

EFECTO DEL ÁCIDO GUANIDINOACETICO (AGA) SOBRE LOS PARÁMETROS REPRODUCTIVOS DE REPRODUCTORES ROSS 308 AP A PARTIR DE 50 SEMANAS DE EDAD

EFFECT OF GUANIDINOACETIC ACID (GAA) ON THE REPRODUCTIVE PARAMETERS OF ROSS 308 BREEDERS FROM 50 WEEKS OF AGE

Paulo César Saez Murillo¹  Julia Ramírez Sánchez¹ 

Daniel Castro-Salinas¹ 

¹Universidad Nacional de Trujillo, Trujillo, Perú.

Correspondencia:

Mag. Paulo César Saez Murillo
psaez@unitru.edu.pe

Como citar este artículo: Saez, P., Ramírez, J., & Castro-Salinas, D. (2024). Efecto del ácido guanidinoacético (AGA) sobre los parámetros reproductivos de reproductores Ross 308 AP a partir de 50 semanas de edad. *Revista de Investigación Hatun Yachay Wasi*, 3(2). 97 - 105. <https://doi.org/10.57107/hyw.v3i2.76>

RESUMEN

La industria avícola requiere un mayor número de pollitos BB para aumentar sus volúmenes de producción de carne, por lo que es necesario realizar manejos y ajustes nutricionales en los reproductores a fin de mejorar la cantidad de pollitos BB. En ese sentido este estudio tuvo como objetivo evaluar el efecto del ácido guanidinoacético sobre los parámetros reproductivos de reproductores hembra y machos Ross 308 AP. Se utilizaron 1200 reproductores de 50 semanas de edad, distribuidos en un diseño completamente al azar dos tratamientos de 10 repeticiones: T1 (testigo) y T2 (Ácido guanidinoacético, 1kg/tm). Se analizaron el porcentaje de nacimientos, nacimientos fértiles, huevos fértiles, infértiles y la mortalidad embrionaria. Los resultados mostraron que T1 mejoró significativamente los nacimientos totales de y la fertilidad en comparación con el grupo control. Aunque la mortalidad embrionaria no mostró diferencias significativas, entretanto la mortalidad embrionaria no mostró una reducción estadísticamente significativa. En conclusión la suplementación de 1kg/ tm de ácido guanidinoacético en dietas de reproductores Ross 308 AP tiene efectos positivos sobre el nacimiento total de los pollito y la fertilidad de los reproductores.

Palabras Clave: Reproductoras Ross 308AP, eficiencia energética, Incubabilidad, Fertilidad.

ABSTRACT

The poultry industry requires a higher number of day-old chicks to increase meat production volumes, necessitating nutritional and management adjustments for breeders to enhance chick production. This study aimed to evaluate the effect of guanidinoacetic acid on reproductive parameters in female and male Ross 308 AP breeders. A total of 1,200 breeders, aged 50 weeks, were used in a completely randomized design with two treatments and 10 replicates: T1 (control) and T2 (guanidinoacetic acid, 1 kg/ton). Parameters analyzed included birth percentage, fertile births, fertile eggs, infertile eggs, and embryonic mortality. Results showed that T2 significantly improved total births and fertility compared to the control group. Although embryonic mortality did not show significant differences, it also did not demonstrate a statistically significant reduction. In conclusion, the supplementation of 1 kg/ton guanidinoacetic acid in the diets of Ross 308 AP breeders has positive effects on total chick births and breeder fertility.

Keywords: Ross 308 AP breeders, energy efficiency, hatchability, fertility.



INTRODUCCIÓN

La industria avícola es una de las principales actividades agropecuarias que se ha convertido en un principal fuente de alimento de primera necesidad para el mundo (Ibrahim & Abdul-Rahman, 2024), la situación política, social y ambiental en el mundo, han generado estragos en la cadena productiva de la avicultura (Hafez, 2023), el incremento de los costos de insumos para las dietas, transporte, implementos de trabajo, y otros, por ende las empresas genéticas realizan grandes esfuerzos en investigación, selección y mejoramiento genéticos, para optimizar los índices productivos, y reproductivos en los pollos de engorde. (Birhanu et al., 2023).

