

รูปแบบจีโนไทป์ของยีน HSP 70 ในโคนมต่อการทนความเครียดเนื่องจากความร้อน

ธีรดา หัสนา

ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

บทคัดย่อ

สัมมนาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่าง จีโนไทป์ของยีน HSP70 และการทนความร้อนของโคนม โดยการทบทวนเอกสารที่เกี่ยวข้อง พบว่าโคนมในประเทศไทยมีจีโนไทป์ของยีนที่สร้าง HSP70 มี 2 แบบ คือ AA และ AB โดยความถี่จีโนไทป์ของแบบ AA มากกว่าแบบ AB ทั้งพันธุ์ Sahiwal และ โคนมลูกผสม (Thai Milking Zebu และ Thai Friesian) และจากการศึกษาลักษณะจุลกายวิภาคศาสตร์ของผิวหนังพบว่าความหนาแน่นของต่อมเหงื่อของโคนมที่มีจีโนไทป์แบบ AA (402.17 ต่อม/ตร. ซม.) มีมากกว่าแบบ AB (286.48 ต่อม/ตร. ซม.) ในขณะที่ความยาวและความกว้างของต่อมเหงื่อไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) นอกจากนี้แล้วยังพบว่าโคนมที่มีจีโนไทป์แบบ AA สามารถปรับตัวให้ทนความร้อนได้ดีกว่าโคนมที่มีจีโนไทป์แบบ AB และ BB เมื่อพิจารณาจากค่าอุณหภูมิทวารหนักเฉลี่ย, อัตราการหายใจ และ ค่าสัมประสิทธิ์ความทนร้อน ซึ่งแสดงให้เห็นว่าโคนมที่มีจีโนไทป์แบบ AA สามารถระบายความร้อนออกจากร่างกายได้ดีที่สุด ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า ยีน A เป็นยีนที่มีความสัมพันธ์กับความทนความร้อนในโคนมได้ดีกว่ายีน B เนื่องจากเมื่อเซลล์ถูกกระตุ้นด้วยความร้อน ยีน A จะกระตุ้นให้เซลล์สังเคราะห์ HSP70 เพิ่มมากขึ้นเพื่อช่วยป้องกันเซลล์ไม่ให้เกิดความเสียหายจากความร้อน

คำสำคัญ: รูปแบบจีโนไทป์, ฮีตช็อกโปรตีน 70, การทนความร้อน

บทนำ

ปัจจุบันสภาวะโลกร้อน (Global Warming) ส่งผลกระทบต่อระบบปศุสัตว์ในประเทศไทยเป็นอย่างมาก โดยเฉพาะอุตสาหกรรมการเลี้ยงโคนม อุณหภูมิสภาพแวดล้อมที่สูงขึ้นก่อให้เกิดปัญหาความเครียดเนื่องจากความร้อน (Heat stress) ในโคนม ซึ่งส่งผลกระทบต่อทั้งด้านผลผลิตปริมาณน้ำนมที่ลดลง และส่งผลกระทบต่อระบบสืบพันธุ์ทำให้การฝังตัวของตัวอ่อนลดลง ปัจจุบันเกษตรกรนิยมแก้ปัญหา 2 วิธี 1. การปรับปรุงด้านสิ่งแวดล้อม เช่น การเลือกทำเลที่ตั้งของฟาร์มหรือโรงเรือน ควรเป็นบริเวณที่โปร่ง อากาศสามารถถ่ายเทได้ดี มีการปลูกต้นไม้เพื่อให้อากาศภายในฟาร์ม และเพิ่มจุลินทรีย์ในน้ำ ด้านการจัดการโรงเรือนมีการเพิ่มพัดลมระบายอากาศ (Marcillac Embertson *et al.*, 2009) แต่วิธีนี้มีข้อจำกัดด้านต้นทุนที่สูงและสภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา และเป็นการแก้ปัญหาได้ในระยะสั้นเท่านั้น 2. การปรับปรุงพันธุกรรมของโคนมให้มีลักษณะทนต่อความเครียดเนื่องจากความร้อน (สุพิชา บุญช่วย และคณะ, 2555) วิธีนี้สามารถแก้ปัญหาได้ในระยะยาว แต่ข้อจำกัดในด้านของระยะเวลาเก็บข้อมูลผลผลิตที่นาน เพื่อใช้ในการประเมินพันธุกรรม และต้องอาศัยผู้เชี่ยวชาญหรือผู้มีประสบการณ์ในการประเมินพันธุกรรมเพื่อความแม่นยำ อย่างไรก็ตามปัจจุบันมีการพัฒนาใช้ความรู้ทางอนุพันธุศาสตร์ เข้ามาช่วยค้นหาเครื่องหมายพันธุกรรม (genetic marker) ที่สัมพันธ์กับลักษณะการทนความเครียดเนื่องจากความร้อน เป็นอีกแนวทางที่ช่วยเพิ่มความแม่นยำและลดระยะเวลาในการคัดเลือกโคนม (สุพิชา บุญช่วย และคณะ, 2555) ยีนที่พบว่ามีความสัมพันธ์กับการทนความเครียดเนื่องจากความร้อนใน โคนมคือ ยีนที่สร้าง Heat Shock Protein (HSP) และโคที่มีความสามารถในการทนร้อนที่ต่างกันอาจเกิดจากการมีลำดับนิวคลีโอไทด์ของยีน HSP70 ต่างกัน (จุพานิชย์ น่วมจิตร และคณะ, 2555) ดังนั้นสัมมนาครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างจีโนไทป์ของยีน HSP70 และการทนความร้อนของโคนม ซึ่งจะเป็นประโยชน์ในการคัดเลือกพันธุ์โคนมที่ทนต่อความร้อนได้ต่อไป

