รหัสโครงการ SUT 3-303-56-12-24

รายงานการวิจัย

ผลของการเสริมกรดอินทรีย์ต่อสุขภาพทางเดินอาหาร และสมรรถนะการผลิตของลูกสุกรหย่านม

(Effect of supplemental organic acids on digestive health and production performance of weaned pigs)

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจาก

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว

รหัสโครงการ SUT 3-303-56-12-24

รายงานการวิจัย

ผลของการเสริมกรดอินทรีย์ต่อสุขภาพทางเดินอาหาร และสมรรถนะการผลิตของลูกสุกรหย่านม
(Effect of supplemental organic acids on digestive health and production performance of weaned pigs)

คณะผู้วิจัย

หัวหน้าโครงการ

ผศ. ดร. สุทิศา เข็มผะกา

สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์

สำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร

ผู้ร่วมวิจัย

ดร. วิทธวัช โมฬี

นายจักร์ โนจากุล

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ปีงบประมาณ พ.ศ. 2556

ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว

เมษายน 2558

กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยครั้งนี้ได้รับการสนับสนุนทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ปีงบประมาณ 2556 ขอขอบคุณฟาร์มมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีที่ได้ให้ความอนุเคราะห์สถานที่เพื่อใช้ในงานทดลอง ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ฟาร์มสุกร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีที่ได้อำนวยความสะดวกในระหว่างการทำงานทดลอง และสุดท้ายขอขอบคุณ คุณสุภัตรา โอกระโทก และคุณลัดดาวัลย์ หอกกิ่ง ที่ได้ทำหน้าที่ผู้ช่วยวิจัยและจัดทำรายงานฉบับนี้ด้วย

สุทิศา เข็มผะกา

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทคัดย่อ

สุกรระยะหย่านมเป็นช่วงที่วิกฤตที่สุดสำหรับลูกสุกร ซึ่งมักมีปัญหาการกินอาหารลดลง น้ำหนักตัวเพิ่มเพียงเล็กน้อยหรือไม่มีเลย การผลิตเอนไซม์ไม่เพียงพอ ลักษณะทางจุลภายวิภาคของลำไส้เปลี่ยนแปลง มีอาการท้องเสีย ป่วย และตาย โดยการเสริมกรดอินทรีย์พบว่าสามารถช่วยแก้ปัญหาดังกล่าวได้ ดังนั้นการทดลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการเสริมกรดฟอร์มิกในรูปโพแทสเซียมไดฟอร์เมท (K-diformate) และกรดบิวไทริกในรูปโซเดียมบิวไทเรท (Na-butyrate) ต่อสุขภาพทางเดินอาหาร และสมรรถนะการผลิตของลูกสุกรหย่านม โดยใช้สุกรลูกผสม 3 สาย (ดูร็อค x แลนด์เรซ x ลาร์จไวท์) หย่านมที่อายุ 21 วัน จำนวน 96 ตัว (เพศผู้ตอน 48 ตัว และเพศเมีย 48 ตัว) น้ำหนักตัวเฉลี่ย 8.11±1.31 กิโลกรัม ตามแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อคสมบูรณ์ (Randomized Completely Block Design; RCBD) แบ่งสุกรออกทั้งหมดออกเป็น 4 กลุ่มการทดลอง ๆ ละ 4 ซ้ำ (ซ้ำละ 6 ตัว) อาหารทดลองประกอบด้วย 1) อาหารสูตรพื้นฐาน (control) 2) กรดฟอร์มิก 0.3% 3) กรดบิวไทริก 0.1% และ 4) กรดฟอร์มิก 0.3% + กรดบิวไทริก 0.1% ให้อาหารและน้ำแบบเต็มที่ตลอดการทดลอง ผลการทดลองพบว่าลูกสุกรหย่านมที่ได้รับอาหารเสริมกรดอินทรีย์ทุกกลุ่มการทดลอง มีอัตราการเจริญเติบโต ประสิทธิภาพการใช้อาหาร และปริมาณการกินอาหารได้ไม่แตกต่างกับอาหารสูตรควบคุม แต่มีแนวโน้มว่าลูกสุกรหย่านมที่ได้รับอาหารเสริมกรดฟอร์มิกร่วมกับกรดบิวไทริก มีประสิทธิภาพการใช้อาหารดีกว่ากลุ่มอื่น ๆ การเสริมกรดบิวไทริก สามารถเพิ่มความสูงวิลไลในลำไส้เล็กส่วนกลาง (jejunum) และส่วนท้าย (ileum) ได้ ($P<0.05$) แต่อย่างไรก็ตามกรดอินทรีย์ไม่มีผลในการเปลี่ยนแปลงความเป็นกรด-ด่าง ของสิ่งย่อย (digesta) ประชากรจุลินทรีย์ (*Lactobacillus* spp., *Bifidobacterium* spp. และ *E. coli*) ลักษณะมูล การผลิตกรดไขมันระเหยได้และแอมโมเนียในทางเดินอาหารส่วนต่าง ๆ โดยสรุปกรดฟอร์มิก (K-diformate) และกรดบิวไทริก (Na-butyrate) มีบทบาทเพียงเล็กน้อยต่อสุขภาพทางเดินอาหารและสมรรถนะการผลิตของลูกสุกรหย่านม

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ABSTRACT

The weaning period is a critical stage of life for piglets, it is often associated with reduced feed intake, little or no weight gain, insufficient of enzyme production, change in intestinal morphology, diarrhea, morbidity and death. The addition of organic acids to diets for pigs has been reported to solve these problems. Therefore, this study aimed to investigate the effect of supplemental formic acid in the form of K-diformate and butyric acid in the form of Na-butyrate on digestive health and production performance of weaned pigs. A total of 96 ninety six 21-day-old weaned cross bred (Duroc x Landrace x Large White) pigs (48 castrated males and 48 females) with average initial body weight 8.11±1.31 kg were subjected in Randomized Complete Block Design (RCBD). All pigs were randomly divided into 4 treatments with 4 replicates pens per treatment (6 pigs per pen). The experimental diets were 1) basal diet (control), 2) 0.3% formic acid, 3) 0.1% butyric acid and 4) 0.3% formic acid + 0.1% butyric acid. All pigs were provided feed and water ad libitum throughout the experimental period. The results showed that feeding weaned pigs with all organic acid diets showed no effects on growth rate, feed efficiency and feed intake compared to control, but in weaned pigs fed formic acid combination with butyric acid tended to have greater feed efficiency than other treatments. Butyric acid can improve villi height in jejunum and ileum ($P<0.05$). However, organic acids had no effects on pH change, microbial populations (*Lactobacillus* spp., *Bifidobacterium* spp. and *E. coli*), fecal characteristic, volatile fatty acids and ammonia production in various parts of the gastrointestinal tract. The results indicated that formic acid (K-diformate) and butyric acid (Na-butyrate) had little effect on digestive health and production performance of weaned pigs.

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	จ
สารบัญภาพ	ช
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาการวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	2
1.4 ทฤษฎี สมมุติฐาน และกรอบแนวความคิดของการวิจัย	3
1.5 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย	3
บทที่ 2 ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง	
2.1 กลไกการทำงานของกรดอินทรีย์	6
2.1.1 ผลของกรดอินทรีย์ต่อค่าความเป็นกรด-ด่างในลำไส้	6
2.1.2 ผลของกรดอินทรีย์ต่อประชากรจุลินทรีย์	10
2.1.3 การเพิ่มการย่อยได้ของโภชนะ (improvement in nutrient digestion)	12
2.2 กรดฟอร์มิก	14
2.3 กรดไขมันสายสั้นและกรดบิวไทริก	16
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	18
บทที่ 4 ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง	24
บทที่ 5 บทสรุป	
5.1 สรุปผลการวิจัย	33
5.2 ข้อเสนอแนะ	33
บรรณานุกรม	34
ประวัติผู้วิจัย	39

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 ชนิดและคุณสมบัติของกรดอินทรีย์ 5
ตารางที่ 2.2 ช่วงความเป็นกรด-ด่างสำหรับการเจริญของจุลินทรีย์ 5
ตารางที่ 2.3 ค่า pH, acid-binding capacity (ABC) และ buffering capacity (BUF) ในวัตถุดิบอาหารสัตว์ (ค่าเฉลี่ย ± SD) 8
ตารางที่ 2.4 ผลของกรดอินทรีย์ต่อค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ในอาหารและสิ่งย่อย (digesta) ของลูกสุกรหย่านม 9
ตารางที่ 2.5 ผลของกรดอินทรีย์ต่อประชากรจุลินทรีย์ในลำไส้ของลูกสุกรหย่านม 11
ตารางที่ 2.6 ผลของกรดอินทรีย์ต่อค่าการย่อยได้สิ่งแห้งและโปรตีนในลูกสุกรหย่านม 13
ตารางที่ 2.7 ผลของการเสริมกรดฟอร์มิกและเกลือของกรดฟอร์มิกในอาหารต่อสมรรถนะการเจริญเติบโตของลูกสุกรหย่านม 15
ตารางที่ 3.1 ส่วนประกอบของวัตถุดิบและโภชนะของสูตรอาหารสุกรหย่านม (น้ำหนัก 7-15 กิโลกรัม) 22
ตารางที่ 3.2 ส่วนประกอบของวัตถุดิบและโภชนะของสูตรอาหารสุกรเล็ก (น้ำหนัก 15-25 กิโลกรัม) 23
ตารางที่ 4.1 ผลของการเสริมกรดอินทรีย์ในอาหาร ต่อสมรรถนะการเจริญเติบโตของสุกรหย่านม 25
ตารางที่ 4.2 ผลของการเสริมกรดอินทรีย์ในอาหาร ต่อสมรรถนะการเจริญเติบโตของสุกรเล็ก 25
ตารางที่ 4.3 ผลของการเสริมกรดอินทรีย์ในอาหาร ต่อลักษณะความเป็นกรด-ด่างของสิ่งย่อย (digesta) ในกระเพาะอาหาร และลำไส้ส่วนต่าง ๆ ของสุกรหย่านม 27
ตารางที่ 4.4 ผลของการเสริมกรดอินทรีย์ในอาหาร ต่อค่า acid binding capacity และ buffering capacity ในสูตรอาหารทดลอง 27
ตารางที่ 4.5 ผลของการเสริมกรดอินทรีย์ในอาหาร ต่อลักษณะจุลภายวิภาคในลำไส้เล็กของสุกรหย่านม 29
ตารางที่ 4.6 ผลของการเสริมกรดอินทรีย์ในอาหาร ต่อประชากรจุลินทรีย์ในลำไส้และมูลของสุกรหย่านม 30
ตารางที่ 4.7 ผลของการเสริมกรดอินทรีย์ในสูตรอาหารสุกรหย่านมต่อลักษณะมูล 32

ตารางที่ 4.8 ผลของการเสริมกรดอินทรีย์ในสูตรอาหารหย่านม
ต่อการผลิตกรดไขมันระเหยได้และแอมโมเนีย 32

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่ 2.1 สภาพปัญหาของสุกรหย่านม 4
ภาพที่ 2.2 หน้าที่ของกรดไขมันสายสั้น (short chain fatty acids) ภายในลำไส้ใหญ่ 16

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาการวิจัย

อุตสาหกรรมการเลี้ยงสุกรของประเทศไทยมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง ไม่ว่าจะเป็นทางด้านอาหาร พันธุ์ การจัดการ และการป้องกันโรค เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต การหย่านมลูกสุกรให้เร็วขึ้นก็เป็นอีกวิธีการหนึ่งเพื่อเพิ่มจำนวนครอกต่อปีของแม่สุกร อย่างไรก็ตามเป็นที่ทราบกันว่าการหย่านมลูกสุกรที่เร็วไปเป็นสาเหตุของการเกิดความเครียด อีกทั้งระบบทางเดินอาหารของสุกรในระยะดังกล่าวยังมีการพัฒนาไม่สมบูรณ์ ทำให้ประสิทธิภาพในการย่อยและดูดซึมสารอาหารต่ำ ลูกสุกรมีอาการท้องร่วง สุขภาพอ่อนแอ การสร้างภูมิต้านทานและการเจริญเติบโตลดลง (Pluske et al., 1997; Zou et al., 2006) การเสริมกรดอินทรีย์ในรูปของกรดฟอร์มิก (formic acid) และกรดบิวไทริก (butyric acid) ในอาหารสุกรหย่านมเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจ เพราะได้มีการรายงานถึงบทบาทของสารทั้งสองชนิดในการกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ การพัฒนาเซลล์ในระบบทางเดินอาหาร การยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ก่อโรค การเพิ่มการเจริญของจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ และมีผลทำให้สุกรมีสมรรถนะการเจริญเติบโตสูงขึ้น (Franco et al., 2005; Dibner and Buttin, 2002; Geary et al., 1999; Lu et al., 2008)

กรดอินทรีย์ที่เสริมในอาหารสุกรมีหลายชนิด เช่น กรดซิตริก (citric acid) กรดโพรพิโอนิก (propionic) กรดฟอร์มิก และกรดแลคติก (lactic acid) เป็นต้น ซึ่งกรดอินทรีย์เหล่านี้ มีบทบาทสำคัญในการลดความกรด-ด่าง (pH) ของกระเพาะอาหาร กระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ในกระเพาะอาหาร เพิ่มการย่อยและดูดซึมสารอาหาร ลดจุลินทรีย์ก่อโรค เช่น *E. coli*, *Salmonella* spp., *Clostridium perfringens* และมีผลลดอาการท้องร่วงในลูกสุกร (Franco et al., 2005; Dibner and Buttin, 2002; Geary et al., 1999) อย่างไรก็ตามกรดอินทรีย์แต่ละชนิดมีประสิทธิภาพการทำงานที่แตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับลักษณะโครงสร้างทางเคมี ความเป็นกรด (pKa) ระดับที่ใช้เสริมในสูตรอาหาร ส่วนประกอบของวัตถุดิบในสูตรอาหาร อายุลูกสุกรที่หย่านม และฤทธิ์ในการต้านการเปลี่ยนแปลง pH (buffering capacity) ในอาหาร การเลือกชนิดของกรดอินทรีย์เพื่อใช้เสริมในอาหารสุกรจึงควรมีการพิจารณาปัจจัยต่างๆ ให้รอบคอบ

กรดฟอร์มิก นอกจากมีบทบาทสำคัญดังที่กล่าวมาข้างต้นแล้ว ยังมีลักษณะที่โดดเด่นหลายประการ คือ มีราคาถูก มีประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ก่อโรคสูง รวมถึงยังระเหยได้ และช่วยป้องกันการปนเปื้อนของเชื้อโรคในอาหารด้วย (Blanchard, 2004) แต่อย่างไรก็ตามกรดฟอร์มิกออกฤทธิ์ในกระเพาะอาหารเป็นหลัก ทำให้ผลในการควบคุมเชื้อจุลินทรีย์ที่เป็นโทษ และกระตุ้นการแพร่ขยายของจุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์จึงจำกัดเฉพาะในกระเพาะอาหาร และลำไส้เล็กส่วนต้น (duodenum) เท่านั้น การใช้กรดฟอร์มิกร่วมกับกรดอินทรีย์ชนิดอื่น ๆ ที่มีคุณสมบัติออกฤทธิ์บริเวณ

ลำไส้ส่วนท้าย (hind gut) ด้วย น่าจะสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตสุกรหย่านมได้สูงขึ้น กรดบิวไทริกจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่มีการนำมาใช้เสริมในอาหารลูกสุกรหย่านม เพื่อส่งเสริมการทำงานบริเวณลำไส้เล็กส่วนปลาย และลำไส้ใหญ่ โดยกรดบิวไทริกสามารถต่อต้านเชื้อแบคทีเรีย เช่น *Salmonella* และ *E. coli* ได้เช่นเดียวกับกรดอินทรีย์ชนิดอื่น ๆ (Antongiovanni et al., 2007) นอกจากนี้ยังมีผลในการต่อต้านการอักเสบของเนื้อเยื่อเมือก (mucosa) ในกระเพาะอาหาร และลำไส้ใหญ่ สามารถดูดซึมที่ลำไส้ใหญ่เพื่อใช้เป็นแหล่งพลังงานของเนื้อเยื่อบุผิว (epithelial cell) ได้อย่างรวดเร็ว และเพิ่มการสร้างเซลล์คริปในลำไส้ใหญ่ (Roda et al., 2007; Biagi et al., 2007; Piva et al., 2002) จะเห็นได้ว่ากลไกการทำงานของกรดฟอร์มิกและกรดบิวไทริก มีเป้าหมายการออกฤทธิ์ในบริเวณที่ต่างกัน ดังนั้นหากมีการนำกรดอินทรีย์ทั้งสองชนิดเสริมร่วมกันในสูตรอาหารสุกรหย่านมน่าจะสามารถเสริมการทำงานซึ่งกันและกันตลอดระบบทางเดินอาหาร และส่งผลดีต่อสุขภาพของลูกสุกรหย่านมได้ ท้ายที่สุดจะได้มาซึ่งสุกรที่มีสมรรถนะการผลิตที่ดี อย่างไรก็ตามการศึกษาเพื่อเสริมกรดฟอร์มิกร่วมกับกรดบิวไบไทริกยังมีข้อมูลการศึกษาที่น้อยอยู่ ส่วนใหญ่เป็นการศึกษาในต่างประเทศ หากมีการศึกษาการใช้กรดอินทรีย์ทั้งสองชนิดในประเทศไทย เพื่อหาระดับที่เหมาะสมและสอดคล้องกับชนิดของวัตถุดิบอาหารสัตว์ที่ใช้กันอยู่ในประเทศ ก็น่าจะก่อให้เกิดประโยชน์แก่เกษตรกรผู้เลี้ยงสุกร

