

กรณีศึกษา: แนวโน้มความสามารถภายนอกและทางพันธุกรรมสำหรับการให้ผลผลิตน้ำนม
ครั้งแรกของโคนมในประชากรหลากหลายพันธุ์แห่งหนึ่งของประเทศไทย

A Case Study on Phenotypic and Genetic Trends for First Lactation Productions
of a Multibreed Dairy Population in Thailand

ศกร คุณวุฒิฤทธิธรณ¹, Mauricio A. Elzo², พรรณวดี โสพรรณรัตน์¹, ศรเทพ ธัมวาสร¹

ธรรมบุญ ทองประไพ³, โชคชัย ชัยมงคล³ และ โกวิท นิธิชัย³

Skorn Koonawootrittriron¹, Mauricio A. Elzo², Panwadee Sopanarat¹, Sornthep Tumwasorn¹,

Tumanoon Tongprapi³, Chockchai Chaimongkol³ and Kovit Nithichai³

บทคัดย่อ

ข้อมูลพันธุ์ประวัติและปริมาณผลผลิตน้ำนมรวมที่ 100 วัน (MY100) และ 305 วัน (MY305) ของโคนมหลากหลายพันธุ์ที่เกิดในช่วงปี พ.ศ.2531 ถึง พ.ศ.2542 ในฟาร์มของเกษตรกร จำนวน 70 ราย ถูกนำมาใช้ในการทำนายความสามารถทางพันธุกรรมสำหรับ MY100 และ MY305 ให้กับสัตว์แต่ละตัวที่ปรากฏในประชากรด้วยวิธีการแก้สมการแบบผสมซึ่งใช้หุ่นจำลองทางพันธุกรรมแบบ animal model ที่ประยุกต์สำหรับประชากรโคนมหลากหลายพันธุ์ จากนั้นค่าเฉลี่ยของความสามารถภายนอกและทางพันธุกรรมสำหรับ MY100 และ MY305 ของโคนมเพศเมียที่เกิดในแต่ละปีถูกคำนวณค่าแบบลีสแควร์ และนำมาเปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ยสำหรับลักษณะอื่นๆ ของโคนมเพศเมียที่เกิดในปี พ.ศ.2531 อัตราการเปลี่ยนแปลงในความสามารถภายนอกและทางพันธุกรรมตลอดระยะเวลาระหว่างปี พ.ศ.2531 ถึง พ.ศ.2542 ถูกนำมาวิเคราะห์ ผลการศึกษา พบว่า ความสามารถในการให้ผลผลิตทางพันธุกรรมสำหรับ MY100 ของโคนมที่เกิดใหม่ในแต่ละปีเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ (1.37 กิโลกรัมต่อปี; $P < 0.01$) เช่นเดียวกับความสามารถที่แสดงออกภายนอก (46.37 กิโลกรัมต่อปี; $P < 0.01$) แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวแตกต่างจาก MY305 โคนมที่เกิดใหม่ในแต่ละปีมีความสามารถภายนอกสำหรับ MY305 เพิ่มขึ้น (267.83 กิโลกรัมต่อปี; $P < 0.01$) แต่ความสามารถทางพันธุกรรมนั้นมีแนวโน้มลดลง (- 3.57 กิโลกรัมต่อปี; $P > 0.05$) หากประชากรโคนมของประเทศไทยมีลักษณะเหมือนประชากรที่ศึกษา ผลการวิจัยในครั้งนี้บ่งชี้ให้นัยให้ทราบถึง ความจำเป็นในการหากลยุทธ์ที่เหมาะสมสำหรับการควบคุมความสามารถทางพันธุกรรมเพื่อเพิ่มศักยภาพการผลิตน้ำนมรวมที่ 305 วัน ของประชากรโคนมในประเทศไทย

ABSTRACT

A field data set, which consisted of pedigree and first lactation production information of purebred and crossbred Holstein cattle born in 70 farms from 1988 to 1999, was used to estimate

¹ ภาควิชาสัตวบาล คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ จตุจักร กรุงเทพฯ 10900

Department of Animal Science, Faculty of Agriculture, Kasetsart University, Jatujak, Bangkok, 10900

² Department of Animal Sciences, University of Florida, Gainesville, Florida, USA

³ องค์การส่งเสริมกิจการโคนมแห่งประเทศไทย (อ.ส.ค.), อ.มวกเหล็ก, จ. สระบุรี

Dairy Farming Promotion Organization (DPO), Mauklek, Saraburi

genetic ability for 100-d milk yield (MY100) and 305-d milk yield (MY305). Solving mixed model equation (MME) with an animal model applied for a Thai multibreed dairy population was used for genetic ability estimation. Least square mean of estimated phenotypic and genetic ability for a particular trait of all animals born in a particular year was calculated and then compared to the least square mean of those abilities of animals born in 1988. Rate of phenotypic and genetic ability changing of animal born from 1988 to 1999 was also calculated. The results reveal that during such period phenotypic (46.37 kg/yr) and genetic ability (1.37 kg/yr) for MY100 of animals born in the following years from 1988 to 1999 were significantly increased ($P<0.01$). This situation was different regarding to MY305. Animals born in the following years from 1988 to 1999 had MY305 phenotypically ability increased 267.83 kg/yr ($P<0.01$) but genotypically ability trended to be decreased 3.57 kg/yr ($P>0.05$). If Thai dairy population was as the one used for this study, these results implied that appropriate strategies should be set into such dairy population in order to control genetic improvement for MY305.

Key Words: multibreed population, dairy cattle, breeding, genetic trend

S. Koonawootrittriron: agrskk@ku.ac.th

คำนำ

แนวโน้มในการให้ผลผลิตภายนอกและทางพันธุกรรมสำหรับการให้ผลผลิตน้ำนมที่ระยะต่างๆ เป็นเครื่องมือชี้วัดตัวหนึ่งที่ใช้ประกอบการวางแผนและประเมินผลการพัฒนาศักยภาพการผลิต ทั้งที่แสดงออกภายนอก (phenotypic ability) และที่แสดงออกทางพันธุกรรม (genetic ability) ของโคนมในประชากร รูปแบบของการเปลี่ยนแปลงในความสามารถภายนอกและทางพันธุกรรม สำหรับการให้ผลผลิตที่ระยะต่างๆ สามารถชี้ให้เห็นถึงสถานการณ์ที่เป็นผลมาจากการคัดเลือกโคฟอ-แม์พันธุ์เพื่อการผสมพันธุ์ในรุ่นก่อนหน้า ประชากรโคนมหลากหลายพันธุ์กลุ่มหนึ่งในประเทศไทยจึงถูกนำมาวิจัยเป็นกรณีศึกษา เพื่อพิจารณาถึงแนวโน้มความสามารถที่แสดงออกภายนอกและทางพันธุกรรมสำหรับการให้ผลผลิตน้ำนมรวมที่ 100 วันและ 305 วันของโคนมที่อยู่ภายใต้สภาพแวดล้อมของประเทศไทยในระดับเกษตรกรว่ามีลักษณะเป็นอย่างไร เนื่องจากประชากรโคนมที่ศึกษาเป็นประชากรที่เกิดขึ้นจริงในระดับเกษตรกร ผลที่ได้จากการศึกษานี้จึงอาจสามารถนำมาใช้ประโยชน์ในการพิจารณาถึงสถานการณ์การพัฒนาศักยภาพการผลิตที่แสดงออกภายนอกและทางพันธุกรรมของประชากรโคนมที่เลี้ยงดูภายใต้สภาพแวดล้อมของประเทศไทย

อุปกรณ์และวิธีการ

ข้อมูลที่ใช้ศึกษาประกอบด้วยข้อมูลพันธุ์ประวัติ ปริมาณการให้ผลผลิตน้ำนมรวมที่ 100 วัน (MY100) และ 305 วัน (MY305) ของโคนมจำนวน 926 ตัว ที่คลอดลูกตัวแรกในช่วง พ.ศ.2534 ถึง 2545 โคนมแต่ละตัวในประชากรดังกล่าวเป็นโคพันธุ์แท้และลูกผสมที่มีสัดส่วนทางพันธุกรรมของพันธุ์โคต่างๆ (เช่น ไฮลส์ไทรน์ ซาฮิวาล เรดซินดิ เป็นต้น) อย่างน้อย 1 พันธุ์ ข้อมูลดังกล่าวเป็นชุดข้อมูลที่มีความสัมพันธ์เชื่อมโยง (connectedness) ระหว่างกลุ่มการจัดการและสิ่งแวดล้อม (ฝูง-ปี-ฤดูกาลที่คลอดลูก) ผ่านทางพ่อพันธุ์ (common sires)

ค่าประมาณองค์ประกอบของความแปรปรวนทางพันธุกรรมและสิ่งแวดล้อมของประชากรโคนมที่ศึกษา ถูกคำนวณโดยวิธี Average Information - Restricted Maximum Likelihood procedure (ASREML; Gilmour *et al.*, 2001) ความสามารถทางพันธุกรรมสำหรับ MY100 และ MY305 ของสัตว์แต่ละตัวถูกทำนายค่าด้วยวิธีการแก้สมการแบบผสม (Mixed Model Equation: Henderson, 1975; Quaas and Polak, 1980) ซึ่งใช้หุ่นจำลองทางพันธุกรรมแบบ Animal Model ที่ประยุกต์สำหรับการทำนายค่าความสามารถทางพันธุกรรมในประชากรโคนมหลากหลายพันธุ์ของประเทศไทย (Koonwootrittriron *et al.*, 2002)

ความสามารถที่สัตว์แสดงออกภายนอกและความสามารถทางพันธุกรรมที่ถูกทำนายค่าสำหรับ MY100 และ MY305 ของโคนมเพศเมียที่ให้ผลผลิตแต่ละตัวถูกนำมาคำนวณค่าเฉลี่ยแบบ Least Square จำแนกตามปีที่เกิด (พ.ศ.2531 ถึง 2542) และวิเคราะห์ถึงแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงในความสามารถที่แสดงออกภายนอกและทางพันธุกรรมสำหรับ MY100 และ MY305 ของโคนมที่เกิดใหม่ในแต่ละปีเปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ยของสัตว์ที่เกิดในปีฐาน (พ.ศ.2531) ด้วยกลวิธีการคำนวณค่าทางสถิติในโปรแกรมสำเร็จรูป SAS (SAS, 1990)

กราฟแสดงแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงความสามารถภายนอกและทางพันธุกรรมสำหรับ MY100 และ MY305 ของโคนมที่เกิดใหม่ในแต่ละปีถูกสร้างขึ้นโดยโปรแกรมสำเร็จรูป Microsoft Excel (Dodge and Stinson, 1999) เพื่อใช้ประกอบการพิจารณาถึงแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงโดยภาพรวม

ผลการวิจัย

โคนมในประชากรที่ศึกษาให้ผลผลิตน้ำนมรวมที่ 100 วัน (MY100) เฉลี่ย 1,587.11 กิโลกรัม และให้ผลผลิตน้ำนมรวมที่ 305 วัน (MY305) เฉลี่ย 4,390.76 กิโลกรัม และนับตั้งแต่ พ.ศ.2531 ถึง พ.ศ.2542 โคนมที่เกิดใหม่ในประชากรดังกล่าวได้รับการถ่ายทอดพันธุกรรมสำหรับ MY100 และ MY305 จากโคนมรุ่นพ่อแม่ด้วยอัตรา 0.12 และ 0.23 ตามลำดับ (Table 1)

Table 1 Estimated population mean, genetic variance, residual variance, and heritability for first lactation production traits

Traits	Population Mean ^a (kg)	Variance		Heritability ^b
		Genetic (kg ²)	Residual (kg ²)	
100-d Milk Yield	1,587.11 ± 468.12	12,820.00	98,580.00	0.12 (0.10)
305-d Milk Yield	4,390.76 ± 1,793.29	381,800.00	1,310,000.00	0.23 (0.13)

^a Mean ± SD; ^b Number in the brackets is standard error

ความสามารถที่แสดงออกภายนอกและทางพันธุกรรมสำหรับ MY100 ของโคนมที่เกิดในปีฐาน (พ.ศ. 2531) มีค่าเท่ากับ 1,353.50 และ 75.33 กิโลกรัม ภาพใน Figure 1 แสดงให้เห็นว่า นับตั้งแต่ พ.ศ.2531 ถึง พ.ศ. 2542 ความสามารถในการให้ผลผลิตภายนอกและทางพันธุกรรมสำหรับ MY100 ของโคที่เกิดใหม่ในแต่ละปีนั้นผันแปรเพิ่มขึ้นและลดลงกว้างไปมาโดยตลอด อย่างไรก็ตาม หากพิจารณาโดยภาพรวมแล้วโคนมที่เกิดใหม่ในแต่ละปีนับตั้งแต่ปี พ.ศ.2531 ถึง พ.ศ.2542 มีความสามารถในการให้ผลผลิตสำหรับ MY100 เพิ่มขึ้นด้วยอัตรา

46.37 กิโลกรัมต่อปี ($P<0.01$) และในทำนองเดียวกันมีความสามารถทางพันธุกรรมสำหรับลักษณะดังกล่าวเพิ่มขึ้นในอัตรา 1.37 กิโลกรัมต่อปี ($P<0.01$)

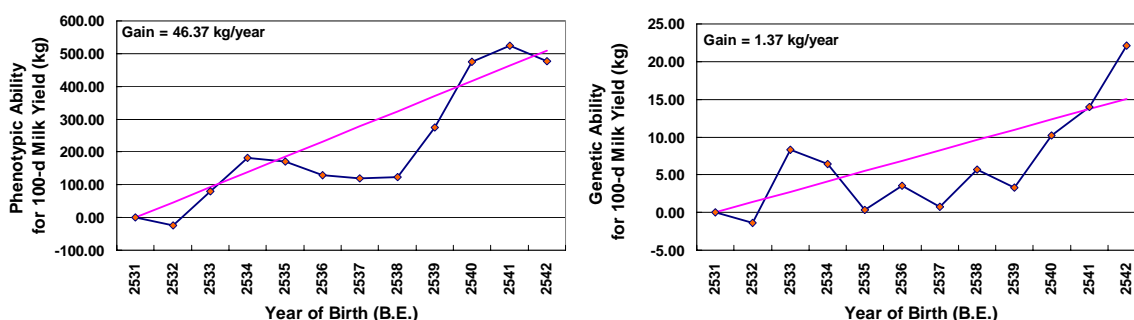


Figure 1 Phenotypic and genetic ability for 100-d milk production of dairy cattle born during the year 2531 to 2542 (Buddhist Era)

สำหรับลักษณะการให้ผลผลิต MY305 โคที่เกิดในปีฐาน (พ.ศ.2531) มีความสามารถในการให้ผลผลิตภายนอกเฉลี่ย 3,661.92 กิโลกรัม และทางพันธุกรรมเฉลี่ย 33.62 กิโลกรัม Figure 2 แสดงแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงในความสามารถที่แสดงออกภายนอกและทางพันธุกรรมสำหรับ MY305 ของโคที่เกิดใหม่ในแต่ละปี นับตั้งแต่ พ.ศ.2531 ถึง พ.ศ.2542 ความสามารถในการให้ผลผลิตภายนอกสำหรับ MY305 ของโคที่เกิดใหม่โดยภาพรวมเพิ่มขึ้นด้วยอัตรา 267.83 กิโลกรัมต่อปี ($P<0.01$) แต่ความสามารถในการให้ผลผลิตสำหรับ MY305 ทางพันธุกรรมนั้นผันแปรขึ้นลงโดยตลอด อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาโดยภาพรวมแล้วโคที่เกิดใหม่ในแต่ละปีมีแนวโน้มในการให้ผลผลิตทางพันธุกรรมสำหรับ MY305 ลดลงด้วยอัตรา 3.75 กิโลกรัมต่อปี ($P>0.05$)

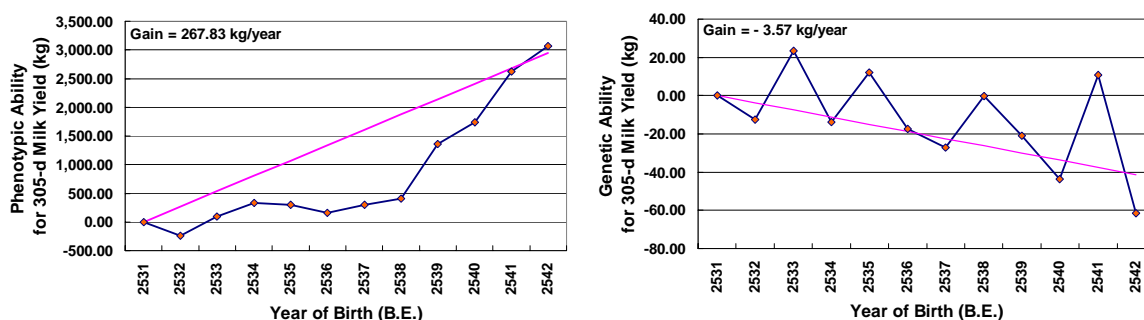


Figure 2 Phenotypic and genetic ability for 305-d milk production of dairy cattle born during the year 2531 to 2542 (Buddhist Era)

วิจารณ์ผลการวิจัย

ด้วยการซื้อ-ขายโคนมในประเทศไทยจากอดีตถึงปัจจุบัน โคนมที่ให้ผลผลิตน้ำนมสูง (ในหนึ่งวัน) มักได้รับการกล่าวถึงและมีราคาซื้อขายสูง สถานการณ์ดังกล่าวสามารถสังเกตได้จากการจัดการประกวดโคนมต่างๆ ที่จัดขึ้นโดยหน่วยงานของรัฐและเอกชนในแต่ละครั้ง ซึ่งมักมีการประกวดโครีดนมมาก (ปริมาณน้ำนมที่รีดได้ในหนึ่งวันสูง) ร่วมด้วยเสมอ (องค์การส่งเสริมกิจการโคนมแห่งประเทศไทย, 2546) ค่านิยมและผลของการจัดการประกวดโคนมในลักษณะดังกล่าวส่งผลให้โคนมที่มีการให้ผลผลิตน้ำนมสูงที่สุดในหนึ่งวัน (peak yield) สูงกว่ามี

โอกาสได้รับการคัดเลือกและขยายพันธุ์มากกว่าโคนมที่มีการให้ผลผลิตน้ำนมสูงที่สุดในหนึ่งวันต่ำกว่า และด้วยในช่วง 100 วันแรกของการให้ผลผลิตน้ำนมเป็นช่วงที่โคนมส่วนใหญ่ให้ผลผลิตน้ำนมสูงที่สุด ซึ่งโคนมจำนวน 81.43 เปอร์เซ็นต์ของโคนมทั้งหมดในชุดข้อมูลนี้ก็ให้ผลผลิตน้ำนมสูงที่สุดในช่วง 100 วันแรก ดังนั้น จึงไม่แปลกที่จะพบว่า ความสามารถที่แสดงออกภายนอกและทางพันธุกรรมสำหรับ MY100 นั้น เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.01$) และเป็นไปในทิศทางเดียวกัน (โดยภาพรวมเพิ่มขึ้น จาก พ.ศ.2531 ถึง พ.ศ.2542) ลักษณะการเปลี่ยนแปลงในความสามารถในการให้ผลผลิตสำหรับ MY100 ของโคนมในประชากรที่ศึกษาในครั้งนี้มีความคล้ายคลึงกับประชากรโคนมส่วนหนึ่งของสหกรณ์โคนมวังน้ำเย็น จ.สระแก้ว ในช่วง พ.ศ.2537 ถึง พ.ศ.2543 ที่ศึกษาโดย ศักดิ์ชัย และคณะ (2543)

แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงในความสามารถที่แสดงออกภายนอกและทางพันธุกรรมสำหรับ MY305 ของโคนมในประชากรที่ศึกษาครั้งนี้มีทิศทางการเปลี่ยนแปลงไม่สอดคล้องซึ่งกันและกัน ลักษณะเช่นนี้คล้ายคลึงกับแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของลักษณะดังกล่าวที่เกิดขึ้นในประชากรโคนมที่ศึกษาโดย วิสุทธิ์ และคณะ (2543) ศักดิ์ชัย และคณะ (2543) และ จุริรัตน์ และสายัณห์ (2546) การเพิ่มขึ้นของความสามารถในการให้ผลผลิตภายนอกสำหรับ MY305 ของโคนมที่เกิดขึ้นใหม่นี้อาจได้รับอิทธิพลจากสภาพแวดล้อมและการจัดการด้านต่างๆ ที่มีการพัฒนาให้มีประสิทธิภาพเพิ่มมากขึ้นโดยตลอด และหากพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ยในความสามารถทางพันธุกรรมสำหรับ MY305 ของโคที่เกิดขึ้นใหม่ในแต่ละปีแล้วจะพบว่ามีลักษณะที่เปลี่ยนแปลงไปตามโอกาส (by chance)

โดยทั่วไป เกษตรกรไทยมักให้ความสำคัญต่อการเลือกพ่อและแม่พันธุ์ที่พิจารณาข้อมูลความสามารถทางพันธุกรรมในการให้ผลผลิตภายใต้สภาพแวดล้อมของประเทศไทยน้อย เกษตรกรส่วนใหญ่ยังคงพิจารณาเพียงข้อมูลความสามารถที่แสดงออกภายนอกเท่านั้น ดังนั้น ในบางปี หากพ่อแม่พันธุ์ที่คัดเลือกเพื่อการผสมพันธุ์มีความสามารถทางพันธุกรรมภายใต้สภาพแวดล้อมของประเทศไทยสูงจริง ค่าเฉลี่ยทางพันธุกรรมของลูกที่เกิดขึ้นในปีถัดมาจะมีแนวโน้มสูงขึ้นไปด้วย แต่ถ้าหากโคที่มีการให้ผลผลิตภายนอกสูงแต่โดยแท้จริงแล้วมีความสามารถทางพันธุกรรมต่ำได้รับการคัดเลือกเพื่อการผสมพันธุ์แล้ว ลูกที่เกิดขึ้นในปีถัดมาก็จะมีแนวโน้มของค่าเฉลี่ยทางพันธุกรรมต่ำลง เนื่องจาก ปริมาณน้ำนมรวมที่ 305 วัน เป็นตัวบ่งชี้ถึงโอกาสในความความสำเร็จของการประกอบอาชีพการผลิตโคนมนอกเหนือจากการลดและควบคุมต้นทุนการผลิต ดังนั้น หากประชากรโคนมของประเทศไทยมีลักษณะเช่นเดียวกับประชากรที่นำมาศึกษา กลยุทธ์ที่เหมาะสมที่สามารถนำมาใช้ควบคุมการพัฒนาศักยภาพการผลิตทางพันธุกรรม สำหรับปริมาณน้ำนมรวมที่ 305 วัน ของโคนมที่จะเกิดขึ้นใหม่เป็นสิ่งจำเป็นและควรเร่งดำเนินการให้เกิดความสัมฤทธิ์ผลในเชิงปฏิบัติในระดับของเกษตรกร

สรุปผลการวิจัย

โคนมที่เกิดขึ้นใหม่ในแต่ละปี นับตั้งแต่ พ.ศ.2531 ถึง พ.ศ.2542 ในประชากรหลากหลายพันธุ์แห่งหนึ่งก็นำมาศึกษามีแนวโน้มในความสามารถในการให้ผลผลิตน้ำนมครั้งแรกรวมที่ 100 วัน ที่แสดงออกภายนอกและทางพันธุกรรมเพิ่มขึ้น ($P < 0.01$) ในอัตรา 46.37 และ 1.37 กิโลกรัมต่อปี แต่สำหรับการให้ผลผลิตน้ำนมครั้งแรกรวมที่ 305 วัน นั้น โคนมที่เกิดขึ้นใหม่ในแต่ละปีมีแนวโน้มในความสามารถที่แสดงออกภายนอกเพิ่มขึ้น 267.83 กิโลกรัมต่อปี ($P < 0.01$) แต่มีแนวโน้มของความสามารถทางพันธุกรรมลดลงด้วยอัตรา 3.75 กิโลกรัมต่อปี

($P>0.05$) ผลการวิจัยบอกเป็นนัยถึงความจำเป็นในการจัดการกลยุทธ์เพื่อควบคุมการพัฒนาศักยภาพการผลิตทางพันธุกรรมของปริมาณการให้ผลผลิตน้ำนมรวมที่ 305 วัน ของโคที่เกิดใหม่ในประชากร

คำนิยม

คณะวิจัยขอขอบคุณ องค์การส่งเสริมกิจการโคนมแห่งประเทศไทย (อ.ส.ค.) ที่ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลโคนมเพื่อการใช้ประโยชน์ในงานวิจัย และเกษตรกรผู้เลี้ยงโคนมที่ให้ความร่วมมือในการจัดเก็บข้อมูลและเห็นความสำคัญของการพัฒนาศักยภาพทางพันธุกรรมของโคนมภายในประเทศไทย

เอกสารอ้างอิง

- จรีรัตน์ แสงโกชนัน และสายัณห์ บัวบาน. 2546. การประเมินค่าทางพันธุกรรมของลักษณะผลผลิตน้ำนมสำหรับโคนมในประเทศไทย. เวชสารสัตวแพทย์ 33(2):80-90.
- วิสุทธิ หีมารัตน์ วนิดา กำเนิดเพชร มานิตย์ ทรามาศ และ พีรพันธ์ ทองก้อน. 2543. ระบบการผลิตและการประเมินคุณค่าทางพันธุกรรมของโคนมไทยภายใต้แผนการผสมพันธุ์แบบยกระดับสายเลือด. รายงานผลการวิจัย, สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย. กรุงเทพฯ.
- ศักดิ์ชัย โตภาณุรักษ์ วิสุทธิ หีมารัตน์ ไพบุลย์ ใจเด็ด สมชาย จันทรผ่องแสง และสุพัตร ฟ้ารุ่งแสง. 2543. การประเมินประสิทธิภาพการผลิตและพันธุกรรมโคนมของสหกรณ์โคนมวังน้ำเย็น จังหวัดสระแก้ว. รายงานผลการวิจัย, สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย. กรุงเทพฯ. 111 หน้า.
- องค์การส่งเสริมกิจการโคนมแห่งประเทศไทย. 2546. การประกวดโค งานวันโคนมแห่งชาติ ประจำปี พ.ศ. 2546. องค์การส่งเสริมกิจการโคนมแห่งประเทศไทย, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 43 หน้า.
- Dodge, M. and Sinson, C. 1999. Running Microsoft Excel 2000. Microsoft Press, Washington, USA. 994 p.
- Gilmour, A. R., B. R. Cullis, S. J. Welham, and R. Thompson. 2001. ASREML Reference Manual. NSW Agriculture, Australia. 217 p.
- Henderson, C. R. 1975. Best linear unbiased estimation and prediction under a selection model. Biometrics. 31:423-448.
- Koonawootrittriron, S., M. A. Elzo, S. Tumwasorn, and K. Nithichai. 2002. Estimation of covariance components and prediction of additive genetic effects for first lactation 305 d milk and fat yields in a Thai multibreed dairy population. Thai J. Agric. Sci. 35(3):245-258.
- Quaas, R. L., and E. J. Pollak. 1980. Mixed model methodology for farm and ranch beef cattle testing programs. J. Anim. Sci. 51:1277-1287.
- SAS. 1990. SAS/STAT User's Guide. 4th ed. SAS Institute Inc., Cary. USA.