บทที่ 5

วิจารณ์ผลการทดลอง

5.1 องค์ประกอบทางโภชนะ สัดส่วนของกรดอะมิโน และระดับสารปรับสมดุลสารละลายไฟฟ้าในอาหารทดลอง

5.1.1 องค์ประกอบทางโภชนะของอาหารทดลอง

ระดับของโปรตีนในอาหารจากการคำนวณและวิเคราะห์มีค่าใกล้เคียงกัน โดยระดับของโปรตีนที่ได้จากการวิเคราะห์มีค่าสูงกว่าเล็กน้อย ระดับโปรตีนในสูตรอาหาร 1, 2 และ 3 จากการคำนวณ เท่ากับ 15.5 เปอร์เซ็นต์ วิเคราะห์ได้ 15.61, 15.64 และ 15.88 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ สูตรที่ 4, 5 และ 6 จากการคำนวณมีระดับโปรตีน 13.5 เปอร์เซ็นต์ วิเคราะห์ได้ 13.81, 13.53 และ 13.54 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ในสูตร 7, 8 และ 9 จากการคำนวณมีระดับโปรตีน 11.5 เปอร์เซ็นต์ วิเคราะห์ได้ 11.85, 11.52 และ 11.67 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าระดับโปรตีนในอาหารกลุ่มเดียวกันมีค่าใกล้เคียงกัน ไม่ส่งผลต่อการทดลอง ส่วนระดับของ dEB ในอาหารสูตรที่ 1, 4 และ 7 ที่เป็นกลุ่มควบคุม และไม่มีการเสริมโซเดียมไบคาร์บอเนต ($NaHCO_3$) มีระดับ dEB ที่ได้จากคำนวณมีค่า 236, 213 และ 191 mEq ต่ออาหาร 1 กิโลกรัม ตามลำดับ และที่ได้จากการวิเคราะห์วัตถุดิบมีระดับ dEB เท่ากับ 271, 270 และ 230 mEq ต่ออาหาร 1 กิโลกรัม ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่าระดับของ dEB ที่ได้จากการวิเคราะห์มีระดับที่สูงกว่าจากการคำนวณ และสูงกว่า Patience (1990) ที่รายงานว่า ระดับของ dEB ในสูตรอาหารที่มีข้าวโพด และกากถั่วเหลืองเป็นวัตถุดิบหลักจะมีระดับ dEB อยู่ที่ประมาณ 175 mEq ต่ออาหาร 1 กิโลกรัม ระดับของ dEB ในกลุ่มควบคุมที่ได้จากการวิเคราะห์มีค่าสูงกว่า ค่าที่ได้จากการคำนวณ ทำให้ในสูตรอาหารที่ 2, 5 และ 8 ที่มีการเสริม $NaHCO_3$ ให้มีระดับของ dEB จากการคำนวณ 350 mEq ต่ออาหาร 1 กิโลกรัม แต่จากการวิเคราะห์มีระดับ dEB 382, 384 และ 386 mEq ต่ออาหาร 1 กิโลกรัม ตามลำดับ สูตรที่ 3, 6 และ 9 ที่มีการเสริม $NaHCO_3$ ให้มีระดับของ dEB จากการคำนวณ 500 mEq ต่ออาหาร 1 กิโลกรัม แต่จากการวิเคราะห์มีระดับ dEB 529, 531 และ 533 mEq ต่ออาหาร 1 กิโลกรัม ตามลำดับ ถึงแม้ว่าระดับของ dEB ในอาหารทดลองจะมีค่าสูงกว่าที่กำหนดไว้ แต่เมื่อพิจารณาในกลุ่มที่คำนวณให้มีระดับ dEB เดียวกันค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ก็มีค่าใกล้เคียงกัน ค่า dEB ที่ได้จากการวิเคราะห์สูงกว่าค่า dEB ที่ได้จากการคำนวณเนื่องจาก ปริมาณของโซเดียมที่วิเคราะห์ได้ในวัตถุดิบอาหารมีค่าสูงกว่าปริมาณโซเดียมที่แนะนำไว้ใน NRC (1998)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ส่วนองค์ประกอบทางโภชนะอื่น ๆ เช่น วัตถุแห้ง ไขมันรวม เยื่อใยรวม และเถ้าในอาหารทดลองแต่ละสูตรมีค่าใกล้เคียงกัน สำหรับค่าพลังงานย่อยได้ (Digestible energy, MJ/kg) และพลังงานใช้ประโยชน์ได้ (Metabolizable energy, MJ/kg) ของอาหารทดลอง เมื่อนำมาพิจารณาถึงสัดส่วนของโปรตีนรวมต่อพลังงานย่อยได้ และพลังงานใช้ประโยชน์ได้ (g CP/MJ DE และ g CP/MJ ME) มีแนวโน้มว่าลดลงตามระดับโปรตีนในอาหารที่ลดลง เช่นเดียวกับสัดส่วนของไลซีนต่อพลังงานย่อยได้ และพลังงานใช้ประโยชน์ได้ (g Lysine/MJ DE และ g Lysine/MJ ME) ที่มีค่าลดลงตามระดับโปรตีนในอาหารที่ลดลงเช่นกัน

