

DAMPAK FISILOGIS DARI CEKAMAN PANAS PADA TERNAK (PHYSIOLOGY EFFECT OF HEAT STRESS ON ANIMAL)

Heru Sutedjo¹⁾

*¹⁾Fakultas Peternakan, Universitas Nusa Cendana,
Jl. Adi Sucipto, Penfui – Kupang 85001, Telp. (0380) 881084,
herusutedjo@gmail.com*

ABSTRAK

Setiap spesies ternak memiliki suatu zona nyaman fisiologis, yaitu keadaan dimana pelepasan energi berada pada tingkat minimal, konstan dan bebas dari pengaruh suhu lingkungan. Bila suhu lingkungan meningkat dan menyebabkan tambahan beban panas yang berlebihan bagi ternak maka ternak akan berusaha mempertahankan keseimbangan panas tubuhnya dengan melakukan perubahan-perubahan tingkah laku, pola konsumsi pakan dan air serta perubahan fisiologis tertentu. Cekaman panas secara konsisten menyebabkan penurunan konsumsi pakan dan peningkatan konsumsi air. Di samping itu, cekaman panas juga berdampak pada fisiologi ternak baik melalui pengaruh langsungnya maupun pengaruh tidak langsung sebagai akibat penurunan konsumsi pakan. Perubahan-perubahan fisiologis akibat cekaman panas meliputi perubahan pencernaan zat makanan dan metabolisme, peningkatan produksi radikal bebas, penurunan konsentrasi Na⁺, K⁺ dan Cl⁻, peningkatan konsentrasi cortisol dan penurunan thyroxine, peningkatan potensi terjadinya alkalosis dan, pada akhirnya, berpengaruh buruk terhadap tanggapan kekebalan termediasi sel maupun tanggapan kekebalan humoral.

Kata kunci: cekaman panas, konsumsi, perubahan fisiologis

ABSTRACT

Each farm animal species has its own physiological comfort zone, in which energy expenditure was at minimal level, constant and independent of ambient temperature. When ambient temperature increased and resulted in excessive amount of heat load, animal would try to maintain body thermal balance by modifying behavior, feed and water intake pattern, and certain physiological processes. Heat stress consistently resulted in decreased feed intake and increased water intake. Besides that, heat stress also has effects on animal physiology both through its direct effect and indirect effect due to decreased feed intake. Physiological changes due to heat stress included changing in nutrients digestibility and metabolism, increased production of free radicals, decreased concentration of Na⁺, K⁺ and Cl⁻, increased concentration of cortisol and decreased concentration of thyroxine, increased risk of alkalosis and, eventually, affected the responses of cell mediated immunity and humoral immunity.

Keywords: heat stress, intake, physiological changes

PENDAHULUAN

Variabel iklim utama yang secara langsung mempengaruhi ternak adalah suhu, kelembaban, kecepatan angin dan radiasi. Di samping itu, fotoperiode juga penting pada beberapa spesies ternak sebab berpengaruh pada berbagai aspek reproduksi dan fungsi biologis lainnya. Kombinasi dari variabel-

variabel iklim tersebut menciptakan iklim yang spesifik yang mempengaruhi produktivitas ternak. Iklim bisa bervariasi berdasarkan pada interaksi antar variabel iklim dan perubahannya bisa terjadi setiap saat, harian maupun musiman.

Setiap spesies, bangsa atau kategori ternak lainnya, memiliki zona nyaman (*comfort zone*), yang berkaitan dengan fisiologisnya. Dalam zona tersebut pelepasan energi berada pada tingkat minimal, konstan dan bebas dari pengaruh suhu lingkungan. Di luar zona tersebut, ternak akan mengalami kesulitan untuk memelihara keseimbangan panas tubuhnya. Pada keadaan ini, ternak memerlukan energi untuk mengaktifkan termoregulasi dan akibatnya lebih sedikit energi yang tersedia untuk proses produksi (Bianca, 1976).

Secara sederhana termoregulasi didefinisikan sebagai instrumen yang digunakan ternak untuk mempertahankan suhu tubuhnya. Di dalamnya tercakup keseimbangan antara penambahan panas, baik panas metabolis maupun panas dari lingkungan, dan kehilangan panas. Panas metabolis mencakup panas untuk pemeliharaan tubuh ditambah

panas dari gerakan, pertumbuhan, kebuntingan dan mengkonsumsi pakan. Semakin tinggi tingkat kegiatan ini akan semakin besar panas yang dihasilkan dari metabolisme. Di samping panas yang diperoleh dari metabolisme, tubuh ternak juga bisa memperoleh panas dari lingkungan.

Bila mengalami cekaman panas atau berada di luar zona nyaman, ternak memodifikasi tingkah lakunya, khususnya konsumsi, fungsi fisiologis dan metabolisme serta kuantitas dan kualitas produksinya. Tetapi bila keadaan ini berkepanjangan maka ternak akan mengaktifkan mekanisme aklimatisasi. Sedangkan populasi ternak yang mengalami perubahan-perubahan iklim yang signifikan selama beberapa generasi akan mengadopsi perubahan fitur genetik dan fenotipik, melalui adaptasi genetik.

PENGETIAN DAN PENGUKURAN CEKAMAN PANAS

Cekaman adalah suatu kondisi yang muncul ketika secara mendadak ternak menghadapi perubahan-perubahan dalam lingkungannya. Cekaman bisa terjadi akibat dari berbagai faktor dan suhu merupakan salah satu diantaranya. Peningkatan suhu lingkungan bisa menyebabkan peningkatan pertambahan panas melebihi panas yang dilepas dari tubuh dan bisa menyebabkan cekaman panas pada ternak.

Secara lebih rinci, Lara dan Rostagno (2003) menyatakan bahwa cekaman panas merupakan hasil dari keseimbangan negatif antara jumlah energi netto yang dilepaskan tubuh ternak ke lingkungan dan jumlah energi panas yang dihasilkan oleh ternak. Ketidakseimbangan ini bisa disebabkan oleh variasi dari kombinasi faktor-faktor lingkungan (seperti cahaya matahari, irradiasi thermal, suhu, kelembaban dan kecepatan angin) dan karakteristik ternak (seperti spesies, tingkat metabolisme dan mekanisme termoregulasi).