ดังนั้นการศึกษาครั้งนี้ จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการเสริมกรดอินทรีย์ฟอร์มิกและบิวไทริกในอาหารสุกรหย่านม โดยศึกษาผลจากสมรรถนะการเจริญเติบโต ลักษณะมูล การพัฒนาวิลไล การเปลี่ยนแปลงสภาพกรด-ด่าง การเจริญของประชากรจุลินทรีย์ก่อโรคและไม่ก่อโรค การผลิตกรดไขมันระเหยได้และแอมโมเนีย เพื่อที่จะใช้เป็นแนวทางในการใช้กรดอินทรีย์เสริมร่วมกันเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตสุกรหย่านม

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อศึกษาผลของการเสริมกรดอินทรีย์ฟอร์มิกและกรดบิวไทริกในอาหาร ต่อสมรรถนะการเจริญเติบโต ลักษณะมูล การพัฒนาของวิลไล การเปลี่ยนแปลงกรด-ด่าง การเจริญของประชากรจุลินทรีย์ก่อโรคและไม่ก่อโรค การผลิตกรดไขมันระเหยได้ และแอมโมเนียในลูกสุกรหย่านม

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

การวิจัยนี้ มุ่งเน้นที่จะศึกษาผลของการเสริม กรดฟอร์มิกในรูปโพแทสเซียมไดฟอร์เมท (K-diformate) และกรดบิวไทริกในรูปโซเดียมบิวไทเรท (Na-butyrate) ในอาหารลูกสุกรหย่านม โดยศึกษาผลต่อสมรรถนะการเจริญเติบโต ลักษณะมูล การพัฒนาของวิลไล การเปลี่ยนแปลงสภาพกรด-ด่าง การเปลี่ยนแปลงประชากรจุลินทรีย์ก่อโรคและไม่ก่อโรคในระบบทางเดินอาหาร การ

ผลิตกรดไขมันระเหยได้และแอมโมเนีย เพื่อที่จะได้มาซึ่งข้อมูล สำหรับตัดสินใจเลือกเสริมกรดฟอร์มิกและกรดบิวไทริกในอาหารที่จะก่อให้เกิดประโยชน์แก่ลูกสุกรหย่านมมากที่สุด

1.4 ทฤษฎี สมมติฐาน และกรอบแนวความคิดของการวิจัย

เนื่องจากกรดฟอร์มิกและกรดบิวไทริก มีบทบาทสำคัญต่อการลด pH ในกระเพาะอาหารและลำไส้ส่วนปลาย กระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ และเพิ่มการพัฒนาเซลล์ในทางเดินอาหาร ดังนั้นการเสริมกรดฟอร์มิกร่วมกับกรดบิวไทริกในอาหารน่าจะสามารถเพิ่มจุลินทรีย์มีประโยชน์และลดจุลินทรีย์ก่อโรค ลดอาการท้องเสีย และเพิ่มสมรรถนะการผลิตในลูกสุกรหย่านมได้

1.5 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย

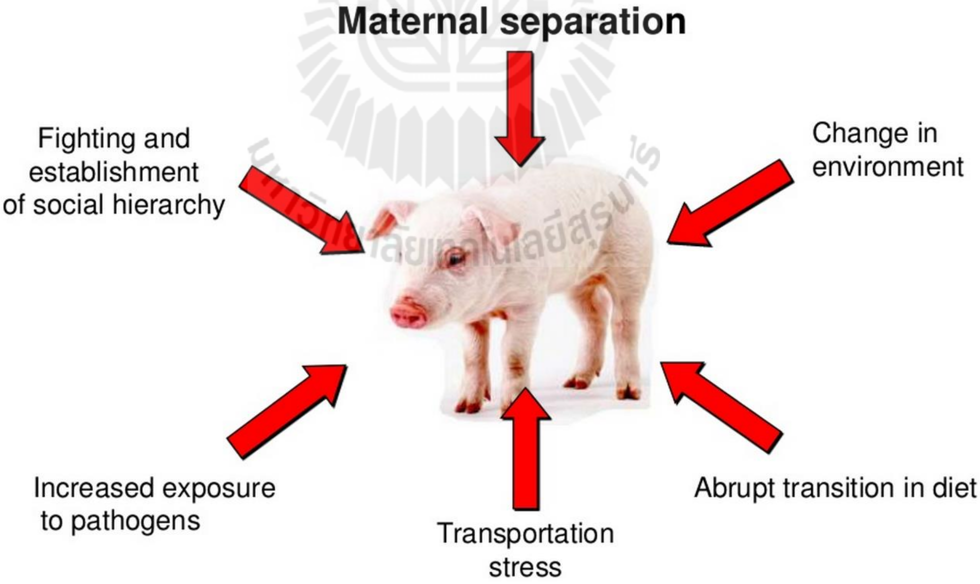
1. ทราบถึงระดับที่เหมาะสมในการเสริมกรดฟอร์มิกร่วมกับกรดบิวไทริก ในอาหารลูกสุกรหลังหย่านม
2. เพิ่มแนวทางการแก้ปัญหาอาการท้องร่วงในลูกสุกรหย่านม และส่งเสริมให้มีการจัดการลูกหย่านมให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 2
ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

ลูกสุกรในช่วงสัปดาห์แรกหลังการหย่านม นับว่าอยู่ในภาวะวิกฤต เนื่องจากได้รับการเปลี่ยนแปลงอาหาร สภาพแวดล้อม และความเครียดทางสังคม และที่สำคัญการพัฒนาของระบบทางเดินอาหารยังไม่สมบูรณ์เต็มที่ ส่งผลให้การดูดซึมอาหารและน้ำหนักตัวลดลง อาการท้องร่วงเกิดเพิ่มมากขึ้น ผู้เลี้ยงสุกรส่วนมากจึงหาวิธีแก้ปัญหาดังกล่าวโดยการใช้ยาปฏิชีวนะหรือวัตถุเคมีเติมลงในอาหารเพื่อควบคุมการติดเชื้อและกระตุ้นการเจริญเติบโต ซึ่งยาปฏิชีวนะเหล่านี้มีฤทธิ์ไปทำลายเชื้อจุลินทรีย์ทั้งที่เป็นประโยชน์และเป็นโทษ เมื่อมีการใช้สารเคมีอย่างต่อเนื่องเป็นเวลานาน มีผลทำให้เชื้อโรคเกิดการดื้อยา จึงจำเป็นต้องใช้ยาปฏิชีวนะตัวใหม่ที่หลากหลาย และมีระดับการใช้ที่สูงขึ้น ซึ่งมีโอกาสที่ยาปฏิชีวนะเหล่านี้เกิดการตกค้างและก่อให้เกิดอันตรายต่อผู้บริโภค

การใช้กรดอินทรีย์เสริมในอาหารสุกรหย่านม เป็นที่นิยมในช่วงหลายปีที่ผ่านมา เนื่องจากกรดอินทรีย์ออกฤทธิ์ได้เร็ว โดยเฉพาะอย่างยิ่งการปรับสภาพความเป็นกรด-ด่างของกระเพาะอาหารให้เหมาะสมกับการทำงานของเอนไซม์ในกระเพาะ เนื่องจากระบบทางเดินอาหารของลูกสุกรระยะนี้ยังมีการพัฒนาไม่สมบูรณ์ที่จะสามารถย่อยอาหารแข็งได้ ซึ่งปัญหาที่เกิดขึ้นในสุกรหย่านมได้แสดงไว้ในภาพที่ 2.1



ภาพที่ 2.1 สภาพปัญหาของสุกรหย่านม (Moeser, 2015)

อย่างไรก็ตามกรดอินทรีย์แต่ละชนิดมีประสิทธิภาพการทำงานที่แตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับลักษณะโครงสร้างทางเคมี ความเป็นกรด (PKa) ระดับที่ใช้เสริมในสูตรอาหาร ส่วนประกอบของวัตถุดิบในสูตรอาหาร อายุลูกสุกรที่หย่านม และฤทธิ์ในการต้านการเปลี่ยนแปลง pH (buffering capacity) ในอาหาร (Dibner and Buttin, 2002) ซึ่งชนิดและคุณสมบัติของกรดอินทรีย์ได้แสดงไว้ในตารางที่ 2.1 โดยกรดอินทรีย์สามารถปรับสภาพค่าความเป็นกรด-ด่างในลำไส้ให้มีค่าต่ำกว่า 6.0 ซึ่งเป็นสภาพที่ไม่เหมาะสมกับการเจริญของจุลินทรีย์ก่อโทษได้ (Biagi et al., 2007; Piva et al., 2002) ซึ่งสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมกับการเจริญของจุลินทรีย์ส่วนใหญ่มีค่าความเป็นกรด-ด่าง อยู่ในช่วงประมาณ 6.0 ถึง 7.0 และสามารถเจริญได้ดี ที่ค่าความเป็นกรด-ด่างต่ำสุดประมาณ 4.0 ดังแสดงรายละเอียดไว้ในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.1 ชนิดและคุณสมบัติของกรดอินทรีย์

Acid	Chemical name	Formula	MW	pKa
Formic	Formic Acid	$HCOOH$	46.03	3.75
Acetic	Acetic Acid	CH_3COOH	60.05	4.76
Propionic	2-Propanoic Acid	CH_3CH_2COOH	74.08	4.88
Butyric	Butanoic Acid	$CH_3CH_2CH_2COOH$	88.12	4.82
Lactic	2-Hydroxypropanoic Acid	$CH_3CH(OH)COOH$	90.08	3.83
Sorbic	2,4-Hexandienoic Acid	$CH_3CH{:}CHCH{:}CHCOOH$	112.14	4.76
Fumaric	2-Butenedioic Acid	$COOHCH{:}CHCOOH$	116.07	3.02
HMB	2-Hydroxy-4-Methylthio Butanoic Acid	$CH_3SCH_3CH_2CH(OH)COOH$	149.00	3.86
Malic	Hydroxybutanedioic Acid	$COOHCH_2CH(OH)COOH$	134.09	3.40
Tartaric	2,3-Dihydroxy-Butanedioic Acid	$COOHCH(OH)CH(OH)COOH$	150.09	2.93
Citric	2-Hydroxy-1,2,3-Propanetricarboxylic Acid	$COOHCH_2C(OH)(COOH)CH_2COOH$	192.14	3.13

ที่มา: Dibner and Buttin (2002)

ตารางที่ 2.2 ช่วงความเป็นกรด-ด่างสำหรับการเจริญของจุลินทรีย์

แบคทีเรีย	ค่าต่ำสุด	ค่าเหมาะสม	ค่าสูงสุด
Clostridium perfringens	-	6.0-7.6	8.5
Escherichia coli	4.3-4.4	6.0-8.0	9.0-10.0
Pseudomonas aeruginosa	4.4-5.6	6.6-7.0	8.0-9.0
Salmonella sp.	64.0-5.0	6.0-7.5	9.0
Staphylococcus sp.	4.2	6.8-7.5	9.3

ที่มา: มุกริน (2538)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

2.1 กลไกการทำงานของกรดอินทรีย์

การเสริมกรดอินทรีย์ในอาหารลูกสุกรหย่านม นักโภชนศาสตร์สัตว์ต้องมีความเข้าใจที่ถูกต้องเกี่ยวกับกลไกการทำงานของกรดอินทรีย์ ซึ่งโดยสรุปมีดังนี้ 1) ลด pH ในกระเพาะอาหารและลำไส้ส่วนท้าย 2) ปรับเปลี่ยนประชากรจุลินทรีย์ และ 3) เพิ่มการย่อยได้ของโภชนะ (Ravindran and Kornegay, 1993; Partanen and Morz, 1999)

2.1.1 ผลของกรดอินทรีย์ต่อค่าความเป็นกรด-ด่างในลำไส้

การย่อยโปรตีนในกระเพาะอาหารต้องอาศัยเอนไซม์เปปซิน ซึ่งเอนไซม์ดังกล่าวหลั่งออกมาในรูปของเปปซิโนเจน (pepsinogen) การเปลี่ยนจากเปปซิโนเจนไปเป็นเปปซินจะเกิดได้อย่างรวดเร็วที่ pH 2.0 แต่เกิดขึ้นได้อย่างช้า ๆ ที่ pH 5.0 ถึง 6.0 โดยสรุปเปปซินทำงานได้ดีในสภาวะที่เป็นกรด (pH 2.0 ถึง 3.5) และการทำงานจะลดลงอย่างรวดเร็วที่ pH สูงกว่านี้ ในลูกสุกรระยะดูดนม (suckling pig) การหลั่งของกรด HCl ยังต่ำ กรดที่เกิดขึ้นในระยะนี้โดยหลัก ๆ ได้จากการทำงานของแบคทีเรียในการหมักย่อยน้ำตาลแลคโตสจากน้ำนมแม่ไปเป็นกรดแลคติก การกินอาหารแข็ง (solid feed) จะลดกรดแลคติกในกระเพาะอาหาร และกระตุ้นการหลั่ง HCl ในกระเพาะอาหาร แต่ในทางความเป็นจริงแล้ว ปริมาณอาหารเลียราง (creep feed) ที่ลูกสุกรระยะดูดนมกินได้ค่อนข้างน้อย และมีปริมาณผันแปรไปตามอายุของลูกสุกร (Peadar et al., 2005) หลังการหย่านม เมื่อมีปัจจัยหลาย ๆ เสริมร่วมกัน เช่น ความสามารถในการหลั่งกรด HCl ที่ยังต่ำอยู่ การขาดน้ำตาลแลคโตส และการกินอาหารแข็ง ส่งผลทำให้ pH สูงขึ้นได้ ซึ่งโดยส่วนมากสูงถึง 5.0 และมักจะสูงอยู่เช่นนี้เป็นระยะเวลาหลายวัน การใช้หางนมผงหรือน้ำตาลแลคโตสเป็นส่วนประกอบในสูตรอาหารลูกสุกรจะทำให้จุลินทรีย์มีการหมักย่อยและผลิตกรดแลคติกดำเนินต่อเนื่องไปได้ การหลั่ง HCl จะเกิดขึ้นได้ดีในลูกสุกรหย่านมเมื่อเปรียบเทียบกับลูกสุกรระยะดูดนม Sciopioni et al. (1978) รายงานว่าการเสริมกรดซิตริก 1% สามารถลด pH ในกระเพาะอาหารจาก 4.6 เป็น 3.6 ส่วนการเสริมกรดฟูมาริก 0.7% สามารถลด pH จาก 4.6 เป็น 4.2 ส่วนการเสริมกรดอนินทรีย์ เช่น กรดไฮโดรคลอริก หรือกรดฟอสฟอริก พบว่ากรดทั้งสองช่วยลดค่า pH ในกระเพาะอาหารได้ แต่ไม่มีผลในการเพิ่มสมรรถนะการเจริญเติบโต หรือประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหาร (Metzler and Mosenthin, 2007) การลดค่า acid-binding capacity ในอาหารของลูกสุกรหย่านมจะทำให้การย่อยอาหารแข็งดีขึ้น แต่ถ้าหาก pH ในกระเพาะอาหารของลูกสุกรหลังหย่านมค่อนข้างสูงจะทำให้อาหารมีการย่อยได้ลดลง และอาหารที่ไม่ถูกย่อย (undigested feed) เกิดการหมักย่อยที่ลำไส้ส่วนท้ายมากขึ้น และทำให้ลูกสุกรท้องเสีย รวมทั้งค่า pH ที่สูงยังส่งเสริมให้จุลินทรีย์ก่อโรคเจริญเติบโตได้ดีด้วย (Canibe et al., 2001)

อย่างไรก็ตามความสามารถของกรดอินทรีย์ในการลดค่า pH ในทางเดินอาหารของสุกรขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ เป็นต้นว่า ค่า pKa ของกรดอินทรีย์ ประเภทของวัตถุดิบในอาหาร เช่น ผลิตภัณฑ์นม และแร่ธาตุ จะทำมีค่า acid-binding capacity สูง (Kim et al., 2005) ซึ่งค่า pH,

acid binding capacity (ABC) และ buffering capacity (BUF) ของวัตถุดิบอาหารประเภทต่าง ๆ เมื่อปรับค่า pH ให้ได้ 3 และ 4 ได้แสดงไว้ในตารางที่ 2.3 โดยทั่วไปการเสริมกรดอินทรีย์ จะช่วยเพิ่มความเป็นกรดในกระเพาะอาหารของลูกสุกรหย่านมได้ จากการรวบรวมเอกสารโดย Kil et al. (2011) ที่ทำการรวบรวมข้อมูลงานวิจัยจำนวน 17 งานทดลอง พบว่ากรดอินทรีย์ 19 ชนิดจากทั้งหมด 25 ชนิด สามารถลด pH ในกระเพาะอาหารได้เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุมโดยมีค่าเฉลี่ย -0.17 (SE = 0.06) (ตารางที่ 2.4) โดยมี 4 งานทดลองที่กรดอินทรีย์สามารถลดค่า pH ลงได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในขณะที่งานวิจัยอื่น ๆ ไม่พบความแตกต่างทางสถิติ ดังนั้นการลดค่า pH ในกระเพาะอาหารจึงยังไม่ชัดเจน อีกทั้งความสามารถของกรดอินทรีย์ในการลด pH ของกระเพาะอาหารอาจไม่ได้ขึ้นอยู่กับระดับความเป็นกรดของอาหารเพียงอย่างเดียว อาจมีปัจจัยอื่นเข้ามาเกี่ยวข้องด้วย สำหรับการลด pH ในลำไส้ส่วนท้าย พบว่ามีผลค่อนข้างแปรปรวนมากยิ่งกว่าในกระเพาะอาหาร โดย Yun (2005) รายงานว่า ค่า pH สูงขึ้นในลำไส้เล็กส่วนท้ายและซีกัม เมื่อให้ลูกสุกรหย่านมกินกรด K-diformate ในขณะที่งานทดลองอื่น ๆ ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังนั้นผลของกรดอินทรีย์ต่อค่า pH ค่อนข้างแสดงผลอย่างจำกัดที่กระเพาะอาหารเพียงอย่างเดียว โดยกรดบิวไทริกมีบทบาทสำคัญในการเปลี่ยนแปลงลักษณะต่าง ๆ ในลำไส้ของสุกรมากกว่าการลด pH (Galfi and Bokori, 1990)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 2.3 ค่า pH, acid-binding capacity (ABC) และ buffering capacity (BUF) ในวัตถุดิบอาหารสัตว์ (ค่าเฉลี่ย ± SD)

