อิทธิพลของความเครียดเนื่องจากความร้อนต่อพันธุกรรมของลักษณะโปรตีนนมและไขมันนมในโคนมลูกผสมไทย-โฮลสไตน์

Effect of heat stress on genetic for milk protein and milk fat yield traits in Thai x Holstein crossbreds

กนกกาญจน์ รีบเร่งรัมย์[1], มนต์ชัย ดวงจินดา[1,2], สายัณห์ บัวบาน[3], จุรีรัตน์ แสนโภชน์[3] และ วุฒิไกร บุญคุ้ม[1,2*]

Kanokkarn Reebrangrum[1], Monchai Duangjinda[1,2], Sayan Buaban[3], Jureeratn Sanpote[3] and Wuttigrai Boonkum[1,2*]

บทคัดย่อ: วัตถุประสงค์ของการวิจัยครั้งนี้เพื่อ วิเคราะห์หาจุดวิกฤติของอิทธิพลความเครียดเนื่องจากความร้อนที่มีผลกระทบต่อผลผลิตไขมันนม โปรตีนนมและค่าพารามิเตอร์ทางพันธุกรรมในโคนมลูกผสมไทย-โฮลสไตน์ ข้อมูลประกอบด้วยผลผลิตไขมันและโปรตีนนมในวันทดสอบ จำนวน 281,584 และ 283,504 บันทึกตามลำดับ จากโคนมลูกผสมไทย-โฮลสไตน์จำนวน 33,320 ตัว ซึ่งให้ผลผลิตในระยะการให้นมครั้งที่ 1 ถึง 3 ข้อมูลทั้งหมดถูกเก็บบันทึกได้จากโครงการ master bull project ภายใต้การดูแลของกรมปศุสัตว์ในช่วงปี พ.ศ. 2543 ถึง พ.ศ. 2554 ค่าองค์ประกอบความแปรปรวนและค่าประมาณพารามิเตอร์ทางพันธุกรรมวิเคราะห์โดยใช้วิธี Bayesian via Gibbs sampling ภายใต้โมเดลวันทดสอบที่มีการวัดซ้ำหลายลักษณะ ผลการวิเคราะห์ข้อมูลชี้ให้เห็นว่า ค่าวิกฤติของดัชนีอุณหภูมิความชื้นสัมพัทธ์ที่ทำให้ผลผลิตไขมันนม โปรตีนนม และค่าพารามิเตอร์ทางพันธุกรรมเริ่มลดลงพบที่ระดับ 75 สำหรับอัตราการลดลงของผลผลิตไขมันนมและโปรตีนนมพบเมื่อโคนมมีระดับเลือดโฮลสไตน์มากกว่า 87.5 เปอร์เซ็นต์ และมีอัตราการลดลงสูงสุดที่ระดับเลือดโฮลสไตน์มากกว่า 98.0 เปอร์เซ็นต์ สำหรับค่าอัตราพันธุกรรม ณ THI ที่ 75 ทั้งของไขมันนม (0.22 ถึง 0.24) และโปรตีนนม (0.25 ถึง 0.32) มีค่าอยู่ในระดับปานกลาง ในขณะที่ค่าสหสัมพันธ์ทางพันธุกรรมระหว่างอิทธิพลของยีนแบบบวกสะสม ณ ภาวะปกติและภาวะเครียดเนื่องจากความร้อนมีค่าอยู่ในช่วง -0.09 ถึง -0.68 แสดงให้เห็นว่าการคัดเลือกโคนมที่ให้ผลผลิตไขมันนมและโปรตีนนมสูงนำไปสู่การเพิ่มขึ้นของการเกิดความเครียดเนื่องจากความร้อน อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาค่าพารามิเตอร์ทางพันธุกรรม (ค่าอัตราพันธุกรรม ค่าสหสัมพันธ์ทางพันธุกรรม) แสดงให้เห็นว่าการคัดเลือกพันธุกรรมโคนมเพื่อให้ได้ผลผลิตไขมันนมและโปรตีนนมสูงร่วมกับมีความสามารถในการทนร้อนได้ดีสามารถทำได้ในโปรแกรมการปรับปรุงพันธุ์ของประเทศไทย

คำสำคัญ: อิทธิพลทางพันธุกรรม, ความเครียดเนื่องจากความร้อน, ไขมันนม, โปรตีนนม, โคนมลูกผสมไทย-โฮลสไตน์

[1] ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น จ.ขอนแก่น 40000
Department of Animal Science, Faculty of Agriculture, Khon Kaen University, Khon Kaen 40000

[2] กลุ่มวิจัยโคนมทนร้อน มหาวิทยาลัยขอนแก่น จ.ขอนแก่น 40000
Thermo-tolerance Dairy Cattle Research Group, Khon Kaen University, Khon Kaen 40000

[3] สำนักเทคโนโลยีชีวภาพการผลิตปศุสัตว์ กรมปศุสัตว์ จ.ปทุมธานี 12000
Bureau of Biotechnology in Livestock Production, Department of Livestock Development, Pathumthani, 12000

* Corresponding author: wboonkum@gmail.com

ABSTRACT: The objective of this research was to analyze the threshold point of heat stress effect and genetic parameter on milk fat and protein yields in Thai x Holstein crossbreds. Data included 281,584 and 283,504 test-day milk fat and milk protein yield records, respectively of 33,320 Thai x Holstein crossbreds in first to third lactations. Data were obtained from the master bull project under Department of Livestock Development during 1998 to 2008. Variance components and genetic parameters were analyzed by Bayesian via Gibbs sampling under a multiple-trait repeatability test-day model. An analysis of data indicated that the THI threshold point when milk fat and protein yields and genetic parameters started to decline to be 75. The rate of decline of milk fat and milk protein yields was found when the percentage of Holstein genetics was more than 87.5 and highest in breeds with more than 98 % Holstein. The heritability of THI of 75 was moderately ranged for milk fat yield (0.22 to 0.24) and protein yield (0.25 to 0.32). Meanwhile genetic correlations between regular and heat stress effect were ranged from -0.09 to -0.68. This result indicated that selecting cows for high milk fat and milk protein yields lead to increase heat stress in dairy cows. However, from genetic parameter values (heritability and genetic correlation), the selection for high milk fat and milk protein yields combined with heat tolerance is possible in breeding program inThailand.
Keywords: genetic effect, heat stress, milk fat yield, milk protein yield, Thai x Holstein crossbred

