

Organik Çinkonun Kanatlı Beslenmesinde Kullanılması

The Use of Organic Zinc in Poultry Nutrition: Review

Onur KESER,^a
Halil Can KUTAY,^a
Neşe KOCABAĞLI^a

^aHayvan Besleme ve
Beslenme Hastalıkları AD,
İstanbul Üniversitesi Veteriner Fakültesi,
İstanbul

Geliş Tarihi/Received: 18.01.2017
Kabul Tarihi/Accepted: 09.02.2017

Yazışma Adresi/Correspondence:
Onur KESER
İstanbul Üniversitesi Veteriner Fakültesi,
Hayvan Besleme ve
Beslenme Hastalıkları AD, İstanbul,
TÜRKİYE/TURKEY
okeser@istanbul.edu.tr

ÖZET Çinko tüm hayvanlarda birçok biyokimyasal ve hücreyel işlevler için gerekli bir iz elementtir. Hücreyel enzimlerin yapısına katılarak hücre çoğalmasının ve ölümünün düzenlenmesi, immün sistemin gelişmesi, üreme, gen regülasyonu, oksidatif stres ve hasarlara karşı savunma mekanizmasının işlenmesi çinkonun bazı önemli fonksiyonları arasında bulunmaktadır. Çinko kanatlılarda immün yanıtın modifiye edilmesinde rol alan bir mineral olup; organik formlarının rasyona ilavesinin immünglobulinlerin düzeylerinde ve hücreyel yanıtta düzelmeye yol açarak immünolojik kapasite üzerinde olumlu etkilere yol açtığı bildirilmiştir. Ayrıca çinko; kanatlılarda büyüme, tüylenme, iskelet gelişimi, et verimi ve karkas kalitesi için gerekli bir mineral olup, epitelyal hücrelerin üretilmesinde ve nükleik asitlerin sentezinde, hücre dışı matris ve bağ dokunun temel bileşeni olan kollajenin oluşumunda yer alan kollajenaz enziminin yapısına katılarak kollajen sentezinin gerçekleşmesinde de görev almaktadır. Ayrıca tüy, deri, gaga ve tırnakların yapısal proteini olan keratinin sentezi için gereken bir mineraldir. Çinko çoğunlukla çinko klorür, çinko sülfat heptahidrat ya da çinko oksit formunda bulunmakla birlikte organik formu da üretilebilmektedir. Son yıllarda, organik çinko kaynaklarının inorganik formlara göre biyoyararlılığının daha yüksek olduğunun bildirilmesiyle birlikte, yem sanayiinde bu mineralin organik formlarının kullanımı artmıştır. Bu çalışmada, organik çinkonun kanatlı beslenmesinde kullanılmasına ilişkin genel bir bakış açısı sunulmakla birlikte; organik çinkonun biyoyararlılık, performans, bağışıklık, karkas ve et kalitesi üzerine etkileri ile ilgili bazı çalışmaların sonuçlarına da değinilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Eser elementler; biyolojik yararlanım; kümes hayvanı; büyüme; bağışıklık; et

ABSTRACT Zinc is a trace mineral that is necessary for many biochemical and cellular process in animals. The execution of cell proliferation and death by joining to structure of cellular enzymes, the development of immune system, productivity, gene regulation, the processing of defensive mechanism against oxidative stress and damages are known as some important functions of zinc. Zinc plays role in the modification of immune response in poultries and it was reported that the addition of its organic forms to diet had positive effects on immunological capacity by improving the levels of immunoglobulins and cellular response. Zinc is also essential for growth, feathering, skeletal development, meat production and carcass quality, and it plays role in the generation of epithelial cells, the synthesis of nucleic acids, the production of collagen, a main component of extra-cellular matrix and fascia, by taking part in the structure of collagenase enzyme, and the synthesis of ceratin, a structural protein of feather, skin, beak and claws. Zinc chloride, zinc sulphate heptahydrate or zinc oxide are the most common form of zinc, however, its organic form can also be produced. In recent years, organic zinc sources have been used increasingly in feed industry after it was reported that their bioavailability was higher than their inorganic forms. In this review, it was provided an overview about the use of organic zinc in poultry nutrition, and also presented the results of some studies on the bioavailability and the effects of organic zinc on performance, immunity, carcass and meat quality.

Key Words: Trace elements; biological availability; poultry; growth; immunity; meat

doi: 10.5336/vetsci.2017-54853

Copyright © 2016 by Türkiye Klinikleri

Türkiye Klinikleri J Vet Sci 2016;7(2):51-9

Bilinen 90 elementin 26'sı hayvanlar için esansiyel olarak kabul edilmektedir. Bunların 11'i makro element (karbon, hidrojen, oksijen, nitrojen, sülfür, kalsiyum, fosfor, potasyum, sodyum, klor ve magnezyum), 15'i ise mikro element (demir, çinko, bakır, manganez, nikel, kobalt, molibden, selenyum, krom, iyot, flor, kalay, silikon, vanadyum ve arsenik) olarak tanımlanmaktadır.¹ Çinko, tüm hayvanlarda birçok biyokimyasal ve hücrel işlevler için gerekli bir iz elementtir. Bunlar arasında; hücrel enzimlerin yapısına katılarak hücre çoğalması ve ölümünde ana rol oynaması, immün sistemin gelişmesi, üreme, gen regülasyonu, oksidatif stres ve hasarlara karşı savunmanın oluşması sayılabilmektedir.²⁻⁵ Çinko aynı zamanda, hücre dışı matris ve bağ dokunun temel bileşeni olan kollajenin oluşumunda yer alan kollajenaz enziminin yapısına katılmaktadır. Ayrıca tüy, deri, gaga ve tırnakların yapısal proteini olan keratinin sentezi için de gereken bir mineraldir.³ Çinko çoğunlukla çinko klorür ($ZnCl_2$), çinko sülfat heptahidrat ($ZnSO_4 \cdot 7H_2O$) ya da çinko oksit (ZnO) formunda bulunmakla birlikte, metalik katyonun organik asit kalıntısı ile kimyasal bağlanması sonucunda organik tuz formu da meydana getirebilmektedir.⁶ Son yıllarda proteinat ve aminoasit şelatları gibi organik mineral kaynaklarının biyoyararlıklarının daha yüksek olduğu düşüncesi ile kullanımlarında artış görülmüştür.^{7,8} Organik çinko kaynaklarının inorganik formlara göre biyoyararlılığının daha yüksek olduğunun bildirilmesiyle birlikte yem sanayiinde bu mineralin organik formlarının kullanımı artmıştır.^{8,9} Bunun yanında, bazı çalışmalar organik çinko ile inorganik formları arasında biyolojik değeri bakımından çok az ya da hiç farkın olmadığını da göstermiştir.¹⁰⁻¹²

Bu çalışmada, organik çinko kaynaklarının hayvan beslemede kullanılmasına ve bununla ilgili yapılan bazı çalışma sonuçlarına değinilmiştir.

