



Marine and Life Sciences

E-ISSN: 2687-5802

Journal Homepage: <https://dergipark.org.tr/en/pub/marlife>

R_{review}
A_{rticle}

The effect of vitamin K on aquatic animals

^{ID}Erkan Uğurlu^{1*}, ^{ID}Önder Duysak¹, ^{ID}Hülya Şereflişan²

*Corresponding author: erkn.ugurlu@yahoo.com

Received: 23.01.2020

Accepted: 16.03.2020

Affiliations

¹Department of Basic Sciences, Faculty of Marine Sciences and Technology, Iskenderun Technical University, 31200, Iskenderun, Hatay, Turkey

²Department of Aquaculture, Faculty of Marine Sciences and Technology, Iskenderun Technical University, 31200, Iskenderun, Hatay, Turkey

Keywords

Vitamin K
Aquatic organisms
Phylloquinone
Menaquinone
Menadione

ABSTRACT

K vitamin is essential for blood clotting and bone mineralization. It is in the group of fat-soluble vitamins and is naturally in the form of K1 (phylloquinone) and K2 (Menaquinone) or synthetically as vitamin K3 (menadione). Nowadays, in order to meet the rapidly increasing nutrient needs, the increase in production of fish farming has increased the use of synthetic vitamin K3 in animal feed. In this review, biochemistry of vitamin K and its importance in aquatic organisms are emphasized.

K Vitamini ve Sucul Canlılara Etkisi

ÖZET

Kanın pıhtılaşmasında ve kemik mineralizasyonunda hayati öneme sahip olduğu bilinen K vitamini, yağda çözünebilir vitaminler grubunda olup, doğal olarak K1 (fillokinon) ve K2 (Menakinon) veya sentetik olarak K3 vitamini (menadion) formundadır. Günümüzde hızla artan besin ihtiyacının karşılanmasında balık yetiştiriciliğindeki üretim artışı, hayvan yemlerinde sentetik K3 vitamini kullanılması yaygınlaştırmıştır. Bu derleme çalışmasında K vitamini biyo-kimyası ve sucul canlılardaki önemi vurgulanmıştır.

Anahtar Kelimeler

K vitamini
Sucul canlılar
Fillokinon
Menakinon
Menadion

Giriş

Dünya nüfusunun artması ile sağlıklı yaşam ile ilgili yapılan çalışmalar önem kazanmış ve su ürünleri tüketiminin insan beslenmesindeki yeri artmıştır. Bu sebeple balık yetiştiriciliği ve avcılığı her geçen gün artmakta ve bu talebin karşılanması için özellikle entansif balık yetiştiriciliğine daha fazla önem verilmektedir (Gültepe, 1999; Korkut ve ark., 2002). Vitaminler doğal olarak besinlerde yer alan ve vücuttaki metabolik faaliyetlerin gerçekleşmesi

için elzem olan organik bileşiklerdir (Kaya, 2007). Vitaminler yapı taşı ya da enerji kaynağı olarak kullanılmazlar ve vücuda parenteral ya da sinirim kanalı yoluyla dâhil olabilirler.

Tarihsel olarak, K vitamini, kan pıhtılaşmasındaki (Olson, 1999) temel rolüyle bilinmektedir (Knapen ve ark., 1993; Luo ve ark., 1997; Boskey ve ark., 1998; Lee ve ark., 2007). Ayrıca, K vitamininin kemik metabolizması ve büyüme kontrolü gibi diğer biyolojik işlemlerde önemli bir rol oynadığı

Cite this article as

Uğurlu, E., Duysak, Ö. & Şereflişan H. (2020). The effect of vitamin K on aquatic animals. *Marine and Life Sciences*, 2(1): 45-50. (In Turkish)

Vitamin	Görevleri
Vitamin A	Balığın büyümesine yardımcı olur ve en uygun boya ulaşmasını sağlar. İskelet sistemi için temeldir.
Vitamin B1, B2, B6, B12	Sinir sistemi, proteinlerin sindirilmesi ve deri üzerinde bulunan mukoza sıvının oluşumuna katkı gibi faydaları bulunmaktadır.
Vitamin C	Balıkların hastalıklara karşı direncini artırır, sindirime ve balığın büyümesine yardımcı olur.
Vitamin D	Kemik gelişiminde önemli katkısı vardır.

Tablo 1. Vitaminler ve görevleri (Mills, 1994).

bildirilmiştir (Price 1988; Manfioletti ve ark., 1993).

