmers in Africa, Asia, South America and the South Pacific [3]. Raising native animal breeds, which are adapted to familial herds and subsistence smallholders and to local conditions, is one way to increase household income and improve farmers' living standards in developing countries. This activity also contributes to strengthening the ethnic and cultural affiliation of the breeders. In addition, the use of local breeds in familial herds contributes to the preservation of animal biodiversity and the conservation of animals *in situ*. They play an important role in food security, especially in areas with harsh climates [4, 5].

Small-scale poultry farming plays an important role in Vietnam, from an economical viewpoint in terms of the sale of eggs or meat, but also at the socio-cultural level. The use of chickens as a gift in traditional festivals, or when receiving visitors, contributes to strengthening social cohesion in traditional communities [6-8]. In Vietnam, poultry production has increased rapidly in recent years. The population of chickens in Vietnam was ranked 19th (153.937 million heads) globally in 2005, and 14th (277.189 million heads) in 2016 [9]. According to Duc and Long [6], Vietnamese poultry production units were primarily privately owned, and the most common poultry breeds were local breeds raised in a non-intensive system. Nowadays, livestock farming in Vietnam is moving towards an increasing number of large farms, many of these exploiting exotic specialized lines and more productive strains. This has resulted in a reduction in the number of small farms [10]. Additionally, Moula [7] estimated that the rearing of local chickens in familial farms is done without mating controls. This lack of controls may result in crossbreeding between exotic strains and local pure breeds, leading to a dilution of local genetic resources [11].

The Dongtao (DT) breed is one of 28 indigenous chicken breeds present in Vietnam [6] and one of the three local chicken breeds with the highest conservation priority [12]. Breed's characteristics are its large size, massive body, slow growth and poor laying performance. It is easily identified, with different feather colors for males and females [13]. However, the best-known characteristic of this breed is the presence of very large legs, which sometimes leads to it being nicknamed “the breed of dragon chickens”. Although Vietnamese consumers usually prefer small chickens [7], DT meat is an appreciated (and expensive) delicacy [14]. As with other Vietnamese avian breeds, few studies have attempted to characterize this breed and its management. However, a better understanding of such breeding systems is necessary to improve DT chicken husbandry, a necessary step for the sustainable exploitation and the conservation of the breed. In this context, the goal of this study is to characterize Dongtao chicken farming systems, including management practices, flock structure, the main uses of products, and the chickens' living environment (housing, feeding etc.). This will contribute to the optimal implementation of a conservation program for this breed, a native and historical chicken breed in Vietnam.

## **MATERIALS AND METHODS**

### **Overall study design**

A survey was conducted from September 2014 to April 2015 on 120 households raising Dongtao chickens in the Dongtao commune. This commune was chosen because it is the origin of the breed, as evidenced by its name, because the commune is still an important supplier of individuals of this breed today, and because this area is still the most densely populated with farms raising Dongtao [15].

### **Study area**

Dong Tao commune is located in the Khoai Chau district, one of 10 districts of the Hung Yen province in Northern Vietnam. It is located 30 km southeast of Hanoi in the Red River delta, a plains region. The commune has about 1640 farms raising Dongtao chickens, spread over the four villages which make up the commune (800 in Dong Tao Dong, 450 in Dong Tao Nam, 280 in Dong Kim and 110 in Dung Tien) [16]. Located in a monsoon tropical climate, the average temperature in the commune oscillates between 23.2°C and 25°C, and the average rainfall ranges from 1500 to 1600 ml per year, concentrated between May and October annually [17]. Besides Dongtao chickens, contacted farmers raised also pigs, cattle and ducks.

### **Survey of households raising Dongtao chickens**

We used a stratified random sampling procedure to select the herds: first, we sampled a number of farms in each village, corresponding to the relative frequencies as much as possible. Next, within the villages, we used stratified random sampling to avoid including farms that were too close to each other in order to obtain better coverage of the village. This approach led us to sample 60 herds from Dong Tao Dong, 36 from Dong Tao Nam, 18 from Dong Kim and 6 from Dong Tien.

The interviews were semi-structured, to allow the breeders to come up with novel perspectives. The survey covered household socio-economic characteristics (household composition, activities, agricultural assets, and animal species kept), poultry-keeping motivations, breeding practices (feeding, housing), poultry breeds (number, animal categories and production type) and management (breeding schemes, criteria). The first author of the study conducted all interviews.

Thirty-four qualitative variables covering 11 categories (flock size, education of farmer, type of housing, flock origin, feed source used in feeding, shelter material, medication, genetic management, criteria selection, main farm output and problems in DT chicken production) describing the farms were collected in the survey (Table 2, 3).

Aside from the qualitative variables, we also collected quantitative variables. These variables include the total number of Dongtao chickens in the herd (TOTAL\_DT), the number of females and males between eight weeks and 24 weeks of age (FEMAL8\_24W, COCK8\_24W respectively), the number of adult males (COCKS) and females (HENS), the number of chicks younger than seven weeks (CHICKS), and the herd area size (AREA\_SIZE) (Table 1).

### Statistical analysis

The aim of this work was to uncover an underlying structuration of the investigated herds into different types of farms, using the collected variables. To that end, we have conducted a multiple correspondence analysis (MCA) on all qualitative variables, using quantitative variables as supplementary variables (34 variables). MCA is used to represent items (farms, in this study), defined using a set of categorical variables, as points in a low-dimensional (two or three dimensions) Euclidean space.

For each variable, we computed:

- The average value of the first two components of the MCA for each possible value of the variable (i.e. for each modality);
- The part of the variation of each component explained by the various possible values of the variables (i.e.  $R^2$  values).

ANOVAs was used to test whether the mean values of the first two components corresponding to the different values of our variables differed. In addition, we tested whether the mean values of the components associated with each value of our variables differed from 0, using a Student's t-test. In order to categorize the various farming systems used in the tested households, we performed a hierarchical clustering on the principal components (HCPC) from the MCA results, using the HCPC procedure (Ward's criterion) from the FactoMineR R package. The quantitative variables were not used for the construction of the MCA and HCPC, but they were useful in the interpretation of these analyses. To this end, we compared the medians of these quantitative variables for the obtained clusters, using a Kruskal-Wallis test (using `kruskal.test` function of R). The associations between the categorical variables, and the clusters obtained from the HCPC analysis were tested using classical  $\chi^2$  and exact Fisher tests (with `chisq.test` and `fisher.test` functions from the R software, respectively).

## RESULTS

### General characteristics of the surveyed Dongtao chicken farms

Descriptive statistics of the collected sample are provided in Tables 1- 3. Using some of the main categories described above provides interesting observations:

*Feeding the chickens:* Aggregating the results associated with different feed sources (maize, rice, rice paddies, commercial feed, by-products of the food industry, vitamins) leads to a more detailed picture of how farmers feed their chickens. Twenty-three households used other ingredients than those proposed in this study, and two only used one source (rice paddies). More than two-thirds (66/97) of the remaining farmers were using vitamins, paddy and corn (36), or vitamins, paddy, corn and a commercial feed (Figure 1A).

*Chicken housing:* In most herds (87.5%), farmers used simple housing that permitted chickens free access to the outside. In cases where chickens were completely housed (without access to the outside), about 80% flocks had fewer than 50 birds. Cement and/or wood were used as building materials in all poultry houses, and there was prevalent (98%) use of bamboo and/or wood in the sampled herds (Figure 1B). While more than 80% of the owners were using feed trays, only approximately one-third (35%) were using water trays.

*Health management:* Although we only investigated this aspect using four medical treatments (three vaccines – Newcastle, Gumboro and Marek – and one anti-parasitic treatment), some interesting observations are possible. Each of the farms in our sample used at least two of the four treatments (Figure 1C). In particular, each farm vaccinated for Newcastle and/or Gumboro. Furthermore, nearly half (46%) of the farms used all four treatments investigated in our study.

*Breeding practices and selection:* Given the large differences in the farm outputs and in the owners' motivations (i.e. breeding or domestic production), the selection objectives are likely to vary greatly between herds. Nevertheless, some important selection criteria are visible in the collected data set. More specifically, main selection criteria for males and females were the phenotypes (feather color, comb type, tarsus color, and tarsus size), body size and origin of the animals.

Although 48 (40%) farmers were using all these criteria to choose their birds (Figure 3D), 25 (21%) breeders considered only the male phenotypes in their choices, while 28 (23%) used most of the criteria but did not pay attention to the origin of their males and to the size of their females. Nevertheless, male phenotypes seemed to be a primary criterion for Dongtao breeders (Table 3, Figure 1D). Additionally, although strict control of mating was rarely used (7.5%), the breeders seemed to be aware of the need to refresh their genetic pool and most of them (70%) used animal exchanges to that end (Table 3).

*Farm products:* More than half of the farms (55%) (Table 2) did not produce any product for sale, they were only breeding chickens for auto consumption (Figure 1E). In the 54 remaining households, except for two that specialized in only producing and selling live chicks, all herds commercialized at least two, and mostly three to four, of the four suggested farm outputs (eggs to be incubated, live chicks, broilers,

cull/off layers). Note that, due to the rarity of the breed and the price of the birds, eggs are generally not consumed. Another observation is that 53 out of 54 herds with commercial activity produced live chicks (Figure 1E).

*Concerns in Dongtao husbandry:* The farmers reported three main concerns: low laying performance, chick malformation, and diseases. A huge majority (91/120 – 76%) of the interviewees reported problems and, in most (90/91) cases, several problems (29 declared that they faced these three main problems). 88 herds faced frequent disease problems, most frequently diarrhea and respiratory diseases (Figure 1F).

### **Dongtao chicken farming typology**

Based on the 34 variables collected on the samples, we performed a MCA in order to identify flock types. The two first principal components (PC1 and PC2) from the MCA analysis explained 35.3% and 13.6% of the variation for the first and second component, respectively. Figure 2 shows how the two first components of MCA can help to uncover categories of Dongtao farms. Three different clusters of Dongtao chicken farms were identified using a hierarchical classification of the MCA method results (Figure 3). This figure shows the three groups of breeders. Roughly, most farms with  $PC1 < 0$  and  $PC2 > 0$  make up cluster 1, those with  $PC2 < 0$  make up cluster 2, and those with  $PC1 > 0$  and  $PC2 > 0$  make up cluster 3 (with few exceptions).

The main characteristics of these clusters as following:

*Cluster 1:* this cluster grouped 55 farms (45.83% of the samples). All breeders in this cluster have a herd with more than 100 heads (Table 1). However, the number of females of each farm is not very important with about 40 hens and 40 females between 8 and 24 weeks of age. They control mating and they have incubators. The farmers of this cluster have significantly larger land area and the largest numbers of Dongtao chickens. The number of males is similar to the other clusters, but the number of females, of females between eight and 24 weeks, and of cocks between eight and 24 weeks is significantly higher than in cluster 3. The number of chicks younger than seven weeks is significantly higher than in cluster 2 (Table 1). Moreover, the breeders' education levels are mostly secondary or high school levels. Most farms have chicken housing with access to outside (76,36%) and use bamboo (78.18%) and wood (81. 82%) as shelter materials (Table 2). Moreover, they commercialize various products (fertilized eggs, chicks, broilers and reformed hens), while, in contrast, breeders from the other two clusters rarely sell all these products.

Regarding to genetic management, More than 50% of the flocks of this group have been purchased (Table 3). Most breeders from this cluster also use several selection criteria for their females and males (98.18% of the farmers use phenotype and size criteria to select the males, while 95.55% use these 2 criteria for the females. Besides, most breeders take into consideration the origin of the birds in the selection of males (87.27%) and females (85.45%). Frequent occurrences of diseases, malformations



and low laying performance are reported by the farmers. These farms were classified as semi-intensive, but evolving towards an intensive production system.

*Cluster 2:* This cluster contains 38 breeders (31.67% of the total). It includes the farms with the lowest number of Dongtao chickens and of chicks younger than seven weeks (Table 1). The breeders in this cluster have generally small herds and more than 80% of them have flock size less than 50 hens. Most of the breeders with a primary and secondary school level as highest attained level of education (81.58%) are in this cluster. All the breeders from this cluster keep poultry that can generally wander freely, and bamboo and wood are also used in almost of the farms as shelter material.

The farmers only exchange males to manage their genetics. The most important criterion to select the males and the females is the phenotype, although the size and conformation criteria are more considered for males than for females (94.74% and 18.42% for male and female respectively). For the females, they also consider the origin but much less frequently than the farmers from cluster 1 (Table 3).

The majority of these breeders uses all cited medications. Most of them report disease and low reproductive performance concerns in rearing Dongtao chickens (Table 2). In view of these characteristics, we classify these herds as semi-extensive breeding farms, with a tendency to evolve towards a semi-intensive breeding system.

*Cluster 3:* This cluster groups 27 breeders (22.5% of the total). The number of Dongtao chickens for the farms in this cluster is lower than in cluster 1, but higher than in cluster 2. Moreover, they have significantly more chicks younger than seven weeks than cluster 2 (Table 1). As in cluster 2, the flock size is small, all farms have less than 100 hens. This group comprises only breeders with a bachelor degree (in any field, including agriculture). Most breeders from this cluster do not use feed supplementation and only few farms have feeding and water trays. Moreover, they use no medication except for one breeder who used anti-parasitic medication (Table 2). In this cluster, all breeders use intra-flock mating as their reproduction and genetic management strategy. The selection of males is mainly based on the phenotype, and the selection of females rarely uses the three proposed criteria. Moreover, the farmers report no sale of their products, they breed chickens for auto consumption. They also did not declare any detected problem such as disease, laying performance or malformed chicks. These herds are therefore classified as extensive breeding herds.

## **DISCUSSION**

The aim of this study was to understand the livestock systems used for the Dongtao chicken breed. The study showed that the development strategy of Dongtao chicken husbandry could be divided into three different clusters. Almost half of the interviewed farmers use a breeding strategy that we consider as a semi-intensive breeding approach, tending towards intensive breeding (cluster 1). In this cluster, the size of the flocks and the production area are larger compared to the other two identified sets of breeders. Indeed, we see the use of commercial animal feed, permanent housing, feeding and drinking troughs, and a vaccination protocol – which are characteristics common to the farms of this group – as signs of

an evolution towards more intensive activity. According to Abdelqader [18], the use of commercial animal feed demonstrates a desire to improve the productivity of raising by providing additional feed. Most breeders in this cluster have purchased their flock, which further demonstrates a more professional approach. Furthermore, the main objective of this cluster is clearly the maximization of economic efficiency by selling various kinds of products. Moreover, previous studies Ton and Hanh [19]; Burgos [20] have reported that the percentage of households using feeding and water trays increases when the strategy of husbandry becomes more intensive. Actually, these materials allow an increase in production intensity.

In this cluster, various kinds of products are sold, including hatching eggs. This evolution in commercial practices reflects the convenient development of transportation systems, telephone and internet, making the sale of products from farming activities easier. For example, fertilized eggs are commonly sold in other localities, such as the southern provinces of Vietnam, where shipping chicks is difficult, but selling fertilized eggs is easy. Consequently, the Dongtao chicken farms from this cluster have the highest commercialization rates. The production system in cluster 1 represents a transitional type between traditional to more market-integrated commercial poultry production, combining traditional practices with improved technology and marketing [20].

Although, the breeders report mating controls and chicken selection strategies in this cluster, they also mentioned many common problems such as chick malformation and low laying rates. These encountered difficulties might reflect consanguinity inside their flock, as reported by Thuy [21] and Pham [11], although proper control of mating and cock exchange, which are frequently used by these farmers, should facilitate the control of inbreeding. Nevertheless, according to Cuc [12], the average inbreeding index in the Dongtao population remains quite high, similar to results obtained for other local breeds: according to Thuy [21] the inbreeding index in the Ho, H'mong and Tre breeds were 0.101, 0.174 and 0.169, respectively. According to Berthouly [22], the exchange of chickens (cock and hen) for mating in the same breed within the same commune led to some homogenisation of the gene pool. It increased the consanguinity and the rate of chicks' malformations. Therefore, the current genetic management of the Dongtao breed might not be very effective, even in this cluster where more professional practices tend to be used. Since inbreeding problems should also be expected in the other farms for the same reasons, another potential explanation of the higher rate of detected problems is a higher sensitivity of the farmers of cluster 1 to these problems.

The second cluster highlighted in this study grouped breeders with a low level of education. According to Moula [7] and Abdelqader [18], education level has a major influence on the management of livestock raising activities in households. Furthermore, breeders in cluster 2 have the lowest number of Dongtao chickens and a low diversity in the products they sell. However, the use of medication and feeding troughs by these breeders seems to reveal a change towards a semi-intensive breeding approach. Indeed, these characteristics have been associated with strategies of semi-extensive breeding [7, 18].

Finally, the last cluster grouped farmers breeding chickens for their own consumption. Indeed, these farmers reported no sales of products. Their practices are less professional, for example with no use of drinking or feed troughs. Berthouly [22] reported that native chicken populations play a very important role in the structure of the household economy. Products obtained from raising local breeds are used for household consumption [6, 23]. The flocks of the breeders from this cluster are often inherited, and so are not necessarily used as a primary source of revenue. Actually, these breeders have the highest education levels, which most probably means that, with their diploma, they have a better chance of finding work outside of the agricultural sector. Consequently, the source of income for these families usually comes from sources outside of husbandry, including salaries and trade. Our survey also revealed that the flock origin in this group is diverse and comes from various sources such as inheritance, gifts and purchases. According to Moula [7], the diversity is often greater in household-run farms. The farmers can expand their flock size by receiving chickens from different sources.

The selection of the best animals is a popular activity in the Dongtao breeder community. Selection is based on the farmers' experience. Although the main criterion for all breeders is the phenotype, interestingly, the number of criteria used to select the animals differs from one livestock production system to another: the more intensive the breeding, the more different the selection criteria used to select the chickens. Dongtao is a very important breed in the residential community. Advertising or promoting crosses between Dongtao chickens and other breeds is not allowed [6]. The farmers immediately slaughter chickens with a different phenotypic appearance as coming from exotic sources [7]. Moreover, the Dongtao chickens, with their beautiful feather colours, big legs and large sizes, are often sold at higher prices. The maintenance of a pure Dongtao chicken population, with its unique phenotype and with higher selling prices, is usually considered as essential by the farmers. Therefore, a within breed selection to improve the economic efficiency of the livestock production systems is seen as an important objective for the conservation of the breed.

## CONCLUSION

Three different systems of Dongtao chicken husbandry have been highlighted, including semi-intensive breeding which tends towards an intensive breeding, semi-extensive breeding which tends towards a semi-intensive breeding, and extensive breeding. Land area and farmers' educational levels are the main factors with a major influence on the livestock farming strategy of Dongtao chicken breeders.

Breeders with an economic objective report many problems, such as chick malformations and low laying rates in their Dongtao flocks. As these problems might result from inbreeding, better control of mating and informing breeders on how to prevent inbreeding could allow a reduced incidence of these problems. At the same time, this would potentially allow an improvement in breed production efficiency. Therefore, educating breeders in good management practices could be advantageous from an economic point of view, but also for the conservation of this local breed.

## CONFLICT OF INTEREST

The authors declare that they have no conflict of interest.

## ACKNOWLEDGEMENTS

We express our thanks to Académie de Recherche et d'Enseignement Supérieur - Commission de la Coopération au Développement (ARES – CCD) for its financial support for this research.

## REFERENCES

1. Delgado CL, Rosegrant MW, Meijer S. Livestock to 2020: The revolution continues. annual meetings of the International Agricultural Trade Research Consortium (IATRC), Auckland, New Zealand 2001; N°.0039-2016-74542.
2. FAO. Perspectives agricoles de l'OCDE et de la FAO 2014-2023. Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture 2014; p. 254.
3. Berthouly-Salazar C, Rognon X, Van T, Gely M, Chi CV, Tixier-Boichard M, et al. Vietnamese chickens: a gate towards Asian genetic diversity. *Biomed central genetics*. 2010;11(53):1-11.
4. Minga UM, Mtambo MMA, Katule AM, Mutayoba SK, Mwalusanya NA, Lawrence P, et al. Improving the health and productivity of the rural chicken in Africa: research and development efforts in Tanzania. *ACIAR PROCEEDINGS*; 2001: ACIAR; 1998; 134-9.
5. Halbouche M. Aviculture, gènes et climat : la nouvelle révolution des gènes adaptatifs. 11<sup>èmes</sup> JISV "Les Ressources Génétiques Animales en Algérie"; 30 Novembre et 01 Decembre 2013; ENSV-El Harrach Alger. ENSV-El Harrach Alger 2013. p. 1-7.
6. Duc NV, Long T. Poultry production systems in Vietnam. Rome: Food and agriculture organisation: Animal Genetics and Breeding Department, National Institute of Animal Husbandry, Viet Nam 2008; 1-18.
7. Moula N, Dang PK, Farnir F, Ton VD, Binh DV, Leroy P, et al. The Ri chicken breed and livelihoods in North Vietnam: characterization and prospects. *Journal of Agriculture and Rural Development in the Tropics and Subtropics (JARTS)*. 2011;112(1):57-69.
8. Duy NV, Nassim M, Dang PK, Hiep DT, Doan BH, Ton VD, et al. Ho Chicken in Bac Ninh Province (Vietnam): From an Indigenous Chicken to Local Poultry Breed. *International Journal of Poultry Science*. 2015;14(9):521-8.
9. FAO. Faostat 2018 [cited 2018 May 25]. Available from: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QA>.
10. Ton VD, Hanh HQ. Overview of livestock production in Vietnam: opportunities and challenges in perspective of sustainable development. *Animal production in Southeast Asia: Current status and Future*; 2017 21-22, July; Hanoi, Vietnam.
11. Pham MH, Berthouly-Salazar C, Tran XH, Chang WH, Crooijmans RP, Lin DY, et al. Genetic diversity of Vietnamese domestic chicken populations as decision-making support for conservation strategies. *Animal genetics* 2013;44(5):509-21.

12. Cuc NTK, Weigend S, Tieu HV, Simianer H. Conservation priorities and optimum allocation of conservation funds for Vietnamese local chicken breeds. *Journal of Animal Breeding and Genetics* 2011;128(4):284-94.
13. Duy NV, Moyse E, Nassim M, Luc DD, Phuong NT, Tien ND, et al. Morphological characteristics of indigenous chicken Ho and Dong Tao in vietnam. *Journal of animal husbandry sciences and technics* 2019(247):2-7.
14. Lan Phuong TN, Dong Xuan KDT, Szalay I. Traditions and local use of native Vietnamese chicken breeds in sustainable rural farming. *World's Poultry Science Journal* 2015;71(02):385-96.
15. MARD. Atlas of Vietnamese animal breed. Ministry of Agriculture and Rural Development Vietnam 2016. p. 56.
16. Dong Tao Commune. Reports of the Dong Tao Commune People's Committee 2014. p. 24.
17. GSO. Statistical handbook of Viet Nam. General statistic office: Statistical Publishing House 2016; 1-291 .
18. Abdelqader A, Wollny CBA, Gauly M. Characterization of local chicken production systems and their potential under different levels of management practice in Jordan. *Tropical animal health and production* 2007;39(3):155-64.
19. Ton VD, Hanh HQ. Characteristics and operation of animal production systems in Cam Giang district of Hai Duong province. *Vietnam journal of Agricultural Sciences* 2012;6(2):146-52.
20. Burgos S, Hanh PTH, Roland-Holst D, Burgos SA. Characterization of poultry production systems in Vietnam. *International Journal of Poultry Science* 2007;6(10):709-12.
21. Thuy LT, Binh NT, Ba NV. Genetic polymorphim analysis of five Vietnam native Ac, Choi, Ho, H'mong and Tre chicken breeds using microsatellites. *Journal of Biotechnology* 2009;7(4):443-53.
22. Berthouly C, Leroy G, Van TN, Thanh HH, Bed'Hom B, Nguyen BT, et al. Genetic analysis of local Vietnamese chickens provides evidence of gene flow from wild to domestic populations. *Biomed central genetics* 2009;10(1):1-8.
23. Phuong TNL, Xuan KDTD, Szalay I. Traditions and local use of native Vietnamese chicken breeds in sustainable rural farming. *World's Poultry Science Journal* 2015;71(2):385-96.

**Table 1.** Quantitative characteristics of the households raising Dongtao chickens

| Variables                   | R <sup>2</sup> | Cluster 1                    | Cluster 2                      | Cluster 3                      | Total                   |
|-----------------------------|----------------|------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|-------------------------|
| Household size (n)          | 0.32           | 4<br>(3 – 4.5)               | 3.5<br>(3 – 4)                 | 4<br>(2 – 4.5)                 | 4<br>(3 – 4)            |
| p-values <sup>1</sup>       |                | 0.24                         | 0.10                           | 0.33                           |                         |
| Farmer's age (years)        | 0.33           | 50<br>(35.5 – 58)            | 53.5<br>(39.5 – 60)            | 53<br>(44 – 62)                | 51.5<br>(37.75 – 58.25) |
| p-values                    |                | 0.07                         | 0.18                           | 0.16                           |                         |
| Land area (m <sup>2</sup> ) | 0.38           | 300<br>(200 – 490)           | 200<br>(200 – 200)             | 150<br>(70 – 325)              | 200<br>(200 – 300)      |
| p-values                    |                | 0.0001                       | 0.1015                         | 0.0021                         |                         |
| Total number of DT chickens | 0.46           | 224<br>(151 – 347)           | 65.5<br>(43 – 128.8)           | 125<br>(95 – 263)              | 143.5<br>(79.5 – 268.5) |
| p-values                    |                | 0.0001                       | 0.0038                         | 0.0066                         |                         |
| of males                    | 0.32           | 9<br>(6.5 – 17.5)            | 8<br>(5 – 14.25)               | 7<br>(4 – 10)                  | 8<br>(5 – 15)           |
| p-values                    |                | 0.61                         | 0.10                           | 0.08                           |                         |
| of females                  | 0.28           | 40 <sup>a</sup><br>(30 – 49) | 27.5 <sup>b</sup><br>(20 – 40) | 24 <sup>b</sup><br>(14 – 38)   | 30<br>(20 – 45)         |
| p-values                    |                | 0.0035                       | 0.0029                         | 0.3169                         |                         |
| of cocks<br>(8–24 weeks)    | 0.39           | 40 <sup>a</sup><br>(20 – 50) | 0 <sup>b</sup><br>(0 – 26.5)   | 6 <sup>b</sup><br>(0 – 21)     | 20<br>(0 – 50)          |
| p-values                    |                | 0.0001                       | 0.4505                         | 0.0009                         |                         |
| of females<br>(8–24 weeks)  | 0.45           | 40 <sup>a</sup><br>(30 – 75) | 0 <sup>b</sup><br>(0 – 19.25)  | 5 <sup>b</sup><br>(0 – 17.5)   | 20<br>(0 – 46.25)       |
| p-values                    |                | 0.0001                       | 0.0001                         | 0.0002                         |                         |
| of chicks<br>(–7 weeks)     | 0.34           | 76 <sup>a</sup><br>(0 – 175) | 0 <sup>b</sup><br>(0 – 30)     | 100 <sup>a</sup><br>(35 – 150) | 50<br>(0 – 100)         |
| p-values                    |                | 0.0002                       | 0.0001                         | 0.5000                         |                         |

<sup>1</sup>p-value in cluster 1 for the comparison between cluster 1 and cluster 2, p-value in cluster 2 for the comparison between cluster 2 and cluster 3 and p-value in cluster 3 for the comparison between cluster 3 and cluster 1.

**Table 2.** Dongtao chicken farm characteristics (%)

| Category                                | Cluster 1<br>(n=55) | Cluster 2<br>(n=38) | Cluster 3<br>(n=27) | Total<br>(n=120) |
|---|---------------------|---------------------|---------------------|------------------|
| <i>Flock size</i>                       |                     |                     |                     |                  |
| Flock size less than 50 hens            | 74.55               | 84.21               | 85.19               | 80.00            |
| Flock size from 50 hens to 100 hens     | 12.73               | 15.79               | 14.81               | 14.17            |
| Flock size more than 100 hens           | 12.73               | 0.00                | 0.00                | 5.83             |
| <i>Education</i>                        |                     |                     |                     |                  |
| Primary school level                    | 7.27                | 52.63               | 0.00                | 20.00            |
| Secondary school level                  | 43.64               | 28.95               | 0.00                | 29.17            |
| Higher school level                     | 40.00               | 13.16               | 0.00                | 22.50            |
| Bachelor (any discipline) level         | 9.09                | 5.26                | 100.00              | 28.33            |
| <i>Type of housing</i>                  |                     |                     |                     |                  |
| Simple houses without access to outside | 23.64               | 0.00                | 7.41                | 12.50            |
| Simple houses with access to outside    | 76.36               | 100.00              | 92.59               | 87.50            |
| <i>Used feed sources</i>                |                     |                     |                     |                  |
| Paddy                                   | 100.00              | 100.00              | 11.11               | 80.00            |
| Corn                                    | 92.73               | 97.37               | 11.11               | 75.83            |
| Rice bran                               | 18.18               | 0.00                | 11.11               | 10.83            |
| Commercial animal feed (complete feed)  | 81.82               | 2.63                | 14.81               | 41.67            |
| Kitchen residue                         | 10.91               | 5.26                | 14.81               | 10.00            |
| Vitamin premix                          | 85.45               | 92.11               | 0.00                | 68.33            |
| <i>Used shelter material</i>            |                     |                     |                     |                  |
| Bamboo                                  | 78.18               | 97.37               | 92.59               | 87.50            |
| Wood                                    | 81.82               | 100.00              | 96.30               | 90.83            |
| Cement                                  | 94.55               | 89.47               | 100.00              | 94.17            |
| Feeding tray                            | 100.00              | 100.00              | 14.81               | 80.83            |
| Water tray                              | 58.18               | 15.79               | 14.81               | 35.00            |
| <i>Provide disease prevention</i>       |                     |                     |                     |                  |
| Use of vaccine protocol                 | 94.55               | 94.74               | 0.00                | 73.33            |
| Use of marek's disease vaccine          | 50.91               | 89.47               | 0.00                | 51.67            |
| Use of newcastle disease vaccine        | 78.18               | 92.11               | 0.00                | 65.00            |
| Use of gumboro disease vaccine          | 81.82               | 92.11               | 0.00                | 66.67            |
| Use of anti-parasite medication         | 90.91               | 94.74               | 3.70                | 72.50            |
| <i>Stated constraints</i>               |                     |                     |                     |                  |
| Chickens are often ill                  | 92.73               | 97.37               | 0.00                | 73.33            |

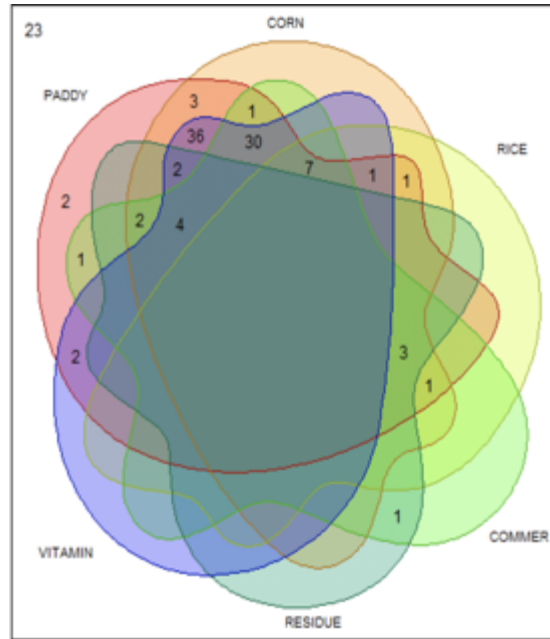
|  |       |       |      |       |
|--|-------|-------|------|-------|
| Insufficient laying                      | 72.73 | 97.37 | 0.00 | 64.17 |
| Chick malformation                       | 81.82 | 0.00  | 0.00 | 37.50 |
| <i>Main product for sell<sup>1</sup></i> |       |       |      |       |
| Incubated eggs                           | 54.55 | 0.00  | 0.00 | 25.00 |
| Chicks                                   | 94.55 | 2.63  | 0.00 | 44.17 |
| Broiler                                  | 85.45 | 2.63  | 0.00 | 40.00 |
| off/cull layers                          | 85.45 | 2.63  | 0.00 | 40.00 |

<sup>1</sup>Sold products are either eggs to be incubated (“eggincu”), chicks (young birds up to seven weeks = “chicks”), adult animals (either young chickens, broilers or animals to be used for reproduction = “broilers”) and off or cull layers (chickens older than 2-2.5 years = “cull”).

**Table 3.** Genetic management of Dongtao chicken the farms (%)

| Category                             | Cluster 1<br>(n=55) | Cluster 2<br>(n=38) | Cluster 3<br>(n=27) | Total<br>(n=120) |
|--------------------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|------------------|
| <i>Flock origin</i>                  |                     |                     |                     |                  |
| Inheritance                          | 16.36               | 2.63                | 37.04               | 16.67            |
| Purchase                             | 54.55               | 21.05               | 0.00                | 31.67            |
| Gift                                 | 9.09                | 2.63                | 0.00                | 5.00             |
| Many: inheritance, purchase and gift | 20.00               | 73.68               | 62.96               | 46.67            |
| <i>Genetic management</i>            |                     |                     |                     |                  |
| Control of mating                    | 16.36               | 0.00                | 0.00                | 7.50             |
| Closed flock management              | 0.00                | 0.00                | 100.00              | 22.50            |
| Exchange of males and females        | 83.64               | 100.00              | 0.00                | 70.00            |
| <i>Males selection criteria</i>      |                     |                     |                     |                  |
| Selection for phenotype              | 98.18               | 100.00              | 85.19               | 95.83            |
| Selection for size, conformation     | 98.18               | 94.74               | 0.00                | 75.00            |
| Selection for origin of bird         | 87.27               | 26.32               | 0.00                | 48.33            |
| <i>Females selection criteria</i>    |                     |                     |                     |                  |
| Selection for phenotype              | 94.55               | 86.84               | 14.81               | 74.17            |
| Selection for size, conformation     | 94.55               | 18.42               | 14.81               | 52.50            |
| Selection for origin of bird         | 85.45               | 34.00               | 14.81               | 70.83            |





**Fig. 1A** Graphical representation of the variables involved in feeding

The numbers represent the number of sampled farms using the (combination of) diet ingredients. The diet ingredients are corn (CORN), husked rice (RICE), commercial feed (COMMER), food residues (RESIDUE), vitamins (VITAMIN), paddy (PADDY). Colors are only used to help visualize the various components and their combinations.



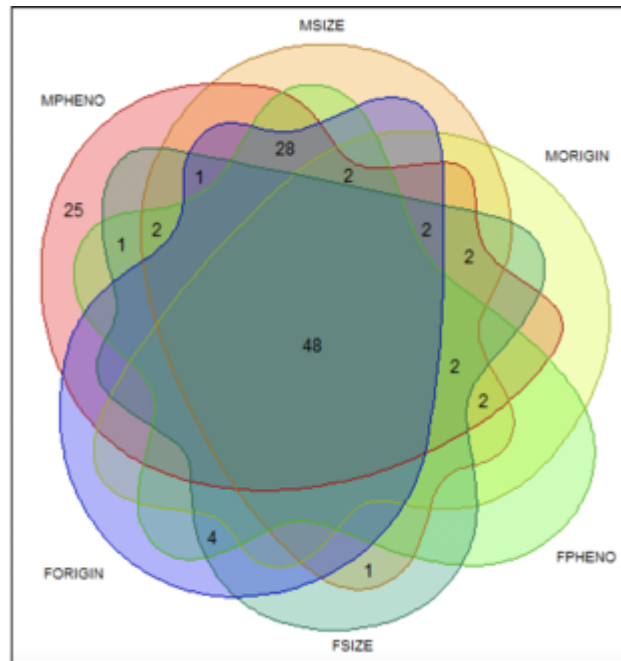
**Fig. 1B** Graphical representation of the variables involved in housing

The numbers represent the number of sampled farms using the (combination of) housing elements. The housing elements are use of wood (WOOD), bamboo (BAMBOO) and cement (CEMENT), and the use of feed (FEEDTRAY) and water (WATERTRAY) trays.



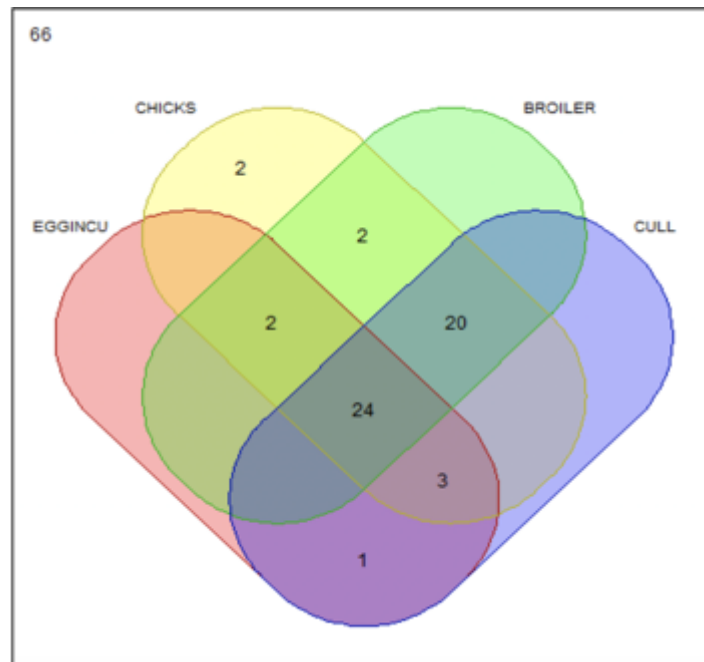
**Fig. 1C** Graphical representation of the variables involved in health management

The numbers represent the number of sampled farms using the (combination of) treatments. The used treatments are Marek vaccination (MAREK), Newcastle vaccination (NEWCASTLE), Gumboro vaccination (GUMBORO), and use of an anti-parasitic treatment (PARASITE).

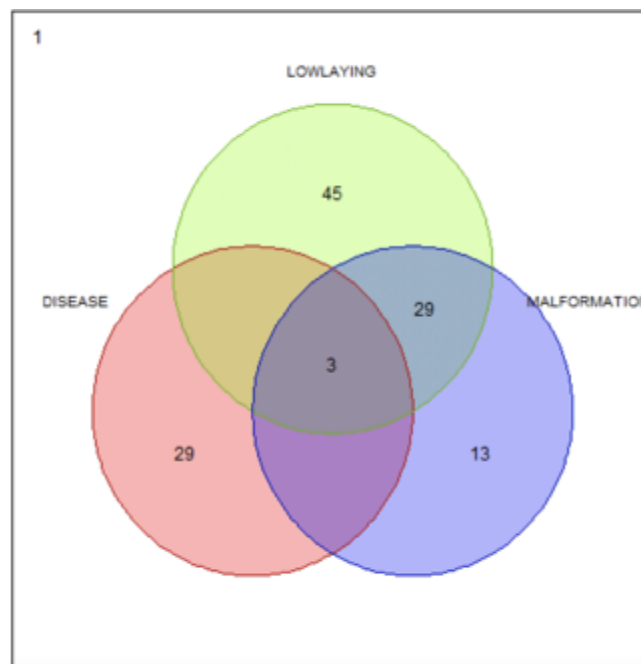


**Fig. 1D** Graphical representation of the variables involved in the selection criteria

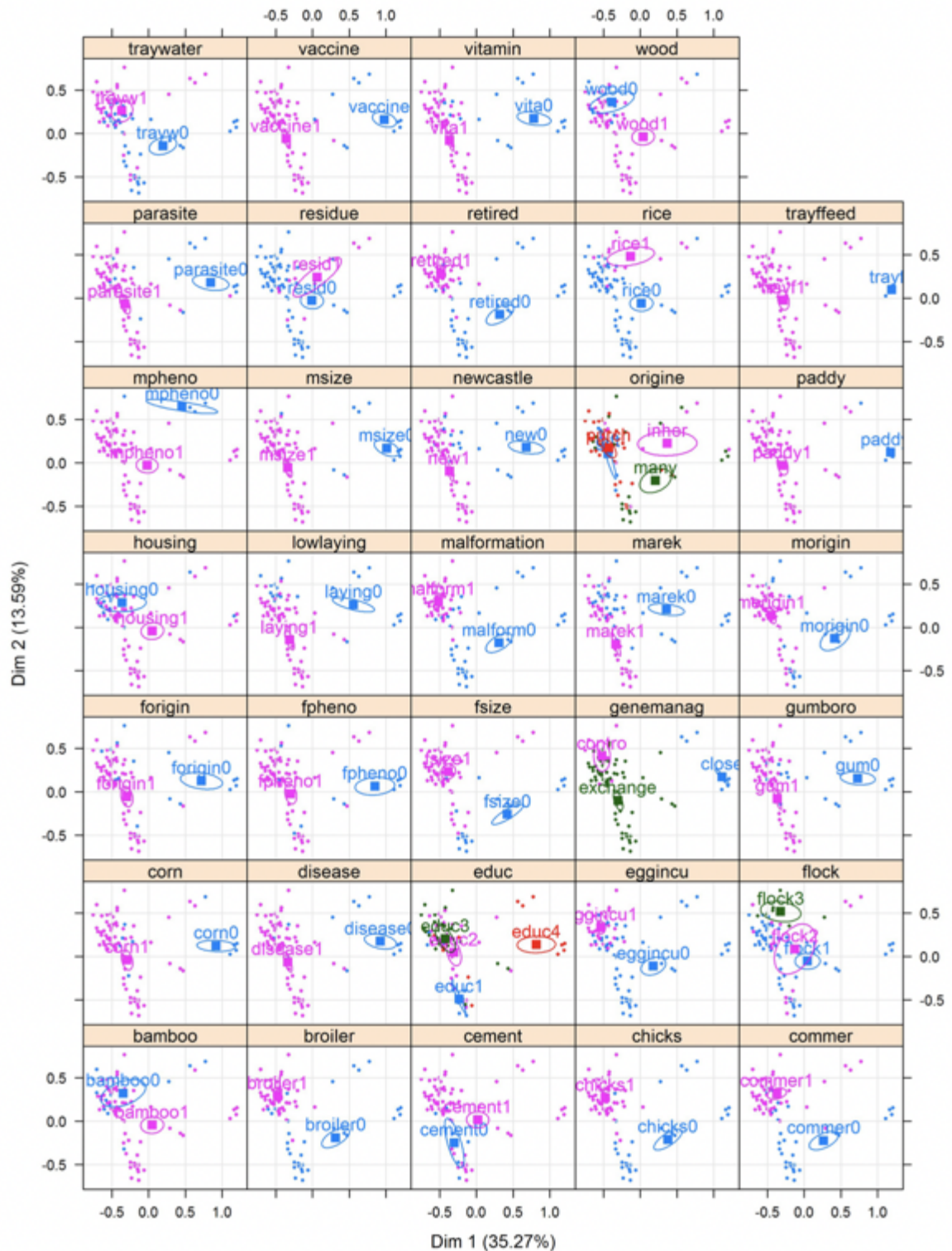
The numbers represent the number of sampled farms using the (combination of) criteria. The criteria are male phenotype (MPHENO), size (MSIZE) or origin (MORIGIN), and female phenotype (FPHENO), size (FSIZE) or origin (FORIGIN).



