



Ruminantlarda Sıcaklık Stresinin Metabolizma Üzerine Etkileri*

Ekin SUCU¹✉, Kadir Cem AKBAY¹, İsmail FİLYA¹

1. Uludağ Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Zootekni Bölümü, Bursa, TÜRKİYE.

Geliş Tarihi/Received	Kabul Tarihi/Accepted	Yayın Tarihi/Published
12.11.2014	14.02.2015	20.10.2015

Öz: Sıcaklık stresi hayvan refahını olumsuz yönde etkileyen, hayvansal üretimde verimliliği düşüren, sağlık sorunlarını artırarak ekonomik kayıplara yol açan bir olgudur. Sıcaklık stresi yaşayan hayvanları doğru tanımlamak, bu stresin süt verimi, büyüme ve üreme performansını düşürmesinin biyolojik mekanizmalarını kavramak, verimliliği sürdürülebilmek, yaz aylarında gözlenen sıcağa bağlı verim düşüklüğünü en aza indirilebilmek için yenilikçi yaklaşımların geliştirilmesine olanak tanır. Sıcaklık stresinin biyolojik mekanizması, ruminantlarda kısmen yem tüketimindeki azalmaya bağlıdır. Aynı zamanda yüksek çevre sıcaklığına bağlı endokrin sistemdeki değişimler, geviş getirme ve besin maddeleri emilimindeki düşme, yaşama payı gereksinimlerinin artması sonucunda verim için gerekli olan besin maddelerinin ve enerjinin kullanımında farklılıklar görülür. Sıcaklık stresinde besin maddelerinin organizmada kullanımında termik bir ayrımın olduğu gözlenmiştir. Bütün bunlar sıcağa maruz kalan hayvanların vücutlarındaki ısı üretimini düşürmek için kullandıkları bir mekanizmadır. Bu makalede hayvanların sıcaklık stresine nasıl tepki verdikleri ve sıcaklık stresinin besin maddeleri metabolizması üzerine olan etkileri tartışılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Metabolizma, Ruminant, Sıcaklık stresi, Süt ineği, Verim.

Effects of Heat Stress on Metabolism in Ruminants

Abstract: Heat stress is an important factor influencing animal welfare negatively, decreasing efficiency in dairy production, leading to economic loss by increasing health problems. Appropriate description of animals experiencing heat stress and comprehension of biological mechanism(s) of heat stress causing a decline in milk synthesis, growth and reproductive indices may contribute for development of new approaches in minimising low efficiency during stressful summer months and in sustaining efficiency. The biological mechanism of heat stress is partly explained by reduced feed intake. At the same time, heat stress alters endocrine status, causes reduction in rumination and in nutrient absorption, and increases maintenance requirements resulting changes in absorption of nutrients and utilisation of energy. It has been observed that there is thermal discrepancy between the utilisation of nutrients under heat stress conditions. Therefore, during heat stress all these aspects are presumably a mechanism to minimise metabolic heat production. In this paper, we discussed how animals respond to heat stress and how heat stress affects the metabolism and post-absorption of nutrients.

Keywords: Dairy cow, Heat stress, Metabolism, Performance, Ruminant.

✉ Ekin SUCU

Uludağ Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Zootekni Bölümü, Bursa, TÜRKİYE.

e-posta: ekins@uludag.edu.tr

*Bu derleme Uluslararası Katılımlı Süt Sığırcılığı Sempozyumunda (24-26 Nisan 2014, Kayseri) sözlü bildiri olarak sunulmuş ve özeti bildiri kitabında basılmıştır.

GİRİŞ

İklim değişikliği, içinde bulunduğumuz yüzyılın en büyük sorunlarının başında gelir. Hükümetler arası iklim değişikliği panelinin (IPCC, Intergovernmental panel on climate change) 2007' deki durum raporuna göre 1906 ile 2005 yılları arasında küresel sıcaklık artışı $0.74^{\circ}\text{C} \pm 0.18^{\circ}\text{C}$ olarak gerçekleşmiştir. 1950'lere kadar sıcaklık artışı her on yılda $0.07^{\circ}\text{C} \pm 0.02^{\circ}\text{C}$ olurken, son 50 yıldır bu artış $0.13^{\circ}\text{C} \pm 0.03^{\circ}\text{C}$ olmuştur. 2100'de ortalama küresel yüzey sıcaklık artışının 1.8°C ile 4.0°C arasında olması beklenmektedir (1). İklim değişiklikleri tahminler doğrultusunda değiştikçe, dünya nüfusu arttıkça, tropikal ve subtropikal bölgelere göç devam ettikçe gelecekte sıcaklık stresinin etkileri daha da ağırlaşacaktır.

