

Su Ürünleri Yetiştiriciliğinde Mikrosatellit Markırların Seleksiyon Amaçlı Kullanımı

Ercüment AKSAKAL¹ Saltuk Buğrahan CEYHUN² Orhan ERDOĞAN^{1,3}
Abdulkadir ÇILTAŞ¹

¹Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Su Ürünleri Bölümü, 25240, Erzurum

²Atatürk Üniversitesi Hıms Meslek Yüksekokulu Su Ürünleri Programı, 25600, Erzurum

³Atatürk Üniversitesi Biyoteknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi, 25240, Erzurum

eaksakal@atauni.edu.tr

ÖZET

Gelişen gen teknolojisine bağlı olarak Restriksiyon Parçası Uzunluk Polimorfizmi (RFLP), Rastgele Çoğaltılmış Polimorfik DNA (RAPD), Çoğaltılmış Parça Uzunluk Polimorfizmleri (AFLP), Mikrosatellitler ve Tek nükleotid Polimorfizmleri (SNP) gibi moleküler tekniklerin su ürünlerinde kullanımı her geçen gün artmaktadır. Bu gen teknolojileri ile yürütülen ıslah çalışmaları dikkate değerdir. Su ürünleri yetiştiriciliğinde ıslah ve yetiştirme programları için gerekli olan bilgilerin tespiti büyük önem arz etmektedir. Bu çalışmalarda moleküler tekniklerin kullanımı elde edilen bilgilerin güvenilirliğini arttırmaktadır. Bu makalede mikrosatellit markırların su ürünleri yetiştiriciliğinde seleksiyon amaçlı kullanımı ile ilgili çalışmalar bir araya getirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: su ürünleri yetiştiriciliği, mikrosatellit, seleksiyon

The Use of Microsatellite Markers for Selection in Aquaculture

ABSTRACT

Depending on developing gene technology, usage of molecular techniques in aquaculture such as Restriction Fragment Length Polymorphism (RFLP), Randomly Amplified Polymorphic DNA (RAPD), Amplified Fragment Length Polymorphism (AFLP), Microsatellite or Simple Sequence Repeats (SSRs) and Single Nucleotide Polymorphism (SNP) has been increased day by day. This reclamation work carried out with gene technology is considerable. Determination of data is very important for reclamation and breeding program in aquaculture. In these studies usage of molecular techniques has increased reliability of obtained data. In this paper, studies related with usage of microsatellite markers for selection in aquaculture has been reviewed.

Key Words: aquaculture, microsatellite, selection

GİRİŞ

Tüm yetiştiricilik alanlarında olduğu gibi su ürünleri yetiştiriciliğinde de temel amaç en az masrafla birim alandan maksimum ürün elde etmektir. Klasik ıslah ve seleksiyon metotlarıyla uzun zaman alan bu uygulama, yetiştiricilik programlarının oluşturulmasında tam anlamıyla istenilen sonucu vermemektedir. Bu sorunun çözümüne alternatif sunan moleküler tabanlı çalışmaların son yıllarda su ürünleri sahasında seleksiyon amaçlı kullanımına sıklıkla rastlanmaktadır. Ancak ülkemizde su ürünleriyle ilgili sistematik, morfoloji, anatomi, hastalık, besleme ve yetiştiricilik çalışmalarında şu ana kadar moleküler tabanlı metotların etkin kullanılmadığı aşikârdır. Ülkemizin mevcut gen kaynakları ve biyoçeşitliliği göz önüne alındığında, bu durumun üzerinde durulması gerekliliği kaçınılmazdır.

Son yıllarda moleküler tabanlı çalışmalardan mikrosatellitler veya basit dizilim tekrarları (SSR–Simple Sequence Repeat) (O'Connell ve Wright, 1997) su ürünlerinde en çok kullanılan metotlardan birisidir. Bununla birlikte; RFLP (Bernatchez ve Danzmann, 1993), SNP (Tao ve Boulding, 2003), AFLP (Kocher ve ark., 1998), RAPD (Bardakci ve Skibinski, 1994; Johnson ve ark., 1994) ve EST (Naruse ve ark., 2000) gibi diğer moleküler teknikler su ürünleri sahasında yaygın olarak kullanılmaktadır. Su ürünlerinde yaygın olarak kullanılan bazı moleküler teknikler ve özellikleri Çizelge 1'de verilmiştir (Liu ve Cordes, 2004).