**Fig. 1E** Graphical representation of the variables involved in the farm outputs  
 The numbers represent the number of sampled farms selling the (combination of) corresponding products. The products are incubated eggs (EGGINCU), live chicks (CHICKS), broilers (BROILER), culls/off layers (CULL).



**Fig. 1F** Graphical representation of the variables related to problems faced when breeding Numbers represent the number of sampled farms meeting these problems. The reported problems are low laying performances (LOWLAYING), diseases (DISEASE) and chicks' malformations (MALFORMATION).



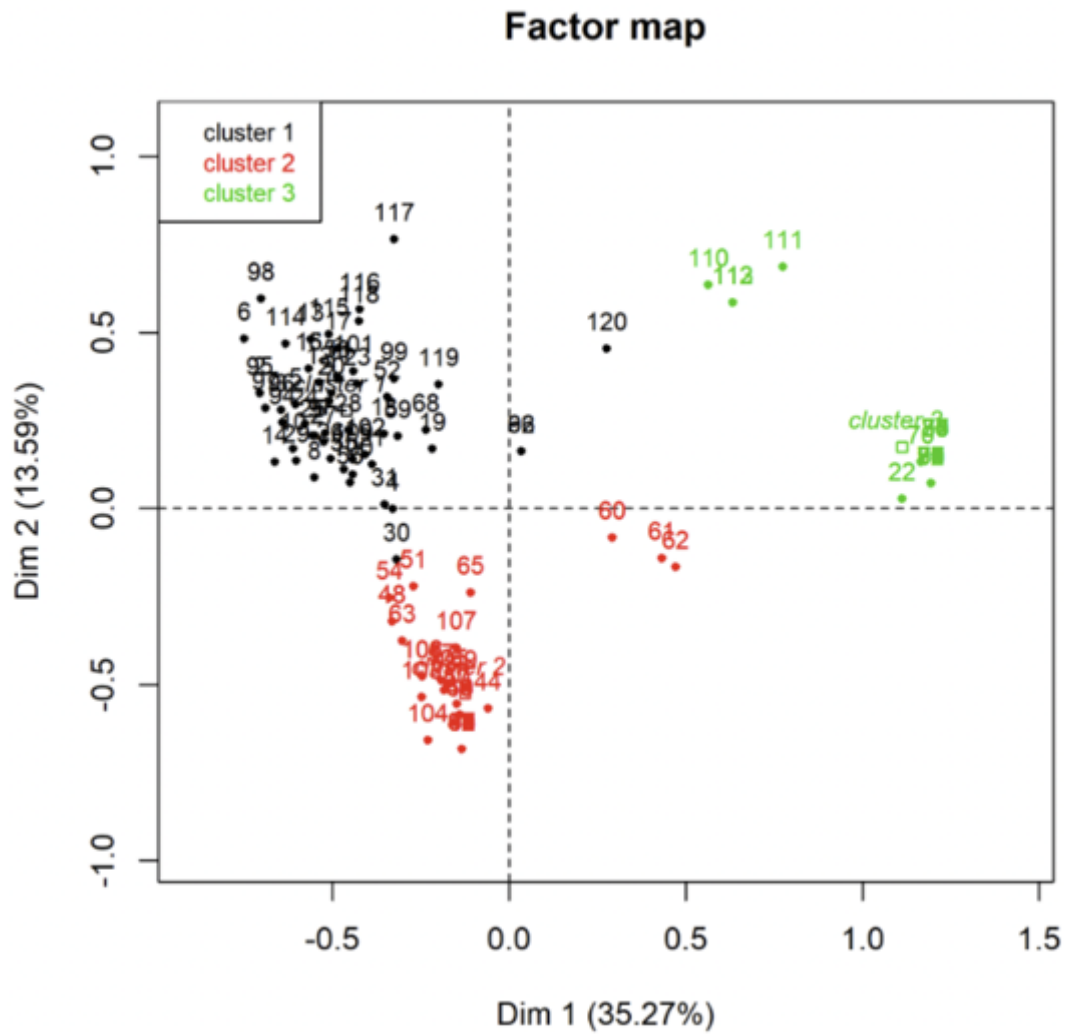
**Fig. 2** Scatter plots of the two first components of the MCA

Each point represents one herd. In each plot, the points are colored according to the corresponding level of the variable (the definition of the 34 variables are available in Table S1 and repeated below for ease of reference). Centroids and confidence ellipses are also represented

BAMBOO (use [1] or no use [0] of bamboo for chicken housing);

BROILER (sale [1] or no sale [0] of broilers);

CEMENT (use [1] or no use [0] of cement for chicken housing);  
CHICKS (sale [1] or no sale [0] of chicks);  
COMMER (use [1] or no use [0] of commercial feed);  
CORN (use [1] or no use [0] of corn in the feed);  
DISEASE (problem [1] or no problem [0] of (frequent) diseases);  
EDUC (highest level of education attained by the farmer, either primary school [educ1], secondary school [educ2], higher school [educ3] or bachelor [educ4] level);  
EGGINCU (sale [1] or no sale [0] of incubated eggs);  
FLOCK (flock size category, either < 50 birds [flock1], between 50 and 100 [flock2] or above 100 [flock3]);  
FORIGIN (selection [1] or no selection [0] for female origin);  
FPHENO (selection [1] or no selection [0] for female phenotype);  
FSIZE (selection [1] or no selection [0] for female size);  
GENEMANAG (genetic management using mating controls [control], bird exchanges [exchange] or closed nucleus [close]);  
GUMBORO (vaccination [1] or no vaccination [0] for Gumboro disease);  
HOUSING (housing with [1] or without [0] access to outside);  
LOWLAYING (problem [1] or no problem [0] of low laying);  
MALFORMATION (problem [1] or no problem [0] of chick malformation);  
MAREK (vaccination [1] or no vaccination [0] for Marek disease);  
MORIGIN (selection [1] or no selection [0] for male origin);  
MPHENO (selection [1] or no selection [0] for male phenotype);  
MSIZE (selection [1] or no selection [0] for male size);  
NEWCASTLE (vaccination [1] or no vaccination [0] for Newcastle disease);  
ORIGINE (either inherited [inher], purchased [purch], or from several origins [many] flock);  
PADDY (use [1] or no use [0] of rice paddy in the feed);  
PARASITE (use [1] or no use [0] of an anti-parasite treatment);  
RESIDUE (use [1] or no use [0] of food residue in the feed);  
RETIRED (sale [1] or no sale [0] of cull/off layers);  
RICE (use [1] or no use [0] of rice husks in the feed);  
TRAYFEED (use [1] or no use [0] of a tray for feed);  
TRAYWATER (use [1] or no use [0] of a tray for water);  
VACCINE (use [1] or no use [0] of a vaccination protocol);  
VITAMIN (addition [1] or no addition [0] of vitamins in the feed);  
WOOD (use [1] or no use [0] of wood for the chicken housing).



**Fig. 3** Clustering the Dongtao chicken farms

Multiple Correspondence Analysis (MCA) and Hierarchical Clustering of the Principal Components (HCPC). Each farm is represented by a point, with coordinates equal to the two first components for that farm. Different colors represent the three clusters provided by the HCPC procedure using the “gain within inertia” optimization criterion.

---

## Article 2

### **Ho chicken breed: morpho-biometric characteristics and economic efficiency of production**

---

Journal of Animal Husbandry sciences and technics  
(8): 73-79

**Duy Nguyen Van<sup>1</sup>, Hiep Dao Thi<sup>2</sup>, Doan Bui Huu<sup>2</sup>, Thach Pham Ngoc<sup>3</sup>, Thang Nguyen Van<sup>2</sup>, Dang Pham Kim<sup>2</sup>, Thanh Nguyen Chi<sup>2</sup>, Oanh Nguyen Cong<sup>1</sup>, Bo Ha Xuan<sup>2</sup>, Luc Do Duc<sup>1,2</sup> and Ton Vu Dinh<sup>1,2\*</sup>**

<sup>1</sup>*Centre for Interdisciplinary Research on Rural Development, Vietnam National University of Agriculture*

<sup>2</sup>*Faculty of Animal science, Vietnam National University of Agriculture*

<sup>3</sup>*Faculty of Veterinary Medicine, Vietnam National University of Agriculture*

\* *Corresponding author: Assoc. Prof. Dr. Vu Dinh Ton, Dean of Faculty of Animal Science, Vietnam*

**Ho chicken breed: morpho-biometric characteristics and economic efficiency of production**

Nguyen Van Duy<sup>1</sup>, Dao Thi Hiep<sup>2</sup>, Bui Huu Doan<sup>2</sup>, Pham Ngoc Thach<sup>3</sup>, Nguyen Van Thang<sup>2</sup>, Pham Kim Dang<sup>2</sup>, Nguyen Chi Thanh<sup>2</sup>, Nguyen Cong Oanh<sup>1</sup>, Ha Xuan Bo<sup>2</sup>, Do Duc Luc<sup>1,2</sup> and Vu Dinh Ton<sup>1,2\*</sup>

Submitted March 03, 2015 - Accepted April 22, 2015

**ABSTRACT**

This study was carried out on 34 rural households who raised Ho chickens from December 2012 to April 2013 to find out information on development status and economic efficiency of this chicken breed. A total of 181 individuals (46 cocks and 135 hens) were used to identify morpho-biometric characteristics according to FAO standards. The Ho chicken population is still very limited with 30.78 chickens per household. Age of the first laying is rather late (7.42 months) with 11.97 eggs in a laying cycle and 76.32% of hatchability rate. These numbers are low because Ho chickens are heavy and clumsy therefore they could easily step on and break their eggs. The body weight of a cock is 3.79kg at 9 months old while a hen is 2.63kg at 12 months old. The body length, neck length, back length, thigh length of cock are significantly higher than those of hens ( $P < 0.05$ ). Production of these chickens requires not much initial investment costs. In which breed and chicken housing are the most important cost items in the structure of the fixed costs. To operate chicken production, the farmers have to pay the costs of 12.16 million VND per year with the average revenue of 30.85 million VND per year.

**Keywords:** *Native chicken, Ho breed, Morpho-biometric, economic efficiency*

**1. INTRODUCTION**

Vietnam Livestock Production plays an important role in household economy system. In which, up to 90% households raised poultry with the flock of 5-7 hens (FAO, 2008). There are 16 native chicken breeds including Ri, Te, Tau Vang, Ac, Oke, H'mong, Tre, Choi, Phu Te, To, Dan Khao, Mia, Ho, Dong Tao, Van Phu, Mia (Pham *et al.*, 2013). However, due to the globalization process and livestock production development, a numerous exotic chicken breeds with high productivity has been importing which might threaten to the populations of native chickens. In particular, the number of Ho chickens was decreased from 1404 in 2006 to 700 in 2012 (Bui Huu Doan and Nguyen Van Luu, 2006; Dao Thi Hiep, 2013). Ho chicken is a precious native chicken breed which has been used as King presents in the past. However, the small population size and uncontrolled mating resulted in the high inbreeding status of Ho chicken (0.179) (Le Thi Thuy, 2010). Thus, this study is essential to provide the information that

---

<sup>1</sup> Centre for Interdisciplinary Research on Rural Development, Vietnam National University of Agriculture

<sup>2</sup> Faculty of Animal science, Vietnam National University of Agriculture

<sup>3</sup> Faculty of Veterinary Medicine, Vietnam National University of Agriculture

\* Corresponding author: Assoc. Prof. Dr. Vu Dinh Ton, Dean of Faculty of Animal Science, Vietnam National University of Agriculture, Trau Quy, Gia Lam, Ha Noi; Tel: 0913033177, E-mail: vdton@vnua.edu.vn



could contribute to build up a new program of the gene source conservation and sustainable development of this native chicken breed.

## 2. MATERIAL AND METHOD

This study was carried out on 34 rural households who raised Ho chickens in Thuan Thanh district, Bac Ninh province from December 2012 to April 2013 by using semi-structured questionnaire to find out general information on development status and economic efficiency of Ho chickens' production.

A total of 181 chickens (46 cocks and 135 hens) were used to identify morpho-biometric characteristics according to FAO standards (FAO, 2012). The tools include: clock scales, tape measure and electronic Palme ruler. The following parameters were measured: individual weight, neck length, back length, breast length, thoracic perimeter, wing length, thigh length, tarsus length, tarsus diameter and beak length.

The economic efficiency of Ho chickens' production was calculated basing on cost-benefit analysis with following formulas:

$$\text{Profit} = \text{Total revenues} - \text{Total costs}$$

Where:

$$- \text{Total revenues} = \text{Revenues from sales of chickens and eggs} + \text{Net value of change in stock}$$

$$- \text{Total cost} = \text{Total variable cost} + \text{Total fixed cost}$$

$$- \text{Total fixed cost} = \text{Depreciation} + \text{Interest}$$

$$- \text{Total variable cost} = \text{Feeds cost} + \text{Vaccine and veterinary medicine cost} + \text{Electricity cost}$$

$$- \text{Gross margin} = \text{Total revenues} - \text{Total variable cost}$$

$$- \text{Profit / total cost ratio} = \text{Profit} / \text{total cost}$$

Statistical analyses were treated by R software with Mean, Median, Max and Min.

## 3. RESULTS AND DISCUSSION

Ho chickens population was still limited with only 135 reproductive hens within 34 households. The flock size was 30.78 individuals per household with a hen-cock ratio of 6:2.10 (Table 1). The size of Ho chicken flock was at the alarming low level.

**Table 1: The structures and size (head/household) of Ho chickens raised at households (n=34)**

| Size and composition             | Mean  | Median | Max    | Min  |
|----------------------------------|-------|--------|--------|------|
| Chicken in each household        | 30.87 | 27.00  | 159.00 | 4.00 |
| Adult cocks                      | 2.10  | 2.00   | 4.00   | 1.00 |
| Adult hens                       | 6.00  | 5.00   | 20.00  | 2.00 |
| Chickens (>2-6 months)           | 15.62 | 10.00  | 85.00  | 2.00 |
| Chicks (day old chick -2 months) | 16.22 | 13.00  | 50.00  | 2.00 |

The number of chicks aged from one day to 2 months old and from 2 to 6 months old was varied because chick selling was the main source of household income. The body weight of a 9-month-cock

was 3.79 kg and 12-month-hen was 2.63 kg (table 2). Ho chicken's weight was heavier than other chicken breeds in Vietnam. For example, Ri chicken weight was from 1.87 to 2.08 kg/cock and 1.32 to 1.50 kg/hen (Moula *et al.*, 2011). The average maturity age of Ho cock was 8.43 months while it was 7.38 months for the hen. It was later than Ri, Mia, Luong Phuong chickens.

**Table 2. Body weight and measurements of Ho chicken according to gender**

| Variables                | Cock (n=46)   | Hen (n=135)   | P-value |
|--------------------------|---------------|---------------|---------|
|                          | Mean ± median | Mean ± median |         |
| Age (month)              | 9.00 ± 9.00   | 12.11 ± 12.00 | ***     |
| Body weight (kg)         | 3.79 ± 3.77   | 2.63 ± 2.65   | ***     |
| Maturity age (month)     | 8.43 ± 8.00   | 7.38 ± 7.00   | ***     |
| Body length (cm)         | 55.25 ± 56.00 | 46.85 ± 47.00 | ***     |
| Neck length (cm)         | 22.33 ± 22.50 | 19.98 ± 20.00 | ***     |
| Back length (cm)         | 26.07 ± 26.00 | 22.46 ± 22.00 | ***     |
| Wing length (cm)         | 26.90 ± 27.00 | 22.72 ± 23.00 | ***     |
| Thoracic perimeter (cm)  | 36.13 ± 36.00 | 33.30 ± 33.00 | ***     |
| Thigh length (cm)        | 19.85 ± 20.00 | 16.03 ± 16.00 | ***     |
| Tarsus length (cm)       | 9.78 ± 10.00  | 7.56 ± 7.50   | ***     |
| Breast length (cm)       | 21.05 ± 21.00 | 17.32 ± 17.00 | ***     |
| Tarsus diameter Max (mm) | 23.78 ± 23.93 | 18.62 ± 18.55 | ***     |
| Tarsus diameter Min (mm) | 19.69 ± 19.50 | 15.31 ± 15.22 | ***     |
| Beak length (mm)         | 42.89 ± 10.00 | 37.73 ± 38.09 | ***     |

The body weight and body length of Ho cocks were always higher than Ho hens ( $P < 0.05$ ). In the previous study of Moula *et al.* (2011), Ho chicken had a large body size with the back, thigh and tarsus lengths were from 1.1 to 1.3 times longer than Ri chicken. The large body size makes Ho chickens have higher meat productivity than other native chickens.

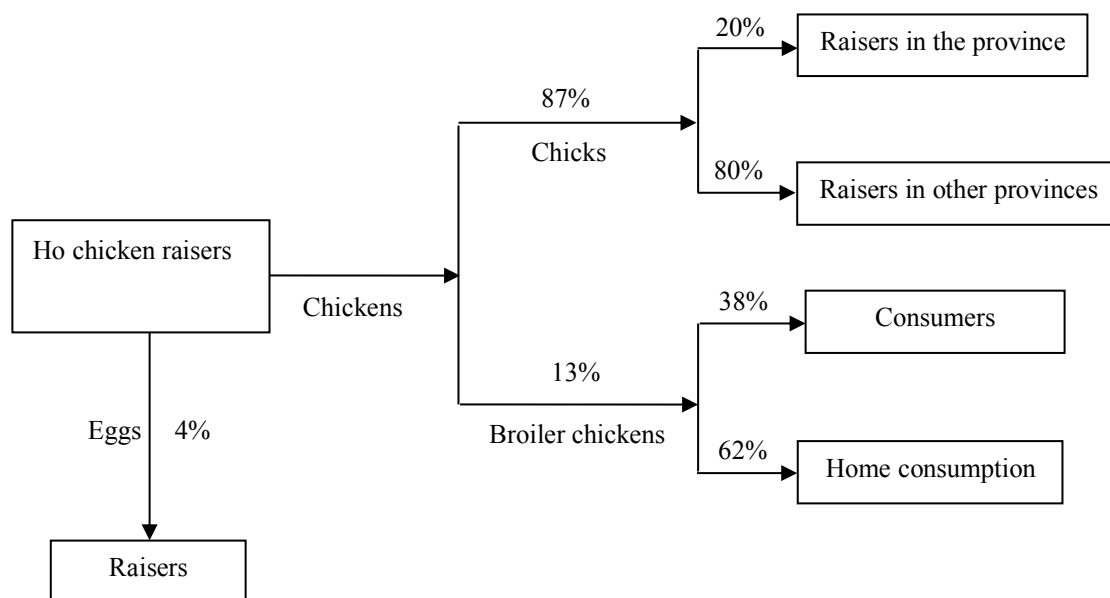
**Table 3. Reproduction performance of Ho chicken (n=135)**

| Variable                                   | Mean  | Median | Max    | Min   |
|--|-------|--------|--------|-------|
| Age at the first laying (months)           | 7.42  | 8.00   | 10.00  | 5.00  |
| Egg production/hen/clutch                  | 11.97 | 12.00  | 17.00  | 8.00  |
| Number of clutches per year                | 4.27  | 4.00   | 8.00   | 2.00  |
| Hatchability (%)                           | 76.32 | 75.00  | 100.00 | 46.15 |
| Average number of chicks weaned per clutch | 8.55  | 8.00   | 12.00  | 3.00  |

The number of eggs in one laying cycle was 11.97 with 76.32% of hatchability rate. The first laying egg of Ho chicken was later from 1.4 to 1.6 times than Ri, Mia, Tau Vang, Dong Tao (Moula *et al.*, 2011). This hatchability rate was higher than Dong Tao and Mia chickens.

The scale of Ho chicken production is limited, so, the consumption channels of this chicken breed

was rather simple with a small quantity of product be sold to the market. In detail, Ho chicken was distributed by direct channels from Ho chicken raisers to the consumers or other raisers without the involvement of the traders, collectors or restaurants (Figure 1). This form of distribution resulted in the limitation of consumption market as well as unstable price.



**Figure 1. The consumption channels of Ho chicken**

It can be seen that majority of Ho people raise chickens to sell the chicks accounting for 87% of total number of selling chickens. A large quantity of chicks were then sold to the raisers in other provinces while a small proportion was consumed inside the province. The chicks were normally sold at the age of around one month old. However, depend on the demand as well as the price paid by the buyers; the older-age-chicks could be sold. Similarly, the broiler chickens were sold directly to the consumers (38%) (mainly from other provinces) and an important part was used for the home consumption (62%). Besides that, a small percentage of the eggs for hatching purpose (4% of total egg production) was consumed by the raisers in other provinces (mostly from the South of Vietnam) who might get difficulties to transport the chicks by the airplane.

Thus, to enhance the consumption situation of Ho chickens, beside of increasing the production, the farmers should pay special attention to improve the marketing of products because it is an effective way to attract the consumers and other actors involving in its distribution channels.

For Ho chicken production, the fixed costs includes the costs for breed, chicken housing, interest charge and some raising tools such as: incubator, electric generator, power line installation (Table 4).

**Table 4. The cost items of Ho chicken production (million VND/household/year) (n=34)**

| Cost items                  | Mean         | Proportion (%) |
|-----------------------------|--------------|----------------|
| <b>Total fixed costs</b>    | 1.72         | 100.00         |
| Breed                       | 0.65         | 37.59          |
| Chicken housing             | 0.89         | 51.57          |
| Raising tools               | 0.19         | 10.84          |
| <b>Total variable costs</b> | 10.44        | 100.00         |
| Veterinary medicine         | 0.64         | 6.10           |
| Electricity                 | 0.45         | 4.32           |
| Feed                        | 9.04         | 86.58          |
| Others                      | 0.31         | 2.99           |
| <b>Total costs</b>          | <b>12.16</b> | <b>100.00</b>  |

The average fixed cost was 1.72 million VND (Table 4). The investigated results revealed that Ho chicken production requires not much initial investment costs. Breed (37.59%) and chicken housing (51.57) were the most important cost items among the fixed costs (Table 4).

Chicken housing shares the highest proportion of more than 50% of the total fixed costs per household per year. The raising tools represent the smallest proportion (10.84%) of the total fixed costs. Variable costs are part of chicken production costs which are changed according to how much output it produce and contrary to the fixed costs. Applying in Ho chicken production, variable costs include the costs for veterinary medicine, rice husk, electricity, feed and some other costs such as lights, incubation rent. The average variable cost of Ho chicken households is 10.44 million VND per household per year. In which, the feed cost represents the highest proportion of 86.58% of the total variable costs and 74.04% of the total costs. According to Nguyen Hoang Viet (2013), in Ho chicken production, the feed cost shares 56.06% of the total costs. So, the feed cost result in our study was higher than that of the author. Besides that, the cost for veterinary medicine also represents a considerable proportion in the structure of variable costs. Regarding the total costs of Ho chicken households, the variable costs share 85.86% of the total production costs while the fixed costs contribute 14.14% to the total production cost. This demonstrates that local chicken production strongly depends on investments of variable costs. The output therefore highly influenced by variable cost items. Averagely, to operate chicken production, Ho raisers have to pay approximately 12 million VND per year.

The average revenue from Ho chicken farms was 30.85 million VND per year. Chickens for meat and chicks were the most important output items among the product types which account for 35.71% and 43.82% of total revenues respectively (Table 5).

**Table 5. Revenues of Ho chicken households (million VND/household/year) (n=34)**

| <b>Product type</b>             | <b>Mean</b>  | <b>Proportion (%)</b> |
|---------------------------------|--------------|-----------------------|
| Chicken for meat                | 11.02        | 35.71                 |
| Chick                           | 13.52        | 43.82                 |
| Egg                             | 0.11         | 0.37                  |
| Home consumption (meat and egg) | 6.20         | 20.11                 |
| <b>Total revenues</b>           | <b>30.85</b> | <b>100.00</b>         |

One distinctive point in surveyed location is that the eggs are mainly sold for hatching not for eating. Consequently, income from egg selling accounts for insignificant proportion in the structure of output value in the surveyed households. Otherwise, home consumption is taken into accounts to fully reflect economic values that chicken production brought to farmers. In Ho surveyed households, chickens serve for familial food demand account for 20.11% of total revenue. Thus, food demand is not very important reason leading to production decision of Ho farmers. Compared to research of Fisseha (2009), the purpose of local chickens in Bure Woreda, North-West Amhara, Ethiopia, in order of importance, were: sale for cash income (51.4%), egg hatching for replacement (45%), home consumption (44.3%), use of birds for socio-cultural and/or religious ceremonies (36.4%) and egg production (40.7%). While, the purpose of eggs, in order of importance, were; hatching for replacement (71.7%), sale for income (58%) and home consumption (68.6%). Thus, home consumption is a significant part in production purposes of the local chicken raisers in this research.

From the costs and revenues of Ho chicken production, the cost-benefit analysis of Ho surveyed households was carried out and shown in Table 6. The profit of Ho raisers was 18.69 million VND per household. According to Nguyen Hoang Viet (2013), Ho chicken raisers got a high profit of 0.64 million VND/chicken. These pointed out Ho chicken production brings considerable economic efficiency for the farmers.

**Table 6. Economic efficiency of Ho chicken production (million VND/household/year) (n=34)**

| <b>Items</b>         | <b>Mean</b> |
|----------------------|-------------|
| Total costs          | 12.16       |
| Total revenues       | 30.85       |
| Total variable costs | 10.44       |
| Gross margin         | 20.41       |
| Profit               | 18.69       |
| Profit/hen/year      | 4.95        |

The profit to total cost ratio was 1.54 (Table 6). This means with one VND invested in Ho chicken production in one year will receive 1.54 VND. Local chicken production at household level like Ho chickens is not very profitable in compared with large-scale production with exotic breeds. However,

according to Mammo (2013), despite technology will favor the intensification of poultry production in developing countries, local poultry is still profitable and play an important role in poverty reduction and has no market problems.

#### 4. CONCLUSION

The scale of Ho chicken production is small with the average flock size of 30.78 individuals per household. The body weight of a Ho cock is 3.79 kg at 9.00 months old and a Ho hen is 2.63 kg at 12.11 months old. The first laying age is rather late (7.42 months) with 11.97 eggs in one laying cycle.

Production requires not much initial investment costs. In which breed and chicken housing are the most important cost items in the structure of the fixed costs. To operate chicken production, Ho raisers have to pay the costs of approximately 12 million VND per year and get the average annual revenue of 30.85 million VND.

Ho chicken population and its consumption channels are still limited. Besides that, the extinction threat of this chicken breed is rather high due to the disease and inbreeding status which would lead to its low productivity. Therefore, the results on development situation and economic efficiency of Ho chicken population in this study might provide the necessary information in order to find out a solution for the stable development and conservation of this indigenous chicken breed.

#### REFERENCE

1. **Bui Huu Doan and Nguyen Van Luu** (2006), A survey on distribution, conformation, growth and productivity of Ho chicken, *Journal of Sciences and Development, Hanoi University of Agriculture*, 4(4-5): 95-99.
2. **FAO** (2008), Poultry systems in Vietnam. Prepared by Nguyen Van Duc and Tran Long. GCP/RAS/228/GER Working Paper No. 4. Rome.
3. **FAO** (2012), Checklist for phenotypic characterization of chickens, phenotypic characterization of animal genetic resources 2012, *FAO Animal Production and Health Guidelines*. **No. 11**. Rome: 107-113.
4. **Fatima zohra M., Souheil Bachir S.G., Nacera T.A., Michele T.B. and Nadhira S.M.** (2014), Caractéristiques morpho-biométriques et systèmes d'élevage des poulets locales en Algérie occidentale (Oranie), *Cah Agric 23* : 1-11. doi : 10.1684/agr.2014.0722.
5. **Fisseha M.A.** (2009), Studies on production and marketing systems of local chicken ecotypes in Bure Woreda, North-West Amhara. Master thesis at Hawassa University, Awassa, Ethiopia.
6. **Dao Thi Hiep** (2013), Economic efficiency and consumption of some local chicken breeds: the case study of Ho and Dong Tao chickens. Master thesis at Hanoi University of Agriculture, Vietnam.
7. **Mammo M.** (2013), Review Biophysical and the socio-economics of chicken production. *African Journal of Agricultural Research*, 8(18):1828-1836.
8. **Moula N., Do Duc L., Pham Kim D., Farnir F., Vu Dinh T., Dang Vu B., Leroy P. and Antoine-Moussiaux N.** (2011), The Ri chicken breed and livelihoods in North Vietnam: characterisation

and prospects. *Journal of Agriculture and Rural Development in the Tropics and Subtropics*, **112**: 57-69.

9. **Pham M.H., Berthouly-Salazar C., Tran X.H., Chang W.H., Crooijmans R.P., Lin D.Y., Hoang V.T., Lee Y.P., Tixier-Boichanrd M. and Chen C.F.** (2013), Genetic diversity of Vietnamese domestic chicken populations as decision-making support for conservation strategies. *Anim Genet*, **44**: 509-521.
10. **Le Thi Thuy** (2010), Identify the genetic variation of the native chicken breeds. Project report, National Institute of Animal Husbandry.
11. **Nguyen Hoang Viet** (2013), Some morphologic characteristics, growth performance and meat quality of Ho chicken. Master thesis at Hanoi University of Agriculture, Vietnam.

---

# Chapitre 4

## Étude 2

### Caractéristiques morpho-biométriques des deux races Ho et Dong Tao

---

Les caractères morpho-biométriques des poules indigènes telles que la couleur du plumage, le type de la crête, la taille et la forme du corps sont toujours des éléments d'attention pour les communautés locales, selon leurs traditions culturelles et leurs croyances (Dessie et al., 2011).

Selon de Faruque et al. (2010), les races des poules indigènes ont diverses caractéristiques phénotypiques potentiellement liées à des variations au niveau de gènes. Les recherches sur les caractéristiques morpho-biométriques des poules indigènes constituent donc une base pour étudier les caractéristiques génétiques afin de proposer la conservation et l'exploitation durable de ces races.

Le Ministère de l'agriculture et développement rural du Vietnam a mis en œuvre des projets pour former un standard des caractéristiques morpho-biométriques des races de poules indigènes du Vietnam. Actuellement, il y a 9 races sur les 21 races de poules indigènes du Vietnam pour lesquelles des standards de caractéristiques morpho-biométriques ont été établis, les standards des autres races étant en cours de définition (MARD, 2021).

Cette étude présente les caractéristiques morpho-biométriques de deux races de poules indigènes au Vietnam, Ho et Dong Tao, sous la forme de deux articles scientifiques, le premier publié dans une revue nationale du Vietnam et le second publié dans une revue internationale.



---

## Article 3

### **Morphological characteristics of indigenous chicken Ho and Dong Tao in vietnam**

---

*Journal of animal husbandry sciences and technics  
(247): 2-7*

**Duy Nguyen Van<sup>1,2</sup>, Moyse Evelyne<sup>2</sup>, Nassim Moula<sup>2</sup>, Luc Do Duc<sup>3</sup>, Phuong Nguyen Thi <sup>1</sup>, Tien Nguyen Dinh<sup>1</sup>, Ton Vu Dinh <sup>1,3</sup> and Frederic Farnir<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*Centre for Interdisciplinary Research on Rural Development, Vietnam National University of Agriculture, Vietnam*

<sup>2</sup>*Department of Animal Production, Faculty of Veterinary Medicine, University of Liege, Liege 4000, Belgium*

<sup>3</sup>*Faculty of Animal Science, Vietnam National University of Agriculture, Vietnam.*

\* *Corresponding author: PhD. Nguyen Van Duy, Centre for Interdisciplinary Research on Rural Development, Vietnam National University of Agriculture, Vietnam. Email: nvduy.hua@gmail.com*

**Morphological characteristics of indigenous chicken Ho and Dong Tao in vietnam**

Nguyen Van Duy<sup>4,2</sup>, Moyse Evelyne<sup>2</sup>, Nassim Moulda<sup>2</sup>, Do Duc Luc<sup>3</sup>, Nguyen Thị Phương<sup>1</sup>, Nguyen Dinh Tien<sup>1</sup>, Vu Dinh Ton<sup>1,3</sup> and Frederic Farnir<sup>2</sup>

Submitted Jan 14, 2019 - Accepted May 10, 2019

**ABSTRACT**

The objective of this study is to determine morphological characteristics and distinguish between Ho and Dong Tao chickens. Morpho-biometric characterization was based on measurement of 405 adult individuals, various body parameters were recorded including 165 Ho (123 males and 42 females) and 240 Dong Tao (40 males and 200 females). Moreover, 128 Ho (27 males and 101 females) and 240 Dong Tao (69 males and 171 females) were determined based on color characteristics of feather, tarsus and beak, and comb style. Ho chicken is a breed with large dimension, diversity in the colors (black with gold hackle, black copper, wheat, tan and tricolor), heavy body (3765.49 and 2642.56 g for males and females respectively). Dong Tao chickens have various phenotypes, as indicated in their diverse feather colors, tarsus colors and comb types. The body size of Dong Tao chickens is also large (3394.75 and 2815.20 g for males and females respectively). The body weight and all body measurements of the cocks were larger than those of hens. It is possible to distinguish Ho and Dong Tao chickens using morphological characteristics based on body size and visual observations. When using a combination of tarsus size, body weight and tarsus length, or a combination of tarsus color, beak color and feather color, Ho and Dong Tao breeds can be distinguished with less than 5% of errors. The results of this study can be used to separately select Ho and Dong Tao chickens using morphological characteristics.

**Keywords:** *Ho, Dong Tao, indigenous chicken, morphological characteristics, Vietnam.*

**TÓM TẮT****Đặc điểm ngoại hình 2 giống gà Hồ và Đông Tảo của Việt Nam**

Nghiên cứu này nhằm xác định các đặc điểm ngoại hình và phân biệt giống gà Hồ và Đông Tảo dựa trên chỉ số chiều đo cơ thể, màu lông, màu chân, màu mỏ và kiểu mỏ. Nghiên cứu đã xác định đặc điểm ngoại hình về các chiều đo cơ thể trên 165 gà Hồ (42 trống và 123 mái) và trên 240 gà Đông Tảo (20 trống, 40 mái). Trong đó xác định đặc điểm ngoại hình về màu lông, màu chân, kiểu mỏ trên 128 gà Hồ trưởng thành (27 trống và 101 mái). Gà Hồ có kích thước lớn và có sự đa dạng về màu lông (lông gà màu đen ánh xanh, màu đen ánh đồng, màu lúa mì, màu nâu sẫm và màu nâu sáng), khối lượng cơ thể của gà trưởng thành lần lượt là 3765,49kg gà trống và 2642,56kg gà mái. Gà Đông Tảo là giống gà có sự đa dạng về đặc điểm ngoại hình như màu lông, kiểu mỏ. Khối lượng gà Đông Tảo trưởng thành

<sup>4</sup> Centre for Interdisciplinary Research on Rural Development, Vietnam National University of Agriculture, Vietnam

<sup>2</sup>Department of Animal Production, Faculty of Veterinary Medicine, University of Liege, Liege 4000, Belgium

<sup>3</sup>Faculty of Animal Science, Vietnam National University of Agriculture, Vietnam.

\* Corresponding author: PhD. Nguyen Van Duy, Centre for Interdisciplinary Research on Rural Development, Vietnam National University of Agriculture, Vietnam. Phon: 0984.961.062; Email: nvduy.hua@gmail.com

lần lượt là 3394,75kg gà trống và 2815,2kg gà mái. Khối lượng cơ thể và chiều đo cơ thể của gà trống luôn cao hơn gà mái ở cả hai giống. Có thể phân biệt hai giống gà Hồ và gà Đông Tảo dựa trên các đặc điểm ngoại hình là kích thước cơ thể và màu lông, màu mỏ, màu chân và kiềng mào. Khi sử dụng kết hợp các chỉ tiêu kích thước xương cổ chân, khối lượng cơ thể, chiều dài xương cổ chân chúng ta có thể phân biệt giống gà Hồ và gà Đông Tảo với độ tin cậy  $P < 0,05$ . Khi sử dụng kết hợp các chỉ tiêu màu lông, màu mỏ và màu chân có thể phân biệt giống gà Hồ và gà Đông tảo với độ tin cậy  $P < 0,05$ . Kết quả của nghiên cứu này có thể được sử dụng trong chọn lọc giống gà Hồ và gà Đông Tảo dựa trên đặc điểm ngoại hình.

**Từ khóa:** Hồ, Đông Tảo, gà bản địa, đặc điểm ngoại hình, Việt Nam.

## 1. INTRODUCTION

Livestock production is an important and promising agricultural sector in the current context of increasing global demand for livestock products (Delgado et al., 2001). The use of indigenous breeds in livestock production contributes to biodiversity conservation and in-situ protection. The adaptation of indigenous poultry breeds to the local conditions and the fact that their products meet the expectations of local consumers is a factor adding value to these products from local breeds. The dramatic development of intensive livestock production systems is causing the decline of indigenous animal breeds. In particular, poultry production is also concerned in the general phenomenon of the reduction of animal genetic resources (Besbes, 2009).

Vietnamese human population is estimated at about 92 millions, with a density of 280 inhabitants per square km and the population in rural areas accounts 66% in 2016. Poultry production plays an important role in rural economic development and in providing food. In 2017, poultry meat production was 1031,9 thousand tons and ranked at the second position, after pork production, which was 3,733.3 thousand tons (GSO, 2018). Vietnam is ranked as one of the countries with the highest diversity of animal breeds in the world. More than 10% of the world's animal species have been found in Vietnam (Ly, 1993). The local poultry accounts for 84% of the total poultry (Desvaux *et al.*, 2008). MARD (2016) reported that 21 Vietnamese local chicken breeds have been identified, namely Ri, Ac (black meat, white or black feather), Te (or Lun, which means "short tarsus"), Mia, Ho, Dong Tao, H'mong, Tre, Tau Vang, Choi (fighting-cock), Oke, To, Mong, Lien Minh, Tien Yen, Hac Phong, Quy Phi, Xuoc, Nhiu Ngon, Kien, Lac Thuy. Among local chicken breeds, Ho and Dong Tao are famous for their massive body weights, thick tarsus and the good meat quality which are favored by consumers (Lan Phuong *et al.*, 2015). According to Cuc *et al.* (2011), a large number of local chicken breeds in Vietnam are in danger of extinction, making conservation of domestic animal genetic resources a major challenge in the future.

In Vietnam, indigenous chicken is kept in the household and the distinction between them usually is based on their morphological characteristics (Pham *et al.*, 2013). Nevertheless, the study of morphological characteristics of indigenous chickens in Vietnam is nowadays not complete. Consequently, the aim of this study is the determination of morphological characteristics of Ho and Dong Tao chicken and the development of a predictive model allowing to breeders to easily distinguish

between these two breeds. It is also a foundation for a rehabilitation of Vietnamese local chicken breeds, which adapt well with less intensive farming conditions and play a paramount role on socioeconomic and cultural aspects.

## **2. MATERIAL AND METHODS**

### **2.1. Study area**

The study was carried out on households raising purebred Ho and Dong Tao chicken in Bac Ninh and Hung Yen provinces in northern Vietnam.

### **2.2. Morpho-biometric characterization**

Morpho-biometric characterization was based on measurement of 405 adult individuals, including 165 Ho (123 males and 42 females) and 240 Dong Tao (40 males and 200 females). Various body parameters were recorded in accordance with the FAO recommendations (FAO, 2012): a weighing scale (precision 10g) was used to measure chicken body weight; a tape measure and an electronic sliding caliper (precision 0.01mm) were used to measure body parameters. The collected data were the sex, the body weight and several body parameters including body length, neck length, back length, wing length, thoracic perimeter, breast length, thigh length, tarsus length, and tarsus diameter, beak length, comb length, comb height. Additionally, color characteristics of feather, tarsus and beak, and comb style were determined based on visual observations of 128 Ho (27 males and 101 females) and 240 Dong Tao (69 males and 171 females).

### **2.3. Statistical analysis**

Comparisons of the measured morpho-biometric characteristics between genders were performed using ANOVA procedure of SAS software (1989). Least squares means (LSM) and their standard errors (SE) were obtained for each morpho-biometric parameter. A Bonferroni adjustment was applied for multiple tests. An alpha level of .05 was set for all statistical analyses.

Inferring breed using a decision tree were performed with R (version 3.3.2) with package rpart. This method shows how the value of a target variable can be predicted by using the values of a set of predictor variables. Two decision trees were built. For both, the target variable was the breed (Ho or Dong Tao) but predictor variables differed: one was based on morpho-biometric characteristics and the other on visual observations (sex, color of feather, tarsus and beak, comb style). The collected data are split into two subsets, training set (2/3 of the sample) and testing set (1/3 of the sample). The data are randomly drawn in keeping the ratio Dong Tao/Ho in each set. Therefore, 160 Dong Tao and 85 Ho was used to build the decision tree from morpho-biometric characteristics and 160 Dong Tao and 110 Ho was also randomly drawn to build the decision tree from visual observations. To build the two decision trees, 10 cross-validations was applied and the minimum number of observations that must exist in a node in order for a split to be attempted was 5. The splitting criteria is the Gini index. The accuracy of obtained decision trees is evaluated by making predictions against the test data. The accuracy of decision trees is measured by comparing the predicted target values and true target values of the testing data with a confusion matrix.

### 3. RESULTS

#### 3.1. Morphometric traits

The body weight and body sizes of Ho and Dong Tao chickens are shown in Table 1. The males of Ho were heavier than females ( $P < 0.001$ ) and body sizes were larger for all morphometric parameters ( $P < 0.001$ ). The body weight, body length, neck length, wing length, thoracic perimeter, beak length, thigh length, tarsus diameter of Dong Tao on males were larger than those on females ( $P < 0.001$ ). While the back length, tarsus length, comb length, comb height of Dong Tao on males were not no different significantly those on females ( $P > 0.05$ ).

#### 3.2. Feather color and aspect

The feathers, tarsus and beaks colors and comb type distributions of Ho and Dong Tao chickens are given in Table 2. These animals are characterized by 5 basic feather colors (2 for males and 3 for females). Two main types of feather colors were observed for the males in both breeds, with similar distributions: the black with gold hackle is predominant over the black copper. The situation is different for females, where the wheat color is the most frequently observed color in Ho chickens, followed by the tan and the tri colors, while the tan color is largely dominant in Dong Tao, followed by the tri and wheat colors. The differences are also marked for the tarsus colors: while red tarsus is only and very predominantly present in Dong Tao animals, Ho chickens show three different colors including yellow-red toe, yellow and ivory white, with more variations in females than in males. Finally, while comb types and beak colors are similar in both breeds, large differences in the distributions can be observed between breeds and between genders. For example, more than 90% of the Ho females had a yellow beak, while almost 73% of the Dong Tao females showed a dark horn one.

