

Diseño de huevos enriquecidos con astaxantina y hierro para reducir anemia infantil en la región Ica



Design of eggs enriched with astaxanthin and iron to reduce childhood anemia in the Ica region

Desenho de ovos enriquecidos com astaxantina e ferro para reduzir a anemia infantil na região de Ica

Salvador Tasayco, Elías; Bonifacio Huallanca, Sandra Jackeline

 Elías Salvador Tasayco
elias.salvador@unica.edu.pe
Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia
Universidad Nacional “San Luis Gonzaga”, Perú

 Sandra Jackeline Bonifacio Huallanca
20171497@unica.edu.pe
Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia
Universidad Nacional “San Luis Gonzaga”, Perú

Revista de Investigación en Ciencias Agronómicas y Veterinarias ALFA

Centro de Estudios Transdisciplinarios, Bolivia
ISSN: 2664-0902
ISSN-e: 2664-0902
Periodicidad: Cuatrimestral
vol. 7, núm. 18, 2022
editor@revistaalfa.org

Recepción: 14 Agosto 2022
Aprobación: 23 Noviembre 2022
Publicación: 15 Diciembre 2022

URL: <http://portal.amelica.org/ameli/journal/540/5404019015/>

DOI: <https://doi.org/10.33996/revistaalfa.v6i18.189>

Resumen: La anemia y desnutrición infantil son problemas de salud pública en la región. La región de Ica es la principal productora de huevos del país. Modular la dieta para diseñar un huevo fortificado con Hierro y astaxantina podría ser una estrategia que contribuya a combatir este problema de salud pública. En este sentido se planteó el presente estudio con el objetivo de evaluar una dieta suplementada con Fe orgánico y astaxantina y su efecto sobre la composición de Fe del huevo, respuesta productiva y calidad de huevo. Se utilizaron 140 gallinas de la línea DEKALB White de 50 semanas de edad, que fueron distribuidas bajo un Diseño de bloques completo al Azar. Se establecieron cuatro tratamientos: dieta testigo (T-1), dieta con astaxantina (T-2), dieta con Fe orgánico (T-3) y dieta con astaxantina + Fe orgánico (T-4). Se evaluó la respuesta productiva, contenido de Fe en el huevo y calidad de huevo. Para los análisis estadísticos se usó el procedimiento GLM de SAS v 9.4. El consumo de alimento fue significativamente ($P<0.05$) más alto para la dieta testigo comparado a los otros tres tratamientos. El color de yema fue significativamente ($P<0.05$) más alto en las dietas con astaxantina. El índice de yema fue más alto con la dieta con astaxantina + Fe orgánico. Las otras características productivas y calidad de huevo no fueron afectadas ($P>0.05$). Se concluye que la suplementación de astaxantina y Fe orgánico mejoran el índice de yema y color de yema de huevo de gallinas de postura

Palabras clave: Ponedoras, Astaxantina, Hierro, Dieta, Huevo, Anemia, Desnutrición infantil.

Abstract: Anemia and child malnutrition are public health problems in the region. The Ica region is the main egg producer in the country. Modulating the diet to design an egg fortified with iron and astaxanthin could be a strategy that contributes to combat this public health problem. The objective of the present study was to evaluate a diet supplemented with organic Fe and astaxanthin and its effect on egg Fe composition, productive response and egg quality. A total of 140 hens of the DEKALB White line of 50 weeks of age were used, which were distributed under a Randomized Complete Block Design. Four treatments were established: control diet (T-1), diet with astaxanthin (T-2),

diet with organic Fe (T-3) and diet with astaxanthin + organic Fe (T-4). The productive response, egg Fe content and egg quality were evaluated. The GLM procedure of SAS v 9.4 was used for statistical analysis. Feed intake was significantly ($P < 0.05$) higher for the control diet compared to the other three treatments. Yolk color was significantly ($P < 0.05$) higher for the diets with astaxanthin. The yolk index was higher for the astaxanthin + organic Fe diet. The other productive characteristics and egg quality were not affected ($P > 0.05$). It is concluded that astaxanthin and organic Fe supplementation improve yolk index and yolk color of laying hen eggs.

Keywords: Layers, Astaxanthin, Iron, Diet, Egg, Anemia, Infant malnutrition.