Su ürünlerinde genetik kaynakların kontrol altında tutulması ve korunması için uygun genetik markırların kullanımı büyük bir öneme sahiptir (Nelson ve Soule, 1987). Mikrosatellitler ileri derecede polimorfik DNA markırları olup popülasyon yapılarının araştırılmasında en çok kullanılan genetik markırlardan birisidir ve gün geçtikçe önemi artmaktadır (Beuzen ve ark., 2000). Genom içerisinde kodlayıcı ve düzenleyici fonksiyonlarının olduğu düşünülmektedir (Goldstein ve Schlötter, 1998). Hayvan yetiştiriciliğinde ekonomik özellikleri kontrol

eden genlerin haritalanmasında kullanılacak etkili bir markırdır (Beuzen ve ark., 2000).

Mikrosatellitler Hakkında Genel Bilgiler

Mikrosatellitler basit olarak nükleotid dizi tekrarlarının rastgele düzenlenmiş çok sayıda kopyalarından meydana gelir. Bu dizilerdeki nükleotit sayısı 2–6 arasında değişmektedir (CA, ACA, GATA gibi) (Tautz, 1989; Litt ve Luty, 1989). Yüksek derecede polimorfiktirler ve önemli bir genetik işaretleme sistemini oluştururlar. Balıklarda çoğunlukla bu baz tekrarları her 10 kilobazda bir meydana gelmektedir. Mikrosatellitler kromozomların bütün bölgelerinde dağılmışlardır. Bunlar genleri kodlayan bölgeler, DNA'nın kodlanmayan intron bölgeleri ve gen olmayan nükleotid diziler içerisinde bulunur. Birçok mikrosatellit bölgesi bir kaç bazdan birkaç yüz baza kadar değişen küçük nükleotid dizi tekrarlarıdır. Nispeten kısa tekrarlı mikrosatellitlerin bölgeleri PCR ile çoğaltmak için kullanışlıdır. Genellikle uzun bölgelerin daha polimorfik olduğu söylenebilir de, mikrosatellit polimorfizmi beş baz kadar az tekrarda gözlenir (Karsi ve ark., 2002; DeWoody ve Avise, 2000).

Mikrosatellit polimorfizmi bir lokusta değişik sayıda tekrarlar içeren allellerin bulunmasına bağlıdır. Mikrosatellit mutasyon oranının her nesil için 10^{-2} den 10^{-4} e kadar değişen oranlarda yüksek olduğu bildirilmektedir (Weber ve Wong, 1993). Balıklarda birkaç türde mikrosatellit bölgelerinin tekrar sayılarında büyük farklılıklar olduğu bildirilmektedir. Bir popülasyon içerisinde nükleotid dizi tekrarlarının sayısındaki değişiklik her mikrosatellit allellerinin sayısındaki farklılığa sebep olur. Mikrosatellitler genetik çeşitliliği belirlemedeki kolaylığı yüzünden son yıllarda en çok kullanılan genetiksel yöntemlerden biri olmuştur. Bu özellikleriyle popülasyon genetiği çalışmalarında kullanılan ideal markırlardan biridir (Goldstein ve Schlötter, 1998; Liu ve Cordes, 2004).

Çizelge 1. Su ürünlerinde yaygın olarak kullanılan moleküler teknikler (Liu ve Cordes, 2004)

Markır tipi	Kalıtım biçimi	Lokus	Allel sayısı	Polimorfizm	Uygulama alanı
Allozim	Mendel, kodominant	Tekli	2–6	Düşük	Gen bağlantı haritası, Popülasyon çalışmaları
Mitokondriyal DNA	Maternal kalıtım	Tekli	Çoklu haplotip	–	Maternal nesil
Restriksiyon Parçası Uzunluk Polimorfizmi	Mendel, kodominant	Çoklu	2	Düşük	Gen bağlantı haritası
Rastgele Çoğaltılmış Polimorfik DNA	Mendel, dominant	Çoklu	2	Orta	Popülasyon çalışmalarındaki parmak izi analizi
Çoğaltılmış Parça Uzunluk Polimorfizmleri	Mendel, dominant	Tekli	2	Yüksek	Gen bağlantı haritası, Popülasyon çalışmaları
Mikrosatellitler	Mendel, kodominant	Tekli	Çoklu	Yüksek	Gen bağlantı haritası, Popülasyon çalışmaları, Ebeveyn tayini
DNA dizilerinin belirlenmesi	Mendel, kodominant	Tekli	2	Düşük	Gen bağlantı haritası, fiziksel gen haritalama, karşılaştırmalı gen haritalama
Tek Nükleotid Polimorfizmleri	Mendel, kodominant	Tekli	2–4	Yüksek	Gen bağlantı haritası, Popülasyon çalışmaları

