

## Kanatlı Karma Yemlerine Karoten İlavesinin İmmün Sistem ve Maternal Beslemedeki Önemi

Dilek Kor\*, Murat Demirel, Filiz Karadaş

Yüzüncü Yıl Üniversitesi Ziraat Fakültesi Zootečni Bölümü, Van

\*e-posta: dkor@yyu.edu.tr; Tel.:+90 (432) 225 10 24 / 2621

### Özet

Karotenler, kimyasal özellikleri nedeniyle vücudun antioksidan savunma sistemi içerisinde görev alan bir pigment grubudur. Kanatlı hayvanlar, fizyolojileri gereği stres faktörlerinden etkilendikleri için aktif bir immün yapıya ihtiyaç duymaktadır. Bu nedenle, kanatlılar için hem maternal hem de yumurtadan çıktıktan sonraki beslenme önem kazanmaktadır. Besinlerle vücuda alınan karotenler; serbest radikallerin zararsız hale getirilmelerinde, kanatlı immün sistem organlarının gelişiminde ve immün yanıt oluşumunda rol oynamaktadır. Maternal kaynaklı karotenler, diyet yolu ile anne vücuduna alınarak çeşitli dokularda özellikle yumurta sarısında depo edilebilmekte ve bu yolla gelecek nesile aktarılabilmektedir. Bu derlemede, karotenlerin immünoestimülant fonksiyonları ve maternal karoten beslenmesinin kanatlı hayvanlar bakımından önemi tartışılmıştır.

**Anahtar kelimeler:** Kanatlı, karoten, antioksidan, immün sistem, serbest radikal

### Importance of Carotene Addition to Avian Diets for Immune System and Maternal Nutrition

#### Abstract

Carotenes are pigment groups employed in antioxidant defense systems of body due their chemical characteristics. Avian animals require active immune structure because they are affected by stress factors due to their physiologies. Therefore, both maternal and pro-hatching feeding is important for avian animals. Carotenes, taken to bodies with feeding, play role in inhibiting the harmful effects of free radicals, in improving immune system organs of avian animals, and in forming immune response. Maternal carotenes are taken dietary to mother's body, are stored in various tissues especially in egg yolk and are transferred with this way to the future offspring. In this review, immune-stimulant functions of carotenes and importance of maternal carotene feeding in avian has been discussed.

**Key words:** Avian, carotene, antioxidant, immune system, free radical

#### Giriş

Biyoteknolojik gelişmelerin kanatlı genetiğine uyarlanması sonucunda yüksek performanslı hatlar elde edilmiştir. Ancak, bu bilimsel başarı hayvanlarda bağışıklık sistemi dahil kimi biyolojik dengelerin bozulması gibi bazı sorunları beraberinde getirmiştir (Nir ve Şenköylü, 2000). Bu sebeple günümüzde immün sistemi destekleyici araştırmalar giderek hız kazanmaktadır. Bilindiği gibi hayvanlarda oluşabilecek hastalıklar ve yüksek ölüm oranları büyük verim kayıplarına neden olmaktadır. Hastalıklarla mücadelede en etkin yöntem, bakım ve beslemenin optimum seviyede tutulması ile stres faktörlerinin minimize edilmesidir. Özellikle kanatlılar gerek metabolik hızlarının yüksek oluşu ve gerekse ruminantlara göre farklı olan fizyolojileri ile stres faktörlerinden fazlasıyla etkilenmektedir. Bu nedenle antioksidan savunmaya duyulan ihtiyaç kanatlılarda daha fazla olmaktadır. Gelişmiş bir antioksidan sistem, immün sistemin daha aktif olmasına yol açmakta ve iyi gelişmiş bir immün