#### 3.3. Inferring breed using a decision tree

The observed differences in the measured characteristics for the two breeds suggest using these traits to infer the breed of the animals. Figure 1 shows the decision tree built on the basis of 16 morphobiometric characteristics. It can be seen that this tree includes a total of three decision nodes (i.e. criteria) and four leaf nodes (i.e. classification). Confusion matrix is reported 3.75% of Dong Tao chickens are misclassified whereas 7.27% of Ho chickens are misclassified. The general accuracy is about 94.81%. Based on a decision tree, decision rules can be easily generated by traversing a path from the root node to a leaf node. For example, a decision rule can be generate in above decision tree as follows: if diameter at widest part of tarsus  $\geq 17.84$  mm and body weight  $< 3575$  g and tarsus length  $< 9.5$  cm then chicken breed is Dong Tao. Figure 2 shows the decision tree built on the basis of 5 visual observations. It can be seen that this tree includes a total of seven decision nodes (i.e. criteria) and eight leaf nodes (i.e. classification). Confusion matrix is reported 3.75% of Dong Tao chickens are misclassified whereas 6.98% of Ho chickens are misclassified. The general accuracy is about 95.12%.

### 4. DISCUSSION

Ho and Dong Tao chickens are indigenous breeds that have been raised since a long time in the Red River Delta of Northern Vietnam (Doan and Luu, 2006, Lan Phuong *et al.*, 2015). The morpho-biometry of Ho and Dong Tao chicken is characterized by large body weights. In that respect, Ho and Dong Tao should be considered as a meat chicken breed: Ho and Dong Tao are the biggest native chicken breeds in Vietnam (Le Thi Thuy *et al.*, 2009). In Vietnam, chicken is a traditional product used in important ceremonies associated with spiritual life of Vietnamese people (Moula *et al.*, 2011, Lan Phuong *et al.*, 2015). The males whose feather color is black with gold hackle or yellow are normally chosen for the sacrifice in important ceremonies (Luan *et al.*, 2014). As could be expected, the dominance of the black with gold hackle in the male chicken population has been shown in the present study. This finding is similar to the researches of Doan and Luu (2006) and Le Thi Thuy *et al.* (2009). The feather colors in Ho and Dong Tao males and females are divided into two obvious separate groups. In detail, the male has the dark feather color while the female has the brighter one. In the Red River Delta of northern Vietnam, the female chickens are rarely used in the traditional ceremonies. The females are mainly raised by the farmers to produce eggs, chicks and broilers. This study also showed that the bright color of feather was the most frequent one in the female population. Keambou *et al.* (2007) noted that the hens of local breeds in tropical regions have feathers shining which provide them for a better adaptability against the weather conditions in their territories. A large diversity of tarsus color has been observed in Ho and Dong Tao chicken. This may be the result of crossbreeding between these breeds and other ones as no control of the matings is performed in the households.

Through a long history under the pressures of natural and artificial selection processes, Ho and Dong Tao chickens have adapted well to the local conditions in the Red River Delta. The direct observation and description of the phenotypes of indigenous chickens is an important work to provide information for the researches targeting an exploitation and a sustainable conservation of the breed. The phenotypic diversity in the existing local chicken population could reveal the introduction of alleles from other breeds into the pure chicken population. This is a potential threat introducing concerns for the genetic resource erosion of the local chicken flock. However, these hybridizations also provide the opportunity to create new and better individuals, fitted to the nowadays conditions while preserving the main characteristics of the original breed, which is also considered as a type of genetic diversity. Consequently, if conservation and exploitation of the breed are the objective, a program targeting the stabilization of the phenotypic characteristics together with a selection program to improve the weak production and reproductive performance should be set-up.

In Vietnam, the farmers are usually used morpho-biometric characteristics for distinguish between native chicken breeds and selection (Pham *et al.*, 2013). They usually base their choice on indicators such as feather color, comb type, and tarsus color. The choices correspond to cultural uses and to the needs of the consumers. For example, characteristics of chicken tarsus are important ones in the traditional ceremonies such as for fortune prediction in Lunar New Year and in praying ceremony (Luan *et al.*, 2014). Moreover, many Vietnamese people like eating chicken tarsus, so they are easily found in

Vietnamese traditional restaurants. Vietnamese people are interested not only in the production performance but also in the phenotype of the chickens. This is due to the fact that, besides providing food sources, Vietnamese consumers also use chicken as an article in the most important ceremonies, as a sacrifice or as an ornament in expressing style or social position of the owner. As a freebie, the selling price of a Ho and Dong Tao chicken depends on its phenotype, especially on the body size, the shape and color of tarsus and the live weight: the larger live body weight and bigger tarsus are always sold with the higher prices. The highest prices for a pair of male and female Ho or Dong Tao chickens reached 2,000 to 3,000 USD. A long of time, there is a selective disorientation by farmers, where formed the difference in the morphometric traits of chicken.

This study provides a predictive model to distinguish between Ho and Dong Tao chickens that could be used by the farmers. Two decision trees are proposed: one based on morpho-biometric characteristics and another based on visual observation. The general accuracy of the two decision trees is high (95%). Only 3 morpho-biometric characteristics are necessary to distinguish the two breeds namely diameter at widest part of tarsus, body weight and tarsus length. On the other hand, on basis of visual observations numerous criteria are necessary. However, the advantage is that it does not require any measuring device. The major strength of decision tree lies in its interpretability and ease of use.

## **5. CONCLUSION**

Ho and Dong Tao chicken are Vietnamese indigenous chicken breeds with heavy body weight and large body measurements. Their morphological characteristics are diverse, potentially revealing genotypic heterogeneity.

The morpho-biometric characteristics and visual observations can be easily used to select and distinguish between Ho and Dong Tao chicken breeds with a high accuracy.

## **ACKNOWLEDGEMENTS**

This study was funded by ARES–CCD (Académie de Recherche et d’Enseignement supérieur Commission de la Coopération au Développement).

**Table 1. Morpho-biometric traits of Ho and Dong Tao chicken breed (LSM±SE)**

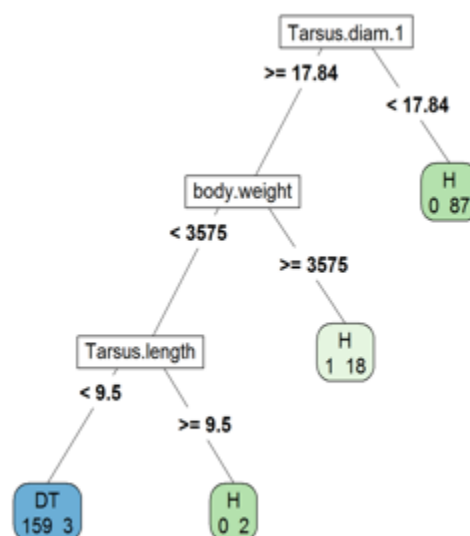
| Variable                | Ho               |                   | corrected<br>p-value | Dong Tao        |                    | corrected<br>p-value |
|-------------------------|------------------|-------------------|----------------------|-----------------|--------------------|----------------------|
|                         | Males<br>(n=123) | Females<br>(n=42) |                      | Males<br>(n=40) | Females<br>(n=200) |                      |
| Body weight(g)          | 3,765.49±89.73   | 2,642.56±45.27    | ***                  | 3,394.75±27.03  | 2,815.2±11.03      | ***                  |
| Body length (cm)        | 51.96±0.53       | 46.23±0.25        | ***                  | 47.53 ± 0.35    | 44.67 ± 0.14       | ***                  |
| Neck length (cm)        | 22.33±0.35       | 19.97±0.17        | ***                  | 22.66 ± 0.22    | 20.38 ± 0.09       | ***                  |
| Back length (cm)        | 26.07±0.35       | 22.45±0.20        | ***                  | 24.86 ± 0.25    | 24.28 ± 0.10       | NS                   |
| Wing length(cm)         | 26.90±0.26       | 22.72±0.13        | ***                  | 26.30 ± 0.36    | 24.21 ± 0.14       | ***                  |
| Thoracic perimeter (cm) | 36.13±0.40       | 33.30±0.24        | ***                  | 36.21 ± 0.46    | 34.44 ± 0.18       | **                   |
| Breast length (cm)      | 21.05±0.22       | 17.32±0.13        | ***                  | 19.54 ± 0.30    | 17.84 ± 0.12       | ***                  |
| Thigh length (cm)       | 19.84±0.18       | 16.03±0.10        | ***                  | 17.70 ± 0.22    | 15.96 ± 0.08       | ***                  |
| Tarsus length (cm)      | 9.78±0,15        | 7.56±0.07         | ***                  | 7.83 ± 0.15     | 7.73 ± 0.06        | NS                   |
| Tarsus diam 1 (mm)      | 19.69±0.29       | 15.31±0.17        | ***                  | 27.51±0.46      | 22.81 ± 0.18       | ***                  |
| Tarsus diam 2 (mm)      | 23.78±0.24       | 18.62±0.14        | ***                  | 30.15 ± 0.43    | 25.57 ± 0.17       | ***                  |
| Beak length (cm)        | 42.88±0.58       | 37.73±0.34        | ***                  | 41.10 ± 0.85    | 38.16 ± 0.34       | *                    |
| Comb length (mm)        | 38.65±0.76       | 27.86±0.45        | ***                  | 32.83 ± 1.24    | 32.19 ± 0.54       | NS                   |
| Comb height (mm)        | 18.63±0.62       | 9.05±0.39         | ***                  | 21.01 ± 1.27    | 19.56 ± 0.55       | NS                   |
| Wattles length (mm)     | 31.15±0.91       | 22.88±0.65        | ***                  | 27.87 ± 0.96    | 24.92 ± 0.42       | *                    |
| Wattles height (mm)     | 27.05±1.27       | 13.89±0.93        | ***                  | 23.45 ± 1.25    | 19.54 ± 0.58       | *                    |

*Note: diam 1: diameter at widest part of tarsus; diam 2: diameter at thinnest part of tarsus, ( ): number of animals; Diam 1: Diameter at widest part of tarsus, Diam 2: Diameter at thinnest part of tarsus; \*\*\* P<0.001; \*\* P<0.01; \* P< 0.05; NS: P> 0.05; LSM ± SE: Least squares means ± SE. P-value are corrected by a Bonferroni adjustment.*



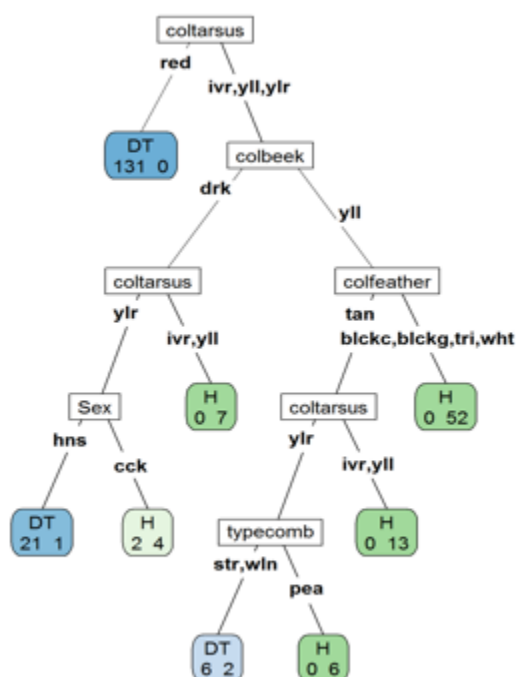
**Table 2. Feather, skin, tarsus, beak color and comb types of Ho and Dong Tao breeds**

| Variable      | Ho              |    |          |    | Dong Tao |    |          |     |       |
|---------------|-----------------|----|----------|----|----------|----|----------|-----|-------|
|               | Males           |    | Femelles |    | Males    |    | Femelles |     |       |
|               | n               | %  | n        | %  | n        | %  | n        | %   |       |
| Feather color | Black copper    | 7  | 25.93    |    |          | 14 | 20.29    |     |       |
|               | Black, gold     |    |          |    |          |    |          |     |       |
|               | hackle          | 20 | 74.07    |    |          | 55 | 79.71    |     |       |
|               | Tan             |    |          | 35 | 34.65    |    |          | 120 | 70.18 |
|               | Tricolor        |    |          | 11 | 10.89    |    |          | 30  | 17.54 |
|               | Wheat           |    |          | 55 | 54.46    |    |          | 21  | 12.28 |
| Tarsus color  | Red             |    |          |    |          | 65 | 94.20    | 137 | 80.12 |
|               | Yellow, red toe | 22 | 81.48    | 48 | 47.52    | 4  | 5.80     | 34  | 19.88 |
|               | Ivory white     | 4  | 14.82    | 47 | 46.54    |    |          |     |       |
|               | Yellow          | 1  | 3.70     | 6  | 5.94     |    |          |     |       |
| Comb type     | Pea             | 2  | 7.41     | 40 | 39.60    | 17 | 24.64    | 19  | 11.11 |
|               | Strawberry      | 5  | 18.52    | 49 | 48.52    | 11 | 15.94    | 93  | 54.39 |
|               | Walnut          | 20 | 74.07    | 12 | 11.88    | 41 | 59.42    | 59  | 34.50 |
| Beak color    | Dark horn       | 14 | 51.85    | 9  | 8.91     | 50 | 72.46    | 125 | 73.10 |
|               | Yellow          | 13 | 48.15    | 92 | 91.09    | 19 | 27.54    | 46  | 26.9  |



Note: *Tarsus.diam.1*: diameter at widest part of tarsus; *Tarsus.length*: Tarsus length; *body.weight*: Body length; DT: Dong Tao chicken; H: Ho chicken

**Figure 1: Decision tree on morpho-biometric characteristics to distinguish between Ho and Dong Tao**



Note: coltarsus: Tarsus color; ivr: Ivory white; yll: Yellow; ylr: Yellow, red toe; colbeek: Beak color; drk: Dark horn; colfeather: Feather color; tan: Tan color; blckc: Black copper; blckg: Black, gold hackle; tri: Tricolor; wht: Wheat color; typecomb: Comb type; pea: Pea; str: Strawberry; wln: Walnut; Sex: Sex; hns: Females; cck: Males; DT: Dong Tao chicken; H: Ho chicken

**Figure 2: Decision tree on visual observations to distinguish between Ho and Dong Tao**

## REFERENCES

1. **Besbes B.** (2009). Genotype evaluation and breeding of poultry for performance under sub-optimal village conditions. *World's Poultry Science Journal.*, **65**: 260-71.
2. **Cuc N.T.K., Weigend S., Tieu H.V. and Simianer H.** (2011). Conservation priorities and optimum allocation of conservation funds for Vietnamese local chicken breeds. *J. Anim. Breed. Gen.*, **128**: 284-94.
3. **Delgado C.L., Rosegrant M.W. and Meijer S.** Livestock to 2020: The revolution continues. Annual meetings of the International Agricultural Trade Research Consortium (IATRC), Auckland, New Zealand (2001). Citeseer: 18-19.
4. **Desvaux S., Ton V.D., Phan Dang T. and Hoa P.T.T.** (2008). A general review and description of the poultry production in Vietnam. A general review and description of the poultry production in Vietnam: 38.
5. **Doan B.H. and Luu N.V.** (2006). A survey on distribution, conformation, growth and productivity of Ho chicken. *J. Sci. Dev.*, **4**: 95-99.
6. **FAO** (2012). Phenotypic characterization of animal genetic resources, Fao Anial production and health, Rome, Food and agriculture organization of united nations.

7. **GSO** (2018). Statistical yearbook of Vietnam, Statistical publishing house, Hanoi, Vietnam.
8. **Keambou T., Manjeli Y., Tchoumboue J., Teguia A. and Iroume R.** (2007). Caractérisation morpho-biométrique des ressources génétiques de poulets locales des hautes terres de l'ouest Cameroun. *Liv. Res. Rur Dev.*, **19**(8): 1-13.
9. **Lan phuong T.N., Dong xuan K.D.T. and Szalay I.** (2015). Traditions and local use of native Vietnamese chicken breeds in sustainable rural farming. *World's Poul. Sci. J.*, **71**: 385-96.
10. **Le T.T., Nguyen T.B. and Ba N.V.** (2009). Genetic polymorphism analysis of five Vietnam native Ac, Choi, Ho, H'mong and Tre chicken breeds using microsatellites. *J. Biotech.*, **7**: 443-53.
11. **Luan N.T., Sharma N., Kim S.W., Ha P.T., Hong Y.H., OH S.J. and Jeong D.K.** (2014). Characterization and cardiac differentiation of chicken spermatogonial stem cells. *Anim. Reprod. Sci.*, **151**: 244-55.
12. **Ly L.V.** (1993). Note on the local animal genetic resources and their conservation in Vietnam. Pp 23-27.
13. **MARD** (2016). Atlas of livestock breeds in Vietnam, Ministry of Agriculture and Rural Development.
14. **Moula N., Dang P.K., Farnir F., Ton V.D., Binh D.V., Leroy P. and Antoine-Moussiaux N.** (2011). The Ri chicken breed and livelihoods in North Vietnam: characterization and prospects. *J. Agr. Rur. Dev. Trop. & Subtrop. (JARTS)*, **112**: 57-69.
15. **Pham M.H., Berthouly-Salazar C., Tran X.H., Chang W.H., Crooijmans R.P., Lin D.Y., Hoang V.T., Lee Y.P., Tixier-Boichard M. and Chen C.F.** (2013). Genetic diversity of Vietnamese domestic chicken populations as decision-making support for conservation strategies. *Anim. Genet.*, **44**: 509-21.
16. **Statistical Analysis System** (1989). *Sas/stat User's guide*, version 6, 4th edition. Cary, NC: SAS Institute.

---

# Article 4

## **Ho chicken in Bac Ninh province (Vietnam): from an indigenous chicken to local poultry breed**

---

*International journal of poultry science*  
14 (9): 521-528

**Duy Nguyen Van<sup>1,2</sup>, Nassim Moula<sup>2</sup>, Luc Do Duc<sup>1,3</sup>, Dang Pham Kim<sup>3</sup>, Hiep Dao Thi<sup>3</sup>, Doan Bui Huu<sup>3</sup>, Ton Vu Dinh<sup>3\*</sup> and Frédéric Farnir<sup>2\*</sup>**

<sup>1</sup>*Centre for Interdisciplinary Research on Rural Development, Vietnam National University of Agriculture, Vietnam*

<sup>2</sup>*Department of Animal Production, Faculty of Veterinary Medicine, University of Liege, Liege 4000, Belgium*

<sup>3</sup>*Faculty of Animal science, Vietnam National University of Agriculture, Vietnam*

*\*Corresponding author:*

*Vu Dinh Ton: [vdton@vnua.edu.vn](mailto:vdton@vnua.edu.vn);*

*Farnir Frederic email: [f.farnir@ulg.ac.be](mailto:f.farnir@ulg.ac.be)*

## **Ho chicken in Bac Ninh province (Vietnam): from an indigenous chicken to local poultry breed**

Nguyen Van Duy<sup>1,2</sup>, Nassim Moula<sup>2</sup>, Do Duc Luc<sup>1,3</sup>, Pham Kim Dang<sup>3</sup>, Dao Thi Hiep<sup>3</sup>, Bui Huu Doan<sup>3</sup>, Vu Dinh Ton<sup>3\*</sup> and Frédéric Farnir<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Centre for Interdisciplinary Research on Rural Development, Vietnam National University of Agriculture, Vietnam

<sup>2</sup>Department of Animal Production, Faculty of Veterinary Medicine, University of Liege, Liege 4000, Belgium

<sup>3</sup>Faculty of Animal science, Vietnam National University of Agriculture, Vietnam

\*Corresponding author:

Vu Dinh Ton: [vdton@vnua.edu.vn](mailto:vdton@vnua.edu.vn);

Farnir Frederic email: [f.farnir@ulg.ac.be](mailto:f.farnir@ulg.ac.be)

### **Abstract**

The objectives of this study are to determine the morpho-biometric characteristics of Vietnamese indigenous Ho chicken breed and to evaluate its production, reproduction performance and egg quality. The study was carried out on 20 households raising purebred Ho chicken from September 2013 to April 2015 in Northern Vietnam. Morpho-biometric characterization was based on measurement of 128 adult individuals. The egg production was observed on 66 hens within 20 households. A total of 29 eggs were freshly collected from 8 hens at the 20th laying week for quality analysis. Ho chicken breed is a breed with a large dimension, a large diversity in the colors (black with gold hackle, black copper, wheat, tan and tricolor), a heavy weight (3.78 and 2.64 for adult males and females respectively), a low egg production (12.73 eggs/clutch) and a relatively low rate of embryo eggs (72.81%). The Ho is a chicken breed with a large dimension, a large diversity in the colors, a heavy weight, a low egg production and reproduction. A research to improve the egg production and reproduction should be undertaken to obtain a better performance, economic efficiency while maintaining this genetic heritage and sustaining the biodiversity of the avian breeds in Vietnam.

### **Key words:**

Vietnam, indigenous chicken, biodiversity, productivity, egg quality

### **Short running title:**

Vietnamese indigenous Ho chicken breed

### **Introduction**

Livestock production is an important and promising agricultural sector in the context of an increasing world demand for animal products and their high added value (Delgado et al., 1999). In a global

environment with economic and ecological challenges for sustainable development, farming practices have been facing profound changes. In this context, the protection of biodiversity becomes a vital need, given the numerous pressures and threats it faces. The poultry production is no exception to the general phenomenon of genetic erosion (Besbes, 2009). A rapid spread of intensive farming practices with hybrid breeds has been led to the detriment of local chicken breeds, while these continue playing a central role in rural socio-economic development in various regions of the world.

In Vietnam, poultry farming is very important. According to the General Statistics Office of Vietnam (GSO), in 2013, the slaughtered poultry meat production in whole country accounted for 774.7 thousand tons and was ranked second after the pork production (GSO, 2014). Local breeds make up the largest part of the poultry population, the industrial lines only accounting for a small percentage. In 2003, in Vietnam, only 20% of the poultry herd originated from industrial chickens, mainly obtained by crossbreeding over a total number of 166.6 million chickens (Vang *et al.*, 1999; Eaton *et al.*, 2006). More recently, indigenous chicken breeds in Vietnam have been estimated to amount to 85% of the total chicken flock (Phan Dang *et al.*, 2009). According to Moula *et al.* (2012), the local chicken breeds in Vietnam include Ri, Te (or Lun, short leg), Tau Vang, Ac (black meat, white or black feather), Oke, H'mong, Tre, Choi (fighting chicken), PhuLuuTe, To, Dan Khao (six toes), Mia, Ho, Dong Tao (thick legs) and Van Phu. With a reproductive flock of 86.63 to 93.30 million individuals, the Ri breed was also commonly called "Gà Ta" (native chicken) accounting for 52 to 56% of total local chicken herd (Eaton *et al.*, 2006). Under the pressure of the rapid development of poultry production worldwide (Besbes, 2009), many local chicken breeds have been threatened with extinction. In Vietnam, the Mia, Ho and Dong Tao chicken breeds have been reported as endangered or critical breeds, while the Van Phu chicken breed has been lost during the last years (Tieu, 2009). However, in the developing countries like Vietnam, the local chicken breeds still play as an important tool for the rural development and poverty fighting. Moreover, any loss of biodiversity would potentially threaten these countries ability to meet the future ecological and economic challenges. In this context, and as a first step towards Vietnamese local breed conservation, this study aims to determine the morpho-biometric characteristics of the Ho chicken breed and to evaluate its growth and reproductive performance including laying rate and egg quality. This work plays as the foundation for a rehabilitation of Vietnamese local chicken breeds, which is especially suitable with less intensive farming conditions and that plays a paramount role on socio-economic and cultural aspects.

## **Materials and methods**

This study was carried out on 20 households raising purebred Ho chicken from September 2013 to April 2015 in Ho town (located 30 km north of Hanoi), Thuan Thanh district, Bac Ninh province in Northern Vietnam.

### **Morpho-biometric characterization**

Morpho-biometric characterization was based on measurement of 128 adult individuals (27 males and 101 females over six months of age). The body sizes were measured according to FAO standards (FAO, 2012). A mechanical scale (accuracy  $\pm 10$  gram) was used to weigh the chicken while a tape measure and an electronic sliding caliper (accuracy  $\pm 0.01$  mm) and a tape measure were used for measuring the body sizes. The collected traits were body weight and the body sizes (body length, beak length, comb length, comb height, wattles length, wattles height, neck length, back length, wing length, thoracic perimeter, thigh length, tarsus length and tarsus diameter) together with information about the feather color, tarsus color, beak color, feathers color and comb type.

### **Egg production performance**

The egg production was observed on 66 hens of different ages within 20 households. The hens were raised in traditional conditions inside simple houses to avoid the sun light and rain, and had a small playground for the chickens. The animals were fed by a mixed ration including paddy (20.45%), rice (27.97%), rice bran (10.88%), maize (8.39%), aquatic vegetable (30.36%) and industrial feed (1.95%). The nutrition components for this mixed ration were 5.3% crude protein, 2.47% ash, 0.26% calcium, 0.36% phosphorus and 2 483 kcal ME/kg. The eggs were collected daily and the incubation was made by hens or turkeys. The production traits were number of eggs per clutch, number of clutch per year, number of eggs/hen/year, number of embryonated eggs per clutch, rate of embryonated egg per clutch, number of chicks per clutch, rate of chicks born per clutch, number of chicks born alive per clutch, survival rate of chicks per clutch and number of chicks per year.

### **Egg quality**

A total of 29 eggs were freshly collected from 8 hens at the 20<sup>th</sup> laying week for quality analysis. Twenty-three eggs were used for quantitative traits and chemical composition analysis of eggs. The six others were sent to the National Institute for Food Control, Vietnam for determining amino acid, cholesterol, and omega contents. The quantitative traits were assessed through measurements of egg weight, yolk weight, shell weight, albumen weight, yolk diameter, albumen height, Haugh unit, maximum breakage force, yolk color, egg length, egg width and shape index. Egg chemical compositions were dry matter, ash, crude protein and lipids while amino acids were aspartic acid, serine, glutamic acid, glycine, histidine, arginine, threonine, alanine, proline, cysteine, tyrosine, valine as well as cholesterol and omega 3.

The eggs were weighed using an electronic scale (accuracy 0.01 g). Lengths and widths were measured using an electronic sliding caliper (accuracy 0.01mm). Egg shape index was calculated by ratio between length and width. Eggs were broken with careful separation of yolk and albumen. The shell and yolk were weighed separately. Albumen weight was determined by subtracting the yolk and shell weights from the total egg weight. Yolk and albumen was used for chemical composition analysis. Chemical compositions were determined according to standard AOAC methods (AOAC, 1990) in the laboratories

of the Faculty of Animal Science, Vietnam National University of Agriculture. Amino acid composition was analyzed using HPLC method while omega 3 and cholesterol using GCMS method in National Institute for Food Control, Vietnam.

### **Statistical analysis**

The data were analyzed using the general linear model procedure of SAS software (SAS, 1999) to determine the effect of the sex (male and female) on each morpho-biometric parameter. The descriptive statistics parameters were mean (Mean), standard deviation (SD), minimum (Min), maximum (Max).

## **Results**

### **Feather color and aspect**

The feather colors and aspects of Ho chickens are presented in the table 1. Ho chickens are characterized by 5 basic feather colors (2 for males and 3 for females). Two main types of feather colors were observed for the males, with the black with gold hackle (figure 1a) predominant over the black copper (figure 1b). In parallel, for the females, wheat (figure 2a) and tan color (figure 2b) were the most frequently observed colors, with some hens being tricolor (2c).

Yellow red toe (figure 3a), Yellow (figure 3b) and White red toe (figure 3c) are the three observed types of tarsus color. The first color is the main color for the males while the first and third were typical for the females (table 1).

Three types of combs were found including Walnut (figure 4a), Strawberry (figure 4b) and Pea (figure 4c). While the dominant type of combs was the walnut (74.07%) for the males while, the strawberry (48.52%) and the pea (39.60%) combs were frequently found in the females (table 1).

Ho chickens had 2 main beak colors: the dark (figure 5a) and the yellow (figure 5b). The frequency of occurrence of these colors was also different between males and females. In the males, the two colors occurred with equal frequencies whereas yellow beaks were observed in most females (91.09%).

Another sexual dimorphism in Ho chickens can be observed through the differences in the feather colors of the ear. Black, Brown, Yellow and White ear feathers were observed, with the black color present only in the males, in which it is largely predominant (74.07%) while Brown (39.80%) and Yellow (57.14%) were found recently in the females (table 1).

### **Morphometric traits**

The body weight and body sizes of Ho chickens are shown in the table 2. These values were significantly different between males and females. The males were heavier than females ( $P < 0.001$ ) and body sizes were larger ( $P < 0.001$ ) for all morphometric parameters. The coefficient of determination ( $R^2$ ) ranged from 0.7 (for thigh length) to 0.18 (for thoracic perimeter).



### **Egg production performance**

The results on the reproductive performances of Ho chicken are presented in the table 3. The egg production of Ho chicken was low (table 3). The number of eggs per hen per year varied largely between hens (min: 28 and max: 126). This tendency was observed for the other traits. The embryo eggs per clutch (9.25) and the rate of embryo eggs (72.81%) were also low for this breed. In average, a hen could give 41.09 chicks during a year.

The quantitative traits and chemical compositions of Ho chicken eggs are shown in the table 4. The quantitative egg traits were observed from 23 eggs whereas chemical compositions were from 14 eggs. The amino acid, cholesterol and omega 3 contents in the yolk and albumen are shown in the Table 6. Cholesterol and omega 3 in yolk was significantly higher than in the albumen ( $P < 0.01$ ). Among 16 amino acids, the content of 8 acids (aspartic acid, glutamic acid, glycine, alaline, tyrosine, valine, leucine and phenylalanine) was not significantly different between albumen and yolk ( $P > 0.05$ ). Cystine and methionine content in yolk was lower than in albumen ( $P < 0.05$ ).

### **Discussion**

The morphological characteristics of the Ho chicken show a large feather colors diversity. This result was also found out in the study of (Doan and Luu, 2006). The diversity of the feather colors of Ho chickens suggests genetic variation in the population of this chicken breed. Through a long historical period, Ho chickens have been raised in the household conditions of the rural area in Vietnam, where many different chicken breeds are grown in the same region. Accordingly, these individuals could go freely from a household to other households without a separating fence, meaning that crosses between the chicken breeds have not been controlled. Nevertheless, some breeding objectives have been pursued. Indeed, this chicken is a traditional product used in important ceremonies associated with spiritual life of Vietnamese people (Moula *et al.*, 2012; Lan Phuong *et al.*, 2015). Cocks with yellow feather colors are normally chosen for the sacrifice (Luan, 2014). As could be expected, this study results have shown that the yellow feather color was dominant in the cock population. This finding is similar to the research results of Doan and Luu (2006) and Thuy (2010). The feather colors in Ho cocks and hens are divided into two obvious separate groups. In detail, the cocks have the dark feather color while the hens have the lighter one. This conclusion was also confirmed by Doan and Luu (2006).

In the Red River Delta of northern Vietnam, the hens are rarely used in the traditional ceremonies. The hens are mainly raised by the farmers to produce the eggs and chicks. The farmers tend to choose the hens with lighter feather colors because they think these chickens will have a higher reproductive performance. The present research also showed that chickens with the light feather colors were predominant in the hen population. Keambou *et al.* (2007) noted that the local tropical hens have feathers allowing them to have a better ability to adapt to the weather conditions in their territories.

Leg colors of Ho chickens were rather diverse, with the chickens having yellow shank, red phalanx slots, hock and leg edge being predominant in both cocks and hens populations. In the Ho chicken

population, the yellow leg occurred with a low percentage in cocks (3.70%) and hens (5.94%). According to the elder farmers who have a profound knowledge of Ho chickens, the ancient purebred chickens had yellow legs without mixture with the other colors. However, farmers wanted to improve the legs size to follow the consumer demand. Therefore, Dong Tao chickens (one local chicken breed) were used to cross with Ho chickens in order to produce hybrids with big legs. The current mixed color could relate to the hybridization of Ho chicken population. Additionally, legs play also an important role in the traditional ceremonies such as for national New Year and wedding events (Luan, 2014). Besides that, many Vietnamese people prefer chicken legs as eating hobby. Chicken legs are easily found in the traditional restaurants today.

For the cocks selected for the sacrifice, the comb is an important selection criterion. The local people often choose chickens with bright red combs as the ripe strawberry color and the comb has to be tidy to avoid the situation that the comb be fallen to one side after boiling, because, according to the local people, when the comb is fallen, it means that their business will not be favorable. The comb type of Ho chicken over the years have also been selected according to the farmers orientation, so all three comb types of Ho chickens have tidy shapes, with the walnut comb type accounting for a predominant percentage in the cocks population while the strawberry comb is in the majority in the hens population. With a long history under the pressures of natural and artificial selection processes, Ho chicken has adapted well to the local conditions in the Red River Delta, Northern Vietnam. The direct observation and description of the phenotype of Ho chicken is an important work to provide information for the research targeting the exploitation of the breed and its sustainable conservation. The phenotypic diversity in the existing Ho chickens population reveals the introduction of exotic genes resources into the pure Ho chicken population. This is a threat introducing concerns for the genetic resource erosion of the Ho chicken herd. However, these hybridizations also provide the opportunity to create new and better individuals, fitted to the nowadays conditions while preserving the main characteristics of the original breed.

Ho chicken is one of the local breeds in Vietnam with a heavy weight. The body weight of adult cocks and hens were 3.78 kg and 2.64 kg on average respectively. These results are similar to previous researches (Doan and Luu, 2006; Thuy, 2010; Moula *et al.*, 2012). According to Cuc (2010), the weights of adult Ho chickens are among the largest, with Dong Tao (3.5 – 4.5kg) and Choi (3.5 - 5kg). Along with the large weight, the body sizes of Ho chickens such as the body length, wing length, leg length and neck length were also particularly large.

Being used in ceremonial activities, the Ho cock is also drawn on folk drawings on a special paper type and hung solemnly in the living room inside the houses in the Red River delta. Ho chickens are presented in a traditional festival organized in the early spring in Ho town, Bac Ninh province to select beautiful and representative chickens. That is one of the reasons for the farmers to often select Ho chickens with long legs, long neck and large body shape for raising. As mentioned above, the average neck lengths of the cocks and the hens were 22.33 and 19.97 cm respectively while the average body length of the cocks

and the hens were 42.88 and 37.73 cm respectively. For comparison, the average neck lengths of Ri chickens were from 17.85 cm to 19.18 cm (cock) and from 14.66 cm to 15.26 cm (hen); the average body lengths were from 36.65 cm to 38.85 cm (cock) and from 30.54 cm to 32.96 cm (hen) (Moula *et al.*, 2012).

In the present study, the eggs production varied largely between hens. This result indicated that selection tools were not applied in the household system. The average egg production of Ho chickens is similar to the study of Doan and Luu (2006). The average egg production for one clutch was low. The low laying performances of local chicken breeds have been confirmed in many related studies (Moula *et al.*, 2012; Moula *et al.*, 2012), with the Ho breed ranking among the worst in terms of eggs production by hen by year (Cuc, 2010).

When finishing each clutch, the eggs move to the hatching period. In Ho town, local people still use hens or turkeys as incubation. Many farmers used turkeys for hatching instead of Ho hens. According to the farmers, Ho hens have a heavy weight so it is difficult for them to move into the clutch, or to manipulate the eggs, which leads to a high risk of breaking the eggs. The Ho hen were considered bad broody because she do not have many feathers to maintain heat. Each year, the number of laying cycle of Ho chicken is low. The rate of eggs leading to an embryo was low. This might due to the heavy cock weights, leading to mating difficulties. The egg weight of Ho chickens was higher than those of other local chicken breeds such as Dong Tao (48.5g), H'Mong (42.5g) and Te chicken (41.62 g) (Lung *et al.*, 2004; Thieu *et al.*, 2004; Thieu *et al.*, 2004). This tendency was also observed for the weight of the yolk (Lung *et al.*, 2004; Thieu *et al.*, 2004; Thieu *et al.*, 2004). The Haugh unit of Ho egg is lower than the egg of H'Mong chicken, Te chicken (Lung *et al.*, 2004; Thieu *et al.*, 2004; Thieu *et al.*, 2004). The amino acid contents in the yolk of Ho were lower in comparison with previous researches (My *et al.*, 2010; Genchev, 2012). The feeds using in the different systems might affect the eggs quality.

## **Conclusion**

The Ho is a chicken breed with a large dimension, a large diversity in the colors, a heavy weight, a low egg production and reproduction. A research to improve the egg production and reproduction should be undertaken to obtain a better economic efficiency while maintaining this genetic heritage and sustaining the biodiversity of the avian breeds in Vietnam.

## **Acknowledgements**

This research was supported by Ministry of Education and Training and Ministry of Agriculture and Rural Development, code: 16/2012/HD –HTQTSP.

## **References**

AOAC, 1990. Official methods of analysis. 15th edition Edn., Arlington, VA: Association of Official Analytical Chemists.

- Besbes, B., 2009. Genotype evaluation and breeding of poultry for performance under sub-optimal village conditions. *World's Poult. Sci. J.*, 65: 260-271.
- Cuc, N., T., K., 2010. Vietnamese local chicken breeds: Genetic diversity and prioritizing breeds for conservation. Georg-August Universität, Göttingen, Germany: pp: 118.
- Doan, B., H, and N. Luu, V., 2006. A survey on distribution, conformation, growth and productivity of ho chicken. *Journal of Sciences and Development* 4(4-5): 95-99.
- Delgado, C., M. Rosegrant, H. Steinfeld, S. Ehui and Courbois C., 1999. Livestock to 2020 the next food revolution. Discussion paper. A 2020 Vision for Food, Agriculture, and the Environment 28, International Food Policy Research Institute, <http://www.ifpri.org/sites/default/files/publications/vb61.pdf>, (23/12/2014).
- Eaton, D., J. Windig, S. Hiemstra, M. van Veller, N. Trach, P. Hao, B. Doan and R. Hu, 2006. Indicators for livestock and crop biodiversity. Centre for Genetic Resource, the Netherlands, CGN/DLO Foundation, Wageningen: pp: 22-24.
- FAO, 2012. Phenotypic characterization of animal genetic resources, fao animal production and health. Rome: Food and agriculture organization of united nations.
- Genchev, A., 2012. Quality and composition of japanese eggs (*coturnix japonica*). *Trakia Journal of Sciences*, 10(2): 91 – 101.
- GSO, 2014. Statistical handbook of viet nam. General statistic office: Statistical Publishing House.
- Keambou, T., Y. Manjeli, J. Tchoumboue, A. Tegui and R. Iroume, 2007. Caractérisation morpho-biométrique des ressources génétiques de poulets locales des hautes terres de l'ouest cameroun. *Livestock Research for Rural Development*, 19(8).
- Lan Phuong, T.N., K.D.T. Dong Xuan and I. Szalay, 2015. Traditions and local use of native vietnamese chicken breeds in sustainable rural farming. *World's Poultry Science Journal*, 71(02): 385-396.
- Luan, L., D., 2014. Aspects of the vietnamese traditional culture through a proverb. *Language and Life*, 3(185): 36-38.
- Lung, B., D., V. Hung, T, and D. Luong, L., 2004. Report keeping gene bank of dong tao chicken. In: Workshop conservation of livestock gene fund 1990 - 2004. National Institute of animal sciences, Hanoi, Vietnam: pp: 107 - 122.
- Moula, N., N. Antoine-Moussiaux, L. Do Duc, D. Pham Kim, T. Vu Dinh, B. Dang Vu, P. Leroy and F. Farnir, 2012. Comparaison de la qualité des œufs de deux races de poulets Vietnamiennes (ri et mia). In: 10ème Journées des Sciences Vétérinaires.
- Moula, N., P.K. Dang, F. Farnir, V.D. Ton, D.V. Binh, P. Leroy and N. Antoine-Moussiaux, 2012. The ri chicken breed and livelihoods in north vietnam: Characterization and prospects. *Journal of Agriculture and Rural Development in the Tropics and Subtropics (JARTS)*, 112(1): 57–69.
- My, H., N, T., N. Tuan, A, and N. Duy, X., 2010. Chemical composition and amino acid content of chicken egg white. *Journal of Sciences and Development*, 4(8): 693-697.

- Phan Dang, T., M. Peyre, T. Vu Dinh, F. Roger, J.-F. Renard and S. Desvaux, 2009. Characteristics of poultry production systems and cost-benefit analysis of mass vaccination campaign against hpaï in poultry production systems in long an province, south vietnam. *Journal of Science and Development*, 7(English. Iss. 1).
- SAS, 1989. *Sas/stat. User's guide*, version 6, 4th edition. Cary, NC: SAS Institute.
- Thieu, P., C., V. Su, V, H. Tieu, V, and L. Thi Hong, T., 2004. Report biological characteristics and production capabilities of chicken te. In: *Workshop conservation of livestock gene fund 1990 - 2004*. National Institute of animal sciences, Hanoi, Vietnam: pp: 133-144.
- Thieu, P., C., V. Su, V, and H. Son, L., 2004. Conserve, selective and develop of h'mong chicken. In: *Workshop conservation of livestock gene fund 1990 - 2004*. National Institute of animal sciences, Hanoi, Vietnam: pp: 145-152.
- Thuy, L., T., 2010. Determine the genetic variation of local breeds. National ititute of nimal sciences, Hanoi, Vietnam: pp: 105.
- Tieu, H., V., 2009. Conservation and exploitation of animal genetic resources in vietnam. National istitute of nimal sciences, Hanoi, Vietnam: pp: 15-20.
- Vang, N., D., T. Xuan, C., P. Tien, D, , L. Nga, T, and N. Hung, M., 1999. Possibility of mia chicken production in farming thuy phuong. *Magazine poultry*, 8: 35-39.

