



## DERLEME

Uludag Univ., J. Fac. Vet. Med. 2018; 37 (1) 49-59

DOI:10.30782/uluvfd.398947

# Genetik ve Postmortem Mekanizmaların Sığır Eti Renk Özellikleri Üzerine Etkisi

Sena Ardıçlı

Genetik Laboratuvarı, Genetik Anabilim Dalı, Veteriner Fakültesi, Uludağ Üniversitesi, 16059 Nilüfer, Bursa, Türkiye

Received 26.02.2018 Accepted 16.03.2018

## Özet

Bu makale genetik ve çevresel faktörlerin sığır eti renk özelliklerine etkileri hakkındaki güncel bilgilerin bir derlemesidir. Sığır eti üretim işletmelerinde, renk özellikleri bakımından tercih edilen et ürünlerinin üretilebilmesi için çevresel ve genetik faktörlerden oluşan mekanizmaların anlaşılabilmesi gerekmektedir. Bu bağlamda genotipik ve çevresel etkiler arasındaki interaksiyonların bu özelliği nasıl etkilediği hakkında genel bir bakış açısı sunulmuştur. Et rengi, tüketicilerin seçimini ve dolayısıyla ürünlerin ekonomik değerlerini belirlemektedir. Et renginin belirlenmesinde kullanılan güncel yöntemler, postmortem süreç ile çevresel ve LEP, CAPN, CAST, AKR1B1, GHR, MYOD, DNAH2, USP43, ANK1 aday genlerinden oluşan faktörlerin et rengi üzerine etkileri sunulmuştur. Bununla birlikte sığır yetiştiriciliğinde çevresel ve genetik faktörler arasındaki interaksiyonlara ait spesifik örnekler özetlenmiştir. Sonuç olarak, optimum et renginin elde edilebilmesi sadece kesim öncesi ve sonrası süreçte ait nitelikler değil aynı zamanda moleküler mekanizmalara da bağlıdır.

**Anahtar kelimeler:** Aday gen, çevresel faktörler, sığır, et rengi, et kalitesi

## Abstract

This paper is a review of current knowledge about environmental and genetic effects on beef colour. In order for beef production industries to consistently produce preferred meat with respect to colour parameters, there must be an understanding of the mechanisms through environmental factors, as well as the contribution of genetics. Thus, a brief overview of beef colour is presented to understand how genotype and environment may interact to influence this trait. Essentially, colour of beef can have significant effects on consumer's choice and thus it can determine the economical value of the product. The current methods for evaluating meat colour, the influence of postmortem process and environmental factors, as well as the candidate genes including LEP, CAPN, CAST, AKR1B1, GHR, MYOD, DNAH2, USP43, ANK1, on beef colour are presented. In addition, specific examples of interactions between the processing environment and genetics in cattle breeding are summarized. Consequently, achieving optimal beef colour will entirely depend not only on the quality of the pre- and post-slaughter process but also on the molecular mechanisms.

**Keywords:** Candidate gene, environmental factors, cattle, meat colour, meat quality

## Giriş

Yüksek biyolojik değeri ve doyuruculuğu ile beslenmede önemli bir yere sahip olan et, metabolizma için gerekli

esansiyel amino asitleri içermektedir. Bu nedenle günlük protein tüketiminin yaklaşık % 50'sinin hayvansal kökenli olması önerilmektedir. Aynı zamanda, yüksek sindirilebilirliğe sahip olan hayvansal proteinleri ve B grubu vitaminler ile demir, bakır, çinko ve selenyum gibi minerallerden

oluşan zengin bir içeriği (tavsiye edilen günlük miktarın yaklaşık %25'i) barındıran kırmızı et, organizma tarafından yüksek kullanılabilirliğe sahiptir (Pereira ve Vicente, 2013).

Son yıllarda et endüstrisinde et veriminin artırılmasının yanı sıra daha kaliteli et ve et ürünlerinin elde edilmesi amaçlanmaktadır. Sığır etinde, et ve yağ rengi, kaslar arası yağ oranı miktarı, mermerleşme derecesi, tekstür, su tutma özellikleri (damlama kaybı ve pişirme kaybı) ve duyuşal ölçütler önemli kalite özellikleri olarak kabul edilmektedir (Warner ve ark., 2010). Bununla birlikte, birim hayvandan elde edilen et verimi ve kalite özelliklerinin artırılması için başvurulan seleksiyon yöntemlerinin etkinliği, çevre şartlarından dolayı düşüktür. Et verimi ve kalitesi orta düzeyde kalıtım derecesine sahip kantitatif özellikler olarak değerlendirilmekte birlikte özellikle farklı et kalitesi parametrelerine ait kalıtım dereceleri önemli farklılıklar göstermektedir. Örneğin objektif gevreklik analizleri (Warner-Bratzler kesme kuvveti) ve kaslar arası yağ miktarı gibi özellikler orta düzeyde kalıtım derecesi ( $h^2$  0.2-0.3) göstermekle birlikte et rengi ve su tutma özellikleri ise daha düşük kalıtım derecesine ( $h^2$  0.1-0.25) sahiptir (Warner ve ark., 2010). Et üretimine ilişkin özelliklerin geliştirilmesinde geleneksel yöntem, özellikle yüksek kalıtım derecesine sahip olan özelliklerde etkili olup fenotipik verilerin istatistiksel analizlerinin yapılması esasına dayanmaktadır. Ancak et endüstrisinde özellikle de kaliteye ilişkin veriler genellikle kesim sonrası elde edilen ve düşük-orta kalıtım derecesi gösteren özellikleri kapsamaktadır (Allais ve ark., 2011; Tait ve ark., 2014). Son yıllarda moleküler düzeyde yapılan çalışmalar, genetik yapının, et verimi ve kalitesi ile ilgili özelliklerin değerlendirilmesinde çok önemli etkileri olduğunu ortaya koymuştur. Bu kapsamda, büyüme oranı, karkas ağırlığı, yağsız et verimi, mozaik yağ dağılımı ve yağ rengi, su tutma özellikleri ve tekstür gibi özelliklerle ilişkilendirilen birçok gen belirlenmiştir (Casas ve ark., 2005; Li ve ark., 2013). Ekonomik önem taşıyan özelliklerin nitel ve nicel olarak iyileştirilmesini amaçlayan ıslah çalışmalarının kalıcı ve sürekli ilerlemeler sağlayabilmesi, genetik yapının arzulanan yönde değiştirilmesine bağlıdır. BowMap olarak da bilinen sığır genom haritası projesi ile de sığır genomunun anlaşılmasına yönelik birçok gelişmeler sağlanmıştır (Cho ve ark., 2008). Genetik işaretleyiciler, tek nükleotid polimorfizmi (Single nucleotide polymorphism= SNP) ve mikrosatellit uygulamaları da özellikle kantitatif özelliklerin belirlenmesine olanak sağlamıştır (Cafe

ve ark., 2010a; Cafe ve ark., 2010b).

