ผลของการเสริมกรดอินทรีย์และแร่ธาตุอินทรีย์ในอาหาร ต่อสมรรถภาพการผลิต กรดไขมันสายสั้น และจุลินทรีย์ในไส้ติ่งของสุกรอนุบาล

Effects of supplementing acidifiers and organic mineral in diet on production performances, cecal short chain fatty acids and microorganisms of nursery pigs

ปิยะ ลำพรหมสุข[1], ณัฐวุฒิ ครุฑไทย[1], จำเริญ เที่ยงธรรม[1], ชาญวิทย์ แก้วตาปี[1], ชัยภูมิ บัญชาศักดิ์[1] และ ธีรวิทย์ เป่ยคำภา[1*]

Piya Lampromsuk[1], Nuttawut Krutthai[1], Jamroen Thiengtham[1], Chanwit Kaewtapee[1], Chaiyapoom Bunchasak[1] and Theerawit Poeikhampha[1*]

บทคัดย่อ: ศึกษาผลการเสริมกรดอินทรีย์ และสังกะสีอินทรีย์ในอาหารต่อสมรรถภาพการผลิต, กรดไขมันสายสั้นและจุลินทรีย์ในไส้ติ่งของสุกรอนุบาล ใช้สุกรลูกผสมสามสาย (แลนด์เรซxลาร์จไวท์x ดูรอค) เพศผู้ตอน 40 ตัว เพศเมีย 40 ตัว (น้ำหนักตัวเฉลี่ย 7.24 กก.) สุกรแต่ละเพศถูกแบ่งเป็น 2 กลุ่มๆ ละ 5 ซ้ำๆ ละ 4 ตัว ใช้เวลาทดลอง 7 สัปดาห์ แบ่งออกเป็น 2 ระยะ คือ ระยะที่ 1 อายุ 5-7 สัปดาห์ และระยะที่ 2 อายุ 8-11 สัปดาห์ โดยได้รับอาหาร 2 กลุ่มคือ กลุ่มที่ 1 เสริมซิงค์ออกไซด์ ระดับ 2,300 ppm ในระยะที่ 1 และกลุ่มที่ 2 เสริมซิงค์อะซิเตดระดับ 500 ppm ในระยะที่ 1 ร่วมกับ กรดอินทรีย์รวมระดับ 3000 ppm ในระยะที่ 1 และ 2 ผลการทดลองพบว่า สุกรกลุ่มที่ 2 มีน้ำหนักตัวเมื่อสิ้นสุดการทดลอง และอัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวันมากกว่ากลุ่มที่ 1 ($P<0.05$) แต่ปริมาณอาหารที่กิน และประสิทธิภาพการเปลี่ยน อาหารเป็นน้ำหนักตัวไม่แตกต่างกัน ($P>0.05$) นอกจากนี้ค่าความเป็นกรดด่างในระบบทางเดินอาหาร ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ และปริมาณกรดไขมันสายสั้นในไส้ติ่งของทั้งสองกลุ่มไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) ดังนั้นอาหารสุกรในระยะอนุบาลสามารถใช้ซิงค์อะซิเตดระดับ 500 ppm ร่วมกับกรดอินทรีย์ระดับ 3,000 ppm เพื่อทดแทนการเสริมซิงค์ออกไซด์ในระดับ 2,300 ppm โดยไม่ส่งผลกระทบต่อสมรรถภาพการผลิตของสุกร

