



## ARTICLE DE SYNTHÈSE

### Toxicité et détoxification biologique du tourteau de *Jatropha curcas* L. pour une utilisation en alimentation animale : Synthèse bibliographique

T.D.T. NESSEIM<sup>1,2</sup>✉, A. DIENG<sup>1</sup>, G. MERGEAI<sup>3</sup> et J.L. HORNICK<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Université de Thiès, Ecole Nationale Supérieure d'Agriculture, Département des Productions Animales, Km 3 route de Khombole, BP A 296 Thiès, Sénégal

<sup>2</sup> Université de Liège, Faculté de Médecine Vétérinaire, Département de Productions Animales, 20 Boulevard de Colonster, 4000 Liège, Belgique

<sup>3</sup> Université de Liège, Gembloux Agro-Bio Tech, Département Phytotechnie Tropicale et Horticulture, 2 Passage des déportés, 5030 Gembloux, Belgique

✉ Correspondance et tirés à part, e-mail : [tnesseim@univ-thies.sn](mailto:tnesseim@univ-thies.sn)

#### Résumé

L'utilisation des graines oléagineuses de *Jatropha curcas* L. pour la production d'agro-carburants se traduit par la génération de quantités importantes de tourteau. Ce dernier constitue une excellente source en nutriments alimentaires, avec 45,8 à 63,8% de protéines brutes par rapport à la matière sèche. Cependant, il contient des constituants toxiques (curcine et esters de phorbol) et antinutritionnels (inhibiteurs de trypsine, phytates et saponines) qui limitent son utilisation en nutrition animale. Différentes méthodes ont été utilisées pour détoxifier le tourteau parmi lesquelles des procédés thermiques et chimiques à base de divers solvants notamment alcooliques. Par ailleurs, la mise en œuvre de procédés biologiques par l'utilisation de champignons microscopiques, de bactéries ou de complexes enzymatiques, permet une réduction significative des composés toxiques et antinutritionnels et, dans la plupart des cas, améliore la valeur nutritionnelle du tourteau et donc son utilisation en alimentation animale. (*RASPA*, 11 (3-4) : 143-149).

**Mots-clés :** *Jatropha curcas* L. - Tourteau - Curcine - Esters de phorbol - Composés antinutritionnels - Alimentation animale.

#### Abstract

#### Toxicity and biological detoxification of *Jatropha curcas* L. meal for use in animal feed: a review

The *Jatropha curcas* L. non edible oil seeds for biofuel production results in the generation of large amounts of cake. The latter is an excellent source of dietary nutrients that contains between 45.8 and 63.8% crude proteins compared to the dry matter. However, it contains toxic components (curcin and phorbol esters) and anti-nutrients (protein inhibitors trypsin, phytates and saponins) that limit its use in animal nutrition. Different methods have been used to detoxify the meal including thermal and chemical processes based on various alcoholic solvents. However, the implementation of biological processes through the use of fungi, bacteria or enzyme complexes, allows not only a significant reduction of toxics and anti-nutritional compounds, but in most cases, improves the nutritional value of the cake and therefore its use in animal feed.

**Key – Words :** *Jatropha curcas* L. - Meal - Curcin - Phorbol esters - Anti-nutrients components - Animal feed.

#### Introduction

##### 1. UTILISATION DU TOURTEAU DE *JATROPHA CURCAS*

##### 2. FACTEURS TOXIQUES ET ANTINUTRITIONNELS DU TOURTEAU DE *JATROPHA CURCAS*

##### 3. PROCÉDÉS DE DÉTOXIFICATION BIOLOGIQUE DU TOURTEAU DE *JATROPHA CURCAS* ET UTILISATION POTENTIELLE EN ALIMENTATION ANIMALE

#### Conclusion

## Introduction

Les plantes cultivées qui produisent des oléagineux comestibles peuvent être utilisées dans l'industrie du biodiésel mais de manière limitée à cause de leur valeur dans le secteur alimentaire. Pour satisfaire une demande de plus en plus grande en huile végétale permettant de produire des agro-carburants, utilisation est faite de plantes oléagineuses non comestibles comme *Jatropha curcas* [53]. Encore appelé pourghère (Tabanani en langage vernaculaire sénégalais), et appartenant à la famille des Euphorbiaceae, *J. curcas* a suscité beaucoup d'intérêt en tant que source de biodiésel. Cet

arbuste, non consommé par le bétail, est couramment cultivé sous les tropiques pour marquer des limites de terrains ou pour lutter contre l'érosion [79]. Ses feuilles, sa tige et les extraits de son écorce sont utilisés en tradithérapie mais également dans l'industrie cosmétique et insecticide. Son fruit est constitué d'un péricarpe (35%) et de la graine (65%) qui elle-même est composée d'une enveloppe (35%) riche en lignine et d'une amande (65%) à haute valeur protéique [15].

L'objectif de cette synthèse bibliographique est de passer en revue les principaux constituants toxiques et antinutritionnels

présents dans le tourteau de *J. curcas* ainsi que les méthodes biologiques de réduction voire de suppression de ces constituants, en vue d'une utilisation en alimentation animale.

## 1. UTILISATION DU TOURTEAU DE *JATROPHA CURCAS*

Les graines, qui constituent le principal produit de récolte de *J. curcas*, contiennent entre 30 et 47% d'huile [53], [11]. Cette huile peut être extraite avec un rendement d'environ 75 à 80% grâce à une presse mécanique contre 60% avec une presse manuelle [47]. L'extraction industrielle avec des solvants organiques, permet de récupérer jusqu'à 98% de l'huile [43]. Le rendement en huile des différents procédés d'extraction dépend cependant du taux d'humidité de la graine et, dans une moindre mesure, du décorticage dont l'effet est négatif [23]. L'huile de *J. curcas* est riche en triglycérides ; elle contient plus de 70% d'acides gras insaturés notamment les acides oléique et linoléique [6]. Les acides gras étant libérés à partir des triglycérides sous l'effet de l'hydrolyse des lipases [52], l'huile peut être utilisée soit à l'état pur pour des moteurs diesel à injection directe [87] mais aussi, après transformation en méthanol, en tant que carburant de substitution au gazole [84]. Elle peut aussi servir de combustible lampant [47], ou entrer dans la constitution de savon par des procédés traditionnels de fabrication.