Çalışma amacına göre kullanılacak mikrosatellit bölgelerin seçiminde dikkate alınan bazı kriterler vardır. Çalışılan mikrosatellit bölgelerin farklı kromozom bölgeleri üzerinde ve polimorfizm düzeyinin yüksek olması, heterozigotluk düzeylerinin yüksekliği, allel sayısı ve uzunluklarının birbirine olan uzaklıkları göz önüne alınarak seçilmelidir (Özkan, 2005). Eğer gen bankalarında veya literatürlerde mikrosatellit bilgisi bulunmayan bir tür ile çalışılacaksa bu tür ile yakın akraba olan türlere ait mikrosatellit bölgeleri kullanılabilir. Özellikle tür bazındaki mikrosatellit bölgeler çok benzerlik göstermektedir (Moore ve ark., 1991; Wright ve Bentzen, 1994; Oliveira ve ark., 2006).

Mikrosatellit dizileri incelenirken iki yol izlenebilir. Bunlardan birisi yalnızca baz çifti uzunluğunun tespitine yönelik olup, PCR ile çoğaltma ve elektroforez tekniğiyle görüntülemeye ibarettir. Bu amaçla balıktan izole edilen DNA üzerindeki ilgili mikrosatellit bölgeler PCR ile çoğaltılır. Bu bölgeler Tek Zincir Konformasyon Polimorfizmi (SSCP) gibi bir metotla denatüre edildikten sonra, denatüre edici poliakrilamid jel elektroforezinde yürütülerek ya da denatüre edici yoğun (genellikle %3) metaphor jel elektroforezi uygulaması ile allellere ayrılır. Yürütülen örnekler görüntüleme sisteminde fotoğraflandıktan sonra GeneSnap, UltraQuant gibi programlarda mikrosatellitlere ait allellerin baz uzunlukları tespit edilir. Burada sıklıkla rastlanılan sorun PCR ile çoğaltılmış bir mikrosatellit allelinin tek bir bant değil de bir bantlar merdiveni şeklinde görüntü veriyor olmasıdır. Çoğaltılan mikrosatellit bölgesine ait allel bu bantlar içerisinde en yoğun olanıdır. Diğer bantlar, genellikle orijinal allelden küçüktür. Bunun nedeni PCR uygulamasıyla DNA zincirinde oluşan kaymalardır (*in vitro* DNA slippage). Eğer mikrosatellit bölgedeki baz tekrarları dinükleotit ise trinükleotitlere göre daha çok sayıda bant oluşmaktadır. Buda istenmeyen bir durum olduğu için mikrosatellit bölgeler için primer seçiminde dinükleotid tekrarları değil, trinükleotid tekrarlar tercih edilebilir.

Yine, *Taq* DNA polimeraz enziminin terminal transferaz aktivitesi sonucu PCR ürünlerinde beklenenden bir baz daha fazla uzun ürünlerin oluşması ve buna bağlı olarak beklenen allel sayısından fazla bant görülebilir (Hoelzel, 1998; Devrim ve Kaya, 2004).

Diğer bir yol ise, DNA izolasyonu sonrasında genomik DNA'nın *AluI*, *HaeIII* ve *RsaI* restriksiyon enzimleriyle kesilme işlemi ve sonrasında 300-500 bp'lik DNA fragmentlerinin vektörüne klonlanarak Rekombinant DNA'nın elde edilmesidir. Rekombinant DNA, *Escherichia coli* bakteri hücresine ısı şoku ile sokulur ve bu bakteri hücreleri katı besiyerlerinde çoğaltılır. Bakteri hücresi içine girmiş olan rekombinant DNA'lı hücrelerin besiyerinde oluşturdukları koloniler beyaz renkte, diğerleri ise mavi renktedir. Bu beyaz renkli kolonilerden alınan örnekler direkt PCR yapılır. Sonuç veren bakteri kolonilerine ait ürünlerden vektör izolasyon kitiyle Rekombinant DNA'lar izole edilir ve DNA Sequencer'da baz dizisi ve uzunluğu belirlenir (Hoelzel, 1998).