Rumus untuk menaksir tingkat cekaman panas biasanya menggunakan suhu lingkungan dan kelembaban relatif, dan disebut sebagai indeks suhu-kelembaban (Temperature-

Humidity Index = THI) (LPHSI, 1990; Marai dkk., 2001). Bila suhu diukur dan dinyatakan dalam °F (derajat Fahrenheit), maka rumus THI adalah sebagai berikut (LPHSI, 1990):

$$THI = db \text{ } ^\circ F - \{(0.55 - 0.55 RH)(db \text{ } ^\circ F - 58)\}$$

Dimana db °F adalah suhu bola kering dalam °F dan RH adalah kelembaban relatif (RH%)/100. Nilai yang diperoleh dengan rumus tersebut akan mengindikasikan hal berikut ini: Nilai < 82 = tidak terjadi cekaman panas; 82 sampai < 84 = cekaman panas tingkat sedang; 84 sampai < 86 = cekaman panas yang parah dan di atas 86 = cekaman panas yang sangat parah (LPHSI, 1990).

Jika suhu dinyatakan dalam °C (derajat Celcius) maka rumus di atas berubah sebagai berikut

$$THI = db \text{ } ^\circ C - \{(0.31 - 0.31 RH)(db \text{ } ^\circ C - 14.4)\}$$

Dimana db °C adalah suhu bola kering dalam °C dan RH adalah kelembaban relatif (RH%)/100. Nilai yang diperoleh dengan menggunakan rumus terakhir ini menunjukkan hal sebagai berikut: < 22,2 = tidak terjadi cekaman panas; 22,2 sampai < 23,3 = cekaman panas tingkat sedang; 23,3 sampai < 25,6 =

cekaman panas yang parah dan 25.6 atau lebih dkk., 2001).
= cekaman panas yang sangat parah (Marai

PERUBAHAN-PERUBAHAN FISIOLOGIS SELAMA CEKAMAN PANAS

Bila ternak mengalami cekaman panas maka neuron-neuron yang sensitif terhadap suhu, yang menempati seluruh badan ternak akan mengirimkan informasi ke hipotalamus, yang memicu sejumlah perubahan fisiologi, anatomi atau tingkah laku dalam upaya untuk mempertahankan keseimbangan panas (Curtis, 1983).

Sejumlah perubahan-perubahan fisiologis terjadi dalam sistem pencernaan, kimia asam-basa dan hormon dalam plasma darah selama cuaca panas. Sebagian perubahan tersebut merupakan tanggapan terhadap penurunan asupan nutrisi, tetapi kebanyakan perubahan terjadi sebagai akibat kesulitan yang dialami ternak untuk mempertahankan suhu tubuhnya. Pada bagian ini akan dibahas secara ringkas perubahan-perubahan fisiologis yang terjadi selama ternak mengalami cekaman panas.

Konsumsi dan pencernaan pakan

Banyak data hasil penelitian menunjukkan bahwa cekaman panas menyebabkan perubahan tingkah laku, konsumsi air serta konsumsi dan pencernaan pakan baik pada ternak ruminansia maupun unggas. Ternak yang terpapar pada suhu lingkungan yang tinggi akan meningkatkan upaya untuk melepaskan panas tubuh. Hal ini mengakibatkan peningkatan respirasi, suhu tubuh dan konsumsi air dan menurunkan konsumsi pakan. Tambahan beban panas yang lebih tinggi diperoleh ternak akibat *specific dynamic action*, yang menyertai metabolisme makanan. Tambahan panas ini akan lebih tinggi bila kualitas pakan buruk dan berserat kasar tinggi (Marai dkk., 2001). Faktor-faktor seperti kehilangan air, ketidakseimbangan nutrisi dan defisiensi nutrisi bisa memperburuk pengaruh cekaman panas.

Pada kondisi suhu tinggi, unggas mengubah tingkah laku dan mengaktifkan *thermoregulasi* untuk menurunkan suhu tubuh dalam rangka mempertahankan homeostasis

fisiologi. Pada umumnya, jenis-jenis unggas yang berbeda akan memberikan reaksi yang sama terhadap cekaman panas, meskipun terdapat variasi dalam intensitas dan lamanya tanggapan antar individu unggas (Lara dan Rostagno, 2013). Hasil penelitian Mack dkk. (2013) menunjukkan bahwa unggas yang mengalami cekaman panas menggunakan lebih sedikit waktu untuk makan, lebih banyak waktu untuk minum dan *panting*, lebih banyak waktu untuk mengembangkan sayap, lebih sedikit waktu untuk bergerak dan berjalan serta lebih banyak waktu untuk beristirahat.

West (2003) melaporkan bahwa selama cekaman panas ternak sapi menunjukkan penurunan konsumsi pakan, penurunan aktivitas, mencari naungan dan angin, peningkatan respirasi, peningkatan aliran darah tepi dan berkeringat. Tanggapan-tanggapan ini berpengaruh negatif baik pada produksi maupun pada status fisiologis sapi.

Penurunan konsumsi akibat cekaman panas juga dilaporkan pada ternak domba. Setelah terpapar pada cekaman panas, domba Croix, Karakul, dan Rambouillet mengalami penurunan konsumsi bahan kering secara signifikan (Monty dkk., 1991). Hal yang sama juga terjadi pada domba Sardinian dan Comisana. Di samping itu, Konsumsi bahan kering per kg berat hidup lebih rendah dan kebutuhan hidup pokok lebih tinggi (Nardon dkk., 1991). Konsumsi pakan harian dan angka konversi juga secara signifikan menurun pada domba Suffolk pada kondisi suhu 30,5°C, dibandingkan dengan kelompok domba yang berada di bawah naungan (19,3°C) selama musim semi (Padua dkk., 1997).

Marai dkk. (1997, 2000) melaporkan bahwa waktu merumput domba dari jam 11.00 – 15.00 secara signifikan lebih rendah dibandingkan dari jam 07.00 – 11.00 dan dari jam 15.00 – 19.00 di musim dingin (11,4 – 20,1°C) daripada di musim panas (18,9 – 35,4°C). Hasil ini menyarankan sebaiknya pengembalaan kambing atau domba

dilakukan selama periode cuaca yang sejuk pada pagi atau sore hari.

Pencernaan merupakan proses penghancuran dan pelarutan pakan agar dapat diserap oleh ternak. Hasil penelitian menunjukkan daya cerna bahan kering, protein kasar, ekstrak eter serta energi dan energi metabolis ransum menurun bila ternak terpapar suhu tinggi (Marai dkk., 2001).