ฮีตช็อกโปรตีน (Heat Shock Protein; HSP)

ฮีตช็อกโปรตีน (Heat Shock Protein; HSP) หรือโปรตีนความเครียด (Stress protein) เป็นโปรตีนกลุ่ม แชเพอโรน (chaperone) ซึ่งมีเสถียรภาพสูง พบในเซลล์ของสิ่งมีชีวิตทุกชนิด เนื่องจากค้นพบการทำงานของแชเพอโรนโปรตีนนี้ครั้งแรก จากการกระตุ้นเซลล์ด้วยความร้อนจึงเรียกอีกชื่อหนึ่งว่าฮีตช็อกโปรตีน (heat shock protein; HSP) ฮีตช็อกโปรตีนจะมีการสังเคราะห์เพิ่มมากขึ้นเมื่อเซลล์ถูกกระตุ้นให้เกิดความเครียดเนื่องจากความร้อน (Heat stress) มากกว่าการถูกกระตุ้นให้เกิดความเครียดจากปัจจัยอื่น เช่น การได้รับโลหะหนัก, การได้รับรังสี, ภาวะขาดออกซิเจน, ภาวะขาดเลือด, การอักเสบของเซลล์และการติดเชื้อจุลินทรีย์ (Basirico *et al.*, 2011) โดยฮีตช็อกโปรตีนที่พบในเซลล์ของสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมแบ่งได้ออกเป็น 6 ประเภทตามน้ำหนักโมเลกุล (molecular weights) ตั้งแต่ 10–150 กิโลดาลตัน (kDa) ได้แก่ HSP100, HSP90, HSP70, HSP60, HSP40 และ small HSPs ซึ่ง small HSPs มีน้ำหนักโมเลกุลตั้งแต่ 15-30 กิโลดาล

ตัน เช่น HSP27 โดยฮีตช็อกโปรตีนแต่ละประเภท มีหน้าที่แตกต่างกันไป (วิชาภรณ์ เลิศวิรพล, 2560) ฮีตช็อกโปรตีนที่ได้รับความสนใจและมีการศึกษาความสัมพันธ์กับการทนต่อความร้อนมากที่สุดคือ กลุ่ม HSP70 เนื่องจากไวต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิมากที่สุด

ฮีตช็อกโปรตีน 70 (Heat Shock Protein70; HSP70)