Le tourteau est le principal sous-produit issu de la trituration des graines de *J. curcas*. Sa teneur en azote (7,3 – 10,2%), phosphore (0,65 – 1,2%) et potassium (0,8 – 1,4%) [41], en fait un amendement organique qui permet d'améliorer de manière significative la culture de l'arbuste lui-même mais aussi d'autres cultures telles que celle du maïs, du sorgho ou du coton [46]. En termes pratiques, une application d'une tonne de tourteau de *jatropha* par hectare est équivalente à l'apport de 200 kg d'engrais minéral.

D'un point de vue nutritionnel, le tourteau de graines de *J. curcas* présente une forte teneur en protéines brutes (entre 45,8 et 63,8% par rapport à la matière sèche) [7] et en énergie brute. Cela lui donnent un potentiel élevé en alimentation animale, comparable à celui du tourteau de soja, permettant ainsi son incorporation dans l'alimentation des ruminants, des monogastriques y compris des poissons [27].

## 2. FACTEURS TOXIQUES ET ANTINUTRITIONNELS DU TOURTEAU DE *JATROPHA CURCAS*

L'inconvénient majeur du tourteau de *J. curcas* en nutrition animale est la présence de facteurs toxiques et antinutritionnels (Tableau I).

En effet, comme c'est le cas pour beaucoup de plantes oléagineuses, le tourteau de *jatropha* est toxique aussi bien pour les animaux que pour l'homme. Ainsi, chez des porcs et des lapins nourris avec du tourteau de *jatropha* incorporé dans l'alimentation, des atteintes digestives, cutanées et de la mortalité dans certains cas [26], [2] ont été notés. Cette toxicité concerne plus généralement la graine [3], [55] dont l'ingestion accidentelle par des enfants a été suivie de troubles tels que l'agitation, la diarrhée, des vomissements et une déshydratation sévère sans occasionner de mortalité. Chez le veau, des atteintes hépatiques, digestives, rénales et pulmonaires suivies de mortalité ont été notées [9], suite à l'administration intra gastrique de graines de *jatropha* à des doses de plus de 0,25g/kg de la ration. En outre, l'huile extraite de la graine est, d'une part, extrêmement toxique après administration orale à des rats causant une atteinte digestive et oculaire, d'autre part, irritante pour la peau de lapin causant un érythème, un œdème et une nécrose après administration topique [37].

La toxicité des graines de *J. curcas* est essentiellement due à une curcine et à un ester diterpène [46], auxquels s'ajoutent des facteurs antinutritionnels tels que des inhibiteurs de trypsine, les phytates et les saponines. La curcine est une lectine et plus précisément, une toxalbumine répandue de manière homogène dans l'amande de la graine de *jatropha*. Elle est proche de la crotine et de la ricine produites, respectivement, par *Croton tiglium* et *Ricinus communis*, plantes appartenant aussi à la famille des Euphorbiaceae [82]. Ces composés sont synthétisés par la plante comme système de défense chimique avec d'importantes propriétés antivirales, antifongiques et insecticides [67]. La curcine présente la même toxicité que la crotine, notamment pour les souris [58]. Elle provoque une baisse de l'activité locomotrice, des symptômes neurologiques et de la mortalité avec des érosions de la muqueuse intestinale accompagnées d'hémorragies, de lésions hépatiques, pancréatiques ainsi que de la rate [85], [5]. La curcine et la crotine sont caractérisées par leur propriété commune d'inhiber la synthèse des protéines mais de manière moins importante que la ricine [60]. Ce sont des protéines qui agissent en inactivant les ribosomes (ribosome inactivating protein – RIP). Mais, à l'inverse de la curcine, la ricine présente la particularité à être endocytée, ce qui la rend encore plus toxique [69]. Cependant, en comparant des variétés de *J. curcas* dites toxiques à d'autres dites non toxiques, l'activité de la curcine n'est pas différente, notamment sur des rats et des poissons [12], malgré des valeurs différentes.

**Tableau I : Teneurs moyennes comparatives en composés toxiques et antinutritionnels dans les tourteaux de *Jatropha curcas* L. et de soja. (Sources : [7], [63] et [64])**

Matériel végétal	Composés toxiques et antinutritionnels				
	Esters de phorbol (% MS)	Curcine (mg MS.ml-1)	Inhibiteur de la trypsine (% MS)	Phytates (% MS)	Saponines (% MS)
Tourteau de <i>J. curcas</i>	0,2	102,0	2,4	8,2	2,2
Tourteau de <i>J. curcas</i> « non toxique »	-	51,0	2,6	8,9	3,4
Tourteau de soja	-	12,5	0,39	1,5	4,7

Comme autre constituant toxique, les esters diterpènes jouent un rôle déterminant. Il s'agit particulièrement des esters de phorbol dont la présence et la toxicité ont été mises en évidence [64] sur des graines de provenance diverses sauf sur celles d'écotypes mexicains qualifiés de non toxiques. Ces esters de phorbol sont des esters diterpénoïdes de type tigliane polyinsaturés représentés particulièrement chez *J. curcas* par le 12-déoxy-16-hydroxyphorbol [8] dont la connexion à différents fragments d'acide permettent de caractériser un grand nombre de composés appelés esters de phorbol (Figure 1) [36]. Le plus important est TPA (4 $\beta$ -12-O-tétradécanoylephorbol-13-acétate) dénommé également PMA (phorbol 12-myristate-13-acétate) [40]. Les esters de phorbol agissent sur les membranes biologiques et activent directement la protéine kinase C. Cette dernière est une enzyme présente dans tous les tissus qui joue un rôle essentiel dans différentes fonctions physiologiques en régulant, notamment, la croissance et la différenciation cellulaire [10]. L'effet biologique de ces esters se traduit par de l'inflammation, l'activation des plaquettes sanguines et une promotion tumorale après une exposition à une dose subcarcinogène d'un agent cancérigène. Sur les animaux, les effets toxiques ont été mis en évidence. En effet, des carpes ont progressivement rejeté les rations contenant au moins 31 $\mu$ g d'esters de phorbol/g d'aliment, manifestant de l'apathie et une production de glaires dans les matières fécales, sans mortalité [16]. Par contre, l'administration intra-gastrique d'esters de phorbol à des souris a entraîné une gastro-entérite hémorragique létale [58]. A cela s'ajoute une activité larvicide et molluscicide notée des esters de phorbol [78].