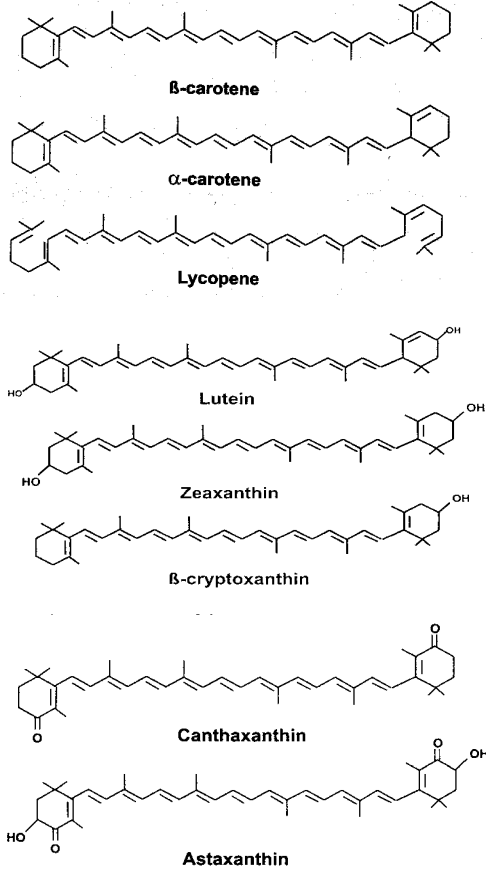
sistem ise çıkış sonrası ilk günlerde görülen ölüm oranlarının azalmasını sağlamaktadır.

Yetiştiriciliği yapılan kanatlı türleri üzerindeki araştırmalar, karoten katkılı beslemenin oksidatif zararı azalttığını, çıkış oranını yükselttiğini ve genç bireylerde immunolojik tepkileri geliştirdiğini ortaya çıkarmıştır (Haq ve ark., 1996; Surai ve Speake, 1998). Martılarda (Blount ve ark., 2004) ve farklı kanatlı türlerinde (Hörak ve ark., 2002; Royle ve ark., 2003) yumurtlama kapasitesinin (döl veriminin) karoten mevcudiyetine bağlı olarak azalıp çoğalabileceği de bildirilmektedir. Astaksantin katkılı yemleri tüketen tavuklarda çıkış oranının arttığı, Salmonella enfeksiyonuna karşı direnç sağlandığı, çıkış sonrası yemden yararlanmanın arttığı ve yumurta sarısı kesesi iltihaplanmasından kaynaklanan civciv ölümlerinin azaldığı bildirilmektedir (Lignell ve ark. 1998).

#### Karotenlerin genel özellikleri

Doğadaki pigmentlerin çok sayıda ve geniş bir grubunu

temsil eden karotenler birçok canlıda çeşitli parlak renklere sebep olmaktadır (Pfander, 1992). Karotenler, pigmentasyon işlevlerinin yanı sıra, kimyasal özellikleri gereği vücut içerisinde çeşitli reaksiyonlarda görev alırlar. Kimyasal karakterde bulunan değişen tek ve çift bağlar (Şekil 1) diğer moleküllerden enerjinin absorbe edilmesini sağlamakta ve bu durum karotenlerin antioksidan özelliklerini tanımlamaktadır (Britton 1995).

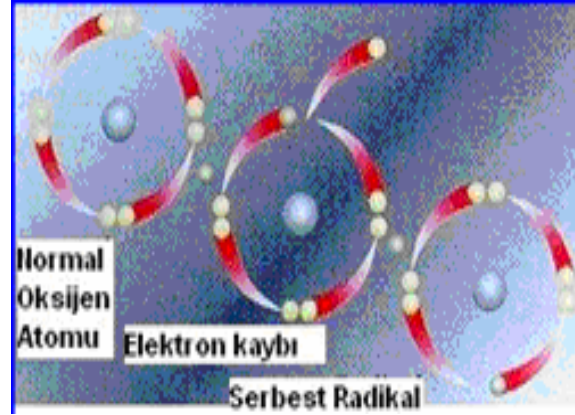


Şekil 1. Bazı karotenlerin kimyasal yapıları

### Karotenlerin antioksidan savunma sistemi içerisindeki rolü

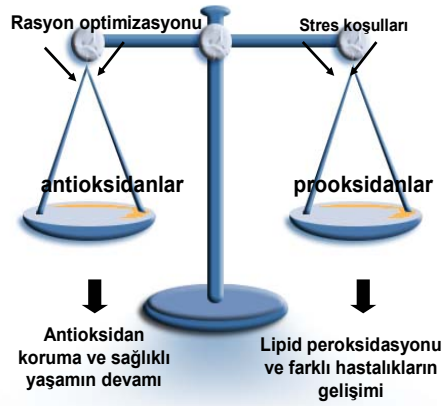
Yaşamın devamı için oksijen esansiyel olmakla beraber; elektron kaybettiğinde DNA, protein, lipid ve karbonhidratlar gibi biyolojik moleküllere zarar verebilme yeteneğine sahip her an reaksiyona girmeye hazır, hareketli ve reaktif bir özellik gösteren serbest radikal (SR) moleküllere dönüşebilir (Şekil 2). Evrimleşme süresince gelişen vücudun antioksidan savunma sistemi (Halliwell ve Gutteridge, 1999), SR'lere karşı hücrelerin korunmasından sorumlu bir mekanizmadır. SR'ler immün sistem hücreleri