ORGANİK ÇİNKONUN BİYOLOJİK YARARLILIĞI

Herhangi bir iz elementin etkinliği biyoyararlılığı ile değerlendirilmektedir. Biyoyararlılık, normal bir hayvan tarafından alınan bir besin maddesinin metabolizmada kullanılabilir formdaki absorbe edi-

len kısmının derecesini tanımlamaktadır.¹² Bu bağlamda minerallerin sadece rasyondaki düzeyleri değil, aynı zamanda dokudaki düzeyleri de önem arz etmektedir. Mineralin yemle alınan miktarı, kimyasal formu, minerali kapsayan yemin sindirilebilirliği, yemin partikül büyüklüğü, mineralin diğer besin maddeleri ile olan etkileşimi, inhibitörler, canlının fizyolojik ve patolojik durumu, yem üretim metodu ve canlının türü gibi değişkenler minerallerin biyoyararlılıkları üzerine etkili faktörlerdir.¹³ Hayvanın mineral durumuna göre bazı gen ve proteinlerin ekspresyon düzeyleri hızla artmakta ya da azalabilmektedir. Biyoyararlılık çalışmalarında, buna benzer biyobelirteçlerin ölçülmesi hayvanın mineral durumunu değerlendirmede yararlı sonuçlar sunabilmektedir. Metalloproteinin, hayvanın çinko durumuna göre değişim gösteren bir biyobelirteçtir.¹⁴ Serbest hâldeki çinko toksik etki göstereceğinden hücre tarafından absorbe edilen çinko hızla proteine bağlanmak zorundadır. Bu nedenle, çinko alımına karşı hücre metalloproteinin mRNA senteziyle ve ardından metalloproteinin proteini ile karşılık vermektedir. Metalloproteinin proteini çinkonun hücredeki diğer enzimler tarafından ihtiyacı duyulana kadar çinkoya bağlı kalmaktadır.¹⁴⁻¹⁶ Metalloproteinin mRNA ve protein ekspresyon düzeyi çinkonun yüksek alımında artar iken, düşük alımında azaldığından hayvanlarda çinko durumunu belirlemede ve farklı çinko kaynaklarının biyoyararlılığını değerlendirmede geniş ölçüde kullanılmaktadır.^{15,17-19} İz elementlerin biyoyararlılığının değerlendirilmesinde bu elementlerin depolandığı hedef organlardaki konsantrasyonların ölçülmesi de sıkça seçilen bir yöntemdir. Örneğin bakır yararlanımını değerlendirmede karaciğer ölçümleri dikkate alınır iken; çinko için kemikteki konsantrasyonun değerlendirilmesi daha geçerli bir sonuç sunmaktadır. Aynı şekilde, örneğin; domuzlarda plazma çinko ve alkalen fosfataz aktivitesi çinko durumunun bir göstergesi iken; hemoglobin konsantrasyonu ya da yenilenmesi demir durumunun bir göstergesidir.²⁰ Ruminant dışındaki hayvanlarda kemik çinko konsantrasyonunun değerlendirilmesi, bu mineralin biyoyararlılığının tespitinde ana kriter olarak kullanılmaktadır.²¹ Bununla birlikte, pankreas metalloproteinin mRNA ekspresyonunun broylerlerde

çinko biyoyararlılığı ile ilgili duyarlı bir moleküler biyobelirteç olarak kullanılabileceği ve 6 günlük yaş gibi erken bir dönemde dahi çinko kaynaklarının biyoyararlılığındaki farklılıkların saptanmasında kemik çinko düzeyleri ve diğer metabo litlerden daha duyarlı sonuç verdiği bildirilmiştir.²²

Kanatlılarda organik çinkonun biyoyararlılığı ile ilgili çeşitli çalışmalar mevcuttur. Broilerlerde inorganik çinko kaynağı olarak Zn-sülfat ve organik çinko kaynağı olarak Zn-aminoasit (ZnAA) kompleksi ve Zn-proteinat (ZnPro)'ın biyoyararlılığını değerlendirmek için yapılan bir çalışmada rasyona Zn-sülfattan 0, 200, 400 ve 600 mg/kg, ZnAA ve ZnPro'nun her birinden 200 ve 400 mg/kg miktarında katılmıştır. Her üç kaynak için de rasyona katılan miktarlarının artmasına bağlı olarak kemik, barsak ve mukoza çinko konsantrasyonları ile karaciğer ve mukozal metalotiyonin düzeyleri artmıştır. Kemik çinko konsantrasyonları, çinko kaynağından etkilenmiş ve ZnPro katılan grupta en yüksek olmuştur. Diğer dokularda ise farklılık sadece çinko katılan ve katılmayan gruplar arasında önemli olmuştur. Çinkonun kısmi biyoyararlılığı ise Zn-sülfat grubu için %100 kabul edildiğinde, ZnAA ve ZnPro için %83 ve %139 olarak saptanmış ve ZnPro'nun Zn-sülfata göre biyoyararlılığının daha yüksek olduğu bildirilmiştir.⁸ Broilerlerde ZnPro (Bioplex Zn[®], Alltech Inc., USA) ile yapılan bir çalışmada, gruplardan birinin yemine 5, 10, 20 ve 40 mg/kg Bioplex Zn[®], diğer deneme gruplarının yemine ise aynı miktarda Zn-sülfat ilave edilmiş ve 40 ppm düzeyi hariç diğer düzeylerde Bioplex Zn[®] verilen grubun tibia Zn düzeyi, Zn-sülfat verilen gruba göre önemli derecede yüksek bulunmuştur. Total tibia çinko konsantrasyonu bakımından Zn-sülfat ile karşılaştırıldığında, Bioplex Zn[®]'nin biyolojik yararlılığı %157 olarak saptanmıştır (Tablo 1).²³ Farklı çinko kaynakları ile yapılan bir denemede broiler rasyonlarına %40,5 çinko içeren Zn-sülfat, %1,3 (Zn-Mont-A) ve 1,85 (Zn-Mont-B) Zn içeren iki farklı Zn-montmorilonit ve %10 çinko içeren organik çinko kaynağı (Mintrex Zn[®], Novus International Inc., USA)'nın her birinden 10, 20 ve 30 mg/kg oranında katılmış ve deneme sonucunda tibia çinko düzeyleri bakımından biyolojik yararlı-

