

**Derleme
Review**

Araşidonik Asidin Balık Beslemesinde Önemi

Ayşe Gül HARLIOĞLU

Fırat Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi, Elazığ.

* Sorumlu yazar: Tel: +90 424 237 00 00;
e-posta: aharlioglu@firat.edu.tr

Geliş Tarihi: 11.04.2014
Kabul Tarihi: 07.08.2014

Abstract

The Importance of Arachidonic Acid in Fish Nutrition

In addition to the determination of essential fatty acids demand and the physical, chemical and biologic characteristics of fatty acids, investigation of fat metabolism of fish species is also among the most important factors in the preparation of balanced and economic fish diet formulations. Essential long chain unsaturated fatty acids, especially n-3 series fatty acids, affecting growth and reproduction of fish species have mainly been investigated. However, there has been an increase in recent years in the investigation of the effects of arachidonic acid (C20:4n-6; AA), which is precursor of eicosanoids, on the growth and reproduction of fish. As a result of the researches, it was found that AA has an importance on many physiological events in fish, such as gamet and larvae quality, fertilization of eggs and hatching, survival rate of hatched larvae, immune system, and adaptation to changeable environmental factors (i.e., changes in salinity levels of water). In addition, it was determined that demand for AA is changeable between fish species, and it is also different in the same fish species for different life stages (i.e., for growth and reproduction). For this reason, it can be concluded that investigations should especially be carried out on the physiological effects of AA and demand for AA level of cultured fish species to increase their production.

Keywords: Arachidonic acid, fish nutrition, essential fatty acids, aquaculture.

Özet

Balık beslemesinde dengeli ve ekonomik olan yem formülasyonlarının hazırlanabilmesi için balıkların esansiyel yağ asitleri ihtiyaçlarının belirlenmesi, bu yağ asitlerinin fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerinin bilinmesinin yanısıra balıklardaki yağ metabolizmasının da araştırılması önemli hususların başında gelmektedir. Balıkların büyüme ve üremesini etkileyen esansiyel uzun zincirli doymamış yağ asitlerinden özellikle n-3 serisi yağ asitleri ile ilgili araştırmalar küresel ölçekte yoğun olarak yapılmıştır. Ancak, n-6 serisi doymamış yağ asitlerinden olup eikosanoitlerin ön maddesi olan araşidonik asit (C20:4n-6; AA) üzerine yapılan araştırmalar son yıllarda artan bir ivme göstermiştir. Araştırmalar sonucunda, AA büyüme, gamet ve larva kalitesi, yumurtaların döllenmesi ve çıkışı, çıkan larvaların yaşama oranı, bağışıklık sistemi ile suyun tuzluluk oranı gibi çevresel değişkenlere uyum sağlama gibi birçok fizyolojik olayda önemli rollerinin olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, AA olan ihtiyaç düzeyinin türler arasında farklılık gösterdiği, tür içerisinde de büyüme ve üreme dönemlerinde bu yağ asidine olan ihtiyaç düzeyinin değişebildiği belirlenmiştir. Bu nedenle, özellikle kültürü yapılan balık türleri için verimi artırmak amacıyla AA fizyolojik etkilerinin ve ihtiyaç duyulan düzeylerinin belirlenmesi konusunda araştırmalar yapılmasının gerektiği sonucu ortaya çıkmaktadır.

Anahtar kelimeler: Araşidonik asit, balık besleme, esansiyel yağ asitleri, su ürünleri yetiştiriciliği.

Giriş

Balıklar, diğer omurgalılar gibi, büyüme, gelişme ve üremeleri için uzun zincirli doymamış yağ asitlerinden dokosaheksaenoik

asit (C22:6n-3; DHA), eikosapentaenoik asit (C20:5n-3; EPA) ve araşidonik asite (AA) ihtiyaç göstermektedirler.

Bu yağ asitlerinin biyokimyasal, hücrel ve fizyolojik fonksiyonları balıklarda da diğer omurgalılarda ki gibi değerlendirilmektedir. Doymamış yağ asitleri öncelikle, hücre zarının yapısal ve fonksiyonel bütünlüğünün korunmasında görev yapmakta, diğer taraftan eikosanoidler olarak bilinen biyolojik aktif parakirin hormon gruplarının öncüleri olarak spesifik rol almaktadırlar (Sargent vd., 1999).

Tatlısu balıkları çoğunlukla esansiyel yağ asitleri ihtiyaçlarını linolenik (C18:3n-3) ve linoleik (C18:2n-6) yağ asitlerinin kullanılması ile desaturasyon ve elongasyon işlemlerinden sonra 20 ve 22 karbonlu uzun zincirli doymamış yağ asitlerini oluşturarak karşılayabilmektedirler. Ancak, bu dönüşüm sınırlı düzeydedir ve DHA çoğunluğunun diyet kaynaklı olduğu belirlenmiştir (Bell vd., 2001). Dönüşümün sınırlı olmasına neden olan en önemli faktör C18:3n-3 yağ asitinin EPA'ya, 18:2n-6 yağ asitinin AA'e dönüşümünde gerekli olan enzimlerin yetersiz olmasıdır (Bell ve Sargent, 2003). Diğer taraftan, deniz balıklarında ise EPA ve özellikle DHA normal büyüme için diyetlerde bulunması zorunlu olan esansiyel yağ asitlerindedir (Bell vd., 2001). AA ve EPA deniz balıkları için esansiyel olan yağ asitlerinden olmalarının yanı sıra, fizyolojik olarak aktif, hormon benzeri özellik gösteren ve metabolizmanın düzenli işleyişini sağlayan eikosanoidlerin öncüsü olması bakımından da önem taşımaktadırlar (Smith, 1989).

Günümüze kadar balıklarda yağ asitleri konusunda yapılan araştırmalar çeşitli dokularda bulunan DHA ve EPA miktarlarının AA miktarından fazla bulunması nedeniyle n-3 serisi yağ asitleri üzerinde yoğunlaşmıştır. Bununla birlikte, 20 karbonlu 4 çift bağ ihtiva eden, n-6 serisi esansiyel yağ asitlerinden olan AA fizyolojik olayların düzenlenmesinde metabolizmada önemli rol alması nedeniyle AA balıklar üzerindeki etkisinin araştırıl-

masına yönelik çalışmalar da giderek yaygınlaşmaktadır (Bell ve Sargent, 2003; Roy vd. 2007; Villalta vd., 2008; Bae vd., 2010).

Bu çalışmada, AA'nın önemi, balıklarda büyüme, yaşama oranı, pigment oluşumu, stres, bağışıklık fonksiyonlarının düzenlenmesi ve üremeye etkileri konusunda bilgilerin derlenilmesi amaçlanmıştır. Bu konu özellikle kültür ortamlarında yapılacak balık üretiminde daha başarılı sonuçlar alınabilmesi açısından büyük önem taşımaktadır.

Eikosanoidler ve AA

Eikosanoidler, çoğunlukla n-6 ve n-3 serisi C20 yağ asitlerinden dihomogammalinolenik asit (C20:3n-6), eikosatetraenoik asit (C20:4n-3), AA ve EPA yağ asitlerinden oluşmaktadır. Bu yağ asitleri hormon benzeri etki göstermektedirler. AA'dan meydana gelen eikosanoidler EPA'dan meydana gelen eikosanoidlere göre daha fazla miktarda ve biyolojik aktivitesi daha yüksektir (Villalta vd., 2008). Ayrıca, eikosanoidler depolanmamakta ve ihtiyaç olduğunda sentezlenmektedirler (Altıntaş, 2013).

Eikosanoidler, prostaglandinler, tromboksanlar ve lökotrienler olmak üzere üç farklı grup altında değerlendirilmektedir. Prostaglandin biyosentezinde ilk basamak linoleik asitin 20 karbonlu araşidonik asite dönüşmesidir. Prostaglandin sentetaz enzimi araşidonik asite iki defa arka arkaya etki ederek 9. ve 15. karbona birer oksijen ilave ederek dioksigenaz aktivitesi göstermekte, bu safhadan sonra halka yapısı oluşturmaya giderek 8 ve 12. karbonlar arasında bir bağ oluşturmaktadırlar. Ortamda redükte glutasyonun bulunması ile molekül prostaglandin PGE₂'ye dönüşmektedir (Gözükara, 1994).

AA "seri 2" prostaglandinlerin, tromboksanların ve "seri 4" lökotrienlerin öncü maddesidir ve balıkların fizyolojik olarak aktivitesinde önemlidir (Altıntaş, 2013). Örneğin, balıklarda yumurtlamanın teşvik edilmesinde

“seri 2” prostaglandinler kullanılmaktadır (Sargent vd., 1989). Balıklarda AA inositol fosfatidilinositol yapısında bulunmakta ve hücrelerde sinyal iletimini sağlamaktadır (Bell ve Sargent, 2003). Ayrıca, sinir sistemi fonksiyonlarında, osmoregülasyon ve bağışıklık sisteminde de gereklidir. Diğer taraftan, memelilerde prostaglandinler hipotalamus-hipofiz-adrenal aksiste strese cevap olarak kortizol ve kortikosteronun seviyesinin değişimini düzenlemektedir. Kemikli balıklarda kortizolün bırakılması hipotalamus-hipofiz-internal aksis tarafından kontrol edilmektedir. Balıklar üzerinde yapılan araştırmalar sonucunda da AA ve diğer PUFA'ların kortizol seviyesini düzenlediği belirlenmiştir (Gupta vd., 1985; Van Anholt vd., 2004).

AA balık beslemede ihmal edilmiş AA ihtiyacının düşük veya az miktarda olabileceği, balık unu ve balık yağında bulunan AA miktarlarının bu gereksinimi karşılayabileceği düşünülmüştür. Ancak miktarı fazla düşünülmeyen AA'nın balıkların yaşam döngülerinin bazı devrelerinde ve çevresel stres durumlarında AA ihtiyacı artabilmektedir. Öte yandan, balıkların beslenmesinde balık yağı yerine bitkisel yağların kullanımı da AA ihtiyacını artırmaktadır. Linoleik asit ihtiva eden bu yağların balık beslemede kullanılması ile balıklarda C20:3n-6 düzeyi artarken AA düzeyi azalmaktadır (Sargent vd., 1999; Bell ve Sargent, 2003). Ancak yapılan araştırmalar, kültürü yapılan balıkların yemlerinde, esansiyel yağ asitlerinin yetersiz oranda bulunmasının büyüme, gelişme ve üremeyi etkilediği, bu yağ asitleri içerisinde AA'nın önemli bir etkiye sahip olduğu belirlenmiştir.

Büyüme ve yaşama oranı üzerine etkisi

Balıkların beslenmesinde kullanılan diyetlere esansiyel yağ asitleri ayrı ayrı ilave edilerek yapılan araştırmalar sonucunda, AA ilave

edilen diyetlerle beslenen balıklarda balıkların büyüme ve yaşama oranlarını artırdığı belirlenmiştir. Örneğin, yavru kalkan (*Scophthalmus maximus*) balıklarının AA ilave edilen diyetlerle beslenmesi sonucunda büyüme ve yaşama oranlarının arttığı diğer taraftan, yalnızca DHA ilave edilen grupta ise büyüme ve yaşama oranının azaldığı bildirilmektedir (Castell vd., 1994). Bessonart vd., (1999) tarafından yavru çipura (*Saparus aurata*) balıklarında yapılan çalışmada ise %1 oranında AA ilave edilen yem ile beslenmesi sonucunda büyüme oranı artarken, %1,8 oranında AA ilave edilen diyet ile beslemede yaşama oranının arttığı bildirilmiştir. Benzer şekilde, yılan balığı (*Anguilla japonica*) yavrularında farklı oranlarda (AA_{0,07}, AA_{0,22}, AA_{0,43}, AA_{0,57}, AA_{0,78}, AA_{1,23}) AA ilave edilerek yapılan çalışma sonucunda, ağırlık artışının AA_{0,78} ve AA_{1,23} grupları ile beslenen balıklarda AA_{0,07}, AA_{0,22}, AA_{0,43} grupları ile karşılaştırıldığında önemli derecede arttığı belirlenmiştir. Ağırlık artışı, spesifik büyüme oranı ve yem etkinliği parametrelerinde AA_{0,57}, AA_{0,78} ve AA_{1,23} grupları arasında ise önemli düzeyde farklılık görülmemiştir. Yılan balığı yavrularında diyetlerde bulunması gerekli AA miktarının %69 oranlarında olması ancak bu oranın %71'i geçmemesinin uygun olacağı, bu sonucun eikosanoid üretim mekanizması ile bağlantılı olabileceği bildirilmiştir (Bae vd., 2010).

Memelilerde yapılan çalışmalar sonucunda prostaglandin PGE₂'nin kas doku formasyonunu engellediği ve proteinlerin parçalanmasını teşvik ettiği belirlenirken, PGF_{2α} prostaglandinlerin ise zıt bir etki gösterdiği belirlenmiştir (Palmer, 1990). Bu nedenle, Bell ve Sargent (2003) tarafından balıklarda AA büyüme üzerine olan etkisi, farklı oranlardaki PGE₂ ve PGF_{2α} prostaglandinlerinin oluşumu ile düzenlenebileceği bildirilmiştir.

Pigmentasyon, stres ve bağışıklık fonksiyonlarına etkileri

Balıklarda, özellikle yassı balıklarda AA'nın pigment oluşumuna etkileri konusunda araştırmalar yürütölmüştür. Pigment oluşumu bakımından *Solea senegalensis* balıklarında yapılan bir araştırmada, balıkların beslenmesinde canlı yem olarak kullanılan *Artemia nauplii* deneysel emülsiyonlarla zenginleştirilmiştir (AA:1,8, 5,2, 6, 6,4 ve AA/EPA: 0,64, 1,81, 14,95, 2,21). Araştırma sonucunda besleme gruplarındaki AA konsantrasyonunun artışına paralel olarak prostaglandin konsantrasyonunun arttığı ve pigmentasyon ile prostaglandin konsantrasyonunu arasında pozitif bir korelasyonun olduğu belirlenmiştir (Villalta vd., 2008).

Kemikli balıklarda kortizol salınımının düzenlenmesine AA ve diğer PUFA'ların etkili olduğu bildirilmektedir (Koven vd., 2003). Koven vd. (2001) tarafından strese maruz bırakılan çipura (*Sparus aurata*) yavrularında AA ile zenginleştirilen rotiferler ile besleme sonucunda mortalitenin önemli derecede azaldığı belirlenmiştir. Bell ve Sargent (2003) tarafından belirtilen bir çalışmada ise *Sparus aurata* yavrularında AA ilaveli diyetle beslenen balıklarda, PGE₂ üretiminin arttığı böylece hipotalamus-hipofiz-interrenal aksiden sentezlenen kortizolün düzenlendiği ve akut strese karşı olumlu cevap verdiği belirtilmektedir. Ancak, yüksek oranda AA (6 mg AA g⁻¹ kuru madde *Artemia nauplii*) düzeyinin *Sparus aurata* yavrularında kronik stres durumunda olumsuz tepkilere neden olabileceği bildirilmektedir (Koven vd., 2003).

AA ve seri-2 prostaglandin üretiminin tuzluluk değişimleri gibi çevresel faktörlerden kaynaklanan strese karşı da pozitif yönde etki gösterdiği belirlenmiştir. Atlantik salmonlarında tuzlu suya adaptasyon çalışmalarında; tuzlu suya transferden haftalar önce AA ve AA/EPA oranının arttığı belirlenmiştir. Ayrıca,

AA düzeyinin solungaçlardaki fosfolipidlerde yükselmesi ile bu balıklarda plazmada klorid seviyesinin azaldığı ve solungaçlarında daha düşük düzeyde AA bulunan balıklara göre tuzlu suya daha iyi adaptasyon sağlandığı belirlenmiştir (Bell vd., 1997a; Tocher vd., 2000; Bell ve Sargent 2003).

Balıkların beslenmelerinde bitkisel yağ kullanımında, hem büyüme hem de çevresel faktörlere uyum sağlama açısından sorunlarla karşılaşılabilir. Bitkisel yağlar çoğunlukla C18:2n-6 yağ asitlerini ihtiva etmekle birlikte, menşesine bağlı olarak bir miktar C18:3n-3 yağ asitlerini de ihtiva etmektedir. Bu yağ asitleri prostaglandin üretiminde AA ile rekabet içerisinde olması nedeniyle salmonların tuzlu suya adaptasyonunda AA'nın etkisini azaltmaktadır. Bu nedenle, salmonların beslenmesinde bitkisel yağ kullanımında diyetlere AA ilave edilmesinin tuzlu suya uyum sağlama bakımından olumlu sonuçlar verebileceği bildirilmektedir (Tocher vd., 2000).

Prostaglandinler, özellikle AA meydana gelen prostaglandinler (PGE₂) monosit ve makrofajlardan oluşmakta ve bağışıklık fonksiyonlarının düzenlenmesinde rol almaktadır. AA oluşan lökotrien B₄ ise bağışıklık fonksiyonlarında önemli görevler alırken, PGE₂ ile bağlantılıdır. (Kinsella ve Lokesh, 1990). AA bakımından, özellikle bitkisel yağların kullanımını sonucunda, eksik olduğu durumlarda, spesifik olmayan bağışıklık parametreleri ile hematokrit, total beyaz kan hücreleri ve kırmızı kan hücre sayılarında azalmaya sebep olmuştur (Good vd., 2001). Benzer şekilde, Atlantik Salmonlarında balık yağı yerine bitkisel yağların kullanımının bağışıklık sistemi fonksiyonlarını etkilediği görölmüştür. AA meydana gelen eikosanoidler bağışıklık fonksiyonlarını düzenlerken, uzun süreli bitkisel yağlar ile beslenme membranlarda C20:3n-6 yağ asitlerinin artmasına ve bu yağ asitleri ile AA arasında prostaglandin üretimi

bakımından rekabet olması sonucunda AA seviyesinin düşmesine ve bağışıklık sisteminin olumsuz yönde etkilenmesine neden olduğu bildirilmiştir. (Kinsella ve Lokesh, 1990).

Üremeye etkisi

EPA ve DHA hücre memraanın fosfolipidlerinde bulunan önemli fonksiyonlara sahip temel yağ asitleridir. Üreme fizyolojisi bakımından bu yağ asitlerinin yetersiz oranlarda bulunması durumunda balıklarda yumurta ve larva kalitesinin negatif olarak etkilediği belirlenmiştir (Trush vd., 1993; Bell vd., 1997b; Mazorra vd., 2003; Fruita vd. 2003). Ancak son yıllarda, üreme ve yumurta gelişimi gibi fizyolojik fonksiyonlarda aldıkları roller nedeni ile AA üzerinde yapılan çalışma sayısında da artış görülmektedir.

Prostaglandin E₂'nin öncüsü ve fosfatidilinositolün yapısında bulunan önemli bir yağ asidi olan AA, ovaryum ve testisi teşvik etmekte, yumurtadan çıkış ve larval dönem üzerinde etkili olmaktadır (Sorbera vd., 1998). Yapılan araştırmalar sonucunda da AA'nın yumurta ve larva kalitesini artırdığı belirlenmiştir. Örneğin, Trush vd. (1993) tarafından kültürü yapılan levrek (*Dicentrarchus labrax*) balıklarından elde edilen yumurtalar üzerinde anaç balıkların farklı diyetlerle beslenmesinin yumurtalarda yağ asitleri kompozisyonuna etkileri araştırılmıştır. EPA/ AA oranları balık atıklarında 1,5, balık yağı ve bitkisel yağ ihtiva eden diyetle ise 15 olarak tespit edilmiştir. Balık atıkları ile beslenen levrek balıklarının yumurtalarında total yağ asitleri kompozisyonunda %4,6 AA belirlenirken bitkisel yağ ve balık yağı (EPA, DHA, C20:1n-9 ve C22:1n-11 yağ asitleri bakımından zengin) ile hazırlanan diyetle beslenen balıklardan elde edilen yumurtalarda %0,6 AA belirlenmiştir. Çalışma sonucunda, araşidonik asit bakımından zengin olan balık atıkları ile beslenen anaçlardan elde edilen yumurtalarda yumurta kalitesi ve kuluçkalama oranının balık yağı ve bitkisel yağ

karışımı ile hazırlanmış olan diyetlere göre arttığı belirlenmiştir.

Benzer şekilde, kültürü yapılan *D. labrax* balıklarında diyetlere AA ilave edilmesi ile yumurta ve larva kalitesinin arttığı bildirilmektedir (Bruce vd., 1999). Ayrıca, doğal ortamdan elde edilen levrek balıklarında spermatozoa'da bulunan fosfolipidlerdeki AA düzeyinin kültürü yapılan balıklardan elde edilen spermatozodan daha yüksek seviyede olduğu bildirilmektedir (Bell vd., 1996). Mazorra vd. (2003) tarafından *Hippoglossus hippoglossus* balığında iki farklı düzeyde (%1,8 ve %0,4) AA ilaveli diyetle beslenen anaçların %1,8 AA ilaveli diyetle beslenen balıklarda dölleme oranı, blastomer morfolojisi ve kuluçka oranının önemli derecede yüksek olarak belirlenmiştir.

Fruita vd. (2003) tarafından *Paralichthys olivaceus* balıklarında anaçlar için hazırlanan yemlerde yumurta ve larva kalitesi üzerine farklı AA düzeylerinin (%0,1, %0,6, ve %1,2) etkilerinin belirlenmesi amacıyla planlanan çalışmada, %0,6 AA düzeyinin yumurta miktarında artışa paralel olarak yüzen yumurta oranı, kuluçkalama oranı, larvaların yaşama oranı ve yumurtada bulunan AA'nın miktarında yükselme kaydedilmiştir. Diğer taraftan, yumurtada polar lipidlerde EPA miktarı ile AA düzeyi arasında negatif bir ilişki belirlenirken, DHA'nın miktarının AA'dan bağımsız olduğu tespit edilmiştir. Ancak %1,2 AA ilave edilen grupta yumurta ve larva kalitesinin olumsuz yönde etkilendiği, bu durumun esansiyel yağ asitlerinden EPA düzeyinde belirlenen negatif etkiden kaynaklanabileceği bildirilmektedir. Ayrıca, diyetlerde bulunması gerekli olan AA miktarı ve AA/EPA oranı türlere bağlı olarak değişmekle birlikte, o türün yaşadığı ortama bağlı olarak da değişebilmektedir. Bu nedenle, diyetlerde bulunması gerekli AA miktarının belirlenmesi önem taşımakta, fazla miktarı ise EPA üzerinde olumsuz etkiye neden olmaktadır.

Salze vd. (2005) tarafından yapılan araştırmada doğal ortamdan elde edilen morina (*Gadus morhua*) balığı anaçları ile yetiştiricilik ile elde edilen morina balıkları arasında yumurta kalitesi karşılaştırılmıştır. Yetiştiriciliği yapılan anaçlardan elde edilen yumurtalarda AA miktarının doğal ortamdan elde edilen yumurtalardan önemli derecede daha düşük olduğu belirlenirken, EPA/AA oranının ise yüksek olduğu belirlenmiştir. Morina balıkları ile yapılan bir diğer çalışmada ise Roy vd. (2007) tarafından AA ilave edilen diyetlerle beslenen anaçlarda yumurta sayısı ve yumurtalarda dölleme oranının AA ilave edilmeyen gruptan daha yüksek olduğu, bu nedenle AA'nın yumurta kalitesi bakımından olumlu sonuç verdiği bildirilmiştir.

Sonuç

Balıkların beslenmelerinde kullanılan diyetlerde n-3 serisi yağ asitlerinin esansiyel yağ asitleri bakımından öncelikli sırada değerlendirilmesine rağmen, günümüzde yapılan araştırmalar n-6 serisinden olan araşidonik asitin de gamet kalitesi, dölleme oranı, kuluçkalama oranı, büyüme ve yaşama oranı, tuzluluk değişimine adaptasyon ve özellikle yassı balıklarda pigment oluşumu gibi önemli fizyolojik olaylarda etkilerinin olduğunu göstermektedir. Bu nedenle, kültürü yapılan balıklarda, hazırlanan diyet türün ihtiyacına uygun düzeyde AA ilave edilmesinin normal büyüme ve gelişme için gerekli olduğu ve bu konudaki araştırmaların artırılmasının kültür balıkçılığı açısından faydalı olacağı düşünülmektedir.

Kaynaklar

Altıntaş, A. 2013. Lipid Metabolizması. Biyokimya ders notları II, Kıbrıs. 133s.
 Bae, J-Y., Kim, D-J., Yoo, K-Y., Kim, S-G., Lee, J-Y. ve Bai, S.C. 2010. Effects of dietary arachidonic acid (20:4n-6) levels on growth performance and fatty acids composition of juvenile eel, *Anguilla*

japonica. Asian-Aust. J. Anim. Sci., 23(49): 508-514.

- Bell, M.V., Dick, J.R., Thrush, M. ve Navarro, J.C. 1996. Decreased 20:4n₆/20:5n₃ ratio in sperm from cultured sea bass, *Dicentrarchus labrax*, broodstock compared with wild fish. Aquaculture, 144: 189-199.
- Bell, J.G., Tocher, D.R., Farndale, B.M., Cox, D.I., McKinney, R.W. ve Sargent, J.R. 1997a. The effect of dietary lipid on polyunsaturated fatty acid metabolism in Atlantic salmon (*Salmo salar*) undergoing parr – smolt transformation. Lipids, 32: 515-525.
- Bell, J.G., Farndale, B.M., Bruce, M.P., Navas, J.M. ve Carrillo, M. 1997b. Effects of broodstock dietary lipid on fatty acid composition of eggs from sea bass (*Dicentrarchus labrax*). Aquaculture, 149: 107-119.
- Bell, M.V., Dick, J.R. ve Porter, A.E.A. 2001. Biosynthesis and tissue deposition of docosahexaenoic acid (22:6n-3) in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). Lipids, 36(10): 1153-1159.
- Bell, J.G. ve Sargent, J.R. 2003. Arachidonic acid in aquaculture feeds: current status and future opportunities. Aquaculture, 218: 491-499.
- Bessonart, M., Izquierdo, M.S., Salhi, M., Hernandez-Cruz, C.M., Gonzalez, M.M. ve Fernandez-Palacios, H. 1999. Effect of dietary arachidonic acid levels on growth and fatty acid composition of gilthead sea bream (*Sparus aurata* L.) larvae. Aquaculture, 179: 265-275.
- Bruce, M.P., Oyen, F., Bell, J.G., Farndale, B.M., Asturiano, J.F., Bromage, N.R., Carrillo, M., Zanuy, S. ve Ramos, J., 1999. Development of broodstock diets for the European sea bass (*Dicentrarchus labrax*) with special emphasis on the importance of n-3 and n-6 HUFA to reproductive performance. Aquaculture, 177: 85-98.
- Castell, J.D., Bell, J.G., Tocher, D.R. ve Sargent, J.R. 1994. Effects of purified diets containing different combinations of arachidonic and docosahexaenoic acid on survival, growth and fatty acid composition of juvenile turbot (*Scophthalmus maximus*). Aquaculture, 128: 315-333.
- Fruita, H., Yamamoto, T., Shima, T., Suzuki, N. ve Takeuchi, T. 2003. Effect of Arachidonic acid levels in broodstock diet on larval and egg quality of Japanese flounder *Paralichthys olivaceus*. Aquaculture, 220:725-735.

- Good, J.E., Bell, J.G., Thompson, K.D. ve Williams, P.W. 2001. Assessment of immune response in Atlantic salmon (*Salmo salar*) receiving alternative oil diets. An abstract and poster presentation at the 5th NordicFish Immunology Symposium June 2001. Institute of Pharmacy, University Oslo, Oslo, Norway, pp. 42.
- Gözükara, E.M. 1994. Biyokimya 2. Evin Matbaası. Malatya. 572-1177.
- Gupta, O. P., Lahlou, B., Botella, J. ve Porthé-Nibelle, J. 1985. In vivo and in vitro studies on the release of cortisol from interrenal tissue in trout. I. Effects of ACTH and prostaglandins. *Exp. Biol.* 43: 201-212.
- Kinsella, J.E. ve Lokesh, B. 1990. Dietary lipids, eicosanoids and the immune system. *Care Med.*, 18: 94-113.
- Koven, W., Barr, Y., Lutzky, S., Ben-Atia, I., Weiss, R., Harel, M., Behrens, P. ve Tandler, A. 2001. The effect of dietary arachidonic acid (20:4n-6) on growth, survival and resistance to handling stress in gilthead seabream (*Sparus aurata*) larvae. *Aquaculture*, 193: 107-122.
- Koven, W. M., Van Anholt, R. D., Lutzky, S., Ben Atia, I., Nixon, O., Ron, B. ve Tandler, A. 2003. The effect of dietary arachidonic acid on growth, survival, and cortisol levels in different-age gilthead seabream larvae (*Sparus auratus*) exposed to handling or daily salinity change. *Aquaculture*, 228: 307-320.
- Mazorra, C., Bruce, M., Bell, J.G., Davie, A., Alorend, E., Jordan, N., Rees, J., Papanikos, N., Porter, M. ve Bromage, N. 2003. Dietary lipid enhancement of broodstock reproductive performance and egg and larval quality in Atlantic halibut (*Hippoglossus hippoglossus*). *Aquaculture*, 227: 21-33.
- Palmer, R.M. 1990. Prostaglandins and the control of muscle protein synthesis and degradation. *Prostaglandins, Leukot. Essent. Fat. Acids*, 39: 95-104.
- Roy, W., Bell, G., Sawanboonchun, J., Davie, A., Franco, J., Fernandes, D., Gnassou, J. ve Robertson, D. 2007. Cod broodstock nutrition: Arachidonic Acid and astaxanthin as determinants of egg quality. Institute of Aquaculture, University of Stirling, Scotland. 27s.
- Salze, G., Tocher, D.R., Roy, W.J. ve Robertson, D.A. 2005. Egg quality determinants in cod (*Gadus morhua* L.): egg performance and lipids in eggs from farmed and wild broodstock. *Aquaculture Research*, 36: 1488-1499.
- Sargent, J.R., Henderson, R.J. ve Tocher, D.R. 1989. The lipids. In: Halver, J.E. (Ed.), *Fish Nutrition*, 2nd ed. Academic Press, San Diego, CA, 153-218.
- Sargent, J., Bell, G., McEvoy, L., Tocher, D. ve Estevez, A. 1999. Recent developments in the essential fatty acid nutrition of fish. *Aquaculture*, 177: 191-199.
- Sorbera, L.A., Zanuy, S. ve Carrielo, M. 1998. A role for polyunsaturated fatty acids and prostaglandins in oocyte maturation in the sea bass (*Dicentrarchus labrax*). In: Vandry, H., Tonon, M.C., Roubos, E.W., Loof, A. (Eds.), *Trends in Comparative Endocrinology and Neurology; From Molecular to Integrative Biology*. New York Academy of Sciences, New York. 535-537.
- Smith, W.L. 1989. The eicosanoids and their biological mechanisms of action. *Biochem. J.*, 259: 315-324.
- Tocher, D.R., Bell, J.G., Dick, J.R., Henderson, R.J., McGhee, F., Mitchell, D. ve Morris, P.C. 2000. Polyunsaturated fatty acid metabolism in Atlantic salmon (*Salmo salar*) undergoing parr-smolt transformation and the effects of dietary linseed and rapeseed oils. *Fish Phys. Biochem.*, 23: 59-73.
- Thrush, M., Navas, J.M., Ramos, J., Bromage, N.R., Carrillo, M. ve Zanuy, S., 1993. The effect of artificial diets on lipid class and total fatty acid composition of cultured sea bass (*Dicentrarchus labrax*) eggs. *Actas IV Congreso Nac. Acuicult. Centro de Investigacions Marinas, Villagarcia de Arousa (Pontevedra)*, 37-42.
- Van Anholt, R.D., Spanings, F.A.T., Koven, W.M., Nixon, O. ve Wendelaar Bonga, S.E. 2004. Arachidonic acid reduces the stress response of gilthead seabream *Sparus aurata* L. *The Journal of Experimental Biology*, 207: 3419-3430.
- Villalta, M., Estevez, A., Bransden, M.P. ve Bell, J.G. 2008. Arachidonic acid, Arachidonic acid/eicosapentaenoic acid ratio, stearidonic acid and eicosanoids are involved in dietary-induced albinism in Senegal sole (*Solea senegalensis*). *Aquaculture Nutrition*, 14: 120-128.