tarafından üretilerek patojenlere karşı önemli bir silah olarak kullanılsa da (Schwarz, 1996; Kettle ve Winterbourn, 1997) bir kısmı bu hücrelerin kontrolünden kaçmakta ve stres koşullarında artmaktadır. Karotenlerin işlevi ise SR'lerin girdiği reaksiyonların zincir uzunluğunu azaltarak peroksidasyonun inhibe edilmesini sağlamaktır (Surai, 2002). SR miktarının besinlerle alınan antioksidanlar ile dengelenmesi gerektiği (Şekil 3) özellikle stres koşullarında önem kazanmakta ve bu durumda denge SR üretiminin artması yönünde değişirse; membran ve hücre bütünlüğünün bozulması sonucu besin maddelerinin absorpsiyonu azalmaktadır (Surai, 2002). Bu nedenle SR'lerin hayvansal verimin ve ürün kalitesinin düşmesine yol açtığı bildirilmektedir (Hurley ve Doane, 1989; McDowell, 2000). Antioksidan savunma mekanizmasının düzenlenmesinde en etkili uygulamalardan birinin besleme olduğu ve yumurtadan yeni çıkan civcivlerin rasyonlarına artan dozlarda karoten ile vitamin E ilavesinin lipid peroksidasyon inhibisyonunu arttırdığı (Şekil 4) görülmüştür (Surai, 2002).

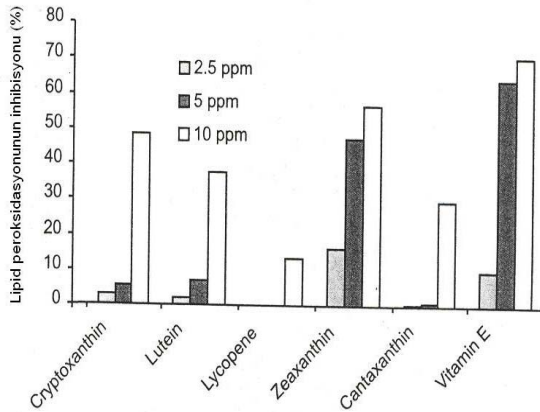


Şekil 2. Oksijen atomunun serbest radikale dönüşümü (Anonim, 2006)

Kanatlı spermatozoasının çoklu doymamış yağ asitlerinden oluşması lipid peroksidasyonunu teşvik etmektedir. Bu nedenle antioksidan özelliğe sahip katkıların rasyona ilave edilmesi testis ve semedeki antioksidan birikimini artırarak lipid peroksidasyonuna karşı hassasiyeti azaltmaktadır (Çördük, 2005). Benzer şekilde diyetel karoten alımının; kanatlılarda oksidasyona karşı sperm duyarlılığını azalttığı, spermelerin hareket kabiliyetini artırarak fertilitiyi olumlu yönde etkilediği (Blount ve ark., 2001; Peters ve ark., 2004) ve kırlangıçlardaki anormal sperm oranının yemlerle alınan karoten miktarına bağlı olarak düştüğü bildirilmektedir (Møller ve ark., 2005).



Şekil 3. Hücrede antioksidan-prooksidan dengesi (Surai ve ark., 2003)



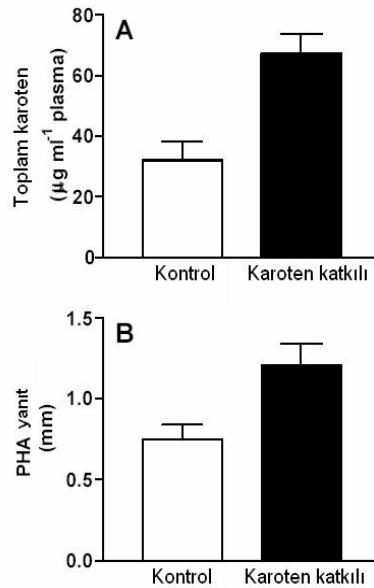
Şekil 4. Cıvıv beyin homojenatında karotenlerin ve vitamin E'nin lipid peroksidasyonu üzerindeki etkisi (Surai, 2002)