Ingredient	N	pH	ABC-4	ABC-3	BUF-4	BUF-3
Milk						
Acid casein	1	3.9	0	200	0	222
Sows milk	2	8.1±0.04	481±1.0	650±70.7	118±0.8	128±14.8
Whey powder	9	6.6±0.31	434±99.9	714±149.3	168±36.5	199±39.9
Milk replacer	4	6.7±0.22	579±54.6	892±97.8	214±38.1	240±40.6
Skim milk	3	7.1±0.20	756±59.6	1105±108.7	242±29.4	268±35.4
Rennet casein	3	8.1±0.06	1426±35.5	1929±76.9	348±4.0	379±11.1
Cereals						
Oat flakes	1	6.7	72	180	27	222
Wheat	12	6.9±0.12	108±14.9	194±15.8	37±5.0	50±3.7
Pin head oats	1	5.5	81	239	56	97
Barley screenings	1	6.7	104	240	39	65
Maize starch	6	7.0±0.78	91±45.6	202±58.5	29±11.4	51±13.5
Maize	8	6.7±0.24	111±35.8	254±53.1	41±10.6	68±11.1
Barley	14	6.6±0.18	113±14.3	266±43.1	43±3.6	73±10.5
Flaked maize	1	7.6	240	424	67	92
Corn distillers	8	4.4±0.17	96±38.6	438±42.9	262±75.4	317±56.3
Pollard	12	6.9±0.29	292±20.6	572±24.0	100±12.1	146±14.7
Root and pulp products						
Sugar	2	5.8±0.06	23±8.4	98±11.8	13±5.2	36±3.5
Cassava	1	5.5	167	393	110	156
Beet pulp	1	6.0	191	480	98	163
Molasses	10	6.1±0.08	399±37.6	790±45.5	190±19.1	255±16.9
Citrus pulp	13	6.8±0.08	373±25.4	873±49.9	138±8.1	232±12.2
Vegetable protein						
Milo distillers	1	4.1	14	276	174	256
Beans	1	6.8	275	473	98	125
Palm kernal	9	5.9±0.10	250±38.2	485±51.5	132±23.2	167±20.2
Peas	10	6.8±0.11	278±24.0	515±43.1	98±9.8	134±12.7
Lupins	1	6.2	337	645	156	204
Maize gluten	15	4.4±0.07	114±19.7	571±79.4	334±73.1	424±71.4
Full fat soya	10	6.9±0.28	480±43.5	823±62.2	166±13.9	212±16.8
Sunflower meal	11	6.7±0.19	482±52.7	852±91.4	180±14.7	231±16.4
Sycomil	1	7.5	622	959	180	216
Rapeseed meal	12	6.3±0.11	498±49.3	945±65.2	215±20.5	284±21.2
Soybean meal	12	7.1±0.06	642±51.1	1068±74.0	210±18.0	263±20.2
Meat and fish meal						
Meat and bone meal	1	6.6	595	920	214	243
Fishmeal	10	6.7±0.37	738±219.3	1457±334.5	285±96.8	404±105.9

ที่มา: Lawlor et al. (2005)

ตารางที่ 2.4 ผลของกรดอินทรีย์ต่อค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ในอาหารและสิ่งย่อย (digesta) ของลูกสุกรหย่านม

Acidifier	Inclusion,	BW,	Change in pH, unit[2]					References
	%	kg	Diet pH	Stomach	Ileum	Cecum	Colon	
Citric acid	1.0	5.4	-0.69	-0.12	-0.57			Burnell et al. (1988)
Citric acid	1.5	6.3	-1.52	0.10	-0.06	0.09	-0.22	Risley et al. (1991)
Citric acid	1.5	5.5	-1.52	-0.25	-0.07	-0.17	-0.04	Risley et al. (1992)
Citric acid	1.5	7.4	-1.51	-0.33*				Radcliffe et al. (1998)
	3.0		-2.16	-0.50*				
Fumaric acid	1.5	6.3	-1.52	-0.43	-0.05	0	0	Risley et al. (1991)
Fumaric acid	1.5	5.5	-1.72	-0.20	-0.34	-0.20	-0.17	Risley et al. (1992)
Fumaric acid	1.8	5.7	-1.40	-0.72*	-0.04	0	0.08	Roth et al. (1992a)
Fumaric acid	0.5		-0.31	-0.54	-0.09	-0.21		Bosi et al. (1999)
Fumaric acid	0.6	6.0	-0.80	0.38	0.42	0.05	-0.07	Roth et al. (1992b)
	1.2		-1.26	0.53	0.27	0.01	-0.08	
	1.8		-1.69	0.52	0.51	0.40	0.33	
	2.4		-1.77	0.05	0.60	0.21	0.41	
Formic acid	0.1	6.3	-1.46	-0.67*	-0.01	-0.11	-0.22	Eidelsburger et al. (1992b)
K-diformate	0.3	8.7		-0.08	0.19*	0.42*		Yun (2005)
	0.6			-0.12	0.31*	0.15		
	0.9			-0.23*	0.05	0.05		
	1.2			-0.34*	0.11*	0.43*		
Ca-formate	1.8	6.3	-0.72	0.18	0.07	0.10	-0.01	Eidelsburger et al. (1992b)
Na-diformate	1.8	5.7	-0.02	-0.29	0.02	0.02	-0.09	Roth et al. (1992a)
Benzoic acid	0.5	7.5	-0.12	-0.19	-0.18			Kluge et al. (2006)
	1.0		-0.12	-0.19	0.11			
Benzoic acid	0.5	5.0		-0.25	0	-0.30	0	Halas et al. (2009)
HCl	1.4	5.7	-1.44	-0.28	0.10	0.13	0.09	Roth et al. (1992a)
Blend[3]	0.5		-0.50	-0.33	-0.08	-0.17	0	Bosi et al. (1999)
Mean		6.2	-1.13	-0.17	0.06	0.04	-0.01	
SEM		0.25	0.14	0.06	0.05	0.05	0.04	

ที่มา: อ้างโดย Kil et al. (2011)

[1] ค่า * แสดงถึงความแตกต่างทางสถิติที่ $P<0.05$

[2] การเปลี่ยนแปลงค่า pH เป็นค่า pH ที่วัดในสุกรที่รับอาหารเสริมกรดอินทรีย์ลบด้วย pH ในสุกรกลุ่มควบคุม

[3] Blend = 20% fumaric acid + 10% citric acid + 10% phosphoric acid + 50% triglyceride

2.1.2 ผลของกรดอินทรีย์ต่อประชากรจุลินทรีย์

สภาวะที่กระเพาะอาหารมีค่า pH ต่ำ จะมีบทบาทสำคัญในการป้องกันแบคทีเรียก่อโรคในทางเดินอาหาร (Maxwell and Stewart, 1995) และช่วยควบคุมสภาวะของทางเดินอาหารให้เหมาะสำหรับการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ เช่น *Lactobacillus* อย่างไรก็ตามลูกสุกรหย่านมมักมีจุลินทรีย์ก่อโรคเจริญเติบโตมากเกินปกติ เช่น coliform และมีจำนวนจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ เช่น *Lactobacillus* และ *Bifidobacterium* ลดลง ทั้งนี้เนื่องมาจากค่า pH ในกระเพาะอาหารที่สูงเกินไป และการเพิ่มปริมาณอาหารที่ไม่ถูกย่อย ผ่านเข้าสู่ลำไส้ส่วนท้าย อาจเป็นสาเหตุที่ทำให้จุลินทรีย์ในทางเดินอาหารไม่สมดุล (Partanen and Mroz, 1999)

นักวิจัยได้ตั้งสมมุติฐานว่าการเสริมกรดอินทรีย์ในอาหารสุกรอนุบาล เพื่อลด pH ในกระเพาะอาหาร น่าจะช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ และลดจุลินทรีย์ก่อโรค (Partanen and Mroz, 1999) นอกจากนี้ การทดลองใน *in vitro* พบว่า กรดอินทรีย์อาจมีผลโดยตรงต่อการยับยั้งจุลินทรีย์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในจุลินทรีย์ก่อโรคที่ไวต่อ pH เช่น coliform และ *Clostridia* แต่ไม่มีผลกระทบต่อจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ เช่น *Lactobacillus* อย่างไรก็ตามงานทดลองส่วนใหญ่ที่รวบรวมโดย Kil et al. (2011) พบว่ามีงานวิจัยเพียงส่วนน้อยที่พบความแตกต่างทางสถิติต่อจุลินทรีย์ในทางเดินอาหาร (ตารางที่ 2.5) ในทางกันข้ามการเสริมกรดอินทรีย์กลับมีผลลด *Lactobacillus* หรือ lactic acid bacteria ในลำไส้เล็ก (-0.3 log10 CFU ± 0.16 SE) และลำไส้ใหญ่ (-0.6 log10 CFU ± 0.16 SE) และค่อนข้างมีความแปรปรวน ต่อ coliform และ *E. coli* ซึ่งข้อมูลที่จำกัดทำให้ยากต่อการอธิบายผลที่ค่อนข้างแตกต่างกันเหล่านี้ สำหรับงานวิจัยในอนาคต การศึกษาในระดับชีวโมเลกุล (molecular technique) เพื่อศึกษาหาชนิดและปริมาณของจุลินทรีย์น่าจะให้ผลที่มีความถูกต้องและแม่นยำกว่าวิธีการแบบดั้งเดิม (conventional culture method) (Kil and Swanson, 2010)

ตารางที่ 2.5 ผลของกรดอินทรีย์ต่อประชากรจุลินทรีย์ในลำไส้ของลูกสุกรหย่านม

Acidifier	Inclusion, %	BW, Kg	Changes in microbial counts[2], log 10 CFU									References
			Stomach			Small intestine			Large intestine			
			Total[3]	LAC[4]	Coli[5]	Total[3]	LAC[4]	Coli[5]	Total[3]	LAC[4]	Coli[5]	
Citric acid	1.5	5.5	0.4	0.4	0.6	0.5	0.5	-0.3	0.2	0.3	-0.1	Risley et al. (1992)
Fumaric acid	1.5	5.5	0.1	0.2	0.6	0.2	0.2	0.4	0.2	0.1	0.1	Risley et al. (1992)
Fumaric acid	1.8	5.7					-1.8*	-0.8		-1.7*	-0.7	Gedek et al. (1992b)
Formic acid	0.6	6.0					0.2	0.2		-1.0*	-0.8*	Gedek et al. (1992a)
	1.2						-0.7	-0.3		-1.5*	-1.3*	
	1.8						-0.6	0.8		-1.1*	-1.3*	
	2.4						-0.2	-0.1		-1.1*	-1.1*	
Ca-formate	1.8	7.4					0.4	0.2		0.3	-0.8	Torrallardona et al. (2007b)
Na-diformate	1.8	5.7					-0.8	-0.2		-0.9	-0.9	Gedek et al. (1992b)
K-diformate	1.8		-0.1*	-0.1*	-0.6	-0.8*	-0.7	-0.3		-0.6	-1.1	Canibe et al. (2001)
Benzoic acid	0.5	7.4								-0.1	-0.5*	Guggenguhl et al. (2007)
HCl	1.4	5.7					-0.4	-0.3		-0.4	-0.2	Gedek et al. (1992b)
Blend[6]	0.4	6.7					-0.3			-0.6		Metzler-Zebeili et al. (2009)
Blend[7]	1.1	4.9					0.0	0.5		-0.3	0.5	Namkung et al. (2004)
Blend[8]	2.1	4.9					0.0	0.3		-0.3	0.3	Namkung et al. (2004)
Mean		5.9	-0.2	-0.1	0.2	-0.1	-0.3	0		-0.6	-0.6	
SEM		0.24	0.43	0.44	0.4	0.3	0.2	0.1		0.16	0.16	

ที่มา: อ้างโดย Kil et al. (2011)

[1] ค่า * แสดงถึงความแตกต่างทางสถิติที่ $P<0.05$

[2] การเปลี่ยนแปลงจำนวนจุลินทรีย์ (log_{10}CFU, colony forming unit) = จำนวนจุลินทรีย์ที่วัดในสุกรที่รับอาหารเสริมกรดอินทรีย์ลบด้วยสุกรในกลุ่มควบคุมที่รับอาหารไม่ได้เสริมกรดอินทรีย์

[3] Total = total anaerobic bacteria

[4] LAC = *lactobacillus* or lactic acid-producing bacteria

[5]Coli = total coliform bacteria or *Escherichia coli*

[6]Blend = 35% formic acid + 35% lactic acid + 20% citric acid + 10% sorbic acid

[7]Blend = 23.1% formic acid + 13.3% lactic acid + 12.4% acetic acid + 0.76% phosphoric acid + 0.76 citric acid

[8]Blend = 51.7% lactic acid + 29.0% formic acid + 17.0% acetic acid + 16.0% phosphoric acid + 0.85% citric acid

2.1.3 การเพิ่มการย่อยได้ของโภชนะ (improvement in nutrient digestion)

การเสริมกรดอินทรีย์ในอาหาร มีบทบาทสำคัญในการเพิ่มการย่อยได้ของโปรตีนและกรดอะมิโนในสุกรหย่านม เนื่องจากกรดอินทรีย์ช่วยลด pH ในกระเพาะอาหารและเพิ่มการหลั่งเอนไซม์เปบซิน นอกจากนี้กรดอินทรีย์ยังเลื่อนอัตราการไหลผ่านของอาหาร จากกระเพาะอาหารไปยังลำไส้เล็กส่วนต้นให้ช้าลง และกระตุ้นคัดหลั่งเอนไซม์จากตับอ่อน ส่งผลให้การย่อยได้ของโปรตีนและโภชนะ อื่น ๆ ดีขึ้น (Ravindran and Kornegay, 1993; Partanen and Morz, 1999) จากการรวบรวมเอกสารงานทดลองเกี่ยวกับการย่อยได้ของโปรตีน โดย Kil et al. (2011) ดังแสดงในตารางที่ 2.6 พบว่าการเสริมกรดอินทรีย์ในอาหาร สามารถเพิ่มการย่อยได้ของโปรตีนเฉลี่ย 1% (SE = 0.42) เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม โดยกรดอินทรีย์เหล่านี้มีผลเพิ่มการย่อยได้ทั้งแบบแตกต่างทางสถิติและไม่แตกต่างทางสถิติ โดยกรดฟอร์มิกและเกลือของกรดฟอร์มิก มีประสิทธิภาพสูงสุดในการเพิ่มการย่อยได้ของโปรตีน

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 2.6 ผลของกรดอินทรีย์ต่อค่าการย่อยได้สิ่งแห้งและโปรตีนในลูกสุกรหย่านม[1]

Acidifier	Inclusion, %	BW, kg	Changes in ATTD, %		References
			DM	Protein	
Citric acid	1.0	8.7	-0.7	0.3	Falkowski and Aherne (1984)
	2.0		0.1	1.3	
Citric acid	1.5	7.4	-0.2		Radcliffe et al. (1998)
	3.0		-0.4		
Fumaric acid	1.0	8.7	-0.2	0.6	Falkowski and Aherne (1984)
	2.0		0.1	1.8	
Fumaric acid	1.5	8.2		-0.2	Radecki et al. (1988)
Fumaric acid	2.0	8.1	-1.8	-1.0	Thacker et al. (1992)
Fumaric acid	1.8	5.7	0.6	0.9	Eidelsburger et al. (1992c)
Fumaric acid	1.5	9.3	-0.1	-0.2	Gabert and Sauer (1995)
	3.0		-0.5	-0.9	
Na-fumarate	1.5		-0.8	-1.6	
Furmaric acid	1.0	5.2	-0.8	-1.8	Blank et el. (1999)
	2.0		-0.1	-0.8	
	3.0		0.4	0.0	
Formic acid	0.6	6.0	0.9	2.6*	Eckel et al. (1992)
	1.2		1.4	3.4*	
	1.8		1.5	4.4*	
	2.4		1.5	4.4*	
Formic acid	1.25	6.3	0.2	2.3*	Eidelsburger et al. (1992a)
Ca-formate	1.8	6.3	0.8	1.9*	Eidelsburger et al. (1992a)
Na-diformate	1.8	5.7	1.5*	2.9*	Eidelsburger et al. (1992c)
Mean		7.1	0.2	1.0	
SEM		0.41	0.19	0.42	

ที่มา: อ้างโดย Kil et al. (2011)

[1] ค่า * แสดงถึงความแตกต่างทางสถิติที่ $P<0.05$

[2] ATTN = Apparent total tract digestibility (การย่อยได้แบบประมาณ)

[3] การเปลี่ยนแปลง ATTD (%) เป็นเปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นหรือลดลงของการย่อยได้ของสิ่งแห้งและโปรตีนในอาหารที่มีการเสริมกรดอินทรีย์เปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม

2.2 กรดฟอร์มิก

กรดฟอร์มิกเป็นกรดอินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพสูงสุด มีบทบาทที่โดดเด่นหลายประการแตกต่างจากกรดอินทรีย์ชนิดอื่น ๆ คือ มีราคาถูก มีประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อเชื้อจุลินทรีย์ก่อโรคสูง รวมถึงยังระเหยได้ และช่วยป้องกันการปนเปื้อนของเชื้อโรคในอาหารด้วย (Blanchard, 2004) การใช้กรดฟอร์มิกในช่วงแรกจะเป็นการใช้ในรูปกรดฟอร์มิกอิสระ แต่ในช่วงหลัง ๆ มีการใช้ในรูปเกลือของกรดฟอร์มิก เช่น จับกับแคลเซียม โซเดียม หรือโพแทสเซียม เนื่องจากง่ายต่อการใช้และมีการระเหยลดลง จากการรวบรวมเอกสารการเสริมกรดฟอร์มิกในอาหารลูกสุกรหย่านม พบว่าระดับกรดฟอร์มิกที่ทดสอบเสริมในอาหารสุกรมีความผันแปร ตั้งแต่ 0.1– 2.4% (Gabert et al., 1995; Overland et al. 2000; Mroz et al., 2001) โดย Overland et al. (2000) รายงานว่าการเสริมกรดฟอร์มิกในรูปของ potassium diformarte (Formi) ที่ระดับ 1.2% สามารถลด coliform ในลำไส้ส่วนต้นกลาง (jejunum) และไส้ตรง (rectum) ของสุกรรุ่น-ขุนได้ รวมถึง Mroz et al. (2001) รายงานว่าการเสริมกรดฟอร์มิก (K-diformate) ที่ระดับ 0.9% และ 1.0% ในลูกสุกรหย่านม สามารถลด pH ในลำไส้เล็กส่วนต้น หลังจากให้กินอาหาร 65 ชั่วโมง ส่วน Fevrier et al. (2001) ทดสอบเสริมกรดฟอร์มิก (K-diformate) ที่ระดับ 0.9% และ 1.8% พบว่าสามารถลด coliform และ *Streptococcus* ในกระเพาะอาหาร และ coliform ในโคลอนได้ แต่ไม่มีผลต่อ *Lactobacillus* ในลำไส้ทุกส่วน

สำหรับผลของการเสริมกรดฟอร์มิกและเกลือของกรดฟอร์มิก ต่อสมรรถนะการเจริญเติบโตของลูกสุกรหย่านม ซึ่งได้จากการรวบรวมเอกสารของ Kil et al. (2011) ดังแสดงในตารางที่ 2.7 พบว่ากรดฟอร์มิกให้ผลค่อนข้างแปรปรวนต่อสมรรถนะการเจริญเติบโตของลูกสุกรหย่านม โดยให้ผลทั้งในเชิงบวกและเชิงลบต่ออัตราการเจริญเติบโต (ADG) ปริมาณอาหารที่กิน (FI) และประสิทธิภาพการใช้อาหาร (FCR) โดยการเสริมกรดฟอร์มิกในช่วง 1-2 สัปดาห์แรกของการทดลอง มีผลในการปรับปรุง ADG, FI และ FCR ให้มีประสิทธิภาพดีขึ้นประมาณ 17.6%, 7.3% และ 8.7% ตามลำดับ ในขณะที่การเสริมตลอดช่วงการทดลอง ลูกสุกรมีสมรรถนะการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยเท่านั้น โดย ADG, FI และ FCR มีประสิทธิภาพดีขึ้น 4.9%, 1.6% และ 2.6% ตามลำดับ ส่วนการเสริมกรดฟอร์มิกในรูปเกลือ พบว่าในช่วง 1-2 สัปดาห์แรกของการทดลอง เกลือของกรดฟอร์มิกไม่มีผลหรือมีผลเชิงลบต่อ ADG (-0.1%) และ FI (-4.3%) เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม ส่วน FCR มีประสิทธิภาพดีขึ้น (4.7%) แต่อย่างไรก็ตามเกลือของกรดฟอร์มิก มีผลต่อสมรรถนะการเจริญเติบโตของลูกสุกรหย่านมตลอดช่วงการทดลองที่ดีกว่ากรดฟอร์มิกอิสระ โดย ADG และ FCR มีประสิทธิภาพดีขึ้นจากกลุ่มควบคุม ประมาณ 5.1% และ 5.7% ตามลำดับ

ตารางที่ 2.7 ผลของการเสริมกรดฟอร์มิกและเกลือของกรดฟอร์มิกในอาหาร ต่อสมรรถนะการเจริญเติบโตของลูกสุกรหย่านม

Source	Initial BW[1], kg	Inclusion, %	Change in the first or second week of experiment[2,3], %			Change in the entire experiment[2,3], %			References
			ADG, g	ADFI, g	FCR	ADG, g	ADFI, g	FCR	
Formic acid	6.0	0.6	23.4*	15.9	5.5*	20.9*	14.2*	5.5*	Eckel et al. (1992)
		1.2	31.4*	15.9	12.6*	22.2*	12.7*	7.7*	
		1.8	29.0*	9.5	17.2*	4.7	3.6	0.8	
		2.4	11.4	-1.8	11.6*	-15.1*	-12.0*	-3.7*	
Formic acid	6.3	1.25	11.3	3.8	6.3*	7.4	1.7	5.5*	Eidelsburger et al. (1992a)
	6.0	0.5				-0.2	-4.1	3.6*	Manzanilla et al. (2004)
	7.3	0.2	-1.0	0.2	-1.2	-5.8	-4.9	-0.9	Kil et al. (2006)
Mean			**17.6**	**7.3**	**8.7**	**4.9**	**1.6**	**2.6**	
K-diformate	6.4	0.3	4.4	2.0	2.4	8.5	2.0	6.3	Yun (2005)
		0.6	-2.5	-9.8	8.0	5.8	-0.8	7.5	
		0.9	9.4	3.5	6.6	12.4	1.2	11.9	
		1.2	-12.5	-12.5	-0.5	1.6	-9.1	12.5	
K-diformate	7.5	1.2				18.9*	10.9	7.4*	Kluge et al. (2006)
K-diformate	7.8	0.5				9.6	0.6	10.6	Li et al. (2008)
Ca-formate	6.3	1.8	2.7	1.0	1.8	-1.0	-2.2	1.2	Eidelsburger et al. (1992a)
Ca-formate	10.0	1.5	3.1	-6.8	10.9	-9.4	-4.7	-4.5	Pallauf and Huter (1993)
Ca-formate	7.3	1.2				312.5*	19.4	241.0*	Bosi et al. (2007)
Na-diformate	5.7	1.8	0.3	-1.9	1.9	2.8	-2.0	4.2	Eidelsburger et al. (1992c)
Ca/Na-diformate	6.2	1.8	-6.0	-10.2	6.1	1.8	1.6	0.0	Torrallardona et al. (2007b)
Mean[4]			**-0.1**	**-4.3**	**4.7**	**5.1**	**-0.3**	**5.7**	

ที่มา: อ้างโดย Kil et al. (2011)

[1] BW = body weight (น้ำหนักตัว)

[2] เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงที่เพิ่มขึ้นหรือลดลงของน้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้นต่อวัน (average daily gain, ADG) ปริมาณอาหารที่กินต่อวันเฉลี่ย (average daily feed intake, ADFI) และประสิทธิภาพการใช้อาหาร (FCR) ในอาหารที่เสริมกรดอินทรีย์เปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม

[3] ค่า * แสดงถึงความแตกต่างทางสถิติที่ P<0.05

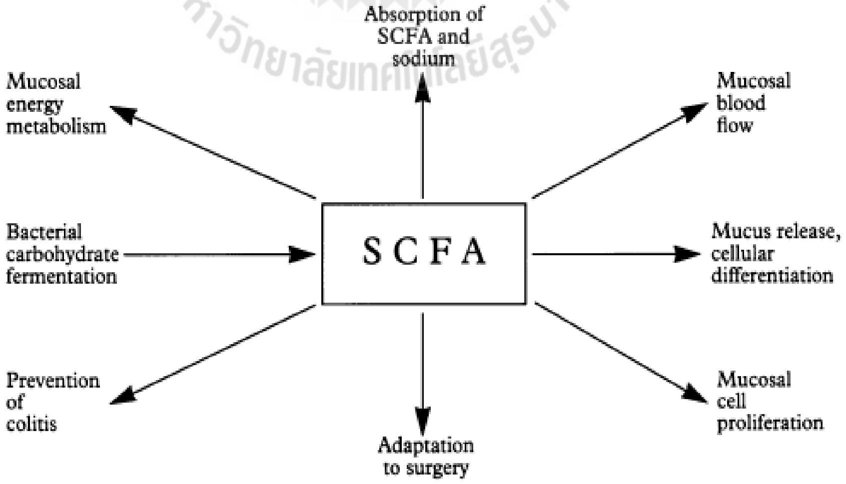
[4] ค่าเฉลี่ยที่คำนวณไม่ได้นำผลการทดลองของ Bosi et al. (2007) มาคิด เพื่อป้องกันความคาดเคลื่อนที่อาจสูงเกินไป

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

2.3 กรดไขมันสายสั้นและกรดกรดบิวไทริก

กรดไขมันสายสั้น (short chain-fatty acid) เป็นผลผลิตสุดท้ายที่ได้จากกระบวนการหมักของคาร์โบไฮเดรตโดยแบคทีเรียที่บริเวณลำไส้ใหญ่ กรดไขมันสายสั้นแต่ละชนิดที่ได้จากกระบวนการหมักจากสัตว์มีระดับความเข้มข้นที่แตกต่างกัน โดยส่วนใหญ่เป็นกรดอะซิติก โพรพิโอนิก และบิวไทริก ซึ่งมีค่าประมาณ 60-75%, 15-25% และ 15-10% ตามลำดับ (Scheppach, 1994) กรดไขมันสายสั้นมีบทบาทสำคัญในการยับยั้งและควบคุมการเจริญของจุลินทรีย์ที่ก่อโรค เช่น *Salmonella* และ *E. coli* นอกจากนั้นยังสามารถส่งเสริมให้การเจริญของจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ในลำไส้ เช่น *Lactobacillus* และ *Bifidobacterium* (Antongiovanni et al., 2007) ทำหน้าที่ในการสนับสนุนการสร้างพลังงานให้แก่ร่างกาย กระตุ้นให้มีการสร้างเซลล์เยื่อบุผิวที่บริเวณลำไส้เล็กส่วนกลาง และลำไส้ใหญ่ นอกจากนั้นยังช่วยในการกระตุ้นการดูดซึมโซเดียมและน้ำเข้าสู่ลำไส้ ซึ่งหน้าที่ของกรดไขมันสายสั้นได้แสดงไว้ในภาพที่ 2.2

กรดบิวไทริกเป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญสำหรับเซลล์เยื่อบุผิวของลำไส้เล็กส่วนท้าย (Chapman et al., 1995) และลำไส้ใหญ่ (Roediger, 1980) ควบคุมความสมดุลของกรด-ด่าง ส่งเสริมสุขภาพของลำไส้ (gut health) ลดภาวะลำไส้อักเสบ (Antongiovanni et al., 2007; Mroz, 2005) นอกจากนี้ยังช่วยยับยั้งการเกิดเนื้องอกในเซลล์ของสัตว์เลี้ยงด้วยนม (Naidu et al., 1999) หากมีการเสริมกรดบิวไทริกเพิ่มเติมจากที่ร่างกายผลิตได้ ก็น่าจะก่อให้เกิดประโยชน์แก่สุกรหย่านม โดยส่วนใหญ่การเสริมกรดบิวไทริกในอาหารสุกรจะเสริมในรูปของโซเดียมบิวไทเรทหรือโพแทสเซียมบิวไทเรท เนื่องจากเป็นของแข็ง ค่อนข้างคงตัว และมีกลิ่นฉุนน้อยกว่ากรดบิวไทริก



ภาพที่ 2.2 หน้าที่ของกรดไขมันสายสั้น (short chain fatty acids) ภายในลำไส้ใหญ่ (Schenppach, 1994)

จากการศึกษาการเสริมกรดบิวไทริกในรูปของโซเดียมบิวไทเรทในอาหารสุกรหย่านม พบว่าสามารถเพิ่มความสูงของวิลไล และเซลล์คริปในบริเวณลำไส้เล็กส่วนกลาง และส่วนท้ายได้ ($P<0.05$) ซึ่งการเพิ่มความสูงของวิลไลจะส่งผลให้การดูดซึมสารอาหารมีประสิทธิภาพดีขึ้นรวมถึงมีการผลิตกรดไขมันสายสั้นเพิ่มขึ้น โดยจากการรวบรวมเอกสารพบว่าระดับการเสริมกรดบิวไทริกที่ส่งผลดีต่อพารามิเตอร์ดังกล่าวข้างต้นประมาณ 0.04-3% (Pluske et al., 1997; Kotunia et al., 2004; Manzanilla et al., 2006) นอกจากนี้ Galfi et al. (1991) พบว่าการเสริมกรดบิวไทริกสามารถเพิ่มปริมาณกรดแลคติค จุลินทรีย์ *Lactobacillus* และลดประชากร *E. coli* ส่งผลให้ลำไส้มีสุขภาพที่ดีขึ้น สำหรับผลของการเสริมกรดบิวไทริกต่อสมรรถนะการเจริญเติบโตในลูกสุกรหย่านม พบว่าการเสริมกรดบิวไทริกในรูปโซเดียมบิวไทเรทที่ระดับ 0.04% มีผลต่อการเพิ่มปริมาณอาหารที่กินต่อวันในสุกรอายุ 14 วันหลังหย่านม (Manzanilla et al., 2006) และที่ระดับ 0.08% พบว่าสามารถเพิ่มอัตราการเจริญเติบโตในสุกรที่อายุ 14 วัน หลังหย่านมได้ ($P<0.05$) (Piva et al., 2002)

การศึกษาการใช้กรดฟอร์มิกร่วมกับกรดบิวไทริกเป็นประเด็นที่น่าสนใจ ดังนั้น การศึกษาครั้งนี้ จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการใช้กรดฟอร์มิกและกรดบิวไทริกเสริมในอาหารสุกรหย่านม โดยดูผลจากสมรรถนะการเจริญเติบโต ลักษณะมูล การพัฒนาของวิลไล ค่าความเป็นกรด-ด่าง การเปลี่ยนแปลงประชากรจุลินทรีย์ก่อโรคและไม่ก่อโรคในระบบทางเดินอาหาร การผลิตกรดไขมันระเหยได้ และแอมโมเนีย

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

การทดลองนี้เพื่อศึกษาผลของการเสริมกรดฟอร์มิกและกรดบิวไทริก ในอาหารลูกสุกร เป็นระยะเวลา 28 วันหลังการหย่านม โดยทำการวัดผลจากสมรรถนะการเจริญเติบโต ลักษณะมูล การพัฒนาวิลไล การเปลี่ยนแปลงกรด-ด่าง การเปลี่ยนแปลงประชากรจุลินทรีย์ก่อโรคและไม่ก่อโรคในระบบทางเดินอาหาร โดยทำการตรวจนับเชื้อ *E. coli*, *Lactobacillus* spp. และ *Bifidobacterium* จาก digesta ของกระเพาะอาหาร ลำไส้เล็กและลำไส้ใหญ่ และจากมูลของสุกรที่ขับถ่าย รวมถึงการผลิตกรดไขมันระเหยได้ และแอมโมเนียในสุกรหย่านม

3.1 สัตว์ทดลอง

ใช้สุกรลูกผสม 3 สายพันธุ์ (ดูร็อค x แลนด์เรซ x ลาร์จไวท์) หย่านมที่อายุ 21 วัน น้ำหนักตัวเฉลี่ย 8.11±1.31 กิโลกรัม จำนวน 96 ตัว แบ่งเป็นเพศผู้ตอน 48 ตัว และเพศเมีย 48 ตัว แต่ละกลุ่มแบ่งออกเป็น 4 ซ้ำ (เพศผู้ 2 ซ้ำและเพศเมีย 2 ซ้ำ) ซ้ำละ 6 ตัว สุ่มลูกสุกรลงในหน่วยทดลองโดยทำการชั่งน้ำหนักลูกสุกรทุกตัว เพื่อทำการเฉลี่ยน้ำหนักตัวให้ใกล้เคียงกัน ใช้แผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อคสมบูรณ์ (Randomized Completely Block Design; RCBD) โดยให้อาหารและน้ำแบบเต็มที่ เป็นเวลา 28 วัน นอกจากนี้ยังทำการทดลองต่อจนถึงระยะสุกรเล็ก (น้ำหนักประมาณ 25 กิโลกรัม) เพื่อวัดสมรรถนะการเจริญเติบโต

3.2. อาหารทดลอง

เป็นการทดสอบเสริมกรดฟอร์มิกในรูป K-diformate และกรดบิวไทริกในรูป Na-butyrate โดยระดับการเสริมกรดฟอร์มิก และกรดบิวไทริก คือ 0.3% และ 0.1% ตามลำดับ อาหารทดลองทั้งหมดคำนวณให้มีระดับของโปรตีนและพลังงานเท่ากัน ตามคำแนะนำของ NRC (1998) โดยอาหารลูกสุกรหย่านมแสดงไว้ในตารางที่ 3.1 ส่วนอาหารสุกรเล็กแสดงไว้ในตารางที่ 3.2 โดยอาหารทดลองที่ใช้ประกอบด้วย

กลุ่มที่ 1 : อาหารสูตรพื้นฐาน (control)
กลุ่มที่ 2 : อาหารเสริมกรดฟอร์มิก 0.3%
กลุ่มที่ 3 : อาหารเสริมกรดบิวไทริก 0.1%
กลุ่มที่ 4 : อาหารเสริมกรดฟอร์มิก 0.3% + กรดบิวไทริก 0.1%