Namun demikian hasil penelitian lainnya menunjukkan hasil yang tidak konsisten. Conrad (1985) menemukan bahwa kemampuan ruminansia untuk mencerna hijauan meningkat pada suhu yang lebih hangat dan menurun pada lingkungan yang lebih dingin. Sedangkan Weginer dan Stein (1992) melaporkan daya cerna dan degradasi nutrisi dalam rumen domba jantan Merino secara signifikan lebih tinggi pada suhu lingkungan tinggi dan kelembaban relatif rendah (35°C dan kelembaban 50%), daripada pada suhu lingkungan lebih rendah tetapi kelembaban relatif tinggi (30°C dan kelembaban 60%). Demikian juga Shafie dkk. (1994) menemukan bahwa daya cerna bahan kering, bahan organik, protein kasar, dan bahan ekstrak tiada N sedikit lebih tinggi pada domba jantan yang dipelihara pada suhu 35°C. Akan tetapi Murad dkk. (1994) melaporkan suatu peningkatan suhu lingkungan dari 18 menjadi 35°C tidak mempunyai pengaruh yang signifikan pada daya cerna zat-zat makanan pada domba lokal Mesir, kecuali untuk serat kasar dari ransum dengan kadar hijauan tinggi.

Suhu lingkungan dapat mempengaruhi daya cerna pakan dengan mengubah volume saluran gastro-intestinal dan laju lewatnya digesta melalui sistem pencernaan. Penurunan laju lewatnya atau peningkatan waktu retensi digesta dapat meningkatkan daya cerna (Conrad, 1985). Shafie dkk. (1994) menunjukkan bahwa domba jantan yang terkena cekaman panas karena dipelihara pada suhu 35°C memiliki volume rumen dan suhu rumen secara signifikan lebih tinggi, tetapi kapasitas *buffering* rumen, jumlah protozoa, konsentrasi total asam lemak terbang dan ammonia-N secara signifikan lebih rendah sedangkan pH tidak terpengaruh.

Secara ringkas, domba yang terpapar cekaman panas mengalami perubahan-perubahan dalam fungsi biologi. Perubahan-perubahan tersebut mencakup penurunan dalam konsumsi dan pemanfaatan pakan, gangguan dalam metabolisme protein, energi dan keseimbangan mineral, reaksi-reaksi enzim, sekresi hormon dan metabolit dalam darah. Pengaruh yang merugikan seperti ini bisa semakin buruk bila pakan yang diberikan terutama mengandung hijauan berserat kasar tinggi. Oleh sebab itu, pemberian pakan pada domba di daerah yang beriklim panas sebaiknya dilakukan pada saat cuaca sejuk pada pagi atau sore hari dan pakan yang diberikan berserat kasar rendah (Marai dkk., 2006).

Metabolisme

Suhu lingkungan yang tinggi dapat berpengaruh buruk pada struktur dan fisiologi sel-sel, menyebabkan gangguan pada transkripsi, pemrosesan asam ribosa nukleat, metabolisme oksidatif, serta struktur dan fungsi membran (Iwagami, 1996). Sel-sel menghasilkan sejumlah kecil radikal bebas atau Spesies Oksigen Reaktif (SOR) selama proses metabolisme normal. Meskipun sejumlah kecil SOR dibutuhkan dalam banyak proses biokimia, tetapi akumulasi SOR bisa merusak molekul-molekul makro biologis seperti lipida, protein, karbohidrat dan asam deoksiribosa nukleat (Mates dkk., 1999). Faktor-faktor eksternal seperti trauma panas, infeksi, radiasi dan racun dapat menyebabkan peningkatan radikal bebas dan SOR lainnya, yang pada akhirnya dapat menyebabkan cekaman oksidatif (Halliwell dkk., 1992).

Selanjutnya, Altan dkk. (2003) menunjukkan bahwa cekaman panas meningkatkan peroksidasi lipida, yang berasosiasi dengan produksi radikal bebas dalam jumlah besar, yang dapat menginisiasi peroksidasi asam lemak tak jenuh ganda (*polyunsaturated fatty acids*). Cekaman panas bisa menyebabkan peningkatan produksi ion-ion dari logam transisi (*transition metal ions*), yang akan dapat menyumbangkan elektron-elektron ke oksigen untuk membentuk

superoksida atau H_2O_2 . Selanjutnya H_2O_2 ini akan menghasilkan radikal OH yang sangat reaktif dan, pada gilirannya, dapat menyebabkan cekaman oksidatif (Agarwal dan Prabhakaran, 2005).

Cekaman panas pada ternak yang sedang laktasi menyebabkan penurunan drastis dalam konsumsi pakan berserat kasar tinggi, motilitas usus dan ruminasi, yang pada gilirannya menyebabkan penurunan produksi asam lemak terbang. Disamping itu, cekaman panas bisa menyebabkan perubahan dalam nisbah asetat:propionate dan penurunan pH rumen (Collier dkk., 1982). Konsentrasi elektrolit, khususnya Na^+ dan K^+ , menurun dalam cairan rumen dari sapi yang mengalami cekaman panas. Penurunan Na^+ dan K^+ berkorelasi dengan kehilangan Na^+ dalam urin dan kehilangan K^+ pada kulit dan penurunan aldosterone serta peningkatan prolaktin plasma (Collier dkk., 1982).

Peningkatan pelepasan panas selama cekaman panas bisa menyebabkan kehilangan elektrolit melalui keringat, saliva, polypnea dan urin. Keadaan ini bisa menjurus pada penurunan konsentrasi Na^+ , K^+ dan Cl^- plasma (Coppock dkk., 1982). Schneider dkk. (1984) melaporkan bahwa cekaman panas pada sapi perah yang sedang laktasi menyebabkan kehilangan serum Na^+ dan K^+ secara signifikan. West (1999) juga melaporkan penurunan yang serupa dalam konsentrasi elektrolit pada sapi perah yang terpapar cekaman panas.

Ternak yang tercekam panas, khususnya sapi yang sedang laktasi, bisa mengalami ketosis metabolis karena input energi tidak akan mencukupi kebutuhan energi dan, dengan demikian, mempercepat katabolisme lemak tubuh sehingga mengakumulasi jasad-jasad ketone (*ketone bodies*), jika jasad-jasad keton tersebut tidak segera diekskresikan secara cepat (Dale dan Brody, 1954). Jasad-jasad ketone ini menghabiskan cadangan alkali darah, dan berpotensi mengarah pada alkalosis pernafasan. Cekaman panas mengubah penggunaan protein ransum dan katabolisme protein tubuh (Ames dkk., 1980).

Hormonal

Beberapa hasil penelitian menyingkapkan bahwa perubahan hormonal sering terjadi pada ternak yang mengalami cekaman panas. Namun demikian, kadang-kadang sangat sulit untuk memisahkan pengaruh cekaman panas dan pengaruh penurunan konsumsi bahan kering ransum pada perubahan hormonal tersebut. Di bawah ini dibahas secara ringkas perubahan hormonal yang terjadi akibat cekaman panas.

a) Glucokortikosteroid

Telah diketahui bahwa *stressor* (pemicu cekaman) lingkungan tertentu memiliki potensi untuk mengaktifkan poros Hipotalamus-Pituitari-Adrenal bagian cortex (HPA) dan poros Simpatetik-Adrenal bagian Medulla (SAM). Minton (1994) mengamati adanya peningkatan dalam konsentrasi cortisol dan corticosterone plasma dan kadang-kadang peningkatan konsentrasi epinephrine dan norepinephrine plasma pada ternak yang mengalami cekaman panas.