#### Maternal karoten alımı ve immünostimülant etkisi

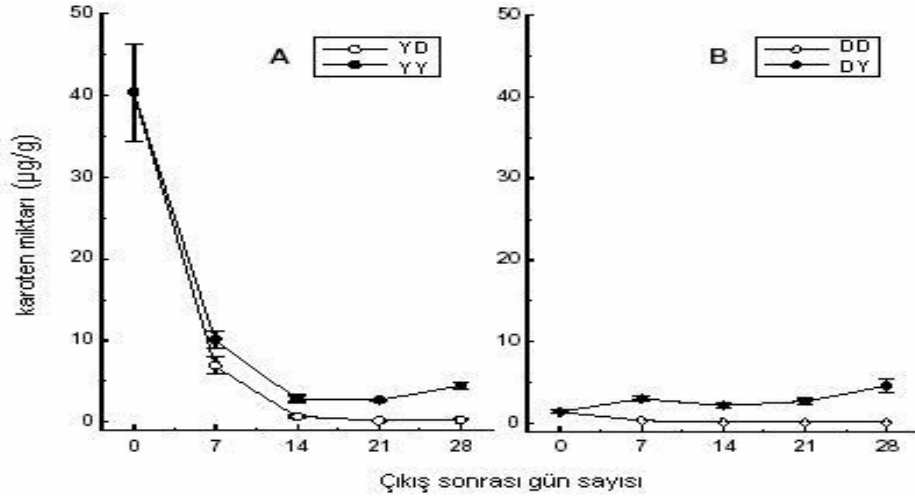
Güçlü bir immün yapı hastalıklarla mücadelede elbette daha başarılı olmaktadır. Doğada yaşayan ördeklerin doku karoten birikimlerinin entansif koşullarda yetiştirilenlere göre önemli ölçüde yüksek olduğu belirlenmiş ve bu bulgular doğrultusunda onların immün sistemleri üzerinde karotenlerin etkisi olabileceği vurgulanmıştır (Surai ve ark., 1998). Erkeklerin çiftleşme döneminde daha zengin pigmentasyona sahip olma çabalarının immün yeterlilik kapasitelerini de artırmalarına yol açtığı (Pennisi, 2003) ve diyetset karoten alımının seksüel çekim gücü ile hücreset immün yanıt oluşumunu (PHA) yükselttiği (Blount ve ark., 2003a) bildirilmiştir (Şekil 5).

Karoten alımının azaltılması sonucunda mevcut karotenlerin depolanmasında immün sistem organlarının (Bursa Fabricius=BF ve timus) öncelikli olduğu bildirilmektedir (Koutsos ve ark., 2003). Kuşlarda, T-lenfosit immün yanıtın fütüsün canlılığını devam ettirebilmesini belirleyen bir etken olduğu (Christe ve ark., 1998; Hórak ve ark. 1999), bu pozitif etkinin kırlangıçlarda da görüldüğü bildirilmektedir (Merino ve ark. 2000). Lutein aşılayarak karotence zenginleştirilen yumurtalardan çıkan kırlangıç yavrularına ait T-lenfosit immün yanıtın yükselmesi (Saino ve ark. 2003) T-lenfosit immün yanıtın besleme ile ilişkili olduğunu göstermekte ve bu durum çeşitli araştırmacılar tarafından da belirtilmektedir (Lochmiller ve ark. 1993; Dietert ve ark. 1994; Saino ve ark. 1997).

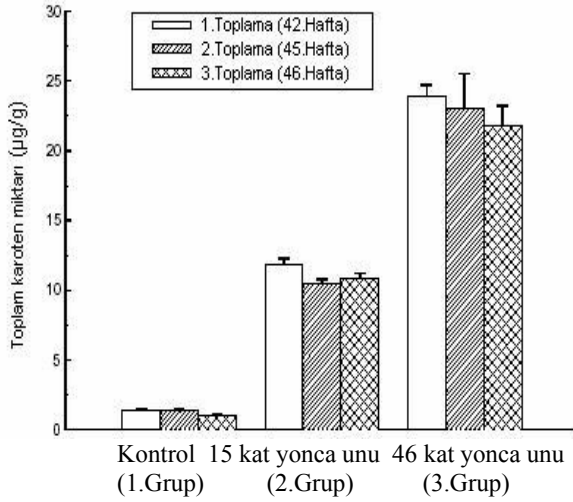
Kanatlı immün sisteminin erken dönemdeki (embriyogenesis) gelişiminde, BF'ta büyük miktardaki B-lenfosit oluşumunda karotenlerin rol oynadığı bilinmektedir (Apanius, 1998). Kanatlı embriyo gelişiminin ilk dönemlerinde karotenleri Vitamin A'ya dönüştüren dioksigenaz aktivitesinin fonksiyonel olduğu bildirilmekte (Mora ve ark., 2004) ve bu dönemdeki normal bir kardiyovasküler morfogenez için maternal vitamin A alımı esansiyel olarak kabul edilmektedir (Zile, 2004).