La energía en la dieta de las gallinas reproductoras desempeña un papel esencial en la optimización de su rendimiento reproductivo (Fouad et al., 2020). Un suministro adecuado de energía puede mejorar la fertilidad, mejorar la calidad del semen y aumentar la eficiencia en la producción de huevos (Hadinia et al., 2019; Xue et al., 2022). No obstante, tanto la restricción como el exceso de energía pueden afectar negativamente la fertilidad y la incubabilidad. Por ello, es fundamental encontrar un equilibrio energético óptimo para maximizar la eficiencia reproductiva y mantener la salud general de las aves (Lu et al., 2021; Rosebrough et al., 1983).

La calidad del semen y la tasa de fertilidad en gallos reproductores de engorde tienden a disminuir a medida que su edad avanza, un problema que se asocia frecuentemente con la disfunción de las células de Sertoli y la espermatogénesis defectuosa (Tapeh et al., 2017). Un suministro adecuado de energía puede mejorar la fertilidad, mejorar la calidad del semen y aumentar la eficiencia en la producción de huevos (Hadinia et al., 2019; Xue et al., 2022). No obstante, tanto la restricción como el exceso de energía pueden afectar negativamente la fertilidad y la incubabilidad, por ello es fundamental encontrar un equilibrio energético óptimo para

maximizar la eficiencia reproductiva y mantener la salud general de las aves (Lu et al., 2021).

El alto costo de la energía suplementaria requiere la optimización de la energía metabolizable (EM) en las dietas, esto ha conllevado a la búsqueda constante de suplementos alimenticios que mejoren la biodisponibilidad y maximicen su aprovechamiento (Abudabos et al., 2014). Entre los aditivos utilizados en los piensos se encuentra la Creatina (CRE), es uno de los mecanismos por los cuales los animales reponen trifosfato de adenosina, cuya función principal es servir de respaldo para suministrar energía en poco tiempo en tejidos de alta demanda (Heger et al., 2014; Ostojic, 2017; Ostojic et al., 2013), tales como el músculo esquelético, el corazón, la retina y los espermatozoides (Borges et al., 2020; Ostojic et al., 2013). El AGA, como precursor de la creatina, desempeña un papel fundamental en el funcionamiento adecuado de las células de Sertoli y en el metabolismo energético de los espermatozoides, lo que puede contribuir a la mejora de la calidad del semen, por ende, de la fertilidad (Tapeh et al., 2017).

En estudios realizados con gallinas reproductoras, se ha observado que la inclusión del AGA en la dieta, aumenta significativamente la fertilidad y la tasa de penetración de espermatozoides en la capa perivitelina interna y aumenta el contenido de fosfocreatina en el líquido uterino para apoyar al paso de los espermatozoides (Sharideh et al., 2016). Yaghobfar et al. (2019) lograron demostrar que el uso de AGA en dietas, mejora la fertilidad en las parvadas de reproductoras de pollo de engorde. Por otro parte, la suplementación dietética con AGA en reproductoras de codornices de carne, ha mostrado el incremento de la disponibilidad de creatina tanto en los huevos como en el músculo de la progenie.

Esto repercute en mejores parámetros

reproductivos y en un rendimiento posnatal superior, básicamente, cuando se emplean los niveles óptimos de AGA para mejorar la fertilidad, reducir la mortalidad embrionaria y aumentar la tasa de eclosión (Murakami et al., 2014). Por otro lado, se espera que la postura y fertilidad después del pico se reduzcan con el avance la edad del ave, por lo que el uso del AGA representa una oportunidad para mantener los parámetros productivos después del pico de producción. En este contexto el presente estudio tiene como objetivo evaluar el efecto de la suplementación con AGA sobre los parámetros reproductivos de reproductoras Ross 308 AP después de las 50 semanas de edad.

MATERIALES Y MÉTODOS

La evaluación se desarrolló siguiendo los protocolos de crianza y manejo de la empresa el Rocío S.A. y el Servicio Nacional de Sanidad Agraria (SENASA)

Instalaciones, Aves, y Manejo

La evaluación se realizó en el Centro Experimental de la empresa El Rocío S.A. ubicado en Conache, provincia de Trujillo, Perú. El centro experimental El Rocío cuenta con un galpón de Levante (Sistema Dark-House) y un galpón de producción (Convencional), con 20 unidades experimentales cada uno. El galpón de levante estaba equipado con comederos, bebederos, y un sistema de cortinas que permitieron reducir la influencia lumínica del exterior tanto para machos como hembras.