Sıcaklık stresinin çiftlik hayvanlarının performans parametrelerini olumsuz yönde etkilemesi, hem gıda tedarik zincirini hem de hayvancılık ekonomisini tehlikeye atmaktadır. Sürü yönetimindeki gelişmeler (2) ve besleme stratejileri (3) sıcaklık stresinin sığırlar üzerindeki olumsuz etkilerini hafifletse de sıcak yaz aylarında hayvansal üretimde düşüş devam etmektedir. Sıcaklık stresinin büyüme, süt verimi ve üreme performansını düşürmesinin biyolojik mekanizmalarının iyi anlaşılması, sıcak yaz aylarında hayvansal üretimin devamlılığının korunması ve hayvansal üretimdeki kayıpların azaltılması için yeni yaklaşımların (örn. besleme, yönetim, genetik alanlarında) geliştirilmesi açısından çok önemlidir.

HAYVANLARIN SICAKLIK STRESİNE VERDİKLERİ TEPKİLER

Bir organizmanın, değişen çevre koşullarına karşı kendi vücut şartlarını nasıl düzenlediği bilim adamlarının daima ilgisini çekmiştir. Bu durumla ilgili defalarca önemli tanımlamalar yapılmış olup en temel tanımlama Claude Bernard'ın 1878'de yaptığı şu yorum olmuştur: "Bütün hayati fonksiyonlar, dış ortamın değişen şartları karşısında, canlının iç dengesinin belirli sınırlar içinde sabit tutulması

amacına yöneliktir." Bernard, stresi organizmanın dengesini bozan uyarılar olarak tanımlamıştır (4).

Yüksek çevre sıcaklığına maruz kalan hayvanlar çevre sıcaklığının olumsuz etkilerini giderebilmek için hem fizyolojik hem de metabolik olarak çeşitli tepkiler verirler. Sıcağa maruz kalması yada vücut sıcaklığının ortalama $3-4^{\circ}\text{C}$ yükselmesiyle; sıcak çarpması, sıcak bitkinliği, sıcak baygınlığı ve kramplar gibi çeşitli komplikasyonlar ortaya çıkar. Sıcaklık stresine gösterilen homeostatik tepkiler; su tüketiminin ve solunumun artması; terleme, kalp atım hızı ve yem tüketiminin düşmesidir (3,5). Yapılan son araştırmalarda, yüksek çevre sıcaklığı süt ineklerinde kuru madde tüketimini %30, süt verimini ise %45 düşürmüştür. Sıcaklık stresinin süt verimine etkilerinin yem tüketiminden kaynaklanan kısmının sadece %40-50 olduğu tespit edilmiştir (6,7). Dolayısıyla, süt ineklerinde yem tüketiminin düşüşü dışında diğer faktörlerinde performans kaybında önemli rollerinin olduğu görülmektedir. Önem verilmesi gereken nokta sıcaklıkların yüksek seyrettiği yaz aylarında hayvansal verimi artırmak için, besin maddelerinin parçalanmasını kontrol eden metabolik olayların iyi bir şekilde kavranmasıdır. Bu bölümde; hayvanların sıcak ortama fizyolojik ve metabolik olarak adapte olurlarken, besin maddeleri metabolizmalarının ve bu besin maddelerinin emilimlerinin nasıl etkilendiği üzerinde durulmuştur.

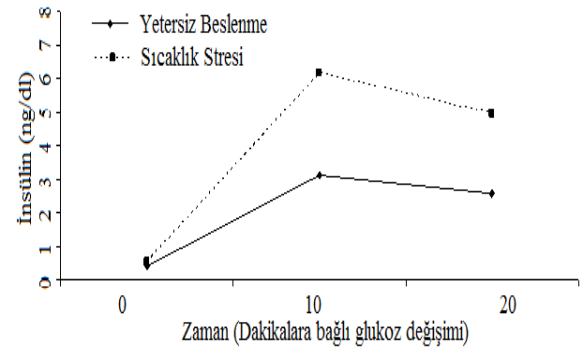
Glukoz Metabolizması

Glukoz metabolizması büyük ölçüde; hormonlar, sitokinler ve hayvanın fizyolojik durumundan (gebelik, laktasyon, yetersiz beslenme ve hastalıklar vs.) etkilenmektedir. Tüm bu faktörler, hepatik glukoneojenezin düzeyini arttırmaktadır (8,9). Glukoz düzeyi ve metabolizmasının ayarlanmasında insülin ve glukagon gibi pankreatik hormonlar görev alır. Her iki hormon; ince bağırsak boyunca glukoz emilimi, karaciğerdeki glukoz üretimi ve periferel dokularda (örneğin; kaslar ve

