

การตอบสนองทางสรีรวิทยาต่อความเครียดเนื่องจากความร้อน ในโคนมที่มีจีโนไทป์ที่แตกต่างกันของยีน HSP70-2

Physiological responses to heat stress on differential genotypes of HSP70-2 in dairy cattle

ทัตสปร ศิริภักดิ์¹ และ สุภร กตเวทิน^{1*}

Tatsaporn Siripug¹ and Suporn Katawatin¹

บทคัดย่อ: โพรตีน HSP70-2 ได้รับการยอมรับว่าเป็นตัวบ่งชี้ความเครียดเนื่องจากความร้อน การทดลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการตอบสนองทางสรีรวิทยาต่อความเครียดเนื่องจากความร้อนในโคนมที่มีรูปแบบจีโนไทป์ของยีน HSP70-2 ต่างกัน โดยใช้โคนมลูกผสมโฮลสไตน์ฟริเซียนเพศเมีย จำนวน 32 ตัว อายุ 2-3 ปี น้ำหนักตัวเฉลี่ย 266 ± 5.6 กก. เลี้ยงในคอกกลางแจ้งที่มีหลังคาบางส่วน เก็บตัวอย่างเลือดเพื่อศึกษารูปแบบจีโนไทป์ของยีน HSP70-2 ด้วยเทคนิค Polymerase chain reaction - restriction fragment length polymorphism (PCR-RFLP) บันทึกค่าอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ของสภาพแวดล้อม และวัดการตอบสนองทางสรีรวิทยา ได้แก่ อุณหภูมิทวารหนัก อัตราการหายใจ อัตราการขับเหงื่อ อัตราการเต้นของหัวใจ อุณหภูมิผิวหนัง และสัดส่วนเม็ดเลือดขาวนิวโทรฟิลต่อลิมโฟไซต์ ที่เวลา 06.00, 14.00, 18.00 และ 22.00 น. ผลการศึกษาพบว่าจากโคทดลองทั้งหมด 32 ตัว พบโคที่มีรูปแบบจีโนไทป์ AA 14 ตัว จีโนไทป์ AB 18 ตัว แต่ไม่พบโคจีโนไทป์ BB โคแต่ละกลุ่มมีการตอบสนองทางสรีรวิทยาเพิ่มขึ้นเมื่อค่าดัชนีอุณหภูมิความชื้น (THI) เพิ่มขึ้น แต่ค่า THI ของสภาพแวดล้อมในแต่ละเวลาไม่ส่งผลให้อุณหภูมิทวารหนัก อัตราการหายใจ อัตราการขับเหงื่อ อัตราการเต้นของหัวใจ อุณหภูมิผิวหนัง และสัดส่วนเม็ดเลือดขาวนิวโทรฟิลต่อลิมโฟไซต์ของโคจีโนไทป์ AA และ AB แตกต่างกัน ($P > 0.05$) เมื่อติดตามการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิทวารหนักในช่วงเวลา 22.00 ซึ่งมีค่า THI ลดลง พบว่าโคจีโนไทป์ AA มีอุณหภูมิทวารหนักลดลง ในขณะที่โคจีโนไทป์ AB ยังคงมีอุณหภูมิทวารหนักสูง จากผลการศึกษาครั้งนี้ยังไม่พบการตอบสนองทางสรีรวิทยาต่อความเครียดเนื่องจากความร้อนที่ต่างกันระหว่างโคที่มีจีโนไทป์ HSP70-2 แตกต่างกัน แต่โคจีโนไทป์ AA มีแนวโน้มที่แสดงถึงการฟื้นตัวจากผลกระทบจากความร้อนได้ดีกว่าโคจีโนไทป์ AB