Besi sığırı yetiştiriciliğinde, sürü içinde istenen genlerin frekansını arttırmak için yapılan seleksiyona dayalı yetiştirme programlarında kullanılabilen gen işaretleyicileri, karkas ve et kalitesi gibi genelde kesim sonrası saptanan özelliklerin önceden belirlenmesi ve daha etkili bir seleksiyon programının uygulanabilmesi açısından oldukça yararlıdır. Bununla birlikte, et rengini etkileyen genetik faktörlerin amaca uygun olarak değerlendirilebilmesi için renk ölçümünün uygun tekniklerle gerçekleştirilmesi ve ette kesim sonrası meydana gelen postmortem değişikliklerin optimum koşullarda meydana gelmesi gerekmektedir (Mancini ve Hunt, 2005; Warner ve ark., 2010). Bu derlemenin amacı, pazara sunulan kırmızı etlerde tüketicinin seçimini doğrudan etkileyen et kalitesi parametrelerinden biri olan et renginin kantitatif olarak belirlenmesi ışığında yapılacak genetik çalışmalarda göz önünde bulundurulması gereken ve et rengini direkt ya da dolaylı yoldan etkileyen aday gen etkilerinin değerlendirilmesidir.

### **Et renginin belirlenmesi**

Son yıllarda et kalitesi özelliklerinin belirlenmesi ve iyileştirilmesi amacıyla yapılan çalışmalar yoğunluğunu giderek artırmaktadır. Günümüz et endüstrisinde optimum renk özelliklerine sahip et üretimi temel hedefler arasında yer almaktadır (Mancini ve Hunt, 2005). Et renginin belirlenmesinde farklı yöntemler kullanılmasına rağmen temelde subjektif (renk kartları ve skalaları kullanılarak) ve objektif (enstrümantal ve bilgisayar destekli sistemler) ölçümler olarak değerlendirilebilir.

### **Bilgisayar destekli görüntüleme**

Dijital kamera görüntülerinin bilgisayar yardımıyla değerlendirilmesi temeline dayanan bu yöntem geleneksel renk belirleme yöntemleri ile karşılaştırıldığında belirgin avantajlara sahiptir. Ayrıca, bu yöntem yapılacak olan tek bir renk gözleminin (örneğin dijital kameradan elde edilen bir j.peg görüntüsü) etkili bir renk tayininde yeterli olması bakımından da dikkati çekmektedir (O'sullivan ve ark., 2003). Bununla birlikte, bilgisayar destekli yapılacak modellemelerden elde edilen verilerin diğer renk belirleme sistemlerine (Hunter, CIE, XYZ) çevrilebilmesi de bu yöntemin diğer önemli bir özelliğidir (Mancini ve Hunt, 2005).

### **Enstrümantal ölçüm yöntemleri**

Günümüzde et renginin enstrümantal analizinde kullanılmak üzere farklı özelliklerde kolorimetre (chromometer)

ve spektrofotometreleri kapsayan birçok seçenek mevcuttur. Buna ek olarak bu araçlardan yararlanarak farklı renk sistemleri (Hunter, CIE ve tristimulus-XYZ), ışık kaynakları (AC, D65 ve ultralume), farklı diyafram açıklıkları (0,64-3,2 cm) ve gözlem açıları (2° ve 10°) kullanılabilir. (Mancini ve Hunt, 2005). Bu değerlendirmede temel amaç, spektrofotometriden elde edilen matematiksel koordinatların, et renginin objektif olarak değerlendirilmesinde kolay ve anlaşılır bir yöntem olarak kullanılabilmesidir. Bu koordinatlar farklı renk ölçüm sistemlerinde farklı simgelerle ifade edilebilen parametreleri karşılamaktadır. Örneğin, parlaklık (lightness) parametresi, CIE L\* a\* b\*, CIE L\* u\* v\* ve Hunter Lab sistemlerinde L; buna karşılık xyY sisteminde ise Y olarak ifade edilmektedir. Benzer şekilde renk indeks parametreleri (chromaticity), CIE L\* a\* b\* sisteminde a\* b\*; CIE L\* u\* v\* sisteminde u\* v\*; Hunter Lab sisteminde a,b ve xyY sisteminde xy değişkenlerini kapsamaktadır (Garcia-Esteban ve ark., 2003). Bu bağlamda, farklı renk sistemleri kullanılmakla birlikte çiğ ette en yaygın olarak CIE L\*, a\*, b\* koordinat sistemini kullanarak ölçüm yapan kolorimetreler kullanılmaktadır (Mancini ve Hunt, 2005). Bu sistemden faydalanılarak yapılan ölçümlerde üç temel renk parametresi (L\*= parlaklık, a\*= kırmızı renk indeksi, b\*= sarı renk indeksi) belirlenmiştir (Ekiz ve ark., 2009). Parlaklık (L\*) için ölçüm aralığı 0 ile 100 arasında değişmekte olup 0 değeri siyahı, 100 değeri ise beyazı karşılamaktadır. Kırmızı renk indeksi (a\*) ve sarı renk indeksi (b\*) için ise ölçüm aralığı -60 ile +60 arasında değişmektedir. Kırmızı renk indeksinde düşük değerler daha yeşili, yüksek değerler daha kırmızıyı ifade ederken sarı renk indeksinde düşük değerler daha maviyi, yüksek değerler ise daha sarıyı karşılamaktadır (Yılmaz ve ark., 2011). Bu bağlamda parlaklığı ifade eden L\* değeri ve kırmızılığı ifade eden a\* değerlerinin düşük olmaması; sarı renk indeksini tanımlayan b\* değerinin ise yüksek olmaması istenmektedir. Analizden optimum sonuçların elde edilebilmesi için çalışma materyaline uygun et rengi değişkenlerinin kullanılması gerekmektedir (Alcalde ve Negueruela, 2001).

### **Et rengini etkileyen postmortem değişiklikler**

Kesim sonrasında kasın ete dönüşümü, kaslarda meydana gelen biyokimyasal ve fiziksel reaksiyonların bir bütünü olarak oluşan ve postmortem değişiklikler olarak da adlandırılan kompleks bir süreçtir. Bu reaksiyonlar bütünü, ilk birkaç dakika ile 30 dakika arasında meydana gelen 'Prerigor