Silnikove (2000) menyatakan bahwa aktivasi wilayah pre-optik menstimulasi hipotalamus untuk melepaskan *corticotrophin-releasing factor*, yang bekerja pada pituitari anterior untuk melepaskan hormon adrenocorticotropic. Ini akan menstimulasi korteks adrenal untuk menghasilkan glucocorticosteroids (terutama cortisol). Aktivasi poros HPA dan konsekuensi peningkatan konsentrasi cortisol plasma merupakan tanggapan yang paling menonjol dari ternak, yang terpapar cekaman panas. Sekresi cortisol menstimulasi penyesuaian fisiologi, yang memungkinkan ternak untuk menyesuaikan diri terhadap cekaman yang disebabkan oleh lingkungan panas (Christison dan Johnson, 1972). Cortisol plasma bisa meningkat dalam 20 menit setelah terpapar cekaman panas yang akut, dan mencapai puncak dalam 2 jam (Christison dan Johnson, 1972). Cortisol plasma meningkat secara mencolok ketika sapi terpapar secara akut pada suhu lingkungan yang tinggi dan menurun selama fase kronis (Habeeb dkk., 1992). Namun Muller dkk. (1994) menemukan bahwa sapi-sapi betina yang berada di tempat teduh pada kondisi musim panas di daerah

Afrika Selatan yang beriklim laut tengah (*mediterranean climate*), mempertahankan konsentrasi cortisol plasma yang rendah, dengan suhu rektal dan tingkat respirasi yang rendah, selama periode cekaman panas puncak. Keadaan ini mengindikasikan bahwa sapi-sapi betina sensitif terhadap cekaman panas bahkan pada lingkungan beriklim sedang, dan bahwa konsentrasi cortisol basal bisa meningkat pada sapi-sapi betina yang mengalami cekaman panas secara kronis jika cekaman panas semakin intensif.

Collins dan Weiner (1968) menyatakan bahwa reaksi awal dari ternak terhadap cekaman panas akut lebih merupakan tanggapan emosional daripada tanggapan pengaturan panas. Namun pada cekaman panas akut yang parah, aksi hyperglisemia dari cortisol sangat dibutuhkan untuk mencukupi penggunaan glukosa yang meningkat. Oleh sebab itu dapat disimpulkan bahwa penurunan aktivitas cortisol plasma pada cekaman panas kronis mengindikasikan adaptasi terhadap cekaman, sedangkan peningkatan konsentrasi cortisol di atas tingkat basal pada ternak yang secara kronis terpapar pada beban panas merupakan suatu indikasi bahwa ternak mengalami cekaman.

b) Hormon thyroid

Lobus anterior dari kelenjar pituitari menghasilkan hormon thyrotropin, yang terutama bekerja pada kelenjar thyroid untuk menghasilkan thyroxin (T4) dan triiodothyronine (T3). Kedua hormon ini mempengaruhi proses-proses seluler yang berbeda, terutama aktivitas pengaturan panas, yang mencakup sekitar 50% dari tingkat metabolisme basal pada ternak normal (Habeeb dkk., 1992). Faktor-faktor cekaman fisik tertentu cenderung menghambat sekresi dari kelenjar thyroid (Habeeb dkk., 1992). Cekaman panas menyebabkan konsentrasi T4 dan T3 dalam plasma darah menurun hingga 25% (Magdub dkk., 1982; Beede dan Collier, 1986). Tanggapan ini lebih lambat daripada tanggapan untuk cortisol, dan membutuhkan waktu beberapa hari bagi T4 dan T3 untuk mencapai tingkat normal yang baru (Kamal dan Ibrahim, 1969). Penyesuaian kembali

tanggapan thyroid adalah kronis dan, sebagai akibatnya, aktivitas thyroid pada musim panas lebih rendah daripada musim dingin (Habeeb dkk., 1992). Perubahan-perubahan pada aktivitas thyroid ini konsisten dengan penurunan tingkat metabolisme, konsumsi pakan, dan pertumbuhan serta produksi susu pada ternak yang mengalami cekaman panas (Beede dan Collier, 1986).

Dari fakta di atas tampak bahwa penurunan aktivitas thyroid mencerminkan ternak yang mengalami kesulitan untuk beradaptasi dengan lingkungannya, sedangkan peningkatan cortisol mencerminkan ternak mengalami cekaman. Konsekuensinya, bisa disimpulkan bahwa kenyamanan ternak yang konsentrasi cortisolnya meningkat jauh lebih buruk daripada ternak dengan penurunan aktivitas kelenjar thyroid.

Perubahan hormonal juga teramati pada sapi perah yang terpapar suhu tinggi. Tetapi seringkali sulit untuk memisahkan apakah perubahan hormonal tersebut akibat pengaruh konsumsi bahan kering yang menurun atau akibat pengaruh langsung dari suhu yang tinggi (West, 2003). McGuire dkk. (1991) melaporkan bahwa somatotropin plasma cenderung menurun akibat cekaman panas tetapi pembatasan konsumsi bahan kering tidak menyebabkan perbedaan, sedangkan konsentrasi triiodothyronine menurun akibat cekaman panas dan pembatasan konsumsi.

Penurunan triiodothyronine dan thyroxine juga terjadi pada sapi perah yang terpapar suhu lingkungan yang tinggi (Johnson dkk., 1988; Magdub dkk., 1982). Sapi perah yang dikategorikan penghasil susu rendah, medium dan tinggi memiliki suhu susu yang lebih tinggi selaras dengan meningkatnya produksi (Igono dkk., 1988) dan konsentrasi somatotropin susu menurun secara signifikan ketika THInya melebihi 70. Diduga penurunan ini diakibatkan oleh penurunan produksi hormon untuk menurunkan produksi panas metabolis. Penurunan konsentrasi hormon-hormon metabolis utama selaras dengan peningkatan cekaman panas adalah logis dan barangkali mencerminkan upaya sapi perah untuk menurunkan produksi panas metabolis.

Perubahan hormonal pada unggas akibat cekaman panas dilaporkan oleh Lara dan Rostagno (2013) yang merangkum beberapa hasil penelitian. Suhu lingkungan yang tinggi mengubah aktivitas sistem neuroendokrin unggas menyebabkan aktivasi poros HPA, dan meningkatkan konsentrasi corticosterone plasma.