คำสำคัญ: การทนร้อน, รูปแบบจีโนไทป์, ความแตกต่างทางพันธุกรรม, Hsp70-2

ABSTRACT: HSP70-2 is well accepted as an indicator of heat stress. The purpose of this study was to investigate the physiological responses to heat stress of differential genotypes of HSP70-2 in dairy cattle. Thirty two female Holstein Friesian (HF) crossbred heifers, 2-3 years of age, 266 ± 5.6 kg body weight were placed outdoor with partial roof. Blood samples were collected to do genotyping of HSP70-2 using polymerase chain reaction-restriction fragment length polymorphism (PCR-RFLP) technique. Ambient temperature, relative humidity and physiological responses, including rectal temperature, respiration rate, sweating rate, pulse rate, skin temperature, and N/L ratio were examined at 06.00, 14.00, 18.00 and 22.00. Genotyping revealed that there were 14 and 18 heifers with genotypes AA and AB, respectively. Physiological responses of both genotype AA and AB heifers were increased according to the increase of THI. However, the changes in rectal temperature, respiration rate, sweating rate, heart rate, skin temperature and N / L ratio at each point of THI between heifers of genotype AA and AB were not different ($P > 0.05$). However, at 22.00h when THI reduced from the previously elevated, the rectal temperature of heifers with genotype AA went down ($P < 0.05$) while heifers with genotype AB did not. In conclusion, this study could not confirm the different in physiological responses between heifers of two genotype of HSP70-2 but there was tendency that heifers with AA genotypes recovering from the impact of heat stress on rectal temperature better than those with genotype AB.

Keywords: heat tolerant, genotypes, genetic variation, Hsp70-2

¹ ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น จังหวัดขอนแก่น 40002

Department of Animal Science, Faculty of Agriculture, KhonKaen University, KhonKaen, 40002

* Corresponding author E-mail: supkat@kku.ac.th

บทนำ

ปัญหาความเครียดเนื่องจากความร้อน (heat stress) ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการผลิตโคนมทั้งด้านผลผลิต เช่น ปริมาณน้ำนมลดลง (Ravagnolo et al., 2000) และลดความสมบูรณ์พันธุ์ (Sartori et al., 2004) แนวทางการแก้ปัญหาที่ยั่งยืนคือการคัดเลือกและปรับปรุงพันธุ์โคนมให้มีความสามารถในการทนร้อน และให้ผลผลิตดีซึ่งการศึกษาการตอบสนองทางสรีรวิทยาต่อความเครียดเนื่องจากความร้อนของโคนมเป็นอีกหนึ่งแนวทางที่จะนำไปสู่องค์ความรู้ของตัวสัตว์ในการคัดเลือกและปรับปรุงพันธุกรรมของลักษณะการทนต่อความเครียดเนื่องจากความร้อนของโคนม

โคที่มีความสามารถในการทนร้อนต่างกันมีการตอบสนองทางสรีรวิทยาแตกต่างกัน อุณหภูมิทวารหนักเป็นตัวบ่งชี้การตอบสนองต่อความเครียดเนื่องจากความร้อนและการรักษาสมดุลความร้อนในร่างกายโคได้ (Hansen, 2004) เมื่อโคได้รับความร้อนจากสภาพแวดล้อมที่มีอุณหภูมิสูงส่งผลให้อุณหภูมิทวารหนักเพิ่มขึ้น โคต้องพยายามรักษาสมดุลอุณหภูมิในร่างกายด้วยการเพิ่มการระบายความร้อน ได้แก่ การเพิ่มอัตราการหายใจ (respiration rate: RR) อัตราการขับเหงื่อ (sweating rate: SR) และอุณหภูมิผิวหนัง (skin temperature: ST) (Johnson, 1985) โคที่มีความสามารถในการควบคุมอุณหภูมิทวารหนักภายหลังการเผชิญกับสภาวะเครียดเนื่องจากความร้อนให้กลับเข้าสู่ค่าปกติ ได้เร็วกว่าถือว่าเป็นโคที่ทนร้อนได้ดีกว่าโคที่นำอุณหภูมิร่างกายกลับมาได้ช้ากว่าเมื่ออุณหภูมิสภาพแวดล้อมลดลง (Muller and Botha, 1993) นอกจากการตอบสนองทางสรีรวิทยาแล้ว สัดส่วนเม็ดเลือดขาวชนิดนิวโทรฟิลต่อชนิดลิมโฟไซต์ (N/L ratio) ยังสามารถใช้เป็นตัวบ่งชี้สภาวะเครียดของโคได้ (Stull and McDonough, 1994)

ภายใต้สภาวะเครียดจากความร้อน เซลล์มีการสร้างโปรตีนกลุ่ม Heat shock protein (HSPs) โดย