faz', Adenozin trifosfat (ATP) yıkımı ve glikolizisin meydana gelerek kasların elastikiyetinin azalarak ölüm sertliği olarak da adlandırılan rigor mortisle birlikte maksimum sertliğe ulaştığı 'Rigor fazı' ve son olarak enzimatik reaksiyonların bir sonucu olan olgunlaşmanın meydana geldiği 'Olgunlaşma fazı' olmak üzere 3 aşamada gerçekleşmektedir. Postmortem değişikliklerin uygun şekilde gerçekleşmesi, hayvanların kesim öncesi fizyolojik durumu, uygulanan kesim prosedürü ve kan akıtma işlemi ile doğrudan ilişkilidir (Anar, 2012). Bu değişimler, et ve et ürünlerindeki renk gibi kalite özelliklerini dolayısıyla tüketici seçimlerini doğrudan etkilediği için oldukça önemlidir. Kaslarda oluşan postmortem değişikliklerin değerlendirilmesinde en önemli unsurlardan biri pH'dır. Kesimden hemen sonra etin pH değeri 7,0-7,3 arasındadır. Bununla birlikte, ilerleyen süreçte enzimatik reaksiyonların durması nedeniyle pH, 5,5 veya daha düşük değerlere iner (Simek ve ark., 2003). Sığır etlerinde pH değerlerindeki düşme, normal koşullarda genellikle 18-40 saat içerisinde şekillenmektedir. Bu değerlerin gözlenmemesinin en önemli nedenlerinden biri hayvanın maruz kaldığı strestir. Bu streste ise kesim öncesi süreç önemli bir faktör olarak değerlendirilmektedir. Hayvanların uygun koşullarda mezbahaya sevk (taşıma mesafesi, taşıma süresi, taşıma sıklığı vb.) edilmediği durumlarda ya da kesim öncesinde yeterince dinlendirilmemiş ve hasta hayvanlarda yetersiz glikojen seviyelerinden dolayı arzu edilen pH değerlerine ulaşamaz (Devine ve ark., 1993; Pipek ve ark., 2003). Bununla birlikte uygun kesim işleminin gerçekleştirilmediği durumlarda da benzer olumsuzluklarla karşılaşılabilir. Kesim öncesi yaşanan bu stresi azaltmak ve et kalitesini olumlu yönde etkilemek amacıyla elektro şok, karbondioksit (CO<sub>2</sub>) veya pnömatik tabanca ile bayıltma ya da karkaslara uygulanan elektriksel stimülasyon gibi farklı yöntemler kullanılmaktadır (Henckel ve ark., 1998; Velarde ve ark., 2003). Bayıltma işleminin, kesim işlemi sırasında stresi engelleyerek kaslardaki glikojen rezervlerini düşürmek ve ölüm sertliğinin (rigor mortis) daha iyi şekillenmesi yoluyla et kalitesini arttırdığı düşünülmektedir (Devine ve ark., 1993; Velarde ve ark., 2003). Elektrik akımı uygulaması ise, rigor mortis öncesinde glikolizisin hızlandırılarak karkas soğutulması sonucu kas fibrillerinde oluşan aşırı kasılma ve ani ekstasyon nedeni ile oluşan ve soğuma kısılalığı adı verilen durumu önlemek amacıyla yapılmaktadır (Arslan, 2002; Pipek ve ark., 2003).

Kesim öncesi ve sonrasındaki işlemler ve mezbaha ko-

şullarının uygun olmadığı, rigor mortisin normal olarak şekillenmediği durumlarda et rengi de dahil olmak üzere beklenen kalite özelliklerinin elde edilmesi oldukça zordur. Kaslarda glikojen seviyesinin yetersiz olması ve buna bağlı olarak pH'da çok az bir düşüşün meydana gelmesi alkali rigor mortis olarak adlandırılmakta ve bu durumda elde edilen etler, koyu renkli, sert ve kuru (DFD: Dark, Firm, Dry) olmaktadır. Sığırlarda koyu renkli karkas önemli bir et kalite kusuru olarak değerlendirilmekte olup bu karkaslardan elde edilen etler tüketiciler tarafından tercih edilmemekte ve bu nedenle pazarlanmasında oldukça güçlük çekilmektedir. Bu durum önemli ekonomik kayıplara yol açabilmektedir (Önenç ve Kaya, 2003). Bununla birlikte, asidik rigor mortis, kesim öncesinde yeterli glikojen seviyesinin bulunmasına rağmen kesim esnasında glikolizisin çok hızlı gerçekleştiği durumlarda oluşmakta ve bu durumda etler, soluk renkli, yumuşak ve sulu bir özellik (PSE: Pale, Soft, Exudative) göstermektedir. DFD ve PSE etler düşük değerli etler olarak kabul edilmekte ve işletmelere önemli ekonomik kayıplar yaratmaktadır (Arslan, 2002; Anar, 2012). Et rengini etkileyen önemli faktörlerden bir diğeri ise kas yapısında bulunan myogloblin ve hemogloblin düzeyleridir. Karkasta rengi veren pigment yaklaşık %80-90 oranında myoglobindir. Kesim sonrasında myogloblin oksidasyonuna bağlı olarak ette parlak kırmızı renk görülmektedir. Bu nedenle myogloblinin havadaki oksijen ile optimum sürede reaksiyona girmesi gerekmektedir. Bu sürenin gerekenden az ya da çok olması da et renginde istenmeyen durumların ortaya çıkmasına ve rengin bozulmasında etkili olmaktadır (Mancini ve Hunt, 2005; Mancini ve Ramanathan, 2014; Nunes ve ark., 2015).

Sığır etinde arzu edilen ve hedeflenen renk değerlerinin elde edilmesi ancak postmortem değişikliklerin optimum düzeyde gerçekleşmesi ile sağlanabilir. Ancak gerçekleşen bir dizi reaksiyonların bütünlüğü olan postmortem değişikliklerin dışında genetik ve diğer çevresel faktörlerin de değerlendirilmesi gerekmektedir.

### **Et rengini etkileyen genetik faktörler ve aday genlerin değerlendirilmesi**

Et kalitesi özelliklerinin ve dolayısıyla et renginin belirlenmesinde ırk, yaş, cinsiyet, bakım ve beslenme koşulları, hayvanların kesime sevk edilme koşulları, mezbaha organizasyonu, kesim ve depolama koşulları, etlerin olgunlaştırılma süreleri, paketleme işlemi ve hijyen koşulları gibi pek çok çevresel faktör önemli bir rol oynamaktadır (Warner

ve ark., 2010). Farklı sığır ırklarındaki veya biyolojik sınıflandırmada farklı sığır tiplerindeki (örneğin bos taurus ile bos indicus) farklılıkların et rengini etkilediği bilinmektedir (Shackelford ve ark., 1994). Örneğin, Dunne ve ark. (2004), Belçika Mavisi ile Holstein ırkı melezi boğaların saf Holstein boğalardan daha açık et rengine ve daha az heme (Hemoglobin molekülünün proteinsiz kısmı) pigmentasyonu olduğunu bildirmişlerdir. Wegner ve ark. (2000) sığır ırkları (Belçika Mavisi, Angus, Galloway ve Holstein) ile kas lifi tipi ve et rengi arasındaki ilişkiyi inceleyerek ırklar arasında görülen anlamlı renk farklılıklarının olduğunu gözlemlemişlerdir. Bununla birlikte, Stelzleni ve ark. (2007) ise etçi-tip ile sütçü-tip sığırlarda et kalitesini karşılaştırmış ve et renginde önemli farkların bulunduğunu bildirmişlerdir. Çevresel ve irksal etmenlerin dışında hayvanlarda meydana gelen bireysel farklılıkların anlamlı bir şekilde ortaya konulabilmesi için genetik faktörlerin de değerlendirilmesi gerekmektedir (Allais ve ark., 2011). Aynı zamanda et rengi gibi kalite özelliklerinin ırklar arası, ırk içinde bireyler arası ve hatta kas yapılarının anatomik lokalizasyonlarına bağlı olarak değişmesi genotip-fenotip ilişkisinin ve çevre etkilerinin kompleks bir biçimde ele alınması gerektiğini ortaya koymaktadır (Burrow ve ark., 2001).