คำสำคัญ: กรดอินทรีย์, ซิงค์ออกไซด์, ซิงค์อะซิเตด, สุกรอนุบาล

ABSTRACT: Study effects of supplementing acidifiers and organic zinc on production performances, short chain fatty acids, and caecal microbial of nursery pigs. Forty casted male and forty female crossbred pigs (Landrace x Large white x Duroc, body weight 7.24 kg) were used. The pigs were divided into 2 groups by sex and each group was replicated by 5 experimental units of 4 pigs. During 7 weeks of feeding trial, the experiment was divided into 2 phases (phase I was 5-7 weeks of ages and phase II was 8-11 weeks of ages). There were 2 experimental groups. Group 1 (control group); + 2,300 ppm of zinc oxide in phase I and group 2; + 500 ppm of zinc acetate in phase I and 3,000 ppm of combine organics acidifier in phase I and II. The results indicated that group 2 significantly improved final body weight and average daily gain ($P<0.05$) while feed intake and feed conversion ratio were not significantly differenced ($P>0.05$). In this study, intestinal pH, caecal microbial and short chain fatty acids were not significantly affected by dietary treatments ($P>0.05$). Therefore, it could be concluded that supplementing 2,300 ppm of zinc oxide can be replaced by 500 ppm of zinc acetate and 3,000 ppm of organics acidifier without negative effects on productive performances and health of pigs.

Keywords: organics acidifier, zinc oxide, zinc acetate, nursery pig

[1] ภาควิชาสัตวบาล คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ
Department of Animal Science, Faculty of Agriculture, Kasetsart University, Bangkok

* Corresponding author: agrtrw@ku.ac.th

บทนำ

สุกรหลังหย่านมมีความเสี่ยงต่อการติดเชื้อจุลินทรีย์ส่งผลต่อประสิทธิภาพการเจริญเติบโต และเหนี่ยวนำให้เกิดการท้องเสีย (Barnett et al., 1989) ด้วยเหตุนี้จึงมีการใช้สังกะสีออกไซด์ (Zinc oxide) ปริมาณสูง (2,000-3,000 ppm) เพื่อควบคุมเชื้อจุลินทรีย์ก่อโรคซึ่งเป็นสาเหตุของการท้องเสีย (Vahjen et al., 2011) และกระตุ้นการเติบโตของสุกร (Case and Carlson, 2002) อย่างไรก็ตาม สุกรอนุบาลมีความต้องการสังกะสีเพียง 100 ppm จึงส่งผลให้มีการขับสังกะสีและสะสมในดิน (Wilt and Carlson, 2009) ต่างกับแร่ธาตุอินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพในการใช้ประโยชน์ในสัตว์ได้ดีกว่า (Hahn and Baker, 1993) นอกจากนั้นการเสริมกรดอินทรีย์ในอาหารส่งผลดีต่อการควบคุมเชื้อจุลินทรีย์ก่อโรคแล้ว และยังกระตุ้นการเจริญเติบโตของสุกร (Wang et al., 2009) จึงได้รับความนิยมเสริมในอาหารสุกร ดังนั้นการวิจัยครั้งนี้จึงมุ่งศึกษาการตอบสนองของสุกรอนุบาลในด้านสมรรถภาพการผลิต ปริมาณจุลินทรีย์ในระบบทางเดินอาหารส่วนปลาย และปริมาณกรดไขมันสายสั้นของสุกรที่เสริมกรดอินทรีย์และสังกะสีอินทรีย์ในอาหาร เพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตสุกรต่อไป

วิธีการศึกษา

สุกรลูกผสมสามสาย (แลนด์เรซxลาร์จไวท์xดูรอค) รวม 80 ตัว (เพศผู้ตอน 40 ตัว เพศเมีย 40 ตัว) อายุ 4 สัปดาห์ น้ำหนักเฉลี่ย 7.24 ± 0.09 กิโลกรัม สุกรแต่ละเพศถูกแบ่งเป็น 2 กลุ่มๆ ละ 5 ซ้ำๆ ละ 4 ตัว ใช้เวลาทดลอง 7 สัปดาห์ ในโรงเรือนระบบปิด พื้นคอกเป็นแสลทคอนกรีต และคอกทดลองขนาด 2 x 2 x 1 เมตร สุกรได้รับน้ำและอาหารอย่างเต็มที่ (*ad libitum*) โดยใช้ถังอาหารแบบกล และให้น้ำแบบปากกัดอัตโนมัติ (Nipple)