Table 1. Physical appearance characteristics of Ho chicken

| Variable               | Male |       | Female |       | Total |       |
|------------------------|------|-------|--------|-------|-------|-------|
|                        | n    | %     | n      | %     | n     | %     |
| Feather color          |      |       |        |       |       |       |
| Black with gold hackle | 20   | 74.07 | -      | -     | 20    | 15.75 |
| Black copper           | 7    | 25.93 | -      | -     | 7     | 5.51  |
| Wheat                  | -    | -     | 55     | 55.00 | 55    | 43.31 |
| Tan                    | -    | -     | 34     | 34.00 | 34    | 26.77 |
| Tricolor               | -    | -     | 11     | 11.00 | 11    | 8.66  |
| Tarsus color           |      |       |        |       |       |       |
| Yellow, red toe        | 22   | 84.48 | 48     | 47.52 | 70    | 54.69 |
| Yellow                 | 1    | 3.70  | 6      | 5.94  | 7     | 5.47  |
| White, red toe         | 4    | 14.81 | 47     | 46.54 | 51    | 39.84 |
| Comb type              |      |       |        |       |       |       |
| Walnut                 | 20   | 74.07 | 12     | 11.88 | 32    | 25    |
| Strawberry             | 5    | 18.52 | 49     | 48.52 | 54    | 42.19 |
| Pea                    | 2    | 7.41  | 40     | 39.60 | 42    | 32.81 |
| Beak colour            |      |       |        |       |       |       |
| Dark horn              | 14   | 51.85 | 9      | 8.91  | 23    | 17.97 |
| Yellow                 | 13   | 48.15 | 82     | 91.09 | 105   | 82.03 |
| Feather color of ear   |      |       |        |       |       |       |
| Black                  | 20   | 74.07 | 0      | 0.00  | 20    | 16.00 |
| Brown                  | 4    | 14.82 | 39     | 39.80 | 43    | 34.40 |
| Yellow                 | 2    | 7.41  | 56     | 57.14 | 58    | 46.40 |
| White                  | 1    | 3.70  | 3      | 3.06  | 4     | 3.20  |

Table 2. Morpho-biometric traits of Ho chicken (Mean  $\pm$  SD)

| Variable                | Males (n=27)     | Females (n=101)  | P-value | R <sup>2</sup> |
|-------------------------|------------------|------------------|---------|----------------|
| Body weight (kg)        | 3.78 $\pm$ 0.04  | 2.64 $\pm$ 0.07  | ***     | 0.53           |
| Body length (cm)        | 55.25 $\pm$ 0.43 | 46.84 $\pm$ 0.25 | ***     | 0.64           |
| Beak length (mm)        | 42.88 $\pm$ 0.58 | 37.73 $\pm$ 0.34 | ***     | 0.26           |
| Back length (cm)        | 26.07 $\pm$ 0.35 | 22.45 $\pm$ 0.20 | ***     | 0.33           |
| Comb length (mm)        | 38.65 $\pm$ 0.76 | 27.86 $\pm$ 0.45 | ***     | 0.51           |
| Comb height (mm)        | 18.63 $\pm$ 0.62 | 8.96 $\pm$ 0.39  | ***     | 0.58           |
| VBreast length (cm)     | 21.05 $\pm$ 0.22 | 17.32 $\pm$ 0.13 | ***     | 0.57           |
| Neck length (cm)        | 22.33 $\pm$ 0.30 | 19.97 $\pm$ 0.17 | ***     | 0.21           |
| Tarsus length (cm)      | 9.78 $\pm$ 0.13  | 7.56 $\pm$ 0.07  | ***     | 0.57           |
| Tarsus diam 1 (mm)      | 23.78 $\pm$ 0.24 | 18.62 $\pm$ 0.14 | ***     | 0.67           |
| Tarsus diam 2 (mm)      | 19.69 $\pm$ 0.29 | 15.31 $\pm$ 0.17 | ***     | 0.51           |
| Thigh length (cm)       | 19.84 $\pm$ 0.18 | 16.03 $\pm$ 0.10 | ***     | 0.70           |
| Thoracic perimeter (cm) | 36.13 $\pm$ 0.40 | 33.30 $\pm$ 0.24 | ***     | 0.18           |
| Wattles length (mm)     | 31.15 $\pm$ 0.91 | 22.88 $\pm$ 0.65 | ***     | 0.32           |
| Wattles height (mm)     | 27.05 $\pm$ 1.27 | 13.89 $\pm$ 0.93 | ***     | 0.38           |
| Wing length (cm)        | 26.94 $\pm$ 0.23 | 22.72 $\pm$ 0.13 | ***     | 0.61           |

diam 1: diameter at widest part of tarsus ; diam 2: diameter at thinnest part of tarsus ; \*\*\*=P<0.001

Table 3: Reproductive performance of Ho chicken

| Variable                               | n  | Mean $\pm$ SD     | Min   | Max   |
|--|----|-------------------|-------|-------|
| Number of eggs per clutch              | 66 | 12.73 $\pm$ 2.16  | 7     | 19    |
| Number of clutch per year              | 66 | 5.23 $\pm$ 0.96   | 4     | 7     |
| Number of eggs/hen/year                | 66 | 66.18 $\pm$ 15.14 | 28    | 126   |
| Number of embryonated eggs per clutch  | 65 | 9.25 $\pm$ 2.37   | 5     | 17    |
| Rate of embryonated egg per clutch (%) | 65 | 72.81 $\pm$ 11.36 | 46.15 | 93.75 |
| Number of chicks born per clutch       | 64 | 8.03 $\pm$ 2.53   | 0     | 13    |
| Rate of chicks born per clutch (%)     | 64 | 63.39 $\pm$ 17.05 | 0     | 92.31 |
| Number of chicks born alive per clutch | 64 | 7.92 $\pm$ 2.60   | 0     | 13    |
| Survival rate of chicks per clutch (%) | 64 | 95.68 $\pm$ 17.73 | 0     | 100   |
| Number of chicks per year              | 64 | 41.09 $\pm$ 13.75 | 0     | 70    |

Table 4: Quantitative traits and chemical composition of Ho chicken eggs

| Variable                   | n  | Mean $\pm$ SD    | Min   | Max   |
|----------------------------|----|------------------|-------|-------|
| Egg weight (g)             | 23 | 52.49 $\pm$ 3.59 | 44.60 | 59.50 |
| Yolk weight (g)            | 23 | 16.59 $\pm$ 1.76 | 12.40 | 18.70 |
| Egg shell weight (g)       | 23 | 5.26 $\pm$ 0.56  | 3.90  | 6.20  |
| Albumen weight (g)         | 23 | 30.51 $\pm$ 2.50 | 27.10 | 35.10 |
| Yolk diameter (mm)         | 23 | 42.85 $\pm$ 1.55 | 39.61 | 45.10 |
| Albumen height (mm)        | 23 | 6.11 $\pm$ 1.14  | 3.80  | 8.00  |
| Haugh Unit                 | 23 | 79.28 $\pm$ 8.58 | 58.70 | 92.60 |
| Maximum breakage force (N) | 23 | 34.99 $\pm$ 6.98 | 15.87 | 47.74 |
| Yolk color (score 1-15)    | 23 | 8.09 $\pm$ 2.17  | 4     | 11    |
| Egg length (mm)            | 23 | 53.09 $\pm$ 1.98 | 48.83 | 56.01 |
| Egg width (mm)             | 23 | 41.89 $\pm$ 1.26 | 40.16 | 44.37 |
| Shape index (%)            | 23 | 79.01 $\pm$ 3.75 | 73.89 | 87.72 |
| Dry matter (%)             | 14 | 30.15 $\pm$ 2.07 | 24.04 | 32.47 |
| Ash (%)                    | 14 | 1.85 $\pm$ 0.41  | 1.01  | 2.44  |
| Crude protein (%)          | 14 | 13.03 $\pm$ 0.96 | 11.49 | 14.28 |
| Lipid (%)                  | 14 | 11.44 $\pm$ 2.25 | 6.82  | 14.00 |

Table 5: Amino acid and cholesterol composition in eggs of Ho chicken (Mean  $\pm$  SD)

| Variable              | Albumen (n=6)    | Yolk (n=6)         | P-value | R <sup>2</sup> |
|-----------------------|------------------|--------------------|---------|----------------|
| Cholesterol (mg/100g) | 18.78 $\pm$ 4.12 | 309.50 $\pm$ 58.31 | ***     | 0.09           |
| Omega 3 (mg/100g)     | 0.18 $\pm$ 0.22  | 48.33 $\pm$ 22.56  | **      | 0.68           |
| Aspartic acid (mg/g)  | 8.39 $\pm$ 1.40  | 9.78 $\pm$ 0.83    | NS      | 0.30           |
| Serine (mg/g)         | 3.50 $\pm$ 0.76  | 4.82 $\pm$ 1.19    | *       | 0.43           |
| Glutamic acid (mg/g)  | 11.17 $\pm$ 1.85 | 12.96 $\pm$ 1.30   | NS      | 0.27           |
| Glycine (mg/g)        | 2.23 $\pm$ 0.39  | 2.45 $\pm$ 0.18    | NS      | 0.14           |
| Histidine (mg/g)      | 2.25 $\pm$ 0.49  | 2.79 $\pm$ 0.18    | *       | 0.39           |
| Arginine (mg/g)       | 4.39 $\pm$ 0.74  | 5.80 $\pm$ 0.90    | **      | 0.47           |
| Threonine (mg/g)      | 2.94 $\pm$ 0.56  | 4.07 $\pm$ 0.57    | **      | 0.55           |
| Alanine (mg/g)        | 4.70 $\pm$ 0.79  | 5.01 $\pm$ 0.40    | NS      | 0.07           |
| Proline (mg/g)        | 2.79 $\pm$ 0.46  | 3.96 $\pm$ 0.41    | ***     | 0.68           |
| Cystine (mg/g)        | 0.71 $\pm$ 0.15  | 0.48 $\pm$ 0.09    | ***     | 0.50           |
| Tyrosine (mg/g)       | 2.52 $\pm$ 0.53  | 2.29 $\pm$ 0.98    | NS      | 0.02           |
| Valine (mg/g)         | 5.96 $\pm$ 0.98  | 6.67 $\pm$ 0.63    | NS      | 0.18           |
| Methionine (mg/g)     | 2.98 $\pm$ 0.52  | 2.41 $\pm$ 0.24    | *       | 0.38           |
| Lysine (mg/g)         | 5.52 $\pm$ 0.88  | 7.68 $\pm$ 1.28    | **      | 0.54           |
| Isoleucine (mg/g)     | 4.31 $\pm$ 0.69  | 5.49 $\pm$ 0.60    | **      | 0.50           |
| Leucine (mg/g)        | 6.42 $\pm$ 1.03  | 8.07 $\pm$ 1.50    | NS      | 0.33           |
| Phenylalanine (mg/g)  | 4.72 $\pm$ 0.82  | 4.44 $\pm$ 0.33    | NS      | 0.05           |

\*: P<0.05; \*\*: P<0.001; \*\*\*: P<0.0001; NS: P $\geq$ 0.05





Figure 1a : Black with gold hackle feather



Figure 1b: Black copper feather



figure 2a: Wheat color feather



Figure 2b: Tan color feather



figure 2c: Tri color feather



Figure 3a: Yellow red toe



Figure 3b: Yellow toe



Figure 3c: White red toe



Figure 4a: Walnut comb



Figure 4b: Strawberry comb

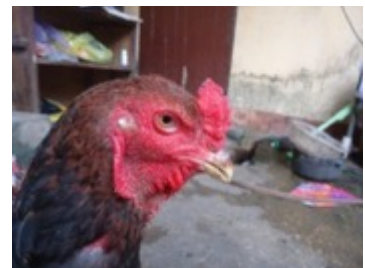


Figure 4c: Pea comb

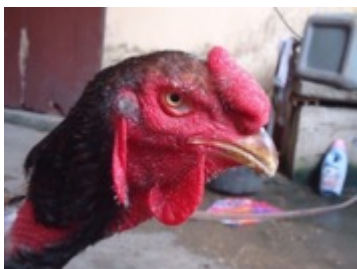


Figure 5a: Dark beak



Figure 5b: Yellow beak

---

# Chapitre 5

## Étude 3

### **Caractéristiques zootechniques des deux races Ho et Dong Tao: performances de production et de reproduction**

---

Le plus gros inconvénient des poules indigènes est leur faible production. Les faibles productivités sont causées par des facteurs génétiques et nutritionnels, les risques de maladie et l'absence de gestion (Kingori et al., 2010). Les recherches sur les performances de production et de reproduction sont donc nécessaires pour fournir des informations permettant d'améliorer la productivité des poules indigènes. Selon de Bett et al. (2014) l'amélioration des conditions d'élevage, l'utilisation de compléments alimentaires et le renforcement des soins peuvent améliorer les performances de production et de reproduction des poules indigènes.

Cette étude présente des résultats sur les performances de production, les performances de reproduction, la qualité de la viande et la qualité des œufs des poules Ho et Dong Tao. Les résultats sont présentés sous forme d'un d'article scientifique publié dans la revue «Animals».

1.

---

## Article 5

### Productive performance and egg and meat quality of two indigenous poultry breeds in Vietnam, Ho and Dong Tao, fed on commercial feed

---

*Animals (10): 408-425*

Duy Nguyen Van <sup>1,2</sup>, Nassim Moula <sup>2</sup>, Evelyne Moyses <sup>2</sup>, Luc Do Duc <sup>3</sup>, Ton Vu Dinh <sup>1,3</sup> and Frederic Farnir <sup>2,\*</sup>

*Centre for Interdisciplinary Research on Rural Development, Vietnam National University of Agriculture, Trau Quy, Gia Lam, Hanoi, Vietnam; nvduy.hua@gmail.com*

<sup>2</sup> *Fundamental and Applied Research in Animal and Health (FARAH) Department of Veterinary Management of Animal Resources, Faculty of Veterinary Medicine, University of Liege, Liege 4000, Belgium; [nassim.moula@uliege.be](mailto:nassim.moula@uliege.be); [evelyne.moyse@uliege.be](mailto:evelyne.moyse@uliege.be); [f.farnir@uliege.be](mailto:f.farnir@uliege.be)*

<sup>3</sup> *Faculty of Animal Science, Vietnam National University of Agriculture, Trau Quy, Gia Lam, Hanoi, Vietnam; [dtghn@yahoo.co.uk](mailto:dtghn@yahoo.co.uk); [vdton.hua@gmail.com](mailto:vdton.hua@gmail.com)*

\* *Correspondence: [f.farnir@uliege.be](mailto:f.farnir@uliege.be)*

## **Productive performance and egg and meat quality of two indigenous poultry breeds in Vietnam, Ho and Dong Tao, fed on commercial feed**

**Duy Nguyen Van** <sup>1,2</sup>, **Nassim Moula** <sup>2</sup>, **Evelyne Moyses** <sup>2</sup>, **Luc Do Duc** <sup>3</sup>, **Ton Vu Dinh** <sup>1,3</sup> and **Frederic Farnir** <sup>2,\*</sup>

<sup>1</sup> Centre for Interdisciplinary Research on Rural Development, Vietnam National University of Agriculture, Trau Quy, Gia Lam, Hanoi, Vietnam; [nvduy.hua@gmail.com](mailto:nvduy.hua@gmail.com)

<sup>2</sup> Fundamental and Applied Research in Animal and Health (FARAH) Department of Veterinary Management of Animal Resources, Faculty of Veterinary Medicine, University of Liege, Liege 4000, Belgium; [nassim.moula@uliege.be](mailto:nassim.moula@uliege.be); [evelyne.moyse@uliege.be](mailto:evelyne.moyse@uliege.be); [f.farnir@uliege.be](mailto:f.farnir@uliege.be)

<sup>3</sup> Faculty of Animal Science, Vietnam National University of Agriculture, Trau Quy, Gia Lam, Hanoi, Vietnam; [dtghn@yahoo.co.uk](mailto:dtghn@yahoo.co.uk); [vdton.hua@gmail.com](mailto:vdton.hua@gmail.com)

\* Correspondence: [f.farnir@uliege.be](mailto:f.farnir@uliege.be)

Received: 4 December 2019; Accepted: 21 February 2020; Published: 1 March 2020

**Simple Summary:** Indigenous chicken breeds adapt well to the local conditions and provide the genetic diversity required to improve the development of poultry breeds. Nowadays, the intensive systems of chicken production use only hybrid lines with high genetic potential. These lines are a serious threat to the conservation of indigenous chicken breeds in the world. Therefore, research on indigenous chicken breeds are necessary in elucidating conservation and sustainable development strategies with respect to these chicken breeds. This work evaluates the production and laying performances, and the meat and egg quality of two breeds of Vietnamese broiler chickens, Ho and Dong Tao. Our work shows that the production performances of the two breeds are low compared to commercial lines. Improving the production and reproduction performances of these animals is necessary in contributing to the program of conservation and sustainable exploitation of these two emblematic breeds.

**Abstract:** The objective of this work was the evaluation of the meat production and laying performances, and the meat and egg quality of two breeds of Vietnamese broiler chickens, Ho and Dong Tao, fed on a commercial diet. In a survey, we continuously recorded for 28 weeks, the data on the production performance and meat quality of 250 chicks from each breed. We investigated egg laying and egg quality using 36 Ho and 32 Dong Tao hens during 52 weeks of laying. The growth patterns were similar for the two breeds. Feed conversion ratios were also similar, and demonstrated the low efficiency of these two breeds when compared to commercial broilers. Slaughter age proved to affect several carcass yield characteristics, showing that slaughtering between 16 and 20 weeks

might be better than at the usual age of 28 weeks. Yield, carcass composition and meat quality differed between the two studied breeds. The eggs production and number of embryonated eggs were low for the two breeds when compared to other breeds, with a lower hatching performance in Ho than in Dong Tao. In summary, the production performances of Ho and Dong Tao chickens were low, even when birds were fed a commercial diet. The study demonstrates the need to find ways to improve the production and reproduction performances of these animals, in order to contribute to the program of conservation and exploitation of these two breeds.

**Keywords:** indigenous chicken; body weight; meat; egg; production performances

---

## 1. Introduction

Domestication of poultry started about 8000 years ago. Since then, humans have depended a lot on it. Chickens can adapt easily to various environmental conditions due to their small size, reduced needs and ability to find feed and water for themselves. Moreover, their short production cycle is another important advantage, making them a major source of animal protein for humans and providing diverse products for human consumption [1]. At the local scale, indigenous chicken populations have a significant contribution to household production, especially for low income farmers in Asia, Africa and the South Pacific [2].

Nowadays, because of improvements in the intensive farming systems, the poultry production has developed rapidly worldwide. Intensive poultry farming provides protein to the human population at a very large scale, especially in growing urban areas [3]. However, in the long term, this intensive poultry farming, using only high-yielding hybrid lines, is a serious threat to the genetic diversity of poultry breeds in the world because of the replacement of local breeds by these productive exotic breeds. According to an FAO report [4], 60 of the 1729 breeds identified worldwide are extinct, 154 are critically endangered, 214 are endangered and 1089 have an unknown conservation status. This trend could be particularly damaging for small-scale poultry breeders or livestock farmers in poor countries [3]. The rapid development of intensive poultry companies, not only leads to reductions in the number of indigenous chicken breeds, but also increases the dependence on commercial chicken lines production [5].

Intensively raised chicken breeds could show weaknesses in their ability to adapt to global warming, to emerging diseases and to complex changes in consumers demand. In that context, indigenous chicken breeds could be a rich genetic resource, able to provide solutions to problems eventually arising in selected chicken lines [6].

Vietnam is one of the chicken domestication centres and still has a rich genetic diversity of poultry breeds [7,8]. Vietnam has 14 indigenous chicken breeds, including Ri, Te, Tau Vang, Ac, Oke, H'mong, Tre, Choi, Phu Luu Te, To, Dan Khao, Mia, Ho and Dong Tao breed [9]. Another report from FAO even states that 28 indigenous chicken breeds are present in this country, but without listing these breeds

[10]. For all these breeds, 7.3 million households use the backyard chicken farming system. This represents 92% of the households raising chicken. In this system, households usually keep 5–50 heads per household [11]. Industrial broilers represent 23.1% of the total Vietnamese chicken population. The remaining 76.9% is made up of native chickens or chickens obtained by crossing local and exotic chickens. For laying hens, the proportions are 43.3%, and 56.7%, respectively [12]. In local breeds of broilers, chickens are slaughtered at around five to six months of age, except for a small proportion of hens that are kept for laying until two years of age. Another report estimates that 84%-85% of the households in the Northeast and Northwest of Vietnam use that system [11]. The income from poultry production accounts for 32.5% of the total household income. In addition to their economic role, indigenous chicken breeds play an important role in the cultural and social relations of the Vietnamese people [9]. Poultry products (usually from indigenous chicken breeds) are used as gifts or offerings in important religious ceremonies [11].

The Ho and the Dong Tao breeds are two of the most important indigenous broiler chicken breeds in Vietnam. The population of Ho chickens is very small, with only 1404 individuals distributed in 88 households [13]. On the other hand, there are more than 1000 Dong Tao chicken households, totalizing nearly 10000 individuals. Of these herds, only about 20 farms have a flock size exceeding 50 hens per household [14]. The price of Dong Tao and Ho chickens, comprised between 14 and 20 USD per kg, is more than 3-4 times the price of other Vietnamese chickens. Historically, the meat from these two breeds was offered as a gift to the King [10]. The names of the Ho and the Dong Tao breeds come from the region of origin of these breeds. The Ho breed is characterized by a large body size, with feathers of five varying colours (two for males and three for females, see Figure 1) and low reproductive performance [15]. The Dong Tao breed has completely different characteristics from the other indigenous chicken breeds from Vietnam. It has big sized legs, with feathers of five varying colours (two for males and three for females, see Figure 2) and comparatively higher body weight than the other Vietnamese indigenous chicken breeds [16]. The conservation of the Ho and the Dong Tao chicken breeds, as well as many other indigenous chicken breeds in Vietnam, is mainly achieved by the private sector in the farmers' households. The aim of this study is to characterize the growth, laying, meat and eggs quality of these two emblematic chicken breeds of Vietnam when fed with a commercial diet. We also aim to compare these performances to other chicken breeds, in order to identify traits for which improvements are needed for an economically sustainable exploitation and conservation of these two breeds.

## 2. Materials and Methods

This study was carried out from June 2016 to July 2017. It involved simultaneously the two breeds, and was performed at the Faculty of Animal Science of the Vietnam National University of Agriculture in Hanoi (Vietnam). Hanoi is located at the latitude of 21°02'78" north and at the longitude of 105° 84'32" east. The weather is sub-tropical with four seasons (winter, summer, autumn and spring). Average

monthly temperatures range from 25.1°C in June to 18.1°C in December. Average annual humidity is about 76,6%, with the highest (84%) in March and the lowest (70%) in December. During the year, total sunshine time is about 1075.2 hours [17]. Our study is made of 2 distinct parts: First, a survey on production performances and meat quality. Production measures have been recorded continuously for 28 weeks and the meat quality has been assessed at slaughter. Second, the quantitative and qualitative egg production performances have been continuously monitored in laying phase during 52 weeks.



**Figure 1. Adult female (right) and male (left) Ho chickens.**



**Figure 2. Adult female (left) and male (right) Dong Tao chickens.**

### 2.1. Growth, Carcass and Meat Quality

The experiment lasted from January 2017 to July 2017. A total of 250 chicks originating from the chicken flocks of Ho (62 males and 63 females) and Dong Tao (61 males and 64 females) have been used to survey the growth performance and meat production potential. These breeds are pure breeds and the animals come from the national programme of chicken conservation. We first randomly divided all the chicks into pens containing 25 individuals of the same breed (2 rows of 5 pens). The chicks were then floor-bred on a rice husks litter in the same ventilated building, with small brick walls and nets separating the pens. The chicks under 5 weeks of age were put under a heating lamp and the room temperature was regulated manually according to the chicks' behaviour. The chickens after 5 weeks of age were raised under room condition (i.e., no control of the light, temperature and ventilation). The birds stayed in the same pens until slaughter and the males and females were not kept separate. All the chicks used the same feed (commercial animal feed pellets - Table 1), and we used the same vaccine protocol for all of them (Table 2). The feed was provided for chickens twice a day (6-7 am and 1-2 pm) using two 60 cm X 15 cm troughs per pen. Water was available in similar troughs (1/pen). Feed and water were always available. Mortality was low, with only 3 birds (two Dong Tao and one Ho) dying in the first week.



**Table 1.** Diet composition for broilers from the first day of age to slaughter.

| Ingredients (%)                | Proportion  |              |              |                    |
|--------------------------------|-------------|--------------|--------------|--------------------|
|                                | 1 - 14 days | 15 - 28 days | 29 - 42 days | 43 days- slaughter |
| Corn                           | 59.80       | 62.90        | 65.40        | 68.50              |
| Soybean meal                   | 26.82       | 23.87        | 25.22        | 18.82              |
| DDGS                           | 3.00        | 2.00         | 0.34         | 1.00               |
| Wheat DDGS                     | 3.00        | 3.00         | -            | 1.00               |
| Limestone powder               | 1.50        | 1.40         | 1.40         | 1.20               |
| Basa fish oil                  | 1.20        | 1.20         | 1.98         | 1.22               |
| Poultry vitamix (CM1976)       | 0.10        | 0.10         | 0.10         | 0.10               |
| Canola                         | 1.00        | -            | -            | -                  |
| Dicalcium phosphate (DCP 17%)  | 0.98        | 0.73         | 0.53         | 0.12               |
| Lysine 70%                     | 0.70        | 0.60         | 0.45         | 0.46               |
| Meat and bone meal             | 0.55        | 0.57         | 1.00         | 2.00               |
| Premix                         | 0.49        | 0.88         | 0.87         | 0.86               |
| Salt powder (Nacl)             | 0.34        | 0.29         | 0.26         | 0.21               |
| L-met pro (Methionine 90%)     | 0.22        | 0.18         | 0.21         | 0.20               |
| Poultry minemix (CM4089)       | 0.15        | 0.13         | 0.13         | 0.13               |
| Sodium bicarbonate 99%         | 0.05        | 0.05         | 0.05         | 0.10               |
| Choline chloride 60%           | 0.05        | 0.05         | 0.05         | 0.05               |
| Salinomycin 12%                | 0.05        | 0.05         |              |                    |
| Rapeseed meal                  | -           | 2.00         | 2.00         | 4.00               |
| Threonine. L 98%               | -           | -            | 0.01         | 0.03               |
| <b>Analytical composition</b>  |             |              |              |                    |
| Crude protein (%)              | 22.5        | 21.5         | 20.5         | 19                 |
| Calcium                        | 1.5         | 1.5          | 1.15         | 0.8                |
| Phosphorus                     | 1           | 1            | 0.7          | 0.5                |
| Crude fiber                    | 5           | 5            | 5            | 5                  |
| Metabolizable energy (kcal/kg) | 3000        | 3000         | 2950         | 3030               |

**Table 2.** Vaccination protocol for Ho and Dong Tao breed.

| Age (day) | Vaccine         | Way                    |
|-----------|-----------------|------------------------|
| 1         | Marek's disease | Subcutaneous injection |
| 3         | Newcastle       | Oral vaccination       |
| 8         | Gumboro         | Subcutaneous injection |
| 15        | Newcastle       | Oral vaccination       |
| 60        | Newcastle       | Subcutaneous injection |
| 90        | Fowl cholera    | Subcutaneous injection |
| 150       | Newcastle       | Subcutaneous injection |

Each bird was identified individually, first using a numbered plastic ring at the leg, then using metallic ones after 5 weeks. At 5 weeks of age, sex was determined by the differences in comb size and wing feathers colour, which are sex-specific [15,16]. We weighed the chickens every week on a fixed day, from one to six weeks of age with an electronic scale (accuracy 0.01g). From 7 to 28 weeks of age, we used a mechanical scale (accuracy 5 g). The differences between final and initial weights were used to compute individual average daily gains (ADG) between the first week and 28 weeks. Feed intake was also recorded for each batch. The feed conversion ratio (FCR) was defined as the ratio of the average (for the batch) amount of feed ingested throughout the rearing period to the average body weight gained during that period. One cock and one hen were randomly sampled in each pen to be slaughtered at 12, 16, 20, 24 and 28 weeks of age (leading to slaughter  $n = 50$  individuals in each breed). Feed was withdrawn approximately 12 h before slaughter. Slaughtered animals were bled out using the normal procedure in use in Vietnam (i.e., with a knife), plucked under warm water, weighed again and eviscerated. The legs were sectioned at the tibiotarsus-metatarsus joint and the head was cut at the skull atlas joint. The warm carcass was then weighed. The dressing out percentage was calculated as the ratio between warm carcass weight and live weight at slaughter. At this stage, the carcass was cut and the wings, legs and drumsticks were sampled and weighed after being skinned. The pectoral muscles (*Pectoralis major* and *Pectoralis profundus*) and the thigh muscle were sampled just after slaughter, weighed and packed in plastic bags for conservation, at 4°C, for 24 hours. Water loss was calculated as the difference between muscles weight at sampling and after 24 hours of draining on absorbent paper. The pH was measured using a portable pH-meter (Testo 230 with an electrode type 03 pH, Germany). Three measurements were performed and the average of these readings was considered as the final pH value. The samples after 24 hours of storage were cooked to internal temperature of 75°C for 60 minutes. The post-processing losses were determined based on the difference in the weights of the sample before, and after, processing.

Meat toughness was determined on meat samples after processing. The standardized shear force perpendicular to the axis of muscle fibres was measured in Newton (N) using a Warner Bratzler machine 2000D (USA).

Finally, meat composition was assessed in terms of protein and fat content, dry matter and mineral content according to standard methods.

## 2.2. Egg Production and Quality

Laying performance was investigated using 36 Ho and 32 Dong Tao hens from June 1, 2016 to June 15, 2017. These hens came from farms involved in the national program of chicken conservation. They were reared on a (unknown) farm diet before being collected for the experiment at 22 weeks (Dong Tao) or 24 weeks (Ho) and caged directly upon arrival at VNUA. Ho and Dong Tao in this experimentation were purebred animals. All hens were raised in the same building and put in individual cages (cages dimensions: 40cm x 65cm x 38cm) about 15–20 days before laying the first egg. This system made it possible to obtain individual egg production and feed consumptions. Drinking water was provided automatically using nipples waterers and we used the same vaccination protocol for all hens (see Table 2). 140 g of feed mix (see Table 3) were provided daily to each individual hen in 2 meals (6–7 am and 1–2 am). The composition of feed for hens was analyzed in the Central laboratory of the Faculty of Animal Science, Vietnam National University of Agriculture. The crude protein, fat content, fiber, calcium and phosphorus were determined according to standard methods (TCVN 4328-2001; TCVN 4331-2001, TCVN 9590:2013, TCVN 6198-1996, and TCVN 1525-2001, respectively).

**Table 3.** Diet composition for laying hens.

| Ingredients (%)                                 | Proportion |
|---|------------|
| Corn  | 34.00      |
| Paddy   | 33.00      |
| Commercial animal feed concentrate <sup>1</sup> | 16.50      |
| Rice bran                                       | 16.00      |
| Minerals –vitamins <sup>2</sup>                 | 0.50       |
| Composition                                     | Quantity   |
| Crude protein (g/kg)                            | 142.50     |
| Fat content (g/kg)                              | 53.46      |
| Crude fiber (g/kg)                              | 42.21      |
| Calcium (g/kg)                                  | 11.52      |
| Phosphorus (g/kg)                               | 5.90       |
| Metabolizable energy (kcal/kg)                  | 3030.12    |

<sup>1</sup> Protein-rich foods, crude protein 45%; <sup>2</sup> Vitamin A: 3 000 000UI/kg, vitamin D3: 30 000UI/kg, Vitamin E: 100mg/kg. The corn and the rice bran were flour. The paddy (rice) is primitive. All ingredients are mixed together using a mixer similar to a small cement mixer before distribution to the hens.

The amount of leftovers was weighed at the end of the day. The survey was carried out during 52 weeks of laying. All hens were inseminated artificially every two days using 0.05ml semen doses collected from 6 males from each breed. These males were randomly selected at 26 weeks for Dong Tao and 28 weeks for Ho from farms included in the conservation program. After 2 weeks training, semen was collected using massage into 1.5 ml Eppendorf tubes and hens were directly inseminated using doses of 0.05mL (6 randomly chosen hens/cock). This process (sperm collection and insemination of all hens) was repeated every two days in order to maximize the fertilization percentage. Eggs were collected each day and stored at room temperature (ranging between 17.02°C and 18.20°C) for a maximum of 3 days. Abnormal, cracked or unshelled eggs were removed. Eggs analysis (see description below) took place every Wednesday with all eggs collected from Monday to Wednesday. All eggs, collected during the other days of the week, were incubated using a MacTech MT500 incubator.

Egg quality analysis was implemented on the collected eggs. In total, 1673 eggs of Ho and 1723 eggs of Dong Tao were collected, and the weekly total egg weights were obtained using an electronic scale (accuracy 0.01g), while average egg weights were computed by dividing the total weekly eggs weights by the corresponding eggs number. Using a random subset of 108 eggs from each breed, we measured the length and width of the eggs with an electronic slider with a precision of 0.01mm. The eggshell index was calculated as the ratio of the width to the length multiplied by 100 [18]. In order to minimize errors in the subsequent results, the re-examination of the eggs was carried out to ensure that the cracked eggs were definitely removed. We assessed the egg quality as described in [18]. Briefly, we computed the yolk/albumen ratio, and we measured the height of albumen and the height of yolk to infer the Haugh unit. The maximal breaking force ( $F_{max}$ ) of the eggshell was determined using the static compression method with a Universal tensile and compression test machine described in [18]. The shell thickness was measured at three different random points in the equatorial shell zone using an electronic micrometre (precision 0.01mm). The calculated average was used as the trait value. According to [18], the eggshell thickness is slightly thinner but more constant in the equatorial shell zone compared to other shell zones.

The eggs were then shredded carefully to remove the albumen, and the shell (including the membrane) and the yolk was weighed using an electronic scale (precision of 0.01g). The egg albumen weight was determined by taking the egg weight minus the shell and yolk weights.

The remaining eggs were also checked to remove abnormal eggs before incubation (eliminating cracked, broken, deformed eggs). All eggs were hatched using an automatic incubator with a capacity of 500 eggs per session. The incubator allowed temperature, humidity and automatic eggs rotation adjustments. The embryonated eggs were screened after 7 days of incubation and examined using a lamp light focused on the egg. The eggs with embryos, the number of chicks hatched, the deformed chicks hatched, the ratio of eggs containing embryos, and the ratio of chicks hatched were recorded.

### 2.3. Statistical Analysis

All statistical analyses were performed using the following linear mixed model, with slight adaptations when needed, as indicated below:

$$y_{ijkl} = \mu + A_i + B_j + C_k + (AB)_{ij} + (AC)_{ik} + (BC)_{jk} + (ABC)_{ijk} + I_m + e_{ijkl}$$

where:

-  $y_{ijkl}$  represents the modelled trait (see below) measured on animal  $l$  with age  $i$  from breed  $j$  and sex  $k$ ,

-  $\mu$  stands for the overall mean,

-  $A_i$  is the fixed effect of age ( $i$ : 1, 4, 8, 12, 16, 20, 24 and 28 weeks),

-  $B_j$  is the fixed effect of breed ( $j$ : Ho, Dong Tao),

-  $C_k$  is the fixed effect of sex ( $k$ : male, female),

-  $(AB)_{ij}$ ,  $(AC)_{ik}$ ,  $(BC)_{jk}$  represent two-ways interactions between age  $i$  and breed  $j$ , between age  $i$  and sex  $k$ , and between breed  $j$  and sex  $k$ , respectively,

-  $(ABC)_{ijk}$  represents the three-ways interaction between age  $i$ , breed  $j$  and sex  $k$ ,

-  $I_m$  is the random effect of the pen  $m$ ,

-  $e_{ijkl}$  is a random residual effect for animal  $l$  with age  $i$  from breed  $j$  and sex  $k$ .

We analysed the results from the experiment on growth and meat quality as follows.

For the growth performances (weight and average daily gain ADG), we used the above model on individual measurements (25 individuals/pen, 10 pens). To account for the dependence between successive measurements on the same animal in this longitudinal study (up to 8 measurements/individual), we modelled the correlation between successive measurements on the same animal using a type 1 -autoregressive structure (using the Mixed procedure of SAS, version 9.3). Note that we nevertheless included a random pen effect to correct for the potential differences between pens.

We used the 10 pen averages of feed intake and growth to compute the weekly FCR. We then used the abovementioned mixed model after excluding the fixed effect of sex and its interactions, since observations were made on approximately sex-balanced batches of individuals.

For the carcass and meat quality traits, a fixed linear model was fitted (procedure GLM, SAS version 9.3) on individual measurements (one male and one female from each pen at each of five time points) assuming homoscedastic and uncorrelated normally distributed residuals.

The results from the experiment on egg production and egg quality were analysed using linear models including the fixed effect of breed only. For the laying performances, we considered the traits measured on 36 Dong Tao and 36 Ho randomly chosen hens. For the hatching performances, we analysed the results from incubator runs (1 measure/run/trait). An incubator run involves all the eggs laid in the 3 preceding days. Finally, the egg quality was investigated using the measures made on 108 randomly sampled eggs from each breed.

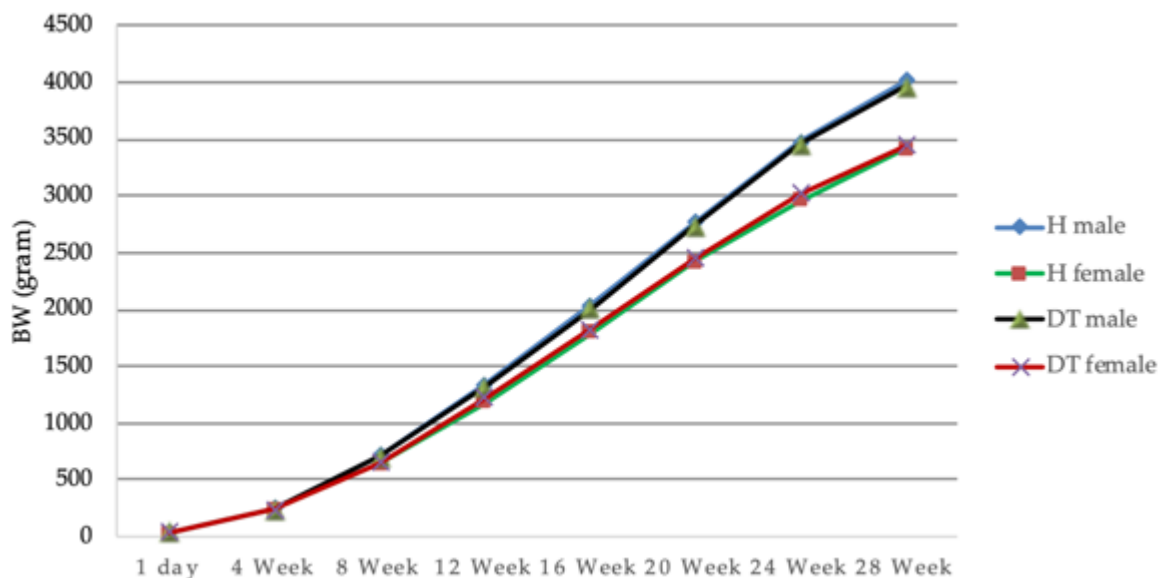
For all analyses, least squares means (LSM), standard error (SE), and tests of the differences between levels of an effect were obtained, with significance level set at  $p < 0.05$  after correcting for multiple testing using Bonferroni procedure. Averages reported in the Results section are LSM.

### 3. Results

#### 3.1. Growth, Carcass and Meat Quality

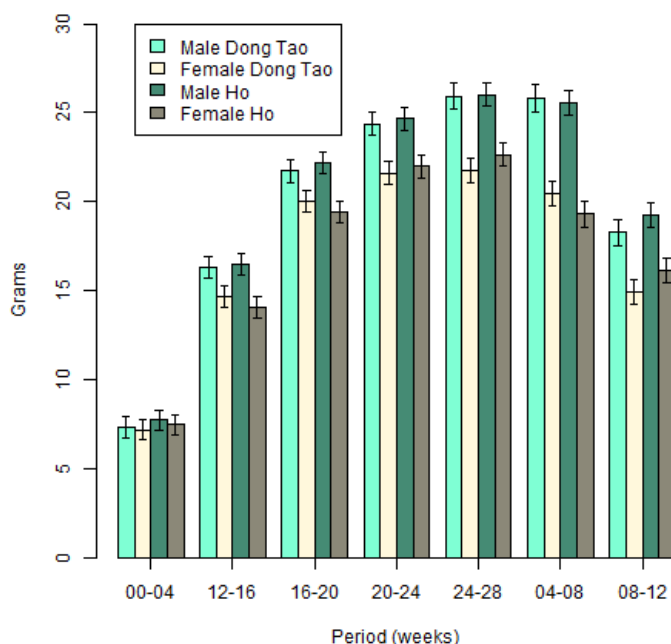
##### 3.1.1. Growth

Sex and age had effects on the growth ( $p < 0.0001$ ), with heavier males than females and weights increasing with age. The interaction between sex and age demonstrated a clear difference in the growth in both sexes ( $p < 0.001$ ): Starting from similar weight up to week 4 ( $p > 0.05$ ), the weights start to diverge and become different ( $p < 0.0001$ ) from week 8 onwards. We did not observe any main breed effect (no global differences between Ho and Dong Tao individual weights,  $p > 0.05$ ), nor any differences between the weights in the two breeds with time (comparison at the various time points all provided non-significant differences,  $p > 0.05$ ). Within each sex, the growths were also similar (the sex\*age\*breed interaction was not significant ( $p = 0.7769$ ), and comparisons of males (or females) from the 2 breeds at different ages did not produce any significant differences). Nevertheless, we found a slight ( $p = 0.0182$ ) interaction between breed and sex: the weight of Ho males was slightly higher than the weight of Dong Tao males, while the opposite was true for females (although these two differences are not significant). Figure 3 summarizes these results.



**Figure 3.** Growth performance of Ho and Dong Tao chickens, H: Ho breed, DT: Dong Tao breed.

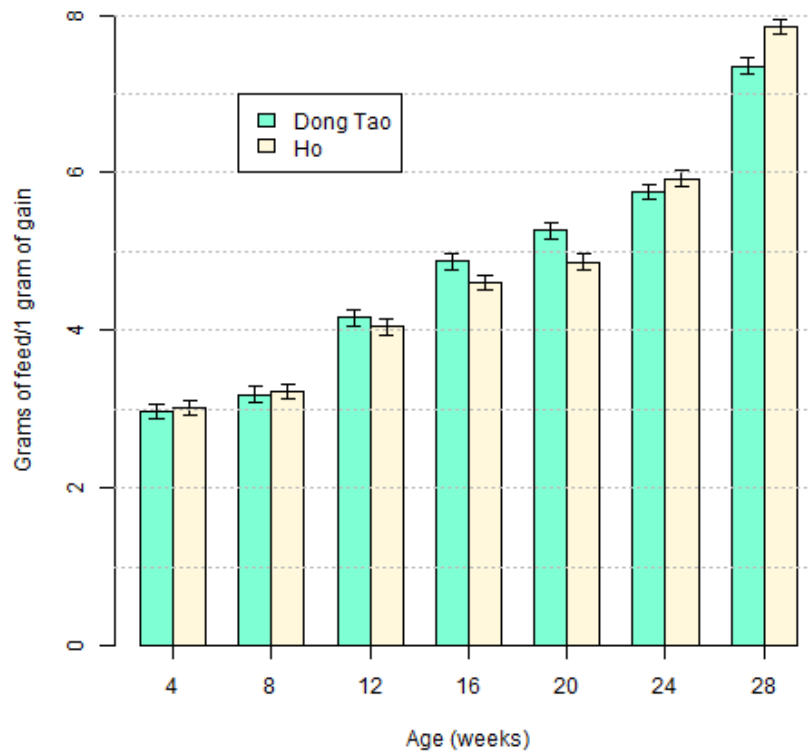
For ADG, the random pen effect variance was close to 0, and this effect was therefore removed from the model. Figure 4 illustrates the results from this analysis.