Resumo: A anemia infantil e a desnutrição são problemas de saúde pública na região. A região de Ica é o principal produtor de ovos do país. Modular a dieta para projetar um ovo fortificado com ferro e astaxantina poderia ser uma estratégia para ajudar a combater este problema de saúde pública. O objetivo do presente estudo foi avaliar uma dieta suplementada com Fe orgânico e astaxantina e seu efeito na composição do Fe do ovo, na resposta produtiva e na qualidade do ovo. Um total de 140 galinhas da linha branca DEKALB de 50 semanas de idade foram utilizadas, que foram distribuídas sob um projeto de bloco completo aleatorizado. Foram estabelecidos quatro tratamentos: dieta de controle (T-1), dieta com astaxantina (T-2), dieta com Fe orgânico (T-3) e dieta com astaxantina + Fe orgânico (T-4). A resposta produtiva, o conteúdo de Fe de ovo e a qualidade do ovo foram avaliados. O procedimento GLM do SAS v 9.4 foi utilizado para análises estatísticas. A ingestão de ração foi significativamente ($P < 0,05$) maior para a dieta de controle em comparação com os outros três tratamentos. A cor da gema era significativamente ($P < 0,05$) mais alta para as dietas com astaxantina. O índice de gema era maior para a dieta de astaxantina + Fe orgânico. As outras características de produção e a qualidade dos ovos não foram afetadas ($P > 0,05$). Conclui-se que a astaxantina e a suplementação de Fe orgânica melhoram o índice de gema e a cor da gema das galinhas poedeiras.

Palavras-chave: Galinhas poedeiras, Astaxantina, Ferro, Dieta, Ovo, Anemia, Desnutrição infantil.

INTRODUCCIÓN

La industria avícola de la región de Ica es la principal productora de huevos de Perú. Esta actividad no solo tiene un impacto económico beneficioso ya que genera fuentes de trabajo a la población, sino que principalmente juega un rol importante en la producción de la proteína más económica al alcance de la población, es decir contribuye a la seguridad alimentaria y nutricional de la población. Sin embargo, en nuestra región de Ica, tenemos problemas de anemia y desnutrición crónica en nuestros infantes y niños, mala alimentación en nuestra población joven y adulta. Urge promocionar una cultura alimentaria en beneficio de la salud. Para ello, la academia, los productores avícolas, las instituciones, entre otros, deben jugar un rol efectivo en promocionar el consumo de proteína animal como es el huevo.

Según datos de la Encuesta Demográfica y de Salud Familiar (ENDES) del 2018 (1) más de 700 mil niños menores de tres años tienen anemia (4 de 10 niños entre 6 y 35 meses de edad). La prevalencia de anemia para niños entre 6 y 35 meses de edad fue de 43.1% en la región de Ica. Si bien para el año 2019 se reporta una disminución de la prevalencia de anemia de niños entre 6 y 35 meses de edad, que bajó a 37.5%, siendo aun una cifra muy alta que se debe reducir. La desnutrición infantil también es un problema que afecta a nuestros niños, siendo los 2 principales problemas de los niños de nuestra región que se debe combatir. La anemia y desnutrición afectan el desarrollo cognitivo, bienestar, crecimiento y desempeño de nuestros niños. Conociendo que las reservas de hierro en los lactantes amamantados se agotan a los 6 meses, debido a que la leche materna no es una buena fuente de hierro, los alimentos de destete ricos en hierro se consideran importantes para evitar la deficiencia de hierro (2). Es en este periodo que se debe promocionar el consumo de huevos a partir de los 6 meses de edad.

La industria avícola de la región de Ica generalmente está limitada a producir huevos convencionales. Sin embargo, por parte del público consumidor hay un gran interés por productos novedosos innovadores como es un huevo fortificado con Hierro y astaxantina. En esta línea se crea la necesidad de evaluar estrategias para contribuir con tecnología a la industria avícola y puedan diversificar su producción para atender a las demandas del público consumidor.

Existen algunos estudios sobre la fortificación del huevo con Hierro. Xie et al. (3) evaluaron los efectos del quelato de hierro-glicina (Fe-Gly) sobre la calidad del huevo de gallinas ponedoras y encontraron que el Fe-Gly (60 mg Fe / kg) mejoró la calidad del huevo y el enriquecimiento de hierro del huevo. En general, no hubo diferencias significativas entre Fe-Gly (40) y el grupo control en la altura de la albúmina, la unidad Haugh, la concentración de Fe en la cáscara y la yema de huevo. Este estudio además reveló que el FeSO₄ podría ser sustituido por una menor concentración de Fe-Gly y Fe-Gly y puede ser superior a FeSO₄ para la calidad del huevo en gallinas ponedoras. Bess et al. (4) encontraron que el suministro de una concentración adecuada de Fe podría mejorar la concentración de hierro del huevo.