จากการคำนวณสูตรอาหาร โดยพิจารณาถึงต้นทุนค่าอาหารเมื่อระดับโปรตีน และระดับ dEB ต่างกันทั้ง 9 สูตร มีค่าเท่ากับ 8.58, 8.72, 8.90, 8.11, 8.27, 8.45, 7.64, 8.00 และ 8.01 บาทต่อกิโลกรัม ระดับของโปรตีนที่ลดลงในสูตรอาหารส่งผลต่อต้นทุนในการผลิตโดยตรง เนื่องจากวัตถุดิบที่เป็นแหล่งของโปรตีนมีราคาแพงกว่าวัตถุดิบที่เป็นแหล่งของพลังงาน เมื่อระดับของโปรตีนในสูตรอาหารสูงจึงต้องใช้วัตถุดิบที่เป็นแหล่งของโปรตีนในสูตรอาหารมาก ทำให้ต้นทุนของอาหารสูตรนั้นสูง ดังนั้นระดับโปรตีนที่ลดลงทำให้ต้นทุนค่าอาหารลดลง ส่วนโซเดียมไบคาร์บอเนตที่เสริมเพื่อเป็นตัวปรับค่า dEB มีราคาประมาณกิโลกรัมละ 14 บาท ทำให้สูตรอาหารที่มีระดับ dEB สูง มีต้นทุนค่าอาหารสูงขึ้นเมื่อเทียบที่ระดับโปรตีนเท่ากัน

5.1.2 สัดส่วนของกรดอะมิโนในอาหารทดลอง

อาหารทุกสูตรมีการปรับให้มีระดับกรดอะมิโน และพลังงานใกล้เคียงกัน และยึดระดับไลซีนย่อยได้ที่ปลายลำไส้เล็กเป็นหลัก โดยใช้ค่าไลซีนย่อยได้ในข้าวโพด และกากถั่วเหลืองจากรายงานของ Tartrakoon (2000) มาใช้ในการคำนวณประกอบสูตรอาหาร และมีการเสริมกรดอะมิโนสังเคราะห์เท่าที่จำเป็น โดยยึดหลักให้ใกล้เคียงกับโปรตีนอุดมคติมากที่สุด (NRC, 1998) จากการคำนวณกรดอะมิโนในอาหารทดลองมีค่าลดลงตามระดับโปรตีนในอาหารที่ลดลง และเมื่อเปรียบเทียบกรดอะมิโนตัวอื่น ๆ กับไลซีนซึ่งมักจะขาดเป็นอันดับแรกในการคำนวณสูตรอาหาร โดยกำหนดให้ไลซีนเป็น 100 พบว่า สัดส่วนของกรดอะมิโนมีค่าลดลงเมื่อระดับโปรตีนในอาหารลดลง ซึ่งในการประกอบสูตรอาหารสุกรกรดอะมิโนที่จัดว่ามีความสำคัญรองลงมาจาก ไลซีน คือ เมทไธโอนีน ทรีโอนีน และทริปโตเฟน เพราะเป็นกรดอะมิโนที่มีจำกัดในอาหารอันดับที่สอง สาม และสี่ (วันดี, 2546) สัดส่วนของไลซีน เมทไธโอนีนกับซีสตีน ทรีโอนีน และทริปโตเฟน ที่แนะนำมีค่าเท่ากับ 100, 55, 60 และ 18 ตามลำดับ ซึ่งสัดส่วนของกรดอะมิโนในสูตรอาหารที่มีโปรตีน 15.5, 13.5 และ 11.5 เปอร์เซ็นต์ มีค่าเท่ากับ 100, 67, 71, 23 และ 100, 66, 68, 21 และ 100, 64, 61, 19 ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าสัดส่วนของกรดอะมิโนในแต่ละ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

สูตรอาหารที่มีระดับโปรตีนต่างกัน มีสัดส่วนของกรดอะมิโนใกล้เคียงกัน และมีสัดส่วนมากกว่าคำแนะนำของ NRC (1998) แต่ในสูตรอาหารที่มีระดับโปรตีน 11.5 เปอร์เซ็นต์ มีสัดส่วนของเมทไธโอนีนกับซีสตีน สูงกว่าทรีโอนีน ซึ่งสัดส่วนของโปรตีนอุดมคติทั่วไปเมทไธโอนีนกับซีสตีนต้องต่ำกว่า ทรีโอนีน กรดอะมิโนทรีโอนีนมีปริมาณมากในกากถั่วเหลือง และวัตถุดิบที่ใช้ประกอบสูตรอาหาร ได้แก่ ข้าวโพด ปลายข้าว และ รำ มีกรดอะมิโนทรีโอนีนในปริมาณน้อย เมื่อลดระดับของโปรตีนในอาหารลง วัตถุดิบที่เป็นแหล่งของโปรตีนก็อาหารจะลดลง ทำให้ในสูตรอาหารที่มีระดับโปรตีน 11.5 เปอร์เซ็นต์ มีค่าของกรดอะมิโนทรีโอนีนต่ำกว่าเมทไธโอนีนกับซีสตีน