Suhu tubuh dan aktivitas metabolis diatur oleh hormon-hormon thyroid, yaitu triiodothyronin (T3) dan thyroxin (T4), serta keseimbangan antara keduanya. Hasil penelitian terbaru melaporkan bahwa konsentrasi T3 secara konsisten berkurang pada kondisi suhu tinggi (Mack dkk., 2013; Elnagar dkk., 2010; Star dkk., 2008; Geraert dkk., 1996; Yahav dan Hurwitz, 1996) sedangkan perubahan konsentrasi T4 yang disebabkan oleh cekaman panas tidak konsisten. Ada penelitian yang melaporkan konsentrasi T4 menurun (Bobek dkk., 1980), meningkat (Elnagar dkk., 2010; Cogburn dan Freeman, 1987) atau tidak ada perubahan (Mack dkk., 2013; Mitchell dkk., 1992).

Karena thyroid berpengaruh pada permulaan pubertas dan fungsi reproduksi pada unggas, maka gangguan pada aktivitas thyroid akibat cekaman panas bisa mempengaruhi performa reproduksi ayam ((Elnagar dkk., 2010). Apalagi, temuan yang dilaporkan oleh Geraert dkk. (1996) mengindikasikan bahwa perubahan endokrinologi akibat cekaman panas kronis pada broiler menstimulasi akumulasi lipida melalui peningkatan lipogenesis *de novo*, penurunan lipolisis, dan peningkatan katabolisme asam amino.

Kimia asam-basa darah

Umumnya cekaman panas menyebabkan perubahan kimia asam-basa darah sebagai akibat perubahan sistem penyejukan dari konduksi, konveksi, dan radiasi ke evaporasi (Kibler dan Brody, 1950). *Panting* dan keringat meningkat akibat semakin meningkatnya ketergantungan pada penyejukan evaporasi. *Panting* secara mencolok meningkatkan kehilangan CO₂ melalui ventilasi paru-paru (*pulmonary ventilation*), menurunkan konsentrasi asam karbonat darah dan mengubah keseimbangan kritis dari asam

karbonat dan bikarbonat yang penting untuk mempertahankan pH darah, yang pada akhirnya bisa menyebabkan alkalosis pernafasan (Benjamin, 1981). Kompensasi untuk alkalosis pernafasan mencakup peningkatan ekskresi bikarbonat dalam urin (Benjamin, 1981), yang mengarah pada penurunan konsentrasi bikarbonat darah. Sapi perah yang tercekam panas mengalami peningkatan suhu rektal dan pernafasan, yang semakin diperburuk jika sapi perah tersebut menerima bST (Cole dan Hansen, 1993). Sapi perah yang menerima bST selama musim panas di Georgia memiliki suhu susu lebih tinggi, dan mengalami penurunan pCO₂ yang signifikan, kelebihan bikarbonat dan basa darah (West dkk., 1991).

Schneider dkk. (1988) melaporkan bahwa sapi perah yang terpapar pada cekaman panas menunjukkan variasi diurnal dalam pH darah dan tingkat bikarbonat darah, yang berubah selaras dengan perubahan suhu rektal dan tingkat pernafasan sapi tersebut. Kimia asam-basa sapi perah menunjukkan kisaran yang luas dari alkalosis sampai asidosis terkompensasi selama periode 24 jam ketika sapi tersebut melakukan kompensasi untuk kondisi alkalosis, yang disebabkan oleh hiperventilasi, mengekskresikan bikarbonat melalui urin sehingga menyebabkan asidosis metabolis selama periode malam hari ketika udara lebih sejuk. Di samping itu, sapi kehilangan potasium dalam jumlah yang cukup besar melalui keringat dan jumlah kehilangan tersebut meningkat selaras dengan peningkatan volume keringat (Jenkinson dan Mabon, 1973).

Sistem kekebalan

Banyak penelitian yang telah dilakukan untuk menyingkapkan bagaimana cekaman panas mempengaruhi tanggapan kekebalan pada ternak. Pengaturan tanggapan kekebalan oleh sistem syaraf pusat dimediasi oleh jaringan yang kompleks yang bekerja secara dua arah antara syaraf, endokrin dan sistem kekebalan. Poros HPA dan poros SAM merupakan lintasan utama yang mengatur perubahan tanggapan kekebalan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa limfosit, monosit atau makrofag, dan granulosit

merupakan reseptor bagi banyak produk-produk neuroendokrin dari poros HPA dan SAM, seperti kortisol dan catecholamine, yang dapat mempengaruhi transportasi seluler, proliferasi, sekresi sitokinin, produksi antibodi dan aktivitas sitolitik. Topik ini telah banyak direviu. Namun pengetahuan terus berkembang dan menyediakan penjelasan-penjelasan baru tentang interaksi antara syaraf, endokrin dan sistem kekebalan.

Tanggapan kekebalan termediasi sel

Karena *stressor* berasosiasi dengan peningkatan sirkulasi konsentrasi glucocorticoid, maka *stressor* juga berkorelasi dengan penurunan fungsi sel-sel sistem kekebalan. Blecha dkk.(1984) menemukan bahwa ketika sapi terpapar pada kondisi yang menyebabkan cekaman, tanggapan proliferaatif limfosit terhadap concanavalin A (Con A) menurun. Suhu lingkungan yang tinggi menyebabkan perubahan fungsi dan metabolisme sel dan jaringan termasuk sel-sel sistem kekebalan. Pada kondisi seperti ini, pemberian antioksidan terbukti bermanfaat untuk meningkatkan fungsi kekebalan (Victor dkk., 1999).

Fungsi sel kekebalan berasosiasi dengan produksi SOR (Goldstone dan Hunt, 1997). Akan tetapi produksi SOR yang berlebihan akibat dari cekaman panas memberikan pengaruh negatif pada sel-sel sistem kekebalan. Ketika terpapar cekaman oksidatif, *polymorphonuclear leucocytes* (PMNs) mengubah pola konsumsi oksigennya secara mencolok dan pada saat yang sama melepaskan sejumlah besar anion superoksida ke dalam lingkungan sel. PMNs berfungsi sebagai mediator peristiwa penghancuran jaringan pada penyakit-penyakit inflamasi seperti radang sendi, *myocardial reperfusion injury* dan *respiratory distress syndrome* (Sharma dkk., 2002).

Ayam broiler yang tercekam panas menunjukkan penurunan tanggapan antibodi, penurunan kemampuan fagositosis dari makrofag (Bartlett dan Smith, 2003; Niu dkk., 2009), penurunan makrofag fagosit, penurunan makrofag basal dan terjadinya ledakan oksidatif (*oxidative burst*) (Quinteiro-Filho

dkk., 2010; Quinteiro-Filho dkk., 2012). Hasil penelitian lainnya menunjukkan bahwa cekaman panas dapat mengubah tingkat sel-sel yang bersirkulasi. Telah pula teramati bahwa cekaman panas menyebabkan peningkatan dalam nisbah heterofil : limfosit, akibat penurunan jumlah limfosit yang bersirkulasi dan lebih tingginya jumlah heterofil (Felver-Gant dkk., 2012; Prieto dkk., 2010).

Tanggapan kekebalan humoral

Tanggapan kekebalan humoral ternyata juga dipengaruhi cekaman panas. Stott dkk.(1976) menemukan bahwa cekaman panas menurunkan serum IgG1 pada pedet, yang berasosiasi dengan peningkatan konsentrasi cortisol. Dengan demikian, lingkungan panas yang ekstrem dapat mempengaruhi resistensi pedet sapi perah terhadap penyakit (Kumar dkk., 2011).

Hal serupa juga dilaporkan terjadi pada ayam broiler. Bartlett dan Smith (2003) menemukan bahwa broiler yang terkena cekaman panas mempunyai kadar total antibodi yang bersirkulasi lebih rendah, demikian juga kadar IgM dan IgG spesifik lebih rendah, baik selama tanggapan humoral pertama maupun tanggapan humoral kedua. Lebih jauh lagi, mereka menemukan penurunan bobot thymus, bursa, limpa dan hati yang signifikan. Aengwanich (2008) juga menunjukkan kejadian penurunan bobot bursa pada broiler yang tercekam panas, dan penurunan jumlah limfosit pada daerah korteks dan medulla dari bursa.

Beberapa penelitian pada ayam pedaging dan petelur, yang dilakukan untuk menyelidiki pengaruh cekaman panas pada tanggapan kekebalan, pada umumnya menunjukkan bahwa cekaman panas berpengaruh negatif terhadap kekebalan, meskipun penelitian-penelitian tersebut menggunakan variabel pengukuran yang berbeda (Lara dan Rastagno, 2013). Misalnya berat thymus dan limpayang relatif lebih rendah ditemukan pada ayam petelur yang mengalami cekaman panas (Ghazi dkk., 2012); penurunan berat organ lymphoid juga dilaporkan pada ayam pedaging yang mengalami cekaman panas (Quinteiro-Filho, 2010; Bartlett dkk., 2003; Niu dkk., 2009). Di samping itu, Felver-Gant dkk.(2012)

mengamati penurunan berat hati pada ayam petelur yang tercekam panas kronis.

Ketika tubuh unggas berusaha mempertahankan homeostasis thermalnya pada kondisi lingkungan yang menyebabkan cekaman maka akan terjadi peningkatan SOR. Akibatnya, tubuh memasuki fase cekaman oksidatif, dan mulai menghasilkan serta

melepaskan *heat shock proteins* (HSP) untuk mencoba melindungi dirinya dari pengaruh seluler yang merugikan dari SOR (Droge, 2002). Kadar HSP70 yang lebih tinggi ditemukan pada ayam broiler dan layer yang mengalami cekaman panas (Felver-Gantdkk., 2012; St-Pierre dkk., 2003).

SIMPULAN

Cekaman panas bisa berakibat pada penurunan waktu mengkonsumsi pakan, jumlah konsumsi pakan dan peningkatan konsumsi air baik pada ternak ruminansia maupun unggas. Pencernaan zat makanan juga terpengaruh meskipun pengaruhnya bersifat inkonsisten sebab sebagian hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan suhu lingkungan menyebabkan peningkatan daya cerna zat makanan sedangkan hasil penelitian lainnya menunjukkan sebaliknya. Cekaman panas ternyata juga menyebabkan perubahan metabolisme. Produksi radikal bebas dan SOR cenderung meningkat. Di samping itu, juga terjadi penurunan konsentrasi elektrolit plasma, terutama Na^+ , K^+ dan Cl^- .

Perubahan hormonal yang tercatat adalah peningkatan konsentrasi kortisol dan penurunan thyroxine. Sedangkan pengaruh cekaman panas terhadap konsentrasi triiodothyronin bersifat tidak konsisten. Berkaitan dengan perubahan kimia asam-basa darah, cekaman panas menyebabkan peningkatan pembuangan CO_2 dan penurunan konsentrasi asam karbonat darah, yang bisa menyebabkan alkalosis. Kompensasi alkalosis adalah peningkatan ekskresi asam bikarbonat darah sehingga ketika suhu lingkungan menurun, seperti pada malam hari, ternak bisa mengalami asidosis. Selanjutnya, cekaman panas juga berpengaruh buruk terhadap tanggapan kekebalan termediasi sel maupun tanggapan kekebalan humoral.

DAFTAR PUSTAKA

- Aengwanich W. 2008. Pathological changes and the effects of ascorbic acid on lesion scores of bursa of Fabricius in broilers under chronic heat stress. *Res. J. Vet. Sci.*, 1:62-66.
- Agarwal A, Prabhakaran SA. 2005. Mechanism, measurement and prevention of oxidative stress in male reproductive physiology. *Ind. J. Exp. Biol.*, 43:963-974.
- Altan O., Pabuccuoglu A., Alton A., Konyalioglu S, Bayraktar H. 2003. Effect of heat stress on oxidative stress, lipid peroxidation and some stress parameters in broilers. *Br. Poult. Sci.*, 4:545-550.
- Ames DR, Brink DR, Williams CL. 1980. Adjusting protein in feedlot diet during thermal stress. *J. Anim. Sci.*, 50:1.
- Bartlett JR, Smith MO. 2003. Effects of different levels of zinc on the performance and immunocompetence of broilers under heat stress. *Poult. Sci.*, 82:1580-1588.
- Beede DK, Collier JR. 1986. Potential nutritional strategies for intensively managed cattle during heat stress. *J. Anim. Sci.* 62:543-550.
- Benjamin MM. 1981. *Fluid and electrolytes*. In Outline of Veterinary Clinical Pathology. Iowa State Univ. Press, Ames.
- Bianca W. 1976. *Thermoregulation*. In: Hafez, E.S.E. (Ed.), *Adaptation of Domestic Animals*. Lea and Febiger, Philadelphia, PA, pp. 97-118, Chapter 7.
- Blecha F, Boylesdan SL, Riley JG. 1984. Shipping suppresses lymphocyte blastogenic responses in Angus and Brahmin Cross Angus feeder calves. *J. Anim. Sci.*, 59:576.

- Bobek, S, Niezgodna J, Pietras M, Kacinska M, Ewy Z. 1980. The effect of acute cold and warm ambient temperatures on the thyroid hormone concentration in blood plasma, blood supply, and oxygen consumption in Japanese quail. *Gen. Comp. Endocrinol.*, 40: 201–210.
- Christison GI, Johnson HD. 1972. Cortisol turnover in heat-stressed cows. *J. Anim. Sci.* 53:1005–1010.
- Cogburn LA, Freeman RM. 1987. Response surface of daily thyroid hormone rhythms in young chickens exposed to constant ambient temperature. *Gen. Comp. Endocrinol.*, 68:113–123.
- Cole JA, Hansen PJ. 1993. Effects of administration of recombinant bovine somatotropin on the responses of lactating and nonlactating cows to heat stress. *J. Amer. Vet. Med. Assoc.* 203:113–117.
- Collier RJ, Beede DK, Thatcher WW, Israel LA, Wilcox LS. 1982. Influences of environment and its modification on dairy animal health and production. *J. Dairy Sci.* 65:2213–2227.
- Collins KH, Weiner HS. 1968. Endocrinological aspects of exposure to high environmental temperature. *Physiol. Rev.* 48:785–794.
- Conrad JH. 1985. *Feeding of farm animals in hot and cold environments*. In: Yousef, M.K. (Ed.), *Stress Physiology in Livestock*. CRC Press, Inc., Boca Raton, Florida, U.S.A., Place, Corvallis, OR 97330, USA.
- Coppock CE, Grant PA, Portzer SJ. 1982. Lactating dairy cow responses to dietary sodium, chloride, bicarbonate during hot weather. *J. Dairy Sci.*, 65:566.
- Curtis SE. 1983. *Environmental Management in Animal Agriculture*. Ames, IA., The Iowa State Univ. Press.
- Dale HE, Brody S. 1954. Thermal stress and acid-base balance in dairy cattle. *Missouri Agric. Exp. Stn. Res. Bull.* 562.
- Droge W. 2002. Free radicals in the physiological control of cell function. *Physiol. Rev.*, 82:47–95.
- Elnagar SA., Scheideler SE and Beck MM. 2010. Reproductive hormones, hepatic deiodinase messenger ribonucleic acid, and vasoactive intestinal polypeptide-immunoreactive cells in hypothalamus in the heat stress-induced or chemically induced hypothyroid laying hen. *Poult. Sci.*, 89:2001–2009.
- Felver-Gant JN, Mack LA, Dennis RL, Eicher SD, Cheng HW. 2012. Genetic variations alter physiological responses following heat stress in 2 strains of laying hens. *Poult. Sci.*, 91:1542–1551.
- Geraert PA, Padilha JC, Guillaumin S. 1996. Metabolic and endocrine changes induced by chronic heat exposure in broiler chickens: biological and endocrinological variables. *Br. J. Nutr.*, 75:205–216.
- Ghazi SH, Habibian M, Moeini MM, Abdolmohammadi AR. 2012. Effects of different levels of organic and inorganic chromium on growth performance and immunocompetence of broilers under heat stress. *Biol. Trace Elem. Res.*, 146:309–317.
- Goldstone SD, Hunt NH. 1997. Redox regulation of the mitogen activated protein kinase pathway during lymphocyte activation. *Biochem. Biophys. Acta.*, 1355:353–360.
- Habeeb AAM, Marai IFM, Kamal TH. 1992. *Heat stress*. In: Phillips, C., Piggins, D. (Eds.), *Farm Animals and the Environment*. CAB International, Wallingford, UK, pp. 27–47.
- Halliwell B, Gutteridge JMC, Cross CE. 1992. Free radicals, antioxidants and human diseases: Where are we now? *J. Lab. And Clin. Med.*, 119(6):598–620.
- Igono MO, Johnson HD, Steevens BJ, Hainen WA, Shanklin MD. 1988. Effect of season on milk temperature, milk growth hormone, prolactin, and somatic cell counts of lactating cattle. *Int. J. Biometeorol.* 32:194–200.
- Iwagami Y. 1996. Changes in the ultrasonic of human cells related to certain biological responses under hyperthermic culture conditions. *Human Cell.* 9:353–366.
- Jenkinson DM, Mabon RM. 1973. The effects of temperature and humidity on skin surface pH and the ionic composition of

- skin secretions in Ayrshire cattle. *Br. Vet. J.* 129:282–295.
- Johnson HD, Katti PS, Hahn L, Shanklin MD. 1988. Short-term heat acclimation effects on hormonal profile of lactating cows. *Missouri Agri. Exp. Sta. Bul.* 1061. Columbia.
- Kamal I, Ibrahim II. 1969. The effect of natural environment of the Sahara and controlled climate on thyroid gland activity in Friesian cattle and water buffaloes. *Int. J. Biometeorol.* 13:275–285.
- Kibler HH, Brody S. 1950. Environmental physiology with special reference to domestic animals. X. Influence of temperature, 5° to 95°F, on evaporative cooling from the respiratory and exterior surfaces in Jersey and Holstein cows. *Missouri Agr. Exp. Sta. Res. Bul.* 461. Columbia.
- Kumar S, Kumar Ajeet BV, Meena K. 2011. Review effect of heat stress in tropical livestock and different strategies for its amelioration. *J. Stress Physiol. & Biochem.*, Vol. 7 (1):45-54.
- Lara LR, Rostagno MH. 2013. Impact of heat stress on poultry production. *Animals*, 3, 356-369
- LPHSI. 1990. *Livestock and Poultry Heat Stress Indices Agriculture Engineering Technology Guide*. Clemson University, Clemson, SC 29634, USA.
- Mack LA, Felver-Gant JN, Dennis RL, Cheng. 2013. Genetic variation alter production and behavioral responses following heat stress in 2 strains of laying hens. *Poult. Sci.* 92:285–294.
- Magdub A, Johnson HD, Belyea RL. 1982. Effect of environmental heat and dietary fiber on thyroid physiology of lactating cows. *J. Dairy Sci.* 65:2323–2331.
- Marai IFM, El-Darawany AA, Fadiel A, Abdel-Hafez MAM. 2006. Physiological traits as affected by heat stress in sheep - A review. *Small Ruminant Research*, 71 (2007): 1–12
- Marai IFM, Bahgat LB, Shalaby TH, Abdel-Hafez MA. 2000. Fattening performance, some behavioural traits and physiological reactions of male lambs fed concentrates mixture alone with or without natural clay, under hot summer of Egypt. *Ann. Arid Zone* 39 (4):449–460.
- Marai IFM., Ayyat MS and Abd El-Monem UM. 2001. Growth performance and reproductive traits at first parity of New Zealand White female rabbits as affected by heat stress and its alleviation, under Egyptian conditions. *Trop. Anim. Health Prod.* 33:457–462.
- Marai IFM., Shalaby TH., Bahgat L and Abdel-Hafez MA. 1997. Fattening of lambs on concentrates mixture diet alone without roughages or with addition of natural clay under subtropical conditions of Egypt. Growth performance and behaviour. In: *Proceedings of International Conference on Animal Production & Health, Dokki, Cairo, Egypt.*
- McGuire MA, Beede DK, Collier RJ, Buonomo FC, DeLorenzo MA, Wilcox CJ, Huntington GB, Reynolds CK. 1991. Effects of acute thermal stress and amount of feed intake on concentrations of somatotropin, insulin-like growth factor (IGF)-I and IGF-II, and thyroid hormones in plasma of lactating Holstein cows. *J. Anim. Sci.* 69:2050–2056.
- Minton JE. 1994. Function of the HPA axis and Sympathetic nervous system in models of acute stress in domestic farm animals. *J. Anim. Sci.*, 72:1891.
- Mitchell MA, Carlisle AJ. 1992. The effects of chronic exposure to elevated environmental temperature on intestinal morphology and nutrient absorption in the domestic fowl (*Gallus domesticus*). *Comp. Biochem. Physiol. A Comp. Physiol.*, 101:137–142.
- Monty DE, Kelly LM, Rice WR. 1991. Acclimatization of St. Croix, Karakul and Rambouillet sheep to intense and dry summer heat. *Small Rumin. Res.* 4 (4):379–392.
- Muller CJC, Botha JA, Coetzer WA, Smith WW. 1994. Effect of shade on various parameters of Friesian cows in a Mediterranean climate in South Africa. 2.

