



Original Paper

<http://ajol.info/index.php/ijbcs>

<http://indexmedicus.afro.who.int>

Effets de l'alimentation sur les performances de croissance et le sex-ratio de la mouche soldat noire *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae)

Louhd GBETNKOM MBANSIE^{1,2}, Sipora Glwadys NGO LIBONG³, Clarette Sidoine MAMNO TOTUOM⁴, Bertrant James TAYA SAAH³, Samuel Didier MAKON¹ et Paul Serge MBENOUN MASSE^{1*}

¹ Laboratoire de Zoologie, Faculté des Sciences, Université de Yaoundé I, BP 812, Yaoundé, Cameroun.

² Laboratoire de Zoologie, Ecole Normale Supérieure, Université de Yaoundé I, BP 47, Yaoundé, Cameroun.

³ Laboratoire d'Hydrobiologie et Environnement, Faculté des Sciences, BP 812 Yaoundé, Cameroun.

⁴ Laboratoire de Biochimie, Faculté des Sciences, Université de Yaoundé I, BP 812, Yaoundé, Cameroun.

*Auteur correspondant; E-mail: masseserge@yahoo.fr; Tel: +237 674025401.

Received: 22-09-2021

Accepted: 21-02-2022

Published: 30-04-2022

RESUME

Dans la recherche de nouvelles sources d'aliment écologiquement durable, de nombreux travaux de recherche ont montré le rôle alternatif que les larves de la mouche soldat noire *Hermetia illucens* pourraient apporter dans l'alimentation animale. C'est dans cette optique que notre étude a été menée avec pour objectif de rechercher, au sein des matières organiques végétales locales (MOVL), des potentielles diètes de forte valeur nutritionnelle et de tester leurs effets sur les performances de croissances des différents stades de développement de la mouche *Hermetia illucens*. Pour ce faire, cinq types de diètes à base des MOVL ont été formulés, additionnés aux larves âgées de deux jours et répliqués cinq fois. Il ressort de cette étude que la diète constituée du mélange des tourteaux et de la Drèche de maïs a permis d'obtenir de meilleures performances de croissance larvaire (gain de poids, taux de croissance spécifique et croissance journalière) suivie de la diète composée de la Drèche et de la levure de maïs. Ces deux diètes ont également permis aux larves de boucler tous les stades de développement en seulement 8 jours de suivi et d'obtenir un sex-ratio des sexués équilibré comparativement aux autres diètes à la fin de l'expérimentation. Ces résultats ont montré que des diètes à base de MOVL pourraient optimiser les élevages ainsi que les performances de croissance des larves de *H. illucens* en vue de leur utilisation ultérieure dans l'alimentation animale.

© 2022 International Formulae Group. All rights reserved.

Mots clés: Mouche soldat noire, matières organiques végétales, croissance, émergence, sex-ratio.

Effects of diet on growth performance and sex ratio of the black soldier fly *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae)

ABSTRACT

In the search for new sources of ecologically sustainable food, many research works have shown the alternative role that the larvae of the black soldier fly *Hermetia illucens* could play in animal feed. It is this perspective that our studies have been carried out with the aim of searching, within local organic plant matter

© 2022 International Formulae Group. All rights reserved.

8964-IJBSC

DOI: <https://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v16i2.21>

(MOVL), potential diets with high nutritional value and to test their effects on the growth performance of the different stages of growth development of the *Hermetia illucens* fly. For that, five types of MOVL-based diets were formulated, added to the two-day-old larvae and replicated five times. As results, diet blend of brewery malt and Mix (soya bean, oil cakes, groundnut) registered the best growth performances of fly larvae (weight gain, specific growth rate and daily growth) followed by diet formulation of brewery malt mixed with yeast. These two diets also enabled the larvae to complete their development stage in only 8 days of follow-up and achieved a balanced sex ratio compared to the other diets at the end of the experiment. These results have shown that MOVL-based diets could optimize rearing and mass production of *H. illucens* larvae for their subsequent use in animal feed.

© 2022 International Formulae Group. All rights reserved.

Keywords: Black soldier fly, plant organic matter, growth, emergence, sex ratio.

INTRODUCTION

Selon les prévisions et les statistiques démographiques des Nations Unies, la population mondiale devrait augmenter de 2 milliards de personnes au cours des trente prochaines années, passant de 7,7 milliards actuellement à 9,7 milliards en 2050 (ONU, 2019). Cette augmentation aura lieu en Asie et en Afrique subsaharienne (ASS). D'après les statistiques de l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO), une augmentation de 70 % de la production alimentaire mondiale serait nécessaire pour soutenir les neuf milliards d'humains qui peupleront la planète d'ici 2050 (FAO, 2013).

Cependant, l'augmentation de la productivité alimentaire mondiale aura un lourd tribut sur l'empreinte environnementale des activités telles que la pêche, l'élevage et l'agriculture. Concernant la production des protéines d'origine végétale, les systèmes de monoculture épuisent les nutriments disponibles dans le sol, élimine les contrôles biologiques et sont responsables de la déforestation provoquant des changements climatiques. Des études ont également révélé que les élevages d'animaux émettent plus de gaz à effets de serre (18 % des émissions mondiales) que tous les secteurs du transport combinés (FAO, 2006).

Le Cameroun est l'un des pays situés en Afrique subsaharienne, avec une population estimée en 2016 à 23 millions d'habitants qui est projetée atteindre le double, soit 40 millions

à l'horizon 2035 (MINEPAT, 2019). Comme la plupart des pays situés en Afrique subsaharienne, le Cameroun n'est pas encore atteint l'autosuffisance alimentaire. Un récent rapport a révélé que la consommation protéinique (volaille et poisson) dans ce pays serait de 13,3 Kg/habitant/an dont presque trois fois inférieure au standard recommandé par la FAO et l'OMS de 42 Kg/habitant/an. Pour pallier ce déficit, le gouvernement camerounais importe annuellement environ 410 000 tonnes de poisson pour un montant estimé à 391 milliards de Francs CFA (MINEPIA, 2019).

Pour préserver l'environnement et garantir une alimentation adéquate pour tous les humains à l'horizon 2050, il faut entreprendre des actions résolues en faveur de la recherche de nouvelles sources d'aliment écologiquement durable à l'exemple des "insectes" (Heetkamp et al., 2010). De nombreuses études ont montré la possibilité d'utiliser les insectes comme complément alimentaire des animaux d'élevage tels que la volaille, les poissons et le porc (Maurer et al., 2016 ; Schiavone et al., 2017). Parmi les insectes utilisés en alimentation animale, un certain nombre est déjà élevé en masse puisqu'ils ont déjà démontré des avantages dans l'alimentation animale. Il s'agit du groupe des Coléoptères (*Tenebrio molitor*), des Termites (*Nasutitermes* spp.), Sauterelles (*Ruspolia differens*, *Acrida cinerea*) et des Diptères (*Hermetia illucens*, *Musca domestica*) (Kinyuru et al., 2011 ; Huis, 2013 ; Nakamura et al., 2016 ; Devic et al., 2018).