3.3 การเก็บข้อมูล

1) ศึกษาสมรรถนะการเจริญเติบโต

ชั่งน้ำหนักและปริมาณอาหารที่กินทุกสัปดาห์ จนสิ้นสุดการทดลอง เพื่อนำไปคำนวณหาอัตราการเจริญเติบโต และประสิทธิภาพการใช้อาหาร

2) คะแนนลักษณะมูลของสุกร

ทำการสังเกตลักษณะมูลของสุกรทุกวันตลอดการเลี้ยง โดยเกณฑ์การให้คะแนนพิจารณาดังนี้ ลักษณะมูลที่วัดมี 5 ระดับ คือ 1 = เหลว; 2 = นิ่ม; 3 = ปกติ; 4 = แข็ง; 5 = แข็งมาก

3) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงประชากรจุลินทรีย์ในกระเพาะอาหารและลำไส้

เมื่อสุกรอายุ 28 วันหลังหย่านม สุ่มลูกสุกรกลุ่มละ 4 ตัว ทำให้ลูกสุกรตายอย่างสงบ จากนั้นเก็บตัวอย่าง digesta ในกระเพาะอาหาร ลำไส้เล็กส่วนต้น กลาง และท้าย และลำไส้ใหญ่ การเก็บตัวอย่างทุกขั้นตอนต้องทำอย่างรวดเร็วเพื่อป้องกันการปนเปื้อนเชื้อจุลินทรีย์จากในอากาศ แช่ตัวอย่างทั้งหมดในน้ำแข็ง นำเข้าห้องปฏิบัติการเพื่อตรวจนับประชากรจุลินทรีย์

ในการวัดเชื้อจุลินทรีย์ ชั่งตัวอย่าง digesta 1 กรัม เจือจางตัวอย่างด้วยน้ำเกลือ 0.85% ปริมาณ 9 มิลลิลิตร ซึ่งจะได้ความเจือจาง (dilution) เบื้องต้น 1:10 และทำการเจือจางลงลำดับละ 10 เท่า จนได้ระดับที่ต้องการ แล้วทำไปเลี้ยงบนอาหารเลี้ยงเชื้อคัดเลือกเฉพาะ (selective medium) เพื่อคัดเลือกจุลินทรีย์ที่ต้องการให้เจริญได้เท่านั้น โดยนำตัวอย่างของเหลวมาตรวจนับเชื้อต่าง ๆ ในอาหารดังต่อไปนี้

E. coli เลี้ยงในอาหารเลี้ยงเชื้อ Mac CONKEY – Agar (MCK agar) บ่มในตู้บ่มเชื้อที่อุณหภูมิ 37 ^{o}C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

Lactobacillus spp. เลี้ยงในอาหารเลี้ยงเชื้อ Lactobacillus MRS Broth (MRS Broth) บ่มในสภาพไร้ออกซิเจน ที่อุณหภูมิ 37 ^{o}C เป็นเวลา 48 ชั่วโมง

Bifidobacterium spp. เลี้ยงในอาหารเลี้ยงเชื้อ Reinforced Clostridia agar บ่มในสภาพไร้ออกซิเจน ที่อุณหภูมิ 37^{o}C เป็นเวลา 48 ชั่วโมง

เมื่อได้ระยะเวลาการบ่มเชื้อตามที่กล่าวมาแล้ว จากนั้นจึงนำเชื้อจากจานเลี้ยงเชื้อมานับจำนวนประชากรจุลินทรีย์ โดยจำนวนโคโลนีที่เหมาะสมควรอยู่ระหว่าง 30-300 โคโลนี

4) ศึกษาการผลิตแอมโมเนีย การเปลี่ยนแปลงกรด-ด่าง และกรดไขมันระเหยได้

นำตัวอย่างที่เก็บได้จากข้อ 3 มาวัดหาการเปลี่ยนแปลงกรด-ด่าง การผลิตแอมโมเนีย และกรดไขมันระเหยได้ ซึ่งปริมาณแอมโมเนียวัดตามวิธีการ Willis et al. (1996) โดยชั่งตัวอย่าง 0.25 กรัม เติมสารละลาย Li_2CO_3 จำนวน 50 มิลลิลิตร นำไปปั่นเหวี่ยง (centrifuge) ที่ความเร็ว

30,000 rpm เป็นเวลา 15 นาที จากกนั้นดูดสารละลายส่วนใส จำนวน 0.5 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดฝาเกลียว โดยพยายามอย่าให้สารละลายติดบริเวณขอบหลอดทดลอง เติม Salicylate reagent จำนวน 4 มิลลิลิตร เขย่าด้วย vortex ตามด้วยสาร Hypochlorite จำนวน 1 มิลลิลิตร เขย่าด้วยเครื่อง vortex วางไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 30 นาที นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสง (absorbance) ด้วยเครื่องสเปคโตรโฟโตมิเตอร์ (spectrophotometer) ที่ความยาวคลื่น 685 นาโนเมตร ส่วนกรดไขมันระเหยได้วัดตามวิธีการของ Zdunczyk et al. (2005) ซึ่งใช้กรดฟอร์มิกสกัดกรดไขมันจาก digesta และตรวจวัดด้วยเครื่องแกสโครมาโตกราฟฟี (gas chromatography, GC) ในการแยกและตรวจสอบปริมาณกรดไขมันระเหยได้ในแต่ละชนิด

5) ศึกษาลักษณะทางจุลกายวิภาคของลำไส้เล็ก (Morphology)

ใช้ลูกสุกรที่สุ่มฆ่าชุดเดียวกับข้อ 3 โดยเก็บตัวอย่างจากกระเพาะอาหาร ลำไส้เล็กส่วนต้น กลาง และท้าย และลำไส้ใหญ่ เพื่อนำไปวัดค่าความสูงวิลไล ความลึกของเซลล์คริป ความกว้างของวิลไล และสัดส่วนของความสูงวิลไลต่อความลึกของเซลล์คริป ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

เก็บเนื้อเยื่อจากลำไส้เล็กที่ตำแหน่งตรงกลางของลำไส้เล็กแต่ละส่วนให้มีความยาวประมาณ 2 เซนติเมตร ตรึงในแผ่นโฟม และต้องระวังให้มีการสัมผัสกับด้านที่เป็นเนื้อเยื่อของวิลไลให้น้อยที่สุด เพราะอาจมีผลกระทบทำให้วิลไลถูกทำลายได้ จากนั้นนำมาคงสภาพในสารละลาย 10% บัฟเฟอร์ฟอร์มาลีน (สารละลาย 1 ลิตร ประกอบไปด้วยฟอร์มัลดีไฮด์ที่มีความเข้มข้น 37-40% 100 มิลลิลิตร, โซเดียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต โมโนไฮเดรต 1.683 กรัม และไดโซเดียมไฮโดรเจนฟอสเฟต แอนไฮดรัส 5.836 กรัม) เมื่อต้องการศึกษาลักษณะทางจุลกายวิภาค (histology) นำไปผ่านกระบวนการโดยใช้เครื่อง Automatic tissue processer ตามวิธีการของสมชัย (2529) นำกระจกสไลด์ที่มีเนื้อเยื่อที่ย้อมสีเสร็จแล้วไปศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์กำลังขยาย 10 เท่า (objective 10X) ตามวิธีการของ Hartke et al. (2005) เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางจุลกายวิภาคของความสูงวิลไล ความกว้างของวิลไล ความลึกของเซลล์คริป และคำนวณหาสัดส่วนของความยาววิลไลต่อความลึกของเซลล์คริป

6) การวัดค่า Acid binding capacity (ABC) และ Buffering capacity (BUF) ในอาหาร

ทำอาหารทดลองวัดค่า ABC และ BUF ตามวิธีการของ Lawlor et al. (2005) โดยนำอาหารที่บดละเอียด จำนวน 0.50 กรัม ผสมกับน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร กวนด้วย magnetic stirrer เป็นเวลา 2 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำไปวัดค่า pH ด้วยเครื่องวัดกรด-ด่าง (pH meter, model UB-5 Denver instrument, Germany) หลังจากนั้นนำไปไตเตรทด้วยสารละลาย HCl 0.1 N ให้ได้จุดยุติที่ pH 4 (ปริมาณ HCl ที่ไตเตรทประมาณ 0.1 ถึง 10 มิลลิลิตร) ขึ้นอยู่กับชนิดวัตถุดิบอาหารสัตว์ ทิ้งไว้ประมาณ 3 นาที ถ้าค่า pH นิ่งแล้วค่อยบันทึกปริมาณ HCl ที่ใช้ในการไตเตรท นำค่าที่ได้คำนวณหา

ค่า ABC และ BUF โดยค่า ABC คำนวณจาก มวลโมเลกุลของ HCl 0.1 N/มวลโมเลกุลของ HCl 0.1 N ที่ใช้ในการไตเตรท (มิลลิลิตร) ส่วน BUF คำนวณจาก ABC/(pH เริ่มต้นก่อนการไตเตรท – pH สุดท้ายหลังการไตเตรทด้วย HCl)

3.4 การวิเคราะห์ทางเคมี

วิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมีในวัตถุดิบและอาหารสัตว์ (ความชื้น โปรตีน เถ้า ไขมัน เยื่อใย แคลเซียม และฟอสฟอรัส) ตามวิธีการของ AOAC (1990)

3.5 การวิเคราะห์ทางสถิติ

นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์หาค่าความแปรปรวน (Analysis of Variance, ANOVA) ตามการทดลองแบบสุ่มในบล็อคสมบูรณ์ (Randomized Complete Block Design, RCBD) และวิเคราะห์เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยระหว่างกลุ่มโดยวิธี Duncan' new multiple range test โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS (2004) การศึกษาครั้งนี้ใช้แผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ในบล็อค เพื่อศึกษาอิทธิพลของเพศผู้ตอนและเพศเมีย แต่ทุกพารามิเตอร์ที่ทำการศึกษาไม่พบความแตกต่างระหว่างเพศ ดังนั้นการแสดงผลในบทที่ 4 จึงไม่มีการแสดงอิทธิพลจากเพศของสุกรหย่านม

3.6 สถานที่ทำการทดลอง

1. ห้องปฏิบัติการโภชนศาสตร์สัตว์อาคารเครื่องมือ 10 ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
2. งานสุกร ฟาร์มมหาวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

3.7 ระยะเวลาทำการทดลอง

ใช้ระยะเวลาในการศึกษา 1 ปี โดยเริ่มจากเดือนพฤษภาคม 2556 – กันยายน 2557 ณ ฟาร์มมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี และห้องปฏิบัติการอาหารสัตว์ (F10) อาคารศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 3.1 ส่วนประกอบของวัตถุดิบและโภชนะของสูตรอาหารสุกรหย่านม (น้ำหนัก 7-15 กิโลกรัม)

Item		Treatments[1]		
	Control	T1	T2	T3
Ingredients (%)				
Broken rice	46.41	46.41	46.41	46.41
Full fat soybean	31.30	31.30	31.30	31.30
Fish meal (60 %CP)	5.00	5.00	5.00	5.00
Rice bran	4.23	3.93	4.13	3.83
Skimmed milk	10.00	10.00	10.00	10.00
Salt	0.55	0.55	0.55	0.55
DL-Methionine	0.15	0.15	0.15	0.15
L-Lysine	0.21	0.21	0.21	0.21
Monocalcium phosphate (P21)	1.65	1.65	1.65	1.65
Na-butyrate	0	0	0.10	0.10
K-diformate	0	0.30	0	0.30
Premix	0.50	0.50	0.50	0.50
Calculated composition (%)				
ME (kcal/kg)	3,392	3,384	3,390	3,381
Crude fat	7.16	7.12	7.15	7.11
Calcium	0.80	0.80	0.80	0.80
Available phosphorus	0.72	0.72	0.72	0.72
Analyzed composition (%)				
Dry matter	91.61	91.39	91.57	91.30
Crude protein	21.98	21.95	21.98	21.94
Crude fiber	4.54	4.51	4.53	4.49

[1] T1 = 0.3% K-diformate; T2 = 0.1% Na-butyrate; T3 = 0.3% K-diformate + 0.1% Na-butyrate

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 3.2 ส่วนประกอบของวัตถุดิบและโภชนะของสูตรอาหารสุกรเล็ก (น้ำหนัก 15-25 กิโลกรัม)

Item		Treatments[1]		
	Control	T1	T2	T3
Ingredients (%)				
Broken rice	47.17	47.17	47.17	47.17
Full fat soybean	30.00	30.00	30.00	30.30
Fish meal (60 %CP)	5.00	5.00	5.00	5.00
Rice bran	11.82	11.52	11.72	11.12
Skimmed milk	3.00	3.00	3.00	3.00
Salt	0.50	0.50	0.50	0.50
DL-Methionine	0.15	0.15	0.15	0.15
L-Lysine	0.26	0.26	0.26	0.26
Monocalcium phosphate (P21)	1.60	1.60	1.60	1.60
Na-butyrate	0	0	0.10	0.10
K-diformate	0	0.30	0	0.30
Premix	0.50	0.50	0.50	0.50
Calculated composition (%)				
ME (kcal/kg)	3,362	3,352	3,358	3,350
Crude fat	7.78	7.75	7.77	7.75
Calcium	0.70	0.70	0.70	0.70
Available phosphorus	0.67	0.67	0.67	0.67
Analyzed composition (%)				
Dry matter	91.18	90.91	91.09	90.83
Crude protein	20.04	20.01	20.03	20.07
Crude fiber	5.22	5.19	5.21	5.17

[1] T1 = 0.3% K-diformate; T2 = 0.1% Na-butyrate; T3 = 0.3% K-diformate + 0.1% Na-butyrate

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 4
ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

ผลของการเสริมกรดอินทรีย์ต่อสมรรถนะการเจริญเติบโตของสุกรหย่านม และสุกรเล็ก ได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.1 และ 4.2 โดยสุกรที่ได้รับอาหารทดลองทั้ง 4 สูตร คือ 1) สูตรควบคุม 2) กรดฟอร์มิก 0.3% 3) กรดบิวไทริก 0.1% และ 4) กรดฟอร์มิก 0.3% และกรดบิวไทริก 0.1% มีอัตราการเจริญเติบโต ปริมาณการกินได้ และประสิทธิภาพการใช้อาหาร ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในทุกช่วงอายุ (P>0.05) โดยในสุกรหย่านม มีค่าเท่ากับ 306.5, 315.1, 322.3 และ 309.6 กรัมต่อวัน; 550.6, 538.1, 526.8 และ 507.7 กรัมต่อวัน และ 1.81, 1.73, 1.68 และ 1.64 ตามลำดับ (ตาราง 4.1) และสำหรับสุกรเล็ก มีค่าเท่ากับ 525.2, 430.0, 526.0 และ 520.7 กรัมต่อวัน; 924.7, 888.3, 921.9 และ 971.7 กรัมต่อวัน และ 1.87, 2.08, 175 และ 1.88 ตามลำดับ (ตารางที่ 4.2)

โดยภาพรวม ถึงแม้ว่าการสุกรที่ได้รับอาหารทดลองทั้ง 4 สูตร จะมีสมรรถนะการเจริญเติบโตที่ไม่แตกต่างทางสถิติ (P>0.05) แต่อย่างไรก็ตามพบว่าการเสริมกรดอินทรีย์สามารถส่งเสริมอัตราการเจริญเติบโตต่อวัน และประสิทธิภาพการใช้อาหารในลูกสุกรหย่านมได้ดีกว่ากลุ่มควบคุม (ตารางที่ 4.1) โดยเฉพาะอย่างยิ่งในลูกสุกรหย่านมที่ได้รับกรดบิวไทริกมีอัตราการเจริญเติบโตต่อวันสูงกว่ากลุ่มควบคุมประมาณ 5.16% สำหรับในสุกรเล็กพบว่ากรดอินทรีย์มีบทบาทค่อนข้างน้อยในการเพิ่มสมรรถนะการเจริญเติบโต มีเพียงในกลุ่มที่เสริมกรดบิวไทริกเท่านั้นที่มีอัตราการเจริญเติบโตและประสิทธิภาพการใช้อาหารดีกว่ากลุ่มควบคุม โดยค่าดังกล่าวเพิ่มขึ้นเป็น 0.15% และ 6.42% ตามลำดับ

จากการรวบรวมเอกสาร ผลของการเสริมกรดอินทรีย์ต่อสมรรถนะการเจริญเติบโตของลูกสุกรหย่านมและสุกรเล็ก ส่วนใหญ่มักไม่พบความแตกต่างทางสถิติ และมักพบผลดีในช่วงสัปดาห์แรกหรือสัปดาห์ที่สองหลังการหย่านม โดย Kil et al. (2011) ได้ทำการรวบรวมเอกสารงานวิจัยที่ศึกษาผลของการเสริมกรดฟอร์มิกในอาหารลูกสุกรหย่านม พบว่ากรดฟอร์มิกให้ผลค่อนข้างแปรปรวนต่อสมรรถนะการเจริญเติบโตของลูกสุกรหย่านม โดยให้ผลทั้งในเชิงบวกและเชิงลบต่อ ADG, FI และ FCR โดยการเสริมกรดฟอร์มิกในช่วง 1-2 สัปดาห์แรกของการทดลอง มีผลในการเพิ่ม ADG, FI และ FCR ประมาณ 17.6%, 7.3% และ 8.7% ตามลำดับ ในขณะที่การเสริมตลอดช่วงการทดลอง ลูกสุกรมีสมรรถนะการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยเท่านั้น โดย ADG, FI และ FCR เพิ่มขึ้น 4.9%, 1.6% และ 2.6% ตามลำดับ ส่วน Lu et al. (2008) ได้ทำการศึกษาการเสริมกรดบิวไทริกในรูปโซเดียมบิวไทเรทที่ระดับ 0.5% และ 1% ในอาหารลูกสุกรหย่านม พบว่าที่ระดับ 1% สามารถเพิ่ม ADG, FI และ FCR ได้ แต่ไม่พบความแตกต่างดังกล่าวที่ระดับ 0.5% ในขณะที่ Biagi et al. (2007) รายงานว่าการเสริมโซเดียมบิวไทเรทที่ระดับ 1, 2 และ 4% ในอาหารลูกสุกรหย่านมเป็น