K vitamini kanda pıhtılaşan proteinler için ko-faktör olduğu, ayrıca ATP sentezine katıldığı ve mRNA oluşumunun bir parçası olduğu belirtilmiştir. K vitaminin yapısal olarak elektron taşıma sisteminde yer aldığı ve işlevsel kan pıhtılaşma faktörlerini elde etmek için proteinlerdeki glutamat kalıntılarının karboksilleşmesinde de rol oynadığı tespit edilmiştir. K vitamini, VKD proteinlerinin post-translasyonel modifikasyonunda rol oynar ve enzim c-glutamilkarboksilaz (GGCX) için bir kofaktör olarak görev yapar. Kanın pıhtılaşması, proteinin N-terminal bölümünde birkaç y-karboksi glutamat tortusu içerdiği ve bu tortuların, Ca²⁺ bağlanmasında rol oynadığı bilinmektedir. Vitaminlerin sucul canlılardaki işlev ve görevleri Tablo 1'de görülmektedir (Mills, 1994).

K Vitaminin Kimyası

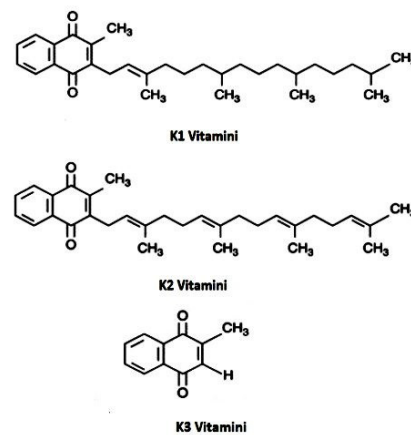
K vitamini terimi, değişken uzunluk ve doyumluğa sahip bir poli-izoprenil yan zincirine bağlı bir naftokinon halkasından oluşturulan, yağda çözünebilir bileşikler sınıfını kapsar. K vitamini

çözülebilir (Koivu-Tikkanen, 2001).

K1 ve K2 vitaminleri olarak adlandırılan en az iki doğal K vitamini vardır. Bunlar bir grup bileşik olup en önemlileri K1 vitaminin kimyasal yapısı (fillokinon), 2-metil-3-fetil-1,4-naftokinon ve K2 vitaminin kimyasal yapısı ise (menakinon), 2-metil-3-difarnesil (prenil) n-1,4-naftokinon'dur. Yan zincirde farklı sayılarda karbon atomu bulunan ve vitamin K işlevi gösteren farklı naftokinon bileşikleri de bulunmaktadır. Ayrıca K vitaminin etki göstermesi için yan zincire gerek yoktur. Sentetik bir bileşik olan ve yan zinciri bulunmayan K3 vitamini (Menadion) 2-metil-1,4-naftokinon aynı şekilde K vitamini etkisi göstermektedir ve etkisi K1 vitamini kadar güçlüdür.

Fillokuinon (K1), yan zincirde bir çift fitil grubu bağına sahip olup bitkilerde, yeşil alglerde ve belli siyano-bakterilerde bulunmaktadır (Collins ve Jones, 1981; Lefebvre-Legendre ve ark., 2007; Oostende ve ark., 2008). K1 vitamini, yeşil yapraklı bitkilerden ve bazı sebzelerden elde edilir. K2 vitamini büyük ölçüde etlerden, peynirlerden ve yumurtalardan elde edilen ve bakteriler tarafından

Şekil 1. K1, K2 ve K3 vitaminlerinin kimyasal yapısı (K1 vitamini (fillokuinon): 2-metil-3-fetil-1,4-naftokinon; K2 vitamini (menakinon): 2-metil-3-difarnesil (prenil) n-1,4-naftokinon; ve K3 vitamini (menadiyon): 2-metil-1,4-naftokinon) (El Asmar ve ark., 2014).



ortak bir 2-metil-1, 4-naftokinononu paylaşan, fakat C3-pozisyonunda yan zincirde farklı olan, kuyinondan oluşan bir bileşik topluluğunu ifade etmektedir (Lambert ve De Leenher, 1992). K vitamini suda çözünmez, alkolde az çözünür ve polar olmayan organik çözücülerde kolayca

sentezlenen bir bileşiktir (Booth ve Suttie, 1998). K2 vitamini esas olarak mikrobiyal kökenli olup mayalanmış ürünlerde, hayvansal kaynaklı gıdalarda, bir siyanobakteri olan *Gloeobacter violaceus*'da, kırmızı alglerde ve diatomlarda

bulunur (Collins ve Jones, 1981; Booth ve Suttie 1998; Yoshida ve ark., 2003; Mimuro ve ark., 2005; Ikeda ve ark., 2008). Menakionin (K2), doymamış yan zincirdeki prenil gruplarının sayısına (n) göre adlandırılan, 2 ile 14 arasında değişen n ile MK-n olan bir dizi K vitamini formunu içerir (Lambert ve De Leenher 1992). Hayvan yeminde öncelikle K vitamini kaynağı olarak sentetik bir provitamin olan menadiyon (K3 vitamini) kullanılmaktadır (AminiPour ve ark., 2011).

Sucul Canlılarda K Vitaminiyle İlgili Yapılmış Çalışmalar

Aslında başlıca görevi kanın pıhtılaşmasını sağlamak olan K vitamini yapı bakımından elektron taşıma sisteminde görevlidir. Balıklarda K vitamini eksikliğinin belirtileri solungaçlarda, gözlerde ve dokularda hemorajiler ve anemidir. Ayrıca K vitamini eksikliğinde kanın pıhtılaşma süresi de artmaktadır (Halver, 1972; Hoşsu ve ark., 2008). Ayrıca eksikliğinde özellikle deniz balıkları yetiştiriciliğinde çok rastlanan iskelet deformasyonlarına, balık büyüme performansının düşmesine, balıklarda morfolojik değişimlere, dolayısı ile üretim maliyetlerinde artışa ve ürünün pazar değerinin azalmasına yol açmaktadır (Boglione ve ark., 2013a, Boglione ve ark., 2013b).

Balıklarda, K vitaminin iskelet gelişimi üzerindeki etkisi çalışmalarda değerlendirilmiş olup, normal bir iskelet gelişimi için gerekli olduğu sonucuna varılmıştır (Krossøy ve ark., 2011). K vitamini eksikliğinin, kemik mineralizasyonu ve kemik kütlesinde bir azalmaya neden olduğu bildirilmiş ve bu durum, mezgit yavrularında kemik deformitesi olaylarının meydana gelmesinde artışa neden olmuştur (Roy ve Lall, 2007). Mummikhog (*Fundulus heteroclitus*) üzerinde yapılan K vitamini çalışmalarında, larva diyetindeki beslenme sırasında K vitaminin eksikliği larvaların kemik deformitelerinde artışa neden olduğunu tespit edilmiştir (Udagawa, 2001).

K vitamininin fizyolojik etkisi, çeşitli balık ve kabuklularda incelenmiştir. Yapılan çalışmalarda K vitamini eksikliği anemi ve kan pıhtılaşma süresinin uzamasına sebep olmuştur (Halver, 1989; NRC, 1993). Menadion (K3 vitamini) sazanlarda molinat kaynaklı aneminin önlenmesinde oldukça etkili olduğu bildirilmiştir. Eksikliğinde yavaş büyüme, anemi, hemorajiler, yüzgeç dokularında kayıplar, omurga kemiğinde eğrilik, zayıf kemikler, kısa kuyruklar ve artan mortalite gibi olumsuzluklara yol açtığı bildirilmiştir (Tave-ekijakarn ve ark., 1996; Udagawa, 2004; Lall ve Lewis-McCrea, 2007).

Larva aşamasındaki karides türleri yetiştiriciliğinde

(*Penaeus japonicus* (Kanazawa, 1985), *Penaeus monodon* (Shiau ve Liu, 1994a) ve *Penaeus chinensis* (Shiau ve Liu, 1994b) K3 vitaminin gerekli olduğu bildirilmiştir. Alabalıklarda yapılan çalışmalarda K vitamini ihtiyacının büyüme için 10 mg/kg kuru ağırlık olduğunu ortaya koymuştur (Halver, 1989). K vitaminince düşük diyetlerle beslenen bireylerde artan kan pıhtılaşma süreleri, solungaçlar, gözler ve vasküler dokularda anemi ve kanamalar olduğu bildirilmiştir (Poston, 1964; Kitamura ve ark., 1967; Halver, 1989).

Cyprinus carpio bireyleri ile yapılan bir çalışmada, balıkların larva döneminden büyüme aşamasına kadar vitamin gereksinimlerinin giderek arttığı, ancak büyümenin ilk dönemleri ile üreme döneminde diğer dönemlere oranla daha fazla vitamene gerek duyulduğu belirtilmiştir (Gouillou-Coustans, 1998).

Kaushik ve ark. (1998), 1,5 gr/kg menadionin diyet takviyesi ile genç gökkuşuğu alabalığı (*Oncorhynchus mykiss*), Chinook somonu (*Oncorhynchus tshawytscha*) ve Avrupa levreklerinde (*Dicentrarchus labrax*) büyümeyi sürdürmekteki eksiklikleri gidermesinde yeterli olduğunu bildirmişlerdir.

Deniz balıkları kuluçkahanelerinde K vitamini eksikliği durumunda yüksek oranda iskelet deformiteleri artar, balık büyüme performansı ve larvaların yaşamasıklığı azalır, larvaların morfolojileri bozulur. Bu durum üretim maliyetlerinde artışa ve piyasa değerinde azalmaya neden olur (Boglione ve ark., 2013a; Boglione ve ark., 2013b).

K vitamini eksikliği, Akdeniz bölgesinde (Dinis ve ark., 1999; Imsland ve ark., 2003) yüksek ticari değere sahip denizel yassı balık türü olan Senegallerin (*Solea senegalensis*) iskelet deformitelerinin yüksek olması (Gavaia ve ark., 2002; Fernández ve ark., 2009; Fernández ve Gisbert, 2010; Fernández ve Gisbert, 2011) veya yavru stoklarda üreme problemlerinin meydana gelmesi ile üretimi engellemektedir (Anguis ve Cañavate, 2005).

K vitamini eksikliğinin, kemik mineralizasyonu ve kemik kütlesinde bir azalmaya neden olduğu tespit edilmiş ve bu da Mezgit (*Melanogrammus aeglefinus*) yavrularında kemik deformitelerinde artışa neden olmuştur (Roy ve Lall, 2007).

Som balıkları (*Salmonidae sp.*) ve kanal kedi balığı (*Ictalurus punctatus*) türünde K3 vitamini eksikliğinde hastalık görüldüğü yaptıkları çalışma sonucunda belirlemişlerdir (Tacon, 1992; Hoşsu ve ark., 2008).

Sucul Organizmalarda K Vitamini Önemi

Sucul canlılarda K vitamini eksikliğinde anemi, solungaçlarda, gözlerde ve vasküler dokularda hemorajiler ve hatta yaralı balıklarda ölüm ile sonuçlanmaktadır. Kanın pıhtılaşma süresi de artmaktadır. K vitamini, özellikle yüksek populasyon yoğunluğuna sahip entansif stoklarda kullanılmaktadır. K vitamini ile hazırlanan yemler kısa zaman içerisinde tüketilmeli ve en az vitamin kaybına yol açılmalıdır (Halver, 1972; Hoşsu ve ark., 2008).

Sonuç

Sucul canlılar, K vitamini sentezini yapamadıkları için bu vitamini dışardan almaları gerekmektedir. Son yıllarda yapılan ticari balık yetiştiriciliği, hayvancılık ve diyet kompozisyonundaki farklılaşmaların büyüme oranlarının artmasında ve daha sonra mikro-besin ihtiyacında değişikliklere

sebebin olmuştur (Waagbø, 2008). Balıklarda en erken K vitamini ihtiyacı, larval aşamalarda stokların hayatta kalmasını sağlamak için uygulanmaktadır.

Sucul canlılarda, beslenme, stres ve yaş gibi durumlar değişim göstermekte ve hızlı büyüme göstermeleri için belirli düzeylerde vitamini ihtiyaç duymaktadırlar. Ticari balık yetiştiriciliğinde işletme masraflarının büyük oranını yem giderleri oluşturduğu bilinmektedir. Dolayısıyla K vitamini eksikliklerinin giderilmesi hem yem maliyetinin azalmasına büyük ölçüde katkı sağlayacaktır. Ayrıca, yetiştiriciliği yapılan sucul canlıların büyüme oranlarında artışa, daha az ölüm oranı için önemli bir rol oynamaktadır. Dahası, balıkların beslenmesinde K vitamini fiyat bakımından daha ekonomik yem içeriklerinin hazırlanabilmesi ve balıkların ihtiyaç duyduğu kadar vitamin eklenmesi ticari açıdan önem arz etmektedir.

Kaynaklar

- Anguis, V. & Cañavate, J. P. (2005). Spawning of captive Senegal sole (*Solea senegalensis*) under a naturally fluctuating temperature regime. *Aquaculture*, 243(1-4): 133-145.
- AminiPour, H., Sis, N. M., Razlighi, S. N., Salamat Azar, M., Babazadeh, M. H. & Maddah, M. T. (2011). Effects of vitamin K on ruminant animal: A review. *Journal of American Science*, 7(9): 135-140.
- Boskey, A., Gadaleta, S. & Gundberg, C. (1998). Fourier transform infrared microspectroscopic analysis of bones of osteocalcindeficient mice provides insight into the function of osteocalcin. *Bone*, 23(3): 187-196.
- Boglione, C., Gavaia, P., Koumoundouros, G., Gisbert, E., Moren, M., Fontagne, S. & Witten, P. E. (2013a). Skeletal anomalies in reared European fish larvae and juveniles. Part 1: normal and anomalous skeletogenic processes. *Reviews in Aquaculture*, 5: 99-120.
- Boglione, C., Gisbert, E., Gavaia, P., Witten, P. E., Moren, M., Fontagne, S. & Koumoundouros, G. (2013b). Skeletal anomalies in reared European fish larvae and juveniles. Part 2: main typologies; occurrences and causative factors. *Reviews in Aquaculture*, 5: 121-167.
- Booth, S. L. & Suttie, J. W. (1998). Dietary intake and adequacy of vitamin K. *Journal of Nutrition*, 128(5): 785-788.
- Collins, M. D. & Jones, D. (1981). Distribution of isoprenoid quinone structural types in bacteria and their taxonomic implication. *Microbiology Reviews*, 45(2): 316-354.
- Dinis, M. T., Ribeiro, L., Soares, F. & Sarasquete, C. (1999). A review on the cultivation potential of *Solea senegalensis* in Spain and in Portugal. *Aquaculture*, 176(1-2): 27-38.
- Ersoy, E. & Bayşu, N. (1986). Biyokimya Ders Kitabı, Ankara Üniversitesi Veteriner Fakültesi, Yayın No: 408, Ankara Üniversitesi Basımevi Ankara, 989 s.
- El Asmar, M. S., Naoum, J. J. & Arbid, E. J. (2014). Vitamin K dependent proteins and the role of vitamin K2 in the modulation of vascular calcification: a review. *Oman Medical Journal*, 29(3):172-177.
- Fernández, I., Pimentel, M. S., Ortiz-Delgado, J. B., Hontoria, F., Sarasquete, C., Estévez, A., Zambonino-Infante, J. L. & Gisbert, E. (2009). Effect of dietary vitamin A on Senegalese sole (*Solea senegalensis*) skeletogenesis and larval quality. *Aquaculture*, 295(3-4): 250-265.
- Fernández, I. & Gisbert, E. (2010). Senegalese sole bone tissue originated from chondral ossification is more sensitive than dermal bone to high vitamin A content in enriched *Artemia*. *Journal of Applied Ichthyology*, 26(2): 344-349.
- Fernández, I. & Gisbert, E. (2011). The effect of vitamin A on flatfish development and skeletogenesis: A review. *Aquaculture*, 315(1-2): 34-48.
- Gavaia, P. J., Dinis, M. T. & Cancela, M. L. (2002). Osteological development and abnormalities of the vertebral column and caudal skeleton in larval and juvenile stages of hatcheryreared Senegal sole (*Solea senegalensis*). *Aquaculture*, 211(1-4): 305-323.
- Gouillou-Coustans, M. F., Bergot, P. & Kaushik, S. J. (1998). Dietary ascorbic acid needs of Common carp (*Cyprinus carpio*) larvae. *Aquaculture*, 161(1-4): 453-461.
- Gültepe, N. (1999). Searching the cure methods of patojinity and infection of bacterium *Pseudomonas elongata* on the carpfish (*Cyprinus carpio* L.), Yüksek Lisans Tezi, Çanakkale, 68 s.
- Halver, J. E. (1972). Fish Nutrition. New York, Academic Press Inc. 823 p.
- Halver, J. E. (1989). The Vitamins. In: Halver, J.E. (Ed.), Fish Nutrition. San Diego, USA, Academic Press. p. 32-111.

- Halver, J. E. & Hardy, R. W. (2002). *Fish Nutrition*. Third Edit., New York, Academic Press. 824 p.
- Hoşsu, B., Korkut, A. Y. & Firat, A. (2008). Balık Besleme ve Yem Teknolojisi I. Ege Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi, Yayın No: 50, İzmir, 276 s.
- Ikeda, Y., Komura, M., Watanabe, M., Minami, C., Koike, H., Itoh, S., Koshino, Y. & Satoh K. (2008). Photosystem I complexes associated with fucoxanthin-chlorophyll-binding proteins from a marine centric diatom, *Chaetoceros gracilis*. *Biochimica et Biophysica Acta*, (1777)4: 351-361.
- Imslund, A., Foss, A. & Conceição, L. (2003). A review of the culture potential of *Solea solea* and *S. senegalensis*. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 13: 379-407.
- Kaya, S. (2007). [Vitamins]. *Veteriner Farmakoloji*. 2. Cilt, 4. Baskı. Ankara: Medisa Yayınevi; p. 231, 66.
- Kanazawa, A., Teshima, S. I. & Sakamoto, M. (1985). Effects of dietary lipids, fatty acids, and phospholipids on growth and survival of prawn (*Penaeus japonicus*) larvae. *Aquaculture*, 50(12), 39-49.
- Kaushik, S. J., Gouillou-Coustans, M. F. & Cho, C. Y. (1998). Application of the recommendations on vitamin requirements of finfish by NRC (1993) to salmonids and sea bass using practical and purified diets. *Aquaculture*, 161: 463-474.
- Knapen, M. H., Jie, K. G., Hamulyak, K. & Vermeer, C. (1993). Vitamin K-induced changes in markers for osteoblastic activity and urinary calcium loss. *Calcified Tissue International*, 5539: 81-85.
- Koivu-Tikkanen, T. (2001). Determination of phyloquinone and menaquinones in foods by HPLC.
- Korkut, Y. A., Hoşsu, B. & Gültepe, N. (2002). Balıklarda beslenmeye bağlı hastalıklar. *Ege Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 19(3-4): 555-564.
- Krossøy, C., Waagbø, R. & Ørnsrud, R. (2011). Vitamin K in fish nutrition. *Aquaculture Nutrition*, 17(6): 585-594.
- Kitamura, S., Suwa, T., Ohara, S. & Nakagawa, K. (1967). Studies on vitamin requirements of rainbow trout II. The deficiency symptoms of fourteen kinds of vitamins. *Bulletin of the Japanese Society for the Science of Fish*, 33: 1120-1125.
- Lambert, W. E. & De Leenher, A. P. (1992). Vitamin K. In: *Modern Chromatographic Analysis of Vitamins*, 2nd ed (De Leenher, A.P., Lamberts, W. E. & Nelis, H. J. eds), Marcel Dekker Inc, New York, USA p. 214-251.
- Lall, S. P. & Lewis-McCrea, L. M. (2007). Role of nutrients in skeletal metabolism and pathology in fish-an overview. *Aquaculture*, 267: 3-19.
- Lefebvre-Legendre, L., Rappaport, F., Finazzi, G., Ceol, M., Grivet, C., Hopfgartner, G. & Rochaix, J. D. (2007). Loss of phyloquinone in *Chlamydomonas* affects plastoquinone pool size and photosystem II synthesis. *Journal of Biological Chemistry*, 282(18): 13250-13263.
- Lee, N., Sowa, H. & Hinoi, E. (2007). Endocrine regulation of energy metabolism by the skeleton. *Cell*, 130: 456-469.
- Luo, G., Ducey, P. & Mckee, M. D. (1997). Spontaneous calcification of arteries and cartilage in mice lacking matrix Gla protein. *Nature*, 386: 78-81.
- Manfioletti, G., Brancolini, C., Avanzi, G. & Schneider, C. (1993). The protein encoded by a growth arrest-specific gene (gas6) is a new member of the vitamin K-dependent proteins related to protein S, a negative coregulator in the blood coagulation cascade. *Molecular and Cellular Biology*, 13: 4976-4985.
- Mimuro, M., Tsuchiya, T., Inoue, H., Sakuragi, Y., Itoh, Y., Gotoh, T., Miyashita, H., Bryant, D. A. & Bayashi, M. K. (2005). The secondary electron acceptor of photosystem I in *Gloeobacter violaceus* PCC 7421 is menaquinone-4 that is synthesized by a unique but unknown pathway. *FEBS Letters*, 579: 3493-3496.
- Naeye, R. L. (1956). Plasma thromboplastin component: influence of coumarin compounds and vitamin K on its activity in serum. *Proceedings of the Society for Experimental Biology and Medicine*, 91(1): 101-104.
- NRC, (1993). *Nutrient Requirements of Fish*, National Academy Press, Washington D. C., USA, 114 p.
- Oostende, C., Widhalm, J. R. & Basset, G. J. (2008). Detection and quantification of vitamin (K1) quinol in leaf tissues. *Phytochemistry*, 69(13): 2457-2462.
- Okechi, J. K. (2004). Profitability assessment: A case study of African catfish (*Clarias gariepinus*) farming in the Lake Victoria basin, Master's thesis. The United Nations University Kenya.
- Olson, R. (1999). Vitamin K. In: *Modern Nutrition in Health and Disease*, 9th edn (Shils, M., Olson, J., Shike, M. & Ross, A. eds), Lippincott Williams & Wilkins, Maryland, USA. p. 363-380.
- van Oostende, C., Widhalm, J. R. & Basset, G. J. (2008). Detection and quantification of vitamin K1 quinol in leaf tissues. *Phytochemistry*, 69(13): 2457-2462.
- Poston, H. A. (1964). Effect of dietary vitamin K and sulfaguanidine on blood coagulation time, microhematocrit, and growth of immature brook trout. *The Progressive Fish-Culturist*, 26(2): 59-64.
- Plaza, S. M. & Lamson, D. W. (2005). Vitamin K2 in bone metabolism and osteoporosis. *Alternative Medicine Review*, 10(1): 24-35.
- Price, P. A. (1988). Role of vitamin-K-dependent proteins in bone metabolism. *Annual Review of Nutrition*, 8(1): 565-583.
- Roy, P. K. & Lall, S. P. (2007). Vitamin K deficiency inhibits mineralization and enhances deformity in vertebrae of haddock (*Melanogrammus aeglefinus* L.). *Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Biochemistry and Molecular Biology*, 148(2): 174-183.
- Shiau, S. Y. & Lin, Y. H. (2006). Vitamin requirements of tilapia—A Review. In: *Avances en Nutrición Acuicola VIII* (Proceedings of the VIII Simposium Internacional de Nutrición Acuicola, Monterrey, 15 November–17 November, 2006) (eds L.E. Cruz-Suarez, D. Ricque-Marie and M. Tapia-Salazar et al.). Universidad Autónoma de Nueva León, Monterrey, Mexico, p.129-138.
- Shiau, S. Y. & Liu, J. S. (1994a). Quantifying the vitamin K requirement of juvenile marine shrimp (*Penaeus monodon*) with menadione. *The Journal of Nutrition*, 124(2): 277-282.

- Shiau, S. Y. & Liu, J. S. (1994b). Estimation of the dietary vitamin K requirement of juvenile *Penaeus chinensis* using menadione. *Aquaculture*, 126(1-2): 129-135.
- Tacon, A. G. J. (1992). Nutritional fish pathology. Morphological signs of nutrient deficiency and toxicity in farmed fish. FAO Fish Technical Paper No. 330. FAO, Rome, Italy.
- Taveekijakarn, P., Miyazaki, T., Matsumoto, M. & Arai, S. (1996). Studies on vitamin K deficiency in amago salmon, *Oncorhynchus rhodurus* (Jordan & McGregor). *Journal of Fish Diseases*, 19(3), 209-214.
- Udagawa, M. & Murai, T. (2001). Content of phyloquinone and menaquinone in the tissues of mummichog *Fundulus heteroclitus* fed diets containing different forms of vitamin K. *Journal of Nutritional Science and Vitaminology*, 47(2): 91-95.
- Vermeer, C., Knapen, M. H. & Schurgers, L. J. (1998). Vitamin K and metabolic bone disease. *Journal of Clinical Pathology*, 51(6): 424-426.
- Waagbø, R. (2008). Reducing production related diseases in farmed fish. In: Improving farmed fish quality and safety. Woodhead Publishing, p. 363-398.
- Yoshida, E., Nakamura, A. & Watanabe, T. (2003). Reversed-phase HPLC determination of chlorophyll-a and naphthoquinones in photosystem I of red algae: existence of two menaquinone-4 molecules in photosystem I of *Cyanidium caldarium*. *Analytical Sciences*, 19(7): 1001-1005.