การปรับปรุงพันธุ์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้อาหารด้วย residual feed intake ในโค

Genetic improvement for increasing feed efficiency of residual feed intake in cattle

สมสุข พวงดี[1], มนต์ชัย ดวงจินดา[1] และ วุฒิไกร บุญคุ้ม[1*]

Somsook Puangdee, Monchai Duangjinda and Wuttigrai Boonkum

บทนำ

อาหารเป็นปัจจัยสำคัญประการหนึ่งต่อปริมาณน้ำนมที่ผลิตได้ของแม่โคและถือเป็น 70-80% ของต้นทุนการผลิตน้ำนมทั้งหมด (Zamani et al., 2008) หากอาหารมีราคาสูงขึ้นย่อมส่งผลกระทบโดยตรงต่อต้นทุนและผลกำไรที่จะได้รับของเกษตรกร ในทางปฏิบัติการปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้อาหารของแม่โคสามารถทำได้หลายวิธี เช่น การใช้ ionophore (McGuffey et al., 2001) การเสริมยีสต์ การใช้ bypass fat และการใช้ฮอร์โมน bovine somatotropin (Davis et al., 1999) และแม้ว่าวิธีการดังกล่าวจะช่วยเพิ่มปริมาณน้ำนมและรายได้ให้กับเกษตรกรได้ก็ตามแต่การใช้สารเสริมดังกล่าวยังเป็นการเพิ่มต้นทุนการผลิตด้วยเช่นกันและอาจทำให้เกษตรกรอาจตกอยู่ในภาวะเสี่ยงต่อการขาดทุนได้หากราคาสารเสริมเหล่านี้เพิ่มสูงขึ้น ดังนั้นในปัจจุบันจึงมีการศึกษาหาแนวทางอื่นที่มีประสิทธิภาพสูงแต่ไม่เป็นการเพิ่มต้นทุนการผลิต นั่นคือการคัดเลือกโคนมโดยพิจารณาจากลักษณะบ่งชี้ประสิทธิภาพการใช้อาหาร ได้แก่ ลักษณะอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ (feed conversion ratio; FCR) และลักษณะปริมาณอาหารที่คลาดเคลื่อนจากความต้องการ (residual feed intake; RFI) ซึ่งทั้งสองลักษณะถือเป็นลักษณะที่อาศัยกลไกในร่างกายของโคจากการใช้อาหารมาเป็นข้อพิจารณา อย่างไรก็ตาม FCR จัดเป็นค่าดัชนีรวมซึ่งแสดงถึงปริมาณอาหารที่กินได้เพื่อเปลี่ยนเป็นน้ำหนักตัวโดยไม่คำนึงถึงการใช้ประโยชน์ด้านการดำรงชีวิต ในขณะเดียวกันการคัดเลือกสัตว์จากค่า FCR ต่ำจะสัมพันธ์กับการมีน้ำหนักตัวเมื่อโตเต็มวัยของโคเพิ่มขึ้น (cow mature weight) (Crews Jr., 2005) จากเหตุผลดังกล่าวจึงเป็นข้อจำกัดในการใช้ค่า FCR ในการคัดเลือกเพื่อการปรับปรุงพันธุ์ ดังนั้นจึงมีการพิจารณาใช้ค่า RFI ทดแทนค่า FCR เพื่อลดข้อจำกัดที่เกิดขึ้นอีกทั้งยังเป็นค่าที่กำลังได้รับความสนใจสำหรับศึกษาวิจัยเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องเพื่อใช้เป็นแนวทางในการลดต้นทุนค่าอาหารและบ่งชี้การลดปริมาณการผลิตก๊าซมีเทนในเวลาเดียวกัน (Arthur and Herd, 2008)

residual feed intake (RFI) เป็นดัชนีชี้วัดประสิทธิภาพการใช้อาหารโดยคำนวณจากผลต่างระหว่างอาหารที่กินได้จริง (actual feed intake) และอาหารที่ได้รับจากการคำนวณ (expected feed intake) หากโคกินอาหารต่ำกว่ามาตรฐานที่คำนวณได้แสดงว่าอาหารถูกใช้อย่างมีประสิทธิภาพ (RFI ต่ำ)

[1] ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น จังหวัดขอนแก่น 40002
Department of Animal Science, Faculty of Agriculture, Khon Kaen University, Khon Kaen, 40002

* Corresponding author: wuttigrai_b@yahoo.com

ซึ่งไม่มีผลกระทบต่อการให้ผลผลิตจากผลการวิจัยของ Zamani et al. (2008) ชี้ให้เห็นว่าลักษณะ RFI มีความเหมาะสมสำหรับนำมาใช้เป็นดัชนีชี้วัดประสิทธิภาพการใช้อาหารและยังสามารถใช้วิเคราะห์ร่วมกับลักษณะทางด้านผลผลิตต่างๆ ได้โดยวิเคราะห์ในรูปของดัชนีการคัดเลือก (selection index) เพื่อนำไปปรับปรุงพันธุกรรมและใช้ในการคัดเลือกสัตว์รายตัวต่อไป ดังนั้นการลดต้นทุนอาหารโดยใช้วิธีการปรับปรุงพันธุ์โดยใช้ลักษณะ RFI เป็นข้อมูลพื้นฐานจึงเป็นประเด็นที่น่าสนใจ ด้วยเหตุผลดังกล่าวบทความฉบับนี้จึงได้รวบรวมเอกสาร และนำเสนอความเป็นไปได้ของการใช้ residual feed intake มาเป็นลักษณะในการคัดเลือกพันธุกรรมโคนมเพื่อเพิ่มความสามารถทางพันธุกรรมของโคในด้านการใช้ประโยชน์จากอาหารอย่างมีประสิทธิภาพเพื่อนำไปสู่แนวทางลดต้นทุนอาหารต่อไป