อาหารพื้นฐาน (basal diet) แบ่งเป็น 2 ระยะๆ ที่ 1 มีโปรตีน 20% พลังงานใช้ประโยชน์ได้ 3,450 kcal/kg สำหรับสุกรอายุ 5-7 สัปดาห์ และระยะที่ 2 มีโปรตีน 20% พลังงานใช้ประโยชน์ได้ 3,400 kcal/kg สำหรับสุกรอายุ 8-11 สัปดาห์ (**Table 1**) อาหารแต่ละระยะแบ่งเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มควบคุม (Group I) โดยเสริมซิงค์ออกไซด์ 2,300 ppm ในระยะที่ 1 และกลุ่มที่ 2 (Group II) เสริมซิงค์อะซิเตด(Kemira zinc acetate; Kemira Asia Pacific Pte. Ltd., สิงคโปร์) 500 ppm ในระยะที่ 1 ร่วมกับกรดอินทรีย์รวม (Kemira Pro GIT SB5; Kemira Asia Pacific Pte. Ltd., สิงคโปร์; ประกอบด้วย Benzoic acid, Formic acid, Lactic acid and Citric acid) 3,000 ppm ในระยะที่ 1 และ 2 และปรับระดับสารเสริมทั้งหมดให้มีระดับ 5,000 ppm ด้วยสื่อ (ซังข้าวโพดบด)

เมื่อสิ้นสุดการทดลองสุกรกลุ่มละ 10 ตัว ถูกเมตตามฆาต (euthanasia) เพื่อศึกษาความเป็นกรดด่างในทางเดินอาหารด้วยเครื่อง pH meter (IQ Scientific Instruments, Inc., สหรัฐอเมริกา) และเก็บตัวอย่างจากไส้ติ่งเพื่อวิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์ และปริมาณกรดไขมันสายสั้น โดยวิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์ใช้ตัวอย่างจำนวน 10 ก. เจือจางในสารละลาย peptone 1% (Peptone water, Oxoid Ltd., อังกฤษ) ตรวจนับปริมาณแบคทีเรียกลุ่ม *Escherichia coli* (*E. coli*) ด้วยอาหารเลี้ยงเชื้อ McConkey agar (Difo™, Becton, Dickinson and Company, สหรัฐอเมริกา) และตรวจนับจุลินทรีย์กลุ่ม *Lactobacillus spp.* ด้วยอาหารเลี้ยงเชื้อ De Man, Rogosa and Sharpe (MRS) Agar (Difo™, Becton, Dickinson and Company, สหรัฐอเมริกา) ตามวิธีของ Poeikhampha et al. (2011) ส่วนการวิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันสายสั้นตามวิธีของ ณัฐวุฒิ และคณะ (2552) โดยนำตัวอย่างจากไส้ติ่งปั่นเหวี่ยงที่ 14000 rpm ที่อุณหภูมิ 4 °C เป็นเวลา 10 นาที และนำสารละลายส่วนใส (Supernatant) มาวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Gas chromatography (GC-2010 High-end Shimadzu, Shimadzu Co., Ltd., ญี่ปุ่น) โดยใช้ Flame Ionization Detector (FID) เป็นตัวตรวจวัด ทดสอบแตกต่างทางสถิติโดยใช้แผนการทดลองแบบ Group Comparison ด้วยวิธี T-test โดยโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ SAS (SAS, 1998)

Table 1 Feed ingredients and chemical composition of the experimental diets.