El galpón de producción estuvo constituido con comederos para ambos sexos, bebederos y nidos específicamente diseñados para cada unidad experimental.

Se recibieron 1100 reproductoras hembras y 100 reproductores machos de 1 día de edad de la línea ROSS 308 AP en galpón de levante, estos fueron criados hasta las 17 semanas de edad. La etapa de recría y levante se realizó según las recomendaciones de las guías de manejo ROSS AP 308 (2017). Al final de la etapa de levante se contó

con aves de diferentes categorías de peso (Liviana, Medianas, Pesadas). Para la etapa de postura se realizó la selección de aves con condiciones físicas óptimas para iniciar la etapa de postura. Para la etapa de postura, las unidades experimentales se utilizó una proporción de 8% de machos resultando en 4 machos y 51 hembras por cada unidad experimental.

Diariamente se realiza la recolección de huevos 6 veces por día. Los huevos fueron clasificados como incubables y no incubables. Los huevos incubables fueron desinfectados, clasificados, y almacenados para su posterior envío a planta de incubación ILSA (Trujillo, Trujillo). En la planta de incubación, los huevos tuvieron una etapa de precalentamiento por 24 horas, incubados 18 días y transferidos a la nacedora hasta el nacimiento de los pollitos, siguiendo los delineamientos del proceso de incubación predefinidos.

La incubadora de carga múltiple fue ajustada a una temperatura de 37.8 °C y una humedad relativa de 55%.

Dietas experimentales

Durante la etapa de crianza los reproductores machos y hembras fueron alimentadas según las guías de manejo de ROSS 308AP (2017), respectivamente. Las dietas consisten principalmente en maíz, torta de soya y afrecho de trigo como constituyentes principales. Para la etapa de Postura 2 se incluyó el ácido guanidino acético (AGA) a razón de 1kg/ton tanto en reproductores machos como hembras. Los valores nutricionales de los ingredientes usados en formulación fueron previamente determinados por medio de análisis NIR y posteriormente las dietas fueron formuladas usando el programa Allix 3 (A-systems). Las dietas control y AGA para machos y hembras se muestran en la tabla 1.

TABLA 1

Composición porcentual y valor nutricional calculado de las dietas utilizada durante la etapa experimental.

Insumos	----- Control -----		----- AGA -----	
	Hembras	Machos	Hembras	Machos
Maíz argentino	71.09	79.24	71.21	79.14
Soya boliviana	14.41	9.19	14.44	9.19
Trigo afrecho	2.25	7.15	2.00	7.15
Aceite soya	1.56	0.51	1.56	0.51
Bicarbonato de Sodio	0.35	0.25	0.35	0.25
Carbonato de Calcio	8.76	0.79	8.76	0.79
Fosfato Dicalcico Fosbic	0.53	1.64	0.53	1.64
Sal Común	0.18	0.28	0.18	0.28
Metionina DL	0.15	0.25	0.15	0.25
Treonina	0.17	0.15	0.17	0.15
Arginina	0.11	0.12	0.11	0.12
Triptófano	0.01	0.06	0.01	0.06
Valina	0.04	0.02	0.04	0.02
Mold zap	0.04	0.01	0.04	0.01
Nucleo hembra ¹	0.38		0.38	
Nucleo machos ²		0.38		0.38
Ácido guanidinoacetico (AGA)			0.10	0.10
TOTALES	100.00	100.00	100.00	100.00

<i>Composición nutricional estimada (%)</i>				
E. Metab, Kcal/kg	2800	2930	2800	2930
Proteína Total	13.00	11.90	13.00	11.90
Fibra Cruda	1.95	2.31	1.95	2.31
Grasa Total	4.53	3.79	4.53	3.79
Lisina Dig	0.53	0.42	0.53	0.42
Metionina dig	0.33	0.42	0.33	0.42
MC Digestible	0.52	0.60	0.52	0.60
Treonina Dig	0.51	0.45	0.51	0.45
Triptófano Dig	0.13	0.16	0.13	0.16
Valina Dig	0.56	0.49	0.56	0.49
Fosforo Disponible	0.32	0.37	0.32	0.37
Calcio	3.40	0.74	3.40	0.74
Cloro	0.14	0.21	0.14	0.21
Sodio	0.20	0.20	0.20	0.20

