

Organic products based on chromium for poultry production. Main advances in the last years

Productos orgánicos basados en cromo para la producción avícola. Principales avances en los últimos años

M. Valera, Odilia Gutiérrez and A. Elías

Instituto de Ciencia Animal, Apartado Postal 24, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba

Email: mvalera@ica.co.cu

This study reviews the progress of recent years in the use of organic chromium products in poultry feed and production. Important topics such as the functions of this mineral element, the most used types of products, their supplementation levels, as well as the effects of the inclusion of this microelement in the diets through different forms, in the productive performance of animals, mitigation of caloric stress and other indicators of interest were analyzed. The most promising, according to the obtained effects, are chromium picolinate and chromium linked to yeast, and the respective responses of animals to their supplementation have been the main focus of research in recent years.

Keywords: *supplementation, chromium, broilers, glucose*

INTRODUCTION

Among the most used minerals in poultry production in recent years, chromium (Cr) stands out, being demonstrated in numerous studies (Kani 2015, Zheng *et al.* 2016, Mir *et al.* 2017 and Li *et al.* 2018). It is one of the basic minerals for poultry, as it is required to increase production, due to its importance in digestion, growth and the decrease of lipid and protein peroxidation (Farag *et al.* 2017).

Sometimes this microelement is supplied in the diet of animals from inorganic salts, causing digestive interactions or disorders and metabolic changes. CrCl_3 and Cr_2O_3 are among the most important inorganic forms of Cr supplementation. Their disadvantages are their low absorption (0.4-2%) and that they have at least 10 times lower bioavailability compared to organic forms of supplementation (Kani 2015). In order to avoid these and other complications, organic supplementation of this element in the poultry industry has increased in recent years.

The use of organic minerals, in which this metal compound is linked to a biomolecule or a microorganism, provides numerous advantages when administering these elements. Therefore, the objective of this study was to review the main advances that have been obtained in poultry supplementation with different types of organic Cr, and its advantages, compared to the use of inorganic sources of supplementation, in obtaining better productive performance and in the mitigation of heat stress and its expressions in organisms, mainly.

Se reseñan los avances alcanzados en años recientes en cuanto al uso de productos orgánicos de cromo en la alimentación y producción avícolas. Se analizan tópicos de importancia tales como las funciones de este elemento mineral, tipos de productos más utilizados, sus niveles de suplementación, así como los efectos de la administración en las dietas de este microelemento, a través de diferentes formas, en el comportamiento productivo de los animales, la mitigación del estrés calórico y otros indicadores de interés. Resultan los más prometedores, en función de los efectos obtenidos, el picolinato de cromo y el cromo unido a levadura, en cuyas respectivas respuestas de los animales a su suplementación, se han centrado las investigaciones en los últimos años.

Palabras clave: *suplementación, cromo, pollo de ceba, glucosa*

INTRODUCCIÓN

Entre los minerales más utilizados en años recientes en la producción avícola sobresale el cromo (Cr), comprobados en numerosos estudios (Kani 2015, Zheng *et al.* 2016, Mir *et al.* 2017 y Li *et al.* 2018). Es uno de los minerales básicos en la avicultura, pues se requiere para elevar la producción debido a su importancia en la digestión, el crecimiento y la disminución de la peroxidación lipídica y proteica (Farag *et al.* 2017).

En ocasiones este microelemento se suministra en la dieta de los animales a partir de sales inorgánicas, causando interacciones o trastornos digestivos y alteraciones metabólicas. Entre las formas inorgánicas más importantes de suplementación del Cr se encuentran el CrCl_3 y el Cr_2O_3 . Estas poseen desventajas como su poca absorción (0.4-2%) y que tienen al menos 10 veces menor biodisponibilidad en comparación con formas orgánicas de suplementación (Kani 2015). En busca de evitar estas y otras complicaciones, la suplementación orgánica de este elemento en la industria avícola se ha acrecentado en los últimos años.

El uso de minerales orgánicos, donde el compuesto metálico en cuestión se encuentra unido a una biomolécula o a un microorganismo, provee numerosas ventajas a la hora de administrar estos elementos. De ahí que el objetivo de este trabajo fue reseñar los principales avances que se han obtenido en la suplementación de especies aviares con diferentes tipos de Cr orgánico, y sus ventajas en comparación con el uso de fuentes inorgánicas de suplementación, en la obtención de mejores rendimientos productivos y en la mitigación del estrés calórico y sus

IMPORTANCE AND FUNCTIONS OF CHROMIUM IN POULTRY

Cr, in its most stable oxidation state (Cr^{3+}), fulfills a series of essential functions for animals. For example, it intervenes in the metabolism of carbohydrates, proteins and lipids, potentiates insulin action as an active component of glucose tolerance factor (GTF), and plays an anti-stress role, decreasing the concentration of cortisol in the blood. In addition, it has a fundamental function in the formation and expression of genetic information, has inhibitory effects on lipogenic activity and improves the absorption of amino acids in muscle cells for protein synthesis. GTF, being partly constituted by Cr molecules, facilitates the entry of glucose at cellular level, by increasing insulin levels in the somatic cell, and allows a greater use of this carbohydrate, favoring protein synthesis, and consequently, a reduction in the production of adipose tissue (Herran *et al.* 2011).

Glucose metabolism is very different in birds, compared to mammals, since their concentration values are higher in these species, and those of insulin, are lower (Brooks *et al.* 20016). Poultry, compared to mammals, are less sensitive to insulin (Rama Rao *et al.* 2016). Caloric stress increases circulating corticosterone concentrations in poultry, and it is well documented that it reduces insulin sensitivity in these animals (Haq *et al.* 2018).

Cr deficiencies causes severe metabolic and productive disorders in poultry, such as hyperglycemia, decrease of glucose tolerance (developing a metabolic profile similar to diabetes mellitus Type 1), increase of circulating insulin, cholesterol and triglycerides in the blood. There is also a slow growth, a reduction of productive life of the animal, as well as problems of infertility and local neurological disorders (Kani 2015).

On the other hand, it is known that heat stress is one of the environmental factors that affect poultry production, causing economic losses in the poultry industry around the world. When broilers undergo heat stress, they maintain a temperature regulation through thermoregulatory mechanisms that have a negative impact on their performance and metabolism. In laying hens, heat stress can also affect productive performance (Sahin *et al.* 2018) and gene expression of ion carriers (Bahadoran *et al.* 2018), glucose carriers (Ozdemir *et al.* 2017) and egg quality (Abd El-Hack *et al.* 2017). Researches have demonstrated that Cr supplementation is a safe and convenient alternative to counteract caloric stress, as a nutritional alternative (Jahanian and Rasouli 2015).

There is a positive relationship between diet supplementation with Cr and growth, the increase and improvement of immune and physiological functions when broilers are exposed to heat stress. Cr

Cuban Journal of Agricultural Science, Volume 53, Number 3, 2019.
expresiones en los organismos, principalmente.

IMPORTANCIA Y FUNCIONES DEL CROMO EN LAS AVES

El Cr, en su estado de oxidación más estable (Cr^{3+}), cumple una serie de funciones de gran importancia en los animales. Entre ellas pueden citarse su intervención en el metabolismo de los carbohidratos, proteínas y lípidos, la potenciación de la acción de la insulina como componente activo del factor de tolerancia a la glucosa (FTG), su papel antiestrés que disminuye la concentración de cortisol en sangre, su papel fundamental en la formación y expresión de la información genética, el ejercicio de efectos inhibitorios en la actividad lipogénica y la mejora de la absorción de los aminoácidos en las células musculares para la síntesis de proteínas. El FTG, al estar constituido en parte por moléculas de Cr, facilita la entrada de glucosa a nivel celular, al aumentar los niveles de insulina en la célula somática, y permite mayor utilización de este carbohidrato favoreciendo la síntesis de proteína, y en consecuencia, reducción en la producción de tejido adiposo (Herran *et al.* 2011).

El metabolismo de la glucosa es diferente en aves, en comparación con los mamíferos, ya que sus valores de concentración son mayores en estas especies, y los de insulina, más bajos (Brooks *et al.* 20016). Las aves, con respecto a los mamíferos, son menos sensibles a la insulina (Rama Rao *et al.* 2016). El estrés calórico incrementa las concentraciones de corticosterona circulante en pollos de ceba, y está bien documentado que esta reduce la sensibilidad a la insulina en estos animales (Haq *et al.* 2018).

La deficiencia de Cr provoca severos trastornos, tanto metabólicos como productivos en las aves, dentro de los cuales destacan la hiperglucemia, la disminución de la tolerancia a la glucosa (desarrollándose un perfil metabólico similar a la diabetes mellitus Tipo 1), el incremento de la insulina circulante, del colesterol y triglicéridos en sangre. Además, se manifiesta lento crecimiento, reducción de la vida productiva del animal, así como se presentan problemas de infertilidad y trastornos neurológicos locales (Kani 2015).

Por otra parte, se conoce que el estrés térmico es uno de los factores ambientales que más desafían la producción de aves de corral, causando pérdidas económicas en la industria avícola en todo el mundo. Cuando los pollos de ceba se someten a estrés calórico, mantienen la regulación de la temperatura a través de mecanismos termorreguladores que impactan negativamente en su rendimiento y metabolismo. En gallinas ponedoras, el estrés calórico puede afectar además del comportamiento productivo (Sahin *et al.* 2018), la expresión génica de los transportadores de iones (Bahadoran *et al.* 2018), los transportadores de glucosa (Ozdemir *et al.* 2017) y la calidad del huevo (Abd El-Hack *et al.* 2017). Investigaciones llevadas a cabo han demostrado que la suplementación con Cr es una alternativa segura y conveniente para combatir el estrés calórico, como

supplementation has been associated with a higher growth rate and antioxidant capacity, while decreasing lipid peroxidation, cholesterol content and abdominal fat (Dalólio *et al.* 2018). Supplementation with organic Cr improves the performance of broilers and other poultry species under heat stress conditions (Hajjalizadeh *et al.* 2017).

Several authors reported the increase in body mass and nutritional efficiency in animals supplemented with Cr, under heat stress conditions, so frequent in our geographical area (Sahin and Sahin 2002 and Sahin *et al.* 2003). Facing high temperatures, poultry reduces food intake, live weight gain and food efficiency (Moeini *et al.* 2011). Therefore, one of the methods to counteract caloric stress is the manipulation of diets because the cooling of poultry rearing facilities would make production systems too expensive. Cr supplementation has a positive effect on growth and efficiency of diet utilization in poultry (Yildiz *et al.* 2004).

Given such evidence, the use of organic products based on Cr to increase the use efficiency of diet, decreasing circulating glucose levels, justifies their study, sustained in turn by the improvement in most of the analyzed productive indicators. Favoring protein synthesis, while attenuating caloric stress, with a decrease in corticosterone in blood, show the veracity of the results achieved in a significant number of studies.

ORGANIC PRODUCTS BASED ON CHROMIUM. MAIN EFFECTS ON POULTRY PRODUCTION

Organic products based on Cr have been used since the 90s of the last century. Since the establishment of the scientific bases that led to the obtaining and synthesis of chelated minerals, the obtaining of products with this characteristic, based on this microelement, has been diverse. Chromium picolinate (CrPic), chromium nicotinate (CrNic), chromium propionate (CrPro), chromium bound to yeast (CrLev) and chromium methionine (CrMet) are among the most used products in recent years. Some of the most relevant results of its use in poultry are mentioned below.

CHROMIUM PICOLINATE (CRPIC)

Among the different organic forms of Cr supplement in diets for poultry, CrPic stands out. It is a compound of the trivalent form of Cr, with low toxicity, complexed to picolinic acid (Hamidi *et al.* 2016). It has been used in the diet of broilers under heat stress (Li *et al.* 2018). It has been reported that Cr supplementation in broilers decreases cortisol concentration in blood. This hormone is released in response to stress, and its main role is given by its action of increasing blood sugar level through

alternativa nutricional (Jahanian y Rasouli 2015).

Existe una relación positiva entre la suplementación dietética con Cr y el crecimiento, el aumento y la mejora de las funciones fisiológicas e inmunes cuando los pollos de ceba están expuestos a un estrés calórico. La suplementación con Cr se ha asociado con mayor tasa de crecimiento y capacidad antioxidante, mientras disminuye la peroxidación lipídica, el contenido de colesterol y la grasa abdominal (Dalólio *et al.* 2018). La suplementación con Cr orgánico mejora el rendimiento de los pollos de engorde y otras especies aviares, en condiciones de estrés calórico (Hajjalizadeh *et al.* 2017).

Diversos autores reportaron el aumento de la masa corporal y la eficiencia alimenticia en animales suplementados con Cr, en situaciones de estrés calórico, tan frecuentes en nuestra zona geográfica (Sahin y Sahin 2002 y Sahin *et al.* 2003). Ante las altas temperaturas, las aves reducen el consumo de alimentos, la ganancia de peso vivo y la eficiencia alimentaria (Moeini *et al.* 2011). Debido a que el enfriamiento de las instalaciones de crianza de pollos de ceba encarecería demasiado los sistemas de producción, uno de los métodos para combatir el estrés calórico es la manipulación de las dietas. La suplementación con Cr tiene efecto positivo en el crecimiento y eficiencia de aprovechamiento de la dieta en las aves (Yildiz *et al.* 2004).

Ante tales evidencias, el uso de productos orgánicos basados en Cr para aumentar la eficiencia de la utilización de la dieta, disminuyendo los niveles de glucosa circulante, justifican su estudio, sostenido a su vez por la mejoría en la mayoría de los indicadores productivos analizados. El favorecimiento de la síntesis proteica, al mismo tiempo que se atenúa el estrés calórico, con disminución de la corticosterona en sangre, manifiestan la veracidad de los resultados alcanzados en un número importante de investigaciones realizadas.

PRODUCTOS ORGÁNICOS BASADOS EN CROMO. PRINCIPALES EFECTOS EN LA PRODUCCIÓN AVÍCOLA

Los productos orgánicos basados en Cr se han utilizado desde la década de los 90 del pasado siglo. Desde el establecimiento de las bases científicas que condujeron a la obtención y síntesis de minerales quelatados, la obtención de productos con esta característica, basados en este microelemento ha sido diversa. Entre los más utilizados en los últimos años pueden citarse el picolinato de cromo (CrPic), el nicotinato de cromo (CrNic), el propionato de cromo (CrPro), el cromo unido a levadura (CrLev) y el cromo metionina (CrMet). Algunos de los resultados más relevantes de su utilización en aves se relacionan a continuación.

PICOLINATO DE CROMO (CRPIC)

Entre las diferentes formas orgánicas de suplementar Cr en dietas para aves destaca el CrPic. Es un compuesto de la forma trivalente del Cr, que tiene baja toxicidad, acompañado al ácido picolínico (Hamidi *et al.* 2016). Se

gluconeogenesis (Kani 2015).

Other authors like Herran *et al.* (2011) reported increases of feed intake, and therefore, of the final weight of animals at the end of the productive cycle, supplemented with CrPic. In addition, blood glucose levels decreased, favoring protein synthesis in muscle. Subsequently, an improvement in carcass quality was also reported.

Studies described by Toghyani *et al.* (2008) reported that supplementation with CrPic in broiler diets decreased the fat content of the carcass. It was also found that Cr exerted an inhibitory effect on *in vitro* lipogenic activity in poultry and pigs. Even from the 90s of the 20th century, both Ward (1993) and Kim *et al.* (1996) defined an increase in protein levels of the carcass and liver in broilers, respectively, supplementing Cr in the diet of these animals. This has a direct relationship with the enhancing action of Cr on insulin, since it improves the binding to the receptors of target cells and the post-receptor signaling, which translates into a greater protein synthesis. In laying hens, the positive effect of insulin on protein synthesis, the efficiency of amino acid transport and the decrease of protein degradation rate is also known (Sahin and Sahin 2002 and Piva *et al.* 2003).

There are also results that show that adding 0.5 mg of Cr/kg of food in the form of CrPic during growth stage of broilers increases food intake. Navidshad *et al.* (2009), in turn, documented an increase in food intake of 7 % (90.7 vs. 84.6 g/broiler • day) and a high weight gain of 5 % (63.3 vs. 60 g / broiler • day) with respect to the control treatment.

In order to research the effects of combined supplementation of flaxseed meal with CrPic on the fatty acid profile, oxidative stability and functional properties of broiler meat, Mir *et al.* (2017) studied the inclusion of organic Cr in a diet with this protein supplement. They used doses of 0, 0.5, 1 and 1.5 mg Cr/kg of diet. Flaxseed meal significantly reduced cholesterol and fat percentage of meat, and a progressive reduction of these metabolic indicators was also observed as Cr levels increased. This could suggest the need to increase Cr doses to supplement the broilers, to statistically demonstrate the decrease of these indicators due to the inclusion of this microelement in the diet.

Another result observed in this study was that supplementation with flaxseed meal increased drip losses and lipid peroxidation of broiler meat. However, these indicators diminished with the addition of Cr in the form of picolinate. The experiment led to the conclusion that with the inclusion of 10 % flaxseed meal and a dose of 1.5 mg Cr / kg of diet, a desired profile of fatty acids, oxidative stability and functional properties of meat is obtained, suggesting a synergistic effect of these diet components in this metabolic response.

ha utilizado en la dieta de pollos de ceba en condiciones de estrés calórico (Li *et al.* 2018). Se ha reportado que la suplementación con Cr en aves de engorde disminuye la concentración de cortisol en sangre. Esta hormona se libera como respuesta al estrés, y su principal papel viene dado por su acción de incremento del nivel de azúcar en sangre a través de la gluconeogénesis (Kani 2015).

Otros autores como Herran *et al.* (2011) reportaron incrementos en el consumo de alimento, y por ende, en el peso final de los animales al final del ciclo productivo de pollos de ceba suplementados con CrPic. Además, disminuyeron los niveles de glucosa en sangre, favoreciendo la síntesis de proteína en músculo. Subsecuentemente, también se reportó mejora en la calidad de la canal.

En estudios descritos por Toghyani *et al.* (2008) se informó que la suplementación con CrPic en las dietas de pollos de ceba disminuyó el contenido graso de la canal. Se encontró además que el Cr ejerció efecto inhibitorio en la actividad lipogénica *in vitro* en pollos y cerdos. Incluso, desde la misma década de los años 90 del siglo XX, tanto Ward (1993) como Kim *et al.* (1996), definieron aumento en los niveles de proteína de la canal e hígado en pollos de ceba, respectivamente, suplementando Cr en la dieta de estos animales. Esto tiene relación directa con el accionar potenciador del Cr en la insulina, ya que mejora la unión a los receptores de las células diana y la señalización post-receptor, lo cual se traduce en mayor síntesis proteica. En gallinas ponedoras también es conocido el efecto positivo que ejerce la insulina en la síntesis de proteína, la eficiencia del transporte de aminoácidos y la disminución de la tasa de degradación de proteínas (Sahin y Sahin 2002 y Piva *et al.* 2003).

También se han reflejado resultados que demuestran que adicionar 0.5 mg de Cr/kg de alimento en forma de CrPic en la etapa de crecimiento de pollos de ceba incrementa el consumo de alimento. Navidshad *et al.* (2009), a su vez, documentaron aumento en el consumo de alimento de 7 % (90.7 vs 84.6 g/ave • día) y ganancia de peso elevada en 5 % (63.3 vs 60 g/ave • día) respecto al tratamiento control.

Con el objetivo de investigar los efectos de la suplementación combinada de harina de linaza con CrPic en el perfil de ácidos grasos, la estabilidad oxidativa y las propiedades funcionales de la carne de pollos de ceba, Mir *et al.* (2017) estudiaron la incorporación de Cr orgánico en una dieta con este suplemento proteico. Utilizaron dosis de 0, 0.5, 1 y 1.5 mg Cr/kg de dieta. La harina de linaza redujo significativamente el colesterol y el porcentaje de grasa en la carne, y también se observó reducción progresiva de estos indicadores metabólicos a medida que se incrementaron los niveles de Cr. Esto pudiera sugerir la necesidad de aumentar las dosis de Cr a suplementar a los pollos de ceba, para evidenciar estadísticamente la disminución de estos indicadores por efecto de la inclusión de este microelemento en la dieta.

Otro resultado observado en este estudio fue que la suplementación con harina de linaza incrementó

Hajjalizadeh *et al.* (2017) researched on the effect of supplementation with CrPic and nanoparticles of this micromineral on the productive performance and immune function of broilers under heat stress conditions. Using doses of 500, 1 000 and 1 500 ppb of CrPic and 1 500 ppb of nanoparticles in the diet, these authors achieved an improvement in the productive performance of broilers, including weight gain and feed conversion rate. On the other hand, antibody titres against avian influenza and infectious bronchitis in broilers supplemented with Cr were higher than in those animals that don't received this supplementation.

Another effect observed as a conclusion of this research was that through water or food, supplementation with Cr in the form of picolinate increased the immune response by regulating the expression of interferon γ after vaccination against Newcastle disease (Hajjalizadeh *et al.* 2017).

In other research, Ezzat *et al.* (2017) reported that, in broilers, diets supplemented with 1200 $\mu\text{gCr/kg}$ in the form of CrPic during a heat stress, significantly reduced mortality in the fattening period. Subsequently, Ezzat *et al.* (2018) found that, in laying hens, supplementing 800 $\mu\text{gCr/kg}$ in the form of CrPic in the diet, rectal temperature and respiratory rate were significantly reduced in animals under stress, compared to control treatment. This demonstrated the effectiveness of CrPic in the decrease of these caloric stress indicator. This study also demonstrated that supplementation with CrPic potentiated productive indicators, blood parameters, egg production and immune response.

Supplementation with CrPic (0.4-2 mgCr / kg) in the diet of broilers, increases daily gain, intake and antibody titers against Newcastle disease. Specifically, under heat stress conditions (32.8-36 °C), broilers fed diets supplemented with CrPic (1-2 mgCr/kg of diet) increased the rates of feed conversion and of transformation of T lymphocytes and decreased total glucose and cholesterol concentrations in serum (Zhang 2018).

Recently, the effects of CrPic supplementation on digestibility and transport of nutrients in laying hens exposed to a situation of heat stress were studied. These authors found that supplementation with CrPic improved nutrient digestibility of laying hens, as an increase in the digestibility of DM, OM and crude protein was observed. Supplementation with CrPic also increased the gene expression of the carriers of fatty acids, glucose, proteins and amino acids in the gastrointestinal tract of hens (Orhan *et al.* 2018).

CHROMIUM NICOTINATE (CRNIC)

Another organic compound used in the handling of diets for fattening poultry under heat stress conditions is CrNic. It contains three units of nicotinic acid per

las pérdidas por goteo y la peroxidación lipídica de la carne de los pollos de engorde. Sin embargo, cuando se adicionó Cr en forma de picolinate, estos indicadores se vieron disminuidos. El experimento permitió llegar a la conclusión de que cuando se combina la inclusión del 10% de harina de linaza y la dosis de 1.5 mg Cr/kg de dieta se obtiene el perfil deseado de ácidos grasos, estabilidad oxidativa y de propiedades funcionales de la carne, sugiriendo un efecto sinérgico de estos componentes de la dieta en esta respuesta metabólica.

Hajjalizadeh *et al.* (2017) investigaron el efecto de la suplementación con CrPic y nanopartículas de este micromineral en el comportamiento productivo y la función inmune de pollos de ceba en condiciones de estrés calórico. Utilizando dosis de 500, 1 000 y 1 500 ppb de CrPic y 1 500 ppb de nanopartículas en la dieta, lograron que el comportamiento productivo de los pollos de ceba mejorara, incluyendo la ganancia de peso y la tasa de conversión alimenticia. Por otra parte, los títulos de anticuerpos contra la influenza aviar y la bronquitis infecciosa en los pollos de ceba suplementados con Cr fueron mayores que en aquellos animales que no la recibieron.

Otro efecto observado como conclusión de esta investigación fue que a través del agua o el alimento, la suplementación con Cr en forma de picolinate incrementó la respuesta inmune regulando la expresión del interferón γ luego de la vacunación contra la enfermedad de Newcastle (Hajjalizadeh *et al.* 2017).

En otras investigaciones, Ezzat *et al.* (2017) reportaron que, en pollos de ceba, las dietas suplementadas con 1 200 $\mu\text{gCr/kg}$ en forma de CrPic durante un estrés calórico, disminuyeron significativamente la mortalidad en el período de ceba. Posteriormente, Ezzat *et al.* (2018) encontraron que en gallinas ponedoras, suplementando 800 $\mu\text{gCr/kg}$ en forma de CrPic en la dieta, la temperatura rectal y la frecuencia respiratoria se redujeron de manera significativa en animales en estrés, en comparación con el tratamiento control. Esto demostró la efectividad del CrPic en la disminución de estos indicadores de estrés calórico. Este estudio demostró además, que la suplementación con CrPic potenció los indicadores productivos y los sanguíneos, la producción de huevos y la respuesta inmune.

La suplementación en la dieta de pollos de ceba con CrPic (0.4-2 mgCr/kg), incrementa la ganancia diaria, el consumo y los títulos de anticuerpos contra la enfermedad de Newcastle. Específicamente, en condiciones de estrés calórico (32,8-36 °C), los pollos de engorde alimentados con dietas suplementadas con CrPic (1-2 mgCr/kg de dieta) incrementaron las tasas de conversión alimenticia y de transformación de linfocitos T y disminuyeron las concentraciones totales de glucosa y colesterol en suero (Zhang 2018).

Recientemente, se estudiaron los efectos de la suplementación con CrPic en la digestibilidad y transporte de nutrientes en gallinas ponedoras expuestas a una situación de estrés calórico. Estos autores encontraron que la suplementación con CrPic mejoró la digestibilidad

each Cr ion. It has been reported that exposure to high temperatures causes undesirable changes in the characteristics of broiler meat. Stress increases the urinary secretion of Cr and may exacerbate a marginal deficiency of Cr. Therefore, supplementation with Cr becomes necessary, and even fundamental.

Effects found in studies of Toghyani *et al.* (2008) showed that supplementation with Cr in the form of CrNic in the diet has positive effects on meat quality and carcass traits, either under normal temperature conditions or heat stress conditions. These studies showed that protein content of breast meat in animals supplemented with CrNic was higher in comparison to this same indicator in animals supplemented with an inorganic Cr source.

Other studies have shown the increase of body weight when Cr is supplemented through nicotinate in the diet of broilers. Rama Rao *et al.* (2012) reported significant increases in the body weight of broilers supplemented with this type of organic Cr. In addition, Toghyani *et al.* (2012) reported increases in the positive effect of CrNic supplementation on feed intake and increase in weight gain of broilers.

CHROMIUM PROPIONATE (CRPRO)

CrPro is the chromic salt of propionic acid. It is an active megacathionic complex, which has a high bioavailability of Cr (Talbot *et al.* 2013). These authors highlighted the improvement in sensitivity to insulin in broilers supplemented with CrPro, and consequently, a greater promotion of glucose entry into the cells. With this reaction, the energy reserves of the animal organism are more efficiently redistributed, shortening the interval between meals. Therefore, an increase in intake is ensured, obtaining an increase in body weight of the animal in a shorter period of time.

Other recent studies have tried to elucidate what happens with blood serum lipids, carcass traits and breast meat quality in broilers supplemented with CrPro. Xiao *et al.* (2017) developed research in which they showed the effects of the supplementation with this organic product in blood serum lipids, carcass traits and breast meat quality in broilers under heat stress conditions. Results demonstrated that the concentration of serum triglycerides and LDL decreased linearly as Cr dose increased. However, this effect was only confirmed when higher doses of organic Cr were used in the diet (0.8 or 1.6 mg Cr/kg).

Other researchers such as Zheng *et al.* (2016) suggested that CrPro is more efficiently absorbed than other Cr organic sources. Results show that this organic supplementation source has greater beneficial effects in avoiding the intramuscular fat deposition of the breast, and in meat quality compared to CrPic and CrCl₃, when doses of 0.4 or 2.0 mgCr/kg of diet are used for each of them, in poultry under heat stress

de nutrientes de las gallinas ponedoras, al observarse incremento en la digestibilidad de la MS, la MO y la proteína cruda. La suplementación con CrPic además, incrementó la expresión génica de los transportadores de ácidos grasos, glucosa, proteínas y aminoácidos a nivel del tracto gastrointestinal de las gallinas (Orhan *et al.* 2018).

NICOTINATO DE CROMO (CRNIC)

Otro compuesto orgánico utilizado en la manipulación de las dietas para pollos de ceba ante el estrés calórico es el CrNic. Este posee tres unidades de ácido nicotínico por cada ion de Cr. Se ha informado que la exposición a las altas temperaturas, causa cambios indeseables en las características de la carne de pollos de ceba. El estrés incrementa la secreción urinaria de Cr y puede exacerbar una deficiencia marginal de Cr. Por lo tanto, la suplementación con Cr se hace necesaria, y hasta fundamental.

Los efectos encontrados en los trabajos de Toghyani *et al.* (2008) evidenciaron que la suplementación con Cr en forma de CrNic en la dieta posee efectos positivos en la calidad de la carne y rasgos de la canal, ya sea en condiciones de temperatura normal o en condiciones de estrés calórico. Estos estudios demostraron que el contenido de proteína de la carne de la pechuga de los animales suplementados con CrNic fue superior en comparación a este mismo indicador, en animales suplementados con una fuente inorgánica de Cr.

Otras investigaciones han evidenciado el incremento del peso corporal cuando se suplementa Cr a través de nicotinato en la dieta de pollos de ceba. Rama Rao *et al.* (2012) reportaron incrementos significativos en el peso corporal de pollos de ceba suplementados con este tipo de Cr orgánico. Toghyani *et al.* (2012) informaron adicionalmente incrementos demostrativos del efecto positivo de la suplementación con CrNic en el consumo de alimento e aumento de la ganancia de peso en pollos de ceba.

PROPIONATO DE CROMO (CRPRO)

El CrPro es la sal crómica del ácido propiónico. Es un complejo mega- catiónico activo, el cual posee alta biodisponibilidad del Cr (Talbot *et al.* 2013). Estos autores destacaron la mejora en la sensibilidad hacia la insulina en pollos de engorde suplementados con CrPro, y consecuentemente mayor promoción de la entrada de glucosa a las células. Con esta reacción, las reservas de energía del organismo animal se redistribuyen de manera más eficiente, acortando el intervalo entre comidas. Por ende, se asegura aumento del consumo y se obtiene incremento del peso corporal del animal en un lapso de tiempo más corto.

Otros estudios más recientes han pretendido dilucidar qué sucede con los lípidos del suero sanguíneo, los rasgos de la canal y la calidad de la carne de la pechuga en pollos de ceba suplementados con CrPro. Xiao *et al.* (2017) desarrollaron investigaciones en las cuales evidenciaron los efectos de la suplementación con este producto

CHROMIUM-YEAST (CRLEV)

Different authors promote Cr linked to yeast as one of the most efficient organic forms of supplementation (Kani 2015). This author states an increase in the absorption of this microelement, of up to 10-25 % approximately, obtaining the greatest weight gains when this type of organic supplementation is used.

Dębski *et al.* (2004) stated that supplementation of Cr with yeast in broilers decreased the cholesterol content in muscle by 40 %. In addition, an increase in the concentration of cholesterol in the liver was observed. This accumulation suggested an increase in the rate of liver accumulation and a decrease in the transfer of these components to the muscle. In addition, the concentration of total cholesterol in blood was significantly lower in animals fed the diet rich in CrLev. Likewise, total cholesterol in the liver increased.

Authors such as Chica *et al.* (2014) found a better performance in the analyzed indicators (live weight, intake and weight gain) in the animals supplemented with CrLev. Several studies with laying hens and broilers indicate that there is greater bioavailability of the mineral in tissue and eggs when organic sources of Cr are used, especially CrLev (Doerfler *et al.* 2000, Piva *et al.* 2003 and Eseceli *et al.* 2010).

Specific amounts of Cr supplemented in the diet for broilers were also evaluated, showing beneficial effects. Króliczewska *et al.* (2005) added 0.3 and 0.5 mg of Cr linked to yeast in the diet of broilers, and the results showed that when 0.5 mg was added, live weight increased by 3.79% (2 009.16 vs. 2 085.41 g), as well as the weight gain increased by 3.9% (1,969.07 vs. 2 046.09 g) compared to the control treatment. Other authors found evidence about the increased protein level in the muscle of animals fed diets supplemented with Cr in the form of CrLev. This situation was similar even under heat stress conditions (Amatya *et al.* 2004 and Samanta *et al.* 2008).

In a study carried out by Haq *et al.* (2018), CrLev combined with ascorbic acid and vitamin E was fed to broilers and their effect on productive and metabolic indicators was evaluated. Results showed the decrease of glucose concentration in blood serum due to Cr supplementation. In addition, when it is provided in combination with antioxidants, triglyceride concentrations were also reduced, demonstrating a possible synergistic effect among these components of the diet. The combination of CrLev and ascorbic acid reported the lowest values of total cholesterol, suggesting that the role of Cr is enhanced in the presence of vitamin C.

Conclusively, supplementation with CrLev, with or without vitamin C or E, significantly reduced the concentration of total triglycerides, glucose and

orgánico en los lípidos del suero sanguíneo, los rasgos de la canal y la calidad de la carne de la pechuga en pollos de ceba en condiciones de estrés calórico. Los resultados mostraron que la concentración de los triglicéridos del suero y las LDL decrecieron linealmente en la medida que la dosis de Cr aumentaba. Sin embargo, este efecto se comprobó solamente cuando se utilizaron las dosis mayores de Cr orgánico en la dieta (0.8 o 1.6 mg Cr/kg).

Otros investigadores como Zheng *et al.* (2016) sugieren que el CrPro se absorbe más eficientemente que otras fuentes orgánicas de Cr. Los resultados muestran que esta fuente orgánica de suplementación tiene efectos beneficiosos mayores en evitar la deposición de grasa intramuscular de la pechuga, y en la calidad de la carne en comparación con el CrPic y el CrCl3, cuando se utilizan dosis de 0,4 o 2,0 mgCr/kg de dieta para cada uno de ellos, en pollos en condiciones de estrés calórico.

CROMO-LEVADURA (CRLEV)

Distintos autores promueven el Cr unido a levadura como una de las formas orgánicas más eficientes de suplementación (Kani 2015). Este autor plantea incremento en la absorción de este microelemento, de hasta 10-25% aproximadamente, y se obtiene las mayores ganancias de peso cuando se utiliza este tipo de suplementación orgánica.

Dębski *et al.* (2004) plantearon que la suplementación de Cr con levadura en pollos de ceba disminuía en 40 % el contenido de colesterol en músculo. Además, se observó incremento de la concentración de colesterol en hígado. Esta acumulación sugirió incremento de la tasa de acumulación hepática y decrecimiento de la transferencia de estos componentes al músculo. Además, la concentración de colesterol total en sangre fue significativamente menor en las aves alimentadas con la dieta rica en CrLev. A su vez, el colesterol total en hígado se incrementó.

Autores como Chica *et al.* (2014) encontraron mejor comportamiento en los indicadores analizados (peso vivo, consumo y ganancia de peso) en los animales suplementados con CrLev. Diversos estudios en gallinas ponedoras y pollos de engorde señalan que existe mayor biodisponibilidad del mineral en tejido y en huevo cuando se utilizan fuentes orgánicas de Cr especialmente de CrLev (Doerfler *et al.* 2000, Piva *et al.* 2003 y Eseceli *et al.* 2010).

Cantidades específicas de Cr suplementado en la dieta de pollos de ceba también se evaluaron, mostrando efectos beneficiosos. Króliczewska *et al.* (2005) adicionaron 0.3 y 0.5 mg de Cr unido a levadura en la dieta de pollos de engorde, y los resultados demostraron que cuando se agregaban 0.5 mg, el peso vivo aumentaba en 3.79% (2009.16 vs. 2085.41 g), así como la ganancia de peso aumentaba en 3.9% (1969.07 vs. 2046.09 g) en comparación con el tratamiento control. Otros autores encontraron evidencias acerca del aumento del nivel de proteína en el músculo de pollos alimentados con dietas complementadas con Cr en forma de CrLev. Esta situación se comportó de manera similar incluso en condiciones de

cholesterol in blood serum of broilers.

CHROMIUM-METHIONINE (CRMET)

Previous studies show an adequate absorption and absence of gastric effects when minerals are associated with organic ligands such as enzymes, proteins and particularly amino acids.

Several studies indicate that minerals linked to organic molecules are an alternative to the difficult incorporation of metals in the organism. By using the metabolic pathways of transport of organic molecules, metals would be carried to the intestine where they can be easily absorbed, which in turn avoids the annoying gastric effects of the inorganic salts of metals (Pal *et al.* 2010). One of these examples is methionine, hence its application as a product, linked to Cr, to facilitate its absorption.

In a study developed by Ghazi *et al.* (2012) with broilers, they were supplemented with 600 and 1 200 µgCr/kg of diet in the form of CrMet, from one day of age until the end of the productive cycle. In these animals, the antibody response (IgG and IgM) increased with values higher than those found in the control treatment and in treatments where Cr was inorganically supplemented. There were also significant increases in the weight of thymus and spleen, revealing the incidence of this metal in the immune response of animals. In addition, these animals exhibited a better response when they were subjected to a caloric stress. The specific immune response may be affected in young animals under heat stress conditions. These effects include a decline in the circulation of white blood cells. Besides, this type of stress has been reported as one of the causes of suppression of antibody production in poultry. Immunological function has been elevated by Cr and its effects seem to be accentuated during stress, due to the redistribution that occurs in this micromineral during this situation. This becomes apparent, for example, when, in a situation of this type, Cr concentration in blood decreases and urinary excretion increases.

In recent years, the focus of these studies are mainly directed to immune system. Jahanian and Rasouli (2015) carried out a research on the effects of supplementation in broilers with CrMet in the productive performance and immune response against heat stress. Using doses of 0, 500 and 1,000 µgCrMet/kg of diet, this supplementation increased feed intake and improved weight gain, as well as feed efficiency. On the other hand, results showed that there was a significant interaction between the level of Cr and temperatures, so that the inclusion of CrMet was more effective in poultry under heat stress conditions. These researchers also found that the inclusion of the product in the diet improved the antibody response to different immunostimulants, and that this effect

Cuban Journal of Agricultural Science, Volume 53, Number 3, 2019.

estrés calórico (Amatya *et al.* 2004 y Samanta *et al.* 2008).

En un estudio llevado a cabo por Haq *et al.* (2018), se suministró CrLev combinado con ácido ascórbico y vitamina E, a pollos de ceba y se evaluó su efecto en indicadores productivos y metabólicos. Los resultados evidenciaron la disminución de la concentración de glucosa en suero sanguíneo, debido a la suplementación con Cr. Además, al suministrarse de manera combinada con antioxidantes, se redujeron igualmente las concentraciones de triglicéridos, demostrándose un posible efecto sinérgico entre estos componentes de la dieta. La combinación de CrLev y ácido ascórbico reportó los valores más bajos de colesterol total, sugiriendo que en presencia de vitamina C el papel del Cr se ve potenciado.

De manera concluyente, la suplementación con CrLev, con o sin vitamina C o E, redujo significativamente la concentración de triglicéridos, la glucosa y colesterol totales en suero sanguíneo de los pollos de ceba.

CROMO-METIONINA (CRMET)

Estudios previos muestran adecuada absorción y ausencia de efectos gástricos cuando los minerales están asociados a ligandos orgánicos como enzimas, proteínas y particularmente aminoácidos.

Diversas investigaciones señalan que los minerales ligados a moléculas orgánicas son una alternativa a la difícil incorporación de metales en el organismo. Al utilizar las vías metabólicas de transporte de las moléculas orgánicas, los metales se conducirían hasta el intestino donde pueden ser fácilmente absorbidos, lo cual evita a su vez, los molestos efectos gástricos propios de las sales inorgánicas de los metales (Pal *et al.* 2010). Uno de esos ejemplos lo constituye la metionina, de ahí su aplicación como producto, unida al Cr, para facilitar su absorción.

En un trabajo desarrollado por Ghazi *et al.* (2012) con pollos de ceba, estos se suplementaron con 600 y 1 200 µgCr/kg de dieta en forma de CrMet, desde un día de edad hasta la finalización del ciclo productivo. En estos animales, la respuesta de anticuerpos (IgG e IgM) se elevó con valores superiores a los encontrados en el tratamiento control y en los tratamientos donde el Cr se suplementó de manera inorgánica. También se manifestaron incrementos significativos en el peso de los órganos timo y bazo, poniéndose de manifiesto la incidencia de este metal en la respuesta inmunológica de los animales. Además, estos también exhibieron mejor respuesta cuando se sometieron a un estrés calórico. La respuesta inmune específica puede verse afectada en pollos jóvenes ante un estrés calórico. Estos efectos incluyen declive en la circulación de células blancas de la sangre. Además, se ha reportado este tipo de estrés como una de las causas de supresión de la producción de anticuerpos en pollos. La función inmunológica se ha elevado por el Cr y sus efectos parecen pronunciarse durante el estrés, debido a la redistribución que ocurre de este micromineral durante esta situación. Esto se hace ostensible, por ejemplo, cuando ante una

was more pronounced in poultry under this type of stress.

The effects of corticosterone release were also modulated by CrMet supplementation, even to values close to those reached under conditions of thermoneutrality. Jahanian and Rasouli (2015) also found that, under heat stress conditions, relative weights of thymus and bursa of Fabricius decreased. These same animals, once supplemented with CrMet, recovered the normal relative weight of these organs, specifically when a dose of 1 000 $\mu\text{gCrMet/kg}$ of diet was used. Based on these studies, it could be concluded that supplementation with CrMet in fattening poultry, under heat stress conditions, positively influenced on productive performance indicators and improves immune responses measured as antibody humoral response and cellular immunity. In addition, this supplementation had a modulating effect on leukocyte subpopulations, with decreasing proportions of heterophiles and cytotoxic T lymphocytes.

Habibian *et al.* (2013) also supplemented 0, 0.6 and 1.2 mg Cr/kg of diet through CrMet, in poultry also under heat stress conditions. They found that these animals had low concentrations of total cholesterol in blood serum. However, in contrast to this result, Zheng *et al.* (2016) reported that supplementation with Cr, regardless of organic or inorganic source (CrPic, CrPro, CrCl₃), did not affect total cholesterol concentration in serum. Despite this duality of results, it is preferred to continue using Cr supplementation through organic forms due to the previously mentioned advantages.

CONCLUSIONS

Among the five analyzed Cr-based organic products, CrPic and CrLev stand out above the rest. Both have markedly beneficial effects not only on productive indicators, but also on metabolic and immune factors of poultry, both in broilers and laying hens. Valuable studies have also been carried out on egg quality before organic supplementation with Cr. Recent research has mainly been focused on immune response and gene expression generated by the supplementation of these two organic compounds, beyond the already traditional experiments on the increase of meat protein content, intake improvement and food conversion, weight gain increase and decrease of cholesterol and glucose concentrations in blood.

Supplementation with organic Cr in poultry productions stands out mainly to counteract the negative effects of caloric stress, as well as to reduce the concentration of certain metabolites in blood that affect the good productive performance. In such a way, the use of these products to counteract this type of stress, among other benefits, is emerging as a potential tool to reach better poultry productions in tropical

situación de este tipo, la concentración de Cr en sangre disminuye y su excreción urinaria se incrementa.

En años recientes, estos estudios han estado dirigidos principalmente al sistema inmune. Jahanian y Rasouli (2015) realizaron una investigación donde estudiaron los efectos de la suplementación en pollos de ceba con CrMet en el comportamiento productivo y la respuesta inmune contra el estrés calórico. Utilizando dosis de 0, 500 y 1 000 $\mu\text{gCrMet/kg}$ de dieta, dicha suplementación incrementó el consumo de alimento y mejoró la ganancia de peso, así como la eficiencia alimenticia. Por otra parte, los resultados arrojaron como conclusión que existió una interacción significativa entre el nivel de Cr y las temperaturas, de tal forma que la inclusión de CrMet fue más efectiva en pollos en condiciones de estrés calórico. Estos investigadores encontraron, además, que la inclusión del producto en la dieta mejoró la respuesta de anticuerpos a diferentes inmunostimulantes, y que este efecto fue más pronunciado en pollos sometidos a este tipo de estrés.

También los efectos de la liberación de corticosterona fueron modulados por la suplementación de CrMet, incluso hasta valores cercanos a los alcanzados en condiciones de termoneutralidad. Jahanian y Rasouli (2015) encontraron, además, que ante condiciones de estrés calórico, los pesos relativos del timo y la bolsa de Fabricio decrecieron. Estos mismos animales, una vez suplementados con CrMet, recuperaron el peso relativo normal de estos órganos, específicamente cuando se utilizó la dosis de 1 000 $\mu\text{gCrMet/kg}$ de dieta. Basados en estas investigaciones podría concluirse que la suplementación con CrMet en pollos de ceba, en condiciones de estrés calórico, tiene influencia positiva en los indicadores de comportamiento productivo y mejora las respuestas inmunes medidas como respuesta humoral de anticuerpos e inmunidad celular. Además, esta suplementación tuvo efecto modulador en las subpoblaciones de leucocitos, con proporciones decrecientes de heterófilos y linfocitos T citotóxicos.

También Habibian *et al.* (2013) suplementaron 0, 0.6 y 1.2 mg Cr/kg de dieta a través de CrMet, en pollos de ceba, igualmente en condiciones de estrés calórico. Encontraron que estos animales poseían bajas concentraciones de colesterol total en suero sanguíneo. Sin embargo, en contraposición con este resultado, Zheng *et al.* (2016) informaron que la suplementación con Cr, independientemente de la fuente, ya fuera orgánica o inorgánica (CrPic, CrPro, CrCl₃), no afectó la concentración de colesterol total en suero. No obstante a esta dualidad de resultados, se prefiere seguir apostando a la suplementación de Cr a través de formas orgánicas, por las ventajas enumeradas anteriormente.

CONCLUSIONES

Entre los cinco productos orgánicos basados en Cr analizados, destacan por encima del resto el CrPic y el CrLev. Ambos poseen efectos marcadamente beneficiosos no solo en los indicadores productivos, sino también en los metabólicos e inmunes de las aves, tanto en pollos

regions. It is possible to use the biological properties of microorganisms studied at the Institute of Animal Science, in order to obtain organic products based on Cr, coming from national sources, through simple biotechnological processes. The benefits derived from the use of Cr in poultry production demonstrate that its supplementation through organic forms is convenient and reliable.

de engorde como en gallinas ponedoras. También se han realizado estudios valiosos sobre la calidad del huevo ante la suplementación orgánica con Cr. Las investigaciones en los últimos años se han enfocado principalmente en la respuesta inmune y la expresión génica generada por la suplementación de estos dos compuestos orgánicos, más allá de los ya tradicionales experimentos sobre el aumento del contenido proteico de la carne, la mejora en el consumo y conversión alimentaria, el incremento en la ganancia de peso y la disminución de las concentraciones de colesterol y glucosa en sangre.

La suplementación con Cr orgánico en producciones aviares destaca mayormente por contrarrestar los efectos negativos del estrés calórico, así como por disminuir la concentración de determinados metabolitos en sangre que afectan el buen comportamiento productivo. De tal manera, el uso de estos productos para combatir este tipo de estrés, entre otros beneficios que presentan, se perfila como herramienta potencial para alcanzar mejores producciones aviares en regiones tropicales. Es posible utilizar las propiedades biológicas de los microorganismos estudiados en el Instituto de Ciencia Animal, con el fin de obtener productos orgánicos basados en Cr, proveniente de fuentes nacionales, a través de procesos biotecnológicos simples. Los beneficios provenientes del uso del Cr en la producción avícola demuestran que su suplementación a través de formas orgánicas es conveniente y fiable.

REFERENCES

- Abd El-Hack, M.E., Mahrose, K., Askar, A.A., Alagawany, M., Arif, M., Saeed, M., Abbasi, F., Soomro, R.N., Siyal, F.A. & Chaudhry, M.T. 2017. Single and combined impacts of vitamin A and selenium in diet on productive performance, egg quality, and some blood parameters of laying hens during hot season. *Biological Trace Elements Research*, 177(1):169-179.
- Amatya, J.L., Haldar, S. & Ghosh, T.K. 2004. Effects of chromium supplementation from inorganic and organic sources on nutrient utilization, mineral metabolism and meat quality in broiler chickens exposed to natural heat stress. *Animal Science*. 79(2):241-253.
- Bahadoran, S., Dehghani, S.A. Hassanpour, H. 2018. Effect of heat stress on the gene expression of ion transporters/channels in the uterus of laying hens during eggshell formation. *Stress*. 21(1):51-58.
- Brooks, M.A., Grimes, J.L., Lloyd, K.E., Krafka, K., Lamptey, A. & Spears, J.W. 2016. Chromium propionate in broilers: effects on insulin sensitivity. *Poultry Science*, 95(5):1096-1104.
- Chica Peláez, J.D., Restrepo, G.M & Cárdenas, N.C. 2014. Determinación del efecto y nivel de suplementación de Cromo sobre los parámetros productivos y económicos de pollos de engorde. Diploma Thesis. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad de Antioquia, Colombia.
- Dalólio, F.S., Albino, L.F.T., Silva, J.N., Campos, P.H.R.F., Lima, H.J.D., Moreira, J. & Ribeiro Junior, V. 2018. Dietary chromium supplementation for heat-stressed broilers. *World's Poultry Science Journal*. 74(1):101-116. DOI:10.1017/S0043933917001064
- Dębski, B., Zalewski, W., Gralak, M. A. & Kosla, T. 2004. Chromium-yeast supplementation of chicken broilers in an industrial farming system. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*. 18(1):47-51, ISSN: 0946672X, DOI: 10.1016/j.jtemb.2004.02.003.
- Doerfler, R. E., Edens, F. W., McMurtry, J. P., Qureshi, M. A., Parkhurst, C. R. & Havenstein, G. B. 2000. Influence of biochrome® on the response of metabolic hormones in PEMS-infected poult. *Poultry Science*. 79(5):661-668, ISSN: 00325791, DOI: 10.1093/ps/79.5.661.
- Eseceli, H., Degirmencioglu, N. & Bilgic, M. 2010. The effect of inclusion of chromium yeast (Co-Fator II, alltech Inc.) and folic acid to the rations of laying hens on performance, egg quality, egg yolk cholesterol, folic acid and chromium levels. *Journal of Animal and Veterinary Advances*. 9(2):384-391, ISSN: 16805593, DOI: 10.3923/javaa.2010.384.391.
- Ezzat, W., Abdallah, E.A., Rizk, A.M., Ouda, M.M.M. & Raga, E.A. 2017. Impact of chromium picolinate supplementation on productive performance, immune response and heat shock proteins of broiler chickens under heat-stress condition. *Egyptian Poultry Science*, 37(2):559-583.
- Ezzat, W., Abdallah, E.A., Rizk, A.M., Ouda, M.M.M. & Raga, E.A. 2018. The effect of chromium picolinate supplementation on immune response and heat shock proteins of laying hens under heat stress conditions. *Egyptian Poultry Science Journal*. 38(1): 65-89.

- Farag, M.R., Mahmoud, A., Mohamed, E.A.E., Muhammad, A., Tugay, A., Kuldeep, D., Amlan, P. & Kumaragurubaran, K. 2017. Role of Chromium in Poultry Nutrition and Health: Beneficial Applications and Toxic Effects. *International Journal of Pharmacology*. 13(7):907-915.
- Ghazi, S., Habibian, M., Moeini, M. M. & Abdolmohammadi, A. R. 2012. Effects of different levels of organic and inorganic chromium on growth performance and immunocompetence of broilers under heat stress. *Biological Trace Element Research*. 146(3):309–317, ISSN: 01634984, DOI: 10.1007/s12011-011-9260-1.
- Habibian, M., Ghazi, S. & Moeini, M. M. 2013. Lack of effect of dietary chromium supplementation on growth performance and serum insulin, glucose, and lipoprotein levels in broilers reared under heat stress condition. *Biological Trace Element Research*. 153(1-3): 205-211, ISSN: 01634984, DOI: 10.1007/s12011-013-9663-2.
- Hajjalizadeh, F., Ghahri, H. & Talebi, A. 2017. Effects of supplemental chromium picolinate and chromium nanoparticles on performance and antibody titers of infectious bronchitis and avian influenza of broiler chickens under heat stress condition. *Veterinary Research Forum : an international quarterly journal*. 8(3): 259, ISSN: 2008-8140.
- Hamidi, O., Chamani, M., Ghahri, H., Sadeghi, A.A. & Malekinejad, H. 2016. Effects of chromium (III) picolinate and chromium (III) picolinate nanoparticles supplementation on growth performance, organs weight and immune function in cyclic heat stressed broiler chickens. *Kafkas Üniv. Vet. Fak. Derg.* 22(3):373–380.
- Haq, Z., Jain, R., Mahajan, A., Ganai, I.A., Khan, N & Mudasir, S. 2018. Dietary supplementation of chromium yeast alone and in combination with antioxidants for designing broiler meat. *Journal of Entomology and Zoology Studies*. 6(1):766-770
- Herran, J., Peña, H., Latorre, S. & Calderon, C. 2011. Characteristics of the channels and blood parameters of chickens complemented with chromium and their productive acting Resumen. *Revista Colombiana De Ciencia Animal*, 4(1):15–19.
- Jahanian, R. & Rasouli, E. 2015. Dietary chromium methionine supplementation could alleviate immunosuppressive effects of heat stress in broiler chicks. *Journal of Animal Science*. 93(7):3355–3363, ISSN: 15253163, DOI: 10.2527/jas.2014-8807.
- Kani, M. M. 2015. The Effects of Different Sources of Organic and Inorganic Chromium on Blood Parameters of Broiler Chickens. *Indian Journal of Science and Technology*. 8(28):1, DOI: 10.17485/ijst/2015/v8i28/.
- Kim, Y. H., Han, I. K., Choi, Y. J., Shin, I. S., Chae, B. J. & Kang, T. H. 1996. Effects of dietary levels of chromium picolinate on growth performance, carcass quality and serum traits in broiler chicks. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*. 9(3): 341–347, ISSN: 1011-2367.
- Króliczewska, B., Zawadzki, W., Skiba, T. & Mišta, D. 2005. Effects of chromium supplementation on chicken broiler growth and carcass characteristics. *Acta Veterinaria Brno*. 74(4): 543-549, ISSN: 00017213, DOI: 10.2754/avb200574040543.
- Li, R., Zhou, Y., Li, Y., Guo, L., Zhang, Y. & Qi, Z. 2018. Effects of Chromium Picolinate Supplementation on Growth Performance, Small Intestine Morphology and Antioxidant Status in Ducks Under Heat Stress Conditions. *International Journal of Morphology*. 36(1):226-234, ISSN: 0717-9367, DOI: 10.4067/S0717-95022018000100226.
- Mir, N. A., Tyagi, P. K., Biswas, A. K., Tyagi, P. K., Mandal, A. B., Sheikh, S. A., Deo, C., Sharma, D. & Verma, A. K. 2017. Impact of feeding chromium supplemented flaxseed based diet on fatty acid profile, oxidative stability and other functional properties of broiler chicken meat. *Journal of Food Science and Technology*. 54(12): 3899–3907, ISSN: 09758402, DOI: 10.1007/s13197-017-2846-7.
- Moeini, M. M., Bahrami, A., Ghazi, S. & Targhibi, M. R. 2011. The effect of different levels of organic and inorganic chromium supplementation on production performance, carcass traits and some blood parameters of broiler chicken under heat stress condition. *Biological Trace Element Research*. 144(1–3):715–724, ISSN: 01634984, DOI: 10.1007/s12011-011-9116-8.
- Navidshad, B., Pirsaraei, Z. A. & Chashnidel, Y. 2009. Effects of dietary chromium polynicotinate supplementation on performance, fat deposition and plasma lipids of broiler chickens. *Italian Journal of Animal Science*. 9(1):61–64, ISSN: 15944077, DOI: 10.4081/ijas.2010.e13.
- Orhan, C., Tuzcu, M., Defo Deeh, P., Sahin, N., Komorowski, J.R. & Sahin, K. 2018. Organic Chromium Form Alleviates the Detrimental Effects of Heat Stress on Nutrient Digestibility and Nutrient Transporters in Laying Hens. *Biological Trace Element Research*. 1-9. Available: <https://doi.org/10.1007/s12011-018-1485-9>
- Ozdemir, O., Tuzcu, M., Sahin, N., Orhan, C., Tuzcu, Z. & Sahin, K. 2017. Organic chromium modifies the expression of orexin and glucose transporters of ovarian in heat-stressed laying hens. *Cell Molecular Biology (Noisy-le-Grand, France)*. 63(10):93–98.
- Pal, D. T., Gowda, N. K. S., Prasad, C. S., Amarnath, R., Bharadwaj, U., Babu, G. S. & Sampath, K. T. 2010. Effect of copper- and zinc-methionine supplementation on bioavailability, mineral status and tissue concentrations of copper and zinc in ewes. *Journal of Trace Elements in Medicine & Biology*. 24(2):89–94, ISSN: 0946-672X, DOI: 10.1016/j.jtemb.2009.11.007, Available: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jtemb.2009.11.007>.
- Piva, A., Meola, E., Gatta, P.P., Biagi, G., Castellani, G., Mordenti, A. L. & Mordenti, A. 2003. The effect of dietary supplementation with trivalent chromium on production performance of laying hens and the chromium content in the yolk. *Animal Feed Science and Technology*. 106(1-4):149-163.
- Rama Rao, S. V., Raju, M. V. L. N., Panda, A. K., Poonam, N. S., Krishna Murthy, O. & Shyam Sunder, G. 2012. Effect of dietary supplementation of organic chromium on performance, carcass traits, oxidative parameters, and immune responses in commercial broiler chickens. *Biological Trace Element Research*. 147(1–3):135–141, ISSN: 01634984, DOI: 10.1007/s12011-011-9314-4.
- Rama Rao, S. R., Prakash, B., Raju, M. V. L. N., Panda, A. K., Kumari, R. K., & Reddy, E. P. K. 2016. Effect of supplementing organic forms of zinc, selenium and chromium on performance, anti-oxidant and immune responses in broiler chicken reared in tropical summer. *Biological Trace Element Research*, 172(2):511-520.
- Sahin, K. & Sahin, N. 2002. Effects of chromium picolinate and ascorbic acid dietary supplementation on nitrogen and mineral excretion of laying hens reared in a low ambient temperature (7°C). *Acta Veterinaria Brno*, 71(2):183–189, ISSN: 0001-7213.

- Sahin, K., Sahin, N. & Kucuk, O. 2003. Effects of chromium, and ascorbic acid supplementation on growth, carcass traits, serum metabolites, and antioxidant status of broiler chickens reared at a high ambient temperature (32°C). *Nutrition Research*. 23(2):225-238, ISSN: 02715317, DOI: 10.1016/S0271-5317(02)00513-4.
- Sahin, N., Hayirli, A., Orhan, C., Tuzcu, M., Komorowski, J.R. & Sahin, K. 2018. Effects of the supplemental chromium form on performance and metabolic profile in laying hens exposed to heat stress. *Poultry Science*. 97(4):1298–1305.
- Samanta, S., Haldar, S., Bahadur, V. & Ghosh, T. K. 2008. Chromium picolinate can ameliorate the negative effects of heat stress and enhance performance, carcass and meat traits in broiler chickens by reducing the circulatory cortisol level. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 88(5):787-796. DOI: 10.1002/jsfa.
- Talbott, L., Jose, J., Rodríguez, L. & Carlos, J. 2013. Efecto del Propionato de Cromo durante 42 días de edad en pollos de engorde machos Arbor Acres Plus. Diploma Thess. Departamento de Ciencia y Producción Agropecuaria. Escuela Agrícola Panamericana, El Zamorano, Honduras.
- Toghyani, M., Khodami, A. & Gheisari, A. A. 2008. Effect of organic and inorganic chromium supplementation on meat quality of heat-stressed broiler chicks. *American Journal of Animal and Veterinary Sciences*. 3(2): 62–67, ISSN: 15574563, DOI: 10.3844/ajavsp.2008.62.67.
- Toghyani, M. M., Toghyani, M. M., Shivazad, M., Gheisari, A. & Bahadoran, R. 2012. Chromium supplementation can alleviate the negative effects of heat stress on growth performance, carcass traits, and meat lipid oxidation of broiler chicks without any adverse impacts on blood constituents. *Biological Trace Element Research*. 146(2):171–180, ISSN: 01634984, DOI: 10.1007/s12011-011-9234-3.
- Ward, T. L. 1993. Effect of dietary chromium picolinate on growth, nitrogen balance and body composition of growing broiler chicks. *Poultry Science*. 72(1): 37.
- Xiao, F., Ao, D., Zhou, B., Spears, J. W., Lin, X. & Huang, Y. 2017. Effects of Supplemental Chromium Propionate on Serum Lipids, Carcass Traits, and Meat Quality of Heat-Stressed Broilers. *Biological Trace Element Research*. 176(2):401–406, ISSN: 15590720, DOI: 10.1007/s12011-016-0852-7, Available: <http://dx.doi.org/10.1007/s12011-016-0852-7>.
- Yildiz, A. Ö., Parlat, S. S. & Yazgan, O. 2004. The effects of organic chromium supplementation on production traits and some parameters of laying quail. *Revue Med Vet*. 155(12):642–646, ISSN: 00351555.
- Zhang, S., Sun, X., Liao, X., Lu, L., Zhang, L., Ma, Q. & Luo, X. 2018. Dietary supplementation with chromium picolinate influences serum glucose and immune response of brown-egg laying hens. *Biological Trace Element Research*. 185(2): 448-455. Available: <https://doi.org/10.1007/s12011-017-1232-7>
- Zheng, C., Huang, Y., Xiao, F., Lin, X. & Lloyd, K. 2016. Effects of supplemental chromium source and concentration on growth, carcass characteristics, and serum lipid parameters of broilers reared under normal conditions. *Biological Trace Element Research*. 169(2):352–358, ISSN: 0163-4984.

Received: May 14, 2019