**Figure 4.** The average daily gains of Ho and Dong Tao chickens.

We found effects of the sex on ADG, males grew quicker than females ( $p < 0.0001$ ). ADG increased between weeks 4 and 16 ( $p < 0.0001$ ), stabilized during weeks 16 to 20 ( $p = 0.0728$ ), then started to decrease between weeks 20 and 24 ( $p = 0.0139$ ) and decreased more rapidly between weeks 24 and 28 ( $p < 0.0001$ ). We found also an interaction between these two effects (sex and week) ( $p < 0.0001$ ). As was the case for weights, ADG were similar for males and females during the first 4 weeks ( $p = 0.7585$ ), but then started to differ from week 8 to week 28 (all p-values  $< 0.001$ ). No breed difference was visible ( $p = 0.4513$ ).

We used the week averages to calculate FCR at the various time points. FCR was increasing ( $p < 0.0001$ ) with the age of the animals, with slight differences between breeds over time ( $p = 0.0133$ ), but no global difference between breeds ( $p = 0.9821$ ) as shown on Figure 5. More precisely, FCR for Dong Tao was higher than for Ho at week 20 ( $p = 0.0179$ ), while the reverse was true and more marked at week 28 ( $p = 0.0038$ ).



**Figure 5.** The feed conversion ratio (FCR) of Ho and Dong Tao chickens.

### 3.1.2. Carcass Yield and Meat Quality

The results of the statistical analyses on the carcass characteristics and meat quality of Ho and Dong Tao chickens at different ages are presented in Table 4. The means and standard errors for these traits are shown on Figures S1 to S8 in supplementary material.

**Table 4.** Effect of Breed (B), Sex (S) and Age (A) on carcass and meat quality traits (balanced design, with n=5 observations per cell B\*S\*A (i.e. 1/pen)).

| Variable                           | Significance level |     |     |     |     |     |       |
|------------------------------------|--------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-------|
|                                    | B                  | S   | A   | B*S | B*A | S*A | B*S*A |
| Body weight (g)                    | NS                 | *** | *** | NS  | **  | *** | NS    |
| Carcass weight (g)                 | ***                | *** | *** | NS  | **  | *** | NS    |
| Yield (%)                          | ***                | *** | *** | NS  | *   | **  | NS    |
| Thighs meat weight (g)             | ***                | *** | *** | NS  | **  | *** | NS    |
| Pectoral muscle weight (g)         | *                  | **  | *** | NS  | NS  | **  | NS    |
| Shear force of pectoral muscle (N) | **                 | **  | *** | NS  | NS  | NS  | NS    |
| Shear force of thighs meat (N)     | *                  | *** | *** | *** | NS  | NS  | NS    |
| Drip loss of pectoral meat (%)     | NS                 | NS  | **  | **  | NS  | NS  | NS    |
| Drip loss of thighs meat (%)       | NS                 | NS  | *** | NS  | NS  | NS  | NS    |
| Cooking loss of pectoral (%)       | NS                 | NS  | NS  | *** | NS  | NS  | NS    |



|                                 |    |    |     |    |     |    |     |
|---------------------------------|----|----|-----|----|-----|----|-----|
| Cooking loss of thighs meat (%) | NS | NS | *** | NS | *** | NS | *** |
| pH 24h of pectoral meat         | ** | NS | *** | NS | *   | NS | NS  |
| pH 24h of thighs meat           | *  | *  | *** | ** | NS  | NS | NS  |

Significance levels: \*\*\*  $p < 0.001$ ; \*\*  $p < 0.01$ ; \*  $p < 0.05$ ; NS:  $p \geq 0.05$ .

Looking first at weights and yields (Figure S1-S4 in supplementary material), it turned out that all the weight traits (body weight, carcass weight, thighs meat weight, pectoral meat weight) increased ( $p < 0.0001$ ) with the age of the animal, while yield first increased ( $p < 0.0001$ ) between weeks 12 and 16, then stabilized to finally decrease back to its initial value at week 28.

Sex was another important factor: Body weight, carcass weight, yield, thighs meat weight, shear force of pectoral muscle, shear force of thighs meat and pH 24h of thighs meat were higher for males than for females ( $p < 0.0001$  except for pectoral muscle weight, where  $p < 0.01$ ). Sex by age interactions were also significant ( $p < 0.01$  for yield and pectoral muscle weight,  $p < 0.0001$  for the other traits), indicating different profiles for males and females with respect to age. Breed was also important. Although, no difference existed between the body weights of Ho and Dong Tao animals ( $p > 0.05$ ), Ho had a higher yield than Dong Tao ( $p < 0.0001$ ), higher carcass and thighs weight ( $p < 0.0001$ ) but lower pectoral weight ( $p < 0.05$ ). The profiles of all the traits except pectoral weight also differed between the breeds ( $p < 0.05$  for yield,  $p < 0.01$  for the other traits).

Next, in considering meat quality, we found an increase in the shear forces for pectoral and thighs meat with the age of the animals ( $p < 0.0001$ ) (Table 4; Figures S5-S6 in supplementary material). These forces were also larger for Dong Tao than for Ho ( $p < 0.01$  for pectoral muscle,  $p < 0.05$  for thighs muscle), and for females than for males ( $p < 0.01$  for pectoral muscle,  $p < 0.0001$  for thighs muscle). An interaction between sex and breed informed that these results must be considered with caution. The difference between males and females for the shear force in thighs is due to the Ho individuals, the Dong Tao chickens showing no such difference ( $p = 0.1337$ ).

Drip loss is another aspect of meat quality. No main effect of breed or sex was found for this trait, either in pectoral or in thighs muscles, and after 24 hours or after cooking ( $p < 0.05$ ). Nevertheless, behaviour was different between Ho and Dong Tao for pectoral muscle drip loss: while values in Dong Tao increased when going from males to females, values decreased in Ho, after 24 hours and after cooking. Age also affected the drip loss, with losses increasing with the age of animals older than 16 weeks for pectoral meat after 24 hours ( $p < 0.01$ ), thighs meat after 24 hours ( $p < 0.001$ ) and after cooking ( $p < 0.0001$ ). For this last trait, the situation was more difficult. While, the values remained stable in Dong Tao, the value increased with the age in Ho, generating an interaction ( $p < 0.0001$ ) between these two factors. Furthermore, this interaction differed between males and females, leading to a three-ways interaction ( $p = 0.0006$ ).

Next, the age of the animals also turned out to affect the ultimate pH (i.e., after 24 hours), with values decreasing when the age of the animals increased ( $p < 0.0001$  for pectoral and thighs meat). The pH was higher in Ho than in Dong Tao for pectoral meat ( $p = 0.0029$ ), but not for thighs meat ( $p =$

0.327) (Table 4; Figures S7-S8 in supplementary material). Although, there was only a mild effect of sex on pH in thighs meat ( $p < 0.05$ ), the main difference was due to the Ho chickens, where the difference between males and females was strong ( $p < 0.0001$ ), while not present in Dong Tao ( $p > 0.05$ ). At 28 weeks, the values for the Ho and the Dong Tao breeds were found close to the research results of [19] and [3]. The pH after 24 h of H'mong breed was similarly recorded as 5.8 for pectoral muscles and between 5.8 for females and 5.9 for males for thighs meat muscles [20]. The values between 5.57 and 5.76 have been recorded for the meat pH of a Korean indigenous chicken breed [21]. According to [19], the pH after 24h of Dong Tao was 5.42 for females and 5.78 for males for the pectoral muscle, and 5.67 for males and 6.04 for females for the thighs muscles. For the pH of commercial broilers breeds (Ross 308, Cobb 500 and Cobb 800), respective values of 5.74, 5.65 and 5.67 are reported in [22].

The meat content of the pectoral muscle differed ( $p < 0.0001$ ) between the breeds, with higher values for dry matter, fat and protein contents for Ho, but larger values for mineral content in Dong Tao. Globally, the dry matter content increased between weeks 12 and 16 ( $p < 0.01$ ), and then remained relatively stable, while we observed a more continuous increasing trend in fat and protein content ( $p < 0.0001$ ), only stabilizing after 24 to 28 weeks. No such trend was visible for the mineral content ( $p > 0.05$ ). Mineral and fat contents were higher in female meat than in males ( $p < 0.0001$ ), while differences in protein ( $p > 0.05$ ) and dry matter (male values higher than females,  $p = 0.0490$ ) were barely or not significant. As reported in Table 5, a few interactions between breed, sex and age effects made the picture a little bit more complicated. For example, looking at protein content in Table 5 showed that, although the main effects reported above were present, the situation was a bit more complex, with for example different trends with the age in Ho and Dong Tao. The age at slaughter was another important factor for the meat protein content ( $p < 0.0001$ ) and fat content ( $p < 0.0001$ ), with values globally increasing with the age. For the protein content and the dry matter, the increasing trend with the age at slaughter was slightly different for the two breeds, with values for Ho increasing slightly more than values for Dong Tao. At week 28 (normal slaughter age in these breeds), the protein content in Ho and Dong Tao were higher than the protein content found in H'mong breed (19.7% for thighs meat) (20.4% for pectoral meat) [20]. It was also higher than the protein contents found in popular broiler lines meat, where Ross 308, Cobb 500 and Cobb 800 showed values of 21.9%, 22.4%, and 22.8%, respectively [22]. Sex also affected the meat composition. At week 28, the fat content percentage in Ho and Dong Tao males meat did not differ ( $p = 0.10$ ), but differed ( $p < 0.05$ ) from the females values. It was also lower than the values observed in the H'mong breed, where values of 0.4% in the pectoral meat and of 1.4% in thighs meat have been obtained [20]. The breed and the age at slaughter of the animals also affected dry matter. Average values in the Ho breed were higher than in the Dong Tao breed ( $p < 0.0001$ ). Furthermore, the dry matter increased between 12 weeks (25.41% in Ho, 25.42% in Dong Tao) and 16 weeks, almost stabilizing in older animals, with values between 25.63% and 26.87% in Dong Tao, and 26.89% and 27.41% in Ho, illustrating a slightly larger increase in Ho ( $p = 0.01$ ).

**Table 5.** Significance of the effects in the statistical model (upper part) and chemical composition of pectoral muscle of Ho and Dong Tao breed (B) by age (A), Sex (S) (LSM  $\pm$  SE).(lower part).

| <b>p-value</b>            | <b>B</b>         | <b>S</b>         | <b>A</b>              | <b>B*S</b>       | <b>B*A</b> | <b>S*A</b> | <b>B*S*A</b> |
|---------------------------|------------------|------------------|-----------------------|------------------|------------|------------|--------------|
| <b>Prot (%)</b>           | ***              | NS               | ***                   | NS               | **         | NS         | *            |
| <b>Fat (%)</b>            | ***              | ***              | ***                   | NS               | NS         | NS         | NS           |
| <b>Miner.</b>             | ***              | ***              | NS                    | NS               | **         | *          | *            |
| <b>Dry mat</b>            | ***              | *                | ***                   | NS               | *          | NS         | NS           |
| <b>Age (week)</b>         | <b>Ho (n=5)</b>  |                  | <b>Dong Tao (n=5)</b> |                  |            |            |              |
|                           | <b>Male</b>      | <b>Female</b>    | <b>Male</b>           | <b>Female</b>    |            |            |              |
| <b>Protein (%)</b>        |                  |                  |                       |                  |            |            |              |
| 12                        | 24.60 $\pm$ 0.33 | 23.81 $\pm$ 0.33 | 23.06 $\pm$ 0.33      | 23.68 $\pm$ 0.33 |            |            |              |
| 16                        | 24.52 $\pm$ 0.33 | 25.28 $\pm$ 0.33 | 24.12 $\pm$ 0.33      | 24.32 $\pm$ 0.33 |            |            |              |
| 20                        | 25.25 $\pm$ 0.33 | 25.20 $\pm$ 0.33 | 23.72 $\pm$ 0.33      | 22.14 $\pm$ 0.33 |            |            |              |
| 24                        | 25.55 $\pm$ 0.33 | 25.62 $\pm$ 0.33 | 24.92 $\pm$ 0.33      | 23.94 $\pm$ 0.33 |            |            |              |
| 28                        | 25.62 $\pm$ 0.33 | 25.32 $\pm$ 0.33 | 25.26 $\pm$ 0.33      | 24.74 $\pm$ 0.33 |            |            |              |
| <b>Fat (%)</b>            |                  |                  |                       |                  |            |            |              |
| 12                        | 0.51 $\pm$ 0.11  | 0.61 $\pm$ 0.11  | 0.17 $\pm$ 0.11       | 0.54 $\pm$ 0.11  |            |            |              |
| 16                        | 0.57 $\pm$ 0.11  | 1.07 $\pm$ 0.11  | 0.56 $\pm$ 0.11       | 0.82 $\pm$ 0.11  |            |            |              |
| 20                        | 0.70 $\pm$ 0.11  | 1.36 $\pm$ 0.11  | 0.64 $\pm$ 0.11       | 1.12 $\pm$ 0.11  |            |            |              |
| 24                        | 0.91 $\pm$ 0.11  | 1.56 $\pm$ 0.11  | 0.77 $\pm$ 0.11       | 1.16 $\pm$ 0.11  |            |            |              |
| 28                        | 1.07 $\pm$ 0.11  | 1.45 $\pm$ 0.11  | 0.81 $\pm$ 0.11       | 1.18 $\pm$ 0.11  |            |            |              |
| <b>Minerals</b>           |                  |                  |                       |                  |            |            |              |
| 12                        | 1.19 $\pm$ 0.06  | 1.48 $\pm$ 0.06  | 1.61 $\pm$ 0.06       | 1.56 $\pm$ 0.06  |            |            |              |
| 16                        | 1.15 $\pm$ 0.06  | 1.62 $\pm$ 0.06  | 1.47 $\pm$ 0.06       | 1.61 $\pm$ 0.06  |            |            |              |
| 20                        | 1.20 $\pm$ 0.06  | 1.26 $\pm$ 0.06  | 1.66 $\pm$ 0.06       | 1.67 $\pm$ 0.06  |            |            |              |
| 24                        | 1.24 $\pm$ 0.06  | 1.27 $\pm$ 0.06  | 1.68 $\pm$ 0.06       | 1.79 $\pm$ 0.06  |            |            |              |
| 28                        | 1.29 $\pm$ 0.06  | 1.32 $\pm$ 0.06  | 1.65 $\pm$ 0.06       | 1.81 $\pm$ 0.06  |            |            |              |
| <b>Dry matter of meat</b> |                  |                  |                       |                  |            |            |              |
| 12                        | 25.58 $\pm$ 0.42 | 25.23 $\pm$ 0.42 | 25.52 $\pm$ 0.42      | 25.33 $\pm$ 0.42 |            |            |              |
| 16                        | 26.70 $\pm$ 0.42 | 27.19 $\pm$ 0.42 | 27.30 $\pm$ 0.42      | 26.45 $\pm$ 0.42 |            |            |              |
| 20                        | 27.19 $\pm$ 0.42 | 27.24 $\pm$ 0.42 | 25.77 $\pm$ 0.42      | 25.51 $\pm$ 0.42 |            |            |              |
| 24                        | 27.25 $\pm$ 0.42 | 26.53 $\pm$ 0.42 | 25.80 $\pm$ 0.42      | 25.46 $\pm$ 0.42 |            |            |              |
| 28                        | 28.01 $\pm$ 0.42 | 26.81 $\pm$ 0.42 | 26.31 $\pm$ 0.42      | 25.91 $\pm$ 0.42 |            |            |              |

Significance levels: \*\*\*  $p < 0.001$ ; \*\*  $p < 0.01$ ; \*  $p < 0.05$ ; NS:  $p \geq 0.05$ .

## 3.2. Egg Production and Egg Quality

## 3.2.1. Egg production

Tables 6 and 7 report the laying performances comparison for the two breeds. In these analyses, we modelled only the breed in the statistical analyses.

**Table 6.** Laying performances of Ho and Dong Tao breed.

| Variable                          | Ho             |                  | Dong Tao        |                  | p-value |
|-----------------------------------|----------------|------------------|-----------------|------------------|---------|
|                                   | n <sup>1</sup> | LSM ± SE         | n <sup>1</sup>  | LSM ± SE         |         |
| Age at the first egg (day)        | 36             | 196.47 ± 1.48    | 36              | 168.36 ± 1.48    | ***     |
| Body weight at the first egg (g)  | 36             | 2891.67 ± 26.45  | 36              | 2761.11 ± 37.21  | **      |
| Number of eggs/hen/52 weeks       | 36             | 88.47 ± 4.14     | 36              | 94.92 ± 4.14     | NS      |
| Feed/hen/day (g)                  | 36             | 106.42 ± 0.69    | 32 <sup>2</sup> | 105.79 ± 0.73    | NS      |
| Feed/hen/10 eggs (g)              | 36             | 4682.83 ± 280.00 | 32              | 4456.65 ± 296.98 | NS      |
| Feed conversion ratio (FCR) (g/g) | 36             | 9.11 ± 0.54      | 32              | 8.62 ± 0.58      | NS      |

<sup>1</sup> number of laying hen; <sup>2</sup> 4 hens have been discarded for loss of follow-up; significance levels: \*\*\*  $p < 0.001$ ; NS:  $p \geq 0.05$ .

Table 6 presents the results for a random sample of 36 Ho and 36 Dong Tao hens. For the feed traits, the sample number was 36 for Ho and 32 for Dong Tao hens. The laying age of the first egg for Ho hens was close to one month later than that of Dong Tao hens ( $p < 0.0001$ ), and the body weight at the first egg for Ho hens was higher than for Dong Tao hens ( $p < 0.01$ ). Nevertheless, the laying performance measured as the number of eggs laid within 52 weeks was similar for the two breeds ( $p > 0.05$ ).

**Table 7.** Hatching performances of Ho and Dong Tao breed (LSM ± SE).

| Variable                        | Ho (n=46) <sup>1</sup> | Dong Tao (n=47) <sup>1</sup> | p-value |
|---------------------------------|------------------------|------------------------------|---------|
| Number of incubated eggs (NI)   | 27.15 ± 1.80           | 36.36 ± 1.78                 | ***     |
| Number of embryonated eggs (NE) | 17.47 ± 1.56           | 28.55 ± 1.55                 | ***     |
| Ratio NE/NI (%)                 | 61.99 ± 2.57           | 78.59 ± 2.54                 | ***     |
| Embryonic mortality eggs (ND)   | 1.76 ± 0.46            | 4.81 ± 0.46                  | ***     |
| Ratio ND/NI (%)                 | 7.97 ± 1.74            | 14.61 ± 1.72                 | **      |
| Ratio ND/NE (%)                 | 13.49 ± 2.25           | 18.20 ± 2.20                 | NS      |
| Number of chicks hatching (NH)  | 13.56 ± 1.55           | 21.94 ± 1.54                 | ***     |
| Hatchability NH/NI (%)          | 45.90 ± 2.86           | 58.95 ± 2.83                 | **      |
| Hatchability NH/NE (%)          | 73.14 ± 2.74           | 75.13 ± 2.68                 | NS      |
| Chicks malformation (%)         | 4.34 ± 1.29            | 1.84 ± 1.27                  | NS      |

<sup>1</sup> number of incubator runs; significance levels: \*\*\*  $p < 0.001$ ; \*\*  $p < 0.01$ ; NS:  $p \geq 0.05$ .

The feed offered per day and the total feed offered over 52 weeks was similar for both breeds ( $p > 0.05$ ). The feed needed to produce 10 eggs was also similar for the two breeds ( $p > 0.05$ ), and so was

the amount of feed needed to produce 1g of egg, the feed conversion rates being close to 9 grams per gram in both breeds.

Table 7 shows the results for batches of incubated eggs, each batch corresponding to a run of the incubator. Since the average number of incubated eggs was higher for Dong Tao than for Ho ( $p < 0.001$ ), only rates are meaningful. The ratio of embryonated eggs was much higher ( $p < 0.0001$ ) in Dong Tao than in Ho, and the mortality (% dead embryonic eggs) was also higher in Dong Tao, either when comparing the number of eggs ( $p < 0.001$ ) or the percentages of dead among the incubated eggs ( $p < 0.01$ ). However, comparing the dead percentages among the embryonated eggs did not reveal any difference ( $p = 0.1380$ ). Similarly, for hatching, although the number of hatched chicks ( $p = 0.0002$ ) and the percentage of hatched chicks among incubated eggs ( $p = 0.0017$ ) were higher in Dong Tao than in Ho, the percentages of hatched chicks among the embryonated eggs were similar ( $p = 0.6060$ ). Finally, the percentage of malformed chicks was higher in Ho than in Dong Tao, but the difference was not significant ( $p = 0.1704$ ), which might either indicate an absence of difference or a lack of statistical power for that trait.

### 3.2.2. Egg Quality

Table 8 reports the mean values for the egg quality traits for both breeds.

**Table 8.** Egg quality of Ho and Dong Tao chicken (LSM  $\pm$  SE).

| Variable                | Ho (n=108) <sup>1</sup> | Dong Tao (n=108) <sup>1</sup> | p-value |
|-------------------------|-------------------------|-------------------------------|---------|
| Egg weight (g)          | 51.43 $\pm$ 0.18        | 51.69 $\pm$ 0.18              | NS      |
| Albumen weight (g)      | 28.13 $\pm$ 0.14        | 27.86 $\pm$ 0.14              | NS      |
| Yolk weight (g)         | 16.76 $\pm$ 0.08        | 17.44 $\pm$ 0.08              | ***     |
| Eggshell weight (g)     | 6.55 $\pm$ 0.03         | 6.39 $\pm$ 0.03               | ***     |
| Albumen (%)             | 54.68 $\pm$ 0.14        | 53.88 $\pm$ 0.14              | ***     |
| Yolk (%)                | 32.59 $\pm$ 0.12        | 33.75 $\pm$ 0.12              | ***     |
| Eggshell (%)            | 12.73 $\pm$ 0.06        | 12.37 $\pm$ 0.06              | ***     |
| Yolk/albumen ratio      | 0.60 $\pm$ 0.004        | 0.63 $\pm$ 0.004              | ***     |
| Eggshell thickness (mm) | 0.23 $\pm$ 0.001        | 0.22 $\pm$ 0.001              | NS      |
| Eggshell shape index    | 79.34 $\pm$ 0.29        | 75.82 <sup>b</sup> $\pm$ 0.29 | ***     |
| Force max (N)           | 35.28 $\pm$ 0.31        | 33.97 $\pm$ 0.31              | **      |
| Haugh Units (HU)        | 81.53 $\pm$ 0.29        | 82.15 $\pm$ 0.29              | NS      |

<sup>1</sup>number of specimens; significance levels: \*\*\*  $p < 0.001$ ; \*\*  $p < 0.01$ ; NS:  $p \geq 0.05$ .

Although, the egg and albumen weights were similar in both breeds ( $p = 0.3230$ , and  $p = 0.1750$ , respectively), the yolk weight was higher in Dong Tao eggs ( $p < 0.0001$ ) and the eggshell weight was lower ( $p = 0.0007$ ). Consequently, the proportions of these components varied across breeds ( $p < 0.0001$  for all three percentages) and the yolk to albumen ratio was higher in Dong Tao ( $p < 0.0001$ ). Haugh units, which measure the protein content and the freshness of the eggs, were not different between the two breeds ( $p = 0.1311$ ).

Looking at the eggshells, the thicknesses were found similar in both breeds ( $p = 0.2035$ ), but the shapes differed, as demonstrated using the eggshell shape index: Ho eggs are more spherical than Dong Tao ones ( $p < 0.0001$ ). Additionally, and maybe consequently, the force needed to break the eggshell was higher for Ho than for Dong Tao eggs ( $p = 0.0032$ ).

#### 4. Discussion

Our growth results in Ho are comparable to those from previous results on the same breed [13,19]. We have demonstrated once again that Ho and Dong Tao are indigenous chicken breeds with large sizes, compared to other indigenous chicken breeds in Vietnam, such as H'mong or many toes chickens [20,23]. This also demonstrates that the growth performance of chickens can be influenced by many factors including feed and sex, but also breed [21].

Large body weight is one of the least advantageous factors in Vietnam's commercial's market because Vietnamese consumers prefer small size chickens [9]. This raises questions with respect to the presence of these large size breeds. As mentioned earlier, the Ho and the Dong Tao were historically the two breeds used as gifts for the King [11]. Most likely, their large body weight was one of the important criteria for their selection as a royal gift [8]. A traditional festival used to take place each year to select the most beautiful individual from the Ho breed and the owner of the best bird was always awarded a prize. This festival is still taking place every year. According to morpho-biometric criteria, the body weight index is very important in that respect [11,15].

Considering the entire testing period, the FCR of Ho and Dong Tao broilers were very similar, with only few minor differences. Comparing these results to similar results from other breeds shows how inefficient Ho and Dong Tao are, even when compared to indigenous breeds [20,23]. As can be expected, the native breeds have slower growth performance and poorer feed conversion ratio than hybrid broilers [24,25].

We observed different patterns with time for the carcass weights and yield percentages of Ho and Dong Tao animals. We can find a possible origin of this difference by looking at the carcass composition in more details. Globally, the thigh meat weight is larger for the Ho animals than for the Dong Tao ones, with this difference increasing with the age of the animals. In contrast, pectoral meat weight tends to be higher for middle-aged Dong Tao animals, but this difference vanishes in the later stages. These differential muscular growths might explain the patterns observed for the carcass weights and yields. We should, nevertheless, emphasize that these patterns of muscle weight evolution with the age of the animals are sex-dependent within each breed, but this interaction between sex and age does not differ between the two examined breeds.

The thighs meat weight and pectoral muscle weight for Ho at week 12 reported in our study are lower than the results of an already published study on the same breed by [13]. Our results, along with many other results on indigenous breeds (e.g. [23]) show again that many factors, including the breed, the sex, but also environmental factors, including feed, and the slaughtering conditions [21,26]

influence carcass characteristics. Vietnamese consumers prefer Ho and Dong Tao meat from animals slaughtered at the age of 28 weeks. People estimate that the meat at this age has a more consistent taste, which might be due to the flavour and taste improving with the age of the animals [3]. At this age of 28 weeks, the tenderness of the Ho and Dong Tao meat has, nevertheless, decreased, since the shear forces for the pectoral and the thighs muscle consistently increase with the age at slaughter, as we show in our study, as well as in other similar works [19]. In comparison, for commercial broilers, the shear force of pectoral muscle at the time of slaughter for several hybrid lines ranged between 10.9 N and 12 N [22]. Optimal slaughtering time is between six and nine weeks for these breeds, so we cannot provide an exact comparison. However, the earliest slaughtering time in our experiment (12 weeks) led to average values of 23.16N and 23.64N for Ho, and Dong Tao, respectively, which is definitely much higher than these commercial standards. Genetic differences between breeds and the slaughter age can affect the tenderness of chicken meat [27,28]. Our study supports these hypotheses, showing differences between breeds, and a decrease of the tenderness with the age at slaughter.

Water retention capacity is another important feature of meat quality. If the water retention capacity of meat is low, then meat and meat products lack sweetness [21,29]. We have observed that drip loss is strongly influenced by the breed, the age at slaughter and the sex of the animal, according to a complex interactions pattern. The exact mechanisms underlying these complex behaviours could be investigated. For example, questions including why the drip loss remains stable with the slaughter age in Dong Tao, while it sharply increases in Ho (especially in females), might be asked and might provide clues to water retention mechanisms in the meat. The analysis of the composition of the pectoral muscles of Ho and Dong Tao animals showed that the protein content, fat content and dry matter of Ho animal muscles were globally higher than those of Dong Tao animals. This different composition might be an explanation for the different properties of the meat observed above.

In our experimental conditions, the egg production was similar for the two breeds. Although relatively low, with an average close to one egg every four days, the production of Ho was higher than in an earlier study where the egg production recorded on the field was 66.18 eggs/year [15]. Similarly, the egg production of Dong Tao was also higher than previously reported results (55 to 66 eggs/year) [10]. Among the indigenous Vietnamese breeds, the egg production of Ho and Dong Tao was lower than for some breeds such as Ri (123 eggs) and Tau Vang (120 eggs), but higher than for others like the Mia breed (55-60 eggs). Differences in raising, feed and genetics are possible explanations for these differences, pointing to avenues for improvements. Anyway, the reproductive performances of the Ho and Dong Tao breeds are low, and their eggs are not used as a commercial food. Eggs are often used for hatching to replace the flock [9,10].

The efficiencies, measured by the amount of feed, needed to produce 10 eggs or, alternatively, by the amount of feed needed to produce one gram of egg, were similar for the two breeds, and expectedly rather low for these low producing animals, with values in the range of 9 grams of feed for one gram of egg. Although, these breed are not efficient at converting feed into eggs, they do better than, for

example, the H'mong breed, for which 6580 g of feed were needed to produce ten eggs with an average weight of 38.10 g, corresponding to more than 17 g of feed for 1g of egg [30].

Since eggs are mostly used for hatching, the percentages of embryonated and hatched eggs are important traits for these breeds. In that respect, Dong Tao perform better than Ho chickens, with a higher percentage of hatching eggs. The main origin of this difference lies in the rate of embryonated eggs for the two breeds, where Dong Tao succeed to get embryos in 78.60% of the eggs, while Ho only do so for 62.00%. After getting embryos, hatching rates are similar for the 2 breeds. The reason for this differential success should be investigated, and traits like cock sperm quality might deserve attention to try to solve this problem. Furthermore, although the percentage of malformed chicks for both breeds are not different, the rate of malformations is higher in Ho, which exacerbates the problem.

The egg weights of Ho and Dong Tao are similar, and larger than most of the weights met in the other indigenous breeds [9,20,23]. To compare to commercial layer lines, weights range from 68.3 to 69 grams for the popular Brown breed [31]. This large difference with indigenous (and barely selected) lines come from the intense directional selection acting on commercial hybrid laying hens [32]. This indicates that potential improvements of the indigenous breeds performance could come from a more organized selection [33,34], after showing that the weight and the eggs composition have genetic components.

A high yolk/albumen ratio is an important criteria in the egg production industry, as it can improve the egg quality for consumers and for the food processing industry [32]. Although the egg weight of hybrid laying hens is usually higher than that of the indigenous breeds, the yolk/albumen ratio is generally lower or equal [3]. In our study, the yolk weight, the yolk percentage and the yolk/albumen ratio of Dong Tao are significantly higher than those of Ho. Interestingly, the yolk weight of Ho and Dong Tao are also higher than for Ri [9] and the yolk to albumen ratio is higher than in indigenous Korean chickens breeds [21]. In summary, Ho and Dong Tao produce big eggs with interesting composition when compared to other indigenous breeds.

Eggshell strength is another important factor in the egg production industry [3,35] Fragility of the eggshell is responsible for about 6-8% loss in the egg industry [36]. The average force needed to break a Ho's egg was significantly higher than for a Dong Tao's egg, but also significantly lower than for a Ri's egg [9]. Values ranging from 30.9 N to 37.8 N have been reported for six commercial lines, not very different from the values observed in our study [37]. This shows that the eggs from indigenous breeds do not seem more fragile than those commonly produced in industrial production units.

Eggshell thicknesses for Ho and Dong Tao were similar, and smaller than Ri [9] and H'mong [30]. Eggshell thickness is closely, and logically, related to the maximal force needed to break an egg [35], and is therefore, an important parameter. In our study, lower maximal forces needed to break Ho and Dong Tao eggs indeed corresponded to thinner eggshells in these two breeds when compared to Ri's. The addition of calcium may improve eggshell thickness without affecting eggshell ratio [31].



Finally, our measures of Haugh units are useful to describe egg protein quality and freshness [32]. According to USDA, best quality eggs (AA eggs) should have Haugh units above 72. The freshness of indigenous breeds eggs are commonly above this threshold. In our study, Ho and Dong Tao eggs produced similar values, higher than the observed values for Ri (76.14–77.67) and lower than the HU index value for H'mong (89.42) [30]. In comparison, values for Barred Plymouth Rock, White Leghorn, Rhode Island Red and White Rock layers in Bangladesh ranged between 45.81 and 58.68, considerably lower than for the indigenous breeds described above [38].

## 5. Conclusions

This study has attempted to show the strengths and weaknesses of two emblematic chicken breeds from North Vietnam. As commonly the case with indigenous breeds, production performances of Ho and Dong Tao animals were poor, when compared to current industrial standards. One of the main reasons for this low productivity is the absence of an organized selection program, partly because of the small population size, but maybe also because selection objectives differ from the specialized lines met in commercial companies today. For example, adaptation to the indigenous breeding conditions is probably a more important objective than quantitative production. On the other hand, this quasi-absence of selection has also advantages. As commonly known, strong directional selection may strongly affect the genetic diversity, which in turn, might be harmful for animal resilience with respect to environmental changes or if new selection objectives are pursued. Note nevertheless that the populations targeted in this study are small, with consequently drift potentially acting adversely on the genetic diversity. Therefore, a genomic study is needed to bring more information on the current genetic status of these breeds.

Reproduction performances were also weak. A comparison of the field results to the performances recorded in our controlled experience shows that there is ample room for improvement. Providing farmers training programs in breeding, husbandry practices, housing, nutrition, record keeping etc., could certainly be helpful. Another possible way to improve the situation would be to provide improved animals to the breeders, given that changing breeding practices might be a difficult task in the current context. Genetic selection and distribution of the selection products to interested farmers might help achieving this goal. Although, some reproduction traits are usually weakly heritable. In view of the low proportion of embryonated eggs, especially in Ho, preliminary work on traits such as sperm quality should be conducted first. Such studies would be welcome to contribute to the program of conservation and sustainable exploitation of these two breeds.

**Supplementary Materials:** The following are available online at [www.mdpi.com/xxx/s1](http://www.mdpi.com/xxx/s1), Figure S1-S8: body weight, thighs weight, pectoral muscle weight, carcass yield, shear force for pectoral muscle and thighs, pH after 24 hours in pectoral muscle and in thighs as functions of breed, age and sex.

**Author Contributions:** NVD collected the data, contributed to the analyses, drafted the manuscript; NM contributed to the data collection and to the data analyses; EM performed the statistical analyses; LDD contributed to the data analyses; TVD obtained the funding, and contributed to the analyses and to the writing; FF obtained the funding, contributed to the analyses and wrote the manuscript.

**Funding:** This research was funded by ARES-CCD (Académie de Recherche et d'Enseignement supérieur-Commission de la Coopération au Développement) **in the framework of the** Institutional Support to Vietnam National University of Agriculture (VNUA). The APC was funded by this program.

**Conflicts of Interest:** The authors declare no conflict of interest.

## References

1. Dahloun, L.; Moula, N.; Halbouche, M.; Mignon-Grasteau, S. Phenotypic characterization of the indigenous chickens (*Gallus gallus*) in the northwest of Algeria. *Arch. Anim. Breed.* **2016**, *59*, 79–90, doi:10.5194/aab-59-79-2016.
2. Berthouly-Salazar, C.; Rognon, X.; Nhu Van, T.; Gély, M.; Vu Chi, C.; Tixier-Boichard, M.; Bed'Hom, B.; Bruneau, N.; Verrier, E.; Maillard, J.C.; et al. Vietnamese chickens: A gate towards Asian genetic diversity. *BMC Genet.* **2010**, *11*, 1–11, doi:10.1186/1471-2156-11-53.
3. Moula, N.; Michaux, C.; Philippe, F.-X.; Antoine-Moussiaux, N.; Leroy, P. Egg and meat production performances of two varieties of the local Ardennaise poultry breed: Silver black and golden black. *Anim. Genet. Resour.* **2013**, *53*, 57–67, doi:10.1017/S2078633613000350.
4. FAO. *The Second Report on the State of the World's Animal Genetic Resources for Food and Agriculture*; Food and agriculture organization of the united nations: Roma, Italy, 2015; pp. 1–606.
5. Rubin, C.-J.; Zody, M.C.; Eriksson, J.; Meadows, J.R.S.; Sherwood, E.; Webster, M.T.; Jiang, L.; Ingman, M.; Sharpe, T.; Ka, S.; et al. Whole-genome resequencing reveals loci under selection during chicken domestication. *Nature* **2010**, *464*, 587–591, doi:10.1038/nature08832. Available online: <https://www.nature.com/articles/nature08832#supplementary-information> (accessed on 3<sup>rd</sup> october 2019).
6. Blasco, A. Breeds in danger of extinction and biodiversity. *R. Bras. Zootec.* **2008**, *37*, 101–109, doi:10.1590/S1516-35982008001300012.
7. Berthouly, C.; Leroy, G.; Van, T.N.; Thanh, H.H.; Bed'Hom, B.; Nguyen, B.T.; Chi, C.V.; Monicat, F.; Tixier-Boichard, M.; Verrier, E. Genetic analysis of local Vietnamese chickens provides evidence of gene flow from wild to domestic populations. *BMC Genet.* **2009**, *10*, 1–8, doi:10.1186/1471-2156-10-1.
8. Pham, M.; Berthouly-Salazar, C.; Tran, X.; Chang, W.; Crooijmans, R.; Lin, D.; Hoang, V.; Lee, Y.; Tixier-Boichard, M.; Chen, C. Genetic diversity of Vietnamese domestic chicken populations as decision-making support for conservation strategies. *Anim. Genet.* **2013**, *44*, 509–521, doi:10.1111/age.12045.

9. Moula, N.; Dang, P.K.; Farnir, F.; Ton, V.D.; Binh, D.V.; Leroy, P.; Antoine-Moussiaux, N. The Ri chicken breed and livelihoods in North Vietnam: Characterization and prospects. *J. Agr. Rural Dev. Trop. Subtrop.* **2011**, *112*, 57–69.
10. Duc, N.V.; Long, T. Poultry production systems in Vietnam. *GCP/RAS/228/GER Working Paper No. 4. Rome. Food and agriculture organisation 2008 Feb 2.* **2008**; 1–18.
11. Phuong, T.L.; Xuan, K.D.; Szalay, I. Traditions and local use of native Vietnamese chicken breeds in sustainable rural farming. *World's Poult. Sci. J.* **2015**, *71*, 385–396, doi:10.1017/S0043933915000380.
12. DAP. Report: Vietnam's Animal Husbandry Situation in 2017 of Department of Livestock Production. *Department of Livestock Production, Ministry of Agriculture and Rural Development.* 2017; pp. 1–42.
13. Doan, B.H.; Luu, N.V. A survey on distribution, conformation, growth and productivity of ho chicken. *J. Sci. Dev.* **2006**, *4*, 95–99.
14. Hiep, D.T. *Production Efficiency and Consumption of Some Local Chicken Breeds: The Case Study of Ho and Dong Tao Chickens*; Hanoi University of Agricultural: Hanoi, Vietnam, 2013; pp. 1–107.
15. Duy, N.V.; Moula, N.; Luc, D.D.; Dang, P.K.; Hiep, D.T.; Doan, B.H.; Ton, V.D.; Farnir, F. Ho Chicken in Bac Ninh Province (Vietnam): From an Indigenous Chicken to Local Poultry Breed. *Int. J. Poult. Sci.* **2015**, *14*, 521–528.
16. Duy, N.V.; Evelyne, M.; Moula, N.; Luc, D.D.; Xuan, N.T.; Ton, V.D.; Farnir, F. Dong Tao chicken breed in Hung Yen province (Vietnam): Characteristics of an indigenous chicken breed with big legs. In *Agriculture Development in the Context of International Integration: Opportunities and Challenges*; Vietnam National University of Agriculture: Hanoi, Vietnam, 2016; pp. 57–64.
17. GSO. Statistical handbook of Vietnam. *Statistical Publishing House, General Statistics office.* 2018; 1–198.
18. Moula, N.; Antoine-Moussiaux, N.; Decuyper, E.; Farnir, F.; Mertens, K.; De Baerdemaeker, J.; Leroy, P. Comparative study of egg quality traits in two Belgian local breeds and two commercial lines of chickens. *Arch. Geflügelkund.* **2010**, *74*, 164–171.
19. Tham, L.T.; Thai, N.X.; Hiep, D.T.; Thang, V.V.; Soan, D.V.; Ton, V.D.; Binh, D.V. Growth, Carcass Yield and Meat Quality of Dong Tao Chickens. *J. Sci. Dev.* **2017**, *14*, 1716–1725.
20. Phuong, N.T.; Duy, N.V.; Ton, V.D. The growth and meat quality of H'mong chicken raised by industrial farming. *Vietnam J. Agri. Sci.* **2017**, *15*, 438–445.
21. Choo, Y.; Kwon, H.; Oh, S.; Um, J.; Kim, B.; Kang, C.; Lee, S.; An, B. Comparison of growth performance, carcass characteristics and meat quality of Korean local chickens and silky fowl. *Asian-Australas J. Anim. Sci.* **2014**, *27*, 398–405, doi:10.5713/ajas.2013.13638.

22. Ristic, M. Influence of breed and weight class on the carcass value of broilers. In *XVII th European Symposium on the Quality of Poultry Meat 2005*. Doorwerth, The Netherlands, 23-26 may 2005, World's Poultry Science Associatio. **2005**; pp. 194–199.
23. Thinh, N.H.; Dang, P.K.; Hang, V.T.T.; Tuan, H.A.; Doan, B.H. Phenotypical characteristics and productive performance of Multi-Toes chicken raised in the National park of Xuan Son, Tan Son District, Phu Tho Province. *J. Sci. Dev.* **2016**, *14*, 9–20.
24. Skinner-Noble, D.; Jones, R.; Teeter, R. Components of feed efficiency in broiler breeding stock: Is improved feed conversion associated with increased docility and lethargy in broilers? *Poult Sci.* **2003**, *82*, 532–537, doi:10.1093/ps/82.4.532.
25. Sizemore, F.; Siegel, H. Growth, feed conversion, and carcass composition in females of four broiler crosses fed starter diets with different energy levels and energy to protein ratios. *Poult Sci.* **1993**, *72*, 2216–2228, doi:10.3382/ps.0722216.
26. Young, L.; Northcutt, J.; Buhr, R.; Lyon, C.; Ware, G. Effects of age, sex, and duration of postmortem aging on percentage yield of parts from broiler chicken carcasses. *Poult Sci.* **2001**, *80*, 376–379, doi:10.1093/ps/80.3.376.
27. Fanatico, A.; Pillai, P.; Cavitt, L.; Emmert, J.L.; Meullenet, J.; Owens, C. Evaluation of slower-growing broiler genotypes grown with and without outdoor access: Sensory attributes. *Poult Sci.* **2006**, *85*, 337–343, doi:10.1093/ps/85.2.337.
28. Haunshi, S.; Doley, S.; Kadirvel, G. Comparative studies on egg, meat, and semen qualities of native and improved chicken varieties developed for backyard poultry production. *Trop. Anim. Health Prod.* **2010**, *42*, 1013–1019, doi:10.1007/s11250-009-9524-3.
29. Gentry, J.; McGlone, J.; Miller, M.; Blanton, J., Jr. Environmental effects on pig performance, meat quality, and muscle characteristics. *J. Anim. Sci.* **2004**, *82*, 209–217, doi:10.2527/2004.821209x.
30. Phuong, N.T.; Mai, H.N.; Duy, N.V.; Ton, V.D. Reproductivity and egg quality of H'mong chicken. In *Animal Production in Southeast Asia: Current Status and Future*; Vietnam National University of Agriculture: Hanoi, Vietnam, 2017; pp. 27–32.
31. Safaa, H.M.; Serrano, M.; Valencia, D.; Frikha, M.; Jiménez-Moreno, E.; Mateos, G. Productive performance and egg quality of brown egg-laying hens in the late phase of production as influenced by level and source of calcium in the diet. *Poult Sci.* **2008**, *87*, 2043–2051, doi:10.3382/ps.2008-00110.
32. Moula, N.; Antoine-Moussiaux, N.; Farnir, F.; Leroy, P. Comparison of egg composition and conservation ability in two Belgian local breeds and one commercial strain. *Int. J. Poult. Sci.* **2009**, *8*, 768–774.
33. Sainz, F.; González, M.; Roca, P.; Alemany, M. Physical and chemical nature of eggs from six breeds of domestic fowl. *Br. Poult Sci.* **1983**, *24*, 301–309, doi:10.1080/00071668308416744.