ฮีตช็อกโปรตีนชนิดนี้มีน้ำหนักโมเลกุลเท่ากับ 70 กิโลดาลตัน (kDa) ซึ่งมีโครงสร้างของลำดับนิวคลีโอไทด์ที่มีเสถียรภาพสูงมาก เมื่อสิ่งมีชีวิตเผชิญกับสภาวะแวดล้อมที่มีอุณหภูมิสูงขึ้น จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงภายในเซลล์ เช่น การชะลอกระบวนการสร้างโปรตีนทั่วไปและโปรตีนที่มีอยู่ในเซลล์ตลอดจนสายโพลีเปปไทด์ที่อยู่ระหว่างการม้วนพับตัวเกิดความผิดปกติ ซึ่งนำไปสู่การม้วนพับกลายเป็นโมเลกุลที่ผิดปกติหรือเกิดการเกาะกลุ่มกันเป็นก้อนของโปรตีน ในสภาวะความเครียดเซลล์ของสิ่งมีชีวิตจะกระตุ้นให้สังเคราะห์ HSP โดยเฉพาะ HSP70 เพิ่มมากขึ้น เพื่อช่วยในกระบวนการรักษาโมเลกุลโปรตีนให้เกิดการม้วนพับตัวที่ถูกต้อง ช่วยป้องกันการเกาะกลุ่มกันของโปรตีน ช่วยซ่อมแซมป้องกันเซลล์ไม่ได้รับความเสียหายจากความร้อนให้สามารถกลับมาทำหน้าที่ได้ถูกต้องเหมือนเดิมและทำให้เซลล์สามารถมีชีวิตต่อไปได้ในสภาวะแวดล้อมที่มีอุณหภูมิสูง