adipoz doku) glukoz kullanımını kontrol ederek, homeostatik olarak glukoz seviyesinin ayarlanmasına yardımcı olurlar (10). İnsülin; kas ve adipoz doku hücrelerinde glukozun kullanımını teşvik ederek, karbonhidrat metabolizmasını etkiler. Bununla birlikte insülin; protein sentezini uyararak, iskelet kasındaki proteolizi engeller yani antilipolitik bir özellik sergiler (11). Genellikle insülinin metabolizma üzerindeki etkisi anaboliktir. Bu hormon, sentez olaylarında besinlerin kas ve adipoz dokulara taşınmasını sağlar (12). Glukagon ise kasları ve karaciğerde glikojenoliz ile glikoneojenezi uyararak, insülinin tersi bir etki yapar (11). Ayrıca glukagon; amino asitlerin kaslarda kullanımını engelleyip, karaciğerde glikoneojenezde kullanılmasını sağlar. Yani glukagon, protein metabolizmasını dolaylı olarak etkiler (12). Sıcağa alışma sürecinde (aklimasyon) pankreas salgılarında (insülin ve glukagon sentezinde) değişimler meydana gelir. Normal olarak artan katekolamin miktarı glukagonu uyarır ve insülinin salgılanmasını engeller (13). Bu durumun bir sonucu olarak, stres altındaki organizmaya glukoz (glikojenoliz ve glikoneojenez yoluyla) ve lipid (lipoliz yoluyla) sağlanmış olur (12). Ancak, sıcaklık stresi altındaki hayvanlarda sempatik sinir aktivitesi baskılanmaktadır. Bu da katekolamin sekresyonunun düşmesine neden olur. Katekolamin sekresyonundaki düşüş, sıcaklık stresi altındaki kemirgenlerde (14), ineklerde (15) ve atletlerde (16) sıkça gözlenen insülin seviyesindeki artışı ve glukagon seviyesindeki düşüşü açıklamaya yardımcı olur. İnsanlar üzerinde yapılan sıcak çarpması araştırmalarında, hem glikojenoliz hem de glikoneojenezde meydana gelen artışların sonucunda hiperglisemiye (kan şekerinde anormal artış) sıkça rastlanmıştır (17). Neticede, diyetle alınan karbonhidratlar normalde hepatik glukoz üretimini azaltırken, sıcaklık stresi altında hepatik glukoz salınımını engellemez (18).

Sıcaklık stresi altındaki hayvanlarda maksimum karbonhidrat kullanılabilirliğini sağlamak için endokrin sistemde değişiklikler meydana gelir. Aslında, iyi beslenmiş ruminantlarda öncelikli enerji kaynağı olarak uçucu yağ asitleri (UYA) kullanılır (19). Ancak, sıcaklık stresindeki inekler azalan yem tüketimi sonucu enerji kaynağı olarak UYA' lerinden

asetatı tam etkinlikle kullanamazlar. Enerji sağlamada kullanılan diğer kaynaklar amino asitler ve glukozdur. Amino asitlerden enerji sağlanması ise son alternatiftir. Amino asitler sadece akut açlık veya uzun süreli yetersiz beslenme durumunda organizmada kullanılırlar (20). Bu nedenle de, hayvan vücudunun ihtiyaç duyduğu enerjinin sağlanmasında glukozun katkısı sıcaklık stresi boyunca artmaktadır. Bu teori; yetersiz beslenen termonötral inekler ile sıcaklık stresi ineklerinin karşılaştırıldıkları glukoz tolerans testi ile ortaya konmuştur (Şekil 1) (8,21). Sıcaklık stresindeki ineklerde gözlenen glukoz salınımındaki artış, glukoz taşıyıcılarının upregülasyonunun (bir biyolojik süreç sırasında gelişim oranında gözlenen artış) insüline bağımlı olup olmamasına ya da insülin seviyesi ve hassasiyeti ile ilişkili olabilir.



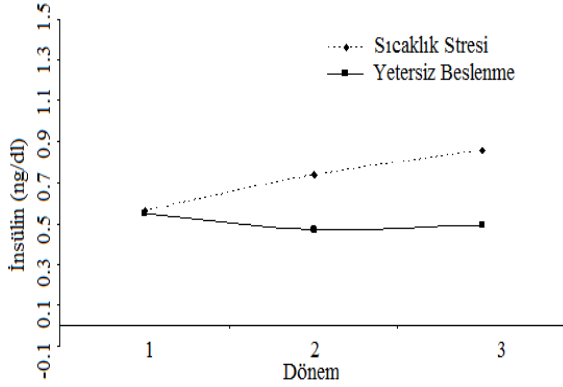
Şekil 1. Sıcaklık stresinin laktasyondaki süt ineklerinde farklı glukoz düzeylerine bağlı insülin miktarında meydana getirdiği değişim

Figure 1. Effects of heat-stress on the insulin response to different glucose levels in lactating cows.

Normalde yetersiz beslenen hayvanlarda kan insülin seviyesi azalır (22). Ancak, yem tüketimini düşüren sıcaklık stresindeki ineklerde negatif enerji dengesi (NED) gözlenmesine rağmen, dolaşımlarındaki bazal insülin seviyesi, termonötral kontrollerinden daha yüksektir (Şekil 2) (8,23).