ระยะเวลา 6 สัปดาห์ ไม่มีผลในการเพิ่มสมรรถนะการเจริญเติบโต โดยสรุปแล้ว เนื่องจากกรดอินทรีย์ไม่ได้มีผลโดยตรงต่อการกระตุ้นสมรรถนะการเจริญเติบโตของสุกรหย่านม ดังนั้นผลของกรดอินทรีย์ต่อประสิทธิภาพการผลิต จึงขึ้นอยู่กับปัจจัยอื่นร่วมด้วย เช่น ชนิดและระดับของกรดอินทรีย์ที่ใช้ ระยะเวลาในการทดลอง คุณภาพของอาหาร สุขภาพสุกร และระบบสุขาภิบาลภายในฟาร์ม เป็นต้น

ตารางที่ 4.1 ผลของการเสริมกรดอินทรีย์ในอาหาร ต่อสมรรถนะการเจริญเติบโตของสุกรหย่านม

		Treatments[1]			Pooled	P-value
	Control	T1	T2	T3	SEM[2]	
No. of pigs	24	24	24	24	-	-
Initial BW (kg)	8.11	8.11	8.13	8.14	-	-
Final BW (kg)	16.69	16.94	17.16	16.81	0.30	0.95
FI (g/d)	550.59	538.09	526.78	507.74	16.04	0.81
		(-2.27%)	*(-4.32%)*	*(-7.78%)*		
ADG (g)	306.50	315.14	322.31	309.58	14.59	0.98
		(+2.82%)	*(+5.16%)*	*(+1.00%)*		
FCR	1.81	1.73	1.68	1.64	0.04	0.53
		(-4.42)	*(-7.18)*	*(-9.39)*		

[1] T1 = 0.3% K-diformate; T2 = 0.1% Na-butyrate; T3 = 0.3% K-diformate + 0.1% Na-butyrate

[2] SEM = Standard error of the mean

ตารางที่ 4.2 ผลของการเสริมกรดอินทรีย์ในอาหาร ต่อสมรรถนะการเจริญเติบโตของสุกรเล็ก

		Treatments[1]			Pooled	P-value
	Control	1	2	3	SEM[2]	
No. of pigs	18	18	18	18	-	-
Initial BW (kg)	18.31	17.90	17.49	17.67	-	-
Final BW (kg)	23.09	22.46	23.05	23.20	0.24	0.93
FI (g/d)	924.70	888.30	921.90	971.70	37.40	0.88
		(-3.94%)	*(-0.30%)*	*(+5.04%)*		
ADG (g)	525.19	430.00	525.97	520.69	18.78	0.26
		(-18.12%)	*(+0.15%)*	*(-0.86%)*		
FCR	1.87	2.08	1.75	1.88	0.07	0.42
		(+11.23%)	*(-6.42%)*	*(+0.53%)*		

[1] T1 = 0.3% K-diformate; T2 = 0.1% Na-butyrate; T3 = 0.3% K-diformate + 0.1% Na-butyrate

[2] SEM = Standard error of the mean

ผลของการเสริมกรดอินทรีย์ในอาหาร ต่อค่า pH ใน digesta ของลำไส้ส่วนต่าง ๆ ได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.3 โดยพบว่าสุกรหย่านมที่ได้รับอาหารทดลองในแต่ละกลุ่ม มีค่า pH ในกระเพาะอาหาร ลำไส้เล็ก (ส่วนต้น กลาง และท้าย) ซีกัม และโคลอนไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) ตามปกติกรดอินทรีย์เป็นทางเลือกหนึ่งของนักอาหารสัตว์ที่ใช้เสริมในอาหารสุกรหย่านม เพื่อลด pH ในกระเพาะอาหาร ช่วยกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ย่อยโปรตีน (proteolytic enzymes) เช่น เปปซิน ช่วยปรับปรุงการย่อยได้ของโภชนะโดยเฉพาะโปรตีนในสุกรหย่านม (Ravindran and Kornegay, 1993; Partanen and Mroz, 1999) นอกจากนี้สภาวะที่เป็นกรด ยังมีบทบาทสำคัญในการป้องกันไม่ให้แบคทีเรียก่อโรค ไหลผ่านไปยังทางเดินอาหารส่วนท้าย (Maxwell and Stewart, 1995)

อย่างไรก็ตามจากการรายงานของ Kil et al. (2011) ซึ่งได้ทำการรวบรวมผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการเสริมกรดอินทรีย์ต่อค่า pH ในลูกสุกรหย่านมจากหลาย ๆ งานทดลอง พบว่าโดยส่วนใหญ่ยังให้ผลที่ไม่เป็นไปในทิศทางเดียวกัน โดย Roth et al. (1992) พบว่าการเสริมกรดฟอร์มิกที่ระดับ 0.6%, 1.2%, 1.8% และ 2.4% ส่งผลให้ค่า pH ในกระเพาะอาหาร ลำไส้เล็กส่วนท้าย ซีกัม และโคลอนเพิ่มขึ้น ในขณะที่ Eidelsburger et al. (1992b) รายงานว่าการเสริมกรดฟอร์มิกที่ระดับ 1.25% สามารถลด pH ในกระเพาะอาหาร ลำไส้เล็กส่วนท้าย และซีกัมได้ Fevrier et al. (2001) รายงานว่าการให้ลูกสุกรกินอาหารเสริม K-diformate 0.9% และ 1.8% ทำให้ค่า pH ในกระเพาะอาหาร และโคลอนลดลง แต่ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลง *Lactobacillus* ตลอดทางเดินอาหาร ส่วน Galfi and Bokori (1990) รายงานว่ากรดบิวไทริกมีบทบาทสำคัญในการเปลี่ยนแปลงลักษณะต่าง ๆ ในลำไส้ของสุกรมากกว่าการลด pH ซึ่งความสามารถของกรดอินทรีย์ในการลดค่า pH ในทางเดินอาหารของสัตว์ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ เช่น ชนิดกรดอินทรีย์ ค่า pKa ของกรด ระดับกรดอินทรีย์ที่เสริม ชนิดของวัตถุดิบอาหาร (ผลิตภัณฑ์นม ชนิดแร่ธาตุ) และค่าความจุของสารละลายบัฟเฟอร์ในอาหาร (dietary buffering capacity) เป็นต้น (Kim et al., 2005) จากผลการทดลองนี้ถึงแม้ว่าอาหารที่เสริมกรดฟอร์มิก และกรดฟอร์มิกร่วมกับกรดบิวไทริก มีค่า pH ต่ำกว่าอาหารสูตรควบคุม และสูตรเสริมกรดบิวไทริก (P<0.05) แต่ไม่พบความแตกต่างของค่า acid binding capacity และ buffering capacity (P>0.05) ในอาหารทดลองแต่ละกลุ่ม ซึ่งค่า acid binding capacity และ buffering capacity ของอาหารทดลองอยู่ในเกณฑ์ปกติที่ยอมรับได้ (ตารางที่ 4.4) โดย Karvelis (2014) กล่าวว่าอาหารลูกสุกรหย่านมควรมีค่า buffering capacity น้อยกว่า 650 mEq/kg จะทำให้ลูกสุกรไม่เสี่ยงต่อการเกิดอาการท้องเสีย

ตารางที่ 4.3 ผลของการเสริมกรดอินทรีย์ในอาหาร ต่อลักษณะความเป็นกรด-ด่าง ของสิ่งย่อย (digesta) ในกระเพาะอาหาร และลำไส้ส่วนต่าง ๆ ของสุกรหย่านม

pH	Control	Treatments[1]			Pooled SEM[2]	P-value
		T1	T2	T3		
Stomach	4.02	4.09	4.11	3.73	0.29	0.77
Duodenum	5.17	5.02	5.28	5.47	0.43	0.90
Jejunum	5.53	5.63	6.18	5.17	0.29	0.14
Ileum	5.70	5.96	6.03	6.30	0.41	0.78
Cecum	5.62	5.36	5.39	5.49	0.09	0.23
Colon	6.34	6.35	6.33	6.21	0.14	0.87

[1] T1 = 0.3% K-diformate; T2 = 0.1% Na-butyrate; T3 = 0.3% K-diformate + 0.1% Na-butyrate

[2] SEM = Standard error of the mean

ตารางที่ 4.4 ผลของการเสริมกรดอินทรีย์ในอาหาร ต่อค่า acid binding capacity และ buffering capacity ในสูตรอาหารทดลอง

	Control	Treatments[1]			Pooled SEM[2]	P-value
		T1	T2	T3		
pH	6.49[a]	6.25[b]	6.52[a]	6.32[b]	0.01	0.001
Acid binding capacity	586.70	578.07	620.34	570.65	9.34	0.45
Buffering capacity	252.92	279.35	268.60	256.64	4.38	0.32

หมายเหตุ: [a, b] ตัวอักษรที่อยู่ในแถวเดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

[1] T1 = 0.3% K-diformate; T2 = 0.1% Na-butyrate; T3 = 0.3% K-diformate + 0.1% Na-butyrate

[2] SEM = Standard error of the mean

ผลของการเสริมกรดอินทรีย์ในอาหาร ต่อลักษณะจุลภายวิภาคของลำไส้เล็กของลูกสุกรหย่านมได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.5 โดยพบว่า การเสริมกรดบิวไทริก และกรดบิวไทริกร่วมกับกรดฟอร์มิก สามารถเพิ่มความสูงของวิลไลในลำไส้เล็กส่วนเจจูนัม (P<0.05) ในขณะที่การเสริมกรดฟอร์มิกเพียงอย่างเดียวให้ผลไม่แตกต่างจากกลุ่มควบคุม (P>0.05) นอกจากนี้การเสริมกรดบิวไทริกยังสามารถเพิ่มความสูงของวิลไลในส่วนไอเลียมด้วย (P<0.05) สำหรับความลึกของคริป ความกว้างวิลไล และสัดส่วนของความสูงวิลไลต่อความลึกของคริปในลำไส้เล็กส่วนดูโอดีนัม เจจูนัม และไอเลียมไม่มีความแตกต่างกัน (P>0.05) ในแต่ละกลุ่มการทดลอง

โดยภาพรวม กรดบิวไทริกสามารถเพิ่มความสูงของวิลไลได้ ทั้งนี้เนื่องจากกรดบิวไทริกเป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญสำหรับเซลล์เยื่อบุผิวของลำไส้เล็กส่วนท้าย (Chapman et al., 1995) และลำไส้ใหญ่ (Roediger, 1980) ควบคุมความสมดุลของกรด-ด่าง ส่งเสริมสุขภาพของลำไส้ (gut health) ลดภาวะลำไส้อักเสบ (Antongiovanni et al., 2007; Mroz, 2005) นอกจากนี้ยังช่วยยับยั้งการเกิดเนื้องอกในเซลล์ของสัตว์เลี้ยงด้วยนม (Naidu et al., 1999) โดย Lu et al. (2008) ศึกษาการเสริมโซเดียมบิวไทเรทที่ระดับ 0.5% และ 1% พบว่าการเสริมที่ระดับ 1% สามารถเพิ่มสมรรถนะการเจริญเติบโต ความสูงของวิลไล และสัดส่วนของความสูงวิลไลต่อความลึกของเซลล์คริป (villus height : crypt depth) ที่ลำไส้เล็กส่วนดูโอดีนัม เจจูนัม และไอเลียมได้ นอกจากนี้ยังสามารถลด TNF-α และ IL-6 ในซีรัมได้ โดยไซโตไคน์ (cytokine) ในซีรัมมีบทบาทสำคัญในการสร้างภูมิคุ้มกันที่ลำไส้ (Kramer et al., 1995) รวมถึงควบคุมการอักเสบที่ลำไส้และเยื่อบุผนังไส้ ในขณะที่ Tonel et al. (2010) ศึกษาการเสริมกรดบิวไทริก 2 แหล่ง คือกรดบิวไทริกในรูปของเกลือโซเดียม โพแทสเซียม และแคลเซียม และกรดบิวไทริกในรูปของโซเดียมบิวไทเรท พบว่ากรดบิวไทริกทั้ง 2 แหล่ง ไม่มีผลในการเพิ่มความสูงของวิลไลในส่วนดูโอดีนัมและเจจูนัม แต่กรดบิวไทริกในรูปของเกลือโซเดียม โพแทสเซียม และแคลเซียม สามารถเพิ่มความสูงของวิลไลในลำไส้ส่วนไอเลียมของลูกสุกรหย่านมได้ ส่วน Biagi et al. (2007) ไม่พบความแตกต่างของลักษณะจุลภายวิภาคของลำไส้เมื่อเสริมโซเดียมบิวไทเรท Kotunia et al. (2004) รายงานว่าการเสริมกรดโซเดียมบิวไทเรท มีผลทำให้ความสูงของวิลไลในดูโอดีนัมลดลง และเพิ่มความสูงของวิลไลในเจจูนัมและไอเลียม การตอบสนองของกรดบิวไทริกต่อการพัฒนาเซลล์ของลำไส้ค่อนข้างมีความแตกต่างกันในแต่ละงานทดลอง ทั้งนี้อาจมีสาเหตุมาจากหลายปัจจัย เช่น แหล่งและระดับของกรดบิวไทริกที่เสริม ชนิดและคุณภาพของวัตถุดิบที่เป็นส่วนประกอบในอาหาร รวมถึงอายุของลูกสุกรที่ใช้วัดพัฒนาการของลำไส้ ตามปกติแล้วหากวิลไลมีการพัฒนาที่ดี จะส่งผลให้ลูกสุกรมีประสิทธิภาพการย่อยและการดูดซึมอาหารดีขึ้น ในงานทดลองนี้ ถึงแม้ว่าผลของกรดบิวไทริกต่อสมรรถนะการเจริญเติบโตไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่อย่างไรก็ตามอัตราการเจริญเติบโตของลูกสุกรหย่านมในกลุ่มที่ได้รับอาหารเสริมกรดบิวไทริก มีแนวโน้มสูงกว่ากลุ่มทดลองอื่น ๆ

ผลของการเสริมกรดอินทรีย์ในอาหาร ต่อประชากรจุลินทรีย์ในลำไส้และมูลของลูกสุกรหย่านมได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.6 โดยจำนวนประชากรจุลินทรีย์ *E. coli*, *Lactobacillus* spp. และ *Bifidobacterium* spp. ในกระเพาะอาหาร ลำไส้เล็กส่วนท้าย ซีกัม โคลอน และในมูลสุกรหย่านมที่ได้รับอาหารทดลองในแต่ละกลุ่ม มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) จากการรวบรวมเอกสารงานวิจัย พบว่าผลของกรดอินทรีย์ต่อจำนวนจุลินทรีย์ในระบบทางเดินอาหารของสุกรค่อนข้างมีความผันแปร Gedek et al. (1992) รายงานว่าการเสริมกรดฟอร์มิกที่ระดับ 1.8% ส่งผลให้จำนวน coliform ในดูโอดีนัมสูงขึ้น ในขณะที่จำนวน *Lactobacillus* และ coliform ในซีกัมและโคลอนลดลง และจำนวน eubacteria ในซีกัมลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม Maribo

et al. (2000) รายงานว่าการเสริมกรดฟอร์มิกที่ระดับ 0.7% ส่งผลลดประชากรจุลินทรีย์ *Lactobacillus* ในลำไส้เล็ก ลด coliforms ในกระเพาะอาหาร และลดยีสต์ในทุกส่วนของทางเดินอาหาร Fevrier et al. (2001) รายงานว่าการให้ลูกสุกรกินอาหารเสริม K-diformate 0.9% และ 1.8% ทำให้ค่า pH จำนวน coliform และ *Streptococci* ในการเพาะอาหาร และ coliform ในโคลอนลดลง แต่ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลง *Lactobacillus* ตลอดทางเดินอาหาร ส่วน Kil et al. (2011) ซึ่งทำการรวบรวมผลของกรดอินทรีย์ต่อจำนวนประชากรจุลินทรีย์ในงานวิจัยต่าง ๆ พบว่ามีงานวิจัยเพียงส่วนน้อยที่พบความแตกต่างทางสถิติต่อจุลินทรีย์ในทางเดินอาหาร ในทางตรงกันข้ามการเสริมกรดอินทรีย์มีผลทำให้ *Lactobacillus* ในลำไส้เล็ก (-0.3 log10 CFU ± 0.16 SE) และในลำไส้ใหญ่ (-0.6 log10 CFU ± 0.16 SE) ลดลง และค่อนข้างมีผลแปรปรวนต่อจำนวน coliform และ *E. coli* ซึ่งข้อมูลที่จำกัด ทำให้ยากต่อการอธิบายผลที่ค่อนข้างแตกต่างกันเหล่านี้ ดังนั้นงานวิจัยที่ศึกษาผลของกรดอินทรีย์ ต่อจำนวนประชากรจุลินทรีย์ในอนาคตอาจต้องใช้เทคนิคทางชีวโมเลกุล เพื่อศึกษาหาปริมาณจุลินทรีย์ น่าจะให้ผลที่มีความถูกต้องและแม่นยำกว่าการตรวจด้วยวิธีการดั้งเดิม (conventional culture methods) (Kil and Swanson, 2010)

ตารางที่ 4.5 ผลของการเสริมกรดอินทรีย์ในอาหาร ต่อลักษณะจุลกายวิภาคในลำไส้เล็กของสุกรหย่านม