5.2 สมรรถภาพการผลิต และคุณภาพซาก

5.2.1 สมรรถภาพการผลิต

ระดับของโปรตีนที่ต่างกันในสูตรอาหาร ทำให้สุกรที่ได้รับอาหารที่มีระดับโปรตีนที่ 13.5 และ 15.5 เปอร์เซ็นต์ มีอัตราการเจริญเติบโตดีกว่าอย่างมีนัยสำคัญ (P<0.05) มีจำนวนวันที่เลี้ยง ปริมาณอาหารที่กินทั้งหมด และอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัวดีกว่าอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง (P<0.01) เมื่อเทียบกับสุกรที่ได้รับอาหารที่มีระดับโปรตีน 11.5 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Gatel and Grosjein (1992) ที่พบว่า ระดับโปรตีนในอาหารที่ลดลงจาก 15.5 เป็น 13.5 เปอร์เซ็นต์ ไม่มีผลต่อสมรรถภาพการผลิตสัตว์ ถ้าทำการเสริมกรดอะมิโนให้เพียงพอ และสอดคล้องกับการทดลองของกัตติกา (2547) ที่รายงานว่า ระดับของโปรตีนสามารถลดลงได้ที่ระดับ 13.5 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เพราะถ้าระดับโปรตีนต่ำกว่านี้จะทำให้สมรรถภาพการผลิตลดลง แต่ Tuitoek *et al.* (1997) รายงานว่า ระดับของโปรตีนที่ลดลงไม่มีผลต่อสมรรถภาพการผลิตถ้าทำการเสริมกรดอะมิโนให้เพียงพอแก่ความต้องการ ซึ่งระดับของโปรตีนที่แนะนำในอาหารของสุกรระยะขุนคือ 12 เปอร์เซ็นต์ เช่นเดียวกับ Lopez *et al*., 1994; Kerr and Easter, 1995; Kerr *et al*., 1995 ที่รายงานว่า ระดับของโปรตีนในอาหารสุกรขุนที่ลดลงจาก 16 เปอร์เซ็นต์ เป็น 12 เปอร์เซ็นต์ แต่มีการเสริมไลซีน เมทไธโอนีน ทรีโอนีน และทริปโตเฟน ให้เพียงพอแก่ความต้องการ ไม่มีผลต่ออัตราการเจริญเติบโต และประสิทธิภาพการใช้อาหาร แต่อาหารที่มีระดับโปรตีน 11 เปอร์เซ็นต์ ทำให้อัตราการเจริญเติบโตลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) เป็นผลให้จำนวนวันที่เลี้ยงเพิ่มขึ้น (Figueroa *et al*., 2002) ซึ่งอาจเนื่องมาจากอาหารที่มีระดับโปรตีน 11 เปอร์เซ็นต์ มีกรดอะมิโนไม่เพียงพอ และประสิทธิภาพการใช้กรดอะมิโนสังเคราะห์อาจต่ำกว่ากรดอะมิโนที่มีในวัตถุดิบอาหาร คือ กรดอะมิโนสังเคราะห์จะถูกดูดซึมเข้าสู่กระแสเลือดได้เร็วกว่ากรดอะมิโนที่

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ถูกย่อยจากอาหาร จึงทำให้กรดอะมิโนสังเคราะห์ถูกออกซิไดซ์ (oxidized) ก่อนที่จะนำไปสังเคราะห์เป็นโปรตีนของร่างกาย (Batterham, 1984) ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองนี้ที่ พบว่า สุกรที่ได้รับอาหารที่มีระดับโปรตีน 11.5 เปอร์เซ็นต์ มีสมรรถภาพการผลิตต่ำกว่าสุกรที่ได้รับอาหารที่มีระดับโปรตีน 15.5 และ 13.5 อย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) และทำให้ต้นทุนค่าอาหารต่อน้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้น 1 กิโลกรัม มีค่าสูงกว่าสุกรที่ได้รับอาหารที่มีระดับโปรตีน 13.5 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีต้นทุนค่าอาหารต่อน้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้น 1 กิโลกรัมต่ำที่สุด

การเสริมโซเดียมไบคาร์บอเนตเพื่อปรับระดับ dEB ในสูตรอาหาร จะช่วยปรับสภาวะสมดุลกรด-ด่างในร่างกายสุกร ซึ่งจะขึ้นอยู่กับสภาวะความเป็นกรดของร่างกายด้วย ถ้าร่างกายมีสภาวะความเป็นกรดสูง ระดับ dEB ที่ใช้ควรมีค่าสูงขึ้น Patience *et al.* (1987) รายงานว่า ความแตกต่างของสภาพแวดล้อมที่ทำการศึกษามีผลต่อระดับ dEB ที่เหมาะสมในอาหารที่ทำให้สุกรมีอัตราเจริญเติบโตสูงสุด ซึ่งจากการทดลองของ Haydon *et al*. (1990); Wondra *et al.* (1995) รายงานว่าระดับของ dEB ที่มีผลทำให้สุกรมีอัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวันสูงที่สุด คือที่ระดับ 250 และ 238 mEq ต่ออาหาร 1 กิโลกรัม ตามลำดับ แต่จากการทดลองครั้งนี้ซึ่งพบว่า ระดับของ dEB ที่มีผลทำให้สุกรมีอัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวัน และอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักดีที่สุดคือที่ระดับ dEB 350 mEq ต่ออาหาร 1 กิโลกรัม และมีต้นทุนค่าอาหารต่อน้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้น 1 กิโลกรัม มีค่าต่ำสุด การที่ระดับของ dEB จากการทดลองนี้สูงกว่าอาจจะเป็นเพราะว่าสภาพแวดล้อมที่ต่างกันของพื้นที่ ที่ใช้เลี้ยงสุกร โดยเฉพาะเมืองไทยเป็นเมืองที่มีอากาศร้อนชื้น ซึ่งเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ร่างกายของสุกรเกิดภาวะความเป็นกรดมากกว่าปกติ ถ้าร่างกายอยู่ในภาวะเป็นกรด แอมโมเนียจะถูกสร้างขึ้นเป็นจำนวนมาก (อุดม, 2526) ซึ่งแอมโมเนียจะถูกสร้างจากหมู่อะมิโนที่ถูกดึงออกมาจากกรดอะมิโนต่าง ๆ ที่เก็บรวบรวมไว้ในรูปของกรดอะมิโน glutamate ซึ่งหมู่อะมิโนนี้จะถูกตัดออกมาในรูป NH^+_4 โดยเอนไซม์ glutamate dehydrogenase ซึ่งเกิดขึ้นในทุกเซลล์ทั่วร่างกายทำให้เกิดปัญหาต่อเซลล์ เนื่องจากแอมโมเนียเป็นสารพิษ โดยเฉพาะอย่างยิ่งต่อสมอง ในภาวะที่ร่างกายมีความสมดุลของกรด-ด่าง ประมาณร้อยละ 99 ของแอมโมเนียจะอยู่ในรูปของ NH^+_4 การมีประจุทำให้ NH^+_4 ไม่สามารถซึมผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ตับ หรือเยื่อหุ้มของไมโทคอนเดรียของเซลล์ตับเพื่อเปลี่ยนเป็นยูเรียได้ ส่วนอีกประมาณร้อยละ 1 ของแอมโมเนียจะอยู่ในรูปของ NH_3 ซึ่งสามารถซึมเข้าสู่เซลล์ และไมโทคอนเดรียของสมอง ซึ่งจะถูกนำไปสังเคราะห์เป็นกรดอะมิโน glutamate โดยเอนไซม์ glutamate dehydrogenase ดังสมการที่ 13

$$NH^+_4 + \alpha\text{-ketoglutalate} + NADPH + H^+ \longrightarrow \text{Glutamate} + NADP^+ + H_2O \quad (13)$$