Seleksiyon programlarındaki gelişmeler ve özellikle DNA-tabanlı teknolojilerin ve seleksiyonda genetik marker kullanımı et kalitesinde hızlı ve etkili sonuçların alınmasında büyük rol oynamıştır. Son yıllarda, tüketici seçimlerini doğrudan etkileyen et rengi özelliklerinin belirlenmesinde birçok aday gen tanımlanmış ve farklı sığır ırklarında yapılan çalışmalar ile genotip-fenotip ilişkileri ortaya konulmuştur.

### **Leptin geni (LEP)**

Obezite hormonu olarak bilinen leptin; yağ metabolizmasını, vücut ağırlığını ve enerji tüketimini düzenleme göreviyle metabolizmada önemli bir rol oynamaktadır (Tian ve ark., 2013). Adipoz hücreler tarafından üretilen leptinin iştahı baskılayarak yem alımında düzenleyici olarak görev yaptığı bilinmektedir. Ruminantlarda yapılan farklı araştırmalarla leptinin metabolizma üzerindeki etkisi ortaya konulmuştur. Sığırlarda, leptinin enerji metabolizmasının düzenlenmesi, yemden yararlanma, mermerleşme skoru ve vücut yağı ile olan ilişkisi ortaya konulmuştur (Buchanan ve ark., 2002; Geary ve ark., 2003; Lagonigro ve ark., 2003).

Leptin hormonu, LEP geni tarafından kodlanmaktadır.



Sığır kromozomu 4 üzerinde bulunan LEP geninin 3 adet ekzonu ve 2 intronu bulunmaktadır. Protein kodlayan bölgesi 2931 baz çifti uzunlukta olup bu sayede 167 amino asit kodlanmaktadır. LEP geninin toplamda 272 varyantı (missense, intronik ve 3'UTR olmak üzere) kaydedilmiştir (Ensembl genome browser, 2018). Yapılan araştırmalarda LEP geninin, farklı sığır ırklarında et kalitesi ve karkas özellikleri üzerine etkisinin bulunduğu bildirilmiştir (Buchanan ve ark., 2002; Shin ve Chung, 2007; Pinto ve ark., 2011; Silva ve ark., 2014). Kaslar arası yağ dağılımı et rengi üzerine etkili bir parametre olarak değerlendirilmektedir (Fiems ve ark., 2000). Ayrıca yüksek yağ içeriği kaslardaki yağ ile birlikte myogloblin oksidasyonunu hızlandırmakta; bu durumda renk bozulmalarına neden olabilmektedir (Ahn ve ark., 1998). Bu bağlamda, yağ metabolizması ve depolanmasındaki etkileri nedeniyle LEP, optimum et rengi için değerlendirilmesi gereken bir aday gen olarak ifade edilmektedir.

#### **Calpain (CAPN) ve Calpastatin (CAST) genleri**

Calpain proteolitik sistemi, etin bu postmortem gevrekleşme sürecinden sorumlu sistemdir. Bu süreçte birbirine zıt etki gösteren iki enzim rol oynar. Bunlardan ilki 'micromolar calcium-activated neutral protease' olarak bilinen  $\mu$ -calpain enzimi; ikincisi de 'calpastatindir. Calpastatin, calpain enzimlerinin spesifik inhibitörüdür (Barendse ve ark., 2007). Calpain enzimi postmortem koşullarda myofibriler yapının niteliğini değiştirerek etin gevrekleşme sürecine etki etmektedir. Dolayısıyla etin kalite özellikleri de bu süreçten etkilenmektedir (Smith ve Casas, 2007). Calpain enzimi, CAPN1 geni tarafından kodlanmaktadır. Sığır CAPN1 geni kromozom 29'un telomerik ucunda 44,06-44,08 Mb arasında bulunmaktadır (Casas ve ark., 2005). Bu genin 22 adet ekzonu ve 21 intronu bulunmaktadır. Protein kodlayan bölgesi 2.255 baz çifti uzunluktadır ve 716 amino asit kodlanmaktadır (Ensembl genome browser, 2018).

Yapılan birçok çalışma, CAPN1 geninin gevreklik ve renk gibi et kalitesi ile karkas özellikleri üzerine etki ettiğini göstermiştir (Casas ve ark., 2006; Cafe ve ark., 2010a; Allais ve ark., 2011; Tait ve ark., 2014). Pinto ve ark. (2011) yaptıkları bir çalışmada SNP CAPN1-4751'nin kırmızı ve sarı renk yoğunluğuna additif yönde etki gösterdiği; TT genotipi taşıyan bireylerin etlerinde kırmızı ve sarı renk yoğunluğunun yüksek olduğu belirlenmiştir. Cafe ve ark. (2010a) tarafından yapılan bir başka çalışmada ise CAPN1-316 polimorfizmi üzerinde durulmuş ve bu polimorfizmde

arzu edilen C allelini taşımayan bireylerin taşıyanlara göre etlerinin daha koyu olduğu tespit edilmiştir. Farklı sığır ırklarında gerçekleştirilen çalışmalarda da benzer şekilde CAPN1 geninin et rengine etkili olabileceği bildirilmiştir (Mazzucco ve ark., 2010; Melucci ve ark., 2012; Liu ve ark., 2015).

Calpain sistemi, myoblast migrasyonu ve füzyonu, protein dönüşümü ve kas gelişimi regülasyonunu kapsamaktadır (Ouali ve Talmant, 1990; Byun ve ark., 2008). CAST geni, postmortem dönemde myofibrillerin proteolizisini, calpain aktivitesinin regülasyonunu sağlayarak meydana getirmektedir (Goll ve ark., 1992). Sığır CAST geni, kromozom 7'de 117,8 cM pozisyonunda haritalanmıştır (Kappes ve ark., 1997). 98,44-98, 58 Mb arasında yer almaktadır. Transkript uzunluğu 1548 bp olup, 438 aminoasit kodlanmaktadır (Ensembl genome browser, 2018). Farklı sığır ırklarında yapılan çalışmalarda CAST gen polimorfizmlerinin, özellikle L\* ve b\* değerlerine, istatistiksel düzeyde önemli etkilerinin bulunduğu bildirilmiştir (Juszczuk-Kubiak ve ark., 2004; Reardon ve ark., 2010). Calpain-calpastatin sistemi sığır etinde arzu edilen rengin oluşmasında direkt etkili olan postmortem değişikliklerde çok önemli bir rol oynamaktadır ve bu nedenle et rengini konu alan genetik çalışmalarda bu sisteme ait genetik yapıların değerlendirilmesi yararlı olacaktır.