ลักษณะ residual feed intake

Residual feed intake (RFI) หรือลักษณะปริมาณอาหารที่คลาดเคลื่อนจากความต้องการเป็นดัชนีชี้วัดการใช้อาหารอย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งพิจารณาจากผลต่างระหว่างอาหารที่กินได้จริง (actual feed intake) และอาหารที่ได้รับจากการคำนวณ (expected feed intake) (1) การคำนวณอาหารที่ได้รับอยู่บนพื้นฐานความต้องการเพื่อการดำรงชีวิต และการให้ผลผลิตซึ่งทำได้ด้วยวิธี Nutrient Requirements of Dairy Cattle (NRC, 2001) หรือการใช้สมการทำนาย (Arthur et al., 2001) ดังนั้นโคที่กินอาหารได้น้อยกว่าค่ามาตรฐานความต้องการจะเป็นโคที่มีศักยภาพการใช้อาหารได้อย่างมีประสิทธิภาพสูง

RFI = actual feed intake – expected feed intake ---------- (1)

การประเมินอาหารที่โคได้รับปัจจุบันใช้สมการทำนายหลายสมการแต่ในโคสามารถแบ่งออกเป็น 2 สมการหลักได้แก่ สมการทำนายในระยะการเจริญเติบโต และสมการทำนายในระยะการให้น้ำนม สำหรับสมการทำนายในระยะการเจริญเติบโตสามารถเขียนได้ดังสมการที่ 2 (Shaffer et al., 2011)

$DFI = \beta_o + \beta_1 (ADG) + \beta_2 (MMWT)$ --------- (2)

เมื่อ

DFI_i = expected daily feed intake of animal i,

β_o = intercept (β_o = 2.55861),

β_1 = partial regression coefficient of daily feed intake on average daily gain (β_1 = 1.98698),

β_2 = partial regression coefficient of daily feed intake on metabolic mid-weight (β_1 = 1.98698),

ADG = Average Daily Gain, MMWT = Metabolic Mid-Weight

ความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะ RFI ต่อลักษณะที่สำคัญอื่น ๆ

การที่โคกินอาหารต่ำกว่ามาตรฐานที่คำนวณ (RFI ต่ำ) ชี้ว่าโคมีความสามารถในการใช้อาหารแต่ลักษณะดังกล่าวจะมีความสัมพันธ์ หรือส่งผลกระทบต่อลักษณะอื่นหรือไม่ยังเป็นสิ่งที่ต้องพิจารณาสำหรับนำไปคัดเลือก จากการรวบรวมเอกสารสรุปได้ว่าการที่โคมีค่า RFI ต่ำไม่มีผลกระทบต่อลักษณะการเจริญเติบโต การสืบพันธุ์ และน้ำหนักซาก นอกจากนี้ลักษณะดังกล่าวยังส่งผลดีต่อการลดค่าใช้จ่ายการผลิตพร้อมกับลดปัญหาสิ่งแวดล้อมในเวลาเดียวกัน ดังที่ Nkrumah et al. (2006) และ Hegarty et al. (2007) ได้รายงานว่าการเลี้ยงโคที่มีประสิทธิภาพการใช้อาหารดีจะสามารถลดค่าใช้จ่ายลง 9-10% ปริมาณการกินอาหารลดลง 10-12% และการปล่อยก๊าซมีเทนสู่บรรยากาศลดลง 25-30% การที่โคกินอาหารลดลงแต่ไม่ส่งผลกระทบต่อผลผลิตนั้น Herd et al. (2004) ได้เสนอแนะว่าโคมีระบบชีววิทยาในตัวเองซึ่งส่งผลให้การทำงานของร่างกายมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น เช่น กระบวนการกินอาหาร การย่อยอาหาร กระบวนการเมทาบอลิซึม และกระบวนการควบคุมอุณหภูมิ นอกจากนี้ RFI ยังมีความสัมพันธ์กับทั้งลักษณะการเจริญเติบโต และสมรรถนะการสืบพันธุ์อีกด้วยดังแสดงในตารางที่ 1 (**Table 1**)

Table 1 Residual feed intake[2] (RFI) on growth, reproductive traits in dairy and beef cattle.

Sources	Traits[1]	RFI level			
		high	medium	low	P-value
Shaffer et al. (2011)					
	Dairy heifer, number	42	56	39	
	ADG, kg/day	1.10 a[3]	1.17 b	1.09 a	0.04
	Intake, kg of TDN/day	7.82 c	6.98 b	5.56 a	<0.001
	RFI, kg of TDN/day	1.00 c	0.00 b	-1.28 a	<0.001
	Age at puberty, day	411	427	425	0.06
	Conception rate, %	65.70	67.40	62.10	0.89
	Estrus detection rate, %	83.30	76.80	74.40	0.59
	Inseminations/heifer, time	1.16	1.43	1.23	0.26
Nkrumah et al. (2007)					
	Steers, number	139	183	142	
	Phenotypic RFI, kg of DM/day	0.98 a	-0.02 b	-0.95 c	<0.001
	Daily Feed per gain, kg of DM/kg of gain	8.11 a	7.17 b	6.59 c	<0.001
	Daily DMI, kg/day	11.63 a	10.56 b	9.53 c	<0.001
	ADG	1.47	1.49	1.48	0.66
	Final BW, kg	459.90	455.00	461.70	0.62
	Slaughter weight, kg	543.80	542.90	533.40	0.22

[1] ADG = average daily gain; RFI = residual feed intake; TDN = total detergent nutrient; DM = dry matter; DMI = dry matter intake; BW = body weight.

[2] Residual feed intake groups are defined as: high, RFI is 0.5 standard deviation above the mean; medium, RFI is ± 0.5 standard deviation above and below the mean; and low, RFI is < -0.5 standard deviation below the mean.

[3] a–c within a row means without a common superscript letter differ ($P < 0.05$).

ค่าพารามิเตอร์ทางพันธุกรรมของลักษณะ residual feed intake (RFI)

ค่าอัตราพันธุกรรม

ลักษณะ RFI มีความสำคัญต่อการลดต้นทุนการผลิต และการลดปริมาณการปล่อยก๊าซมีเทนออกสู่บรรยากาศของโค อย่างไรก็ตามจำเป็นต้องพิสูจน์ลักษณะดังกล่าวว่ามีศักยภาพเชิงพันธุกรรมเพียงพอสำหรับนำไปใช้ในการตัดสินใจคัดเลือกโคที่มีความสามารถในการใช้อาหารอย่างมีประสิทธิภาพได้หรือไม่ จากตารางที่ 2 (**Table 2**) แสดงให้เห็นว่าค่าอัตราพันธุกรรมของลักษณะ RFI ในโคนมมีค่าอยู่ระหว่าง 0.01-0.38 ในขณะที่ในโคเนื้อมีค่าอยู่ระหว่าง 0.16-0.39 ตามลำดับ ซึ่งความผันแปรของค่าอัตราพันธุกรรมอาจเป็นผลเนื่องมาจากความแตกต่างกันของชนิดอาหาร โภชนะในอาหาร ระบบการให้อาหารในแต่ละประเทศที่แตกต่างกัน รวมถึงความหลากหลายของวิธีการประเมินอาหารที่โคได้รับ อย่างไรก็ตามค่าอัตราพันธุกรรมทั้งในโคเนื้อและโคนมโดยรวมต่างมีค่าในระดับปานกลางซึ่งถือว่าลักษณะดังกล่าวมีความแปรปรวนของพันธุกรรมมากพอสำหรับนำไปใช้ในการประเมินพันธุกรรมเพื่อคัดเลือกต่อไปได้

Table 2 Heritability of residual feed intake (RFI) in dairy cattle.

Sources[1]	Heri-tability	Number of records/breeds	Period (days)	Feeding methods[2]	RFI calculation traits[3]	Methods[4]
■ Phenotypically calculated RFI						
1	0.19	360/heifer	0-120	fixed cont., ad lib. roughage, 2 random cont. groups	FCM, LWC, $Lw^{0.75}$	est. b's
2	0.02	247/cows	0-300	TMR, 3 cont. groups according to yield	FCM, LWC, $Lw^{0.75}$	est. b's
3	0.04	353/cows	7-84	fixed cont., ad lib. roughage, 2 random groups	FCM, LWC, $Lw^{0.75}$	fixed b's
4	0.14	8000/cows	1-305	continue according to yield, not ad libitum., several groups	FCM, LW	est. var.
5	0.38	377/cows	1-182	TMR ad lib. 2 random cont. groups	LE, LWC, $Lw^{0.75}$	est. b's
	0.32				LE, LWC, $Lw^{0.75}$	fixed b's
	0.30				several	est. b's
	0.34				LE, LWC, $Lw^{0.75}$	est. var.
6	0.01	970/cows	1-180		milk, fat, cp, bcs, bw, bcs*bw, dim.	
7	0.16	540/hereford			ADG, $Lw^{0.75}$	
8	0.39	782/charolais			ADG, $Lw^{0.75}$	
9	0.18	1481/mixed			ADG, $Lw^{0.75}$	
10	0.24	740/wagyu			ADG, $Lw^{0.75}$	
■ Nutrient requirement of dairy cow						
11	0.21	906/cows	1-305	TMR ad lib., Milk 3 time	NRC	

[1] 1 = Van Arendonk et al. (1991); 2 = Ngwerume and Mao (1992); 3 = Svendsen et al. (1993); 4 = Kennedy et al. (1993); 5 = Veerkamp et al. (1995); 6 = Vallimont et al. (2011); 7 = Herd and Bishop (2000); 8 = Arthur et al. (2001); 9 = Robinson and Oddy (2004); 10 = Hoque et al. (2006); 11 = Zamani et al. (2008).

[2] TMR = total mixed ration; cont. = concentrate.

[3] FCM = fat corrected milk;LWC =; $Lw^{0.75}$ = ; LE = lactation energy ; cp = crude protein; bsc = body score condition; bw = body weight; dim = day in milk; ADG = average daily gain; NRC = Nutrient requirements of dairy cattle

[4] est. b's = partial efficiencies estimated as partial regression from data; fixed b's = partial efficiencies from literature; est. var. = partial efficiencies from estimated variance and covariance matrix.

ค่าสหสัมพันธ์ทางพันธุกรรมระหว่างลักษณะ residual feed intake (RFI) กับลักษณะสำคัญทางเศรษฐกิจอื่น

แม้ว่าลักษณะ RFI จะสามารถคัดเลือกและปรับปรุงพันธุกรรมให้ดีขึ้นได้ อย่างไรก็ตามการปรับปรุงลักษณะ RFI ย่อมส่งผลกระทบต่อลักษณะอื่นเช่นกัน ดังนั้นในการปรับปรุงพันธุกรรมจำเป็นต้องคำนึงถึงค่าสหสัมพันธ์ทางพันธุกรรมระหว่างลักษณะ residual feed intake (RFI) กับลักษณะสำคัญทางเศรษฐกิจอื่นร่วมด้วย ดังแสดงในตารางที่ 3 (Table 3) สามารถสรุปได้ว่าการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้อาหารของโคด้วยการคัดเลือกพันธุกรรมของลักษณะ RFI ให้ต่ำจะส่งผลให้โคลดพฤติกรรมบางอย่างลง เช่น ปริมาณอาหารที่กิน การใช้เวลาในการกิน การผลิตก๊าซมีเทน และการผลิตความร้อนอย่างไรก็ตามไม่พบว่ามีผลกระทบต่อศักยภาพทางพันธุกรรมในลักษณะการเจริญเติบโต น้ำหนักซาก ผลผลิตน้ำนม และองค์ประกอบน้ำนม ดังที่ Nkrumah et al. (2007) ได้รายงานว่า RFI มีสหสัมพันธ์ทางพันธุกรรมเชิงบวกกับลักษณะการกินได้ของสิ่งแห้ง (dry matter intake; kg/day) การผลิตความร้อน (heat production) และอัตราส่วนอาหารต่อการเจริญเติบโต (feed per gain ratio; kg of DM/kg of gain) ในระดับสูง นอกจากนี้ RFI ยังมีสหสัมพันธ์ทางพันธุกรรมเชิงบวกกับลักษณะไขมันสันหลัง (back fat) การผลิตมีเทน และระยะเวลากินอาหารในระดับปานกลาง แต่ในทางตรงกันข้ามมีสหสัมพันธ์ทางพันธุกรรมเชิงลบร่วมกับลักษณะปริมาณน้ำนม และองค์ประกอบน้ำนม (Veerkamp et al., 1995; Zamani et al., 2008)

Table 3 Genetic correlation between residual feed intake (RFI) and economic traits in dairy and beef cattle.

Types	Traits	Genetic correlation	Sources
Beef cattle			
	Dry matter intake	0.73	Nkrumah et al. (2007)
	Feed per gain ratio	0.62	Nkrumah et al. (2007)
	Ultrasound back fat	0.35	Nkrumah et al. (2007)
	Carcass weight	0.05	Nkrumah et al. (2007)
	Intramuscular fat	-0.44	Crews Jr. et al. (2003)
	Rib eye area	-0.17	Schenkel et al. (2004)
	Methane	0.44	Nkrumah et al. (2006)
	Feeding duration	0.43	Lancaster et al. (2008)
	Heat production	0.68	Nkrumah et al. (2006)
Dairy cattle			
	Dry matter intake	0.61to 0.64	Veerkamp et al. (1995); Zamani et al. (2008)
	Milk yield	-0.05 to 0.07	Veerkamp et al. (1995); Zamani et al. (2008)
	Fat corrected milk	-0.08	Zamani et al. (2008)
	Fat yield	-0.07	Zamani et al. (2008)
	Protein yield	-0.05 to -0.02	Veerkamp et al. (1995); Zamani et al. (2008)

แนวโน้มทางพันธุกรรมของลักษณะ residual feed intake

Arthur (2010) รายงานว่าค่าการผสมพันธุ์ (estimated breeding value) ของลักษณะ RFI ในโคนมมีความก้าวหน้าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง (**Figure 1**) แต่ยังไม่สามารถสรุปได้ว่าแนวโน้มทางพันธุกรรมจะถึงจุดสูงสุดเมื่อไร (plateau of selection) แต่จากการศึกษาในหนูถึงแนวโน้มทางพันธุกรรมของลักษณะ RFI พบว่ามีแนวโน้มทางพันธุกรรมสูงขึ้นจนกระทั่งถึง 38 ชั่วรุ่น (Arthur, 2010) ดังนั้นอาจชี้ให้เห็นว่าลักษณะ RFI สามารถก้าวหน้าทางพันธุกรรมได้ยาวนาน นอกจากนี้ Arthur and Herd (2008) ได้เสนอแนวโน้มทางพันธุกรรมของลักษณะ RFI ในโคนม (**Table 4**) พบว่ากลุ่มโคนมที่มีค่า RFI ต่ำแสดงให้เห็นว่าประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหารดีกว่า การผลิตก๊าซมีเทนน้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มโคนมที่มีค่า RFI สูง ในขณะที่การเจริญเติบโต คุณภาพเนื้อ ลักษณะการเลี้ยงดูลูก และผลผลิตน้ำนม ไม่มีความแตกต่างกัน

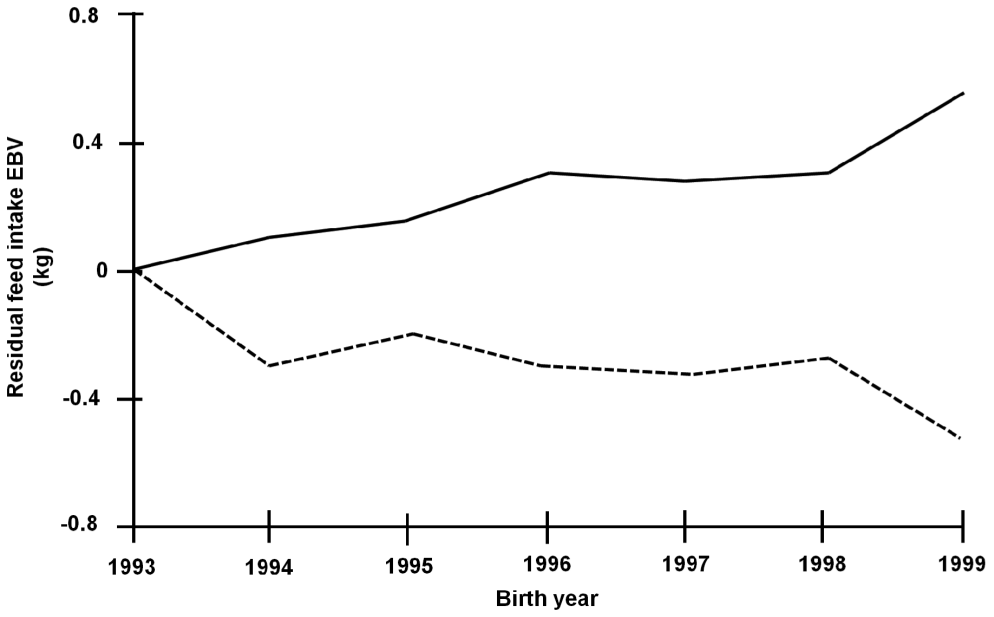


Figure 1 Genetic trend of residual feed intake in low line (----) and high line (═══) in post-weaning dairy cattle.
Source: Arthur and Herd (2008); Arthur (2010).

Table 4 Least squares means of selection response of residual feed intake (RFI) on growth, meat quality, maternal ability, methane production and milk yield traits in dairy and beef cattle.

Traits	Generations of selection	Selection line		Significance
		Low RFI	High RFI	
Growth and feed efficiency[1]	2.0			
Weaning weight (kg)		232.5	228.3	ns[3]
Yearling weight (kg)		384.3	380.7	ns
Average daily gain (kg)		1.4	1.4	ns
Rib eye area, (cm2)		72.1	74.2	ns
Daily feed intake (kg)		9.4	10.6	*
Feed conversion ratio		6.6	7.8	*
Residual feed intake (kg/day)		-0.5	0.7	*
Meat attributes[1]	1.0			
12/13th rib fat depth (mm)		9.2	10.1	*
Shear force (kg)				
Meat aged for 1 day		4.6	4.6	ns
Meat aged for 14 day		3.8	3.5	ns
m-Calpain (units/g tissue)		1.9	1.8	ns
μ-Calpain (units/g tissue)		2.3	2.1	ns
Calpastatin (units/g tissue)		5.2	4.6	*
Maternal productivity[1]	1.5			
Calving rate (%)		89.2	88.3	ns
Weaning rate (%)		81.5	80.2	ns
Milk yield (kg/day)		7.5	7.8	ns
Wt of calf weaned (kg)		191.3	198.4	ns
Methane production in steer[1]	2.4			
Dry mater intake (DMI, kg/day)		8.4	14.1	*
Average daily gain (kg)		1.1	1.2	ns
Methane (g/day)		142.3	190.2	*
Methane (g/kg of ADG)		131.8	173.0	ns
Milk production in dairy cow[2]				
Live weight (kg)		601	606	-
Dry matter intake (kg/day)		16.8	18.7	-
Milk (kg/day)		26.3	27.6	-
Fat (%)		4.5	4.1	-
Protein (%)		3.0	3.2	-

[1] Source from Arthur and Herd (2008).

[2] Source from Veerkamp et al. (1995).

[3] * within a row means without a common superscript letter differ ($P < 0.05$) and ns within a row means not significant ($P > 0.05$).

ผลตอบแทนทางเศรษฐกิจ และอุปสรรคของการใช้ลักษณะ residual feed intake (RFI)

Moore et al. (2009) รายงานว่าในโคสาวทดแทน (replacement heifer) การเพิ่มประสิทธิภาพการใช้อาหาร ด้วยวิธีการคัดเลือกโคที่มีค่า RFI ต่ำ จะไม่ส่งผลกระทบต่อการเจริญเติบโต และน้ำหนักตัวเมื่อโตเต็มที่ แต่จะให้ผลตอบแทนทางเศรษฐกิจดีขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งมีต้นทุนการผลิตต่างๆ ลดลง ได้แก่ ค่าใช้จ่ายด้านการเลี้ยงดูลดลง 9-10%, ปริมาณอาหารที่กินลดลง 12%, การปล่อยก๊าซมีเทนลดลง 25-30% และการขับถ่ายมูลลดลง 15-20% นอกจากนี้ Arthur (2010) ได้รายงานว่าการเลี้ยงโคที่มีค่า RFI ต่ำ จำนวน 100 ตัว สามารถลดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ปีละ 20.6 ตัน และเพิ่มรายได้เป็น 10-20% ต่อปี (ก๊าซมีเทนลดลง 0.98 ตันต่อปี, ค่ามีเทนเท่ากับ 21 เท่าของ CO_2 และการซื้อขาย 10.5 AU$/ton CO_2) แม้ว่าการประเมินผลตอบแทนทางเศรษฐกิจของการเลี้ยงโคตลอดช่วงการจัดการจะมีความยากแต่จะพบว่าผลตอบแทนทางเศรษฐกิจในกรณีของการเลี้ยงโคพ่อพันธุ์ที่มีค่า RFI ต่ำ ในช่วงเวลา 150 วัน จะส่งผลให้มีค่าใช้จ่ายลดลง 16% เมื่อเปรียบเทียบกับโคที่มีค่า RFI สูง อย่างไรก็ตามการปรับปรุงพันธุ์ลักษณะ RFI แม้ว่าจะมีข้อดีมากมาย แต่ยังพบอุปสรรคบางประการเช่น ค่าใช้จ่ายในการดำเนินการสูง อุปกรณ์การบันทึกอาหารที่กินได้มีราคาแพง (188 AU$ ต่อตัว) และอาจไม่สะดวกและเหมาะสมสำหรับฟาร์มขนาดกลางและขนาดเล็ก

แนวทางการปรับปรุงพันธุ์โคโดยพิจารณาจากลักษณะ residual feed intake (RFI)

การคัดเลือกพันธุกรรมโคโดยพิจารณาจากลักษณะ RFI เป็นวิธีการปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้อาหารในทางตรง แม้ว่าจะให้ผลที่แม่นยำและนำไปสู่การลดต้นทุนค่าอาหาร ทั้งยังช่วยลดการปล่อยก๊าซมีเทนได้อย่างมีประสิทธิภาพ แต่ยังพบข้อจำกัดนั่นคือการส่งผลต่อค่าการกินได้อีกทั้งมีค่าใช้จ่ายในการดำเนินการสูง ดังนั้นบทความฉบับนี้จึงได้นำเสนอแนวทางการปรับปรุงพันธุกรรมโคนมออกเป็น 2 วิธี ได้แก่วิธี conventional genetics และ molecular genetics ไว้ดังนี้

แนวทางการปรับปรุงพันธุ์โคในลักษณะ RFI **ตามวิธี** conventional genetics

ความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะเป็นองค์ความรู้ทางสถิติ และสามารถประยุกต์ใช้เพื่อค้นหาลักษณะอื่นทดแทนลักษณะ RFI ดังที่ Arthur and Herd (2008) ได้รายงานความสัมพันธ์ทางพันธุกรรมของลักษณะ RFI กับลักษณะอื่น (**Table 5**) จะเห็นว่าลักษณะต่างๆ มีความสัมพันธ์ทางพันธุกรรมกับลักษณะ RFI น้อย แสดงให้เห็นว่าการใช้ลักษณะเหล่านี้ทดแทนลักษณะ RFI อาจไม่เหมาะสม ยกเว้นลักษณะของ ADG และ FCR แต่ไม่สามารถหลีกเลี่ยงอุปสรรคการวัดการกินอาหารได้เช่นกัน อย่างไรก็ตามแม้ว่าการบันทึกปริมาณอาหารที่กินได้ในโคเต็มวัยจะมีค่าใช้จ่ายสูงและปฏิบัติงานยากลำบาก หากแต่รายงานของ Herd et al. (2004) พบว่าความสัมพันธ์ทางพันธุกรรมของลักษณะ RFI ระหว่างลูกโคหลังหย่านม กับ โคตัวเต็มที่ มีค่าสูงมาก (r_g=0.98) ดังนั้นการวัดปริมาณการกินได้ของลูกโคหย่านมเพื่อประเมินคุณค่าทางพันธุกรรมของลักษณะ RFI จึงสามารถนำไปใช้คัดเลือกโคโตเต็มที่ได้ วิธีดังกล่าวจึงเป็นทางเลือกในลดค่าใช้จ่าย และปฏิบัติงานได้สะดวกขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับโคตัวเต็มวัย

Table 5 Genetic correlation between residual feed intake (RFI) and economic traits in dairy and beef cattle separated by breeds.

Traits	Breeds					
	Hereford	Angus	Charolais	Mixed	Wagyu	Composites
Number of animals (head)	540	1,180	792	2,284	740	464
Feed intake	0.64	0.66	0.79	0.81	0.78	0.73
ADG	0.09	-0.04	-0.10	0.01	0.25	0.46
Metabolic weight	0.22	-0.06	-	-0.17	0.16	0.27
Feed conversion ratio	0.70	0.66	0.85	0.69	0.64	0.62
Weaning weight	0.34	-0.45	-	-	-	-
Yearling weight	0.15	-0.26	0.32	-	0.19	-
Scrotal circumference	-	-0.03	-	0.15	-	-
Yearling rib fat depth	-	0.17	-	0.16	-	0.35
Yearling rib eye area	-	0.09	-	-0.17	-	-0.50
Yearling marbling score	-	-	-	-0.02	-	0.32

Source: Arthur and Herd (2008).

แนวทางการปรับปรุงพันธุ์โคในลักษณะ RFI ตามวิธี molecular genetics

คุณสมบัติของ Insulin like growth factor-1 (IGF-1) ซึ่งเป็นฮอร์โมนที่ควบคุมการเจริญเติบโต และกระบวนการ เมแทบอลิซึมในเซลล์ จากรายงานของ Stick et al. (1998) พบว่าประสิทธิภาพการใช้อาหารเพิ่มสูงตามระดับ IGF-1 ซึ่งตรงข้ามกับรายงานของ Moore et al. (2009) พบว่า IGF-1 ไม่มีความสัมพันธ์กับประสิทธิภาพการใช้อาหาร แม้ว่าผลของ IGF-1 ยังไม่มีความชัดเจน แต่ Kahi and Hirooka (2007) ได้ใช้ IGF-1 เป็นเครื่องมือในการคัดเลือกการปรับปรุงพันธุ์ลักษณะ RFI ได้ผลแม่นยำ และสร้างผลกำไรในการเลี้ยง Japanese black cattle อย่างไรก็ตามความสัมพันธ์ระหว่าง IGF-1 กับ RFI เป็นสิ่งที่ยากในการนำไปใช้ เนื่องจากผลการศึกษามีความแปรปรวนสูงในแต่ละประชากร และความเข้มข้นของ IGF-1 ในแต่ละระยะของสัตว์ไม่เท่ากันเพื่อให้ได้เครื่องมือคัดเลือก RFI ที่มีประสิทธิภาพ จึงมีการประยุกต์ใช้ความรู้เกี่ยวกับ microsatellite ช่วยในการตรวจหาที่ตั้ง gene ทั่วทั้ง genome ที่มีผลต่อ RFI หรือที่เรียกว่า Quantitative Trait Loci (QTL) ซึ่งนำมาใช้เป็น multiple-marker interval mapping ดังที่ Nkrumah et al. (2007) ได้ศึกษาในโค จำนวน 400 ตัว โดยใช้ 100 microsatellite พบว่า QTL ที่มีผลต่อ RFI อยู่ใน Bos taurus autosome (BTA) ที่ตำแหน่ง 1, 5, 7, 8, 12, 16, 17 และ 26 โดยมีระยะห่างโดยเฉลี่ย 300 cM ในขณะที่ Marquez et al. (2009) ได้ศึกษาในโค 218 ตัว โดยใช้ 229 microsatellite พบ QTL อยู่บน BTA ที่ตำแหน่ง 2, 6, 7, 10, 11, 13 และ 16 โดยมีระยะห่าง 18-126 cM ผลดังกล่าวมีความแตกต่างกันตามจำนวน microsatellite ที่ใช้ ดังที่ Moore et al. (2009) ได้ให้เหตุผลว่า microsatellite ที่มีระยะห่างจาก gene สั้นสุดจะเป็นตัวกำหนดความสำเร็จของ QTL interval mapping และ microsatellite สามารถเข้าใกล้ตำแหน่ง gene ได้มากตามจำนวน microsatellite ต่อโครโมโซมที่ใช้ ดังนั้นการใช้ microsatellite เป็น marker เพียง 16 microsatellite ต่อโครโมโซม (Nkrumah et al., 2007) จึงมีระยะห่างยาวกว่ารายงานของ Moore et al. (2009) ที่ใช้ microsatellite มากขึ้น และตำแหน่งการตรวจพบ QTL เปลี่ยนเป็น BTA ที่ 2,

5 และ 29 ซึ่งมีระยะห่างเพียง 0.70 cM อย่างไรก็ตาม จากรายงานหลายฉบับได้สรุปว่า QTL ที่มีผลต่อ RFI อยู่บน BTA ที่ 20 ดังนั้นอาจกล่าวได้ว่า QTL ที่มีผลต่อ RFI จะมีตำแหน่งบนโครโมโซมเปลี่ยนแปลงตามจำนวน microsatellite แต่ไม่สามารถสรุปได้ว่า QTL ที่มีผลต่อ RFI อยู่บน BTA ไหนจากข้อสันนิษฐานที่ว่าประสิทธิภาพการใช้อาหารในโคอาจขึ้นอยู่กับระบวนการเผาผลาญอาหารในไมโตคอนเดรีย (mitochondria function) ดังนั้นการศึกษาของ Kolath (2006) จึงพยายามค้นหา gene ในไมโตคอนเดรียที่มีผลต่อ RFI ในโคแต่ไม่พบ gene ที่ส่งผลต่อลักษณะ RFI

การค้นหา marker เพื่อระบุที่ตั้งของยีนต่อลักษณะ RFI ไม่สามารถระบุตำแหน่งได้ชัดเจน การนำไปใช้ประโยชน์จึงมีความไม่แน่นอน ดังนั้นการที่รู้หน้าที่ของแต่ละยีนว่าเกี่ยวข้องกับลักษณะ RFI น่าจะเป็นทางเลือกที่ดีในการใช้เป็น marker ในการคัดเลือกต่อไป การระบุตำแหน่งยีนด้วยการตรวจหา mRNA จึงเป็นทางเลือกในการระบุยีนที่แสดงหน้าที่ต่อลักษณะ RFI ได้โดยตรง (gene express) Chen et al. (2011) ค้นหาการแสดงออกของยีนที่มีผลต่อลักษณะ RFI โดยอาศัยเทคนิค microarray ระหว่างโคในกลุ่ม RFI สูง และกลุ่ม RFI ต่ำ จากการศึกษาพบว่ายีนที่มีการแสดงออกแตกต่างกันจำนวน 161 ยีน โดยจัดเป็นกลุ่มได้ 7 กลุ่ม ดังนี้ คือ cell growth and proliferation, cellular assembly and organization, cell signaling, drug metabolism, protein synthesis, lipid metabolism, carbohydrate metabolism จากความรู้เหล่านี้จะนำไปสู่การค้นหายีน ที่มีหน้าที่ต่อลักษณะ RFI ตามการศึกษา candidate gene ต่อไป และใช้ในการจัดการให้สอดคล้องต่อไป

สรุป

ลักษณะ RFI ไม่เพียงใช้วัดประสิทธิภาพการใช้อาหารแต่ยังใช้เป็นลักษณะในการปรับปรุงพันธุ์ได้ดี ซึ่งในการปรับปรุงพันธุกรรมของลักษณะ RFI สามารถทำได้หลายชั่วรุ่นโดยไม่มีผลกระทบต่อลักษณะสำคัญทางเศรษฐกิจอื่นๆ อย่างไรก็ตามลักษณะดังกล่าวมีข้อจำกัดในแง่การวัดปริมาณการกินได้ของโครายตัว ซึ่งต้องใช้อุปกรณ์ที่มีราคาแพง การใช้ลักษณะอื่นที่มีความสัมพันธ์ในเชิงพันธุกรรมกับลักษณะ RFI มาใช้ทดแทนอาจเป็นทางเลือกหนึ่งในการลดข้อจำกัดดังกล่าว และการอาศัยความรู้ทางพันธุศาสตร์โมเลกุลสามารถช่วยให้การคัดเลือกโคทำได้เร็วขึ้นด้วยการระบุตำแหน่งที่ตั้งยีนที่มีความสัมพันธ์กับ RFI การคัดเลือกโคโดยใช้ลักษณะ RFI ยังมีวัตถุประสงค์ด้านการลดต้นทุนการผลิต และลดความเสี่ยงต่อปัญหาการผลิตก๊าซมีเทนในโคด้วยซึ่งเหมาะสมกับการรับมือกับการแข่งขันด้านการตลาดเมื่อการเปิดการค้าเสรีเกิดขึ้นและยังเป็นการลดภาวะโลกร้อนได้อีกทางหนึ่ง

เอกสารอ้างอิง

Arthur, J. P. F. 2010. Science discussion paper: reduction in greenhouse gas emissions associated with selection for residual feed intake in beef cattle in Alberta. http://www1.foragebeef.ca/$foragebeef/frgebeef.nsf/all/ccf758/$FILE/CcbRFI.pdf. Accessed 14 Aug. 2012.

Arthur, J. P. F., and R. M. Herd. 2008. Residual feed intake in beef cattle. R. Bras. Zootec. 37:269-279.

Arthur, J. P. F., G. Renand, and D. Krauss. 2001. Genetic and phenotypic relationships among different measures of growth and feed efficiency in young Charolais bulls. Livest. Prod. Sci. 68:131-139.

Chen, Y., C. Gondro, K. Quinn, R. M. Herd, P. F. Parnell and B. Vanselow. 2011. Global gene expression profiling reveals genes expressed differentially in cattle with high and low residual feed intake. Anim Genet. 42:475-90.

Crews, Jr. D. H. 2005. Genetics of efficient feed utilization and national cattle evaluation: a review. Genetics and Molecular Research. 4:152-165.

Crews, Jr. D. H., N. H. Shannon, B. M. A. Genswein, R. E. Crews, C. M. Johnson, and B. A. Kendrick. 2003. Genetic parameters for net feed efficiency of beef cattle measured during post weaning growing versus finishing periods. Proc. West. Sec. Am. Soc. Anim. Sci. 54:125-139.

Davis, S. R., B. H. Breier, P. D. Gluckman, G. J. Ball, D. G. Moore, K. A. MacDonald, and A. M. Bryant. 1999. The effect of bovine somatotropin in a sustained release preparation (somidobove) on milk production of cows at pasture in New Zealand. New Zealand Journal of Agricultural Research. 42:315-323.

Hegarty, R. S., J. P. Goopy, R. M. Herd, and B. McCorkell. 2007. Cattle selected for lower residual feed intake have reduced daily methane production. J. Anim. Sci. 85:1479-1486.

Herd, R. M., and S. C. Bishop. 2000. Genetic variation in residual feed intake and its association with other production traits in British Hereford cattle. Livest. Prod. Sci. 63:111-119.

Herd, R. M., V. H. Oddy, and E. C. Richardson. 2004. Biological basis for variation in residual feed intake in beef cattle. 1. Review of potential mechanisms. Aust. J. Exp. Agric. 44:423-430.

Hoque, A. A., P. F. Arthur, K. Hiramoto, and T. Oikawa. 2006. Genetic parameters for carcass traits of field progeny and their relationships with feed efficiency traits of their sire population for Japanese Black (Wagyu) cattle. Livest. Sci. 99:111-118.

http://carbonoffsetsolutions.climatechangecentral.com/files/microsites/OffsetProtocols/ProtocolReviewProcess/5thCycleProtocolDevelopment/RFI%20Protocol%20Technical%20Science%20Document.pdf. Accessed 1 July 2011.

Kahi, A. K., and H. Hirooka. 2007. Effect of direct and indirect selection criteria for efficiency of gain on profitability of Japanese black cattle selection strategies. J. Anim. Sci. 85:2401-2412.

Kennedy, B. W., J. H. J. van der Werf, and T. H. E. Meuwissen. 1993. Genetic and statistical properties of residual feed intake. J. Anim. Sci. 71:3239-3250.

Kolath, W. H., 2006. The relationship between mitochondria and residual feed intake in feedlot vattle. Facultry of the Graduate School, University of Missouri-Columbia.

Lancaster, P. A., G. E. Carstens, F. R. B. Ribeiro, M. E. Davis, J. G. Lyons, and T. H. Welsh Jr. 2008. Effects of divergent selection for serum IGF-I concentration on performance, feed efficiency and ultrasound measures of carcass composition traits in Angus bulls and heifers. J. Anim. Sci. 86:2862-2871.

Marquez, G. C., R. M. Enns, M. D. Grosz, L. J. Alexander, and M. D. MacNeil. 2009. *Short Communication*: Quantitative trait loci with effects on feed efficiency traits in Hereford composite double backcross populations. Animal Genetics. 40:986-988.

McGuffey, R. K., L. F. Richardson, and J. I. D. Wilkinson. 2001. Ionophores for dairy cattle: current status and future outlook. J. Dairy Sci. 84(E. Suppl.):E194-E203.

Moore, S. S., F. D. Mujibi, and E. L. Sherman. 2009. Molecular basis for residual feed intake in beef cattle. J. Anim. Sci. 87(E. Suppl.):E41–E47.

Ngwerume, F., and L. L. Mao. 1992. Estimation of residual energy intake for lactating cows using an animal model. J. Dairy Sci. 75:2283-2287.

Nkrumah, J. D., E. K. Okine, G. W. Mathison, K. Schmid, C. Li, J. A. Basarab, M. A. Price, Z. Wang, and S. S. Moore. 2006. Relationship of residual feed intake with metabolic rate, methane production and energy partitioning in beef cattle. J. Anim. Sci. 84:145-153.

Nkrumah, J. D., J. A. Basarab, Z. Wang, C. Li, M. A. Price, E. K. Okine, D. H. Crews Jr., and S. S. Moore. 2007. Genetic and phenotypic relationships of feed intake and measures of efficiency with growth and carcass merit of beef cattle. J. Anim. Sci. 85:2711-2720.

NRC. 2001. Nutrient Requirements of Dairy Cattle.7thed. National Academy Press. Washington, DC.

Robinson, D. L. and V. H. Oddy. 2004. Genetic parameters for feed efficiency, fatness, muscle area and feeding behavior of feedlot finished beef cattle. Livest. Prod. Sci. 90:255-270.

Schenkel, F. S., S. P Miller, and J. W. Wilton. 2004. Genetic parameters and breed differences for feed efficiency, growth and body composition traits of young beef bulls. Can. J. Anim. Sci. 84:767-776.

Shaffer, K. S., P. Turk, W. R. Wagner, and E. E. D. Felton. 2011 Residual feed intake, body composition, and fertility in yearling beef heifers. J. Anim. Sci. 89:1028-1034.

Stick, D. A., M. E. Davis, S. C. Loerch, and R. C. M. Simmen. 1998. Relationship between blood serum insulin-like growth factor 1 concentration and postweaning feed efficiency of crossbred cattle at three levels of dietary intake. J. Anim. Sci. 76:498-505.

Svendsen, M., P. Skipenes, and L. L. Mao. 1993. Genetic parameters in the feed conversion complex of primiparous cows in the first two trimesters. J. Anim. Sci. 71:1721-1729.

Vallimont, J. E., C. D. Dechow, J. M. Daubert, M. W. Dekleva, J. W. Blum, C. M. Barlieb, W. Liu, G. A. Varga, A. J. Heinrichs, and C. R. Baumrucker. 2011. *Short communication*: Heritability of gross feed efficiency and associations with yield, intake, residual intake, body weight and body condition score in 11 commercial pennsylvania tie stalls. J. Dairy Sci. 94:2108-2113.

Van Arendonk, J. A. M., G. J. Nieuwhof, H. Vos, and S. Korver. 1991. Genetic aspects of feed intake and efficiency in lactating dairy heifers. Livest. Prod. Sci. 29:263-275.

Veerkamp, R. F., G. C. Emmans, A. R. Cromie, and G. Simm. 1995. Variance components for residual feed intake in dairy cows. Livest. Prod. Sci. 41:111-120.

Zamani, P., S. R. Miraei-Ashtiani, and H. Mohammadi. 2008. Genetic Parameters of Residual Energy Intake and Its Correlations with Other Traits in Holstein Dairy Cattle. Turk. J. Vet. Anim. Sci. 32:255-261.