- Physiological responses. *South Afric. J. Anim. Sci.* 24:56–60.
- Murad HM, El-Bedawy TM, Shafiedan MM, Salem SM. 1994. Effect of heat stress and dietary roughage level on rumen function, nutrient utilization and water turnover by native Egyptian sheep, Egypt. *J. Anim. Prod.* 31 (Suppl.), 361–371.
- Nardon A, Ronchi B, Valentini A. 1991. Effects of solar radiation on water and food intake and weight gain in Sarda and Comisana female lambs. In: *Animal Husbandry in Warm Climates*, vol. 55. *EAAP Publication*, pp. 149–150.
- Niu ZY, Liu FZ, Yan QL, Li WC. 2009. Effects of different levels of vitamin E on growth performance and immune responses of broilers under heat stress. *Poult. Sci.*, 88:2101–2107.
- Padua JT, Dasilva RG, Bottcher RW, Hoff SJ. 1997. Effect of high environmental temperature on weight gain and food intake of Suffolk lambs reared in a tropical environment. In: *Proceedings of 5th International Symposium, Bloomington, Minnesota, USA*, pp. 809–815.
- Prieto MT, Campo JL. 2010. Effect of heat and several additives related to stress levels on fluctuating asymmetry, heterophil:lymphocyte ratio, and tonic immobility duration in White Leghorn chicks. *Poult. Sci.*, 89:2071–2077.
- Quinteiro-Filho WM, Ribeiro A, Ferraz-de-Paula V, Pinheiro ML, Sakai M, As LR, Ferreira AJ, Palermo-Neto J. 2010. Heat stress impairs performance parameters, induces intestinal injury, and decreases macrophage activity in broiler chickens. *Poult. Sci.*, 89:1905–1914.
- Quinteiro-Filho WM, Gomes AV, Pinheiro ML, Ribeiro A, Ferraz-de-Paula V, Astolfi-Ferreira CS, Ferreira AJ, Palermo-Neto J. 2012. Heat stress impairs performance and induces intestinal inflammation in broiler chickens infected with *Salmonella* Enteritidis. *Avian Pathol.*, 41:421–427.
- Schneider PL, Beede DK, Wilcox CJ. 1988. Nycterohemeral patterns of acid-base status, mineral concentrations and digestive function of lactating cows in natural or chamber heat stress environments. *J. Anim. Sci.* 66:112–125.
- Schneider DL, Beede DK, Wilcox CJ, Collier RJ. 1984. Influence of dietary sodium bicarbonate and potassium carbonate on heat stressed lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 67:2546–2553.
- Shafie MM, Murad HM, El-Bedawy TM, Salem SM. 1994. Effect of heat stress on feed intake, rumen fermentation and water turnover in relation to heat tolerance response by sheep, Egypt. *J. Anim. Prod.* 31 (2):317–327.
- Sharma RN, Bhardwaj A, Behera D, Khanderja KL. 2002. Oxidative burden and antioxidant defense system in polymorphonuclear cells of human lung diseases. *Ind. J. Biochem. Biophys.* 39:124–129.
- Silanikove N. 2000. Effects of heat stress on the welfare of extensively managed domestic ruminants. *Livestock Production Science* 67:1–18.
- Star L, Decuypere E, Parmentier HK, Kemp B. 2008. Effect of single or combined climatic and hygienic stress in four layer lines: 2. Endocrine and oxidative stress responses. *Poult. Sci.*, 87:1031–1038.
- Stott GH, Wiersma F, Menefee BE, Radwanski FR. 1976. Influence of environment on passive immunity in calves. *J. Dairy Sci.* 59:1306–1311.
- St-Pierre NR, Cobanov B, Schnitkey G. 2003. Economic losses from heat stress by US livestock industries. *J. Dairy Sci.*, 86(E. Suppl.): E52–E77.
- Victor VM, Guayerbas N, Garrote D, Del Riodan M, De La Fuente M. 1999. Modulation of murine macrophage function by NAcetyl cytosine in a model of endotoxic shock. *Biofactors*. 5:234.
- Weniger JH, Stein M. 1992. Influence of environmental temperature and humidity on nutrient digestibility of sheep. 1. Aims, experimental procedure and digestibility. *Zuchtungskunde* 64 (2):148–155.

- West JW. 2003. Effects of heat-stress on production in dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 86:2131–2144.
- West JW. 1999. Nutritional strategies for managing the heat stressed dairy cows. *J. Anim. Sci.* 77 (2):21-35.
- West JW, Mullinix BG, Sandifer TG. 1991. Changing dietary electrolyte balance for dairy cows in cool and hot environments. *J. Dairy Sci.* 74:1662–1674.
- Yahav S, Hurwitz S. 1996. Induction of thermotolerance in male broiler chickens by temperature conditioning at an early age. *Poult. Sci.*, 75:402–406