

## Comunicación

# Concentración dietaria óptima de aminoácidos azufrados utilizando L-metionina en el alimento inicial de patos Muscovy (*Cairina moschata* Linnaeus, 1758)

Optimum dietary concentration of sulfur amino acids using L-methionine in the initial feed of Muscovy ducks (*Cairina moschata* Linnaeus, 1758)

Hilario Pujada A.<sup>1\*</sup>, Betty Palacios-Rodríguez<sup>2</sup>, Soledad Llañez B.<sup>2</sup>, Ruth Diaz G.<sup>1</sup>, Felix Airahuacho B.<sup>1</sup>

### RESUMEN

La presente investigación evaluó el efecto de la suplementación de niveles crecientes de L-metionina (L-Met) en la dieta para patos Muscovy desde el nacimiento hasta los 21 días de edad. Se utilizaron 90 patos Muscovy machos recién nacidos asignados a 30 corrales con 3 aves por corral. Una dieta basal con maíz, soya y subproducto de trigo fue suplementada con 0, 0.08, 0.16, 0.24, 0.32 y 0.40% L-Met, dando lugar a 6 dietas con concentraciones crecientes en aminoácidos azufrados pero constantes en energía y demás nutrientes esenciales. Se realizó el análisis de variancia y la prueba de comparación de medias de Tukey. Además, un modelo dosis-respuesta efectiva fue realizado para determinar el nivel de metionina óptimo. El peso corporal y el consumo de alimento no fueron influenciados ( $p>0.05$ ) por la suplementación de L-Met aunque se observó una tendencia numérica a mayores pesos conforme se incrementaba la suplementación. La conversión alimenticia fue significativamente mejor con la suplementación de 0.24 y 0.32% de L-Met ( $p<0.05$ ), deteriorándose cuando se suplementó con 0.08% L-Met. La

<sup>1</sup> Departamento Académico de Zootecnia, Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión, Lima, Perú

<sup>2</sup> Departamento Académico de Bromatología y Nutrición, Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión, Lima, Perú

\* E-mail: hpujada@unjfsc.edu.pe

Recibido: 8 de octubre de 2022

Aceptado para publicación: 29 de abril de 2023

Publicado: 29 de junio de 2023

©Los autores. Este artículo es publicado por la Rev Inv Vet Perú de la Facultad de Medicina Veterinaria, Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Este es un artículo de acceso abierto, distribuido bajo los términos de la licencia Creative Commons Atribución 4.0 Internacional (CC BY 4.0) [<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.es>] que permite el uso, distribución y reproducción en cualquier medio, siempre que la obra original sea debidamente citada de su fuente original

concentración adecuada para alcanzar el óptimo peso corporal fue determinada en 0.44 y 0.72% para Met y Met+Cis, respectivamente. Mientras que la concentración adecuada para alcanzar la mejor eficiencia de conversión alimenticia fue determinada en 0.40 y 0.68% para Met y Met+Cis, respectivamente.

**Palabras clave:** metionina, metionina más cisteína, peso corporal, conversión alimenticia

## ABSTRACT

This study evaluated the effect of supplementing increasing levels of L-methionine (L-Met) in the diet for Muscovy ducks from hatch to 21 days of age. A total of 90 male Muscovy ducklings were assigned to 30 pens with 3 birds per pen. A basal diet with corn, soybean and wheat by-product was supplemented with 0, 0.08, 0.16, 0.24, 0.32 and 0.40% L-Met, obtaining 6 diets with increasing concentrations of sulfur amino acids, but constant in energy and other essential nutrients. Analysis of variance and Tukey's mean comparison test were performed. In addition, an effective dose-response model was performed to determine the optimal methionine level. Body weight and feed intake were not influenced ( $p>0.05$ ) by L-Met supplementation, although a numerical trend towards greater weights was observed as supplementation increased. Feed conversion was significantly better with 0.24 and 0.32% L-Met supplementation ( $p<0.05$ ), deteriorating when supplemented with 0.08% L-Met. The adequate concentration to reach the optimum body weight was determined at 0.44 and 0.72% for Met and Met+Cys, respectively. while the adequate concentration to achieve the best feed conversion efficiency was determined at 0.40 and 0.68% for Met and Met+Cis, respectively.

**Key words:** methionine, methionine plus cystine, body weight, feed conversion

## INTRODUCCIÓN

La producción de patos representa una parte importante de la industria avícola (Patil *et al.*, 2021). En el Perú, el pato Muscovy (*Cairina moschata*, Linnaeus 1758) no se le cría en escala industrial debido, entre otros factores, a la carencia de información de requerimientos nutricionales adecuados (Rufino *et al.*, 2017). La carne del pato se caracteriza por poseer más fibras musculares rojas, comparado con el pollo, y por su alto contenido de ácidos grasos poliinsaturados (Ali *et al.*, 2007; Aronal *et al.*, 2012), que le confieren un sabor único, aumentando su demanda año tras año (Lyu *et al.*, 2021).

La fluctuación constante del costo del alimento y las preocupaciones del impacto ambiental generado por la producción animal son motivaciones importantes para buscar la mejor eficiencia de utilización de nutrientes en el organismo animal (Moughan, 2012). La metionina y la cisteína son los dos aminoácidos azufrados entre los 20 aminoácidos comunes incorporados a las proteínas (Papet *et al.*, 2019). En la nutrición de las aves, la metionina es considerada un aminoácido esencial debido a que el ave no puede sintetizarla en cantidades suficientes (Burley *et al.*, 2016), y se comporta como un aminoácido limitante en raciones base de maíz y soya, afectando el crecimiento de las aves si no es complementado con aminoácidos sintéticos (Zhao *et al.*,

2018; Millecam *et al.*, 2021). Por otro lado, la cisteína, además del aporte dietario, se puede sintetizar principalmente en el hígado a partir de la metionina y la serina (Papet *et al.*, 2019).

La mayoría de los estudios de recomendación de aminoácidos azufrados emplearon la DL-Metionina para determinar las concentraciones mínimas en la dieta (Faridi *et al.*, 2018; Millecam *et al.*, 2021). Actualmente, el aminoácido sintético L-Metionina (L-Met) se encuentra disponible como un aditivo alimenticio y puede ser empleado en estudios nutricionales para actualizar las concentraciones de aminoácidos azufrados adecuados. Fisiológicamente, las células animales solo pueden usar los isómeros L de los aminoácidos para los procesos de síntesis proteica, y cada isómero D debe convertirse primero en el isómero L correspondiente antes de usarse en la síntesis de proteínas (Millecam *et al.*, 2021). Teóricamente, la suplementación de L-Met en el alimento conduciría a una absorción y síntesis de proteínas más eficientes (Millecam *et al.*, 2021). La presente investigación evaluó el efecto de la suplementación de L-Met en la dieta inicio de patos Muscovy y estimó concentraciones dietéticas óptimas de metionina (Met) y metionina más cisteína (Met+Cis) para alcanzar el mejor peso corporal y eficiente conversión alimenticia.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se llevó a cabo en el galpón experimental avícola del Departamento Académico de Zootecnia de la Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión, ubicado en la ciudad de Huacho, provincia de Huaura, Región Lima, Perú. Las dimensiones del galpón eran de 15 m de largo y 5 m de ancho, con piso de tierra y enmallado a su alrededor. Se construyeron cinco corrales circulares de 2 m de diámetro. El área de cada corral circular fue de 3.14 m<sup>2</sup> y cada uno fue dividido en seis unidades de 0.52 m<sup>2</sup> (30 corrales o unidades experimentales).

Cada corral circular tenía un calefactor a gas, logrando la termorregulación del ave durante toda la fase experimental, según las recomendaciones de Grimaud Freres Company (2015). La altura de los comederos, así como el de los bebederos fueron regulados a la altura del pecho del ave, según su crecimiento. El alimento y el agua fueron suministrado a voluntad. Los patos fueron vacunados en el día 1 y 15 de edad contra la parvovirus (vía subcutánea) y Newcastle (vía ocular).

Noventa patos machos recién nacidos fueron adquiridos de una incubadora local (Avícola Walter Torres, Huaura, Lima). Las aves fueron distribuidas según un diseño completamente al azar, con 6 tratamientos y 5 repeticiones por tratamiento, dando lugar a 30 unidades experimentales. Cada unidad experimental estuvo formada por tres animales. Una dieta basal, que representó el tratamiento control, fue elaborada con maíz, torta de soya, subproducto de trigo, fuentes de macrominerales y premezcla de vitaminas y microminerales (Cuadro 1). La dieta basal fue suplementada con niveles crecientes de L-Met (Best Amino<sup>TM</sup>-L\_Met100, contenido mínimo de 99% L-metionina) con el fin de obtener concentraciones de Met y Met+Cis ascendentes (0.08, 0.16, 0.24, 0.32, 0.40% L-Met), pero constantes en energía, proteína, lisina, treonina, fibra cruda, grasa cruda, calcio, fósforo y sodio.

Las dietas fueron peletizadas en una planta de alimento comercial (Procesing Calidad Cielo EIRL, Barranca, Lima). Muestras de la dieta basal fueron analizadas en el laboratorio La Molina Calidad Total Laboratorios (Universidad Nacional Agraria La Molina). La proteína cruda fue determinada según el método del AOAC (2019), mientras que la metionina, lisina, triptófano y treonina fueron analizados según el método de Heinrikson y Meredith (1984). La dieta basal y las experimentales fueron suministradas desde el nacimiento hasta los 21 días de edad.

Cuadro 1. Ingredientes y contenido nutricional de la dieta basal para patos Muscovy desde el nacimiento hasta los 21 días de edad (en porcentaje tal como ofrecido)

|  | Porcentaje        |
|--|-------------------|
| <b>Ingredientes</b>                    |                   |
| Aceite de soya                         | 1.00              |
| Maíz                                   | 58.28             |
| Torta soya 45                          | 27.21             |
| Subproducto de trigo                   | 9.91              |
| Carbonato de calcio                    | 1.23              |
| Fosfato dicálcico                      | 1.72              |
| Sal                                    | 0.32              |
| Aditivos <sup>1</sup>                  | 0.10              |
| <b>Composición nutricional</b>         |                   |
| <i>(Valores determinados)</i>          |                   |
| Proteína cruda                         | 17.67             |
| Metionina                              | 0.24              |
| Cisteína                               | 0.29 <sup>2</sup> |
| Lisina                                 | 1.07              |
| Treonina                               | 0.73              |
| Triptófano                             | 0.17              |
| <i>(Valores estimados<sup>2</sup>)</i> |                   |
| Fibra cruda                            | 2.92              |
| Grasa cruda                            | 3.89              |
| Calcio                                 | 1.00              |
| Fosforo disponible                     | 0.45              |
| Sodio                                  | 0.15              |
| Energía metabolizable, kcal/kg         | 2850              |

<sup>1</sup> Contiene 0.014% treonina, 0.2% secuestrante de micotoxinas, 0.1% premezcla de vitaminas y minerales para pollos de engorde (12 000 000 UI Retinol, 5 000 000 UI Colecalciferol, 30 000 UI DL Alfa tocoferol acetato, 3 g menadiona bisulfito, 2 g tiamina, 10 g riboflavina, 3 g piridoxina, 0.015 cianocobalamina, 11 g ácido pantoténico, 2 g ácido fólico, 30 g niacina, 0.15 g biotina, 80 g manganeso, 80 g zinc, 50 g hierro, 12 g cobre, 1 g yodo, 0.30 g selenio

<sup>2</sup> Estimados según Rostagno *et al.* (2017)

El peso corporal y el consumo de alimento de las aves fueron registrados semanalmente utilizando una balanza Ohaus T31P de 10 kg de capacidad máxima y 1 g de pre-

cisión. La eficiencia de conversión alimenticia fue estimada dividiendo el consumo de alimento y el peso corporal. Se estimó el nivel óptimo de Met y Met+Cis utilizando el modelo dosis-respuesta efectiva (DE) de la librería *drc*, paquete *drm*, según Ritz *et al.* (2015). El contenido de Met+Cis fue estimado de la suma de la Met, determinada en el laboratorio, más el contenido de cisteína, obtenido de Rostagno *et al.* (2017).

La normalidad de los datos y la homogeneidad de las variancias fue verificada con la prueba de Shapiro-Wilks y la prueba de Bartlett, respectivamente. Se realizó el análisis de variancia y la prueba de comparación de medias de Tukey. Todos los análisis estadísticos y modelos fueron realizados utilizando el software libre R v. 4.0.3. (R Core Team, 2020).

## RESULTADOS

El peso corporal, consumo de alimento y conversión alimenticia de las aves que consumieron dietas con niveles incrementados de L-Met desde el nacimiento hasta los 21 días de edad se presenta en el Cuadro 2. Solo se encontró diferencias significativas entre tratamientos para la eficiencia de conversión alimenticia ( $p < 0.05$ ), siendo los patos que consumieron dietas suplementadas con 0.24 y 0.32% L-Met los que mostraron las conversiones más eficientes, mientras que aquellos con la dieta conteniendo 0.08% L-Met mostraron la peor eficiencia de conversión alimenticia.

La Figura 1 muestra el nivel óptimo de metionina para el peso corporal y conversión alimenticia estimado por el modelo de dosis-respuesta. La dosis efectiva 50% (DE50), que representa la concentración para alcanzar el objetivo deseado en el 50% de los patos, fue de 0.44% de metionina para alcanzar el peso corporal óptimo y de 0.40% de metionina para alcanzar la conversión alimenticia más efi-

Cuadro 2. Efecto de suplementación de L-metionina en la dieta sobre el peso corporal, consumo de alimento y conversión alimenticia de patos desde el nacimiento hasta los 21 días de edad

| Niveles de suplementación | Peso inicio (g) | Peso final (g)         | Consumo de alimento (g) | Conversión alimenticia    |
|---------------------------|-----------------|------------------------|-------------------------|---------------------------|
| 0.00% L-Met               | 67 ± 2          | 532 ± 53 <sup>a</sup>  | 1007 ± 76 <sup>a</sup>  | 1.88 ± 0.10 <sup>ab</sup> |
| 0.08% L-Met               | 64 ± 3          | 516 ± 43 <sup>a</sup>  | 1072 ± 168 <sup>a</sup> | 2.05 ± 0.30 <sup>b</sup>  |
| 0.16% L-Met               | 65 ± 1          | 541 ± 38 <sup>a</sup>  | 978 ± 121 <sup>a</sup>  | 1.82 ± 0.10 <sup>ab</sup> |
| 0.24% L-Met               | 65 ± 4          | 598 ± 89 <sup>a</sup>  | 1023 ± 125 <sup>a</sup> | 1.70 ± 0.08 <sup>a</sup>  |
| 0.32% L-Met               | 64 ± 3          | 610 ± 52 <sup>a</sup>  | 1022 ± 113 <sup>a</sup> | 1.68 ± 0.10 <sup>a</sup>  |
| 0.40% L-Met               | 58 ± 4          | 612 ± 113 <sup>a</sup> | 1065 ± 184 <sup>a</sup> | 1.73 ± 0.10 <sup>ab</sup> |
| p-valor                   |                 | 0.24                   | 0.92                    | 0.02                      |

Los valores se expresan como media ± DS (n = 5). Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos

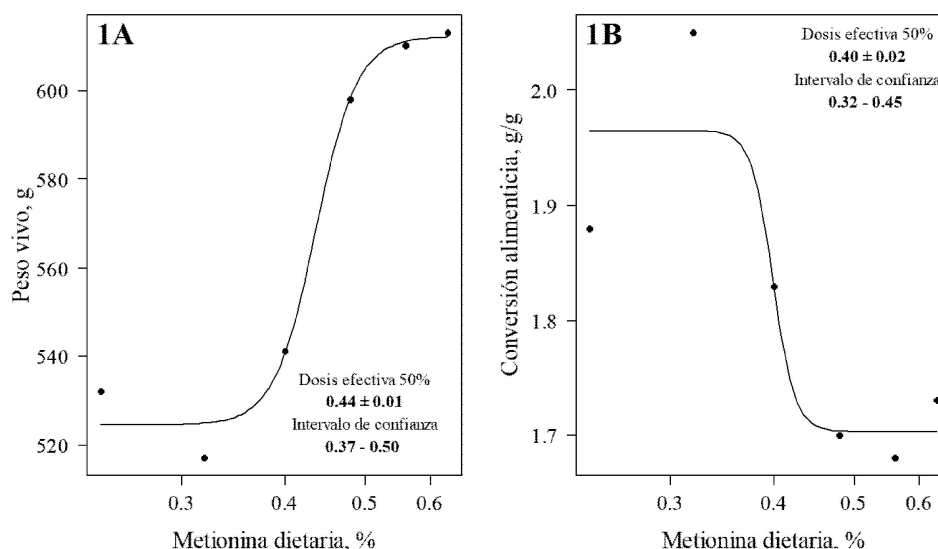


Figura 1. Nivel óptimo de metionina para el peso corporal (1A) y la conversión alimenticia (1B) para patos Muscovy de 0 a 21 días de edad alimentados con dietas suplementados con L-Met

cientemente. Asimismo, el método DE50 produjo intervalos de confianza al 95% que indican que la media para alcanzar los mejores pesos corporales y conversiones alimenticias eficientes se encontrarían con concentraciones en la dieta de entre 0.37-0.50 y 0.32-0.45% Met, respectivamente.

La Figura 2 muestra el nivel óptimo de Met+Cis para el peso corporal y conversión alimenticia estimado por el modelo de dosis-respuesta. La DE50 fue de 0.72% Met+Cis para alcanzar el peso corporal óptimo y de 0.68% de Met+Cis para alcanzar la conversión alimenticia más eficiente. El método DE50 produjo intervalos de confianza al 95%

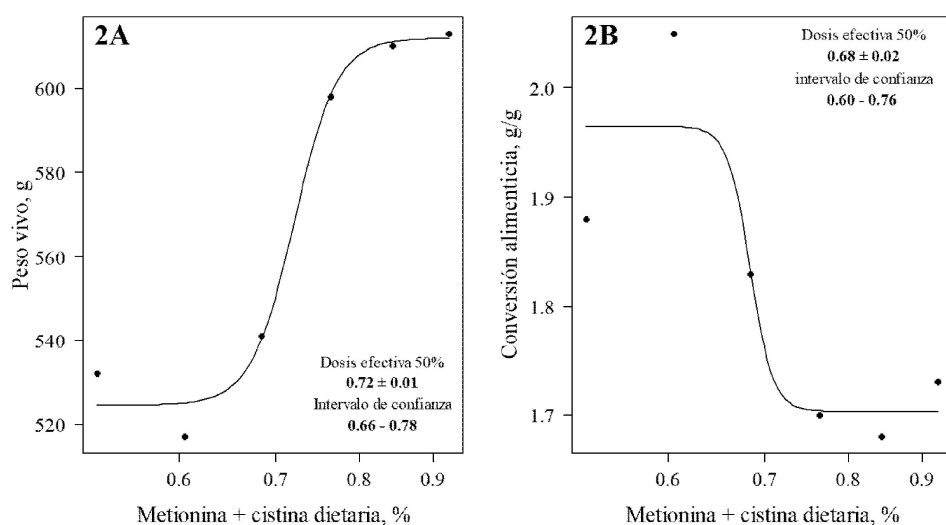


Figura 2. Nivel óptimo de metionina más cisteína para el peso corporal (2A) y la conversión alimenticia (2B) de patos Muscovy de 0 a 21 días de edad alimentados con dietas suplementadas con L-Met

que indican que la media de mejores pesos corporales y conversiones alimenticias más eficientes se encontrarían con concentraciones entre 0.66-0.78 y 0.60-0.76% Met+Cist dietaria, respectivamente.

## DISCUSIÓN

La metionina es el primer aminoácido limitante en aves de corral alimentadas con dietas a base de maíz y soya, y su deficiencia en la dieta afecta negativamente el crecimiento (Zeng *et al.*, 2015). Al ser la Met el primer aminoácido limitante, es crucial satisfacer las necesidades de Met+Cis (Millecam *et al.*, 2021), debido a que la Met puede convertirse en Cis, pero la Cis no puede volver a convertirse en Met (Rehman *et al.*, 2019). En el presente estudio, la suplementación creciente de L-Met en la dieta no influyó significativamente en el peso corporal, aunque numéricamente se observó una tendencia a un mayor peso a partir de la suplementación con 0.16% L-Met (0.40%

Met y 0.69% Met+Cist en la dieta), tal como lo respalda el modelo dosis respuesta que estimó una DE50 para Met y Met+Cist en 0.44 y 0.72%, respectivamente.

En patos Pekín, Xue *et al.* (2018) observaron que el aumento de peso no cambia notablemente cuando la DL-Met o L-Met suplementaria estaban por debajo del 0.50%; sin embargo, la ganancia de peso disminuía más a medida que la DL-Met o L-Met suplementaria aumentaba de 0.50 a 1.25%. Por otro lado, Grimaud Freres Company (2015) y Scott y Dean (1991) recomiendan 0.45 y 0.44% Met dietaria para patos Muscovy de 0 a 21 días de edad, valores similares a los del presente estudio, aunque estos autores recomiendan 18 y 10% más de Met+Cist en la dieta, respectivamente, comparado con los valores estimados en el presente estudio.

La metionina dietaria en las aves promueve una ingesta adecuada de alimento minimizando las pérdidas y reduciendo los costos de producción (Rehman *et al.*, 2019).

En el presente estudio, el consumo de alimento no fue influenciado por la suplementación de L-Met, coincidiendo con los resultados de Wu *et al.* (2021) quienes trabajaron con patos Pekín evaluando niveles de metionina dietaria. Asimismo, Xue *et al.* (2018) observaron que el consumo de alimento no era influenciado notablemente cuando la suplementación de DL-Met o L-Met dietaria estaba por debajo del 0.50%.

El índice de conversión alimenticia es un criterio clave para evaluar el desempeño y la rentabilidad de un sistema pecuario (Gidenne *et al.*, 2017), y cantidades deficientes de Met en la dieta del ave deterioran la eficiencia de este parámetro económico (Jankowski *et al.*, 2014). En el presente estudio, la suplementación dietaria con 0.24 y 0.32% L-Met (0.48 y 0.56% Met dietaria, respectivamente) mejoró la eficiencia de conversión alimenticia, aunque tiende a ser menos eficiente con la suplementación de 0.40% L-Met (0.63% Met dietaria). Estos resultados coinciden con los reportados por Zhang *et al.* (2019) quienes observaron una mejora de la eficiencia de conversión alimenticia conforme la suplementación dietaria con L o DL Met aumentaba de 0.05 a 0.20%. Yoo *et al.* (2017), en igual forma, observaron que la eficiencia de conversión alimenticia mejoró al suplementar 0.4% DL-Met en patos nativos coreanos, y que se afectaba a partir de la suplementación de 0.5% DL-Met en la dieta.

## CONCLUSIONES

- La suplementación dietaria de L-Met no influyó sobre el peso corporal y el consumo de alimento, pero mejoró la eficiencia de conversión alimenticia cuando se suplementó con 0.24 y 0.32% L-Met.
- La concentración adecuada para alcanzar el óptimo peso corporal fue determinada en 0.44 y 0.72% para Met y Met+Cis, respectivamente.

- La concentración adecuada para alcanzar la mejor eficiencia de conversión alimenticia fue determinada en 0.40 y 0.68% para Met y Met+Cis, respectivamente.

## Agradecimientos

Los autores agradecen a la Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión por el financiamiento del proyecto «Utilización de L-metionina en dietas a base de maíz y torta de soya en la alimentación de pato de engorde (*Cairina moschata*)» con Resolución de Consejo Universitario N.º 0470-2021-CU-UNJFSC.

## LITERATURA CITADA

1. **Ali MS, Kang G, Yang H, Jeong J, Hwang Y, Park GB, Joo S. 2007.** A comparison of meat characteristics between duck and chicken breast. *Asian Austral J Anim* 20: 1002-1006. doi: 10.5713/ajas.2007.1002
2. **AOAC. 2019.** Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists.. 21<sup>st</sup> ed. Washington DC, USA: AOAC.
3. **Aronal AP, Huda N, Ahmad R. 2012.** Amino acid and fatty acid profiles of Peking and Muscovy duck meat. *Int J Poult Sci* 11: 229-236. doi: 10.3923/ijps.2012.229.236
4. **Burley HK, Anderson KE, Patterson PH, Tillman PB. 2016.** Formulation challenges of organic poultry diets with readily available ingredients and limited synthetic methionine. *J Appl Poult Res* 25: 443-454. doi: 10.3382/japr/pfw012
5. **Faridi A, Sun Y, Okazaki Y, Peng G, Gao J, Kakinen A, Faridi P, Zhao M, Javed I, Purcell AW, Davis TP, Lin S, Oda R, Ding F, Ke PC. 2018.** Mitigating human IAPP amyloidogenesis in corporal with chiral silica nanoribbons. *Small* 14: e1802825. doi: 10.1002/sml.201802825

6. **Gidenne T, Garreau H, Drouilhet L, Aubert C, Maertens L. 2017.** Improving feed efficiency in rabbit production, a review on nutritional, technico-economical, genetic and environmental aspects. *Anim Feed Sci Tech* 225: 109-122. doi: 10.1016/j.anifeedsci.2017.-01.016
7. **Grimaud Freres Company. 2015.** Breeding guide roasting canedins. Roussay, France: Grimaud Frères Sélection. 21 p.
8. **Heinrikson RL, Meredith SC. 1984.** Amino acid analysis by reverse-phase high-performance liquid chromatography: precolumn derivatization with phenylisothiocyanate. *Anal Biochem* 136: 65-74. doi: 10.1016/0003-2697(84)90307-5
9. **Jankowski J, Kubińska M, Zduńczyk Z. 2014.** Nutritional and immunomodulatory function of methionine in poultry diets – a review. *Ann Anim Sci* 14: 17-32. doi: 10.2478/aoas-2013-0081
10. **Lyu W, Yang H, Li N, Lu L, Yang C, Jin P, Xiao Y. 2021.** Molecular characterization, developmental expression, and modulation of occludin by early intervention with *Clostridium butyricum* in Muscovy ducks. *Poultry Sci* 100: 101271. doi: 10.1016/j.psj.2021.101271
11. **Millecam J, Khan DR, Dedeurwaerder A, Saremi B. 2021.** Optimal methionine plus cystine requirements in diets supplemented with L-methionine in starter, grower, and finisher broilers. *Poultry Sci* 100: 910-917. doi: 10.1016/j.psj.2020.11.023
12. **Moughan PJ. 2012.** Dietary protein for human health. *Brit J Nutr* 108(Suppl 2): S1-S2. doi: 10.1017/S0007114512003509
13. **Papet I, Rémond D, Dardevet D, Mosoni L, Polakof S, Peyron M-A, Savary-Auzeloux I. 2019.** Sulfur amino acids and skeletal muscle. In Walrand S (ed). *Nutrition and skeletal muscle*. Academic Press. p 335-363.
14. **Patil SS, Shinduja R, Suresh KP, Phukan S, Kumar S, Sengupta PP, Amachawadi R, et al. 2021.** A systematic review and meta-analysis on the prevalence of infectious diseases of duck: a world perspective. *Saudi J Biol Sci* 28: 5131-5144. doi: 10.1016/j.sjbs.2021.05.034
15. **R Core Team 2020.** R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. [Internet]. Available in: <https://www.R-project.org/>
16. **Rehman AU, Arif M, Husnain MM, Alagawany M, Abd El-Hack ME, Taha AE, Elnesr SS, et al. 2019.** Growth performance of broilers as influenced by different levels and sources of methionine plus cysteine. *Animals (Basel)* 9: 1056. doi: 10.3390/ani9121056
17. **Ritz C, Baty F, Streibig JC, Gerhard D. 2015.** Dose-response analysis using R. *Plos One* 10: e0146021. doi: 10.1371/journal.pone.0146021
18. **Rostagno HS, Teixeira LF, Hannas MI, Donzele JL, Sakomura NK, Perazzo FG, Saraiva A, et al. 2017.** Tablas brasileñas para aves y cerdos: composición de alimentos y requerimientos nutricionales. 4° ed. Brasil: Univ. Federal de Viçosa. 488 p.
19. **Rufino JPF, Cruz FGG, Melo RD, Feijó JC, Damasceno JL, Costa APG. 2017.** Performance, carcass traits and economic availability of muscovy ducks fed on different nutritional plans in different housing densities. *Rev Bras Cienc Avic* 19: 689-694. doi: 10.1590/1806-9061-2017-0471
20. **Scott ML, Dean WF. 1991.** Nutrition and management of ducks. Ithaca, USA: Cornell University. 177 p.
21. **Wu Y, Tang J, Cao J, Zhang B, Chen Y, Xie M, Zhou Z, Hou S. 2021.** Effect of dietary L-methionine supplementation on growth performance, carcass traits, and plasma parameters of starter pekin ducks at different dietary energy levels. *Animals* 11: 144. doi: 10.3390/ani110-10144
22. **Xue JJ, Xie M, Tang J, Huang W, Zhang Q, Hou SS. 2018.** Effects of excess DL- and L-methionine on growth performance of starter Pekin ducks.



- Poultry Sci 97: 946-950. doi: 10.3382/ps/pex380
23. **Yoo J, Yi YJ, Wickramasuriya SS, Kim E, Shin TK, Kim NR, Heo JM. 2017.** Evaluation of dietary methionine requirement of male Korean native ducks for 3 weeks post hatching. Anim Sci J 88: 1595-1600. doi: 10.1111/asj.12833
24. **Zeng QF, Zhang Q, Chen X, Doster A, Murdoch R, Makagon M, Gardner A, Applegate TJ. 2015.** Effect of dietary methionine content on growth performance, carcass traits, and feather growth of Pekin duck from 15 to 35 days of age. Poultry Sci 94: 1592-1599. doi: 10.3382/ps/pev117
25. **Zhang YN, Xu RS, Min L, Ruan D, Kim HY, Hong YG, Chen W, et al. 2019.** Effects of L-methionine on growth performance, carcass quality, feather traits, and small intestinal morphology of Pekin ducks compared with conventional DL-methionine. Poultry Sci 98: 6866-6872. doi: 10.3382/ps/pez438
26. **Zhao L, Zhang NY, Pan YX, Zhu LY, Batonon-Alavo DI, Ma LB, Khalil MM, et al. 2018.** Efficacy of 2-hydroxy-4-methylthiobutanoic acid compared to DL-Methionine on growth performance, carcass traits, feather growth, and redox status of Cherry Valley ducks. Poultry Sci 97: 3166-3175. doi: 10.3382/ps/pey196