บทนำ

การพิจารณาราคารับซื้อน้ำนมดิบในปัจจุบันจะแบ่งตามชั้นคุณภาพน้ำนมดิบ (quality grade) โดยยึดตามประกาศกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ เรื่อง การกำหนดมาตรฐานสินค้าเกษตร: น้ำนมโคดิบของสำนักงานมาตรฐานสินค้าและอาหารแห่งชาติ (2553) โดยคุณภาพน้ำนมที่ได้มาตรฐานต้องมีปริมาณโปรตีนนมไม่ต่ำกว่า 3.00 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และปริมาณไขมันนมไม่ต่ำกว่า 3.35 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก แม้ว่าจะมีการกำหนดมาตรฐานน้ำนมดิบที่ชัดเจนและอยู่ในวิสัยที่โคนมของประเทศไทยสามารถให้ผลผลิตได้ตามเกณฑ์ แต่ปัจจุบันยังพบปัญหาปริมาณโปรตีนนมและไขมันนมมีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่อง ซึ่งปัจจัยสำคัญที่กระทบต่อทั้งสองลักษณะ ได้แก่ 1) ปัจจัยเนื่องจากพันธุกรรมของตัวโคเอง และ 2) ปัจจัยเนื่องจากสภาพแวดล้อม (มนต์ชัย, 2548) ประกอบกับประเทศไทยอยู่ในพื้นที่ที่มีสภาพภูมิอากาศแบบร้อนชื้นตลอดทั้งปี ดังนั้นปัจจัยเนื่องจากสภาพแวดล้อมจะทวีความรุนแรงต่อผลผลิตของโคนมมากยิ่งขึ้น (จุรีรัตน์ และคณะ, 2553; วุฒิไกร และคณะ, 2553)นอกจากนี้ การเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อมในความหมายของอุณหภูมิและความชื้นสูงยังกระทบต่อชีวิตความเป็นอยู่ของโคนมและยังอาจนำมาซึ่งปัญหาสุขภาพมากมาย (Jordan, 2003; Rensis and Scaramuzzi, 2003) ซึ่งสาเหตุสำคัญที่ทำให้ในช่วงที่มีอุณหภูมิและความชื้นสูงโคนมให้ผลผลิตลดลงนั้นมาจากโคนมไม่สามารถรักษาสมดุลของอุณหภูมิภายในร่างกายให้ปกติได้ (homeostasis) กล่าวคือ อุณหภูมิภายในร่างกายสูงกว่าอุณหภูมิภายนอกร่างกายดังนั้นโคนมจึงเกิดภาวะเครียดเนื่องจากความร้อน (heat stress) นำมาซึ่งการเปลี่ยนแปลงทั้งพฤติกรรม กลไกการทำงานของระบบต่างๆภายในร่างกาย และกระทบต่อผลผลิตตามลำดับ (Mitlohner et al., 2002; West et al., 2003) ปัญหาดังกล่าวนอกจากจะมีผลกระทบต่อตัวโคนมแล้วยังกระทบต่อรายได้ของเกษตรผู้เลี้ยงโดยตรง ด้วยเหตุนี้จึงได้มีการพัฒนาวิธีการต่างๆ เพื่อช่วยแก้ไขปัญหาโคนมเกิดความเครียดเนื่องจากความร้อน ได้แก่ การพัฒนาด้านการจัดการเพื่อให้โคนมอยู่สบายภายใต้สภาพอากาศร้อนชื้น การพัฒนาด้านอาหารทั้งในด้านคุณภาพและรูปแบบการให้อาหารโดยหลีกเลี่ยงการให้อาหารในช่วงที่มีสภาพอากาศร้อนชื้น (Madalena et al., 1990; Mader et al., 2002; Moore et al., 2005; Bryant et al., 2007; Berman, 2008; Marcillac-Embertson et al., 2009) ซึ่งผลลัพธ์ของวิธีการต่างๆดังที่กล่าวมาแสดงให้เห็นว่าสามารถแก้ไขปัญหาได้เพียงระยะสั้นเท่านั้น แต่หากต้องการแก้ไขปัญหาอย่างยั่งยืนจำเป็นต้องพัฒนาวิธีการอื่นๆ โดยวิธีการพัฒนาพันธุกรรมโคนมให้มีความสามารถในการให้ผลผลิตโปรตีนนมและไขมันนมที่ดีภายใต้สภาพอากาศร้อนชื้นน่าจะเป็นวิธีการหนึ่งที่เหมาะสมต่อโคนมของประเทศไทย

การพัฒนาพันธุกรรมโคนมโดยใช้วิธีการประเมินพันธุกรรมเพื่อคัดเลือกโคนมที่มีความสามารถทางพันธุกรรมที่ดีในลักษณะที่สนใจศึกษา (Ravagnolo and Misztal, 2000) ถือเป็นวิธีการที่ได้รับการยอมรับและมีการใช้อย่างแพร่หลายทั่วโลกโดยในระยะแรกมีการใช้ข้อมูลผลผลิตน้ำนมในวันทดสอบร่วมกับข้อมูลดัชนีอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ร่วมกัน (temperature humidity index; THI) ซึ่งผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าเมื่อค่า THI สูงขึ้นจนถึงจุดที่ทำให้โคนมเกิดภาวะความเครียดเนื่องจากความร้อนจะพบว่าผลผลิตน้ำนมลดลงอย่างรวดเร็ว ซึ่งประโยชน์จากการศึกษาในครั้งนี้จะช่วยให้ทราบถึงจุดเริ่มต้นหรือจุดวิกฤติของการเกิดความเครียดเนื่องจากความร้อนที่กระทบต่อผลผลิตเพื่อจะได้หาแนวทางป้องกันได้อย่างถูกต้องและรวดเร็วต่อไปต่อมา Bohmanova et al. (2005) นำวิธีการนี้ไปประยุกต์ใช้กับโคนมของทั้งประเทศสหรัฐอเมริกา ในขณะที่ Freitas et al. (2006) ได้พิจารณาอิทธิพลของความเครียดเนื่องจากความร้อนแยกตามภูมิภาคต่างๆ ของประเทศสหรัฐอเมริกา ผลการศึกษาชี้ให้เห็นว่าการคัดเลือกพันธุกรรมโคนมในประชากรขนาดใหญ่สามารถทำได้ อย่างไรก็ตาม โคนมในแต่ละภูมิภาคมีการตอบสนองต่อความเครียดเนื่องจากความร้อนที่แตกต่างกัน สำหรับประเทศไทย วุฒิไกร และคณะ (2553) และ Boonkum et al. (2011) ได้ประยุกต์ใช้โมเดลทางพันธุกรรมซึ่งศึกษาในโคนมพันธุ์แท้มาปรับใช้กับโคนมลูกผสมไทย-โฮลสไตน์ในลักษณะน้ำนม ผลการวิจัยพบว่าโคนมลูกผสมไทย-โฮลสไตน์ของประเทศไทยเกิดความเครียดเนื่องจากความร้อนเมื่อค่า THI เท่ากับ 75 ซึ่งสูงกว่าในรายงานในต่างประเทศ (THI = 72) และยังพบว่าอิทธิพลของความเครียดเนื่องจากความร้อนมีผลกระทบต่อค่าพารามิเตอร์ทางพันธุกรรม อย่างไรก็ตาม ยังไม่พบรายงานการศึกษาอิทธิพลดังกล่าวในลักษณะองค์ประกอบน้ำนมซึ่งเป็นลักษณะที่สำคัญและเกี่ยวข้องโดยตรงต่อการกำหนดราคารับซื้อน้ำนมของเกษตรกร

