

ผลการเสริม rumen-protected lysine ต่อประสิทธิภาพการผลิตของโคนม
(Effect of Rumen-Protected Lysine Supplementation on Production Performance of Dairy
Cows)

นันทนา สิงหาติ

Nantana Singhachat

ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

บทคัดย่อ

สัมมนาฉบับนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลการเสริม rumen-protected lysine ต่อประสิทธิภาพการผลิตของโคนม ได้ทำการรวบรวมและศึกษาจากเอกสารวิชาการจำนวน 3 ฉบับ ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2559-2566 ซึ่งมีการเสริม rumen-protected lysine ในอาหารที่ระดับ 40 - 130 กรัมต่อตัวต่อวัน และพบว่าการเสริม rumen-protected lysine ที่ระดับ 40 และ 130 กรัมต่อตัวต่อวัน ส่งผลทำให้โปรตีนในน้ำนมเพิ่มขึ้น แต่การเสริม rumen-protected lysine ไม่ส่งผลต่อปริมาณการกินได้ของวัตถุดิบ ผลผลิตน้ำนม ไขมันนม และน้ำตาลแลคโตสในน้ำนม ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าไม่ควรเสริม rumen-protected lysine ในอาหารของโคนม เนื่องจากไม่ส่งผลต่อปริมาณผลผลิตน้ำนมและองค์ประกอบน้ำนมของโคนม

คำสำคัญ: ไลซีน ประสิทธิภาพการผลิต โคนม

บทนำ

โคมนเป็นสัตว์เศรษฐกิจของไทย ในปัจจุบันมีการเลี้ยงกันอย่างแพร่หลายในทุกภูมิภาคของประเทศไทย ในปี 2565 มีจำนวนโคมนทั้งหมด 752,439 ตัว ซึ่งมากกว่าปี 2564 เนื่องจากเกษตรกรได้รับการส่งเสริมและสนับสนุนจากภาครัฐและศูนย์รวบรวมนํ้ามันดิบ แต่ในจำนวนนี้มีแม่โครีดนมอยู่ 293,696 ตัว ผลผลิตนํ้านมรวมทั้งประเทศที่ผลิตได้ในปี 2565 ที่ผ่านมามี 1,222,069 ตัน ซึ่งลดลงจากปี 2564 (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2566) ปัญหาที่เกี่ยวกับการเลี้ยงโคมนในประเทศไทยนั้นคือ โคมนมีอัตราการให้ผลผลิตนํ้านมและองค์ประกอบนํ้านมต่ำ (สุรยุทธ และคณะ, 2548) อีกทั้งราคาอาหารชั้นยังปรับตัวสูงขึ้น เกษตรกรจึงต้องปรับลดปริมาณในการให้อาหารชั้นลง (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2566) อย่างไรก็ตาม การลดระดับโปรตีนในอาหารและการกินที่ต่ำกว่าความต้องการที่แท้จริงของโคมนจะมีความเสี่ยงในการลดการกินได้ของวัตถุดิบ และผลผลิตนํ้านม (Hristov and Giallongo, 2014) ซึ่งการจัดการด้านอาหารถือว่าเป็นปัจจัยที่สำคัญอย่างยิ่ง เนื่องจากโคมนนั้นต้องการอาหารที่มีโปรตีนสูงเพื่อให้เพียงพอต่อการเจริญเติบโตและการผลิตนํ้านม การเสริมกรดอะมิโนต่างๆ จึงเป็นอีกหนึ่งวิธีที่จะช่วยให้อาหารมีความสมดุลทางโภชนาการ และช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตนํ้านม จากการศึกษาของ Schwab (2017) พบว่า กรดอะมิโนไลซีน เมไทโอนีน และฮิสติดีน มีการระบุในงานวิจัยส่วนใหญ่ สามารถปรับสมดุลทางโภชนาการให้กับอาหารที่ขาดโปรตีนที่เผาผลาญได้ ซึ่งไลซีนเป็นสารเสริมที่น่าสนใจถือเป็นสารตั้งต้นที่สำคัญสำหรับการสังเคราะห์โปรตีนในโคมน (Lin et al., 2018)