		Treatments[1]			Pooled	P-value
	Control	T1	T2	T3	SEM[2]	
Villus height (µm)						
Duodenum	668.96	530.21	463.30	472.62	198.67	0.96
Jejunum	442.89[c]	482.10[bc]	673.75[a]	605.39[ab]	41.36	0.04
Ileum	336.39[b]	417.52[ab]	531.63[a]	445.41[ab]	46.67	0.01
Crypt depth (µm)						
Duodenum	142.39	145.30	139.06	139.79	33.07	0.87
Jejunum	134.46	130.94	184.82	147.57	22.45	0.24
Ileum	113.43	154.60	157.84	142.21	25.47	0.48
Villus wide (µm)						
Duodenum	164.02	110.26	137.85	139.44	54.80	0.96
Jejunum	135.96	124.20	154.38	105.54	9.88	0.08
Ileum	131.60	160.16	169.59	125.44	23.99	0.47
Villus height : Crypt depth						
Duodenum	4.69	3.65	3.35	3.39	0.83	0.80
Jejunum	3.29	3.70	3.65	4.11	0.37	0.67
Ileum	2.97	2.72	3.38	3.14	0.37	0.60

หมายเหตุ: [a, b, c] ตัวอักษรที่อยู่ในแถวเดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

[1] T1 = 0.3% K-diformate; T2 = 0.1% Na-butyrate; T3 = 0.3% K-diformate + 0.1% Na-butyrate

[2] SEM = Standard of the mean

ตารางที่ 4.6 ผลของการเสริมกรดอินทรีย์ในอาหาร ต่อประชากรจุลินทรีย์ในลำไส้และมูลของสุกรหย่านม

	Control	Treatments			Pooled SEM	P-value
		T1	T2	T3		
Stomach, log CFU/g						
E. coli	6.14	5.57	5.66	6.05	0.44	0.55
Lactobacillus spp.	6.20	6.31	6.19	6.33	0.40	0.85
Bifidobacterium spp.	6.38	6.60	6.62	6.95	0.37	0.38
Ileum, log CFU/g						
E. coli	6.11	6.18	6.52	6.31	0.17	0.34
Lactobacillus spp.	7.10	6.51	6.67	6.83	0.31	0.84
Bifidobacterium spp.	6.52	6.21	7.02	6.84	0.34	0.76
Cecum, log CFU/g						
E. coli	6.33	6.36	6.12	6.17	0.30	0.63
Lactobacillus spp.	7.04	6.48	6.75	6.65	0.26	0.76
Bifidobacterium spp.	7.21	7.32	7.06	7.28	0.41	1.00
Colon, log CFU/g						
E. coli	6.66	5.95	6.16	6.14	0.25	0.35
Lactobacillus spp.	7.17	6.48	6.84	6.98	0.23	0.70
Bifidobacterium spp.	7.32	7.06	6.87	7.28	0.40	0.96
Feces, log CFU/g						
E. coli	7.45	6.83	6.28	6.71	0.71	0.97
Lactobacillus spp.	6.49	6.41	6.36	6.55	0.62	1.00
Bifidobacterium spp.	6.51	6.42	6.43	6.50	0.57	0.94

[1] T1 = 0.3% K-diformate; T2 = 0.1% Na-butyrate; T3 = 0.3% K-diformate + 0.1% Na-butyrate

[2] SEM = Standard error of the mean

สำหรับลักษณะมูลของสุกรหย่านมที่ได้รับอาหารเสริมกรดอินทรีย์ ได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.7 โดยพบว่าสุกรมีลักษณะมูลไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) ซึ่งให้ผลเช่นเดียวกันค่าการผลิตกรดไขมันระเหยได้และแอมโมเนีย ที่ให้ผลไม่แตกต่างทางสถิติเช่นเดียวกัน (ตารางที่ 4.8) โดยทั้งลักษณะมูล ค่าการผลิตกรดไขมันระเหยได้และแอมโมเนีย ให้ผลสอดคล้องกับจำนวนประชากรจุลินทรีย์ *E. coli*, *Lactobacillus* spp. และ *Bifidobacterium* spp. ในกระเพาะอาหาร ลำไส้เล็กส่วนท้าย ซีกัม และในมูลที่ไม่พบความแตกต่างทางสถิติ (P>0.05) ตามปกติกรดไขมันสายสั้น เช่น กรดอะซิติก โพรพิโอนิก และบิวไทริก เป็นผลผลิตที่เกิดขึ้นจากกระบวนการหมักย่อยคาร์โบไฮเดรต โดยจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์บริเวณลำไส้ส่วนท้าย กรดไขมันสายสั้นมีบทบาทที่สำคัญต่อสัตว์ ในการยับยั้งและควบคุมการเจริญของจุลินทรีย์ก่อโรค เช่น *Salmonella* และ *E. coli* นอกจากนั้นยังสามารถส่งเสริมให้การเจริญของจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ในลำไส้ เช่น *Lactobacillus* และ *Bifidobacterium* (Antongiovanni et al., 2007) ทำหน้าที่ในการสนับสนุนการสร้างพลังงานให้แก่ร่างกาย กระตุ้นให้มีการสร้างเซลล์เยื่อบุผิวที่บริเวณลำไส้เล็กส่วนกลาง และลำไส้ใหญ่ นอกจากนั้นยังช่วยในการกระตุ้นการดูดซึมโซเดียมและน้ำเข้าสู่ลำไส้ ส่วนแอมโมเนียที่ผลิตขึ้นในลำไส้และในมูลของสัตว์ เกิดจากกระบวนการเมแทบอลิซึมของจุลินทรีย์ที่เป็นโทษในระบบทางเดินอาหาร เช่น *E. coli*, *Clostridia* spp. และ *Enterobacteria* spp. เป็นต้น

จากการรวบรวมเอกสารงานวิจัย พบว่าการเสริมกรดอินทรีย์ต่อค่าการผลิตกรดไขมันระเหยได้ และแอมโมเนียค่อนข้างมีความแปรปรวน เช่น ชนิดของกรดอินทรีย์ อายุสุกร และระยะเวลาในการทดลอง เป็นต้น Franco et al. (2005) ศึกษาการเสริมกรดอินทรีย์ร่วมกัน โดยใช้กรดฟอร์มิกร่วมกับกรดฟอร์มาริก (FOFU) (1:1) กรดฟอร์มิกร่วมกับกรดแลคติก (FOLA) (1:1) และกรดฟอร์มิกร่วมกับกรดแลคติก (2FOLA) (2:1) เปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม และกลุ่มที่เสริมกรดฟอร์มิกเพียงอย่างเดียว ทำการฆ่าสุกร 6-8 วัน หลังให้อาหารทดลอง พบว่า pH ในกระเพาะมีค่าสูงในกลุ่มที่เสริม FOFU ส่วน *Lactobacillus* มีแนวโน้มที่ลดลงในกลุ่ม FOFU เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม และ FOLA แต่ไม่มีผลในการเปลี่ยนแปลง coliform โดยกรดอะซิติกมีค่าลดลง ขณะที่กรดโพรพิโอนิก และบิวไทริก มีสัดส่วนที่สูงขึ้นในกลุ่ม FOFU เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม FOLA และ 2FOLA ส่วนในลำไส้เล็ก พบว่า coliform มีค่าสูงในกลุ่มควบคุมเมื่อเปรียบเทียบกับ FOLA และ 2FOLA และกรดบิวไทริกมีค่าสูงสุดในกลุ่มที่เสริมกรดฟอร์มิก ในขณะที่ Biagi et al. (2007) ศึกษาการเสริมโซเดียมบิวไทเรทที่ระดับ 1%, 2% และ 4% ในสุกรหย่านมเป็นเวลา 6 สัปดาห์ พบว่าโซเดียมบิวไทเรทไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงประชากรจุลินทรีย์ clostridia, enterobacteriaceae และ lactic acid bacteria และมีแนวโน้มที่จะเพิ่มการผลิตแอมโมเนีย ในงานทดลองนี้ไม่พบความแตกต่างใด ๆ จากการเสริมกรดฟอร์มิก และกรดบิวไทริก เป็นเวลา 28 วัน หลังการหย่านม ต่อประชากรจุลินทรีย์ กรดไขมันระเหยได้ และแอมโมเนีย อาจเป็นไปได้ว่าการพัฒนาส่วนต่าง ๆ ของลำไส้ของลูกสุกรหย่านมเข้าสู่สภาวะสมดุลแล้วทำให้กรดอินทรีย์แสดงผลไม่เด่นชัด

ตารางที่ 4.7 ผลของการเสริมกรดอินทรีย์ในสูตรอาหารสุกรหย่านมต่อลักษณะมูล[1]

Period after weaning	Control	Treatments[2] T1	T2	T3	Pooled SEM[3]	P-value
1 week	3.18	3.14	2.93	2.86	0.18	0.45
2 week	2.25	2.82	2.25	2.46	0.23	0.31
3 week	2.14	2.32	2.07	2.21	0.18	0.66
4 week	2.00	2.14	2.11	2.25	0.14	0.57
Average (1-4 weeks)	2.39	2.61	2.34	2.45	0.08	0.36

[1] ลักษณะมูลที่วัดมี 5 ระดับ คือ 1 = เหลว; 2 = นิ่ม; 3 = ปกติ; 4 = แข็ง; 5 = แข็งมาก

[2] T1 = 0.3% K-diformate; T2 = 0.1% Na-butyrate; T3 = 0.3% K-diformate + 0.1% Na-butyrate

[3] SEM = Standard of the mean

ตารางที่ 4.8 ผลของการเสริมกรดอินทรีย์ในสูตรอาหารสุกรหย่านมต่อการผลิตกรดไขมันระเหยได้และแอมโมเนีย

	Control	Treatments[1] T1	T2	T3	Pooled SEM	P-value
Volatile fatty acids, µmol/g						
Acetic acid	64.09	63.24	62.24	61.08	0.43	0.32
Propionic acid	29.27	29.88	31.40	32.37	0.62	0.65
Butyric acid	6.65	6.88	6.36	6.54	0.24	0.95
Ammonia, g/100 g fresh digesta						
	0.24	0.16	0.21	0.22	0.02	0.17

[1] T1 = 0.3% K-diformate; T2 = 0.1% Na-butyrate; T3 = 0.3% K-diformate + 0.1% Na-butyrate

[2] SEM = Standard of the mean

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 5
บทสรุป

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาเพื่อหาผลของการเสริมกรดอินทรีย์ฟอร์มิก (K-diformate) 0.3% กรดบิวไทริก (Na-butyrate) 0.1% และกรดฟอร์มิก 0.3% ร่วมกับกรดบิวไทริก 0.1% ในอาหารต่อสมรรถนะการเจริญเติบโต ลักษณะมูล การพัฒนาวิลไล การเปลี่ยนแปลงกรด-ด่าง การเปลี่ยนแปลงประชากรจุลินทรีย์ การผลิตกรดไขมันระเหยได้ และแอมโมเนีย ในสุกรหย่านม สรุปได้ดังนี้

1. ลูกสุกรหย่านมที่ได้รับอาหารเสริมกรดอินทรีย์ทุกกลุ่มการทดลอง มีอัตราการเจริญเติบโต ประสิทธิภาพการใช้อาหาร และปริมาณการกินอาหารได้ไม่แตกต่างกับอาหารสูตรควบคุม แต่มีแนวโน้มว่าลูกสุกรหย่านมที่ได้รับอาหารเสริมกรดฟอร์มิกร่วมกับกรดบิวไทริกมีประสิทธิภาพการใช้อาหารดีกว่ากลุ่มอื่น ๆ

2. การเสริมกรดบิวไทริก สามารถพัฒนาวิลไลในส่วนของการเพิ่มความสูงวิลไลในลำไส้เล็กส่วนกลางและส่วนท้ายของลูกสุกรหย่านมได้ ($P<0.05$)

3. การเสริมกรดอินทรีย์ไม่มีผลในการเปลี่ยนแปลงความเป็นกรด-ด่าง ของสิ่งย่อย ประชากรจุลินทรีย์ (*Lactobacillus* spp., *Bifidobacterium* spp. และ *E. coli*) ลักษณะมูล การผลิตกรดไขมันระเหยได้ และแอมโมเนีย ในทางเดินอาหารส่วนต่าง ๆ ของสุกรหย่านม

5.2 ข้อเสนอแนะ

กรดอินทรีย์อาจแสดงผลที่ดีต่อลูกสุกรในช่วง 1-2 สัปดาห์หลังการหย่านม ซึ่งเป็นสภาวะที่วิกฤต เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงอาหาร สภาพแวดล้อม ความเครียดทางสังคม และส่งผลให้เกิดอาการเกิดท้องเสีย ดังนั้นหากต้องการทดสอบคุณสมบัติของกรดอินทรีย์ให้ชัดเจน อาจต้องวัดพารามิเตอร์ต่าง ๆ ในช่วงระยะเวลาดังกล่าว

บรรณานุกรม

มุกริน สุขมงคล. 2538. การเปรียบเทียบการใช้สารกระตุ้นการเจริญเติบโตชนิดต่าง ๆ ในอาหารลูกสุกรหย่านม. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ

สมชัย พงศ์จรรยากุล. (2529). จุลกายวิภาคศาสตร์ทางสัตวแพทย์ (เซลล์และเนื้อเยื่อ). คณะสัตวแพทยศาสตร์: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

Antongiovanni, M., A. Buccioni, F. Petacchi, S. Leeson, S. Minieri, A. Martini and R. Cecchi. 2007. Butyric acid glycerides in the diet of broiler chickens: effects on gut histology and carcass composition. Ital. J. Anim. Sci. 6: 19-25.

AOAC. 1990. Official Method of Analysis. 15th ed. Association of Analytical Chemists. Washington, DC.

Biagi G., A. Piva, M. Moschini, E. Vezzali and F. X. Roth. 2007. Performance, intestinal microflora, and wall morphology of weanling pigs fed sodium butyrate. J. Anim. Sci. 85: 1184-1191.

Blanchard, P. 2004. Less buffering more enzymes and organic acids. Feed mix, special alternative to antibiotics. 14-16.

Canibe, N., S.H. Steien, M. Overland and B.B. Jensen. 2001. Effect of K-diformate in starter diets on acidity, microbiota, and the amount of organic acids in the digestive tract of piglet, and on gastric alterations. J. Anim. Sci. 79: 2123-2133.

Chapman, M.A., M.F Grahn, M. Hutton and N.S. Williams. 1995. Butyrate metabolism in the terminal ileal mucosa of patients with ulcerative colitis. Br. J. Surg. 82: 36-38.

Dibner, J.J. and P. Buttin. 2002. Use of organic acids as a model to study the impact of gut microflora on nutrition and metabolism. J. Appl. Poult. Res. 11: 453-463.

Eidelsburger, U., M. Kirchgessner and F.X. Roth. 1992. Influence of formic acid, calcium formate and sodium bicarbonate on pH, concentration of carbonic acids and ammonia in different segments of the gastrointestinal tract. 8. Nutritive value of organic acids in piglet rearing. J. Anim. Physiol. Anim. Nutr. 68: 20-32.

Fevrier, C., G. Gotterbarm, Y. Jaghelin-Peyraud and Y. Lebreton. 2001. Effects of adding potassium diformate and phytase excess for weaned piglet. In: Digestive physiology of pigs (ed. Lindberg, J.E. and B. Ogle). CABI publishing, p 136-138.

Franco, L.D., M. Fondevila, M.B. Loberta and C. Castrillo. 2005. Effect of combinations of organic acids in weaned pig dies on microbial species of digestive tract contents and their response on digestibility. J. Anim. Physiol. Anim. Nutr. 89: 88-93.

Gabert, V.M., W.C. Sauer, M. Schmitz, F. Ahrens and R. Mosenthin. 1995. The effect of formic acid and buffering capacity on the ileal digestibilities of amino acids and bacterial populations and metabolites in the small intestine of weanling pigs fed semipurified fish meal diets. Can. J. Anim. Sci. 75: 615-623.

Galfi, P., S. Neogradi. and T. Sakata. 1991. Effects of volatile fatty acids on the epithelial cell proliferation of digestive tract and its hormonal mediation. In: Physiological aspects of digestion and metabolism in ruminants (ed. Tsuda, T., Y. Sasaki, and R. Kawashima). Academic Press, Orlando, Florida, p 49-59.

Galfi, P. and J. Bokori. 1990. Feeding trial in pigs with a diet containing sodium n-butyrate. Acta. Vet. Hung. 38: 3-17.

Geary, T.M., P.H. Brooks, J.D Beal and A. Campbell. 1999. Effect on weaner pig performance and diet microbiology of feeding a liquid diet acidified to pH4 with either lactic acid or through fermentation with *Pediococcus acidilactici.* J. Sci. Food Agric. 79: 633-640.

Gedex, B., F.X. Roth, M. Kirchgessner, S. Wiehler, A. Bott and U. Eidelsburger. 1992. Influence of fumaric acid, hydrochloric acid, sodium formate, tylosin and toyocerin on the microflora in different segments of the gastrointestinal tract. 14. Communication. Investigations about the nutritive efficacy of organic acids in the rearing of piglets. J. Anim. Physio. Anim. Nutri. 68: 209-217.

Hartke, J.L., M.H. Monaco, M.B. Wheeler and S.M. Donovan. 2005. Effect of a short-term fast on intestinal disaccharidase activity and villus morphology of piglets suckling insulin-like growth factor-I transgenic sows. J. Anim. Sci. 83: 2404-2413.

Karvelis, G. 2014. Controlling dietary buffering capacity in piglet feeds. [Online]. Available: http://www.wattagnet.com/Home.aspx

Kil, D.Y., W.B. Kwon and B.G. Kim. 2011. Dietary acidifiers in weanling pig diets: a review. Rev. Colombo. Cienc. Pecu. 24: 231-237.

Kil, D.Y. and K.S. Swanson. 2010. Role of microbes in canine and feline health. J. Anim. Sci. 19: 252-261.