Herhangi bir hormonun dolaşımdaki seviyesini doğru olarak yorumlamak oldukça zordur. Bunun sebebi, hormonların plazmadaki ilgili molekülerinin toplandığı ve boşaltıldığı yerin aynı olmasıdır. Bu nedenle, bazal insülin seviyesindeki artışın, artan insülin sentezinden mi yoksa azalan insülin yıkımından mı kaynaklandığı tam olarak

bilinmemektedir. Ancak, koyunlarda insülin düzeyindeki genel artış (24) diğer taraftan süt ineklerinde glukoz yükleme testinde plazma insülin seviyesindeki ani yükseliş (10-20 dakika içerisinde) bizlere artan insülin üretiminin ve/veya pankreatik salınımının bir sonucu olarak artan bazal insülin seviyesinden kaynaklandığını, sistemik insülin yıkımındaki azalmadan kaynaklanmadığı izlenimini vermektedir (8).



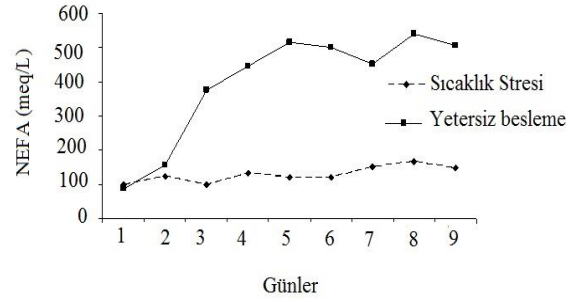
Şekil 2. Laktasyondaki süt ineklerinde sıcaklık stresinin bazal insülin düzeyine etkisi.

Figure 2. Effects of heat-stress on basal insulin levels in lactating cows.

Lipid Metabolizması

Sıcaklık stresinde plazma insülin konsantrasyonlarında meydana gelen artış karbonhidrat metabolizmasının yanı sıra insülinin antilipolitik etkisi sebebiyle lipid metabolizmasını da etkiler (11). Hipotermi serbest yağ asidi mobilizasyonunu artırmaktadır. Soğuk çevrede egzersiz yapan insanların kanlarındaki serbest yağ asidi düzeyi sıcakta egzersiz yapanlardan daha yüksektir. Üstelik soğukta yapılan egzersiz sırasında kas trigliseridlerinde %23 azalma görülürken, sıcaklık ortamında bu azalma sadece %11'dir (16). Bu değişimler, sıcaklık stresi altında egzersiz yapan insanlarda düşen yağ asidi oksidasyonunu desteklemektedir (25). Ayrıca, sıcaklık stresi şartlarında yetiştirilen piliçler ve domuz yavruları termonötral şartlar altında yetiştirilenlere göre daha fazla vücut yağına sahiptirler (26). Bu durum yüksek sıcaklığın lipid birikimini teşvik ettiğini düşündürmektedir. Dolayısıyla, sıcaklık stresindeki

inekler her ne kadar NED durumunda olsalar da adipoz dokuyu mobilize edemezler (Şekil 3) (6).

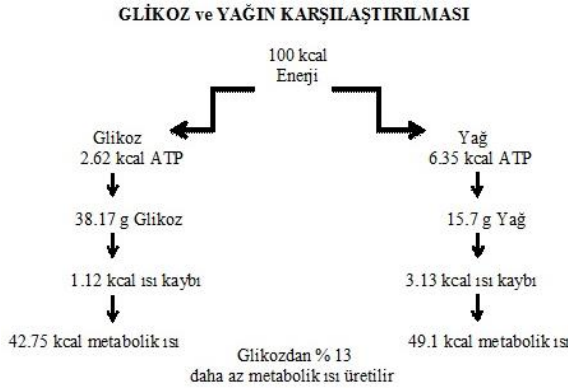


Şekil 3. Laktasyondaki süt ineklerinde sıcaklık stresinin esterleşmemiş yağ asitleri (NEFA) düzeyine etkisi.

Figure 3. Effects of heat-stress on nonesterified fatty acids (NEFA) level in lactating cows.