ไลซีน เป็นกรดอะมิโนที่จำเป็นสำหรับโคมน อาหารที่เสริมด้วยไลซีนถือเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับการผลิตนํ้านม แต่ประสิทธิภาพของการดูดซึมของไลซีนจะลดลงเนื่องจากการทำงานของระบบย่อยและดูดซึมที่เฉพาะเจาะจงของโค ทำให้อาหารที่เสริมด้วยไลซีนธรรมชาติส่วนใหญ่จะถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมน ส่งผลให้ไปไม่ถึงลำไส้เล็กและไม่ถูกดูดซึมเข้าสู่ร่างกายเพื่อเป็นสารอาหาร การเสริมไลซีนที่ป้องกันการย่อยในกระเพาะรูเมน สามารถเพิ่มการไหลผ่านของไลซีนไปสู่ลำไส้เล็กส่วนต้นได้ (Wang et al., 2010) ทำให้ไลซีนถูกดูดซึมในลำไส้ได้มากขึ้นเพื่อใช้สำหรับการสังเคราะห์โปรตีนในโคมน (Fleming et al., 2019) นอกจากนี้ การเสริมไลซีนที่ป้องกันการย่อยในกระเพาะรูเมน เพิ่มประสิทธิภาพของโปรไบโอติกโดยการยับยั้งการ เจริญเติบโตของเชื้อโรคในลำไส้เล็ก ซึ่งเป็นโปรไบโอติกกลุ่ม Christensenellaceae R-7 มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับปริมาณโปรตีนนมและปริมาณไขมันในนม (Wei et al., 2023) ดังนั้นสมมติฐานนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลการเสริม rumen-protected lysine ต่อประสิทธิภาพการผลิตของโคมน

ไลซีน (Lysine)

ไลซีน เป็นกรดอะมิโนชนิดหนึ่งซึ่งจัดเป็นกรดอะมิโนจำเป็น มีสมบัติเป็นเบสเช่นเดียวกับอาร์จินีน และฮิสติดีน ภายในโครงสร้างประกอบด้วยหมู่เอมิโน 2 หมู่ และหมู่คาร์บอกซิลอีก 1 หมู่ มีสูตรโมเลกุลคือ $C_6H_{14}N_2O_2$ ไลซีนเป็นสารตั้งต้นของโปรตีนหลายชนิด บทบาทที่พบบ่อยที่สุดของไลซีนคือการสร้างโปรตีน และสามารถมีส่วนทำให้โปรตีนคงตัวได้ (Sokalingam et al., 2012) ไลซีนยังมีส่วนเกี่ยวข้องในกระบวนการทางชีววิทยาอื่นๆ ได้แก่ โครงสร้างโปรตีนของเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน ภาวะสมดุลของแคลเซียม และเมแทบอลิซึมของกรดไขมัน แสดงให้เห็นว่าไลซีนเป็นสารตั้งต้นของคาร์นิทีนซึ่งขนส่งกรดไขมันไปยังไมโทคอนเดรีย ซึ่งสามารถถูก

ออกซิไดซ์เพื่อปล่อยพลังงานได้ คาร์นิทีนถูกสังเคราะห์จากไตรเมทิลไลซีน ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์จากการย่อยสลายของโปรตีนบางชนิด เนื่องจากไลซีนจะต้องถูกรวมเข้ากับโปรตีนก่อน และถูกเมทิลเลตก่อนที่จะถูกแปลงเป็นคาร์นิทีน อย่างไรก็ตาม ในสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมแหล่งที่มาหลักของคาร์นิทีนคือจากแหล่งอาหารมากกว่าผ่านการแปลงไลซีน (Vaz and Wanders, 2002) ไลซีนส่วนใหญ่ถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมนการเสริมไลซีนอิสระจึงไม่มีประสิทธิภาพในการเพิ่มปริมาณไลซีนสำหรับการสังเคราะห์คาร์นิทีน (Robinson et al., 2006) การเพิ่มไลซีนที่ป้องกันการย่อยในกระเพาะรูเมนในอาหารถือเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพในการตอบสนองความต้องการกรดอะมิโนของสัตว์ เนื่องจากไลซีนที่ป้องกันการย่อยในกระเพาะรูเมนสามารถหลุดพ้นจากการย่อยสลายในกระเพาะรูเมนและไหลผ่านไปถูกย่อยในลำไส้เล็กเพื่อให้สัตว์ได้ดูดซึมไปใช้โดยตรง (Girma et al., 2019)

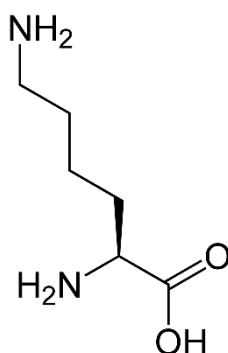


Figure 1 Chemical structure of lysine.