Por otro lado, la astaxantina es un carotenoide xantófilo que se encuentra naturalmente en levaduras, en la microalga *Haematococcus pluvialis* y algunas especies silvestres de peces, crustáceos y aves (5,6). En el huevo común proveniente de gallinas que no han consumido dietas con estas fuentes no se encuentra la astaxantina. Los avances en la investigación nutricional que últimamente conducen al enfoque de "huevos de diseño" permiten un mayor enriquecimiento del huevo con los nutrientes deseados, incluidos los carotenoides, al actuar sobre la formulación de la dieta de una ponedora (7), esta estrategia permitirá obtener huevos fortificados con el carotenoide astaxantina para disponibilidad de los consumidores y aumenten su consumo de carotenoides.

Parte de nuestra responsabilidad académica es generar información y tecnología para contribuir a la salud pública de nuestra región, en este sentido se realizó el siguiente estudio sobre el diseño de huevos enriquecidos con astaxantina y hierro orgánico para consumo de infantes como estrategia para reducir la anemia y desnutrición infantil en la región de Ica.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en la unidad experimental de nutrición en gallinas de postura del Laboratorio de Investigación en Nutrición R & D de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Nacional "San Luis Gonzaga". El estudio se desarrolló durante los meses de agosto del 2021 a marzo del 2022. La temperatura promedio del galpón fue de 19°C. Se calculó el tamaño de muestra que fue de 140 gallinas de postura de la línea genética DEKALB White, de 50 semanas de edad, criadas en el sistema de jaulas convencionales. Se evaluaron cuatro dietas: dieta testigo convencional, dieta con astaxantina (7.5 ppm), dieta con suplemento de Fe orgánico (100 ppm) y una dieta con astaxantina + Fe orgánico. Se utilizó un Diseño de Bloques Completo al Azar con 4 tratamientos y 7 repeticiones. Se evaluaron las características productivas

de producción de huevo, consumo de alimento, conversión alimenticia, peso de huevo, masa de huevo y peso vivo final de las gallinas. Las características de calidad de huevo evaluados fueron: unidad Haugh, color de yema, índice de yema, cascara de huevo (%) y contenido de Fe en el huevo. Se realizaron análisis estadístico de varianza, Kruskal-Wallis y Tukey, con el procedimiento GLM de SAS v 9.4 (8). Se estableció un nivel de significancia de 0.05.

RESULTADOS

En la Tabla 1, se observa que la producción de huevo e índice de conversión alimenticia no fueron afectados significativamente ($P > 0.05$), mientras que se encontró diferencias estadísticas ($P < 0.05$) en el consumo de alimento. El consumo de alimento fue más alto para el grupo testigo comparado a los otros tres tratamientos con menor consumo.

TABLA 1
Efecto de la suplementación de astaxantina y Fe orgánico en la dieta sobre la producción de huevos (PRH), consumo de alimento (CA) e índice de conversión alimenticia (ICA) de gallinas de postura.

Tratamientos	PRH (%)	CA (g/día)	ICA (Kg/Kg)
T-1: testigo	95.17 ±1.67	119.54a ±0.29	1.896 ±0.082
T-2: astaxantina	95.22 ±1.50	118.79b ±0.38	1.869 ±0.039
T-3: Fe orgánico	95.17 ±2.36	118.91b ±0.23	1.871 ±0.054
T-4: Fe orgánico +astaxantina	96.09 ±1.33	118.57b ±0.72	1.844 ±0.047
Probabilidad			
P-value	0.7366NS	0.0006*	0.4854NS

$P < 0.05$ = diferencia significativa (*)

(a,b) = Letras como superíndices diferentes entre promedios para cada variable indica diferencia significativa

En la Tabla 2, se observa que el peso de huevo, masa de huevo y contenido de Fe en el huevo no fueron afectados significativamente ($P > 0.05$).

TABLA 2
Efecto de la suplementación de astaxantina y Fe orgánico en la dieta sobre el peso de huevo (PH), masa de huevo (MH) y contenido de Fe en el huevo (FeH) de gallinas de postura.

Tratamientos	PH (g/huevo)	MH (g/día)	FeH (mg/Kg)
T-1: testigo	66.31 ±2.32	63.12 ±2.63	8.99 ±2.18
T-2: astaxantina	66.75 ±1.19	63.56 ±1.27	8.02 ±0.54
T-3: Fe orgánico	66.80 ±1.25	63.58 ±1.82	12.35 ±4.07
T-4: Fe orgánico +astaxantina	66.96 ±2.22	64.33 ±1.78	10.36 ±2.06
Probabilidad			
P-value	0.9291NS	0.7501NS	0.1258NS

$P > 0.05$ = diferencia no significativa (NS)

En la Tabla 3 se observa que la suplementación con astaxantina y Fe orgánico afectó significativamente ($P < 0.05$) el color de yema e índice de yema de huevo. La dieta con astaxantina tanto solo o con Fe orgánico logró la más alta pigmentación de yema. La suplementación de Fe orgánico redujo el color de yema. El índice de yema fue más alto con la suplementación de astaxantina + Fe orgánico que el tratamiento testigo de más bajo índice de yema. La unidad Haugh no fue afectado por la suplementación con astaxantina y Fe orgánico.

TABLA 3

Efecto de la suplementación con astaxantina y Fe orgánico en la dieta sobre el color de yema (CY), índice de yema (IY) y unidad Haugh (UH) de huevo de gallinas de postura.

Tratamientos	CY (score)	IY (relación)	UH (relación)
T-1: testigo	7.25c ±0.38	0.391b ±0.008	94.27 ±2.35
T-2: astaxantina	13.96a ±0.30	0.394ab ±0.012	92.91 ±1.23
T-3: Fe orgánico	6.39d ±0.34	0.401ab ±0.007	93.47 ±1.27
T-4: Fe orgánico +astaxantina	12.85b ±0.30	0.405a ±0.007	92.77 ±2.43
Probabilidad			
P-value	<.0001*	0.0376*	0.5111NS

$P < 0.05$ = diferencia significativa (*)

DISCUSIÓN

Las cuatro formulas alimenticias utilizadas fueron diseñadas de acuerdo con las recomendaciones nutricionales de la línea genética que consideran una suplementación de microminerales a través de una premezcla comercial con un aporte de 25 mg/Kg de Hierro inorgánico. Sobre esta base, las dietas 3 y 4 recibieron un suplemento adicional de 100 ppm de Hierro en forma orgánica.

En las características de respuestas productivas las dietas con astaxantina y Fe orgánico suplementadas independiente o juntas lograron un menor consumo de alimento y manteniendo las otras características productivas. Este hallazgo es de interés ya que permite un ahorro económico en los costos de alimentación y mejorando la rentabilidad a favor de estas dietas suplementadas con Fe orgánico y astaxantina.

Respecto al contenido de Fe en el huevo, según los resultados del presente estudio si bien se encontró una diferencia numérica entre 1.37 a 3.36 mg en las dietas con Fe orgánico en comparación con la dieta testigo, sin embargo, estas diferencias numéricas fueron estadísticamente no significativa ($P > 0.05$). Estos resultados concuerdan con el estudio de Buckiuniene et al. (9) quienes encontraron que la suplementación de diferentes cantidades de hierro orgánico e inorgánico al alimento de gallinas ponedoras no afectó la productividad y no aumentó la cantidad de Fe en la yema de huevo.

Sin embargo, estudios como el de Ramadán et al. (10), encontraron que, al utilizar dosis creciente de 0, 100 y 200 mg de Fe/Kg de alimento, lograron un aumento creciente del contenido de Fe en el huevo, resultado que no concuerda con nuestro estudio, probablemente debido a que la transferencia y deposición de Fe en el huevo, depende de diversos factores como la fuente de Fe, dosis, tipo de dieta, línea genética y edad de la gallina, tiempo de alimentación, estado sanitario de la gallina, salud intestinal, entre otros que podrían explicar en cierta medida las causas que el contenido de Fe en el huevo no fue incrementado significativamente.

Según reportes de Stadelman y Pratt (11) la deposición de minerales traza en los huevos depende de sus formas químicas y la dosis a utilizar. Sarlak et al. (12) evaluaron los efectos del hierro orgánico (glicina ferrosa [FG]) versus inorgánico (sulfato ferroso [FS]) en gallinas ponedoras Shaver White. Una dieta basal (19 mg de hierro/kg) sirvió como control, mientras que las otras seis dietas se complementaron con FS o FG para proporcionar 30, 60 y 120 mg/kg de hierro añadido. Los tratamientos dietéticos FG y FS mejoraron ($P < 0,05$) la tasa de postura, el peso del huevo y la calidad del huevo de las ponedoras, en relación con el control, aunque la resistencia y el calcio de la cáscara también se deterioraron con el nivel más alto de FS ($P < 0,05$). Las fracciones de suero y huevo (yema, albúmina y cáscara) mostraron aumentos graduales en el contenido de hierro a medida que aumentaba el nivel de hierro en la dieta ($P < 0,05$), mientras que FG fue superior a FS en todos los niveles evaluados ($P < 0,05$).

Con respecto al color de yema que se considera una característica de mucho valor en la calidad y preferencia del consumidor, la suplementación con astaxantina mejoró grandemente el color de yema, esto se explicaría a razón que la astaxantina es un carotenoide con potencial pigmentación. De acuerdo con Lim et al. (13), la astaxantina se puede almacenar directamente en los tejidos sin modificación o transformación bioquímica después de ser absorbida por los animales, lo que torna de un color más intenso la yema de huevo como en el presente estudio. El estudio de Dansou et al. (7) sobre los huevos fortificados con astaxantina, encontraron que una suplementación a largo plazo de astaxantina en la dieta hasta 42,6 mg/kg no tiene consecuencias adversas sobre el rendimiento de las gallinas ponedoras ni sobre la calidad física del huevo. Según estos autores la astaxantina se deposita bien en la yema de huevo de gallina ponedora con una ligera disminución del contenido en el huevo después de la suplementación a largo plazo y se percibe una mejor acumulación de astaxantina total e isómeros cis a medida que aumenta la dosis de suplementación.

Por otro lado, la suplementación con Fe orgánico y astaxantina mejoró significativamente el índice de yema. Este hallazgo se puede explicar parcialmente por las propiedades antioxidantes de la astaxantina. Según Nabi et al. (14) la inclusión de carotenoides en las dietas puede aumentar la estabilidad oxidativa de los productos avícolas. Nishida et al. (15) reporta que la actividad antioxidante de la astaxantina es mucho mejor que la de otros carotenoides, y su capacidad para eliminar el oxígeno singlete es alrededor de 6000 veces mayor que la de la vitamina C. Nuestro resultado concuerda con el estudio de Heng et al. (16) quienes encontraron que la suplementación con astaxantina retrasó la disminución del índice de yema, lo que puede prolongar el tiempo de almacenamiento de los huevos.

Del mismo modo, resultados de estudios indican que la utilización de Fe orgánico como la glicina ferrosa en comparación con fuente inorgánica como sulfato ferroso pueden mejorar la capacidad antioxidante (17). Saleh et al. (18), encontraron que la suplementación con hierro mejoró la defensa antioxidante enzimática en el suero de gallinas ponedoras.

CONCLUSIONES

Bajo las condiciones del estudio se concluye que la suplementación con astaxantina y Fe orgánico en la dieta reduce el consumo de alimento, manteniendo las otras características productivas. Respecto a la calidad de huevo, la suplementación con astaxantina mejora el color de yema e índice de yema. Si bien el contenido de Fe en el huevo no fue afectado significativamente, con el suplemento de Fe orgánico se logró un mayor contenido numéricamente, sin embargo, se recomienda estudios adicionales con mayor dosis y un mayor número de repeticiones.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Instituto Nacional de Estadística e Informática, INEI. - Bases de datos e informes Encuesta Demográfica y de Salud Familiar (ENDES), 2018. <http://inei.inei.gov.pe/microdatos/>

2. Michaelsen KF, Weaver L, Branca F, Robertson A. Feeding and nutrition of infants and young children. Guidelines for the WHO European Region, with emphasis on the former Soviet countries. Copenhagen, Denmark: World Health Organization Regional Office for Europe Copenhagen, 2000.
3. Xie C, Elwan HAM, Elnesr SS, Dong XY, Zou T. Effect of iron glycine chelate supplementation on egg quality and egg iron enrichment in laying hens. *Poultry Science*. 2019; 98:7101–7109. <https://doi.org/10.3382/ps/pez421>
4. Bess F, Vieira SL, Favero A, Cruz, RA, Nascimento PC. Dietary iron effects on broiler breeder performance and egg iron contents. *Anim. Feed Sci. Technol*. 2012; 178:67–73. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2012.10.002>
5. Ambati RR, Phang S-M, Ravi S, Aswathanarayana RG. Astaxanthin: Sources, Extraction, Stability, Biological Activities and Its Commercial Applications—A Review. *Marine Drugs*. 2014; 12(1):128-152. <https://doi.org/10.3390/md12010128>
6. Visioli F, and Artaria C. Astaxanthin in cardiovascular health and disease: Mechanisms of action, therapeutic merits, and knowledge gaps. *Food Funct*. 2017; 8: 39-63. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2021.101304>
7. Dansou DM, Wang H, Nugroho RD, He W, Zhao Q, Tang C, Zhang H, Zhang J. Effects of duration and supplementation dose with astaxanthin on egg fortification. *Poultry Science*, 2021; 100:9, <https://doi.org/10.1016/j.psj.2021.101304>
8. STATISTICAL ANALYSIS SYSTEM, INSTITUTE. 2021. User’s Guide: Statistics. Version 9.4. Edition. SAS Institute Inc., Cary, NC. USA.
9. Buckiuniene V, Grashorn MA, Gruzauskas R, Kliseviciute V, Raceviciute-Stupeliene A, Svirmickas G, Bliznikas S, Miezieliene A, Alencikiene G. Effect of organic and inorganic iron in the diet on yolk iron content, fatty acids profile, malondialdehyde concentration, and sensory quality of chicken eggs. *Europ. Poult.Sci*. 2016; 80. ISSN 1612-9199, DOI: 10.1399/eps.2016.139
10. Ramadan NA, Omar AS, Bahakaim ASA, Osman SM. Effect of using different levels of iron with zinc and copper in layer’s diet on egg iron enrichment. *Int J Poult Sci*. 2010; 9:842–850. <https://scialert.net/abstract/?doi=ijps.2010.842.850>
11. Stadelman WJ, and Pratt DE. Factors influencing composition of the hen’s egg. *Worlds Poult. Sci. J*. 1989; 45:247-266.
12. Sarlak S, Tabeidian SA, Toghiani M, Shahraki ADF, Goli M, Habibian M. Effects of Replacing Inorganic with Organic Iron on Performance, Egg Quality, Serum and Egg Yolk Lipids, Antioxidant Status, and Iron Accumulation in Eggs of Laying Hens. *Biological Trace Element Research*. July 2020. <https://doi.org/10.1007/s12011-020-02284-8>
13. Lim KC, Yusoff FM, Shariff M, Kamarudin MS. Astaxanthin as feed supplement in aquatic animals. *Rev Aquac*. 2018; 10:738–73. doi: 10.1111/raq.12200
14. Nabi F, Arain MA, Rajput N, et al. Health benefits of carotenoids and potential application in poultry industry: a review. *J Anim Physiol Anim Nutr*. 2020; 104:1809–18. doi: 10.1111/jpn.13375
15. Nishida Y, Yamashita E, Miki W. Quenching activities of common hydrophilic and lipophilic antioxidants against singlet oxygen using chemiluminescence detection system. *Carotenoid Sci*. 2007; 11:16–20
16. Heng N, Gao S, Guo Y, et al. Effects of supplementing natural astaxanthin from *Haematococcus pluvialis* to laying hens on egg quality during storage at 4°C and 25°C. *Poult Sci*. 2020; 99:6877– 83. doi: 10.1016/j.psj.2020.09.010
17. Sun J, Liu D, Shi R. Supplemental dietary iron glycine modifies growth, immune function, and antioxidant enzyme activities in broiler chickens. *Livest Sci*. 2015; 176:129–134. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2015.03.004>
18. Saleh AA, Eltantawy MS, Gawish EM, Younis HH, Amber KA, Abd El-Moneim EAE, Ebeid TA. Impact of dietary organic mineral supplementation on reproductive performance, egg quality characteristics, lipid oxidation, ovarian follicular development, and immune response in laying hens under high ambient temperature. *Biol Trace Elem Res*. 2020; 195:506–514. <https://doi.org/10.1007/s12011-019-01861-w>