lık değerleri Zn-sülfat için %100 kabul edildiğinde; Zn-Mont-A, Zn-Mont-B ve Mintrex Zn[®] için sırasıyla %73, 188 ve 132 olarak bulunmuştur (Tablo 1).²⁴ Erkek keklüklerde yapılan iki denemede ise rasyonlara ticari bir organik çinko katkı maddesi olan Bioplex Zn[®]'den 0, 25, 50, 75 ve 100 ppm seviyesinde katılmış ve deneme sonunda rasyonun çinko seviyesinin serum, karaciğer ve pankreas çinko konsantrasyonlarını etkilemediği bildirilmiştir (Tablo 1).^{25,26} Benzer şekilde hindi rasyonlarına, her birinden 40 mg/kg oranında Zn-sülfat ve Zn-metiyonin katılarak yapılan denemede; bursa fabricius, dalak, karaciğer, kalp ve tibia çinko konsantrasyonları bakımından gruplar arasında önemli bir farka rastlanmadığı bildirilmiştir.²⁷ Broiler rasyonlarına Zn-sülfat ve Zn-propiyonat'ın her birinin 6 ve 12 mg/kg oranında ilavesi ile yapılan bir denemede tibia çinko konsantrasyonları rasyona katılan miktardaki artışa bağlı olarak artmış fakat çinko kaynağından etkilenmemiştir. Zn sülfatın biyoyararlılığı %100 olarak kabul edildiğinde, Zn-propiyonat verilen grupta canlı ağırlık kazancı ve tibia çinko konsantrasyonları bakımından biyoyararlılık oranları sırasıyla %119 ve %116 olarak hesaplanmıştır (Tablo 1).²⁸ Mısır ve soya küspesi bazlı rasyonla broilerlerde yürütülen bir çalışmada ise deneme gruplarında inorganik çinko kaynağı olarak Zn-sülfat ve organik çinko kaynağı olarak Zn-metiyonin şelatının 30, 60 ve 90 mg/kg diyet düzeyleri kullanılmıştır. Kontrol grubuyla karşılaştırıldığında, çinko ilave edilen gruplarda 7. ve 21. günlerde kemik, pankreas ve pankreas metalotiyonin mRNA çinko düzeyleri önemli derecede yüksek çıkmış, fakat gruplar arasında çinko kaynakları bakımından etkileşim görülmemiş ve eklenen çinko düzeylerinin kemik, pankreas ve pankreas metalotiyonin mRNA çinko düzeyleri üzerine önemli bir etkisi olmamıştır. Rölatif biyoyararlılık düzeyleri bakımından Zn-sülfat %100 olarak kabul edildiğinde kemik, pankreas ve metalotiyonin mRNA çinko konsantrasyonları için bu oran, Zn-metiyonin şelatı için 7. günde sırasıyla %99,4, %103 ve %120, 21. günde ise sırasıyla %107, %115 ve %106 olarak hesaplanmıştır (Tablo 1).²⁹ Organik çinkonun biyoyararlılığı üzerine yapılan bazı çalışmaların sonuçları Tablo 1'de görülmektedir.

TABLO 1: Organik çinkonun biyoyararlılığı ile ilgili yapılan bazı çalışmalar.

Hayvan materyali	Dönem	Çinko kaynağı ve doz	Gözlemler	Kaynak
Broyler (n=430)	0-21 gün	Bioplex®-Zn ^a 5, 10, 20, 40 (mg/kg diyet)	Zn-sülfat ile kıyaslandığında: Tibia Zn konsantrasyonu ↑ Karaciğer Zn konsantrasyonu ↔ Biyoyararlılık (CAK bazında): %183 Biyoyararlılık (Tibia Zn bazında): %157	Ao ve ark. ²³
Broyler (n=260)	0-21 gün	Mintrex®-Zn ^b 10, 20, 30 (mg/kg diyet)	Zn-sülfat ile kıyaslandığında: Parmak Zn konsantrasyonu ↔ Tibia Zn konsantrasyonu ↔ Biyoyararlılık: %120	Linares ve ark. ²⁴
Keklik (n=240)	0-16 hafta	Zn-proteinat 25, 50, 75, 100 (ppm)	Rasyondaki doza bağlı olarak: Serum Zn konsantrasyonu ↔ Karaciğer Zn konsantrasyonu ↔ Pankreas Zn konsantrasyonu ↔	Yıldız ve ark. ²⁶
Keklik (n=200)	9-16 hafta	Bioplex-Zn ^c 25, 50, 75, 100 (ppm)	Rasyondaki doza bağlı olarak: Serum Zn konsantrasyonu ↔ Karaciğer Zn konsantrasyonu ↔ Pankreas Zn konsantrasyonu ↔	Yıldız ²⁵
Broyler (n=110)	8-21 gün	Zn-propionat 6 ve 12 (mg/kg diyet)	Zn-sülfat ile kıyaslandığında: Tibia Zn konsantrasyonu ↔ Biyoyararlılık (CAK bazında): %119 Biyoyararlılık (Tibia Zn bazında): %116	Brooks ve ark. ²⁸
Broyler (n=504)	0-21 gün	Zn-metiyonin 30, 60, 90 (mg/kg diyet)	Zn-sülfat ile kıyaslandığında: <u>7. gün</u> Tibia Zn konsantrasyonu ↔ Pankreas Zn konsantrasyonu ↔ Pankreas MT mRNA ↔ Biyoyararlılık (Tibia Zn bazında): %99,4 Biyoyararlılık (Pankreas Zn bazında): %103 Biyoyararlılık (Pankreas MT mRNA): %157 <u>21. gün</u> Tibia Zn konsantrasyonu ↔ Pankreas Zn konsantrasyonu ↔ Pankreas MT mRNA ↔ Biyoyararlılık (Tibia Zn bazında): %107 Biyoyararlılık (Pankreas Zn bazında): %115 Biyoyararlılık (Pankreas MT mRNA): %106	Suo ve ark. ²⁹

n; Hayvan sayısı, CAK; Canlı ağırlık kazancı, MT; Metalloiyonin, †; Önemli derecede artmıştır, ↔; Önemli bir farklılık yoktur,

^aZn-proteinat (%10 Zn); ^bOrganik çinko (%10 Zn); ^cOrganik çinko (%15 Zn).

ORGANİK ÇİNKONUN PERFORMANS ÜZERİNE ETKİLERİ

Kanatlı sektöründe büyüme oranı, yemden yararlanma ve karkas özellikleri sürü performansının belirlenmesinde kullanılan öğelerdir. Hayvanların çinko ve selenyum iz element durumları da dâhil olmak üzere, bu parametreler üzerinde çeşitli fak-

törler etkili olmaktadır. Bu mineraller birçok metabolik reaksiyonlara katılarak beslenme metabolizmasını, büyümeyi, bağışıklığı ve deri kalitesini etkilemektedir.³⁰ Çinko; kanatlılarda büyüme, tüylenme, iskelet gelişimi, et verimi ve karkas kalitesi için gerekli bir mineral olup; epitelyal hücrelerin üretilmesinde, deri nükleik asitlerinin, keratin ve