34. Dottavio, A.; Canet, Z.; Faletti, C.; Alvarez, M.; Font, M.; Di Masso, R. Yolk: Albumen ratio in experimental hybrid layers with different paternal genotype. *Arch. Zootec.* **2005**, *54*, 87–95.
35. Roberts, J.R. Factors affecting egg internal quality and egg shell quality in laying hens. *J. Poult. Sci.* **2004**, *41*, 161–177, doi:10.2141/jpsa.41.161.
36. Washburn, K.W. Incidence, cause, and prevention of egg shell breakage in commercial production. *Poult Sci.* **1982**, *61*, 2005–2012, doi:10.3382/ps.0612005.
37. Kemps, B.; Govaerts, T.; De Ketelaere, B.; Mertens, K.; Bamelis, F.; Bain, M.; Decuypere, E.; De Baerdemaeker, J. The influence of line and laying period on the relationship between different eggshell and membrane strength parameters. *Poult Sci.* **2006**, *85*, 1309–1317, doi:10.1093/ps/85.7.1309.
38. Monira, K.; Salahuddin, M.; Miah, G. Effect of breed and holding period on egg quality characteristics of chicken. *Int. J. Poult. Sci.* **2003**, *2*, 261–263.



© 2020 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

---

# Chapitre 6

## Étude 4

### Caractéristiques génétiques des deux races de poule Ho et Dong Tao

---

Les ressources génétiques des poules indigènes ont un rôle important à jouer dans la stratégie de développement de l'élevage aviaire à l'avenir. Une diminution de la diversité génétique des poules indigènes pourrait affecter l'avenir de l'élevage avicole (FAO, 2015). Au Vietnam, les races de poules indigènes sont principalement conservées dans des fermes privées de petites tailles. Certains éleveurs utilisent d'autres races de poules à croiser avec leurs animaux afin d'augmenter l'efficacité économique. En plus de la distance géographique faible entre élevages de races différentes, les poules sont parfois utilisées comme cadeaux, ou amenées avec des migrants dans de nouvelles régions où elles sont croisées avec d'autres races de poules. Ces pratiques mènent à des risques de réduction des ressources génétiques associées aux poules indigènes du Vietnam. Par conséquent, il est nécessaire d'étudier les caractéristiques génotypiques des poules indigènes afin d'aider à créer des stratégies de conservation et d'exploitation en termes de développement durable des poules indigènes au Vietnam. Cette étude a utilisé des puces de SNPs à haute densité pour d'obtenir des informations génétiques sur quatre races vietnamiennes de poulets. Bien que les échantillons aléatoires soient de petite taille, l'étude avec une puce à haute densité permet néanmoins d'obtenir une caractérisation assez fine des races étudiées.

Cette étude présente les caractéristiques génétiques des races de poules Ho et Dong Tao et de deux autres races indigènes, Mia et Mong. Ces quatre races sont très populaires dans le Delta du Fleuve Rouge et elles ont certainement des relations génétiques. Les résultats sont présentés sous forme d'un article scientifique publié dans le journal international « Journal of Animal Breeding and Genetics ».

---

## Article 6

### High-resolution genomic analysis of four local Vietnamese chicken breeds

---

Journal of Animal Breeding and Genetics 2022 Jun 4. doi: 10.1111/jbg.12723.

Moyse Evelyne<sup>1\*</sup>, Duy Nguyen Van<sup>1,2\*</sup>, Dor Amelyne<sup>1</sup>, Thinh Nguyen Hoang<sup>2</sup>, Luc Do Duc<sup>2</sup>, Moula Nassim<sup>1</sup>, Ton Vu Dinh<sup>2</sup>, Farnir Frédéric<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Biostatistics & Bioinformatics, FARAH-PAD, Faculty of Veterinary Medicine, University of Liege, Belgium

<sup>2</sup>Faculty of Animal Science, Vietnam National University of Agriculture, Vietnam

*\* These authors have contributed equally to this work.*

Corresponding authors:

Farnir Frédéric, Biostatistics & Bioinformatics, FARAH-PAD, Faculty of Veterinary Medicine, University of Liege, Quartier Vallée 2 – Avenue de Cureghem, 6 (B43), 4000 Liège, Belgium

Email: [F.Farnir@uliege.be](mailto:F.Farnir@uliege.be)

## High-resolution genomic analysis of four local Vietnamese chicken breeds

Moyse Evelyne<sup>1\*</sup>, Duy Nguyen Van<sup>1,2\*</sup>, Dor Amelyne<sup>1</sup>, Thinh Nguyen Hoang<sup>2</sup>, Luc Do Duc<sup>2</sup>, Moula Nassim<sup>1</sup>, Ton Vu Dinh<sup>2</sup>, Farnir Frédéric<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Biostatistics & Bioinformatics, FARAHPAD, Faculty of Veterinary Medicine, University of Liege, Belgium

<sup>2</sup>Faculty of Animal Science, Vietnam National University of Agriculture, Vietnam

*\* These authors have contributed equally to this work.*

Corresponding authors:

Farnir Frédéric, Biostatistics & Bioinformatics, FARAHPAD, Faculty of Veterinary Medicine, University of Liege, Quartier Vallée 2 – Avenue de Cureghem, 6 (B43), 4000 Liège, Belgium

Email: [F.Farnir@uliege.be](mailto:F.Farnir@uliege.be)

### Abstract

In Vietnam, local chicken breeds account for over 70% of the national poultry population. Although these breeds are abundant, their productivity is low and their use is threatened by the extensive importation of foreign productive breeds. In this context, conservation programs targeting several emblematic breeds have been established. The goal of these programs was to characterize endangered breeds and maintain a pool of characteristic birds for preserving their genetic heritage. To contribute to these programs, we comprehensively characterized four Vietnamese local chicken breeds (Dong Tao, Ho, Mia, and Mong) at the genomic level using high-density single-nucleotide polymorphisms (SNP) genotyping. Despite originating in geographically close areas, Dong Tao and Ho were evidently different from each other as well as from Mong and Mia, which shared a more recent common ancestor. The genomic inbreeding coefficient revealed high homozygosity among the four breeds (10%–20%). The observation of clear differentiation at the genomic level supported the presence of distinct breeds; nonetheless, the occurrence of crossbred birds in a presumably purebred sample demonstrated the need to apply genomic tools to unambiguously assign the birds to the correct breed. Moreover, occurrence of substantial inbreeding and presence of subgroups in certain breeds warranted attention to create future nuclei for use in the conservation of these local breeds.

**Keywords:** genomics, Vietnam, local chickens

## 1. INTRODUCTION

Vietnam is an agricultural country, with 70% of the human population living in rural areas (Desvaux et al., 2008). In these areas, nearly 50%–90% households own livestock (Burgos et al., 2007). Moreover, according to Ngoc (2020), approximately 7,864,700 households raised poultry in 2019. Local chickens



in Vietnam account for over 70% of the national poultry population (Lan Phuong, Dong Xuan, & Szalay, 2015). There are 21 local chicken breeds, of which Ri, Tau Vang, Mia, Dong Tao, and Ho are the most popular and historical breeds in specific regions (Pham Cong, 2016). Although these breeds are abundant, their productivity is low. Moreover, to meet consumer demand, livestock farming in Vietnam is evolving toward more intensive breeding strategies. Accordingly, to improve productivity, many farmers have started rearing exotic chickens, with a small proportion of hybrid birds obtained from crosses between exotic and local breeds (Nguyen Van, Nguyen Thi, et al., 2015). Such recent breeding approaches markedly affected the number of remaining native breeds and the size of their populations. Therefore, national programs aimed at the conservation of Vietnamese animal genetic resources have been initiated since the 1990s, to prevent the extinction of local breeds.

Local chickens are well adapted to rural environments, with rudimentary housing conditions, coarse nutritional intake, and continuous pathogen exposure. This adaptability indicates that specific genetic profiles have likely been selected naturally and artificially during the formation of these breeds. Consequently, the preservation of local chicken breeds is crucial for households, for which these breeds serve as a means of livelihood. Moreover, from the viewpoint of national policies, these breeds represent genetic resources characterized by robustness under local conditions, with potential application as materials for genetic improvement in future breeding programs (Besbes, 2009; Rischkowsky & Pilling, 2007). Moreover, Vietnamese local chicken breeds are an essential part of cultural and social activities (FAO, 2008; Lan Phuong, Dong Xuan, & Szalay, 2015). In this context, establishing conservation programs targeting several emblematic breeds is imperative. The goal of these programs was to characterize endangered breeds and maintain a pool of characteristic birds for preserving their genetic heritage.

To this end, in the present study, four Vietnamese local chicken breeds (Dong Tao, Ho, Mia, and Mong) included in the conservation programs of the Ministry of Agriculture and Rural Development (MARD) of Vietnam, in collaboration with the Vietnam National University of Agriculture (VNUA) and the National Institute of Animal Sciences (NIAS), were examined. Of these, Dong Tao and Ho have small populations, being considered vulnerable according to the FAO criteria (FAO, 2008; Lan Phuong, Dong Xuan, & Szalay, 2015). These two breeds represent two of the most important local chickens in Vietnam. Dong Tao chickens are famous for their massive body size, stout legs, and good meat quality (Lan Phuong, Dong Xuan, & Szalay, 2015; Nguyen Van, Moula, et al., 2015). Ho chickens are characterized by their large body size and diverse feather colors (Nguyen Van, Moula, et al., 2015). Historically, birds of these two breeds were offered as prestigious presents to the King (FAO, 2008; Lan Phuong, Dong Xuan, & Szalay, 2015). These four chicken breeds are typically raised in neighboring provinces in northern Vietnam (Figure 1) and have originated from unique townships, namely the Ho Township for Ho, the Dong Tao Township for Dong Tao, the Duong Lam Township for Mia, and the Tien Phong Township for Mong. Conservation programs aimed at increasing the population sizes of these breeds have been initiated. In 2014, only 681 birds from 34 households were

listed as Ho chickens (Vu Dinh et al., 2014) whereas 200 birds each from 105 households were listed as Dong Tao chickens (Vu Dinh, Dao Thi, & Nguyen Van, 2013). Comparatively, more Mong and Mia chickens are present, with over 200 households rearing 65–2,600 Mia chickens (Cuc, Dinh, et al., 2016) and over 200 households rearing 60–1,800 Mong chickens (Cuc, Tien, et al., 2016).

In villages, chickens live outside the households, and there is no mating control in most cases (Pham et al., 2013). In addition, for commercial and economic reasons, farmers who maintain local chicken breeds may cross these local chickens with other breeds. In the context of geographical proximity and desire to increase the productivity of local breeds without strict mating control, the risk of inbreeding or crossbreeding and the corresponding disadvantage are evident.

To date, the characterization of Vietnamese local chicken breeds was based primarily on phenotypic observations, although differences between breeds are often subtle. Therefore, the current phenotypic definitions of breeds may not correspond to the systematic differences at the genomic level. Recently, several studies have attempted to investigate the genetic structure of local Vietnamese chicken populations using microsatellite DNA markers (Pham et al., 2013; Berthouly et al., 2009; Cuc et al., 2010). Using a clustering approach, Cuc et al. (2011) reported that Dong Tao chickens formed a single unique cluster, whereas Ho and Mia chickens formed an admixed cluster with three other breeds. Another study involving 17 Vietnamese local chicken breeds showed that Dong Tao and Mia could not be distinguished, while Ho and Mong formed a single cluster (Pham et al., 2013). Moreover, evaluations of the genetic diversity and conservation potential of these breeds have revealed contradictory results. While Cuc et al. (2011) reported that Dong Tao chickens made the highest genetic contribution to the genetic diversity of Vietnamese chickens, Pham et al. (2013) identified its little genetic contribution. Nevertheless, these two studies observed a low genetic contribution of Mia chickens.

In this light, further studies are warranted to address these ambiguities. High-density single-nucleotide polymorphism (HD SNP) genotyping can provide more reliable estimates of genetic variation than reduced sets of microsatellites. Moreover, HD SNP genotyping allows for an accurate inference of inbreeding and crossbreeding history of a particular population, as evidenced in recent studies on the genetic diversity of chicken breeds (Fleming et al., 2016; Johansson & Nelson, 2015; Mekchay et al., 2014; Muir et al., 2008; Zhao et al., 2018). The inbreeding coefficient is the expected proportion of loci that are homozygous by descent in an inbred individual (Falconer & Mackay, 1996). Controlling inbreeding within populations is a key step to maintain genetic diversity (Curik, Ferenčaković, & Sölkner, 2014; Gandini et al., 2014). Consequently, assessing inbreeding at both individual and population levels is a major concern for improving the efficiency of conservation and selection programs.

To this end, the first aim of the present study was to evaluate whether the phenotypic definitions of the four Vietnamese local chicken breeds corresponded to their different genomic structures. If true, this would allow for a full recognition of these breeds. The next aim was to evaluate the genetic diversity

of each potential breed as a step toward assessing the effectiveness of the current conservation programs.

## **2. MATERIALS AND METHODS**

### **2.1. Chicken populations**

A total of 96 individuals were sampled from four populations of Vietnamese local chickens (28 Ho, 32 Dong Tao, 18 Mong, and 18 Mia) distributed in four provinces (Bac Ninh, Hung Yen, Ha Nam, and Hanoi, respectively). The samples distribution is presented in supplementary material Table S1 and Figure 1. All individuals were from the same conservation program in Vietnam, originating from either private farms or public institutions (VNUA and NIAS) involved in this program. Neither pedigree nor phenotypic information was available.

We used stratified sampling for flocks, ensuring a distance of at least 500 m between the selected flocks and random sampling of one or two individuals in each selected flock.

### **2.2. DNA extraction and genotyping**

Genomic DNA was extracted from the blood samples of all chickens (Table 1) using the phenol–chloroform method (Sambrook & Russell, 2001) with minor modifications. The DNA stocks were diluted to a working concentration of  $50 \text{ ng} \cdot \mu\text{L}^{-1}$  for HD SNP genotyping using the Affymetrix GeneTitan platform. The HD array for chickens allows for the simultaneous genotyping of approximately 580,000 SNPs. This array comprises SNPs on 28 autosomal chromosomes, two sex chromosomes (Z and W for poultry), and two linkage groups (LGE64 and LGE 22C19W28). Only SNPs on the 28 autosomes were considered in the present study.

The assessment of genomic similarity between pairs of birds revealed two highly similar pairs of Ho chickens with over 90% identical genotypes. Accordingly, these birds were very likely to be related; thus, one bird from each pair was excluded from subsequent analyses. The remaining 94 individuals achieved call rates higher than 0.95. SNPs with more than 10% missing genotypes or minor allele frequencies lower than 1% were removed, yielding a consensus panel of 454,297 autosomal SNPs for the analysis of population genetic structure.

We applied a second quality control within each breed. Specifically, SNPs with within-breed minor allelic frequencies lower than 0.05 or SNPs with significant ( $P < 0.0001$ ) deviation from the Hardy–Weinberg equilibrium (Wigginton, Cutler, & Abecasis, 2005) were filtered out. This second filter led to 368,652, 383,792, 405,535, and 432,631 SNPs for Ho, Dong Tao, Mong, and Mia breeds, respectively. Of note, removing monomorphic SNPs within breeds may lead to the elimination of SNPs that are polymorphic across breeds. Due to the large number of available SNPs, we did not consider the potential effect of these filtered markers as important for subsequent analyses. Genetic diversity analyses were performed on the remaining 308,307 SNPs shared by all four breeds.

### **2.3. Population genetic structure**

We used  $F_{ST}$  (Weir & Cockerham, 1984) to assess the population genetic differentiation with PLINK 1.9 (Purcell et al., 2007). To investigate the genetic structure of breeds, we used a variational Bayesian framework implemented in fastSTRUCTURE (Raj, Stephens, & Pritchard, 2014). We conducted the analysis using the standard model with a simple prior and with the number of groups,  $K$ , ranging from 1 to 8. A fastSTRUCTURE script (chooseK.py) was used to select the  $K$  value that maximized the marginal likelihood. When a subgroup was detected, we performed another round of fastSTRUCTURE analysis within this subgroup to differentiate the breeds in this subgroup. R software (version 3.3.2; R Core Team, 2016) was used to visualize individual admixture proportions.

We also performed principal components analysis (PCA) to classify the individuals based on a reduced number of significant orthogonal principal components. We used the ADE-4 package in R (Dray & Dufour, 2007) to perform PCA.

To observe the phylogenetic relationship, a distance matrix based on the identity by state of the genotypes was generated using PLINK. A neighbor-joining tree was then created using the APE package in R (Paradis & Schliep, 2019).

### **2.4 Genetic variation within breeds**

To assess the genetic variation within each breed, we obtained the number of SNPs as well as the observed and expected heterozygosity for each breed using PLINK.

#### ***2.4.1. Linkage disequilibrium (LD)***

The extent of LD was estimated using the  $r^2$  statistics, calculated between marker pairs (Slatkin & Excoffier, 1996). To reduce computation, pairwise  $r^2$  values were calculated for SNPs within a window of 5 Mb for each chromosome and breed. We also computed  $r^2$  values for more distant SNPs: we used 100,000 random combinations of markers distant from 5-50 Mb as well as 20,000 random combinations for SNPs on different chromosomes in each breed. To test whether the obtained long-distance  $r^2$  values were consistent with expected values, we performed 20,000 simulations to determine background LD. To this end, we generated  $n$  genotypes at two loci using random allelic frequencies ( $n = 18, 26, \text{ and } 32$  to mimic the sample sizes of our breeds) and obtained an empirical distribution of these random  $r^2$  values. Finally, we plotted the real  $r^2$  values as a function of inter-marker distances using R.

#### ***2.4.2. Inbreeding***

We estimated the extent of inbreeding using the RZooRoH package in R (Bertrand et al., 2019). RZooRoH uses a hidden Markov model to analyze the runs of homozygosity (ROH). This method assumes that individual genomes are composed of homozygous-by-descent (HBD) and non-HBD stretches, corresponding to different states in the Markov model. The HBD stretches were further split

into K distinct states corresponding to different distances from the common ancestor. In the present study, we considered 13 classes: 1 non-HBD class and 12 HBD classes corresponding approximately to the distances of 1, 2, 4, 8, ..., and 2,048 generations to the common ancestor (Druet & Gautier, 2017). For each HBD class, the genome-wide HBD probability was estimated as the probability of distances belonging to that class averaged over the whole genome. A global inbreeding coefficient ( $F_{\text{zooRoH}}$ ) was obtained by integrating the HBD probabilities across all classes.

One-way ANOVA was used to compare the four breeds with respect to the global inbreeding coefficients. Pairwise comparisons were performed using planned contrasts, with correction for multiple comparisons following the Benjamini–Hochberg procedure (false discovery rate, FDR) (Benjamini & Hochberg, 1995). The Bartlett test was used to compare the variances of the four breeds. All statistical analyses were performed using R.

Moreover, the Viterbi algorithm (Rabiner, 1989) implemented in the RZooRoH package was used to identify the HBD segments. Because the package assigns each marker to one class, HBD segments can be defined as the stretches of consecutive markers assigned to the same class. Thus, the HBD segments also represent ROH.

### 2.4.3. Past effective population size ( $N_e$ )

LD-based  $N_e$  was calculated for each breed. Under the assumption of linear population growth, the expected  $r^2$  between neutral markers is given as follows:

$$E[r^2] = \frac{1}{\alpha + 4N_e * c} + \frac{1}{n}$$

(Qanbari et al., 2010; Tenesa et al., 2007), where  $\alpha = 1$  (or 2) if the mutation is (not) taken into account,  $n$  is the number of SNPs in the tested chromosome, and  $c$  is the genetic distance (in Morgan).

As shown by Hayes et al. (2003), LD between distant SNPs estimates more recent  $N_e$  than LD between close SNPs. Therefore, the evolution of  $N_e$  can be estimated since LD between loci with a genetic distance of  $c$  reflects the ancestral effective population size  $1/(2c)$  generations ago (Hayes et al., 2003). Given the high variability of the recombination rates across chromosomes in chicken, the genetic distance was calculated for a marker interval of physical length  $x_i$  (in Kb) on chromosome  $i$  as  $c_i = \rho_i * x_i$ , where  $\rho_i$  is the recombination rate of chromosome  $i$  (in M/Kb), as reported by Groenen et al. (2009).

The marker pairs were sorted according to the genetic distances between markers, and the mean LD was then obtained at every 0.05, 0.5, and 1 cM for distance ranges of 0.1–1, 1–10, and 10–20 cM, respectively (Sargolzaei et al., 2008). Finally, we plotted the  $N_e$  values as a function of the number of generations using R. A linear model was used to fit  $N_e$  as a function of the number of generations according to the breed.

### 3. RESULTS

#### 3.1. Population genetic structure

The average genetic differentiation ( $F_{ST}$ ) between the four breeds was 0.08. Ho was the most differentiated from the remaining three breeds. In contrast, Mia and Mong showed the least genetic differentiation (Table 1).

Analysis using fastSTRUCTURE revealed that the assumption of the presence of four groups maximized the marginal likelihood of the entire dataset (Supplementary material, Figure S1). The results indicated that Mia and Mong originated from the same ancestral population (Figure 2A, orange group). Ho chickens formed a single cluster (blue group), with a mean blue membership posterior probability of 0.93. Incidentally, one supposedly Ho individual showed an admixed pattern, with the orange, green, and blue memberships posterior probabilities of 0.60, 0.27, and 0.13, respectively, revealing its crossbred origin. Dong Tao was divided into two subgroups (green and red groups), with variable levels of admixture with the other two breeds.

To further resolve the putative difference between Mia and Mong, a separate analysis involving only these two breeds was performed using  $K$  values ranging from 1 to 4. The value of  $K$  maximizing the marginal likelihood was 1, confirming that these two breeds have originated from the same ancestral population.

Figure 2B - top presents a two-dimensional graph of the first two principal components (PC1 and PC2) of the PCA of all samples. PC1 and PC2 explained 3.99% and 2.79% of the variation, respectively, and they separated the four breeds into three groups. Except for the single Ho bird showing an admixed pattern, all Ho and Dong Tao chickens were clearly distinct, whereas Mia and Mong chickens remained admixed. These results were consistent with the findings of  $F_{ST}$  and fastSTRUCTURE analyses. Interestingly, for Dong Tao chickens, individuals with PC2 values exceeding 300 corresponded to the red group in the fastSTRUCTURE graph. Moreover, Ho breed was divided into two subgroups by PC2. A second PCA was performed only on Mia and Mong (Figure 2B - down). With the exception of one bird that was very close to Mia, all Mong chickens formed a separate and moderately homogeneous group. In contrast, Mia chickens exhibited a scattered distribution. Specifically, five birds with PC1 value below -100 were distant from the other birds and formed the pure orange group in the fastSTRUCTURE graph (orange membership > 0.90).

In the neighbor-joining tree (Figure 2C), three branches were formed from a common ancestor. One of these branches was further divided into two groups: Mia (including one Mong bird) and Mong. Another branch corresponded to the Ho breed, which was further divided into subgroups. Finally, the last branch corresponded to the Dong Tao breed, which was further divided into subgroups. Once again, the “ambiguous” single Ho bird identified in the previous analyses was detected to be closer to the Dong Tao breed in this analysis. Of note, the sub-structuring of the breeds into subgroups cannot be associated

with the other identified variables in the present study; in particular, these differences do not match the possible origins of the samples (i.e. private flocks, NIAH, or VNUA).

### **3.2. Genetic diversity**

The proportion of polymorphic SNPs (Table 2) showed that the genomes of Dong Tao and Ho harbored significantly less informative SNPs than those of the remaining two breeds. The observed heterozygosity was the lowest for Mong chickens but the highest for Ho chickens, with small but significant difference ( $P < 0.0001$ ).

#### **3.2.1. LD**

As expected, LD decreased with increasing distances between SNPs in all breeds (Figure 3A). The highest  $r^2$  was recorded in Ho chickens, whereas the fastest LD decay was detected in Mia chickens. Similar patterns were observed for the three chicken chromosome types (Figure 3A). The mean  $r^2$  between SNP pairs from different chromosomes was 0.049, 0.057, 0.061, and 0.065 for Dong Tao, Mong, Mia, and Ho chickens, respectively (Figure 3B). In macrochromosomes, distances of 1.35, 2.25, 20, and 35 Mb led to the mean  $r^2$  of unlinked markers in Mia, Mong, Dong Tao and Ho chickens, respectively.

The simulated average  $r^2$  values using random genotypes were 0.031, 0.039, and 0.055 for Dong Tao, Ho, and Mia (or Mong) chickens, respectively. The observed  $r^2$  values were significantly ( $P < 0.0001$ ) higher than the simulated ones, thereby revealing a non-random association among the loci in our samples.

#### **3.2.2. Inbreeding coefficient**

##### *3.2.2.1. Global inbreeding*

One-way ANOVA revealed significant differences in global inbreeding coefficients among the four breeds ( $R^2_{\text{adj}} = 0.30$ ,  $P < 0.001$ ; Table 2). Pairwise comparisons revealed that Mia chickens achieved significantly lower values than chickens of the remaining three breeds ( $P < 0.001$ ). Mong chickens achieved significantly higher values than Dong Tao ( $P = 0.036$ ) and Ho chickens ( $P = 0.036$ ). Moreover, differences in the variances were obvious. Specifically, Ho and Mong chickens showed significantly higher variances than Mia and Dong Tao chickens.

In total, 88,400 HBD segments (or ROH) were detected (Table 2). The variations among samples in terms of the number and length of ROH are presented in Figure 4A. Birds from the same breed were clustered on the plot. A gradient of the number of ROH could be visualized on this graph. Mia chickens tended to have the highest number of ROH, followed by Mong, Dong Tao, and Ho chickens. In addition, total ROH length was similar among Mong, Dong Tao, and Ho chickens but lower in Mia chickens. In other words, Mia chickens showed relatively more and smaller ROHs. Of note, chickens on the right side of the plot showed longer ROH, representing the most inbred individuals. Furthermore, majority

of the inbred individuals originated from breeds with a reduced effective population size (i.e., Mong, Ho, and Dong Tao).

### *3.2.2.2. Age-based partitioning of inbreeding*

The ZooRoH method provides information on the history of consanguinity. In the present study, a high contribution of ancient inbreeding was evident. Indeed, the highest percentage of HBD was observed in the most ancient class of  $F_{\text{ZooRoH}}$  in all breeds (Figure 4B). Overall, 25%–35% of the total inbreeding corresponded to the oldest class (i.e., approximately 2,048 generations ago). In the Mia breed, this proportion reached 68% of the total inbreeding (Figure 4B), indicating that, as shown previously, Mia chickens carried numerous smaller ROH, which explained its higher number of ROH but lower global inbreeding coefficient.

Very recent inbreeding, corresponding to the first two classes, was close to zero in all breeds. Ho chickens showed the highest contributions from recent classes, with 6% of the total inbreeding originating from the 8 generations class and 14% from the 16 generations class. In contrast, these two classes represented only 4% of the total inbreeding in the other breeds. In Dong Tao and Mong, an intermediate pattern was observed, with high contributions from the 32 and 64 generations classes. Furthermore, inbreeding originating from the 256 generations class contributed importantly to the global inbreeding in all breeds, while no inbreeding originated from the 1,024 generations class in Mia and Mong.

### *3.2.3. Effective population size*

The estimates of  $N_e$  over past generations were obtained from the LD data (Figure 4C). In the remote past, Mia chickens had a higher  $N_e$  than chickens of the remaining three breeds. However, a decreasing trend was apparent over the last generations in all breeds. Modelling the  $N_e$  decline over the last 500 generations using linear regression analysis revealed the highest slope of regression line for Mia ( $\beta = 2.79$ ) but the lowest slope for Ho ( $\beta = 1.426$ ). In other words, although Mia showed the highest  $N_e$  over the last 500 generations, the decline in  $N_e$  was more obvious in this breed.

For all breeds, higher slopes of regression lines were noted when modelling the decline over the last 50 generations than over the last 500 generations ( $\beta = 5.43, 3.98, 3.61, \text{ and } 2.25$  for Mia, Mong, Dong Tao, and Ho chickens, respectively), suggesting an accelerated decline in  $N_e$  over the last 50 years.

## **4. DISCUSSION**

The first aim of the present study was to investigate the utility of HD SNP genotyping to explore the potential genetic differentiation of four Vietnamese local chicken breeds originating from geographically close areas. All analyses revealed three clear clusters, with one unique cluster each for Ho and Dong Tao chickens and an admixed cluster comprising Mia and Mong chickens; therefore, Mia and Mong shared a more recent common ancestor than the remaining two breeds.



The distinction between Ho and Dong Tao chickens was in concordance with previous reports (Pham et al., 2013; Cuc et al., 2010). Moreover, clustering between Mia and other Vietnamese breeds has been reported in previous studies, although the breeds forming these clusters are not consistent across studies. The clear genetic differentiation between Ho and Dong Tao could be explained by the selection and breeding for very specific morphological traits as well as the long period of reproductive isolation, with the corresponding genetic drifts to conserve these unique traits. These processes likely drove the co-existence of these breeds as small conservation flocks (Zanetti et al., 2010).

Despite the clear distinction between Ho and Dong Tao, all analyses of population structure showed at least two subgroups in both breeds, consistent with previous reports (Pham et al., 2013). As mentioned earlier, although the sampled flocks were reared either on private farms in a district or on the NIAH/VNUA farms, the subgroups did not match these distinct origins. These results demonstrated the importance of genomic information for creating the nuclei of “purebred” animals and controlling mating to prevent a possible drift within the populations, potentially leading to genetic separation within these breeds. Moreover, at the individual level, all results supported the identification of a crossbred bird in the Ho sample. This finding also showed how genomic information can assist in controlling crossbreeding.

Regarding genetic diversity, the lowest allelic diversity was observed in Ho chickens but the highest in Mia chickens. For each breed, the extent of observed heterozygosity was less than that reported previously (Pham et al., 2013; Berthouly et al., 2009). This observation reflects the possible loss of genetic diversity or, more likely, the differences in measures based on microsatellites (in previous studies) and SNPs (in the present study), since microsatellites are generally much more polymorphic than SNPs. Therefore, for a more comprehensive comparison with the findings of microsatellite-based studies, SNP haplotypes, rather than individual SNP genotypes, must be established. However, our results are comparable to the reports on chickens in other countries. For instance, the observed heterozygosity was approximately 0.22 in conserved Chinese chicken populations (Zhang et al., 2018) and 0.21–0.34 across six Italian chicken populations (Strillacci et al., 2017).

The effects of breeding strategies (purebred or crossbred lines and conservation nuclei) on the rate of LD are well-documented (Fu et al., 2015; Khanyile, Dzomba, & Muchadeyi, 2015; Seo et al., 2014). In the present study, the four breeds were part of a conservation program. For all breeds, the long-distance and inter-chromosomal  $r^2$  values tended to exceed the values expected by chance, indicating a non-random association of alleles resulting from population genetic forces, such as drift. Moreover, populations with smaller effective sizes exhibited greater LD. In particular, the magnitude of LD was greater and extended over longer distances in Ho chickens than in the remaining three breeds, indicating a different breeding history of the Ho breed and/or its smaller initial nucleus size. In terms of breed conservation, this observation and the associated rapid decline of  $N_e$  underline the need for efficient genetic management in the conservation program.

Our inbreeding analysis offers a different perspective. At the global level, Mia chickens achieved the lowest inbreeding coefficient but the highest number of ROH. As previously reported in cattle (Solé et al., 2017), global inbreeding was mostly associated with very ancient inbreeding in all breeds, particularly Mia, in which 68% of the total inbreeding was attributed to the most ancient classes. In contrast, Ho chickens showed the highest contributions from recent classes (i.e., inbreeding due to crosses from last 8 to 16 generations); this recent inbreeding explained the specific LD pattern observed in this breed.

The global inbreeding coefficient of Dong Tao chickens was similar to that of Ho chickens, although there was less between-individual variability. Moreover, the total length of ROH was similar between Ho and Mong chickens, albeit with a moderate number of ROH. These characteristics are typical of small populations (Ceballos et al., 2018).

Finally, the utility of ZooRoH has previously been tested in humans (Tenesa et al., 2007), dogs, sheep, and cattle (Peripolli et al., 2017). The present study confirmed that this method is also useful for studying inbreeding in chickens.

## **5. CONCLUSIONS**

Despite being geographically close, the Dong Tao and Ho breeds are clearly different at the genomic scale. Moreover, the two breeds differ from Mong and Mia, which share a more recent common ancestor. This similarity between Mong and Mia could lead to prioritize Mong individuals in the conservation program rather than Mia if necessary. This would allow the conservation of an endangered breed while at the same time conserving most of the genomic content of the other breed. The extent of global genomic inbreeding measured using ZooRoH revealed high homozygosity among the four breeds, with inbreeding coefficients of 10%–20%. The occurrence of frequent inbreeding and presence of subgroups within some breeds underline the need for the creation of future nuclei for use in the conservation of these breeds. Considering the specific phenotypic and cultural characteristics of the tested local breeds, our genomic information underscores the need for efforts to maintain genetic variability and continuously monitor mating strategies for avoiding the loss of biodiversity and preventing further genetic separation within these breeds.

### **Data availability statement**

The data that support the findings of this study have been deposited in the Dryad repository (<https://doi.org/10.5061/dryad.dz08kps07>). The codes for statistical analyses are available from the corresponding author upon reasonable request.

### **Conflict of interest**

The authors declare that they have no competing interests.

**Funding :** This work was supported by ARES-CCD (Académie de Recherche et d'Enseignement Supérieur - Commission de la Coopération au Développement).

**Authors' contributions:** FF and VDT conceived the experiments. NVD, NHT, DDL, and MN selected the genotyped samples and performed genotyping experiments. DA and FF helped in data analysis. FF contributed greatly to the writing of the manuscript. ME analyzed the data and wrote the manuscript. All authors read and approved the final manuscript.

## REFERENCES

1. Benjamini, Y, & Hochberg, Y. (1995). Controlling the false discovery rate: A practical and powerful approach to multiple testing. *J. Royal Statistical Society (Series B)* 57: 289-300.
2. Berthouly, C, Leroy, G, Nhu Van, T, Hoang Thanh, H, Bed'Hom, B, Trong Nguyen, B, Vu Chi, C, Monicat, F, Tixier-Boichard, M, Verrier, E, Maillard, JC, & Rognon, X. (2009). Genetic analysis of local Vietnamese chickens provides evidence of gene flow from wild to domestic populations. *BMC Genetics* 10 (1):1-8. doi: 10.1186/1471-2156-10-1.
3. Bertrand, AR, Kadri, NK, Flori, L, Gautier, M, & Druet, T. (2019). RZooRoH: An R package to characterize individual genomic autozygosity and identify homozygous-by-descent segments. *Methods in Ecology and Evolution* 10 (6): 860-866. doi: 10.1111/2041-210X.13167.
4. Besbes, B. (2009). Genotype evaluation and breeding of poultry for performance under sub-optimal village conditions. *World's Poultry Science Journal* 65 (2): 260-271. doi: 10.1017/S0043933909000221.
5. Burgos, S, Hong Hanh, PT, Roland-Holst, D, & Burgos, SA. (2007). Characterization of poultry production systems in Vietnam. *International Journal of Poultry Science* 6 (10):709-712.
6. Ceballos, FC, Joshi, PK, Clark, DW, Ramsay, M, & Wilson, JF. (2018). Runs of homozygosity: windows into population history and trait architecture. *Nature Reviews Genetics* 19 (4): 220. doi: 10.1038/nrg.2017.109.
7. Cuc, NT, Dinh, NC, Hien, LT, Thien, VC, Thong, TT , Cuong, NH, & Thieu, PC. (2016). Selection of Mia chicken breed. *Journal of Animal Science and Technology* 11 (61): 33-44.
8. Cuc, NT, Simianer, H, Eding, H, Tieu, HV, Cuong, VC, Wollny, CBA, Groeneveld, LF, & Weigend, S. (2010). Assessing genetic diversity of Vietnamese local chicken breeds using microsatellites. *Animal Genetics* 41 (5): 545-547. doi: 10.1111/j.1365-2052.2010.02039.x.
9. Cuc, NT, Tien, PD, Cuong, NH, Dinh, NC, Thieu, PC, Thien, VC, Huong, PTB, Thong, TTT, & Tuyen, NT. (2016). Selection of Mong chicken breed. *Journal of Animal Husbandry Sciences and Technics* 18 (132): 22-32.

10. Cuc, NT, Weigend, S, Tieu, HV, & Simianer, H. (2011). Conservation priorities and optimum allocation of conservation funds for Vietnamese local chicken breeds. *Journal of Animal Breeding and Genetics* 128 (4): 284-294.
11. Curik, I, Ferenčaković, M, & Sölkner, J. (2014). Inbreeding and runs of homozygosity: a possible solution to an old problem. *Livestock Science* 166: 26-34. doi: 10.1016/j.livsci.2014.05.034.
12. Desvaux, S, Vu Dinh, T, Phan Dang, T, & Pham Thi, T. (2008). A general review and description of the poultry production in Vietnam. *A general review and description of the poultry production in Vietnam*: 38.
13. Dray, S, & Dufour, AB. (2007). The ade4 package: implementing the duality diagram for ecologists. *Journal of Statistical Software* 22 (4): 1-20.
14. Druet, T, & Gautier, M. (2017). A model-based approach to characterize individual inbreeding at both global and local genomic scales. *Molecular Ecology* 26 (20): 5820-5841. doi: 10.1111/mec.14324.
15. Falconer, D, & Mackay, T. (1996). Introduction to Quantitative Genetics 4th edn, Addison-Wesley Longman: Harlow. UK [Google Scholar].
16. FAO. (2008). poultry systems in Vietnam Prepared by Duc. N.V, Long. T., GCP/RAS/228/GER working paper N0.4.Rome.
17. Fleming, DS, Koltes, JE, Markey, AD, Schmidt, CJ, Ashwell, CM, Rothschild, MF, Persia, ME, Reecy, JM, & Lamont, SJ. (2016). Genomic analysis of Ugandan and Rwandan chicken ecotypes using a 600 k genotyping array. *BMC Genomics* 17 (1): 1-16. doi: 10.1186/s12864-016-2711-5.
18. Fu, W, Dekkers, JCM, Lee, WR, & Abasht, B. (2015). Linkage disequilibrium in crossbred and pure line chickens. *Genetics Selection Evolution* 47 (1): 1-12. doi: 10.1186/s12711-015-0098-4.
19. Gandini, G, Stella, A, Del Corvo, M, & Jansen, GB. (2014). Selection with inbreeding control in simulated young bull schemes for local dairy cattle breeds. *Journal of Dairy Science* 97 (3): 1790-1798.
20. Groenen, M, Wahlberg, O, Foglio, M, Megens, HJ, Crooijmans, R, Besnier, F, Lathrop, A, Muir, W, Wong, G, Gut, I, & Andersson, L. (2009). A high-density SNP-based linkage map of the chicken genome reveals sequence features correlated with recombination rate. *Genome Research* 19 (3): 510-519. doi: 10.1101/gr.086538.108.
21. Hayes, BJ, Visscher, PM, McPartlan, HC, & Goddard, ME. (2003). Novel multilocus measure of linkage disequilibrium to estimate past effective population size. *Genome Research* 13 (4): 635-643. doi: 10.1101/gr.387103.
22. Johansson, AM, & Nelson, RM. (2015). Characterization of genetic diversity and gene mapping in two Swedish local chicken breeds. *Frontiers in Genetics* 6: 44. doi: 10.3389/fgene.2015.00044.
23. Khanyile, KS, Dzomba, EF, & Muchadeyi, FC. (2015). Population genetic structure, linkage disequilibrium and effective population size of conserved and extensively raised village chicken populations of Southern Africa. *Frontiers in Genetics* 6: 13. doi: 10.3389/fgene.2015.00013.

24. Lan Phuong, TN, Dong Xuan, KDT, & Szalay, I. (2015). Traditions and local use of native Vietnamese chicken breeds in sustainable rural farming. *World's Poultry Science Journal* 71 (2): 385-396. doi: 10.1017/S0043933915000380.
25. Mekchay, S, Supakankul, P, Assawamakin, A, Wilantho, A, Chareanchim, W, & Tongsimas, S. (2014). Population structure of four Thai indigenous chicken breeds. *BMC Genetics* 15 (1): 1-9.
26. Muir, WM, Wong, GKS, Zhang, Y, Wang, J, Groenen, MAM, Crooijmans, RPMA, Megens, HJ, Zhang, H, Okimoto, R, Vereijken, A, Jungerius, A, Albers, GAA, Lawley, CT, Delany, ME, MacEachern, S, & Cheng, HH. (2008). Genome-wide assessment of worldwide chicken SNP genetic diversity indicates significant absence of rare alleles in commercial breeds. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 105 (45): 17312-17317. doi: 10.1073/pnas.0806569105.
27. Ngoc, H. (2020). Livestock statistics. Vietnam Association of Agriculture and Rural Development Accessed une 19. <http://nhachannuoi.vn/binh-phuoc-89-trang-trai-chan-nuoi-gia-cam/>.
28. Nguyen Van, D, Moula, N, Pham Kim, D, Dao Thi, H, Bui Huu, D, Vu Dinh, T, & Farnir, F. (2015). Ho Chicken in Bac Ninh Province (Vietnam): From an Indigenous Chicken to Local Poultry Breed. *International Journal of Poultry Science* 14 (9): 521-528.
29. Nguyen Van, G, Nguyen Thi, L, Tran Thi, UL, Do Manh, H, & Dong Dang. (2015). *The Vietnamese livestock market has changed structure to improve competitiveness*. Hong Duc Publishing House.
30. Paradis, E, & Schliep, K. (2019). ape 5.0: an environment for modern phylogenetics and evolutionary analyses in R. *Bioinformatics* 35 (3): 526-528. doi: doi.org/10.1111/age.12526.
31. Peripolli, E, Munari, DP, Silva, MVGB, Lima, ALF, Irgang, R, & Baldi, F. (2017). Runs of homozygosity: current knowledge and applications in livestock. *Animal Genetics* 48 (3): 255-271.
32. Pham Cong, T. (2016). Result in conservation, exploitation and development of livestock gene sources. *Journal of Animal Husbandry Sciences and Technics* 24 (208): 19-25.
33. Pham, M. H., Berthouly-Salazar, C., Tran, X. H., Chang, W. H., Crooijmans, R. P., Lin, D. Y., Hoang, V. T., Lee, Y. P., Tixier-Boichard, M., & Chen, C. F. (2013). Genetic diversity of Vietnamese domestic chicken populations as decision-making support for conservation strategies. *Animal Genetics* 44 (5): 509-21. doi: 10.1111/age.12045.
34. Purcell, S, Neale, B, Todd-Brown, K, Thomas, L, Ferreira, MA, Bender, D, Maller, J, Sklar, P, De Bakker, PI, & Daly, MJ. (2007). PLINK: a tool set for whole-genome association and population-based linkage analyses. *The American Journal of Human Genetics* 81 (3): 559-575. doi: 10.1086/519795.
35. Qanbari, S, Hansen, M, Weigend, S, Preisinger, R, & Simianer, H. (2010). Linkage disequilibrium reveals different demographic history in egg laying chickens. *BMC Genetics* 11 (1): 1-10.
36. Rabiner, LR. (1989). A tutorial on hidden Markov models and selected applications in speech recognition. *Proceedings of the IEEE* 77 (2): 257-286. doi: 10.1109/5.18626.