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ดังนั้นในสภาวะที่ร่างกายเป็นกรดจะมีปริมาณ NH_3 มากขึ้น และจะทำให้ปฏิกิริยาข้างต้นเกิดขึ้นมากทำให้มีการดึงเอาสารแอลฟาคีโทกลูทาเรตจากวัฏจักรเครบส์มาใช้อย่างมาก ทำให้อัตราเร็วของวัฏจักรนี้ลดลง และปริมาณ ATP ลดลง (พจน์ และคณะ, 2543) ส่งผลต่อประสิทธิภาพการผลิตของร่างกาย เนื่องจากมีพลังงานไม่เพียงพอสำหรับการดำรงชีพ และการเจริญเติบโตของร่างกาย ซึ่งจะเห็นได้ว่าในการทดลองนี้สุกรที่ได้รับอาหารที่มีระดับ dEB 200 mEq ต่ออาหาร 1 กิโลกรัม สุกรมีแนวโน้มของประสิทธิภาพการผลิตลดลง แต่เมื่อระดับ dEB ในอาหารเพิ่มขึ้นเป็น 350 mEq ต่ออาหาร 1 กิโลกรัม มีแนวโน้มประสิทธิภาพการผลิตดีที่สุด (P>0.05) การเสริม dEB ในอาหารเพื่อปรับให้ร่างกายมีภาวะของกรด-ด่างสมดุล เป็นผลให้การทำงานของระบบต่าง ๆ ในร่างกายทำงานได้อย่างเต็มที่ การทดลองนี้ระดับของ dEB ไม่มีผลต่อสมรรถภาพการผลิตอย่างมีนัยสำคัญ (P>0.05) แต่มีแนวโน้มให้เห็นเท่านั้นว่าที่ระดับ dEB ที่เหมาะสมคือ 350 mEq ต่ออาหาร 1 กิโลกรัม ซึ่งการเลี้ยงสุกรในสภาวะแวดล้อมที่อุณหภูมิสูงขึ้นจะต้องเพิ่มระดับ dEB ให้สูงขึ้นกว่าการเลี้ยงสุกรในสภาวะแวดล้อมที่อุณหภูมิต่ำกว่า (NRC, 1998) เพราะสุกรจะเกิดการหอบเพื่อเป็นการระบายความร้อนทำให้เสียสมดุลของกรด-ด่าง (สัญญา, 2530 ; วันดี, 2546) ร่างกายมีสภาวะเป็นกรดเพิ่มมากขึ้น

5.2.2 คุณภาพซาก

ระดับของโปรตีนที่ลดลงทำให้ความหนาของไขมันสันหลังเพิ่มขึ้น มีพื้นที่หน้าตัดเนื้อสัน และเปอร์เซ็นต์เนื้อแดงลดลง สอดคล้องกับการทดลองของ Lopez *et al.* (1994); Knowles *et al.* (1998); Gómez *et al.* (2002) ที่รายงานว่า ความหนาของไขมันสันหลังสูงขึ้น มีพื้นที่หน้าตัดเนื้อสัน และเปอร์เซ็นต์เนื้อแดงลดลงเมื่อระดับของโปรตีนลดลง สุกรที่ได้รับอาหารที่มีระดับโปรตีน 11.5 เปอร์เซ็นต์ มีความหนาของไขมันสันหลังสูงกว่าสุกรที่ได้รับอาหารที่มีระดับโปรตีน 15.5 เปอร์เซ็นต์ (P<0.05) แต่เมื่อเปรียบเทียบสุกรที่ได้รับอาหารที่มีระดับโปรตีน 15.5 และ 13.5 เปอร์เซ็นต์ มีความหนาของไขมันสันหลังไม่ต่างกันทางสถิติ (P>0.05) สุกรที่ได้รับอาหารที่มีระดับโปรตีน 15.5 และ 13.5 เปอร์เซ็นต์ มีสัดส่วนของกรดอะมิโนในอาหารใกล้เคียงกัน แต่สุกรที่ได้รับอาหารที่มีระดับโปรตีน 11.5 เปอร์เซ็นต์ มีสัดส่วนของกรดอะมิโนบางตัวไม่ถูกต้องในโปรตีนอุดมคติ ตามคำแนะนำของ NRC (1998) คือ มีสัดส่วนของกรดอะมิโนทรีโอนีนต่ำกว่าเมทไธโอนีนกับซีสตีน โดยสัดส่วนของโปรตีนอุดมคติทั่วไปมีสัดส่วนของทรีโอนีน สูงกว่าเมทไธโอนีนกับซีสตีน ซึ่งสัดส่วนของกรดอะมิโนในโปรตีนอุดมคติเป็นสัดส่วนที่ร่างกายสามารถนำกรดอะมิโนมาใช้ประโยชน์ เพื่อการดำรงชีพ เพื่อสะสมในร่างกาย และนำมาใช้ในการสังเคราะห์โปรตีนได้อย่างมีประสิทธิภาพมากที่สุด (Fuller, 1994) และเมื่อเปรียบเทียบสัดส่วน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ของไลซีนต่อพลังงานที่ย่อยได้ และพลังงานใช้ประโยชน์ได้ พบว่า สัดส่วนของไลซีนต่อพลังงานมีค่าลดลง เมื่อระดับโปรตีนในอาหารลดลง สอดคล้องกับรายงานของ Szabó *et al*. (2001) ที่รายงานว่า ระดับของโปรตีนที่ลดลง ทำให้สัดส่วนของไลซีนต่อพลังงานลดลง ซึ่งโดยทั่วไปสุกรจะกินอาหารตามความต้องการพลังงานของร่างกาย (วันดี, 2546) ถ้าอาหารมีปริมาณพลังงานเท่ากันแต่มีระดับโปรตีนต่างกัน สุกรจะกินอาหารปริมาณเท่ากันทำให้สุกรที่ได้รับอาหารที่มีระดับโปรตีนต่ำได้รับไลซีนในอาหารปริมาณต่ำ ทำให้การสะสมเป็นโปรตีนของร่างกาย (body protein) ต่ำ และมีการสะสมในรูปของไขมันสันหลังแทน (Bikker *et al*., 1994)