En dehors de la curcine et des esters de phorbol, des facteurs antinutritionnels ont été mis en évidence dans les tourteaux de *J. curcas* [7]. Il s'agit surtout d'inhibiteurs de trypsine, de phytates et de saponines. Ceux-ci interfèrent dans les processus de digestion des animaux. Les inhibiteurs de la trypsine sont des composés secondaires de nature protéique qui forment des complexes avec les protéases, particulièrement les enzymes protéolytiques représentées par la trypsine et la chymotrypsine sécrétées par le pancréas. Ils réduisent la digestibilité des protéines alimentaires [44]. Il s'y ajoute une hypertrophie pancréatique liée à une hypersécrétion d'enzymes digestives [59]. Ils peuvent ainsi modifier considérablement les processus de digestion. Ils interfèrent dans ce cas avec la croissance et le développement des animaux particulièrement des non ruminants [79]. Ce n'est pas le cas chez l'homme car les aliments qui contiennent des

niveaux importants de ces protéines sont pour la plupart cuits, ce qui inactive ces inhibiteurs. Les phytates sont des complexes insolubles liant des éléments minéraux tels que le calcium, le zinc ou le fer avec l'acide phytique [34]. Ce dernier, encore appelé acide myo-inositol hexaphosphorique, se trouve principalement dans les graines des plantes où il sert de réserve de phosphore [48]. Sur le plan nutritionnel, l'acide phytique est connu comme chélateur de divers minéraux, réduisant ainsi leur absorption intestinale. De plus, il réagit avec les protéines à pH acide formant des complexes insolubles qui précipitent [35]. Enfin, les saponines, dont l'acide médicagénique est le plus important, sont des glycosides, particulièrement des hétéropolyosides. Ils sont formés d'un noyau triterpénoïde aglycane dénommé sapogénine et de chaînes latérales d'oses [68]. La réaction de ces saponines avec le cholestérol de la membrane érythrocytaire, entraîne un changement de perméabilité avec pour conséquence une activité hémolytique. En outre, en complexant avec le cholestérol dans le tube digestif des monogastriques, les saponines en réduisent sa réabsorption à travers le tractus intestinal et donc, son recyclage [57]. Elles ont un goût amer et présentent la capacité de former de la mousse en présence d'eau. Les saponines provoquent ainsi des retards de croissance dus à leur effet anorexigène et inhibiteur de certaines enzymes cellulaires, réduisant ainsi la digestibilité des nutriments [25].

### 3. PROCÉDÉS DE DÉTOXIFICATION BIOLOGIQUE DU TOURTEAU DE *JATROPHA CURCAS* ET UTILISATION POTENTIELLE EN ALIMENTATION ANIMALE

Malgré la teneur en nutriments, notamment en protéines, l'utilisation du tourteau de *jatropha* en alimentation des animaux est restée marginale. Des procédés de détoxification permettant l'amélioration de son emploi pourraient amener ainsi un changement important dans l'économie agricole en fournissant une source de revenu supplémentaire pour les agriculteurs. Différents procédés de détoxification biologique ont été décrits dans la littérature venant compléter des procédés physiques et chimiques, permettant ainsi une utilisation des tourteaux en nutrition animale.

En effet, les traitements thermiques par chaleur humide (67% à 100°C pendant 30 mn ou 80% à 130°C pendant 30 mn) ont permis d'inactiver la curcine, mais aussi les inhibiteurs de la trypsine pour des tourteaux dégraissés [7], [12], [56]. Les phytates, les saponines et les esters de phorbol, thermostables, ne sont pas affectés par ces traitements.

Des traitements chimiques ont permis, quant à eux, de réduire les esters de phorbol qui constituent le facteur toxique le plus important du tourteau de *jatropha*. Ainsi, des extractions successives avec des solvants de polarité différente (hexane puis méthanol) [38] ont permis de réduire les teneurs en esters de phorbol (0,06 contre 0,11 mg/g de tourteau). Les esters de phorbol, qui sont plus polaires que les principaux lipides présents dans les tourteaux de *jatropha*, ne pouvaient être efficacement extraits par l'hexane, qui permet surtout l'extraction des matières grasses peu polaires mais l'étaient par le méthanol qui est un solvant polaire. Ces résultats ont été

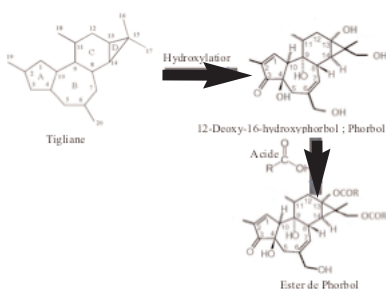


Figure 1 : Réactions de production des esters de phorbol [36].

confirmés car, suite à des rinçages successifs au méthanol à 92% ou à une extraction avec l'éthanol à 90% pendant 2 heures, il a été possible d'éliminer, respectivement, 94,9 et 95,8% des esters de phorbol présents dans des tourteaux de *jatropha* [13], [65].

Les traitements chimiques combinés aux traitements thermiques ont aussi donné de bons résultats. Les esters de phorbol ont pu, dans ce cas, être réduits de 97,9% grâce à des extractions avec de l'éthanol, suivis d'un mélange au bicarbonate de sodium à 0,07% puis d'un autoclavage à 121°C pendant 20 mn [65]. Cela a permis une réduction de l'activité lectinique ainsi que des inhibiteurs de la trypsine, sensibles à la chaleur.

Pour compléter les traitements physiques et chimiques, les traitements biologiques se sont révélés efficaces et prometteurs pour détoxifier les tourteaux de *jatropha* dans une approche écologiquement rationnelle et économiquement avantageuse. Ainsi, à partir du cytosol de foie de murin, il a été isolé une estérase hydrophobe qui hydrolyse exclusivement le diester 12-O-tétradécanoylphorbol-13-acétate (TPA) actif en un monoester tétradécanoylphorbol-13-acétate inactif au niveau des voies métaboliques de promotion des tumeurs [83]. Ces observations ont été confirmées par la mise en évidence d'une estérase 1, présente dans la plupart des tissus de souris, capable de rompre les esters d'acides gras en ayant une activité phorbol-12-ester hydrolase [51]. En outre, une carboxylestérase non spécifique présente dans le réticulum endoplasmique du foie de rat a été identifiée [66]. Elle s'est avérée capable de convertir, *in vitro*, le TPA en un monoester phorbol 13-acétate, et donc de détoxifier ce promoteur de tumeur. Ce type de détoxification est une approche environnementale saine pour faire de *J. curcas* un aliment approprié pour les animaux.