De toutes les larves de mouches, celles de la mouche soldat noire (MSN) *H. illucens* sont les plus efficaces en terme de dégradation et de valorisation de la matière organique résiduelle et font l'objet d'une attention particulière des chercheurs. Grâce à l'action combinée de la microflore intestinale et les enzymes digestives puissantes (Bruno et al., 2019), les larves de MSN sont capables de dégrader une large gamme de déchets tels que les résidus alimentaires, les fèces d'animaux et humain, déchets végétaux, abats de poissons (Boarus et al., 2018 ; Xiao et al., 2018, Bruno et al., 2019). La bioconversion de déchets par les larves de MSN permet non seulement une réduction de la biomasse des déchets (Nana, 2018) mais aussi peut produire des aliments alternatifs pour les animaux (Sánchez-Muros et al., 2014; Cummins et al., 2017).

L'objectif général de cette étude était de rechercher au sein des Matières Organiques Végétales Locales (MOVL) celles ayant un apport nutritionnel important pouvant être intégré dans les diètes d'élevage des larves de MSN et permettre d'obtenir des performances de croissance optimale en vue de leur utilisation ultérieure dans l'alimentation animale.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Site d'étude

Les expérimentations ont été menées du 21 juillet 2020 au 21 juin 2021 au laboratoire de Zoologie de l'Université de Yaoundé 1. La ville de Yaoundé est localisée entre le 3°30' et le 3°58' de latitude nord et le 11°20' et 11°40' de longitude est. Cette métropole est située sous un climat particulière à quatre saisons dit "climat de type Yaoundéen" (Suchel, 1988), on distingue : une grande saison sèche (GSS) qui s'étend de mi-novembre à mi-mars, une petite saison de pluie (PSP) qui va de mi-mars à fin mai, une petite saison sèche (PSS) de juin à Août, une grande saison de pluies (GSP) qui va de septembre à mi-novembre. La pluviométrie moyenne annuelle est de 1576 mm. Les températures moyennes mensuelles

oscillent entre 22,4° et 27,2°. La végétation est de type forêt dense humide semi décidue, mais on observe actuellement un paysage dominé par l'urbanisation jusqu'au niveau des flancs des collines et l'existence de reliques de forêts aux sommets de certaines montagnes.

Matériel végétal

Les Matières Organiques Végétales (MOV) ont été achetées auprès des détaillants alimentaires de la ville de Yaoundé et acheminées au laboratoire de Zoologie. Cinq types de MOV ont été sélectionnés à savoir : la drêche de brasserie (résidus obtenus après fermentation et transformation de l'amidon des graines de blé, maïs, ou orge en alcool); le tourteau (résidus solides obtenus après l'extraction de l'huile des graines) de soja ; le tourteau d'arachide ; le tourteau de palmiste et la levure de brasserie. Pour l'expérimentation, 50 kg de substrat mère ont été achetés pour les MOV solides (25 kg pour la drêche de brasserie, 15 kg de tourteau de soja, 10 kg de tourteau d'arachide, 5 kg de tourteau de palmiste) et 20 litres pour la MOV liquide (levure de brasserie uniquement). Tous les substrats ont été stockés au laboratoire à une température de 28,04 ± 1,24°C et une humidité de 73±2,43%, deux semaines avant le début de la manipulation.

Matériel animal

Le matériel biologique d'origine animale était constitué des larves de MSN provenant de l'Université de Liège, Gembloux Agro-Tech en Belgique et maintenues en élevage au laboratoire depuis 2018.

Technique d'élevage des mouches

Un total de 500 pupes de *H. illucens* a été introduit dans des boîtes rectangulaires en polypropylène (17,5 cm de hauteur, 11,9 cm de diamètre, 5,9 de profondeur), puis placées à l'intérieur des volières (60 x 60 x 60 cm) au laboratoire. Le système d'abreuvoir constitué d'une éponge trempée dans de l'eau sucrée a été placé dans les volières. Tout le dispositif a

été placé au laboratoire dans un endroit aéré recevant la lumière du soleil. L'émergence des adultes ailés a eu lieu après 14 jours. Après accouplement (2-4 jours après l'émergence dans les conditions optimales), les premières pontes d'œufs ont été observées entre les espaces creux du pondoir. Les œufs sous forme de grappes ont été pesés à l'aide d'une balance électronique de marque TN-SERIE et recueillis dans une petite boîte en plastique transparente munie d'un couvercle percé pour l'incubation. Après l'éclosion, une observation journalière a été réalisée pour s'assurer qu'il y avait bien des larves en développement. Les larves de stade L1 nouvellement écloses ont été retenues pour la suite de la manipulation. Environ 10% de larves produites ont été conservés jusqu'au stade de pupes dans des boîtes installées dans les volières pour relancer l'élevage des mouches.

Formulations des diètes

Cinq diètes ont été formulées à partir de la drêche qui est l'élément structurant de référence pour l'élevage de MSN : (D₀) Le Contrôle (70% drêche et 30% tourteau de soja); D₁ (70% drêche et 30% tourteau d'arachide); D₂ (70% drêche et 30% tourteau de palmiste); D₃ (70% drêche et 30% levure) et D₄ (70% drêche, 10% tourteau d'arachide, 10% tourteau de soja et 10% tourteau de palmiste). Les échantillons de chaque diète ont été pesés, mélangés et humidifiés (70%). Le nombre de larves L1 par diète a été ensuite dénombré avant l'expérimentation. Chaque diète a été répliquée cinq fois.

Protocole expérimental

Un total de 12 500 larves a été réparti dans 25 bassines de grossissement (fermé par un tissu de maille faible pour éviter l'introduction d'autres insectes) à raison de 500 larves par bassine (Figure 1). Partant du fait que chaque larve consomme 100mg d'aliments par jour (Diener et al., 2009), chaque bassine a reçu 100g de diètes expérimentales (N = 5 bassines par type de diètes) pour 500 larves

tous les deux jours, soit 50g d'aliment par jour. Les observations ont été effectuées pendant 14 jours. Les bassines étaient disposées sur une étagère à huit niveaux à raison de cinq bassines par diète.

Prise des paramètres zootechniques

Pour les mesures des performances zootechniques, une balance électronique de marque TN-SERIE et un étrier électronique (Pied à coulisse électronique - numérique, de précision 0,01 mm de marque TMC) ou une loupe binoculaire de marque Olympus a été utilisé en fonction de la taille des individus. Ces mesures ont été effectuées tous les deux jours sur 10 larves choisies au hasard dans chaque boîte d'élevage. Les observations ont été menées jusqu'à l'obtention des pupes (stade marquant la période pendant laquelle les larves cessent de s'alimenter dans toutes les diètes et préparent la pupaison). Un total de 80 larves par type de diète a été prélevé et pesé à la fin de chaque cycle de développement, puis les performances de croissances suivantes ont été déterminées à savoir :

- Masse corporelle (g) ;
- Longueur du corps (L) (mm) ;
- Largeur du corps (l) (mm)
- Rapport L/l (mm)= Longueur / largeur
- Taux de croissance spécifique TCS (%.jour⁻¹)

$$TCS = \frac{100 \times [\ln(\text{poids moyen final}) - \ln(\text{poids moyen initial})]}{\text{Nombre de jour de suivi}}$$

- Croissance journalière CJ (g. jour - 1) = $\frac{\text{poids moyen final} - \text{poids moyen initial}}{\text{Nombre de jour de suivi}}$

- Gain de poids GP (g) = $\frac{(\text{poids moyen final} - \text{poids moyen initial}) \times 100}{\text{Poids moyen initial}}$

Prise des paramètres abiotiques et détermination du sex-ratio

La température et le pH du substrat alimentaire ont été mesurés à l'aide d'un thermohygromètre de marque Testo. Pendant

chaque mesure, les données étaient prises à quatre différents angles de la boîte d'élevage, et une moyenne a été calculée pour déterminer la valeur de chaque paramètre. À la fin des essais alimentaires, 60 larves de stade L6 ont été prélevées dans chaque diète pour la détermination du sex-ratio (proportion d'adultes de chaque sexe dans la descendance) tandis que d'autres larves ont été conservées dans des boîtes cylindriques contenant l'éthanol à 70%. Les résidus d'élevage ont été pesés et conservés dans des sacs d'emballage d'une capacité de contenance de 50kg et conservés au laboratoire.

Analyses statistiques

Les analyses statistiques ont été effectuées du logiciel SPSS version 10. Les résultats ont été exprimés en terme de moyennes (\pm écart type). Le logiciel Microsoft

Excel a été utilisé pour entrer les données et tracer les courbes. Les moyennes de paramètres zootechniques (Largeur, longueur, poids), de la température et du pH ont été soumises à des analyses de variance (ANOVA) à deux facteurs (paramètre zootechnique ou facteur abiotique en fonction de l'âge de la larve). Lorsque la normalité est respectée, le test de Fisher est généralement recommandé pour l'analyse des données. Dans le cas contraire, le test de Kruskal- Wallis est appliqué sur les différentes variables utilisées, suivi une analyse deux par deux (Posthoc test, Turkey HSD) des variables pour connaître les deux facteurs à l'origine de la significativité. Le test de corrélations de Pearson a été utilisé pour établir les relations linéaires existantes entre les différents paramètres de croissances et les facteurs abiotiques. Le seuil de significativité a été établi à 5% pour toutes les analyses effectuées.

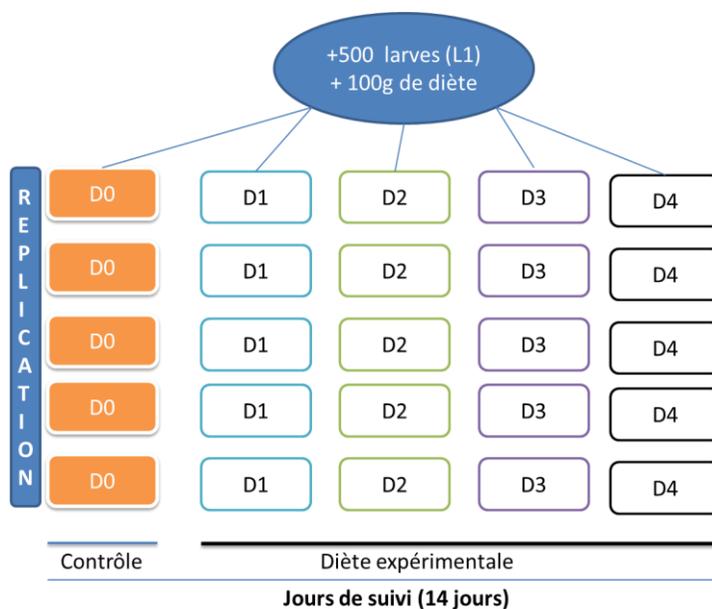


Figure 1 : Protocole expérimental utilisé lors de l'élevage de MSN au laboratoire.

Légende : D₀ = Contrôle (drêche et tourteau de soja) ; D₁ = drêche et tourteau d'arachide ; D₂ = drêche et tourteau de palmiste ; D₃ = drêche et levure ; D₄ = drêche, tourteau d'arachide, tourteau de soja et 1 tourteau de palmiste.

RESULTATS

Effets de la consommation de différentes diètes sur le poids des larves

Le poids des larves a varié de manière globale de $0,6 \pm 0,2$ mg à $189 \pm 19,6$ mg dans les différentes diètes (Figure 2). Dès les quatre premiers jours, la croissance a été plus marquée dans la diète constituée de la drêche et du mélange des tourteaux (arachide, soja et palmiste) (D₄), allant de $2,6 \pm 0,4$ mg à $189 \pm 19,6$ mg, et moins marquée dans la diète constituée de drêche et du tourteau de palmiste (D₂) ($1,4 \pm 0,4$ mg à 95 ± 3 mg). Le stade larvaire a été observé pendant 8 à 12 jours d'observation. Au 8^{ème} jour, on a observé une accélération dans la croissance pondérale et un pic dans les diètes D₄ (189 mg) et D₃ (drêche et levure de brasserie) (128 mg) comparé aux diètes D₂, D₁ et D₀ qui ont continué leur croissance. Le stade de pupaison, marqué par le début de la perte de poids, a commencé après le 8^{ème} jour dans les diètes L3 et L4 et après le 10^{ème} dans L0 (drêche et tourteau de soja) et 12^{ème} dans les diètes L2 et L1 (drêche et tourteau d'arachide).

La comparaison des moyennes du poids observé dans les différentes diètes varie significative en fonction des jours d'observation ($P < 0,001$) (Tableau 1). La variation de poids est non significative dans toutes diètes après quatre jours d'observation ($P > 0,05$) excepté chez les diètes D₃ et D₄. Du 4^{ème} aux 12 jours d'observation, une différence significative a été observée entre les différentes diètes ($P < 0,001$) suggérant un effet de l'alimentation sur la croissance pondérale des larves.

Variation de la longueur du corps des larves

D'une manière générale, la longueur des larves a augmenté avec l'âge des larves et a différé d'une diète à une autre (Figure 3). Elle a varié de $0,43 \pm 0,04$ à $21,47 \pm 1,62$ mm. Les différentes larves avaient une longueur plus ou moins équivalente dès le 2^{ème} jour d'observation. La longueur des larves a atteint son maximum sous l'effet de la qualité nutritionnelle à partir le 8^{ème} jour dans les diètes D₀ ($19,76 \pm 1,13$ mm) et D₄ ($21,47 \pm 1,62$ mm), et le 10^{ème} jour dans les diètes D₂ et D₃. Au-delà

de ces deux périodes, l'on a observé une diminution dans la longueur marquant la préparation à la pupaison.

La comparaison des moyennes de différentes longueurs de larves mesurées en fonction des jours d'observation au laboratoire a permis de noter des différences significatives entre les deux variables ($P < 0,001$) (Tableau 2). Aucune différence significative n'a été noté entre les larves après deux jours d'observation ($P > 0,05$). A partir du 4^{ème} jour, on a observé une différence dans la croissance des larves en fonction des jours d'observation.

Variation de la largeur du corps des larves

La largeur du corps des larves a varié de $0,13 \pm 0,01$ mm à $4,59 \pm 0,45$ mm après 14 jours d'observation dans les différentes diètes. Les courbes représentatives de la variation de la largeur du corps des larves ont été représentées à la Figure 4. Il a été noté une augmentation similaire dès le 2^{ème} jour d'observation. L'augmentation de la largeur du corps a été notée entre le 4^{ème} et le 10^{ème} jour d'observation. La largeur maximale des larves avait été obtenue dans la diète D₄. En effet, une augmentation significative de la largeur du corps a été notée le 2^{ème} jour et un pic de croissance a été observé dès le 6^{ème} jour d'observation. Une baisse progressive avant la phase de pupaison a été notée sur la Figure 4, suivie d'une légère augmentation de la largeur du corps. Par contre, une augmentation graduelle a été notée dans les diètes D₂ et D₁ jusqu'à la fin des observations.

Des différences significatives ont été notées dans la largeur des larves dans l'ensemble des diètes en fonction des jours d'observations ($P < 0,001$) (Tableau 3). Tout comme avec d'autres paramètres, aucune différence n'a été observé entre les larves après quatre jours d'observation ($P > 0,05$), mais des différences significatives ont été notées entre le 4^{ème} et le 12^{ème} jours d'observation ($P < 0,001$).

Influence de la qualité des diètes sur le sex-ratio

Les différentes larves nourries ont été suivies jusqu'à l'émergence et les résultats du nombre d'adultes par sexe, le taux

d'émergence et le sex-ratio sont présentés dans le Tableau 4. Il ressort de ce tableau que les diètes D₀ et D₁ ont produit plus de femelle (33 individus chacun) que les mâles (25 et 11 individus respectivement) tandis les diètes D₂ et D₄ ont produit l'inverse, c'est à dire 31 et 29 mâles contre 24 et 28 femelles respectivement. Dans la diète D₃, on a obtenu un sex-ratio équilibré (1 :1) ; c'est à dire un nombre égal d'individus dans les deux sexes. Par conséquent, le sex-ratio a été biaisé en faveur des femelles dans les diètes D₀ et D₁ (0,76 et 0,33) et en faveur des mâles dans les diètes D₂ et D₄ (1,29 et 1,04). En ce qui concerne l'émergence des adultes, on a observé un taux d'émergence très élevé dans l'ensemble des diètes avec une valeur plus marquée dans la diète L3 (100%) et D₀ (96,67%).

Performances zootechniques des larves en fonction des diètes

Les paramètres de croissance et la morphologie larvaire ont varié

significativement entre les différentes diètes utilisées dans notre expérimentation au laboratoire (Tableau 5). Le poids moyen final a varié significativement entre les différentes types de diètes ($P < 0,001$). Il a été élevé chez les larves nourries aux diètes D₃ ($5,83 \pm 0,21$ g) et D₄ ($8,17 \pm 0,43$ g) et faible particulièrement chez les larves nourries avec la diète D₂ ($4,43 \pm 0,79$ g). Par contre, le gain de poids pendant les 14 jours d'observation a été marquée dans les diètes D₃ (1,93 g) et D₁ (1,15 g). Les larves croissent rapidement lorsqu'elles sont nourries aux diètes D₄ (0,80g/jour), ce qui se traduit par une longueur ($15,84 \pm 4,69$ mm) et une largeur larvaire ($3,49 \pm 0,96$ mm) plus élevées que celles des larves alimentées avec les autres diètes. Le taux de croissance spécifique et le rapport longueur/ largeur ont été plus élevés chez les larves nourries aux diètes D₃ (52,70% et 4,54 respectivement) et D₄ (41,41% et 4,54 respectivement) comparés aux larves qui ont reçu comme substrat les diètes D₀, D₁ et D₂.

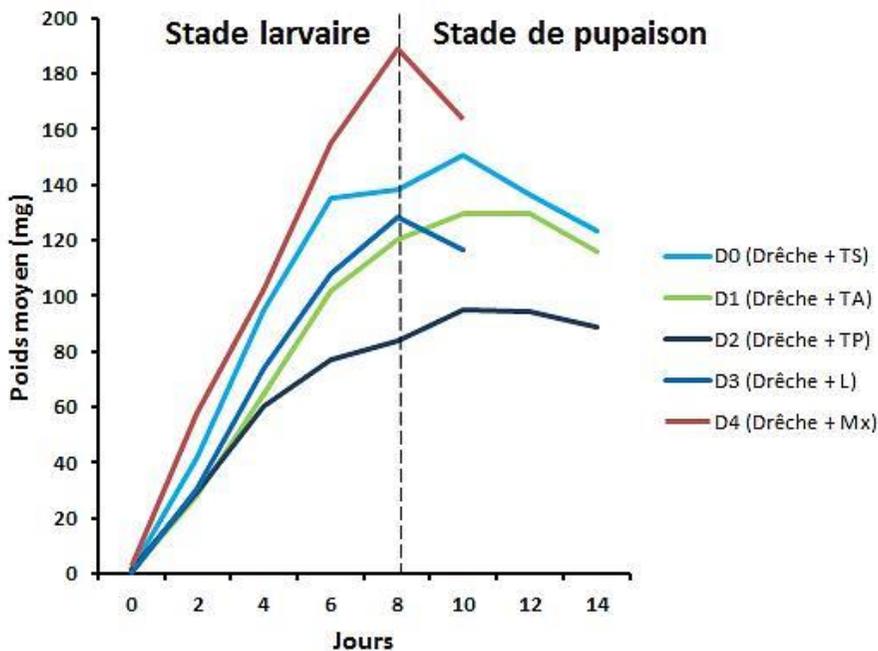


Figure 2 : Variation du poids des larves dans les différentes diètes en fonction des jours d'observation.

Tableau 1: Poids moyens des larves de MSN soumises aux différentes diètes en fonction des jours d'observation.

P (mg)	Jours d'observation (Jrs)								P
	0	2	4	6	8	10	12	14	
D₀	1,8±0,2 ^a	41,6±4,8 ^a	95,2±16,4 ^a	135±21,4 ^b	138,2±23,6 ^c	150,8±17,4 ^d	136,4±13,2 ^e	123,2±8 ^e	<0,001
D₁	1±0,2 ^a	28±6,2 ^a	65±9 ^a	101,6±12,8 ^a	120,6±24 ^b	129,4±14,2 ^c	129,4±13,6 ^c	116±13,6 ^d	<0,001
D₂	1,4±0,4 ^a	29,4±1,4 ^a	60,6±5 ^a	76,8±4 ^b	84±3,2 ^b	94,8±3 ^c	94,6±7,4 ^c	88,6±15,8 ^d	<0,001
D₃	0,6±0,2 ^a	30,6±3 ^b	74,2±8 ^c	108±13,6 ^d	128,2±8,8 ^e	116,6±4,2 ^f	-	-	<0,001
D₄	2,6±0,4 ^a	57,6±4,8 ^b	102,6±5 ^c	154,8±17,4 ^d	189±19,6 ^e	163,4±8,6 ^f	-	-	<0,001

Les moyennes suivies de la même lettre ne sont pas significativement différentes à 5% ; P = probabilité : ***= <0,001= hautement significatif

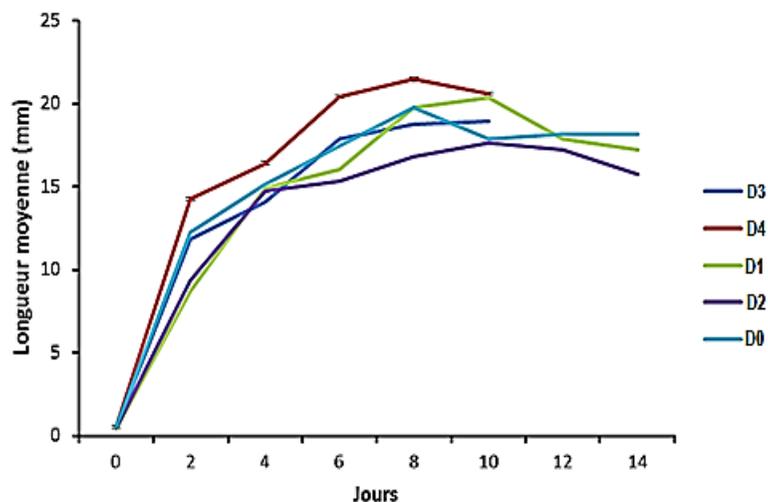


Figure 3 : Evolution de la longueur (± écart type) dans les différentes diètes en fonction des jours d'observation.

Tableau 2 : Longueur moyenne du corps des larves de MSN soumises aux différentes diètes en fonction des jours d’observation.

l (mm)	Jours d’observation (Jrs)								P
	0	2	4	6	8	10	12	14	
D₀	0,56±0,07 ^a	12,30±1,40 ^a	15,14±0,90 ^a	17,45±0,89 ^b	19,76±1,13 ^a	17,90±1,56 ^b	18,18±1,22 ^b	18,19±1,60 ^b	<0,001
D₁	0,43±0,04 ^a	8,73±1,99 ^a	14,94±0,78 ^a	16,05±1,28 ^b	19,80±1,38 ^b	20,37±1,13 ^c	17,87±1,10 ^d	17,24±1,09 ^e	<0,001
D₂	0,51±0,07 ^a	9,36±1,25 ^a	14,72±1,14 ^b	15,35±0,97 ^c	16,82±2,67 ^d	17,65±3,07 ^e	17,26±1,20 ^f	15,74±1,98 ^d	<0,001
D₃	0,52±0,05 ^a	11,88±1,05 ^a	14,13±0,63 ^a	17,91±0,85 ^b	18,77±1,11 ^c	18,96±1,09 ^d	-	-	<0,001
D₄	0,57±0,04 ^a	14,30±1,30 ^a	16,43±1,57 ^a	20,42±1,23 ^b	21,47±1,62 ^b	20,60±1,77 ^b	-	-	<0,001

Les moyennes suivies de la même lettre ne sont pas significativement différentes à 5% ; P = probabilité : ***= <0,001= hautement significatif

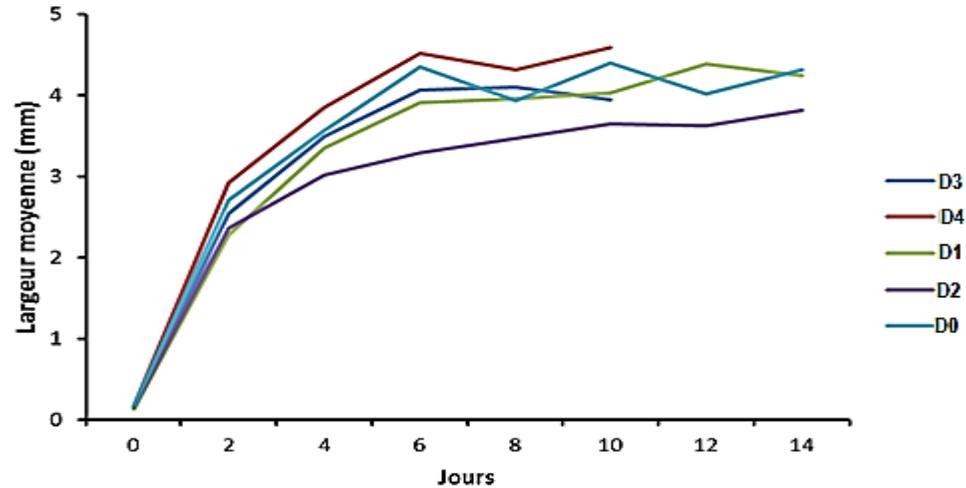


Figure 4 : Evolution de la largeur (± écart type) dans les différentes diètes en fonction des jours d’observation.

Tableau 3 : Largeur moyenne du corps des larves de MSN soumises aux différentes diètes en fonction des jours d'observation.

L (mm)	Jours d'observation (Jrs)								P
	0	2	4	6	8	10	12	14	
D ₀	0,17±0,01 ^a	2,70±0,29 ^a	3,56±0,39 ^a	4,35±0,37 ^b	3,93±0,16 ^c	4,40±0,30 ^d	4,02±0,28 ^e	4,32±0,21 ^d	<0,001
D ₁	0,14±0,01 ^a	2,27±0,20 ^a	3,35±0,25 ^a	3,91±0,20 ^b	3,96±0,19 ^b	4,03±0,37 ^c	4,38±0,56 ^d	4,25±0,34 ^d	<0,001
D ₂	0,16±0,02 ^a	2,36±0,18 ^a	3,02±0,13 ^a	3,30±0,19 ^b	3,47±0,25 ^c	3,66±0,25 ^d	3,63±0,30 ^d	3,82±0,27 ^e	<0,001
D ₃	0,13±0,01 ^a	2,54±0,18 ^a	3,50±0,20 ^a	4,07±0,23 ^b	4,10±0,22 ^b	3,95±0,34 ^b	-	-	<0,001
D ₄	0,17±0,01 ^a	2,92±0,17 ^a	3,85±0,28 ^a	4,52±0,17 ^b	4,32±0,22 ^c	4,59±0,45 ^d	-	-	<0,001

Les moyennes suivies de la même lettre ne sont pas significativement différentes à 5% ; P = probabilité : ***= <0,001= hautement significatif

Tableau 4 : Adultes par sexe, taux d'émergence, taux de mortalité et sex-ratio des larves nourries aux différentes diètes.

Diètes	n	Adultes		Emergence (%)		Sex-ratio (♂/♀)
		Mâle (♂)	Femelle (♀)	Oui	Mortalité	
D ₀	60	25	33	96,67	3,33	0,76
D ₁	60	11	33	73,33	26,67	0,33
D ₂	60	31	24	91,67	8,33	1,29
D ₃	60	30	30	100	0	1
D ₄	60	29	28	95	5	1,04

♂ = mâle; ♀ = femelle

Tableau 5 : Différentes valeurs des performances zootechniques en fonction des diètes.

Paramètres	D ₀	D ₁	D ₂	D ₃	D ₄	P
Poids moyen initial (g)	0,09±0,01 ^a	0,05±0,01 ^{ab}	0,07±0,02 ^a	0,03±0,00 ^c	0,13±0,02 ^{cd}	<0,01
Poids moyen final (g)	6,16±0,40 ^a	5,80±0,68 ^a	4,43±0,79 ^b	5,83±0,21 ^a	8,17±0,43 ^c	<0,001
Longueur moyenne (L) (mm)	14,77±6,11 ^a	14,25±6,53 ^a	15,21±5,59 ^{ab}	15,07±5,43 ^b	15,84±4,69 ^b	<0,01
Largeur moyenne (l) (mm)	3,29±1,32 ^a	3,17±1,41 ^a	3,40±1,2 ^a	3,32±1,13 ^a	3,49±0,96 ^a	NS
Rapport L/l (mm)	4,49	4,50	4,47	4,54	4,54	
Taux de croissance spécifique (%)	30,19	33,95	29,63	52,70	41,41	
Croissance journalière (g/jour)	0,43±0,18 ^a	0,41±0,08 ^a	0,32±0,19 ^b	0,58±0,16 ^{ab}	0,80±0,09 ^c	<0,001
Gain de poids (g)	0,67±0,12 ^a	1,15±0,13 ^b	0,62±0,23 ^a	1,93±0,14 ^b	0,62±0,21 ^b	<0,01

Les moyennes suivies de la même lettre ne sont pas significativement différentes à 5%. P = probabilité : NS = non significatif ; <0,05= significatif ; <0,01= très significatif ; <0,001= hautement significatif.

DISCUSSION

Evaluation du potentiel nutritif de différentes matières organiques végétales locales dans l'alimentation de *H. illucens*

Cette étude a permis de rechercher au sein des matières organiques végétales locales (MOVL) celles qui sont capables d'avoir un impact sur la croissance optimale (poids, longueur, largeur) des larves de *H. illucens*. Divers types de substrats locaux ont été utilisés lors de cette expérience. Il ressort de cette étude que les rations alimentaires constituées de la drêche et la levure de brasserie, et de la drêche et du Mix (tourteaux de palmiste, de soja et d'arachide) ont permis d'obtenir les résultats probants. En effet, les drêches sont des résidus du brassage des céréales (maïs, blé, etc.), généralement utilisés dans l'alimentation animale. Le taux de matière azotée dans les drêches de brasserie à partir de maïs est compris entre 33 et 39%. Malheureusement, les drêches sont pauvres en acides aminés essentiels tels que la lysine indispensable à l'entretien et à la croissance d'un organisme. Une ration alimentaire constituée uniquement de drêches chez les larves de *H. illucens* semble déséquilibrée d'où la nécessité d'ajouter d'autres compléments alimentaires indispensables à la croissance de l'organisme.

La levure de bière liquide des sociétés brassicoles est un excellent complément alimentaire utilisé dans la ration alimentaire des animaux. Elle est particulièrement appréciée du fait de sa teneur en acides aminés indispensables (lysine notamment), en sels minéraux, en polysaccharides et en vitamines du groupe B (B1, B5, B6, B8 et B9) (Scott, 1976). Son incorporation dans la ration alimentaire de *H. illucens* pourrait justifier les

taux de croissances élevées obtenus lors de nos manipulations. De même, le mélange des tourteaux dans la ration alimentaire des larves aurait apporté d'autres compléments essentiels à la croissance des larves de *H. illucens*. En effet, les tourteaux d'arachide sont riches en phosphore, en thiamine, riboflavine et niacine (Orana, 1980), ceux de soja sont riches en protéines brutes (48%) et enfin les tourteaux de palmiste contiennent plus de matières grasses et d'énergie comparés aux autres tourteaux. L'apport nutritionnel de ces deux rations alimentaires serait bénéfique pour la croissance optimale des larves de *H. illucens* en vue de leur utilisation ultérieure comme source de protéine dans l'alimentation animale (Laureati et al., 2016; Cummins et al., 2017).

Effets des différentes MOV sur le sex-ratio de *H. illucens*

Le suivi des prépuces jusqu'à l'émergence des adultes a permis d'obtenir un sex-ratio varié en fonction des rations alimentaires. Dans les diètes constituées de drêche et tourteau de soja et drêche et tourteau d'arachide, le sex-ratio a été biaisé en faveur des femelles donc inférieure à 1. Dans le règne animal, de manière générale, le sex-ratio a souvent tendance à privilégier les femelles, qui ont un investissement reproductif plus intense que les mâles. La théorie du sex-ratio en biologie évolutive telle que développée par Fisher (1930) prédit que le sex-ratio doit être équilibré à l'échelle de la population. La raison de cet équilibre repose sur le principe de "sélection dépendance de la fréquence", selon lequel le succès reproductif d'un type dépend de sa fréquence relative dans la population

(Fisher, 1930 ; Ayala et al., 1974). Dans le cadre de notre étude, nous avons observé un sex-ratio équilibré 1 :1 dans la diète constituée de drêche et levure de brasserie. Cette diète s'est avérée être la plus riche en protéine, acides aminés essentiels, sels minéraux, et a permis d'obtenir une température permettant la croissance optimale des larves par rapport aux autres diètes utilisés au laboratoire lors de notre expérimentation. En somme, le sex-ratio au sein d'une population dépend de plusieurs paramètres au rang desquels la ressource (Charnov et al., 1981), le climat (Quinn et al., 2007), la compétition (Macke et al., 2011), l'attractivité (Burley, 1981) et la densité de la population (Looske et al., 1999).

Effets des différentes MOV sur les performances zootechniques des larves de *H. illucens*

Les performances zootechniques des larves obtenues dans le cadre de cette étude dépendent du type de régime alimentaire. La ration alimentaire constituée de la drêche et du tourteau de palmiste a été la moins performante en ce qui concerne la croissance et le développement des larves. Cette diète ainsi que celle constituée de la drêche et du tourteau d'arachide ont permis aux larves d'achever leur développement en 12 jours de suivi. Par contre, la drêche et du Mix a été la plus performante et a permis d'obtenir des larves de 24,11 mm de longueur, de 5,11 mm de largeur pouvant peser jusqu'à 189 mg. Ces résultats sont différents de ceux obtenus par Hall et Gerhardt (2002) et Diclaro et Kaufman (2009) qui ont indiqué dans leurs travaux que les larves de MSN peuvent atteindre au dernier stade larvaire une longueur allant jusqu'à 27 mm, une largeur allant jusqu'à 6 mm et peser jusqu'à 220 mg. Cette différence serait due à l'utilisation exclusive des sources de protéine d'origine végétale dans la ration alimentaire des larves. Des études ont montré que les larves nourries avec des résidus de cuisine et du foie parviennent à atteindre une taille et une masse supérieure ainsi qu'un temps de développement jusqu'à la maturité supérieure par rapport à celles qui sont nourries avec des sous-produits végétaux (Nguyen et al., 2013;

Bloukounon-Goubalan et al., 2017 ; Odjo et al., 2018 ; Coulibaly et al., 2020).

Nos travaux ont montré qu'avec la MOVL, les larves ont réussi dans certaines diètes à boucler tous les stades de développement en 8 jours suivi, alors qu'il est indiqué dans la littérature que les larves nécessitent environ 14 jours pour compléter leur développement en conditions optimales (Hall and Gerhardt, 2002). Le système de production des larves développé dans cette étude et les délais obtenus pour la croissance optimale des larves de *H. illucens* pourraient rivaliser les systèmes de production développés par Dossey et al. (2016) et Sheppard et al. (2002).

La production en masse des larves dans un délai relativement court pourrait permettre la dégradation et la valorisation, à grande échelle, d'une vaste gamme de déchets organiques résiduelles (Sheppard et al., 1994 ; Diener et al., 2009). Des études menées sur les larves de *H. illucens* ont montré qu'elles étaient capables de réduire un volume important de la matière organique résiduelle dont le fumier de poulet (50%) (Tomberlin et al., 2002), le fumier de vaches (44%) (Gobbi, 2012). Les éléments non dégradés (frass), les excréments larvaires, les peaux mortes issus des mues (excuvie) constituent un compost qui peut avoir un effet important dans l'amendement des sols. D'un autre côté, le délai de croissance rapide avec des diètes ayant un apport nutritionnel important pourrait permettre d'obtenir des larves de fortes valeurs nutritionnelles capables de rivaliser la farine de poisson, de blé et de soja utilisées actuellement dans l'alimentation animale (Porcs, volaille et poissons) (Newton et al., 2005; Belluco et al., 2013; Sánchez-Muros et al., 2014; Cummins et al., 2017).

Conclusion

Cette étude a permis de montrer l'influence de la matière organique d'origine végétale sur les paramètres de croissance des larves et le sex-ratio des adultes de *H. illucens* lors des essais au laboratoire. Les diètes constituées de drêche et du Mix ainsi que celle formulée à base de la drêche et de la levure de

brasserie ont permis d'obtenir des paramètres de croissance optimale en terme de longueur, largeur, rapport longueur/largeur, taux de croissance spécifique, gain de poids et poids moyens des larves. Ces diètes ont également permis aux larves de boucler tous les stades de développement en seulement 8 jours de suivi. L'apport nutritionnel de différentes diètes utilisées lors de nos manipulations a contribué à l'émergence de la quasi-totalité des adultes (73% à 100%) ainsi qu'à l'obtention d'un sex-ratio équilibré entre les sexués mâles et femelles dans certaines diètes. L'avantage de l'utilisation de ces co-produits végétaux dans l'élevage de *H. illucens* est qu'ils sont bon marché et non compétitifs avec la consommation humaine. Nous comptons à la suite de ces travaux exploiter le potentiel de consommation des larves afin de biodégrader et valoriser les matières organiques résiduelles provenant des ménages, des restaurants et des marchés.

CONFLIT D'INTERETS

Les auteurs déclarent l'existence d'aucun conflit d'intérêts lors de la rédaction de cet article.

CONTRIBUTIONS DES AUTEURS

PSMM : conception du protocole et rédaction de l'article ; LGM : capture, élevage et conditionnement des larves au laboratoire, rédaction de la première mouture de l'article ; SGNL : élevage des larves et analyses statistiques des données ; CSMT : collecte des larves sur le terrain et suivi des élevages en laboratoire ; BJTS et SDM ont contribué à la saisie, l'analyse statistique et l'interprétation des données.

REMERCIEMENTS

Rendus au terme de ce travail, nous tenons à remercier l'Université de Yaoundé I, pour avoir mis ses infrastructures à notre disposition lors de la réalisation de ce travail. Nous remercions également l'université de Liège, Gembloux Agro-Bio Tech pour l'encadrement et la formation de certains membres de l'équipe sur la technique d'élevage et production de la mouche soldat

noire *Hermetia illucens*. Ce travail a bénéficié du financement de l'ARES (Académie de Recherche et de l'Enseignement Supérieur) à travers le Microprojet étudiant obtenu en 2018.

REFERENCES

- Ayala FJ, Campbell CA. 1974. Frequency-dependent selection. *Annu. Rev. Ecol. Syst.*, **5**: 115-138. DOI: 10.1146/annurev.es.05.110174.00
- Belluco S, Losasso C, Maggioletti M, Alonzi C, Paoletti MG, Ricci A. 2013. Edible insects in a food safety and nutritional perspective: a critical review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, **12**(3): 296-313. DOI: 10.1111/1541-4337.12014
- Bloukounon-Goubalan AY, Saïdou A, Clotey V, Chrysostome CAAM, Kenis M, Mensah GA. 2017. Typology of organic residues attracting flies and their utilization in the agricultural sector in southern Benin. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, **11**(6): 2560-2572. DOI: <https://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v11i6.1>
- Boarus A, Vig A, Ladoși D, Struți D, Păpuc T, Georgescu B. 2018. Studies regarding the fertilizing capacity of poultry manure biocomposted by fly larvae (Diptera: Stratiomyidae). *AAB Bioflux.*, **10**(3):114-121.
- Bruno D, Bonelli M, De Filippis F, Lelio I. 2019. The intestinal microbiota of *Hermetia illucens* larvae is affected by diet and shows a diverse composition in the different midgut regions. *Appl. Environ. Microbiol.*, **85**(2): 1-14. DOI: 10.1128/AEM.01864-18
- Burley N. 1981. Sex ratio manipulation and selection for attractiveness. *Science*, **211**: 721-722. DOI: 10.1126/science.211.4483.721
- Coulibaly K, Sankara F, Pousga S, Nacoulma PJ, Somé MB, Nacro HB. 2020. On station maggot production using poultry litter as substrate: assessment on the quantity and the chemical quality of the litter before and after maggot production in Burkina Faso. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*,

- 14(5):** 1689-1697. DOI: <https://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v14i5.16>
- Cummins VC, Rawles SD, Thompson KR, Velasquez A, Kobayashi Y, Hager J, Webster CD. 2017. Evaluation of black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae meal as partial or total replacement of marine fish meal in practical diets for Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*). *Aquaculture*, **473**: 337–344. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2017.02.022
- Devic E, Leschen W, Murray F, Little DC. 2018. Growth performance, feed utilization and body composition of advanced nursing Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) fed diets containing Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*) larvae meal. *Aquac. Nutr.*, **24**: 416–423. DOI: 10.1111/anu.12573
- Diclaro JW, Kaufman PE. 2009. Black soldier fly *Hermetia illucens* Linnaeus (Insecta: Diptera: Stratiomyidae). *University of Florida IFAS Extension*, **461**: 1–4.
- Diener S, Zurbrugg C, Tockner K. 2009. Conversion of organic material by black soldier fly larvae: establishing optimal feeding rates. *Waste Management & Research*, **27(6)**: 603–610. DOI: 10.1177/0734242X09103838
- Dossey AT, Morales-Ramos JA, Rojas MG. 2016. *Insects as Sustainable Food Ingredients: Production, Processing and Food Applications*. Academic Press, Elsevier Inc.: Cambridge, USA.
- Fisher RA. 1930. *The Genetical Theory of Natural Selection*. Clarendon Press: Oxford.
- Gobbi FP. 2012. Biología reproductiva y caracterización morfológica de los estadios larvarios de *Hermetia illucens* (L., 1758) (Diptera: Stratiomyidae). *Bases para su producción masiva en Europa*. Universitat d'Alacant, 172.
- Hall RD, Gerhardt RR. 2002. Flies (*Diptera*). In *Medical and Veterinary Entomology*, Mullen G, Durden L (eds). Academic Press: San Diego, USA; 127-161.
- Laureati M, Proserpio C, Jucker C, Savoldelli S. 2016. New sustainable protein sources: consumers' willingness to adopt insects as feed and food. *Ital. J. Food Sci.*, **28(4)**: 652- 668.
- Looske EB, Kruuk T, Clutton-Brock H, Albon SD, Pemberton J, Fiona EG. 1999. Population density affects sex ratio variation in red deer. *Nature*, **399**. DOI: 10.1038/20917
- Macke E, Magalhaes S, Bach E, Olivieri I. 2011. Experimental evolution of reduced sex ratio adjustment under local mate competition. *Science*, **334**: 1127-1129. DOI: 10.1126/science.1212177
- Maurer V, Holinger M, Amsler Z, Früh B, Wohlfahrt J, Stamer A, Leiber F. 2016. Replacement of soybean cake by *Hermetia illucens* meal in diets for layers. *J. Insects Food Feed.*, **2**: 83–90. DOI: 10.3920/JIFF2015.0071
- Nakamura S, Ichiki RT, Shimoda M, Morioka S. 2016. Small-scale rearing of the black soldier fly, *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae), in the laboratory: low-cost and year-round rearing. *Appl. Entomol. Zool.*, **51**: 161–166. DOI 10.1007/s13335-015-0376-1.
- Nana P, Kimpara JM, Tiambo KC, Tiogue TC, Youmbi J, Choundong B, Fonkou T. 2018. Black soldier flies (*Hermetia illucens* Linnaeus) as recyclers of organic waste and possible livestock feed. *Int J Biol Chem Sci.*, **12**: 2004–2015. DOI: <https://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v12i5.4>
- Newton GL, Sheppard DC, Watson DW, Burtle GJ, Dove CR, Tomberlin JK, Thelen EE. 2005. The black soldier fly, *Hermetia illucens*, as a manure management/resource recovery tool. Symposium on the state of the science of Animal Manure and Waste Management, 5–7. San Antonio, January 2015.
- Nguyen TT, Toberlin JK, Vanlaerhoven S. 2013. Influence of Resources on *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae) Larval Development. *Journal of Medical Entomology*, **50(4)**: 898-906. DOI: 10.1603/ME12260
- Odjo NI, Djissou SMA, Guezo C, Fiogbe DE. 2018. Optimization of maggot production from a mixture of chicken viscera and

- soya cake based on different ratios. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, **12**(4): 1583–1589. DOI: <https://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v12i4.6>
- ONU. 2019. Croissant à un rythme plus lent, la population mondiale devrait atteindre 9,7 milliards d'habitants en 2050 et pourrait atteindre près de 11 milliard vers 2100 : Rapport de l'ONU. Communiqué de presse. United Nations Department of Public Information, 4p.
- Orana 1980. Organisme de recherché pour l'alimentation, et la nutrition alimentaire. Pharmacopée sénégalaise traditionnelle. 618-649.
- Sánchez-Muros MJ, Barroso FG, Manzano-Agugliaro F. 2014. Insect meal as renewable source of food for animal feeding: a review. *J. Clean. Prod.*, **65**: 16–27. DOI: 10.1016/j.jclepro.2013.11.068
- Schiavone A, Cullere M, De Marco M, Meneguz M, Biasato I, Bergagna S, Dezzutto D, Gai F, Dabbou S, Gasco L, Dalle Zotte A. 2017. Partial or total replacement of soybean oil by black soldier fly larvae (*Hermetia illucens* L.) fat in broiler diets: effect on growth performances, feed choice, blood traits, carcass characteristics and meat quality. *Ital. J. Anim. Sci.*, **16**: 93–100. DOI: 10.1080/1828051X.2016.124
- Sheppard CD, Tomberlin JK, Joyce JA, Kiser BC, Sumner SM. 2002. Rearing methods for the black soldier fly (*Diptera: Stratiomyidae*). *J. Med. Entomol.*, **39**(4): 695–698. DOI: 10.1603/0022-2585-39.4.695
- Sheppard D, Craig G, Larry N, Sydney A. 1994. Thomson et Stan Savage, « A value added manure management system using the black soldier fly ». *Bioresource Technology.*, **50**(3): 275-279. DOI: 10.1016/0960-8524 (94)90102-3
- Tomberlin JK, Sheppard DC, Joyce JA. 2002. Selected life-history traits of black soldier flies (*Diptera: Stratiomyidae*) reared on three artificial diets. *Annal. Entomol. Soc. Am.*, **95**(3): 379–386. DOI: 10.1603/0013-8746(2002)095[0379:SLHTOB]2.0.CO; 2
- Xiao X, Mazza L, Yu Y, Cai M, Zheng L, Tomberlin JK, Yu J, van Huis A, Yu Z, Fasulo S. 2018. Efficient co-conversion process of chicken manure into protein feed and organic fertilizer by *Hermetia illucens* L. (*Diptera: Stratiomyidae*) larvae and functional bacteria. *J. Environ. Manage.*, **217**: 668–676. DOI: 10.1016/j.jenvman.2018.03.122