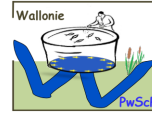




Le programme wallon pour
le secteur commercial de la
Pêche (PwScP) 2021-2027



Développement de la crevetticulture en vue de la diversification de la production aquacole en Région Wallonne (Wallicrevette). R.RWAL.1271

Jiri Bossuyt,
Carole Rougeot,
Christian Prignon

Développement de la crevetticulture en vue de la diversification de la production
aquacole en Région Wallonne (Wallicrevette)

Contents

1	Introduction	1
2	Les conditions d'élevage pour <i>Litopenaeus vannamei</i>	3
2.1	Sel	3
2.2	Systèmes de culture	5
2.2.1	Systèmes de biofloc	6
2.2.2	Un système RAS en eau claire	6
2.3	Les paramètres biologiques pour optimiser la production	8
3	Plan expérimental	13
3.1	Reproduction	13
3.2	Production de larves	14
3.3	Production juvénile	15
3.4	Production en élevage	15
3.5	Validation commerciale	17
4	Conclusion, résultats et diffusion	19
4.1	Progrès actuels	19
4.2	Rapports	21
	Bibliography	23

Chapter 1

La production de crevette, la consommation et l'impact global

La Belgique est un petit producteur de produits aquacoles et, avec une côte limitée, elle ne dispose pas d'une grande industrie de la pêche. L'année dernière, les captures et débarquements totaux dans les ports belges s'élevaient à seulement 12 301 tonnes, dont 321 tonnes de crustacés. La production aquacole a été limitée pendant des années et stagnante à environ 250 tonnes ([Statbel, 2024](#)). En revanche, en 2022, la Belgique était le quatrième plus grand importateur de crevettes *penaeus* congelées dans l'UE (14 % de $2,5 \cdot 10^9$ €). Plus important encore, la Belgique est le plus grand commerçant intra-UE de crevettes congelées avec une valeur annuelle d'exportation de $260 \cdot 10^6$ €. ([EUMOFA, 2023](#)). Nous pouvons donc affirmer que les crevettes sont une marchandise importante pour le marché belge. Il existe également un marché bien établi, soit directement auprès des consommateurs, soit par la transformation par des entreprises de l'industrie alimentaire en Belgique.

Actuellement, la production mondiale annuelle de crevettes *Penaeus* d'élevage est d'environ $8 \cdot 10^6$ tonnes métriques. ([EUMOFA, 2023](#)) 79 % de toutes les crevettes d'élevage sont communément appelées « crevettes à pattes blanches » ou *Litopenaeus vannamei* (Boone, 1931). Les pays les plus importants pour l'importation de crevettes *Penaeus* congelées dans l'UE sont l'Équateur, l'Inde et le Vietnam. La valeur totale des importations s'élève à environ 2,5 milliards d'euros pour environ 300 000 tonnes de crevettes.

Récemment, l'intérêt a grandi pour établir une production européenne d'espèces de crevettes à croissance rapide. Des entreprises ont été lancées en Espagne (Noray Seafood), en France (Agriloops, Lisaqua et Gambas d'Ici), en Suisse (Swiss Shrimp, Greenfish

et Lucky Shrimp), en Allemagne (Aquapurna, Oceanloop, Cara Royal, Garnelenfarm Hügel, Hansegarnelen et die Landgarnelen), en Autriche (White Panther, Alpengarnelen, Güssinger Garnelen, Kremstal Garnelen, AignerX et Salzburg Garnelen) et en Belgique (Crevetec). Parmi toutes ces entreprises, seules quelques-unes possèdent leur propre stock de reproduction et effectuent la reproduction elles-mêmes (Crevetec, Noray, Agriloops, Aquapurna, Oceanloop et White Panther). Assurer le stock pour votre production serait le premier élément important afin d'établir une production fiable. Ainsi, disposer de plusieurs sources de juvéniles pour établir votre production serait très bénéfique.

Au début de nos tests à l'UGeRAA, nous assurerons des postlarves (pré-juvéniles de crevettes) de *Litopenaeus vannamei* provenant de trois sources différentes (Aquapurna, Crevetec et White Panther). Parmi ces trois sources, un seul producteur a un stock élevé en biofloc, les autres proviennent d'éleveurs élevés dans des systèmes de recirculation d'eau propre. Nous obtiendrons initialement des juvéniles de plus de 2 g pour commencer notre propre programme de reproduction.

Chapter 2

Les conditions d'élevage pour *Litopenaeus vannamei*

La plupart des crevettes penaeidées sont des espèces marines qui tolèrent une large gamme de concentrations en sel (4–35 g/l)([Rode, 2014](#)). Ainsi, elles peuvent être facilement élevées dans des conditions intérieures où le sel marin est une denrée précieuse([Wilder and Nohara, 2017](#)). L'avantage de l'élevage de la crevette à pattes blanches par rapport à d'autres espèces de crevettes est qu'elles n'ont pas besoin de substrat pour s'enfouir, contrairement à *Penaeus monodon* ou *Marsupenaeus japonicus*. Cela simplifie l'élimination des déchets et des aliments non consommés des bassins d'élevage, permettant ainsi de les élever dans des bassins conçus pour la culture des poissons. Les conditions optimales de l'eau pour l'élevage des crevettes peuvent être trouvées dans le tableau [2.1](#).

2.1 Sel

La concentration de sel est un facteur très important. *Litopenaeus vannamei* a un point isosmotique d'environ $25 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ ([YAN et al., 2009](#)) dans leur hémolymph (le fluide porteur d'oxygène chez les arthropodes). Lorsque la salinité est inférieure à ce point, les animaux aquatiques absorbent l'eau et doivent dépenser de l'énergie pour maintenir leur équilibre interne en sel. Au-dessus de ce point, l'eau quitte le corps de l'animal sous la pression osmotique, et donc de l'énergie doit être dépensée pour réduire la perte d'eau. Outre les stress osmotiques, la composition des macro-molécules dans le sel a également une influence sur les performances et le stress des crevettes. Dans l'eau de mer, en général, la concentration des ions est selon le tableau [2.2](#).

Paramètre	Quantité	Recommandation
Température	28 °C	Des températures plus basses ralentissent la croissance ; des températures trop élevées causent du stress.
Salinité	10+ g/l	Tolérantes de 4-35 g/l. Une salinité plus élevée aide à tamponner d'autres paramètres de la qualité de l'eau.
Oxygène	5+ mg/l	5 mg/l jusqu'à la saturation réduit le stress des individus.
Alcalinité	160 mg/l+	Modère les variations de pH. pH 7,5, de préférence au-dessus de 7,0. Lié à l'alcalinité.
Ammoniac non ionisé	0.03 mg/l	Forme toxique de l'ammoniac. Le pourcentage d'ammoniac total change avec le pH, l'alcalinité/la salinité et la température.
Nitrite	≤5-25mg/l	Les limites augmentent avec la salinité croissante de 15-35 g/l.
Nitrate	≤150 mg/l	Des niveaux plus élevés augmentent le stress et entraînent une mauvaise croissance.
Solides en suspension totaux (TSS)	400-500 mg/l	Trop peu entraîne une mauvaise production ; trop peut causer une irritation des branchies.
Solides en suspension (SS)	10-14 mg/l	Trop peut entraîner un potentiel anaérobique.

Table 2.1: Paramètres de qualité de l'eau pour les crevettes marines.(Rode, 2014)

Supono et al. (2023) ont déterminé que le rapport optimal entre le sodium et le potassium est de 27:1, mais une gamme de 17:1 à 39:1 peut être maintenue. Un minimum de 50 mg·L⁻¹ de K est nécessaire pour la survie, car il est important pour le processus de mue (Boyd, 2018). Un rapport similaire peut également être trouvé pour le Ca et le Mg (1:2) (Galkanda-Arachchige et al., 2021).

Pour la culture des crevettes dans des concentrations de sel faibles, il est impératif de maintenir un équilibre approprié entre tous ces macro-éléments. Il existe deux possibilités pour y parvenir : soit fabriquer une solution saline à partir des ingrédients de base, soit acheter du sel artificiel préfabriqué. Lorsque le sel est utilisé pour obtenir des concentrations supérieures à 15 g·L⁻¹, il n'y a aucun problème à utiliser du sel marin artificiel (AS) avec de l'eau souterraine. Cependant, lorsque des concentrations inférieures à 15 g·L⁻¹ sont nécessaires, la présence d'ions dans l'eau souterraine peut déséquilibrer

Élément	concentration g · L ⁻¹
Cl ⁻	19.353
Na ⁺	10.76
SO ₄ ²⁻	2.712
Mg ₂ ⁺	1.294
Ca ₂ ⁺	0.413
K ⁺	0.387
HCO ₃ ⁻	0.142
Br ⁻	0.067
Sr ₂ ⁺	0.0082
H ₃ BO ₃	0.026
F ⁻	0.001

Table 2.2: Principaux composants minéraux de l'eau de mer. (Castro and Huber, 2024)

les relations Na-K et Ca-Mg. Une solution consiste à utiliser de l'eau osmosée (RO) et de l'AS ou à compenser le déséquilibre en ajoutant des sels spécifiques (KCl, MgSO₄, MgCl₂ et CaCl₂). Afin de préserver autant de sel que possible, une unité de traitement spéciale composée de 6 réservoirs IBC de 1000 l chacun préparera de l'eau de mer artificielle et traitera toutes les eaux usées des expériences. Cette unité prendra la forme d'un réacteur séquentiel par batch (SBR), un système utilisé dans le traitement des eaux usées municipales (Boopathy, 2009).

2.2 Systèmes de culture

Les crevettes sont élevées dans de nombreux systèmes différents, des grands étangs où les crevettes vivent de la production naturelle de l'étang, aux systèmes plus intensifs avec alimentation externe et contrôle de l'oxygène par des aérateurs. Au cours des 20 dernières années, cela a considérablement changé avec l'introduction du biofloc et même des systèmes de recirculation fermés. Les deux méthodes nécessitent moins de terrain et ont un meilleur impact socio-économique (Barreto et al., 2023). Un autre avantage de la culture des crevettes dans ces types de systèmes est que des individus exempts d'agents pathogènes spécifiques (SPF) ou résistants aux agents pathogènes spécifiques (SPR) peuvent être utilisés. Cela réduit donc considérablement le risque d'infections. En raison des exigences de température élevées pour la culture d'une espèce tropicale dans

un climat tempéré, la seule solution est de cultiver ces espèces en intérieur, ce qui nous laisse avec deux méthodes de culture pour élever ces crevettes.

2.2.1 Systèmes de biofloc

Un système de biofloc est un système sans échange où les crevettes (ou les poissons) poussent dans une soupe de bactéries, de zooplancton et d'algues, qui vivent des aliments non consommés et des produits d'excrétion des crevettes. Afin de maintenir les bonnes propriétés des bioflocs (qui sont des agrégats de bactéries, micro-algues, champignons, zooplancton et détritiques), un équilibre doit être trouvé entre le carbone organique et l'azote dans le système. D'après des conversations avec des producteurs, le rapport C:N devrait être d'environ 10:1, ce qui est similaire à la teneur en C:N des aliments pour crevettes. (Xu et al., 2018) Cela réduit ainsi le coût de l'ajout de carbone supplémentaire sous forme de mélasse ou de sucre dans le système. Afin de réduire la quantité de bioflocs et de contrôler la turbidité de l'eau, un fractionneur de mousse est installé sur un circuit de dérivation à faible débit. Un autre avantage d'un système BF est que les coûts d'investissement initiaux sont très bas comparés à d'autres configurations. Une analyse de coûts réalisée pour un système similaire aux États-Unis avec des réservoirs de 10 500 m³ et une capacité de production de 214 tonnes était estimée à environ 1 million \$. Cela concernait une serre construite dans des conditions subtropicales, il y a environ 10 ans. (Braga et al., 2015) La figure 2.1 illustre bien les avantages d'un système biofloc.

2.2.2 Un système RAS en eau claire

Dans un système de recirculation aquacole en eau claire, la conversion bactérienne des produits d'excrétion est effectuée en dehors des réservoirs d'élevage. Plusieurs réservoirs peuvent être tous connectés en parallèle à un système de filtration. Comme illustré dans la figure 2.2, les réservoirs de poissons/crevettes sont alimentés en eau oxygénée. La sortie de ces réservoirs va vers un filtre à particules (qui peut être un filtre à tambour, un filtre à bande ou un réservoir de sédimentation) pour éliminer les particules en suspension. Ensuite, dans des chambres séparées avec l'aide d'un matériau support pour augmenter significativement la surface active, les bactéries avec l'aide de matière organique dissoute et d'oxygène, nitrifient l'ammoniac toxique en nitrate, en un processus en 2 étapes via le nitrite. Une unité de dégazage placée après l'unité de pompage élimine l'excès de CO₂ de l'eau dans un bypass ou en ligne avant qu'elle ne retourne aux réservoirs. Une unité



Figure 2.1: Avantages de la technologie biofloc (Yu et al., 2023)

de désinfection, avec soit des UV soit de l'ozone, est installée sur un bypass, ceci peut être couplé à un fractionneur de mousse pour éliminer les gros composants organiques dissous.

D'autres composants nécessaires pour ce système sont une méthode de contrôle de la température (via des échangeurs de chaleur et une chaudière ou une pompe à chaleur, ou directement avec des chauffages électriques en ligne), le contrôle du pH et de l'alcalinité avec un système de dosage et une alimentation en eau douce pour compenser les pertes par évaporation. Toute eau retirée via les filtres à tambour ou autres contrôles de solides doit également être compensée par une source d'eau salée.

Il est clair que le but de cette configuration est de fournir de l'eau propre aux animaux élevés et de fournir un environnement stable et contrôlé.

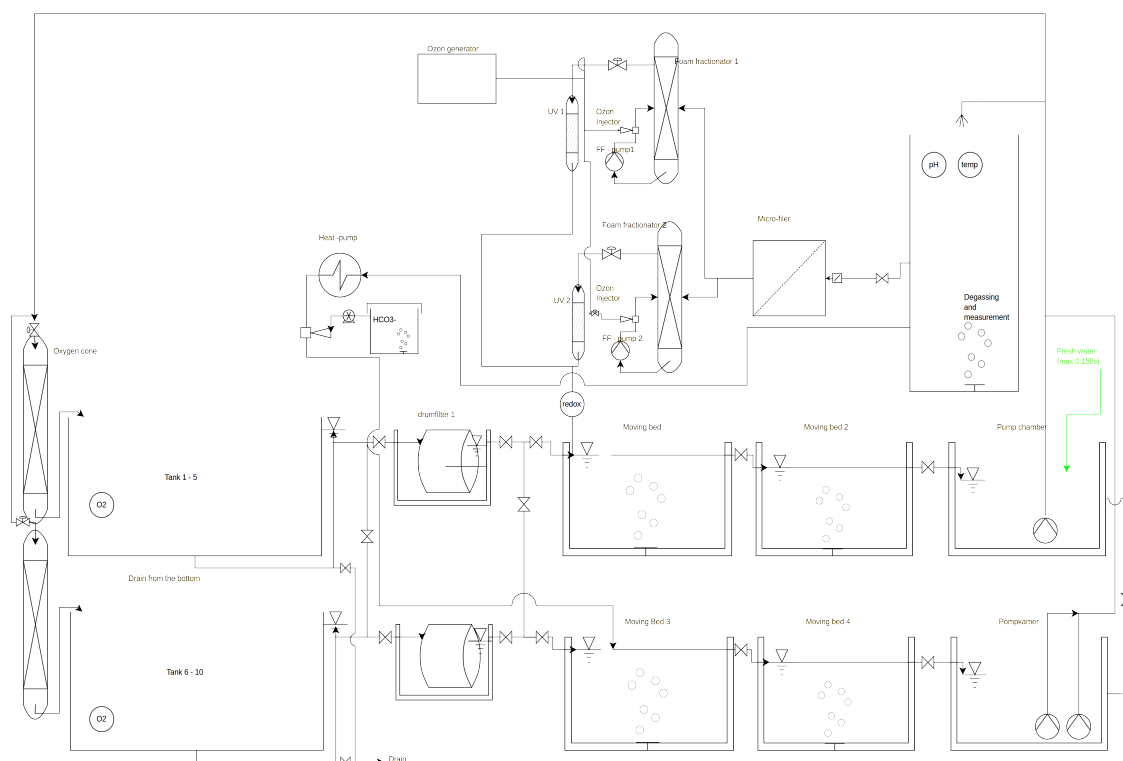


Figure 2.2: Schéma complexe d'un RAS en eau claire pour poissons ou crevettes.

2.3 Les paramètres biologiques pour optimiser la production

Comme mentionné dans 2.1, la salinité joue un rôle important. D'autres facteurs incluent la température, l'alimentation, la taille et la densité de stockage. Le tableau 2.3 présente un résumé des paramètres de production dans des conditions de laboratoire pour plusieurs expériences sur *Litopenaeus vannamei*. Ce tableau illustre une grande variation en termes

de performance de croissance. Par conséquent, il est préférable de considérer les différents stades de vie lors de la comparaison de la croissance. Premièrement, les stades larvaires, qui ne sont pas mentionnés dans le tableau 2.3, vont de l'éclosion (Nauplii) jusqu'à ce qu'on appelle les post-larves. Voir la figure 2.3 pour les différents stades larvaires. Ils nécessitent des algues spécifiques et des aliments vivants avant de pouvoir commencer à consommer des aliments secs en granulés. Le deuxième stade est ce qu'on appelle le stade de nurserie, de PL 8 à PL 10 (les jours depuis que la crevette s'est transformée de mysis en post-larve), lorsqu'elles pèsent environ 0,003 g jusqu'à ce qu'elles deviennent des

sel	jours	temp.	stock.	W_i	W_e	Surv.	SGR (d^{-1})	FCR	Référence
33	30	29.5	2250	0.003 g	0.30 g	96%	15.35% /d	1.00	(Wasielesky et al., 2013)
33	30	29.5	750	0.003 g	0.45 g	96%	16.70% /d	1.00	(Wasielesky et al., 2013)
7.2	21	28.3	5000	0.003 g	0.06 g	84%	13.96% /d	1.20	(Barreto et al., 2023)
9	94	15	50	0.006 g	16.67 g	84%	8.44% /d	1.40	(Mude and Ravuru, 2015)
4.5	21	30	66	0.007 g	0.54 g	89%	20.97% /d		(Davis et al., 2005)
20.3	18	28.8	4000	0.009 g	0.11 g	86%	14.23% /d	0.90	(Barreto et al., 2023)
16.5	42	27	1500	0.009 g	1.26 g	85%	11.77% /d	1.10	(Esparza-Leal et al., 2015)
5	84	28	1667	0.014 g	6.30 g	96%	7.27% /d		(Jayasankar et al., 2009)
32	56	28	133	0.23 g	9.88 g	91%	6.71% /d	1.34	(Ray et al., 2020)
21	35	32	143	0.26 g	2.60 g	100%	6.58% /d	8.33	(YAN et al., 2009)
2	35	28	143	0.26 g	1.75 g	75%	5.45% /d	8.00	(YAN et al., 2009)
35	20	28.3	150	0.380 g	3.60 g	94%	11.24% /d	1.28	(Wasielesky et al., 2013)
17	50	25.67	558	0.87 g	9.90 g	67%	4.86% /d		(Chen et al., 2018)
23	42	27	333	1.30 g	6.07 g	100%	3.67% /d	1.50	(Furtado et al., 2014)
15	28	27	500	1.50 g	2.39 g	96%	1.66% /d	2.01	(Chu and Brown, 2021)
15	28	27	300	1.50 g	2.55 g	97%	1.90% /d	1.67	(Chu and Brown, 2021)
15	28	27	200	1.50 g	2.68 g	100%	2.07% /d	1.50	(Chu and Brown, 2021)
32	21	27	1800	1.66 g	6.22 g	71%	6.29% /d	1.27	(Salência et al., 2016)
26.7	42	25.6	300	2.21 g	9.99 g	97%	3.59% /d	1.27	(Xu et al., 2018)
26.7	42	25.6	300	2.21 g	8.52 g	99%	3.21% /d	1.55	(Xu et al., 2018)
32.6	40	30.2	300	3.30 g	10.40 g	98%	2.87% /d	1.90	(Baloi et al., 2013)
23	28	27.5	333	4.47 g	9.72 g	80%	2.77% /d	1.47	(Ghosh, 2018)
30	42	28	200	6.52 g	14.80 g	82%	1.95% /d	1.49	(Shao et al., 2020)
32	28	29	120	20.60 g	24.80 g	93%	0.66% /d		(Salência et al., 2016)
39.3	45	23.8	40	21.00 g	25.20 g	89%	0.41% /d		(Magaña-Gallegos et al., 2018)
28.4	67	30	500	2.66 g	22.12 g	87%	3.16% /d	1.25	(Braga et al., 2015)

Table 2.3: Paramètres de production pour la culture de *Litopenaeus vannamei* dans des conditions de laboratoire. sel = concentration de sel en ppt; jours = période expérimentale en jours; temp. = température moyenne d'élevage; stock. = densité de stockage initiale des crevettes en nombre par m^3 ; W_i = poids initial des crevettes en g; W_e = poids individuel à la fin en g; Surv. = pourcentage de survie; SGR = taux de croissance spécifique; FCR = taux de conversion alimentaire.

juvéniles pesant environ 2 g chacune. Le troisième stade est le stade final de croissance, de 2 g à la taille commercialisable, commençant à 15 g jusqu'à 25 g.