Kim, Y.Y., D.Y. Kil, H.K. Oh and In K. Han. 2005. Acidifier as an alternative material to antibiotics in animal feed. Asain-Aust. J. Anim. Sci. 18(7): 1048-1060.

Kotunia, A., J. Wolinski, D. Laubitz, M. Jurkowska, V. Rome, P. Guilloteau and R. Zabielski. 2004. Effect of sodium butyrate on the small intestine development in neonatal piglets feed by artificial sow. J. Physiol Pharmacol. 55: suppl. 2: 59-68.

Kramer, D.R., R.M. Sutherland, S. Bao and A.J. Husband. 1995. Cytokine mediated effects in mucosal immunity. Immun. Cell Biol. 73: 389-396.

Lawlor, P.G., P.B. Lynch, P.J. Caffrey, J.J. O'Reilly and M.K. O'Connell. 2005. Measurements of the acid-binding capacity of ingredients used in pig diets. Irish Vet. J. 58(8): 447-452.

Lu, J.J., X.T. Zou and Y.M. Wang. 2008. Effects of sodium butyrate on the growth performance, intestinal microflora and morphology of weanling pigs. J. Anim. Sci. 17: 568-578.

Manzanilla, E.G., M. Nofrarias, M. Anguita, M. Castillo, J.F. Perez, S.M. Martin-Orue, C. Kamel and J. Gasa. 2006. Effects of butyrate, avilamycin and a plant extract combination on the intestinal equilibrium of early-weaned pigs. J. Anim. Sci. 84: 2743-2751.

Maribo, H., B.B. Jensen and M.S. Hedemann. 2000. Different dose of organic acids for weaned piglets. Report No. 469. The National Committee for Pig Production, Danish Bacon and Meat Council, Denmark.

Maxwell, F.J and C.S. Stewart. 1995. The microbiology of the gut and the role of probiotics. In: The neonatal pig: development and survival. Wallingford, Oxon, CAB International, p 155-186.

Metzler, B. and R. Mosenthin. 2007. Effects of organic acids on growth performance and nutrient digestibilities in pigs. In: Acidifiers in animal nutrition – a guide for feed preservation and acidification to promote animal performance (ed. Luckstadt, C.). Nottingham University Press, Nottingham, p 39-54.

Moeser, A. 2015. Gut physiology from a pathogens point of view/interactions. Accessed June, 2015. http://www.slideshare.net/trufflemedia/dr-adam-moeser-gut-physiology-from-a-pathogens-point-of-view

Mroz, Z. 2005. Organic acids as potential alternatives to antibiotic growth promoters for pigs. Advances in Pork Production. 16: 169.

Mroz, Z., A.W Jongbloed, R. Von Der Weji-Jongbloed and M. Overland. 2001. Effects of adding potassium diformate and phytate excess for weaned piglet. In: Digestive physiology of pigs (ed. Lindberg, J.E. and B. Ogle). CABI publishing, p 305-307.

Naidu, A.S., W.R. Bidlack and R.A. Clemens. 1999. Probiotic spectra of lactic acid bacteria. Crit. Rev. in Food Sci. and Nutr. 38: 13-126.

National Research Council. 1998. Nutrient Requirement of Swine. 10th rev. ed. National Academy Press. Washington, DC.

Overland, M., T. Granli, N.P. Kjos, O. Fjetland, S.H. Steien and M. Stokstad. 2000. Effect of dietary formats on growth performance, carcass traits, sensory quality, intestinal microflora, and stomach alterations in growing-finishing pigs. J. Anim. Sci. 78: 1875-1884.

Partanen K.H. and Z. Morz. 1999. Organic acids for performance enhancement in pig diets. Nutr. Res. Rev. 12: 117-145.

Peadar G., P. Lawlor, L. Brendan, J.C. Patrick, J.O. James and O.M. Karen. 1997. Measurements of acid binding capacity of ingredients used in pig diets. Irish Vet. Jl. 58: 447-452.

Piva, A., M. Morlacchini, G. Casadei, P. Gatta, G. Biagi and A. Prandini. 2002. Sodium butyrate on growth performance of weaned piglets during the first period after weaning. Ital. J. Anim. Sci. 1: 35-41.

Pluske, J.R., D.J. Hampson and I.H. Williums. 1997. Factors influencing the structure and function of the small intestine in the weaned pig: a review. Livest. Prod. Sci. 1997;51: 215-236.

Ravindran V., and E.T. Kornegay. 1993. Acidification of weaner pig diets: a review. J. Sci. Food Agri. 62: 313-322.

Roda A., P. Simoni, M. Magliulo, P. Nanni, M. Baraldini, G. Roda and E. Roda. 2007. A new oral formulation for the release of sodium butyrate in the ileo-cecal region and colon. J. Gastroenterol. 13(7): 1079-1084.

Roediger, W.E. 1980. Role of anaerobic bacteria in the metabolic welfare of the colonic mucosa in man. Gut. 21: 793-798.

Roth, F.X., B. Eckel, M. Kirchgessner and U. Eidelsburger. 1992. Influence of formic acid on pH, dry matter content, and concentrations of volatile fatty acids and lactic acid in the gastrointestinal tract. 3. Nutritive value of organic acids in piglet rearing. J. Anim. Physiol. Anim. Nutr. 67: 148-156.

Scheppach. W. 1994. Effects of short chain fatty acid on gut morphology and function. Gut. Suppl. 1: 35-58.

Sciopioni R., G. Zaghini and B. Biavati. 1978. Researchers on the use of acidified diets for early weaning of piglets. Zootechnol. Nutr. Anim. 4: 201-208.

SPSS. 2004. User's guide. Version 13.0 SPSS Inc., Chicago, IL.

Tonel, I., M. Pinho, M.M. Lordelo, L.F. Cunha, P. Garres, J.P.B Freire. 2010. Effect of butyrate on gut development and intestinal mucosa morphology of piglets. Livest. Sci. 133: 1-3.

Willis, R. B., M. E. Montgomery, and P. R. Allen. 1996. Improved method for manual, colorimetric determination of total kjeldahl nitrogen using salicylate. J. Agric. Food. Chem. 44: 1804-1807.

Yun, M.S. 2005. Supplementation of potassium-diformate (formi), as an alternative of antibiotics, on growth performance, morphological changes of small intestine and immune responses in weanling pig. Master thesis. Seoul National University, Seoul.

Zdunczyk, Z., J. Juskiewicz, J. Jankowski, E. Biedrzycka and A. Koncicki. 2005. Metabolic response of the gastrointestinal tract of turkeys to diets with different levels of mannan-oligosaccharide. Poult. Sci. 84: 903-909.

Zou, X.T., G.H. Zheng, X.J. Fang and J.F. Jiang. 2006. Effects of glutamine on growth performance of weanling piglets. Czech. J. Animal. Sci. 51: 444-448.

ประวัตินักวิจัย

Name : Sutisa Khempaka (Ph.D.)

Position : Lecturer

Address : School of Animal Production Technology
Institute of Agricultural Technology
Suranaree University of Technology
Nakhon Ratchasima 300000, Thailand
Tel. (66 44) 224572 Fax (66 44) 224150
E- mail: khampaka@sut.ac.th

Date of Birth : September 14, 1975

Place of Birth : Surin

Education :

B.Sc. (1998) Animal Science (First Honor), Ubon Ratchathanee University, Thailand

M.Sc. (2002) Animal Nutrition, Khon Kaen University, Thailand

Ph.D. (2006) Animal Nutrition and Feed Science, Gifu University, Japan

Work Experience :

2002 - present : Lecturer, School of Animal Production Technology, Institute of Agricultural Technology, Suranaree University of Technology, Thailand

Papers published in international and national journals

Khempaka, S., K. Koh, and Y. Karasawa. 2006. Effect of shrimp meal on growth performance and digestibility in growing broilers. J. Poult. Sci. 43: 250-254.

Khempaka, S., M. Mochizuki, K. Koh, and Y. Karasawa. 2006. Effect of chitin in shrimp meal on growth performance and digestibility in growing broilers. J. Poult. Sci. 43: 339-343.

Khempaka, S., W. Molee, and M. Guillaume. 2009. Dried cassava pulp as an alternative feedstuffs for broilers: effect on growth performance, carcass traits, digestive organs and nutrient digestibility. J. Appl. Poult. Res. 18: 487-493.

Thongkratok, R., **S. Khempaka**, and W. Molee. 2010. Protein enrichment of cassava pulp using microorganisms fermentation techniques for use as an alternative animal feedstuff. J. Anim. Vet. Adv. 9(22): 2859-2862.

Khempaka, S., C. Chitsatchapong, and W. Molee. 2011. Evaluation of chitin and protein constituents in shrimp meal on growth performance, nutrient digestibility, intestinal microbial populations, volatile fatty acids and ammonia production in broilers. J. Appl. Poult. Res. 20: 1-11.

Pudpila, U., **S. Khempaka**, W. Molee, and C. Hormta. 2011. Comparison of distillation methods of *Mentha cordifolia* Opiz. essential oil on antibacterial activity for application use in animal feeds. J. Agri. Sci. and Tech A. 1336-1340.

Khempaka, S., U. Pudpila and W. Molee. 2013. The effect of dried peppermint (*Mentha cordifolia*) on growth performance, nutrient digestibility, carcass traits, antioxidant properties and ammonia production in broilers. J. Appl. Poult. 22(4): 904-912.

Khempaka, S., R. Thongkratok, S. Okrathok and W. Molee. 2014. An evaluation of cassava pulp feedstuff fermented with *A. oryzae,* on growth performance, nutrient digestibility and carcass quality of broilers. J. Poult. Sci. 50: 71-79.

จรณี จิตสัจจพงศ์ วิทธวัช โมฬี และ**สุทิศา เข็มผะกา**. 2552. ผลของการเสริมเปลือกกุ้งป่นในอาหารต่อสมรรถนะการเจริญเติบโต คุณภาพซาก และการตอบสนองภูมิคุ้มกันของไก่เนื้อ. วารสารแก่นเกษตร. 37 (4): 331-338.

เอกพล พูนชัย **สุทิศา เข็มผะกา** วิทธวัช โมฬี และจักร์ โนจากุล. 2553. บทบาทของกลูตามีนต่อสมรรถนะการเจริญเติบโต การตอบสนองต่อภูมิคุ้มกัน และการพัฒนาระบบทางเดินอาหารสุกรหย่านม. วารสารแก่นเกษตร. 38 (1): 39-46.

Papers published in international conferences

Khempaka, S., M. Mochizuki, K. Koh, and Y. Karasawa. 2005. Effects of shrimp meal on growth performance, digestibility, nitrogen retention and meat color in growing broilers. Japanese Poultry Science Association, Spring Meeting 2005. Tokyo, Japan.

Khempaka, S., K. Koh, and Y. Karasawa. 2005. Growth performance, digestibility and nitrogen retention in growing broiler given diets containing 4 to 16% of shrimp

meal. Japanese Poultry Science Association, Autumn Meeting 2005. Kumamoto, Japan.

Khempaka, S., K. Koh, and Y. Karasawa. 2006. High calcium content in shrimp meal had little effect on growth performance in growing broilers. Japanese Poultry Science Association, Spring Meeting 2006. Fukuoka, Japan.

Khempaka, S., K. Koh, and Y. Karasawa. 2007. The *in vitro* measurement of dry matter and crude protein digestibilities of shrimp meal. First International Conference on Sustainable Animal Agriculture in Developing Countries, Kunming Yunnan, China.

Khempaka, S., W. Molee, R. Thongkratoke, C. Chitsatchapong, and E. Poonchai. 2008. Fermentation of cassava pulp with *Aspergillus oryzae* and *Candida utilis* for improved nutrients as an alternative feedstuff for animals. The 13th Animal Science Congress of the Asian-Australasian Association of Animal Production Societies. September 22-26, 2008. Hanoi, Vietnam.

Khempaka, S., and W. Molee. 2008. Effect of cassava pulp on growth performance and digestibility in broilers. The 13th Animal Science Congress of the Asian-Australasian Association of Animal Production Societies. September 22-26, 2008. Hanoi, Vietnam.

Khempaka, S., C. Chitsatchapong, and W. Molee. 2009. Measurement of chitin efficiencies on growth performance and ammonia production in broilers. The 2nd International Conference on Sustainable Animal Agriculture for Developing Countries, November 8-11, 2009. Kuala Lumpur, Malaysia.

Chisatchapong, C., **S. Khempaka**, W. Molee, and C. Homta. 2009. Effect of chitin constituent in shrimp meal on nutrient digestibility, hematology and immune response in broilers. The 2nd International Conference on Sustainable Animal Agriculture for Developing Countries. November 8-11, 2009. Kuala Lumpur, Malaysia.

Thongkratok, R., **S. Khempaka**, W. Molee, and C. Homta. 2009. Evaluation of fermented cassava pulp on growth performance and nutrient digestibility in broilers. 2009. The 2nd International Conference on Sustainable Animal Agriculture for Developing Countries. November 8-11, 2009. Kuala Lumpur, Malaysia.

Poonchai, E., **S. Khempaka**, W. Molee, and J. Nojakul. 2009. Effect of glutamine supplementation on growth performance and intestinal microbial population of weaned pigs. The 2nd International Conference on Sustainable Animal Agriculture for Developing Countries. November 8-11, 2009. Kuala Lumpur, Malaysia.

Khempaka, S., N. Chaiyasit, and W. Molee. 2010. Effect of dietary shrimp meal on microbial populations and ammonia production in broilers administered with *Lactobacillus* spp. and *Bacillus* spp. The 14th Animal Science Congress of the Asian-Australasian Association of Animal Production Societies. August 23-27, 2010. Pingtung, Taiwan, Republic of China.

Molee, W., S. Khempaka, C. Chitsatchapong and P. Puttaraksa**.** Effects of dietary Tuna Oil on growth performance and fatty acid composition of meat in Thai Native Chickens**.** The 14th Animal Science Congress of the Asian-Australasian Association of Animal Production Societies. August 23-27, 2010. Pingtung, Taiwan, Republic of China.

Pudpila, U., **S. Khempaka**, W. Molee, and C. Hormta. 2011. Comparison of distillation methods of *Mentha cordifolia* Opiz. essential oil on antibacterial activity for application use in animal feeds. The 3rd International Conference on Sustainable Animal Agriculture for Developing Countries. July 26-29, 2011. Nakhon Ratchasima, Thailand.

Suriyawong, T., **S. Khempaka**, W. Molee, and C. Hormta. 2011. The *In Vitro* evaluation of non-starch polysaccharide digestibility of cassava pulp using xylanase enzyme. The 3rd International Conference on Sustainable Animal Agriculture for Developing Countries. July 26-29, 2011. Nakhon Ratchasima, Thailand.

Khempaka, S., and K. Koh. 2011. Effect of covering with acidified sawdust on ammonia volatilization during composting of poultry manure. The 3rd International Conference on Sustainable Animal Agriculture for Developing Countries. July 26-29, 2011. Nakhon Ratchasima, Thailand.

Chaokaur, A., **S. Khempaka**, T. Matsumoto, J. Takahashi. and T. Nishida. 2011. Effect of ruminal dosing of mechanical stimulating brush on methane emission from rumen in dry cows. The 3rd International Conference on Sustainable Animal

Agriculture for Developing Countries. July 26-29, 2011. Nakhon Ratchasima, Thailand.

Khempaka, S., S. Okrathok, L. Hokking, B. Thuhanon, and W. Molee. 2011. Influence of supplemental glutamine on nutrient digestibility and utilization, small intestinal morphology and gastrointestinal tract and immune organ developments of broiler chickens. World Academy of Science, Engineering and Technology. August 24-26, 2011. Paris, France.

Khempaka, S. and W. Molee. 2012. An evaluation of glutamine feed supplementation on the immune response, intestinal morphology and growth performance of broilers, at various stages of development. ADSA®-AMPA-ASAS –CSAS-WSASAS Joint Annual Meeting. July 15-19, 2011, Phoenix, Arizona, USA.

Khempaka, S., Poonchai, E. & Molee, W. (2012). Efficacy of glutamine enriched diet on the growth performance, hematology and blood urea nitrogen of weaned pigs. In *APE 2012*: *International Conference on Animal Production and Environment*, 13-14 December 2012, Cantho, Vietnam.

Suriyawong, T., **Khempaka, K**. & Molee, W. (2012). The effects of xylanase enzyme supplementation in diets containing dried cassava pulp on nutrient digestibility and growth performance of broilers. In *APE 2012*: *International Conference on Animal Production and Environment*, 13-14 December 2012, Cantho, Vietnam.

Okrathok, S., Khempaka, K. & Molee, W. (2012). Effects on cassava pulp fermented with *A. oryzae* on nutrient digestibility and ammonia production of laying hens. In *APE 2012*: *International Conference on Animal Production and Environment*, 13-14 December 2012, Cantho, Vietnam.

Hokking, L., Khempaka, K. & Molee, W. (2012). An evaluation of the metabolizable energy and nutrient digestibility of dried cassava pulp in layers. In *APE 2012*: *International Conference on Animal Production and Environment*, 13-14 December 2012, Cantho, Vietnam.

Maliwan, P., Sripaoraya, C., Nuansritong, P. & Khempaka, S. (2012). Effect of pineapple bran on the growth performance and carcass quality of brolilers. In *APE 2012*: *International Conference on Animal Production and Environment*, 13-14 December 2012, Cantho, Vietnam.

Khempaka, S., S. Terapuntuwat, W. Wongsrikeao, and P. Pakdee. 2013. Responses of broiler chicks to methionine hydroxyl analog and DL-methionine using fish meal or full fat soybean meal as the sole source of protein. World Academy of Science, Engineering and Technology. January 14-15, 2013. Zurich, Switzerland.

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี