



ESJ Natural/Life/Medical Sciences

Effet de l'Incorporation de l'Acide Guanido Acétique (AGA - $C_3H_7N_3O_2$) Comme Précurseur de la Créatine sur l'ingestion et les Performances de Croissance de Poulets de Chair au Sénégal

Thierry Daniel Tamsir Nesseim, DVM, PhD, Maître de Conférences Titulaire

Département des Productions Animales, Ecole Nationale Supérieure d'Agriculture, Université Iba Der THIAM, Thiès, Sénégal

Cheikh Alioune Konate, DVM

Nouvelle Minoterie Africaine (NMA), Dakar, Sénégal

Mame Thierno Dieye

Département des Productions Animales, Ecole Nationale Supérieure d'Agriculture, Université Iba Der THIAM, Thiès, Sénégal

Mouhamadou Moustapha Sissokho, DVM, PhD

Institut Sénégalais de Recherches Agricoles (ISRA), Dakar, Sénégal

Papa Macoura Ndiaye

Département des Productions Animales, Ecole Nationale Supérieure d'Agriculture, Université Iba Der THIAM, Thiès, Sénégal

[Doi:10.19044/esj.2022.v18n40p141](https://doi.org/10.19044/esj.2022.v18n40p141)

Submitted: 27 September 2022

Accepted: 12 December 2022

Published: 31 December 2022

Copyright 2022 Author(s)

Under Creative Commons BY-NC-ND

4.0 OPEN ACCESS

Cite As:

Nesseim T. D. T., Konate C. A., Dieye M.T., Sissokho M.M. & Ndiaye P.M. (2022). *Effet de l'Incorporation de l'Acide Guanido Acétique (AGA - $C_3H_7N_3O_2$) Comme Précurseur de la Créatine sur l'ingestion et les Performances de Croissance de Poulets de Chair au Sénégal*. European Scientific Journal, ESJ, 18 (40), 141.

<https://doi.org/10.19044/esj.2022.v18n40p141>

Résumé

Les éleveurs de volailles de chair au Sénégal sont confrontés à une baisse de performances du fait d'une alimentation de plus en plus végétale, rallongeant la durée d'élevage. Jouant un rôle important dans le métabolisme énergétique des animaux, la créatine ne se trouve pas dans les plantes. Une supplémentation en Acide Guanido Acétique (AGA), qui est le seul précurseur naturel de la créatine, pourrait permettre d'équilibrer la demande de l'animal pour ce nutriment semi-essentiel. Cette étude vise à déterminer le niveau

d'ingestion ainsi que les performances de croissance de poulets de chair nourris avec un aliment incorporant de l'AGA sous la forme commerciale de CreAMINO® utilisé comme complément alimentaire pour la première fois au Sénégal. L'expérience de nutrition a duré quarante-deux (42) jours avec 400 poussins chair d'un jour, de souche Cobb 500, non sexés. Le dispositif expérimental utilisé est complètement aléatoire avec deux niveaux de supplémentation en AGA (0 et 600 g/tonne d'aliment) et quatre répétitions pour chaque traitement. Les données collectées ont été analysées selon une procédure ANOVA. Les résultats ont révélé que les animaux qui ont reçu le régime expérimental contenant de l'AGA ont obtenu, à la fin de l'expérience, un poids vif ($2191,6 \pm 137,9$ vs $2080,2 \pm 186,2$ g/sujet) ($P > 0,05$) et un gain pondéral moyen ($51,6$ vs $48,9$ g/sujet) ($P > 0,05$) numériquement un peu plus élevé que les animaux du groupe témoin. L'ingestion alimentaire, la consommation hydrique ainsi que l'indice de conversion alimentaire ont été, respectivement, pour le groupe expérimental et le groupe témoin de $95,2$ g/sujet/jour et $90,6$ g/sujet/jour, de $262,4$ ml/sujet/jour et $249,0$ ml/sujet/jour ainsi que de $1,8$ et $1,9$. Les animaux abattus à la fin de l'étude ont présenté un poids carcasse moyen de $1649,7 \pm 166,4$ g/sujet pour le groupe expérimental et $1566 \pm 106,4$ g/sujet pour le groupe témoin avec un rendement carcasse moyen similaire de $75,3\%$. Les paramètres zootechniques cités n'ont pas montré de différence significative entre les deux groupes ($P > 0,05$).

Mots-clés: Acide Guanidino Acétique (AGA), poulets de chair, ingestion, performances de croissance

Effects of the Incorporation of Guanidine Acetic Acid (GAA - $C_3H_7N_3O_2$) as a Creatine Precursor on Feed Intake and Growth Performance of Broilers in Senegal

Thierry Daniel Tamsir Nesseim, DVM, PhD, Maître de Conférences Titulaire

Département des Productions Animales, Ecole Nationale Supérieure d'Agriculture, Université Iba Der THIAM, Thiès, Sénégal

Cheikh Alioune Konate, DVM

Nouvelle Minoterie Africaine (NMA), Dakar, Sénégal

Mame Thierno Dieye

Département des Productions Animales, Ecole Nationale Supérieure d'Agriculture, Université Iba Der THIAM, Thiès, Sénégal

Mouhamadou Moustapha Sissokho, DVM, PhD

Institut Sénégalais de Recherches Agricoles (ISRA), Dakar, Sénégal

Papa Macoura Ndiaye

Département des Productions Animales, Ecole Nationale Supérieure d'Agriculture, Université Iba Der THIAM, Thiès, Sénégal

Abstract

Broiler breeders in Senegal are facing a decrease in performance due to an increasingly plant-based diet that extends the breeding period. Creatin, which plays an important role in the energy metabolism of animals, is not found in plants. Supplementation with Guanido Acetic Acid (GAA), which is the only natural precursor of creatine, could help balance the animal's demand for this semi-essential nutrient. This paper focuses on determining the level of intake as well as growth performance of broilers fed with a feed incorporating GAA in the commercial form of CreAMINO® used as a feed supplement for the first time in Senegal. The feeding experiment lasted forty-two (42) days with 400 one-day-old unsexed Cobb 500 chicks. The experimental design used was completely randomized with two treatments (0 and 600 g/ton of feed) and four replicates for each treatment. The data collected were analyzed using an ANOVA procedure. The results revealed that animals fed with experimental diet containing GAA had a live weight (2191.6 ± 137.9 vs. 2080.2 ± 186.2 g/subject) ($P > 0.05$) and average weight gain (51.6 vs. 48.9 g/subject) ($P > 0.05$) numerically slightly higher than animals in the control group at the end of the experiment. The feed intake, the water consumption, as well as the food conversion index for the experimental group and the control group were 95.2 g/subject/day and 90.6 g/subject/day, 262.4 ml/subject/day and 249.0 ml/subject/day and 1.8 and 1.9 , respectively. Animals slaughtered at the end

of the study had an average carcass weight of 1649.7 ± 166.4 g/subject for the experimental group and 1566 ± 106.4 g/subject for the control group with a similar average carcass yield of 75.3%. The zootechnical parameters cited did not show any significant difference between the two groups ($P > 0.05$).

Keywords: Guanidino Acetic Acid (GAA), broilers, intake, growth performance

Introduction

Dans les pays en développement, la viande de volaille est celle qui subit une forte demande par ses qualités nutritionnelles mais aussi par son prix relativement accessible (Apata & Ojo, 2000). Elle constitue, au Sénégal, une source importante de protéines animales (MEPA, 2019) et représente un moyen d'accroissement rapide de la production de viande pour satisfaire les besoins des populations.

L'effectif de la volaille industrielle a représenté 63,6% en 2019 avec une contraction observée par rapport à l'année précédente liée à la progression de la volaille familiale (ANSD, 2022). Cette dernière reste très répandue, pratiquée surtout par les femmes et les enfants des zones rurales (Aboe *et al.*, 2006; Bebay, 2006). La productivité reste plus faible que celle des races exotiques de l'aviculture semi-industrielle et industrielle (Pousga, 2005) chez qui la vitesse de croissance est liée à la sélection génétique, la maîtrise de l'alimentation et les conditions sanitaires. Leur rentabilité passe par la maîtrise de leur courbe de croissance (Bigot *et al.*, 2001). L'alimentation représente une contrainte majeure car elle constitue le poste de dépense le plus important. Elle est considérée comme le principal facteur qui freine le développement de l'aviculture (Drogoul *et al.*, 2013). L'accroissement de la production avicole a entraîné de fait, une augmentation des quantités de céréales produites pour l'alimentation aviaire (Dahouda *et al.*, 2009). L'utilisation de nouvelles ressources alimentaires pourrait constituer une solution pour atteindre les objectifs de production (Kenis *et al.*, 2014). Les facteurs alimentaires ont des effets sur le métabolisme protéino-énergétique, classiquement divisés en effets à court terme et à long terme, spécifiques du régime alimentaire, faisant intervenir la composition et l'abondance des nutriments (Tesseraud *et al.*, 2014). Ainsi, la croissance et le rendement musculaire accrus des poulets de chair pourraient être valorisés par une alimentation plus concentrée en énergie métabolisable et en acides aminés disponibles pour les synthèses protéiques (Sanchez *et al.*, 2000). C'est le cas notamment de l'arginine (Arg) qui est un acide aminé essentiel limitant dans les régimes alimentaires (Guilhermet, 1996) et nécessaire dans les fonctions d'entretien et de croissance par la synthèse de créatine ainsi que de protéines (Waguespack *et al.*, 2009). Chez tous les vertébrés, l'une des principales utilisations de l'arginine, qu'elle soit

d'origine alimentaire ou endogène, est la production d'Acide Guanidino Acétique (AGA) qui est le seul précurseur de créatine dans le corps (Wu & Morris Jr, 1998). C'est un composé naturel chez les vertébrés et notamment chez les volailles. Il constitue un produit intermédiaire métabolique synthétisé principalement dans les reins pour ensuite être transporté vers le foie où la majeure partie est transformée en créatine. Ces synthèses se produisent également dans les tissus musculaires (Wyss & Kaddurah-Daouk, 2000) où 50% du besoin quotidien de l'organisme adulte est synthétisé (Fryer & Rademacher, 2013). La majeure partie de cette créatine se retrouve donc dans le muscle squelettique où elle constitue une réserve d'énergie (Brosnan & Brosnan, 2010). Une partie est transformée de manière irréversible en créatinine qui est excrétée avec l'urine. D'où la nécessité d'un remplissage constant du pool de créatine, soit par nouvelle synthèse, soit par apport nutritionnel (Lemme *et al.*, 2007). Ainsi, le besoin en créatine dépend de l'âge et des quantités plus élevées sont nécessaires chez les animaux en développement pour la croissance musculaire (Brosnan *et al.*, 2009). Il s'agit également d'un carnitrimment qui n'est disponible pour les adultes que par le biais des aliments d'origine animale, ou via des suppléments (Brosman & Brosman, 2016). Les sous-produits animaux sont de moins en moins utilisés dans l'industrie avicole qui manque par conséquent de créatine. Ce nutriment semi-essentiel n'est présent que dans les matières premières d'origine animale (Ringel *et al.*, 2008). L'AGA qui est plus stable et moins chère que la créatine pourrait constituer un bon additif alimentaire pour la volaille (Khakran *et al.*, 2018) dans les conditions d'élevage semi-industrielle et industrielle au Sénégal.

L'objectif de cette étude est de déterminer les effets de l'incorporation de l'Acide Guanidino Acétique (AGA) comme source naturelle de la créatine dans l'alimentation de poulets de chair sur leurs performances zootechniques.

Matériel et méthodes

Lieu de l'expérience

L'expérience s'est déroulée à l'Ecole Nationale Supérieure d'Agriculture (ENSA – Université Iba Der THIAM) de Thiès (14°46'N et 16°57'W) au Sénégal en fin de saison sèche (avril-juin de l'année 2021). Durant cette période, la température externe a varié entre 28,2 et 29,8°C.

Animaux et logement

Quatre cents (400) poussins d'un jour non sexés de souche Cobb 500 vaccinés conformément aux programmes prophylactiques en vigueur dans la zone sont utilisés. Ils étaient répartis aléatoirement dans huit (8) boxes bien ventilés séparés par une clôture de 0,75 m et faisant chacun 3 m² dans un seul compartiment durant les 14 premiers jours afin de bénéficier d'un radian de

chauffage. Ils sont ensuite séparés dans deux (2) compartiments. Chaque compartiment est divisé en quatre (4) boîtes de 4,5 m².

Du copeau de bois, en guise de litière, est utilisé à partir du 8^{ème} jour à raison de 2,5 kg/boîte. Cette quantité est portée à 5 kg/boîte au 14^{ème} jour puis changée en cas de nécessité, selon le niveau d'humidité du boîte.

En dehors de la période où les animaux ont bénéficié du radiateur de chauffage, le local est éclairé la nuit à la lumière électrique (100 watts). La température moyenne interne du local a varié entre 29,1 et 30°C. L'humidité relative moyenne a varié entre 54,1 et 60,3%.

Régimes alimentaires et traitements

Deux rations alimentaires sont utilisées pour cet essai. La ration témoin (T) est constituée par un aliment commercial préparé à partir de graines de céréales, des produits et des sous-produits de graines de céréales, des produits et sous-produits de graines oléagineuses, de la farine de poisson, des minéraux, de la méthionine et de la lysine. Celui-ci produit et commercialisé à l'échelle nationale a été acheté au niveau de l'unité industrielle. La ration expérimentale (E) est constituée de l'aliment commercial précédent auquel ont été ajoutés 600 g/tonne d'aliment de CreAMINO® dont le constituant actif est l'Acide Guanidino Acétique (AGA) qui a comme seul rôle physiologique de fournir de la créatine. La fiche technique a recommandé une dose efficace située entre 600 et 1200 g/tonne d'aliment et l'étude a minimalisé, dans une phase initiale, l'incorporation de l'AGA à 600 g/tonne d'aliment.

Pour les deux (02) rations, un aliment de type démarrage est utilisé durant les 14 premiers jours d'élevage. Du 15^{ème} au 28^{ème} jour, les sujets sont nourris avec un aliment de type croissance puis un aliment de type finition les 14 derniers jours de l'essai. Durant toute la durée de l'essai, l'eau et l'aliment sont distribués à volonté (*ad libitum*). Les quantités distribuées et restantes sont systématiquement mesurées.

Chaque traitement est répété quatre fois dans les boîtes et chaque boîte correspondant à une répétition. Le dispositif est un plan d'expérience complètement aléatoire avec 2 traitements et 4 répétitions. Les traitements sont répartis aléatoirement dans les deux compartiments du poulailler pour éviter l'effet bloc.

L'essai a été mené durant quarante-deux (42) jours.

Collecte des données

Les données collectées ont concerné l'ingestion alimentaire, la consommation hydrique, le gain de poids, l'indice de consommation et le rendement de carcasse.

L'ingestion alimentaire a été calculée comme étant la différence entre la quantité d'aliment distribuée et la quantité restante après 24 heures. Il en a

été déduit l'ingestion alimentaire quotidienne moyenne par animal correspondant aux périodes de démarrage, croissance et finition.

La consommation hydrique a été calculée comme étant la quantité d'eau distribuée et la quantité restante après 24 heures. Il en a été déduit la consommation hydrique quotidienne moyenne par animal correspondant aux différentes périodes.

Les animaux de chaque répétition ont été pesés au jour de leur réception (J_1). Ces pesées se sont poursuivies de façon hebdomadaire durant toute la période expérimentale.

Les gains quotidiens moyens de poids par animal correspondant aux périodes de démarrage, croissance et finition ont été obtenus. L'indice de consommation a ensuite été déterminé comme étant l'ingestion alimentaire par unité de gain de poids et par animal correspondant aux différentes périodes.

Après la prise du poids vif corporel au 42^{ème} jour, les animaux sélectionnés ont été abattus grâce à l'aide d'une pince à saigner. Les pattes sont sectionnées au niveau de l'articulation tibiotarse-métatarse et la tête séparée du cou à la jonction crâne-atlas. Les organes des cavités abdominales et thoraciques sont enlevés. Le rendement de carcasse est ainsi calculé comme étant le rapport entre le poids de carcasse et le poids vif à l'abattage par animal.

Analyses chimiques

L'analyse chimique des échantillons des différents aliments utilisés s'est faite pour la matière sèche, la matière organique, les cendres, la cellulose brute, la matière grasse et les protéines brutes selon l'AOAC (2007). L'énergie métabolisable apparente a été estimée selon (Sibbald, 1980).

Traitement des données

Toutes les données générées sont soumises à une analyse de variance (ANOVA) selon un modèle complètement randomisé avec logiciel Statistic 8.1. Le test de Tukey HSD a été appliqué pour tenir compte des comparaisons multiples entre les traitements en considérant la probabilité d'erreur significative si $P \leq 0,05$. Les données de l'expérience ont été vérifiées pour l'influence de l'apport alimentaire dans une analyse de covariance, mais en aucun cas ces facteurs n'ont eu un impact significatif ($P > 0,05$). Les moyennes de traitement ont été calculées selon la moyenne des moindres carrés.

Le modèle est :

$$Y_{ij} = \mu + \alpha_i + \varepsilon_{ij} = \mu_i + \varepsilon_{ij}.$$

Où

α_i effet du niveau i .

Y_{ij} j^{ème} observation dans l'échantillon de la i ème population.

μ moyenne globale.

μ_i moyenne dans la i ème population (avec ($\mu_i = \mu + \alpha_i$)).

ε_{ij} erreur aléatoire.

Les moyennes significatives ont été séparées à l'aide du test de comparaison utilisant toutes les paires de Tukey HSD du même paquet.

Résultats

Composition nutritionnelle des aliments

Les résultats des analyses bromatologiques des différents aliments distribués sont consignés dans le **Tableau 1**.

Tableau 1. Composition analytique des régimes utilisés pendant l'expérimentation

	MS (%)	Composition chimique (%MS)					EM (kcal/kg MS)
		MO	CB	Ce	PB	MG	
Aliment Témoin (T)							
Démarrage	90,9	91,6	4,7	8,4	23,8	3,8	3398,1
Croissance	91,8	90,3	4,2	9,7	21,2	3,4	3367,7
Finition	91,4	89,8	5,7	10,2	20,0	3,4	3943,6
Aliment Experimental (E)							
Démarrage	92,0	87,9	4,3	12,1	20,5	4,2	3304,4
Croissance	91,2	92,6	4,7	7,4	21,0	3,3	3411,7
Finition	91,1	91,2	5,6	8,8	20,9	3,2	3269,3

L'aliment témoin (T) présente un niveau en Protéines Brutes (PB) de 23,8%MS pour le type démarrage ; 21,2%MS pour le type croissance et 20,0%MS pour le type finition avec des teneurs en Energie Métabolisable (EM) respectives de 3398,1 kcal/kg MS ; 3367,7 kcal/kg MS et 3214,2 kcal/kg MS. Concernant l'aliment expérimental (E), les teneurs en PB sont de 20,5%MS pour le type démarrage ; 21,0%MS pour le type croissance et 20,9%MS pour le type finition avec des teneurs en EM respectives de 3304,4 kcal/kg MS ; 3411,7 kcal/kg MS et 3269,3 kcal/kg MS.

Performances zootechniques

La **Figure 1** montre l'ingestion alimentaire individuelle quotidienne au cours de la séquence expérimentale.

Durant la phase de démarrage, elle est de $31,8 \pm 15,3$ g/sujet/jour pour les animaux du groupe témoin contre $35,4 \pm 16,7$ g/sujet/jour pour les animaux du groupe expérimental sans aucune différence significative ($P > 0,05$). En phase de croissance, elle est de $82,5 \pm 15,8$ g/sujet/jour pour les animaux du groupe témoin contre $87,5 \pm 14,3$ g/sujet/jour pour les animaux du groupe expérimental sans aucune différence significative ($P > 0,05$). En phase de finition, elle est de $153,3 \pm 13,7$ g/sujet/jour pour les animaux du groupe témoin contre $158,5 \pm 9,8$ g/sujet/jour pour les animaux du groupe expérimental sans aucune différence significative ($P > 0,05$).

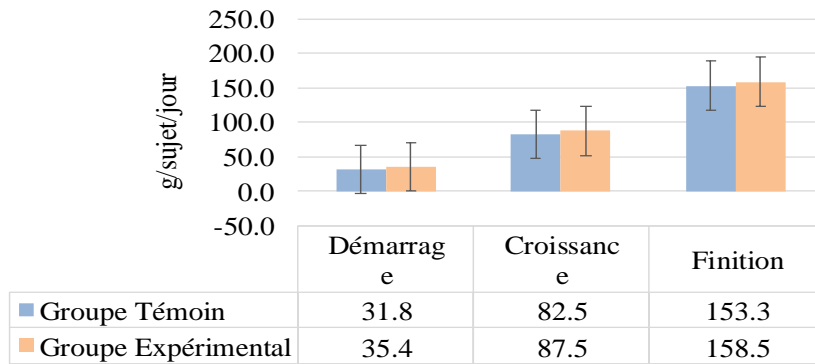


Figure 1. Ingestions alimentaires moyennes selon les groupes durant les différentes périodes

La **Figure 2** montre la consommation hydrique individuelle quotidienne. Durant la phase de démarrage, elle est de $92,3 \pm 41,1$ ml/sujet/jour pour les animaux du groupe témoin contre $103,5 \pm 46,0$ ml/sujet/jour pour les animaux du groupe expérimental sans différence significative ($P > 0,05$).

En phase de croissance, elle est de $236,5 \pm 48,5$ ml/sujet/jour pour les animaux du groupe témoin contre $240,0 \pm 59,6$ ml/sujet/jour pour les animaux du groupe expérimental sans différence significative ($P > 0,05$).

En phase de finition, elle est de $407,0 \pm 72,3$ ml/sujet/jour pour les animaux du groupe témoin contre $432,2 \pm 59,8$ ml/sujet/jour pour les animaux du groupe expérimental sans différence significative ($P > 0,05$).

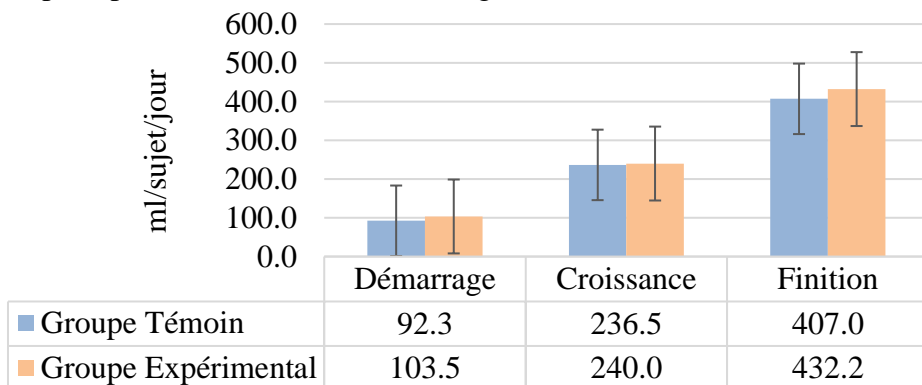


Figure 2. Consommations hydriques moyennes selon les groupes durant les différentes périodes

Les poids vifs (PV) enregistrés pour les animaux des deux (2) groupes ont subi une évolution quasi linéaire durant toute la période expérimentale (**Figure 3**). Ces poids, pour le groupe témoin (Lot T), sont passés de $39,2 \pm 2,1$ g/sujet au 1^{er} jour à $2080,2 \pm 215,0$ g/sujet au 42^{ème} jour. Au niveau du groupe expérimental (Lot E), ils sont passés de $40,0 \pm 2,0$ g/sujet au 1^{er} jour à $2191,6 \pm 137,9$ g/sujet au 42^{ème} jour. L'évolution du poids vif des sujets dans

les différents groupes n'a pas montré de différences significatives ($P>0,05$) pour les différentes périodes de production.

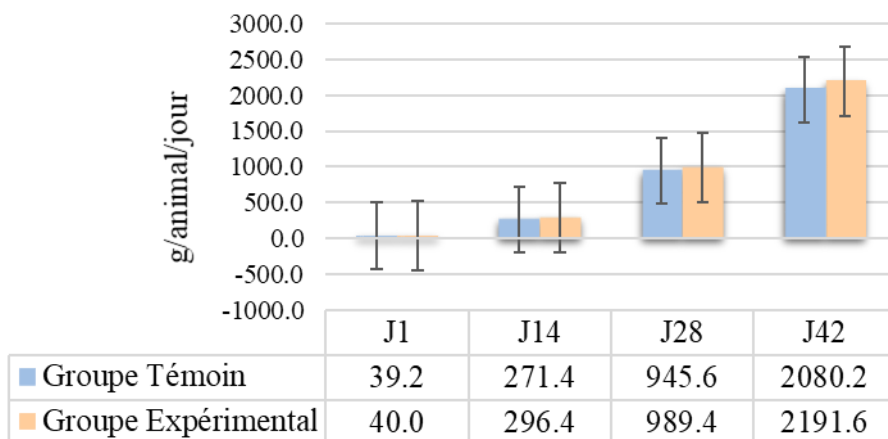


Figure 3. Evolution pondérale selon les groupes des animaux durant les différentes périodes selon le type de ration reçue

Les gains moyens quotidiens (GMQ) et les indices de consommation (IC) en ont été ainsi déduits (**Tableau 2**). Le GMQ qui constitue un indicateur de la vitesse croissance des animaux est passé de $17,9\pm 2,2$ g/animal/jour en période de démarrage à $81,0\pm 7,4$ g/animal/jour en période de finition pour les animaux du groupe témoin alors que pour les animaux du groupe expérimental, il est passé de $19,7\pm 1,7$ g/animal/jour en phase de démarrage à $85,9\pm 6,4$ g/animal/jour en période de finition. L'analyse statistique n'a cependant pas montré de différences significatives ($P>0,05$) pour toutes les périodes où ces gains de poids ont été calculés.

Tableau 2. Gains moyens quotidiens (GMQ) et indices de consommation (IC) selon les groupes des animaux durant les différentes périodes en fonction du type de ration reçue

	Démarrage (T)	Démarrage (E)	P>F	SEM
GMQ g/animal/j	17,9 ^a	19,7 ^a	0,2	0,9
IC	1,8 ^a	1,8 ^a	1,0	0,06
	Croissance (T)	Croissance (E)	P>F	SEM
GMQ g/animal/j	48,2 ^a	49,5 ^a	0,8	3,6
IC	1,7 ^a	1,8 ^a	0,6	0,09
	Finition (T)	Finition (E)	P>F	SEM
GMQ g/animal/j	81,0 ^a	85,9 ^a	0,3	3,5
IC	1,9 ^a	1,8 ^a	0,3	0,09

L'IC constitue le ratio qui mesure la conversion de la quantité d'aliment consommé en poids vif corporel. Durant toutes les six (6) semaines de l'étude, il a pratiquement été le même pour les deux (2) groupes de volailles. Pour le groupe témoin il a varié de 1,8 en période de démarrage à 1,9 en période de finition avec une baisse à 1,7 en période de croissance tandis

que pour le groupe expérimental, il est resté constant à 1,8 au long des différentes périodes. Aucune différence significative ($P>0,05$) n'a cependant été observée lors de l'analyse statistique.

A la fin de l'étude, 50% des sujets, selon les différents lots, ont été abattus et leur carcasse pesée (**Tableau 3**). Le poids carcasse moyen obtenu est de $1566\pm 167,9$ g/animal pour le groupe témoin et de $1649,7\pm 110,6$ g/animal pour le groupe expérimental. C'est ainsi que les rendements de carcasse obtenus pour les deux (2) groupes de sujets ont été exactement les mêmes, soit 75,3%. Aucune différence significative n'a été notée avec l'analyse statistique ($P>0,05$).

Tableau 3. Poids des carcasses obtenus à partir des poids vifs au 42^{ème} jour de l'expérimentation et rendements de carcasse selon les groupes animaux

	Groupe Témoin	Groupe Expérimental	P>F	SEM
Poids vif à 42 j (kg)	2080,2 ^a	2191,6 ^a	0,4	90,2
Poids carcasse (kg)	1566,0 ^a	1649,7 ^a	0,4	71,1
Rendement carcasse (%)	75,3 ^a	75,3 ^a	1,0	0,2

Discussion

Composition nutritionnelle des aliments

Les régimes alimentaires ont, du point de vue nutritionnel, présenté des caractéristiques similaires. Les valeurs moyennes en EM sont d'environ 3300 kcal/g MS pour les aliments de type démarrage aussi bien concernant la ration témoin qu'expérimentale et d'environ 3200 kcal/kg MS pour les aliments de type finition aussi bien concernant la ration témoin qu'expérimentale. Par contre, une légère différence est observée pour l'aliment de type croissance qui présente des valeurs un peu plus élevées avec la ration expérimentale (3411,7 vs. 3367,7 kcal/kg MS). Par ailleurs, les valeurs en PB sont d'environ de 21% MS pour les rations de type croissance concernant les deux rations et d'environ de 20% MS pour les rations de type finition concernant les deux rations. Une différence est, cependant notée, avec la ration de type croissance qui présente une valeur plus élevée avec la ration témoin (23,8 vs. 20,5% MS). Les caractéristiques nutritionnelles des différentes rations sont, pour ce qui concernent notamment l'EM, sensiblement plus élevée que les recommandations (INRA, 1989; IEMVT, 1991; Larbier & Leclercq, 1992). Les apports en PB sont, par contre, conformes aux recommandations sauf pour l'aliment de type démarrage de la ration expérimentale qui sont sensiblement plus faibles. Ces observations correspondent à celles faites par Cisse *et al.* (1997) ainsi que Cisse *et al.* (2001) qui ont évalué la qualité nutritionnelle de la plupart des aliments du commerce, destinés aux volailles et produits aux Sénégal. Il faut noter que l'efficacité alimentaire est proportionnelle à

l'augmentation des protéines alimentaires (Smith & Pesti, 1998) qui influent l'adiposité des animaux (Leclercq & Beaumont, 2000).

Performances zootechniques

Les traitements n'ont pas eu d'effets significatifs sur l'ingestion alimentaire ainsi que sur la consommation hydrique ($P > 0,05$). Au long de l'essai, chaque animal a consommé durant les phases de démarrage, croissance et finition respectivement 31,8 ; 82,5 et 153,3 g/jour pour les animaux du groupe témoin contre 35,4 ; 87,5 et 158,5 g/jour pour les animaux du groupe expérimental. La consommation hydrique a été pour les différentes phases respectivement de 92,3 ; 236,5 et 407,0 ml/jour pour chaque animal du groupe témoin contre 103,5 ; 240,0 et 432,2 ml/jour pour chaque animal du groupe expérimental. Ces résultats se rapprochent de ceux de Hien *et al.* (2018) qui, avec la même souche de volaille, a obtenu des ingestions maximales de 31,2 ; 94,7 et 161 g/sujet/jour pour, respectivement, les périodes de démarrage, croissance et finition avec des rations à base de maïs qui ont néanmoins présenté des niveaux énergétiques plus faibles, variant de 3021,7 à 3196,1 kcal/kg MS pour les trois périodes. Ces résultats se sont révélés plus élevés que ceux obtenus par Tossou *et al.* (2014) ainsi que Faraji *et al.* (2019) aussi bien pour ce qui concerne les ingestions alimentaires que les consommations hydriques avec les mêmes souches de volailles. Damani Kuhi *et al.* (2019) ainsi que Lu *et al.* (2020) ont obtenu des tendances similaires respectivement avec des cailles japonaises et des porcs. Les valeurs obtenues de l'ingestion alimentaire se sont avérées supérieures à celles d'Adzona *et al.* (2019) qui ont obtenu durant la phase finition une valeur de 145,03 g/sujet/jour avec des souches de volailles identiques nourries de manière fractionnée, séparée et séquentielle. Les valeurs obtenues pour la consommation hydrique sont en deçà de celles obtenues par Adzona *et al.* (2019) qui, en période de finition, sont arrivés à 516,4 ml/sujet/jour.

L'adjonction de 0,06% d'AGA a, de manière générale, influé sur l'ingestion alimentaire ainsi que sur la consommation hydrique des poulets de chair même si cette influence n'a pas été très significative par rapport au groupe témoin, confirmant les observations de Tossenberger *et al.* (2016), Tabatabaei *et al.* (2017) ainsi que celles de Ceylan *et al.* (2021). Par contre, Abudabos *et al.* (2014) ainsi que Ren *et al.* (2018) ont montré que cette adjonction n'a pas influé sur l'ingestion alimentaire chez les volailles.

Les poids vifs obtenus sont, en fin des différentes phases d'élevage, pour chaque animal, respectivement de 271,4 ; 945,6 et 2080,2 g pour le groupe témoin et de 296,4 ; 989,4 et 2191,6 g pour le groupe expérimental. Ces résultats confirment ceux de Lemme *et al.* (2007) qui ont obtenu des valeurs sensiblement plus élevées que le groupe témoin pour la même souche de volaille nourrie d'une ration enrichie avec 0,06% d'Acide Guanidino

Acétique (AGA). Ils obtiennent néanmoins de meilleures valeurs avec une ration enrichie avec 0,04% d'AGA. L'addition dans la ration de 0,06% d'AGA a eu une influence positive sur la croissance pondérale des volailles de chair dans le groupe expérimental comparativement à celles du groupe témoin, même si cette influence n'a pas été très significative. Elle est, cependant conforme à l'évolution de l'ingestion alimentaire et celle hydrique. Abudabos *et al.* (2014) obtient des résultats similaires à notre étude malgré des niveaux d'ingestion alimentaire différents alors pour Dilger *et al.* (2013) à des niveaux de plus en plus élevés de GAA, aucune autre réponse en termes de gain de poids ou d'efficacité alimentaire n'a été observée.

Les gains moyens quotidiens obtenus sont pour chaque animal, en fin de chaque période respectivement de 17,5 ; 48,2 et 81,0 g pour le groupe témoin et de 19,4 ; 49,5 et 85,9 g pour le groupe expérimental. Ces résultats, qui confirment ceux obtenus par Lemme *et al.* (2007) ainsi que Ceylan *et al.* (2021) avec les mêmes niveaux d'incorporation d'AGA et sont meilleurs que ceux obtenus par Tossou *et al.* (2014) avec la même souche de volaille. Il est à noter une influence positive de l'addition de 0,06% d'AGA dans la ration sur le gain moyen quotidien des volailles de chair dans le groupe expérimental comparativement à celles du groupe témoin, même si cette influence n'a pas été significative.

Au cours des différentes phases d'élevage, l'indice de consommation des différents groupes n'a pas varié de manière significative. Les indices de consommations enregistrées sont en moyenne pour les différents groupes de 1,8. Ces valeurs sont sensiblement comparables à celles obtenues par Ceylan *et al.* (2021) qui ont enregistré des valeurs de 1,7 avec des niveaux d'incorporation en AGA de 0,06%. Cette valeur de 1,7 est obtenue Ringel *et al.* (2007) mais pour un niveau d'adjonction de 0,04% d'AGA. Tossenberger *et al.* (2016) notent qu'une supplémentation à 0,6 g d'AGA/kg d'aliment n'améliore pas l'indice de consommation des animaux qui a atteint des valeurs d'environ 1,5 tandis que Tabatabaei *et al.* (2017) ainsi que El-Faham *et al.* (2019) ont observé que l'indice de consommation a été amélioré par les additifs alimentaires (AGA).

Les poids moyens des carcasses sont, respectivement pour les groupes témoin et expérimental, de 1566 g et 1649,7 g sans différence significative ($P > 0,05$). L'adjonction d'AGA a permis d'obtenir des carcasses sensiblement plus lourdes. Par contre, le rendement obtenu pour les différentes carcasses a été exactement le même pour les deux groupes de volailles, 75,3%. Ce dernier est conforme à ceux de Tossou *et al.* (2014) et Mebanga *et al.* (2020) qui ont obtenu, respectivement 74,9% et 75,5% avec la même souche de volaille nourrie avec un aliment classique et un aliment dans lequel le maïs est partiellement substitué partiellement par des drêches artisanales. Par contre, ces résultats sont plus faibles que ceux obtenus par Tossou *et al.* (2014) et

Hien *et al.* (2018) qui notent, respectivement, des rendements de 78,4% et 77,7 avec les mêmes souches de volaille. Abudabos *et al.* (2014), Arafat *et al.* (2017), ainsi que Ceylan *et al.* (2021) avec le même taux d'adjonction en AGA et faisant varier le niveau d'énergie métabolisable, améliorent le rendement carcasse en obtenant respectivement, avec d'autres souches de volaille, un rendement carcasse maximum de 71,5 ; 72 et 75%. Ainsi, de manière générale, l'incorporation de 0,06% d'AGA dans l'alimentation des poulets de chair n'a pas de répercussions marquantes sur le rendement des carcasses obtenues. Ainsi, le rendement de carcasse est lié à la qualité de l'aliment outre la souche de poulets de chair. La teneur en matières indigestibles pourrait faire baisser ce rendement en augmentant le poids relatif des organes de la digestion (Kana *et al.*, 2015).

Conclusion

L'additif CreAMINO® est une préparation chimique d'Acide Guanidino Acétique (AGA) qui est considéré comme le seul précurseur immédiat de la créatine dans le corps des animaux. La créatine est naturellement synthétisée dans le foie et les reins des oiseaux à partir de l'AGA. Des études précédentes ont montré des effets positifs et significatifs de l'incorporation de l'Acide Guanidino Acétique sur les performances de croissance des volailles (Esmaeili *et al.*, 2017), notamment des poulets de chairs (El-Sanhouri *et al.*, 2017). C'est dans ce sens que cette étude qui avait pour objectif principale de déterminer les effets de l'incorporation de l'Acide Guanidino Acétique dans l'alimentation des poulets de chairs a été menée pour la première fois au Sénégal. Globalement, il a été noté que durant l'expérience, l'Acide Guanidino Acétique (AGA) a eu un effet, bien que non significatif, sur les performances zootechniques à savoir les ingestions alimentaire et hydrique, l'évolution pondérale, le gain moyen quotidien, l'indice de consommation ainsi que le rendement de carcasse après abattage. L'influence de l'AGA n'a, cependant, pas été significative par rapport au groupe témoin. Ces résultats sont soutenus par ceux rapportés par Lemme *et al.* (2007) et Córdova-Noboa *et al.* (2018). Le niveau d'énergie métabolisable pourrait être ajusté à la baisse de manière à réduire le coût d'alimentation sans perte de performances. Par ailleurs, les études ultérieures devraient également faire varier la quantité d'AGA utilisée de manière à obtenir un aliment permettant d'obtenir des performances zootechniques optimales en restant économique rentable.

Remerciements

Les auteurs remercient la Nouvelle Minoterie Africaine (NMA) du Sénégal pour avoir mis les conditions matérielles de réalisation de ce travail.

Déclaration des droits des animaux

En l'absence d'une réglementation appropriée sur l'utilisation des animaux pour la recherche et le bien-être des animaux lors d'expériences au Sénégal, les protocoles ont cependant été menés selon les meilleures pratiques habituellement acceptées par L'Université Iba Der THIAM de Thiès lors de la conduite d'expériences similaires.

Conflits d'intérêts: Les auteurs déclarent n'avoir aucun conflit d'intérêt.

References:

1. Aboe, P.A.T., Boa-Amponsem, K., Okantah, S.A., Butler, E.A., Dorward, P.T., & Bryant, M.J. (2006). Free-range village chickens on the Accra Plains, Ghana: their husbandry and productivity. *Tropical Animal Health and Production*, 38, 235-248.
2. Abudabos, A.M., Saleh, F., Lemme, A., & Zakaria, H.A. (2014). The relationship between guanidino acetic acid and metabolisable energy level of diets on performance of broiler chickens. *Italian Journal of Animal Science*, 13(3), 548-556.
3. Adzona, P.P., Bonou, G.A., Bati, J.B., Ndinga, F.A., Onzomoko, L.D., Itoua, P.L., Kiki, P.S., Dotchet, I.O., Banga-Mboko, H., & Youssao, A.K. (2019). Influence du tourteau de sésame en alimentation fractionnée séparée et séquentielle sur les performances zootechniques et économiques du poulet de chair standard de la souche Cobb 500. *Revue Internationale des Sciences Appliquées*, 2(1), 1-11.
4. ANSD (2022). Situation économique et sociale 2019. Ministère de l'Économie, du Plan et de la Coopération, Dakar, Sénégal, 310p.
5. AOAC (2007). *Agricultural chemicals. Official methods of analysis*. 18th ed. Vol. 1. Gaithersburg (MD): Association of Official Analytical Chemists, 69p.
6. Apata, D.F. & Ojo, Y. (2000). Efficacy of the *Trichoderma viride* enzyme complex in broiler starter fed cowpea Testa Based Diets. *Proceedings of 25th Annual Conference of Nigerian Society for Animal Production*. March 19-23, 2000, 132-134.
7. Arafa, A.S. M., El-Faham, A.I., Abdallah, A.G., & El-Sanhoury, M.H.S. (2017). Effect of guanido acetic acid with or without amino acids and feed enzyme on performance, carcass characteristics and economic efficiency in broilers fed a corn/soy-based diets. *Egyptian Journal of Nutrition and Feeds*, 20(2 Special), 93-102.
8. Bebay, C.E. (2006). Première évaluation de la structure et de l'importance du secteur avicole commercial et familial en Afrique de l'Ouest : synthèse des rapports nationaux (Bénin, Cameroun, Mali,

- Niger, Sénégal, Togo), Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture : Rome, 47p.
9. Bigot, K., Tesseraud, S., Taouis, M., & Picard, M. (2001). Alimentation néonatale et développement précoce du poulet de chair. *INRA Productions animales*, 14(4), 219-230.
 10. Brosnan, J.T. & Brosnan, M.E. (2010). Creatine metabolism and the urea cycle. *Molecular genetics and metabolism*, 100, S49-S52.
 11. Brosnan, M.E. & Brosnan, J.T. (2016). The role of dietary creatine. *Amino Acids*, 48(8), 1785-1791.
 12. Brosnan, J.T., Wijekoon, E.P., Warford-Woolgar, L., Trotter, N.L., Brosnan, M.E., Brunton, J.A., & Bertolo, R.F. (2009). Creatine synthesis is a major metabolic process in neonatal piglets and has important implications for amino acid metabolism and methyl balance. *The Journal of Nutrition*, 139(7), 1292-1297.
 13. Ceylan, N., Koca, S., Adabi, S.G., Adabi, S.G., Kahraman, N., Bhaya, M.N., & Bozkurt, M.F. (2021). Effects of dietary energy level and guanidino acetic acid supplementation on growth performance, carcass quality and intestinal architecture of broilers. *Czech Journal of Animal Science*, 66(7), 281-291.
 14. Cisse, M., Ly, I., NDoye, N.D., & Arbelot, B. (1997). Analytical characteristics of commercial poultry diets in Senegal. *Revue de Medecine Veterinaire*, 148(11), 883-892.
 15. Cissé, M., Ly, I., Missohou, A., Ndiagne, N.D., Kâ, F., Boye, C.M.B., & Korréa, A. (2001). Efficacité des aliments du commerce chez le poulet de chair au Sénégal. *Cahiers Agricultures*, 10(1), 57-61.
 16. Córdova-Noboa, H.A., Oviedo-Rondón, E.O., Sarsour, A.H., Barnes, J., Sapkota, D., López, D., Gross, L., Rademacher-Heilshorn, M., & Braun, U. (2018). Effect of guanidinoacetic acid supplementation on live performance, meat quality, pectoral myopathies and blood parameters of male broilers fed corn-based diets with or without poultry by-products. *Poultry Science*, 97(7), 2494–2505.
 17. Dahouda, M., Toleba, S.S., Senou, M., Youssao, A.K.I., Hambuckers, A., & Hornick, J.-L. (2009). Les ressources alimentaires non-conventionnelles utilisables pour la production aviaire en Afrique : valeurs nutritionnelles et contraintes. *Annales de Médecine Vétérinaire*, 153, 5-21.
 18. Darmani Kuhi, H., Tavakolli, P., Mohit, A., & Mohammad Poor, F. (2019). Effects of dietary supplementation of Guanidino acetic acid and L-arginine on performance, blood metabolites and carcass characteristics of Japanese quails. *Animal Production Research*, 8(2), 1-10.

19. Dilger, R.N., Bryant-Angeloni, K., Payne, R.L., Lemme, A., & Parsons, C.M. (2013). Dietary guanidino acetic acid is an efficacious replacement for arginine for young chicks. *Poultry science*, 92(1), 171-177.
20. Drogoul, C., Raymond, G., Marie-Madeleine, J., Roland, J., Lisberney, M.J., Mangeol, B., Montaméas, L., Tarrit, A., Danvy, J.-L., & Soyer, B. (2013). *Nutrition et alimentation des animaux d'élevage-tome 2 : L'alimentation des monogastriques et des polygastriques*, 2, Educagri Editions, 312p.
21. El-Faham, A.I., Abdallah, A.G., El-Sanhoury, M.H.S., Ali, N.G., Abdelaziz, M.A.M., Abdelhady, A.Y.M., & Arafa, A.S.M. (2019). Effect of graded levels of guanidine acetic acid in low protein broiler diets on performance and carcass parameters. *Egyptian Journal of Nutrition and Feeds*, 22(2 Special), 223-233.
22. El-Sanhoury, M.H.S., Abdallah, A.G., El-Faham, A.I., & Arafa, A.S.M. (2017). Effect of Guanidino Acetic Acid with or without amino acids and feed enzyme on performance, carcass characteristics and economic efficiency in broilers fed a corn/soy-based diets. *Egyptian Journal Nutrition and Feeds*, 20(2 Special), 93-102.
23. Esmaeili, H., Mosavi, S., Eila, N., & Mohammadi, H. (2017). Effects of ideal ratios of digestible Arg: Lys with or without guanidino acetic acid on growth performance and carcass traits of turkey poults. *Animal Sciences Journal*, 30(116), 205-218.
24. Faraji, M., Karimi Dehkordi, S., Zamiani Moghadam, A.K., Ahmadipour, B., & Khajali, F. (2019). Combined effects of guanidinoacetic acid, coenzyme Q10 and taurine on growth performance, gene expression and ascites mortality in broiler chickens. *Journal of animal physiology and animal nutrition*, 103(1), 162-169.
25. Fryer, C. & Rademacher, M. (2013). Using a creatine source to improve broiler performance. *AFMA Matrix*, 22(3), 29-31.
26. Guilhermet, R.G. (1996). Fonctions nutritionnelles et métaboliques de l'arginine. *INRA Productions Animales*, 9(4), 265-272.
27. Hien, O.C., Salissou, I., Ouedraogo, A., Ouattara, L., Diarra, B., & Hancock, J.D. (2018). Effets comparés de rations à base des variétés de maïs « ESPOIR » et de maïs « SR21 » sur la productivité du poulet de chair de souche Cobb-500. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 12(4), 1557-1570.
28. IEMVT (1991). *Aviculture en zone tropicale*. Ministère des relations extérieures, République française, 2^{ème} Ed., 186p.
29. INRA (1989). *L'alimentation des animaux monogastriques : porc, lapin, volailles*. 2^{ème} Ed. Paris, 282p.

30. Kana, J.R., Doue, M., Kreman, K., Diarra, M., Mube, K.H., Ngouana, T.R., & Tegua, A. (2015). Effet du taux d'incorporation de la farine de patate douce crue dans l'aliment sur les performances de croissance du poulet de chair. *Journal of Applied Biosciences*, 91, 8539–8546.
31. Kenis, M., Kone, N., Chrysostome, C.A.A.M., Devis, E., Koko, G.K.D., Clotey, V.A., Nacambo, S., & Mensah, G.A. (2014). Insects used for animal feed in West Africa. *Entomologia*, 2(218), 107-114.
32. Larbier, M. & Leclercq, M. (1992). *Nutrition et alimentation des volailles*. INRA éditions, 358p.
33. Khakran, G., Chamani, M., Foroudi, F., Sadeghi, A. A., & Afshar, M. A. (2018). Effect of guanidine acetic acid addition to corn-soybean meal based diets on productive performance, blood biochemical parameters and reproductive hormones of laying hens. *Kafkas Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi*, 24(1), 99-105.
34. Leclercq, B. & Beaumont, C. (2000). Etude par simulation de la réponse des troupeaux de volailles aux apports d'acides aminés et de protéines. *INRA Productions Animales*, 13(1), 47-59.
35. Lemme, A., Ringel, J., Rostagno, H.S., & Redshaw, M.S. (2007). Supplemental guanidino acetic acid improved feed conversion, weight gain, and breast meat yield in male and female broilers. In *Proceedings of the 16th European Symposium on Poultry Nutrition*, 335-338.
36. Lu, Y., Zou, T., Wang, Z., Yang, J., Li, L., Guo, X., He, Q., Chen, L., & You, J. (2020). Dietary guanidinoacetic acid improves the growth performance and skeletal muscle development of finishing pigs through changing myogenic gene expression and myofibre characteristics. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 104(6), 1875-1883.
37. Mebanga, S.A., Fooba, K.P., & Mamoudou, A. (2020). Essais de la substitution partielle du maïs dans l'alimentation par la drêche artisanale séchée sur les performances zootechniques des poulets de chair. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 2020, 14(3), 859–868.
38. MEPA (2019). *Actualisation des paramètres techniques de la filière avicole au Sénégal. Rapport paramètre technique-Aviculture-Final*, Dakar, 10-13.
39. Pousga, S., Boly, H., Linderberg, J.E., & Ogle, B. (2005). Scavenging pullets in Burkina Faso: Effect of season, location and breed on feed and nutrient intake. *Tropical Animal Health and Production*, 37, 623-634
40. Ren, Q.C., Xuan, J.J., Yan, X.C., Hu, Z.Z., & Wang, F. (2018). Effects of dietary supplementation of guanidino acetic acid on growth performance, thigh meat quality and development of small intestine in

- Partridge-Shank broilers. *The Journal of Agricultural Science*, 156(9), 1130-1137.
41. Ringel, J., Lemme, A., Knox, A., McNab, J., & Redshaw, M.S. (2007). Effects of graded levels of creatine and guanidino acetic acid in vegetable-based diets on performance and biochemical parameters in muscle tissue. In *Proceedings of the 16th European Symposium on Poultry Nutrition*, 387-390.
 42. Ringel, J., Lemme, A., & Araujo, L.F. (2008). The effect of supplemental guanidino acetic acid in Brazilian type broiler diets at summer conditions. *Poultry Science*, 87, 154-154.
 43. Sanchez, A., Plouzeau, M., Rault, P., & Picard, M. (2000). Croissance musculaire et fonction cardio-respiratoire chez le poulet de chair. *INRA Productions Animales*, 13(1), 37-45.
 44. Sibbald, I.R. (1980). Metabolizable energy in poultry nutrition. *BioScience*, 30(11), 736-741.
 45. Smith, E.R. & Pesti, G.M. (1998). Influence of broiler strain cross and dietary protein on the performance of broilers. *Poultry Science*, 77(2), 276-281.
 46. Tabatabaei Yazdi, F., Golian, A., Zarghi, H., & Varidi, M. (2017). Effect of wheat-soy diet nutrient density and guanidine acetic acid supplementation on performance and energy metabolism in broiler chickens. *Italian Journal of Animal Science*, 16(4), 593-600.
 47. Tesseraud, S., Bouvarel, I., Frayssé, P., Métayer-Coustard, S., Collin, A., Lessire, M., & Berri, C. (2014). Optimiser la composition corporelle et la qualité des viandes de volailles en modulant le métabolisme par les acides aminés alimentaires. *INRA Productions Animales*, 27(5), 337-346.
 48. Tossenberger, J., Rademacher, M., Németh, K., Halas, V., & Lemme, A.J.P.S. (2016). Digestibility and metabolism of dietary guanidino acetic acid fed to broilers. *Poultry Science*, 95(9), 2058-2067.
 49. Tossou, L.M., Houndonougbo, M., Abiola, F., & Chrysostome, C. (2014). Etude comparée des performances de production et de la qualité organoleptique de la viande de trois souches de poulets chair (Hubbard, Cobb et Ross) élevés au Bénin. *Sciences de la vie, de la terre et agronomie*, 2(1), 30-35.
 50. Waguespack, A.M., Powell, S., Bidner, T.D., Payne, R.L., & Southern, L.L. (2009). Effect of incremental levels of L-lysine and determination of the limiting amino acids in low crude protein corn-soybean meal diets for broilers. *Poultry Science*, 88(6), 1216-1226.
 51. Wu, G. & Morris Jr, S.M. (1998). Arginine metabolism: nitric oxide and beyond. *Biochemical Journal*, 336(1), 1-17.

52. Wyss, M., & Kaddurah-Daouk, R. (2000). Creatine and creatinine metabolism. *Physiological reviews*, 80(3), 1107-1213.