Elde edilen verilerin değerlendirilmesinde en çok kullanılan istatistikî programlardan biri olan AMOVA (Moleküler Varyans Analizi), Arlequin (<http://lgb.unige.ch/arlequin/>) isimli paket programında yapılabilmektedir (Excoffier ve ark., 1992). Ayrıca, GENETIX (Belkhir ve ark., 2001), GENEPOP, GENECLASS (Cornuet ve ark., 1999a) gibi istatistik programlar da kullanılmaktadır. Genetik mesafe değerlerinin dendrogram çiziminde ise Phylip (Felsenstein, 1993) ve Treeview (Page, 1993) gibi programlar kullanılmaktadır. Bu analizlerle popülasyonlara ait; Faktöriyel Benzerlik Analizi (FCA), allel frekansları, özgün alleller ve frekansları, beklenen (H_e) ve gözlenen (H_o) heterozigotluk değerleri, F_{ST} , F_{IS} ve F_{IT} değerleri, Hardy-Weinberg dengesi ve genetik mesafeler belirlenebilir (Raymond ve Rousset, 1995; Cornuet ve ark., 1999b).

Su Ürünleri Yetiştiriciliğinde Mikrosatellitlerin Kullanımı

Moleküler markıra dayalı seleksiyon (Marker Assisted Selection) programlarının oluşturulmasında mikrosatellitler çok iyi bir potansiyele sahip olup, etkili kullanıldığı takdirde klasik ıslah metodlarında kullanılan tekniklere nazaran kısa sürede çok iyi sonuçlar vermektelerdir (Fjalestad ve ark., 2003). Özellikle balık yetiştiriciliğinde, sonraki jenerasyonların performans özelliklerinin iyileştirilmesi ve geliştirilmesinde son derece kullanışlıdır (Spies ve ark., 2005). Bir ıslah programı oluşturulurken popülasyonların genetik çeşitliliği hakkında bilgi edinilebilecek en ideal markırlardan biri mikrosatellitlerdir (Wolfus ve ark., 1997).

Mikrosatellitlere özgü allellerin tespiti, yetiştiriciliği yapılan bir popülasyon içerisindeki bireylerde yüksek verim (canlı ağırlık, hastalıklara karşı dayanıklılık vb. yönlerden) özellikleriyle ilişkili allellerin bulunup bulunmadığı bilgisine ulaştırabilir. Özellikle anaç olarak seçilecek balıklarda, fenotipik olarak üstün özelliklere sahip bireylerden hangilerinde yüksek ve düşük verim özellikleriyle ilişkili allellerin olduğu tespit edilebilir. Böylece popülasyonda anaç olarak seçilecek ve elenecek bireylerin tespiti yapılarak kısa zaman içerisinde üretim kapasitesi arttırılabilir (Wilson ve ark., 2003).

Su ürünlerinde yetiştiricilik programlarının oluşturulmasında mikrosatellitlerin kullanımına literatürlerde sıklıkla rastlanılabilir. Wolfus ve ark. (1997) Karideslerde (*Penaeus vannamei*), Garcia de Leon ve ark. (1998) Deniz levreğinde (*Dicentrarchus labrax*), Hulata (1995) ve Vandeputte (2003) Sazanda (*Cyprinus carpio*), Jackson ve ark. (2003) Atlantik pisi balığında (*Hippoglossus hippoglossus*), Waldbieser ve Wolters (1999) Kanal kedi balığında, Hara ve Sekino (2003) ve Sekino ve ark. (2003) Japon dere pisi balığında, Herbinger ve ark. (1995) ve Spies ve ark. (2005) Alabalıklarda yapmış oldukları çalışmalarda mikrosatellit markırları

seleksiyon amaçlı kullanmışlardır (Chistiakov ve ark., 2006).