ระดับของ dEB ไม่มีผลต่อคุณภาพซาก (P>0.05) แต่มีแนวโน้มว่าระดับ dEB ที่เพิ่มขึ้นทำให้ความหนาไขมันสันหลังลดลง พื้นที่หน้าตัดเนื้อสัน และเปอร์เซ็นต์เนื้อแดงเพิ่มขึ้น สอดคล้องกับการทดลองของ Kornegay *et al.* (1973) ซึ่งรายงานว่าระดับ dEB ที่เพิ่มขึ้นมีแนวโน้มทำให้ความหนาไขมันสันหลังลดลง และพื้นที่หน้าตัดเนื้อสันเพิ่มขึ้น และ Wondra *et al*. (1995) รายงานว่า ความหนาไขมันสันหลังลดลง เมื่อระดับ dEB เพิ่มจาก 177 เป็น 308 mEq ต่ออาหาร 1 กิโลกรัม แต่เมื่อระดับ dEB ในอาหารเพิ่มเป็น 399 mEq ต่ออาหาร 1 กิโลกรัม ทำให้ความหนาไขมันสันหลังเพิ่มขึ้น ระดับของ dEB ในอาหารช่วยปรับภาวะสมดุลกรด-ด่างของร่างกาย และสมดุลกรด-ด่างในร่างกายมีความสัมพันธ์กับการเมแทบอลิซึมกรดอะมิโน (Patience, 1990) การดูดซึมน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว และกรดอะมิโนต้องอาศัยตัวพาเพื่อผ่านผนังของเซลล์ ซึ่งในการทำงานของตัวพาส่วนมากต้องอาศัยโซเดียมในการพาข้าสู่เซลล์ (ชัยวัฒน์, 2541)แต่ในภาวะที่ร่างกายเป็นกรด ระดับของโซเดียมในร่างกายจะต่ำ อาจจะส่งผลต่อการดูดซึมน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวและกรดอะมิโนให้ต่ำลง (สัญญา, 2535) เพราะระบบตัวพาต่างกันย่อมมีหน้าที่ต่างกันในการพาน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวและกรดอะมิโนแต่ละตัวเข้าสู่เซลล์ (ชัยวัฒน์, 2541) ซึ่งในการสังเคราะห์โปรตีนของร่างกายที่ต้องใช้กรดอะมิโนหลายตัวในเวลาเดียวกันเพื่อทำงานร่วมกัน เมื่อกรดอะมิโนไม่ได้สามารถสังเคราะห์เป็นโปรตีนของร่างกาย ก็จะมีการสะสมในรูปของไขมันแทน (Bikker *et al*., 1994)

5.3 ไนโตรเจนเมแทบอลิซึม ไนโตรเจนในสิ่งขับถ่ายของสุกร และค่าการย่อยได้ของโภชนะในมูลแบบปรากฏ

5.3.1 ไนโตรเจนเมแทบอลิซึม และไนโตรเจนในสิ่งขับถ่ายของสุกร

ปริมาณของไนโตรเจนที่สุกรได้รับจะลดลงตามระดับของโปรตีนในอาหารที่ลดลง สอดคล้องกับปริมาณไนโตรเจนที่ขับออกซึ่งมีค่าลดลง ไนโตรเจนที่ถูกขับออกมาทางปัสสาวะ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ของสุกร เป็นส่วนของไนโตรเจนที่ร่างกายดูดซึมแต่ไม่สามารถใช้ประโยชน์ได้ จะถูกเปลี่ยนเป็นยูเรียและขับออก ส่วนไนโตรเจนที่ขับออกทางมูล เป็นไนโตรเจนในอาหารที่ร่างกายไม่สามารถย่อยได้ ไนโตรเจนที่ไม่ได้มาจากอาหาร (endogenous nitrogen) และไนโตรเจนของจุลินทรีย์ ยูเรียในปัสสาวะสามารถเปลี่ยนเป็นแอมโมเนีย และระเหยสู่บรรยากาศได้อย่างรวดเร็วโดยการทำงานของจุลินทรีย์ในมูล (Jongbloed *et al.,* 1998) ดังนั้นในการเก็บตัวอย่างจึงควรเก็บมูลและปัสสาวะแยกออกจากกัน เพื่อที่จะวัดปริมาณของไนโตรเจนในสิ่งขับถ่ายได้ถูกต้องมากที่สุด โดยที่ยังไม่มีการเปลี่ยนเป็นแอมโมเนียและระเหยไป