kollajen sentezinin gerçekleşmesinde önemli rolü vardır.^{31,32} Kanatlılarda çinko gereksinmesi üzerine çalışma verileri oldukça sınırlı olmakla birlikte, genel olarak kanatlı rasyonlarında inorganik mineral tuzları ucuz olduğundan uygun konsantrasyonlara ulaşmayı garantilemek amacıyla yüksek düzeylerde kullanılmaktadır. Teorik olarak çinkonun organik formunun kullanılması rasyona çinko ilavesi miktarını düşürmektedir. Nitekim, broylerde optimal büyüme oranı 25 mg/kg Zn içeren fitazlı ve fitazsız rasyona sırasıyla 7,4 ve 12 mg/kg ZnPro ilavesiyle elde edilmiştir.³³ Aynı araştırmacılar tarafından yapılan başka bir broyler çalışmasında, başlangıç (0-21. günler) ve büyütme (22-42. günler) döneminde kontrol grubuna mısır-soya küspesi içeren bazal rasyon, deneme gruplarına ise sı-

rısıyla bazal rasyona ilave olarak 40 mg/kg Zn-sülfat, 80 mg/kg Zn sülfat, 12 mg/kg organik çinko (Zn-proteinat) ve 24 mg/kg organik çinko içeren rasyon verilmiştir. Büyütme döneminde gruplar arasında performans bakımından önemli bir farklılığa rastlanmaz iken; başlangıç döneminde 24 mg/kg organik çinko verilen grubun canlı ağırlık kazancı diğer gruplardan önemli derecede yüksek bulunmuştur. Tüm deneme süresince ise (1-42. günler) performans parametreleri açısından gruplar arasında önemli bir farklılığa rastlanmamıştır (Tablo 2). Böylece bu çalışmada Ulusal Araştırma Konseyi [National Research Council (NRC)]'ne ya da ticari olarak tavsiye edilen çinko düzeyine kıyasla, organik çinkonun daha düşük düzeylerde aynı etkiyi gösterdiği ve optimal büyüme için organik çinkonun kullanı-

TABLO 2: Organik çinkonun performans üzerine etkileri ile ilgili yapılan bazı çalışmalar.

Hayvan materyali	Süre	Çinko kaynağı ve doz	Gözlemler	Kaynak
Broyler (n=800)	42 gün	Zn-proteinat 12 ve 24 (mg/kg diyet)	Zn-sülfat(40 ve 80 mg/kg diyet) ile kıyaslandığında: YT, CAK ve YYO (CAK/Yem) ↔	Ao ve ark. ³⁴
Broyler (n=360)	42 gün	Zn-glisin 30, 60, 90, 120 (mg/kg diyet)	Zn-sülfat(120 mg/kg diyet) ile kıyaslandığında: <u>0-21 gün</u> SCA ↔ (60, 90, 120 mg Zn-glisin için) ve ↓ (30 mg Zn-glisin için) OGCAK ↔ OGYT ↔ (60, 90, 120 mg Zn-glisin için) ve ↓ (30 mg Zn-glisin için) YYO (Yem/CAK) ↔ <u>21-42 gün</u> SCA ve OGCAK ↑ (90 mg Zn-glisin için), ↔ (60 ve 120 mg Zn-glisin için), ↓ (30 mg Zn-glisin için) OGYT ↓ (90 ve 120 mg Zn-glisin için), ↑ (30 mg Zn-glisin için), ↔ (60 mg Zn-glisin için) YYO (Yem/CAK) ↔	Feng ve ark. ³⁵
Yumurtacı (n=360)	10 hafta	Zn-proteinat (her kg diyette 140 mg Zn sağlayacak düzeyde)	Zn-klorid, Zn-sülfat, Zn-oksit ve Zn-karbonat ile kıyaslandığında: SCA ↑ (Zn-oksit göre), ↔ (Zn-oksit hariç) OGYT ↓ GYO ↔ (Zn-sülfata göre), ↑ (Zn-sülfat hariç) YT ↔ (kg yumurta için), ↓ (düzine yumurta için)	Idowu ve ark. ³⁶
Broyler (n=110)	21 gün	Zn-propionat 6 ve 12 (mg/kg diyet)	Zn-sülfat ile kıyaslandığında: <u>8-21 gün</u> OGYT, OGCAK ve YYO (Yem/CAK) ↔	Brooks ve ark. ²⁸
Broyler (n=240) ark. ³⁸	42 gün	Zn-metiyonin Zn-nano metiyonin	Zn-sülfat ve Zn-nano sülfat ile kıyaslandığında: OGCAK ve OGYT ↔ (Zn-sülfata göre), ↑ (Zn-nano sülfata göre)	Mohammadi ve ark.

n; Hayvan sayısı, YT; Yem tüketimi, CAK; Canlı ağırlık kazancı, YYO; Yemden yararlanma oranı, SCA; Son canlı ağırlık, OGCAK; Ortalama günlük canlı ağırlık kazancı, OGYT; Ortalama günlük yem tüketimi, GYO; Günlük yumurtlama oranı, Zn: Çinko, ↑; Önemli derecede artmıştır, ↓; Önemli derecede azalmıştır, ↔; Önemli bir farklılık yoktur.

labileceği sonucuna varılmıştır.³⁴ İnorganik çinko kaynağı olarak Zn-sülfat ve organik çinko kaynağı olarak da Zn-glisinin kullanıldığı bir broyler çalışmasında, deneme gruplarına sırasıyla 30, 60, 690 ve 120 mg/kg Zn-glisin, pozitif kontrol grubuna ise 120 mg/kg Zn-sülfat ilave edilmiştir. Çalışmanın 0-3. haftaları arasında günlük ortalama yem tüketimi en yüksek 90 mg/kg Zn-glisin verilen grupta görülmüştür. Ortalama canlı ağırlık kazancı ise 0-3. haftalar ve 4-6. haftalar arasında sırasıyla 120 ve 90 mg/kg Zn-Glisin verilen gruplarda en yüksek olmuştur (Tablo 2).³⁵ Farklı çinko kaynaklarının yumurta tavuklarında etkilerinin araştırıldığı bir çalışmada, 10 hafta süresince deneme gruplarına kg diyetle 140 mg çinko sağlayacak şekilde sırasıyla çinko klorid, çinko sülfat, ZnO, çinko karbonat ve ZnPro eklenmiştir. Son canlı ağırlıklar en düşük kontrol ve ZnO verilen grupta tespit edilmiş fakat diğer gruplar arasında önemli bir farka rastlanmamıştır. Yem tüketimi ZnPro verilen grupta önemli derecede düşük olmasına karşın, günlük yumurtlama yüzdesi ZnPro ve Zn-sülfat kullanılan gruplarda diğer gruplara göre önemli derecede yüksek bulunmuştur. Ayrıca, her düzine yumurta için tüketilen yem miktarı en az ZnPro grubunda saptanmıştır (Tablo 2).³⁶ Son yıllarda nanoteknoloji alanındaki ilerlemeler bu teknolojinin broyler yem katkı maddelerine de adapte edilebilmesine imkân vermiştir. Nanoteknoloji ile üretilen nanogümüş, nanoselenyum ya da ZnO nanopartikülleri bunlara örnek olarak gösterilebilmektedir.³⁷ Nanoşelatlama yöntemi ile sentezlenen Zn-nano sülfat ve Zn-nano metiyonin ile Zn-sülfat ve Zn-metiyoninin broylerde performans bakımından karşılaştırıldığı 42 günlük bir çalışmada, bu minerallerden deneme gruplarına 80 mg/kg diyet oranında katılmıştır. Çalışma süresince kontrol grubu ve Zn-nano sülfat verilen grupta canlı ağırlık kazancı diğer deneme gruplarına göre önemli derece düşük bulunmuş ve en düşük yem tüketimi Zn-nano sülfat grubunda görülmüştür. Yemden yararlanma oranı bakımından ise gruplar arasında önemli bir farklılığa rastlanmamıştır (Tablo 2).³⁸ Organik çinkonun performans üzerine etkileri ile ilgili bazı çalışmaların sonuçları Tablo 2'de görülmektedir.