Şekil 5. Zebra ispinozlarında (*Taeniopygia guttata*) karotenlerin immün yanıt oluşumu (PHA) üzerindeki etkisi (Blount ve ark., 2003a)



Şekil 6. Yüksek(A) ve Düşük(B) karoten içerikli yumurtalardan çıkan yavruların karaciğer karoten konsantrasyonları arasındaki ilişki (Karadaş ve ark., 2005). YD:Yüksek karoten diyetli anneler, düşük karoten diyetli yavrular; YY:Yüksek karoten diyetli anneler, yüksek karoten diyetli yavrular; DD: Düşük karoten diyetli anneler, düşük karoten diyetli yavrular; DY: Düşük karoten diyetli anneler, yüksek karoten diyetli yavrular



Şekil 7. Farklı yonca unu ekstraktı tüketimi ile yumurta sarısı karoten konsantrasyonu arasındaki ilişki (Karadaş ve ark., 2005).

Karoten miktarı yüksek (YK) ve düşük (DK) olan yumurtalardan çıkan civcivlerin karotensiz (K<sup>-</sup>) ve karotenli (K<sup>+</sup>) rasyonlar ile beslenmeleri sonucunda karaciğer, timus, BF ile plazma karoten birikimlerinin belirlendiği bir araştırmada, YK yumurtalardan çıkan civcivlerin K<sup>-</sup> rasyonla beslenmelerine rağmen dokularında karoten birikiminin olduğu ve maternal kaynaklı karotenlerin (mkk) kanatlılarda çok iyi muhafaza edildiği bildirilmiştir. Buna ilaveten DK yumurtalardan çıkan civcivlerin K<sup>+</sup> rasyonla beslenmeler bile yeterince doku karoten birikimi sağlayamadıkları ve

çıkış sonrası diyetle alınan karotenlerin absorpsiyonu, metabolizması ve/veya doku birikimi için mkk varlığının önemli olduğu belirtilmiştir (Koutsos ve ark., 2003). Civcivlerin karotene fakir beslenmelerinin daha sonraki büyüme dönemlerinde karoten metabolizmasının işlevselliğini yitirmesine yol açtığı başka araştırmacılar tarafından da bildirilmiştir (Hörak ve ark., 2000; Blount ve ark., 2003b).

Kontrol grubuna göre karotene 46 kat zenginleştirilmiş yem ile beslenen tavuklardan elde edilen yumurtalardan çıktıktan sonraki ilk 7 gün DK'li diyetle beslenen civcivlerin karaciğer karoten içeriğinin, normal yumurtadan çıkan ve YK'li yemlerle beslenen civcivlere göre daha yüksek bulunduğu ancak bu durumun 14. günden itibaren ters yönde gelişmeye başlaması sebebiyle (Şekil 6), çıkış sonrası dönemde en az 7 gün için "maternal beslemenin" buna karşın 14. günden itibaren ise "diyetsel beslemenin" temel etken olduğu bildirilmiştir. Aynı çalışmada kontrole (1. grup) göre yaklaşık 15 kat (2. grup) ve 46 kat (3. grup) daha fazla yonca unu ekstraktı içeren rasyonlarla beslenen tavuklardan 42., 45. ve 46. haftalarda alınan yumurta sarılarının karoten içerikleri belirlenmiş ve her üç dönemde de en yüksek konsantrasyonun 3. gruba ait olduğu (Şekil 7) bildirilmiştir (Karadaş ve ark., 2005). Kadife çiçeği ekstraktı ile domates tozu içeren rasyonları tüketen bıldırcınlar üzerinde yapılan bir araştırmada da, mevcut karotenlerin yumurta sarısından embriyonik dokulara transfer edildiği tespit edilmiş ve

çıkış sonrası DK'li besleme yapıldığı halde 1 hafta boyunca yavrunun karaciğer karoten içeriğinin azalmadan aynı kaldığı ifade edilerek maternal beslenmenin önemi vurgulanmıştır (Karadaş ve ark., 2006). Doğadan yakalanan kınalı keklıkların 5.94 ve 16.60 mg total karoten içeren yemler ile beslenmesinin etkisi yumurtlama döneminin başında ve sonunda olmak üzere iki ayrı dönemde incelenmiş olup yumurta sarısı karoten düzeyinin her iki dönemde de karoten alımının artması ile yükseldiği bildirilmiştir (Bortolotti ve ark., 2003). Bu konuda yapılan araştırmalardan da görüldüğü gibi, yumurta sarısı karoten konsantrasyonu karoten katkı besleme ile artmaktadır. Karotenlerin immünostimülant rolleri ile beraber kanatlı hayvanlardaki tek bir yumurta sarısının, karoten depolanmasının ana bölgesi olan karaciğerde bulunan total karoten miktarının yaklaşık %40-%45'ini içermesi (Surai ve Speake 1998; Surai ve ark., 1999) dikkate alındığında anneden yavruya geçen karotenlerin (mkk'lerin) yumurta sarısı ile taşınmasının önemi açıkça ortaya çıkmaktadır (Şekil 8).

### Sonuç

Kanatlı hayvanların yüksek metabolik hızları nedeniyle stres faktörlerinden fazlasıyla etkilenmeleri verime yansiyarak ekonomik kayıplara sebep olmaktadır. İmmün sistemin aktif bir şekilde çalışmasını destekleyen karotenler; kimyasal özellikleri gereği SR'lerin nötralize edilmesinde fonksiyon göstererek lipid peroksidasyonunu baskılamakta ve kanatlı immün

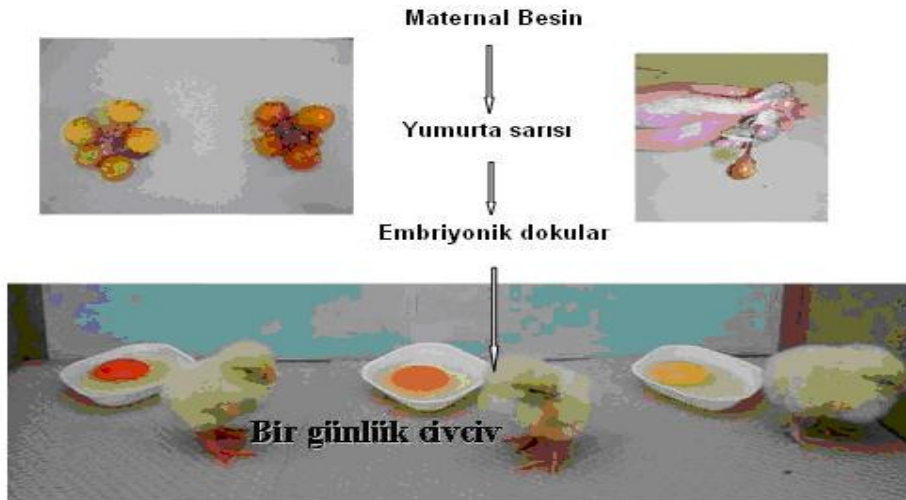
sistem organlarının hem gelişiminde hem de aktivasyonunda aktif rol oynamaktadır. Yumurta sarısı karoten düzeyinin besleme ile artması ve karotenlerin immünostimülant fonksiyonu düşünüldüğünde, çıkış sonrası dönemde ölüm oranlarının azalması bakımından maternal beslenme ile alınan karotenler büyük bir önem taşımaktadır.

### Kaynaklar

- Anonim, Free radicals and your health <http://www.healingdaily.com/conditions/free-radicals.htm> (03. Kasım.2006).
- Apanius, V. 1998. Ontogeny of immune function. Eds. Starck, J.M., Ricklefs, R.E. Avian Growth and Development: evolution within the Altricial-Precocial Spectrum. Oxford University Press, Oxford, pp. 203-222.
- Blount, J.D., Moller, A.P., Houston, D.C. 2001. Antioxidants, showy males and sperm quality. Ecology Letters 4: 393-396.
- Blount, J.D., Metcalfe, N.B., Arnold, K.E., Surai, P.F., Devevey, G.L., Monaghan, P. 2003a. Neonatal nutrition, adult antioxidant defences and sexual attractiveness in the Zebra Finch. Proceedings of the Royal Society of London B 270: 1691-1696.
- Blount, J.D., Metcalfe, N.B., Birkhead, T.R., Surai, P.F. 2003b. Carotenoid modulation of immune function and sexual attractiveness in Zebra Finches, Science, Vol:300, no:5616, pp:125-127. (DOI: 10.1126/science.1082142).

### Yumurta sarısı karoten konsantrasyonu niçin bu kadar önemli ?

#### ➤ Karotenlerin Taşınması :



Şekil 8. Karotenlerin anneden yavruya taşınması bakımından yumurta sarısı karoten konsantrasyonunun önemi

- Blount, J.D., Houston, D.C., Surai, P.F., Møller, A.P. 2004. Egg-laying capacity is limited by carotenoid pigment availability in wild gulls *Larus fuscus*. *Proceedings of the Royal Society of London B* 271, S:79-81.
- Bortolotti, G.R., Negro, J.J., Surai, P.F., Prieto, P. 2003. Carotenoids in eggs and plasma of red-legged partridges: Effects of diet and reproductive output. *Physiological and Biochemical Zoology* 76(3): 367-374.
- Britton, G. 1995. Structure and properties of carotenoids in relation to function. *FASEB J.* 9:1551-1558.
- Christe, P., Møller, A.P., de Lope, F. 1998. Immunocompetence and nestling survival in the house martin: 'the tasty chick hypothesis'. *Oikos* 83: 175-179.
- Çördük, M. 2005. Kanatlı semeninin dölleme yeteneği ve yağ asidi kompozisyonu üzerine yem yağlarının ve antioksidanların etkisi. 3.Ulusal Hayvan Besleme Kongresi, ISBN: 975-92207-1-9, s: 628, Adana.
- Dietert, R.R., Golemboski, K.A., Austic, R. 1994. Environment-immune interactions. *Poultry Sci.* 73: 1062-1076.
- Halliwell, B., Gutteridge, J.M.C. 1999. Free radicals in biology and medicine. Third Edition. Oxford University Press, Oxford.
- Haq, A.U., Bailey, C.A., Chinnah, A. 1996. Effect of beta-carotene, canthaxanthin, lutein, and vitamin E on neonatal immunity of chicks when supplemented in the broiler breeder diets. *Poultry Science* 75: 1092-1097.
- Hörak, P., Tegelmann, L., Ots, I., Møller, A.P. 1999. Immune function and survival of great tit nestlings in relation to growth conditions. *Oecologia* 121: 316-322.
- Hörak, P., Vellau, H., Ots, I., Møller, A.P. 2000. Growth conditions affect carotenoid-based plumage coloration of great tit nestlings. *Naturwissenschaften* 87: 460-464.
- Hörak, P., Surai, P.F., Møller, A.P. 2002. Fat-soluble antioxidants in the eggs of great tits *Parus major* in relation to breeding habitat and laying sequence. *Avian Science* 2: 123-130.
- Hurley, W.L., Doane, R.M. 1989. Recent developments in the roles of vitamins and minerals in reproduction. *Journal of Dairy Science* 72: 784-804.
- Karadaş, F., Pappas A.C., Surai, P.F., Speake, B.K. 2005. Embryonic development within carotenoid-enriched eggs influences the post-hatch carotenoid status of the chicken. *Comparative Biochemistry and Physiology, Part B* 141: 244-251.
- Karadaş, F., Surai, P.F., Grammenidis, E., Sparks, N.H.C., Acamovic, T. 2006. Supplementation of the maternal diet with tomato powder and marigold extract: effects on the antioxidant system of the developing quail. *British Poultry Science*, 47 (2): 200-208.
- Kettle, A.J., Winterbourn, C.C. 1997. Myeloperoxidase: a key regulator of neutrophil oxidant production. *Redox Report* 3: 3-15.
- Koutsos, E.A., Clifford, A.J., Calvert, C.C., Klasing, K.C. 2003. Maternal carotenoid status modifies the incorporation of dietary carotenoids into immune tissues of growing chickens (*Gallus gallus domesticus*). *American Society for Nutritional Sciences. J. Nutr.* 133: 1132-1138.
- Lignell, A., Nicolin, C., Larsson, L.H., Inbarr, J. 1998. Method for increasing the production of/in breeding and production animals in the poultry industry, United States Patent #5744502. Astacarotene AB, Sweden.
- Lochmiller, R.L., Vestey, M.R., Boren, J.C. 1993. Relationship between protein nutritional status and immunocompetence in northern bobwhite chicks. *Auk* 110: 503-510.
- McDowell, L.R. 2000. Reevaluation of the metabolic essentiality of the vitamins: Review. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences* 13: 115-125.
- Merino, S., Møller, A.P., de Lope, F. 2000. Seasonal changes in immunocompetence and mass gain in nestling barn swallows: a parasite-mediated effect? *Oikos* 90: 327-332.
- Møller, A.P., Surai, P.F., Mousseau, T.A. 2005. Antioxidants, radiation and mutation as revealed by sperm abnormality in barn swallows from Chernobyl. *Proceedings of Royal Society B* 272: 242-252.
- Mora, O., Kuri-Melo, L., Gonzalez-Gallardo, A., Melendez, E., Morales, A., Shimada, A., Varela-Echavarria, A. 2004. A potential role for  $\beta$ -carotene in avian embryonic development. *Int. J. Vitam. Nutr. Res.* 74: 116-122.
- Nir, İ., Şenköylü, N. 2000. Kanatlılar için sindirimi destekleyen yem katkı maddeleri. Tekirdağ, ISBN 975-93691-0-9, s. 213.
- Pennisi, E. 2003. Colorful males flaunt their health. *Science*, Vol:300, no:5616, pp:29-31 (DOI: 10.1126/science.300.5616.29).

- Peters, A., Denk, A.G., Delhey, K., Kempenaers, B. 2004. Carotenoid-based bill colour as an indicator of immunocompetence and sperm performance in male mallards. *J. Evol. Biol.* 17: 1111-1120.
- Pfander, H. 1992. Carotenoids: An overview. Ed. Packer, L., In: *Methods in Enzymology*. Vol.213, Carotenoids: Part A. Chemistry, separation, quantitation and antioxidation, pp. 3-13.
- Royle, N.J., Surai, P.F., Hartley, I.R. 2003. The effect of variation in dietary intake on maternal deposition of antioxidants in Zebra Finch eggs. *Functional Ecology* 17: 472-481.
- Saino, N., Calza, S., Møller, A.P. 1997. Immunocompetence of nestling barn swallows (*Hirundo rustica*) in relation to brood size and parental effort. *J. Anim. Ecol.* 66: 827-836.
- Saino, N., Ferrari, R., Romano, M., Martinelli, R., Møller, A.P. 2003. Experimental manipulation of egg carotenoids affects immunity of barn swallow nestlings. *Proc. R. Soc. Lond. B* 270, 2485-2489. (DOI 10.1098/rspb.2003.2534).
- Schwarz, K.B. 1996. Oxidative stress during viral infection: A review. *Free Radical Biology and Medicine* 21: 641-649.
- Surai, P.F., Speake, B.K. 1998. Distribution of carotenoids from the yolk to the tissues of the chick embryo. *Journal of Nutritional Biochemistry* 9: 645-651.
- Surai, P., Ionov, I., Kuchmistova, E., Noble, R., Speake, B. 1998. The relationship between the levels of alpha-tocopherol and carotenoids in the maternal feed, yolk and neonatal tissues: Comparison between the chicken, turkey, duck and goose. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 76: 593-598.
- Surai, P.F., McDevitt, R.M., Speake, B.K., Sparks, N.H.C. 1999. Carotenoid distribution in tissues of the laying hen depending on their dietary supplementation. *Proceedings of the Nutrition Society* 58: 30A.
- Surai, P.F. 2002. *Natural antioxidants in avian nutrition and reproduction*, Nottingham University Press, Nottingham, 605.
- Surai, P.F., Karadaş, F., Sparks, N.H.C. 2003. Antioxidants and oxidation in animal production: role of selenium and vitamins. 11<sup>th</sup> International Symposium on Animal Nutrition, 14 October 2003, Kaposvar, Hungary, p:19-37.
- Zile, M.H. 2004. Vitamin A requirement for early cardiovascular morphogenesis specification in the vertebrate embryo: insights from the avian embryo. *Exp. Biol. Med.* 229:598-606.