Yüksek sıcaklığın lipid birikimini nasıl teşvik ettiği ya da lipolizden nasıl koruduğuna dair mekanizma kesin olarak bilinmese de, yapılan *in vitro* çalışmalar hiperterminin; adipositlerde (yağ dokusunun yapıtaşını oluşturan, 10 ile 200 μ m çapında yuvarlak hücre) hormona duyarlı lipaz (HSL) aktivitesini düşürdüğünü, lipoprotein lipaz aktivitesini ise artırdığını göstermiştir. Bu enzimatik değişiklikler lipojenezi teşvik etmekte ve lipolizi önlemektedir (14). Söz konusu değişimler, vücut sıcaklığının yağ kullanımını düzenlediğini, hipotermik ve hipertermik hayvanların ise adipoz doku rezervlerini farklı şekilde kullandığını göstermektedir. Metabolizmadaki bu bariz farklılık ve insülin hassasiyetindeki artış, muhtemelen metabolik ısı üretimini azaltmaya çalışan ineklerin kullandığı sıcaktan korunma çabasıdır. *In vivo* koşullarda glukoz oksidasyonu sonucu 38 ATP veya 472.3 kcal enerji (Bomb kalorimetresinde 637.1 kcal) üretilirken, yine *in vivo* koşullarda yağ asidi (örneğin; stearik asit) oksidasyonu sonucu 146 ATP veya 1814 kcal enerji (Bomb kalorimetresinde 2697 kcal) üretilir (27). Çok daha fazla enerji içermesine rağmen ATP yakalama etkinliğindeki farklılıklar nedeniyle, yağ asitlerinin oksidasyonundan glukoz oranla daha fazla (2 kcal/g enerji) metabolik ısı elde edilir (Şekil 4). Bu nedenle, sıcaklık stresinde adipoz doku mobilizasyonunun önlenmesi ve glukoz yıkımındaki artış muhtemelen metabolik ısı üretimini

düşürmek için hayvanların kullandıkları bir stratejidir (28).



Şekil 4. Yüz (100) kcal enerjiye ihtiyaç duyulduğunda, glukoz ya da yağ asitlerinin (stearik asit) oksidasyonu sonucu oluşan metabolik ısı.

Figure 4. Metabolic heat production from oxidising either glucose or fatty acids (stearic acid) assuming that 100 kcal of energy was needed.

Protein Metabolizması

Sıcaklık stresi protein metabolizmasını etkilemektedir. En yaygın gözlem, sıcaklık stresine maruz kalan ineklerde plazma üre nitrojen düzeyinin artmasıdır (6,8,29). Bu durum rumen sağlığının ve iskelet kaslarının bozulması sonucunda ortaya çıkar. Kas katabolizmasının diğer göstergelerinden trimetil-histidin ve kreatin seviyeleri de sıcaklık stresinden etkilenmektedir. Sıcaklık stresinde kanatlılarda (30), tavşanlarda (31), laktasyondaki ineklerde (32) ve insanlarda (33) trimetil-histidin ve kreatin düzeylerinde artış saptanmıştır. Söz konusu artış; etlik piliçlerde büyümeyi yavaşlatmış ve vücuttaki protein birikimini azaltmıştır (26,34). Laktasyondaki ineklerde ise, süt proteinleri düşmüş ve dolayısıyla vücut proteini birikimi azalmıştır (35).

Sıcaklık stresinin protein metabolizması üzerindeki katabolik etkisi şaşırtıcıdır. Çünkü insülin, süt protein sentezinin (36) ve protein birikiminin (37) güçlü bir uyarandır. Azalan vücut protein içeriği, dolaşımdaki glukagon seviyesindeki artıştan kaynaklanır. Dolaşımdaki glukagon seviyesindeki artış, proteolize yol açar ve normalde protein sentezinde kullanılacak olan amino asitleri karaciğere yönlendirir (12). Karaciğere yönlendirilen

amino asitlerin karbon iskeleti glukoneojenez için kullanılır. Dolayısıyla, sıcaklık stresi altında fazlaca protein içeren rasyonların kullanımından kaçınılmalıdır (26). Çünkü amonyağın (deaminasyona uğramış amino asitlerin fazla olmasından kaynaklanan) karaciğerde üreye detoksifikasyonu sırasında vücut sıcaklığını 1°C artıracak sıcaklık üretilmektedir (38). Sonuçta, insülin ve protein metabolizmaları arasında hipertermik bir ayrım söz konusudur. Bu ayrım lipid ve karbonhidrat metabolizmalarında da görülmektedir. Henüz nedeni bilinmemekle birlikte, sıcaklık stresi hem protein sentezini hem de proteolizi doğrudan etkilemektedir.

SİĞİRLARDA LAKTASYON VE BÜYÜMENİN KARŞILAŞTIRILMASI

Sıcaklık stresinin etkileri ile biyolojik mekanizması, ruminantlarda kısmen azalan yem tüketimiyle açıklanmıştır. Fakat aynı zamanda değişen endokrin sistemin durumu, geviş getirme ve besinlerin emilimindeki düşme, yaşama payı gereksinimlerinin artması (5) sonucunda verim için gerekli olan besinlerin veya enerjinin kullanımında bir azalma gözlenmektedir. Bu durum süt ineklerinin sıcaklık stresinde neden ağırlık kaybettiklerini (zayıfladıklarını) açıklamaktadır.