¹ Núcleo hembra: Premezcla vitamínica mineral, secuestrantes, prebióticos, probióticos

² Núcleo macho: Premezcla vitamínica mineral, secuestrantes, prebióticos, probióticos

Parámetros evaluados

Semanalmente, los huevos fueron colocados en coches con capacidad para 32 bandejas; cada bandeja con capacidad para soportar 162 huevos. Los huevos fueron agrupados por tratamiento y distribuidos aleatoriamente entre las bandejas. A los 14 días de incubación se realizó ovoscopia para identificar los huevos infértiles, a los 18 día los huevos fueron transferidos a la nacedora hasta el nacimiento de los pollitos. En los huevos que no eclosionaron se realizó una prueba de embriodiagnósis para identificar las causas y estadio de mortalidad embrionaria. La data obtenida fue usada para analizar nacimientos, porcentaje de huevos fértiles, huevos infértiles y mortalidad embrionaria.

Análisis estadísticos

La data obtenida fue analizada bajo un diseño completamente al azar (DCA) con medidas repetidas en el tiempo. Previamente se realizó la prueba de normalidad y detección de outliers (± 2 SD) y las diferencias entre tratamientos se realizó con la prueba de comparación de medias de Tukey con un nivel de significancia de 5%. Todos los análisis estadísticos fueron realizados usando el programa JMP 17.1 (SAS INSTITUTE, 2023)

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

TABLA 2

Efecto del ácido guanidinoacético sobre parámetros reproductivos en reproductoras 308AP.

Tratamientos	Nacimientos totales (%)	Nacimientos procedentes de huevos fértiles (%)	Infertilidad (%)	Fertilidad (%)	Mortalidad embrionaria (%)
Control	77.80 ^b	90.90 ^a	12.45 ^a	85.58 ^b	7.13 ^a
AGA	80.68 ^a	91.77 ^a	9.96 ^b	87.91 ^a	6.55 ^a
P-value					
Semana	<0.0001	<0.0001	0.0005	<0.0001	0.0136
AGA	0.0489	0.2115	0.0415	0.0463	0.3583
Semana*AGA	0.0038	<0.0001	0.7212	0.8712	0.0002

Los resultados obtenidos por la inclusión de AGA se muestran en la tabla 2. Según lo esperado por el diseño estadístico, se observa un efecto altamente significativo por el efecto de la variable tiempo ($P < 0.001$), este resultado es debido a que se produce una reducción en el porcentaje de postura y fertilidad con el avance de la edad de las aves.

Los nacimientos totales fueron significativamente mayores en el grupo tratado con AGA en comparación con el grupo control ($p < 0.05$), adicionalmente, se observa interacción significativa ($p < 0.01$) indicando que el efecto del AGA varía con el tiempo. Al realizar un análisis de nacimientos sobre los huevos fértiles, se observa un beneficio no significativo por el uso de AGA ($p > 0.05$), sin embargo, esta respuesta es fuertemente influenciada por la edad del ave ($p < 0.0001$).

La fertilidad fue significativamente mayor en el grupo tratado con AGA comparado con el grupo control ($p < 0.05$), este resultado demuestra los beneficios metabólicos del AGA sobre parámetros

reproductivos independiente de la edad del ave ($p > 0.05$). No se encontraron diferencias significativas en la mortalidad embrionaria entre los tratamientos evaluados ($p > 0.05$), sin embargo, este resultado es variable a lo largo de la edad del ave ($p < 0.001$).

Los resultados de este estudio indican que el tiempo (edad de la gallina) tiene un efecto altamente significativo, sobre el nacimiento de los pollitos de huevo fértiles, esto no solo se debe al efecto del tratamiento, esta variable también tiene efecto, las condiciones de incubación y el manejo de los huevos. El aumento significativo en los nacimientos totales en las aves tratadas con AGA indica que este suplemento puede mejorar el rendimiento reproductivo. La interacción significativa entre tiempo y tratamiento sugiere que el efecto del AGA varía a lo largo del ciclo productivo. Este hallazgo es consistente con lo reportado por Yaghobfar et al. (2019), quienes encontraron que el uso de AGA en la dieta mejoró la fertilidad en reproductoras de pollos de engorde. Además, la variación temporal observada sugiere que los beneficios del AGA

podrían estar optimizados en momentos específicos del ciclo reproductivo, lo que coincide con la necesidad de ajustar la dosificación en función de la edad y estado reproductivo de las aves.