37. Raj, A, Stephens, M, & Pritchard, JK. (2014). fastSTRUCTURE: variational inference of population structure in large SNP data sets. *Genetics* 197 (2): 573-589. doi: 10.1534/genetics.114.164350.
38. Rischkowsky, B, & Pilling, D. (2007). *The state of the world's animal genetic resources for food and agriculture*: Food & Agriculture Org.
39. Sambrook, J, & Russell, DW. (2001). *Molecular cloning: A laboratory manual* 3rd Ed. 620 Cold Spring Harbor Laboratory Press. Plainview, NY 621.
40. Sargolzaei, M, Schenkel, FS, Jansen, GB, & Schaeffer, LR. (2008). Extent of linkage disequilibrium in Holstein cattle in North America. *Journal of Dairy Science* 91 (5): 2106-2117. doi: 10.3168/jds.2007-0553.
41. Seo, D. W., Oh, J. D., Jin, S., Song, K. D., Park, H. B., Heo, K. N., Shin, Y., Jung, M., Park, J., Jo, C., Lee, H. K., & Lee, J. H. (2014). Single nucleotide polymorphism analysis of Korean native chickens using next generation sequencing data. *Mol Biol Rep.* 42(4): 471-477. doi: 10.1007/s11033-014-3790-5.
42. Slatkin, M, & Excoffier, L. (1996). Testing for linkage disequilibrium in genotypic data using the Expectation-Maximization algorithm. *Heredity* 76 (4): 377-383.
43. Solé, M, Gori, A-S, Faux, P, Bertrand, A, Farnir, F, Gautier, M, & Druet, T. (2017). Age-based partitioning of individual genomic inbreeding levels in Belgian Blue cattle. *Genetics Selection Evolution* 49 (1): 1-18. doi: 10.1186/s12711-017-0370-x.
44. Strillacci, MG, Cozzi, MC, Gorla, E, Mosca, F, Schiavini, F, Román-Ponce, SI, López, FJ, Schiavone, A, Marzoni, M, & Cerolini, S. (2017). Genomic and genetic variability of six chicken populations using single nucleotide polymorphism and copy number variants as markers. *Animal* 11 (5): 737-745. doi: 10.1017/S1751731116002135.
45. Team, R Core. (2016). R: A language and environment for statistical computing [Internet]. Vienna: R Foundation for Statistical Computing; 2016.
46. Tenesa, A, Navarro, P, Hayes, BJ, Duffy, DL, Clarke, GM, Goddard, ME, & Visscher, PM. (2007). Recent human effective population size estimated from linkage disequilibrium. *Genome Research* 17 (4): 520-526. doi: 10.1101/gr.6023607.
47. Vu Dinh, T, Bui Huu, D, Dao Thi, H, & Nguyen Van, D. (2014). Project report: Selection local chicken breed of Ho for sustainable conservation in Vietnam. Vietnam National University of Agriculture.
48. Vu Dinh, T, Dao Thi, H, & Nguyen Van, D. (2013). Project report: The solutions for conservation, sustainable use and development of local chicken breed of Dong Tao in Hung Yen Province. Vietnam National University of Agriculture.
49. Weir, BS, & Cockerham, CC. (1984). Estimating F-statistics for the analysis of population structure. *Evolution* 38 (6): 1358-1370. doi: 10.1111/j.1558-5646.1984.tb05657.x.

50. Wigginton, JE, Cutler, DJ, & Abecasis, GR. (2005). A note on exact tests of Hardy-Weinberg equilibrium. *The American Journal of Human Genetics* 76 (5): 887-893. doi: 10.1086/429864.
51. Zanetti, E, De Marchi, M, Dalvit, C, & Cassandro, M. (2010). Genetic characterization of local Italian breeds of chickens undergoing in situ conservation. *Poultry Science* 89 (3): 420-427. doi: 10.3382/ps.2009-00324.
52. Zhang, M, Han, W, Tang, H, Li, G, Zhang, M, Xu, R, Liu, Y, Yang, T, Li, W, & Zou, J. (2018). Genomic diversity dynamics in conserved chicken populations are revealed by genome-wide SNPs. *BMC Genomics* 19 (1): 1-12. doi: 10.1186/s12864-018-4973-6.
53. Zhao, Q-B, Liao, R-R, Sun, H, Zhang, Z, Wang, Q-S, Yang, C-S, Zhang, X, & Pan, Y-C. (2018). Identifying genetic differences between dongxiang blue-shelled and white leghorn chickens using sequencing data. *G3: Genes, Genomes, Genetics* 8 (2): 469-476. doi: 10.1534/g3.117.300382.

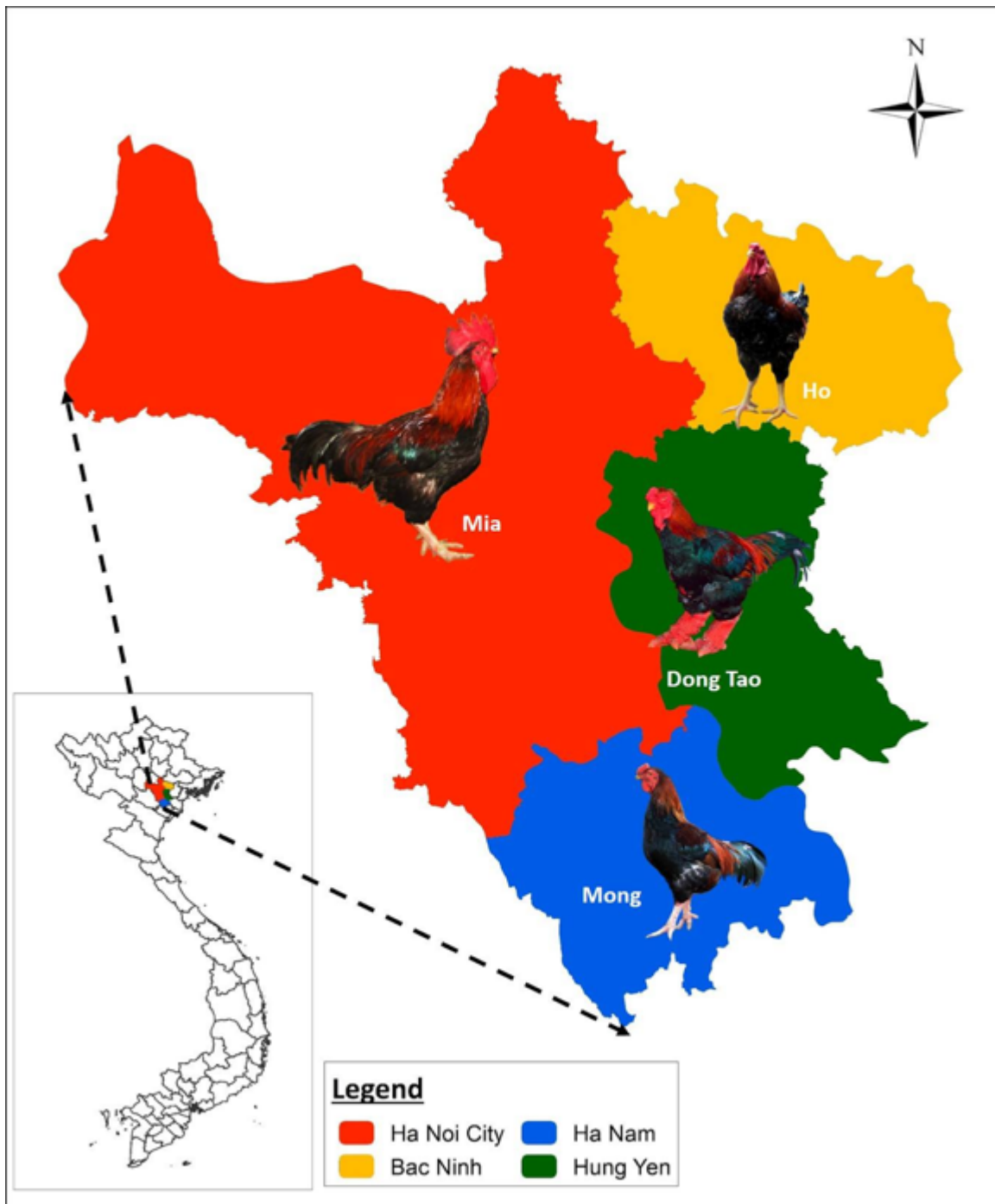
**Table 1:** Pairwise weighted  $F_{ST}$

| Breed | Dong Tao | Ho   | Mia  |
|-------|----------|------|------|
| Ho    | 0.10     |      |      |
| Mia   | 0.05     | 0.08 |      |
| Mong  | 0.07     | 0.10 | 0.04 |

**Table 2:** Results from the diversity and inbreeding analyses within the four breeds.

| Breed    | n  | Ho   | He   | $F_{zooROH}$       | Mean #<br>ROH      | Min #<br>ROH | Max #<br>ROH |
|----------|----|------|------|--------------------|--------------------|--------------|--------------|
| Dong Tao | 32 | 0.38 | 0.36 | $0.17 \pm 0.004$   | $893.5 \pm 63.13$  | 787          | 1,037        |
| Ho       | 26 | 0.39 | 0.36 | $0.17 \pm 0.007^a$ | $769.6 \pm 111.33$ | 505          | 1,089        |
| Mia      | 18 | 0.37 | 0.36 | $0.13 \pm 0.004^b$ | $1181 \pm 78.60$   | 960          | 1,260        |
| Mong     | 18 | 0.35 | 0.35 | $0.19 \pm 0.010^a$ | $1030.1 \pm 58.85$ | 944          | 1,125        |

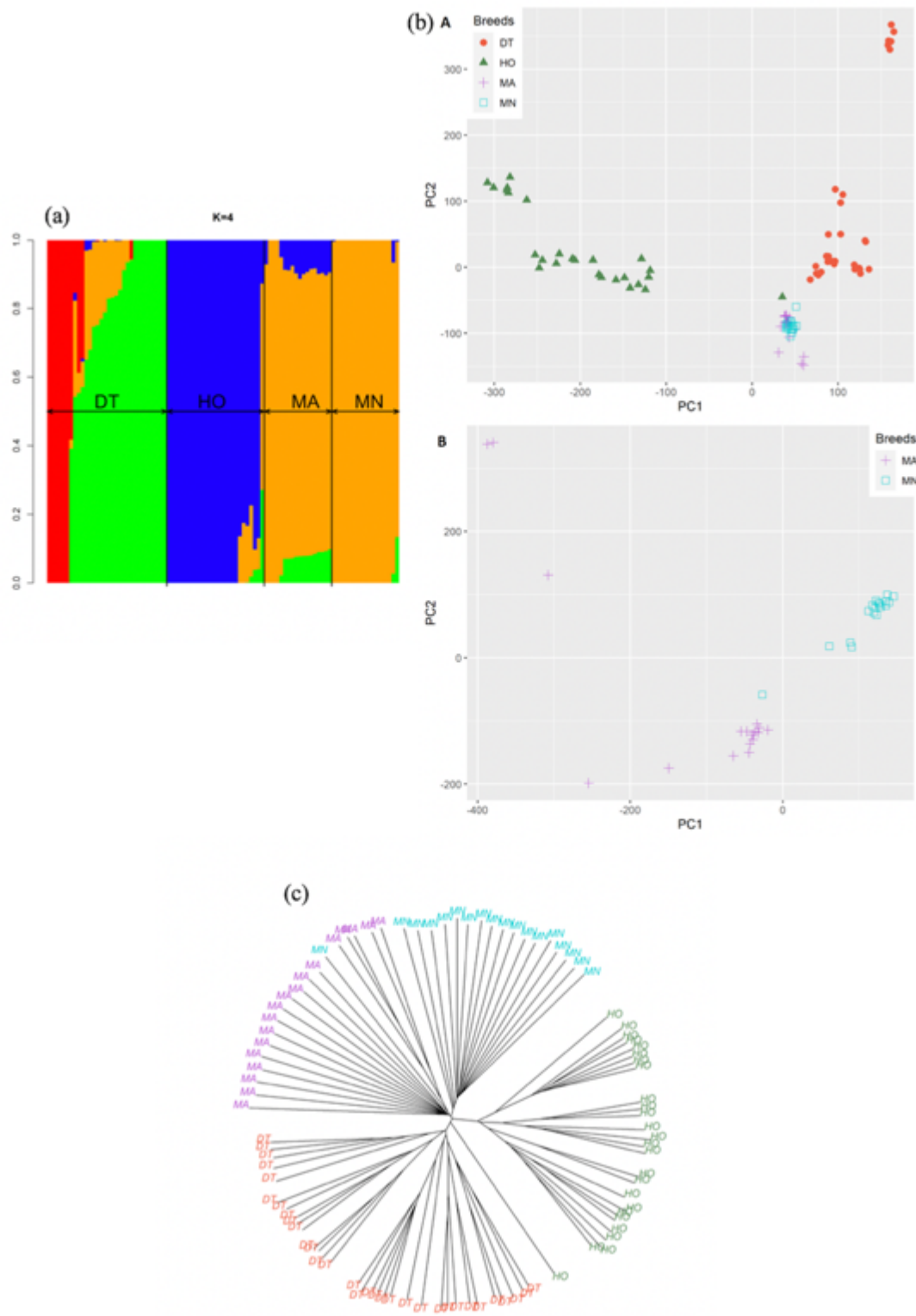
**n** = number of birds; **Ho** = observed heterozygosity; **He** = expected heterozygosity; **F<sub>zooROH</sub>** = average ( $\pm$  SEM) inbreeding coefficient computed using zooROH; **Mean (Min, Max) # of ROH** = average (minimum, maximum) number of ROH per individual.



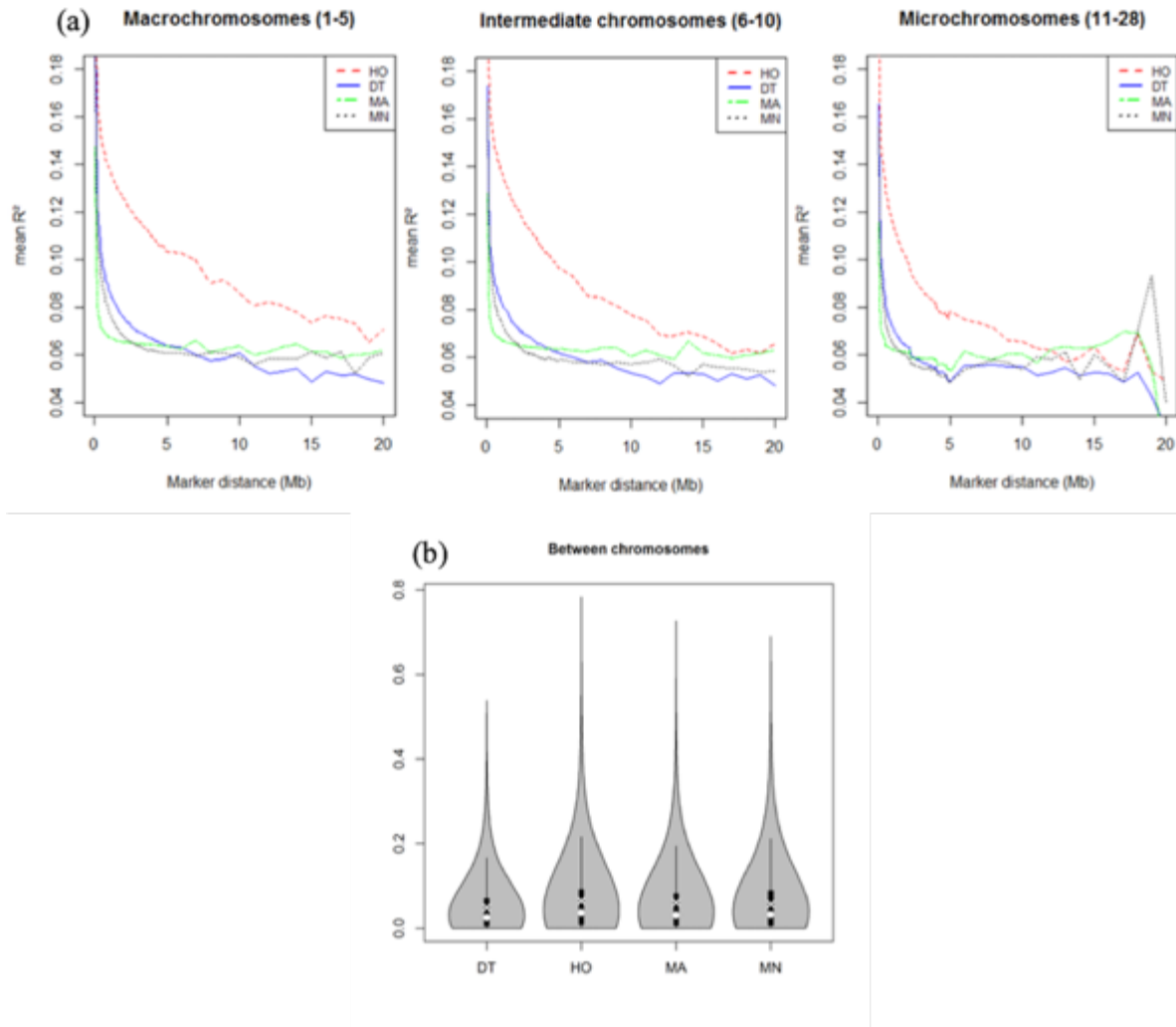
**Figure 1:** Geographical origins of the four chicken populations

Ho: Bắc Ninh Province, Dong Tao: Hưng Yên Province; Mia: Hanoi Province; Mong: Hà Nam Province

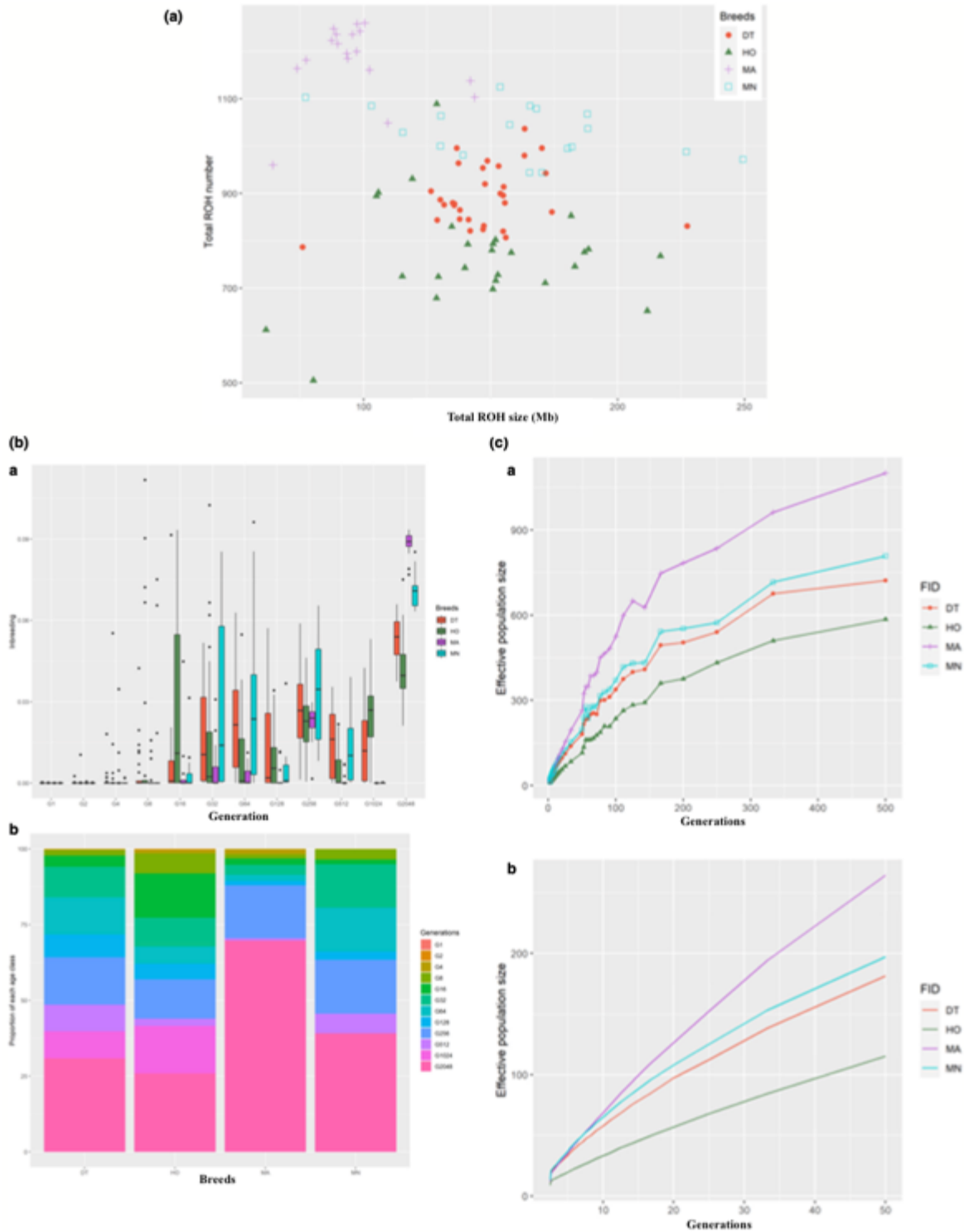




**Figure 2:** Results from the stratification analyses. (A - top left) Using fastStructure: vertical bars represent each individual. Each color corresponds to one cluster, and the length of the colored segment corresponds to the individual's estimated membership coefficient in that cluster. (B - top right) Using PCA: each point represents one individual in the analyses with all breeds (up) or with Mia and Mong individuals only (down). (C - down) Using Neighbor-Joining tree. (DT = Dong Tao, HO = Ho, MA = Mia, MN = Mong).



**Figure 3:** Results from the linkage disequilibrium analyses. (A - top) Decay of the average pairwise linkage disequilibrium ( $r^2$ ) as a function of the distance between SNPs, the breed, and the chromosome type. (B - down) Distribution of the  $r^2$  values between random SNPs located on distinct chromosomes for the 4 breeds (DT = Dong Tao, HO = Ho, MA = Mia, MN = Mong). White dot indicates the median. White cross indicates the mean. The thick black bar in the center indicates the interquartile range, and the thin black line extended from it represents the 95% confidence intervals. The shape of data distribution is shown with the kernel density estimation placed on each side.



**Figure 4:** Results from the inbreeding analyses. (A - top) Number of ROH segments as a function of the total ROH size for each individual. (B - bottom left) Contributions of the distances to the common ancestors to the individual inbreeding (up) and relative contributions of these distances to the average inbreeding in each breed (down). (C - bottom right) Estimation of the evolution of the effective population sizes over the last 500 generations (up) and zoom on the last 50 generations (down).

---

## **Chapitre 7**

# **Discussion générale, Conclusion générale, Perspectives**

---

## DISCUSSION GÉNÉRALE

L'élevage de poulets joue un rôle très important dans la plupart des pays du monde. Selon la (FAO, 2020), la production de poulets de chair au niveau mondial a atteint 119,5 millions de tonnes en 2020, représentant 35,61% de la production totale de viande d'élevage. Celle-ci est classée en première position, il vient de passer la viande de porc avec 109,83 millions de tonnes, représentant 32,73% (FAO, 2020). La consommation de volailles est de plus en plus populaire, ce produit étant bon marché et proposant une viande pauvre en matières grasses, bonne pour la santé. Selon Warris (2010), la viande blanche (poitrine) de poulets ne contient que 1% de matières grasses, les cuisses contenant 3% de matières grasses.

La viande de poulet convient à la diversité de la plupart des cultures dans le monde. Celle-ci joue un rôle important comme apport en protéines dans l'alimentation des populations des pays pauvres et en développement. De plus, l'élevage de poulets est réalisé selon un cycle court et utilise moins d'espace par rapport à celui d'autres animaux tels que les vaches et les moutons. Actuellement, dans les pays en voie de développement, l'utilisation des sols et de leur superficie est une priorité absolue pour le développement des secteurs du monde industriel et du logement. En outre, l'élevage de poulets nécessite une consommation en eau plus faible que l'élevage de porcs et permet ainsi un impact moins conséquent sur l'environnement. L'élevage de poulets représente dès lors l'une des priorités de ces pays et son développement y est de plus en plus important, étant donné ses nombreux atouts.

Au cours du siècle dernier, la population de poulets a augmenté de façon surprenante au niveau mondial. En 2020, on dénombrait 33,1 milliards de têtes, soit une augmentation de 23,06% par rapport à celle de 2010. La population bovine s'élevait quant à elle à 1,53 milliards de têtes, le taux d'augmentation étant de 8,1% et la population porcine à 952,63 millions de têtes, soit une diminution de 1,97% (FAO, 2020). Les populations de poulets ont principalement augmenté dans les pays où l'élevage y est traditionnel et où ce produit représente une part substantielle de l'alimentation. Les élevages bovin et ovin se sont quant à eux développés dans des pays ayant de vastes plaines et prairies, comme par exemple l'Australie et la Nouvelle-Zélande (Warris, 2010).

À l'échelle nationale, la population de poulets au Vietnam a atteint son plus haut niveau au cours des dix dernières années. En 2020, on dénombrait 409,5 millions de têtes, soit une augmentation de 87,67% par rapport à 2010, alors qu'une diminution de 19,53% était observée pour la population porcine et une diminution de 0,06% de la population bovine (GSO, 2021). Au Vietnam, la population porcine a atteint ses limites d'espace et d'élevage. Au cours des dernières années, la production porcine vietnamienne a permis non seulement de répondre aux besoins du pays et également d'exporter sa production vers d'autres pays, en particulier la Chine. Toutefois, l'incompatibilité du mode d'élevage et des barrières techniques ont entravé ce processus d'exportation. Parallèlement, l'augmentation des maladies porcines et l'augmentation de la pollution du milieu ont affecté la croissance de cet élevage au Vietnam. En revanche, un développement de l'élevage de poulets au Vietnam peut être envisagé dans

les années à venir. En effet, les importations de produits de poulets ont continué à augmenter ces dernières années. Ainsi, en 2018, le Vietnam a importé 128 096 tonnes de viande de poulets, pour une valeur de 116,36 millions de dollars, et 2,68 millions de poussins, pour une valeur de 12,10 millions de dollars. En 2020 le Vietnam a importé 214 897 tonnes de viande de poulets pour une valeur de 207,64 millions de dollars, et 3,87 millions de poussins, pour une valeur de 20,4 millions de dollars. Donc, en deux ans, la quantité de viande de poulet importée et le nombre de poussins ont quasiment doublé (GSO, 2021).

La population de poulets au Vietnam a rapidement augmenté ces dernières années, mais ceci n'est pas expliqué par une augmentation de l'élevage de races exotiques. En 2020, la population de races exotiques représentait 26,79% de la population totale de poulets au Vietnam, ce pourcentage étant diminué par rapport à celui de 2010 avec 34,18% (GSO, 2021). L'augmentation de la population de poulets est particulièrement expliquée par une augmentation des poulets « colorés » (poulets croisés entre les races locales et les races exotiques) et des races locales. Les populations de poulets indigènes et de poulets croisés (poulets colorés) sont préférées au Vietnam parce qu'elles ont une belle couleur de plume et conviennent aux conditions d'élevage locales. Elles sont souvent élevées dans des systèmes d'élevage semi-industriel ou extensif et sont préférées d'un point de vue gustatif par les consommateurs (Yitayih, M et al., 2021).

L'importance des races indigènes dans l'élevage vietnamien s'est confirmée ces dernières années et celles-ci représentent une partie intégrante du programme de conservation du pays (MARD, 2021). Cependant, le risque de dégradation des ressources génétiques et d'extinction de ces races est toujours présent. La sélection de races pures et les accouplements intra-race permettant d'améliorer la productivité sont généralement des processus longs et coûteux, tout comme les programmes de conservation des races pures (Moula et al., 2012). Dans les pays en développement, la plupart des éleveurs utilisent la méthode de croisement de races indigènes avec des races exotiques afin d'obtenir une amélioration de la productivité. Par conséquent, les programmes de conservation des races indigènes sont souvent interrompus. Il y a deux facteurs principaux qui menacent la conservation des races indigènes au Vietnam. Premièrement, les races indigènes ont un faible taux de productivité et sont donc moins efficaces économiquement que les races exotiques, ceci réduisant la compétitivité des races indigènes par rapport aux races exotiques. Ensuite, actuellement, la tendance à l'augmentation de l'apparition de maladies infectieuses dangereuses affecte particulièrement l'existence des populations de races indigènes (Christophe, 2009). Par conséquent, il devient plus qu'important d'étudier les races indigènes afin d'identifier de nouvelles stratégies de conservation et d'élevage durable de ces races.

## **1. Caractéristiques du système d'élevage des races Ho et Dong Tao**

- **Élevage de races indigènes de petite taille**

En 2006, un total de 88 éleveurs de poulets Ho a été rapporté, ceci représentant une population totale de 1404 poulets Ho, avec un troupeau d'environ 320 poules pondeuses (Doan et Luu 2006). Huit

ans plus tard, le nombre d'élevages a diminué de plus de 61% et la taille de la population de race Ho a diminué de 51,49% par rapport à 2006 : en 2014, un total de 34 éleveurs de poulets Ho a été rapporté, pour une population totale de 681 poulets Ho. Cette étude a été réalisée auprès des 34 éleveurs de race Ho, représentant 135 poules pondeuses et une moyenne de 4 poules pondeuses par éleveur (Vu Dinh Ton et al., 2014). Le système d'élevage des poulets Ho est un système simple de très petite taille. En comparaison, le système d'élevage de la race Dong Tao est plus diversifié. En 2015, la taille de la population des poulets Dong Tao était de 9 530 poulets. Les élevages de grande taille sont en moyenne de 165 poules pondeuses par ménage. Les élevages de petite taille sont eux en moyenne de 18,35 poules pondeuses par foyer (Dao Thi Hiep et al., 2015). Les éleveurs de la race Dong Tao ont une grande superficie disponible par rapport à celle des éleveurs de Ho, ce qui est une condition favorable à l'augmentation de la taille d'élevage. L'élevage de la race Dong Tao peut se développer en parallèle du développement d'un potager. En effet, l'élevage de poulets permet de fournir des déchets pour la plantation et de créer une relation symbiotique permettant aux deux activités de se développer ensemble. Selon Moula et al. (2011), les élevages de races indigènes au Vietnam sont souvent combinés avec d'autres animaux et amènent à des systèmes mixtes d'élevage extensif ou semi-intensif. Selon de Bett et al. (2014), la taille d'élevage de races indigènes au Vietnam est faible avec une moyenne de 45 individus par élevage. Celle-ci est inférieure à la taille d'élevage de races indigènes reportée au Sri Lanka, avec une moyenne de 58 individus par ménage, mais plus grande que la taille d'élevage des poulets indigènes au Bangladesh (10 individus par ménage en moyenne) et au Pakistan (7 poulets par ménage en moyenne) (Bett et al. (2014). Les études sur les races indigènes au Vietnam ont souvent rapporté des petites tailles d'élevage. La taille d'élevage des poulets aux orteils multiples au nord du Vietnam est en moyenne de 16,4 poulets par ménage et celle de la race Ri en moyenne de 68 poulets par ménage (Thinh et al., 2016). Les poulets de la race Lien Minh sont principalement présentes dans de petits élevages. L'élevage de 71 à 100 poulets par ménage représente seulement 6%, l'élevage de 50 à 70 poulets représente 80,4% et l'élevage de moins de 50 poulets représente 13,6%, (Bui Huu et al., 2016).

L'élevage des races Ho et Dong Tao est donc de petite taille et, de plus, généralement confiné dans un espace géographique étroit. Selon Thuy et al. (2009) et MARD (2016), la race Ho se retrouve uniquement dans la commune de Ho, le district de Thuan Thanh, la province de Bac Ninh. La race Dong Tao est également élevée dans un espace géographique limité, et se retrouve principalement dans la commune de Dong Tao et certaines autres communes de la province de Hung Yen (Cuc et al., 2011). Une petite taille d'élevage et une distribution géographique limitée induisent un risque d'extinction accru en cas d'épidémie, comme la grippe aviaire, et pourraient entraîner la disparition de ces populations (Son, 2016). De plus, une petite taille d'élevage augmente la consanguinité, réduit la diversité génétique et augmente le taux de mortalité des poussins (Frankham, 1995). Tout ceci introduit un risque sérieux pour la conservation de ces races.

- **Les poulaillers simples**

Les deux races des poulets Ho et Dong Tao sont élevées dans l'arrière-cour, ce qui est un modèle d'élevage traditionnel au Vietnam. Le poulailler de ces poulets est souvent simple, et est constitué d'un abri pour les poulets quand il pleut et pour la nuit (Yitayih, M et al., 2021). Selon Cuc et al. (2006) au Vietnam, dans les systèmes d'élevage de poulets indigènes, le poulailler est généralement simple. La matière pour la construction des poulaillers est principalement le bambou et le bois. Selon Zidane et al. (2017), dans les élevages des poulets indigènes en Algérie, seulement 6,5% des ménages d'éleveurs avaient des poulaillers et protégeaient les poulets toute la journée et la nuit, 73,5% des ménages d'éleveurs avaient des poulaillers pour les poulets pour la nuit, et 20% des ménages n'avaient pas des poulaillers.

Le poulailler des poulets Ho et Dong Tao est généralement simple et utilise des matériaux disponibles dans la localité. L'utilisation de poulaillers simples pour les poulets Ho et Dong Tao est défavorable pour le développement de l'élevage à cause du manque d'espace, de la difficulté du nettoyage et de la capacité réduite à protéger les poulets des prédateurs (souris, chiens, rapaces ...). Selon de Bekele et Shigute (2019), les risques liés aux prédateurs sont une des principales difficultés pour l'élevage des poulets indigènes. De plus, un poulailler simple réduit la capacité de protéger les poulets contre les effets négatifs de la nature, tels que la pluie et le changement climatique (trop froid ou trop chaud).

- **L'approvisionnement alimentaire des poulets**

Dans le système d'élevage des poulets Ho et Dong Tao, les poulets peuvent trouver de la nourriture par eux-mêmes et recevoir les déchets, les restes de la cuisine, auxquels les agriculteurs peuvent ajouter du maïs et du riz deux fois par jour. Les éleveurs ont souvent utilisé ce qui est disponible afin de réduire les coûts de production. Ce résultat est conforme aux résultats de Phuong et al. (2015) sur le système d'élevage de poulets indigènes du Vietnam. Aujourd'hui, dans le système de production des poulets indigènes, y compris les poulets Ho et Dong Tao, il y a une tendance à utiliser des aliments industriels comme complément alimentaire. Les agriculteurs créent eux-mêmes un aliment complet composé d'aliment commercial concentré (très riche en protéines) et combiné avec du maïs, du son de riz ou du paddy. Cette tendance montre le désir des agriculteurs d'améliorer les conditions nutritionnelles des poulets indigènes dans le but d'améliorer la productivité de ces races. Thinh et al. (2016) ont fait des recherches sur la race de poulet aux nombreux orteils au nord du Vietnam. Ces auteurs ont rapporté que les éleveurs donnent souvent des aliments supplémentaires aux poussins, comme le riz et le maïs, pour augmenter le taux de survie, mais, après un mois âge, les poulets doivent chercher de la nourriture par eux-mêmes. Selon Bett et al. (2014), les éleveurs des poulets indigènes au Vietnam utilisent souvent les restes de la cuisine pour les poulets, mais une proportion importante des éleveurs utilise des aliments commerciaux comme alimentation supplémentaire (46% du total d'éleveurs).



- **La prévention et le traitement des maladies**

Les éleveurs des poulets Ho et Dong Tao ont adopté des mesures préventives contre les maladies, telles que le traitement des parasites, l'utilisation de vaccins contre les maladies de Newcastle et de Gumboro, mais ils ne suivent pas bien les protocoles. Selon Pham Kim Dang et al. (2013), dans les élevages de petite taille, très peu d'agriculteurs ont suivi les cours de pratique vétérinaire. Dans les élevages de poulets indigènes au Vietnam, parmi les poulets malades, la maladie de Newcastle représente 40 à 45% du total, la maladie de Gumboro 25 à 52% et les parasitoses représentent 10 à 15% (Nguyen Mau Dung et al., 2020). Selon Okitoi et al. (2007), dans le système d'élevage de poulets indigènes, les agriculteurs restreignent l'utilisation de vaccins pour poulets pour des raisons économiques et par manque de connaissances sur l'utilisation des vaccins. 21,69% des petits élevages de poulets au Vietnam n'utilisent pas de vaccins pour la prévention des maladies, selon (Cuong et al., 2010). Ce manque d'utilisation des vaccins est l'une des raisons pour lesquelles les poulets sont plus sensibles aux maladies infectieuses, ce qui peut entraîner des pertes économiques. Selon Son (2016), au Vietnam, les épidémies sont une des causes directes de la réduction des populations de poulets indigènes. Benabdeljelil et Arfaoui (2001) ont également signalé dans leurs résultats qu'une des plus grandes préoccupations des éleveurs était le taux de mortalité élevé dans les élevages de poulets indigènes. Selon Bekele et Shigute (2019), les maladies sont le principal facteur causant des pertes économiques dans les élevages de poulets indigènes, et la maladie de Newcastle est la plus courante.

La mortalité des poulets à cause de maladies est une cause majeure de problèmes, également toujours rapportée par les éleveurs des poulets Ho et Dong Tao. Les raisons peuvent être une mauvaise gestion sanitaire et de mauvaises pratiques d'hygiène vétérinaire. Cela contribue au risque de dégradation de ces deux races.

- **Sélection et gestion de la reproduction des poulets**

Actuellement, les éleveurs des poulets Ho et Dong Tao ont souvent utilisé des critères phénotypiques pour sélectionner les poulets pour la reproduction (Duc et Long, 2008). Toutefois, les agriculteurs utilisent des informations sur leurs origines pour sélectionner les reproducteurs, l'origine des coqs étant plus concernée que l'origine des poules. Selon de Yitbarek et Zewudu (2013), dans l'élevage des races de poulets indigènes, il y a toujours une prise en compte de l'origine héréditaire, qui est un facteur important pour la protection de ces races.

La sélection est orientée vers les caractères morphologiques et repose principalement sur l'expérience des sélectionneurs. Cette manière de sélectionner a un impact négatif sur la diversité génétique des races sélectionnées. Selon Van Marle-Köster et al. (2008), la sélection directionnelle compromet les ressources génétiques des races poulets indigènes.

Outre la sélection directionnelle, il y a un manque de gestion dans l'élevage des poulets indigènes Ho et Dong Tao : les agriculteurs échangent des coqs entre les ménages pour renouveler les gènes dans leur population de poulets, mais sans contrôle, ce qui peut conduire à augmenter l'assimilation ou l'invasion des ressources génétiques exotiques dans ces deux races. Ainsi, selon Reist-Marti et al.

(2003), élever des poulets sans gestion des accouplements conduit à l'invasion de ressources génétiques exotiques dans les populations indigènes. Selon Thieu. (2016), au Vietnam, l'élevage des races de poulets indigènes étant principalement un système extensif, il n'y a pas de gestion de la reproduction, ce qui augmente le risque de consanguinité et le risque de croisement avec d'autres races, entraînant une diminution de la pureté des sources génétique des races de poulets indigènes.

- **Commercialisation des produits de poulets**

La filière des poulets Ho et Dong Tao est très simple. La filière des produits des deux races est simple, parce que les élevages sont de petite taille et la quantité de produits est limitée, ce qui ne forme donc pas une grande chaîne de production et de consommation. Selon Bekele et Shigute (2019), la filière des produits de poulets indigènes est simple et passe principalement directement des producteurs aux consommateurs. Selon Yitbarek et Zewudu (2013) dans l'élevage des races des poulets indigènes, la filière des produits est informelle et il est sous-développé en raison des informations de commercialisation fournies au niveau de l'agriculteur. La majorité des éleveurs des poulets Ho et Dong Tao ont pour objectif l'autoconsommation, la vente des produits de poulet n'étant pas l'objectif principal. Cependant, ces produits peuvent également être vendus afin de fournir de l'argent pour répondre aux besoins urgents des agriculteurs (Phuong et al. (2015). Dans le système d'élevage de poulets Dong Tao, le groupe 3 (où la taille d'élevage est de plus de 100 poulets par ménage) a diversifié ses produits et l'objectif principal des éleveurs dans ce groupe est de maximiser le profit économique. La filière de produits dans ce groupe est plus développée par rapport aux filières des groupes 1 et 2 et plus développée par rapport à la filière de produits des poulets Ho. Bien que plus développée, elle reste cependant toujours une filière courte et simple.

Les prix des poulets Ho et Dong Tao varient selon les mois de l'année. Les mois de mars et d'avril sont les meilleurs mois pour vendre des poussins et les mois d'octobre à février sont les meilleurs pour vendre des poulets d'abattoir, parce que cette période est la saison des mariages, de nombreuses activités culturelles traditionnelles et du Têt, le nouvel-an vietnamien, où les demandes de viande sont augmentées.

Le fait que la filière des poulets Ho et Dong Tao soit courte a certains avantages pour les agriculteurs, comme éviter les coûts intermédiaires. Par contre, cela limite la capacité de commercialiser les produits sur de grands marchés et cela limite l'accessibilité des consommateurs aux produits.

## **2. Caractéristiques morpho-biométriques des races Ho et Dong Tao**

La recherche de caractéristiques morpho-biométrique vise à distinguer différentes populations des poulets (Dana et al., 2010). Selon Pham et al. (2013), au Vietnam, la distinction entre les races des poulets indigènes en fonction de critères phénotypiques est très populaire. Les résultats de notre étude ont montré que les poulets Ho et Dong Tao peuvent être distingués sur la base de critères phénotypiques. Les avantages de cette méthode sont qu'elle est facile à mettre en œuvre et ne nécessite aucune machine compliquée.