ORGANİK ÇİNKONUN BAĞIŞIKLIK SİSTEMİ ÜZERİNE ETKİLERİ

Çinko kanatlılarda immün yanıtın modifiye edilmesinde rol alan bir mineral olup organik formlarının rasyona ilavesinin immünglobulin A (IgA), IgM, IgG düzeylerinde ve hücresel yanıtta düzeltmeye yol açarak, immünolojik kapasite üzerinde olumlu etkilerinin olduğu bildirilmektedir.^{35,39} Damızlık broylerlerde, 32-48. haftalar arasında kapsayan 16 haftalık bir denemede, organik çinko kullanımının bağışıklık yanıtı üzerine etkisini araştırmak amacıyla 40 ppm Zn-sülfat içeren bazal rasyona sırasıyla 20, 40 ve 60 ppm Zn-metiyonin ilavesi yapılmış ve hayvanlarda hücresel bağışıklık tespiti için kırmızı gerden uzantısına fitohemaglütinin-P [Phytohaemaglutinin-P (PHP-P)] enjeksiyonu yapılarak kutanöz bazofilik hipersensitivite (CBH) testi ile deri kalınlığı ölçülmüş, humoral bağışıklık için de test antijen olarak koyun kırmızı kan hücreleri [sheep red blood cells (SRBC)]'ne karşı oluşan antikor yanıt analiz edilmiştir. Hayvanların PHP-P'ye karşı hücresel bağışıklık yanıtı 60 ppm Zn-metiyonin verilen grupta diğer gruplara göre önemli derecede yüksek bulunmuştur. SRBC'ye karşı humoral bağışıklık ise Zn-sülfat içeren rasyonla beslenen grupta diğer gruplara göre önemli derecede düşük olmuştur. Lenfoid organ (dalak, bursa) ağırlıkları bakımından ise gruplar arasında önemli bir farklılığa rastlanmamıştır (Tablo 3).⁴⁰ Benzer şekilde Zn-sülfat ile Zn-metiyoninin broylerde bağışıklığı uyarıcı etkisi üzerine yapılan bir çalışmada, her çinko kaynağı için ayrı olmak üzere rasyonun kg'ına 0, 20, 40, 60 ve 80 mg ilave edilmiş ve grupların SRBC ve Newcastle hastalığı virüsü [Newcastle diseases virus (NDV)] antikor titreleri, hücreye bağımlı bağışıklık [Cell Mediated Immunity (CMI)] indeksleri ve heterofil-lenfosit oranları (H:L) ölçülmüştür. Rasyona 60 ve 80 mg/kg çinko ilavesi yapılan grupların SRBC antikor titresi, kontrol grubuna göre önemli derecede yüksek bulunmuş ve ayrıca Zn-metiyonin ilavesi Zn-sülfata göre SRBC ve NDV titresi bakımından daha iyi bir bağışıklık yanıtı göstermiştir. CMI indeksi ise en yüksek 40 mg/kg Zn-sülfat ve 80 mg/kg Zn-metiyonin verilen gruplarda

TABLO 3: Organik çinkonun bağışıklık sistemi üzerine etkileri ile ilgili yapılan bazı çalışmalar.

Hayvan materyali	Dönem	Çinko kaynağı ve doz	Gözlemler	Kaynak
Damızlık broyler (n=260)	32-48 hafta	Zn-metiyonin 20, 40, 60 (ppm)	Zn-sülfat (40 ppm) içeren rasyona Zn-metiyonin ilave edildiğinde: CBH ve SRBC yanıtı ↑ Dalak ve bursa ağırlığı (% CA) ↔	Soni ve ark. ⁴⁰
Broyler (n=288)	8-42 gün	Zn-metiyonin 20, 40, 60, 80 (mg/kg diyet)	Zn-sülfat ile kıyaslandığında: SRBC antikor titresi ↓ NDV titresi ↔ CMI indeksi ↑ (80 mg Zn-metiyonin için)	Kumar Chitthoti ve ark. ⁴¹
Yavru güvercin (n=180)	7-28 gün	Zn-metiyonin solüsyonu (Konsantrasyonu 2 ve 10 mg/mL)	Kontrol (%0.9 NaCl solüsyonu) grubu ile kıyaslandığında: <u>14. gün</u> Timus indeksi ↔ Dalak indeksi ↔ Bursa indeksi ↔ ND-HI antikor titresi ↑ <u>28. gün</u> Timus indeksi ↑ (2 mg/mL Zn-metiyonin için) Dalak indeksi ↑ Bursa indeksi ↑ (2 mg/mL Zn-metiyonin için) ND-HI antikor titresi ↑	Wang ve ark. ⁴²
Broyler (n=1248)	1-41 gün	Zn-metiyonin 10, 20, 40 (ppm)	Zn-sülfat (10, 20, 40 ve 100 ppm) ile kıyaslandığında: BSA antikor titresi ↔	Vieira ve ark. ⁴³

n; Hayvan sayısı, CBH; Kutanöz bazofilik hipersensitivite [(Enjeksiyon sonrası deri kalınlığı / Enjeksiyon öncesi deri kalınlığı) x 100], SRBC; Koyun kırmızı kan hücreleri, CA; Canlı ağırlık, NDV; Newcastle disease virus virus (Newcastle hastalığı virüsü), CMI; Cell mediated immunity [(Enjeksiyon sonrası deri kalınlığı - Enjeksiyon öncesi deri kalınlığı) / Enjeksiyon sonrası deri kalınlığı] x 100, ND-HI; Newcastle hastalığı hemaglutinasyon inhibisyon, BSA; Bovine serum albumin, ↑; Önemli derecede artmıştır, ↔; Önemli bir farklılık yoktur; ↓; Sayısal artış vardır, fakat önemlilik yoktur.

görülmüştür. H:L oranları (düşük olması stresin az olduğunun göstergesidir) bakımından Zn-sülfat ile Zn-metiyonin karşılaştırıldığında, sadece 20 ve 60 mg/kg Zn-metiyonin verilen grubun 20 ve 40 mg/kg Zn-sülfat verilen gruptan önemli derecede düşük H:L oranına sahip olduğu görülmüştür (Tablo 3).⁴¹ Yumurtadan yeni çıkmış 180 adet güvercin yavrularında yapılan ve 7 gün adaptasyon, 28 gün deneme periyodu olmak üzere 35 gün süren bir çalışmada, hayvanlar 3 gruba ayrılmış ve deneme gruplarına sırasıyla 2 ve 10 mg/mL oranında suda çözdürülmüş Zn-metiyonin solüsyonundan 1 mL, kontrol grubuna ise %0,9 NaCl solüsyonundan yine 1 mL oral yoldan verilmiştir. Çalışmanın 28. gününde Zn-metiyonin verilen deneme gruplarında timus, dalak ve bursa fabricius'a ait lenfoid organ indeksi (mg/g canlı ağırlık), 14 ve 28. günde ise Newcastle hastalığı hemaglutinasyon inhibisyon testine karşı maternal antikor titreleri kontrol grubuna göre önemli derecede yüksek bulunmuştur

(Tablo 3).⁴² Organik çinkonun bağışıklık üzerine olumlu etkilerinin görüldüğü çalışmalara ek olarak, önemli bir etkisinin bulunmadığı sonucuna varılan çalışmalar da mevcuttur. Nitekim, negatif kontrol grubuna 0 ppm Zn, deneme gruplarına da organik (metiyoninle şelatlaştırılmış) çinkonun 10, 20, 40 ppm ve inorganik çinkonun (Zn-sülfat) 10, 20, 40 ve 100 ppm miktarlarının kullanıldığı bir broyler çalışmasında, bovin serum albumin (BSA) spesifik antikor titreleri bakımından gruplar arasında önemli bir farklılığa rastlanmamıştır (Tablo 3).⁴³ Yine yapılan başka bir broyler denemesinde, Zn-propiyonat, ZnO ve Zn-sülfatın her birinden 40, 60, 80 ve 100 mg/kg düzeyinde rasyona katılmış, fakat humoral (SRBC'ye karşılık hemaglutininin titresi) ve hücresele (PHP-P'ye karşılık ayak tabanı derisindeki kalınlaşma) bağışıklık yanıtı bakımından gruplar arasında önemli bir farklılığa rastlanmamıştır.⁴⁴ Organik çinkonun bağışıklık sistemi üzerine etkileri ile ilgili bazı çalışmaların sonuçları Tablo 3'te görülmektedir.

ORGANİK ÇİNKONUN KARKAS VE ET KALİTESİ ÜZERİNE ETKİLERİ

Kanatlı et ve et ürünlerinin kalitesi üretim ve işlem sürecinde birçok faktörden etkilenmektedir. Taze kanatlı eti ve et ürünlerinin tüketiciler tarafından tercih ediliyor olması, bu ürünlerin raf ömrünün mümkün olduğunca uzatılmasını kanatlı sektörde önemli bir hedef hâline getirmiştir.⁴⁵ Ayrıca, üretim aşamasında oluşabilecek deri hasarı karkasların soğutma tanklarında ekstra rutubet almasına, düşük kaliteli et ve et ürünleri elde edilmesine ve dolayısıyla bu ürünlerin raf ömürlerinin kısılmasına yol açtığından, hayvanların güçlü bir deri yapısına sahip olması özellikle broyler üretiminin her aşamasında ihtiyaç duyulan bir özelliktir.⁴⁶ Broyler yetiştiriciliğinde deri yaralanmalarının, derinin kollajen içeriği ile yakından alakalı olduğu, kollajen sentezinde çinkonun hayati bir rol oynadığı ve eksikliğinin deri kollajen üretiminde yetersizliğe yol açtığı bildirilmiştir.⁴⁷ Yapılan bir çalışmada, çinkonun organik formunun inorganik forma göre deri çinko konsantrasyonu ve deri kalitesinin düzelmesinde daha etkili olduğu saptanmıştır.⁴⁸ Aynı araştırmacıların yaptığı başka bir çalışmada, rasyonun kg'ına 40 mg ZnPro ilavesi, her iki cinsiyetteki broylerlerde total deri kalınlığını ve kollajen içeriğini artırmış ve bu artış erkeklerde dişilerden daha yüksek olmuştur. Et kollajen miktarında ise önemli bir farklılığa rastlanmamıştır.⁴⁶ İçeriğinde 60 ppm Zn-sülfat bulunan temel rasyona 0, 15, 30, 45 ve 60 ppm organik çinko (Bioplex Zn®) ilavesinin broylerlerde karkas özellikleri üzerine etkisi araştırılmış ve artan düzeylerde organik çinko ilavesinin deri yırtılma direncini önemli derecede artırarak karkas kalitesini iyileştirdiği gözlenmiştir.⁴⁹ Et kompozisyonu ve kalitesi ile ilgili olarak, ZnO ve Zn-glisin karşılaştırıldığı bir broyler çalışmasında, bu çinko kaynaklarından başlangıç, büyütme ve bitirme rasyonlarında sırasıyla 79,7, 71,0 ve 76,4 mg/kg çinko sağlayacak şekilde ilave edilmiş ve Zn-glisin verilen grupta göğüs ve bacak kası ve yağ miktarı ve kanat kalınlığının diğer gruba göre daha yüksek olduğu ve karkas randımanının arttığı gözlenmiştir.⁵⁰ Sıcaklık stresi altındaki bıldırcınlarda yapılan bir çalışmada temel rasyona Zn-sülfat ve Zn-pikolinatın her bi-

rinden sırasıyla 30 ve 60 mg/kg oranında katılmış ve çalışma sonuçlarına göre karkas ağırlığı bakımından Zn-pikolinat katılan grubun, Zn-sülfat katılana göre kısmen daha yüksek olduğu ve ayrıca bıldırcınlarda sıcaklık stresine bağlı olarak oluşan oksidatif stresin olumsuz etkilerinin azaltılmasında Zn-pikolinatın Zn-sülfata göre daha koruyucu olduğu görülmüştür.⁵¹ Broylerlerde yapılan bir denemenin sonuçları ise organik çinkonun karkas özellikleri üzerine önemli bir etkisinin olmadığı yönünde olup; organik çinko (Vevomin Zn %13 DSM-tavsiye edilen miktarın %50'si oranında) ve inorganik çinko (Zn-sülfat-tavsiye edilen miktarın %100'ü oranında) kullanılan grupların karkaslarında kanat, but, göğüs, sırt, karaciğer, taşlık ve abdominal yağ oranları bakımından önemli bir farklılığa rastlanmamıştır.⁵²

SONUÇ

Birçok biyokimyasal ve hücresel işlevlerin yerine getirilmesinde önemli role sahip bir iz element olan çinko; özellikle kanatlı beslenmesinde kilit faktörlerden olan canlı ağırlık artışı, yem tüketimi, yemden yararlanma gibi performans parametreleri yanında bağışıklık, savunma mekanizması, et ve karkas kalitesi gibi önemli hususlarda vazgeçilmez bir mineraldir. Doğal olarak inorganik formlarda bulunan çinkonun, son yıllarda yapılan araştırmalar ışığında biyoyararlılığının daha yüksek olduğunun kanıtlanması bu mineralin organik formlarına olan ilgiyi artırmıştır. Yapılan çalışmaların çoğunda, organik çinkonun inorganik formuna göre canlı ağırlık kazancı, yem tüketimi ve yem çevrimi açısından önemli bir fark yaratmadığı görülse de düşük dozlarda aynı etkiyi göstermesi bu mineralin gereksiz düzeylerde kullanımını önleme ve çevre kirliliğinin azaltılmasında avantaj sağlayabileceği düşünülebilir. Kanatlılarda organik çinkonun bağışıklık sistemi üzerine etkileriyle ilgili yapılan çalışmalarda, antikor yanıtının gelişmesinde organik çinkonun olumlu sonuçlar vermesi ve ayrıca deri direncini artırarak yaralanma ve deformasyon riskini azaltarak karkas kalite ve randımanında iyileştirici sonuçlar sunması da dikkat çekici diğer bir husustur. Son yıllarda yapılan çalışmaların büyük çoğunluğu broylerler üzerine

olmakla birlikte, organik çinko kaynağı olarak daha çok Zn-metiyonin üzerine odaklanılmıştır. Gerek performans ve bağışıklık gerekse et ve karkas ka-

litesi ile ilgili olarak diğer kanatlı türleri ve organik çinko tipleri üzerine de ayrıntılı çalışmalara ihtiyaç vardır.