ดังนั้นวัตถุประสงค์การวิจัยครั้งนี้เพื่อ วิเคราะห์หาจุดวิกฤติผลของการเกิดความเครียดเนื่องจากความร้อนที่ส่งผลกระทบต่อผลผลิตไขมันนมโปรตีนนมและค่าพารามิเตอร์ทางพันธุกรรมในโคนมลูกผสมไทย-โฮลสไตน์ สำหรับใช้เป็นแนวทางในการคัดเลือกโคนมที่มีพันธุกรรมที่ดีของลักษณะดังกล่าว

วิธีการศึกษา

ข้อมูลในการวิจัย

บันทึกข้อมูลผลผลิตโปรตีนนมและไขมันนม (milk protein and fat yield) รายตัวโดยสุ่มเก็บเดือนละ 1 ครั้ง ซึ่งเรียกว่าบันทึกในวันทดสอบ (test-day record) จากแม่โคนมลูกผสมไทย-โฮลสไตน์ในระยะการให้นมที่ 1-3 ซึ่งเก็บบันทึกได้จากฟาร์มเกษตรกรทั่วประเทศไทยภายใต้โครงการ master bull project ของกรมปศุสัตว์ในช่วงปี พ.ศ. 2543 ถึงปี พ.ศ. 2554 ถูกใช้ในการวิจัยครั้งนี้ ข้อมูลผลผลิตโปรตีนและไขมันนมที่ใช้ในการวิเคราะห์ถูกกำหนดให้อยู่ในช่วง 5 ถึง 305 วันของการให้ผลผลิตและกำหนดให้อายุเมื่อคลอดลูกในระยะการให้นมครั้งที่ 1, 2, และ 3 มีค่าอยู่ในช่วง18 ถึง 48, 27 ถึง 60 และ 40 ถึง 75 เดือน ตามลำดับ การจำแนกกลุ่มพันธุ์โคนมลูกผสมไทย-โฮลสไตน์โดยจำแนกตามระดับเปอร์เซ็นต์สายเลือดของโคพันธุ์โฮลสไตน์ซึ่งจำแนกได้ 5 กลุ่ม ดังนี้ <75.0, 75.0 ถึง 87.4, 87.5 ถึง 93.6, 93.7 ถึง 97.9 และ ≥98.0 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (Boonkum et al., 2011)

ข้อมูลอุตุนิยมวิทยารายวันซึ่งประกอบด้วยบันทึกอุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) และความชื้นสัมพัทธ์ (เปอร์เซ็นต์) ถูกนำไปคำนวณเป็นค่าดัชนีอุณหภูมิความชื้นสัมพัทธ์ (temperature humidity index; THI) ตามวิธีของ National Oceanic and Atmospheric Administration (1976) เพื่อใช้วิเคราะห์หาจุดวิกฤติของการเกิดความเครียดเนื่องจากความร้อนและเพื่อศึกษาผลกระทบของอิทธิพลดังกล่าวต่อผลผลิตโปรตีนนม ไขมันนมและค่าพารามิเตอร์ทางพันธุกรรม ได้แก่ อัตราพันธุกรรม สหสัมพันธ์ทางพันธุกรรม โดยข้อมูล

THI ถูกบันทึกและเก็บรวบรวมจากสถานีอุตุนิยมวิทยาในแต่ละจังหวัดซึ่งใกล้เคียงกับฟาร์มโคนมแต่ละฟาร์ม โดยใช้รหัสไปรษณีย์ของที่ตั้งฟาร์ม (postal cord) (ระยะห่างระหว่างฟาร์มกับสถานีอุตุนิยมวิทยาอยู่ในช่วง 0-20 กิโลเมตร) เป็นข้อกำหนดในการเชื่อมโยงข้อมูลระหว่างข้อมูลโปรตีนนมและไขมันนมร่วมกับข้อมูล THI ก่อนนำไปวิเคราะห์ในขั้นตอนต่อไป โดยรูปแบบสมการคำนวณค่า THI เป็นดังนี้

THI = (1.8 x temp + 32) – (0.55 – 0.0055 x RH) x (1.8 x temp – 26)

เมื่อ temp คือ อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส), RH คือ ความชื้นสัมพัทธ์ (เปอร์เซ็นต์) ซึ่งค่าเฉลี่ย THI สามวันก่อนการเก็บบันทึกผลผลิตโปรตีนนมและไขมันนมโดยพิจารณาจากค่าสหสัมพันธ์สูงสุดระหว่างค่า THI และบันทึกผลผลิตโปรตีนนมและไขมันนมในแต่ละวันทดสอบถูกกำหนดให้ค่า THI ทดสอบในการวิเคราะห์หาจุดวิกฤติของการเกิดความเครียดเนื่องจากความร้อน (THI threshold of heat stress)

Table 1 Data for estimation of variance components and genetic parameters by parity in Thai x Holstein crossbreds.

Category	Milk fat yield			Milk protein yield		
	Parity 1	Parity 2	Parity 3	Parity 1	Parity 2	Parity 3
Cows, n	18,695	9,187	5,438	18,735	9,028	5,289
Test-day records,(n)						
<75.0[1]	11,210	6,007	3,630	11,342	5,969	3,613
75.0 to 87.4	16,806	9,548	6,202	16,877	9,542	5,963
87.5 to 93.6	23,768	11,647	6,901	24,002	11,545	6,864
93.7 to 97.9	61,572	30,677	17,583	62,780	30,584	17,610
≥98.0	43,806	20,432	11,798	44,757	20,454	11,602
Test-day yield (mean ±SD, kg x 100)						
<75.0	44.6±18.2	48.6±20.7	49.5±20.9	38.3±14.5	41.4±16.0	42.3±16.5
75.0 to 87.4	44.4±17.5	48.4±19.4	49.8±19.3	38.5±14.2	42.1±15.2	43.4±15.8
87.5 to 93.6	45.7±17.6	49.6±20.0	51.2±20.3	40.2±14.6	43.1±15.8	44.6±16.4
93.7 to 97.9	47.4±18.7	51.0±20.6	52.6±21.4	41.7±14.8	44.6±16.2	45.8±16.4
≥98.0[1]	48.1±19.0	51.3±20.4	52.8±21.5	42.6±15.0.	45.5±16.0	47.0±16.7

