

Selenyumun Balık Beslenmesindeki Önemi

Serpil MİŞE YONAR* Muzaffer HARLIOĞLU

Fırat Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi, Su Ürünleri Yetiştiriciliği Bölümü

* e-mail: serpilmise@gmail.com

(Geliş/Received: 27.01.2018; Kabul/Accepted:28.03.2018)

Özet

Selenyum, üreme ve büyüme için gerekli temel bir elementtir. Hem toksik hem de esansiyel bir element olması, vücutta E vitamini ile beraber antioksidan özellik göstermesi, normal fizyolojik şartlar altında büyüme, bağışıklık sistemi ve hücre membranlarının korunmasındaki rolleri nedeni ile yetiştiricilikte büyük öneme sahiptir. Bu nedenle, son yıllarda selenyumun yetiştiriciliği yapılan birçok farklı türün büyümesi, toksisitesi, bağışıklık sistemi ve antioksidan mekanizma üzerine etkisini araştıran çalışmalar yapılmıştır. Bu derlemede selenyumun genel özellikleri, fizyolojik olarak önemi, görevleri, metabolizması ve balık yetiştiriciliğindeki önemi hakkındaki bilgilerin bir araya getirilmesi amaçlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Balık, İz element, Selenyum, Yetiştiricilik.

Importance of Selenium in Fish Nutrition

Abstract

Selenium is an essential element required for reproduction and growth. Selenium has a great importance in aquaculture because of both a toxic and an essential element, antioxidant properties together with vitamin E in the body, roles in growth, immune system and the protection of cell membranes in organisms under normal conditions. Therefore, in recent years various investigations on the effects of selenium on growth, toxicity, immune system and antioxidant mechanism of rearing species have been carried out. In this review, it was aimed to bring together informations about the general properties, importance, tasks, metabolism and importance in aquaculture of selenium.

Keywords: Aquaculture, Fish, Selenium, Trace element.

1. Giriş

Balık yetiştiriciliğinde uygun çevre koşullarının yanı sıra diğer önemli faktörlerden birisi balıkların beslenmesidir. Uygun çevre şartlarında balıkların en kısa sürede ve istenen kalitede pazar ağırlığına ulaşması için üretim ve yetiştiriciliği yapılan türün isteklerine bağlı olarak uygun nitelik ve nicelikteki yemlerle beslenmesi gerekir [1,2].

İz elementler ya da mineral maddeler balık beslemede kullanılan yemlerin en önemli bileşenlerindedir. Bu maddeler hayvansal organizmasının yapısına katılan ve fonksiyonları için gerekli olan esansiyel kimyasal elementlerdir. Genellikle balıklar yaşadıkları suda bulunan mineralleri deri, solungaç ve yanal çizgileri vasıtasıyla alırlar. Fakat alınan miktar yetiştiricilik ortamlarında balıkların ihtiyaçlarını

karşılamaya yetmediğinden yemle de alınması gerekmektedir. Balık beslemedeki en önemli mineraller makro elementler ve mikro elementlerdir. Makro moleküllerin en önemlileri kalsiyum, fosfor, magnezyum, sodyum, potasyum, klorür ve kükürt iken, mikro elementlerin en önemlileri ise demir, iyot, bakır, mangan, çinko, kobalt, flor ve selenyumdur [1-3].

Selenyum, canlıların üreme ve büyümeleri için gerekli temel bir elementtir. Hem toksik hem de esansiyel bir element olması, vücutta vitamin E ile beraber fizyolojik olarak antioksidan özellik gösteren bazı enzimlerin yapısına girmesi, bağışıklık sisteminin bir parçası olması gibi özellikleri nedeniyle yetiştiricilikte büyük öneme sahiptir. Bu nedenle, selenyumun yetiştiriciliği yapılan birçok türün büyümesi, toksisitesi, bağışıklık sistemi ve antioksidan savunma mekanizması üzerine etkilerini araştıran

araştırmalar son yıllarda oldukça artmıştır [4]. Selenyum balıkların büyümesi ve normal fizyolojik fonksiyonları için gerekli bir iz elementtir [5].

Bu derlemenin amacı, balık yetiştiriciliğinde büyük öneme sahip iz elementlerden biri olan selenyumun genel özellikleri, biyolojisi, metabolizması ile üretim ve yetiştiricilik açısından önemi konusunda bilgilerin derlenmesi ve sunulmasıdır.

2. Selenyum

2.1. Selenyumun genel özellikleri

Selenyum ilk defa 1818 yılında kimyacı Berzelius tarafından sülfirik asit imalinde çalışan işçilerde zehirli bir madde olarak tespit edilmiştir. Önceleri selen daha sonraları selenyum olarak adlandırılan bu element doğada elementel selenyum (Se), selenid (Se^{-2}), selenit (Se^{+4}) ve selenat (Se^{+6}), olmak üzere dört şekilde bulunur [6]. Selenyumun organik ve inorganik formları vardır. Selenit, selenid ve selenat inorganik selenyum bileşikleriyken, selenometionin, selenyum-metilselenometionin, selenosistin ve selenosistein ise organik komplekslerdir [7] (Jaromilla, 2006).

Periyodik sistemin 6A grubunda bulunan selenyum metal halinde veya kükürt, demir ve kadmiyumla birleşmiş halde yer kabuğunda düzensiz olarak bulunan bir elementtir. Yer kabuğunun ortalama selenyum içeriği 0,09 ppm olup çeşitli kayalarda, volkanik materyallerde, fosil yakıtlarında, toprak, bitkisel materyal ve suda bulunmaktadır [8,9]. Elementel selenyumun kristal yapısı fiziksel şartlara göre değişmektedir. Karanlıkta çok zayıf bir elektrik iletkeni iken ışık etkisiyle iletkenlik 1000 kat artar [8]. Selenyum oda sıcaklığında dayanıklı olmasına rağmen yüksek sıcaklıkta yanar ve kötü bir koku açığa çıkarır. Selenyumun holojen bileşikleri ve oksijenli bileşikleri oldukça uçucudur. Selenat ve selenit yapıları suda kolaylıkla çözünür [10].

Selenyumun en önemli kaynağını, selenifer bitkiler oluşturur. Bu bitkiler topraktaki selenyumu alkali ortamlarda daha yüksek oranda alırlar ve bünyelerindeki selenyum düzeylerine göre 3 gruba ayrılırlar. Astragalus, Machaeranthera, Haplopappus ve Stanleya gibi 1. grup selenifer bitkiler 100 ppm ve daha yüksek;

Aster, Atriplex, Castilleja, Gyria, Comandra, Grindelia, Gutierrezia ve Mentzelia gibi 2. grup bitkiler 25-100 ppm; buğday, mısır, lahana ve soğan gibi 3. grup bitkiler 25 ppm'den daha az selenyum biriktirirler [11-13]. En önemli doğal selenyum kaynakları arasında, deniz ürünleri, böbrek, karaciğer gibi sakatat, kırmızı ve beyaz et, bazı tahıllar ile selenyum bakımından yeterli topraklarda yetişen sebzeler sayılabilir [9].

2.2. Selenyumun biyolojik özellikleri

Biyolojik olaylarda önemli bir iz element olan selenyumun canlılarda önemli fizyolojik olaylarda görev aldığı bilinmektedir. Selenyumun enzimler üzerine etkileri ve bu etkilerin mekanizmaları tam olarak bilinmemesine karşın, glisin redüktaz, format dehidrogenaz ve glutatyon peroksidaz enzimleri ile ilgili olduğunu gösteren araştırmalar da bulunmaktadır. Selenyum, erotrisitleri hidrojen peroksit (H_2O_2) birikimini karşı koruyan ve H_2O_2 'nin indirgenmesini katalizleyen glutatyon peroksidaz (GSH-Px) enziminin tamamlayıcı bir bileşenidir [8,14,15]. Canlılarda vücudun hidroperoksidaz oksidanlarından korunmasında iki yöntem vardır. Bunlar alfa-tokoferol (E vitamini)'un bu bileşenin oluşumunu engellenmesi ve glutatyon peroksidazların aktive olmasıdır. Bu noktada selenyum hem bir E-vitamini taşıyıcısıdır, hem de GSH-Px'in aktivasyonunu katalizler. Böylece oksidatif zararlara karşı selenyum ve E-vitamini birbirlerini tamamlayıcı rol oynarlar [6,7,10,16]. Vitamin E ve selenyum, vücudu enfeksiyonlara karşı korumada da hayati bir rol oynamaktadır. Selenyum E vitamininin plazma içinde tutulmasını sağlar [9,10].

Ayrıca selenyum vücuttaki kanserojen alanların temizlenmesinde görev alır [8,9]. Aynı zamanda selenyum, fosfolipit peroksidaz glutatyon peroksidaz (PLOOH-GSH-Px) enziminin de temel bileşenidir. Bu enzim hidrojen peroksidin azalmasında, hücrenin ve stoplazmik organellerin zararlı metabolitlerden korunmasında görev almaktadır. Bu elementin iyodotiranin deiyonizlar, selenoprotein P, selenoprotein W, tiyoredoksin redüktaz ve selenyum bağlayan proteinlerin yapısında bulunduğu bildirilmiştir [6,10,17,18].

Vücudun hücre zarı bağlarının ve yapısının korunması, prostaglandin metabolizmasının

düzenlenmesi, antikor sentezinin ve fagositozun artırılması gibi önemli görevleri yerine getirebilmesi için selenyuma gereksinim duyduğu bildirilmiştir [6]. Diğer taraftan yapılan araştırmalarda selenyumun serumdaki aspartat transaminaz, alanin transaminaz, alkalın fosfataz, laktik dehidrogenaz ve kreatin fosfotokinaz gibi enzimlerle total glutamiltrans peptidaz ve glikoz düzeyleriyle ilişkisi ortaya konulmuştur [6]. Selenyum hücrelerinin bütünlüğünü sağlamada, erkeklik hormonlarının düzenlenmesinde, protein sentezinde, bağışıklık fonksiyonlarını arttırmada, insanlarda kardiovasküler rahatsızlıkları arteritis ve kadınlarda meme, erkeklerde kolon, prostat,

karaciğer, akciğer ve bazı deri gibi kanser türlerini dahi önlemede rol aldığı saptanmıştır [6,9].

Selenyumun biyolojik fonksiyonları selenoprotein fonksiyonları olarak ifade edilebilir. Çok sayıda selenoprotein mevcut olmasına rağmen bunlardan sadece bazılarının biyolojik ve fizyolojik aktiviteleri saptanmıştır (Tablo 1). Dolayısıyla selenoproteinler selenyumun biyolojik aktivitelerinden sorumludurlar. Örneğin GSH-Px enzimi selenosistein içermektedir. İnorganik selenyum kaynaklarının sentez işleminde kullanılabilmesi için öncelikle selenit (Se^{+4}) ve selenatın (Se^{+6}) oksitlenerek selenidlere (Se^{-2}) indirgenmesi gerekir [9,19].

Tablo 1. Selenoproteinlerin özellikleri [17].

Selenoprotein Türü	Bulunduğu Yer	Görevi
Glutasyon peroksidaz	Bütün hücreler	Yağ asitlerinin oksidasyonunu engeller ve H_2O_2 içeren hidroperoksitleri yok eder.
İyodotronin deodinaz	Karaciğer, Böbrek,	Troit hormonunun
Selenoprotein P	Plazma, Beyin, Hipofiz	metabolizmasından sorumludur.
Tiyoredoksin redüktaz	Ekstraselüler	Fonksiyon tam olarak bilinmiyor
Selenoprotein W	Bütün dokular	Büyüme, Oksidatif olaylar
	Beyin, kas, karaciğer	Antioksidan olarak

Selenyum glikoz metabolizmasında bir kofaktör olarak görev alır. Selenyum hem kansere hem de kadmiyum, civa gibi maddelerle zehirlenmelere karşı koruyucu etkiye sahiptir. Yeni yapılan çalışmalarda selenyumun kanserin yanı sıra solunumla ilgili stres, sendrom ve Parkinson hastalığı üzerinde koruyucu etkisi ortaya çıkarılmıştır. Selenyum bağışıklık sisteminin aktivasyonundan sorumlu bir iz elementtir. Selenyum eksikliği bağışıklık sistemini zayıflatırken, buna karşılık yüksek oranda selenyum alınımı da bağışıklık sistemini baskılamaktadır [6,10,20]. Selenyumun eksikliğinin hem süperoksit dismutaz hem de fagositik hücrelerin solunum patlaması aktivitesinde yetersizliklere sebep olduğu bildirilmiştir [21]. Selenyum eksikliğine bağlı solunum patlaması aktivitesindeki yetersizlik lökositlerde granuloza (aktive olmuş fakat etkisiz lökosit) oluşumuna ve mikropları elimine etmede yetersizliklere sebep olur [17,19].

Selenyum, lenfositlerin virüslere ve tümörlere karşı sitotoksik etkiye sahip naturel killer (NK) hücrelerinin aktivasyonunu artırır. Protein yapısının korunması kısmen selenyuma

bağlıdır. Protein yapısının sürekliliğinden sorumlu tiyoredoksin redüktaz enziminin aktivasyonu da yine selenyuma bağlıdır. T ve B lenfositleri ile NK hücrelerinin aktivasyonundan sorumlu interlökinler selenyumun immunostimulator etkisiyle aktive olmaktadır [22].

Yapılan bir çok araştırmadan yalnızca selenyum ve vitamin E ile kombinasyonunun antikor üretimini, komplement aktivasyonunu, hücrel bağışıklığı arttırdığı bulunmuştur. Diğer taraftan, selenyum eksikliğine bağlı olarak parazitlerden, virüslerden, mantar ve bakteriyel enfeksiyonlardan kaynaklanan mortalitede artış ifade edilmiştir. Selenyumla beslenen hayvanlarda büyümede ve hastalığa dirençte artış belirlenmiştir [17,19,20].

Selenyum bileşenlerinin adhezyon molekülleri ile sitokinlerin aktivasyonunu stimule ederek bağışıklığı arttırdığı bildirilmiştir. Yine selenyumun karsinojenler ve oksidatif olaylara karşı deriyi koruduğu belirtilmiştir. Bazı sitokinler vasıtasıyla selenyumun tümörlerin oluşumunu ve gelişimini engellediği rapor edilmiştir [17,23].

2.3. Selenyumun zararlı etkileri

Selenyum zehirlenmeleri akut, subakut ve kronik olarak üç şekilde olmaktadır. Akut selenyum zehirlenmelerinde şiddetli semptomlar ortaya çıkar. Bu zehirlenmeler birkaç saat ile bir iki gün içinde ölümle sonuçlanır. Örneğin yüksek düzeyde selenyum içeren bitkileri veya protein yapısında olmayan selanoamino asitleri tüketen canlılarda akut zehirlenmelere bağlı olarak solunum güçlüğü, dertialtı ödem, ishal, kalp ve karaciğer nekrozu, hemorajik kanamalar gibi semptomlar kendini gösterir [9,10].

Subakut selenyum zehirlenmeleri, selenyum içeren bitkilerle uzun süre beslenen canlılarda ortaya çıkar. Sonuçta iştahsızlık, aşırı zayıflama, sinirsel bozukluklar, körlük, solunum güçlüğü dil ve boğazda deformasyonlar, felç ve ileri durumlarda ölüm olayı görülebilir [9,10].

Kronik zehirlenmeler ise düşük oranda selenyum içeren tahıl, ot, saman ve benzeri bitkilerle beslenen canlılarda görülür. Hayvanlarda kıl dökülmesi, tırnaklarda katılaşma ve çatlama, eklemlerde sertleşme ve katılaşma, anemi ve kısırlaşma, yaşamsal faaliyetlerde azalma ve ileri durumlarda durma görülür. İnsanlarda depresyon, solgunluk, sinirlilik, baş dönmesi, bağırsak düzensizliği ve fazla terleme görülen semptomlardır [10].

Tüm canlı türleri için kesin olmamakla beraber zehirli olan selenyum türleri en zehirliden en aza doğru hidrojen selenit-selenometionin, selenit-selenometionin, selenat, selenyum elementi, metal selenitler, metil selenyum bileşikleri olarak sıralanırlar [9,24].

2.4. Selenyumun yetersizlik semptomları

Selenyumun canlılardaki yetersizlik semptomlarını inceleyen çok sayıda araştırma yapılmış ve belirtileri açık bir şekilde saptanmıştır. En yaygın olarak karşılaşılan selenyum yetersizlik semptomları iskelet ve kas dejenerasyonu, GSH-Px enzim aktivitesinde düşme ve sonuçta damar tıkanıklığı, muskular distrofi ve koordinasyon bozuklukları, karaciğer nekrozu, kısırlık, büyümede gerileme, ilaçları metabolize eden enzimlerin metabolizmasında bozulma, insanlarda ruh ve beden sağlığının olumsuz etkilenmesi, eksüdatif diatez (su toplama ve deri altı kanamaları) ve beyaz kas hastalığı,

tiroit hormonu bozuklukları nedeniyle patojen mikroorganizmalara karşı bağışıklık sisteminin yetersizliği, pankreas dejenerasyonu, kansere karşı hassasiyet, ciltte kuruma, katarakt gelişimi, yorgunluk, vitamin E'nin verimliliğinin olumsuz etkilenmesi, oksidatif stres, insanlarda özellikle çocuklarda akut ve kronik kalp yetersizlikleri, kalpte büyüme ve hızlı çarpıntı şeklinde görülmektedir [8,9,25,26].

Selenyum yetersizlik semptomları çoğunlukla vitamin E ilavesiyle giderilebilmektedir. Ancak vitamin E'nin etkisi selenyum yetersizliğinin derecesine bağlıdır. İleri derecede selenyum yetersizliğinde sindirim enzimlerinin aktivasyonunda azalma dolayısıyla yağ ve yağda eriyen vitaminlerde dahil bir çok besin maddesinin sindiriminde azalma olduğu saptanmıştır [27].

2.5. Selenyum kaynakları

Selenyumun en önemli kaynağını, selenifer bitkiler oluşturur. Bu bitkiler topraktaki selenyumu alkali ortamlarda daha yüksek oranda alırlar ve bünyelerindeki selenyum düzeylerine göre 3 gruba ayrılırlar. Astragalus, Machaeranthera, Haplopapus ve Stanleya gibi 1. grup selenifer bitkiler 100 ppm ve daha yüksek; Aster, Atriplex, Castilleja, Gyria, Comandra, Grindelia, Gutierrezia ve Mentzelia gibi 2. grup bitkiler 25-100 ppm; buğday, mısır, lahana ve soğan gibi 3. grup bitkiler 25 ppm'den daha az selenyum biriktirirler [11-13]. En önemli doğal selenyum kaynakları arasında, deniz ürünleri, böbrek, karaciğer gibi sakatat, kırmızı ve beyaz et, bazı tahıllar ile selenyum bakımından yeterli topraklarda yetişen sebzeler sayılabilir [9].

3. Balık Yetiştiriciliğinde Selenyum

3.1. Balıklar için selenyumun önemi ve görevleri

Bütün canlılarda olduğu gibi balıklarda normal yaşamları için iz elementlere ihtiyaç duyarlar. Balıklar bu iz elementleri diyetlerden ve yaşadıkları sulardan temin ederler. Hücreler ve dokulardaki metabolik aktivitelerin devamı için sürekli olarak belirli bir oranda iz elementlerin vücutta bulunmaları gerekir. Mineraller, iskelet sisteminin oluşumu ve devamı, kolloidal sistemin

sürekliliği, asit-baz dengesinin düzenlenmesi ve bazı hormon ve enzimlerin bileşeni olması gibi bir çok biyolojik olaylarda hayati öneme sahiptir. Mineral eksikliği biyokimyasal, yapısal ve fonksiyonel patolojilere sebep olabilmektedir [26].

İz elementlerle ilgili olarak balıkların besin gereksinimleri üzerine bilgiler hala eksiktir.

Çünkü bu elementlerin çok azına ihtiyaç duyulmaktadır (Tablo 2). Fakat bu ihtiyaca rağmen, normal gelişim için bu maddelere mutlaka ihtiyaç vardır. Eğer bu elementler aşırı bir şekilde vücuda alınır ve sindirilirse toksisiteye neden olabilir. Bu nedenle iz elementlerin canlılarda alınımı, depolanması ve salınımının düzeyinde sürekli bir hassas bir denge vardır [26].

Tablo 2. Balıklar için bazı iz element miktarları [26].

Mineral	İhtiyaç duyulan düzey (mg / kg diyet)
Demir	30-170
Bakır	1-5
Manganez	2-20
Çinko	15-40
Kobalt	0.05-1.0
Selenyum	0.15-0.5
İyot	1-4

Yetiştiricilikteki en önemli iz elementlerden birisi selenyumdur. Diğer canlılar gibi bu iz element balıklar içinde esansiyeldir. GSH-Px'in bir bileşeni olarak karaciğer ve plazmada bu enzimin düzeyi organizma için selenyum ihtiyacının bir göstergesidir. Bu enzim H₂O₂ ve hidroperoksitleri temizleyerek oksidatif zararlardan membranları ve hücreleri korumaktadır. Balıklarda selenyum vitamin E ile beraber muskular distrofidan vücutu korur. Yine selenyum, kadmiyum ve civa gibi ağır metallerin toksik etkilerini yok eder [26].

Balıklarda en iyi büyüme 0.15 mg Se/kg yem içeren rasyonlarla elde edilmiştir [28]. Ayrıca selenyumun vitamin E ile kombinasyon şeklinde uygulanmasının Atlantik salmonlarda muskular distrofiyi ve gökkuşağı alabalıklarında eksüdatif diatezi önlemek için gerekli olduğu ifade edilmiştir [28,29].

Hilton ve diğ. [30] gökkuşağı alabalıklarındaki optimum büyüme ve maksimum GSH-Px aktivitesinin 0.15-0.38 mg/kg oranında selenyum içeren diyetlerle gerçekleştiğini belirtmişlerdir. Bell ve diğ. [29] diyetlerde 0.9 mg/kg selenyum ve 41 mg/kg vitamin E bulunmasının alabalıklar için yeterli olduğunu, karaciğerde GSH-Px aktivitesinin selenyum miktarının 0.06 mg/kg'ın altına düşmesi ile azaldığını kaydetmişlerdir. Aynı zamanda kanal yayın balıklarında diyetlerdeki 30 mg/kg vitamin E düzeyi ile beraber 0.25 mg Se/kg miktarının

büyüme ve GSH-Px aktivitesi için yeterli olduğu belirtilmiştir [31].

Alabalıklarda selenyum gereksinimi 0.35 mg Se/kg'dır [30]. Yayın balıklarında bu oran selenit formu için 0.28 mg Se/kg, selenometiyonin için ise 0.09 mg Se/kg'dır [32]. Diyetlerine farklı oranlarda selenyum katılan *Epinephelus malabaricus* türlerinin büyümesi ve gelişmesi için mutlaka selenometionine gereksinim olduğu ifade edilmiştir [33].

Glutasyon peroksidaz ve selenyum arasındaki ilişki incelendiğinde, plazma glutasyon peroksidaz enzimi için en iyi kaynağın balık eti ve selenometionine göre selenit ve selenosistin olduğu belirtilmiştir [34].

Balıklarda vitamin E ve selenyum arasında sinerjizm olduğu yapılan çalışmalarla ortaya koyulmuştur. Selenyum peroksidaz aktivitesine katılırken, vitamin E serbest radikallere karşı antioksidan özellik gösterir. Her ikisinin aktivitesi birbirini tamamlayıcıdır ve lipid peroksidasyona karşı membranları korurlar. Vitamin E'nin artan düzeyi peroksidasyon oluşumunu engellerken, selenyum mevcut peroksitleri azaltmak zorundadır. Diyetler ve çevresel değişiklikler balıklarda vitamin E ve selenyum arasındaki ilişkiyi etkiler. Minimum selenyum gereksinimi büyük oranda diyetdeki vitamin E'nin düzeyine bağlıdır ve kg diyetle selenyum düzeyi 0.2-0.5 mg arasındadır [26,35,36].

Kanal yayın balıkları üzerine vitamin E ve selenyumun tek ve birleşik halde diyetlerdeki

eksikliği araştırılmış ve sonuçta bu balıkların beslenmesinde selenyum ve vitamin E arasında önemli bir etkileşim olduğu bulunmuştur [37].

Tilapia balıklarında vitamin C, E ve selenyumun büyüme performansı ile *Edwardsiella tarda* bakterisine karşı vücut direncine etkisi araştırılmıştır [38]. Vitamin C ve E'nin büyüme ve direncini olumlu etkilediğini fakat selenyum ilavesinin bir etkisi olmadığını belirtmişlerse de vitamin E'nin fonksiyonu için yine de rasyonlara katılması gerektiği sonucuna varmışlardır. Aynı balıklarda selenyumun büyümeyi arttırdığı ve *Aeromonas hydrophila* bakterisine karşı direnci yükselttiği belirtilmiştir [39].

Clarias gariepinus balıklarında bakır toksisitesi ve büyüme performansına selenyumun etkisi araştırılmış ve sonuç olarak bu çalışmada da büyüme ve toksisiteye karşı selenyumun optimum dozu 0.3 g/kg yem olarak tespit edilmiştir [40].

Larval gökkuşuğu alabalıkları üzerine farklı selenyum düzeylerinin vücuttaki birikimi ve vücutta etkileri araştırılmıştır. Sonuçta diyetlerdeki selenyum uygulaması ile balık ağırlığında kontrol grubuna göre bir artış belirlenmiştir [41].

Balıkların mineral madde gereksinimi sadece birkaç balık türünde belirlenmiştir. Diğer taraftan, balık sağlığı, özellikle bağışıklık sistemi üzerine etkisi büyük oranda bilinmemektedir [42,43].

Vitamin C, E ve selenyumun büyüme üzerine olumlu etkisi ile bağışıklık sistemindeki stimulatif etkisi kanal yayın balıklarında [44-47], atlantik salmonlarda [48] ve gökkuşuğu alabalıklarında [49] belirlenmiştir. Kim ve diğ. [38] ise tilapilarda selenyum, vitamin C ve E'nin bağışıklık sistemine etkisini araştırdığı çalışmasında *Edwardsiella tarda* bakterisine karşı mortalitede gruplar arasında herhangi bir fark belirleyememiştir. Jaromillo [7], levrek balıklarında vitamin E ve selenyumun spesifik olmayan bağışıklığa etkisini araştırmış ve gruplar arasında herhangi bir fark belirleyememiştir. Salte ve diğ. [50] hitra hastalığına karşı vitamin E ve selenyumun oral ve enjeksiyon uygulamasının hastalığa karşı korunmada etkili olmadığını ifade etmiştir.

Selenyum aynı zamanda arsenik, sülfür, civa, kadmiyum ve diğer birçok elementle de ilişki

halindedir. Hilton ve Hodson [51], gökkuşuğu alabalıklarında karaciğer selenyum ve bakır düzeyleri arasında güçlü pozitif bir ilişkiyi belirtmişlerdir. Bu ilişki aynı zamanda salmonlarda da bulunmuştur [26,52]. Hilton [35] aynı zamanda diyetlerdeki selenyum ile sudan alınan bakır arasındaki metabolik ilişkiyi kesin bir şekilde göstermiştir. Her ne kadar mekanizması açık olmasa da bu iki mineral diğer elementlerin toksisitesini azaltma yeteneğindedirler. Karaciğerdeki selenyum ve bakır arasındaki pozitif ilişki aynı zamanda selenoprotein kompleksi yoluyla bir selenyum-bakır kompleksi oluşturmak için birlikte bağlanırlar [26,35].

Balık türlerinin yanı sıra, bazı decapod krustaselerin üretim ve yetiştiriciliğinde selenyumun önemini araştıran çalışmalarda yapılmıştır.

Macrobrachium amazonicum türlerinin yemlerinde optimum vitamin E ve selenyum düzeyini belirlemek için 100, 200, 400 mg/kg vitamin E ve 0.5 ile 1 mg/kg selenyum yemlere katılmıştır. Sonuçta 30 günlük beslemeden sonra vitamin E ve selenyumun optimum düzeyleri sırasıyla 200 mg/kg vitamin E ve 0.5 mg/kg selenyum olarak belirlenmiştir. Bu dozların uygulandığı grupta en iyi ağırlık kazancı elde edilmiştir [53]. Yuchuan ve Fayi [54] ise *Penaeus chinensis* diyetlerinde selenyumun artan düzeyine bağlı olarak ağırlık kazancı ve GSH-Px aktivitesini kasta ve hepatopankreasta belirlemiştir. Sonuçta diyetlerde 20 mg/kg selenyum bulunması bu türün büyümesi için optimum bulunmuştur. GSH-Px aktivitesi en iyi bu oranda selenyum içeren diyetlerle belirlenmiştir.

Procambarus clarkii'nin diyetlerine 0.30 ve 1.21 mg/kg yem oranında selenyum katılmış ve vücuttaki birikimi ile antioksidan enzimlere etkisi araştırılmıştır. Sonuçta selenyumun yüksek dozunun düşük dozuna göre en fazla hepatopankreas'ta biriktiği, katalaz, glutatyon peroksidaz ve glutatyon redüktaz aktivitelerinin dişi ve erkeklerde her iki dozda da azaldığı bulunmuştur. Yine bu çalışmalarda dişi ve erkek kerevitlerin selenyuma farklı duyarlılıklar gösterdiği de bildirilmiştir [55].

3.2. Balıklarda selenyumun vücuda alınımı, depolanması ve atılımı

Sularda doğal olarak taşınan selenyumun ($\approx 40-130 \mu\text{g/L}$) sadece $0.1-0.4 \mu\text{g/L}$ arasındaki oranları balıklar tarafından kullanılabilir. Bunun nedeni balıkların anatomik yapısıdır. Sudaki selenyum solungaç tarafından alınmakta, diyetlerdeki selenyum ise karaciğer tarafından depolanmaktadır. Bu nedenle sulardan solungaçlarla alınan fakat yetersiz olan selenyum miktarı mutlaka diyetlerle karşılanmalıdır [10,34].

Sularda selenyumun yüksek düzeyi balıklar için toksik olabilir. Genellikle selenyumun sudaki konsantrasyonu $0.1 \mu\text{g/L}$ 'den daha azdır. Balıklar selenyumun alınımını etkili bir şekilde solungaçları ile yaparlar ve inorganik formda karaciğer dışındaki dokularda depolarlar. Selenit formunda ki selenyum solungaçlardan emilir. Organik formda depolanan selenyum ise besin bileşeni olarak diyetlerde bulunur ve diyetlerdeki toksik düzeyi sınırlıdır [51].

Balıklar için selenyum farklı kaynaklardan elde edilebilir. Balık eti ve deniz ürünleri balıklar için yeteri kadar selenyum sağlayan besin bileşenleri olarak işlev görürler. Bitkisel ürünlerin selenyum içerikleri büyük oranda değişir. Genellikle balık etlerinden elde edilen selenyum miktarı bitkilerden elde edilenden daha düşüktür. Bell ve Cowey [56], balık eti, selenit, selenometionin, selenocistin'nin atlantik salmonlarındaki kullanılabilirliği ile sindirilebilirliğini karşılaştırmışlardır. Sonuçta selenometionin'i en fazla sindirilebilir (% 92), selenyum kaynağı olarak, balık etini ise en az sindirilebilir (% 47) bulmuşlardır. Bitkisel ürünlerle kıyaslandığında balık etinin selenyum içeriği daha azdır. Fakat selenyumu alma ve değerlendirme oranı dikkate alındığında, bitkisel ürünlere nazaran balıklar balık etindeki selenyumu daha iyi değerlendirdiklerinden genellikle daha fazla balık eti yemlere katılır [26].

Farklı balık türlerinde selenyumun karaciğer, ovaryum, yumurta, kas ve bütün vücutta biriktiği ifade edilmiştir. Yine balıkların selenyum metabolizması türler arasında farklılıklar gösterebilir [57-59].

Balıklarda selenyumun en yüksek konsantrasyonu plazmada olduğundan, plazma selenyumun taşınmasında oldukça önemlidir.

Organlardaki selenyum konsantrasyonu diyetteki selenyumun yapısı ve miktarı ile değişir. Alabalıklarda selenyum konsantrasyonunun en yoğun olduğu organlar sırasıyla böbrek (0.35 mg Se/kg) ve karaciğerdir [30].

Balıklardaki selenyum metabolizması vücuda nasıl alındığına bağlıdır. Diyetle alınan selenyum karaciğere taşınıp depolanırken sudan solungaçlarla alınan selenyum karaciğer dışındaki bütün organlara taşınır. Selenit formu solungaçlar tarafından etkili bir şekilde absorbe edilir. Selenyumun atılımı balıklarda tam olarak bilinmemektedir, fakat böbrekler yoluyla üriner sistemle, solungaçlarla, solunum yoluyla ve dışkıyla atılmaktadır [30].

3.3. Balıklarda selenyum yetersizliği ve belirtileri

Yetiştiricilikte kullanılan ticari diyetlerin çoğunda selenyum yeterli düzeyde mevcuttur. Fakat hastalık ve stres durumunda selenyumun düzeyi yetersiz olabilir. Balıklarda diğer canlılarda olduğu gibi selenyum eksikliğiyle GSH-Px aktivitesinde düşme meydana gelir. Balıklarda selenyum eksikliğinin neden olduğu semptomlar Tablo 3' de verilmiştir [34,60].

Selenyum eksikliği balıklarda büyümede gerilemeye neden olur. Yetersiz selenyum içeren yemlerle beslenen salmon yavrularında mortalite gözlenmiş, fakat 0.1 mg Se/kg diyet (yem) ve $500 \text{ mg vitamin E/kg}$ yem içeren diyetlerle beslendiğinde mortalite önlenmiştir. Yine 26 hafta boyunca yetersiz selenyum içeren yemlerle beslenen Atlantik salmonlarda letarji, iştahsızlık, kas yapısında bozukluklar ve mortalite gözlenmiştir [28].

Salmon balıklarında selenyum ve vitamin E eksikliğinin Hitra hastalığına neden olduğu belirtilmiştir [26,61]. Muskular distrofi, miyokardiyal dejenerasyon, anemi, hemoraji, perikardiyumda ve peritoneal boşlukta sıvı hitra hastalığının semptomları olup dolayısıyla selenyum eksikliğinde görülebilecek semptomlardır. Bell ve diğ. [62] selenyuma bağlı olarak oksidatif olayları Atlantik salmonlarda araştırmış, sonuçta, selenyum ve vitamin E eksikliğinde düşük hematokrit değer ve hemolitik oranda artma, GSH-Px aktivitesinde düşme, glutatyon transferaz ve piruvat kinaz aktivitesinde artma belirlemiştir.

Tablo 3. Balıklarda vitamin E miktarına bağlı olarak selenyum eksikliğinde görülen bozukluklar [34].

Balık Türü ve Büyüklüğü	Selenyum (mg/kg)	Vitamin E (mg/kg)	Eksiklik Semptomları
Atlantik salmon (0.10 gr)	0.1	0.5	GSH-Px aktivitesinde azalma, Mortalite, Muskular distrofi
Kanal Yayın (0.75 gr)	0.06	30	Büyümede yavaşlama
Atlantik salmon (6 gr)	0.17	40	Büyümede yavaşlama, Normal olmayan eritrositler, GSH-Px aktivitesinde yavaşlama
Kanal Yayın (10.9 gr)	0.06	11	Eritrosit peroksidasyonunda artış, hepatik GSH-Px aktivitesinde düşme, Süperoksit anyon üretiminde azalma
Alabalık (27 gr)	0.025	63	PCV'de düşme, hepatik E oranında düşme, hepatik ve plazma Se oranında düşme, Glutatyon transfeaz aktivitesinde artma
Kanal Yayın (80 gr)	0.06	25	Büyüme, Anemi, myopatli, exudative diathesis, mortalitede düşme hepatik GSH-Px'de düşme, hepatik glutatyon transferaz'da düşme

Tablo 4. Selenyumun toksisitesi ve balıklardaki belirtileri [34].

Balık Türü	Selenyumun toksik düzeyi mg/kg	Selenyumun uygulanan formu	Toksik etkisi
<i>Pimephales promelas</i>	20	Selenit, Selenat	Büyümede gerileme, İştah azalması
<i>Lepomis macrochirus</i>	33.3	Selenometionin	Üreme veriminde azalma
<i>Oncorhynchus tshawytscha</i>	9.6	Selenometionin	Büyümede yavaşlama
<i>Oncorhynchus mykiss</i>	13	Sodyum selenit	Tuzluluğa dirençte artış
<i>Oncorhynchus kisutch</i>	13.6	Sodyum selenit	Büyümede yavaşlama Mortalite, Dengesiz yüzme, Karaciğerde diskolarasyon
<i>Lepomis macrochirus</i>	30	Selenometionin, Selenit	Tuzluluğa dirençte artış
<i>Lepomis macrochirus</i>	13.6	Mayflies (<i>Hexagenia nymphs</i>)'lerden elde edilen selenyum	Yumurta ve spermada teratogenesis (Organik selenyum daha toksik)
<i>Morone saxalitis</i>	38.6	Red shiners (<i>Notropis lutrensis</i>)'lerden elde edilen selenyum	Mortalite, Eksoftalmus, Ödem, Denge bozukluğu, Abnormal eritrosit, karında şişme
<i>Lepomis macrochirus</i>	13	Selenometionin	Abnormal karaciğer, Böbrekte bozukluk, Ağırlık kaybı, kondüsyon faktöründe azalma, Abnormal davranışlar
			Kondüsyon faktöründe azalma

Sularda doğal olarak taşınan selenyumun balıkların gereksinimi için yeterli olmadığı (< 0.1-0.4 µg/L) belirtilmiştir. Çünkü selenyumun minimum düzeyinin balık büyüklüğüne göre 0.5 µg/L olması gerekmektedir [34].

3.4. Balıklarda selenyum toksisitesi

Diyetlerdeki selenyumun yüksek düzeyi balıklarda toksik etkiler gösterir. Bu etkiler büyümede yavaşlama, yetersiz beslenme ve mortalitede artma şeklinde ortaya çıkar. 13-15

mg/ kg diyetten daha fazla selenyum içeren yemlerle beslenen balıklarda selenyum toksik olabilir [26,31,59,63].

Aşırı selenyum balıkların gonadında birikir ve gelişip yeni organizmaya dönüşecek olan yumurtaların azalmasına neden olur. Selenyumun aşırı tükenmesiyle proteinlerin yapısı bozulur, gelişmekte olan larvalarda teratogenez oluşur. Selenyum toksisitesi ve balıklardaki belirtileri Tablo 4' de verilmiştir [34].

Uzun süre yapısında 3 mg selenyum bulunan diyetlerin balıklar tarafından alınması zararlı olabilir [30]. 10 mg'den fazla selenyum alınan alabalıklarda renal kalsinoz geliştiği belirtilmiştir [51]. Hicks ve diğ. [64] yetersiz selenyum içeren yemlerle beslenen gökkuşağı alabalıklarında nefrokalsinoz, renal kanallarda dejenerasyon ve inflamasyon gözlenmiştir.

4. Sonuç

İz elementler balıkların normal metabolizması için gerekli esansiyel kimyasal elementlerdir. Bu elementler yalnızca iz miktarda gereklidir ve diyetlerde optimum düzeyde bulunmalıdır.

Özellikle balıkların sağlıklı ve iyi gelişebilmeleri için önem taşıyan iz elementler yetiştiricilikte çok önemli bir konu olarak görülmektedir. Balıkların iz element ihtiyaçları ve bu elementlerin fizyolojik fonksiyonları hakkında bilgilerde sınırlıdır.

En önemli iz elementlerden biri olan selenyumun, balıkların normal büyüme ve fizyolojik fonksiyonları için oldukça gerekli olduğu görülmektedir. Enzimlerin yapısına girmesi, bağışıklık sisteminin bir parçası olması, ağır metal zehirlenmelerine karşı koruyucu etkiye sahip olması, enfeksiyonlara karşı vücut direncini artırması, vitaminlerin etkinliğini artırması gibi özellikleri nedenleriyle selenyum mutlaka diyetlerde optimum düzeyde yer almalıdır. Kültür ortamlarında sulardaki selenyum düzeyinin balıklar için yeterli olmadığı ve mutlaka yemlerle alınması gerektiği de göz önünde bulundurulmalıdır. Aşırı selenyum alınımının toksik etkiler oluşturacağı da unutulmamalıdır.

5. Kaynaklar

1. Sarı, M. ve Çakmak, M.N. (1994). Balık Besleme, Fırat Üniversitesi Yayınları, No:37, Elazığ, 270s.

2. Köprücü, K. (2008). Balık Besleme, Fırat Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi, Balık Besleme Ders Notları, 151 s.
3. Çetinkaya, O. (1995). Balık Besleme, Yüzüncü Yıl Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Yayın No: 9, Van, 137s.
4. Wang, Y., Han, J., li, W. and Xu, Z. (2007). Effect of different selenium source on growth performances, glutathione peroxidase activities, muscle composition and selenium concentration of allogynogenetic crucian carp (*Carassius auratus gibelise*). *Anim. Feed Sci. Tech.*, **134**: 243-251.
5. Choi, Y.J., Kim, N.N., Shin, H.S., Park, M.S., Kil, G.S. and Choi, C.Y. (2013). Effects of waterborne selenium exposure on the antioxidant and immunological activity in the goldfish, *Carassius auratus*. *Mol. Cell. Toxicol.*, **9**: 365-373
6. Ateşşahin, A. (1999). Deneysel olarak selenyum zehirlenmesi oluşturulan koyunlarda kan ve doku selenyum düzeylerinin belirlenmesi. Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü, 60s.
7. Jaramillo, F. (2006). Selenium Nutrition of *morone* hybrids including dietary requirements, bioavailability, toxicity and effects on immune responses and disease resistance. Doctor of Philosophy Thesis, Texas A&M University, 100p.
8. Batı, B. (1991). Selenyumun β -Fenilditiyokarbazik Asit ile Spektrofotometrik Tayini. Doktora Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 72s.
9. Karadaş, F. (2001). Broyler Rasyonlarına Değişik Düzeylerde Katılan Organik Selenyumun Besi Performansı ve Karkas Kalitesine Etkileri Üzerine Bir Araştırma. Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 62s.
10. Özmen, H. (1997). Yemlerle Verilen Selenyumun Sazan (*Cyprinus carpio* L.) Üzerine Etkisinin İncelenmesi. Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 102s.
11. Baker, D.C., James, L.F., Hartley, W.J., Panter, K.E., Maynard, H.D. and Pfister, J. (1989). Toxicosis in Pigs Fed Selenium-Accumulating Astragalus Plant Species or Sodium Selenate. *Am. J. Vet. Res.*, **50**: 1369-1399.
12. Kumpulainen, J.T. (1993). Selenium in foods and diets of selected countries. *J. Trace Elem. Electrolytes Healt Dis.*, **7**: 107-108.
13. Behne, D., Gessner, H. and Kyriakopoulos, A. (1996). Information on the selenium status concentrations in blood fractions, hair and nails. *J. Trace Element Med. Bio.*, **10**: 174-179.
14. Lovell, T. (1998). Nutrition and Feeding of Fish. Kluwer Academic Publishers, ABD, 267p.
15. Üstüdal, M., Karaca, L., Türköz, Y., Kuş, S. ve Paşaoğlu, H. (2003). Biyokimya. Medipres Matbaacılık Ltd. Şti., Malatya, 673s.

16. Sözbilir, N.B. ve Bayşu, N. (2008). Biyokimya. Güneş Tıp Kitapevleri, Ankara, 632s.
17. Mckenzie, R.C., Arthur, J.R., Miller, S.M, Raffery, T.S. and Beckett, G.J. (2002). "Selenium and the Immune System" in Nutritional and Immune Function, (Ed) Calder, C.F., Field, C.J. and Gill, H.S., CAB International, 229-250.
18. Lin, Y.H. and Shiau, S.Y. (2007). The effects of dietary selenium on the oxidative stress of grouper, *Epinephelus malabaricus*, fed high copper. *Aquaculture*, **267**: 38-43.
19. Mckenzie, R.C. (2000). Selenium, ultraviolet radiation and the skin. *Clin. Exp. Dermatol.*, **25**: 1-7.
20. Mckenzie, R.C., Raffery, T.S. and Beckett, G.J. (1998). Selenium: an essential element for immune function. *Immunol. Today*, **19**: 342-345.
21. Trenam, C.W., Blake, D.R. and Morris, C.J. (1992). Skin inflammation: reactive oxygen species and the role of iron. *J. Invest. Dermatol.*, **99**: 675-682.
22. Kremidjian-Schumacher, L., Roy, M., Wishe, H.I., Cohen, M.W. and Stotzky, G. (1996). Supplementation with selenium augments the functions of natural killer and lymphokine-activated killer cells. *Biol. Trace Elem. Res.*, **52(3)**: 227-239.
23. Dreher, I., Jakobs, T.C. and Köhrle, J. (1997). Cloning and characterization of the human selenoprotein P promoter. *J. Biol. Chem.*, **272**: 29364-29371.
24. Irwin, R.J., Mouwerk, M.V., Stevens, L., Seese, M.D. and Basham, W. (1997). Environmental contaminants encyclopedia selenium entry. National Park Service, water resources divisions, water operations branch, Colorado, 114p.
25. Foster, L.H. and Summer, S. (1997). Selenium in health and disease: A review. *Rev. Food Sci. Nutr.*, **37**: 211-228.
26. Watanabe, T., Kiron, V. and Satoh, S. (1997). Trace minerals in fish nutrition. *Aquaculture*, **151**: 185-207.
27. Sarı, M., Çerçi, H., Deniz, S., Şahin, K., Seven, P.T., Şahin, N., Çiftçi, M., Bolat, D., Önal, A., Azman, A.M., Güler, T., Karslı, M.A., Nursoy, H. ve Bingöl, T.N. (2008). Hayvan Besleme ve Besleme Hastalıkları. Medipres Matbaacılık Yayıncılık LTD. ŞTİ., 520s.
28. Poston, A.H., Combs Jr., F.G. and Leibovitz, L. (1976). Vitamin E and Selenium Interrelations in the diet of Atlantic Salmon (*Salmo salar*): Gross, Histological and Biochemical Deficiency Signs. *J. Nutr.*, **106**: 892-904.
29. Bell, J.G., Pirie, B.J.S., Adron, J.W. and Cowey, B.C. (1986). Some effects of selenium deficiency on glutathione peroxidase (EC 1.11.1.9) activity and tissue pathology in Rainbow trout (*Salmo gairdneri*). *Brit. J. Nutr.*, **55**: 305-311.
30. Hilton, J.W., Hodson, P.V. and Slinger, S.J. (1980). The requirement and toxicity of selenium in Rainbow trout (*Salmo gairdner*). *J. Nutr.*, **110**: 2527-2535.
31. Gatlin III, D.M. and Wilson, R.P., 1984, Dietary selenium requirement of fingerling Channel catfish. *J. Nutr.*, **114**: 627-633.
32. Wang, C. and Lowell, R.T. (1997). Organic selenium sources, selenomethionine and selenoyeast, have higher bioavailability than an inorganic selenium source, sodium selenite, in diets for channel catfish (*Ictalurus punctatus*). *Aquaculture*, **152**: 223-234.
33. Lin, Y.H. and Shiau, S.Y. (2005). Dietary selenium requirements of juvenile grouper, *Epinephelus malabaricus*. *Aquaculture*, **250**: 356-363.
34. Cotter, P. (2006). Dietary selenium in cultured hybrid striped bass. Master Thesis, The Faculty of the Virginia Polytechnic Institute and State University, 101p.
35. Hilton, J.W. (1989). The interaction of vitamins, minerals and diet composition in the diet of fish. *Aquaculture*, **79**: 223-224.
36. Oberbach, H. and Hartfiel, W. (1988). Untersuchungen zum α -tocopherol-und selenbedarf von rosenbogen-forellen (*Salmo gairdneri*, L.) und pathologische Längelscheinungen bei Aufnahme einer polyensäurereichen Ration. *Fat. Sci. Technol.*, **90**: 97-101.
37. Gatlin III, D.M., Poe, E.W. and Wilson, R.P., 1986, Effects of singular and combined dietary deficiencies of selenium and vitamin E on Fingerling Channel Catfish (*Ictalurus punctatus*). *J. Nutr.*, **116**: 1061-1067.
38. Kim, K.W., Wang, X., Choi, S.M., Park, G.J., Koo, J.W. and Bai, S.C. (2003). No synergistic effects by the dietary supplementation of ascorbic acid, α -tocopheryl acetate and selenium on the growth performance and challenge test of *Edwardsiella tarda* in fingerling Nile Tilapia, *Oreochromis niloticus* L. *Aquac. Res.*, **34**: 1053-1058.
39. Ahmad, M.H., El-Marakby, H.I., Seden, M.E.A., Abdel-Tawwab, M. and Abou-El-Atta, M.E. (2006). The use of organic selenium in practical diets for Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* (L.): effect on growth performance, feed utilization, whole-body composition and entropathogenic *Aeromonas hydrophila*-challenge. 7th International Symposium on Tilapia in Aquaculture, Boca Del Rio, Veracruz, Mexico, 95-107.
40. Abdel-Tawwab, M., Mousa, A.A.M. and Abbass, F.E. (2007). Growth performance and physiological response of African catfish, *Clarias gariepinus* (B.) fed organic selenium prior to

- exposure to environmental copper toxicity. *Aquaculture*, **272**: 335-345.
41. Bay, S., Vidal, D. and Schlenk, D. (2002). Effects of selenium accumulation on larval Rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). Southern California Coastal Water Research Project Technical Report, 33p.
 42. Lall, S.P. (2002). "The minerals" in Fish Nutrition, (Ed) J.E., Halver, R.E. Hardy (Editors), Third Edition, Academic Press, New York, 260-305.
 43. National Research Council (NRC) (1997). Nutrient Requirements of Fish. Washington, D.C, USA, National Academic Press, 71p.
 44. Durve, V.S. and Lovell, R.T. (1982). Vitamin C and disease resistance in Channel Catfish (*Ictalurus punctatus*). *Canadian J. Fish. Aquat. Sci.*, **39(7)**: 948-951.
 45. Li, Y. and Lovell, R.T. (1985). Elevated levels of dietary ascorbic acid increase immune responses in Channel catfish. *J. Nutr.*, **115**: 123-131.
 46. Li, M.H., Jahnson, M.R. and Robinson, E.H. (1993). Elevated dietary vitamin C concentrations did not improve resistance of channel carfish, *Ictalurus punctatus*, against *Edwardsiella ictaluri* infection. *Aquaculture*, **117**: 303-312.
 47. Wise, D.J., Tomasso, J.R., Gatlin III, D.M., Bai, S.C. and Blazer, V.S. (1993). Effects of dietary selenium and vitamin E on red blood cell peroxidation, glutathione peroxidase activity, and macrophage superoxide anion production in Channel catfish. *J. Aquat. Anim. Health*, **5**: 177-182.
 48. Hardie, L.J., Fletcher, T.C. and Secombes, C.J. (1990). The effect of vitamin E on the immune response of the atlantic salmon (*Salmo salar* L.). *Aquaculture*, **87**: 1-13.
 49. Navarre, O. and Halver, J.E. (1989). Disease resistance and humoral antibody production in Rainbow trout fed high levels of vitamin C. *Aquaculture*, **79**: 207-221.
 50. Salte, R., Asgard, T. and Liestol, K. (1988). Vitamin E and selenium prophylaxis against "Hitra disease" in farmed Atlantic salmon a survival study). *Aquaculture*, **75**: 45-55.
 51. Hilton, J.W. and Hodson, P.V. (1983). Effects of increased dietary carbohydrate on selenium metabolism and toxicity in rainbow trout (*Salmo gairdneri*). *J. Nutr.*, **113**: 1241-1248.
 52. Poppe, T.T., Hastein, T., Froeslie, A., Koppanz, N. and Norheim, G. (1986). Nutritional aspects of haemorrhagic syndrome "hitra disease" in farmed Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Dis. Aquat. Organism*, **1**: 155-162.
 53. Sampaio, F.G., Kleeman, G.K., Carmo e Sà, M.V.de, Pereira, A. da S., Barros, M.M., Pezzato, L.E. (2004). Dietary level of vitamin E and selenium on diets for post larvae of *Macrobrachium amazonicum*. *Acta Sci.-Animal Sci.*, **26(1)**: 129-135.
 54. Yuchuan, T. and Fayi, I. (1993). Selenium requirement of shrimp *Penaeus chinensis*. *Chin. J. Oceanol. Limn.*, **11(3)**: 249-253.
 55. Elia, A.C., Dörr, A.J.M., Prearo, M. and Abete, M.C. (2007). Detoxification enzymes of freshwater crayfish *Procambarus clarkii* fed a diet enriched in selenium: Preliminary results. *Mar. Freshw. Behav. Phy.*, **40(3)**: 195-199.
 56. Bell, J.G. and Cowey, B.C. (1989). Digestibility and bioavailability of dietary selenium from fish meal, selenite, selenomethionine and selenocystine in Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Aquaculture*, **81(1)**: 61-68.
 57. Lorentzen, M., Maage, A. and Julshamn, K. (1998). Supplementing copper to a fish meal based diet fed to Atlantic salmon parr affects liver copper and selenium concentrations. *Aquacult. Nutr.*, **4**: 67-72.
 58. Goldstein, R.M. and DeWeese, R.L. (1999). Comparison of trace element concentrations in tissue of common carp and implications for monitoring. *J. Am. Water Resour. As.*, **35(5)**: 1133-1140.
 59. Hamilton, J.S. (2003). Review of residue-based selenium toxicity thresholds for freshwater fish. *Ecotox. Environ. Safe.*, **56**: 201-210.
 60. Palace, V.P., Spallholz, J.E., Holm, J., Wautier, K., Evans, R.E. and Baron, C.L. (2004). Metabolism of selenomethionine by Rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) embryos can generate oxidative stress. *Ecotox. Environ. Safe.*, **58**: 17-21.
 61. Fjoelstad, M. and Heyeraas, A.L. (1985). Muscular and myocardial degeneration in cultured Atlantic salmon, *Salmo salar* L., suffering from "hitra disease". *J. Fish. Dis.*, **8**: 173-182.
 62. Bell, J.G., Cowey, B.C., Adron, J.W. and Pirie, B.J.S. (1987). Some effects of selenium deficiency on enzyme activities and indices of tissue peroxidation in Atlantic salmon parr (*Salmo salar*). *Aquaculture*, **65**: 43-54.
 63. Orun, İ., Talas, Z.S., Özdemir, İ., Alkan, A. and Erdoğan, K. (2008). Antioxidative role of selenium on some tissues of (Cd²⁺, Cr³⁺)- induces rainbow trout. *Ecotox. Environ. Safe.*, **71**: 71-75.
 64. Hicks, B.D., Hilton, J.W. and Ferguson, H.W. (1984). Influence of dietary selenium on the occurrence of nephrocalcinosis in the rainbow trout, *Salmo gairdneri* R. *J. Fish. Dis.*, **7**: 379-389.