NO	Raw material (%)	Phase I	Phase II
1	Broken rice	39.20	35.52
2	Corn	8.34	20.18
3	Soybean oil	5.90	4.64
4	Soybean meal	26.81	21.69
5	Full fat soybean	5.00	10.00
6	Fish meal	2.00	3.00
7	L-lysine	0.34	0.42
8	DL-methionine	0.22	0.22
9	L-Threonine	0.13	0.16
10	Sweet whey	8.00	-
11	Monocalciumphosphate (21%)	2.01	2.07
12	Calcium carbonate	0.82	0.81
13	Salt	0.23	0.31
14	Tested product	0.50	0.50
15	Premixed[1/]	0.50	0.50
	Total	100.00	100.00
Calculated chemical composition			
1	Metabolizable energy (Kcal/kg)	3,450.00	3,400.00
2	Protein (%)	20.00	20.00
3	Ether extract (%)	4.00	4.00
4	Calcium (%)	1.00	1.00
5	Available phosphorus	0.50	0.50
6	Lysine (%)	1.40	1.40
7	Methionine + cystein (%)	0.84	0.84
8	Methionine (%)	0.43	0.43
9	Threonine (%)	0.25	0.25

[1/]premix: Vitamix ST® consist of vitamin A 2 MIU; D_3 0.4 MIU; E 4,000 IU;K_3 0.30 g; B_1 0.20 g; B_2 1.00 g; B_6 0.40 g; B_{12} 0.004 g; pantothenic acid 1.80 g; Nicothenic acid 3.0 g; Biotin 0.02 g; Copper 30 g; Manganese 10 g; Zinc 20 g; Iron 30 g; Iodine 0.1 g; Cobalt 0.04 g; Selenium 0.06 g; Flavour 0.5 g; Feed preservative 0.15 g and carrier added to 1.00 kg premix

ผลการศึกษาและวิจารณ์

ผลต่อสมรรถภาพการผลิต

การเสริมกรดอินทรีย์ร่วมกับซิงค์อะซิเตดในอาหารทำให้สมรรถภาพการผลิตของสุกรอายุ 5-7 สัปดาห์ดีกว่ากลุ่มที่เสริมสังกะสีออกไซด์อย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) ขณะที่การเสริมกรดอินทรีย์ในอาหารสุกรอายุ 8-10 สัปดาห์ ทำให้น้ำหนักตัวเมื่อสิ้นสุดการทดลอง อัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวัน (ADG) และปริมาณการกินอาหารได้ต่อตัวต่อวัน (ADFI) มากกว่ากลุ่มควบคุม (P<0.05) ส่งผลให้ประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัว (FCR) ดีกว่ากลุ่มควบคุมแต่ไม่แตกต่างกันทางสถิติ (P>0.05) ดังแสดงใน Table 2

Table 2 Production performance of pigs fed the experimental diets.

Item	Group I (Control)	Group II	LS
Phase I (5-7 week of ages)			
Initial body weight (kg)	7.24 ± 0.09	7.24 ± 0.09	ns
Final body weight (kg)	13.47 ± 0.36	13.88 ± 0.42	ns
ADG (kg/pig/day)	0.30 ± 0.02	0.32 ± 0.02	ns
ADFI (kg/pig/day)	0.44 ± 0.03	0.46 ± 0.03	ns
FCR	1.52 ± 0.04	1.45 ± 0.04	ns
Phase II (8-11 week of ages)			
Final body weight (kg)	32.36 ± 0.67	34.72 ± 0.61	*
ADG (kg/pig/day)	0.67 ± 0.01	0.73 ± 0.01	**
ADFI (kg/pig/day)	1.25 ± 0.02	1.34 ± 0.03	*
FCR	1.85 ± 0.04	1.83 ± 0.03	ns
5-7 week of ages			
Final body weight (kg)	32.36 ± 0.67	34.72 ± 0.61	*
ADG (kg/pig/day)	0.51 ± 0.01	0.56 ± 0.01	*
ADFI (kg/pig/day)	0.90 ± 0.02	0.96 ± 0.02	ns
FCR	1.77 ± 0.03	1.71 ± 0.02	ns

Values represent an mean ± SE, * = P<0.05, ** = P<0.01, ns = no significance, LS = least significant