El AGA tuvo una influencia significativa sobre la fertilidad, este resultado demuestra los beneficios metabólicos del AGA sobre la fertilidad del ave independiente de su edad. Este resultado guarda relación con los hallazgos de Sharideh et al. (2016), quienes observaron que AGA aumentaba la tasa de penetración de espermatozoides y el contenido de fosfocreatina en el líquido uterino de la gallina, apoyando la viabilidad espermática. Por otra parte Tapeh et al. (2017) demostraron que una inclusión de 1200 mg de AGA/kg de dieta mejora significativamente la calidad del semen y la fertilidad de los gallos. Este efecto se mantiene a medida que la edad del ave aumenta, lo que sugiere una mejora sostenida en su fertilidad.

Los resultados alcanzados durante esta investigación, también mostraron que la suplementación con AGA reduce la mortalidad embrionaria en un 0.58%, pese a que esta reducción no resulta estadísticamente significativa. Este arribo coincide parcialmente con el estudio de Yaghobfar et al. (2019), quienes encontraron que la suplementación con AGA, junto con métodos de manejo como el spiking e intra-spiking, pueden mejorar la fertilidad, reduce la mortalidad embrionaria y retrasar la aparición de signos de envejecimiento en gallos reproductores.

Es importante considerar también las limitaciones del presente estudio. A pesar de las mejoras observadas en algunos parámetros reproductivos, algunas de las diferencias no alcanzaron significancia estadística, lo cual podría deberse a la variabilidad biológica inherente y al tamaño de la muestra.

CONCLUSIONES

Los resultados de esta investigación sugieren que la suplementación de 1kg/ tm de ácido

guanidinoacético en dietas de reproductores Ross 308 AP tiene efectos positivos sobre el nacimiento total de los pollitos y la fertilidad de los reproductores, lo que sugiere su potencial como una estrategia para optimizar la producción avícola, sin embargo, se necesitan más investigaciones para comprender completamente los mecanismos subyacentes y determinar las dosis óptimas de suplementación.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean expresar su profundo agradecimiento a la empresa El Rocío S.A por su colaboración brindada al facilitar el acceso a sus instalaciones experimentales y proporcionar los reproductores para el desarrollo de este estudio. Asimismo, extendemos nuestro reconocimiento al equipo técnico y de investigación de El Rocío SAC, cuyo compromiso y dedicación constante fueron esenciales durante todas las etapas del estudio.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abudabos, A., Saleh, F., Lemme, A., & Zakaria, H. (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), 3269. <https://doi.org/10.4081/ijas.2014.3269>
- Birhanu, M. Y., Osei-Amponsah, R., Yeboah Obese, F., & Dessie, T. (2023). Smallholder poultry production in the context of increasing global food prices: Roles in poverty reduction and food security. *Animal Frontiers*, 13(1), 17 – 25. <https://doi.org/10.1093/af/vfac069>
- Borges, K., Mello, H. de C., Café, M., Arnhold, E., Xavier, H., Oliveira, H. de, & Mascarenhas, A. (2020). Effect of dietary inclusion of guanidinoacetic acid on broiler performance. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 34(2), 95 – 104. <https://doi.org/10.17533/udea.rccp.v34n2a02>