Source: <https://th.wikipedia.org/wiki/lysine>.

ผลการเสริม rumen-protected lysine ต่อประสิทธิภาพการผลิตของโคนม

จากการทดลองของ Giallongo et al. (2016) ได้ทำการเสริม rumen-protected lysine (RPL) ในอาหารของโคนม โดยมีสูตรอาหารทั้งหมด 3 สูตร ได้แก่ สูตรที่หนึ่งมีการใช้ปริมาณโปรตีนที่ใช้ประโยชน์ได้ตามความต้องการของโคนม (MPA) สูตรที่สองมีการลดปริมาณโปรตีนที่ใช้ประโยชน์ได้ลง (MPD) และสูตรที่สามลดปริมาณโปรตีนที่ใช้ประโยชน์ได้และเสริม rumen-protected lysine ที่ระดับ 130 กรัม/ตัว/วัน (MPDL) จากการทดลองพบว่า การเสริม RPL ที่ระดับ 130 กรัม/ตัว/วัน ส่งผลทำให้เปอร์เซ็นต์โปรตีนในน้ำนมสูงกว่ากลุ่มที่ไม่เสริมไลซีน ($p < 0.05$) เนื่องจากกลุ่มโปรตีนหลักในน้ำนมคือเคซีนและเวย์โปรตีน มีอัตราส่วนเคซีนต่อเวย์โปรตีน 80:20 ซึ่งกรดอะมิโนหลักที่สร้างโปรตีนเคซีน คือลิวซีนและไลซีน เมื่อมีการเสริมไลซีนในอาหารโคนมจึงทำให้มีกรดอะมิโนที่จะนำไปสร้างโปรตีนเคซีนเพิ่มขึ้น จึงส่งผลทำให้ปริมาณโปรตีนในน้ำนมเพิ่มขึ้น (Rafiq et al., 2016) แต่พบว่ากลุ่มที่ลดปริมาณโปรตีนที่ใช้ประโยชน์ได้ (MPD) กับกลุ่มที่ไม่ได้ลดปริมาณโปรตีนที่ใช้ประโยชน์ได้ (MPA) ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) และการเสริม RPL ที่ระดับ 130 กรัม/ตัว/วัน ไม่ส่งผลต่อปริมาณการกินได้ของวัตถุดิบ ผลผลิตน้ำนม และองค์ประกอบน้ำนม ได้แก่ ไขมัน และน้ำตาลแลคโตส ($p > 0.05$) แต่พบว่าการลดลงของปริมาณโปรตีนที่ใช้ประโยชน์ได้นั้น ส่งผลทำให้ปริมาณการกินได้ของวัตถุดิบ ผลผลิตน้ำนม และองค์ประกอบน้ำนม ได้แก่ ไขมัน โปรตีน และน้ำตาลแลคโตส เมื่อเทียบกับกลุ่มที่ไม่ได้ลดปริมาณโปรตีนที่ใช้ประโยชน์ได้ (MPA)

($p < 0.05$) เนื่องจากการลดปริมาณโปรตีนในอาหารและการบริโภคที่ต่ำกว่าความต้องการที่แท้จริงของโคนมมักจะมีความเสี่ยงในการลดปริมาณการกินได้ของวัตถุดิบแห้ง ผลผลิตน้ำนม หรือผลผลิตโปรตีนนม (Hristov and Giallongo, 2014) (Table 1) ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Morris and Kononoff (2020) ที่ได้ทำการเสริม rumen-protected lysine (RPL) ในอาหารของโคนม โดยมีสูตรอาหารทั้งหมด 4 สูตร ได้แก่ สูตรที่หนึ่งอาหาร TMR (กลุ่มควบคุม) สูตรที่สองอาหาร TMR เสริมด้วย rumen-protected histidine ที่ระดับ 32 กรัม/ตัว/วัน สูตรที่สามอาหาร TMR เสริมด้วย rumen-protected lysine ที่ระดับ 70 กรัม/ตัว/วัน และสูตรที่สี่อาหาร TMR เสริมด้วย rumen-protected histidine ที่ระดับ 32 กรัม/ตัว/วัน และ rumen-protected lysine ที่ระดับ 70 กรัม/ตัว/วัน ซึ่งจากการทดลองพบว่า การเสริม RPL ในอาหารที่ระดับ 70 กรัม/ตัว/วัน ไม่ส่งผลต่อปริมาณการกินได้ของวัตถุดิบแห้ง ผลผลิตน้ำนม และองค์ประกอบน้ำนม ได้แก่ ไขมัน โปรตีน และน้ำตาลแลคโตส ($p > 0.05$) (Table 2)

Table 1. Effect of rumen-protected lysine supplementation on milk production and milk composition.

Item	Treatments			SEM	Contrast	
	MPA	MPD	MPDL		MP	Lys
DMI, kg/d	29.0	27.7	28.1	0.32	0.01	0.30
Milk yield						
Milk, kg/d	42.5	38.2	37.9	0.69	<0.01	0.76
ECM, kg/d	41.0	35.5	36.3	0.89	<0.01	0.58
Milk composition						
Fat, kg/d	1.65	1.40	1.45	0.052	<0.01	0.53
Fat, %	3.94	3.72	3.84	0.123	0.19	0.48
Protein, kg/d	1.27	1.13	1.17	0.023	<0.01	0.25
True protein, %	3.02	3.00	3.13	0.034	0.82	0.01
Lactose, kg/d	2.01	1.81	1.81	0.040	<0.01	0.96
Lactose, %	4.76	4.78	4.80	0.040	0.72	0.62

MPA = metabolizable protein-adequate diet 243 g/cow/d; MPD = metabolizable protein-deficient diet -54 g/cow/d; MPDL = metabolizable protein-deficient diet supplemented with rumen-protected lysine 130 g/cow/d.

MP = MPD vs. MPA; Lys = MPDL vs. MPD.

ECM = Energy-corrected milk.

Source: Giallongo et al. (2016)

Table 2. Effect of rumen-protected lysine supplementation on milk production and milk composition.

Item	Treatments				SEM	P-value		
	LYS0		LYS+			L	H	L×H
	HIS0	HIS+	HIS0	HIS+				
DMI, kg/d	18.4	18.4	18.3	18.8	0.83	0.64	0.44	0.39
Milk yield								
Milk, kg/d	21.4	22.2	21.7	22.7	2.04	0.36	0.05	0.76
ECM, kg/d	29.5	29.4	29.2	30.5	2.16	0.55	0.36	0.29
Milk composition								
Fat, kg/d	1.28	1.25	1.26	1.30	0.094	0.64	0.91	0.24
Fat, %	6.13	5.75	5.83	5.75	0.359	0.31	0.09	0.33
Protein, kg/d	0.775	0.789	0.768	0.812	0.051	0.66	0.10	0.40
Protein, %	3.65	3.62	3.57	3.59	0.135	0.14	0.86	0.47
Lactose, kg/d	1.03	1.07	1.05	1.10	0.106	0.43	0.07	0.87
Lactose, %	4.79	4.81	4.82	4.82	0.060	0.57	0.73	0.87

LYS0 = 0 g/cow/d of RP Lys; LYS+ = 70 g/cow/d of RP Lys; HIS0 = 0 g/cow/d of RP His; HIS+ = 32 g/cow/d of RP His. L = main effect of Lys supply; H = main effect of His supply; L × H = interaction between Lys and His.

ECM = Energy-corrected milk.

Source: Morris and Kononoff (2020)

แต่จากการทดลองของ Wei et al. (2023) ที่ได้ทำการเสริม rumen-protected lysine (RPL) ในอาหารของโคนม มีสูตรอาหารทดลองทั้งหมด 4 สูตร ได้แก่ สูตรที่หนึ่งอาหารที่มีโปรตีน 16% (LP) สูตรที่สองอาหารที่มีโปรตีน 16% เสริมด้วย rumen-protected lysine ที่ระดับ 40 กรัม/ตัว/วัน (LPL) สูตรที่สามอาหารที่มีโปรตีน 18% (HP) และสูตรที่สี่อาหารที่มีโปรตีน 18% เสริมด้วย rumen-protected lysine ที่ระดับ 40 กรัม/ตัว/วัน (HPL) ซึ่งพบว่ากลุ่มที่เสริม RPL ในอาหารที่มีโปรตีน 18% (HPL) ส่งผลทำให้ปริมาณการกินได้ของวัตถุดิบเพิ่มขึ้นกว่ากลุ่มที่ไม่ได้เสริม ($p < 0.05$) ทั้งนี้เนื่องจากเนื่องจากไลซีนมีส่วนช่วยในการสังเคราะห์คาร์นิทีน ซึ่งจะช่วยเพิ่มปริมาณการกินได้ของวัตถุดิบ จากการรายงานของ Carlson et al., 2006 พบว่าเมื่อปริมาณคาร์นิทีนเพิ่มขึ้นจาก 1 เป็น 3 กรัม/วัน ส่งผลทำให้ปริมาณการกินได้ของวัตถุดิบมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น แต่ไม่แตกต่างจากกลุ่มที่เสริม RPL ในอาหารที่มีโปรตีน 16% (LPL) ($p > 0.05$) และยังพบว่า การเสริม RPL ในกลุ่ม LPL และกลุ่ม HPL ทำให้โปรตีนกิโกลกรัมต่อวันเพิ่มขึ้น ($p < 0.05$) เนื่องจากกลุ่มโปรตีนหลักในน้ำนมคือเคซีนและเวย์โปรตีน มีอัตราส่วนเคซีนต่อเวย์โปรตีน 80:20 ซึ่งกรดอะมิโนหลักที่สร้างโปรตีนเคซีน คือลิวซีนและไลซีน เมื่อมีการเสริมไลซีนในอาหารโคนม จึงทำให้มีกรดอะมิโนที่จะนำไปสร้างโปรตีนเคซีนเพิ่มขึ้น จึงส่งผลทำให้ปริมาณโปรตีนในน้ำนมเพิ่มขึ้น (Rafiq et al., 2016) แต่ไม่ส่งผลต่อองค์ประกอบน้ำนม ได้แก่ ไขมัน และน้ำตาลแลคโตส ($p > 0.05$) (Table 3)

Table 3. Effect of rumen-protected lysine supplementation on milk production and milk composition.

Item	Treatments				SEM	P-value					
	LP	LPL	HP	HPL		CP	RPL	CP×RPL	wk×CP	wk×PRL	wk×CP×RPL
DMI, kg/d	21.2 ^b	21.6 ^{ab}	21.2 ^b	21.9 ^a	0.10	0.46	0.01	0.42	<0.01	<0.01	<0.01
Milk yield											
Milk, kg/d	33.5	35.0	34.4	35.2	0.39	0.49	0.16	0.68	0.99	0.99	0.86
FCM, kg/d	30.6 ^b	34.9 ^a	34.1 ^a	34.8 ^a	0.60	0.17	0.05	0.14	0.76	0.38	0.29
Milk composition											
Fat, kg/d	1.15 ^b	1.39 ^a	1.36 ^a	1.40 ^a	0.037	0.15	0.06	0.18	0.84	0.27	0.22
Fat, %	3.42	4.01	3.96	4.09	0.115	0.19	0.13	0.31	0.84	0.63	0.15
Protein, kg/d	1.05 ^b	1.15 ^a	1.11 ^{ab}	1.16 ^a	0.016	0.23	0.04	0.43	0.80	0.74	0.07
Protein, %	3.13	3.29	3.25	3.38	0.046	0.25	0.12	0.89	0.82	0.10	<0.01
Lactose, %	5.10	5.16	5.13	5.15	0.022	0.84	0.39	0.71	0.08	0.05	0.16

LP = low-protein (16% CP) diet; LPL = LP plus RPL 40 g/cow/d; HP = high-protein (18% CP) diet; HPL = HP plus RPL 40 g/cow/d.

Wk, effect of week; CP, effect of dietary CP concentration; RPL, effect of RPL supplementation; CP × RPL, interaction of CP and RPL; wk × CP, interaction of wk and CP; wk × RPL, interaction of wk and RPL; wk × CP × RPL, interaction of wk and CP and RPL.

FCM = Fat corrected milk.

Source: Wei et al. (2023)

สรุป

ไม่ควรเสริม rumen-protected lysine ในอาหารของโคนม เนื่องจากไม่ส่งผลต่อปริมาณผลผลิตน้ำนม และองค์ประกอบน้ำนม ได้แก่ ไขมัน โปรตีน และน้ำตาลแลคโตส

เอกสารอ้างอิง

- สุรยุทธ์ ทรงสุหมัด, อรรถยา เกียรติสุนทร และวงศ์ขวัญ จิตนุกงศ์. 2548. “องค์ประกอบน้ำนมดิบกับมาตรฐานของประเทศไทย”. **วารสารสัตวบาล**. 15(71): 29-37.
- สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2566. โคนม-น้ำนมดิบ. <https://www.oae.go.th>. 13 ธันวาคม.
- Carlson, D.B., Litherland, N.B., Dann, H.M., Woodworth, J.C. and Drackley, J.K. 2006. “Metabolic Effects of Abomasal L-Carnitine Infusion and Feed Restriction in Lactating Holstein Cows”. **Journal of Dairy Science**. 89(12): 4819-4834.
- Fleming, A.J., Estes, K.A., Choi, H., Barton, B.A., Zimmerman, C.A. and Hanigan, M.D. 2019. “Assessing bioavailability of ruminally protected methionine and lysine prototypes”. **Journal of Dairy Science**. 102(5): 4014-4024.
- Giallongo, F., Harper, M.T., Oh, J., Lopes, J.C., Lapierre, H., Patton, R.A., Parys, C., Shinzato, I. and Hristov, A.N. 2016. “Effects of rumen-protected methionine, lysine, and histidine on lactation performance of dairy cows”. **Journal of Dairy Science**. 99(6): 4437-4452.
- Girma, D.D., Ma, L., Wang, F., Jiang, Q.R., Callaway, T.R., Drackley, J.K. and Bu, D.P. 2019. “Effects of close-up dietary energy level and supplementing rumen-protected lysine on energy metabolites and milk production in transition cows”. **Journal of Dairy Science**. 102(8):7059-7072.
- Hristov, A.N. and Giallongo, F. 2014. “Feeding protein to dairy cows-what should be our target?”. **Proceedings of the 23rd Tri-State Dairy Nutrition Conference**, 14-16 April. Fort Wayne, Indiana, USA.
- Lin, X., Li, S., Zou, Y., Zhao, F., Liu, J. and Liu H. 2018. “Lysine Stimulates Protein Synthesis by Promoting the Expression of ATB0,+ and Activating the mTOR Pathway in Bovine Mammary Epithelial Cells”. **Journal of Nutrition**. 148(9): 1426-1433.
- Morris, D.L. and Kononoff, P.J. 2020. “Effects of rumen-protected lysine and histidine on milk production and energy and nitrogen utilization in diets containing hydrolyzed feather meal fed to lactating Jersey cows”. **Journal of Dairy Science**. 103(8): 7110-7123.
- Rafiq, S., Huma, N., Pasha, I., Sameen, A., Mukhtar, O. and Khan, M.I. 2016. “Chemical Composition, Nitrogen Fractions and Amino Acids Profile of Milk from Different Animal Species”. **Asian-Australas J Anim Sci**. 29(7): 1022-1028.

- Robinson, P.H., DePeters, E.J., Shinzato, I. and Sato, H. 2006. "Rumen lysine escape, rumen fermentation, and productivity of early lactation dairy cows fed free lysine". **Animal Feed Science and Technology**. 128(1-2): 31-41.
- Schwab, C.G. and Broderick, G.A. 2017. "A 100-Year Review: Protein and amino acid nutrition in dairy cows". **Journal of Dairy Science**. 100(12): 10094-10112.
- Sokalingam, S., Raghunathan, G., Soundrarajan, N. and Lee, S. 2012. "A Study on the Effect of Surface Lysine to Arginine Mutagenesis on Protein Stability and Structure Using Green Fluorescent Protein". **PLOS One**. 7(7): e40410.
- Vaz, F.M. and Wanders, R.J.A. 2002. "Carnitine biosynthesis in mammals". **Biochemical Journal**. 361(3): 417-429.
- Wang, C., Liu, H.Y., Wang, Y.M., Yang Z.Q., Liu, J.X., Wu, Y.M., Yan, T. and Ye, H.W. 2010. "Effects of dietary supplementation of methionine and lysine on milk production and nitrogen utilization in dairy cows". **Journal of Dairy Science**. 93(8): 3661-3670.
- Wei, X., Wu, H., Wang, Z., Zhu, J., Wang, W., Wang, J., Wang, Y. and Wang, C. 2023. "Rumen protected lysine supplementation improved amino acid balance, nitrogen utilization and altered hindgut microbiota of dairy cows". **Animal Nutrition**. 15: 320-331.