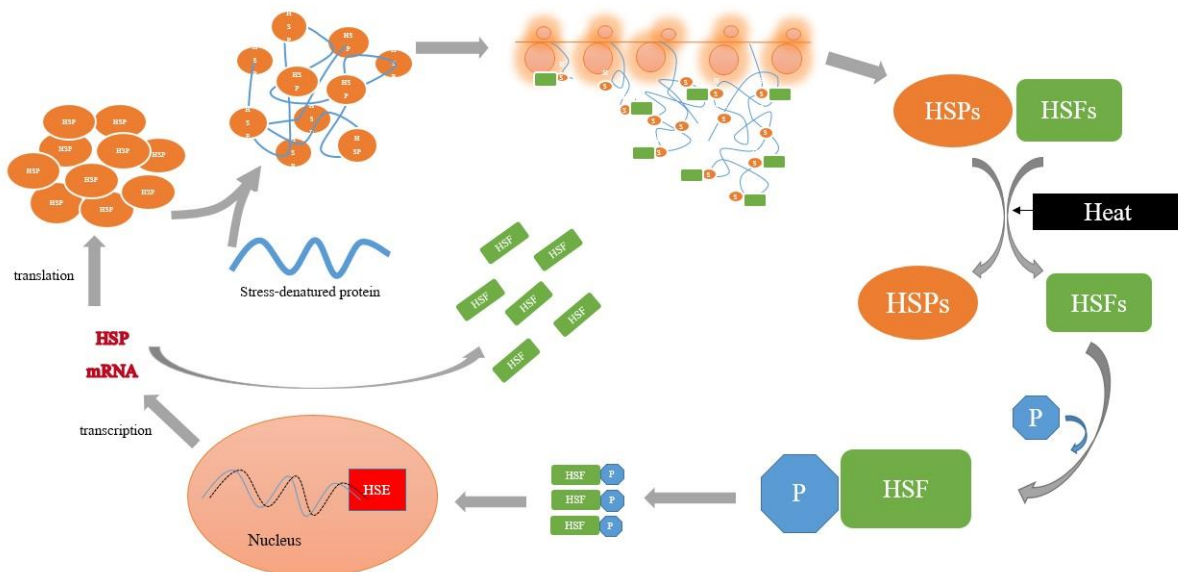
โครงสร้างฮีตช็อกโปรตีน 70

โครงสร้างของโมเลกุลแบ่งออกเป็น 2 ส่วนหลักคือ 1. ATPase domain (ABD) เป็นบริเวณที่อยู่ด้าน N-terminal ของโปรตีน มีขนาดประมาณ 40 kDa 2. Peptide binding domain (PBD) เป็นบริเวณที่อยู่ด้าน C-terminal ของโปรตีน มีขนาดประมาณ 25 kDa ทั้งสองถูกแบ่งด้วย Hinge region โดยปลายด้าน N-terminal จับกับ ATP ส่วนปลายด้าน C-terminal หรือ Carboxyl terminal โดย EEVD domain จับกับซับสเตรท (substrate binding/refolding) แล้วปลายด้าน N-terminal จะถูกกระตุ้นให้เกิด ATP hydrolysis จากนั้นแชเพอโรนอื่น (co-chaperones) อีก 3 ประเภท จะเข้ามาจับและควบคุมการทำงานของ HSP70 ได้แก่ 1. J-domain คือ HSP40 ทำหน้าที่ในการนำสายโพลีเปปไทด์มายังโมเลกุล HSP70 แล้วจับกับส่วนปลายด้าน N-terminal หรือ ATPase domain ใน HSP70 และส่งต่อสายโพลีเปปไทด์มายัง Peptide binding domain ที่อยู่ปลายด้าน C-terminal ของ HSP70. Nucleotide exchange factors ได้แก่ GrpE, Bag-1, HSP110 และ HSPBP1 เป็นโปรตีนที่จับกับ HSP40 และ ADP ทำหน้าที่ดึงเอา HSP40 และ ADP ออกจาก HSP70 ทำให้ HSP70 cycle เกิดขึ้นสมบูรณ์ 3. Tetra-tricopeptide repeat protein ได้แก่ Hop, Hip, Hdj-1 และ CHIP ทำหน้าที่ในการม้วนพับสายโพลีเปปไทด์ใหม่ให้ถูกต้อง (วิชาภรณ์ เลิศวิรพล, 2560)

กลไกการทำงานและหน้าที่ของฮีตช็อกโปรตีน 70

การทำหน้าที่ของ HSP70 ในเซลล์จะมีประสิทธิภาพต้องอาศัยปัจจัย 3 อย่าง ได้แก่ 1. การเพิ่มจำนวน (amplification) และความหลากหลาย (diversification) ของยีนที่ทำหน้าที่สังเคราะห์ HSP70 2. ให้เซ

เพอโรนโปรตีนอื่นช่วยคัดเลือก HSP70 ที่สามารถทำงานได้อย่างเต็มที่ 3. ขึ้นกับการประสานงานของแชนเพอโรนโปรตีนอื่น (co-chaperones) แต่อย่างไรก็ตาม HSP70 จะสามารถทำหน้าที่ได้อย่างมีประสิทธิภาพเมื่อเซลล์เผชิญกับภาวะเครียดเนื่องจากความร้อน (Heat stress) (Krueger *et al.*, 1999) จากกลไกการส่งสัญญาณทางสรีรวิทยา (physiological signals) มากระตุ้นให้สร้าง HSP70 ส่วนใหญ่ถูกกระตุ้นให้สร้างเพิ่มภายใน 30 นาที ถึง 4 ชั่วโมง หลังจากเซลล์ได้รับการกระตุ้นด้วยอุณหภูมิ 37°C ถึง 45°C โดยในไซโทพลาซึมมี Heat shock factors (HSFs) จับกับ Heat shock proteins (HSPs) ในสภาพปกติ HSFs จะอยู่ในภาวะไม่ทำงาน (inactive state) หรืออยู่เป็นอิสระ เมื่อเซลล์ถูกกระตุ้นด้วยความร้อน ส่งผลให้ HSFs อยู่ในภาวะทำงาน (active state) และแยกตัวออกจาก HSPs จากนั้น HSFs ถูกเติมด้วยหมู่ฟอสเฟต (phosphorylation, P) แล้วรวมตัวกันเป็นไตรเมอร์ (trimer) และสร้างเป็น HSF trimer complexes ในไซโทพลาซึม HSF trimer complexes เหล่านี้จะเข้าสู่นิวเคลียส (Nucleus) และจับกับ Heat shock elements (HSE) ที่ตำแหน่ง Promoter region ของยีน HSP70 จากนั้นเกิดกระบวนการ Transcription เป็น mRNA HSP ออกจากนิวเคลียสกลับเข้าสู่ไซโทพลาซึมเกิดกระบวนการ Translation ได้ HSP70 ใหม่จาก (Kregel, 2002) หากในเซลล์มีปริมาณ HSP70 มากเกินไป HSPs จะจับกับ HSFs อิสระเพื่อยับยั้งไม่ให้ไปกระตุ้นการแสดงออกของยีน HSP70 (ภาพที่ 1)



ภาพที่ 1 กลไกการสังเคราะห์และการแสดงออกของ HSP70 คัดแปลงจาก (Kregel, 2002)

ความสัมพันธ์ระหว่างจีโนไทป์กับการทนความร้อนในโคนม

สุพิชฌา บุญช่วย และคณะ (2555) ทำการตรวจสอบความถี่จีโนไทป์ของยีนฮีตช็อกโปรตีน (Heat Shock Protein; HSP) ในโคนม 3 สายพันธุ์ทั้งหมด 359 ตัว ได้แก่ Sahiwal (SW) จำนวน 79 ตัว, Thai Milking

Zebu (TMZ) จำนวน 99 ตัว และ Thai Friesian (TF) จำนวน 181 ตัวในช่วงปี พ.ศ. 2549-2551 ปริมาณผลผลิตน้ำนมรวมเฉลี่ยที่ 305 วัน และวิเคราะห์รูปแบบจีโนไทป์จากตัวอย่างเลือดด้วยเทคนิค Polymerase Chain Reaction Restriction Fragment Polymorphism (PCR-RFLP) จากการศึกษาพบว่าโคนม Sahiwal เป็นโคตระกูลอินเดีย (*Bos indicus*) มีต้นกำเนิดในเขตร้อน จึงมีลักษณะการทนความร้อนเนื่องจากความร้อนมากกว่าโคตระกูลยุโรป (*Bos taurus*) และเมื่อตรวจสอบจีโนไทป์ของโคพันธุ์นี้ พบว่ามีความถี่จีโนไทป์แบบ AA (0.87) มากกว่าโคนมลูกผสมทั้ง 2 พันธุ์ (ดังแสดงข้อมูลในตารางที่ 1) ดังนั้นจึงเป็นหลักฐานที่แสดงให้เห็นยีน A เป็นยีนที่มีความสัมพันธ์กับความทนความร้อนในโคนมได้ดีกว่ายีน B เมื่อเซลล์ถูกกระตุ้นด้วยความร้อน ยีน A จะกระตุ้นให้เซลล์สังเคราะห์ HSP 70 เพิ่มมากขึ้นเพื่อช่วยป้องกันเซลล์ไม่ได้รับความเสียหายจากความร้อน ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ ทศพร ศิริภักดิ์ และสุกร กตเวทิน (2558)

ตารางที่ 1 ความถี่จีโนไทป์ แอลลีลและผลผลิตน้ำนมรวมเฉลี่ยที่ 305 วันในโคนม

สายพันธุ์	จำนวน	จีโนไทป์			อัลลีล		ปริมาณน้ำนม 305 วัน (kg)	
		AA	AB	BB	A	B	Mean	SD
SW	79	0.87 ^a	0.13 ^a	-	0.93 ^a	0.07 ^a	-	-
TMZ	99	0.43 ^b	0.57 ^b	-	0.71 ^b	0.29 ^b	3,241	783
TF	181	0.44 ^b	0.56 ^b	-	0.72 ^b	0.28 ^b	3,534	1,126

^{a,b} เป็นสัญลักษณ์แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในแนวดิ่ง ($P>0.05$)

ที่มา: คัดแปลงจาก สุพิชฌา บุญช่วย และคณะ (2555)

มีการศึกษาศึกษาจุลกายวิภาคศาสตร์ของผิวหนังโคนมสาวลูกผสมโฮลสไตน์ฟริเซียน อายุระหว่าง 2-3 ปี น้ำหนักตัวเฉลี่ย 293 ± 35.3 กิโลกรัม วิเคราะห์รูปแบบจีโนไทป์จากตัวอย่างเลือดด้วยเทคนิค Polymerase Chain Reaction Restriction Fragment Polymorphism (PCR-RFLP) พบรูปแบบจีโนไทป์ของยีน HSP 70-2 บริเวณตำแหน่งเบส 614-862 เก็บตัวอย่างจากเนื้อเยื่อผิวหนังสีดาบริเวณกลางลำตัว ด้วย Biopsy skin puncher จากโคที่มีจีโนไทป์แบบ AA และ AB อย่างละ 5 ตัว แล้วนำเนื้อเยื่อเข้าสู่กระบวนการทาง Histological technique ย้อมสี Masson's Trichrome จากการศึกษา พบว่าโคที่มีจีโนไทป์ AA มีความหนาแน่นของต่อมเหงื่อ (402.17 ต่อม/ตร. ซม.) มากกว่าโคที่มีจีโนไทป์แบบ AB (286.48 ต่อม/ตร. ซม.) ส่งผลให้สามารถการขับเหงื่อออกมาได้มากกว่า จึงระบายความร้อนได้ดีกว่า ซึ่งช่วยให้โคสามารถควบคุมอุณหภูมิร่างกายให้กลับสู่ค่าปกติได้เร็วกว่าถือว่าเป็นโคที่มีลักษณะการทนต่อความร้อนเนื่องจากความร้อนได้ดี ส่วนลักษณะอื่นของจุลกายวิภาคศาสตร์ของผิวหนังไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) (ดังแสดงข้อมูลในตารางที่ 2) สอดคล้องกับการทดลองของ Bhat *et al.*, (2016)

ตารางที่ 2 ความสัมพันธ์ของรูปแบบจีโนไทป์ของยีน HSP70-2 และลักษณะจุลกายวิภาคศาสตร์ของผิวหนัง
โคนมลูกผสมโฮลสไตน์ฟรีเชียน

ลักษณะ	จีโนไทป์			SEM
	AA	AB	BB	
ความหนาแน่นของต่อมเหงื่อ(number/cm ²)	402.17 ^a	286.48 ^b	-	46.25
ความยาวของต่อมเหงื่อ(μm)	161.62 ^a	190.54 ^a	-	14.26
ความกว้างของต่อมเหงื่อ(μm)	69.97 ^a	64.23 ^a	-	2.88
อัตราส่วนความยาว/ความกว้างของต่อมเหงื่อ	2.32 ^a	2.96 ^a	-	0.22
ปริมาตรต่อมเหงื่อ (μ ³ *10 ⁻⁶)	0.62 ^a	0.62 ^a	-	0.08
ความหนาแน่นของเส้นใยประสาท(bundles/cm ²)	21.31 ^a	20.99 ^a	-	0.22

^{a,b} สัญลักษณ์แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในแนวนอน (P < 0.05)

ที่มา: ดัดแปลงจาก ทศพร ศิริภักดิ์ และสุกร กตเวทิน (2558)

ที่ศึกษาเกี่ยวกับความหลากหลายของรูปแบบยีน HSP70 ที่มีผลต่อลักษณะการทนร้อนในโคนมสายพันธุ์ Tharparkar โดยการสุ่มตัวอย่างโคจำนวน 64 ตัว จากฟาร์มโคกระบือในสถาบันวิจัยสัตว์แพทย์ของประเทศอินเดีย เมือง Izatnagar รัฐ Uttar เพื่อตรวจหาความหลากหลายของรูปแบบยีน HSP 70 ที่มีลักษณะการทนร้อนในฤดูกาลที่แตกต่างกัน วิเคราะห์รูปแบบจีโนไทป์จากตัวอย่างเลือดด้วยเทคนิค Polymerase chain reaction-Single strand conformation polymorphism (PCR-SSCP) จากการศึกษา พบว่าการวัดอุณหภูมิทวารหนัก (RT) ในเวลาเดียวกัน โคที่มีจีโนไทป์แบบ AA สามารถควบคุมอุณหภูมิร่างกายโดยการลดอุณหภูมิทวารหนัก (RT) ลงได้รวดเร็วกว่า โคที่มีจีโนไทป์แบบ AB และ BB พิจารณาจากค่าอุณหภูมิทวารหนักเฉลี่ย (ART) (38.48 ± 0.03 °C) และอัตราการหายใจ (RR) (15.31 ± 0.08 bpm) ที่ต่ำสุดและพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์ความทนร้อน (HTC) (98.22 ± 0.28) ที่มีสูงที่สุดในจีโนไทป์ทุกฤดูกาลโดยเฉพาะฤดูร้อน แสดงว่าโคนมที่มีจีโนไทป์แบบ AA ทนความร้อนได้ดีที่สุด เนื่องจากสามารถควบคุมอุณหภูมิทวารหนักหลังเผชิญกับสภาพแวดล้อมที่มีอุณหภูมิสูงให้เข้าสู่สภาวะปกติได้เร็วถือว่าเป็นโคที่ทนความร้อนได้ดีกว่าโคที่นำอุณหภูมิกลับมาได้ช้าสอดคล้องกับการศึกษาของ ทศพร ศิริภักดิ์ และสุกร กตเวทิน (2557) ที่ศึกษาการตอบสนองทางสรีรวิทยาของโคนมลูกผสมที่มีจีโนไทป์ที่ต่างกันของยีน HSP70-2 พบว่าโคนมที่มีจีโนไทป์แบบ AA มีแนวโน้มแสดงถึงการฟื้นตัวจากความร้อนได้ดีกว่าโคที่มีจีโนไทป์แบบ AB การวัดอุณหภูมิทวารหนักเปรียบเสมือนเป็นการวัดอุณหภูมิร่างกายของโคนม ถ้าอุณหภูมิทวารหนักสูงแสดงว่าโคระบายความร้อนออกจากร่างกายไม่ดีส่งผลให้เกิดความเครียดตามมา

ตารางที่ 3 ผลกระทบของจีโนไทป์และฤดูกาลต่อสภาวะทนความร้อนของโคนมสายพันธุ์ Tharparkar

ผลกระทบ	10 am. RT (°C)	2 pm. RT (°C)	ART (°C)	HTC	RR (bpm)
ฤดูกาล					
ฤดูหนาว	38.17 ^a ±0.03	38.62 ^a ±0.03	38.39 ^a ±0.03	99.05 ^a ±0.29	14.88 ^a ±0.09
ฤดูใบไม้ผลิ	38.77 ^b ±0.03	38.85 ^b ±0.03	38.61 ^b ±0.03	96.84 ^b ±0.28	15.53 ^b ±0.11
ฤดูร้อน	38.64 ^c ±0.03	39.13 ^c ±0.03	38.89 ^c ±0.03	94.13 ^c ±0.29	17.3 ^c ±0.11
จีโนไทป์ในทุกฤดูกาล					
AA	38.23 ^a ±0.03	38.72 ^a ±0.03	38.48 ^a ±0.03	98.22 ^a ±0.28	15.31 ^a ±0.08
AB	38.39 ^b ±0.03	38.88 ^b ±0.03	38.64 ^b ±0.03	96.58 ^b ±0.27	15.91 ^b ±0.07
BB	38.55 ^c ±0.03	38.99 ^c ±0.03	38.78 ^c ±0.03	95.22 ^c ±0.29	16.48 ^c ±0.07
จีโนไทป์ในฤดูร้อน					
AA	38.52 ^a ±0.04	38.97 ^a ±0.05	38.74 ^a ±0.04	95.56 ^a ±0.41	16.74 ^a ±0.22
AB	38.63 ^b ±0.04	39.14 ^b ±0.04	38.88 ^b ±0.04	94.15 ^b ±0.39	17.24 ^b ±0.21
BB	38.78 ^c ±0.04	39.29 ^c ±0.05	39.03 ^c ±0.04	92.67 ^c ±0.42	17.93 ^c ±0.23

^{a, b, c} เป็นสัญลักษณ์แสดงค่าความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในแนวนอน (P < 0.01)

อุณหภูมิทวารหนัก (Rectal temperature; RT), ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิทวารหนัก (Average rectal temperature; ART), ค่าสัมประสิทธิ์ความทนร้อน (Heat tolerance coefficient; HTC), อัตราการหายใจ (Respiration rate; RR)

ที่มา: ดัดแปลงจาก Bhat *et al.*, (2016)

สรุป

จากการทบทวนเอกสารที่เกี่ยวข้อง พบว่าโคนมในประเทศไทยมีจีโนไทป์ของยีนที่สร้าง HSP70 2 แบบ คือ AA และ AB โดยจีโนไทป์แบบ AA พบมากที่สุดโคที่อยู่ในตระกูลอินเดียน (*Bos indicus*) ซึ่งมีลักษณะเด่นในการทนร้อน สำหรับโคนมไทยลูกผสมก็จัดอยู่ในตระกูลโคอินเดียน (*Bos indicus*) โคนมที่เลี้ยงในประเทศเขตร้อน จึงจีโนไทป์แบบ AA มากที่สุด ซึ่งยีน A เป็นยีนที่มีความสัมพันธ์กับความทนความร้อนในโคนมได้ดีกว่ายีน B เนื่องจากเมื่อเซลล์ถูกกระตุ้นด้วยความร้อน ยีน A จะกระตุ้นให้เซลล์สังเคราะห์ HSP70 เพิ่มมากขึ้นเพื่อช่วยป้องกันเซลล์ไม่ให้ได้รับความเสียหายจากความร้อน ดังนั้นจึงสามารถใช้ประโยชน์ในการคัดเลือก ยีน A เพื่อสร้างโคนมพันธุ์ที่ทนความร้อนได้

เอกสารอ้างอิง

- จุพานิชย์ น่วมจิตร, ยูพิน ผาสุข, เทวินทร์ วงษ์พระลับ และสุกร กตเวทิน. 2555. การเปรียบเทียบลำดับนิวคลีโอไทด์ยีน HSP70-2 ระหว่างโคพื้นเมืองไทย และโฮลสไตน์ฟริเซียน. แก่นเกษตรฉบับพิเศษ 2 : 381-386.
- ทศพร ศิริภักดิ์ และสุกร กตเวทิน. 2557. การตอบสนองทางสรีรวิทยาต่อความเครียดเนื่องจากความร้อนในโคนมที่มีจีโนไทป์ที่แตกต่างกันของยีน HSP70-2. แก่นเกษตร. (พิเศษ) 1: 20-25.
- ทศพร ศิริภักดิ์ และสุกร กตเวทิน. 2558. จุลกายวิภาคศาสตร์ของผิวหนังโคนมลูกผสมโฮลสไตน์ฟริเซียนที่มีจีโนไทป์ของยีน HSP 70-2 แตกต่างกัน. แก่นเกษตร43 (2): 359-364.
- วิชากรณ เลิศวีรพล. 2560. บทบาทของยีนฮีตช็อกโปรตีน 70 ในการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตของปศุสัตว์. เชียงใหม่สัตว์แพทย์สาร15 (1): 1-14
- สุพิชฌาย์ บุญช่วย, ปิยะณัฐ ประราชโก, มนต์ชัย ดวงจินดา และวุฒิไกร บุญคุ้ม. 2555. การศึกษารูปแบบจีโนไทป์ของยีนฮีตช็อกโปรตีนในโคนม. แก่นเกษตร40 ฉบับพิเศษ. 2: 575-579.
- Bhat. S., Kumar P., Kashyap N., Deshmukh B., Dige M.S., Bhushan B., Chauhan A., Kumar A. and Singh G. 2016. **Effect of heat shock protein 70 polymorphism on thermotolerance in Tharparkar cattle.** Vet World 9, 113-117.
- Basirico, L., Morera P., Primi V., Lacetera N. and Nardone A. 2011. **Cellular thermotolerance is associated with heatshock protein 70.1 genetic polymorphisms in Holstein lactation cows.** Cell Stress Chaperon. 16: 441-448.
- Krueger, A.M., Armstrong J.N., Plumier J., Robertson H.A. and Currie R.W. 1999. **Cell specific expression of Hsp70 in neurons and glia of the rat hippocampus after hyperthermia and kainic acid-induced seizure activity.** Brain Res Mol Brain Res 71, 265-278.
- Kregel, K.C. 2002. **Heat shock proteins: modifying factors in physiological stress responses and acquired thermotolerance.** J Appl Physiol (1985) 92, 2177-2186.
- Marcillac-Embertson. N. M., Robinson P. H., Fadel, and J. G. and Mitloehner F. M. 2009. **Effects of shade and sprinklers on performance, behavior, physiology and the environment of heifers.** J. Dairy Sci. 92:506-517.