การเสริมกรดอินทรีย์ร่วมกับซิงค์อะซิเตด ส่งผลให้สมรรถภาพการผลิตของลูกสุกรดีขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับการเสริมซิงค์ออกไซด์เพียงอย่างเดียว เนื่องจากกรดอินทรีย์ช่วยปรับสภาพความเป็นกรดด่างในกระเพาะอาหารให้เหมาะสมกับการทำงานของเอนไซม์ทำให้การใช้ประโยชน์จากอาหารมีประสิทธิภาพมากขึ้น (วิบูลย์, 2540; Cranwell, 1995) รวมทั้งช่วยให้การย่อยได้ที่ลำไส้เล็กส่วนปลายมีประสิทธิภาพมากขึ้น ส่งผลให้สุกรได้รับสารอาหารเพิ่มขึ้น (Torrallardona et al., 2007) นอกจากนี้กรดอินทรีย์ยังมีส่วนช่วยเพิ่มความสูงของวิลไล และมีแนวโน้มสัดส่วนของวิลไลต่อคริปต์เพิ่มขึ้น (Halas et al., 2010) จึงอาจส่งผลต่อประสิทธิภาพการดูดซึมของลำไส้ที่ดีขึ้น

ผลต่อค่าความเป็นกรดด่างในระบบทางเดินอาหาร ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ และปริมาณกรดไขมันสายสั้นในไส้ติ่ง

สุกรที่ได้รับการเสริมกรดอินทรีย์ร่วมกับซิงค์อะซิเตดมีค่าความเป็นกรดด่างในกระเพาะอาหาร ลำไส้ส่วนต้น ลำไส้ส่วนกลาง ลำไส้ส่วนปลาย ไส้ติ่ง ลำไส้ใหญ่ ปริมาณเชื้อ *E. coli* และ *Lactobacillus spp.* และปริมาณกรดไขมันสายสั้นในไส้ติ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) กับกลุ่มที่เสริมซิงค์ออกไซด์ดังแสดงใน **Table 3**

จากการศึกษาของ Kaewtapee et al. (2010) ที่ทำการเสริมกรดอินทรีย์ในน้ำดื่มพบว่าไม่มีผลลดค่าความเป็นกรดด่างในทางเดินอาหาร เนื่องจากร่างกายสัตว์มีกลไกในการรักษาสมดุลค่าความเป็นกรดด่างในทางเดินอาหารให้เหมาะสมต่อการทำงานของเอนไซม์ต่างๆ อยู่ตลอดเวลา (Varel and Pond, 1985) อย่างไรก็ตามโดยปกติการเสริมซิงค์ออกไซด์ สามารถควบคุมปริมาณเชื้อ *E. coli* ในระบบทางเดินอาหารได้ (Poulsen, 1992) รวมทั้งกรดอินทรีย์สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ก่อโรค โดยทำให้เอนไซม์ในกระบวนการสร้างพลังงาน และสมดุลการขนส่งสารเข้าออกของเซลล์ผิดปกติ จึงส่งผลให้กลุ่มเชื้อแบคทีเรียก่อโรคมีปริมาณน้อยลง (Brul and Coote, 1999; Jensen, 2001) ขณะที่ความเป็นกรดทำให้มีสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมต่อการดำรงชีพ และการเพิ่มจำนวนของเชื้อจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ (เสกสม, 2547)

Table 3 The pH in gastrointestinal track, bacteria shedding in caecum, and concentration of short chain fatty acid in caecum of pigs fed the experimental diets.

Item	Group I (Control)	Group II	LS
pH in gastrointestinal track			
Stomach	3.53 ± 0.29	4.10 ± 0.28	ns
Duodenum	5.57 ± 0.08	5.65 ± 0.11	ns
Jejunum	6.35 ± 0.11	6.36 ± 0.14	ns
Ileum	6.42 ± 0.18	6.60 ± 0.09	ns
Caecum	5.82 ± 0.09	5.78 ± 0.05	ns
Colon	6.23 ± 0.07	6.06 ± 0.10	ns
Bacteria shedding in caecum (log_{10}CFU/ml)			
E.coli	0.86 ± 0.01	0.87 ± 0.01	ns
Lactobacillus spp.	7.01 ± 0.08	7.04 ± 0.15	ns
Concentration of short chain fatty acid (mmol/l)			
Acetic acid	14.05 ± 1.44	13.62 ± 0.80	ns
Propionic acid	16.40 ± 1.44	16.66 ± 1.77	ns
Butyric acid	3.75 ± 0.37	4.00 ± 0.70	ns
Valeric acid	0.66 ± 0.11	0.85 ± 0.37	ns
Total acid	34.86 ± 2.60	35.04 ± 3.14	ns