เฉพาะ HSP70 เพื่อรักษาโครงสร้างของโปรตีนในเซลล์ ช่วยให้โปรตีนในเซลล์ที่เสียหายมีวนพับตัวให้กลับมาสภาพปกติ และช่วยยับยั้งการตายของเซลล์ (Kregel, 2002) ยีนที่ทำหน้าที่ควบคุมการสังเคราะห์โปรตีน HSP70 ได้แก่ HSP70-2 ซึ่งแสดงออกเมื่อถูกกระตุ้นด้วยความเครียดเนื่องจากความร้อน จึงอาจมีความสัมพันธ์กับการทนร้อนในระดับเซลล์ของโคได้ การศึกษาลำดับนิวคลีโอไทด์ของยีน HSP70-2 ในโคพื้นเมืองและในโคนมลูกผสมไฮลันด์เฟรเชียนซึ่งมีการทนร้อนต่างกันพบว่าโคทั้งสองกลุ่มมีรูปแบบจีโนไทป์แตกต่างกัน จึงอาจเป็นไปได้ที่รูปแบบจีโนไทป์ของยีน HSP70-2 ในโคจะมีความเกี่ยวข้องกับความสามารถในการทนร้อน (จุฬานี้อยู่และคณะ 2555) ดังนั้นการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการตอบสนองทางสรีรวิทยาต่อความเครียดเนื่องจากความร้อนในโคนมที่มีรูปแบบจีโนไทป์ของยีน Hsp70-2 ที่แตกต่างกัน โดยโคแต่ละรูปแบบจีโนไทป์อาจแสดงลักษณะการทนร้อนที่สัมพันธ์กับรูปแบบจีโนไทป์ที่สามารถใช้เป็นแนวทางหรือตัวบ่งชี้ในการคัดเลือกและปรับปรุงพันธุ์ให้มีความทนต่อสภาวะความเครียดเนื่องจากความร้อนได้

วิธีการศึกษา

สัตว์ทดลอง

โคสาวเพศเมียลูกผสมไฮลันด์เฟรเชียน อายุ 2-3 ปี ระดับเลือด 85-95% น้ำหนักตัวเฉลี่ย 266 ± 5.6 กก. จำนวน 32 ตัว จากสถานีทดลองและฝึกอบรมเกษตรกรรมร้อยเอ็ด มหาวิทยาลัยขอนแก่น นำมาศึกษาการตอบสนองทางสรีรวิทยาต่อความเครียดเนื่องจากความร้อนในเดือน มีนาคม 2555 โดยจัดกลุ่มโคนมตามลักษณะจีโนไทป์เข้าเลี้ยงในคอกกลางแจ้ง มีหลังคาปกคลุมบางส่วน ให้อาหาร 2 ช่วงเวลา คือ 07.00 และ 16.00 น. มีน้ำให้ดื่มตลอดเวลา

การตรวจรูปแบบจีโนไทป์

ตรวจรูปแบบจีโนไทป์ของยีน HSP70-2 ที่ตำแหน่ง Hp3 (ลำดับเบส 614-862) (จุฬานี้อยู่และคณะ

2555) ด้วยเทคนิค PCR-Restriction Fragment Length Polymorphism (PCR-RFLP) ดังนี้ เจาะเก็บตัวอย่างเลือดที่เส้นเลือดดำบริเวณหาง นำมาสกัดดีเอ็นเอและตรวจวัดปริมาณดีเอ็นเอด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์และเพิ่มปริมาณชิ้นส่วนยีน HSP70-2 ตามวิธีการของ จุฬานีย์ และคณะ(2555) จากนั้นชิ้นส่วนยีนมาตัดด้วยเอ็นไซม์ตัดจำเพาะ Hpy188I ตรวจรูปแบบจีโนไทป์ด้วย 2 % Agarose gel บันทึกภาพแถบ DNA ภายใต้แสง UV และกำหนดรูปแบบของจีโนไทป์

การตอบสนองทางสรีรวิทยาต่อความเครียดจากความร้อน

บันทึกข้อมูล RT, RR, SR, PR และ ST ณ เวลา 06.00, 14.00 และ 18.00 น. และบันทึกข้อมูล RT, RR และ PR เพิ่มเติม ณ เวลา 22.00 น. เพื่อติดตามการฟื้นตัวของร่างกายหลังสภาวะเครียดเนื่องจากความร้อน บันทึกอุณหภูมิกระเปาะเปียกและกระเปาะแห้งของสภาพแวดล้อมเพื่อคำนวณค่าดัชนีอุณหภูมิความชื้นสัมพัทธ์ (THI)

การวัดค่า RT (°C) ใช้เทอร์โมมิเตอร์แบบดิจิตอล (Micro life Model รุ่น MT-1611) สอดเข้าทวารหนักให้โอบชิดผนังด้านบนทวารหนัก วัดซ้ำ 2 ครั้งวัด RR (BPM) โดยสังเกตการเคลื่อนไหวของสวบ จับเวลา 30 วินาที วัดซ้ำ 3 ครั้งวัด SR ($\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}^{-1}$) ตามวิธีการของ Schlegel and Turner (1965) โดยใช้กระดาษกรองอิมมูบิลด้วย 10% cobalt chloride แนบกับผิวหนังโคจับเวลาการเปลี่ยนสีของกระดาษ (s) และคำนวณเป็นอัตราการขับเหงื่อ ดังสมการ $\text{Sweating rate } (\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}^{-1}) = 3.84 \times 10^4 / \text{s}$ วัด PR (BPM) โดยนับจังหวะการเต้นของเส้นเลือดบริเวณโคนหางเป็นเวลา 30 วินาที วัดซ้ำ 2 ครั้ง วัด ST (°C) บริเวณผิวหนัง 3 จุด โดยใช้ infrared thermometer (TESTO รุ่น 830-T1) ตรวจค่า N/L ratio โดยนำฟิล์มเลือดมาหย้อมด้วยสี Wright-Giemsa solution แยกชนิดของเม็ดเลือดขาวด้วยเครื่องตรวจนับเม็ดเลือดอัตโนมัติ (Sysmex รุ่น Xs-800i)

การวางแผนการทดลอง

ใช้แผนการทดลองที่มีการวัดซ้ำในแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Repeated Measurement in CRD) โดยกำหนดให้รูปแบบจีโนไทป์ AA และ AB ของยีน HSP70-2 เป็นทรีทเมนต์วิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance; ANOVA) ของข้อมูลเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's multiple range test

ผลการศึกษา

รูปแบบจีโนไทป์

การศึกษาค้นคว้าพบว่า โคสาวลูกผสมโฮลส์ไตน์ฟรีเซียนจำนวน 32 ตัว มีรูปแบบจีโนไทป์ของยีน HSP70-2 บริเวณตำแหน่งเบส 614-862 เพียง 2 รูปแบบคือ AA (แถบ DNA1 แถบ ขนาด 250 bp) จำนวน 14 ตัว และ AB (แถบ DNA2 แถบ ขนาด 250 และ 150 bp) จำนวน 18 ตัว (Figure 1) และไม่พบโคที่มีรูปแบบจีโนไทป์ BB

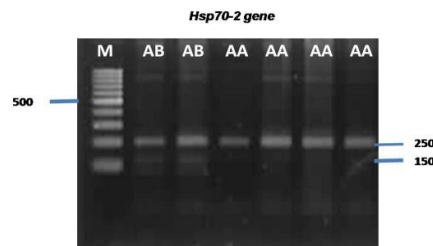


Figure 1 The PCR-RFLP patterns of Hp3 gene for genotypes AA (250 bp) and genotype AB (250, 150 bp)

การศึกษาการตอบสนองทางสรีรวิทยาต่อความเครียดเนื่องจากความร้อน

ค่า THI ของสภาพแวดล้อมมีความแตกต่างกันในแต่ละช่วงเวลา ($P < 0.01$) (Table 1) โคทั้ง 2 จีโนไทป์ไม่พบอิทธิพลร่วมระหว่างค่า THI กับ รูปแบบจีโนไทป์ต่อการตอบสนองทางสรีรวิทยา ($P > 0.05$) จึงพิจารณาการตอบสนองทางสรีรวิทยาในโคแต่ละจีโนไทป์ที่ THI ในแต่ละช่วงเวลาพบว่า โคทั้ง 2 จีโนไทป์มีการตอบ

สนองของ RT, SR, RR, PR, ST, และสัดส่วน N/L ในแต่ละค่า THI ไม่แตกต่างกัน ($P>0.05$) แต่เมื่อพิจารณาการตอบสนองต่อค่า THI ในโคแต่ละจีโนไทป์

พบว่าการตอบสนองของ RT, RR และ ST แตกต่างกัน (Figure 2)

Table 1 Means of Temperature Humidity Index (THI) during experimental period

	Time				SEM
	06.00	14.00	18.00	22.00	
Dry bulb ($^{\circ}\text{C}$)	21.95 ^d	39.48 ^a	35 ^b	30.15 ^c	0.13
Wet bulb	25.54 ^a	25.67 ^a	23.69 ^c	24.53 ^b	0.12
^{1/} THI	74.2 ^d	87.16 ^a	85.12 ^b	79.24 ^c	0.13

^{1/}THI = $0.72 (\text{Tdb} + \text{Twb}) + 40$ (McDowell, 1972)

^{a,b,c,d} Means with different superscripts in row are significantly different ($P<0.01$)

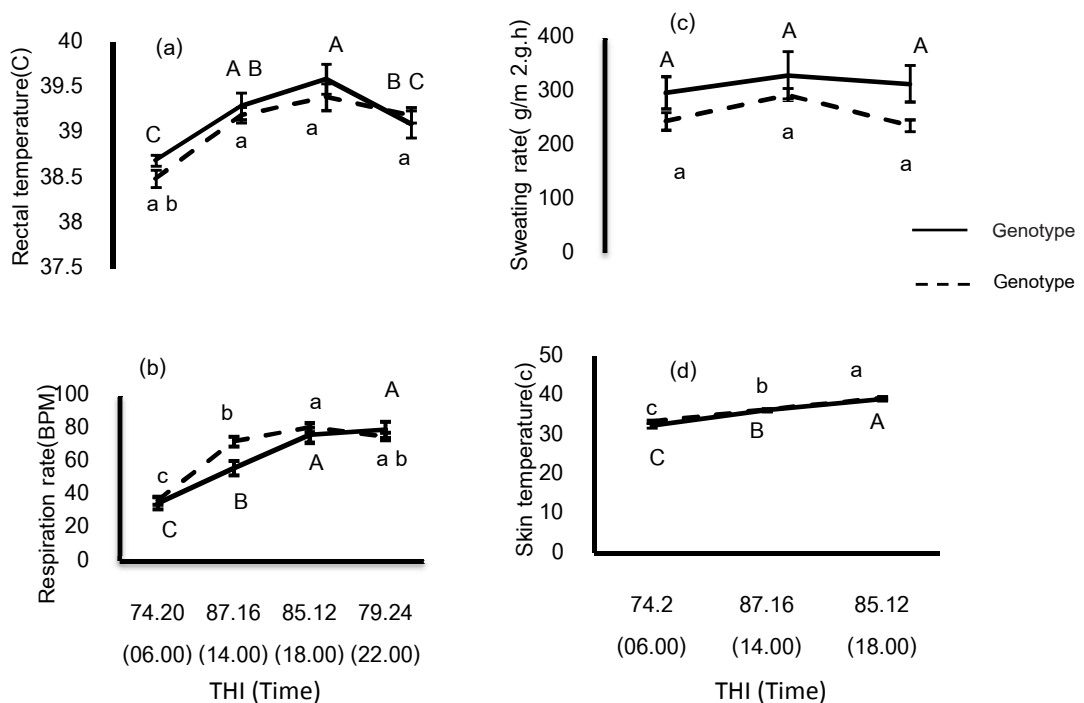


Figure 2 Rectal temperature (a), respiration rate (b), sweating rate(c), and skin temperature (d) according to the changes in THI in cattle genotype AA and genotype AB. Value with different letter on the same line showed significantly different ($P<0.01$)

วิจารณ์

การตอบสนองทางสรีรวิทยาของโคจีโนไทป์ AA และ AB ในแต่ละ THI ไม่มีความแตกต่างกัน ($P>0.05$) ต่างจากการศึกษาของอุทัย และคณะ (2548) ที่พบว่า โคที่นร้อนมีการตอบสนองทางสรีรวิทยาต่างจากโคไม่ทนนร้อน อย่างไรก็ตาม โคจีโนไทป์ AA และ ST AB มีรูปแบบการตอบสนองของ RT, RR และ ต่อค่า THI ของสภาพแวดล้อมต่างกัน

โคจีโนไทป์ AA และ AB ตอบสนองต่อค่า THI ที่สูงขึ้น ด้วยการเพิ่ม RT (Figure 2a) ซึ่งให้เห็นว่า สมดุลอุณหภูมิภายในร่างกายโคถูกรบกวนด้วยอุณหภูมิสภาพแวดล้อมที่เพิ่มขึ้น แต่เป็นที่น่าสนใจว่าโคจีโนไทป์ AA สามารถควบคุมอุณหภูมิร่างกายโดยการลด RT ลงได้ภายหลังการเผชิญกับสภาวะเครียดเนื่องจากความร้อน จึงมีความเป็นไปได้ว่าโคจีโนไทป์ AA อาจทนร้อนมากกว่าโคจีโนไทป์ AB เนื่องจากโคที่มีความสามารถในการควบคุมอุณหภูมิทวารหนักภายหลังการเผชิญกับสภาวะเครียดเนื่องจากความร้อนให้กลับเข้าสู่ค่าปกติได้เร็วถือว่าเป็นโคที่ทนร้อนได้ดีกว่าโคที่นำอุณหภูมิร่างกายกลับมาได้ช้ากว่า (Muller and Botha, 1993)

การเพิ่มอัตราการหายใจ (RR) เป็นกลไกที่ช่วยระบายความร้อนออกจากร่างกายโค (Hahn, 1999) การศึกษานี้พบว่าโคจีโนไทป์ AA และ AB ตอบสนองต่อค่า THI ที่เปลี่ยนแปลงด้วยรูปแบบของ RR ที่แตกต่างกัน โดยค่า THI ที่ลดลงหลังจากเวลา 18.00 ไม่ทำให้ อัตราการหายใจของโคที่มีจีโนไทป์ AA ลดลงแสดงให้เห็นว่าโคจีโนไทป์ AA ยังคงใช้การหายใจเพื่อระบายความร้อนที่สะสมอยู่ภายในร่างกาย (Gaughan et al., 2000) แม้จะไม่ถูกเหนี่ยวนำด้วยอุณหภูมิสภาพแวดล้อมภายนอกส่งผลให้ RT ของโคจีโนไทป์ AA ลดลงด้วย ในขณะที่โคจีโนไทป์ AB เริ่มมีแนวโน้ม RR

ลดลง ทำให้การระบายความร้อนในร่างกายไม่มีประสิทธิภาพพอที่จะทำให้อุณหภูมิกลับเข้าสู่ภาวะปกติได้ (Figure 2b)

อุณหภูมิผิวหนัง (ST) ของโคจีโนไทป์ AA และ AB มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อค่า THI เพิ่มขึ้น และยังคงมีค่าสูงขึ้น แม้ว่า THI จะลดลงในช่วงเย็น (Figure 2d) แสดงให้เห็นถึงการเพิ่มการไหลเวียนของเลือดและการนำความร้อนจากแกนกลางร่างกายไปยังบริเวณผิวหนัง (Cunningham, 2002) นอกจากนี้ Srikanthakumar and Johnson (2004) รายงานว่าอุณหภูมิผิวหนังมีความสัมพันธ์กับการระบายความร้อนออกจากร่างกายด้วยการเพิ่มอัตราการหายใจ และอัตราการขับเหงื่อ แสดงให้เห็นถึงความพยายามลดอุณหภูมิร่างกายลงผ่านทางกระบวนการระบายความร้อนด้วยการระเหย

ผลการศึกษานี้ไม่สามารถชี้ชัดถึงความแตกต่างในการตอบสนองต่อความเครียดเนื่องจากความร้อนของโคทั้ง 2 จีโนไทป์ อย่างไรก็ตาม จากการติดตามดูการฟื้นตัวจากการได้รับผลกระทบของความร้อนจนถึงเวลา 22.00 พบว่าอุณหภูมิร่างกายของโคจีโนไทป์ AA มีค่าลดลงจากช่วงเครียดเนื่องจากความร้อน ในขณะที่โคจีโนไทป์ AB ที่ช่วงเวลาเดียวกันยังมีอุณหภูมิร่างกายสูง แสดงให้เห็นว่า โคจีโนไทป์ AA มีการฟื้นตัวจากผลกระทบของความร้อนได้ดีกว่าซึ่งอาจเกิดขึ้นเนื่องจากจากโคจีโนไทป์ AA มีการระบายความร้อนออกจากร่างกาย (heat dissipation) ได้ดีกว่าโคจีโนไทป์ AB อย่างไรก็ตาม ผลการศึกษายังไม่สามารถสรุปได้เนื่องจากผลของ RR และ SR ไม่แตกต่างกันระหว่างโค 2 กลุ่ม ในขณะเดียวกัน โคจีโนไทป์ AB ที่ช่วงเวลาเดียวกันอุณหภูมิร่างกายยังคงสูงอยู่นั้นแสดงให้เห็นว่ายังมีการสะสมความร้อนในร่างกาย (heat load) ซึ่งอาจทำให้โคจีโนไทป์ AB ได้รับผลกระทบจากความร้อนเป็นเวลานานกว่าโคจีโนไทป์ AA

คำขอบคุณ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยจากสำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.) คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณจากสถานที่ทดลองและฝึกอบรมเกษตรกรมร.ร้อยเอ็ด มหาวิทยาลัยขอนแก่น ที่อนุเคราะห์สัตว์ทดลองและห้องปฏิบัติการเทคโนโลยีชีวภาพมหาวิทยาลัยขอนแก่นที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่ และอุปกรณ์ในการวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- จุฬานีย์ น่วมจิตร, ยุพิน ผาสุข, เทวินทร์ วงษ์พระลับ, และ สุภร กตเวทิน. 2555. การเปรียบเทียบลำดับนิวคลีโอไทด์ยีน HSP70-2 ระหว่างโคพื้นเมืองไทย และไฮลสไต้หวันฟรีเซียน. แก่นเกษตรฉบับพิเศษ 2 : 381-386.
- อุทัย โคตรดก, สุภร กตเวทิน, สุจินต์ สิมารักษ์, มนต์ชัย ดวงจินดา, และยุพิน ผาสุข. 2548. การศึกษาเปรียบเทียบกลไกทางสรีรวิทยาที่เกี่ยวข้องกับการทนร้อนระหว่างโคเขตร้อนและโคเขตหนาว. แก่นเกษตร. 34(4):347-354.
- Cunningham, J.G. 2002. Textbook of Veterinary Physiology 3rded. Elsevier Science Philadelphia, Pennsylvania. USA.
- Gaughan, J.B., S.M. Holt, G.L. Hahn, T.L. Mader and R. Eigenberg. 2000. Respiration rate-Is it a good measure of heat stress in cattle? J. Anim.Sci. 13: 329-332.
- Gebremedhin, K., and B. Wu. 2001. A model of evaporative cooling of wet skin surface and fur layer. J. Thermal Biol. 26: 537-545.
- Hafez, E. S. E. 1968. Behavioral adaptation. In: E. S. E. Hafez, ed., Adaptation of Domestic Animals. Lea and Febiger, Baltimore.
- Hahn, G.L. 1999. Dynamic responses of cattle to thermal heat loads. J. Anim.Sci. 77(suppl.2): 10-20
- Hansen, P.J. 2004. Physiological and cellular adaptations of zebu cattle to thermal stress. Anim.Prod. Sci. 82: 349-360.
- Kregel, K.C. 2002. Molecular biology of thermotolerant invited review: heat shock proteins: modifying factors in physiological stress responses and acquired thermotolerance. J. Appl. Physiol. 92: 12177-12186.
- Ravagnolo, O., I. Miszal, and G. Hoogenboomt. 2000. Genetic component of heat stress in dairy cattle, development of heat index function. J. Dairy Sci. 83: 2120-2125.
- Sartori, R., J.M. Haughian, R.D. Shaver, G.J. Rosa, and M.C. Wiltbank. 2004. Comparison of ovarian function and circulating steroids in estrous cycles of Holstein heifers and lactating cows. J Dairy Sci. 87:905-20.
- Schkeger, A.V., and H.G. Turner. 1965. Sweating rate of cattle in the field and their reaction to diurnal and seasonal changes. Aust.J. Agric.Res. 16:92-106.
- Srikandakumar, A., and E.H. Johnson. 2004. Effect of heat stress on milk production, rectal temperature, respiratory rate and blood chemistry in Holstein, Jersey and Australian Milking Zebu cows. Trop. Anim. Health Prod. 36: 685-692.
- Stull, C. L., and S. P. McDonough. 1994. Multidisciplinary approach to evaluating welfare of veal calves in commercial facilities. J. Anim. Sci. 72:2518 - 2524.