Laktasyon

Sıcaklık stresi altında enerji tüketiminin azalmasıyla birlikte (yem tüketiminin düşmesine bağlı) laktasyonun hangi döneminde olursa olsunlar süt ineklerinin büyük bir çoğunluğu NED'e girmektedirler (39). Aslında sıcaklık stresindeki NED inekler, erken laktasyondaki ineklerde gözlenen NED'e benzer biyoenerjik durum sergilerler. Erken laktasyon döneminde şekillenen NED; artan metabolik bozukluklar, sağlık problemleri riski (40,41), azalan süt verimi ve üreme performansı (42,43) ile yakından ilişkilidir. Dolayısıyla sıcaklık stresinin; verim, hayvan sağlığı ve üreme üzerindeki olumsuz etkilerine enerji dengesindeki (erken laktasyon dönemi ile benzer) düşüşün yol açtığı düşünülebilir (8,28). Ancak, sıcaklık stresi tarafından

etkilenen biyolojik parametrelerin (düşen yem tüketimine karşılık artan yaşama payı gereksinimleri) hayvansal üretimdeki (süt verimi, günlük canlı ağırlık artışı ve üreme) düşüşü ne kadar etkilediği henüz tam olarak aydınlatılmamıştır.

Büyüme

Genel olarak, besi sığırcılığındaki sıcaklık stresi kaynaklı verim kayıpları, süt sığırcılığındaki kadar ağır değildir. Besideki sığırlar laktasyondaki süt sığırlarına göre daha yüksek sıcaklık nemlilik indekslerine (SNI) tolerans gösterebilirler. Sıcaklık stresine karşı dayanıklılıklarının nedenleri tam olarak bilinmese de, bu durum süt ve besi sığırlarının biyolojilerinin ve yönetimlerinin farklı olması ile açıklanabilir. Süt sığırlarında yapılan çalışmalarda, saf ve melez ırklar karşılaştırıldığında sıcaklık stresi melez ırklarda yem tüketimini daha az etkilemiştir (44). Besi için kullanılan ırkların büyük bir kısmı melezdir. Bu durum artan toleransı kısmen açıklayabilmektedir. Besi sığırlarının sıcaklık stresinin olumsuz etkilerine karşı süt sığırlarından daha toleranslı olmalarının muhtemel diğer nedenleri; 1- Kütleye oranla daha az yüzey alanı (küçük hayvanlar bir birim vücut ağırlığına karşılık daha fazla yüzey alanına sahiptirler ve ısı, vücut yüzey alanına daha orantılı bir şekilde dağılır). 2- Rumendeki ısı üretiminin daha düşük olması (tahıl ağırlıklı rasyonların kullanılması sebebiyle). 3- Genel metabolik ısı üretiminin daha düşük olmasıdır (vücut ağırlığı kaynaklı) (45).

Besi sığırlarının orta şiddetli veya kısa süreli sıcaklık stresinden sonra kayıplarını telafi ettikleri gözlenmiştir (34). Ayrıca, besi sığırlarında uygulanan çiftleştirme programlarının mevsimsel doğası nedeniyle sıcaklık stresinin üreme performansı üzerindeki etkileri çok şiddetli değildir. Besi sığırlarının süt ineklerine nazaran sıcaklık stresine karşı daha esnek olmalarına karşın sıcaklık stresi besicilikte de önemli düzeyde maddi kayıplara sebep olmaktadır (46).

SONUÇ

Yüksek çevre sıcaklığına bağlı hipertermi, hormonal ve metabolik değişimlere sebep olarak ineklerde postabsorptif enerji, yağ ve protein

metabolizmalarını etkiler, karaciğer fonksiyonlarını bozar, oksidatif strese neden olur, immün (bağışıklık) sistemi baskılar ve hayvanların performansını düşürür. Sıcaklık stresindeki hayvanların sığağa karşı koymak için bir diğer ifadeyle endojen ısı üretimlerini azaltmak için enerji tercihlerinde kendilerine özgü yollar geliştirdikleri görülmektedir. Sıcaklık stresinin metabolizma üzerindeki en önemli etkisi glukoz ve lipid homeostasisinde ortaya çıkmaktadır. Buna en iyi örnek sıcaklık stresindeki ineklerin adipoz doku rezervlerini kullanmak yerine glukozu enerji kaynağı olarak tercih etmeleridir. Sıcaklık stresindeki ineklerde enerji kullanımını etkileyen; glukoz atımının artması, bazal ve glukoz tarafından uyarılan insülin seviyesinin yükselmesi ve plazma üre nitrojen düzeyinin artması gibi metabolizmada meydana gelen değişimler de ısı düzenlemesinin birer parçasıdır.

KAYNAKLAR

1. IPCC. (Intergovernmental Panel on Climate Change), 2007. Climate change and its impacts in the near and long term under different scenarios. In Climate Change 2007: Synthesis Report (Eds The Core Writing Team, R. K. Pachauri & A. Reisinger), pp. 43–54. Geneva, Switzerland: IPCC.
2. VanBaale MJ., Smith JF., Brouk MJ., Baumgard LH., 2005. Evaluate the efficacy of your cooling system through core body temperature. Hoards Dairyman: Western Dairy News, 5, 147-148.
3. West JW., 2003. Effects of heat-stress on production in dairy cattle. Journal of Dairy Science, 86, 2131-2144.
4. Bernard C., 1879. Leçons sur les phénomènes de la vie communs aux animaux et aux végétaux. Paris, JB Bailliere, 4–5.
5. Collier RJ., Baumgard LH., Lock AL., Bauman DE., 2005. Physiological limitations: nutrient partitioning. In "Yields of farmed Species: constraints and opportunities in the 21st Century", Eds., J Wiseman and R Bradley, 351-377, Nottingham University Press, Nottingham, U.K.
6. Rhoads ML., Rhoads RP., Sanders SR., Carroll SH.,

- Weber WJ., Crooker BA., Collier RJ., VanBaale MJ., Baumgard LH., 2007. Effects of heat stress on production, lipid metabolism and somatotropin variables in lactating cows. *Journal of Dairy Science*, 90, 230.
7. Baumgard LH., Wheelock JB., Sanders SR., Moore CE., Green HB., Waldron MR., Rhoads RP., 2011. Postabsorptive carbohydrate adaptations to heat stress and monensin supplementation in lactating Holstein cows. *Journal of Dairy Science*, 94, 5620-5633.
 8. Wheelock JB., Sanders SR., Shwartz G., Hernandez LL., Baker SH., McFadden JW., Odens LJ., Burgos R., Hartman SR., Johnson RM., Jones BE., Collier RJ., Rhoads RP., VanBaale MJ., Baumgard LH., 2006. Effects of heat stress and rbST on production parameters and glucose homeostasis. *Journal of Dairy Science*, 89, 290-291.
 9. Williams EL., Rodriguez SM., Beitz DC., Donkin SS., 2006. Effects of short-term glucagon administration on gluconeogenic enzymes in the liver of midlactation dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 89, 693-703.
 10. Scheepers A., Joost HG., Schurmann A., 2004. The glucose transporter families SGLT and GLUT: Molecular basis of normal and aberrant function. *Journal of Parenteral and Enteral Nutrition*, 28, 364-371.
 11. Hadley ME., 2000. *Endocrinology*. 5th ed., 255-263, Prentice-Hall Inc., Upper Saddle River, NJ.
 12. Brockman RP., 1986. Pancreatic and adrenal hormonal regulation of metabolism. In "Control of Digestion and Metabolism in Ruminant" Eds., LP Milligan, WL Grovum, A Dobson, 405-419, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ.
 13. Katsuhiko D., Ohno T., Kuroshima A., 1982. Role of endocrine pancreas in temperature acclimation. *Life Science Journal*, 30, 2253-2259.
 14. Torlinska T., Banach R., Paluszak J., Gryczka-Dziadecka A., 1987. Hyperthermia effect on lipolytic processes in rat blood and adipose tissue. *Acta Physiologica Polonica*, 38, 361-366.
 15. Itoh F., Obara Y., Rose MT., Fuse H., Hashimoto H., 1998. Insulin and glucagon secretion in lactating cows during heatexposure. *Journal of Animal Science*, 76, 2182-2189.
 16. Fink WJ., Costill DL., Van Handel PJ., 1975. Leg muscle metabolism during exercise in the heat and cold. *Journal of Applied Physiology*, 34, 183-190.
 17. Yaspelkis BB., Scroop GC., Wilmore KM., Ivy JL., 1993. Carbohydrate metabolism during exercise in hot and thermoneutral environments. *International Journal of Sports Medicine*, 14, 13-19.
 18. Angus DJ., Febbraio MA., Lasini D., Hargreaves M., 2001. Effect of carbohydrate ingestion on glucose kinetics during exercise in the heat. *Journal of Applied Physiology*, 90, 601-605.
 19. Van Soest PJ., 1994. *Nutritional Ecology of the Ruminant*. 2nd ed., 476p, Cornell University Press, Ithaca, NY.
 20. Mortimore GE., Poso AR., Kadowaki M., Wert JJ., 1987. Multiphasic control of hepatic protein degradation by regulatory amino acids. General features and hormonal modulation. *Journal of Biological Chemistry*, 262, 16322-16327.
 21. O'Brien MD., Rhoads RP., Sanders SR., Duff GC., Baumgard LH., 2010. Metabolic adaptations to heat stress in growing cattle. *Domestic Animal Endocrinology*, 38, 86-94.
 22. Berg JM., Tymoczko JL., Stryer L., 2007. *Biochemistry*. 6 ed., 459, W.H. Freeman and Company, New York, NY.
 23. Wheelock, JB., Rhoads RP., Vanbaale MJ., Sanders SR., Baumgard LH., 2010. Effects of heat stress on energetic metabolism in lactating Holstein cows. *Journal of Dairy Science*, 93, 644-655.
 24. Achmadi J., Yanagisawa T., Sano H., Terashima Y., 1993. Pancreatic insulin secretory response and insulin action in heatexposed sheep given a concentrate or roughage diet. *Domestic Animal Endocrinology*, 10, 279-287.
 25. Jentjens RL., Wagenmakers AJ., Jeukendrup AE., 2002. Heat stress increases muscle glycogen use but reduces the oxidation of ingested carbohydrates during exercise. *Journal of Applied Physiology*, 92, 1562-1572.
 26. Geraert PA., Padilha JC., Guillaumin S., 1996. Metabolic and endocrine changes induced by

- chronic heat exposure in broiler chickens: growth performance, body composition and energy retention. *British Journal of Nutrition*, 75, 195-204.
27. Brody T., 1999. *Nutritional Biochemistry*. Academic Press, San Diego, CA.
28. Baumgard LH., Wheelock JB., O'Brien MD., Shwartz G., Zimbelman RB., Sanders SR., VanBaale MJ., Collier RJ., Rhoads ML., Rhoads RP., 2007. The differential effects of heat stress vs. underfeeding on production and post-absorptive nutrient partitioning. *Proceedings of Southwest Nutrition and Management Conference*, 116-124.
29. Shwartz G., Rhoads ML., VanBaale MJ., Rhoads RP., Baumgard LH., 2009. Effects of a supplemental yeast culture on heat-stressed lactating Holstein cows. *Journal of Dairy Science*, 92, 935-942.
30. Yunianto VD., Hayashi K., Kaneda S., Ohtsuka A., Tomita Y., 1997. Effect of environmental temperature on muscle protein turnover and heat production in tube-fed broiler chickens. *British Journal of Nutrition*, 77, 897-909.
31. Marder J., Eylath U., Moskovitz E., Sharir R., 1990. The effect of heat exposure on blood chemistry of the hyperthermic rabbit. *Comparative Biochemistry and Physiology*, 97, 245-247.
32. Kamiya M., Kamiya Y., Tanaka M., Oki T., Nishiba Y., Shioya S., 2006. Effects of high ambient temperature and restricted feed intake on urinary and plasma 3-methylhistidine in lactating Holstein cows. *Animal Science Journal*, 77, 201-207.
33. Febbraio MA., 2001. Alterations in energy metabolism during exercise and heat stress. *Sports Medicine*, 31, 47-59.
34. Mitlöhner FM., Morrow JL., Dailey JW., Wilson SC., Galyean ML., Miller MF., McGlone JJ., 2001. Shade and water misting effects on behavior, physiology, performance, and carcass traits of heat-stressed feedlot cattle. *Journal of Animal Science*, 79, 2327-2335.
35. Bernabucci U., Lacetera N., Ronchi B., Nardone A., 2002. Effects of the hot season on milk protein fractions in Holstein cows. *Animal Research*, 51, 25-33.
36. Mackle TR., Dwyer DA., Ingvarsten KL., Chouinard PY., Ross DA., Bauman DE., 2000. Effects of insulin and postruminal supply of protein on use of amino acids by the mammary gland for milk protein synthesis. *Journal of Dairy Science*, 83, 93-105.
37. Allen RE., 1988. Muscle growth and development. In "Designing Foods: Animal Product Options in the Marketplace", 142-162, National Academy Press, Washington, DC.
38. National Research Council, 1989. *Nutrient Requirements of Dairy Cattle*. 6th Revised ed. National Academy Press, Washington, D.C.
39. Moore CE., 2005. Controlled milk fat depression as a management tool to improve energy balance in lactating dairy cattle. University of Arizona, Animal Science, Tucson, AZ.
40. Goff JP., Horst RL., 1997. Physiological changes at parturition and their relationship to metabolic disorders. *Journal of Dairy Science*, 80, 1260-1268.
41. Drackley JK., 1999. Biology of dairy cows during the transition period: the final frontier? *Journal of Dairy Science*, 82, 2259-2273.
42. Lucy MC., Staples CR., Thatcher WW., Erickson PS., Cleale RM., Firkins JL., Clark JH., Murphy MR., Brodie BO., 1992. Influence of diet composition, dry matter intake, milk production and energy balance on time of postpartum ovulation and fertility in dairy cows. *Journal of Animal Production*, 54, 323-331.
43. Baumgard LH., Wheelock JB., VanBaale MJ., Collier RJ., Rhoads ML., Rhoads RP., 2006. Environmental influence on metabolism of ruminants. *Proceedings of Minnesota Nutrition Conference*, 80-89.
44. Ruvuna F., McDaniel BT., Johnson JC., Hollon BF., McDowell RE., Brandt GW., 1976. Interactions of breed and heterosis with hot and cold seasons for milk yield. *Proceedings of American Dairy Science Association*, 72.
45. Campbell JR., Kenealy MD., Campbell KL., 2003. *Animal Science, The Biology, Care, and Production of Domestic Animal*. 4th ed., 510p,

McGraw Hill, San Francisco, CA.

46. St. Pierre NR., Cobanov B., Schnitkey G., 2003.
Economic losses from heat stress by US livestock
industries. Journal of Dairy Science, 86, 52-77.