Par fermentation du tourteau de *J. curcas* avec des champignons, notamment *Aspergillus niger* [20], les esters de phorbol ont été réduits de 76,9%. Cette fermentation a aussi permis de réduire, respectivement, de 92,4 ; 68,3 ; 94,7 et 70,3% les substances anti nutritionnelles telles que la curcine, les inhibiteurs de la trypsine, les saponines et les phytates. Grâce aux mêmes souches d'*Aspergillus niger*, 92% de la caféine a été dégradée, ainsi que des tanins présents dans la pulpe de café utilisée comme substrat de fermentation pour ces champignons et permettant ainsi son utilisation en alimentation animale [24].

La substitution partielle du tourteau de soja par du tourteau de *jatropha*ensemencé avec divers champignons (*Aspergillus niger*, *Rhizopus oligosporus* et *Penicillium*) a permis une bonne croissance de chèvres et une bonne digestibilité de la ration, sans influence sur les paramètres hématologiques et sur la viabilité des animaux [18], [20], [17]. Ces résultats sont confirmés par l'utilisation, outre d'*A. niger*, d'autres souches de champignons (*Penicillium chrysogenum* et *Trichoderma harzanium*) [21]. L'aliment obtenu a, ici aussi, été bien apprécié par les animaux qui n'ont manifesté aucun problème de santé et l'impact a été positif sur la digestibilité des nutriments [22]. Il s'agit d'une technologie simple à mettre en œuvre, bon marché et prometteuse pour l'alimentation des animaux, notamment

celle des ruminants pendant les périodes sèches. Par ailleurs, un diterpène de type *jatrophone*, décrit comme cytotoxique [28] dont l'extrait a été soumis à une culture d'*Aspergillus niger*, a subi une biotransformation en un nouveau diterpène 9 $\beta$ -hydroxy isabellone. Cela a permis de réduire fortement sa toxicité évaluée sur des cellules épithéliales gastriques humaines [75].

D'un point de vue nutritionnel, l'ensemencement d'*Aspergillus niger* sur du tourteau de *jatropha* permet, outre une réduction des niveaux d'esters de phorbol et des facteurs anti nutritionnels, un enrichissement en nutriments par augmentation de 7,5% des teneurs en protéines brutes notamment [30], [77]. La combinaison de quatre espèces de champignons (*Aspergillus niger*, *Penicillium sp.*, *Trichoderma harzanium* et *Trichoderma longibrachiatum*) sur du tourteau d'amande de graine de *jatropha* [19] permet, également, de réduire les teneurs en facteurs anti nutritionnels. En utilisant *Bjerkandera adusta* et *Phlebia rufa*, des souches de pourriture blanches de champignons, ensemencées sur du tourteau de *jatropha*, la concentration en esters de phorbol a été réduite de, respectivement, 91 et 97% [27]. D'un autre côté, grâce à une souche bactérienne de *Pseudomonas aeruginosa* PseA, la concentration en esters de phorbol a été complètement réduite en 9 jours de fermentation sur du tourteau de *jatropha* [50]. Enfin, une baisse respective de la concentration des inhibiteurs de la trypsine et de la curcine d'environ 82 et 86,7% a été possible par un traitement bactérien des tourteaux avec *Lactobacillus acidophilus* [4].

Dans l'alimentation de poulets de chair, *Neurospora sitophila* et *Aspergillus oryzae* mis en fermentation sur du tourteau de *jatropha*, ont permis de réduire la toxicité liée aux esters de phorbol et ainsi le taux de mortalité des volailles, mais sans impact significatif sur les performances des animaux [89].

Enfin, par hydrolyse des parois cellulaires à l'aide de cellulases et de pectinases, suivie d'un rinçage à l'éthanol, il a été possible de supprimer totalement la teneur en esters de phorbol et de réduire les facteurs antinutritionnels [90] du tourteau de *jatropha*. Corrélativement, une amélioration de 25,5% de la teneur en protéines brutes et en acides aminés essentiels, mais aussi une amélioration de la digestibilité protéique *in vitro* de 12,5% s'est faite, permettant d'améliorer les qualités nutritionnelles [1].

Parallèlement à la réduction des composés toxiques et anti nutritionnels, une baisse des taux des glucides, de la matière grasse et des fibres brutes a été notée [70]. En effet, La croissance fongique s'accompagne d'une baisse du contenu hémicellulosique et d'une baisse des facteurs antinutritionnels [33], liée à l'utilisation de ces nutriments pour le métabolisme fongique. A cela s'ajoute une augmentation de la teneur en protéines brutes liée à la production d'enzymes extracellulaires pour dégrader les composés antinutritionnels.

La fermentation sur substrat solide est effectuée sur du matériau non soluble qui agit à la fois comme support physique et source de nutriments [71], [76]. La teneur faible en humidité signifie que la fermentation ne peut être effectuée que par un nombre limité de microorganismes, principalement les levures et les champignons, bien que certaines bactéries soient également

utilisées [74]. Il s'agit d'une technologie potentielle dans la désintoxication biologique des résidus agro-industriels et la production de produits à valeur ajoutée tels que des métabolites secondaires ou des enzymes [72]. Les champignons peuvent être considérés comme les organismes les mieux adaptés à la fermentation sur substrat solide. Leurs hyphes, non seulement peuvent se développer en surface [32], mais aussi pénétrer dans les espaces inter particulières et ainsi coloniser le substrat. Outre la détoxification biologique des résidus de culture, cette technologie est de plus en plus utilisée pour la production de produits à valeur ajoutée tels que les métabolites secondaires. Ainsi, la fermentation en milieu solide détient un énorme potentiel pour la production de la presque totalité des enzymes microbiennes connues ; le substrat fournissant aux microorganismes nutriments et ancrage [71]. Parmi les enzymes produites, les pectinases, les lipases, les tannases ainsi que les phytases [42], [61], [62] réduisent les facteurs anti nutritionnels en alimentation animale. Ainsi, grâce à la fermentation d'une souche de *Penicillium simplicissimum* sur un substrat constitué de tourteau de graines de ricin, la production de lipase a été stimulée [39]. En outre, dans le cas des champignons filamenteux, l'utilisation particulière d'*A. niger* [88] ne provoque pas de problèmes particuliers de manipulation chez l'homme et la formation de toxine n'a pas été observée dans des conditions de fermentation contrôlée [81], [89].

## Conclusion

Pour faire face à l'augmentation de la demande en matières premières alimentaires pour l'élevage, liée à une forte croissance de la population dans les pays en développement, des recherches se sont orientées vers de nouveaux types d'aliments qui ne constituent pas la base de l'alimentation humaine. Les graines de *Jatropha curcas* font partie de cette catégorie et pourraient même être considérées comme un aliment de remplacement de produits conventionnels. Outre le fait que le tourteau de ces graines pourrait être un bon substrat pour la production d'enzymes industrielles, il pourrait constituer une excellente source de protéines pour les animaux. La fermentation microbienne ou fongique sur un substrat constitué de tourteau de *jatropha* améliore la teneur de certains nutriments et réduit celle des composés toxiques et anti nutritionnels. Cela rend ainsi possible leur utilisation comme matière première, aliment ou supplément protéique pour les animaux.

Ainsi, malgré des résultats encourageants obtenus avec les méthodes de détoxification physique et chimique, les méthodes biologiques se sont avérées prometteuses pour, non seulement baisser voire supprimer simultanément les composés toxiques et anti nutritionnels, mais aussi pour améliorer les qualités nutritionnelles des tourteaux de *jatropha*. D'autre part, les complexes enzymatiques produits par la pourriture blanche de champignons ont un énorme potentiel dans le traitement des aliments fibreux pour améliorer leur valeur nutritive.

La biotransformation des résidus de culture en vue l'amélioration de leurs qualités nutritionnelles reste une application

importante pour la fermentation sur substrat solide. Par l'utilisation de résidus agro-industriels comme les tourteaux, notamment ceux sous ou non-utilisés comme le cas particulier du *J. curcas*, les processus de fermentation en substrat solide offrent un moyen écologique de production de valeur ajoutée.

## Bibliographie

- 1 - **ABARCA M.L.; BRAGULAT M.R.; CASTELLA G. et CABANES F.J., 1994.** Ochratoxin A production by strains of *Aspergillus niger* var. *niger*. Appl. Environ. Microbiol., 60 (7): 2650-2652.
- 2 - **ABDEL-SHAFY S.; NASR S.M.; ABDEL-RAHMAN H. et HABEEB S.M., 2011.** Effect of various levels of dietary *Jatropha curcas* seed meal on rabbits infested by the adults ticks of *Hyalomma marginatum* I. animal performance, anti-tick haemogram. Trop. Anim. Health Prod., 43 (2): 347-357.
- 3 - **ABDU-AGUYE I. et SANNUSI A., 1986.** Acute toxicity studies with *Jatropha curcas* L. Hum. Exp. Toxicol., 5 (4): 269-274.
- 4 - **ABO EI-FADEL M.H.; HUSSEIN A.M. et MOHAMED A.H., 2011.** Incorporation *Jatropha curcas* meal on lambs ration and its effect on lambs performance. J. Am. Sci., 7 (2): 129-132.
- 5 - **ADAM S.E.I., 1974.** Toxic effects of *Jatropha curcas* in mice. Toxicology, 2 (1): 67-76
- 6 - **ADEBOWALE K.O. et ADEDIRE C.O., 2006.** Chemical composition and insecticidal properties of the underutilized *Jatropha curcas* seed oil. Afr. J. Biotechnol., 5 (10): 901-906.
- 7 - **ADERIBIGBE A.O.; JOHNSON C.O.L.E.; MAKKAR H.P.S.; BECKER K. et FOIDL N., 1997.** Chemical composition and effect of heat on organic matter- and nitrogen-degradability and some antinutritional components of *jatropha* meal. Anim. Feed Sci. Technol., 67: 223-243.
- 8 - **ADOLF W.; OPFERKUCH H.J. et HECKER E., 1984.** Irritant phorbol derivatives from four *jatropha* species. Phytochemistry, 23 (1): 129-132.
- 9 - **AHMED O.M.M. et ADAM S.E.I., 1979.** Effects of *Jatropha curcas* on calves. Vet. Pathol., 16 (4): 476-482.
- 10 - **AITKEN A., 1987.** The activation of protein kinase C by daphnane, ingenane and tiplane diterpenoid esters. Bot. J. Linn. Soc., 9 (1&2): 247-263.
- 11 - **AKINTAYO E.T., 2004.** Characteristics and composition of *Parkia biglobbosa* and *Jatropha curcas* oils and cakes. Bioresource Technol., 92: 307-310.
- 12 - **AREGHEORE E.M.; MAKKAR H.P.S. et BECKER K., 1998.** Assesment of lectin activity in a toxic and a non-toxic variety of *Jatropha curcas* using latex agglutination and haemagglutination methods and inactivation of lectin by heat treatments. J. Sci. Food Agric., 77: 349-352.
- 13 - **AREGHEORE E.M.; BECKER K. et MAKKAR H.P.S., 2003.** Detoxification of a toxic variety of *Jatropha curcas* using heat and chemical treatments, and preliminary nutritional evaluation with rats. S. Pac. J. Nat. Sci., 21 (1): 51-56.
- 14 - **AUGUSTUS G.D.P.S.; JAYABATAN M. et SEIGLER G.J., 2002.** Evaluation and bioindiction of energy components of *Jatropha curcas*. Biomass and Bioenergy, 23 (3): 161-164.
- 15 - **BECKER K., 2009.** Biofuels from *Jatropha curcas* oil – Perspectives for tropical regions. Oleagineux, Corps Gras, Lipides, 16 (4): 236-240.
- 16 - **BECKER K. et MAKKAR H.P.S., 1998.** Effects of phorbol esters in carp (*Cyprinus carpio* L.). Vet. Hum. Toxicol., 40 (2): 82-86.
- 17 - **BELEWU M.A. et AKANDE B.A., 2010.** Biological upgrading of the nutritional quality of *Jatropha curcas* kernel cake: effect on performance characteristics of goat. Int. Res. J. Biotech., 1(2):19-22.
- 18 - **BELEWU M.A.; BELEWU K.Y. et OGUNSOLA F.O., 2010.** Nutritive value of dietary fungi treated *Jatropha curcas* kernel cake: voluntary intake, growth and digestibility coefficient of goat. Agric. Biol. J. N. Am., 1 (2): 135-138.
- 19 - **BELEWU M.A.; ENIOLORUNDA O.O. et ILORI G.I., 2010.** Response of Goat to fungi (*Rhizopus oligosporus*, *Rhizopus nigrican*) treated *Jatropha curcas* kernel cake. Arch. Appl. Sci. Res., 2 (4): 255-261.
- 20 - **BELEWU M.A. et SAM R., 2010.** Solid state fermentation of *Jatropha curcas* kernel cake: proximate composition and antinutritional components. J. Yeast. Fungal. Res., 1 (3): 44-46.
- 21 - **BELEWU M.A.; BELEWU K.Y. et LAWAL I.A., 2011.** Cocktail of fungi blend on *Jatropha curcas* cake: effect on feed intake and blood parameters of goats. Libyan Agric. Res. Cen. J. Intl., 2 (3): 138-143.
- 22 - **BELEWU M.A.; BELEWU K.Y. et POPOOLA L.A., 2011.** Effect of cocktail of fungi blend on the digestibility coefficient and digestible nutrients of goat (*Capra hircus*). Br. Biotechnol. J., 1 (2): 46-52.

- 23 - BEREENS P., 2007. Srew-pressing of *Jatropha* seeds for fuelling purposes in less developed countries. Msc dissertation: Eindhoven University of Technology. <http://jatropha.pro/PDF%20bestanden/AfstudeerverslagPeterBeerens26-08-07%5B1%5D%20jatropha%20tanzania.pdf> [En ligne] Accès consulté le 20/08/2011.
- 24 - BRAND D.; PANDEY A.; ROUSSOS S. et SOCCOL C.R., 2000. Biological detoxification of coffee husk by filamentous fungi using a solid state fermentation system. *Enzyme Microbial Technol.*, 27 (1-2): 127-133.
- 25 - CHEEKE P.R., 1971. Nutritional and physiological implications of saponins: a review. *Can. J. Anim. Sci.*, 51: 621-632.
- 26 - CHIVANDI E.; MTIMUNI J.P.; READ J.S. et MAKUZAS.M. 2004. Effect of processing method on phorbol esters concentration, total phenolics, trypsin inhibitor activity and the proximate composition of the Zimbabwean *Jatropha curcas* provenance: a potential livestock feed. *Pak. J. Biol. Sci.*, 7 (6): 1001-1005.
- 27 - DE BARROS C.R.M.; FERREIRA L.M.M.; NUNES F.M.; BEZERRA R.M.F.; DIAS A.A.; GUEDES C.V.; CONE J.W.; MARQUES G.S.M. et RODRIGUES M.A.M., 2011. The potential of white-rot fungi to degrade phorbol esters of *Jatropha curcas* L. seed cake. *Eng. Life Sci.* 11 (1): 107-110.
- 28 - DEVAPPA R.K.; MAKKAR H.P.S. et BECKER K., 2010. *Jatropha diterpenes*: a review. *J. Am. Oil Chem. Soc.*, 88 (3): 301-322.
- 29 - DEVAPPA R.K.; MAKKAR H.P.S. et BECKER K., 2010. Nutritional, biochemical, and pharmaceutical potential proteins and peptides from *Jatropha*: Review. *J. Agricult. Food Chem.*, 5 (11): 6543-6555.
- 30 - DINIS. M.J.; BEZERRA R.M.F.; NUNES F.; DIAS A.A.; GUEDES C.V.; FERREIRA L.M.M.; CONE J.W.; MARQUES G.S.M.; BARROS A.R.N. et RODRIGUES M.A.M., 2009. Modification of wheat straw lignin by solid state fermentation with white-rot fungi. *Bioresource Technol.*, 100 (20): 4829-4835.
- 31 - DORE C. et VAROQUAUX F., 2006. Histoire et amélioration de cinquante plantes cultivées.- Paris: CEMAGREF ; INRA ; IFREMER ; Montpellier: CIRAD.- 840p.
- 32 - DOS SANTOS M.M.; DA ROSA A.S.; DAL'BOIT S.; MITCHELL D.A. et KRIEGER N., 2004. Thermal denaturation: is solid-state fermentation really a good technology for the production of enzymes? *Bioresource Technol.*, 93 (3): 261-268.
- 33 - ELYAS S.H.A.; EL TINAY A.H.; YOUSIF N.E. et ELSHEIKH E.A.E., 2002. Effect of natural fermentation on nutritive value and *in vitro* protein digestibility of pearl millet. *Food Chem.*, 78 (1): 75-79.
- 34 - ERDMAN J.W., 1979. Oilseeds phytates: nutritional implications. *J. Am. Chem. Soc.*, 56 (8): 736-741.
- 35 - ERDMAN J.W. et FORBES R.M., 1981. Effects of soya protein on mineral availability. *J. Am. Chem. Soc.*, 58 (3): 489-493.
- 36 - EVANS F.J., 1986. Environmental hazards of diterpene esters from plants.- Boca Raton: CRC Press, 1-31.
- 37 - GANDHI V.M.; CHERIAN K.M. et MULKY M.J., 1995. Toxicological studies on ratanjyot oil. *Food Chem. Toxicol.*, 33 (1): 39-42.
- 38 - GAUR S., 2009. Development and evaluation of an effective process for the recovery of oil and detoxification of meal from *Jatropha curcas*. Master of Science in Chemical Engineering: Missouri University of Science and Technology (USA). [https://vpn.gw.ulg.ac.be/thesis/DanalInfo=scholarsmine.mst.edu+Development\\_and\\_eval\\_09007 dcc806c9855.html](https://vpn.gw.ulg.ac.be/thesis/DanalInfo=scholarsmine.mst.edu+Development_and_eval_09007 dcc806c9855.html) [En ligne] Accès consulté le 20/08/2011.
- 39 - GODOY M.G.; GUTARRA M.L.E.; MACIEL F.M.; FELIX S.P.; BEVILAQUA J.V.; MACHADO O.L.T. et FREIRE D.M.G., 2009. Use of a low-cost methodology for biodegradation of castor bean waste and lipase production. *Enzyme Microbial Technol.*, 44(5): 317-322.
- 40 - GOEL G.; MAKKAR H.P.S.; FRANCIS G. et BECKER K., 2007. Phorbol esters: structure, biological activity, and toxicity in animals. *Int. J. Toxicol.*, 26 (4):279-288.
- 41 - GOSH A.; PATOLIA J.S.; CHAUDHARY D.R.; CHIKARA J.; RAO S.N.; KUMAR D., BORICHA G.N. et ZALA A., 2007. Response of *Jatropha curcas* under different spacing to *jatropha* de-oiled cake. In: FACT seminar on *Jatropha curcas* L. agronomy and genetics.- Wageningen, The Netherlands, 26-28 March 2007. FACT Fondation.<http://200.75.42.3/SitoWeb/Documento/Jatropha Contrataciones/FERTILIZACION-ORGANICA.pdf> [En ligne] Accès consulté le 04/01/2012.
- 42 - GRAMINHA E.B.N.; GONÇALVES A.Z.L.; PIROTA R.D.P.B.; BALSALOBRE M.A.A.; DA SILVA D. et GOMES E., 2008. Enzyme production by solid-state fermentation: application to animal nutrition. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 144 (1-2): 1-22.
- 43 - GUBITZ G.M.; MITTELBAACH M. et TRABI M., 1999. Exploitation of the tropical oil seed plant *Jatropha curcas* L. *Bioresource Technol.*, 67: 73-82.
- 44 - HAJOS G.; GELENCSEER E.; PUSZTAI A.; GRANT G.; SAKHRI M. et BARDOCS S., 1995. Biological effects and survival of trypsin inhibitors and the agglutinin from soybean in the small intestine of the rat. *J. Agricult. Food Chem.*, 43 (1): 165-170.
- 45 - HASS W. et MITTELBAACH M., 2000. Detoxification experiments with seed oil from *Jatropha curcas* L. *Ind. Crop Prod.*, 12(2):111-118.
- 46 - HELLER J., 1996. Physic nut. *Jatropha curcas* L. Promoting the conservation and use of underutilized and neglected crops. 1.- Rome: Institute of Plant Genetics and Crop Plant Research, Gatersleben/International Plant Genetic Resources Institute.- 66p.
- 47 - HENNING R., 2003. The *Jatropha* booklet – A guide to the *jatropha* system and its dissemination in Africa. Baganí GbR.- 37p. <http://www.jatropha.org> [En ligne] Accès consulté le 15/10/2010.
- 48 - JAFFE G., 1981. Phytic acid in soybeans. *J. Am. Oil Chem. Soc.*, 58 (3): 493-495.
- 49 - JONGSCHAAP R.E.E.; CORRE W.J.; BINDRABAN P.S. et BRANDENBURG W.A., 2007. Claims and facts on *Jatropha curcas* L. – Global *Jatropha curcas* evaluation, breeding and propagation programme.- Wageningen: Plant Research International B.V.- 42p.
- 50 - JOSHI C.; MATHUR P. et KHARE S.K., 2011. Degradation of phorbol esters by *Pseudomonas aeruginosa* PseA during solid-state fermentation of deoiled *Jatropha curcas* seed cake. *Bioresource Technol.*, 102 (7): 4815-4819.
- 51 - KADNER S.S.; KATZ J.; LEVITZ M. et FINLAY T.H., 1985. The 65-kDa phorbol-diester hydrolase in mouse plasma is esterase 1 and is immunologically distinct from the 56-kDa phorbol-diester hydrolase in mouse liver. *J. Biol. Chem.*, 260 (29): 15604-15609.
- 52 - KARTIKA A.; YULIANI S.; KAILAKU S.I. et RIGAL L., 2012. Moisture sorption behavior of *jatropha* seed (*Jatropha curcas*) as a source of vegetable oil for biodiesel production. *Biomass and Bioenergy*, 36: 226-233.
- 53 - KHEIRA A.A.A. et ATTA N.M.M., 2009. Response of *Jatropha curcas* L. to water deficit: yield, water use efficiency and oilseed characteristics. *Biomass and Bioenergy*, 33 (10): 1343-1350.
- 54 - KOHLI A.; RAORANE M.; POPLUECHAI S.; KANNAN U.; SYERS J.K. et O'DONNELL A.G., 2009. Biofuels: *Jatropha curcas* as a novel, Non-edible oilseed plant for biodiesel. In: Environmental Impact of genetically modified crops. Natalie Ferry and Angharad M.R. Gatehouse.- Londres: CAB International.- 424p.
- 55 - KULKARNI M.L.; SREEKAR H.; KESHAVAMURTHY K.S. et SHENOY N., 2005. *Jatropha curcas* – poisoning. *Indian J. Pediatr.*, 72 (1): 75-76.
- 56 - LAJOLO F.M. et GENOVESE M.I., 2002. Nutritional significance of lectins and enzyme inhibitors from legumes. *J. Agricult. Food Chem.*, 50 (22): 6592-6598.
- 57 - LARBIER M. et LECLERCQ B., 1992. Nutrition et alimentation des volailles.- Paris: INRA Editions.- 355p.
- 58 - LI C-Y.; DEVAPPA R.K.; LIU J-X.; LV J-M. et MAKKAR H.P.S., 2010. Toxicity of *Jatropha curcas* phorbol esters in mice. *Food Chem. Toxicol.*, 48 (2): 620-625.
- 59 - LIENER I.E., 2009. Implications of antinutritional components in soybean foods. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.*, 34 (1): 31-67.
- 60 - LIN J.; YAN F.; TANG L. et CHEN F., 2003. Antitumor effects of curcumin from seeds of *Jatropha curcas*. *Acta Pharmacol. Sin.*, 24 (3): 241-246.
- 61 - LONGO M.A.; DEIVE F.J.; DOMINGUEZ A. et SANROMAN M., 2008. Solid-state fermentation for food and feed application (379-411). In: Current developments in solid-state fermentation. Pandey A., Soccol C.R., Larroche C., eds.- New Dehli : Asiatech Publishers, Inc.- 517p. <http://www.springerlink.com/content/n67600101224538/> [En ligne] Accès consulté le 30/05/2011.
- 62 - MADEIRA J.V.; MACEDO J.A. et MACEDO G.A., 2011. Detoxification of castor residues and the simultaneous production of tannase and phytase by solid-state fermentation using *Paecilomyces variotii*. *Bioresource Technol.*, 102 (15): 7343-7348.
- 63 - MAKKAR H.P.S.; BECKER K.; SPORER F. et WINK M., 1997. Studies on nutritive potential and toxic constituents provenances of *Jatropha curcas*. *J. Agricult. Food Chem.*, 45 (8): 3152-3157.
- 64 - MAKKAR H.P.S.; ADERIBIGBE A.O. et BECKER K., 1998. Comparative evaluation of non-toxic and toxic varieties of *Jatropha curcas* for chemical composition, digestibility, protein degradability and toxic factors. *Food Chem.*, 62 (2): 207-215.
- 65 - MARTÍNEZ-HERRERA J.; SIDDHURAJU P.; FRANCIS G.; DAVILA-ORTÍZ G. et BECKER K., 2006. Chemical composition, toxic/antimetabolic constituents, and effects of different treatments on their levels, in four provenances of *Jatropha curcas* L. from Mexico. *Food Chem.*, 96 (1): 80-89.
- 66 - MENTLEIN R., 1986. The tumor promoter 12-O-tetradecanoyl phorbol 13-acetate and regulatory diacylglycerols are substrate for the same carboxylesterase. *J. Biol. Chem.*, 261 (17): 7816-7818.
- 67 - NIELSEN K. et BOSTON R., 2001. Ribosome-inactivating proteins: a plant perspective. *Annu. Rev. Plant Physiol. plant Mol. Biol.*, 52: 785-816.
- 68 - OAKENFULL D., 1981. Saponins in food – a review. *Food Chem.*, 7 (1): 19-40. OLSNES S. et KOZLOV J.V., 2001. Ricin. *Toxicol.*, 39 (11): 1723-1728.

- 69 - OSENI O.A. et AKINDAHUNSI A.A., 2011. Some Phytochemical properties and effect of fermentation on the seed of *Jatropha curcas* L. Am. J. Food Technol., 6 (2): 158-165.
- 70 - PANDEY A., 1992. Recent process developments in solid-state fermentation. Process Biochem., 27 (2): 109-117.
- 71 - PANDEY A., 2003. Solid-state fermentation. Biochem. Eng. J., 13 (2-3): 81-84.
- 72 - PANDEY A.; SELVAKUMAR P.; SOCCOL C.R. et NIGAM P., 1999. Solid state fermentation for the production of industrial enzymes. Curr. Sci., 77 (1): 149-162.
- 73 - PANDEY A.; SOCCOL C.R. et MITCHELL D., 2000. New developments in solid state fermentation: I-bioprocesses and products. Process Biochem., 35 (10): 1153-1169.
- 74 - PERTINO M.; SCHMEDA-HIRSCHMANN G.; SANTOS L.S.; RODRIGUEZ J. et THEODULOZ C., 2007. Biotransformation of jatrophone by *Aspergillus niger* ATCC 16404. Zeitschrift Für Naturforschung B – J. Chem. Sci., 62: 275-279.
- 75 - RAIMBAULT M., 1998. General and microbiological aspects of solid substrate fermentation. Electr. J. Biotechnol., 1 (3): 174-188.
- 76 - ROSA T.D.S.; CASTRO A.M.; TORRES A.G. et FREIRE D.M.G., 2010. Analysis of nutritional composition and detoxification of *Jatropha curcas* cake after solid-state fermentation (12-29). In: 32nd Symposium on Biotechnology for Fuels and Chemicals, 19-22 April 2010, Clearwater Beach, Florida.
- 77 - RUG M. et RUPPEL A., 2000. Toxic activities of the plant *Jatropha curcas* against intermediate snail hosts and larvae of schistosomes. Trop. Med. Int. Health, 5 (6): 423-430.
- 78 - RYAN C.A., 1990. Protease inhibitors in plants: genes for improving defenses against insects and pathogens. Annu. Rev. Phytopathol., 28: 425-449.
- 79 - SCHMELZER G.H. et GURIB-FAKIM A., 2008. Plantes médicinales. Ressources végétales de l'Afrique tropicale 11 (1): Plantes médicinales 1.- Wageningen: Fondation PROTA/Backhuys Publishers ; CTA.- 870p.
- 80 - SCHUSTER E.; DUNN-COLEMAN N.; FRISVAD J.C. et VAN DIJCK P.W.M., 2002. On the safety of *Aspergillus niger* – a review. Appl. Microbiol. Biotechnol., 59 (4-5): 426-435.
- 81 - SEIGLER D.S., 1998. Plant secondary metabolism.- Kluwer Academic publishers.- 759p.
- 82 - SHOYAB M.; WARREN T.C. et TODARO G.J, 1981. Isolation and characterization of an ester hydrolase active on phorbol diesters from murine liver. J. Biol. Chem., 256 (23): 12539-12534.
- 83 - SIVAPRAKASAM S. et SARAVANAN C.G., 2007. Optimization of the transesterification process for biodiesel production and use of biodiesel in a compression ignition engine. Energy Fuels, 21 (5): 2998-3003.
- 84 - STIRPE F.; PESSION-BRIZZI A.; LORENZONI E. ; STROCCHI P. ; MONTANARO L. et SPERTI S., 1976. Studies on the proteins from the seeds of *Croton Tiglium* and of *Jatropha curcas*. Biochem. J., 156: 1-6.
- 85 - VAITILONGOM G., 2007. Extraction, conditionnement et utilisation des huiles végétales pures carburant. In : Enjeux et perspectives des biocarburants pour l'Afrique, Ouagadougou, Burkina Faso. <http://www.biofuel-africa.org/2007/actes/data/VaitilongomHVP.pdf> [En ligne] Accès consulté le 03/01/2012.
- 86 - VARGA J.; RIGO K. et TEREJ J., 2000. Degradation of ochratoxin A by *Aspergillus* species. International J. Food Microbiol., 59 (1-2): 1-7.
- 87 - WALKER R., 2002. Risk assessment of ochratoxin: current views of the European scientific committee on food, the JECFA and the CODEX committee on food additives and contaminants (249-256). In: Mycotoxins and food safety – Advances in experimental medicine and biology, volume 504. DeVries J.W., Trucksess M.W. & Jackson L.S. eds.- New-York: Kluwer Academic/Plenum Publishers.
- 88 - WINA E.; TANGENDAJA B.; PASARIBU T. et PURWADARIA T., 2010. Broiler performance fed *Jatropha curcas* seed meal detoxified by fermentation, physic and chemical treatments. Indon. J. Anim. Vet. Sci., 15 (3): 174-181.
- 89 - XIAO J. ; ZHANG H.; NIU L.; WANG X. et LU X., 2011. Evaluation of detoxification methods on toxic and antinutritional composition and nutritional quality of proteins in *Jatropha curcas* meal. J. Agricult. Food Chem., 59 (8): 4040-4044.