#### **Aldo-keto redüktaz B1 (AKR1B1) geni**

Aldoz redüktaz; aldo-keto redüktaz enzim süper ailesine mensup prototipik bir enzimdir. AR olarak da bilinen; aldoz redüktaz (Aldo-keto redüktaz family 1) enziminin, glikoz metabolizmasının ilk basamağında glikozun sorbitole indirgenmesini katalize ettiği bilinmektedir (Petrash, 2004). Aldoz redüktaz enzimi, AKR1B1 geni tarafından kodlanmaktadır (Weissbach ve ark., 2005). Sığır kromozomu 4 üzerinde bulunan AKR1B1 geninin 10 adet ekzonu bulunmakta; protein kodlayan bölgesi ise 1354 baz çifti uzunluktadır. Bu bölge 316 amino asidi kodlamaktadır (Ensembl genome browser, 2018). Aldoz redüktaz proteinin fazla miktarda bulunmasının; etin kırmızılık özelliğiyle pozitif korelasyon gösterdiği ortaya konmuştur (Joseph ve ark., 2012; Wu ve ark., 2015). Bu nedenle bu proteinin sentezlenmesinde görev alan söz konusu genin etteki renk kararlılığının ve kırmızılığın korunması konusundaki pozitif etkileri bakımından yapılacak genetik çalışmalarda değerlendirilmesi yararlı olacaktır.

### **Büyüme Hormonu Reseptör (GHR) Geni**

Sığır GHR geni, kromozom 20'de 33,90-34,20 Mb arasında bulunmakta olup 9 adet ekzon bölgesi içermektedir (Moody ve ark., 1995; Jiang ve Lucy, 2001). Sığır GHR geninde ekzon 1A'nın aksi yönünde 1,2 kb uzunluğunda retrotranspozonal LINE-1 (Long Interspersed Nuclear Elements) bulunmaktadır. LINE-1, Avrupa sığır ırklarında tipik bir özellik olarak dikkati çekerken *Bos indicus* kökenli ırklarda benzer durum görülmemektedir (Lucy ve ark., 1998). Ekspresyonu özellikle karaciğer olmak üzere tüm vücutta gerçekleşen GHR geninin transkripsiyonu sığırlarda ekzon 1A, 1B ve 1C'de bulunan üç ana promoter bölge ile başlatılmaktadır (Jiang ve Lucy, 2001). Genin ekspresyonu farklı dokularda değişiklik göstermekte ve GHR düzeyleri gelişme, beslenme ve hormon aktiviteleri ile yakından ilişkilendirilmektedir (Schwartzbauer ve Menon, 1998). Reardon ve ark. (2010), GHR geni S555G polimorfizminin longissimus ve semimembranosus kaslarında L\* değerine önemli etkileri olduğunu bildirmişlerdir. Melucci ve ark. (2012) ise Hereford sığırlarda bu SNP'nin a\* değerine etkili olduğunu bildirmişlerdir. Benzer şekilde Ardıçlı ve ark. (2017) bu etkinin Holstein ırkı erkek sığırlarda da bulunduğunu göstermişlerdir. Büyüme ve gelişme üzerine önemli etkileri olan bu genin aynı zamanda kasların mikro-yapısındaki etkilerinin de bulunması nedeniyle et rengi çalışmalarında da göz önünde bulundurulması yararlı olacaktır.

### **Miyogenik Farklılaşma (MYOD) Genleri**

MYOD gen ailesi, miyogenezde ve dolayısıyla kas dokusu karakteristiğinde önemli bir role sahiptir. MyoD gen ailesi, MYOD1 (MYF3), MYOG (MYF4), MYF5 ve MYF6 (MRF4) genlerini içermektedir (Bhuiyan ve ark., 2009). Bu dört gen de 3 adet ekzon içermekte ve herbirinin ekspresyonu, miyogenez sırasında spesifik düzen göstermektedir. MYOD1 ve MYF5, miyoblast proliferasyon aşaması sırasında kritik bir rol oynarken; MYOG ve MYF6 ekspresyonu da, miyotup diferansiyasyonu ve maturasyonu ile ilişkilidir (Weintraub, 1993). MYOD1 geni sığır kromozomu 15'te lokalizedir. Protein kodlayan bölgesi 1870 baz çifti uzunlukta ve 318 amino asitten oluşmaktadır (Ensembl genome browser, 2018). Miyogenin aktivasyonu için gerekli olan MYOD1, kas hücrelerinin terminal diferansiyasyonunu etkilemektedir (Gerber ve ark., 1997). MYF4 geni de benzer şekilde MYOD gen ailesinin bir üyesidir. Bu gen 16. kromozomda yer almakta olup 3 ekzonik bölge içermektedir ve protein kodlayan bölgesi 1449 bp uzunlukta. Bu

sayede 224 amino asit kodlanmaktadır (Ensembl genome browser, 2018). Miyogenini de içeren bu proteinler, embriyonik kas gelişimini ve miyogenez sırasında belirli özel mikro RNA (miRNA)'larla ilişkilendirilen genlerin ekspresyonunun regülasyonunu kontrol eden genler tarafından kodlanmaktadır (Rao ve ark., 2006). Et rengi, kasların mikro-yapısından oldukça yüksek derecede etkilenmektedir (Abril ve ark., 2001). Bu nedenle, kas yapısının regülasyonunda önemli etkilere sahip olan MYOD gen familyasına ait genler ile et rengi arasındaki ilişkilerin incelenmesi büyük önem taşımaktadır.

### **Dinein Aksonemal Ağır Zincir 2 (DNAH2) Geni**

DNAH2 geni sığır kromozomu 19'da yer almaktadır (Ensembl genome browser, 2018) ve dinein proteininin kodlanmasından sorumludur. Dineinler, ökaryotik mikrotübüllerde güç üreten ATPazlardır. Dinein ailesinin hücre içerisindeki anahtar rollerinden biri de motiliteyi sağlayan mikrotübül temelli aksonemaların hareketini sağlamaktır. Bunun yanı sıra, hücre içerisinde veziküler transport, organellerin pozisyonu, mitotik bölünme ve kromozomların ayrılmasından da sorumlu olan dineinler bulunmaktadır (Holzbaur ve Vallee, 1994; Hirokawa ve ark., 1998). Bu gen ile et rengi arasındaki ilişkiyi konu alan çalışmalar oldukça az olmakla birlikte, bu genin polimorfizmlerinin domuzlarda kaslar arası yağ dağılımı ve et rengi üzerine etkili olduğu bildirilmiştir (Luo ve ark., 2012). Et renginin değerlendirilmesinde, oksidatif metabolizma reaksiyonları ve kas fibrillerinin mikro yapısı büyük önem taşımaktadır. Bu nedenle DNAH2 geni gibi mikrotübül yapısının regülasyonunda görev alan genlerin, et renginin genetik temelini konu alan çalışmalarda değerlendirilmesi yararlı olacaktır (Borges ve ark., 2014).

### **Ubikitin spesifik peptidaz 43 (USP43) geni**

Ubikitin hücrelerde serbest olarak ya da karboksil ucundaki glisin ile başka bir ubikitin lizinine bağlı olarak bulunur. Ubikitinizasyon önemli bir protein modifikasyonudur (Hochstrasser, 1996). Protein ubikitinizasyonu dengesini ubikitin-konjuge enzimleri ve ubikitin-spesifik proteazlar kontrol ederler. Protein ubikitinizasyonu, proteolizis açısından önemli bir hücresel olaydır. Ubikitin tarafından düzenlenen proteolizis hücre siklusunun kontrolü, transkripsiyon aktivasyonu, antijen özelliği, hücrenin yaşamı ve büyümesi olayları ile ilişkilidir (King ve ark., 1996). Ubikitine bağlı proteoliziste, proteazomlar aracılığı ile protein

parçalanması işlemleri p53, siklinler ve MAT $\alpha$ 2 reseptörü gibi birçok kritik proteini hedef almaktadır (Liu ve ark., 1999). Domuzlarda bu genin et rengi üzerine doğrudan etkisi olduğu saptanmıştır (Luo ve ark., 2012). Bu bağlamda, sığırlarda bu genin et rengine etkilerinin belirlenebilmesi amacıyla yapılacak genetik çalışmalarına ihtiyaç vardır.

### Ankyrin 1 (ANK1) Geni

ANK1, ANK2 ve ANK3 ile birlikte ankyrin proteinlerinin sentezlenmesinden sorumlu bir gendir. Spesifik dokularda ekspresye olan bu proteinler, plazma membran ile hücre iskeleti arasındaki interaksiyonlarda görev almaktadır (Bagnato ve ark., 2003). ANK1, kas liflerinin sarkomer yapılarında, M ve Z bantları ile sarkoplazmik retikulum arasındaki bağlantıların regülasyonundan sorumlu ankyrin R'nin üretilmesinde etkilidir (Bagnato ve ark., 2003; Borges ve ark., 2014). Postmortem proteolizis ve dolayısıyla calpain sistemi ile ilişkilendirilmesinden dolayı etin gevrekleşmesinde aday bir gen olarak değerlendirilmektedir (Borges ve ark., 2014). ANK1, sığır kromozomu 27'de yer almaktadır (Ensembl genome browser, 2018). Nellore ırkı sığırlarda yapılan bir çalışmada bu genin B allelinin et renginde kırmızılık değerini ( $a^*$ ) artırdığı bildirilmiştir (Borges ve ark., 2014). Bu genin et rengi üzerine etkileri hakkında literatürde yer alan bilgi oldukça sınırlı olmakla birlikte; kas yapısındaki önemli etkileri nedeniyle renk stabilizasyonu konusunda yapılacak genetik çalışmalarda değerlendirilmesi gerekmektedir.

### Sonuç

Et rengi, tüketicilerin seçiminde doğrudan etkili olan kalite parametrelerinden birisidir. Bu nedenle renk özelliklerinde meydana gelen olumsuzluklar önemli ekonomik kayıplara neden olabilmektedir. Ette istenen renk özelliklerinin oluşabilmesi bakım ve besleme koşulları, kesim öncesi ve sonrası uygulanan işlemler ve genetik faktörlerin değerlendirilmesinin bütünü kapsayan kompleks bir sürecin etkisi atındadır. Genetik faktörlerin ve dolayısıyla aday genlerin değerlendirilebilmesi, ancak uygun çevresel etmenlerin söz konusu olduğu durumlarda mümkündür. Moleküler araştırmalardaki gelişmelere paralel olarak sığırlarda et renginin genetik temellerinin anlaşılabilmesine yönelik önemli sonuçlar elde edilmiştir. Saptanan bu önemli genetik etkilerin farklı sığır ırklarında ve geniş populasyonlarda değerlendirilmesi elde edilen sonuçların

seleksiyon programlarına dahil edilmesine olanak sağlayacak ve erken dönemde sığırların amaca yönelik seçilebilmesine dolayısıyla yüksek düzeyde ve kaliteli et üretimine katkıda bulunacaktır.

### Kaynaklar

Abril M, Campo M, Önenç A, Sanudo C, Alberti P, Negueruela A. Beef colour evolution as a function of ultimate pH. *Meat Sci*, 58: 69-78, 2001.

Ahn DU, Olson D, Jo C, Chen X, Wu C, Lee J. Effect of muscle type, packaging, and irradiation on lipid oxidation, volatile production, and color in raw pork patties. *Meat Sci*, 49: 27-39, 1998.

Alcalde MJ, Negueruela AI. The influence of final conditions on meat colour in light lamb carcasses. *Meat Sci*, 57: 117-123, 2001.

Allais S, Journaux L, Leveziel H, Payet-Duprat N, Raynaud P, Hocquette JF, Lepetit J, Rousset S, Denoyelle C, Bernard-Capel C, Renand, G. Effects of polymorphisms in the calpastatin and mu-calpain genes on meat tenderness in 3 French beef breeds. *J Anim Sci*, 89: 1-11, 2011.

Anar Ş, Et ve Et Ürünleri Teknolojisi, 2. Baskı, Dora Yayıncılık, Bursa-Türkiye. 2012.

Ardıçlı S, Samli H, Dincel D, Soyudal B, Balci F. Individual and combined effects of CAPN1, CAST, LEP and GHR gene polymorphisms on carcass characteristics and meat quality in Holstein bulls. *Arch Anim Breed*, 60: 303-313, 2017.

Arslan A, Et muayenesi ve et ürünleri teknolojisi, 2. Baskı, Medipres, Malatya-Türkiye. 2002.

Bagnato P, Barone V, Giacomello E, Rossi D, Sorrentino V. Binding of an ankyrin-1 isoform to obscurin suggests a molecular link between the sarcoplasmic reticulum and myofibrils in striated muscles. *J Cell Biol*, 160: 245-253, 2003.

Barendse W, Harrison BE, Hawken RJ, Ferguson DM, Thompson JM, Thomas MB, Bunch RJ. Epistasis between

- calpain 1 and its inhibitor calpastatin within breeds of cattle. *Genetics*, 176: 2601-2610, 2007.
- Bhuiyan M, Kim N, Cho Y, Yoon D, Kim KS, Jeon J, Lee J. Identification of SNPs in MYOD gene family and their associations with carcass traits in cattle. *Livest Sci*, 126: 292-297, 2009.
- Borges BO, Curi RA, Baldi F, Feitosa FLB, Andrade WBF, Albuquerque LG, Oliveira HN, Chardulo LAL. Polymorphisms in candidate genes and their association with carcass traits and meat quality in Nelore cattle. *Pesq Agropec Bras*, 49: 364-371, 2014.
- Buchanan FC, Fitzsimmons CJ, Van Kessel AG, Thue TD, Winkelman-Sim DC, Schmutz SM. Association of a missense mutation in the bovine leptin gene with carcass fat content and leptin mRNA levels. *Genet Selec Evol*, 34: 105-116, 2002.
- Burrow H, Moore S, Johnston D, Barendse W, Bindon B. Quantitative and molecular genetic influences on properties of beef: a review. *Animal Prod Sci*, 41: 893-919, 2001.
- Byun S, Zhou H, Forrest R, Frampton C, Hickford J. Association of the ovine calpastatin gene with birth weight and growth rate to weaning. *Animal Genet*, 39: 572-573, 2008.
- Cafe L, McIntyre B, Robinson D, Geesink G, Barendse W, Greenwood P. Production and processing studies on calpain-system gene markers for tenderness in Brahman cattle: 1. Growth, efficiency, temperament, and carcass characteristics. *J Anim Sci*, 88: 3047-3058, 2010a.
- Cafe L, McIntyre B, Robinson D, Geesink G, Barendse W, Pethick D, Thompson J, Greenwood P. Production and processing studies on calpain-system gene markers for tenderness in Brahman cattle: 2. Objective meat quality. *J Anim Sci*, 88: 3059-3069, 2010b.
- Casas E, White SN, Riley DG, Smith TP, Brenneman RA, Olson TA, Johnson DD, Coleman SW, Bennett GL, Chase CC. Assessment of single nucleotide polymorphisms in genes residing on chromosomes 14 and 29 for association with carcass composition traits in *Bos indicus* cattle. *J Anim Sci*, 83: 13-9, 2005.
- Casas E, White SN, Wheeler TL, Shackelford SD, Koohmaraie M, Riley DG, Chase CC, Johnson DD, Smith TP. Effects of calpastatin and micro-calpain markers in beef cattle on tenderness traits. *J Anim Sci*, 84: 520-525, 2006.
- Cho S, Park TS, Yoon DH, Cheong HS, Namgoong S, Park BL, Lee HW, Han CS, Kim EM, Cheong IC. Identification of genetic polymorphisms in FABP3 and FABP4 and putative association with back fat thickness in Korean native cattle. *BMB Rep*, 41: 29-34, 2008.
- Devine C, Graafhuis A, Muir P, Chrystall B. The effect of growth rate and ultimate pH on meat quality of lambs. *Meat Sci*, 35: 63-77, 1993.
- Dunne P, Keane M, O'Mara F, Monahan F, Moloney A. Colour of subcutaneous adipose tissue and M. longissimus dorsi of high index dairy and beef x dairy cattle slaughtered at two liveweights as bulls and steers. *Meat Sci*, 68: 97-106, 2004.
- Ekiz B, Yilmaz A, Ozcan M, Kaptan C, Hanoglu H, Erdogan I, Yalcintan H. Carcass measurements and meat quality of Turkish Merino, Ramlic, Kivircik, Chios and Imroz lambs raised under an intensive production system. *Meat Sci*, 82: 64-70, 2009.
- Ensembl genome browser, [www.ensembl.org](http://www.ensembl.org), Son erişim tarihi:26.02.2018.
- Fiems L, De Campeneere S, De Smet S, Van de Voorde G, Vanacker J, Boucque CV. Relationship between fat depots in carcasses of beef bulls and effect on meat colour and tenderness. *Meat Sci*, 56: 41-47, 2000.
- Garcia-Esteban M, Ansorena D, Gimeno O, Astiasaran I. Optimization of instrumental colour analysis in dry-cured ham. *Meat Sci*, 63: 287-292, 2003.
- Geary T, McFadin E, MacNeil M, Grings E, Short R, Funston R, Keisler D. Leptin as a predictor of carcass composition in beef cattle. *J Anim Sci*, 81: 1-8, 2003.
- Gerber AN, Klesert TR, Bergstrom DA, Tapscott SJ. Two domains of MyoD mediate transcriptional activation of genes in repressive chromatin: a mechanism for lineage determination in myogenesis. *Genes Dev*, 11: 436-450, 1997.



- Goll DE, Thompson VF, Taylor R, Christiansen J. Role of the calpain system in muscle growth. *Biochimie*, 74: 225-237, 1992.
- Henckel P, Andersson M, Holst S. Influence of stunning method on pH-decrease and meat quality. In: *Proceedings International Congress Meat Science And Technology*, 44: 1068-1069, 1998.
- Hirokawa N, Noda Y, Okada Y. Kinesin and dynein superfamily proteins in organelle transport and cell division. *Curr Opin Cell Biol*, 10: 60-73, 1998.
- Hochstrasser M. Ubiquitin-dependent protein degradation. *Annu Rev Genet*, 30: 405-439, 1996.
- Holzbaur E, Vallee R. Dyneins: molecular structure and cellular function. *Annu Rev Cell Biol*, 10: 339-372, 1994.
- Jiang H, Lucy MC. Variants of the 5'-untranslated region of the bovine growth hormone receptor mRNA: isolation, expression and effects on translational efficiency. *Gene*, 265: 45-53, 2001.
- Joseph P, Suman SP, Rentfrow G, Li S, Beach CM. Proteomics of muscle-specific beef color stability. *J Agric Food Chem*, 60: 3196-3203, 2012.
- Juszczuk-Kubiak E, Rosochacki SJ, Wicinska K, Szreder TS. A novel RFLP/AluI polymorphism of the bovine calpastatin (CAST) gene and its association with selected traits of beef. *Anim Sci Pap Rep*, 22: 195-204, 2004.
- Kappes S, Keele JW, Stone RT, McGraw RA, Sonstegard TS, Smith T, Lopez-Corrales NL, Beattie CW. A second-generation linkage map of the bovine genome. *Genome Res*, 7: 235-249, 1997.
- King RW, Deshaies RJ, Peters JM, Kirschner MW. How proteolysis drives the cell cycle. *Science*, 274: 1652-1659, 1996.
- Lagonigro R, Wiener P, Pilla F, Woolliams J, Williams J. A new mutation in the coding region of the bovine leptin gene associated with feed intake. *Anim Genet*, 34: 371-374, 2003.
- Li X, Ekerljung M, Lundstrom K, Lunden A. Association of polymorphisms at DGAT1, leptin, SCD1, CAPN1 and CAST genes with color, marbling and water holding capacity in meat from beef cattle populations in Sweden. *Meat Sci* 94: 153-158, 2013.
- Liu LQ, Ilaria R, Kingsley PD, Iwama A, van Etten RA, Palis J, Zhang DE. A novel ubiquitin-specific protease, UBP43, cloned from leukemia fusion protein AML1-ETO-expressing mice, functions in hematopoietic cell differentiation. *Mol Cell Biol*, 19: 3029-3038, 1999.
- Liu X, Usman T, Wang Y, Wang Z, Xu X, Wu M, Zhang Y, Zhang X, Li Q, Liu L, Shi W, Qin C, Geng F, Wang C, Tan R, Huang X, Liu A, Wu H, Tan S, Yu Y. Polymorphisms in epigenetic and meat quality related genes in fourteen cattle breeds and association with beef quality and carcass traits. *Asian-Australas J Anim Sci*, 28: 467-75, 2015.
- Lucy M, Johnsson G, Shibuya H, Boyd C, Herring W, Weir M. Rapid communication: polymorphic (GT) n microsatellite in the bovine somatotropin receptor gene promoter. *J Anim Sci*, 76: 2209-2210, 1998.
- Luo W, Cheng D, Chen S, Wang L, Li Y, Ma X, Song X, Liu X, Li W, Liang J. Genome-wide association analysis of meat quality traits in a porcine Large White × Minzhu intercross population. *Int J Biol Sci*, 8: 580, 2012.
- Mancini R, Hunt M. Current research in meat color. *Meat Sci*, 71: 100-121, 2005.
- Mancini RA, Ramanathan R. Effects of postmortem storage time on color and mitochondria in beef. *Meat Sci*, 98: 65-70, 2014.
- Mazzucco JP, Melucci LM, Villarreal EL, Mezzadra CA, Soria L, Corva P, Motter MM, Schor A, Miquel MC. Effect of ageing and  $\mu$ -calpain markers on meat quality from Brangus steers finished on pasture. *Meat Sci*, 86: 878-882, 2010.
- Melucci LM, Panarace M, Feula P, Villarreal EL, Grigioni G, Carduza F, Soria L, Mezzadra CA, Arceo M, Mazzucco JP. Genetic and management factors affecting beef quality in grazing Hereford steers. *Meat Sci*, 92: 768-774, 2012.

- Moody D, Pomp D, Barendse W, Womack J. Assignment of the growth hormone receptor gene to bovine chromosome 20 using linkage analysis and somatic cell mapping. *Anim Genet*, 26, 341-343, 1995.
- Nunes J, Piquerez M, Pujadas L, Armstrong E, Fernandez A, Lecumberry F. Beef quality parameters estimation using ultrasound and color images. *BMC Bioinformatics*, 16: S6, 2015.
- O'sullivan M, Byrne D, Martens H, Gidskehaug L, Andersen H, Martens M. Evaluation of pork colour: prediction of visual sensory quality of meat from instrumental and computer vision methods of colour analysis. *Meat Sci*, 65: 909-918, 2003.
- Ouali A, Talmant A. Calpains and calpastatin distribution in bovine, porcine and ovine skeletal muscles. *Meat Sci*, 28: 331-348, 1990.
- Önenç A, Kaya A. Sığır Karkaslarında Etlenme ve Yağlanma Durumunun Koyu Renkli Karkas Oluşumuna Etkisinin Saptanması Üzerine Bir Araştırma. *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 40: 73-80, 2003.
- Pereira PMCC, Vicente AFRB. Meat nutritional composition and nutritive role in the human diet. *Meat Sci*, 93: 586-592, 2013.
- Petrash J. All in the family: aldose reductase and closely related aldo-keto reductases. *Cell Mol Life Sci*, 61: 737-749, 2004.
- Pinto LF, Ferraz JB, Pedrosa VB, Eler JP, Meirelles FV, Bonin MN, Rezende FM, Carvalho ME, Cucco DC, Silva RC. Single nucleotide polymorphisms in CAPN and leptin genes associated with meat color and tenderness in Nellore cattle. *Genet Mol Res* 10: 2057-64, 2011.
- Pipek P, Haberl A, Jelenikova J. Influence of slaughterhouse handling on the quality of beef carcasses. *Czech J Anim Sci*, 48: 371-378, 2003.
- Rao PK, Kumar RM, Farkhondeh M, Baskerville S, Lodish HF. Myogenic factors that regulate expression of muscle-specific microRNAs. *Proc Natl Acad Sci USA*, 103: 8721-8726, 2006.
- Reardon W, Mullen A, Sweeney T, Hamill R. Association of polymorphisms in candidate genes with colour, water-holding capacity, and composition traits in bovine *M. longissimus* and *M. semimembranosus*. *Meat Sci*, 86: 270-275, 2010.
- Schwartzbauer G, Menon RK. Regulation of growth hormone receptor gene expression. *Mol Genet Metab*, 63: 243-253, 1998.
- Shackelford S, Koohmaraie M, Wheeler T, Cundiff L, Dikeman M. Effect of biological type of cattle on the incidence of the dark, firm, and dry condition in the longissimus muscle. *J Anim Sci*, 72: 337-343, 1994.
- Shin S, Chung E. Association of SNP marker in the leptin gene with carcass and meat quality traits in Korean cattle. *Asian-Australas J Anim Sci*, 20: 1-6, 2007.
- Silva D, Crispim B, Silva L, Oliveira J, Siqueira F, Seno L, Grisolia A. Genetic variations in the leptin gene associated with growth and carcass traits in Nellore cattle. *Genet Mol Biol*, 13: 3002-3012, 2014.
- Simek J, Vorlova L, Malota L, Steinhauserova I, Steinhauser L. Post-mortal changes of pH value and lactic acid content in the muscle of pigs and bulls. *Czech J Anim Sci* 48: 295-299, 2003.
- Smith TP, Casas E. Single nucleotide polymorphism markers in the bovine CAPN1 gene to identify meat tenderness. Patent No: US7238479 B2. The United States Of America As Represented By The Secretary Of Agriculture, USA, 2007.
- Stelzleni A, Patten L, Johnson D, Calkins CR, Gwartney B. Benchmarking carcass characteristics and muscles from commercially identified beef and dairy cull cow carcasses for Warner-Bratzler shear force and sensory attributes. *J Anim Sci*, 85: 2631-2638, 2007.
- Tait R, Shackelford S, Wheeler T, King D, Keele J, Casas E, Smith T, Bennett G. CAPN1, CAST, and DGAT1 genetic effects on preweaning performance, carcass quality traits,

and residual variance of tenderness in a beef cattle population selected for haplotype and allele equalization. *J Anim Sci*, 92: 5382-5393, 2014.

Tian J, Zhao Z, Zhang L, Zhang Q, Yu Z, Li J, Yang R. Association of the leptin gene E2-169T> C and E3-299T> A mutations with carcass and meat quality traits of the Chinese Simmental-cross steers. *Gene*, 518: 443-448, 2013.

Velarde A, Gispert M, Diestre A, Manteca X. Effect of electrical stunning on meat and carcass quality in lambs. *Meat Sci*, 63: 35-38, 2003.

Warner R, Greenwood P, Pethick D, Ferguson D. Genetic and environmental effects on meat quality. *Meat Sci*, 86: 171-183, 2010.

Wegner J, Albrecht E, Fiedler I, Teuscher F, Papstein H, Ender K. Growth-and breed-related changes of muscle fiber characteristics in cattle. *J Anim Sci*, 78: 1485-1496, 2000.

Weintraub, H. The MyoD family and myogenesis: redundancy, networks, and thresholds. *Cell*, 75: 1241-1244, 1993.

Weissbach H, Resnick L, Brot N. Methionine sulfoxide reductases: history and cellular role in protecting against oxidative damage. *Biochim Biophys Acta-Proteins and Proteomics*, 1703: 203-212, 2005.

Wu W, Fu Y, Therkildsen M, Li XM, Dai RT. Molecular understanding of meat quality through application of proteomics. *Food Rev Int*, 31: 13-28, 2015.

Yılmaz A, Ekiz B, Soysal M, Yılmaz İ, Yalçıntan H. Certain carcass and meat quality characteristics of Anatolian Water Buffalos. In: 8th Global Conference on the Conservation of Animal Genetic Resources, 149, 2011.