KAYNAKLAR

- Underwood EJ. The nature of trace elements. In: Trace Elements in Human and Animal Nutrition. 4th ed. New York: Academic Press Inc; 1977. p.1.
- Shankar AH, Prasad AS. Zinc and immune function: the biological basis of altered resistance to infection. *Am J Clin Nutr* 1998;68(2 Suppl):447S-63S.
- Underwood EJ, Suttle NF. The Mineral Nutrition of Livestock. 3rded. New York: CABI Publishing; 1999. p.614.
- Blanchard RK, Moore JB, Green CL, Cousins RJ. Modulation of intestinal gene expression by dietary zinc status: effectiveness of cDNA arrays for expression profiling of a single nutrient deficiency. *Proc Natl Acad Sci U S A* 2001;98(24):13507-13.
- Ho E, Courtemanche C, Ames BN. Zinc deficiency induces oxidative DNA damage and increases p53 expression in human lung fibroblasts. *J Nutr* 2003;133(8):2543-8.
- Hosnedlová B, Trávníček J, Šoch M. Current view of the significance of zinc for ruminants: a review. *Agricultura Tropica Et Subtropica* 2007;40(2):57-64.
- Wedekind KJ, Hortin AE, Baker DH. Methodology for assessing zinc bioavailability: efficacy estimates for zinc-methionine, zinc sulfate, and zinc oxide. *J Anim Sci* 1992;70(1):178-87.
- Cao J, Henry PR, Guo R, Holwerda RA, Toth JP, Littell RC, et al. Chemical characteristics and relative bioavailability of supplemental organic zinc sources for poultry and ruminants. *J Anim Sci* 2000;78(8):2039-54.
- Spears JW. Zinc methionine for ruminants: relative bioavailability of zinc in lambs and effects of growth and performance of growing heifers. *J Anim Sci* 1989;67(3):835-43.
- Hill DA, Peo ER Jr, Lewis AJ, Crenshaw JD. Zinc-amino acid complexes for swine. *J Anim Sci* 1986;63(1):121-30.
- Pimentel JL, Cook ME, Greger JL. Research note: Bioavailability of zinc-methionine for chicks. *Poult Sci* 1991;70(7):1637-9.
- Ammerman CB, Baker DH, Lewis AJ. Bioavailability of Nutrients for Animals: Amino Acids, Minerals, and Vitamins. San Diego, CA: Academic Press Inc; 1995. p.441.
- Çetinkaya O. [Zinc (Zn) requirement and toxicity in fishes]. *YYÜ Vet Fak Derg* 1998;9(1-2):83-8.
- Davis SR, Cousins RJ. Metallothionein expression in animals: a physiological perspective on function. *J Nutr* 2000;130(5):1085-8.
- McCormick CC, Menard MP, Cousins RJ. Induction of hepatic metallothionein by feeding zinc to rats of depleted zinc status. *Am J Physiol* 1981;240(4):E414-21.
- Jacob C, Maret W, Vallee BL. Control of zinc transfer between thionein, metallothionein, and zinc proteins. *Proc Natl Acad Sci U S A* 1998;95(7):3489-94.
- Sullivan VK, Bennett FR, Cousins RJ. Metallothionein expression is increased in monocytes and erythrocytes of young men during zinc supplementation. *J Nutr* 1998;128(4):707-13.
- Cao J, Hery PR, Daviz SR, Cousins RJ, Miles RD, Littell RC, et al. Relative bioavailability of organic zinc sources based on tissue zinc and metallothionein in chicks fed conventional dietary zinc concentrations. *Anim Feed Sci Tech* 2002;101(1-4):161-70.
- Martinez MM, Hill GM, Link JE, Raney NE, Tempelman RJ, Ernst CW. Pharmacological zinc and phytase supplementation enhance metallothionein mRNA abundance and protein concentration in newly weaned pigs. *J Nutr* 2004;134(3):538-44.
- Jondreville C, Revy P-S. An update on use of organic minerals in swine nutrition. In: 39th Annual ANAC Eastern Nutrition Conference. Pre-conference Symposium. May 8-9. Quebec City, Quebec, Canada, 2003. p.1-16.
- Baker DH, Ammerman CB. Zinc bioavailability. In: Ammerman CB, Baker DP, Lewis AJ, ed. Bioavailability of Nutrients: Amino Acids, Minerals, and Vitamins. 1sted. San Diego, CA: Academic Press; 1995. p.367-98.
- Huang YL, Lu L, Li SF, Luo XG, Liu B. Relative bioavailabilities of organic zinc sources with different chelation strengths for broilers fed a conventional corn-soybean meal diet. *J Anim Sci* 2009;87(6):2038-46.
- Ao T, Pierce JL, Power R, Dawson KA, Pescatore AJ, Cantor AH, et al. Evaluation of Bioplex Zn® as an organic zinc source for chicks. *Int J Poultry Sci* 2006;5(9):808-11.
- Linares LB, Ledoux DR, Guaiume EA, Butkeraitis P, Daković A, Matijašević S, et al. Estimation of the relative bioavailability of zinc sources for broiler chicks. *World Poultry Science Association. Proceedings of the 16th European Symposium on Poultry Nutrition*, August 26-30. Strasbourg, France; 2007. p.569-71.
- Yıldız AÖ. [Effect of organic zinc supplementation on performance and some tissue zinc concentration of male partridges at 9 to 16 weeks of age]. *Hayvansal Üretim* 2004;45(2):10-6.
- Yıldız AÖ, Olgun O, Parlat SS. Effect of zinc proteinate supplementation to corn-soybean meal-based Chular partridge (Alectoris chukar) diets on growth performance and zinc concentration of some tissues. *J Anim Vet Adv* 2005;4(7):676-80.
- Kidd MT, Qureshi MA, Ferket PR, Thomas LN. Turkey hen zinc source affects progeny immunity and disease resistance. *J Appl Poultry Res* 2000;9(3):414-23.
- Brooks MA, Grimes JL, Lloyd KE, Verissimo S, Spears JW. Bioavailability in chicks of zinc from zinc propionate. *J Appl Poultry Res* 2013;22(2):153-9.
- Suo H, Lu L, Zhang L, Zhang X, Li H, Lu Y, et al. Relative bioavailability of zinc-methionine chelate for broilers fed a conventional corn-soybean meal diet. *Biol Trace Elem Res* 2015;165(2):206-13.
- McDowell LR. Zinc. In: Minerals in Animal and Human Nutrition. 2nd ed. Amsterdam, the Netherlands: Elsevier Science; 2003. p.357-96.
- Miller ER, Stowe HD, Ku PK, Hill GM. Copper and zinc in swine nutrition. In: O'Dell BL, Miller WJ, Miller ER, eds. National Feed Ingredients Association Literature Review on Copper and Zinc in Poultry, Swine and Ruminant Nutrition. 1sted. West Des Moines IA: National Feed Ingredients Association. 1979. p.109.
- Pinion JL, Bilgili SF, Hess JB. The effects of halofuginone and salinomycin, alone and in combination, on live performance and skin characteristics of female broilers: influence of a high-proline diet supplemented with ascorbic acid and zinc. *Poult Sci* 1995;74(2):383-90.
- Ao T, Pierce JL, Pescatore AJ, Cantor AH, Dawson KA, Ford MJ, et al. Effects of organic zinc and phytase supplementation in a maize-soybean meal diet on the performance and tissue zinc content of broiler chicks. *Br Poultry Sci* 2007;48(6):690-5.
- Ao T, Pierce JL, Pescatore AJ, Cantor AH, Dawson KA, Ford MJ, et al. Effects of feeding different concentration and forms of zinc on the performance and tissue mineral status of broiler chicks. *Br Poultry Sci* 2011;52(4):466-71.
- Feng J, Ma WQ, Niu HH, Wu XM, Wang Y, Feng J. Effects of zinc glycine chelate on growth, hematological, and immunological characteristics in broilers. *Biol Trace Elem Res* 2010;133(2):203-11.
- Idowu OM, Ajuwon RO, Oso AO, Akinloye OA. Effects of zinc supplementation on laying performance, serum chemistry and Zn residue in tibia bone, liver, excreta and egg shell of laying hens. *Int J Poultry Sci* 2011;10(3):225-30.
- Ahmadi F, Rahimi F. The effect of different levels of nanosilver on performance and retention of silver in edible tissue of broilers. *World Appl Sci J* 2011;12(1):1-4.
- Mohammadi V, Ghazanfari S, Mohammadi-Sangcheshmeh A, Nazaran MH. Comparative effects of zinc-nano complexes, zinc-sulphate and zinc-methionine on performance in broiler chickens. *Br Poultry Sci* 2015;56(4):486-93.
- Moghaddam HN, Jahanian R. Immunological responses of broiler chicks can be modulated by dietary supplementation of zinc-methionine in place of inorganic zinc sources. *Asian-Aust J Anim Sci* 2009;22(3):396-403.
- Soni N, Kumar-Mishra S, Swain R, Das A, Chichilichi B, Sethy K. Bioavailability and immunity response in broiler breeders on organically complexed zinc supplementation. *Food Nutr Sci* 2013;4(12):1293-300.
- Kumar-Chitthothi A, Venkata RJ, Jwalapu RP, Devanesan SS, Reddy SPVV. Immunostimulatory effect of dietary supplementation of zinc sulphate and zinc-methionine on immune response in broilers. *Adv Appl Sci Res* 2012;3(5):2785-8.
- Wang Y, Yi L, Zhao ML, Wu JQ, Wang MY, Cheng XC. Effects of zinc-methionine on growth performance, intestinal flora and immune function in pigeon squabs. *Br Poultry Sci* 2014;55(3):403-8.
- Vieira MM, Ribeiro AML, Kessler AM, Moraes ML, Kunrath MA, Ledur VS. Different sources of dietary zinc for broilers submitted to immunological, nutritional, and environmental challenge. *J Appl Poultry Res* 2013;22(4):855-61.
- Yogesh K, Deo C, Shrivastava HP, Mandal AB, Wadhwa A, Singh I. Growth performance, carcass yield, and immune competence of broiler chickens as influence by dietary supplemental zinc sources and levels. *Agric Res* 2013;2(3):270-4.
- Saenmahayak B, Singh M, Bilgili SF, Hess JB. Influence of dietary supplementation with complexed zinc on meat quality and shelf life of broiler. *Int J Poultry Sci* 2012;11(1):28-32.
- Salim HM, Lee HR, Jo C, Lee SK, Lee BD. Effect of dietary zinc proteinate supplementation on growth performance, and skin and meat quality of male and female broiler chicks. *Br Poultry Sci* 2012;53(1):116-24.
- Leeson S, Summers JD. Commercial Poultry Nutrition. 3rd ed. Guelph, Ontario, Canada: Univ Books; 2005. p.287.
- Salim HM, Lee HR, Jo C, Lee SK, Lee BD. Effect of sources and levels of zinc on the tissue mineral concentration and carcass quality of broilers. *Avian Biol Res* 2010;3(1):23-9.
- Rossi P, Rutz F, Ancuti MA, Rech JL, Zauk NHF. Influence of graded levels of organic zinc on growth performance and carcass traits of broilers. *J Appl Poultry Res* 2007;16(2):219-25.
- Tronina W, Kinal S, Lubojemska B. Effect of various forms of zinc applied in concentrate mixtures for broiler chickens on its bioavailability as well as meat composition and quality. *Pol J Food Nutr Sci* 2007;57(4C):577-81.
- Sahin K, Smith MO, Onderci M, Sahin N, Gursu MF, Kucuk O. Supplementation of zinc from organic or inorganic source improves performance and antioxidant status of heat-distressed quail. *Poult Sci* 2005;84(6):882-7.
- Stojičić MD, Perić L, Milošević N. Effects of different forms of zinc on the performance and carcass characteristics of broiler chicks. *Scientific Papers: Animal Science and Biotechnologies* 2015;48(1):17-20.