La première phase prend environ 28 jours pour se terminer. En fonction des résultats du tableau 2.3, la deuxième phase dure entre 45 et 60 jours et la troisième phase entre 65 et 80 jours. Tous ces résultats montrent également que la génétique, le bétail et la

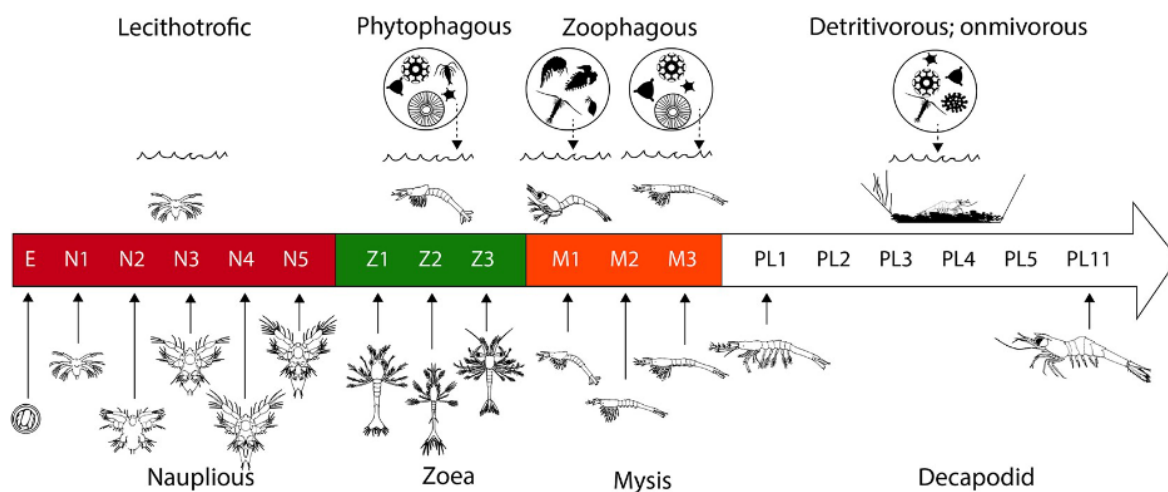


Figure 2.3: Les différents stades de vie après l'éclosion de *Litopenaeus vannamei* : de l'œuf, nauplii, zoé, mysis à post-larves. Le temps nécessaire pour chaque stade est également indiqué. (Rojo-Arreola et al., 2020)

gestion de la qualité de l'eau peuvent avoir une forte influence sur les résultats affichés. Un taux de croissance spécifique pour la deuxième phase de vie devrait être compris entre 10 et 15 % d⁻¹ et pour la troisième phase entre 3,5 et 6 % d⁻¹.

La croissance est également fortement influencée par l'alimentation fournie aux crevettes. La nourriture doit dégager une bonne odeur, sans se désintégrer dans la colonne d'eau. La crevette doit être capable de trouver la nourriture. Si le courant de l'eau est trop fort, il pourrait emporter la nourriture avant qu'elle ne soit détectée. Troisièmement, les ingrédients doivent être pulvérisés très finement et mélangés très soigneusement avant que les granulés ne soient extrudés. Une crevette grignote un granulé, plutôt que de l'avaler d'un coup, donc si les ingrédients dans les granulés sont trop grossiers, elles pourraient être très sélectives dans ce qu'elles consomment réellement. Le tableau 2.4 illustre une composition optimale du régime alimentaire des crevettes. Un

régime d'élevage se compose généralement de 36 % de tourteau de soja, 12 % de farine de poisson, 5 % de farine de volaille, 3 % de farine de calmar et 1,4 % de gluten de maïs

¹Dig. protein, digestible protein; Arg, arginine; His, histidine; Iso, isoleucine; Leu, leucine; Lys, lysine; Met, methionine; Met+Cys, methionine plus cysteine; Phe, phenylalanine; Thr, threonine; Trp, tryptophan; Val, valine

²LNA, linolenic acid; LOA, linoleic acid; EPA, eicosapentaenoic acid; DHA, docosahexaenoic acid; PL, Phospholipids

³Ca, calcium; Cl, chlorine; Mg, magnesium; Avail. P, available phosphorus; K, potassium; Na, sodium; Cu, copper; I, iodine; Fe, iron; Mn, manganese; Se, selenium; Zn, zinc.

⁴A, retinol; D3, cholecalciferol; E, tocopherol; K, phyloquinone; B1, thiamine; B2, riboflavin; B6, pyridoxine; B5, pantothenic acid; B12, cobalamin; C, ascorbic acid

Protein ¹	Levels	Lipid ²	Levels	Minerals ³	Levels	Vitamins ⁴	Levels
Dig. Protein	30 %	Total lipids	5–7.5 %	Ca	1.0 %	A	1.4 mg/kg
Arg	1.6–1.9 %	LNA	0.9–1.1 %	Cl	–	D3	100 µg/kg
His	0.6–0.8 %	LOA	0.7–1.2 %	Mg	0.15 %	E	100 mg/kg
Iso	1.0–1.3 %	EPA	0.25 %	Avai. P	0.35 %	K	35 mg/kg
Leu	1.7–1.9 %	DHA	0.25 %	K	1.2 %	B1	14 mg/kg
Lys	1.6–2.1 %	Cholesterol	0.13–0.15 %	Na	0.35 %	B2	23 mg/kg
Met	0.7 %	PL	1.2–1.5 %	Cu	16–32 mg/kg	B6	80–100 mg/kg
Met+Cys	1.0 %			I	–	B5	100 mg/kg
Phe	1.4–1.5 %			Fe	< 12 mg/kg	Niacin	7.2 mg/kg
Thr	1.3–1.4 %			Mn	24–32 mg/kg	Biotin	2 mg/kg
Trp	0.2–0.4 %			Se	0.2–0.4 mg/kg	B12	0.2 mg/kg
Val	1.4 %			Zn	15 mg/kg	Folic acid	2 mg/kg
						Choline	600 mg/kg
						C	350 mg/kg

Table 2.4: Les nutriments essentiels et leurs niveaux recommandés (% ou mg/kg du régime, sur une base de matière sèche) dans les régimes alimentaires pour *L. vannamei*. (Nunes et al., 2022)

pour répondre aux besoins en protéines brutes. On ajoute 27 % de farine de blé et 6 % de riz brisé comme sources d'énergie digestible et de capacité de liaison. Enfin, on ajoute 1 à 3 % d'huile de poisson pour fournir les acides gras polyinsaturés nécessaires. De la lécithine de soja est ajoutée comme source de phospholipides. Certains acides aminés essentiels, minéraux et vitamines sont fournis par un pré-mélange. (Nunes et al., 2022)

Les résultats de production optimaux dépendent également des densités de stockage utilisées et de la dimension et de l'agencement éventuels des réservoirs. Il est donc nécessaire de trouver des densités de croissance optimales pour chaque stade. Il ressort clairement du tableau de croissance 2.3 qu'il est encore nécessaire de mener des recherches et que tout dépend de la disponibilité des crevettes à l'élevage. D'après les conversations avec les producteurs, il y a consensus pour dire que les systèmes CW-RAS peuvent atteindre des densités beaucoup plus élevées sans affecter la croissance et la survie des crevettes par rapport aux systèmes BF.

Chapter 3

Le plan expérimental et de recherche

Il y a 5 sujets différents qui doivent être abordés afin de fournir des informations détaillées sur la façon de cultiver des crevettes dans un climat tempéré ici dans la région de Wallonie. Comment peut-on reproduire *L. vannamei*. Cela sera réalisé dans la nouvelle salle de crevettes construite à UGeRAA. Deuxièmement, quels sont les besoins des larves écloses et ce qui est nécessaire pour fournir un stock sain de PL 8 – 10 pour un système de nurserie. À l'intérieur de la même salle de crevettes, une configuration spéciale va être mise en place pour accueillir les premiers stades de vie. Cela inclura également une culture d'algues et de nourriture vivante. Troisièmement, quels sont les paramètres de conception pour un système CW-RAS pour les crevettes au niveau de la nurserie et de la croissance. Cela sera testé dans des installations aquariennes ainsi que dans des réservoirs plus grands. Quatrièmement, quels sont les paramètres de conception pour les systèmes de biofloc, à la fois pour les stades de nurserie et de croissance. Cinquièmement, afin de maximiser l'utilisation des nutriments, l'un ou l'autre de ces systèmes peut-il être utilisé pour produire des légumes ou des herbes dans un système aquaponique avec des crevettes marines et quelles sont les conditions pour le faire.

3.1 Reproduction

Les crevettes à pattes blanches se reproduisent normalement lorsqu'elles atteignent une taille comprise entre 30 et 40 g. Les femelles tendent à être plus grandes que les mâles lorsqu'elles sont sexuellement matures. Mais beaucoup dépend des conditions d'élevage.

Traditionnellement, pour favoriser la maturation et la synchronisation des gonades des crevettes femelles, les yeux sont ablatés. Dans les yeux, les ganglions optiques

produisent une hormone inhibitrice des gonades (HIG). Le niveau de HIG peut alors facilement être réduit en enlevant ou en comprimant un ou deux yeux. Cependant, cela pourrait entraîner un épuisement reproductif accéléré et une augmentation de la mortalité. (Zacarias et al., 2019) Un facteur favorisant une bonne maturation est de commencer tôt avec une alimentation optimisée. Un régime alimentaire composé d'un mélange de nourriture humide décongelée et d'un granulé spécifique pour les reproducteurs est fortement recommandé. (Kannan and Thirunavukkarasu, 2015; Menezes et al., 2019; Zacarias et al., 2019; Ortiz-Guillén et al., 2022; Emerenciano et al., 2022; Sultana et al., 2023)

En 5 cycles (environ tous les 120 – 150 jours), différents paramètres sont testés pour produire un protocole reproductible. Les paramètres étudiés sont : le ratio lumière/obscurité, le type de nourriture humide en combinaison avec les régimes de maturation, les paramètres de qualité de l'eau, l'ablation des yeux et son évitement.

3.2 Production de larves

Sur la figure 2.3, les différents stades par lesquels les larves muent sont présentés. Le stade de l'œuf ne dure que environ 16 heures, les stades de nauplii (N I–V) durent environ 2 jours, les 3 stades de zoea (Z I–III) durent environ 4,5 jours et les 3 stades de mysis (M I–III) prennent environ 3,5 jours pour être complétés (Briggs, 2009). Pendant les stades de nauplii, les larves survivent grâce à leur sac vitellin. Au stade suivant, elles doivent consommer des algues. Dans les écloséries commerciales, il s'agit principalement d'un mélange d'algues vertes et de diatomées. Certaines algues préférées sont *Chaetoceros, spp.*, *Tetraselmis, spp.* et *Isochrysis, spp.* (Jamali et al., 2015). Au stade de mysis et plus tard, lorsqu'elles muent en post-larves, elles commenceront à chasser le zooplancton. Les espèces préférées sont *Artemia salina* en raison de sa facilité d'utilisation. À partir de ce moment, elles seront également nourries avec une alimentation sèche sous forme de granulés spécialisés.

Pour établir un approvisionnement continu en post-larves pour les expériences prévues et pour les parties intéressées éventuelles, des protocoles d'élevage appropriés seront établis. Des tests sur au moins quatre cycles examineront la composition des algues nécessaires, le meilleur régime larvaire commercial, les paramètres de qualité de l'eau, les conditions d'élevage et l'origine.

3.3 Production juvénile

Après que les post-larves aient été sevrées avec des aliments secs, la production juvénile commence. Avant qu'une reproduction appropriée soit établie, les post-larves seront achetées auprès de sources externes. Elles contribueront également à l'amélioration du stock génétique à l'avenir. Trois producteurs de crevettes sont sélectionnés, chacun avec leur propre stock génétique et leurs méthodes de culture. Le premier essai sera mis en place dans une installation de recirculation d'aquarium adaptée à l'eau de mer, où une comparaison sera effectuée sur la base de l'alimentation commerciale, de la densité et de la source des PL.

Les essais ultérieurs compareront également différentes concentrations de salinité, les BFT, les souches hybrides et les combinaisons avec la culture hydroponique. Chaque essai durera soit 35 jours, soit jusqu'à ce que les juvéniles atteignent 2 g. Afin de garantir les essais, il sera toujours possible de se procurer des PL auprès d'au moins 2 fournisseurs tout au long de l'année.

3.4 Production en élevage

Afin de répondre à la question, "Les crevettes peuvent-elles être élevées sur terre loin d'une source d'eau de mer de qualité et avoir un faible impact environnemental ?", les essais suivants sont proposés : comparer les aliments commerciaux, les densités, les systèmes d'élevage (RAS, BFT et un système hybride), les concentrations de sel et enfin voir s'il peut être combiné avec une hydroponie commercialement intéressante. Le test sera réalisé dans des installations soit en aquarium de 50 L, dans des réservoirs ouverts de 150 L et en combinaison avec l'horticulture dans des réservoirs de 300 à 1500 L dans une serre.

Chaque essai commencera avec des juvéniles préalablement acclimatés, de 5 à 7 g, et durera environ 6 à 7 semaines ou jusqu'à ce qu'une taille maximale de 18 g soit atteinte. Les densités de stockage de départ pour chaque essai seront estimées pour atteindre une capacité de production finale similaire à ce qui est réalisé dans les productions commerciales de pointe. Actuellement, selon des communications personnelles, cela dépasse les $12 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ pour les systèmes CW-RAS et est proche de $9 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ pour les systèmes BFT.

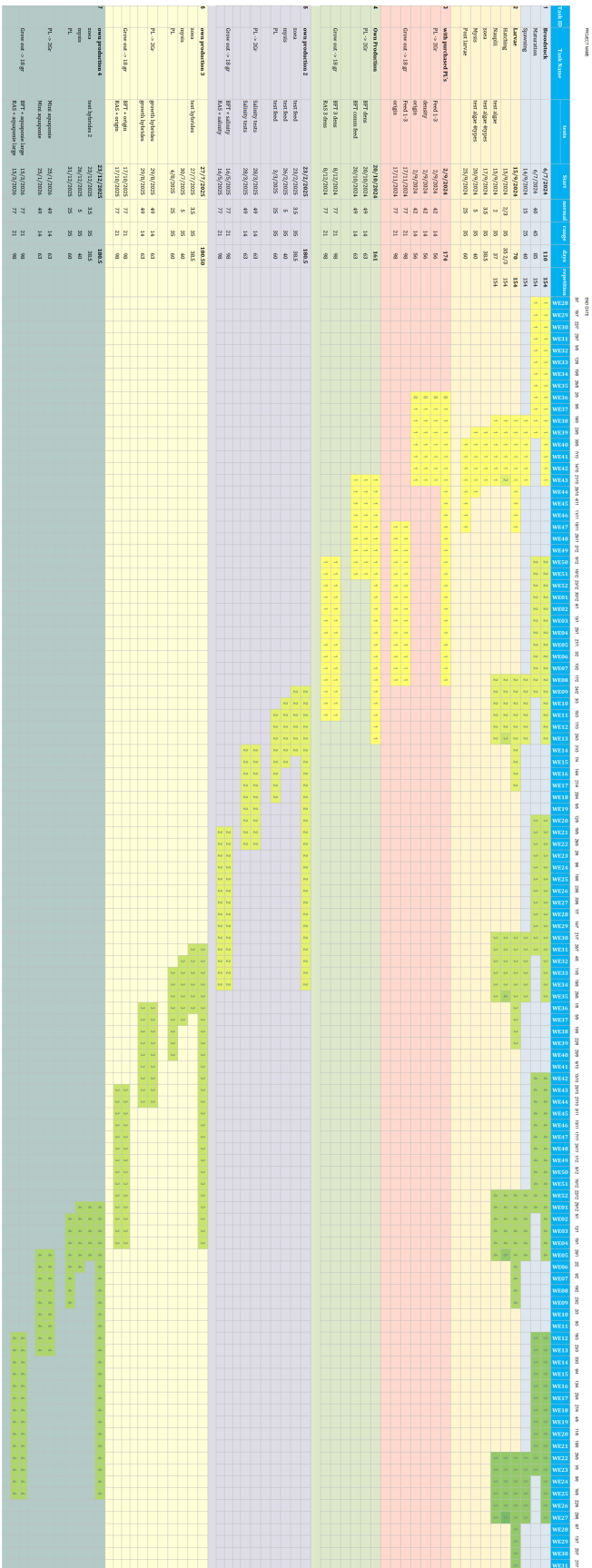


Figure 3.1: Diagramme de Gantt du plan d'essai complet. De la manipulation des géniteurs jusqu'à la production en élevage. Tous les 120 à 140 jours, un nouveau cycle de production est démarré avec la manipulation des reproducteurs. Une production larvaire suit ensuite. Après le sevrage, il y a un essai avec des juvéniles et un essai avec des sub-adultes pour les expériences d'élevage.

3.5 Validation commerciale

Les coûts et les dépenses pendant les expériences seront suivis. Mais aussi un plan financier pour une ferme à petite échelle dans différentes conditions sera élaboré, sur la base des indicateurs de marché actuels : alimentation, énergie, coûts de construction, main-d'œuvre et prix de vente des crevettes à la ferme. Le prix de vente sera également déterminé par les différentes options de commercialisation qui seront examinées : vendu vivant ou frais directement, vendu frais aux restaurants ou distribution par l'intermédiaire de grossistes et marchés locaux. Ce plan sera basé sur une configuration commerciale viable minimale, qui pourrait être différente pour chaque méthode de culture utilisée.

Chapter 4

Diffusion des résultats et rapports intermédiaires

4.1 Progrès actuels

Actuellement, des juvéniles sont sourcés, et la première installation est mise en place pour apprendre la culture spécifique des crevettes, dans les locaux de l'UGeRAA à Tihange. Ces juvéniles vont former le premier lot de géniteurs. Environ 1000 kg de sel ont été achetés. Une pièce est en train d'être préparée pour l'installation d'un SBR pour le traitement des eaux usées des installations expérimentales. Au total, trois nouveaux systèmes différents doivent être construits dans une nouvelle salle de crevettes et deux systèmes existants doivent être adaptés pour l'eau de mer et la culture des crevettes. Sur la figure 4.1, le plan détaillé de la salle de crevettes est présenté. Trois systèmes différents, isolés de tous les autres systèmes, sont nécessaires. Un système (en bleu) est destiné à la culture et à l'élevage des futurs géniteurs, nécessitant environ 2000 L pour une biomasse de 2,5 kg et 60 à 90 individus. Un deuxième système (en vert) abritera les femelles et les mâles en maturation pour la reproduction. À chaque cycle, entre 18 et 24 individus seront sélectionnés parmi le stock montrant un bon stade de maturation visible et placés dans ces 4 grands aquariums. Lorsque les crevettes sont prêtes à pondre et qu'un spermatophore mâle est placé sur l'abdomen des femelles (ceci peut également être fait artificiellement), chaque soir avant le coucher du soleil, ces femelles sont placées dans des aquariums de 60 L. Le matin, les œufs sont aspirés, désinfectés et transférés au système RAS larvaire (en bleu-vert) au milieu de la pièce. Ce système se composera de 18 bouteilles refroidisseurs d'eau de 15 L retournées. Pendant les 5 à 7 premiers jours, il n'y a pas d'échange d'eau pour promouvoir la technique de "l'eau verte". Dès

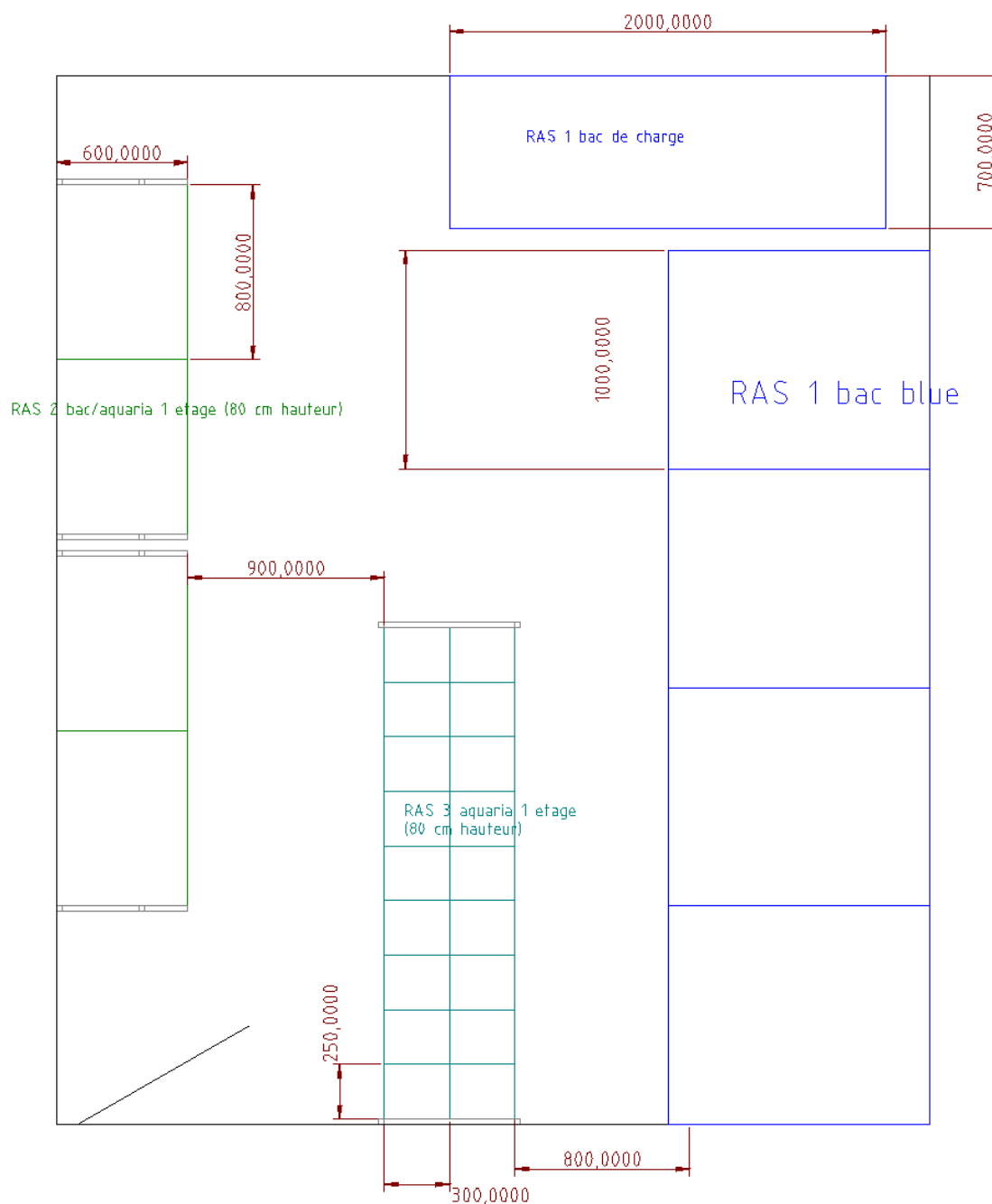


Figure 4.1: Le plan d'étage dédié de la nouvelle salle de crevettes à l'UGeRAA.

que l'alimentation vivante est commencée, les réservoirs sont connectés au système de biofiltration en dessous du support. Lorsque les larves se sont transformées en véritables post-larves, elles sont transférées dans les unités expérimentales, en dehors de la salle de crevettes.

Ces 3 systèmes fonctionneront avec de l'eau d'osmose inverse, mélangée à du sel de mer artificiel, et ne seront pas connectés au système de traitement de l'eau, afin d'éviter toute contamination. La production et les niveaux d'alimentation dans cette pièce seront suffisamment bas pour que les besoins en sel soient gérables. C'est principalement dans les systèmes expérimentaux que le renouvellement de l'eau et les conditions de culture nécessitent de grandes quantités de nouveau sel. Sans l'unité de traitement, les quantités de sel nécessaires pour les expériences proposées s'élèveraient à environ 10 tonnes ou 10 250 euros.

Les adaptations à deux systèmes existants consistent à installer des fractionneurs de mousse pour traiter les longues molécules organiques et réduire les solides en suspension totaux (SST). Ils doivent également être connectés indépendamment au traitement de l'eau.

4.2 Rapports

À la fin, un rapport final sera rédigé, comprenant des protocoles et des lignes directrices pour la culture des crevettes dans des environnements intérieurs. Dans ce rapport final, un plan financier complet pour une entité commerciale d'une ferme de crevettes sera proposé. Pendant les expériences, de nouvelles questions surgiront certainement. Sur la base de ces questions, des recommandations seront suggérées pour des améliorations futures et des sujets de recherche pour promouvoir la culture des crevettes en Wallonie.

Des rapports intermédiaires discuteront des résultats et des expériences acquises lors de la réalisation des expériences. Un rapport à la fin de 2024 détaillera déjà certaines expériences de reproduction, d'élevage larvaire et des premiers essais d'alimentation sur les juvéniles. L'année suivante, un rapport détaillera quelques expériences supplémentaires sur l'élevage intensif des crevettes.

Bibliography

- Baloi, M., R. Arantes, R. Schweitzer, C. Magnotti, and L. Vinatea (2013, January). Performance of Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei* raised in biofloc systems with varying levels of light exposure. *Aquacultural Engineering* 52, 39–44.
- Barreto, A., D. Peixoto, C. Fajardo, W. Pinto, R. J. M. Rocha, L. E. C. Conceição, and B. Costas (2023, January). Health-Promoting Additives Supplemented in Inert Microdiets for Whiteleg Shrimp (*Penaeus vannamei*) Post-Larvae: Effects on Growth, Survival, and Health Status. *Animals* 13(4), 726. Number: 4 Publisher: Multidisciplinary Digital Publishing Institute.
- Barreto, A., A. Silva, D. Peixoto, C. Fajardo, W. Pinto, R. J. M. Rocha, L. E. C. Conceição, and B. Costas (2023). Dietary protein requirements of whiteleg shrimp (*Penaeus vannamei*) post-larvae during nursery phase in clear-water recirculating aquaculture systems. *Frontiers in Marine Science* 10.
- Boopathy, R. (2009, July). Biological treatment of shrimp production wastewater. *Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology* 36(7), 989.
- Boyd, C. E. (2018, March). Revisiting ionic imbalance in low-salinity shrimp aquaculture - Responsible Seafood Advocate.
- Braga, A., D. L. Lopes, V. Magalhães, L. H. Poersch, and W. Wasielesky (2015). Use of biofloc technology during the pre-maturation period of *Litopenaeus vannamei* males: effect of feeds with different protein levels on the spermatophore and sperm quality. *Aquaculture Research* 46(8), 1965–1973. _eprint: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1111/are.12352>.
- Briggs, . (2009). *Penaeus vannamei*. In V. Crespi and M. New (Eds.), *Cultured aquatic species fact sheets*. FAO. CD-ROM (multilingual).
- Castro, P. and M. Huber (2024). *Marine Biology* (12th ed.). Mc Graw Hill.

- Chen, Z., H. Ge, Z. Chang, X. Song, F. Zhao, and J. Li (2018, August). Nitrogen Budget in Recirculating Aquaculture and Water Exchange Systems for Culturing *Litopenaeus vannamei*. *Journal of Ocean University of China* 17(4), 905–912.
- Chu, Y.-T. and P. Brown (2021, December). Sustainable Marine Aquaponics: Effects of Shrimp to Plant Ratios and C/N Ratios. *Frontiers in Marine Science* 8, 771630.
- Davis, D. A., C. E. Boyd, D. B. Rouse, and I. P. Saoud (2005). Effects of Potassium, Magnesium and Age on Growth and Survival of *Litopenaeus vannamei* Post-Larvae Reared in Inland Low Salinity Well Waters in West Alabama. *Journal of the World Aquaculture Society* 36(3), 416–419. __eprint: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1111/j.1749-7345.2005.tb00346.x>.
- Emerenciano, M. G. C., A. N. Rombenso, F. d. N. Vieira, M. A. Martins, G. J. Coman, H. H. Truong, T. H. Noble, and C. J. Simon (2022, January). Intensification of Penaeid Shrimp Culture: An Applied Review of Advances in Production Systems, Nutrition and Breeding. *Animals* 12(3), 236. Number: 3 Publisher: Multidisciplinary Digital Publishing Institute.
- Esparza-Leal, H., A. Cardozo, and W. Wasielesky (2015, September). Performance of *Litopenaeus vannamei* postlarvae reared in indoor nursery tanks at high stocking density in clear-water versus biofloc system. *Aquacultural Engineering* 68, 28–34.
- EUMOFA (2023). *Monthly highlights.No. 8 / 2023* . LU: Publications Office, European commission.
- Furtado, P., B. Campos, F. Serra, M. Klosterhoff, L. Romano, and W. Wasielesky (2014, July). Effects of nitrate toxicity in the Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei*, reared with biofloc technology (BFT). *Aquaculture International* 23.
- Galkanda-Arachchige, H. S. C., L. A. Roy, and D. A. Davis (2021). The effects of magnesium concentration in low-salinity water on growth of Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*). *Aquaculture Research* 52(2), 589–597. __eprint: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1111/are.14916>.
- Ghosh, A. K. (2018, April). Effect of feeding level on growth, body composition, fatty acid profile, and nutrient accumulation in shrimp (*Litopenaeus vannamei*). *Aquaculture International* 26(2), 405–417.
- Jamali, H., N. Ahmadifard, and D. Abdollahi (2015, June). Evaluation of growth, survival and body composition of larval white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) fed the

- combination of three types of algae. *International Aquatic Research* 7(2), 115–122.
- Jayasankar, V., S. Jasmani, T. Nomura, S. Nohara, D. T. T. Huong, and M. N. Wilder (2009). Low Salinity Rearing of the Pacific White Shrimp *Litopenaeus vannamei*: Acclimation, Survival and Growth of Postlarvae and Juveniles. *Japan Agricultural Research Quarterly: JARQ* 43(4), 345–350.
- Kannan, D. and P. Thirunavukkarasu (2015, January). Procedure for Maturation and Spawning of Imported shrimp *Litopenaeus vannamei* in Commercial Hatchery, South East Coast of India. *Fisheries and Aquaculture Journal* 06.
- Magaña-Gallegos, E., R. González-Zúñiga, G. Cuzon, M. Arévalo, E. Pacheco, M. Valenzuela, G. Gaxiola, E. Chan-Vivas, K. López-Aguilar, and E. Norena-Barroso (2018, February). Nutritional Contribution of Biofloc within the Diet of Growout and Broodstock of *Litopenaeus vannamei*, Determined by Stable Isotopes and Fatty Acids: BIOFLOC CONTRIBUTION IN FEEDING LITOPENAEUS VANNAMEI. *Journal of the World Aquaculture Society* 49.
- Menezes, T. B. B. d., I. G. R. F. Gomes, H. M. R. Lucena, K. P. d. N. Filho, A. L. A. C. d. Araújo, G. d. M. Facundo, R. R. d. Sousa, E. G. d. Oliveira, J. d. O. César, and F. H. F. Costa (2019). Reproductive performance of non-ablated *Penaeus vannamei* females in a Brazilian commercial hatchery/ Desempenho reprodutivo de fêmeas não abladas de *Penaeus vannamei* em uma larvicultura comercial brasileira. *Brazilian Journal of Development* 5(12), 33454–33470.
- Mude, J. N. and D. B. Ravuru (2015, January). Growth of Cultured White Leg Shrimp *Litopenaeus Vannamei* (Boone, 1931) of Brackish Water Culture System in Winter Season with Artificial Diet. *Journal of Aquaculture Research & Development* 6(2), 1–2.
- Nunes, A. J. P., L. L. Dalen, G. Leonardi, and L. Burri (2022, December). Developing sustainable, cost-effective and high-performance shrimp feed formulations containing low fish meal levels. *Aquaculture Reports* 27, 101422.
- Ortiz-Guillén, S., E. Magaña-Gallegos, M. Arévalo, G. Cuzon, and G. Gaxiola (2022, July). Partial substitution of frozen-fresh food by an experimental diet in *Litopenaeus vannamei* (Boone, 1931) (Decapoda: Dendrobranchiata: Penaeidae) broodstock. *Animal Reproduction Science* 242, 107001.

- Ray, G. W., D. Liang, Q. Yang, B. Tan, X. Dong, S. Chi, H. Liu, S. Zhang, and L. Rimeï (2020, February). Effects of replacing fishmeal with dietary soybean protein concentrate (SPC) on growth, serum biochemical indices, and antioxidative functions for juvenile shrimp *Litopenaeus vannamei*. *Aquaculture* 516, 734630.
- Rode, R. A. (2014, November). Marine Shrimp Biofloc Systems: Basic Management Practices.
- Rojo-Arreola, L., F. García-Carreño, R. Romero, and L. D. Dominguez (2020, September). Proteolytic profile of larval developmental stages of *Penaeus vannamei*: An activity and mRNA expression approach. *PLOS ONE* 15(9), e0239413. Publisher: Public Library of Science.
- Salência, H., J. Mouriño, G. Ferreira, R. Arantes, M. Ubert, K. Lapa, and W. Seifert (2016, February). A Bioaugmentation Agent in Super Intensive Marine Shrimp Farming System with Zero Water Exchange. *Journal of Aquaculture Research & Development* 7(2), 1–7.
- Shao, J.-C., W.-Q. Zhu, M. Liu, L. Wang, and W. Zhao (2020, November). Cyclical fasting and refeeding is not an advisable feeding strategy for white shrimp (*Penaeus vannamei*). *Aquaculture Reports* 18, 100429.
- Statbel (2024). Zeevisserij | Statbel.
- Sultana, Z., B. KANG, S. NOHARA, S. KINOSHITA, and M. WILDER (2023, February). Reproductive performance under laboratory conditions of non-ablated and unilaterally-ablated Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei* subjected to different feeding regimes. *NIPPON SUISAN GAKKAISHI* 89.
- Supono, S., L. Nurdianti, and H. P. Fidyandini (2023, February). Effect of different ratios of sodium and potassium on the growth and survival rate of Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) cultured in freshwater. *Aquaculture, Aquarium, Conservation & Legislation - International Journal of the Bioflux Society* 16(1), 128–134.
- Wasielesky, W., C. Froes, G. Fóes, D. Krummenauer, G. Lara, and L. Poersch (2013, December). Nursery of *Litopenaeus vannamei* Reared in a Biofloc System: The Effect of Stocking Densities and Compensatory Growth. *Journal of Shellfish Research* 32, 799–806.
- Wilder, M. N. and S. Nohara (2017). White Shrimp *Litopenaeus vannamei*. In T. Takeuchi (Ed.), *Application of Recirculating Aquaculture Systems in Japan*, Fisheries Science

Series, pp. 145–173. Tokyo: Springer Japan.

Xu, W.-J., T. C. Morris, and T. M. Samocha (2018, March). Effects of two commercial feeds for semi-intensive and hyper-intensive culture and four C/N ratios on water quality and performance of *Litopenaeus vannamei* juveniles at high density in biofloc-based, zero-exchange outdoor tanks. *Aquaculture* 490, 194–202.

YAN, B., X. WANG, and M. CAO (2009, January). Effects of salinity and temperature on survival, growth, and energy budget of juvenile *Litopenaeus vannamei*. *Journal of Shellfish Research* 26, 141–146.

Yu, Y.-B., J.-H. Lee, J.-H. Choi, Y. Choi, A.-H. Jo, C. Y. Choi, J.-C. Kang, and J.-H. Kim (2023, May). The application and future of biofloc technology (BFT) in aquaculture industry: A review. *Journal of environmental management* 342, 118237.

Zacarias, S., S. Carboni, A. Davie, and D. Little (2019, March). Reproductive performance and offspring quality of non-ablated Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) under intensive commercial scale conditions. *Aquaculture* 503.