Rexroad III ve ark. (2001); Palti ve ark. (2002); Rexroad III ve ark. (2002) ve Rodriguez ve ark. (2003) ise yapmış oldukları çalışmalarda Gökkuşluğu alabalığı (*Oncorhynchus mykiss*)'na ait çok sayıda mikrosatellit bölge tespit etmişlerdir. Mikrosatellit bölgelere ait primer dizilimi, DNA'daki bulunduğu yer ve bazen de PCR protokolüne ait bilgilere online olarak kullanılabilen Gen bankasından (<http://www.ncbi.nlm.nih.gov>) ulaşılabilir (Anonim, 2008).

Herbinger ve ark. (1995), bir işletmedeki Gökkuşluğu alabalığı (*Oncorhynchus mykiss*) popülasyonunda DNA parmak izi analizi ile birlikte mikrosatellit markırlar kullanarak seleksiyon çalışması yapmışlardır. Mikrosatellit markırlardan elde edilen genetik profil verilerine bağlı olarak balıkların ebeveynlerinin akrabalık derecelerinin verim etkisi üzerine olan etkisini incelemişlerdir. 10 erkek ve dişi balık arasında çaprazlama yapmışlardır. Akrabalık derecesi en yüksek ve düşük olan balıklara ait yavrular bir yıl boyunca yetiştiriciliği yapılarak takip edilmiştir. Çalışma sonunda akrabalık derecesi az olan balıkların çaprazlanmasından elde edilen bireylere göre yakın akraba çaprazlamalarından gelen bireylerin verim dereceleri, hayatta kalma ve büyüme oranları yönünden daha düşük özelliklere sahip olduğu tespit edilmiştir.

Gökkuşluğu alabalığı (*Oncorhynchus mykiss*) üzerinde yapılan bir çalışmada 14 dinükleotit, 7 trinükleotit, 11 tetranükleotit ve 8 dinükleotit-tetranükleotit olmak üzere toplam 40 polimorfik mikrosatellit bölgesi kullanılmıştır. Bu markırların popülasyon genetiği çalışmalarında, ebeveyn analizlerinde, gen bağlantı haritalarının oluşturulmasında ve moleküler markıra dayalı seleksiyon programlarının seçiminde etkin bir şekilde kullanılabilir potansiyele sahip olduğu bildirilmiştir (Spies ve ark., 2005).

Moleküler biyoloji alanında yapılan çalışmalarla genetik yapının belirlenmesine yönelik farklı bir yol izlenmiş olup mevcut

gen kaynaklarının ve özelliklerinin tespiti, korunması için gerekli olan verilerin tespiti daha da kolaylaşmıştır (Aksakal ve Erdoğan, 2007). Mikrosatellitler yüksek düzeyde polimorfik özelliğe sahip olduğu için kullanım amaçları oldukça çeşitlilik arz etmektedir;

- Seleksiyon uygulamalarında, ıslah ve yetiştirme programlarının oluşturulmasında üstün verimli bireylerin anaç olarak seçilebilmesi için gerekli olan bilgilerin tespiti çalışmalarında (Oliviera ve ark., 2006)

- Yüksek derecede polimorfizm göstermeleri ve lokuslara özgü markırlar olmasından dolayı mikrosatellitler bağlantı analizleri ve ebeveyn tayini çalışmalarında (Knight ve ark., 1998)

- Gen haritalarının çıkartılması çalışmalarında (Gilbey ve ark., 2004)

- Popülasyonlar içi genetik çeşitliliğin ölçülmesine ilişkin çalışmalarda, popülasyonlar arası genetik farklılık ya da benzerliklerin belirlenmesine ilişkin çalışmalarda (Rutten ve ark., 2004)

- Akrabalı yetiştiriciliğin ölçülmesinde, kodominant kalıtımın belirlenmesinde ve akrabalık ilişkilerinin belirlenmesi çalışmalarında (Villanueva ve ark., 2002) kullanılabilirler.

- Ayrıca, popülasyon ve türlerdeki genetik varyasyon değerleri hesaplanarak mevcut gen kaynakları tespit edilebilir, soy ağacı oluşturularak genetik akrabalık ilişkisi ortaya konabilir (Hansen ve ark., 2001).

Sonuç olarak su ürünleri yetiştiriciliği programlarının oluşturulmasında klasik ıslah metodlarına nispeten daha kısa zamanda ve güvenilir sonuç alınabilecek DNA düzeyindeki çalışmalar daha popüler ve kabul edilebilir niteliktedir. Islah ve yetiştirme programlarının oluşturulmasında, üstün verimli bireylerin anaç olarak seçilebilmesi için gerekli olan verilerin doğru olarak toplanmasına olanak verecek olan mikrosatellitlerin kullanımı; büyüme, hastalıklara dayanıklılık vb. yönlerden üstün verimli bireylerin oluşturacağı popülasyonların oluşumunu mümkün kılarak, birim alandan elde edilen ürün miktarını artıracaktır.

KAYNAKLAR

- Aksakal, E., Erdoğan, O. 2007. PCR-RFLP uygulamalarının su ürünlerinde kullanım alanları, Türk Sucul Yaşam Dergisi, 5-8: 747-753.
- Anonim, 2008. National Center for Biotechnology Information. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov> 15 Kasım 2008.
- Bardakci, F., Skibinski, D.O.F. 1994. Application of the RAPD technique in tilapia fish: species and subspecies identification, Heredity, 73: 117-123.
- Belkhir, K., Borsa, P., Chikhi, L., Raufaste, N., Bonhomme, F. 2001. Genetix 4.05 pour Windows. <http://www.genetix.univ-montp2.fr/genetix/genetix.htm>
- Bernatchez, L., Danzmann, R.G. 1993. Congruence in Control-Region Sequence and Restriction-Site Variation in Mitochondrial DNA of Brook Charr (*Salvelinus fontinalis* Mitchell), Molecular Biology Evolution, 10(5): 1002-1014.
- Beuzen, N.D., Stear, M.J., Chang, K.C. 2000. Molecular markers and their use in animal breeding, The Veterinary Journal, 160: 42-52.
- Chistiakov, D.A., Hellemans, B., Volckaert, F.A.M. 2006. Microsatellites and their genomic distribution, evolution, function and applications: A review with special reference to fish genetics, Aquaculture, 255: 1-29.
- Cornuet, J.M., Piry, S., Luikart, G., Estoup, A., Solignac, M. 1999a. New methods employing multilocus genotypes to select or exclude samples as origins of individuals, Genetics, 153(4):1989-2000.
- Cornuet, J.M., Piry, S., Luikart, G., Estoup, A., Solignac, M. 1999b. Comparison of methods employing multilocus genotypes to select or exclude populations as origins of individuals, Genetics, 144: 2001-2014.
- Devrim, A.K., Kaya, N. 2004. Genetik polimorfizm ve mikrosatellitler, Kafkas Üniversitesi Veterinerlik Fakültesi Dergisi, 10 (2): 215-220.

- DeWoody, J.A., Avise, J.C. 2000. Microsatellite variation in marine, freshwater and anadromous fishes compared with other animals, *Journal of Fish Biology*, 56: 461–473.
- Excoffier, L., Smouse, P.E., Quattro, J.M. 1992. Analysis of molecular variance inferred from metric distances among DNA haplotypes: application to human mitochondrial DNA restriction data, *Genetics*, 131: 479-491
- Excoffier, L., Laval, G., Schneider, S. 2005. Arlequin ver. 3.0: An Integrated Software Package for Population Genetics Data Analysis. *Evolutionary Bioinformatics Online*.
- Felsenstein, J., 1993. PHYLIP. Phylogeny inference package. Version 3.5c. department of Genetics, SK-50, University of Washington, Seattle, WA.
- Fjalestad, K.T., Moen, T., Gomez-Raya, L. 2003. Prospects for genetic technology in salmon breeding programmes, *Aquaculture Research*, 34: 397–406.
- Garcia de Leon, F.J., Canonne, M., Quillet, E., Bonhomme, F., Chatain, B. 1998. The application of the microsatellite markers to breeding programmes in the Sea Bass (*Dicentrarchus labrax*), *Aquaculture*, 159:303–316.
- Gilbey, J., Verspoor, E., McLay, A., Houlihan, D. 2004. A microsatellite linkage map for Atlantic salmon (*Salmo salar*), *Animal Genetics*, 35: 98–105.
- Goldstein, D.B., Schlötterer, C. 1998. *Microsatellites: Evolution and Application*, Oxford University Press, Oxford and Vienna.
- Hansen, M.M., Ruzzante, D.E., Nielsen, E.E., Mensberg, K.L.D. 2001. Brown Trout (*Salmo trutta*) stocking impact assessment using microsatellite DNA markers, *Ecological Applications*, 11(1): 148–160.
- Hara, M., Sekino, M. 2003. Efficient detection of parentage in a cultured Japanese flounder *Paralichthys olivaceus* using microsatellite DNA markers, *Aquaculture*, 217: 107–114.
- Herbinger, C.M., Doyle, R.W., Pitman, E.R., Paquet, D., Mesa, K.A., Morris, D.B., Wright, J.M., Cook, D., 1995. DNA fingerprint based analysis of paternal and maternal effects on offspring growth and survival in communally reared rainbow trout, *Aquaculture*, 137: 245–256.
- Hoelzel, A.R. 1998. *Molecular Genetic Analysis of Population*. 2nd Edition, 237–260, IRL Press, Oxford.
- Hulata, G. 1995. A review of genetic improvement of the common carp (*Cyprinus carpio* L.) and other cyprinids by crossbreeding, hybridization and selection, *Aquaculture*, 129: 143–155.
- Jackson, T.R., Martin-Robichaud, D.J., Reith, M.E. 2003. Application of DNA markers to the management of Atlantic halibut (*Hippoglossus hippoglossus*) broodstock. *Aquaculture*, 220, 245–259.
- Johnson, S.L., Midson, C.N., Ballinger, E.W., Postlethwait, J.H. 1994. Identification of RAPD primers that reveal extensive polymorphisms between laboratory strains of Zebrafish, *Genomics*, 19(1): 152-156.
- Karsi, A., Patterson, A., Feng, J., Liu, Z.J. 2002. Translational machinery of channel catfish: I. A transcriptomic approach to the analysis of 32 40S ribosomal protein genes and their expression, *Gene*, 291: 177–186.
- Knight, M.E., Turner, G.F., Rico, C., van Oppen, M.J.H., Hewitt, G.M. 1998. Microsatellite paternity analysis on captive Lake Malawi cichlids supports reproductive isolation by direct mate choice, *Molecular Ecology*, 7: 1605–1610.
- Kocher, T.D., Lee, W.J., Sobolewska, H., Penman, D., McAndrew, B. 1998. A Genetic Linkage Map of a Cichlid Fish, the Tilapia (*Oreochromis niloticus*), *Genetics*, 148: 1225–1232.
- Litt, M., Luty, J.A. 1989. A hypervariable microsatellite revealed by in vitro amplification of dinucleotide repeat within the cardiac muscle actin gene,

- American Journal of Human Genetics, 44: 397–401.
- Liu, Z.J., Cordes, J.F. 2004. DNA marker technologies and their applications in aquaculture genetics, *Aquaculture*, 238: 1–37.
- Moore, S.S., Sargeant, L.L., King, T.J., Mattick, J.S., Georges, M., Hetzel, J.S. 1991. The conservation of dinucleotide microsatellite among mammalian genomes allows the use of heterologous PCR primer pairs in closely related species. *Genomics*, 10: 654–660.
- Naruse, K., Fukamachi, S., Mitani, H., Kondo, M., Matsuoka, T., Kondo, S., Hanamura, N., Morita, Y., Hasegawa, K., Nishigaki, R., Shimada, A., Wada, H., Kusakabe, T., Suzuki, N., Kinoshita, M., Kanamori, A., Terado, T., Kimura, H., Nonaka, M., Shima, A. 2000. A detailed linkage map of Medaka, *Oryzias latipes*: comparative genomics and genome evolution, *Genetics*, 154: 1773–1784.
- Nelson, K., Soule, M. 1987. Genetical conservation of exploited fishes. *Population Genetics and Fishery Management*, Ryman, N. and F. Utter (eds.). University of Washington Press, 420, Seattle.
- O'Connell, M., Wright, J.M. 1997. Microsatellite DNA in fishes, *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 7: 331–363.
- Oliveira, E.J., Pádua, J.G., Zucchi, M.I., Vencovsky, R., Vieira, M.L.C. 2006. Origin, evolution and genome distribution of microsatellites. *Genetics and Molecular Biology*, 29(2): 294–307.
- Özkan, E. 2005. Türkiye’de yetiştirilen yerli ve kültür sığır ırklarının genetik yapılarının mikrosatellitler ile incelenmesi. Doktora tezi, Trakya Üniversitesi, Tekirdağ.
- Page, R.D.M. 1993. Component: tree comparison software for Microsoft Windows, version 2.0. The Natural History Museum, London.
- Palti, Y., Finckman, R., Rexroad III, C.E. 2002. Characterization of 38 polymorphic microsatellite markers for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*), *Molecular Ecology Notes*, 2: 449–452.
- Raymond, M., Rousset, F., 1995. Genepop (Version.3.3): a population genetics software for exact tests and ecumenicism, *Journal of Heredity*, 86: 248–249.
- Rexroad III, C.E., Coleman, R. L., Martin, A.M., Hershberger, W.K., Killefer, J. 2001. Thirty-five polymorphic microsatellite markers for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*), *Animal Genetics*, 32: 316–331.
- Rexroad III, C.E., Coleman, R.L., Gustafson, A.L., Hershberger, W.K., Killefer, J. 2002. Development of rainbow trout microsatellite markers from repeat enriched libraries, *Marine Biotechnology*, 3: 12–16.
- Rodriguez, F., Rexroad III, C.E., Palti, Y. 2003. Characterization of twenty-four microsatellite markers for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Molecular Ecology Notes*, 3: 619–622.
- Rutten, M.J.M., Komen, H., Deerenberg, R.M., Siwek, M., Bovenhuis, H. 2004. Genetic characterization of four strains of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus* L.) using microsatellite markers, *Animal Genetics*, 35: 93–97.
- Sekino, M., Saitoh, K., Yamada, T., Kumagai, A., Hara, M., Yamashita, Y. 2003. Microsatellite-based pedigree tracing in a Japanese flounder *Paralichthys olivaceus* hatchery strain: implications for hatchery management related to stock enhancement program, *Aquaculture*, 221: 255–263.
- Spies, I.B., Brasier, D.J., O’Reilly, P.T.L., Seamonss, T.R., Bentzen, P. 2005. Development and characterization of novel tetra-, tri-, and dinucleotide microsatellite markers in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*), *Molecular Ecology Notes*, 5: 278–281.
- Tao, W.J., Boulding, E.G. 2003. Associations between single nucleotide polymorphisms in candidate genes and

- growth rate in Arctic charr (*Salvelinus alpinus* L.), *Heredity*, 91: 60–69.
- Tautz, D. 1989. Hypervariability of simple sequences as a general source for polymorphic DNA markers, *Nucleic Acids Research*, 17: 6463–6471.
- Vandeputte, M. 2003. Selective breeding of quantitative traits in the common carp (*Cyprinus carpio*): a review, *Aquatic Living Resource*, 16: 399–407.
- Villanueva, B., Verspoor, E., Visscher, P.M. 2002. Parental assignment in fish using microsatellite genetic markers with finite numbers of parents and offspring, *Animal Genetics*, 33: 33–41.
- Waldbieser, G.C., Wolters, W.R. 1999. Application of polymorphic microsatellite loci in a Channel Catfish, *Ictalurus punctatus*, breeding program, *Journal of the World Aquaculture Society*, 30: 256–262.
- Weber, J.L., Wong, C. 1993. Mutation of human short tandem repeats, *Human Molecular Genetics*, 2: 1123–1128.
- Wilson, A.J., McDonald, G., Moghadam, H.K., Herbinger, C.M., Ferguson, M.M. 2003. Marker-assisted estimation of quantitative genetic parameters in rainbow trout *Oncorhynchus mykiss*, *Genetics Research*, 81: 145–156.
- Wolfus, G.M., Garcia, D.K., Alcivar-Warren, A. 1997. Application of the microsatellite technique for analyzing genetic diversity in shrimp breeding programs, *Aquaculture*, 152: 35–47.
- Wright, J.M., Bentzen, P. 1994. Microsatellites: genetic markers for the future, *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 4: 384–388.