[1]Percentage of Holstein genetics

วิธีการวิเคราะห์และโมเดลที่ใช้วิเคราะห์

โมเดลวันทดสอบที่มีการวัดซ้ำหลายลักษณะ (Multiple-trait repeatability test-day model; RTDM) (Ravagnolo and Misztal, 2000; Boonkum et al., 2011) ถูกใช้เป็นโมเดลทางพันธุกรรมสำหรับการวิจัยครั้งนี้ โดยทำการวิเคราะห์แยกกันระหว่างชุดข้อมูลผลผลิตโปรตีนนมกับชุดข้อมูลผลผลิตไขมันนม ซึ่งในการตรวจหาจุดวิกฤติของการเกิดความเครียดเนื่องจากความร้อนกระทำโดย 2 วิธี คือ 1) พิจารณาจากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างผลผลิตกับค่า THI หากพบว่าผลผลิตโปรตีนนมและไขมันนมลดลง ณ ค่า THI ใดจะถือว่าจุดที่ผลผลิตลดลงเป็นจุดที่ได้รับผลกระทบจากความเครียดเนื่องจากความร้อน 2) พิจารณาจากการค่าสถิติซึ่งวิเคราะห์ด้วยวิธี univariate analysis โดยเลือกใช้ข้อมูลผลผลิตโปรตีนนมและไขมันนมในระยะการให้นมครั้งแรกโดยทดสอบข้อมูลทีละชุดตามค่า

THI ตั้งแต่ THI ที่ 70 ถึง 78 เพื่อใช้คำนวณหาค่า negative log likelihood (-2logL) โดยใช้วิธี Expectation Maximization Restricted Maximum Likelihood (EM-REML) โดยใช้โปรแกรม remlf90 ซึ่งพัฒนาโดย Misztal (1999) โดยมีรูปแบบโมเดล RTDM ดังนี้

$$Y_{ijklmn} = hmy_{ij} + dim_k bg_{jl} + ca_{jm} + \alpha(bg_{jl}) + a_{0jn} + a_{1jn} \times f(THI) + p_{0jn} + p_{1jn} \times f(THI) + \varepsilon_{ijklmn}$$

$$\mathrm{Var}\begin{bmatrix} a \\ p \\ e \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A \otimes G_0 & 0 & 0 \\ 0 & I \otimes P_0 & 0 \\ 0 & 0 & I \otimes R_0 \end{bmatrix}$$

เมื่อ Y_{ijklmn} คือ เวคเตอร์ของผลผลิตโปรตีนนมและไขมันนมรายตัวในวันทดสอบของโคนมลูกผสมไทย-โฮลสไตน์ตัวที่ nในฝูง-เดือนทดสอบ-ปีทดสอบ (hmy_{ij}) ที่ i, กลุ่มพันธุ์ (bg_{jl}) ที่ l ร่วมกับวันให้ผลผลิตโปรตีนนมและไขมันนม (dim_k) ที่ k, อายุเมื่อคลอดลูก (ca_{jm}) ที่ m ในระยะการให้นมที่ j; hmy_{ij} คือ เวคเตอร์ของอิทธิพลคงที่เนื่องจากฝูง-เดือนทดสอบ-ปีทดสอบที่ i ในระยะการให้นมที่ j; bg_{jl} คือ เวคเตอร์ของอิทธิพลคงที่เนื่องจากกลุ่มพันธุ์ที่ l ในระยะการให้นมที่ j; dim_k คือ เวคเตอร์ของอิทธิพลคงที่เนื่องจากวันให้ผลผลิตโปรตีนนมและไขมันนมที่ k; ca_{jm} คือ เวคเตอร์ของอิทธิพลคงที่เนื่องจากอายุเมื่อคลอดลูกที่ m ในระยะการให้นมที่ j; $\alpha(bg_{jl})$ คือ อัตราการลดลงของผลผลิตโปรตีนนมและไขมันนมต่อการเปลี่ยนแปลงของค่า THI ในแต่ละกลุ่มพันธุ์ที่ l ในระยะการให้นมที่ j; a_{0jn} คือ เวคเตอร์ของอิทธิพลสุ่มเนื่องจากยีนแบบบวกสะสม ณ ภาวะปกติ (0) ของสัตว์ตัวที่ n ในระยะการให้นมที่ j; a_{1jn} คือ เวคเตอร์ของอิทธิพลสุ่มเนื่องจากยีนแบบบวกสะสม ณ ภาวะเครียดเนื่องจากความร้อน (1) ของสัตว์ตัวที่ n ในระยะการให้นมที่ j; p_{0jn} คือ เวคเตอร์ของอิทธิพลสุ่มเนื่องจากสภาพแวดล้อมถาวร ณ ภาวะปกติ (0) ของสัตว์ตัวที่ n ในระยะการให้นมที่ j; p_{1jn} คือ เวคเตอร์ของอิทธิพลสุ่มเนื่องจากสภาพแวดล้อมถาวร ณ ภาวะเครียดเนื่องจากความร้อน (1) ของสัตว์ตัวที่ n ในระยะการให้นมที่ j; ε_{ijklmn} คือ เวคเตอร์ของอิทธิพลสุ่มเนื่องจากความคลาดเคลื่อน; α คือ อัตราการลดลงของผลผลิตน้ำนมต่อการเปลี่ยนแปลงของค่า THI ในแต่ละกลุ่มพันธุ์; A คือ เมทริกซ์ความสัมพันธ์ระหว่างตัวสัตว์; I คือ Indentity matrix; f(THI) คือ ฟังก์ชันของดัชนีอุณหภูมิความชื้นสัมพัทธ์ ซึ่งมีรูปแบบฟังก์ชัน ดังนี้

$$f(THI) = \begin{cases} 0 & ; THI \leq THI_{threshold} \text{ (no heat stress)}, \\ THI - THI_{threshold} & ; THI > THI_{threshold} \text{ (heat stress)} \end{cases}$$

ซึ่งหากพบว่าหากข้อมูลชุดใดแสดงค่าสถิติ -2logL ต่ำที่สุดจะพิจารณาว่าข้อมูลชุดดังกล่าว ณ ค่า THI ดังกล่าวเป็นจุดวิกฤติของความเครียดเนื่องจากความร้อน ซึ่งทั้งวิธีที่ 1) และวิธีที่ 2) จะพิจารณาร่วมกันในการตัดสินใจหาจุดวิกฤติ สำหรับการประมาณค่าองค์ประกอบความแปรปรวนและค่าพารามิเตอร์ทางพันธุกรรมจะใช้วิธี multivariate analysis โดยในแต่ละชุดข้อมูลของผลผลิตโปรตีนนมและไขมันนมจะวิเคราะห์พร้อมกันทั้งสามระยะการให้นม (3 parities considered to be correlated traits) (Aguilar et al., 2009; Boonkum et al., 2011) นอกจากนี้ RTDM ยังถูกใช้เป็นโมเดลสำหรับประมาณค่าอัตราการลดลงของผลผลิตโปรตีนในนมและไขมันในนมต่อการเปลี่ยนแปลงของค่า THI (rate of decline of milk protein and milk fat yields) และใช้สำหรับประมาณพารามิเตอร์ทางพันธุกรรมการประมาณค่าองค์ประกอบความแปรปรวนและความแปรปรวนร่วม (variance-covariance components) และ

ค่าพารามิเตอร์ทางพันธุกรรม (genetic parameters) ได้แก่ ค่าอัตราพันธุกรรม ค่าสหสัมพันธ์ทางพันธุกรรม โดยใช้วิธี Bayesian via Gibbs sampling ในรูปแบบของแกรมสำเร็จรูป Gibbs2f90 (Misztal et al., 2002) ซึ่งมีข้อกำหนดในการวิเคราะห์คือ จำนวนตัวอย่างสุ่มที่ใช้ทั้งหมดถูกกำหนดที่ 300,000 ตัวอย่าง โดย 30,000 ตัวอย่างแรกจะไม่นำมาพิจารณา (burn-in period) เนื่องจากข้อมูลมีความผันผวนมาก (fluctuation) ดังนั้นค่าความแปรปรวนและความแปรปรวนร่วมถูกประมาณจากตัวอย่าง 270,000 โดยเลือกสุ่มตัวอย่างในทุกๆ 10 ตัวอย่างเพื่อไม่ให้เกิดสภาพ autocorrelation ของตัวอย่างสุ่มเกิดขึ้นซึ่งจะส่งผลกระทบให้เกิดความอคติต่อค่าพารามิเตอร์ที่ประมาณได้

ผลการศึกษาและวิจารณ์

การพิจารณาจุดวิกฤติของการเกิดความเครียดเนื่องจากความร้อน

การพิจารณาจุดวิกฤติของการเกิดความเครียดเนื่องจากความร้อนจากกราฟค่าเฉลี่ยผลผลิตโปรตีนนม (**Figure 1a**) และค่าเฉลี่ยผลผลิตไขมันนม (**Figure 1b**) ตามค่าดัชนีอุณหภูมิความชื้นสัมพัทธ์และค่าสถิติ -2logL (**Table 2**) แสดงให้เห็นว่าผลผลิตโปรตีนนมและผลผลิตไขมันนมเริ่มลดลงเมื่อค่าดัชนีอุณหภูมิความชื้นสัมพันธ์อยู่ที่ระดับ 75 (THI75) ผลวิเคราะห์ดังกล่าวแตกต่างจากรายงานวิจัยในต่างประเทศ ได้แก่ Aguilar et al. (2009) พบว่า ปริมาณไขมันนมและโปรตีนนมลดลงเมื่อ THI มีค่าเท่ากับ 72 สำหรับงานวิจัย Brügemann et al. (2011) พบการลดลงเมื่อ THI มีค่าเท่ากับ 60 และการศึกษาของ Hammami et al. (2013) ในโคนมโฮลสไตน์พันธุ์แท้ของประเทศเม็กซิโก พบว่าโคนมได้รับผลกระทบจากความเครียดเนื่องจากความร้อนเมื่อค่า THI อยู่ที่ระดับ 62 ซึ่งชี้ให้เห็นว่าโคนมลูกผสมไทย-โฮลสไตน์ของประเทศมีความสามารถในการทนต่อความเครียดเนื่องจากความร้อนได้ดีกว่าโคนมพันธุ์แท้ของต่างประเทศ ทั้งนี้เนื่องมาจากได้รับอิทธิพลของพันธุกรรมที่มาจากโคตระกูลเขตร้อนนั่นเองโดยโคนมลูกผสมไทย-โฮลสไตน์ส่วนใหญ่จะใช้โคพันธุ์พื้นเมือง โคพันธุ์บราห์มัน โคพันธุ์ซาฮิวาลหรือโคพันธุ์เรดซินดิเป็นสายแม่เพื่อใช้ในการสร้างโคนมลูกผสมซึ่งมีคุณสมบัติเด่นคือมีความสามารถในการทนร้อน (Beatty et al., 2006; Koatdoke, 2008) และเมื่อพิจารณาแยกตามกลุ่มพันธุ์พบว่าโคนมลูกผสมไทย-โฮลสไตน์ที่มีระดับเปอร์เซ็นต์สายเลือดของโคพันธุ์โฮลสไตน์สูงจะมีผลผลิตไขมันนมและโปรตีนมลดลงมากขึ้นตามลำดับซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Boonkum et al. (2011) ซึ่งศึกษาในลักษณะผลผลิตน้ำนมพบว่าโคนมลูกผสมไทย-โฮลสไตน์ที่มีระดับเลือดโคพันธุ์โฮลสไตน์สูงจะได้รับผลกระทบจากความเครียดเนื่องจากความร้อนมากกว่าโคนมลูกผสมไทย-โฮลสไตน์ที่มีระดับเลือดโคพันธุ์โฮลสไตน์ต่ำ นั่นแสดงให้เห็นว่าโคพันธุ์โฮลสไตน์มีศักยภาพในการให้ผลผลิตน้ำนมที่ดีแต่ไม่มีศักยภาพด้านการทนต่อความเครียดเนื่องจากความร้อน

Table 2 Deviation value of negative log likelihood (-2logL) in various temperature humidity index using repeatability test-day model.

Parameter	Negative log likelihood (-2logL)		
	THI 70	THI75	THI78
Milk protein yield	1558469.05	1558325.62	1559197.61
Milk fat yield	1619086.13	1618776.71	1619162.31

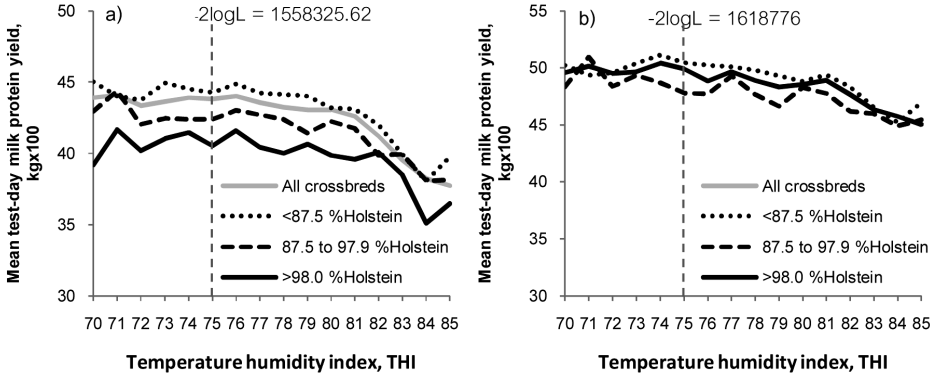

Figure 1 THI threshold point of heat stress of 75 (highest negative log likelihood; -2logL) for milk protein yield (a) and milk fat yield (b) in Thai x Holstein crossbreds.

ค่าประมาณพารามิเตอร์ทางพันธุกรรม

ผลการวิเคราะห์ค่าองค์ประกอบความแปรปรวนต่างๆ พบว่าภาวะเครียดเนื่องจากความร้อนจะกระทบต่อโคนมที่ให้ผลผลิตน้ำนมหลายระยะการให้นมมากกว่าโคนมที่ให้น้ำนมในระยะแรกของการให้น้ำนม โดยค่าความแปรปรวนของยีนแบบบวกสะสม ณ ภาวะปกติจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อระยะการให้นมมากขึ้น โดยระยะการให้นมครั้งที่สองเพิ่มขึ้นจากครั้งแรก 14 ถึง 16 เปอร์เซ็นต์ และระยะการให้นมครั้งที่สามเพิ่มขึ้นจากครั้งที่สอง 23 ถึง 32 เปอร์เซ็นต์ และค่าความแปรปรวนของยีนแบบบวกสะสม ณ ภาวะเครียด ระยะการให้นมครั้งที่สองเพิ่มขึ้นจากครั้งแรก 18 ถึง 29 เปอร์เซ็นต์ และระยะการให้นมครั้งที่สามเพิ่มขึ้นจากครั้งที่สอง 84 ถึง 100 เปอร์เซ็นต์ (Table 3) สอดคล้องกับรายงานของ Aguilar et al. (2009) ศึกษาผลผลิตน้ำนมและองค์ประกอบน้ำนมของประเทศสหรัฐอเมริกา ค่าความแปรปรวนของยีนแบบบวกสะสม ณ ภาวะปกติของระยะการให้นมครั้งที่สองเพิ่มขึ้นจากครั้งแรก และระยะการให้นมครั้งที่สามเพิ่มขึ้นจากครั้งที่สอง 25 ถึง 35 เปอร์เซ็นต์ และค่าความแปรปรวนของยีนแบบบวกสะสม ณ ภาวะเครียด ระยะการให้นมครั้งที่สองเพิ่มขึ้นจากครั้งแรก และระยะการให้นมครั้งที่สามเพิ่มขึ้นจากครั้งที่สอง 100 เปอร์เซ็นต์

Table 3 Estimate variance components and genetic parameters among and across parities for milk fat and milk protein yields at a temperature-humidity index (THI) threshold of 75.

Parameters[1]	Milk fat yield (kg x 100)[2]			Milk protein yield (kg x 100)[2]		
	Parity 1	Parity 2	Parity 3	Parity 1	Parity 2	Parity 3
σ^2_{a0}	61.30±0.07	70.71±0.11	87.58±0.17	41.51±0.05	47.52±0.05	62.37±0.08
σ^2_{a1}	0.16±0.05	0.19±0.09	0.35±0.13	0.07±0.03	0.09±0.04	0.20±0.07
σ_{a01}	-0.29±0.64	-0.96±1.01	-2.89±1.33	-0.77±0.38	-1.42±0.46	-1.13±0.78
σ^2_{p0}	81.49±0.06	112.41±0.09	110.01±0.14	56.20±0.04	71.70±0.04	66.53±0.07
σ^2_{p1}	1.39±0.08	1.58±0.12	1.12±0.15	0.91±0.04	0.01±0.05	0.86±0.08
σ_{p01}	-5.69±0.63	-7.36±0.92	-5.02±1.21	-3.00±0.36	-3.67±0.42	-3.69±0.68
σ^2_e	81.49±0.06	147.28±0.01	152.14±0.01	57.73±0.24	66.31±0.40	67.19±0.55
h^2	0.24	0.22	0.24	0.27	0.25	0.32

[1] σ^2_{a0} = regular additive genetic variance; σ^2_{a1} = additive genetic variance for heat stress effects; σ^2_{p0} = regular permanent environmental variance; σ^2_{p1} = permanent environmental variance for heat stress effects; σ^2_e = residual variance; h^2 = heritability;

สำหรับค่าสหสัมพันธ์ทางพันธุกรรมระหว่างอิทธิพลของยีนแบบบวกสะสม ณ ภาวะปกติกับภาวะเครียดเนื่องจากความร้อนมีค่าอยู่ในช่วง -0.09 ถึง -0.68 (**Table 4**) ผลดังกล่าวแสดงถึงโคนมที่ให้ผลผลิตไขมันและโปรตีนนมที่สูงจะมีความสามารถทนต่อความเครียดเนื่องจากความร้อนได้น้อยลง ดังนั้นหากคัดเลือกโคนมที่มีความสามารถทางพันธุกรรมของการให้ผลผลิตน้ำนมสูงจะส่งผลให้โคนมเกิดความเครียดเนื่องจากความร้อนได้เร็วขึ้นตามไปด้วยซึ่งเสี่ยงต่อการที่โคนมอาจมีอายุการใช้งานสั้นลง (Freitas et al., 2006) อย่างไรก็ตาม เนื่องจากค่าสหสัมพันธ์ที่วิเคราะห์ได้มีค่าค่อนข้างปานกลาง ดังนั้นโอกาสที่จะคัดเลือกโคนมที่มีความสามารถทางพันธุกรรมของการให้ผลผลิตไขมันและโปรตีนในน้ำนมที่สูงร่วมกับมีความสามารถทนต่อสภาพอากาศภายใต้ความเครียดเนื่องจากความร้อนจึงมีความเป็นไปได้ ค่าอัตราพันธุกรรมของลักษณะไขมันนม อยู่ในช่วง 0.22 ถึง 0.24 และค่าอัตราพันธุกรรมของโปรตีนนมอยู่ในช่วง 0.25 ถึง 0.32 (**Table 3**) ซึ่งมีค่ามีค่าอยู่ในช่วงปานกลาง ซึ่งชี้ให้เห็นว่าการปรับปรุงพันธุ์โดยใช้การคัดเลือกสามารถที่จะเพิ่มความสามารถทางพันธุกรรมในลักษณะดังกล่าวได้

Table 4 Genetic and permanent environmental correlations among and between parities for milk fat and protein yields at a temperature-humidity index (THI) threshold of 75.

Parameters[1]	Milk fat yield (kg x 100)[2]			Milk protein yield (kg x 100)[2]		
	Parity 1	Parity 2	Parity 3	Parity 1	Parity 2	Parity 3
r_g						
a_0(parity 1, parity ≥1)		0.95	0.87		0.96	0.94
a_0(parity 2, parity 3)			0.82			0.95
a_1(parity 1, parity ≥1)		-0.11	-0.27		0.04	0.14
a_1(parity 2, parity 3)			0.03			0.13
a_0,a_1	-0.09	-0.26	-0.52	-0.43	-0.68	-0.32
r_p						
p_0(parity 1, parity ≥1)		0.10	-0.03		0.12	-0.08
p_0(parity 2, parity 3)			0.23			0.27
p_1(parity 1, parity ≥1)		0.19	0.07		0.17	0.08
p_1(parity 2, parity 3)			0.87			0.18
p_0,p_1	-0.53	-0.55	-0.45	-0.44	-0.43	-0.53

[1] r_g = genetic correlation between general and heat stress effects; r_p = permanent environmental correlation between general and heat stress effects.

การลดลงของผลผลิตไขมันนมและโปรตีนนม

Table 5 แสดงอัตราการลดลงของผลผลิตไขมันนมและโปรตีนนม (rate of decline of milk fat and milk protein yields) โดยพิจารณาที่ระดับ THI ก่อนเกิดความเครียดเนื่องจากความร้อน (THI70), THI ณ จุดวิกฤติที่เกิดความเครียดเนื่องจากความร้อน (THI75) และระดับ THI ที่มากกว่าจุดวิกฤติของการเกิดความเครียดเนื่องจากความร้อน (THI78) พบว่าเมื่อค่า THI เพิ่มสูงขึ้นจะทำให้ผลผลิตไขมันนมและโปรตีนนมมีอัตราลดลงเพิ่มสูงขึ้น แสดงให้เห็นว่าอิทธิพลของความเครียดเนื่องจากความร้อนมีผลกระทบต่อผลผลิตไขมันนมและโปรตีนนมในเชิงลบ ผลดังกล่าวสอดคล้องกับงานวิจัยของ Boonkum et al. (2011) ซึ่งศึกษาอิทธิพลของความเครียดเนื่องจากความร้อนในลักษณะการให้ผลผลิตน้ำนมของโคนมลูกผสมไทย-โฮลสไตน์ และสอดคล้องกับรายงานวิจัยในต่าง

ประเทศ เช่น Aguilar et al. (2009) และ Bernabucci et al. (2014) นอกจากนี้หากพิจารณาแยกตามกลุ่มพันธุ์พบว่าโคนมที่มีระดับเปอร์เซ็นต์สายเลือดของโคพันธุ์โฮลสไตน์สูงขึ้นจะมีอัตราการลดลงของลักษณะทั้งสองเพิ่มขึ้นด้วยโดยโคนมที่มีระดับเปอร์เซ็นต์สายเลือดของโคพันธุ์โฮลสไตน์มากกว่า 98.0 เปอร์เซ็นต์ได้รับผลกระทบมากที่สุด นั่นแสดงให้เห็นว่าการพัฒนาสายพันธุ์โคนมเพื่อให้มีระดับเลือดโคพันธุ์โฮลสไตน์สูงขึ้นย่อมส่งผลต่อผลผลิตไขมันนมและโปรตีนนมที่จะได้รับ ในทางตรงกันข้ามพบว่าโคนมลูกผสมที่มีระดับเลือดโฮลสไตน์ <87.5 เปอร์เซ็นต์ ยังไม่พบการสูญเสียของผลผลิตไขมันนมและโปรตีนนมจากอิทธิพลของความเครียดเนื่องจากความร้อน ณ THI ที่ระดับ 75 ทั้งนี้เป็นไปได้ที่จุดเริ่มต้นของการเกิดความเครียดเนื่องจากความร้อนในโคนมลูกผสมที่มีระดับเลือดโฮลสไตน์ <87.5 เปอร์เซ็นต์จะสูงมากกว่านี้สำหรับการสูญเสีย ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของวุฒิไกร และคณะ (2553)

Table 5 Rate of decline of milk fat and milk protein yields in Thai x Holstein crossbreds at various temperature humidity indices by breed group based on percentage of Holstein genetics.

Breed groups	Milk fat losses (g)			Milk protein losses (g)		
	THI70	THI75	THI78	THI70	THI75	THI78
<87.5	-0.03	0.02	-0.40	0.19	0.17	0.14
87.5 to 97.9	-0.22	-0.24	-0.47	-0.03	-0.17	-0.37
≥98.0	-0.33	-0.43	-0.59	-0.25	-0.50	-0.83

สรุป

THI ที่ 75 เป็นจุดวิกฤติของการเกิดความเครียดเนื่องจากความร้อนที่มีผลกระทบต่อผลผลิตไขมันนมและโปรตีนนมในประชากรโคนมของประเทศไทย การลดลงของผลผลิตไขมันนมและโปรตีนนมเพิ่มขึ้นตามระดับเลือดโฮลสไตน์ และระยะการให้นมโดยโคนมลูกผสมไทย-โฮลสไตน์ที่ระดับเลือดโฮลสไตน์ ≥98.0 เปอร์เซ็นต์ ได้รับผลกระทบจากอิทธิพลดังกล่าวมากที่สุด อย่างไรก็ตาม การวิจัยครั้งนี้เมื่อพิจารณาจากค่าอัตราพันธุกรรม ค่าสหสัมพันธ์ทางพันธุกรรมแสดงให้เห็นว่า มีความเป็นไปได้ในการที่จะคัดเลือกโคนมที่มีความสามารถทางพันธุกรรมการให้ผลผลิตไขมันและโปรตีนในน้ำนมที่ดีร่วมกับมีความสามารถในการทนต่อความเครียดเนื่องจากความร้อน

คำขอบคุณ

งานวิจัยครั้งนี้ได้รับการสนับสนุนจากทุนบ่มเพาะนักวิจัย และทุนกลุ่มวิจัยโคนมทนร้อน ประจำปี 2555 จากมหาวิทยาลัยขอนแก่น คณะผู้วิจัยขอขอบคุณสำนักเทคโนโลยีชีวภาพการผลิตปศุสัตว์ กรมปศุสัตว์ และกรมอุตุนิยมวิทยาแห่งประเทศไทยที่เอื้อเฟื้อข้อมูลในการทำวิจัย และขอขอบคุณเป็นอย่างสูงแก่นักศึกษากลุ่มพันธุศาสตร์และการปรับปรุงพันธุ์สัตว์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่นทุกคนที่คอยให้คำแนะนำ ความช่วยเหลือทั้งในด้านการวิเคราะห์และตรวจอ่านต้นฉบับ

เอกสารอ้างอิง

จุรีรัตน์ แสนโภชน์, สายัณห์ บัวบาน, มนต์ชัย ดวงจินดา และวุฒิไกร บุญคุ้ม. 2553. การประเมินพันธุกรรมของลักษณะการให้ผลผลิตน้ำนมในโคนมลูกผสมโฮลสไตน์ ในแต่ละภูมิภาคของประเทศไทย โดยใช้โมเดลวันทดสอบรีเกรชชั่นสุ่ม. แก่นเกษตร. 38: 55-64.

มนต์ชัย ดวงจินดา. 2548. การประเมินพันธุกรรมสัตว์. ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น. ขอนแก่น.

วุฒิไกร บุญคุ้ม, มนต์ชัย ดวงจินดา, วิโรจน์ ภัทรจินดา, ศรเทพ ธัมวาสร, จุรีรัตน์ แสนโภชน์ และสายัณห์ บัวบาน. 2553. จุดวิกฤตของดัชนีอุณหภูมิความชื้นสัมพัทธ์และระดับเลือดโคนมโฮลสไตน์ที่มีต่อผลผลิตน้ำนมและค่าพารามิเตอร์ทางพันธุกรรมภายใต้สภาวะเครียดเนื่องจากความร้อน. แก่นเกษตร. 38: 275-284.

สำนักงานมาตรฐานสินค้าและอาหารแห่งชาติ. 2553.มาตรฐานสินค้าเกษตร: น้ำนมโคดิบ. แหล่งข้อมูล: http://goo.gl/7QQqdX. ค้นเมื่อ 29 กันยายน 2557.

Aguilar, I., I. Misztal, and S. Tsuruta. 2009. Genetic components of heat stress for dairy cattle with multiple lactations. J. Dairy Sci. 92: 5702-5711.

Beatty, D. T., A. Barnes, E. Taylor, D. Pethick, M. McCarthy, and S. K. Maloney. 2006. Physiological responses of Bos taurus and Bos indicus cattle to prolonged, continuous heat and humidity. J. Anim. Sci. 84: 972-985.

Berman , A. 2008. Increasing heat stress relief produced by coupled coat wetting and forced ventilation. J. Dairy Sci. 91: 4571–4578.

Bernabucci, U., S. Biffani, L. Buggiotti, A. Vitali, N. Lacetera, and A. Nardone. 2014. The effects of heat stress in Italian Holstein dairy cattle. J. Dairy Sci. 97: 471-486.

Bohmanova, J., I. Misztal, S. Tsuruta, H. D. Norman, and T. J. Lawlor. 2005. National genetic evaluation of milk yield for heat tolerance of United States Holsteins. Interbull Bull. 33: 160-162.

Boonkum, W., I. Misztal, M. Duangjinda, V. Pattarajinda, S. Tumwasorn, and J. Sanpote. 2011. Genetic effects of heat stress on milk yield of Thai Holstein crossbreds. J. Dairy Sci. 94: 487-492.

Brügemann, K., E. Gernand, U. U. von Borstel, and S. König. 2011. Genetic analyses of protein yield inzdairy cows applying random regression models with time-dependent and temperature x humidity-dependent covariates. J. Dairy Sci. 94: 4129-4193.

Bryant, J. R., N. Lopez-Villalobos, J. E. Pryce, C. W. Holmes, D. L. Johnson, and D. J. Garrick. 2007. Environmental sensitivity in New Zealand dairy cattle. J. Dairy Sci. 90: 1538-1547.

Freitas, M. S., I. Misztal, J. Bohmanova, and R. Torres. 2006. Regional differences in heat stress in U.S. Holsteins. Commun. No. 01-11 in Proc. 8th World Congr. Genet. Appl. Livest. Prod., Belo Horizonte.

Hammami, H., J. Bormann, N. M'hamdi, H. H. Montaldo, and N. Gengler. 2013. Evaluation of heat stress effects on production traits and somatic cell score of Holsteins in a temperate environment. J. Dairy Sci. 96: 1844-1855.

Jordan, E. R. 2003. Effects of heat stress on reproduction. J. Dairy Sci. 86 (E. Suppl.): E104-E114.

Koatdoke, U. 2008. Comparative study on physiological mechanism and cellular responses related to heat tolerance between *Bos indicus* and *Bos taurus*. Ph.D. Thesis, Khon Kaen University. Khon Kaen.

Madalena, F. E., R. L. Teodoro, A. M. Lemos, J. B. N. Monteiro, and R. T. Barbosa. 1990. Evaluation of strategies for crossbreeding of dairy cattle in Brazil. J. Dairy Sci. 73: 1887-1901.

Mader, T. L., S. M. Holt, G. L. Hahn, M. S. Davis, and D. E. Spiers. 2002. Feeding strategies for managing heat load in feedlot cattle. J. Anim. Sci. 80: 2373-2382.

Marcillac-Embertson, N. M., P. H. Robinson, J. G. Fadel, and F. M. Mitloehner. 2009. Effects of shade and sprinklers on performance, behavior, physiology, and the environment of heifers. J. Dairy Sci. 92: 506-517.

Misztal, I. 1999. Complex models, more data: simpler programming.Proc. Inter. Workshop Comput. Cattle Breed. '99, March 18-20,Tuusala, Finland. Interbull Bull. 20: 33-42.

Misztal, I., S. Tsuruta, T. Strabel, B. Auvray, T. Druet, and D. H. Lee. 2002. BLUPF90 and related programs (BGF90). Commun. No. 28–07 in 7th World Congress on Genetics Applied to Livestock Production, Montpellier, France.

Mitlohner, F. M., M. L. Galyean, and J. J. McGlone. 2002. Shade effects on performance, carcass traits, physiology, and behavior of heat-stressed feedlot heifers. J. Anim. Sci. 80: 2043-2050.

Moore, C. E., J. K. Kay, R. J. Collier, M. J. VanBaale, and L. H. Baumgard. 2005. Effect of supplemental conjugated linoleic acids on heat-stressed Brown Swiss and Holstein cows. J. Dairy Sci. 88: 1732-1740.

National Oceanic and Atmospheric Administration. 1976. Livestock hot weather stress. US Dept. Commerce, Natl. Weather Serv. Central Reg., Reg. Operations Manual Lett. C–31–76. US Govt. Printing Office, Washington, DC.

Ravagnolo, O., and I. Misztal. 2000. Genetic component of heat stress in dairy cattle, parameter estimation. J. Dairy Sci. 83: 2126-2130.

Rensis, F. D., and R. J. Scaramuzzi. 2003. Heat stress and seasonal effects on reproduction in the dairy cow-A review. Theriogenology. 60: 1139-1151.

West, J. W., B. G. Mullinix, and J. K. Bernard. 2003. Effects of hot, humid weather on milk temperature, dry matter intake, and milk yield of lactating dairy cows. J. Dairy Sci. 86: 232-242.