Les caractéristiques morpho-biométriques sont utilisées pour évaluer la pureté de la population de poulets indigènes. Ces indicateurs phénotypiques sont déterminés par les agriculteurs eux-mêmes et c'est une expérience transmise de génération en génération. Les poulets Ho et Dong Tao présentent une variété de phénotypes, ce qui suggère une diversité génétique importante dans les populations de ces deux races. Des études sur les caractéristiques génétiques moléculaires de ces deux races sont toutefois nécessaires pour des résultats plus précis, comme celle menée dans le chapitre 6 de cette thèse. Précisons que les résultats de l'étude sur les caractéristiques phénotypiques de ces deux races (voir le chapitre 4 de cette thèse) ont été utilisés par le Ministère de l'Agriculture et du Développement rural comme documents de référence pour créer des normes nationales des caractéristiques phénotypiques des deux races de poulets Ho et Dong Tao.

Au Vietnam, il y a des activités culturelles traditionnelles telles que l'organisation de concours afin de sélectionner les poulets avec la meilleure apparence (le plus beau plumage et le plumage le plus homogène). Les agriculteurs ayant les meilleurs poulets seront honorés et c'est une grande valeur spirituelle pour les agriculteurs. Selon Duc et Long (2008), le concours des poulets Ho est une activité traditionnelle qui a lieu chaque année en février (début du printemps). Cette activité se poursuit à ce jour sous les auspices d'organisations gouvernementales. En plus, le poulet Ho a inspiré des peintures sur des matériaux traditionnels, ce qui a contribué à affirmer le rôle des poulets dans la communauté locale (Hiep, 2013). En plus, les indicateurs phénotypiques sont également des critères importants que les consommateurs utilisent lorsqu'ils achètent des poulets. En effet, au Vietnam, les consommateurs préfèrent acheter des poulets vivants, et les caractéristiques phénotypiques représentent le premier critère d'évaluation par les consommateurs pour prendre une décision d'acheter. Les caractéristiques phénotypiques ont une grande influence sur la décision du choix et sur le prix. Le prix de vente n'est pas fixe, le prix est le résultat de négociations entre l'acheteur et le vendeur, et il dépend bien sûr des caractéristiques phénotypiques. Cela renforce la conviction des agriculteurs dans la sélection des poulets Ho et Dong Tao selon les caractéristiques morpho-biométriques.

- **Couleur de plume des poulets**

Les études sur les caractéristiques morphologiques des poulets Ho et Dong Tao montrent une grande diversité de couleurs de plumes. Ce résultat a également été trouvé dans l'étude de Doan et Luu (2006), Duc et Long (2008) et (Dao et al., 2011). Suivant les couleurs des plumes, les poulets Ho et Dong Tao sont divisés en deux groupes distincts évidents. En effet, les coqs ont des plumes sombres tandis que les poules ont une couleur de plumes plus claire. Cette constatation confirme les observations faites par Doan et Luu (2006) et (Nguyen Van Duy et al., 2015b). La couleur des plumages des poulets Ho n'est pas très différente de celle des poulets Dong Tao. Il est donc difficile de distinguer ces deux races si nous utilisons uniquement comme indicateur la couleur des plumages.

- **Caractères de crêtes et de tarse**

Les types des crêtes recensées chez les poulets Ho et Dong Tao sont de trois types : rose, noix et pois. Cependant, la plupart des poulets indigènes du Vietnam ont un type de crête simple. Selon Cuc et al. (2016a), la crête du poulet Mia est du type crête simple, tout comme celle du poulet H'mong (Dao et al., 2011).

Les tarse des poulets Dong Tao ont une forme large par rapport aux autres races de poulets indigènes au Vietnam. Le phénotype est assez différent des autres races, ce qui facilite la distinction de cette race et aide à prévenir l'invasion de ressources génétiques exotiques dans les programmes de conservation des poulets Dong Tao. De plus, la caractéristique distinctive du type des tarse facilite leur présentation aux consommateurs. Par contre, la taille trop grande des tarse rend également difficile l'accouplement, ce qui peut affecter le taux d'accouplement réussi chez les poulets et contribue à ralentir l'augmentation de la taille de cette population.

### **3. Caractéristiques zootechniques des races Ho et Dong Tao: performances de production et de reproduction**

Plusieurs facteurs contribuent à la stratégie de conservation des races des poulets indigènes au Vietnam. Parmi ceux-ci, on trouve les caractéristiques de la reproduction, de la croissance, de la qualité de la viande et des œufs. Par conséquent, les études sur la performance de production, sur les caractéristiques de la qualité de la viande et des œufs ont fourni des informations supplémentaires pour alimenter des stratégies de conservation et de développement durable des races de poulets concernées.

- **Croissance et reproduction**

Les poulets Ho et Dong Tao ont un poids élevé. Selon de Choo et al. (2014), le poids du corps a un effet sur les performances de la viande des poulets. Mais il convient également de noter que les gros poulets ont souvent de faibles performances de reproduction. Selon Bett et al. (2014), les races de poulets indigènes du Vietnam sont plus lourdes que les races des poulets indigènes du Bangladesh et du Pakistan. Les résultats de notre étude ont montré que les performances de croissance des poulets Ho et Dong Tao n'étaient pas significativement différentes et que le taux de croissance de ces deux races était faible. Selon Moula et al. (2012), la productivité des races de poulets indigènes est faible par rapport aux races des poulets commerciales du monde entier. Cela peut être dû au fait que les races des poulets indigènes ont une faible efficacité de conversion des aliments (Sizemore et Siegel, 1993). Selon Choo et al. (2014), Il y a de nombreuses raisons pour cette faible efficacité de conversion alimentaire, mais les raisons principales sont le génotype et les pratiques d'élevage. Les résultats de notre étude ont également montré que l'âge de la première ponte de ces deux races est plus tardif que pour les autres races de poulets indigènes au Vietnam. En outre, selon Vali (2008), l'âge de maturité des races de poulets indigènes est plus tardif que pour les races de poulets hybrides. En ce qui concerne le taux de malformations des poussins dans ces deux races, il est très élevé, ce problème ayant été signalé par de

nombreux agriculteurs dans les enquêtes. Une explication plausible de ce phénomène serait l'augmentation de la consanguinité dans ces deux races. La faible croissance et les difficultés de reproduction entraînent la faible compétitivité de ces deux races par rapport aux races hybrides ou exotiques.

- **Qualité de la viande**

La viande des poulets Ho et Dong Tao est plus dure que celle des autres races. Cela peut être dû à la longue période d'élevage, à la méthode d'élevage (les poulets sont généralement élevés de façon extensive et libres en mouvement) et à l'influence du génotype. Cependant, la viande plus consistante est préférée par les consommateurs vietnamiens. Les taux en protéines dans la viande des poulets Ho et Dong Tao sont également plus élevés par rapport aux autres poulets commerciaux et le taux de graisse est plus faible. Ces indicateurs peuvent également être influencés par le génotype, le sexe et les pratiques d'élevage. Ceci suggère que ces deux races pourraient être utilisées pour améliorer la qualité de la viande des races de poulets exotiques afin de répondre aux besoins des consommateurs domestiques.

- **Qualité des œufs**

La coquille d'œufs des poules Ho et Dong Tao est très dure et le taux jaune sur albumen des poules Ho et Dong tao est élevé. Selon Haunshi et al, (2010), la viande et les œufs des poules indigènes sont de meilleure qualité et de meilleur goût que ceux des poules exotiques (industrielles).

Les résultats de notre étude ont montré que le rendement en viande, la dureté de la viande et taux de jaune par albumen des œufs, la force maximale de rupture de la coquille des deux races de poulet Ho et Dong Tao sont des caractères intéressants. Par conséquent, on pourrait envisager d'utiliser les ressources génétiques de ces deux races pour améliorer qualité de la viande et des œufs des races de poulets industriels à travers des croisements entre races indigènes et races exotiques.

#### **4. Caractéristiques génétiques des races de poulet Ho et Dong Tao**

- **Structure de la population**

Avant nos travaux, au Vietnam, il n'y avait pas encore d'étude basée sur des SNP à haute densité chez les poulets indigènes. De plus, une grande partie de la population des poulets indigènes est élevée dans des fermes privées, où manquent la gestion de la reproduction et des pratiques de sélection (Pham et al., 2013). De ce fait, le risque de croisements entre différentes populations de poulets indigènes est toujours présent. Par conséquent, notre étude est une contribution importante à la détermination de la constitution génétique des poulets indigènes au Vietnam, ainsi que des éventuelles relations entre les races.

Notre étude a investigué la différence génétique entre les quatre populations de poulets Ho, Dong Tao, Mia et Mong. Les poulets Ho et Dong Tao forment des groupes distincts, tandis que les populations de Mong et Mia ont été regroupées. Les résultats de cette étude sont différents des résultats de recherche de Pham et al. (2013), qui ont signalé que les populations des poulets Dong Tao et Mia ne pouvaient pas toujours être distinguées. La différenciation proposée dans notre étude est probablement due à la

meilleure résolution liée au nombre élevé de marqueurs que nous avons utilisés. Selon Cuc et al. (2011a), les populations des poulets indigènes qui sont élevées dans un espace géographique étroit pourraient permettre la circulation de gènes entre elles. Quand les races de poulets ont une apparence différente, cela peut réduire l'entrée passive de ressources génétiques provenant d'autres populations grâce à la sélection phénotypique. Dans les races que nous avons étudiées, comme les races de poulets Mong et Mia ont des phénotypes assez similaires, il peut donc y avoir une interférence génétique passive ou active entre les deux races. Par ailleurs, le don des poulets comme cadeaux entre les éleveurs est courant au Vietnam (Moula et al. (2011). Selon Duc et Long (2008), les membres d'une grande famille peuvent échanger ou donner des poulets pour rétablir une nouvelle population. Ces activités peuvent propager des sources de gènes des poulets indigènes vers d'autres régions et ils peuvent également augmenter l'homogénéité des sources de gènes dans la population des poulets indigènes (Berthouly et al., 2009).

- **Diversité génétique**

Selon Bhuiyan et al. (2013), les populations de poulets indigènes en Asie ont une plus haute diversité génétique par rapport aux populations de poulets indigènes en Europe et en Afrique. En particulier, les populations des poulets indigènes du Vietnam montrent une diversité génétique très élevée (Berthouly et al., 2009). La diversité génétique des populations de poulets indigènes au Vietnam peut s'expliquer par le fait que le Vietnam est un centre de domestication des poulet. Les résultats de notre étude ont montré que la diversité génomique des poulets Ho était la plus basse et celle des poulets Mia la plus élevée. Ce résultat correspond aux résultats de recherche de Pham et al. (2013). Le commerce, les cadeaux, le transport de poulets avec des migrants renforceront l'homogénéisation du pool génétique (Berthouly et al., 2009). Selon Cuc et Son (2018), les poulets Ri, une race de poulets indigènes populaire au Vietnam, a une diversité génétique élevée et une consanguinité faible. Dans nos travaux, les poulets Ho et Dong Tao ont un taux de consanguinité élevé et la poule Mia montre la consanguinité la plus faible. Ces dernières années, la consanguinité des 4 races a augmenté, mais il est le plus préoccupant chez les poules Ho, qui ne sont distribuées que dans un petit espace géographique (Thuy et al., 2009). Ces observations corroborent les résultats des recherches sur les systèmes d'élevage des poulets Ho et Dong Tao, dans lesquels les agriculteurs ont souvent souligné des problèmes potentiellement liés à de la consanguinité. Le manque de gestion et les sélections directionnelles ont augmenté le risque de consanguinité des deux races. L'augmentation de la consanguinité augmente le taux d'homozygotie et réduit la diversité des ressources génétiques. Selon McQuillan et al. (2008), l'augmentation d'homozygotes permet l'expression d'allèles récessifs délétères, affectant négativement les performances de production et de reproduction, et augmentant les risques de mortalité des animaux.

De manière similaire, notre étude a démontré que la population effective des poulets Ho est la plus faible et celle des poulets Mia la plus élevée. La stratégie actuelle de conservation des poulets Mia est efficace alors que c'est l'inverse pour les poulets Ho. Selon Cuc et al. (2011a), l'étude sur 11 races de poulets indigènes du Vietnam, y compris Ho, Dong Tao et Mia, a montré que les poulets locaux

étaient très exposées au risque d'extinction. Par conséquent, il est nécessaire d'avoir une stratégie appropriée pour conserver ces races.

## CONCLUSION GÉNÉRALE

Notre travail a porté sur les races de poulets Ho et Dong Tao au Vietnam. Ce sont des poulets indigènes qui existent depuis longtemps. Actuellement, ces deux races de poulets jouent encore un rôle important dans la vie socio-économique et culturelle de la communauté vietnamienne. Notre étude a montré que la taille d'élevage des poulets Ho et Dong Tao est très petite (quelques têtes, notamment pour les poulets Ho) et leur répartition dans l'espace est très modeste.

L'étude sur les caractéristiques des systèmes d'élevage de poulets Ho et Dong Tao a montré que ces deux races sont élevées dans l'arrière-cour, ce qui est un système d'élevage traditionnel au Vietnam. Les poulaillers sont généralement un simple pour quand il pleut et pour la nuit. Ce type d'abris réduit la capacité de protéger les poulets contre les prédateurs et réduit la capacité de les protéger contre les effets négatifs de la nature.

Dans l'élevage des poulets Ho et Dong Tao, il n'y a pas encore de gestion de l'accouplement. Les agriculteurs ont échangé des coqs entre eux pour renouveler les gènes dans leurs élevages. Cette absence de gestion induit des risques de consanguinité accrue et de dérive génétique de ces deux races.

Les éleveurs de Ho et Dong Tao utilisent souvent des critères phénotypiques pour sélectionner les reproducteurs. Les caractéristiques phénotypiques de ces deux races sont très typiques (couleur de plumes, type de crêtes et taille de tarse, etc.) et sont appréciées par les Vietnamiens, en particulier la Dong Tao. Ces animaux ont un poids du corps plus lourd que les autres races indigènes du Vietnam. Ces caractères sont souvent les critères les plus importants lors de la sélection des reproducteurs.

Aujourd'hui, pour l'élevage de poulets Ho et Dong Tao, les agriculteurs ont tendance à utiliser les aliments industriels comme aliment de complément. Les agriculteurs créent eux-mêmes un aliment complet composé d'aliment commercial concentré (très riche en protéines) et combiné avec du maïs, du son de riz ou du paddy. Cette tendance met en évidence le désir des agriculteurs d'améliorer les conditions nutritionnelles leur cheptel afin d'améliorer la productivité de leur élevage.

D'autres résultats de cette thèse ont montré que la productivité des élevages de poulets Ho et Dong Tao est faible, que le taux des malformations des poussins de ces deux races est très élevé, que la viande des poulets Ho et Dong Tao est dure, que la force maximale de rupture de la coquille est élevée et que le taux jaune par albumen des œufs est également élevé. Il s'agit d'informations intéressantes pour améliorer la qualité des œufs des races de poulets exotiques.

La filière des poulets de Ho et Dong Tao est très courte et simple avec un nombre de produits encore très modeste. Les poulets de chair ou les poussins sont principalement vendus directement aux consommateurs et aux producteurs. Même si le prix des poussins et des poulets est très élevé, le revenu des agriculteurs est encore modeste en raison des coûts de production très élevés, des performances faibles de production et de reproduction et de la petite taille de fermes.

L'utilisation du génotypage de SNPs à haute densité a permis d'étudier la variabilité génétique de quatre races des poulets locaux Vietnamiennes de manière très efficace, permettant de distinguer



clairement trois groupes, à savoir les poulets Ho, les poulets Dong Tao et un groupe mélangé comprenant des poulets Mia et Mong.

La plus faible diversité allélique a été observée chez les poulets Ho et la plus élevée chez les poulet Mia. En conséquence, les coefficients de consanguinité mesurés chez les poulets Mia tendent à être les plus bas, ceux mesurés chez les poulets Ho les plus élevés, ceux mesurés dans les deux autres races correspondant à des valeurs intermédiaires.

La race Mia a une diversité allélique élevée, un faible déséquilibre de liaison, une taille de population efficace élevée et une faible consanguinité globale avec une contribution plus importante, dans cette consanguinité globale, d'anciens ancêtres. Ces observations supportent l'hypothèse selon laquelle les programmes de conservation actuellement mis en place semblent efficaces. À l'opposé, chez les poulets Ho, la diversité allélique est faible, le déséquilibre de liaison est élevé et la taille efficace de la population est faible, marqués d'une forte consanguinité récente.

La race des poulets Mia est génétiquement proche des poulets Mong, tandis que la race des poulets Ho est la plus éloignée génétiquement des trois autres.

## PERSPECTIVES

Dans la stratégie de conservation, d'exploitation et de développement des races de poulets indigènes, comme les poulets Ho et Dong Tao, il devrait y avoir des solutions appropriées pour améliorer les performances de production et de reproduction des deux races.

La première mesure serait l'amélioration des systèmes d'élevage pour ces deux races de poulets, le changement dans les pratiques d'élevage. L'amélioration passerait par des mesures de prévention des maladies. Il s'agirait aussi d'améliorer l'élevage pour atteindre une meilleure efficacité économique et répondre de manière adaptée aux préférences des consommateurs.

Après cela, la sélection des reproducteurs et la gestion des accouplements sont essentielles pour améliorer les performances de production de ces deux races. L'enseignement et l'éducation aux pratiques de gestion génétique pour les éleveurs contribueront à améliorer la productivité de l'élevage et la conservation des races indigènes sera renforcée.

Ensuite, les agriculteurs pourraient développer un système d'élevage de poulets indigènes de qualité. L'élevage de poulets indigènes utilise moins d'antibiotiques et n'utilise pas de produits chimiques stimulant la croissance, et les éleveurs privilégient le bien-être animal. En plus, il faudrait financer des recherches pour trouver des produits «spéciaux» (comme des aliments fonctionnels) dans la viande et les œufs afin de bénéficier d'éventuelles qualités présentes dans ces deux races. Les agriculteurs pourraient développer des marques de poulets du village, appelée "Ga Ta" (pour les distinguer des poulets industriels) au Vietnam. Cette marque est celle préférée des consommateurs car ils pensent que la qualité du produit est meilleure que celle des races exotiques, et que les poulets indigènes sont les mieux adaptées aux activités sociales et culturelles traditionnelles des vietnamiens. Cela devrait permettre aux poulets indigènes de survivre malgré les inconvénients associés à une faible performance de production et une faible efficacité de production.

Ensuite, il faudra établir des « labels » pour ces deux races de poulets et créer des canaux de vente spéciaux pour augmenter la valeur ajoutée de ces races. Cela peut se faire en améliorant et en développant les activités des coopératives d'élevage. Ces coopératives surveilleront les activités d'élevage. Elles donneront le droit d'utiliser ces « labels » à chaque ferme respectant un cahier de charges et elles aideront les agriculteurs à développer des canaux de commercialisation.

Un autre axe serait de renforcer les recherches pour améliorer la capacité de production des poulets indigènes, dans notre cas, les poulets Ho et Dong Tao, telles que des études sur les rations alimentaires, l'amélioration des systèmes d'élevage ou la pratique de l'insémination artificielle. Ensuite, les recherches sur l'utilisation des races indigènes pour améliorer la qualité des produits des races de poulets industriels seront nécessaires. Ces travaux renforceront le rôle et la valeur des poulets indigènes dans la stratégie de développement de l'élevage de la volaille de la nation.

Il faudra aussi développer des fermes d'élevage de Ho et Dong Tao de grande taille, pour pouvoir appliquer les méthodes de la sélection, la multiplication en race pure ainsi que la gestion des accouplements pour éviter les problèmes de consanguinité.

Après cela, il faudra renforcer le développement des centres de recherche et les centres de conservation financés par l'État. Ces centres peuvent assurer la conservation des poulets indigènes en général et de ces deux races de poulet Ho et Dong Tao en particulier. Ces centres peuvent aussi fournir des poulets indigènes de race pure de haute qualité aux agriculteurs.

Et enfin, il faudrait renforcer les compétitions annuelles pour ces deux races de poulets afin de trouver les meilleurs reproducteurs pour améliorer les performances de production de manière globale dans ces races. Dans le même temps, il faudra encourager également les agriculteurs à garder, conserver les races de poulets indigènes.

---

# **Bibliographie**

---

1. Alderson, G. 2018. Conservation of breeds and maintenance of biodiversity: justification and methodology for the conservation of animal genetic resources. *Archivos de Zootecnia*, 67, 300-309.
2. Bekele, B. and Shigute, T. 2019. Describing the production systems of local chicken populations and their production constraints in Hadiya zone, Southern Ethiopia. *International Journal of Innovative Science and Research Technology*, 4, 377-384.
3. Benabdeljelil, K. and Arfaoui, T. 2001. Characterization of Beldi chicken and turkeys in rural poultry flocks of Morocco. Current state and future outlook. *Animal Genetic Resources Information*, 31, 87-95.
4. Berthouly, C., Leroy, G., Van, T. N., Thanh, H. H., Bed'hom, B., Nguyen, B. T., Chi, C. V., Monicat, F., Tixier-Boichard, M. and Verrier, E. 2009. Genetic analysis of local Vietnamese chickens provides evidence of gene flow from wild to domestic populations. *BMC genetics*, 10, 1-8.
5. Bett, R., Bhuiyan, A., Khan, M., Silva, G., Thuy, L. T., Sarker, S., Abeykoon, M., Nguyen, T. T., Sadeq, S. and Kariuki, E., . 2014. Indigenous chicken production in the South and South East Asia. *Livestock Research for Rural Development*, 26, 1-8.
6. Bhuiyan, M. S. A., Chen, S., Faruque, S., Bhuiyan, A. K. F. H. and Beja-Pereira, A. 2013. Genetic diversity and maternal origin of Bangladeshi chicken. *Molecular Biology Reports*, 40, 4123-4128.
7. Bui Huu, D., Pham Kim, D., Hoang Anh, T. and Nguyen Hoang, T. 2016. Lien Minh chicken breed and livelihood of people on Cat Hai island district, Hai Phong city, Vietnam: Characterization and prospects. *Journal of animal husbandry sciences and technics*, 209, 26-31.
8. Burgos, S., Hong Hanh, P., Roland-Holst, D. and Burgos, S. 2007. Characterization of poultry production systems in Vietnam. *International Journal of Poultry Science*, 6, 709-712.
9. Chen, G., Bao, W., Shu, J., Ji, C., Wang, M., Eding, H., Muchadeyi, F. and Weigend, S. 2008. Assessment of population structure and genetic diversity of 15 Chinese indigenous chicken breeds using microsatellite markers. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 21, 331-339.
10. Choo, Y. K., Kwon, H. J., Oh, S. T., Um, J. S., Kim, B. G., Kang, C. W., Lee, S. K. and An, B. K. 2014. Comparison of growth performance, carcass characteristics and meat quality of Korean local chickens and silky fowl. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 27, 398-405.
11. Christophe, J. 2009. *Caractérisation phénotypique et évaluation des contraintes à la conservation de deux races de poulet Vietnamiennes*. Ingénieur agronome, Université catholique de Louvain.
12. Cuc, N. 2010. *Vietnamese local chicken breeds: Genetic diversity and prioritizing breeds for conservation*. PhD Thesis, Georg-August Universität.
13. Cuc, N., Dinh, N., Hien, L., Thien, V., Thong, T., Cuong, N. and Thieu, P. 2016a. Selection of Mia chicken breed. *Journal of animal science and technology*, 11, 33-44.

14. Cuc, N., Muchadeyi, F., Baulain, U., Eding, H., Weigend, S. and Wollny, C. 2006. An assessment of genetic diversity of Vietnamese H'mong chickens. *International Journal of Poultry Science*, 5, 912-920.
15. Cuc, N., Simianer, H., Eding, H., Tieu, H., Cuong, V., Wollny, C., Groeneveld, L. and Weigend, S. 2010. Assessing genetic diversity of Vietnamese local chicken breeds using microsatellites. *Animal genetics*, 41, 545-547.
16. Cuc, N., Simianer, H., Groeneveld, L. and Weigend, S. 2011a. Multiple maternal lineages of Vietnamese local chickens inferred by mitochondrial DNA D-loop sequences. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 24, 155-161.
17. Cuc, N. and Son, N. 2018. Assessment of genetic diversity and genetic difference between two Ri chicken lines and other chicken breeds. *Vietnam journal of Agricultural Sciences*, 16, 473-480.
18. Cuc, N., Tien, P., Cuong, N., Dinh, N., Thieu, P., Thien, V., Huong, P., Thong, T. and Tuyen, N. 2016b. Selection of Mong chicken breed. *Journal of animal husbandry sciences and technics*, 18, 22-32.
19. Cuc, N., Weigend, S., Tieu, H. and Simianer, H. 2011b. Conservation priorities and optimum allocation of conservation funds for Vietnamese local chicken breeds. *Journal of Animal Breeding and Genetics*, 128, 284-294.
20. Cuong, V. C., Phuong, T. T. M., Tien, P. Đ. and Khiem, N. Q. 2010. Characteristic of the backyard poultry system in Vietnam. *journal of animal science and technology*, 26, 60-71.
21. Dana, N., Dessie, T., Van Der Waaij, L. H. and Van Arendonk, J. A. 2010. Morphological features of indigenous chicken populations of Ethiopia. *Animal Genetic Resources/Resources génétiques animales/Recursos genéticos animales*, 46, 11-23.
22. Dang Thang, P., Peyre, M.-I., Desvaux, S., Dinh Ton, V., Roger, F. and Renard, J.-F. 2009. Characteristics of poultry production systems and cost-benefit analysis of mass vaccination campaign against HPAI in poultry production systems in Long An Province, South Vietnam. *Journal of Science and Development-Hanoi University of Agriculture*, 7, 62-68.
23. Dao, D. T. A., Duc, V. T. D. and Nha, P. V. N. 2011. Reseaching appearance and behavioral characteristics of H'mong chickens semi - industrial bred and grazing farmed in Thuan Chau- Son La. *journal of animal science and technology*, 11, 17-26.
24. Dao Thi Hiep, Nguyen Van Duy and Ton., V. D. 2015. Production, consumption status and economic efficiency of Dong Tao chicken production. *Journal of animal husbandry sciences and technics*, 8, 90-97.
25. Dap 2020. Report: Vietnam's animal husbandry situation in 2019 of Department of Livestock Production. Ministry of Agriculture and Rural Development.
26. Desalle, R. and Amato, G. 2004. The expansion of conservation genetics. *Nature Reviews Genetics*, 5, 702-712.

27. Dessie, T., Taye, T., Dana, N., Ayalew, W. and Hanotte, O., . 2011. Current state of knowledge on phenotypic characteristics of indigenous chickens in the tropics. *World's poultry science journal*, 67, 507-516.
28. Desvaux, S., Vu Dinh, T., Phan Dang, T. and Pham Thi, T. 2008. A general review and description of the poultry production in Vietnam. *A general review and description of the poultry production in Vietnam*, 38.
29. Do Anh Khoa, Nguyen Thi Kim Khang, Vo an Khuong and Son., K. T. 2012. Meat yield of Tau Vang chicken. *Science and technology journal of agriculture & rural development. Ministry of Agriculture and Rural development, Vietnam*, 1, 44-49.
30. Doan, B. H. and Luu, N. V. 2006. A survey on distribution, conformation, growth and productivity of Ho chicken *Journal of Sciences and Development* 4, 95-99.
31. Dottavio, A., Canet, Z., Faletti, C., Alvarez, M., Font, M. and Di Masso, R. 2005. Yolk: albumen ratio in experimental hybrid layers with different paternal genotype. *Archivos de zootecnia*, 54, 87-95.
32. Duc, N. V. and Long, T. 2008. Poultry production systems in Vietnam. *GCP/RAS/228/GER Working Paper No. 4*. Rome: Food and agriculture organisation: Animal Genetics and Breeding Department, National Institute
33. of Animal Husbandry, Viet Nam
34. Eaton, D., Windig, J., Hiemstra, S., Van Veller, M., Trach, N., Hao, P., Doan, B. and Hu, R. 2006. Indicators for livestock and crop biodiversity. CGN/DLO Foundation, Wageningen: Centre for Genetic Resource, the Netherlands.
35. FAO. 2007. *The state of the world's animal genetic resources for food and agriculture*, Rome.
36. FAO. 2015. The second report on the state of the world's animal genetic resources for food and agriculture. B.D. Scherf and D. Pilling ed. Food and agriculture organization of the united nations.
37. FAO. 2020. *Faostat* [Online]. Available: <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL> [Accessed Conssulté le 2 mars 2022 2020].
38. Faruque, S., Siddiquee, N., Afroz, M. and Islam, M. 2010. Phenotypic characterization of Native Chicken reared under intensive management system. *Journal of the Bangladesh Agricultural University*, 8, 79-82.
39. Frankham, R. 1995. Conservation genetics. *Annual review of genetics*, 29, 305-327.
40. Frohlich, T., Kirschbaum, T., Thoenes, U., Furrer, F., Dietrich-Veenstra, U. and Seller, M. 2004. The LightTyper Instrument: High-Throughput Genotyping of Single Nucleotide Polymorphisms. *Biochemica-Mannheim-*, 9-11.
41. Giap, N. V., Nguyen Thi Lien, Tran Thi Ut Linh, Do Manh Hung and Dong Dang Huy 2015. *The Vietnamese livestock market has changed structure to improve competitiveness*, Hong Duc Publishing House.

42. GSO. 2018. *Report: Situation of Socio-economic situation in 2016 of Viet Nam* [Online]. General statistic office: Statistical Publishing House. Available: <https://www.gso.gov.vn/default.aspx?tabid=621&ItemID=16174>.
43. GSO. 2020. *Statistical handbook of Vietnam*, Statistical Publishing House.
44. GSO. 2021. *Statistical handbook of Vietnam*, Statistical Publishing House.
45. Hanh, T. Q. H. 2016. The growth of Ninh Hoa Ri chicken breed. *Journal of animal husbandry sciences and technics*, 24, 42-45.
46. Hansen, A. 2018. Meat consumption and capitalist development: The meatification of food provision and practice in Vietnam. *Geoforum*, 93, 57-68.
47. Hiep, D. T. 2013. *Production efficiency and consumption of some local chicken breeds: the case study of Ho and Dong Tao chickens*. Hanoi University of Agricultural.
48. Hoan, N. D. H. 2009. Study potential production of te Ho chicken at Bac Ninh province. *Science and technology journal of agriculture and rural development*, 11, 36-40.
49. Kingori, A., Wachira, A. and Tuitoek, J. 2010. Indigenous chicken production in Kenya: A review. *International Journal of Poultry Science*, 9, 309-316.
50. Kranis, A., Gheyas, A. A., Boschiero, C., Turner, F., Yu, L., Smith, S., Talbot, R., Pirani, A., Brew, F. and Kaiser, P. 2013. Development of a high density 600K SNP genotyping array for chicken. *BMC genomics*, 14, 59.
51. Lan Phuong, T. N., Dong Xuan, K. D. T. and Szalay, I. 2015. Traditions and local use of native Vietnamese chicken breeds in sustainable rural farming. *World's Poultry Science Journal*, 71, 385-396.
52. Lung, B. H., Hung, T. V. and Luong, L. D. Report keeping gene bank of Dong Tao chicken. Workshop conservation of livestock gene fund 1990 - 2004, 2004 Hanoi, Vietnam. National Institute of animal sciences, 107-122.
53. Ly, L. V. 1993. Note on the local animal genetic resources and their conservation in Vietnam. *Animal Genetic Resources Information*, 23-27.
54. Man., L. H. 2013. Vietnamese chicken breeds. *Journal of animal husbandry sciences and technics*, 21, 21-22.
55. MARD. 2016. *Atlas of Vietnamese animal breed*, Ministry of Agriculture and Rural Development Vietnam.
56. MARD. 2017. Report: Situation of Socio-economic situation in 2016 of Vietnam. Ministry of Agriculture and Rural Development.
57. MARD (2018). Circular n° 01/2018/TT-BNNPTNT relating to the publication of the list of animal breeds that can be breeding and selling in Vietnam, Ministry of Agriculture and Rural Development.
58. MARD. 2021. Report: Situation of Socio-economic situation in 2020-2021 of Vietnam. Ministry of Agriculture and Rural Development.



59. Mcquillan, R., Leutenegger, A.-L., Abdel-Rahman, R., Franklin, C. S., Pericic, M., Barac-Lauc, L., Smolej-Narancic, N., Janicijevic, B., Polasek, O. and Tenesa, A. 2008. Runs of homozygosity in European populations. *The American Journal of Human Genetics*, 83, 359-372.
60. Mekchay, S., Supakankul, P., Assawamakin, A., Wilantho, A., Chareanchim, W. and Tongsimma, S. 2014. Population structure of four Thai indigenous chicken breeds. *BMC genetics*, 15, 40-49.
61. Moula, N., Antoine-Moussiaux, N., Do Duc, L., Nguyen Chi, T., Pham Kim, D., Vu Dinh, T., Dang Vu, B., Leroy, P. and Farnir, F. Egg quality comparison of two Vietnamese chicken breeds (Ri and Mia). The 1 st Poultry International Seminar 2012, 2012.
62. Moula, N., Antoine-Moussiaux, N., Farnir, F. and Leroy, P. 2009. Comparison of egg composition and conservation ability in two Belgian local breeds and one commercial strain. *International Journal of poultry science*, 8, 768-774.
63. Moula, N., Dang, P. K., Farnir, F., Ton, V. D., Binh, D. V., Leroy, P. and Antoine-Moussiaux, N. 2011. The Ri chicken breed and livelihoods in North Vietnam: characterization and prospects. *Journal of Agriculture and Rural Development in the Tropics and Subtropics (JARTS)*, 112, 57-69.
64. Moula, N., Michaux, C., Philippe, F.-X., Antoine-Moussiaux, N. and Leroy, P. 2013. Egg and meat production performances of two varieties of the local Ardennaise poultry breed: silver black and golden black. *Animal Genetic Resources*, 53, 57-67.
65. Moula Nassim, Alian Huart, Emile Leroy, Renaud Cassart, Patrick Ruppel, Olivier Levrard, Moussa El Fadili, Dang Vu Binh, Nguyen Van Thang, Do Duc Luc, Désiré Nfundiko, Benoît Nienhaus, Antonie-Moussiaux Nicolas and Frédéric., F. 2012. Amélioration des performances génétiques des races tropicales par les races wallonnes. *15ème journée outre-mer*. Gemboux, Belgium: Gembloux Agro-Bio Tech.
66. Mui, N. B. and Dang, P. K. D. 2016. Reproductive capacity of Ri chicken and crossbred chicken raised in An Duong district, Hai Phong city. *Vietnam journal of Agricultural Sciences*, 14, 392-399.
67. Nguyen Mau Dung, Duong Van Vy and Chi., T. T. P. 2020. Disease management in chicken raising of farm households in Yen The district, Bac Giang province. *Vietnam journal of Agricultural Sciences*, 18, 306-314.
68. Nguyen Thi Phuong, Hoang Ngoc Mai, Nguyen Van Duy and Ton., V. D. Reproductivity and egg quality of H'mong chicken. *Animal production in Southeast Asia: Current status and Future*, 2017a Hanoi, Vietnam. Vietnam National University of Agriculture, 27-32.
69. Nguyen Thi Phuong, Nguyen Van Duy and Ton, V. D. 2017b. The growth and meat quality of H'mong chicken raised by industrial farming. *Journal of Sciences of Agriculture Vietnams*, 15, 438-445.
70. Nguyen Van Duy, Dao Thi Hiep, Bui Huu Doan, Pham Ngoc Thach, Nguyen Van Thang, Pham Kim Dang, Nguyen Chi Thanh, Nguyen Cong Oanh, Ha Xuan Bo, Do Duc Luc and Ton., V. D. 2015a.

Ho chicken breed: Morpho-biometric characteristics and economic efficiency of production *Journal of Animal Husbandry Sciences and Technics*, 8, 73-79.

71. Nguyen Van Duy, Moula Nassim, Pham Kim Dang, Dao Thi Hiep, Bui Huu Doan, Vu Dinh Ton and Frédéric., F. 2015b. Ho Chicken in Bac Ninh Province (Vietnam): From an Indigenous Chicken to Local Poultry Breed. *International Journal of Poultry Science*, 14, 521-528.

72. Nguyen Van, D., Moula, N., Moyses, E., Do Duc, L., Vu Dinh, T. and Farnir, F., 2020. Productive performance and egg and meat quality of two indigenous poultry breeds in Vietnam, Ho and Dong Tao, fed on commercial feed. *Animals*, 10(3), 408-436.

73. Okitoi, L., Ondwasy, H., Siamba, D. and Nkurumah, D. 2007. Traditional herbal preparations for indigenous poultry health management in Western Kenya. *Livestock Research for Rural Development*, 19, 72-80.

74. Pham Cong Thieu, Vu Ngoc Son, Hoang Van Tieu, Nguyen Van Thai and Nhan., T. K. 2009. Selection for improvement on performance of H'mong chicken: the initial results. *Journal of animal science and technology*, 18, 9-16.

75. Pham Kim Dang, Claude Saegerman, Caroline, D., Ton Vu Dinh, Ha Xuan Bo, Dang Vu Binh, Pham Hong Ngan and Scippo., M.-L. 2013. First survey on the use of antibiotics in pig and poultry production in the Red River Delta region of Vietnam. *Food Public Health*, 3, 247-256.

76. Pham, M. H., Berthouly-Salazar, C., Tran, X. H., Chang, W. H., Crooijmans, R. P., Lin, D. Y., Hoang, V. T., Lee, Y. P., Tixier-Boichard, M. and Chen, C. F. 2013. Genetic diversity of Vietnamese domestic chicken populations as decision-making support for conservation strategies. *Anim Genet*, 44, 509-21.

77. Phuong, T. N. L., Xuan, K. D. T. D. and Szalay, I. 2015. Traditions and local use of native Vietnamese chicken breeds in sustainable rural farming. *World's Poultry Science Journal*, 71, 385-396.

78. Quyet, N. V. and Son, V. V. 2008. Researching results features of productivity of fardeb raising Noi chicken breed in Mekong Delta. *Science and technology journal of agriculture and rural development*, 3, 46-48.

79. Reist-Marti, S., Simianer, H., Gibson, J., Hanotte, O. and Rege, J. 2003. Analysis of the actual and expected future diversity of African cattle breeds using the Weitzman approach. *Conserv. Biol*, 17, 1299-1311.

80. Seo, D. W., Oh, J. D., Jin, S., Song, K. D., Park, H. B., Heo, K. N., Shin, Y., Jung, M., Park, J., Jo, C., Lee, H. K. and Lee, J. H. 2014. Single nucleotide polymorphism analysis of Korean native chickens using next generation sequencing data. *Mol Biol Rep*.

81. Sizemore, F. and Siegel, H. 1993. Growth, feed conversion, and carcass composition in females of four broiler crosses fed starter diets with different energy levels and energy to protein ratios. *Poultry science*, 72, 2216-2228.

82. Son, V. N. 2016. The recommendations on breeding and development of indigenous livestock genetic resources. *Journal of animal science and technology*, 59, 10-14.

83. Tham, L. T., Thai, N. X., Hiep, D. T., Thang, V. V., Soan, D. V., Ton, V. D. and Binh, D. V. 2016. Growth, Carcass Yield and Meat Quality of Dong Tao Chickens. *Journal of Sciences and Development*, 14, 1716 - 1725.
84. Thanh, N. C. 2008. *Morpho-biometric characterization and production of local breeds Ri, Ho, Dong Tao, Mia, Ac, Hmong, Choi*. Master.
85. Thieu., P. C. 2016. Result in conservation, exploitation and development of livestock gene sources. *Journal of animal husbandry sciences and technics*, 24, 19-25.
86. Thinh, N. H., Dang, P. K., Hang, V. T. T., Tuan, H. A. and Doan, B. H. 2016. Phenotypical Characteristics and Productive Performance of Multi-Toes Chicken Raised in The National Park of Xuan Son, Tan Son District, Phu Tho Province. *Journal of Sciences and Development*, 14, 9 - 20.
87. Thuy, L. T., Binh, N. T. and Ba, N. V. 2009. Genetic polymorphim analysis of five Vietnam native Ac, Choi, Ho, H'mong and Tre chicken breeds using microsatellites. *Journal of Biotechnology*, 7, 443-453.
88. Tien, P. D., Dieu, N. D., Muoi, N. T., Tinh, N. T., Oanh, N. T. K., Soi, D. T. and Dung, L. T. 2010. Performance of crosses between Ac Vietnam and Ac Thaihoa chicken. *Journal of animal science and technology*, 24, 17-23.
89. Ton, V. D. and Hanh, H. Q. Overview of livestock production in Vietnam: opportunities and challenges in perspective of sustainable development. Animal production in Southeast Asia: Current status and Future, 21-22, July 2017 Hanoi, Vietnam. 12-19.
90. Tung, D. X. 2017. An overview of agricultural pollution in Vietnam: The livestock sector. World Bank: World Bank.
91. Vali, N. 2008. Indigenous chicken production in Iran: a review. *Pakistan journal of biological Sciences*, 11, 2525-2531.
92. Vu Dinh, T , Bui Huu, D, Dao Thi, H, & Nguyen Van, D. (2014). Project report: Selection local chicken breed of Ho for sustainable conservation in Vietnam. Vietnam National University of Agriculture.
93. Van Marle-Köster, E., Hefer, C. A., Nel, L. H. and Groenen, M. 2008. Genetic diversity and population structure of locally adapted South African chicken lines: Implications for conservation. *South African Journal of Animal Science*, 38, 271-281.
94. Wang, L., Tian, Y., Mei, X., Han, R., Li, G. and Kang, X. 2015. SNPs in the adiponectin receptor 2 gene and their associations with chicken performance traits. *Anim Biotechnol*, 26, 1-7.
95. Warris, P. 2010. *Meat science 2nd edition: An introductory text*, Wallingford, UK: CABI Publishing.
96. World Bank. 2020. *GDP per capita (current US\$)* [Online]. Available: <https://data.worldbank.org/indicator/NY.GDP.MKTP.CD?locations=VN>.
97. Yitbarek, M. B. and Zewudu, A. 2013. Performance evaluation of local chicken at Enebsie Sar Midir Woreda, Eastern Gojjam, Ethiopia.

98. Yitayih, M., Geremew, K., Esatu, W., Worku, S., Getachew, F., Don, N.V., Cuc, N.T.K., Unger, F. and Dessie, T., 2021. Poultry production, marketing and consumption in Vietnam: A review of literature. ILRI Research Report. p: 46.
99. Zidane, A., Ababou, A., Metlef, S. and Niar, A. 2017. Local poultry populations in CHLEF (Algeria): phenotypes, rearing systems and performance. *Lebanese Science Journal*, 18, 149-155.