Values represent an mean ± SE, ns = no significance, LS = least significant

กรดไขมันสายสั้นได้แก่ กรดอะซีติก โปรปิโอนิก และบิวทีริก ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์หลักที่เกิดขึ้นจากการหมักย่อยโดยจุลินทรีย์ในไส้ติ่ง เช่น กลุ่ม *Lactobacillus spp.*ซึ่งจะถูกดูดซึมอย่างรวดเร็วที่เยื่อบุลำไส้เพื่อนำไปใช้เป็นพลังงานของเซลล์เยื่อบุผิวลำไส้ โดยเฉพาะกรดบิวทีริกที่มีประสิทธิภาพในการกระตุ้นการเพิ่มจำนวนของเซลล์บุผิวลำไส้ (Ruppin et al., 1980) จากผลการทดลองพบว่ากรดไขมันสายสั้นไม่มีความแตกต่าง จึงอาจเป็นได้ว่าการที่ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ไม่แตกต่างกันจึงอาจส่งผลให้ปริมาณกรดไขมันสายสั้นที่ผลิตขึ้นไม่มีความแตกต่างกันด้วย

สรุป

การเสริมกรดอินทรีย์ 3,000 ppm ร่วมกับซิงค์อะซิเตด 500 ppm ในอาหารสุกรอนุบาลช่วงอายุ 5-7 สัปดาห์ และ การเสริมกรดอินทรีย์ 3,000 ppm ในช่วงอายุ 8-11 สัปดาห์ สามารถทดแทนการใช้ซิงค์ออกไซด์ความเข้มข้น 2,300 ppm ได้ โดยไม่ส่งผลกระทบต่อสมรรถภาพการเจริญเติบโต ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ในไส้ติ่ง และปริมาณกรดไขมันสายสั้นของสุกร

คำขอบคุณ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ บริษัท Kemira Asia Pacific ประเทศสิงคโปร์, ภาควิชาสัตวบาล คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, หน่วยวิจัยโภชนาการและอาหารสัตว์ ศูนย์วิทยาการขั้นสูงเพื่อการเกษตรและอาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่ให้การสนับสนุนทุนวิจัย และเอื้อเฟื้อสถานที่ในการศึกษาทดลองครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

ณัฐวุฒิ ครุฑไทย, ชาญวิทย์ แก้วตาปี, ธีรวิทย์ เปยคำภา, ราชาวดี ยอดเศรณี และชัยภูมิ บัญชาศักดิ์. 2552. ผลของแหล่งเมทไธโอนีนใน อาหารต่อสมรรถภาพการผลิต ปริมาณกรดไขมันสายสั้น และจุลินทรีย์ในทางเดินอาหารส่วนปลายของสุกรระยะหลังหย่านม. วารสารเกษตร 25: 305-313

วิบูลย์ ลาภจตุพร. 2540. การใช้สารเพิ่มกรดในอาหารลูกสุกร. สุกรสาส์น. 23: 17-22.

เสกสม อาตมางกูร. 2547. การใช้สารเสริมเพื่อช่วยปรับปรุงคุณค่าทางโภชนาการของอาหารสัตว์. เอกสารการฝึกอบรมเทคนิคการผลิตอาหารสัตว์ขั้นสูง. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กำแพงแสน, นครปฐม.

Barnett, K. L., E. T. Kornegay, C. R. Risley, M. D. Lindemann, and G. G. Schurig. 1989. Characterization of creep feed consumption and its subsequent effects on immune response, scouring index and performance of weanling pigs. J. Anim. Sci. 67: 2698-2708.

Brul S. and P. Coote. 1999. Preservation agents in foods, mode of action and microbial resistance Mechanisms. Intl. J. Food Microbiology. 50: 1-17.

Case, C.L. and M.S. Carlson. 2002. Effect of feeding organic and inorganic sources of additional zinc on growth performance and zinc balance in nursery pigs. J. Anim. Sci. 80:1917-1924.

Cranwell, P.D. 1995. Development of the neonatal gut and enzyme systems, pp. 99-154. In Varley, M.A. ed. The Neonatal Pig. C. A. B. International, Washington, D. C.

Hahn, J.D. and D.H. Baker. 1993. Growth and plasma zinc responses of young pigs fed pharmacologic levels of zinc. J. Anim. Sci. 71:3020-3029.

Halas, D., C.F. Hansen, D.J. Hampson, B.P. Mullan, J.C. Kim, R.H. Wilson, J.R. Pluske. 2010. Dietary supplementation with benzoic acid improves apparent ileal digestibility of total nitrogen and increases villous height and caecal microbial diversity in weaner pigs. j.anifeedsci, 160:137-147

Jensen, B. B., 2001: Possible ways of modifying type and amount of products from microbial fermentation in gut. In: A. Piva, K. E. Bach Knudsen, J. E. Lindberg(eds), Gut Environment of Pigs. Nottingham University Press, Nottingham.

Kaewtapee, C., N. Krutthai, K. Poosuwan, T. Poeikhampha, S. Koonawootrittriron and C. Bunchasak. 2010. Effect of adding liquid DL-methionine hydroxyl analogue-free acid to drinking water on growth performance and small intestinal morphology of nursery pigs. J. Anim. Physiol. Anim. Nutr. (in press)

Poeikhampha T. and C. Bunchasak. 2011. A dietary sodium gluconate supplement improves growth performance and prebiotic activity in the small intestine of nursery pigs grown under tropical condition. Anim. Pro. Sci. 51(8): 702-707

Poulsen, H.D. 1992. Zinc oxide for weaned pigs. Eleventh Annual Price Feed Ingredient conference. Dublin, Ireland. Appendix 1. Cited by Shell, T.C. and Kornegay. 1996. Zinc concentration in tissue and performance of weaning pigs fed pharmacological level of zinc from ZnO, Zn-methionine, Zn-lysine or $ZnSO_4$. J. Anim. Sci. 74:1584-1593.

Ruppin, H., S. Bar-Meir, K.H. Soergel, C.M. Wood and M.G. Schmitt, Jr. 1980. Absorbption of short-chain fatty acids by the colon. Gastroenterology 78: 1500-1507

SAS. 1988. SAS User's Guide: Statistics. SAS institute Inc., North Carolina.

Torrallardona, D., Badiola, I., Broz, J., 2007. Effects of benzoic acid on performance and ecology of gastrointestinal microbiota in weanling piglets. Livest. Sci.108, 210-213.

Vahjen, W., R. Pieper and J. Zentek. 2011. "High level of dietary zinc oxide change the bacterial core and enterobacterial composition in the ileum of piglets. J. Anim. Sci. published online Mar 7, 2011

Varel, V.H. and W.G. Pond. 1985. Enumeration and activity of cellulolytic bacteria from gestating swine fed various levels of dietary fiber. Appl. Environ. Microbiol. 48: 858. (Abstract)

Wang J. P., J. S. Yoo, J. H. Lee, H. D. Jang, H. J. Kim, S. O. Shin, S. I. Seong and I. H. Kim. 2009. Effects of phenyllactic acid on growth performance, nutrient digestibility, microbial shedding, and blood profile in pigs. J. Anim. Sci. 87: 3235-3243.

Wilt, H.D. and M.S. Carlson. 2009. Effect of supplementing zinc oxide and biotin with or without carbadox on nursery pig performance. J. Anim. Sci. 87: 3253-3258.