- Fosoul, S., Azarfar, A., Gheisari, A., & Khosravinia, H. (2019). Performance and physiological responses of broiler chickens to supplemental guanidinoacetic acid in arginine-deficient diets. *British Poultry Science*, *60*(2), 161 – 168. <https://doi.org/10.1080/00071668.2018.1562156>
- Fouad, A., El-Senousey, H., Ruan, D., Xia, W., Chen, W., Wang, S., & Zheng, C. (2020). Nutritional modulation of fertility in male poultry. *Poultry Science*, *99*(11), 5637 – 5646. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2020.06.083>
- Hadinia, S., Carneiro, P., Korver, D., & Zuidhof, M. (2019). Energy partitioning by broiler breeder hens in conventional daily-restricted feeding and precision feeding systems. *Poultry Science*, *98*(12), 6721 – 6732. <https://doi.org/10.3382/ps/pez387>
- Hafez, H. (2023). Public health issues related to poultry and poultry products. *South Florida Journal of Environmental and Animal Science*, *3*(1), 20 – 28. <https://doi.org/10.53499/sfjeasv3n1-003>
- Heger, J., Zelenka, J., Machander, V., de la Cruz, C., Lešták, M., & Hampel, D. (2014). Effects of guanidinoacetic acid supplementation to broiler diets with varying energy content. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis*, *62*(3), 477 – 485. <https://doi.org/10.11118/actaun201462030477>
- Ibrahim, A., & Abdul-Rahman, S. (2024). Effect of vegetable oil types and vitamin C on some physiological traits and immune status of broiler breeder hens. *Egyptian Journal of Veterinary Sciences*, *55*(6), 1609 – 1617. <https://doi.org/10.21608/ejvs.2024.259198.1752>
- Dou, T., Li, S., Yang, Z., Gao, F., & Wang, K. (2021). Effects of energy-restricted feeding during rearing on sexual maturation and reproductive performance of Rugao layer breeders. *Poultry Science*, *100*(8), 101225. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2021.101225>
- Lu, J., Li, Y., Qu, L., Ma, M., Yang, X., Shen, M., Wang, X., Guo, J., Hu, Y. P., Dou, T., Li, S. M., Yang, Z., Gao, F., & Wang, K. (2021). Effects of energy-restricted feeding during rearing on sexual maturation and reproductive performance of Rugao layer breeders. *Poultry Science*, *100*(8), 101225. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2021.101225>
- Mori, A., Kohno, M., Masumizu, T., Noda, Y., & Packer, L. (1996). Guanidino compounds generate reactive oxygen species. *IUBMB Life*, *40*(1), 135 – 143. <https://doi.org/10.1080/15216549600201622>
- Murakami, A., Rodrigueiro, R., Santos, T., Ospina-Rojas, I., & Rademacher, M. (2014). Effects of dietary supplementation of meat-type quail breeders with guanidinoacetic acid on their reproductive parameters and progeny performance. *Poultry Science*, *93*(9), 2237 – 2244. <https://doi.org/10.3382/ps.2014-03894>
- Ostojic, S. M. (2017). Co-administration of creatine and guanidinoacetic acid for augmented tissue bioenergetics: A novel approach? *Biomedicine & Pharmacotherapy*, *91*, 238 – 240. <https://doi.org/10.1016/j.biopha.2017.04.075>
- Ostojic, S. M., Niess, B., Stojanovic, M., & Obrenovic, M. (2013). Creatine metabolism and safety profiles after six-week oral guanidinoacetic acid administration in healthy humans. *International Journal of Medical Sciences*, *10*(2), 141 – 147. <https://doi.org/10.7150/ijms.5125>

- Sharideh, H., Esmaeile Neia, L., Zaghari, M., Zhandi, M., Akhlaghi, A., & Lotfi, L. (2016a). Effect of feeding guanidinoacetic acid and L-arginine on the fertility rate and sperm penetration in the perivitelline layer of aged broiler breeder hens. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 100(2), 316 – 322. <https://doi.org/10.1111/jpn.12372>
- Sharideh, H., Esmaeile Neia, L., Zaghari, M., Zhandi, M., Akhlaghi, A., & Lotfi, L. (2016b). Effect of feeding guanidinoacetic acid and L-arginine on the fertility rate and sperm penetration in the perivitelline layer of aged broiler breeder hens. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 100(2), 316 – 322. <https://doi.org/10.1111/jpn.12372>
- Tapeh, R., Zhandi, M., Zaghari, M., & Akhlaghi, A. (2017). Effects of guanidinoacetic acid diet supplementation on semen quality and fertility of broiler breeder roosters. *Theriogenology*, 89, 178 – 182. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2016.11.012>
- Xue, F., Liu, Y., Nivel, Z., Zhang, J., Xiong, S., Zha, L., Liu, Z., & Shu, J. (2022). Regulatory effects of differential dietary energy levels on spermatogenesis and sperm motility of yellow-feathered breeder cocks. *Frontiers in Veterinary Science*, 9, Article 964620. <https://doi.org/10.3389/fvets.2022.964620>
- Yaghobfar, A., Javaheri-Barfouroushi, H., & Hamed, S. (2019). Effect of guanidino acetic acid consumption and management methods on the reproductive potential of elderly cockerel broiler breeders. *Poultry Science Journal*, 7(2), 195 – 204. <https://doi.org/10.22069/psj.2019.16840.1471>