สุกรที่ได้รับอาหารที่มีระดับโปรตีนลดลง 2 เปอร์เซ็นต์ จาก 15.5 เป็น 13.5 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณการขับออกของไนโตรเจนทางปัสสาวะ มูล และในสิ่งขับถ่าย ลดลง 24.01, 22.73 และ 23.50 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และเมื่อระดับโปรตีนในอาหารลดลง 4 เปอร์เซ็นต์ จาก 15.5 เป็น 11.5 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณการขับออกของไนโตรเจนทางปัสสาวะ มูล และในสิ่งขับถ่าย ลดลงมีค่าเท่ากับ 42.86, 32.08 และ 38.06 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับ Figueroa *et al.* (2002) ที่รายงานว่าระดับของไนโตรเจนในสิ่งขับถ่ายลดลง 30 เปอร์เซ็นต์ เมื่อระดับโปรตีนในอาหารลดลง 4 เปอร์เซ็นต์ จาก 14 เป็น 10 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อคิดเทียบเป็นระดับโปรตีนที่ลดลง 1 เปอร์เซ็นต์ จะลดไนโตรเจนในสิ่งขับถ่ายได้ 9.5 เปอร์เซ็นต์ เช่นเดียวกับการทดลองของ Ketels (1999) และ Sutton *et al.* (1999) ที่พบว่าระดับของโปรตีนในอาหารที่ลดลง 1 เปอร์เซ็นต์ สามารถลดไนโตรเจนที่ขับออกในสิ่งขับถ่ายได้ 10-15 และ 8 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และเมื่อเทียบเป็นเปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนในสิ่งขับถ่าย กับไนโตรเจนที่ได้รับ สุกรที่ได้รับอาหารที่มีระดับโปรตีนลดลงจาก 15.5 เป็น 13.5 และ 11.5 เปอร์เซ็นต์ มีจะเปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนที่ขับออกลดลง 11.95 และ 17.07 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ แสดงว่าเมื่อคิดเปรียบเทียบเฉลี่ยต่อ 1 เปอร์เซ็นต์ของโปรตีนที่ลดลง การลดระดับของโปรตีนในอาหารลง 2 เปอร์เซ็นต์ จาก 15.5 เป็น 13.5 เปอร์เซ็นต์ จะมีเปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนในสิ่งขับถ่ายลดลงมากกว่า

ปริมาณของไนโตรเจนที่กักเก็บไว้ในร่างกายลดลง 1.94 และ 11.50 เปอร์เซ็นต์ เมื่อระดับโปรตีนลดลงจาก 15.5 เป็น 13.5 และ 11.5 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ แต่เมื่อคิดเทียบกับเปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนที่ได้รับ จะเพิ่มขึ้น 11.57 และ 15.75 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ สอดคล้องกับ Shriver *et al.* (2003) ที่รายงานว่า ระดับโปรตีนที่ลดลงจาก 18 เป็น 14 เปอร์เซ็นต์ ทำให้ปริมาณไนโตรเจนที่กักเก็บไว้ในร่างกายลดลง 14.97 แต่เมื่อเทียบกับเปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนที่ได้รับ เปอร์เซ็นต์ของไนโตรเจนที่ กักเก็บไว้ในร่างกายมีค่าสูงขึ้น 11.5 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าระดับโปรตีนที่สูงเกินไปในอาหารส่วนใหญ่จะมีการขับออกนอกร่างกาย เพราะสุกรไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ (Buttery and D' Mello, 1994) ซึ่งสอดคล้องกับ ค่าการใช้ประโยชน์ทาง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ชีวภาพของไนโตรเจนแบบปรากฏ และค่าการย่อยได้ของไนโตรเจนในมูลแบบปรากฏ ที่พบว่าสุกรที่ได้รับอาหารที่มีระดับโปรตีน 13.5 เปอร์เซ็นต์ มีแนวโน้มสูงกว่าสุกรที่ได้รับอาหารที่มีระดับโปรตีน 15.5 เปอร์เซ็นต์

สุกรที่ได้รับอาหารที่มีระดับ dEB เพิ่มขึ้นจาก 200 เป็น 350 mEq ต่ออาหาร 1 กิโลกรัม มีปริมาณการขับออกของไนโตรเจนทางปัสสาวะ มูล และสิ่งขับถ่าย มีค่าลดลงเท่ากับ 28.40, 12.61 และ 21.24 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ มีค่าลดลงมากกว่าสุกรที่ได้รับอาหารที่มีระดับ dEB เพิ่มขึ้นจาก 200 เป็น 500 mEq ต่ออาหาร 1 กิโลกรัม มีค่าเท่ากับ 26.16, 12.00 และ 19.90 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และเมื่อเทียบปริมาณไนโตรเจนในสิ่งขับถ่ายกับปริมาณไนโตรเจนที่ได้รับ สุกรที่ได้รับอาหารที่มีระดับ dEB เพิ่มขึ้นจาก 200 เป็น 350 และ 500 mEq ต่ออาหาร 1 กิโลกรัม มีปริมาณไนโตรเจนที่ขับออกในสิ่งขับถ่ายเทียบกับเปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนที่ได้รับมีค่าลดลง 21.05 และ 19.53 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนที่ขับออกของสุกรมีค่าผันแปรกับเปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนที่กักเก็บไว้ในร่างกาย คือสุกรที่ได้รับอาหารที่มีระดับ dEB เพิ่มขึ้นจาก 200 เป็น 350 และ 500 mEq ต่ออาหาร 1 กิโลกรัม มีปริมาณไนโตรเจนที่กักเก็บไว้ในร่างกายเพิ่มขึ้น 18.81 และ 17.83 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ สอดคล้องกับ Moze *et al.* (2002) ที่รายงานว่า ระดับ dEB ในอาหารที่เพิ่มขึ้นจาก 151 เป็น 291 mEq ต่ออาหาร 1 กิโลกรัม ทำให้ไนโตรเจนที่ขับออกทางปัสสาวะและมูลลดลง 10.42 และ 16.30 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และมีปริมาณไนโตรเจนที่กักเก็บในร่างกายเพิ่มขึ้น 3.08 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเมื่อเทียบเป็นเปอร์เซ็นต์ปริมาณไนโตรเจนที่กักเก็บกับเปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนที่ได้รับมีค่าเพิ่มขึ้น 8.46 เปอร์เซ็นต์ และพบว่าสุกรที่ได้รับอาหารที่มีระดับโปรตีนเท่ากัน แต่เมื่อมีการเสริมโปแตสเซียมในอาหารจะมีปริมาณไนโตรเจนในสิ่งขับถ่ายต่ำกว่า (Kephart and Sherritt, 1990) นอกจากนี้ Haydon and West (1990) ยังรายงานว่า ระดับของ dEB ในอาหารที่เพิ่มขึ้นจาก -50 เป็น 400 mEq ต่ออาหาร 1 กิโลกรัม ทำให้ค่าการย่อยได้ของไนโตรเจน พลังงานทั้งหมด วัตถุแห้ง และกรดอะมิโนเพิ่มขึ้น ซึ่งในการทดลองนี้ค่าการย่อยได้ของไนโตรเจนในมูลของสุกรที่ได้รับอาหารที่มีระดับ dEB 350 mEq ต่ออาหาร 1 กิโลกรัม มีแนวโน้มสูงที่สุด และมีค่าการใช้ประโยชน์ทางชีวภาพของไนโตรเจนแบบปรากฏสูงที่สุด และสูงกว่าสุกรที่ได้รับอาหารที่มีระดับ dEB 200 mEq ต่ออาหาร 1 กิโลกรัม ($P<0.01$) เนื่องจากสมดุลของกรด-ด่าง ในร่างกายส่งผลต่อการย่อยและการดูดซึมกรดอะมิโน ในภาวะที่ร่างกายเป็นกรดการเสริม dEB ในอาหารจะช่วยปรับให้ร่างกายอยู่ในภาวะสมดุล เมื่อกรด-ด่างในร่างกายสมดุลการย่อยและการดูดซึมกรดอะมิโนก็จะดีกว่าในภาวะที่ร่างกายเป็นกรด การนำไปใช้ประโยชน์ก็จะดีกว่าปริมาณที่ขับออกก็จะน้อยกว่า

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ระดับของโปรตีนที่ลดลงไม่มีผลต่อค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ในปัสสาวะของสุกร (P>0.05) แต่ระดับ dEB ที่เพิ่มขึ้นทำให้ค่า pH ในปัสสาวะเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ (P<0.01) ค่า pH ในปัสสาวะมีอิทธิพลมาจากอาหาร เมื่อเสริม dEB ในอาหารจะมีผลให้ค่า pH ของปัสสาวะเพิ่มมากขึ้น (DeRouchoy *et al.,* 2003) ซึ่งค่า pH ที่เพิ่มขึ้นจะช่วยลดการเกิดแอมโมเนียมไอออน เนื่องจากภาวะที่ร่างกายเป็นกรด ไตต้องพยายามขับไฮโดรเจนไอออน (H^+) ออกไปในรูปของแอมโมเนียมไอออน ซึ่งในภาวะปกติร่างกายจะขับออกวันละ 30-50 มิลลิโมล ในภาวะที่ร่างกายเป็นกรดจะขับเพิ่มเป็น 500 มิลลิโมล (Smith, 1980) การลดระดับโปรตีนในอาหาร และเสริมกรดอะมิโนสังเคราะห์เพื่อให้ปริมาณกรดอะมิโนเพียงพอกับความต้องการของร่างกาย จึงทำให้ร่างกายมีกรดอินทรีย์เพิ่มมากขึ้นเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ร่างกายเกิดภาวะความเป็นกรด (สัญญา, 2535) ดังนั้นการปรับระดับ dEB ให้สูงขึ้น จึงเป็นการช่วยลดภาวะความเป็นกรดของร่างกาย

5.3.2 ค่าการย่อยได้ของโภชนะในมูลแบบปรากฏ

อาหารหรือโภชนะที่กินเข้าไป (intake) ส่วนที่ย่อยได้จะถูกดูดซึม (absorb) ส่วนที่ย่อยไม่ได้จะถูกขับออกทางมูล ดังนั้นเมื่อนำโภชนะในมูลหักออกจากโภชนะในอาหาร และคิดเป็นร้อยละของโภชนะนั้น จะเป็นค่าการย่อยได้โดยประมาณ (McDonald *et al*., 2002) ซึ่งจากการทดลอง พบว่า ระดับของโปรตีนและ dEB ที่แตกต่างกันไม่มีผลต่อค่าการย่อยได้ของโภชนะในมูลแบบปรากฏ (P>0.05) ยกเว้นค่าการย่อยได้ของไขมัน และเยื่อใยในมูลแบบปรากฏ สุกรที่ได้รับอาหารที่มีระดับโปรตีน 15.5 และ 13.5 เปอร์เซ็นต์ มีค่าการย่อยได้ของไขมันในมูลสูงกว่าสุกรที่ได้รับอาหารที่มีระดับโปรตีน 11.5 เปอร์เซ็นต์ อย่างมีนัยสำคัญยิ่ง (P<0.01) อาจมีสาเหตุมาจากอาหารโปรตีนมีผลต่อการยับยั้งการรวมตัวของหยดไขมัน ทำให้เอนไซม์เข้าไปย่อยได้ง่าย (ชัยวัฒน์, 2541) สุกรที่ได้รับอาหารที่มีระดับโปรตีน 11.5 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณของโปรตีนต่ำทำให้การยับยั้งการรวมตัวของหยดไขมันได้น้อยกว่าที่ระดับโปรตีน 15.5 และ 13.5 เปอร์เซ็นต์ ทำให้มีค่าการย่อยได้ของไขมันในมูลแบบปรากฏต่ำกว่า ส่วนค่าการย่อยได้ของเยื่อใยในมูลแบบปรากฏของสุกร สุกรจัดเป็นสัตว์กระเพาะเดี่ยวซึ่งไม่สามารถที่จะย่อยเยื่อใยได้โดยระบบเอนไซม์ที่ผลิตขึ้นในตัวสัตว์เอง ทำให้ค่าการย่อยได้ของเยื่อใยในมูลแบบปรากฏของสุกรที่ได้รับอาหารที่มีระดับโปรตีนลดลงมีค่าเพิ่มขึ้น ค่าการย่อยได้ของเยื่อใยอาจมีค่าสูงขึ้นตามสัดส่วนของข้าวโพดและกากถั่วเหลืองในสูตรอาหาร (Rao and McCracken, 1991) การลดระดับโปรตีนในสูตรอาหารจะใช้กากถั่วเหลืองที่เป็นแหล่งโปรตีนในอาหารลดลง ซึ่งกากถั่วเหลืองเป็นวัตถุดิบที่มีเยื่อใยสูงเมื่อระดับโปรตีนลดลงทำให้ปริมาณเยื่อใยในสูตรอาหารลดลง ส่งผลให้สุกรที่ได้รับอาหารที่มีระดับ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

โปรตีน 11.5 เปอร์เซ็นต์ มีแนวโน้มค่าการย่อยได้ของเยื่อใยสูงที่สุด และสูงกว่าสุกรที่ได้รับอาหารที่มีระดับโปรตีน 15.5 เปอร์เซ็นต์ อย่างมีนัยสำคัญยิ่ง (P<0.01) และในส่วนของสุกรที่ได้รับอาหารที่มีระดับโปรตีน 13.5 เปอร์เซ็นต์ มีแนวโน้มค่าการย่อยได้ของวัตถุแห้ง และโปรตีนในมูลแบบปรากฏสูงที่สุด อาหารโปรตีนส่วนใหญ่จะถูกย่อยสลายเป็นกรดอะมิโนก่อนจึงจะดูดซึมที่ลำไส้เล็กส่วนกลาง ส่วนที่เหลือจากการย่อยสลาย และการดูดซึมสุกรจะถูกขับออกมาในมูล (McDonald *et al*., 2002) ซึ่งอาหารที่มีระดับโปรตีนสูงจะมีส่วนของโปรตีนที่ไม่ถูกย่อยสลาย และดูดซึมมาก ส่งผลให้มีการขับออกในมูลสูง และเมื่อนำค่าการย่อยได้มาเปรียบเทียบกับปริมาณของโปรตีนที่กิน ทำให้ค่าการย่อยได้ของสุกรที่ได้รับอาหารที่มีระดับโปรตีน 15.5 เปอร์เซ็นต์ มีค่าต่ำกว่าสุกรที่ได้รับอาหารที่มีระดับโปรตีน 13.5 เปอร์เซ็นต์ (Wang and Fuller, 1990 ; McDonald *et al*., 2002) การย่อยอาหารในบริเวณทางเดินอาหารจำเป็นต้องอาศัยเอนไซม์ต่าง ๆ ซึ่งการย่อยจะสมบูรณ์จะต้องอาศัยอิเล็คโทรไลท์ชนิดต่าง ๆ ที่หลั่งออกมาจากต่อมต่าง ๆ ภายในทางเดินอาหาร หน้าที่สำคัญของอิเล็คโทรไลท์คือ ช่วยปรับสภาวะความเป็นกรด-ด่าง ในแต่ละบริเวณของระบบทางเดินอาหารทำให้มี pH เหมาะสมกับการทำงานของเอนไซม์ย่อยอาหาร เช่น H^+ ไปทำให้ เปปซิโนเจนเปลี่ยนเป็นเปปซิน และยังช่วยกระตุ้นการทำงานของเปปซินในการย่อยโปรตีน นอกจากนี้ไบคาร์บอเนตที่หลั่งออกมาจากตับอ่อน และเซลล์เยื่อบุลำไส้เล็กส่วนต้นจะปรับสภาวะความเป็นกรด-ด่างของอาหารที่เข้ามา และมีผลไปทำให้ทางเดินอาหารบริเวณลำไส้เล็กส่วนต้นมีความเป็นด่างเพื่อที่จะทำให้เอนไซม์ต่าง ๆ ในบริเวณดังกล่าวทำการย่อยอาหารได้เต็มที่ นอกจากนี้ยังทำตัวเป็นตัวเร่ง (catalyst) การทำงานของเอนไซม์ต่าง ๆ ที่หลั่งเข้าไปในทางเดินอาหาร เช่น คลอไรด์เป็นตัวเร่งการทำงานของเอนไซม์อัลฟาแอมิเลสที่หลั่งออกมาจากต่อมน้ำลายและตับอ่อน (ชัยวัฒน์, 2541) ซึ่งจะเห็นได้ว่าอิเล็คโทรไลท์มีความสำคัญต่อระบบการย่อยอาหารอย่างมาก ในภาวะปกติร่างกายได้รับกรดเพิ่มทั้งจากภายใน และภายนอกร่างกาย ส่งผลต่อให้ร่างกายเกิดภาวะเป็นกรด (สัญญา, 2535) การเสริม dEB ในอาหารเพื่อปรับให้ร่างกายอยู่ในภาวะสมดุล ทำให้การทำงานของระบบย่อยอาหารมีประสิทธิภาพมากที่สุด ซึ่งจากการทดลองนี้ สุกรที่ได้รับอาหารที่มีระดับ dEB 350 mEq ต่ออาหาร 1 กิโลกรัม มีแนวโน้มค่าการย่อยได้ของวัตถุแห้ง โปรตีน ไขมัน และเยื่อใยในมูลแบบปรากฏสูงที่สุด

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved