

**ผลของการเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟต่อสมรรถภาพการผลิต
ของสุกรแม่พันธุ์และสุกรรุ่น - สุกรขุน**

นายเอกพล ศิริกุล

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ปีการศึกษา 2546

ISBN 974-533-307-7

**EFFECT OF VOLCANIC MINERAL
SUPPLEMENTATION ON PERFORMANCE OF SOWS
AND GROWING - FINISHING PIGS**

Mr. Ekapon Sirikul

**A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science in Animal Production Technology**

Suranaree University of Technology

Academic Year 2003

ISBN 974-533-307-7

ผลของการเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟต่อสมรรถภาพการผลิต
ของสุกรแม่พันธุ์และสุกรรุ่น - สุกรขุน

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้นักวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์



(รองศาสตราจารย์ ดร. พงษ์ชาญ ฌ ลำปาง)

ประธานกรรมการ



(รองศาสตราจารย์ ดร. วิสิษฐพร สุขสมบัติ)

กรรมการ (อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์)



(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ น.ศ. ดร. วัชรวิทย์ ลิขิตเสนาโรจน์)

กรรมการ



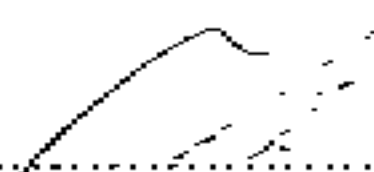
อาจารย์ ดร. ปราโมทย์ มงคลคำ

กรรมการ



(รองศาสตราจารย์ น.ศ. ดร. สราวุธ สุจิตธร)

รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการ



(รองศาสตราจารย์ ดร. อานน พงษ์รักษ์)

คณบดีสำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร

เอกพล ศิริกุล : ผลของการเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟต่อสมรรถภาพการผลิตของสุกรแม่พันธุ์และสุกรรุ่น- สุกรขุน

(EFFECT OF VOLCANIC MINERAL SUPPLEMENTATION ON PERFORMANCE OF SOWS AND GROWING - FINISHING PIGS)

อาจารย์ที่ปรึกษา: รศ. ดร. วิศิษฐ์พร สุขสมบัติ, 129 หน้า. ISBN 974-533-307-7

วิทยานิพนธ์นี้ได้ศึกษาถึงผลของการเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟต่อสมรรถภาพการผลิตของสุกรแม่พันธุ์และ สุกรรุ่น- สุกรขุน ซึ่งแบ่งออกเป็น 3 การทดลอง คือ การทดลองเบื้องต้น ศึกษาถึงส่วนประกอบของแร่ธาตุในหินภูเขาไฟ เพื่อทราบถึงชนิดของแร่ธาตุที่เป็นส่วนประกอบของหินภูเขาไฟและทำการทดสอบคุณสมบัติในการดูดซับสารพิษ aflatoxin B₁ ในห้องปฏิบัติการ โดยใช้วิธีเคมีเพื่อสกัดแร่ธาตุที่เป็นส่วนประกอบของหินภูเขาไฟและวัดปริมาณแร่ธาตุด้วยเครื่อง atomic absorption spectrophotometer ซึ่งจากการวิเคราะห์พบว่าแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟมี แคลเซียม 22.60 g/kg, โพแทสเซียม 80.36 g/kg, แมกนีเซียม 1.92 g/kg, เหล็ก 56.3 g/kg, ทองแดง 200 ppm และ สังกะสี 200 ppm หลังจากนั้นทดสอบคุณสมบัติในการดูดซับสารพิษ aflatoxin B₁ ในห้องปฏิบัติการด้วยเครื่อง high performance liquid chromatography (HPLC) ซึ่งวางแผนการทดลองแบบ completely randomized design (CRD) โดยทดสอบประสิทธิภาพการดูดซับ aflatoxin B₁ ของแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟเปรียบเทียบกับอาหารควบคุม ผลิตภัณฑ์ดูดซับอะลูมิเนียมซิลิเกตทางการค้า 1 และผลิตภัณฑ์ดูดซับอะลูมิเนียมซิลิเกตทางการค้า 2 จากการทดลองพบว่าอาหารที่เสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟมีปริมาณของ aflatoxin B₁ น้อยกว่าอาหารควบคุม - 100 ppb aflatoxin B₁ และผลิตภัณฑ์ดูดซับอะลูมิเนียมซิลิเกตทางการค้า 2 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.001$) โดยมีประสิทธิภาพการดูดซับสารพิษ aflatoxin B₁ เท่ากับ 59.95 ± 4.26 เปอร์เซ็นต์

การทดลองที่ 1 ศึกษาผลของการเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟต่อสมรรถภาพการผลิตของแม่พันธุ์สุกรระยะอุ้มท้องและระยะเลี้ยงลูก โดยใช้สุกรแม่พันธุ์ลูกผสม 12 ตัว (Landrace X Large White) โดยวางแผนการทดลองแบบ CRD แบ่งสุกรเป็น 3 กลุ่มการทดลอง ในแต่ละกลุ่มการทดลอง มี 4 ซ้ำ แต่ละซ้ำมีแม่สุกร 1 ตัว โดยกลุ่มการทดลองที่ 1 เป็นกลุ่มควบคุม กลุ่มการทดลองที่ 2 และกลุ่มการทดลองที่ 3 เสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟ 1.5 และ 3.0 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ จากการทดลองพบว่า การเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟไม่ส่งผลให้ขนาดลูกแรก จำนวนลูกสุกรมี ปริมาณลูกสุกรหย่านมและน้ำหนักลูกสุกรหย่านมแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) และไม่มีผลทำให้น้ำหนักตัวแม่สุกรระหว่างเลี้ยงลูกลดลงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) นอกจากนี้ยังพบว่า การเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟมีผลทำให้จำนวนวันหลังหย่านมถึงผสมของ

สุกรแม่พันธุ์แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยกลุ่มการทดลองที่ 3 มีจำนวนวันหย่านมถึงเป็นสัปดาห์ที่ช้าที่สุดเท่ากับ 3.75 วัน กลุ่มการทดลองที่ 2 นานที่สุดเท่ากับ 5.75 วัน และกลุ่มการทดลองที่ 1 ไม่แตกต่างกับกลุ่มการทดลอง ที่ 2 และ 3 คือ 4.33 วัน

การทดลองที่ 2 เพื่อศึกษาผลของการเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟต่อสมรรถภาพการผลิตปริมาณ nitrogen ในมูลและปริมาณแร่ธาตุใน plasma ของสุกรรุ่น-ขุน (20 - 90 กิโลกรัม) โดยใช้สุกรลูกผสม 24 ตัว (Duroc X Landrace X Large White) วางแผนการทดลอง CRD โดยแบ่งเป็น 3 กลุ่มการทดลอง โดยเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟ 1.5 และ 3.0 เปอร์เซ็นต์ ในกลุ่มการทดลองที่ 2 และ 3 ตามลำดับ ในแต่ละกลุ่มการทดลองมี 4 ซ้ำ แต่ละซ้ำ มีสุกร 2 ตัวเป็นเพศผู้ 1 ตัว เพศเมีย 1 ตัว จากการทดลองพบว่า การเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟไม่ส่งผลต่อ การเจริญเติบโตต่อตัวต่อวัน ปริมาณการกินอาหารต่อวันและประสิทธิภาพการใช้อาหาร ของสุกรทั้งระยะรุ่นและระยะขุน รวมทั้งไม่มีผลทำให้ปริมาณแร่ธาตุใน plasma ของสุกรแตกต่างกัน ($p > 0.05$) อย่างไรก็ตามพบว่า การเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟทำให้ปริมาณ nitrogen ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยกลุ่มควบคุมมีปริมาณ nitrogen ในมูลสูงสุดคือ 1.14 เปอร์เซ็นต์

จากผลการทดลองสรุปได้ว่าแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟที่ได้จากแหล่งในจังหวัดลพบุรี ในประเทศไทย มีแร่ธาตุหลายชนิดเป็นองค์ประกอบ แต่สุกรไม่สามารถนำไปใช้ได้เพราะแร่ธาตุอยู่ในรูปของสารประกอบ oxide ซึ่งสุกรดูดซึมไปใช้ได้น้อย ในด้านสมรรถภาพการผลิตของสุกรพบว่า การเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟในอาหารสุกร ปริมาณ 1.5 เปอร์เซ็นต์ และ 3.0 เปอร์เซ็นต์ ไม่ส่งผลต่อสมรรถภาพการผลิตของสุกรแม่พันธุ์และ สุกรรุ่น-ขุน รวมทั้งไม่ส่งผลต่อปริมาณแร่ธาตุใน plasma แต่แร่ธาตุจากหินภูเขาไฟไม่สามารถลดระดับสารพิษ aflatoxin B₁ ในอาหารและสามารถลดปริมาณ nitrogen ในมูลสุกรได้

สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์

ปีการศึกษา 2546

ลายมือชื่อนักศึกษา.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....

EKAPON SIRIKUL : EFFECT OF VOLCANIC MINERAL SUPPLEMENTATION
ON PERFORMANCE OF SOWS AND GROWING - FINISHING PIGS
THESIS ADVISOR: ASSOC. PROF. WISITIPORN SUKSOMBAT, Ph.D. 129 PP.
ISBN 974-533-307-7

The present thesis aimed to study the effect of volcanic mineral supplementation on performances of sows and growing-finishing pigs. This study comprised 1 pre-experiment and 2 experiment. The pre-experiment was conducted to determine the mineral composition of volcanic mineral and to study the absorption of aflatoxin *in vitro*. The results showed that volcanic mineral contained 22.60 g Ca/kg, 80.36 g K/kg, 1.92 g Mg/kg, 56.3 g Fe/kg, 200 ppm Cu and 200 ppm Zn. The study of the absorption of aflatoxin completely randomized design (CRD) was used. Aflatoxin was extracted from feeds using high performance liquid chromatography (HPLC). The results showed that volcanic mineral has lower aflatoxin B₁ than control and aluminosilicate 2 ($p < 0.001$) and has the absorption efficiency of $59.95 \pm 4.26\%$.

The first experiment was conducted to investigate the effect of volcanic mineral on the performance of sows. Twelve sows (Landrace x Large White) were randomly assigned into three treatment groups [4 sows (replication) in each treatment]. The first treatment was fed 0% volcanic mineral while the second treatment was fed 1.5% volcanic mineral and the third treatment was fed 3.0% volcanic mineral. The experimental design was a completely randomized design (CRD). The three groups of sows consumed similar amount of feed and similar litter size, number of born alive, number of weaning pig, weaning weight and body weight loss ($p > 0.05$). However day from weaning to mating was improved by feeding diets containing 3.0 % volcanic mineral ($p < 0.05$).

The second experiment was conducted to investigate the effect of feeding volcanic mineral on performance of growing-finishing pigs. Twenty-four (Duroc x Landrace x Large White) pigs, with averaging 21.65 ± 0.334 kg body weights, were randomly allocated into three treatment groups [four replications (2 pigs in each replication) each treatment]. The first treatment was fed 0% volcanic mineral while the

second treatment was fed 1.5% volcanic mineral and the third treatment fed 3.0% volcanic mineral. The experimental design was a completely randomized design (CRD). The overall trial (20-90 kg) average daily gain (ADG), average daily feed intake (ADFI), gain/feed (G:F), digestible energy intake, crude protein intake, lysine intake and plasma mineral were unaffected by supplementation of volcanic mineral in the diet, but feces nitrogen was decrease by feeding diets containing volcanic mineral ($p<0.05$).

It can be concluded in this experimental that volcanic mineral from Lopburi State in Thailand contains many minerals. However, it was not utilized by pigs since many minerals are in the form of oxide which pigs may absorb less mineral. For the performance of pigs, 1.5 and 3.0% volcanic mineral supplementation of the diets for sows and growing-finishing pigs did not increase pig's performance and plasma mineral, but volcanic mineral can effectively reduce aflatoxin B₁ in diets and nitrogen in feces.

School of Animal Production Technology
Academic Year 2003

Student's Signature.....

Advisor's Signature.....

Co-advisor's Signature.....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร.วิศิษฐ์พร สุขสมบัติ ประธานกรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ควบคุมการวิจัย ที่ได้กรุณาสละเวลามาให้คำปรึกษา แนะนำแนวคิดในการดำเนินการวิจัย การแก้ปัญหาต่างๆ อันเป็นประโยชน์ทั้งในด้านวิชาการ และด้านการดำเนินงานวิจัย และได้สนับสนุนค่าใช้จ่ายต่างๆ ในการวิจัย และกรุณาให้ทำงานเป็นผู้ช่วยสอน ทำให้มีค่าใช้จ่ายในระหว่างที่กำลังศึกษา ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ บุคคลและกลุ่มบุคคลต่างๆ ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษา แนะนำ ช่วยเหลืออย่างดียิ่ง ทั้งในด้านวิชาการ และด้านการดำเนินการวิจัย

ขอกราบขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ น.สพ.ดร.บัญชา ลิขิตเดชาโรจน์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ให้คำแนะนำและตรวจแก้วิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร.กนก ผลารักษ์ คณบดีสำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร ที่ให้คำแนะนำต่างๆ ที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่ง

ขอขอบคุณพี่ บุคลากรประจำอาคารเครื่องมือต่างๆ ที่ได้ให้ความช่วยเหลือในการใช้อุปกรณ์ และเครื่องมือต่างๆ ในการทำวิจัยครั้งนี้

ขอขอบคุณพี่ พิพัฒน์ เหลืองลาวัณย์ และเพื่อนๆ ที่ร่วมเรียนระดับบัณฑิตศึกษารวมถึงนางสาวณัฐธิดา จันทรแดง ผู้ช่วยวิจัย ที่ให้กำลังใจและให้ความช่วยเหลือในการดำเนินการวิจัยครั้งนี้ รวมถึงบริษัท เอ. พี. อานุกาพการเกษตร จำกัด ซึ่งสนับสนุนผลิตภัณฑ์และค่าใช้จ่ายบางส่วน

ท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณบิดามารดา ที่ให้การเลี้ยงดูอบรมและส่งเสริมการศึกษาเป็นอย่างดีมาตลอด จนทำให้ข้าพเจ้าประสบความสำเร็จในชีวิตตลอดมา

เอกพล ศิริกุล

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ (ภาษาไทย)	ก
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ)	ค
กิตติกรรมประกาศ	จ
สารบัญ	ฉ
สารบัญตาราง	ญ
สารบัญภาพ	ฎ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย	2
1.3 สมมติฐานงานวิจัย	2
1.4 คำจำกัดความที่ใช้ในงานวิจัย	3
1.5 ขอบเขตการวิจัย	3
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 แร่ธาตุจากหินภูเขาไฟ (volcanic mineral)	4
2.1.1 คำจำกัดความของแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟ	4
2.1.2 ลักษณะทั่วไปทางธรณีวิทยาของแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟ	4
2.1.3 คุณสมบัติที่สำคัญของหินภูเขาไฟ	5
2.1.3.1 คุณสมบัติในการดูดซับ	6
2.1.3.2 คุณสมบัติในการแลกเปลี่ยนประจุ	7
2.2 แร่ธาตุที่เป็นส่วนประกอบในหินภูเขาไฟที่จำเป็นต่อการดำรงชีวิตของสุกร	8
2.3 งานวิจัยแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟในสุกร	11
2.3.1 ผลของการเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟต่อสมรรถภาพการผลิตของสุกรแม่พันธุ์	12
2.3.2 ผลของการเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟต่อสมรรถภาพการผลิตของสุกรขุน	12

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.3.3 ผลของสารพิษ aflatoxin ในสุกร	13
2.3.4 ผลของการเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟต่อการลดความเป็นพิษของ aflatoxin	14
2.3.5 คุณสมบัติในการลดมลภาวะ ของแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟในอาหารสุกร	16
2.4 ความต้องการแร่ธาตุของสุกร	17
2.5 ความต้องการพลังงานของสุกร	20
2.5.1 สุกรอ้วนท้อง	21
2.5.2 สุกรเลี้ยงลูก	21
2.5.3 สุกรขุน	22
2.6 ความต้องการโปรตีนของสุกร	22
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย	25
3.1 การทดลองเบื้องต้น (Pre-experiment)	25
3.1.1 ศึกษาถึงส่วนประกอบของแร่ธาตุในหินภูเขาไฟ	25
3.1.2 การทดสอบคุณสมบัติในการดูดซับสารพิษ aflatoxin ในห้องปฏิบัติการ (<i>in vitro</i>)	25
3.2 การทดลองที่ 1 เพื่อศึกษาผลของการเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟต่อสมรรถภาพการผลิตของแม่พันธุ์สุกรระยะอ้วนท้องและระยะเลี้ยงลูก	26
3.3 การทดลองที่ 2 เพื่อศึกษาผลของการเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟต่อสมรรถภาพการผลิต ปริมาณ nitrogen ในมูลและปริมาณแร่ธาตุใน plasma ของสุกรรุ่น-ขุน (20-90 กิโลกรัม)	27
3.4 ตัวแปรที่ทำการวิจัย	28
3.5 การวิเคราะห์ทางสถิติ	29
3.6 สถานที่ทำการทดลอง	29
3.7 ประชากร	29
3.8 ระยะเวลาในการทดลอง	29
บทที่ 4 ศึกษาแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟ เพื่อทราบถึงชนิดของแร่ธาตุที่เป็นส่วนประกอบของหินภูเขาไฟและทำการทดสอบคุณสมบัติในการดูดซับสารพิษ aflatoxin	32

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.1 คำนำ	32
4.2 วัตถุประสงค์	32
4.3 อุปกรณ์และวิธีการ	33
4.4 การวิเคราะห์ข้อมูล	34
4.5 สถานที่ทำการทดลอง	34
4.6 ระยะเวลาทำการทดลอง	34
4.7 ผลการทดลอง	34
4.8 วิเคราะห์ผลการทดลอง	36
4.9 สรุปผลการทดลอง	38
บทที่ 5 ศึกษาผลของการเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟต่อสมรรถภาพการผลิตของแม่พันธุ์	39
สุกรระยะอุ้มท้องและระยะเลี้ยงลูก	
5.1 คำนำ	39
5.2 วัตถุประสงค์	39
5.3 อุปกรณ์และวิธีการ	40
5.3.1 การจัดการแม่สุกรสำหรับทดลองและการให้อาหาร	40
5.3.2 วิธีการทดลองและเก็บข้อมูล	40
5.4 การวิเคราะห์ข้อมูล	41
5.5 สถานที่ทำการทดลอง	41
5.6 ระยะเวลาทำการทดลอง	41
5.7 ผลการทดลอง	41
5.8 วิเคราะห์ผลการทดลอง	45
5.9 สรุปผลการทดลอง	48
บทที่ 6 ศึกษาผลของการเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟต่อสมรรถภาพการผลิต ปริมาณ	49
nitrogen ในมูลและปริมาณแร่ธาตุใน plasma ของสุกรรุ่น-ขุน (20-90 กิโลกรัม)	
6.1 คำนำ	49
6.2 วัตถุประสงค์	49
6.3 อุปกรณ์และวิธีการ	50
6.3.1 การจัดสุกรรุ่น-ขุน สำหรับการทดลองและการให้อาหาร	50

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

6.4 การวิเคราะห์ข้อมูล	50
6.5 สถานที่ทำการทดลอง	51
6.6 ระยะเวลาทำการทดลอง	51
6.7 ผลการทดลอง	51
6.8 วิจัยรณัผลการทดลอง	60
6.9 สรุปผลการทดลอง	64
บทที่ 7 สรุปผลการทดลอง	65
รายการอ้างอิง	68
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก	74
ภาคผนวก ข	78
ภาคผนวก ค	87
ภาคผนวก ง	91
ประวัติผู้เขียน	129

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	แสดงแร่ธาตุที่เป็นส่วนประกอบของแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟ	5
2.2	แสดงผลของการเสริม zeolite 0.3% และ clinoptilolite 0.5% ในสูตรอาหารของ สุกร	12
2.3	แสดงผลของการเสริม clinoptilolite ในอาหารสุกร	13
2.4	แสดงผลกระทบของสารพิษ aflatoxin ต่อ สมรรถภาพของสุกร	14
2.5	แสดงการศึกษาเปรียบเทียบผลการใช้ hydrated sodium calcium aluminosilicate เปรียบเทียบกับ zeolite ชธรรมชาติ และ sodium bentonite	15
2.6	แสดงผลของการเสริม mordenite ต่อของเสียที่เป็นของเหลวในฟาร์มสุกร	16
2.7	แสดงความต้องการแร่ธาตุของสุกรในช่วงต่าง ๆ	18
2.8	แสดงความต้องการพลังงานของสุกรในระยะต่าง ๆ	22
2.9	แสดงความต้องการของโปรตีนของสุกรระยะต่างๆ	23
2.10	แสดงสัดส่วนของ ideal protein เพื่อการดำรงชีวิต (maintenance) สังเคราะห์น้ำ นม (milk synthesis) สังเคราะห์กล้ามเนื้อ (body tissue) และ การสะสมโปรตีน (protein accretion)	24
3.1	แสดงส่วนประกอบของอาหารสุกรระยะต่างๆ	30
3.2	แสดงส่วนประกอบของ premix ของสุกรระยะต่างๆ	31
4.1	แสดงปริมาณแร่ธาตุที่เป็นส่วนประกอบของแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟด้วยเครื่อง atomic absorption spectrophotometer	35
4.2	แสดงผลการดูดซับปริมาณสารพิษ aflatoxin B ₁ ของสารประเภท aluminosilicate จากแหล่งต่างๆ	35
4.3	แสดงประสิทธิภาพการดูดซับสารพิษ aflatoxin B ₁ ของสารประเภท aluminosilicate จากแหล่งต่างๆ	36
5.1	แสดงโภชนะที่เป็นส่วนประกอบของอาหารแม่สุกรอู้มท้อง	42
5.2	แสดงโภชนะที่เป็นส่วนประกอบของอาหารแม่สุกรเลี้ยงลูก	42
5.3	แสดงปริมาณแร่ธาตุที่แม่สุกรอู้มท้องได้รับจากอาหารต่อตัวต่อวัน	43
5.4	แสดงปริมาณแร่ธาตุที่แม่สุกรเลี้ยงลูกได้รับจากอาหารต่อตัวต่อวัน	44

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
5.5	แสดงผลของการเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟในอาหารต่อประสิทธิภาพการผลิตของแม่สุกร	45
6.1	แสดงลักษณะที่เป็นส่วนประกอบของอาหารสุกรรุ่น (20 - 60 กิโลกรัม)	52
6.2	แสดงลักษณะที่เป็นส่วนประกอบของอาหารสุกรขุน (60 - 90 กิโลกรัม)	52
6.3	แสดงปริมาณแร่ธาตุที่สุกรรุ่น (20 - 60 กิโลกรัม) ได้รับจากอาหารต่อตัวต่อวัน	53
6.4	แสดงปริมาณแร่ธาตุที่สุกรขุน (60 - 90 กิโลกรัม) ได้รับจากอาหารต่อตัวต่อวัน	53
6.5	แสดงผลของการเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟ ต่อปริมาณการกินอาหารของสุกรต่อตัวต่อวัน (Average Daily Feed Intake, ADFI, กรัม) ระยะรุ่น - ขุน (20 - 90 กิโลกรัม)	54
6.6	แสดงผลของการเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟต่อการเจริญเติบโตของสุกรต่อตัวต่อวัน (Average Daily Gain, ADG, กรัม) ระยะรุ่น - ขุน (20 - 90 กิโลกรัม)	55
6.7	แสดงผลของการเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟต่อประสิทธิภาพการใช้อาหารของสุกร (Gain : Feed, G:F) ระยะรุ่น - ขุน (20 - 90 กิโลกรัม)	56
6.8	แสดงผลของการเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟ ต่อปริมาณพลังงานย่อยได้ (digestible energy, DE, kcal/กิโลกรัม) ที่สุกรระยะรุ่น - ขุน (20 - 90 กิโลกรัม) ได้รับจากอาหารต่อตัวต่อวัน	57
6.9	แสดงผลของการเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟ ต่อปริมาณโปรตีน (crude protein, กรัม) ที่สุกรระยะรุ่น - ขุน (20 - 90 กิโลกรัม) ได้รับจากอาหารต่อตัวต่อวัน	58
6.10	แสดงผลของการเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟ ต่อปริมาณ Lysine (กรัม) ที่สุกรระยะรุ่น - ขุน (20 - 90 กิโลกรัม) ได้รับจากอาหารต่อตัวต่อวัน	59
6.11	แสดงผลของการเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟต่อปริมาณแร่ธาตุใน plasma ของสุกร	59
6.12	แสดงปริมาณ nitrogen ในมูลสุกร	60

สารบัญรูปลูกภาพ

รูปที่		หน้า
2.1	แสดงแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟชนิดต่างๆ	6
2.2	แสดงโครงสร้างที่เป็นโครงข่ายแบบเปิดของแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟ	7
2.3	แสดงคุณสมบัติในการแลกเปลี่ยนประจุของแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟ	7
2.4	แสดงการจับตัวระหว่างหมู่ไดคาร์บอนิล (dicarbonyl) ของ aflatoxin กับผิวของแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟ	15
2.5	แสดงปฏิสัมพันธ์ระหว่างแร่ธาตุแต่ละชนิด	29

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในการเลี้ยงสุกรให้ประสบผลสำเร็จนั้นผู้เลี้ยงต้องคำนึงถึงปัจจัยต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นพันธุ์สัตว์ การจัดการดูแลสุขภาพ การป้องกันโรค การจัดการด้านอาหารและที่สำคัญคืออาหารต้องเป็นอาหารที่มีโภชนะครบถ้วนอีกทั้งสุกรต้องสามารถนำสารอาหารไปใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากโภชนะประเภท โปรตีน (protein), คาร์โบไฮเดรต (carbohydrate) และ ไขมัน (fat) แล้วแร่ธาตุก็เป็นสารอาหารที่สุกรต้องการเพื่อให้กระบวนการ metabolism และขบวนการทางชีวเคมี (biochemical reaction) ในร่างกายเป็นไปตามปกติเพื่อให้สุกรสามารถดำรงชีวิต (maintenance) เจริญเติบโต (growth) ให้ผลผลิต (production) และสืบพันธุ์ (reproduction) อย่างมีคุณภาพ (McDowell, 1992) โดยปกติวัตถุดิบอาหารสัตว์มีแร่ธาตุเป็นส่วนประกอบอยู่แล้ว แต่มีปริมาณไม่เพียงพอความต้องการของร่างกายสุกรจึงต้องมีการเสริมแร่ธาตุในรูปของสารผสมล่วงหน้า (premix) ผสมลงในอาหารสุกรเพื่อป้องกันการขาดแร่ธาตุหรือเพื่อปรับปรุงสมรรถภาพการผลิต แต่แร่ธาตุในรูปของสารผสมล่วงหน้านั้นต้องนำเข้าจากต่างประเทศและมีราคาสูง นักวิจัยจึงแสวงหาวิธีลดต้นทุนในส่วนนี้โดยการหาแหล่งแร่ธาตุที่มีอยู่ในประเทศมาใช้ผลิตอาหารสุกร แหล่งแร่ธาตุที่ใช้กันมากในปัจจุบันคือ หินปูน กระดุกป่นและการเสริมในรูปของสารประกอบทั้ง oxide และ sulphate (NRC, 1998) แร่ธาตุจากหินภูเขาไฟ (volcanic mineral) จัดเป็นแหล่งของแร่ธาตุที่น่าสนใจอีกชนิดหนึ่งเพราะมีแร่ธาตุต่างๆ เป็นส่วนประกอบเช่น SiO_2 , K_2O , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO , MgO , Cu และ Zn Cool and Willard (1982) รายงานว่าการเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟ (clinoptilolite) สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการใช้อาหารของสุกร 34 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ยังพบว่าการเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟ (zeolite) สามารถทำให้สุกรมีน้ำหนักตัวสูงขึ้น ทำให้ค่าพลังงานใช้ประโยชน์ได้ (Metabolisable energy, ME) เพิ่มขึ้นและมีปริมาณ nitrogen ในมูลลดลง (Halmagean et al, 1990; Gunther, 1992) นอกจากนี้แร่ธาตุจากหินภูเขาไฟยังมีความสมบัติในการดูดซับสารพิษ aflatoxin และลดกลิ่นในมูลของสุกร (นวลจันทร์ และคณะ, 2536; Uygongco et al, www, 2003) จึงเป็นที่น่าสนใจว่านอกจากคุณสมบัติในด้านอื่นๆ แล้ว แร่ธาตุจากหินภูเขาไฟนั้นสามารถนำมาใช้เป็นแหล่งแร่ธาตุในอาหารสุกรระยะต่างๆ ได้หรือไม่ ดังนั้นในการวิจัยครั้งนี้จึงแบ่งประเด็นสำคัญของการวิจัยออกเป็น 2 ประเด็น ประเด็นแรกสนใจถึงชนิดของแร่ธาตุที่เป็นองค์ประกอบของแร่

ธาตุจากหินภูเขาไฟ รวมทั้งคุณสมบัติในการดูดซับสารพิษ aflatoxin และการลด nitrogen ในมูล ประเด็นที่สองเมื่อรู้ถึงส่วนประกอบของแร่ธาตุแล้วจึงทำการทดสอบว่าเมื่อเสริมแร่ธาตุจากหิน ภูเขาไฟในอาหารสุกรแล้ว สามารถเพิ่มสมรรถภาพการผลิตของสุกรได้หรือไม่ ดังนั้นในการวิจัยนี้ จึงแบ่งการทดลองออกเป็น 3 การทดลองคือ 1. การทดสอบเบื้องต้นเพื่อทราบถึงแร่ธาตุที่เป็นส่วน ประกอบ คุณสมบัติในการดูดซับสารพิษ aflatoxin B₁ ของหินภูเขาไฟที่ใช้ในการทดลอง 2. การทดลองในสุกรแม่พันธุ์เพื่อศึกษาสมรรถภาพการผลิตของสุกรแม่พันธุ์เมื่อมีการเสริมแร่ธาตุ จากหินภูเขาไฟ 3. การทดลองเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟในอาหารสุกรรุ่น - ขุน (20-90 กิโลกรัม) เพื่อดูสมรรถภาพการผลิตและผลต่อปริมาณ nitrogen ในมูล หากผลการศึกษพบว่าแร่ธาตุจากหิน ภูเขาไฟที่ใช้สามารถเพิ่มสมรรถภาพการผลิตของสุกรได้ในระดับที่น่าพอใจ ก็จะเป็นประโยชน์ ต่อเกษตรกรผู้เลี้ยงสุกร ในการลดต้นทุนการผลิตนอกจากนี้ยังช่วยลดมลพิษจากกลิ่นที่เกิดจาก ฟาร์มสุกรได้

1.2 วัตถุประสงค์งานวิจัย

1. เพื่อทราบถึงแร่ธาตุที่เป็นส่วนประกอบของหินภูเขาไฟ (volcanic mineral)
2. เพื่อทราบถึงคุณสมบัติด้านการดูดซับสารพิษ aflatoxin ของแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟ
3. เพื่อทราบถึงผลของการเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟต่อสมรรถภาพการผลิตของสุกร แม่พันธุ์ โดยทำการศึกษถึง จำนวนลูกสุกรต่อครอก น้ำหนักแรกเกิดและน้ำหนักหย่านม ของลูกสุกร ปริมาณการตายของลูกสุกร น้ำหนักที่สูญเสียของแม่สุกรระหว่างเลี้ยงลูกและ จำนวนวันจากหย่านมถึงเป็นสัด
4. เพื่อทราบถึงผลของการเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟต่อสมรรถภาพการผลิต ของสุกรระยะ รุ่น-ขุน โดยทำการศึกษถึงอัตราการเจริญเติบโตต่อวัน ปริมาณอาหารที่กินต่อวัน และ ประสิทธิภาพในการใช้อาหาร
5. เพื่อทราบถึงผลของการเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟต่อการลดปริมาณ nitrogen ในมูลสุกร

1.3 สมมติฐานของการวิจัย

1. แร่ธาตุจากหินภูเขาไฟสามารถใช้เป็นแหล่งของแร่ธาตุในการประกอบอาหารของสุกรได้
2. การเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟสามารถดูดซับสารพิษ aflatoxin ได้
3. การเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟสามารถทำให้สมรรถภาพการผลิตของสุกรแม่พันธุ์สูงขึ้น

4. การเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟสามารถทำให้สมรรถภาพการผลิต ของสุกรระยะรุ่น-ขุน สูงขึ้น
5. การเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟสามารถทำให้ปริมาณ nitrogen ในมูลสุกรลดลง

1.4 คำจำกัดความที่ใช้ในงานวิจัย

Volcanic Mineral, Sows, Growing Pigs, Finishing Pigs, Pig Performances, Aflatoxin, Nitrogen

1.5 ขอบเขตของการวิจัย

การวิจัยในครั้งนี้ได้มุ่งเน้นศึกษาถึงผลของการเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟ เพื่อใช้เป็น แหล่งของแร่ธาตุของสุกรแม่พันธุ์และ สุกรรุ่น-ขุน โดยดูจากสมรรถภาพการผลิตของสุกรเป็นหลัก ร่วมกับการศึกษาถึงผลของการเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟต่อการดูดซับสารพิษ aflatoxin B₁ และการลดปริมาณ nitrogen ในมูลสุกร

1.6 ประโยชน์ที่ได้รับจากงานวิจัย

1. ทราบถึงชนิดและปริมาณของแร่ธาตุที่เป็นส่วนประกอบของหินภูเขาไฟ
2. ทราบถึงประสิทธิภาพของหินภูเขาไฟ ในการดูดซับสารพิษ aflatoxin B₁
3. ทราบถึงปริมาณที่เหมาะสมในการเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟ ในอาหารสุกรแม่พันธุ์และ สุกรรุ่น-ขุน
4. ทราบถึงผลของการเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟ ต่อสมรรถภาพการผลิตของสุกรแม่พันธุ์
5. ทราบถึงผลของการเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟ ต่อสมรรถภาพการผลิต ของสุกรระยะรุ่น-ขุน
6. ทราบถึงผลของการเสริมหินภูเขาไฟต่อการลดปริมาณ nitrogen ในมูลสุกร

บทที่ 2

วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 แร่ธาตุจากหินภูเขาไฟ (volcanic mineral)

แร่ธาตุจากหินภูเขาไฟ (volcanic mineral) เกิดจากขบวนการ hydrothermal ของสารละลายใต้ผิวโลกที่มีองค์ประกอบของอะลูมิเนียม (Al), ซิลิกอน (Si) และ สภาวะที่เป็นเบสอย่างแรงที่เกิดจากการชะล้างของน้ำฝนผ่านชั้นหินลงมาภายใต้อุณหภูมิและความดันสูงเป็นเวลานาน นอกจากนี้แร่ธาตุจากหินภูเขาไฟยังประกอบด้วย ion บวกหลายชนิด เช่น โพแทสเซียม (K^+), แคลเซียม (Ca^{2+}), เหล็ก (Fe^{2+}) ฯลฯ (มุสดี, 2537) เพิ่มพูน (2528) รายงานว่าการเกิดแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟ (สารประเภท aluminosilicates) ในธรรมชาติเกิดจากการสลายตัวของแร่ปฐมภูมิ (primary mineral) ซึ่งได้จากการเย็นตัวของของเหลวภายในใจกลางโลก หรือเป็นแร่ที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นมาใหม่จากส่วนประกอบที่ได้จากการสลายตัวของแร่ธาตุต่างๆ โดยเกิดขบวนการทางเคมีทำให้องค์ประกอบเดิมของแร่เปลี่ยนไป กลายเป็นหินแร่ชนิดใหม่ที่มีการคงทนต่อการสลายตัวมากขึ้นและพบมากในหินตะกอน แร่ธาตุจากหินภูเขาไฟนั้นถูกสำรวจพบมากกว่า 40 ชนิดแต่ที่นิยมนำมาใช้ในการผลิตสัตว์มีอยู่ 2 ชนิดด้วยกันคือ zeolite และ clinoptilolite ซึ่งแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟที่ได้จากแหล่งที่ต่างกันจะมีแร่ธาตุที่เป็นส่วนประกอบต่างกันด้วย ดังแสดงในตารางที่ 1

2.1.1 คำจำกัดความของแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟ

1. เป็นกลุ่มแร่ hydrous aluminosilicates ที่มี Na, Ca หรือ K เป็นส่วนประกอบ มีอัตราส่วน $Al+Si : O$ (ในโครงสร้าง silicates) เท่ากับ 1 : 2 แร่กลุ่มนี้มีความสามารถรับหรือปล่อยน้ำออกจากโครงสร้างได้ง่าย ลักษณะสำคัญอีกประการหนึ่งของแร่กลุ่มนี้คือ พบเป็นแร่ที่เกิดกับที่ (authigenic mineral) อยู่ในหินตะกอนที่เกิดในทะเลสาบน้ำเค็มในทะเลลึก โดยเฉพาะ หินทัฟฟ์ (tuft) ผลึกสมบูรณ์พบอยู่ในโพรงหินบะซอลต์ (basalt)

2. สาร silicates ธรรมชาติ เช่น กลอโคไนด์ หรือสารสังเคราะห์จำพวก aluminosilicates ที่นำไปใช้ในการทำน้ำที่มีความกระด้างให้เป็นน้ำอ่อนและใช้ดูดซึมก๊าซต่างๆ หรือทำให้สารแห้งตัวเร็วขึ้น

2.1.2 ลักษณะทั่วไปทางธรณีวิทยาของแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟ

หินโดยปกติแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟจะมีสีขาว แต่อาจมีสีอื่นเช่น ชมพู น้ำตาล แดง เหลือง หรือเขียวเจือปนอยู่ด้วย (รูปที่ 2.1) มีความแข็งปานกลาง มีค่าแรงโน้มถ่วงจำเพาะต่ำเนื่องจากโครง

สร้างที่เป็นโครงข่ายแบบเปิด (รูปที่ 2.2) (Parker, 1984)

ตารางที่ 2.1 แสดงแร่ธาตุที่เป็นส่วนประกอบของแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟ

องค์ประกอบ	zeolite ^a	องค์ประกอบ	แร่ธาตุจาก หินภูเขาไฟ ^b	แร่ธาตุจาก หินภูเขาไฟ ^c	แร่ธาตุจาก หินภูเขาไฟ ^d
Si (%)	33.7	SiO ₂ (%)	65.85	69.93	68.44
Al (%)	7.43	Al ₂ O ₃ (%)	10.46	11.89	11.86
K (%)	1.54	K ₂ O (%)	9.70	3.47	2.14
Fe (%)	5.28	Fe ₂ O ₃ (%)	8.01	0.02	0.46
Ca (%)	0.48	CaO (%)	3.19	1.07	3.26
Mg (%)	0.55	MgO (%)	0.32	0.47	0.12
Na (%)	0.57	Na ₂ O	-	2.96	1.51
S (ppm)	445	MnO (%)	0.20	-	-
P (ppm)	410	Cl (%)	0.09	-	-
Mn (ppm)	245	Cu (%)	0.02	-	-
		Zn (%)	0.02	-	-
		Cr (ppm)	51	-	-
		Mo (ppm)	28	-	-

^a ผู้วิเคราะห์คือ กองวิเคราะห์ดิน กรมพัฒนาที่ดิน บางเขน กรุงเทพมหานคร โดยวิธี X-ray fluorescence analyses (ผุสดี, 2537)

^b ผู้วิเคราะห์คือ ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี โดยวิธี X-ray fluorescence analyses (Oxford: Geol. Majors + Traces)

^{c, d} คือแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟของ USA. (Mineral Data Publishing, www, 2001)

2.1.3 คุณสมบัติที่สำคัญของหินภูเขาไฟ

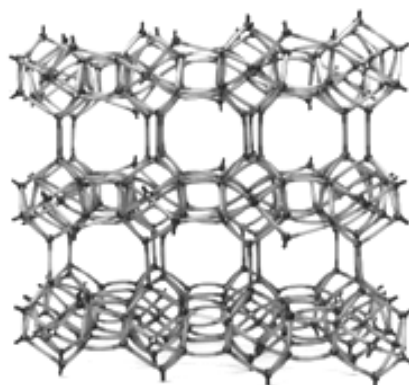
จากการวิเคราะห์องค์ประกอบของแร่ธาตุ (ตารางที่ 2.1) พบว่าแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟจัดอยู่ในแร่จำพวกอะลูมิโนซิลิเกต (aluminosilicate) ซึ่งแร่จำพวกนี้มีโครงสร้างของ อะลูมิเนียมออกไซด์ (Al₂O₃) และซิลิกอนออกไซด์ (SiO₂) เป็นแบบ tetrahedral การจับกันของอะลูมิเนียมออกไซด์และซิลิกอนออกไซด์ ทำให้เกิดโครงสร้างได้หลายรูปแบบ โดยโครงสร้างที่เกิดขึ้นเป็น

โครงสร้างแบบเปิด (รูปที่ 2.2) มีโมเลกุลของน้ำอยู่ในช่องว่างของผลึก (Isaccs et al., 1988) ซึ่งทำให้เกิดคุณสมบัติที่สำคัญ 2 คุณสมบัติคือ

2.1.3.1 คุณสมบัติในการดูดซับ (absorption properties) โดยปกติช่องว่างภายในผลึกของแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟจะมีโมเลกุลของน้ำรวมกันอยู่ โดยมีประจุบวกชนิดต่างๆ ที่พร้อมจะเกิดการแลกเปลี่ยนกระจายอยู่รอบๆ เมื่อได้รับความร้อนน้ำภายในช่องว่างจะระเหยออกไปทำให้ช่องว่างภายในมีเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กลง ประจุหรือโมเลกุลอื่นที่มีขนาดพอดีจะผ่านเข้ามาในช่องว่างและถูกจับไว้ การที่แร่ธาตุจากหินภูเขาไฟมีคุณสมบัติในการจับประจุหรือโมเลกุลของสารที่มีขนาดเหมาะสมกับช่องว่างดังกล่าว จึงเรียกแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟว่าเป็นตระแกรงโมเลกุล (molecular sieves) (Isaccs et al., 1988) และเนื่องจากภายในผลึกของแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟมีช่องว่างเป็นจำนวนมาก ทำให้แร่ธาตุจากหินภูเขาไฟ 1 กรัม มีพื้นที่ผิวที่สารดูดซับได้หลายร้อยตารางเมตร Parker (1984) รายงานว่าแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟที่ปราศจากน้ำสามารถดูดซับของเหลวอื่นๆ เช่น nitrogen, alcohol และ hydrogensulfide

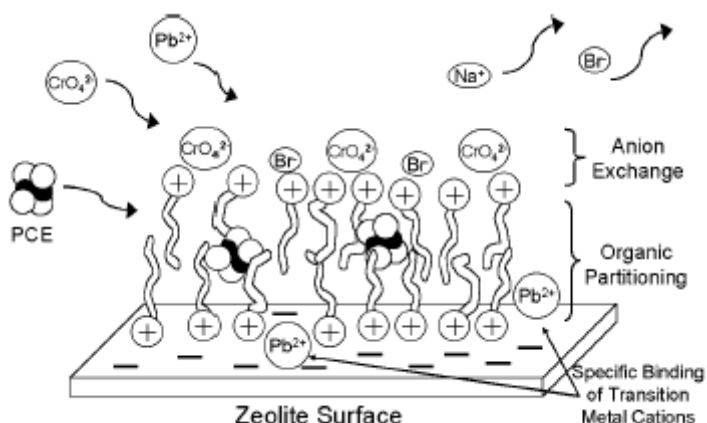


รูปที่ 2.1 แสดงแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟชนิดต่างๆ (Italian Natural Zeolite Quarries, www, 2003)



รูปที่ 2.2 แสดงโครงสร้างที่เป็นโครงข่ายแบบเปิดของแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟ (clinoptilolite)
(Bowman et al., 2000)

2.1.3.2 คุณสมบัติในการแลกเปลี่ยนประจุ (ion-exchange properties) ในแร่ธาตุ
จากหินภูเขาไฟประจุบวกที่สามารถแลกเปลี่ยนได้โดยจะจับที่โครงสร้าง tetrahedral ด้วยพันธะ
หลวมๆ ถูกแทนที่ได้ง่ายด้วยการชะล้างด้วยสารละลายเข้มข้นของประจุชนิดอื่น ความจุในการ
แลกเปลี่ยนประจุขึ้นกับจำนวนอะลูมิเนียม ที่เข้ามาทดแทนซิลิกอนซึ่งทำให้เกิดประจุลบบน
โครงสร้างขึ้น จึงต้องการประจุบวกเพื่อทำให้เกิดสภาพเป็นกลางทางไฟฟ้า โดยประจุบวกส่วน
ใหญ่มักเป็นธาตุหมู่ที่ 1 และหมู่ที่ 2 ในตารางธาตุ (alkali and alkaline earth cation) เช่น Na^+ K^+
 Ca^{2+} Sr^{2+} และ Ba^{2+} ความจุในการแลกเปลี่ยนประจุยังขึ้นอยู่กับปัจจัยอื่นอีกหลายประการ เช่น ชนิด
ของประจุบวก ความสามารถในการประจุในการเข้าจับในตำแหน่งที่ถูกต้องเป็นต้น คุณสมบัติ
ดังกล่าวของแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟจะแตกต่างจากตัวแลกเปลี่ยนประจุที่ไม่ใช่พอลิเมอร์ เช่น organic
resins หรือ inorganic aluminosilicate gels



รูปที่ 2.3 แสดงคุณสมบัติในการแลกเปลี่ยนประจุกับแร่ธาตุชนิดต่างๆ ของแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟ
(Bowman et al., 2000)

จากรูปโครงสร้างที่เป็นผลึกของแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟทำให้เกิดการแข่งขันของ ตัวอย่าง ลำดับความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุของ clinoptilolite ซึ่งเป็น zeolite ในธรรมชาติชนิดหนึ่งเป็นดังนี้ $Cs > Rb > K > NH_4^+ > Ba > Sr > Na > Ca > Fe > Al > Mg > Li$ ความสามารถในการเลือกจับแอมโมเนียมไอออน (NH_4^+) นำมาใช้ประโยชน์ในกระบวนการแลกเปลี่ยนประจุสำหรับเคลื่อนย้ายแอมโมเนีย nitrogen จากของเสียจากฟาร์มเลี้ยงสัตว์ (พงศธร, 2537)

2.2 แร่ธาตุที่เป็นส่วนประกอบของหินภูเขาไฟที่จำเป็นต่อการดำรงชีวิตของสุกร

นอกจากคุณสมบัติดังกล่าวข้างต้น แร่ธาตุจากหินภูเขาไฟยังมีส่วนประกอบที่เป็นแร่ธาตุที่จำเป็นต่อการดำรงชีวิตของสุกร คือ Ca, P, Na, S, Cr, K, Mg, Cu, Fe, Zn, Cl และ Mn (ตารางที่ 2.1) ซึ่งแร่ธาตุแต่ละชนิดจะมีความสำคัญแตกต่างกันออกไป ซึ่งเมทาโบลิซึมของแร่ธาตุแต่ละชนิดสามารถรวบรวมได้ดังนี้

Calcium (Ca) และ Phosphorus (P) เป็นแร่ธาตุที่มีความสัมพันธ์กันมาก ร่างกายสุกรมี Ca และ P ประมาณ 70 เปอร์เซ็นต์ สำหรับในกระดูกมี Ca และ P ประมาณ 90 เปอร์เซ็นต์ ของแร่ธาตุทั้งหมดโดยมีหน้าที่หลักในการดำรงชีวิตที่เกี่ยวข้องกับโครงสร้างของกระดูก ซึ่ง Ca ในกระดูกจะอยู่ในรูปของ calcium phosphate เป็นส่วนใหญ่ นอกจากนี้ Ca ยังมีหน้าที่เกี่ยวกับการแข็งตัวของเลือด ช่วยรักษาสภาวะความเป็นกรดเป็นด่างของร่างกายและยังมีความจำเป็นต่อการทำงานของระบบประสาท ทำให้ระบบประสาททำงานได้อย่างปกติ ส่วน P นั้นนอกจากจะเป็นส่วนประกอบของกระดูกแล้วยังเป็นส่วนประกอบของ DNA และ RNA เป็นส่วนประกอบของเอนไซม์และสารอินทรีย์ต่างๆภายในร่างกาย ซึ่งเกี่ยวข้องกับกระบวนการเมทาโบลิซึมของพลังงานเช่น AMP, ADP, ATP และ creatine phosphate สัดส่วนของ Ca : P ที่เหมาะสมคือ 1.1-1.5:1 และพบว่าเมื่อสัดส่วนของ Ca : P น้อยกว่า 1:1 เพราะสุกรขาด Ca หรือมี P มากเกินไปจะทำให้สุกรดึงเอา Ca ในกระดูกมาใช้ทำให้สุกรไม่เจริญเติบโต และลดกระบวนการ calcification ของกระดูก ในทางตรงกันข้ามเมื่อสัดส่วนของ Ca : P สูงกว่า 3:1 จะส่งผลให้การใช้ประโยชน์ของ P ลดลงและเปลี่ยนไปอยู่ในรูป tricalcium phosphate ในลำไส้และจะถูกขับถ่ายออกนอกร่างกาย (ถลอง, 2543; NRC, 1998)

Sodium (Na) and Chlorine (Cl) มีหน้าที่หลักในการรักษาสมดุลของ cation และ anion ในของเหลวนอกเซลล์ (extracellular fluid) ควบคุมองค์ประกอบของเลือด, น้ำลายเพื่อรักษาสภาวะของร่างกายให้คงที่และที่สำคัญ Na ยังมีหน้าที่เกี่ยวข้องกับการส่งกระแสประสาทอีกด้วย ส่วน Cl นั้นมีหน้าที่สำคัญคือเป็นส่วนประกอบในน้ำย่อยจากกระเพาะ โดยอยู่ในรูปของกรดเกลือ (HCl) เพื่อทำให้สภาพในกระเพาะอาหารของสุกรเป็นกรด การเสริม Na และ Cl นิยมเสริมในรูปแบบ Sodium Chloride (NaCl) มีรายงานว่าสุกรขุนมีความต้องการ Na 0.08-0.10 เปอร์เซ็นต์ ของอาหารส่วน Cl

นั้นสุกรต้องการประมาณ 0.08 เปอร์เซ็นต์ของอาหาร ในสุกรอนุบาลนั้นมีความต้องการ Na และ Cl เพิ่มขึ้นเป็น 0.25, 0.20, และ 0.15 เปอร์เซ็นต์ ตามน้ำหนักตัว 5, 10 และ 20 กิโลกรัมตามลำดับ ส่วนสุกรพันธุ์นั้นมีความต้องการ Na และ Cl ประมาณ 0.4-0.5 เปอร์เซ็นต์ ของอาหาร (ฉลอง, 2543; NRC, 1998)

Magnesium (Mg) มีความสำคัญกับ Ca และ P อย่างใกล้ชิด ภายในเซลล์ใช้ Mg เป็น cation ซึ่งมีความสำคัญรองจาก K นอกจากนี้ Mg ยังทำหน้าที่เป็นส่วนประกอบของกระดูกและฟัน เป็นตัวกระตุ้นของเอนไซม์หลายชนิดที่เกี่ยวข้องกับคาร์โบไฮเดรต เช่น activate phosphate transferases, decarboxylases และ acyl transferases และควบคุมการทำงานของระบบประสาทและกล้ามเนื้อ สุกรที่ขาด Mg จะมีการประสาทไวเกินปกติ (hyperirritability) เส้นเลือดขยายตัว ทำให้ความดันเลือดต่ำ ชักกระดูกเสียทรงตัว อาจตายได้ถ้าไม่ได้รับการรักษา ความต้องการ Mg ของสุกรเล็กถึงขุนนั้นประมาณ 0.14-0.18 เปอร์เซ็นต์ ของอาหารส่วนในสุกรพันธุ์ต้องการ Mg ประมาณ 0.04-0.09 เปอร์เซ็นต์ ของอาหาร (NRC, 1998)

Potassium (K) เป็นแร่ธาตุที่เป็นประจุบวกที่สำคัญของๆ เหลวภายในเซลล์แต่น้อยในของเหลวนอกเซลล์ ซึ่งตรงกันข้ามกับ Na นอกจากนี้ K ยังทำหน้าที่ในการรักษาภาวะสมดุลของ ion ของของเหลวระหว่างภายในและภายนอกเซลล์ (sodium potassium pump) รวมทั้งความเป็นกรด-ด่างและความดันออสโมติก (osmotic) ทั้งยังมีความสำคัญในส่วนในระบบประสาท และการยืดหดตัวของกล้ามเนื้อ ความต้องการ K ของสุกรแบ่งตามช่วงอายุดังนี้ สุกรน้ำหนัก 1-4 กิโลกรัม ต้องการ K 0.27-0.39 เปอร์เซ็นต์ สุกรน้ำหนัก 5-10 กิโลกรัม ต้องการ K 0.26-0.33 เปอร์เซ็นต์ และสุกรน้ำหนัก 20-30 กิโลกรัม ต้องการ K 0.15 เปอร์เซ็นต์ K นั้น มีความสัมพันธ์กับ Na และ Cl โดยพบว่าเมื่อมีการเพิ่ม Cl จาก 0.03 เป็น 0.6 เปอร์เซ็นต์ และมี K ในอาหาร 0.1 เปอร์เซ็นต์ สุกรมีการเจริญเติบโตลดลง แต่เมื่อเพิ่ม K เป็น 1.1 เปอร์เซ็นต์ สุกรมีการเจริญเติบโตดีขึ้น ถ้าสุกรได้รับ K มากเกินไปสุกรจะเกิดการสูญเสีย Na โดยการขับถ่ายออกจากร่างกายและทำให้สุกรต้องการเกลือมากขึ้น (ฉลอง, 2543; NRC, 1998)

Sulfur (S) ในร่างกายพบในโปรตีน โดยเป็นส่วนประกอบของโปรตีนพวก methionine, cystine และ cysteine เป็นส่วนประกอบของ thiamine และ biotin ซึ่งเป็นวิตามินที่สำคัญในขบวนการเมทาโบลิซึมของคาร์โบไฮเดรตและไขมันตามลำดับ นอกจากนี้ยังเป็นส่วนประกอบของผม ขนและเล็บ อาการขาด S มีอาการเหมือนกับการขาดโปรตีนโดย สุกรจะมีขนหยาบ เล็บมีลักษณะผิดปกติ แต่โดยปกติแล้วสัตว์จะไม่ขาด S (NRC, 1998)

Chromium (Cr) เป็นแร่ธาตุที่เกี่ยวข้องกับขบวนการเมทาโบลิซึม ของไขมัน, โปรตีน, คาร์โบไฮเดรต และ กรดนิวคลีอิก พบ Cr ในเนื้อเยื่อในรูปของ organometallic molecule ที่มี Cr^{3+} ,

niconitic acid, glutamic acid, glycine และ cysteine เป็นองค์ประกอบ ที่เรียกว่า glucose tolerance factor (GTF) ซึ่งถ้าร่างกายไม่มี Cr^{3+} พบว่า GTF จะไม่ทำงาน โดย GTF จะมีหน้าที่เกี่ยวข้องกับ hormone insulin ในเนื้อเยื่อ ในการทำให้ hormone insulin เสถียรหรือโดยทำให้เกิดการจับตัวกันของ hormone insulin กับ receptor ที่เนื้อเยื่อได้ง่าย การเสริม chromium picolinate ในอาหารสุกรพบว่า สามารถเพิ่ม จำนวนลูกสุกรต่อครอกและเพิ่มเนื้อแดงได้แต่ก็มีบางการทดลองที่ไม่สามารถเพิ่มเนื้อแดงได้ ทั้งนี้อาจขึ้นอยู่กับ ปริมาณ Cr ที่เสริมในอาหาร รูปของ Cr สุขภาพของสุกรและปริมาณของกรดอะมิโนในอาหาร (ฉลอง, 2543; NRC, 1998)

Copper (Cu) เป็นแร่ธาตุที่มีความสำคัญต่อการสร้างเม็ดเลือดแดง มีผลต่อการนำเหล็กไปเป็นโครงสร้างของ heme และช่วยให้เม็ดเลือดแดงเจริญเต็มที่ นอกจากนี้ Cu ยังเกี่ยวข้องกับกระบวนการสร้างเนื้อเยื่อ elastin, collagen, melanin การทำงานของระบบประสาทส่วนกลาง กระบวนการปกป้องต่างๆ ของร่างกาย เกี่ยวข้องกับ pigmentation และ keratinization ของขนและการสร้างโปรตีนที่มี Cu เป็นองค์ประกอบซึ่งทำหน้าที่ในระบบเอนไซม์ สุกรต้องการ Cu ประมาณ 5-6 ppm/กิโลกรัมของอาหาร แต่พบว่าการเสริม Cu ปริมาณ 100-250 ppm/กิโลกรัมของอาหาร นั้นสามารถกระตุ้นการเจริญเติบโตของสุกรได้ นอกจากนั้นยังสามารถเพิ่มน้ำหนักตัวของสุกรแรกเกิดได้เมื่อเสริม Cu ให้แม่สุกรอู้มท้อง 60 ppm/กิโลกรัมของอาหาร และยังพบว่าการเสริม Cu ในปริมาณ 200-250 ppm/กิโลกรัมของอาหาร สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย ในลูกสุกรได้ การขาด Cu ในลูกสุกรจะเกิดอาการ โลหิตจาง กระดูกขาเจริญไม่เต็มที่ ข้อยาวบวม ขาหน้าโค้งงอ ขนร่วง ผิวหนังหยาบ และลูกสุกรจะแสดงอาการทางประสาท เรียกว่าอาการ swayback คือขาหลังจะเป็นอัมพาตเดินไม่สะดวกและมีอัตราการตายสูง (ฉลอง, 2543; NRC, 1998)

Iron (Fe) ประมาณ 70 เปอร์เซ็นต์ ของร่างกายจะเป็นส่วนประกอบของ hemoglobin ในเม็ดเลือดแดงและ myoglobin ในกล้ามเนื้อ โดยใน hemoglobin จะมีเหล็กซึ่งอยู่ในรูปของ Fe^{++} (Ferrous ion) ประมาณ 0.34 เปอร์เซ็นต์ ของธาตุเหล็กทั้งหมด ซึ่ง Fe มีชื่อเรียกต่างๆ กันขึ้นอยู่กับว่าพบในส่วนใด เช่น Fe ในรก (placenta) เรียก uteroferrin ในนมเรียก lactoferrin ในตับเรียก ferritin และ hemosiderin นอกจากนี้ Fe ยังเป็นส่วนประกอบของเอนไซม์ที่สำคัญต่างๆ เช่น succinic dehydrogenase, xanthin oxidase และ NADH-cytochrom reductase ลูกสุกรมีความต้องการ Fe 21 มิลลิกรัม/น้ำหนักตัว 1 กิโลกรัม เพื่อรักษาระดับของ hemoglobin และระดับของ Fe ในร่างกาย ในน้ำนมนี้มี Fe เป็นส่วนประกอบ 1 มิลลิกรัม/ลิตร ดังนั้นลูกสุกรที่ได้รับ Fe จากน้ำนมเพียงอย่างเดียวจะทำให้ลูกสุกรได้รับ Fe ไม่เพียงพอแก่ความต้องการทำให้เกิดอาการ โลหิตจาง เบื่ออาหาร แคระ ขนร่วง มีโรคแทรกซ้อนเช่น ปอดบวมและท้องเสียทำให้ลูกสุกรมีการเจริญเติบโตลดลง มีการทดลองเพิ่ม Fe ในอาหารแม่พันธุ์สุกรเพื่อเพิ่ม Fe ในน้ำนมแต่พบว่าการเพิ่ม

Fe ในอาหารนั้นไม่สามารถเพิ่มปริมาณ Fe ในน้ำนมได้ ทางแก้ปัญหาลูกสุกรขาดธาตุ Fe ในปัจจุบันคือ การฉีดธาตุเหล็กให้ลูกสุกรโดยตรง (ฉลอง, 2543; NRC, 1998)

Manganese (Mn) ประกอบอยู่ในร่างกายน้อยมากและจะสะสมมากในตับที่เหลืองกระจายอยู่บริเวณผิวหนัง กล้ามเนื้อ ตับอ่อน pituitary gland และกระดูก มีหน้าที่เกี่ยวกับความผิดปกติของการสืบพันธุ์ เป็นตัวกระตุ้นของเอนไซม์หลายชนิดที่เกี่ยวข้องกับขบวนการเมทาโบลิซึมของคาร์โบไฮเดรต, ไขมัน และ โปรตีน และยังมีหน้าที่เกี่ยวข้องกับการสร้างกระดูก สุกรที่ขาด Mn จะทำให้เติบโตช้า มีประสิทธิภาพการใช้อาหารและประสิทธิภาพในการสืบพันธุ์ต่ำ มีผลต่อการสะสมไขมัน และการทรงตัวของลูกสุกรแรกเกิด สุกรขุนต้องการ Mn 2-4 ppm/วัน ส่วนในสุกรพันธุ์ 10-20 ppm/วัน การเสริมจะเสริมในรูปแบบ sulphate carbonate และ oxide สุกรที่ได้รับ Mn ในอาหารสูงถึง 500 ppm/กิโลกรัมของอาหาร จะทำให้อาหารมีความน่ากินลดลง สุกรมีอัตราการเจริญเติบโตช้า โดยปกติสุกรจะได้รับ Mn จากอาหารเพียงพอแก่ความต้องการอยู่แล้ว (NRC, 1998)

Zinc (Zn) เป็นส่วนประกอบของ metalloenzymes ในร่างกายเช่น DNA และ RNA synthetases และ transferases enzyme ที่เกี่ยวข้องกับการย่อยอาหารและมีหน้าที่เกี่ยวข้องในการหลั่งฮอร์โมน, การเจริญเติบโต, การสืบพันธุ์, ภูมิคุ้มกันและความเครียด โดยที่ Zn จะเกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์ nucleic acid, collagen และ keratin ทั้งยังมีบทบาทในการแลกเปลี่ยน cation-anion การรักษาสมดุลของน้ำ และ Zn ยังมีความสามารถในการ maintenance วิตามิน A ซึ่ง Zn จะทำหน้าที่ในการรักษาความเข้มข้นของวิตามิน A ในกระแสเลือด ลูกสุกรมีความต้องการ Zn 80-100 ppm/วัน และในพ่อแม่พันธุ์ต้องการ Zn 50 ppm/วัน แต่บางรายงานแนะนำให้ใช้ถึง 100 ppm/วัน ในอาหารเนื่องจากในอาหารอาจมี phytates สูงและเป็นการป้องกันความเป็นพิษจาก Cu ในปัจจุบันมีการเสริม Zn ในปริมาณสูง (2,000-3,000 ppm/กิโลกรัมของอาหาร) ในสุกรหย่านมเพื่อใช้ควบคุมแบคทีเรียที่ก่อให้เกิดโทษ แต่ควรเสริมไม่เกิน 2 สัปดาห์ ด้านความเป็นพิษพบว่าการเสริม ZnO ปริมาณ 1000-4000 ppm/กิโลกรัมของอาหาร และการเสริม ZnSO₄ ปริมาณ 1000 ppm/กิโลกรัมของอาหาร ไม่ทำให้อสุกรเกิดความผิดปกติ แต่การเสริม Zn ในรูป zinc carbonate ปริมาณ 2000-4000 ppm/กิโลกรัมของอาหาร นั้นพบว่าทำให้เกิด depression, arthritis, gastritis และอาจทำให้อสุกรถึงตายได้ อย่างไรก็ดีการดูดซึมและความเป็นพิษนั้นยังขึ้นอยู่กับปริมาณของแร่ธาตุตัวอื่นหรือสารประกอบอื่นในอาหารสุกรด้วย (ฉลอง, 2543; NRC, 1998)

2.3 งานวิจัยแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟในสุกร

จากคุณสมบัติที่กล่าวมาจึงมีนักวิจัย ทำการวิจัยโดยการนำแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟมาทดลองใช้ผสมในอาหารสุกรระยะต่างๆ ทั้งสุกรแม่พันธุ์ สุกรรุ่นและสุกรขุน

2.3.1 ผลของการเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟต่อสมรรถภาพการผลิตของสุกรแม่พันธุ์

Cheshmedzhiev et al. (1985) ทำการเสริม zeolite 4 เปอร์เซ็นต์และ 7 เปอร์เซ็นต์ แก่แม่พันธุ์สุกรตั้งแต่วัยท้องจนถึงหย่านมพบว่า แม่สุกรในกลุ่มที่ได้รับ zeolite 7 เปอร์เซ็นต์ มีจำนวนลูกมีชีวิตเพิ่มขึ้น 6 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่ม control (0 เปอร์เซ็นต์ zeolite) ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Tzeng (1979) ที่ทำการเสริม zeolite 3 และ 5 เปอร์เซ็นต์ แก่แม่สุกรระยะท้องจำนวน 33 ตัว พบว่าในกลุ่มที่ได้รับ zeolite มีแนวโน้มที่จะทำให้จำนวนลูกต่อครอกมากขึ้น และมีการตายของลูกสุกรหลังคลอดน้อยกว่ากลุ่ม control (0 เปอร์เซ็นต์ zeolite) โดย Cheshmedzhiev et al. (1985) ให้เหตุผลว่าการเสริม zeolite ในอาหารมีผลทำให้อาหารอยู่ในระบบทางเดินอาหารนานขึ้น ทำให้แม่สุกรมีการย่อยได้และการดูดซึมของอาหารดีขึ้น แม่สุกรจึงได้รับโภชนาจากอาหารสูงขึ้น

2.3.2 ผลของการเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟต่อสมรรถภาพการผลิตของสุกรขุน

ในด้านสุกรรุ่นถึงขุน Shurson et al. (1984) รายงานว่าเมื่อทำการเสริม zeolite ปริมาณ 0.3 เปอร์เซ็นต์ และ clinoptilolite 0.5 เปอร์เซ็นต์ ในสูตรอาหาร ทำให้การใช้ประโยชน์ได้ของพลังงาน (metabolizable energy, ME) สูงขึ้น แต่น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นเฉลี่ยต่อวัน อาหารที่กินได้เฉลี่ยต่อวัน และประสิทธิภาพการใช้อาหารไม่แตกต่างกันทางสถิติ ดังตารางที่ 2.2 ซึ่งขัดแย้งกับการทดลองของ Liebscher (1991) ที่ทดลองเสริม heulandite 3 เปอร์เซ็นต์ ในสุกรรุ่น-ขุน (30-100 กิโลกรัม) จำนวน 123 ตัว พบว่า การเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวัน (ADG) เพิ่มขึ้นจาก 853 กรัม เป็น 930 กรัม ($p<0.05$) ปริมาณการกินอาหารต่อตัวต่อวัน (ADFI) เป็น 2.55 และ 2.43 กิโลกรัม ประสิทธิภาพการใช้อาหารเป็น 2.74 และ 2.83 กิโลกรัม/กิโลกรัม เมื่อเสริมและไม่เสริม heulandite ตามลำดับบนอนจากนั้น

ตารางที่ 2.2 แสดงผลของการเสริม zeolite 0.3 เปอร์เซ็นต์ และ clinoptilolite 0.5 เปอร์เซ็นต์ ในสูตรอาหารของสุกร

	control	zeolite 0.3%	clinoptilolite 0.5%
ADG, g	831	840	831
ADFI, g	2,325	2,288	2,238
Feed:Gain	2.81	2.73	2.70
ประสิทธิภาพการใช้ metabolizable energy (kcal/น้ำหนักเพิ่ม 1 กรัม)	8.98 ^a	8.45 ^b	8.20 ^c

^{a,b,c} แสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.06$)

ที่มา จาก Shurson et al. (1984)

Zimmerman (www, 2003) รายงานว่าการเสริม clinoptilolite สามารถปรับปรุงคุณภาพซาก และเพิ่มประสิทธิภาพการใช้อาหารของสุกรได้ดังตารางที่ 2.3 จากตารางจะเห็นได้ว่าการเสริม clinoptilolite ในอาหารสุกรสามารถที่จะปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้อาหารของสุกรโดยในกลุ่มที่ทำการเสริม clinoptilolite 8 เปอร์เซ็นต์มีประสิทธิภาพการใช้อาหารสูงสุด ด้านคุณภาพซากของสุกรพบว่าเมื่อมีการเสริม clinoptilolite จะส่งผลทำให้ไขมันบริเวณช่วงกลางของสันหลัง (backfat, midline) และไขมันสันหลังบริเวณซี่โครงซี่ที่ 10 (backfat, 10th rib) บางลงและยังสามารถเพิ่มปริมาณเนื้อแดงในซาก (lean in carcass) ของสุกรได้ แม้ว่าการเสริม clinoptilolite จะไม่มีผลต่อพื้นที่หน้าตัดเนื้อสัน (loin muscle area) การเจริญเติบโตต่อตัวต่อวัน (ADG) และปริมาณการกินได้ต่อวัน (ADFI)

ตารางที่ 2.3 แสดงผลของการเสริม clinoptilolite ในอาหารสุกร

Item	ปริมาณ Clinoptilolite ในอาหารสุกร (%)				Pr > F
	0	2	4	8	Linear
ADG, g	791	795	791	769	ns
ADFI, g	2260	2321	2356	2373	ns
Feed : Gain	2.86	2.92	2.98	3.08	0.0001
Backfat, midline, cm.	2.74	2.58	2.64	2.43	0.04
Backfat, 10 th rib, cm.	2.20	2.02	2.12	1.91	0.004
Loin muscle area, cm ² .	27.8	28.3	28.0	27.8	ns
Lean in carcass, kg	36.9	38.3	37.7	38.5	0.02

ns = nonsignificant

ที่มา จาก Zimmerman. (2003)

2.3.3 ผลของสารพิษ aflatoxin ในสุกร

aflatoxin นั้นเป็นสารพิษจากเชื้อราที่ก่อให้เกิดความเสียหายต่อสุกรอย่างมาก สุกัญญา (2530) ได้รายงาน ว่า สุกรที่ได้รับสารพิษพวก aflatoxin ในระดับต่ำกว่า 10 ppb จะไม่แสดงอาการออกมาให้เห็นภายนอก แต่ตับมีสีเหลืองซีด ส่วนสุกรที่ได้รับ aflatoxin ในระดับสูงกว่านี้จะมีอาการในขั้นแรก คือ เบื่ออาหาร ขนหยาบกร้าน ซึม ซีด และอ่อนแอ การเจริญเติบโตและประสิทธิภาพการใช้อาหารลดลง สุกรที่ได้รับ aflatoxin ในระดับต่ำและรอดตายมักแคระแกรน แต่สุกรสามารถกลับเข้าสู่สภาพเดิมได้เมื่อได้รับอาหารที่ไม่มีสาร aflatoxin ในขณะที่ Rao et al. (1981) รายงาน

ความเป็นพิษอย่างรุนแรงของ aflatoxin ว่าทำให้สุกรหย่านมตายถึง 17 ตัวจากจำนวนทั้งหมดในฝูง 194 ตัว ภายในระยะ 1 เดือน ซึ่งเมื่อวิเคราะห์หาปริมาณ aflatoxin ในวัตถุดิบอาหารที่ใช้ พบว่าในกากถั่วลิสงมีสูงถึง 16.2 ppm และในข้าวโพด 2.4 ppm โดยในระยะแรกลูกสุกรจะกินอาหารน้อยลงและน้ำหนักตัวลดลง ชูบพอมมาก ผิวน้ำและเยื่อเมือกต่างๆเป็นสีซีดเหลือง ปัสสาวะมีสีเหลืองจัด ระยะสุดท้ายจะแสดงอาการของโรคคิซันอย่างรุนแรง โดยในลูกสุกรเพศผู้จะแสดงความเป็นพิษรุนแรงและตายมากกว่าเพศเมีย เมื่อผ่าซากดูพบว่ามีเลือดออกเป็นบริเวณกว้างในกระเพาะอาหาร ในสุกรเพศผู้จะพบจุดเลือดออกที่อวัยวะเป็นตุ่มนูนในลำไส้เล็กส่วนปลายไส้ติ่ง และลำไส้ใหญ่ ในสุกรบางตัวพบว่าถุงน้ำดีจะโป่งพองและมีน้ำดีใส พบจุดเลือดออกเป็นตุ่มนูนบนเยื่อหุ้มและเยื่อหัวใจ ปอดมีเลือดคั่งและบวม น้ำ มีวิธีการของปอดอีกเสบเป็นหย่อมๆในกระเพาะปัสสาวะของสุกรส่วนใหญ่มีน้ำปัสสาวะสีเหลืองเข้ม และมีเม็ดเลือดของน้ำดีตกตะกอนอยู่ มีการเปลี่ยนแปลงของไขมันในตับและมีเนื้อตายรอบเส้นเลือดดำ ในสุกรบางตัวพบว่าเซลล์ตับมีลักษณะผิดปกติ ผลของ aflatoxin แสดงในตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 แสดงผลกระทบของสารพิษ aflatoxin ต่อ สมรรถภาพของสุกร

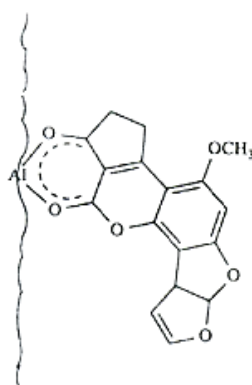
แหล่งข้อมูล	aflatoxin (ppm)	initial weight (kg)	final weight (kg)	ADG (kg)	FCR (kg/kg)
Lindemann et al. (1993)	0	10.6	35.5	0.47 ^a	1.66 ^a
	420	10.5	32.4	0.35 ^b	1.96 ^b
	840	10.6	23.9	0.21 ^c	3.33 ^c
Schell et al. (1994)	0	26.06	61.85	0.975 ^a	2.44 ^a
	922	28.53	58.73	0.883 ^b	2.50 ^b

^{a,b,c} พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p < 0.05$

2.3.4 ผลของการเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟต่อการลดความเป็นพิษของ aflatoxin

ในด้านการดูดซับสารพิษเนื่องจากแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟเป็นสารที่มีองค์ประกอบภายในโครงสร้างโมเลกุลเป็น open tertiary structure โดยมีสารเคมีกลุ่มอัลคาไลน์ (alkaline) และอัลคาไลน์ เอิร์ท (alkaline earth) จับกันอยู่ภายในโครงสร้าง และมีโมเลกุลของน้ำจับกันอยู่ภายในช่องว่างของโครงข่ายที่จะหลุดออกโดยง่ายเมื่อได้รับความร้อน คุณสมบัติที่สำคัญคือสารกลุ่มนี้มีผิวหน้าที่ดูดซับสารโมเลกุลอื่นๆ ที่มีขนาดใหญ่ได้ และสามารถแลกเปลี่ยนประจุบวกขนาดใหญ่กับสารอื่นๆ ที่ตำแหน่ง active site โดยผ่านกระบวนการด้วยแรงไฟฟ้าสถิต หรือการสร้างพันธะ

โควาลেন্ট นอกจากแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟจะมีความสามารถในการดูดซับสารพิษจากราได้แล้ว สารประกอบกลุ่มนี้ยังไม่ทำอันตรายต่อสัตว์ สัตว์สามารถขับออกมากับระบบขับถ่ายของเสียของสัตว์ ดังนั้นการใช้สารดูดซับสารแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟจึงเป็นแนวทางในการลดปัญหาการปนเปื้อนสารพิษจากราในอาหารสัตว์ได้ (อรประพันธ์ และ สุภิญญา, 2536) จากการศึกษากลไกการออกฤทธิ์ พบว่า หมู่ไดคาร์บอนิล (dicarbonyl) ของ aflatoxin เป็นส่วนสำคัญในการจับกับผิวอนุภาคแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟได้หลายบริเวณ (ไมตรี, 2543) รูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 แสดงการจับตัวระหว่างหมู่ไดคาร์บอนิล (dicarbonyl) ของ aflatoxin กับผิวของแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟ (ไมตรี, 2543)

โดย นวลจันทร์ และ คณะ (2536) รายงานว่า ความสามารถในการดูดซับ aflatoxin ในห้องปฏิบัติการของแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟ 3 ชนิด (aluminosilicates) คือ zeolite ธรรมชาติ, HSCAS และ sodium bentonite ที่ระดับ 0.5 เปอร์เซ็นต์ ในข้าวโพดที่มีการปนเปื้อน aflatoxin ปริมาณ 274 ppb มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 86.37, 93.63 และ 89.37 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ตารางที่ 2.5)

ตารางที่ 2.5 แสดงการศึกษาเปรียบเทียบผลการใช้ HSCAS เปรียบเทียบกับ zeolite ธรรมชาติ และ sodium bentonite

mycotoxin binder	aflatoxin (ppb)	ระดับการเสริม mycotoxin binder (%)	ประสิทธิภาพการดูด ซับ (%)
zeolite ธรรมชาติ	274	0.5	86.37
HSCAS	274	0.5	93.63
sodium bentonite	274	0.5	89.37

ที่มา จาก นวลจันทร์ และ คณะ. (2536)

Colvin et al. (1989) ได้รายงานว่าการเสริม HSCAS ระดับ 0.5 เปอร์เซ็นต์ ในสูตรอาหารร่วมกับสารพิษ aflatoxin สามารถลดความเสียหายอันเนื่องมาจากสารพิษที่มีผลต่อน้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้น และปริมาณอาหารที่กินในสุกรระยะเจริญเติบโตให้ลดลงได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติและทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในเซลล์ตับอันเนื่องมาจากการได้รับ aflatoxin ด้วย Lindemann et al. (1989) ได้ทำการศึกษาความสามารถในการลดพิษของสาร aflatoxin โดยการเสริม HSCAS ในอาหารสุกรระยะหย่านมและระยะเจริญเติบโต ที่มีการปนเปื้อนด้วย aflatoxin พบว่าน้ำหนักเพิ่มขึ้นของสุกรจะลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.01$) และเมื่อเสริม HSCAS ที่ระดับ 0.5 เปอร์เซ็นต์ ในอาหารที่มีสารพิษ aflatoxin ในระดับ 840 ppb พบว่าทำให้น้ำหนักเพิ่มของสุกรมากขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.01$) ทั้งนี้ HSCAS สามารถช่วยลดการถูกทำลายของตับอันเนื่องมาจากสารพิษจาก aflatoxin ได้ Haydon et al. (1991) ทดลองให้สุกรน้ำหนักประมาณ 17.5 กิโลกรัม กินอาหารที่มี aflatoxin ระดับต่ำกว่า 10 ppb และอีกกลุ่มหนึ่งให้กินอาหารที่มี aflatoxin 525 ppb โดยการเสริมหรือไม่เสริม HSCAS ในระดับ 0.5 เปอร์เซ็นต์ พบว่าสุกรที่กินอาหารที่มีระดับ aflatoxin 525 ppb จะมีการเจริญเติบโตช้าวันและประสิทธิภาพการใช้อาหารลดลงประมาณ 33 และ 6 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ แต่เมื่อมีการเสริม HSCAS พบว่าสมรรถภาพการผลิตสุกรดีขึ้นจนอยู่ในระดับใกล้เคียงกับสุกรที่กินอาหารที่มี aflatoxin ระดับต่ำกว่า 10 ppb

2.3.5 คุณสมบัติในการลดมลภาวะ ของแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟในอาหารสุกร

ในด้านการลดมลภาวะในฟาร์ม Torii (1974) อ้างโดย Mumpton and Fishman (1977) รายงานว่าการใช้ clinoptilolite โรยลงบนพื้นคอกที่ใช้เลี้ยงสุกรเพื่อดูดซับปัสสาวะ และของเหลวต่างๆ ที่พื้นคอก ทำให้พื้นคอกแห้ง สะอาดและมีกลิ่นลดลง Nishimaru (1973) อ้างโดย Mumpton and Fishman (1977) รายงานว่าเมื่อใช้ mordenite ซึ่งเป็นแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟชนิดหนึ่งใส่ลงในของเสียซึ่งเป็นของเหลวในฟาร์มสุกร ทำให้ปริมาณสารแขวนลอยลดลง ปริมาณของแอมโมเนียมไอออน (NH_4^+) ค่า BOD และ COD ลดลงด้วยดังตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.6 แสดงผลของการเสริม mordenite ต่อของเสียที่เป็นของเหลวในฟาร์มสุกร

	nitrogen (ppm)	COD	BOD	ความใส (%)
ของเสียจากฟาร์ม	554	1097	3600	0
ของเสียใส่ mordenite	19	24	21	24

ที่มา จาก Nishimaru (1973) อ้างโดย Mumpton and Fishman (1977)

นอกจากนี้ Shurson et al. (1984) รายงานว่าเมื่อสุกรได้รับ zeolite หรือ clinoptilolite มีผลทำให้มีการดูดซับ nitrogen ซึ่งเป็นการลดปริมาณ nitrogen ทั้งยังส่งผลให้ nitrogen ในปัสสาวะมีแนวโน้มลดลง สอดคล้องกับ Vincent et al. (1987) ซึ่งรายงานว่า zeolite จะดูดซับ nitrogen ที่เกิดขึ้นในระบบทางเดินอาหาร ทำให้ nitrogen ในกระแสเลือดลดลง ทำให้ความเป็นพิษของ nitrogen ต่อ epithelial cell ในลำไส้ลดลง ส่งผลให้สุกรมีการเจริญเติบโตที่ดีขึ้น

จากข้อมูลดังกล่าวนี้แสดงให้เห็นว่าการเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟนั้นสามารถที่จะปรับปรุงสมรรถภาพการผลิตและคุณภาพซากของสุกรรุ่น-ขุน เพิ่มประสิทธิภาพการผลิตของสุกรแม่พันธุ์ได้ รวมทั้งสามารถที่จะลดความเป็นพิษของ aflatoxin ได้ จึงเป็นที่น่าสนใจว่าหากการเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟในสูตรอาหาร สามารถที่จะเพิ่มสมรรถภาพการผลิตของสุกร ลดปริมาณของ nitrogen ในมูลของสุกรและสามารถที่จะดูดซับสารพิษ aflatoxin ได้ก็จะเป็นประโยชน์ต่อผู้เลี้ยงสุกรในประเทศไทยโดยจะช่วยลดต้นทุนในการผลิต เนื่องจากแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟที่ใช้ในการทดลองมีราคาถูกกว่าแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟที่นำเข้าจากต่างประเทศ

2.4 ความต้องการแร่ธาตุของสุกร

แร่ธาตุเป็น โภชนะที่จำเป็นที่สุกรจะต้องได้รับอย่างครบถ้วนเพื่อให้กระบวนการเมตาโบลิซึมและกระบวนการทางชีวเคมี ในร่างกายเป็นไปตามปกติเพื่อให้สุกรจะสามารถดำรงชีวิต(maintenance) เจริญเติบโต (growth) ให้ผลผลิต (production) และสืบพันธุ์ (reproduction) เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ เมื่อสุกรได้รับแร่ธาตุชนิดใดชนิดหนึ่งไม่เพียงพอกับความต้องการหรือได้รับในสัดส่วนที่ไม่เหมาะสมจะทำให้สุกรแสดงอาการขาด (deficiency) หรือเกิดการเป็นพิษ (toxicity) ได้ ซึ่งส่งผลเสียต่อสุขภาพและการผลิตของสุกร โดยทั่วไปอาหารที่สุกรได้รับมีแร่ธาตุต่างๆ ปะปนกันอยู่ด้วยปริมาณที่มากน้อยแตกต่างกัน นอกจากนี้สุกรยังได้รับแร่ธาตุจากการดื่มน้ำด้วย ซึ่งปริมาณแร่ธาตุนั้นจะเพียงพอกับความต้องการของสุกรหรือไม่ขึ้นกับปัจจัยหลายประการ เช่น ชนิดและปริมาณอาหารที่สุกรได้รับ การใช้ประโยชน์ได้ของแร่ธาตุในวัตถุดิบต่างๆ สภาพะของความต้องการในการให้ผลผลิตหรือสภาวะทางสรีรวิทยาของสัตว์ สมดุลหรือความเป็นพิษของแร่ธาตุหรือสารอาหารอื่นๆที่มีปฏิสัมพันธ์ทางด้านลบ ดังนั้นบทบาทและความสำคัญของแร่ธาตุในอาหารสุกรจึงเป็นสิ่งที่ผู้ผลิตต้องให้ความสำคัญอย่างมาก (ฉลอง, 2543; NRC, 1998)

ในร่างกายสุกรมีแร่ธาตุต่างๆอยู่ประมาณ 40 ชนิดซึ่งจำเป็นต่อการเจริญเติบโต การให้ผลผลิต การสืบพันธุ์ เป็นส่วนประกอบของโครงร่างเช่น กระดูกฟัน เป็นส่วนประกอบของเนื้อเยื่อ รักษาความเป็นกรดเป็นด่างในร่างกาย เป็นต้น หากสุกรขาดหรือได้รับแร่ธาตุไม่เพียงพอจะทำให้สุกรกินอาหารลดลง การเจริญเติบโตช้า ขนหยาบ กระดูกอ่อน เป็นอัมพาต คอพอก เกิดมาไม่มีขน

ไม่สามารถควบคุมการเคลื่อนที่ของร่างกาย ผลิตน้ำมน้อย อ่อนแอและตายในที่สุด ความต้องการแร่ธาตุของสุกรแสดงในตารางที่ 2.7 อย่างไรก็ตามแม้เราทำการประกอบสูตรอาหารที่มีจำนวนแร่ธาตุตามความต้องการของสัตว์แล้ว สัตว์ยังสามารถแสดงอาการขาดแร่ธาตุได้เพราะสัตว์ไม่สามารถนำแร่ธาตุที่มีอยู่ในอาหารไปใช้ได้หรือใช้ได้น้อยไม่เพียงพอต่อความต้องการของร่างกาย ซึ่งมีปัจจัยหลายปัจจัยที่ผู้ผลิตสุกรต้องคำนึงถึง เช่น ความเข้มข้นและส่วนประกอบของโปรตีน, ไขมันและคาร์โบไฮเดรตในอาหาร และสารอื่นๆ ที่ใส่ในอาหารคือวิตามิน, ยาปฏิชีวนะ (antibiotic), สารป้องกันการหืน (antioxidants) และปฏิสัมพันธ์ระหว่างแร่ธาตุด้วยกันเอง

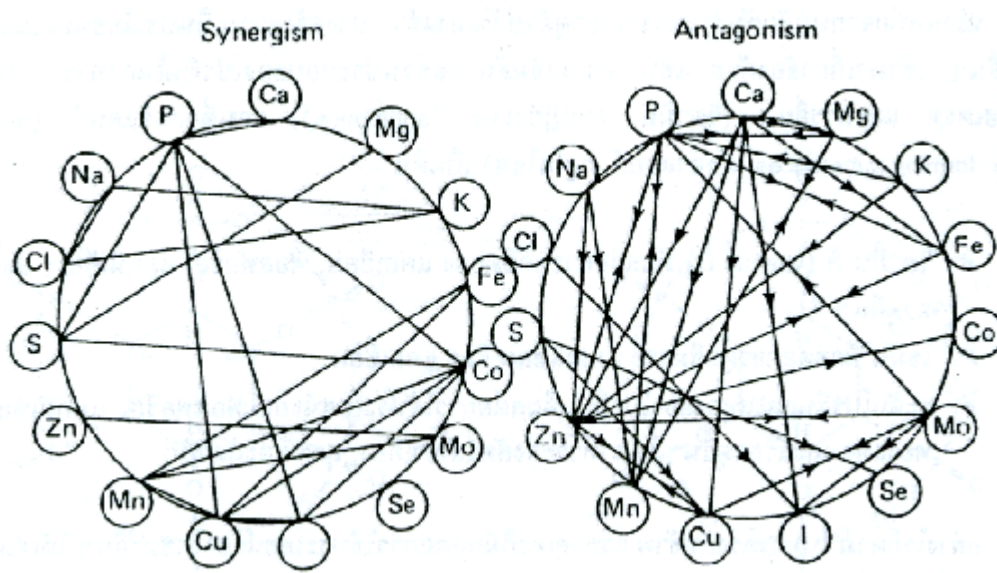
พลังงานในอาหาร เพราะเป็นตัวควบคุมปริมาณการกินอาหาร อาหารที่มีส่วนของพลังงานสูงจะทำให้สัตว์กินอาหารได้น้อยลง ดังนั้นอาหารที่มีพลังงานสูงต้องมีความเข้มข้นของแร่ธาตุสูงขึ้น ในทางตรงกันข้ามถ้าอาหารมีพลังงานต่ำ ความเข้มข้นของแร่ธาตุในอาหารควรต่ำลงด้วย และที่สำคัญคือ ชนิดและแหล่งของวัตถุดิบอาหารสุกร เพราะการใช้ประโยชน์ได้ของแร่ธาตุในวัตถุดิบแต่ละชนิดจะแตกต่างกัน และการเสริมแร่ธาตุในรูปแบบแตกต่างกันก็จะมีประสิทธิภาพการใช้แร่ธาตุต่างกัน อาหารที่มีส่วนเป็นเมล็ดพืช จะมีสารประกอบที่ไม่ละลายของเกลือไฟเตต (insoluble phytates) ทำให้ P หรือแร่ธาตุรอง โดยเฉพาะ Zn ไม่ถูกดูดซึม

ตารางที่ 2.7 แสดงความต้องการแร่ธาตุของสุกรในช่วงต่าง ๆ

Mineral elements	สุกรรุ่น	สุกรขุน	สุกรอ้วนท้อง	สุกรเลี้ยงลูก
Calcium (%)	0.60	0.50	0.75	0.75
Phosphorus (%)	0.50	0.45	0.60	0.60
Sodium (%)	0.10	0.10	0.15	0.20
Chlorine (%)	0.08	0.08	0.12	0.16
Magnesium (%)	0.04	0.04	0.04	0.04
Potassium (%)	0.23	0.19	0.20	0.20
Copper (mg)	4.00	3.50	5.00	5.00
Iodine (mg)	0.14	0.14	0.14	0.14
Iron (mg)	60.0	50.0	80.0	80.0
Manganese (mg)	2.00	2.00	20.0	20.0
Selenium (mg)	0.15	0.15	0.15	0.15
Zinc (mg)	60.0	50.0	50.0	50.0

ที่มา จาก NRC (1998)

ปฏิสัมพันธ์ระหว่างแร่ธาตุด้วยกันเอง เช่น Ca กับ P โดยที่ P จะแก่งแย่งการดูดซึมได้ดีกว่า Ca ดังนั้นหากอาหารมี Ca ต่ำ หรือในทางกลับกันมี P สูงเกินไปจะทำให้เกิดการขาด Ca ได้ หรือทั้ง Ca และ P มีผลต่อการดูดซึม Mg หากเพิ่มปริมาณ Ca และ P จะทำให้ความต้องการ Mg สูงขึ้น การแก่งแย่งการดูดซึมระหว่างแร่ธาตุด้วยกันแสดงดังรูปที่ 2.5 นอกจากนั้นความต้องการแร่ธาตุยังขึ้นอยู่กับพันธุกรรมของสุกร การให้ผลผลิตของสุกร ปริมาณการกินอาหาร สถานะภาพของสุกร และสภาพแวดล้อม โดยมีหลักสำคัญคือสุกรที่มีการเจริญเติบโตเร็วและมีการกินได้ต่ำก็จะมีความต้องการแร่ธาตุในปริมาณสูง ส่วนสุกรที่โตช้าหรือมีการกินอาหารได้สูงก็จะต้องการแร่ธาตุต่ำ ดังนั้นผู้ผลิตจึงควรสังเกตว่าสุกรมีการกินได้ การเจริญเติบโตหรือไม่และทำการปรับแต่งสูตรอาหารให้มีแร่ธาตุตามความต้องการของสุกรในฟาร์มของตนเอง ซึ่งโดยปกติผู้ผลิตสามารถอ้างอิงความต้องการแร่ธาตุจากตำราต่างประเทศ



รูปที่ 2.5 แสดงปฏิสัมพันธ์ระหว่างแร่ธาตุแต่ละชนิด หัวลูกสุกรและความยาวของก้านลูกสุกร เป็นตัวบ่งชี้ความสัมพันธ์และการแก่งแย่งการดูดซึมระหว่างแร่ธาตุด้วยกัน เช่น หัวลูกสุกรออกจาก P ไปยัง Ca เป็นระยะทางที่ยาวกว่า แสดงว่า P แก่งแย่งการดูดซึม

(Georgievskii et al., 1982)

เนื่องจากแร่ธาตุเป็นสิ่งจำเป็นต่อการเกิดปฏิกิริยาต่างๆ ในร่างกายไม่ว่าจะเป็น ในด้านการสะสมของโปรตีนหรือการสลายไขมันในร่างกาย จึงมีแนวคิดที่จะเสริมแร่ธาตุบางชนิดในปริมาณสูงเพื่อหวังผลในการปรับปรุงประสิทธิภาพการเจริญเติบโตหรือปรับปรุงคุณภาพซากและคุณภาพเนื้อ เช่น Cr, Cu, Zn แต่การเสริมแร่ธาตุบางชนิดในปริมาณสูงจะเป็นการรบกวนการดูดซึมของแร่ธาตุชนิดอื่นดังรูปด้านบน ดังนั้นจึงมีการเสริมแร่ธาตุในรูปของ chelates ซึ่ง chelates จะช่วย

ป้องกันไม่ให้โลหะ ion ถูกนำไปใช้ก่อนที่จะดูดซึมเข้าสู่ร่างกาย และแร่ธาตุจะถูกดูดซึมตามการดูดซึมของ chelating agent เช่น กรดอะมิโนทำให้ไม่ไปรบกวนการดูดซึมของแร่ธาตุชนิดอื่น ทำให้สัตว์ได้รับแร่ธาตุอย่างเพียงพอในขบวนการเมตาโบลิซึมของร่างกายและเมื่อ chelates ปลดปล่อยตัวโลหะ ion ก็จะเหลือกรดอะมิโนที่เป็น chelating agent ซึ่งสามารถทำหน้าที่อื่นได้เช่น เป็น buffer หรือจับกับโลหะหนักเพื่อลดความเป็นพิษของโลหะหนักได้ และร่างกายยังใช้ประโยชน์จากกรดอะมิโนที่หลุดออกมาได้อีกด้วย การใช้ chelates ในรูปของ organic chelates ในรูป metal amino acid จะสามารถดูดซึมเข้าสู่ร่างกายเข้าสู่ร่างกายและใช้ประโยชน์ได้ดีกว่า chelates ในรูปของ sulphate และ oxide อย่างไรก็ตามถึงการศึกษาในรูปของ chelates จะทำให้มีการดูดซึมที่ดีขึ้น แต่แร่ธาตุในรูปของ chelates (metal amino acid) นั้นจะมีราคาสูงกว่าการเสริมในรูปของ sulphate และ oxide มาก การที่จะเลือกใช้แร่ธาตุแบบใดมาใช้จึงควรคำนึงถึง ความคุ้มค่าทางเศรษฐกิจด้วย (ฉลอง, 2543)

2.5 ความต้องการพลังงานของสุกร

วัตถุดิบอาหารทุกชนิดมีพลังงานซึ่งพลังงานเหล่านี้เมื่อสุกรได้รับเข้าไปแล้วจะนำไปใช้ในสามกิจกรรมด้วยกันคือ กิจกรรมเพื่อรักษาสภาพร่างกายตามปกติเป็นพลังงานที่สุกรใช้ไปเพื่อรักษาพลังงานในร่างกายให้อยู่ที่จุดสมดุลเพื่อใช้ในกิจกรรมการเจริญเติบโตโดยการสร้างโปรตีนและไขมันเพื่อสะสมในร่างกายและอีกกิจกรรมหนึ่งคือเพื่อการสืบพันธุ์ (reproduction) เนื่องจากสภาพอากาศของประเทศไทยนั้นเป็นแบบร้อนชื้น คือมีอุณหภูมิสูงกว่า thermoneutral zone ทั้งยังมีความชื้นในอากาศสูงซึ่งมีผลทำให้ สุกรไม่สามารถระบายความร้อนได้อย่างมีประสิทธิภาพส่งผลให้สุกรเกิดความเครียดและมีการกินอาหารที่ลดลง โดยปกติแล้วสุกรจะใช้วิธีการในการระบายความร้อน 4 วิธีคือ การแผ่รังสีความร้อน (radiation) การนำความร้อน (conduction) การพาความร้อน (convection) และ การระเหย (evaporation) ซึ่ง 3 วิธีแรกจะมีประสิทธิภาพก็ต่อเมื่ออุณหภูมิของร่างกายกับสิ่งแวดล้อมแตกต่างกันมาก ดังนั้นในสภาพของบ้านเราซึ่งมีอุณหภูมิสูงการระบายความร้อนโดย 3 วิธีแรกนั้นจะไม่ค่อยได้ผล ดังนั้นสุกรจะต้องใช้การระบายความร้อนโดยวิธีการระเหย โดยสุกรจะเพิ่มอัตราการหายใจให้สูงขึ้นโดยอากาศจะสัมผัสกับเยื่อของหลอดลมเพื่อเป็นการเปลี่ยนความร้อนของร่างกายให้เป็นความร้อนแฝงในรูปของไอน้ำและหายใจออกไป แต่การเพิ่มอัตราการหายใจของสุกรต้องใช้พลังงานมาก (เสกสม, 2545) ดังนั้นความต้องการพลังงานเพื่อดำรงชีวิต ของสุกรที่เลี้ยงในประเทศไทยจึงมีค่าสูงกว่าคำแนะนำของตำราจากต่างประเทศ หน่วยพลังงานที่ใช้สำหรับสุกรโดยทั่วไปแล้วจะวัดเป็น megacalories (Mcal) หรือ kilocalories (Kcal) ประเทศในยุโรปส่วนมากจะวัดเป็น megajoules (MJ) หรือ kilojoules (KJ)

หน่วยวัดทั้งสองหน่วยนี้สามารถเปลี่ยนกลับไปมาได้โดยอาศัยความสัมพันธ์ที่ว่า 1 calorie = 4.184 joules (ปริยพันธุ์, 2542) ความต้องการพลังงานของสุกรแบ่งเป็นช่วงๆ ดังนี้

2.5.1 สุกรอ้วนท้อง สุกรอ้วนท้องต้องการพลังงานเพื่อ ดำรงชีวิต เลี้ยงตัวอ่อนและเพื่อการสะสมพลังงานที่อยู่ในรูปไขมัน เพื่อให้มีพลังงานเพียงพอสำหรับการเลี้ยงลูกในท้องถัดไป การสะสมไขมันของแม่สุกรนั้น จะดีที่สุดในช่วงเดือนแรกของการอ้วนท้องดังนั้นแม่สุกรหลังผสมควรได้รับอาหารที่มีพลังงานเพียงพอในการสะสมพลังงาน รายงานในปัจจุบันแสดงให้เห็นถึงความต้องการพลังงานของสุกรที่สอดคล้องกัน โดยความต้องการพลังงานเพื่อรักษาสภาพของแม่สุกรอ้วนท้องต่อวันสามารถเขียนแทนได้ด้วยสมการ

$$430 \text{ kJ ME/kg bodyweight}^{0.75} \text{ (ARC, 1981)}$$

ดังนั้นถ้าฝูงสุกรอ้วนท้องประกอบไปด้วยสุกรสาวน้ำหนักตัวตั้งแต่ 120 กิโลกรัม ขึ้นไปจนถึงสุกรแก่ลำดับท้องที่ 6 ขึ้นไปน้ำหนักตัว 300 กิโลกรัม สมการดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าความต้องการพลังงานเพื่อรักษาสภาพร่างกายของสุกรอ้วนท้องผันแปรจาก 15,600 kJ (3730 kcal ME/day) ถึง 31,000 kJ (7400 kcal ME/วัน) นอกจากนั้นแม่สุกรยังต้องการพลังงานในการเจริญเติบโตของตัวอ่อนดังสมการ

$$0.63 - 0.79 \text{ MJ ME/day (150-190 kcal ME/day) (ARC, 1981)}$$

พลังงานในการเพิ่มน้ำหนักตัวอีกประมาณ 20 MJ/กิโลกรัม ดังนั้นความต้องการพลังงานทั้งสิ้นของแม่สุกรอ้วนท้องในแต่ละวัน จะมีความเป็นไปได้ระหว่าง 4,900 – 8,640 kcal ME หากอาหารแม่สุกรอ้วนท้องมีพลังงาน 3,000 kcal/กิโลกรัมอาหาร และสุกรได้รับอาหารระหว่าง 1.65-2.8 กิโลกรัม/วัน ก็จะเพียงพอต่อความต้องการของสุกรอ้วนท้อง (ปริยพันธุ์, 2542) NRC (1998) รายงานว่าความต้องการพลังงานของสุกรอ้วนท้องคือ 5,870-6,395 kcal/วัน โดยมีการกินได้ระหว่าง 1.8-1.96 กิโลกรัม/วัน

2.5.2 สุกรเลี้ยงลูก สุกรเลี้ยงลูกนั้นต้องการพลังงานเพื่อที่จะนำไปใช้ในการเลี้ยงลูกโดยมีจุดประสงค์ให้แม่สุกรสูญเสียน้ำหนักน้อยกว่า 10 กิโลกรัม และลูกสุกรมีการเจริญเติบโต 2.0-2.5 กิโลกรัม/วัน (ปริยพันธุ์, 2542) ซึ่งในความเป็นจริงแล้วแม้จะมีการทำอาหารได้ตรงตามคำแนะนำของตำราต่างประเทศแล้วแม่สุกรก็จะสูญเสียน้ำหนักตัวสูงกว่า 10 กิโลกรัม ซึ่งมีสาเหตุอันเนื่องมาจากสภาพอากาศร้อนชื้นของประเทศไทย ทำให้แม่สุกรไม่สามารถระบายความร้อนได้อย่างมีประสิทธิภาพ เช่น โดยปกติแม่สุกรต้องการพลังงาน 16,000 kcal ME/วัน ต่อลูกสุกร 10 ตัว ถ้าอาหารมีพลังงาน 3,200 kcal ME/วัน แม่สุกรจะต้องกินอาหาร 5 กิโลกรัม ถึงจะเพียงพอกับ ความต้องการ แต่เนื่องจากสภาพอากาศร้อนชื้นทำให้แม่สุกรมีการกินได้ลดลงทำให้ได้รับพลังงานไม่เพียงพอ เกิดสภาวะ negative energy balance ทำให้สุกรต้องนำพลังงานที่สะสมในร่างกายในรูปแบบ

ไขมันมาใช้ส่งผลให้แม่สุกรสูญเสียน้ำหนักตัว วิธีแก้ปัญหาคือต้องเพิ่มความเข้มข้นของพลังงานในอาหาร หรือทำให้แม่สุกรกินอาหารได้มากขึ้น ความต้องการพลังงานของแม่สุกรคือ 3,265 kcal/กิโลกรัมของอาหาร (NRC, 1998) และ 3,300 kcal/กิโลกรัมของอาหาร (ปรียพันธุ์, 2542)

2.5.3 สุกรขุน ความต้องการพลังงานของสุกรสามารถคิดแยกเป็น 3 ส่วนด้วยกัน ส่วนแรกคือพลังงานในรูปของ ME ซึ่งต้องการเพื่อรักษาคูซึ่งคำนวณได้จาก

$$M = 1.00 \times W^{0.61} \text{ (ARC, 1981)}$$

เมื่อ M คือ maintenance energy requirement มีหน่วยเป็น MJ ME/วัน ส่วนที่สองคือพลังงานที่ใช้ในการสะสมโปรตีนซึ่งกำหนดให้ใช้พลังงานเพื่อการนี้ 23.8 MJ ME/กิโลกรัมของโปรตีน โดยให้การใช้พลังงานเพื่อการนี้มีประสิทธิภาพ 0.54 และส่วนที่สามคือพลังงานที่ใช้ในการสะสมไขมันซึ่งกำหนดให้ใช้พลังงาน 39.7 MJ ME/กิโลกรัมของกรัมของไขมัน โดยให้มีประสิทธิภาพอยู่ที่ 0.74 (ARC, 1981 อ้างโดย ปรียพันธุ์, 2542) ความต้องการพลังงานโดยสรุปแสดงในตารางที่ 2.8

ตารางที่ 2.8 แสดงความต้องการพลังงานของสุกรในระยะต่าง ๆ

	สุกร อ้วนท้อง	สุกร เลี้ยงลูก	สุกร อนุบาล	สุกรเล็ก	สุกรรุ่น	สุกรขุน
DE (kcal/kg)	3,400	3,400	3,400	3,400	3,400	3,400
ME(kcal/kg)	3,265	3,265	3,265	3,265	3,265	3,265
DE/d (kcal/kg)	6,405	21,765	1,690	6,305	8,760	10,450
ME/d (kcal/kg)	6,150	20,895	1,620	6,050	8,410	10,030
ปริมาณการกิน (g/day)	1,880	6,400	500	1,855	2,575	3,075

ที่มา จาก NRC (1998)

2.6 ความต้องการโปรตีนของสุกร

โปรตีนที่สุกรได้รับจากอาหารและทำการย่อยและดูดซึมเข้าสู่ร่างกาย ผลของการย่อยโปรตีนได้เป็นกรดอะมิโนซึ่งถูกดูดซึม และนำไปใช้ในกระบวนการสังเคราะห์โปรตีน (protein synthesis) อัตราการดูดซึมของกรดอะมิโนแต่ละชนิดจากลำไส้เล็กจะไม่เท่ากัน และการดูดซึมกรดอะมิโนชนิดเดียวกันแต่จากวัตถุดิบต่างชนิดกันก็จะไม่เท่ากันด้วย โปรตีนในอาหารที่สุกรได้รับจะมีคุณค่าสำหรับร่างกายสุกรมากน้อยเพียงใดไม่ได้ขึ้นอยู่กับปริมาณของโปรตีนซึ่งวัดในรูปของ crude protein เพียงอย่างเดียว แต่ขึ้นอยู่กับคุณภาพของโปรตีน ซึ่งคุณภาพของโปรตีนนั้นวัดด้วยปริมาณ กรดอะมิโนที่สัตว์มีความต้องการสูงในขณะที่กรดอะมิโนเหล่านั้นมีอยู่ต่ำใน

วัตถุดิบอาหารสัตว์ทั่วไป (limiting amino acids) กรดอะมิโนที่สำคัญที่สุดสำหรับสุกรอย่างน้อย 4 ชนิดแรกคือ lysine, methionine, threonine และ thryptophan จำเป็นต้องอยู่ในลักษณะสมดุลสุกร จึงสามารถนำไปใช้ได้ สุกรนำโปรตีนไปใช้ใน 3 ประการคือ เพื่อทดแทนในส่วนของโปรตีนที่ร่างกายสูญเสียไปในแต่ละวัน เพื่อสร้างเอนไซม์และซ่อมแซมเซลล์ที่สึกหรอหรือตายไปและเพื่อนำไปสร้างสะสมเป็นเนื้อแดง น้ำนมและสืบพันธุ์ ซึ่งความต้องการของโปรตีนแสดงในตารางที่ 2.9 ซึ่งในการทำนายความต้องการโปรตีนของสุกรนั้นนิยมใช้ ideal protein ในการคำนวณความต้องการ ซึ่งจะใช้ Lysine เป็นฐานเพื่อกำหนดปริมาณของกรดอะมิโนตัวอื่น NRC (1998) ได้เสนอ pattern ของ ideal protein เพื่อการดำรงชีวิต ตั้งแต่วัยให้นม ตั้งแต่วัยหย่านมและ การสะสมโปรตีน ดังแสดงในตารางที่ 2.10

ตารางที่ 2.9 แสดงความต้องการของโปรตีนของสุกรระยะต่างๆ

	สุกร อ้วนท้อง	สุกร เลี้ยงลูก	สุกร อนุบาล	สุกรเล็ก	สุกรรุ่น	สุกรขุน
โปรตีน(%)	12.4	17.2-19.2	23.7	18.0	15.5	13.2
Lysine	0.46	0.77-0.90	1.19	0.83	0.66	0.52
Methionine+cystine	0.32	0.39-0.43	0.68	0.47	0.39	0.31
Tryptophan	0.09	0.15-0.17	0.22	0.15	0.12	0.10
Threonine	0.37	0.50-0.56	0.74	0.52	0.43	0.34
Leucine	0.44	0.87-1.03	1.20	0.83	0.67	0.51
Isoleucine	0.27	0.44-0.50	0.65	0.45	0.37	0.29
Phenylalanine+tyrosine	0.46	0.88-1.02	1.12	0.78	0.63	0.49
Histidine	0.15	0.30-0.36	0.38	0.26	0.21	0.51
Valine	0.31	0.66-0.77	0.81	0.56	0.45	0.29

ที่มา จาก NRC (1998)

ตารางที่ 2.10 แสดงสัดส่วนของ ideal protein เพื่อการดำรงชีวิต (maintenance) สังเคราะห์น้ำนม (milk synthesis) สังเคราะห์กล้ามเนื้อ (body tissue) และ การสะสมโปรตีน (protein accretion)

amino acid	maintenance	protein accretion	milk synthesis	body tissue
Lysine	100	100	100	100
Arginine	-200	48	66	105
Histidine	32	32	40	45
Isoleucine	75	54	55	50
Leucine	70	102	115	109
Methionine	28	27	26	27
Methionine+cystine	123	55	45	45
Phenylalanine	50	60	55	60
Phenylalanine+tyrosine	121	93	112	103
Threonine	151	60	58	58
Tryptophan	26	18	18	10
Valine	67	68	85	69

ที่มา จาก NRC (1998)

บทที่ 3

วิธีการดำเนินการวิจัย

การดำเนินการวิจัยเพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์ ได้แบ่งการวิจัยออกเป็น 3 การทดลองดังนี้คือ การทดลองเบื้องต้น ศึกษาถึงส่วนประกอบของแร่ธาตุในหินภูเขาไฟ เพื่อทราบถึงชนิดของแร่ธาตุที่เป็นส่วนประกอบของหินภูเขาไฟและทำการทดสอบคุณสมบัติในการดูดซับสารพิษ aflatoxin B₁ ในห้องปฏิบัติการ (*in vitro*)

การทดลองที่ 1 เพื่อศึกษาผลของการเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟต่อสมรรถภาพการผลิตของแม่พันธุ์สุกรระยะอู้มท้องและระยะเลี้ยงลูก

การทดลองที่ 2 เพื่อศึกษาผลของการเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟต่อสมรรถภาพการผลิตปริมาณ nitrogen ในมูลและปริมาณแร่ธาตุใน plasma ของสุกรรุ่น-ขุน (20-90 กิโลกรัม)

3.1 การทดลองเบื้องต้น (Pre-experiment)

3.1.1 ศึกษาถึงส่วนประกอบของแร่ธาตุในหินภูเขาไฟ เพื่อทราบถึงชนิดของแร่ธาตุที่เป็นส่วนประกอบของหินภูเขาไฟและคำนวณปริมาณของแร่ธาตุแต่ละชนิด

3.1.1.1 เตรียมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟ โดยทำการสุมแล้วแบ่งเป็น 4 ซ้ำ (replication)

3.1.1.2 นำแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟไปสกัดแร่ธาตุที่เป็นส่วนประกอบ โดยใช้วิธีทางเคมีเพื่อสกัดแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟ ตามวิธีการของ Richards (www, 1954) และ Lindsay and Norvell (www, 1978) (ภาคผนวก ก)

3.1.1.3 เมื่อสกัดแร่ธาตุที่เป็นส่วนประกอบจากหินภูเขาไฟได้แล้วนำมาทำการวัดปริมาณแร่ธาตุด้วยเครื่อง atomic absorption spectrophotometer รุ่น Spectr AA-250 Plus ตามวิธีของ Varian Australia Pty Ltd. (1989) (ภาคผนวก ก)

3.1.1.4 เก็บข้อมูลปริมาณแร่ธาตุที่เป็นส่วนประกอบของหินภูเขาไฟ จากการอ่านจากเครื่อง atomic absorption spectrophotometer โดยทำการวัดปริมาณแร่ธาตุ Ca, K, Mg, Cu, Fe และ Zn

3.1.2 การทดสอบคุณสมบัติในการดูดซับสารพิษอะฟลาท็อกซิน ในห้องปฏิบัติการ (*in vitro*) ด้วยเครื่อง high performance liquid chromatography (HPLC) ตามวิธีวิเคราะห์มาตรฐานของ AOAC (Scott, 1990)

3.1.2.1 ทำแผนการทดลอง โดยวางแผนการทดลองแบบ completely randomized design (CRD)

3.1.2.2 ทำการเก็บตัวอย่างอาหารสุกรทุกกลุ่มการทดลอง แล้วแบ่งออกเป็น 4 ซ้ำ (replication)

3.1.2.3 ทำการทดสอบคุณสมบัติในการดูดซับสารพิษ aflatoxin ด้วยเครื่อง HPLC ตามวิธีวิเคราะห์มาตรฐานของ AOAC (Scott, 1990) ซึ่งจะทำให้การเปรียบเทียบผลิตภัณฑ์ ดูดซับ (aluminosilicate) ชนิดต่างๆกับแร่ธาตุจากหินแร่ภูเขาไฟ (ภาคผนวก ค)

3.1.2.4 ทำการเก็บข้อมูลการดูดซับสารพิษ aflatoxin B₁ ของแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟ เปรียบเทียบกับสารดูดซับอะลูมิเนียมซิลิเกต (aluminosilicate) ทางการค้า

3.2 การทดลองที่ 1 เพื่อศึกษาผลของการเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟต่อสมรรถภาพการผลิตของแม่พันธุ์สุกรระยะอุ้มท้องและระยะเลี้ยงลูก

3.2.1 แผนการทดลอง ทำการทดลองโดยวางแผนการทดลองแบบ completely randomized design (CRD)

3.2.2 ใช้สุกรแม่พันธุ์ 12 ตัว แม่พันธุ์สุกรเป็นลูกผสมสองสาย (Lanrace X Large White)

3.2.3 การสุ่มสุกรเป็นการสุ่มตลอด โดยจัดให้สุกรแม่พันธุ์แต่ละกลุ่มการทดลองมีลำดับท้องและจำนวนวันที่ตั้งท้องที่เท่ากัน

3.2.4 สุกรแม่พันธุ์ถูกเลี้ยงโดยยังอยู่ในคอกเดี่ยว การแบ่งสุกรจะแบ่งเป็น 3 กลุ่มการทดลอง ในแต่ละกลุ่มการทดลองมี 4 ซ้ำ แต่ละ ซ้ำมีแม่สุกร 1 ตัว

3.2.5 สุกรทุกตัวเลี้ยงอยู่ภายใต้โรงเรือนเดียวกัน มีรางอาหารและมีน้ำสะอาดอย่างเพียงพอ โดยใช้ระบบให้น้ำอัตโนมัติ สุกรทุกตัวได้รับการทำวัคซีนและการปฏิบัติทางสัตวบาลเหมือนกันทุกตัว

3.2.6 ให้อาหารสุกรแม่พันธุ์ช่วงอุ้มท้องตัวละ 2.5 กิโลกรัม/วัน ช่วงเลี้ยงลูก 4 กิโลกรัม/วัน โดยกลุ่มการทดลองที่ 1 เป็นกลุ่มควบคุมไม่ทำการเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟ กลุ่มการทดลองที่ 2 เสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟ 1.5 เปอร์เซ็นต์ เทียบกับน้ำหนักรอาหาร กลุ่มการทดลองที่ 3 เสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟ 3.0 เปอร์เซ็นต์ เทียบกับน้ำหนักรอาหาร การให้อาหารสุกรจะแบ่งเป็น 2 มื้อต่อวัน มื้อแรกเวลา 8.30 นาฬิกา และมื้อที่ 2 เวลา 15.00 นาฬิกา อาหารคำนวณ โดยอ้างอิงความต้องการโภชนาจาก NRC (1998) (ตารางที่ 3.1 และตารางที่ 3.2)

3.2.7 ทำการบันทึกข้อมูลน้ำหนักของแม่พันธุ์ ณ วันคลอด วันหย่านมโดยใช้สายวัด, เก็บข้อมูลจำนวนลูกสุกร/แม่ จำนวนลูกมีชีวิต, ลูกตายขณะคลอด, ลูกตายในท้อง, น้ำหนักลูกสุกรแรกคลอด, น้ำหนักลูกสุกรหลังหย่านมและเก็บข้อมูลจำนวนวันตั้งแต่หย่านม-เป็นสัด

3.3 การทดลองที่ 2 เพื่อศึกษาผลของการเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟต่อสมรรถภาพการผลิตปริมาณ nitrogen ในมูลและปริมาณแร่ธาตุใน plasma ของสุกรรุ่น-ขุน (20-90 กิโลกรัม)

3.3.1 แผนการทดลอง ทำการทดลองโดยวางแผนการทดลองแบบ completely randomized design (CRD)

3.3.2 ใช้สุกร 24 ตัว สุกรเป็นลูกผสมสามสายพันธุ์ (Duroc X Lanrace X Large White)

3.3.3 การสุ่มเป็นการสุ่มตลอดโดยจัดให้แต่ละกลุ่มการทดลองมี น้ำหนักแรกเข้า อายุ และเพศ ที่เท่ากัน การทดลองนี้แบ่งเป็น 3 กลุ่มการทดลองในแต่ละ กลุ่มการทดลองมี 4 ซ้ำ แต่ละ ซ้ำมีสุกร 2 ตัวเป็นเพศผู้ 1 ตัว เพศเมีย 1 ตัว

3.3.4 เมื่อทำการสุ่มสุกรแล้ว ทำการสักเบอร์หูสุกรเพื่อทำหมายเลขประจำตัว และนำสุกรเข้าคอก

3.3.5 ในคอกมีถังกลเพื่อใส่อาหาร ระบบน้ำเป็นแบบ nipple และสุกรทุกตัวได้รับการปฏิบัติทางสัตวบาลเหมือนกัน

3.3.6 การให้อาหารเป็นการให้แบบกินได้เต็มที่ (*ad libitum*) ภาชนะที่ให้อาหารจะเป็นแบบถังกล โดยจะทำการเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟ กลุ่มการทดลองที่ 1 เป็นกลุ่มควบคุมไม่ทำการเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟ กลุ่มการทดลองที่ 2 เสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟ 1.5 เปอร์เซ็นต์ เทียบกับน้ำหนักอาหาร (15 กรัม/อาหาร 1 กิโลกรัม) กลุ่มการทดลองที่ 3 เสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟ 3.0 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับน้ำหนักอาหาร (30 กรัม/อาหาร 1 กิโลกรัม) การคำนวณความต้องการโภชนาอ้างอิงจาก NRC (1998) (ตารางที่ 3.1และตารางที่ 3.2)

3.3.7 ทำการบันทึกน้ำหนักของสุกรแรกเข้า โดยทำการเก็บน้ำหนักของสุกรทุกสัปดาห์ การชั่งน้ำหนักจะทำการใส่สุกรเข้าคอกแล้วนำไปชั่งบันทึกน้ำหนัก ปริมาณการกินจะทำการเก็บทุกสัปดาห์ สัปดาห์ละ 2 วันติดกัน โดยการทำความสะดวกที่ให้อาหารแล้วใส่อาหารที่ชั่งน้ำหนักไว้แล้ว เมื่อครบ 24 ชั่วโมง ทำการเก็บอาหารที่เหลือชั่งน้ำหนัก การวัดปริมาณการกินจะต้องนำไปอบเพื่อไล่ความชื้นออกเสียก่อน (DM basis) แล้วจึงค่อยนำปริมาณอาหารก่อนกินลบด้วยปริมาณอาหารที่เหลือหลังกิน เป็นจำนวนอาหารที่กินได้ต่อวัน ในการวัดสมรรถภาพการผลิตจะใช้ค่า ADG, ADFI และ G/F เป็นดัชนีในการวัด

3.3.8 การเก็บตัวอย่างเลือด ในระหว่างการทดลองจะมีการเก็บตัวอย่างเลือดเพื่อนำมาวิเคราะห์ปริมาณแร่ธาตุในเลือดโดยเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มควบคุม กลุ่มที่เสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟที่ระดับ 1.5 และ 3.0 เปอร์เซ็นต์ เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของระดับแร่ธาตุใน plasma เมื่อทำการเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟที่ปริมาณที่ต่างกัน ทำการเก็บตัวอย่างเลือดจากสุกรขุนโดย

สุ่มซ้ำ ละ 1 ตัวรวมทั้งหมด 12 ตัว ทำการเจาะเลือดบริเวณเส้นเลือดดำบริเวณคอ (jugular vein) ปริมาณ 10 มิลลิตรต่อตัว โดยใช้เข็มเบอร์ 18 ความยาว 3 นิ้ว โดยเก็บตัวอย่างเลือดในหลอดที่มีสารป้องกันการแข็งตัวของเลือด เก็บใส่กระดิกน้ำแข็ง หลังจากนั้นนำตัวอย่างเลือดมาปั่นเหวี่ยงด้วยเครื่อง centrifuge ที่ความเร็ว 1000 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 10-20 นาทีเก็บตัวอย่างส่วนที่ใสด้านบนลงใน microtube แล้วนำไปเก็บไว้ที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส ตามวิธีการของ AOAC (1990) เพื่อรอการวิเคราะห์ปริมาณแร่ธาตุใน plasma โดยเครื่อง atomic absorption spectrophotometer ต่อไป

3.3.9 การเก็บตัวอย่างมูลสุกร ในระหว่างการทดลองจะมีการเก็บตัวอย่างมูลสุกรเพื่อนำมาวิเคราะห์ปริมาณ nitrogen ในมูลสุกร โดยการเก็บมูลสุกรของสุกรทุกกลุ่มการทดลอง ซึ่งมูลที่เก็บนั้นเป็นมูลซึ่งสุกรถ่ายออกมาใหม่ๆจากนั้นทำการสุ่มตัวอย่างมูลสุกรเก็บในถุงพลาสติกมัดปากถุงให้แน่น เก็บไว้ที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส แล้วนำมาวิเคราะห์หาปริมาณ nitrogen ตามวิธีของ Kjeldahl method (AOAC, 1990)

3.4 ตัวแปรที่ทำการวิจัย

การทดลองเบื้องต้น

ปริมาณแร่ธาตุที่เป็นส่วนประกอบในหินภูเขาไฟและประสิทธิภาพการดูดซับสารพิษ aflatoxin B1

การทดลองที่ 1

- 1 จะทำการเก็บข้อมูลน้ำหนักของแม่พันธุ์ ณ วันคลอด และวันหย่านมโดยใช้สายวัด
- 2 ทำการเก็บข้อมูลจำนวนลูกสุกร/แม่ จำนวนลูกมีชีวิต, ลูกตายขณะคลอด, ลูกตายในท้อง, น้ำหนักลูกสุกรแรกคลอดและน้ำหนักลูกสุกรหลังหย่านม
- 3 ทำการเก็บข้อมูลจำนวนวันตั้งแต่หย่านม - เป็นสัด และผลการผสม

การทดลองที่ 2

- 1 น้ำหนักเริ่มทำการทดลอง
- 2 น้ำหนักเฉลี่ยที่เพิ่มขึ้นต่อตัวต่อวัน
- 3 ปริมาณการกินอาหารเฉลี่ยต่อตัวต่อวัน
- 4 ประสิทธิภาพการใช้อาหารของสุกร (Gain : Feed)
- 5 ปริมาณของ nitrogen ในมูล
- 6 ปริมาณแร่ธาตุใน plasma ของสุกร

3.5 การวิเคราะห์ทางสถิติ

3.5.1 การทดลองเบื้องต้น นำข้อมูลปริมาณแร่ธาตุและประสิทธิภาพการดูดซับสารพิษ aflatoxin B₁ มาวิเคราะห์ความแปรปรวน (analysis of variance) แบบ completely randomized design (CRD) (Steel and Torries, 1980) เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test โดยการใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SAS (SAS, 1985) ในการวิเคราะห์ ข้อมูล

3.5.2 การทดลองที่ 1 และ 2 นำข้อมูลมาวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance) แบบ completely randomized design (CRD) (Steel and Torries, 1980) เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test โดยการใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SAS (SAS, 1985)

3.6 สถานที่ทำการทดลอง

ฟาร์มมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

อาคารศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี 2, 3 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

3.7 ประชากร

ใช้แร่ธาตุจากหินภูเขาไฟ (คู่ส่วนประกอบของแร่ธาตุเป็นสำคัญ) เป็นกลุ่มตัวอย่างในการทดลองเบื้องต้น ใช้สุกรแม่พันธุ์ 2 สาย (Lanrace X Large White) จำนวน 12 ตัว เป็นกลุ่มตัวอย่างแทนประชากรสุกรแม่พันธุ์ 2 สายในการทดลองที่ 1 และใช้สุกร 3 สายพันธุ์ (Duroc X Lanrace X Large White) จำนวน 24 ตัวเป็นกลุ่มตัวอย่าง แทนประชากรสุกรรุ่น-ขุน 3 สายในการทดลองที่ 2

3.8 ระยะเวลาในการทดลอง

เริ่มทดลองตั้งแต่วันที่ 1 ธันวาคม 2546 ถึง 31 มีนาคม 2547

ตารางที่ 3.1 แสดงส่วนประกอบของอาหารสุกรระยะต่างๆ

วัตถุดิบ (กิโลกรัม)	สุกรเล็ก	สุกรรุ่น	สุกรขุน	สุกรแม่พันธุ์
ปลายข้าว	440	280	280	440
รำละเอียด	80	120	120	300
กากถั่วเหลือง 44 % Protein	0	210	200	180
ปลาป่น 57 % Protein	50	45	45	50
ถั่วเหลืองไขมันเต็ม 36 % Protein	400	60	20	0
มันสำปะหลังผสมโมลาส	0	250	308	0
L-Lysine	2	1	1	0
DL-Methionine	2	0.5	0.5	0
premix	5	5	5	2.5
Dicalcium phosphate (16%)	0	32	28	0
Dicalcium phosphate (21%)	28	0	0	26
Antibiotic	1.5	0	0	0
รวม(กิโลกรัม)	1008.5	1003.5	1007.5	998.5
โภชนะจากการคำนวณ				
พลังงาน (DE, kcal/กิโลกรัมอาหาร)	3510	3317	3313	3311
Protein (%)	24	20	18.5	20.6
Lysine (กรัม/กิโลกรัมอาหาร)	16.2	13.0	11.9	11.7
Methionine (กรัม/กิโลกรัมอาหาร)	6.3	3.9	3.7	3.8
Tryptophan (กรัม/กิโลกรัมอาหาร)	2.9	2.5	2.3	2.4
Threonine (กรัม/กิโลกรัมอาหาร)	9.4	7.8	7.1	7.8

ตารางที่ 3.2 แสดงส่วนประกอบของสารผสมล่องหน้าของสุกรระยะต่างๆ

ส่วนประกอบของสารผสมล่องหน้า	สุกรเล็ก	สุกรรุ่น	สุกรขุน	สุกรแม่พันธุ์
Vitamin A (IU)	12500000	10000000	6000000	19800000
Vitamin D3 (IU)	2500000	2000000	1200000	19800000
Vitamin E (IU)	22000	11000	11000	25000
Vitamin K3 (mg)	3000	1200	1000	3960
Vitamin B1 (mg)	2500	1500	1000	2000
Vitamin B2 (mg)	5000	3500	2100	5940
Vitamin B6 (mg)	3500	2000	1200	3000
Vitamin B12 (mg)	30	20	15	20
pantothenic acid (mg)	14750	10120	7000	16400
niacin (mg)	28200	22000	13200	24900
biotin (mg)	60	-	-	220
choline (mg)	300000	300000	300000	300000
Cu (mg)	200000	180000	100000	25100
Zn (mg)	110000	95000	60000	100100
Mn (mg)	70000	60000	35000	60100
Fe (mg)	150000	85000	60000	100100
Co (mg)	500	500	300	1100
Se (mg)	40	20	10	50
I (mg)	1000	1000	600	2100
สารนอมคุณภาพอาหารสัตว์ (mg)	625	625	625	312.5
ที่เหลือเป็นสารสื่อเติมจนครบ	5 kg	5 kg	5 kg	2.5 kg

บทที่ 4

ศึกษาถึงส่วนประกอบของแร่ธาตุในหินภูเขาไฟ เพื่อทราบถึงชนิดของแร่ธาตุที่เป็นส่วนประกอบของหินภูเขาไฟและทำการทดสอบคุณสมบัติในการดูดซับสารพิษ aflatoxin B₁

4.1 คำนำ

แร่ธาตุจากหินภูเขาไฟที่สำรวจพบมีประมาณ 40 ชนิด ซึ่งแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟแต่ละชนิดมีคุณสมบัติทางฟิสิกส์และเคมีที่แตกต่างกันไป ขึ้นอยู่กับโครงสร้างและองค์ประกอบที่แตกต่างกัน (Mumpton and Fishman, 1977) ดังนั้นก่อนเราใช้แร่ธาตุจากหินภูเขาไฟ จึงต้องรู้ส่วนประกอบของแร่ธาตุที่เป็นองค์ประกอบของแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟ ว่ามีแร่ธาตุใดเป็นส่วนประกอบและมีปริมาณเท่าไร เพื่อใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุดทั้งยังเป็นการป้องกันอันตราย ถ้ามีแร่ธาตุที่เป็นพิษเป็นส่วนประกอบอยู่ ในด้านการดูดซับสารพิษ aflatoxin พบว่าแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟเป็นสารที่มีองค์ประกอบภายในโครงสร้างโมเลกุลเป็น open tertiary structure และมีโมเลกุลของน้ำจับกันอยู่ภายในช่องว่างของโครงข่ายที่จะหลุดออกโดยง่ายเมื่อได้รับความร้อน คุณสมบัติที่สำคัญคือสารกลุ่มนี้มีผิวหน้าที่ดูดซับสารโมเลกุลอื่นๆ ที่มีขนาดใหญ่ได้และสามารถแลกเปลี่ยนประจุบวกขนาดใหญ่กับสารอื่นๆ ที่ตำแหน่ง active site โดยผ่านกระบวนการด้วยแรงไฟฟ้าสถิต หรือการสร้างพันธะโควาเลนต์ (ไมตรี, 2543) นอกจากแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟมีความสามารถในการดูดซับสารพิษ aflatoxin ได้แล้ว สารประกอบกลุ่มนี้ยังไม่ทำอันตรายต่อสัตว์ เมื่อสัตว์ได้รับแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟเข้าไปในร่างกายสัตว์สามารถขับออกมากับระบบขับถ่ายของเสียของสัตว์ได้ด้วย ดังนั้นการเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟจึงเป็นทางเลือกที่น่าสนใจ เพื่อเป็นแหล่งแร่ธาตุในอาหารของสุกร ทั้งยังเป็นแนวทางในการลดปัญหาการปนเปื้อนสารพิษ aflatoxin ได้จากการเสริมในอาหารสุกร (อรประพันธ์ และ สุกัญญา, 2536) ในการศึกษาครั้งนี้จึงได้ทำการศึกษาถึงปริมาณแร่ธาตุที่เป็นส่วนประกอบของแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟ และคุณสมบัติในการดูดซับสารพิษ aflatoxin B₁ ในห้องปฏิบัติการ (*in vitro*) ของแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟ

4.2 วัตถุประสงค์

ศึกษาถึงส่วนประกอบของแร่ธาตุในหินภูเขาไฟ เพื่อทราบถึงแร่ธาตุที่เป็นส่วนประกอบของ

หิโนภูเขาไฟและทำการทดสอบคุณสมบัติในการดูดซับสารพิษ aflatoxin B₁ ในห้องปฏิบัติการ (*in vitro*)

4.3 อุปกรณ์และวิธีการ

4.3.1 ศึกษาถึงชนิดของแร่ธาตุที่เป็นส่วนประกอบของหิโนภูเขาไฟ

4.3.1.1 ทำการเตรียมตัวอย่างแร่ธาตุจากหิโนภูเขาไฟจำนวน 4 ซ้ำ จากนั้นทำการสกัดแร่ธาตุที่เป็นส่วนประกอบของแร่ธาตุในหิโนภูเขาไฟ ตามวิธีการของ Richards (1954) และ Lindsay and Norvell (1978) (ภาคผนวก ก)

4.3.1.2 เมื่อทำการสกัดแร่ธาตุได้แล้วนำแร่ธาตุที่สกัดได้มาวัดปริมาณของแร่ธาตุชนิดต่างๆ โดยทำการวัดปริมาณแร่ธาตุด้วยเครื่อง atomic absorption spectrophotometer รุ่น Spectr AA-250 Plus ตามวิธีของ Varian Australia Pty Ltd. (1989)

4.3.1.3 ทำการบันทึกปริมาณแร่ธาตุจากหิโนภูเขาไฟที่วัดได้จากเครื่อง atomic absorption spectrophotometer

4.3.2 การทดสอบคุณสมบัติในการดูดซับสารพิษ aflatoxin B₁ ในห้องปฏิบัติการ

4.3.2.1 แผนการทดลอง ทำการทดลองโดยวางแผนการทดลองแบบ completely randomized design (CRD) โดยแบ่งเป็น 4 ซ้ำ

4.3.2.2 นำอาหารสุกรบดให้ละเอียด ผสมให้เข้ากัน ซึ่งอาหารสุกรใส่ในขวดรูปชมพู่ ขนาด 500 มิลลิลิตร ขวดละ 50 กรัม เติมสารละลายมาตรฐาน aflatoxin B₁ ใส่ในแต่ละขวด เพื่อทดสอบประสิทธิภาพการดูดซับ aflatoxin B₁ ของแร่ธาตุจากหิโนภูเขาไฟ, ผลิตภัณฑ์ดูดซับอะลูมิเนียมซิลิเกต (aluminosilicate) ทางการค้า 1 และผลิตภัณฑ์ดูดซับอะลูมิเนียมซิลิเกตทางการค้า 2

4.3.2.3 เติมน้ำกลั่นในแต่ละขวด ขวดละ 25 มิลลิลิตร ใส่ diatomaceous earth 25 กรัม เติม chloroform 250 มิลลิลิตร

4.3.2.4 ชั่งแร่ธาตุจากหิโนภูเขาไฟ, ผลิตภัณฑ์ดูดซับอะลูมิเนียมซิลิเกตทางการค้า 1 และ ผลิตภัณฑ์ดูดซับอะลูมิเนียมซิลิเกตทางการค้า 2 ปริมาณ 0.25 กรัม ใส่ในขวดในแต่ละชุดการทดลอง

4.3.2.5 นำขวดรูปชมพู่ในแต่ละชุดการทดลอง ไปบ่มที่อุณหภูมิ 39 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 2 วันเมื่อครบระยะเวลา นำอาหารสุกรในแต่ละชุดการทดลอง มาสกัดหาปริมาณ aflatoxin B₁

4.4 การวิเคราะห์ข้อมูล

นำข้อมูลปริมาณแร่ธาตุและประสิทธิภาพการดูดซับสารพิษ aflatoxin B₁ มาวิเคราะห์ความแปรปรวน (analysis of variance) แบบ completely randomized design (CRD) (Steel and Torries, 1980) เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test โดยการใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SAS (SAS, 1985) ในการวิเคราะห์ ข้อมูล

4.5 สถานที่ทำการทดลอง

ฟาร์มมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีและอาคารเครื่องมือ 2 และ 3 ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

4.6 ระยะเวลาทำการทดลอง

เริ่มทดลอง วันที่ 1 ธันวาคม 2546 ถึง วันที่ 31 ธันวาคม 2546

4.7 ผลการทดลอง

จากการทดลองหาปริมาณแร่ธาตุที่เป็นองค์ประกอบของแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟด้วยเครื่อง atomic absorption spectrophotometer พบว่าแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟมี calcium เป็นองค์ประกอบประมาณ 22.60 g/kg, potassium เป็นองค์ประกอบประมาณ 80.36 g/kg, magnesium เป็นองค์ประกอบประมาณ 1.92 g/kg, iron เป็นองค์ประกอบประมาณ 56.3 g/kg, copper เป็นองค์ประกอบประมาณ 200 ppm และ zinc เป็นองค์ประกอบประมาณ 200 ppm (ตารางที่ 4.1)

จากผลการทดสอบคุณสมบัติในการดูดซับสารพิษ aflatoxin B₁ ในห้องปฏิบัติการ ด้วยวิธีเครื่อง HPLC ตามวิธีวิเคราะห์มาตรฐานของ AOAC (Scott, 1990) ของแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟและสารประเภทอะลูมิเนียมซิลิเกตจากแหล่งต่างๆ พบว่าสารประเภทอะลูมิเนียมซิลิเกตจากแหล่งต่างๆ มีความสามารถในการดูดซับสารพิษ aflatoxin B₁ แตกต่างกัน โดยเมื่อวัดปริมาณ aflatoxin B₁ ของอาหารที่ใส่สารประเภทอะลูมิเนียมซิลิเกตเปรียบเทียบกับอาหาร ควบคุม + 100 ppb aflatoxin B₁ พบว่าอาหารที่ใส่สารประเภทอะลูมิเนียมซิลิเกตมีปริมาณของ aflatoxin B₁ น้อยกว่าอาหาร ควบคุม + 100 ppb aflatoxin B₁ อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p < 0.001$) โดยอาหาร ควบคุม + 100 ppb aflatoxin B₁ มีปริมาณ aflatoxin B₁ สูงที่สุด 174 ppb, อะลูมิเนียมซิลิเกต 3 มีปริมาณ aflatoxin B₁ 121 ppb, อะลูมิเนียมซิลิเกต 1 มีปริมาณ aflatoxin B₁ เท่ากับ 69 ppb และอะลูมิเนียมซิลิเกต 2 มีปริมาณ aflatoxin B₁ ต่ำสุดเท่ากับ 40 ppb ตามลำดับนอกจากนี้ยังพบว่าในอาหารปกติมีปริมาณ aflatoxin B₁ เฉลี่ยเท่ากับ 62 ppb

ตารางที่ 4.1 แสดงปริมาณแร่ธาตุที่เป็นส่วนประกอบของแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟด้วยเครื่อง atomic absorption spectrophotometer

แร่ธาตุ	Ca (g/kg)	K (g/kg)	Mg (g/kg)	Fe (g/kg)	Cu (ppm)	Zn (ppm)
ซ้ำที่ 1	22.79	80.52	1.93	56.02	200	200
ซ้ำที่ 2	22.41	80.21	1.90	56.58	200	200
mean $\pm$ SE	22.60 $\pm$ 0.19	80.36 $\pm$ 0.1	1.92 $\pm$ 0.02	56.30 $\pm$ 0.2	0	0

ตารางที่ 4.2 แสดงผลการดูดซับปริมาณสารพิษ aflatoxin B₁ ของสารประเภทอะลูมิเนียมซิลิเกตจากแหล่งต่างๆ

ผลิตภัณฑ์ดูดซับสารพิษ	ปริมาณสารพิษ aflatoxin B ₁ ppb*
control	62 $\pm$ 3.01 ^c
control + aflatoxin 100 ppb	174 $\pm$ 4.17 ^a
aluminosilicate 1+ aflatoxin 100 ppb	69 $\pm$ 3.72 ^c
aluminosilicate 2+ aflatoxin 100 ppb	40 $\pm$ 4.89 ^d
aluminosilicate 3+ aflatoxin 100 ppb	121 $\pm$ 2.32 ^b
Pr > F	0.001
% C.V.	7.95
SEM	1.67

* mean $\pm$ S.E.

aluminosilicate 1 คือ แร่ธาตุจากหินภูเขาไฟ

aluminosilicate 2 คือ ผลิตภัณฑ์ดูดซับอะลูมิเนียมซิลิเกตทางการค้า 1

aluminosilicate 3 คือ ผลิตภัณฑ์ดูดซับอะลูมิเนียมซิลิเกตทางการค้า 2

a, b, c และ d แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.001)

เมื่อนำปริมาณของสารพิษ aflatoxin B₁ จากตารางที่ 4.2 มาคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การดูดซับสารพิษ aflatoxin B₁ ของแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์ดูดซับ อะลูมิเนียมซิลิเกตทางการค้า 1 และ ผลิตภัณฑ์ดูดซับอะลูมิเนียมซิลิเกตทางการค้า 2 พบว่า ผลิตภัณฑ์ดูดซับอะลูมิเนียมซิลิเกตทางการค้า 1 มีประสิทธิภาพการดูดซับสารพิษ aflatoxin B₁ สูงสุดคือ 76.90 $\pm$ 5.6 เปอร์เซ็นต์, แร่ธาตุจากหินภูเขาไฟมีประสิทธิภาพการดูดซับสารพิษ aflatoxin B₁ เป็นอันดับสองเท่ากับ 59.95 $\pm$ 4.26 เปอร์เซ็นต์ และผลิตภัณฑ์ดูดซับอะลูมิเนียมซิลิเกตทางการค้า 2 มีประสิทธิภาพการดูดซับสารพิษ aflatoxin B₁ ต่ำสุดคือ 30.46 $\pm$ 2.65 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 4.3)

ตารางที่ 4.3 แสดงประสิทธิภาพการดูดซับสารพิษ aflatoxin B₁ ของสารประเภท อะลูมิเนียมซิลิเกต จากแหล่งต่างๆ

อะลูมิเนียมซิลิเกตจากแหล่งต่างๆ	ประสิทธิภาพการดูดซับ, เปอร์เซ็นต์*	SD
aluminosilicate 1	59.95 ± 1.85	4.26
aluminosilicate 2	76.90 ± 2.43	5.60
aluminosilicate 3	30.46 ± 1.15	2.65

* mean ± S.E.

aluminosilicate 1 คือ แร่ธาตุจากหินภูเขาไฟ

aluminosilicate 2 คือ ผลิตภัณฑ์ดูดซับ aluminosilicate ทางการค้า 1

aluminosilicate 3 คือ ผลิตภัณฑ์ดูดซับ aluminosilicate ทางการค้า 2

4.8 วิจัยรณผลการทดลอง

จากผลการทดลองพบว่า แร่ธาตุจากหินภูเขาไฟมีแร่ธาตุที่เป็นส่วนประกอบหลายชนิด คือ มี calcium เป็นองค์ประกอบประมาณ 22.60 g/kg, potassium เป็นองค์ประกอบประมาณ 80.36 g/kg, magnesium เป็นองค์ประกอบประมาณ 1.92 g/kg, iron เป็นองค์ประกอบประมาณ 56.3 g/kg, copper เป็นองค์ประกอบประมาณ 200 ppm และ zinc เป็นองค์ประกอบประมาณ 200 ppm ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบแร่ธาตุที่เป็นองค์ประกอบของแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟจากแหล่งอื่นๆ พบว่า แร่ธาตุจากหินภูเขาไฟที่ใช้ในการทดลองนั้นมีปริมาณแร่ธาตุที่จำเป็นต่อสมรรถภาพการผลิตของสุกรบางชนิดสูงกว่าแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟแหล่งอื่น โดย Mineral Data Publishing (www, 2001) ได้ทำการวิเคราะห์แร่ธาตุจากหินภูเขาไฟ 2 แหล่งพบว่าแหล่งที่ 1 มี calcium เป็นองค์ประกอบประมาณ 7.65 g/kg, potassium เป็นองค์ประกอบประมาณ 28.81 g/kg, magnesium เป็นองค์ประกอบประมาณ 2.83 g/kg, iron เป็นองค์ประกอบประมาณ 139 mg/kg แหล่งที่ 2 มี calcium เป็นองค์ประกอบประมาณ 23.30 g/kg, potassium เป็นองค์ประกอบประมาณ 17.76 g/kg, magnesium เป็นองค์ประกอบประมาณ 724 mg/kg, iron เป็นองค์ประกอบประมาณ 3.22 g/kg ในส่วนของ copper และ zinc นั้นไม่ได้รายงานผลไว้ นอกจากนี้ ศุสดี (2537) รายงานว่าแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟที่วิเคราะห์ มี calcium เป็นองค์ประกอบประมาณ 4.80 g/kg, potassium เป็นองค์ประกอบประมาณ 15.40 g/kg, magnesium เป็นองค์ประกอบประมาณ 5.50 g/kg, iron เป็นองค์ประกอบประมาณ 52.80 g/kg และมี sodium เป็นองค์ประกอบประมาณ 5.5 g/kg จากข้อมูลข้างต้นจะเห็นได้ว่าปริมาณของแร่ธาตุที่สำคัญที่เป็นส่วนประกอบของแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟที่ใช้ในการทดลองนั้นมีปริมาณแร่ธาตุสูงเมื่อเทียบกับแหล่งอื่นๆ แต่จากการวิเคราะห์แร่ธาตุจากหินภูเขาไฟนั้นพบว่าไม่มี sodium เป็นองค์ประกอบ ซึ่งอาจเป็นสาเหตุทำให้ปริมาณแร่ธาตุชนิดอื่นๆ มีค่าสูงกว่าแร่ธาตุจาก

หินภูเขาไฟจากแหล่งอื่น เพิ่มพูน (2528) รายงานว่าส่วนประกอบของแร่ธาตุที่แตกต่างกันของแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟขึ้นกับชนิดของหินภูเขาไฟ ซึ่งมีถึง 40 ชนิดทั้งยังขึ้นกับแหล่งที่พบ หินภูเขาไฟด้วย เพราะหินภูเขาไฟจากแหล่งต่างจะมีแร่ธาตุที่เป็นส่วนประกอบไม่เหมือนกัน แม้ว่าส่วนประกอบที่เหมือนกันก็จะมีปริมาณของแร่ธาตุที่ไม่เท่ากัน

ในด้านปริมาณการดูดซับสารพิษ aflatoxin B₁ พบว่าแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟ ผลิตภัณฑ์ดูดซับอะลูมิเนียมซิลิเกตทางการค้า 1 และผลิตภัณฑ์ดูดซับอะลูมิเนียมซิลิเกตทางการค้า 2 ล้วนมีคุณสมบัติในการดูดซับสารพิษ aflatoxin B₁ ทั้งสิ้น โดยผลิตภัณฑ์ดูดซับอะลูมิเนียมซิลิเกตทางการค้า 1 มีประสิทธิภาพการดูดซับสูงสุด แร่ธาตุจากหินภูเขาไฟเป็นอันดับ 2 และผลิตภัณฑ์ดูดซับอะลูมิเนียมซิลิเกตทางการค้า 2 เป็นอันดับสุดท้ายซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.001$) เมื่อคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การดูดซับสารพิษ aflatoxin B₁ ของแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์ดูดซับอะลูมิเนียมซิลิเกตทางการค้า 1 และผลิตภัณฑ์ดูดซับ อะลูมิเนียมซิลิเกตทางการค้า 2 พบว่า ผลิตภัณฑ์ดูดซับอะลูมิเนียมซิลิเกตทางการค้า 1 มีประสิทธิภาพการดูดซับสารพิษ aflatoxin B₁ สูงสุดคือ 76.90 ± 5.6 เปอร์เซ็นต์, แร่ธาตุจากหินภูเขาไฟมีประสิทธิภาพการดูดซับสารพิษ aflatoxin B₁ เป็นอันดับสองเท่ากับ 59.95 ± 4.26 เปอร์เซ็นต์ และ ผลิตภัณฑ์ดูดซับอะลูมิเนียมซิลิเกตทางการค้า 2 มีประสิทธิภาพการดูดซับสารพิษ aflatoxin B₁ ต่ำสุดคือ 30.46 ± 2.65 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของ นวลจันทร์ และ คณะ (2536) ซึ่งรายงานว่ามีแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟ (aluminosilicates) 3 ชนิดคือ zeolite ธรรมชาติ, hydrate sodium calcium aluminosilicates (HSCAS) และ sodium bentonite มีความสามารถในการลดสารพิษ aflatoxin ในข้าวโพด โดยเติมน้ำในข้าวโพดแล้วปรับความเป็นกรดให้เท่ากับ pH 2.0 ด้วย hydrochloric acid (HCl) พบว่ามีค่าการดูดซับเฉลี่ยเท่ากับ 86.37 เปอร์เซ็นต์, 93.63 เปอร์เซ็นต์ และ 89.37 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ โดยสารทั้ง 3 ชนิดสามารถดูดซับ aflatoxin ได้ดีตั้งแต่ช่วงแรกของ การทดลอง ซึ่งอาจกล่าวได้ว่าสารดูดซับน่าจะสามารดูดซับ aflatoxin ได้ทันทีที่เข้าไปในระบบทางเดินอาหารของสัตว์ Scheideler (1989) รายงานว่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับ aflatoxin ของสารประเภทอะลูมิเนียมซิลิเกตใน methanol มีความผันแปรตั้งแต่ 0 เปอร์เซ็นต์ - 55 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่เปอร์เซ็นต์การดูดซับ aflatoxin ในของเหลวจากกระเพาะอาหารมีความผันแปรระหว่าง 58 เปอร์เซ็นต์ - 74 เปอร์เซ็นต์ ตามชนิดของสารดูดซับที่ใช้ นอกจากนี้ Phillips et al. (1988) รายงานว่าความสามารถในการดูดซับสารพิษ aflatoxin ของสารชนิดต่างๆ 38 ชนิดมีค่าระหว่าง 1.2 เปอร์เซ็นต์ - 98.1 เปอร์เซ็นต์ โดยพบว่า HSCAS มีความสามารถในการดูดซับ aflatoxin ได้มากกว่า 80 เปอร์เซ็นต์ และ zeolite มีความสามารถในการดูดซับ aflatoxin ได้มากกว่า 70 เปอร์เซ็นต์ จากข้อมูลข้างต้นเป็นการยืนยันได้ว่าแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟ (สารประเภท aluminosilicates) นั้นมีความสามารถในการดูดซับสารพิษ aflatoxin ได้แน่นอน ซึ่งจากผลการทดสอบปริมาณการดูดซับสารพิษ aflatoxin B₁ ของแร่ธาตุจาก

หินภูเขาไฟ พบว่ามีเปอร์เซ็นต์การดูดซับเท่ากับ 59.95 ± 4.26 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งนับว่าเป็นค่าที่สูงพอสมควรเมื่อเทียบกับรายงานข้างต้น จะเห็นได้ว่าผลการดูดซับของแต่ละการทดลองนั้นมีความแปรปรวนสูง ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากชนิดของผลิตภัณฑ์ดูดซับที่แตกต่างกัน สภาพของการทดลองที่แตกต่างกันเช่น ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH 2 และ 10) และที่สำคัญคือปริมาณ SiO_2 และ Al_2O_3 ที่เป็นองค์ประกอบในผลิตภัณฑ์ดูดซับแต่ละตัว ซึ่งจากการวิเคราะห์แร่ธาตุจากหินภูเขาไฟพบว่ามีปริมาณ SiO_2 65.85 เปอร์เซ็นต์ และ Al_2O_3 10.46 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟ (zeolite) จากต่างประเทศพบว่ามีค่าใกล้เคียงกันคือ ตัวอย่างแรกมีปริมาณ SiO_2 69.93 เปอร์เซ็นต์ และ Al_2O_3 11.89 เปอร์เซ็นต์ ตัวอย่างที่สองมีปริมาณ SiO_2 68.44 เปอร์เซ็นต์ และ Al_2O_3 11.86 เปอร์เซ็นต์ (Mineral Data Publishing, www, 2001) ซึ่งหมายความว่าแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟที่ใช้ในการทดลอง มีความสามารถในการดูดซับสารพิษใกล้เคียงกับแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟที่ผลิตจากต่างประเทศ

4.9 สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองเพื่อทราบถึงปริมาณแร่ธาตุ Ca, K, Mg, Fe, Cu และ Zn ที่เป็นองค์ประกอบของแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟพบว่ามี calcium เป็นองค์ประกอบประมาณ 22.60 g/kg, potassium 80.36 g/kg, magnesium 1.92 g/kg, iron 56.3 g/kg, copper 200 ppm และ zinc 200 ppm และจากการทดลองเพื่อทราบถึงปริมาณการดูดซับสารพิษ aflatoxin B₁ พบว่าแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟที่ใช้ในการทดลองมีประสิทธิภาพในการดูดซับสารพิษ aflatoxin B₁ ได้ โดยแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟมีประสิทธิภาพการดูดซับสารพิษ aflatoxin B₁ เท่ากับ 59.95 ± 4.26 เปอร์เซ็นต์

บทที่ 5

ศึกษาผลของการเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟต่อสมรรถภาพการผลิตของแม่พันธุ์สุกรระยะอุ้มท้องและระยะเลี้ยงลูก

5.1 คำนำ

การปรับปรุงพันธุ์ของสุกรในปัจจุบันส่งผลให้สุกรมีการเจริญเติบโตที่เร็วขึ้น มีการสร้างเนื้อแดงสูง มีการสะสมไขมันลดลงและมีการกินอาหารลดลง ซึ่งอาจดีในแง่ของสุกรขุน แต่ส่งผลกระทบต่อสุกรแม่พันธุ์เพราะทำให้สุกรแม่พันธุ์มีพลังงานสะสมในช่วงเลี้ยงลูกไม่เพียงพอประกอบกับแม่สุกรได้รับโภชนาจากอาหารลดลง ส่งผลให้แม่สุกรสูญเสียน้ำหนักตัวมากในช่วงเลี้ยงลูกซึ่งกระทบต่อประสิทธิภาพการผลิตของแม่สุกรในท้องถัดไป (เสกสม, 2546; Jones and Stabley, 1995; Kim et al., 2003) ปริยพันธุ์ (2542) รายงานว่าควรมีการปรับปรุงคุณภาพอาหารแม่สุกร โดยลดปริมาณเยื่อใยในอาหาร ใช้วัตถุดิบที่ง่ายและมีความน่ากินสูง การเสริมไขมันในสูตรอาหารหรือการปรับสมดุลของโภชนาในสูตรอาหาร ให้อาหารมีโภชนาสูงขึ้นเพื่อชดเชยกับปริมาณการกินอาหารของแม่พันธุ์สุกรที่ลดลง แต่การปรับความเข้มข้นของโภชนาโดยเฉพาะพลังงานในอาหารนั้นทำให้ปริมาณการกินได้ของสุกรเปลี่ยนไป เพราะพลังงานในอาหารเป็นตัวควบคุมปริมาณการกินอาหาร อาหารที่มีส่วนของพลังงานสูงจะทำให้สัตว์กินอาหารได้น้อยลง ดังนั้นอาหารที่มีพลังงานสูงต้องมีความเข้มข้นของแร่ธาตุสูงขึ้น ในทางตรงกันข้ามถ้าอาหารมีพลังงานต่ำความเข้มข้นของแร่ธาตุในอาหารควรต่ำลงด้วย (ฉลอง, 2543) ดังนั้นเมื่อในอาหารมีพลังงานสูงขึ้นจึงควรมีการเสริมแร่ธาตุเพิ่มขึ้นด้วย ซึ่งการเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟในอาหารแม่สุกรนั้นเป็นแนวทางการแก้ปัญหาที่น่าสนใจ เพราะนอกจากแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟมีคุณสมบัติในการดูดซับสารพิษ aflatoxin และดูดซับ nitrogen ในมูลแล้ว แร่ธาตุจากหินภูเขาไฟยังประกอบด้วยแร่ธาตุที่จำเป็นหลายชนิดที่แม่สุกรต้องการ ดังนั้นในการศึกษาครั้งนี้จึงทำการศึกษาผลของการเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟต่อสมรรถภาพการผลิตของแม่พันธุ์สุกรระยะอุ้มท้องและระยะเลี้ยงลูก

5.2 วัตถุประสงค์

เพื่อทราบถึงผลของการเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟต่อสมรรถภาพการผลิตของสุกรแม่พันธุ์ โดยทำการศึกษาถึง จำนวนลูกสุกรต่อครอก น้ำหนักแรกเกิดและน้ำหนักหย่านมของลูกสุกร ปริมาณการตายของลูกสุกร น้ำหนักที่สูญเสียของแม่สุกรระหว่างเลี้ยงลูก และจำนวนวันจากหย่านมถึงเป็นสัด

5.3 อุปกรณ์และวิธีการ

5.3.1 การจัดการแม่สุกรสำหรับทดลองและการให้อาหาร

ในการทดลองใช้สุกรแม่พันธุ์ 12 ตัว แม่พันธุ์สุกรเป็นลูกผสมสองสาย (Landrace X Large White) โดยแบ่งออกเป็น 3 กลุ่มการทดลอง (treatment) กลุ่มการทดลองละ 4 ซ้ำ (replication) ในแต่ละซ้ำใช้แม่สุกร 1 ตัว โดยกลุ่มการทดลองที่ 1 ไม่เสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟในอาหาร กลุ่มการทดลองที่ 2 เสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟ 1.5 เปอร์เซ็นต์เทียบกับน้ำหนักอาหาร กลุ่มการทดลองที่ 3 เสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟ 3 เปอร์เซ็นต์เทียบกับน้ำหนักอาหาร จัดแม่สุกรในคอกเดี่ยวแต่ละคอกจะมีที่ใส่อาหารและที่ให้น้ำระบบ nipple การให้อาหารสุกรจะให้อาหารสุกรอิ่มท้อง 2.5 กิโลกรัม/ตัว/วัน สุกรช่วงเลี้ยงลูก 4 กิโลกรัม/ตัว/วัน โดยแบ่งเป็น 2 มื้อต่อวัน ให้อาหารสุกรมื้อแรกเวลา 8.30 น. และมื้อที่ 2 เวลา 15.00 น. ให้อาหาร อาหารคำนวณโดยอ้างอิงความต้องการโภชนาจาก NRC (1998) สุกรแม่พันธุ์ทั้ง 3 กลุ่มการทดลองจะแบ่งกลุ่มตามจำนวนท้อง จำนวนวันที่ตั้งท้องและน้ำหนักตัวของแม่สุกร แล้วทำการจัดกลุ่มการทดลองตามค่าเฉลี่ยของแต่ละปัจจัยให้มีค่าใกล้เคียงกันทั้ง 3 กลุ่ม

5.3.2 วิธีการทดลองและเก็บข้อมูล

เมื่อจัดแม่สุกรออกเป็นกลุ่มตามแผนการทดลองแล้ว ให้อาหารสุกรแม่พันธุ์วันละ 2 เวลา โดยใช้เวลาในการปรับตัวประมาณ 1 สัปดาห์ เพื่อให้คุ้นเคยกับสภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนไป เช่น สภาพคอก และอาหารที่ผสมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟ ก่อนเก็บข้อมูลจริง หลังจากนั้นทำการทดลองเป็นเวลาประมาณ 2 เดือน โดยทำการบันทึกข้อมูลน้ำหนักของแม่พันธุ์ ณ วันคลอด และวันหย่านม โดยการใช้สายวัด, การเก็บข้อมูลจำนวนลูกสุกร/แม่, จำนวนลูกมีชีวิต, ลูกตายขณะคลอด, ลูกตายในท้อง, น้ำหนักลูกสุกรแรกคลอด, น้ำหนักลูกสุกรหลังหย่านม และจำนวนวันตั้งแต่หย่านม-เป็นสัด

ระหว่างทำการทดลองทำการเก็บตัวอย่างอาหารของแม่สุกรสัปดาห์ละ 2 วัน ซึ่งแม่สุกรจะได้รับอาหารช่วงอิ่มท้อง 2.5 กิโลกรัมต่อวันและอาหารช่วงเลี้ยงลูก ตัวละ 4 กิโลกรัมต่อวัน โดยทำการชั่งอาหารใส่ถุงไว้พร้อมทำการเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟ ในกลุ่มการทดลองที่ 1 อาหารไม่เสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟ กลุ่มที่ 2 อาหารเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟ 1.5 เปอร์เซ็นต์ คิดเป็น 37.5 กรัม/ตัว/วันในช่วงอิ่มท้องและ 60 กรัม/ตัว/วัน ในช่วงเลี้ยงลูก กลุ่มการทดลองที่ 3 อาหารเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟ 3 เปอร์เซ็นต์ คิดเป็น 75 กรัม/ตัว/วันในช่วงอิ่มท้องและ 120 กรัม/ตัว/วัน ในช่วงเลี้ยงลูก นำตัวอย่างอาหารก่อนกินที่สุ่มมาในแต่ละสัปดาห์ไปอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ในตู้ hot air oven เพื่อวิเคราะห์หาวัตถุแห้ง (dry matter, DM) แล้วเก็บอาหารไว้ในภาชนะที่มีฝาปิดเพื่อป้องกันความชื้น เมื่อสิ้นสุดการทดลองนำอาหารที่เก็บไว้มารวมกันแล้วทำการ

ลุ่มตัวอย่างอาหารเพื่อนำตัวอย่างอาหารไปวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ด้วยวิธี proximate analysis (AOAC, 1990) ทำการหาเถ้า (ash) โดยการเผาที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ไขมันหรือสารสกัดอีเทอร์ (ether extract, EE) โดยเครื่องซอกเลท (soxhlet auto analyser) เยื่อใย (crude fiber, CF) โดยเครื่องไฟเบอร์เทค (fibertec auto analyser) และวิเคราะห์หาปริมาณโปรตีนหยาบ (crude protein, CP) โดยเครื่องเคเจลเทค (kjelttec auto analyser) นำตัวอย่างอาหารไปวิเคราะห์ปริมาณแร่ธาตุด้วยเครื่อง atomic absorption spectrophotometer รุ่น Spectr AA-250 Plus ตามวิธีของ Varian Australia Pty Ltd. (1989) โดยทำการวัดปริมาณแร่ธาตุ Ca, K, Mg, Fe, Cu และ Zn เมื่อทำการวิเคราะห์อาหารด้วยวิธีต่างแล้วนำข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์ทางสถิติต่อไป

5.4 การวิเคราะห์ข้อมูล

ข้อมูลทั้งหมดนำมาวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance) แบบ completely randomized design (CRD) (Steel and Torries, 1980) เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test โดยการใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SAS (SAS, 1985)

5.5 สถานที่ทำการทดลอง

ฟาร์มมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีและอาคารเครื่องมือ 2 และ 3 ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

5.6 ระยะเวลาทำการทดลอง

เริ่มทดลองวันที่ 1 มกราคม 2547 ถึง วันที่ 31 มีนาคม 2547

5.7 ผลการทดลอง

ตารางที่ 5.1 แสดงปริมาณโภชนะของอาหารที่ใช้เลี้ยงแม่สุกรอุ้มท้อง ซึ่งกลุ่มการทดลองที่ 1 คืออาหารสุกรอุ้มท้องที่ไม่ได้เสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟ กลุ่มการทดลองที่ 2 คืออาหารสุกรอุ้มท้องที่เสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟ 1.5 เปอร์เซ็นต์ เทียบกับน้ำหนักรอาหารและกลุ่มการทดลองที่ 3 คืออาหารสุกรอุ้มท้องที่เสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟ 3.0 เปอร์เซ็นต์ เทียบกับน้ำหนักรอาหาร เมื่อวิเคราะห์อาหารด้วยวิธี proximate analysis แล้วพบว่าเปอร์เซ็นต์ ความชื้น โปรตีน และไขมัน ของอาหารสุกรทั้ง 3 กลุ่มการทดลองไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) แต่พบว่าการเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟส่งผลให้เปอร์เซ็นต์เยื่อใยและเปอร์เซ็นต์เถ้าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) คือ การเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟที่ 3 เปอร์เซ็นต์ มีเปอร์เซ็นต์เยื่อใยน้อยกว่า การเสริม

แร่ธาตุจากหินภูเขาไฟ 1.5 เปอร์เซ็นต์ และอาหารที่ไม่เสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟตามลำดับ ซึ่งตรงข้ามกับเปอร์เซ็นต์เถ้าที่การเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟปริมาณสูงขึ้นส่งผลให้มีเปอร์เซ็นต์เถ้าสูงขึ้นตามลำดับ

ตารางที่ 5.1 แสดงโภชนาที่เป็นส่วนประกอบของอาหารแม่สุกรอุ้มท้อง

โภชนา (%)	ปริมาณการเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟ (%)					
	0 %, $\pm$ SE	1.5 %, $\pm$ SE	3.0 %, $\pm$ SE	Pr> Tr	C.V.	SEM
ความชื้น	8.3 $\pm$ 0.106	8.6 $\pm$ 0.195	9.0 $\pm$ 0.187	0.813	6.03	0.165
โปรตีน	16.9 $\pm$ 0.653	16.8 $\pm$ 0.414	17.0 $\pm$ 0.643	0.739	4.85	0.333
เยื่อใย	5.8 ^a $\pm$ 0.105	5.0 ^b $\pm$ 0.182	4.9 ^b $\pm$ 0.145	0.034	3.96	0.085
ไขมัน	5.1 $\pm$ 0.019	5.0 $\pm$ 0.280	4.8 $\pm$ 0.159	0.553	5.24	0.107
เถ้า	7.2 ^c $\pm$ 0	7.8 ^b $\pm$ 0.076	8.1 ^a $\pm$ 0.049	0.003	0.96	0.030

a, b, c แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

ตารางที่ 5.2 แสดงโภชนาที่เป็นส่วนประกอบของอาหารแม่สุกรเลี้ยงลูก

โภชนา (%)	ปริมาณการเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟ (%)					
	0 %, $\pm$ SE	1.5 %, $\pm$ SE	3.0 %, $\pm$ SE	Pr> Tr	C.V.	SEM
ความชื้น	7.6 $\pm$ 0.392	8.0 $\pm$ 0.173	8.0 $\pm$ 0.195	0.422	4.49	0.125
โปรตีน	20.9 $\pm$ 0.099	20.4 $\pm$ 0.012	20.8 $\pm$ 0.226	0.112	0.97	0.082
เยื่อใย	3.4 $\pm$ 0.006	3.6 $\pm$ 0.057	3.6 $\pm$ 0.141	0.392	3.52	0.051
ไขมัน	4.9 $\pm$ 0.333	5.04170 $\pm$	3.8 $\pm$ 0.300	0.086	11.06	0.204
เถ้า	8.7 ^b $\pm$ 0.637	10.2 ^b $\pm$ 0.14	12.1 ^a $\pm$ 0.17	0.021	5.34	0.225
		4	7			

a, b, c แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

ตารางที่ 5.2 แสดงโภชนาของอาหารสุกรเลี้ยงลูก ซึ่งวิเคราะห์ด้วยวิธี proximate analysis ซึ่งกลุ่มการทดลองที่ 1 คืออาหารสุกรอุ้มท้องที่ไม่ได้เสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟ กลุ่มการทดลองที่ 2 คืออาหารสุกรอุ้มท้องที่เสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟ 1.5 เปอร์เซ็นต์ เทียบกับน้ำหนักอาหารและกลุ่มการทดลองที่ 3 คืออาหารสุกรอุ้มท้องที่เสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟ 3.0 เปอร์เซ็นต์ เทียบกับน้ำหนักอาหาร จากการวิเคราะห์พบว่า การเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟไม่ส่งผลให้เปอร์เซ็นต์

ความชื้น โปรตีน เยื่อใยและไขมัน แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) แต่การเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟ ส่งผลให้เปอร์เซ็นต์เถ้าของกลุ่มการทดลองที่ 3 มีค่าสูงกว่ากลุ่มการทดลองที่ 1 และกลุ่มการทดลองที่ 2 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยแม่สุกรเลี้ยงลูกได้รับโภชนาต่อวัน (จากการคำนวณ) ดังนี้ พลังงาน digestible energy (DE) 13,247 kcal/วัน, metabolizable energy (ME) 11,998 kcal/วัน , โปรตีน 827 g/วัน, lysine 47 กรัม/วัน ซึ่งนับว่าเพียงพอต่อความต้องการของแม่สุกร

ตารางที่ 5.3 และตารางที่ 5.4 แสดงปริมาณแร่ธาตุแต่ละชนิดที่สุกรอ้อมท้องและสุกรเลี้ยงลูก ได้รับจากอาหารควบคุม อาหารที่ทำการเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟ 1.5 เปอร์เซ็นต์ และอาหารที่เสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟ 3.0 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้ปริมาณแร่ธาตุที่สุกรได้รับเพิ่มขึ้นกับปริมาณการกินอาหารของสุกรด้วยแต่ในการให้อาหารสุกรแม่พันธุ์เราให้อาหารคงที่ โดยแม่สุกรอ้อมท้องได้รับอาหารวันละ 2.5 กิโลกรัมและแม่สุกรเลี้ยงลูกได้รับอาหาร 4.0 กิโลกรัม ต่อตัวต่อวัน ซึ่งจากการทดลองพบว่าแม่สุกรอ้อมท้องได้รับ calcium, potassium, copper และ zinc ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) แต่ได้รับ magnesium และ iron แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยสุกรอ้อมท้องได้รับ calcium เท่ากับ 25.75, 27.37 และ 28.55 กรัม/วันตามลำดับ ได้รับ potassium เท่ากับ 18.45, 18.97 และ 20.43 กรัม/วัน ตามลำดับ ได้รับ magnesium เท่ากับ 6.38, 7.49 และ 8.72 กรัม/วัน ตามลำดับ ได้รับ iron เท่ากับ 744, 1324 และ 1359 ppm/วัน ตามลำดับ ได้รับ copper เท่ากับ 156, 153 และ 162 ppm/วัน ตามลำดับและได้รับ zinc เท่ากับ 426, 460 และ 423 ppm/วัน ตามลำดับ ซึ่งเป็นปริมาณที่สูงกว่าที่ NRC (1998) กำหนดไว้

ตารางที่ 5.3 แสดงปริมาณแร่ธาตุที่แม่สุกรอ้อมท้องได้รับจากอาหารต่อตัวต่อวัน

ชนิดแร่ธาตุ	ปริมาณการเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟ (%)			Pr> F	SEM	%CV
	0%, $\pm$ SE	1.5%, $\pm$ SE	3.0%, $\pm$ SE			
Calcium, (g)	25.75 $\pm$ 0.19	27.37 $\pm$ 0.8	28.55 $\pm$ 0.2	0.074	0.306	2.756
		6	4			
Potassium, (g)	18.45 $\pm$ 0.04	18.97 $\pm$ 0.4	20.43 $\pm$ 0.5	0.085	0.237	3.007
		7	3			
Magnesium, (g)	6.38 $\pm$ 0.19 ^c	7.49 $\pm$ 0.06 ^b	8.72 $\pm$ 0.14 ^a	0.003	0.079	2.566
Iron, (ppm)	744 $\pm$ 9 ^c	1324 $\pm$ 0.5 ^b	1359 $\pm$ 6 ^a	0.0001	3.610	0.744
Copper, (ppm)	156 $\pm$ 4	153 $\pm$ 0	162 $\pm$ 0	0.145	1.334	2.080
Zinc, (ppm)	426 $\pm$ 12	460 $\pm$ 30	423 $\pm$ 2	0.412	10.793	6.058

a, b และ c แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ส่วนแม่สุกรเลี้ยงลูกได้รับ copper ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) แต่ได้รับ calcium, potassium, magnesium, zinc และ iron แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยแม่สุกรเลี้ยงลูกได้รับ calcium เท่ากับ 39.4, 40.5 และ 41.4 กรัม/วัน ตามลำดับ ได้รับ potassium เท่ากับ 31.9, 32.5 และ 33.2 กรัม/วัน ตามลำดับ ได้รับ magnesium เท่ากับ 12.4, 12.9 และ 13.0 กรัม/วัน ตามลำดับ ได้รับ iron เท่ากับ 1039, 2565 และ 2633 ppm/วัน ตามลำดับ ได้รับ copper เท่ากับ 248, 264 และ 271 ppm/วัน ตามลำดับและได้รับ zinc เท่ากับ 334, 378 และ 409 ppm/วัน ตามลำดับ ซึ่งเป็นปริมาณที่สูงกว่าที่ NRC (1998) กำหนดไว้เช่นกัน

ตารางที่ 5.4 แสดงปริมาณแร่ธาตุที่แม่สุกรเลี้ยงลูกได้รับจากอาหารต่อตัวต่อวัน

ชนิดแร่ธาตุ	ปริมาณการเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟ (%)					
	0%, $\pm$ SE	1.5%, $\pm$ SE	3.0%, $\pm$ SE	Pr> F	SEM	%CV
Calcium, (g)	37.40 $\pm$ 0.48 ^b	40.5 $\pm$ 0.35 ^a	41.4 $\pm$ 0.12 ^a	0.008	0.202	1.244
Potassium, (g)	31.9 $\pm$ 0.08 ^b	32.5 $\pm$ 0.25 ^a	33.2 $\pm$ 0.8 ^a	0.022	0.090	0.678
Magnesium, (g)	12.4 $\pm$ 0.07 ^b	12.9 $\pm$ 0.11 ^a	13.0 $\pm$ 0.13 ^a	0.044	0.061	1.178
Iron, (ppm)	1039 $\pm$ 31 ^b	2565 $\pm$ 43.0 ^a	2633 $\pm$ 103 ^a	0.0007	38.621	4.549
Copper, (ppm)	248 $\pm$ 4.40	264 $\pm$ 5.66	271 $\pm$ 9	0.199	3.906	3.663
Zinc, (ppm)	334 $\pm$ 12 ^b	378 $\pm$ 11.2 ^{ab}	409 $\pm$ 7 ^a	0.031	5.908	3.872

a, b และ c แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ผลของการเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟในสูตรอาหารสุกรแม่พันธุ์ ที่ระดับ 0 เปอร์เซ็นต์, 1.5 เปอร์เซ็นต์ และ 3 เปอร์เซ็นต์ ต่อสมรรถภาพการผลิตของสุกรแม่พันธุ์ จำนวน 12 ตัว (ตารางที่ 5.3) พบว่าการเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟนั้นไม่มีผลทำให้ขนาดครอก (litter size) และจำนวนลูกสุกรมีชีวิต (born alive) ของสุกรแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) โดยมีขนาดครอกเท่ากับ 10.4, 13.5 และ 9.75 ตัวตามลำดับ และมีจำนวนลูกสุกรมีชีวิตเท่ากับ 9.25, 10.75 และ 9.33 ตัวตามลำดับ เมื่อเลี้ยงสุกรครบ 28 วันทำการหย่านมสุกรพบว่า ปริมาณลูกสุกรหย่านม (weaning pig) และน้ำหนักลูกสุกรหย่านม (weaning weight) ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) โดยมีปริมาณลูกสุกรหย่านมเท่ากับ 8.50, 9.75 และ 8.67 ตัวตามลำดับ น้ำหนักลูกสุกรหย่านมเท่ากับ 6.45, 6.62 และ 6.02 กิโลกรัม/ตัว ตามลำดับ ในด้านสุกรแม่พันธุ์พบว่าการเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟไม่มีผลทำให้น้ำหนักตัวแม่สุกรระหว่างเลี้ยงลูกลดลงแตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) แต่มีแนวโน้มที่การเสริมแร่จากหินภูเขาไฟ 3 เปอร์เซ็นต์ จะทำให้แม่สุกรมีน้ำหนักตัวลดลงน้อยกว่ากลุ่มควบคุม และกลุ่มที่เสริมแร่

ธาตุจากหินภูเขาไฟ 1.5 เปอร์เซ็นต์ โดยมีน้ำหนักตัวลดลงเท่ากับ 16.67, 13.25 และ 10.50 กิโลกรัม ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่า การเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟมีผลทำให้จำนวนวันหลังหย่านมถึงผสม (weaning to mating) ของสุกรแม่พันธุ์แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยที่กลุ่มการทดลองที่ 3 มีจำนวนวันตั้งแต่หย่านมถึงผสมสั้นที่สุดคือ 3.75 กลุ่มการทดลองที่ 2 มีจำนวนวันตั้งแต่หย่านมถึงผสมนานที่สุดคือ 5.75 วัน และ กลุ่ม การทดลองที่ 1 ไม่แตกต่างกับกลุ่มการทดลองที่ 2 และ 3 คือมีจำนวนวันตั้งแต่หย่านมถึงผสมเท่ากับ 4.33 วัน

ตารางที่ 5.5 แสดงผลของการเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟในอาหารต่อประสิทธิภาพการผลิตของแม่พันธุ์สุกร

	ปริมาณการเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟ					
	0%, $\pm$ SE	1.5%, $\pm$ SE	3.0%, $\pm$ SE	Pr > F	C.V.	SEM
Number of sows	4	4	4			
Litter size, ตัว	10.40 $\pm$ 1.4	13.50 $\pm$ 1.1	9.75 $\pm$ 0.6	0.117	22.13	0.686
Born alive, ตัว	9.25 $\pm$ 1.4	10.75 $\pm$ 1.1	9.33 $\pm$ 0.7	0.650	24.99	0.708
Birth weight, kg	1.77 $\pm$ 0.12	1.65 $\pm$ 0.07	1.80 $\pm$ 0.09	0.670	13.53	0.068
Weaning pig, ตัว	8.50 $\pm$ 1.4	9.75 $\pm$ 0.2	8.67 $\pm$ 0.8	0.622	20.94	0.540
Weaning weight, kg	6.45 $\pm$ 0.55	6.62 $\pm$ 0.12	6.02 $\pm$ 0.20	0.495	10.98	0.360
Sow weight change, kg	-	-	-	0.851	66.23	2.360
Weaning to mating, day	13.67 $\pm$ 1.86	13.25 $\pm$ 4.15	10.50 $\pm$ 4.02	0.032	18.94	0.253
	4.33 ^{ab} $\pm$ 0.26	5.75 ^a $\pm$ 0.43	3.75 ^b $\pm$ 0.43			

^{a,b} แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

5.8 วิจัยรณผลการทดลอง

ผลจากการเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟปริมาณ 1.5 เปอร์เซ็นต์ และ 3 เปอร์เซ็นต์ พบว่าการเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟไม่ส่งผลกระทบต่อ ความชื้น โปรตีนและไขมัน ในอาหารสุกรอุมท้อง และไม่ส่งผลกระทบต่อ ความชื้น โปรตีน เยื่อใยและไขมัน ในอาหารสุกรเลี้ยงลูก แต่พบว่าการเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟในอาหารสุกรอุมท้องส่งผลให้ ปริมาณเยื่อใยของกลุ่มการทดลองที่ 1 ที่ไม่เสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟในอาหาร มีค่าสูงกว่าอาหารสุกรในกลุ่มการทดลองที่ 2 และกลุ่มการทดลองที่ 3 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) นอกจากนี้ยังส่งผลให้ปริมาณเถ้าของกลุ่มการทดลองทั้ง 3 แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยกลุ่มการทดลองที่ 3 มีปริมาณเถ้าสูงกว่ากลุ่มการ

ทดลองที่ 2 และกลุ่มการทดลองที่ 1 ตามลำดับ และในอาหารสุกรเลี้ยงลูกพบว่าปริมาณเถ้าใน
 กลุ่มการทดลองที่ 3 มีปริมาณสูงกว่ากลุ่มการทดลองที่ 1 และกลุ่มการทดลองที่ 2 ทั้งนี้เป็นเพราะ
 ว่าแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟประกอบด้วยแร่ธาตุหลายชนิดเป็นองค์ประกอบและแร่ธาตุเหล่านี้ไม่
 สลายเมื่อถูกความร้อนดังนั้นอาหารแม่สุกรที่ได้รับการเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟจึงมีปริมาณของ
 เถ้าสูงกว่ากลุ่มที่ไม่ได้รับการเสริม พงศธร (2537) รายงานว่าการเสริม natural zeolite ในอาหาร
 สุกรรุ่น-ขุน ส่งผลต่อปริมาณโภชนะในอาหาร โดยมีผลทำให้อาหารมีค่าพลังงานย่อยได้ (digestible
 energy, DE) และพลังงานใช้ประโยชน์ได้ (metabolizable energy, ME) ลดลง เนื่องจาก natural
 zeolite เป็นสารที่ไม่มีโภชนะและพลังงาน ดังนั้นการใช้ natural zeolite โดยไม่ปรับปริมาณโภชนะ
 และพลังงานเป็นผลให้โภชนะและพลังงานในอาหารมีค่าลดลง นอกจากนี้ในการทดลองยังพบว่
 การเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟยังส่งผลให้สุกรอุมท้องและสุกรเลี้ยงลูกได้รับแร่ธาตุแร่ธาตุต่อวัน
 สูงขึ้นซึ่งพบว่าการเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟส่งผลให้สุกรอุมท้องได้รับ calcium, potassium,
 copper และ zinc ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) แต่ได้รับ magnesium และ iron แตกต่างกันอย่าง
 มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ส่วนสุกรเลี้ยงลูกได้รับ copper ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) แต่
 ได้รับ calcium, potassium, magnesium, zinc และ iron แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ
 ($p<0.05$) แต่ทั้งแม่สุกรเลี้ยงลูกและแม่สุกรอุมท้องต่างได้รับแร่ธาตุสูงกว่ามาตรฐานของ
 NRC (1998) อย่างไรก็ตามมาตรฐานของ NRC (1998) เป็นระดับความต้องการต่ำสุดของสุกร
 ดังนั้นเมื่อสุกรได้รับแร่ธาตุจากอาหารเพิ่มขึ้นก็อาจจะส่งผลให้สุกรมีสมรรถภาพการผลิตสูงขึ้นด้วย
 เพราะแร่ธาตุหลายชนิดทำหน้าที่เป็น coenzyme ในขบวนการเมทาโบลิซึม

จากการทดลองเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟในอาหารสุกรแม่พันธุ์ พบว่าเมื่อสุกรแม่พันธุ์ได้
 รับอาหารทดลองที่เสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟ 0 เปอร์เซ็นต์, 1.5 เปอร์เซ็นต์ และ 3 เปอร์เซ็นต์ ทำ
 ให้ขนาดครอก และจำนวนลูกสุกรมีชีวิตของสุกรไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) เมื่อเลี้ยงสุกร
 ครบ 28 วันทำการหย่านมสุกรพบว่า ปริมาณลูกสุกรหย่านมและน้ำหนักลูกสุกรหย่านมไม่แตก
 ต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) ซึ่งขัดแย้งกับผลการทดลองของ Ma et al. (1979) ซึ่งพบว่าการเสริม
 natural zeolite ปริมาณ 5 เปอร์เซ็นต์ ในอาหารแม่สุกรอุมท้อง 20-90 วันสามารถปรับปรุงประ
 สติภาพการใช้อาหารของแม่สุกรอุมท้อง ทั้งยังเพิ่มขนาดครอกและน้ำหนักของลูกสุกรด้วย นอก
 จากนั้น Papaioannou et al. (2002) ยังพบว่าการเสริม natural zeolite (clinoptilolite) 2
 เปอร์เซ็นต์ ในสุกรอุมท้อง-เลี้ยงลูก ส่งผลให้สมรรถภาพการผลิตของแม่สุกรและลูกสุกรสูงขึ้น โดย
 มีผลทำให้แม่สุกรที่ได้รับการเสริม natural zeolite กลับมาเป็นสัดเร็วขึ้นหลังหย่านม มีจำนวนลูก
 สุกรแรกเกิดและลูกสุกรหย่านมสูงกว่าและมีน้ำหนักของลูกสุกรแรกเกิด ลูกสุกรหย่านมสูงกว่า
 กลุ่มควบคุม การที่ลูกสุกรในกลุ่มที่แม่สุกรได้รับการเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟมีสมรรถภาพการ

ผลิตสูงกว่าอาจมีสาเหตุมาจากแม่สุกรที่ได้รับการเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟมีประสิทธิภาพการใช้อาหารดีขึ้นทำให้แม่สุกรมีพลังงานและสารอาหารมากเพียงพอที่จะนำมาผลิตน้ำนมให้ลูกสุกร นอกจากนี้ยังพบว่า การเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟทำให้ผลผลิตนมเพิ่มขึ้น (Lopes et al., 1992) และยังมีผลทำให้ คุณภาพของนมดีขึ้น (Roussel et al., 1992) ในด้านสุกรแม่พันธุ์พบว่า การเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟไม่มีผลทำให้น้ำหนักตัวแม่สุกรระหว่างเลี้ยงลูกลดลงแตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) แต่มีแนวโน้มที่การเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟ 3 เปอร์เซ็นต์ จะทำให้แม่สุกรมีน้ำหนักตัวลดลงน้อยกว่ากลุ่มควบคุม โดยมีน้ำหนักตัวลดลงเท่ากับ 10.50 กิโลกรัม ในกลุ่มการทดลองที่ 3 และ 13.67 กิโลกรัม ในกลุ่มควบคุมตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่า การเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟมีผลทำให้จำนวนวันหลังหย่านมถึงผสมของสุกรแม่พันธุ์แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยที่กลุ่มการทดลองที่ 3 มีจำนวนวันตั้งแต่หย่านมถึงผสมสั้นที่สุดคือ 3.75 กลุ่มการทดลองที่ 2 มีจำนวนวันตั้งแต่หย่านมถึงผสมนานที่สุดคือ 5.75 วัน และกลุ่มการทดลองที่ 1 ไม่แตกต่างกับ กลุ่มการทดลองที่ 2 และ 3 คือมีจำนวนวันตั้งแต่หย่านมถึงผสมเท่ากับ 4.33 วัน สอดคล้องกับ ผลการทดลองของ Papaioannou et al. (2002) ที่พบว่า การเสริม natural zeolite 2 เปอร์เซ็นต์ในอาหารทำให้แม่สุกรที่ได้รับการเสริมมีจำนวนวันหลังหย่านมถึงผสมสั้นกว่ากลุ่มควบคุม ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากแม่สุกรในกลุ่มการทดลองที่ 3 มีการสูญเสีย น้ำหนักตัวขณะเลี้ยงลูกต่ำสุดจึงมีผลทำให้แม่สุกรมีจำนวนวันหลังหย่านมถึงผสมสั้นที่สุด ปรียพันธุ์ (2542) รายงานว่าแม่สุกรที่จะให้ผลผลิตได้ดีจะต้องเป็นแม่สุกรที่สูญเสีย น้ำหนักตัวในช่วงเลี้ยงลูกน้อยกว่า 10 กิโลกรัม เพราะแม่สุกร เหล่านี้มีแนวโน้มที่จะเป็นสัดก่อน 7 วัน หลังหย่านม โดยเฉพาะอย่างยิ่งแม่สุกรที่เป็นสัดในช่วง 3-5 วันหลังหย่านมจะเป็นแม่พันธุ์ที่มีความสมบูรณ์พันธุ์สูงสุด ซึ่งสาเหตุหลักของการสูญเสีย น้ำหนักตัวของแม่สุกรคือ มีพลังงานสะสมในรูปของไขมันและโปรตีนไม่เพียงพอหรือได้รับโภชนาการไม่เพียงพอสืบเนื่องจากการกินได้ที่ลดลงซึ่งไม่สอดคล้องกับความต้องการโภชนาการที่เพิ่มขึ้น (Kim et al., 2003) ส่งผลให้แม่สุกรต้องดึงพลังงานจากไขมันที่สะสมไว้และเนื้อเยื่อต่างๆ ที่เก็บสะสมไว้มากำใช้ส่งผลให้แม่สุกรสูญเสีย น้ำหนักตัวมากในช่วงเลี้ยงลูก (เสกสม, 2546; Jones and Stahley, 1995) ซึ่งการสลายไขมันและเนื้อเยื่อต่างๆ นั้นส่งผลให้ร่างกายมี เมตาบอลิซึมสูงขึ้นซึ่งส่งผลให้สุกรต้องการปริมาณแร่ธาตุเพิ่มขึ้น เพราะแร่ธาตุหลายชนิดทำหน้าที่เป็น coenzyme ในขบวนการ metabolism นอกจากนี้ Cheshmedzhiew et al. (1985) ได้รายงานว่ามีแม่สุกรที่ได้รับแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟ (zeolite) ในอาหาร มีอัตราการไหลผ่านของอาหารในระบบทางเดินอาหารช้ากว่ากลุ่มที่ไม่ได้รับการเสริม Mumpton and Fishman (1977) ที่รายงานว่าการเสริม zeolite ลงในอาหารทำให้การย่อยเกิดได้ทั่วถึงยิ่งขึ้น ส่งผลให้อาหารถูกนำไปใช้ประโยชน์ได้มากขึ้น โดย zeolite ยังช่วยเพิ่มการใช้ประโยชน์ได้ของ nitrogen จากอาหารด้วย ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของ Shurson et al. (1984) ที่รายงานว่าการใช้ zeolite ธรรมชาติ และ zeolite สังเคราะห์ มีผลทำให้การใช้ประโยชน์ได้ของพลังงานใช้ประโยชน์ได้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น Shurson et al. (1984) รายงานว่าสาเหตุที่สุกรที่ได้รับการเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟมีประสิทธิภาพการผลิตสูงขึ้นเพราะแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟมีคุณสมบัติในการจับกับแอมโมเนียในระบบทางเดินอาหารจึงเป็นการป้องกันผนังลำไส้เล็กถูกทำลาย ดังนั้นขบวนการย่อยและดูดซึมอาหารจึงเกิดได้อย่างเป็นปกติส่งผลให้สุกรมีประสิทธิภาพในการใช้สารอาหารและพลังงานจากอาหารดีขึ้น

5.9 สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองสรุปได้ว่า การเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟในอาหารสุกรแม่พันธุ์ระยะอู้มท้องถึงเลี้ยงลูกไม่ส่งผลต่อขนาดครอก (litter size) จำนวนลูกสุกรมีชีวิต (born alive) ปริมาณ ลูกสุกรหย่านม (weaning pig) และน้ำหนักลูกสุกรหย่านม (weaning weight) ในด้านสุกรแม่พันธุ์พบว่า การเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟไม่มีผลทำให้น้ำหนักตัวแม่สุกรระหว่างเลี้ยงลูกลดลงแตกต่างกัน แต่มีแนวโน้มที่การเสริมแร่จากหินภูเขาไฟ 3 เปอร์เซ็นต์ จะทำให้แม่สุกรมีน้ำหนักตัวลดลงน้อยกว่ากลุ่มควบคุม โดยมีน้ำหนักตัวลดลงเท่ากับ 10.50 กิโลกรัม ในกลุ่มการทดลองที่ 3 และ 13.67 กิโลกรัม ในกลุ่มควบคุม ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่า การเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟมีผลทำให้จำนวนวันหลังหย่านมถึงผสม (weaning to mating) ของสุกรแม่พันธุ์แตกต่างกัน โดยที่กลุ่มการทดลองที่ 3 มีจำนวนวันตั้งแต่หย่านมถึงผสมสั้นที่สุดเท่ากับ 3.75 วัน กลุ่มการทดลองที่ 2 มีจำนวนวันตั้งแต่หย่านมถึงผสมนานที่สุดคือ 5.75 วัน และกลุ่มการทดลองที่ 1 มีจำนวนวันตั้งแต่หย่านมถึงผสมไม่แตกต่างกับกลุ่มการทดลองที่ 2 และ 3 คือ 4.33 วัน

บทที่ 6

ศึกษาผลของการเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟต่อสมรรถภาพการผลิต ปริมาณ nitrogen ในมูลและปริมาณแร่ธาตุใน plasma ของสุกรรุ่น-ขุน (20-90 กิโลกรัม)

6.1 คำนำ

อาหารที่เหมาะสมในการเลี้ยงสุกรจะต้องถูกย่อยและร่างกายดูดซึมเพื่อนำไปใช้ประโยชน์ได้ ซึ่งนอกจากสารอาหารในกลุ่ม protein , carbohydrate และ fat แล้ว แร่ธาตุก็เป็นสารอาหารที่สุกรต้องการเพื่อการดำรงชีวิตและการเจริญเติบโตที่เป็นปกติเช่นกัน แม้ว่าสุกรต้องการแร่ธาตุในปริมาณน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณโภชนาณกลุ่มอื่น โดยปกติวัตถุดิบอาหารสัตว์มีแร่ธาตุเป็นส่วนประกอบอยู่แล้วแต่มีปริมาณไม่เพียงพอกับความต้องการของร่างกายสุกร จึงมีการเสริมแร่ธาตุลงในสูตรอาหาร ซึ่งที่ผ่านมานิยมใช้แร่ธาตุในรูปแบบ premix ผสมลงในอาหารสุกรเพื่อป้องกันการขาดแร่ธาตุหรือเพื่อปรับปรุงสมรรถภาพการผลิต แต่แร่ธาตุในรูปแบบของ premix นั้นต้องนำเข้าจากต่างประเทศและมีราคาสูง นักวิจัยจึงแสวงหาวิธีลดต้นทุนในส่วนนี้โดยการหาแหล่งแร่ธาตุที่มีอยู่ในประเทศมาใช้ทดแทนการนำเข้า แร่ธาตุจากหินภูเขาไฟ (volcanic mineral) จัดเป็นแหล่งของแร่ธาตุที่น่าสนใจอีกชนิดหนึ่งเพราะมีแร่ธาตุต่างๆ เป็นส่วนประกอบเช่น SiO_2 , K_2O , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO , MgO , Cu และ Zn Cool and Willard (1982) รายงานว่าแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟจัดอยู่ในกลุ่มสาร aluminosilicates ซึ่งมีคุณสมบัติในการดูดซับมลภาวะจากสุกรและดูดซับสารพิษ aflatoxin ในอาหาร หากผลการศึกษาพบว่าแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟที่ใช้สามารถเพิ่มสมรรถภาพการผลิตของสุกรได้ในระดับที่น่าพอใจ ก็จะเป็นประโยชน์ต่อเกษตรกรผู้เลี้ยงสุกร ในการลดต้นทุนการผลิตสุกรได้

6.2 วัตถุประสงค์

เพื่อทราบถึงผลของการเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟต่อสมรรถภาพการผลิต ของสุกรระยะรุ่น-ขุน (20-90 กิโลกรัม) โดยทำการศึกษาถึงอัตราการเจริญเติบโตต่อวัน ปริมาณอาหารที่กินต่อวัน และประสิทธิภาพในการใช้อาหาร รวมถึงการศึกษาปริมาณ nitrogen ในมูล

6.3 อุปกรณ์และวิธีการ

6.3.1 การจัดสูตรรุ่น - ขุน สำหรับทดลองและการให้อาหาร

ในการทดลองใช้สุกร 24 ตัว น้ำหนัก 20 กิโลกรัม สุกรเป็นลูกผสมสามสายพันธุ์ (Landrace X Large White X Duroc) โดยแบ่งออกเป็น 3 กลุ่มการทดลอง (treatment) กลุ่มการทดลองละ 4 ซ้ำ (replication) ซ้ำ ละ 2 ตัวเป็นเพศผู้ 1 ตัว เพศเมีย 1 ตัว กลุ่มการทดลองที่ 1 ไม่ทำการเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟ กลุ่มการทดลองที่ 2 ทำการเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟ 1.5 เปอร์เซ็นต์ เทียบกับน้ำหนักอาหาร กลุ่มการทดลองที่ 3 ทำการเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟ 3.0 เปอร์เซ็นต์ เทียบกับน้ำหนักอาหาร ในคอกแต่ละคอกมีที่ใส่อาหารแบบถังกลและที่ให้น้ำระบบ nipple โดยสุกรกินอาหารได้เต็มที่ (*ad libitum*) อาหารคำนวณโดยอ้างอิงความต้องการโภชนาจาก NRC (1998)

สุกรทั้ง 3 กลุ่มจะแบ่งกลุ่มตามน้ำหนัก แล้วทำการจัดกลุ่มการทดลองตามค่าเฉลี่ยของน้ำหนักตัวให้มีค่าใกล้เคียงกันทั้ง 3 กลุ่มขณะเลี้ยงสุกรทำการควบคุมของสุกรทุกวันและทำการฉีดยาปฏิชีวนะเมื่อสุกรแสดงอาการป่วย

การเก็บเลือดเพื่อวิเคราะห์ปริมาณแร่ธาตุใน plasma ในระหว่างการทดลองจะมีการเก็บตัวอย่างเลือดเพื่อนำมาวิเคราะห์ปริมาณแร่ธาตุใน plasma โดยเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มควบคุม กลุ่มที่เสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟที่ระดับ 1.5 และ 3.0 เปอร์เซ็นต์ เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของระดับแร่ธาตุใน plasma เมื่อทำการเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟที่ปริมาณที่ต่างกัน ทำการเก็บตัวอย่างเลือดจากสุกรขุนโดยสุ่มซ้ำ ละ 1 ตัวรวมทั้งหมด 12 ตัว และวิเคราะห์ปริมาณแร่ธาตุใน plasma ด้วยเครื่อง atomic absorption spectrophotometer

การเก็บมูล ในระหว่างการทดลองจะมีการเก็บตัวอย่างมูลสุกรเพื่อนำมาวิเคราะห์ปริมาณ nitrogen ในมูลสุกร โดยการเก็บมูลสุกรของสุกรทุกกลุ่มการทดลองซึ่งมูลที่เก็บนั้นเป็นมูลซึ่งสุกรถ่ายออกมาใหม่ๆ จากนั้นทำการสุ่มตัวอย่างมูลสุกรเก็บในถุงพลาสติกมัดปากถุงให้แน่น เก็บไว้ในที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส แล้วนำมาวิเคราะห์หาปริมาณ nitrogen ตามวิธีของ Kjeldahl method

6.4 การวิเคราะห์ข้อมูล

ข้อมูลทั้งหมดนำมาวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance) แบบ completely randomized design (CRD) (Steel and Torries, 1980) เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test โดยการใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SAS (SAS, 1985)

6.5 สถานที่ทำการทดลอง

ฟาร์มมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีและอาคารเครื่องมือ 2 และ 3 ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

6.6 ระยะเวลาทำการทดลอง

เริ่มทดลองวันที่ 1 มกราคม 2547 ถึง วันที่ 30 เมษายน 2547

6.7 ผลการทดลอง

ตารางที่ 6.1 แสดงปริมาณโภชนะของอาหารที่ใช้เลี้ยงสุกรรุ่น กล่าวคือ กลุ่มการทดลองที่ 1 คืออาหารสุกรรุ่นและสุกรขุนที่ไม่ได้เสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟ กลุ่มการทดลองที่ 2 คืออาหารสุกรรุ่นและสุกรขุนที่เสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟ 1.5 เปอร์เซ็นต์ เทียบกับน้ำหนักอาหารและกลุ่มการทดลองที่ 3 คืออาหารสุกรรุ่นและสุกรขุนที่เสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟ 3.0 เปอร์เซ็นต์ เทียบกับน้ำหนักอาหาร พบว่า ความชื้นที่วิเคราะห์ได้มีค่าเท่ากับ 6.97, 6.68 และ 6.56 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ในส่วนของโปรตีนพบว่าเปอร์เซ็นต์โปรตีนที่วิเคราะห์ได้มีค่าเท่ากับ 22.1, 22.7 และ 22.1 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ในด้านของเยื่อใยพบว่าปริมาณเยื่อใยที่วิเคราะห์ได้มีค่าเท่ากับ 3.55, 3.38 และ 3.22 เปอร์เซ็นต์ ด้านปริมาณของไขมันพบว่าค่าเท่ากับ 3.32, 2.98 และ 2.35 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ในด้านปริมาณถั่วเหลืองพบว่าการเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟส่งผลให้ปริมาณถั่วเหลืองในอาหารแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยอาหารในกลุ่มการทดลองที่ 3 มีปริมาณถั่วเหลืองสูงกว่ากลุ่มการทดลองที่ 1 และกลุ่มการทดลองที่ 2 คือ 10.17, 8.20 และ 8.18 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 6.2 แสดงปริมาณโภชนะของอาหารที่ใช้เลี้ยงสุกรขุน โดยแบ่งออกเป็น 3 กลุ่มการทดลองเช่นเดียวกับในช่วงสุกรรุ่น จากการวิเคราะห์อาหารด้วยวิธี proximate analysis พบว่าการเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟไม่ทำให้ปริมาณ ความชื้น โปรตีน เยื่อใยและไขมันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งอาหารมีความชื้นเท่ากับ 7.82, 7.78 และ 7.61 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ มีโปรตีนเป็นส่วนประกอบ 20.6, 20.2 และ 19.9 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ มีเยื่อใยเป็นองค์ประกอบเท่ากับ 3.46, 4.01 และ 4.39 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับและอาหารมีไขมันเป็นส่วนประกอบเท่ากับ 2.46, 2.23 และ 2.29 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ในส่วนของปริมาณถั่วเหลืองพบว่าการเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟส่งผลให้อาหารมรปริมาณถั่วเหลืองแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยกลุ่มการทดลองที่ 3 มีแร่ธาตุสูงสุดเท่ากับ 12.66 เปอร์เซ็นต์ ที่สองคือกลุ่มการทดลองที่ 2 คือ 10.06 เปอร์เซ็นต์ และกลุ่มการทดลองที่ 1 มีปริมาณถั่วต่ำสุดเท่ากับ 8.98 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 6.1 แสดงโภชนาที่เป็นส่วนประกอบของอาหารสุกรรุ่น (20-60 กิโลกรัม)

โภชนา (%)	ปริมาณการเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟ (%)			Pr> F	C.V.	SEM
	0 %, $\pm$ SE	1.5 %, $\pm$ SE	3.0 %, $\pm$ SE			
ความชื้น	6.97 $\pm$ 0.378	6.68 $\pm$ 0.351	6.56 $\pm$ 0.366	0.197	3.75	0.012
โปรตีน	22.1 $\pm$ 0.207	22.7 $\pm$ 0.055	23.1 $\pm$ 0.675	0.350	2.55	0.236
เยื่อใย	3.55 $\pm$ 0.102	3.38 $\pm$ 0.402	3.22 $\pm$ 0.503	0.39	13.93	0.221
ไขมัน	3.32 $\pm$ 0.133	2.98 $\pm$ 0.330	2.35 $\pm$ 0.668	0.40	21.35	0.252
เถ้า	8.18 ^b $\pm$ 0.01	8.20 ^b $\pm$ 0.15	10.17 ^a $\pm$ 0.38	0.016	3.87	0.140
	2	8	9			

^{a, b} แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

ตารางที่ 6.2 แสดงโภชนาที่เป็นส่วนประกอบของอาหารสุกรขุน (60-90 กิโลกรัม)

โภชนา (%)	ปริมาณการเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟ (%)			Pr> F	C.V.	SEM
	0 %, $\pm$ SE	1.5 %, $\pm$ SE	3.0 %, $\pm$ SE			
ความชื้น	7.82 $\pm$ 0.159	7.78 $\pm$ 0.191	7.61 $\pm$ 0.157	0.678	3.81	0.120
โปรตีน	20.6 $\pm$ 0.221	20.2 $\pm$ 0.419	19.9 $\pm$ 0.234	0.452	2.13	0.176
เยื่อใย	3.46 $\pm$ 0.647	4.01 $\pm$ 0.098	4.39 $\pm$ 0.088	0.351	13.62	0.220
ไขมัน	2.46 $\pm$ 0.024	2.23 $\pm$ 0.248	2.29 $\pm$ 0.165	0.66	10.46	0.099
เถ้า	8.98 ^c $\pm$ 0.05	10.06 ^b $\pm$ 0.0	12.66 ^a $\pm$ 0.1	0.0001	1.03	0.044
	9	2	2			

^{a, b, c} แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

ตารางที่ 6.3 และตารางที่ 6.4 แสดงปริมาณแร่ธาตุแต่ละชนิดที่สุกรรุ่นและสุกรขุนได้รับจากอาหารควบคุม อาหารที่ทำการเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟ 1.5 เปอร์เซ็นต์ และอาหารที่เสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟ 3.0 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้ปริมาณแร่ธาตุที่สุกรได้รับขึ้นกับปริมาณการกินอาหารของสุกรด้วย ซึ่งจากการทดลองพบว่าสุกรรุ่นได้รับ magnesium และ copper ไม่แตกต่างกันทางสถิติ (p>0.05) แต่ได้รับ calcium, potassium, zinc และ iron แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05) โดยสุกรรุ่นได้รับ calcium เท่ากับ 13.9, 13.4 และ 14.36 กรัม/วันตามลำดับ ได้รับ potassium เท่ากับ 9.76, 9.80 และ 10.81 กรัม/วัน ตามลำดับ ได้รับ magnesium เท่ากับ 3.00, 3.04 และ 3.25 กรัม/วัน ตามลำดับ ได้รับ iron เท่ากับ 412, 747 และ 893 ppm/ วัน ตามลำดับ ได้รับ

copper เท่ากับ 155, 144 และ 158 ppm/วัน ตามลำดับและได้รับ zinc เท่ากับ 137, 148 และ 169 ppm/วัน ตามลำดับ ซึ่งเป็นปริมาณที่สูงกว่าที่ NRC (1998) กำหนดไว้ ส่วนสุกรขุนได้รับ potassium ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) แต่ได้รับ calcium, magnesium, copper, zinc และ iron แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยสุกรขุน ได้รับ calcium เท่ากับ 19.84, 19.56 และ 22.29 กรัม/วัน ตามลำดับ ได้รับ potassium เท่ากับ 18.44, 18.40 และ 17.87 กรัม/วัน ตามลำดับ ได้รับ magnesium เท่ากับ 5.1, 4.99 และ 5.21 กรัม/วัน ตามลำดับ ได้รับ iron เท่ากับ 1073, 2153 และ 2351 ppm/วัน ตามลำดับ ได้รับ copper เท่ากับ 267, 266 และ 296 ppm/วัน ตามลำดับและได้รับ zinc เท่ากับ 248, 284 และ 321 ppm/วัน ตามลำดับ ซึ่งเป็นปริมาณที่สูงกว่าที่ NRC (1998) กำหนดไว้เช่นกัน

ตารางที่ 6.3 แสดงปริมาณแร่ธาตุที่สุกรรุ่น (20-60 กิโลกรัม) ได้รับจากอาหารต่อตัวต่อวัน

ชนิดแร่ธาตุ	ปริมาณการเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟ (%)				SEM	%CV
	0%, $\pm$ SE	1.5%, $\pm$ SE	3.0%, $\pm$ SE	Pr> F		
Calcium, (g)	13.09 $\pm$ 0.06 ^b	13.14 $\pm$ 0.15 ^b	14.36 $\pm$ 0.1 ^a	0.007	0.064	1.162
Potassium, (g)	9.75 $\pm$ 0.24 ^b	9.80 $\pm$ 0.18 ^b	10.81 $\pm$ 0.15 ^a	0.050	0.112	2.717
Magnesium, (g)	3.00 $\pm$ 0.14	3.04 $\pm$ 0.10	3.25 $\pm$ 0.05	0.334	0.060	4.769
Iron, (ppm)	412 $\pm$ 104 ^c	747 $\pm$ 10.63 ^b	893 $\pm$ 7.04 ^a	0.0001	4.360	1.561
Copper, (ppm)	155 $\pm$ 5.36	144 $\pm$ 2.09	158 $\pm$ 0.88	0.109	1.958	3.141
Zinc, (ppm)	137 $\pm$ 1.39 ^c	148 $\pm$ 0.66 ^b	169 $\pm$ 0.70 ^a	0.0007	0.687	1.111

a, b และ c แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตารางที่ 6.4 แสดงปริมาณแร่ธาตุที่สุกรขุน (60-90 กิโลกรัม) ได้รับจากอาหารต่อตัวต่อวัน

ชนิดแร่ธาตุ	ปริมาณการเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟ (%)				SEM	%CV
	0%, $\pm$ SE	1.5%, $\pm$ SE	3.0%, $\pm$ SE	Pr> F		
Calcium, (g)	19.84 $\pm$ 0.02 ^b	19.56 $\pm$ 0.1 ^b	22.29 $\pm$ 0.1 ^a	0.0004	0.051	0.610
Potassium, (g)	18.44 $\pm$ 0.05	18.40 $\pm$ 0.20	17.87 $\pm$ 0.10	0.097	0.077	1.036
Magnesium, (g)	5.1 $\pm$ 0.05	4.99 $\pm$ 0.01	5.21 $\pm$ 0.05	0.068	0.023	1.089
Iron, (ppm)	1073 $\pm$ 5 ^c	2153 $\pm$ 12.8 ^b	2351 $\pm$ 3.03 ^a	0.0001	2.115	2.125
Copper, (ppm)	267 $\pm$ 41 ^b	266 $\pm$ 20.65 ^b	296 $\pm$ 15.63 ^a	0.017	16.133	1.876
Zinc, (ppm)	248 $\pm$ 4 ^b	284 $\pm$ 1.82 ^{ab}	321 $\pm$ 4.69 ^a	0.019	4.750	4.091

a, b และ c แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตารางที่ 6.5 แสดงผลจากการเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟปริมาณ 0, 1.5 และ 3 เปอร์เซ็นต์ ในอาหารสุกรต่อสมรรถภาพการผลิตของสุกรรุ่น – ขุน โดยเลี้ยงสุกรจำนวน 24 ตัว พบว่าในด้าน ปริมาณการกินอาหารต่อตัวต่อวัน (Average Daily Feed Intake, ADFI) นั้นไม่พบความแตกต่าง ทางสถิติ ($p>0.05$) โดยในช่วงสุกรรุ่น สัปดาห์ที่ 1-2 สุกรมีการกินได้เฉลี่ยต่อตัวต่อวันเท่ากับ 1,064, 1,172 และ 1,124 กรัม/วัน ตามลำดับ ในสัปดาห์ที่ 3-4 สุกรมีการกินได้เฉลี่ยต่อตัวต่อวัน เท่ากับ 1,173, 1,148 และ 1,222 กรัม/วัน ตามลำดับ ในสัปดาห์ที่ 5-6 สุกรมีการกินได้เฉลี่ยต่อตัวต่อ วันเท่ากับ 1,577, 1,459 และ 1,555 กรัม/วัน ตามลำดับ สัปดาห์ที่ 7-8 สุกรมีการกินอาหารเฉลี่ย เท่ากับ 1,751, 1,531 และ 1,727 กรัม/วัน ตามลำดับ และเมื่อเฉลี่ยปริมาณการกินได้ของสุกรตลอด ระยะเวลาพบว่า สุกรมีการกินได้เฉลี่ยเท่ากับ 1,391, 1,327 และ 1,407 กรัม/วัน ตามลำดับ ซึ่งเมื่อ เปรียบเทียบปริมาณการกินได้เฉลี่ยต่อวันของสุกรรุ่นที่ทดลอง กับคำแนะนำของ NRC (1998) พบว่าปริมาณการกินได้เฉลี่ยของสุกรรุ่นที่ทดลอง (1,375 กรัม/ตัว/วัน) มีค่าน้อยกว่าคำแนะนำของ NRC (1998) (1,855 กรัม/ตัว/วัน)

ตารางที่ 6.5 แสดงผลของการเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟ ต่อปริมาณการกินอาหารของสุกรต่อตัว ต่อวัน (Average Daily Feed Intake, ADFI, กรัม) ระยะเวลา - ขุน (20 – 90 กิโลกรัม)

สัปดาห์	ปริมาณการเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟ (%)			Pr > F	C.V.	SEM
	0%, $\pm$ SE	1.5%, $\pm$ SE	3.0%, $\pm$ SE			
ระยะรุ่น (20-60 kg)						
1-2	1,064 $\pm$ 30	1,172 $\pm$ 32	1,124 $\pm$ 38	0.135	6.08	19.68
3-4	1,173 $\pm$ 83	1,148 $\pm$ 64	1,222 $\pm$ 17	0.702	10.45	35.63
5-6	1,577 $\pm$ 107	1,459 $\pm$ 99	1,555 $\pm$ 36	0.609	11.33	50.09
7-8	1,751 $\pm$ 104	1,531 $\pm$ 112	1,727 $\pm$ 70	0.266	11.67	56.27
1-8	1,391 $\pm$ 52	1,327 $\pm$ 23	1,407 $\pm$ 32	0.332	5.47	21.72
ระยะขุน (60-90 kg)						
1-2	1,886 $\pm$ 63	1,720 $\pm$ 126	2,027 $\pm$ 83	0.120	10.09	54.72
3-4	1,978 $\pm$ 81	2,116 $\pm$ 35	1,906 $\pm$ 160	0.400	10.60	61.23
5-6	2,258 $\pm$ 80	2,058 $\pm$ 195	2,117 $\pm$ 59	0.540	11.83	73.28
1-6	2,041 $\pm$ 62	1,965 $\pm$ 105	2,016 $\pm$ 52	0.779	7.66	44.41

ในช่วงสุกรขุน (60-90 กิโลกรัม) พบว่าปริมาณการกินได้เฉลี่ยของสุกรในสัปดาห์ที่ 1-2 มีค่าเท่ากับ 1,886, 1720 และ 2027 กรัม/ตัว/วัน ตามลำดับ ในสัปดาห์ที่ 3-4 มีค่าเท่ากับ 1,978, 2,116 และ 1,906 กรัม/ตัว/วัน ตามลำดับ ในสัปดาห์ที่ 5-6 มีค่าเท่ากับ 2,258, 2058 และ 2,117 กรัม/ตัว/วัน ตามลำดับ และเมื่อเฉลี่ยปริมาณการกินได้ในช่วงขุนพบว่าปริมาณการกินได้เฉลี่ยเท่ากับ 2,041, 1,965 และ 2,016 กรัม/ตัว/วัน ตามลำดับซึ่งปริมาณการกินในช่วงนี้มีค่าน้อยกว่าคำแนะนำของ NRC (1998) ซึ่งแนะนำว่าควรมีปริมาณการกินได้ต่อตัวต่อวัน เท่ากับ 2,575 กรัม

ตารางที่ 6.6 แสดงการเจริญเติบโตต่อตัวต่อวัน (Average Daily Gain, ADG, กรัม) ของสุกรระยะรุ่น - ขุน (ตารางที่ 6.2) พบว่าการเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟไม่ส่งผลให้การเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวันของสุกรระยะรุ่น - ขุนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) โดยในช่วงสุกรรุ่นสัปดาห์ที่ 1-2 สุกรมีการเจริญเติบโตเฉลี่ย 568, 646 และ 624 กรัม/ตัว/วัน ตามลำดับ ในสัปดาห์ที่ 3-4 มีค่าเท่ากับ 633, 740 และ 691 กรัม/ตัว/วัน ตามลำดับ ในสัปดาห์ที่ 5-6 สุกรมีการเจริญเติบโตเฉลี่ยเท่ากับ 734, 691 และ 816 กรัม/ตัว/วัน ในสัปดาห์ที่ 7-8 มีค่าเท่ากับ 767, 763 และ 832 กรัม/ตัว/วัน ตามลำดับ

ตารางที่ 6.6 แสดงผลของการเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟต่อการเจริญเติบโตของสุกรต่อตัวต่อวัน (Average Daily Gain, ADG, กรัม) ระยะรุ่น - ขุน (20 – 90 กิโลกรัม)

สัปดาห์	ปริมาณการเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟ (%)			Pr > F	C.V.	SEM
	0%, $\pm$ SE	1.5%, $\pm$ SE	3.0%, $\pm$ SE			
Initial weight, kg	21.72	21.57	21.67	0.98	7.40	0.334
ระยะรุ่น (20-60 kg)						
1-2	568 $\pm$ 23	646 $\pm$ 31	624 $\pm$ 51	0.35	12.05	21.33
3-4	663 $\pm$ 49	740 $\pm$ 74	691 $\pm$ 13	0.47	11.23	22.51
5-6	734 $\pm$ 50	691 $\pm$ 66	816 $\pm$ 46	0.34	11.21	30.86
7-8	767 $\pm$ 25	763 $\pm$ 35	832 $\pm$ 59	0.46	10.42	23.75
1-8	683 $\pm$ 25	676 $\pm$ 15	740 $\pm$ 8	0.053	4.96	10.03
ระยะขุน (60-90 kg)						
1-2	736 $\pm$ 42	691 $\pm$ 43	792 $\pm$ 43	0.40	11.27	24.39
3-4	781 $\pm$ 47	784 $\pm$ 85	840 $\pm$ 94	0.86	18.18	40.09
5-6	752 $\pm$ 55	896 $\pm$ 100	761 $\pm$ 19	0.31	15.10	34.84
1-6	731 $\pm$ 33	780 $\pm$ 54	782 $\pm$ 44	0.67	11.38	25.08

จากตารางที่ 6.6 มีแนวโน้มว่าการเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟตั้งแต่สัปดาห์ที่ 1-8 ส่งผลให้การเจริญเติบโตของสุกรรุ่นในกลุ่มการทดลองที่ 3 มีการเจริญเติบโตสูงกว่ากลุ่มการทดลองที่ 1 และกลุ่มการทดลองที่ 2 ($p<0.053$) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 683, 676 และ 740 กรัมตามลำดับ ในช่วงสุกรขุน พบว่าการเจริญเติบโตของสุกรทั้ง 3 กลุ่มการทดลองไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) โดยในสัปดาห์ที่ 1-2 สุกรขุนมีการเจริญเติบโตเฉลี่ยเท่ากับ 736, 691 และ 792 กรัม/ตัว/วัน ตามลำดับ ในสัปดาห์ที่ 3-4 การเจริญเติบโตมีค่าเท่ากับ 781, 784 และ 840 กรัม/ตัว/วัน ตามลำดับ สัปดาห์ที่ 5-6 มีค่าเท่ากับ 752, 896 และ 761 กรัม/ตัว/วัน ตามลำดับ และเมื่อเฉลี่ยการเจริญเติบโตของสุกรตลอดช่วงขุนพบว่าสุกรมีการเจริญเติบโตเท่ากับ 731, 780 และ 782 กรัม/ตัว/วัน ตามลำดับ

ตารางที่ 6.7 แสดงประสิทธิภาพการใช้อาหารของสุกรทั้ง 3 กลุ่มการทดลองพบว่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) โดยในช่วงสุกรรุ่นสัปดาห์ที่ 1-8 สุกรมีประสิทธิภาพการใช้อาหารเท่ากับ 0.49, 0.47 และ 0.51 กรัม/กรัม ตามลำดับ ในช่วงระยะขุนสัปดาห์ที่ 1-6 สุกรมีประสิทธิภาพการใช้อาหารเท่ากับ 0.35, 0.36 และ 0.33 กรัม/กรัม ตามลำดับ

ตารางที่ 6.7 แสดงผลของการเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟ ต่อประสิทธิภาพการใช้อาหารของสุกร (Gain : Feed, G:F) ระยะรุ่น - ขุน (20 — 90 กิโลกรัม)

สัปดาห์	ปริมาณการเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟ (%)			Pr > F	C.V.	SEM
	0%, $\pm$ SE	1.5%, $\pm$ SE	3.0%, $\pm$ SE			
ระยะรุ่น (20-60 kg)						
1-2	0.53 $\pm$ 0.012	0.53 $\pm$ 0.023	0.55 $\pm$ 0.029	0.76	8.36	0.013
3-4	0.57 $\pm$ 0.022	0.58 $\pm$ 0.046	0.53 $\pm$ 0.037	0.62	12.92	0.021
5-6	0.43 $\pm$ 0.019	0.38 $\pm$ 0.045	0.47 $\pm$ 0.049	0.28	18.68	0.020
7-8	0.44 $\pm$ 0.023	0.38 $\pm$ 0.041	0.46 $\pm$ 0.029	0.21	14.90	0.018
1-8	0.49 $\pm$ 0.012	0.47 $\pm$ 0.015	0.51 $\pm$ 0.020	0.29	6.51	0.009
ระยะขุน (60-90 kg)						
1-2	0.35 $\pm$ 0.028	0.33 $\pm$ 0.021	0.36 $\pm$ 0.018	0.81	13.19	0.013
3-4	0.35 $\pm$ 0.045	0.27 $\pm$ 0.024	0.26 $\pm$ 0.012	0.13	20.37	0.018
5-6	0.31 $\pm$ 0.015	0.33 $\pm$ 0.024	0.40 $\pm$ 0.025	0.08	12.02	0.012
1-6	0.35 $\pm$ 0.014	0.36 $\pm$ 0.004	0.33 $\pm$ 0.014	0.23	6.91	0.007

ผลของการเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟต่อปริมาณพลังงานย่อยได้ (digestible energy, DE, kcal/กิโลกรัมของอาหาร) ที่สุกรระยะรุ่น - ขุน ได้รับจากอาหารต่อตัวต่อวันแสดงในตารางที่ 6.8 ซึ่งจากผลของการเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟ จากการคำนวณพบว่าไม่ทำให้พลังงานย่อยได้ของอาหารสุกรทั้ง 3 กลุ่มการทดลองแตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) โดยในช่วงสุกรรุ่น ได้รับพลังงานย่อยได้จากอาหารปริมาณ 4884, 4590 และ 4795 kcal/กิโลกรัมของอาหาร ในกลุ่มการทดลองที่ 1 กลุ่มการทดลองที่ 2 และกลุ่มการทดลองที่ 3 ตามลำดับ ในช่วงสุกรขุน สุกรได้รับพลังงานย่อยได้จากอาหารเท่ากับ 6771, 6795 และ 6496 kcal/กิโลกรัมของอาหาร ในกลุ่มการทดลองที่ 1 กลุ่มการทดลองที่ 2 และกลุ่มการทดลองที่ 3 ตามลำดับ

ตารางที่ 6.8 แสดงผลของการเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟ ต่อปริมาณพลังงานย่อยได้ (digestible energy, DE, kcal/กิโลกรัมของอาหาร) ที่สุกรระยะรุ่น - ขุน (20 – 90 กิโลกรัม) ได้รับจากอาหารต่อตัวต่อวัน (จากการคำนวณ)

สัปดาห์	ปริมาณการเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟ (%)			Pr > F	C.V.	SEM
	0%, $\pm$ SE	1.5%, $\pm$ SE	3.0%, $\pm$ SE			
ระยะรุ่น (20-60 kg)						
1-2	3734 $\pm$ 108	3734 $\pm$ 111	3831 $\pm$ 132	0.204	6.08	67
3-4	4116 $\pm$ 294	3971 $\pm$ 222	4164 $\pm$ 57	0.809	10.55	124
5-6	5536 $\pm$ 376	5045 $\pm$ 343	5300 $\pm$ 123	0.540	11.41	174
7-8	6148 $\pm$ 368	5293 $\pm$ 387	5885 $\pm$ 239	0.240	11.71	195
1-8	4884 $\pm$ 183	4590 $\pm$ 80	4795 $\pm$ 109	0.315	5.51	75
ระยะขุน (60-90 kg)						
1-2	6257 $\pm$ 209	5949 $\pm$ 438	6908 $\pm$ 283	0.158	10.19	187
3-4	6563 $\pm$ 271	7319 $\pm$ 123	6140 $\pm$ 517	0.100	10.32	198
5-6	7493 $\pm$ 267	7118 $\pm$ 677	6820 $\pm$ 189	0.567	12.16	250
1-6	6771 $\pm$ 207	6795 $\pm$ 364	6496 $\pm$ 170	0.678	7.80	150

ตารางที่ 6.9 แสดงผลของการเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟต่อปริมาณของโปรตีนที่สุกรระยะรุ่น-ขุน ได้รับจากอาหารต่อวัน จากการคำนวณพบว่า การเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟไม่ทำให้ปริมาณโปรตีนที่สุกรได้รับต่อวันแตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) โดยในระยะสุกรรุ่น (20-60 กิโลกรัม) พบว่าสุกรรุ่นได้รับปริมาณโปรตีนเฉลี่ยในระยะรุ่นเท่ากับ 315, 297 และ 316 กรัม/วัน

ในกลุ่มการทดลองที่ 1 กลุ่มการทดลองที่ 2 และกลุ่มการทดลองที่ 3 ตามลำดับ ในสุกรระยะขุน (60-90 กิโลกรัม) พบว่าสุกรขุนได้รับปริมาณโปรตีนเฉลี่ยในระยะรุ่นเท่ากับ 420, 391 และ 391 กรัม/วัน ในกลุ่มการทดลองที่ 1 กลุ่มการทดลองที่ 2 และกลุ่มการทดลองที่ 3 ตามลำดับ

ในด้านปริมาณ lysine ที่สุกรได้รับต่อตัวต่อวัน จากการคำนวณพบว่า การเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟไม่ทำให้ปริมาณ lysine ของสุกรทั้ง 3 กลุ่มการทดลองแตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) (ตารางที่ 6.10) โดยจากการทดลองในช่วงสุกรรุ่น พบว่าในสัปดาห์ที่ 1-2 สุกรได้รับ lysine 17.2, 18.7 และ 17.7 กรัม/วันตามลำดับ สัปดาห์ที่ 3-4 สุกรได้รับ lysine เท่ากับ 19.0, 18.3 และ 19.2 กรัม/วัน ในสัปดาห์ที่ 5-6 สุกรได้รับ lysine เท่ากับ 25.6, 23.3 และ 24.5 กรัม/วันตามลำดับ ในสัปดาห์ที่ 7-8 สุกรได้รับ lysine เท่ากับ 28.4, 24.5 และ 27.2 กรัม/วัน ในช่วงสุกรรุ่นสุกรได้รับ lysine เฉลี่ยเท่ากับ 22.5, 21.2 และ 21.1 กรัม/วัน ตามลำดับ ในช่วงสุกรขุนพบว่าในสัปดาห์ที่ 1-2 สุกรได้รับ lysine 24.5, 22.1 และ 25.6 กรัม/วันตามลำดับ สัปดาห์ที่ 3-4 สุกรได้รับ lysine เท่ากับ 25.7, 27.1 และ 24.1 กรัม/วัน ในสัปดาห์ที่ 5-6 สุกรได้รับ lysine เท่ากับ 29.4, 26.4 และ 26.8 กรัม/วัน ตามลำดับ ในช่วงสุกรขุนสุกรได้รับ lysine เฉลี่ยเท่ากับ 26.5, 25.2 และ 25.5 กรัม/วัน ตามลำดับ

ตารางที่ 6.9 แสดงผลของการเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟ ต่อปริมาณโปรตีน (crude protein, กรัม)

ที่สุกรระยะรุ่น - ขุน (20 – 90 กิโลกรัม) ได้รับจากอาหารต่อตัวต่อวัน
(จากการคำนวณ)

สัปดาห์	ปริมาณการเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟ (%)			Pr > F	C.V.	SEM
	0%, $\pm$ SE	1.5%, $\pm$ SE	3.0%, $\pm$ SE			
ระยะรุ่น (20-60 kg)						
1-2	241 $\pm$ 11	262 $\pm$ 7	252 $\pm$ 9	0.300	7.34	5.19
3-4	266 $\pm$ 25	257 $\pm$ 14	274 $\pm$ 4	0.777	12.48	9.53
5-6	358 $\pm$ 32	327 $\pm$ 22	349 $\pm$ 8	0.633	13.40	13.28
7-8	395 $\pm$ 19	343 $\pm$ 25	387 $\pm$ 16	0.200	10.78	11.55
1-8	315 $\pm$ 17	297 $\pm$ 5	316 $\pm$ 7	0.437	7.05	6.06
ระยะขุน (60-90 kg)						
1-2	388 $\pm$ 13	342 $\pm$ 25	393 $\pm$ 16	0.168	10.05	10.68
3-4	407 $\pm$ 17	421 $\pm$ 7	369 $\pm$ 31	0.244	10.43	11.84
5-6	465 $\pm$ 17	410 $\pm$ 39	410 $\pm$ 11	0.261	11.83	14.43
1-6	420 $\pm$ 13	391 $\pm$ 20	391 $\pm$ 10	0.348	7.67	8.66

ตารางที่ 6.10 แสดงผลของการเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟ ต่อปริมาณ lysine (กรัม) ที่สุกรระยะ

รุ่น - ขุน (20 - 90 กิโลกรัม) ได้รับจากอาหารต่อตัวต่อวัน

สัปดาห์	ปริมาณการเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟ (%)			Pr > F	C.V.	SEM
	0%, $\pm$ SE	1.5%, $\pm$ SE	3.0%, $\pm$ SE			
ระยะรุ่น (20-60 kg)						
1-2	17.2 $\pm$ 0.5	18.7 $\pm$ 0.5	17.7 $\pm$ 0.6	0.184	6.01	0.309
3-4	19.0 $\pm$ 1.4	18.3 $\pm$ 1.0	19.2 $\pm$ 0.3	0.801	1050	0.571
5-6	25.6 $\pm$ 1.7	23.3 $\pm$ 1.6	24.5 $\pm$ 0.6	0.539	11.42	0.808
7-8	28.4 $\pm$ 1.7	24.5 $\pm$ 1.8	27.2 $\pm$ 1.1	0.241	11.71	0.903
1-8	22.5 $\pm$ 0.8	21.2 $\pm$ 0.4	21.1 $\pm$ 0.5	0.316	5.54	0.352
ระยะขุน (60-90 kg)						
1-2	24.5 $\pm$ 0.8	22.1 $\pm$ 1.6	25.6 $\pm$ 1.1	0.163	10.11	0.701
3-4	25.7 $\pm$ 1.1	27.1 $\pm$ 0.5	24.1 $\pm$ 2.0	0.322	10.49	0.776
5-6	29.4 $\pm$ 1.0	26.4 $\pm$ 2.5	26.8 $\pm$ 0.7	0.402	11.76	0.935
1-6	26.5 $\pm$ 0.8	25.2 $\pm$ 1.4	25.5 $\pm$ 0.7	0.609	7.66	0.569

ตารางที่ 6.11 แสดงผลของการเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟต่อปริมาณแร่ธาตุใน plasma ของสุกร

ปริมาณที่เสริม	Ca (ppm)	K(ppm)	Mg (ppm)	Cu (ppb)	Zn (ppb)	Fe (ppb)
	$\pm$ SE	$\pm$ SE	$\pm$ SE	$\pm$ SE	$\pm$ SE	$\pm$ SE
T1 (0.0%)	80 $\pm$ 2.3	1808 $\pm$ 15	19.1 $\pm$ 2.5	8.9 $\pm$ 0.06	7.2 $\pm$ 0.05	14.4 $\pm$ 0.29
T2 (1.5%)	78 $\pm$ 1.8	1686 $\pm$ 39	19.4 $\pm$ 0.3	7.9 $\pm$ 0.06	7.7 $\pm$ 0.005	13.9 $\pm$ 0.12
T3 (3.0%)	75 $\pm$ 1.7	1614 $\pm$ 121	17.9 $\pm$ 0.8	7.9 $\pm$ 0.002	7.8 $\pm$ 0.04	10.9 $\pm$ 0.04
Pr>F	0.241	0.315	0.787	0.342	0.548	0.456
C.V.	3.49	6.15	11.20	8.46	6.25	19.69
SEM	1.106	42.449	0.861	0.028	0.019	0.105

ในตารางที่ 6.11 แสดงปริมาณแร่ธาตุใน plasma ของสุกรขุนซึ่งวิเคราะห์ด้วยเครื่อง atomic absorption spectrophotometer พบว่าปริมาณของแร่ธาตุใน plasma ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) โดยในด้านแร่ธาตุหลักมีปริมาณ Ca ใน plasma มีค่าเท่ากับ 80, 78 และ 75 ppm ตามลำดับ K มีค่าเท่ากับ 1808, 1686 และ 1614 ppm ตามลำดับ Mg มีค่าเท่ากับ 19.1, 19.4 และ 17.9 ppm ในส่วนของแร่ธาตุรองพบว่า Cu มีปริมาณ 8.9, 7.9 และ 7.9 ppb ตามลำดับ Zn มีค่าเท่ากับ 7.2, 7.7 และ 7.8 ppb ตามลำดับและสุดท้าย Fe มีค่าเท่ากับ 14.4, 13.9 และ 10.9 ตามลำดับ

ระหว่างการทดลองได้ทำการเก็บมูลสุกร เพื่อนำมาวิเคราะห์หาปริมาณ nitrogen ในมูลสุกร จากการทดลองพบว่า การเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟในอาหารสุกรสามารถลดปริมาณ nitrogen ได้ โดยปริมาณ nitrogen ในมูลของกลุ่มควบคุมแตกต่างกับกลุ่มที่ได้รับการเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.001$) โดยในกลุ่มควบคุมมีปริมาณ nitrogen เท่ากับ 1.14 เปอร์เซ็นต์ กลุ่มที่เสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟ 1.5 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณ nitrogen เท่ากับ 0.98 เปอร์เซ็นต์ และกลุ่มที่เสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟ 3.0 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณ nitrogen เท่ากับ 0.97 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 6.12)

ตารางที่ 6.12 แสดงปริมาณ nitrogen ในมูลสุกร

แร่ธาตุจากหินภูเขาไฟ	ปริมาณ nitrogen (%)
0%	1.14 ^a
1.5%	0.98 ^b
3.0%	0.97 ^b
Pr>F	0.001
C.V.	4.48
SEM	0.013

^{a, b} แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.001$)

6.8 วิจัยนผลการศึกษาทดลอง

จากผลการศึกษาการเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟในอาหารสุกรรุ่น-ขุน โดยทำการเสริมในอาหารปริมาณ 0, 1.5 และ 3.0 เปอร์เซ็นต์ พบว่าการเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟในอาหารไม่ส่งผลให้ ความชื้น โปรตีน เยื่อใย และไขมัน ของอาหารแตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) โดยความชื้นที่วิเคราะห์ได้ของอาหารสุกรรุ่นและขุนมีค่าไม่เกินมาตรฐาน (13 เปอร์เซ็นต์) คือมีค่าเท่ากับ 6.97, 6.68 และ 6.56 เปอร์เซ็นต์ ในสุกรรุ่นและ 7.82, 7.78 และ 7.61 เปอร์เซ็นต์ ในสุกรขุนตามลำดับ ทั้งนี้อาจเป็นเพราะอาหารที่ใช้เลี้ยงสุกรเป็นอาหารที่ทำการผสมขึ้นเองโดยทำการผลิตอาหารทุก 3 วัน ทำให้ไม่ต้องเก็บอาหารไว้นาน ส่งผลให้ความชื้นในอาหารมีค่าต่ำ ในส่วนของโปรตีนพบว่า เปอร์เซ็นต์โปรตีนที่วิเคราะห์มีค่าเท่ากับ 22.1, 22.7 และ 23.1 เปอร์เซ็นต์ ในสุกรรุ่นและ 20.6, 20.2 และ 19.9 เปอร์เซ็นต์ ในสุกรขุนตามลำดับ ซึ่งค่าของโปรตีนที่วิเคราะห์ได้มีค่าสูงกว่าค่าที่ NRC (1998) กำหนดไว้คือ 18 เปอร์เซ็นต์ และ 15.5 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้เป็นเพราะปริมาณการกินได้ของสุกรในประเทศไทยมีค่าต่ำกว่ามาตรฐานที่กำหนดไว้ดังนั้นถ้าประกอบสูตรอาหารที่มีโปรตีนเท่าที่

NRC (1998) แนะนำจะทำให้สุกรได้รับโปรตีนไม่เพียงพอต่อความต้องการของสุกร ในด้านของเชื้อไขพบว่าปริมาณเชื้อไขที่วิเคราะห์ได้มีค่าไม่เกิน 5 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเป็นค่ามาตรฐาน โดยมีค่าเท่ากับ 3.55, 3.38 และ 3.22 เปอร์เซ็นต์ ในสุกรรุ่นและ 3.46, 4.01 และ 4.39 เปอร์เซ็นต์ ในสุกรขุนตามลำดับ ด้านปริมาณของไขมันพบว่ามีค่าเท่ากับ 3.32, 2.98 และ 2.35 เปอร์เซ็นต์ ในสุกรรุ่นและ 2.46, 2.23 และ 2.29 เปอร์เซ็นต์ ในสุกรขุนตามลำดับ ในด้านปริมาณเถ้าที่พบว่าการเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟส่งผลให้ปริมาณเถ้าในอาหารแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยอาหารในกลุ่มการทดลองที่ 3 มีปริมาณเถ้าสูงกว่ากลุ่มการทดลองที่ 1 และกลุ่มการทดลองที่ 2 ตามลำดับ ทั้งนี้เป็นเพราะว่าแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟประกอบด้วยแร่ธาตุหลายชนิดเป็นองค์ประกอบ และแร่ธาตุเหล่านี้ไม่สลายเมื่อถูกความร้อนดังนั้นอาหารแม่สุกรที่ได้รับการเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟจึงมีปริมาณของเถ้าสูงกว่ากลุ่มที่ไม่ได้รับการเสริม สอดคล้องกับผลการทดลองของ Poulsen and Oksbjerg (1995) ที่พบว่าการเสริม clinoptilolite 3 เปอร์เซ็นต์ ส่งผลให้ปริมาณเถ้าในอาหารมีค่าสูงขึ้น และทำให้พลังงานในอาหาร (gross energy) มีค่าลดลง พงศธร (2537) รายงานว่าการเสริม natural zeolite ในอาหารสุกรรุ่น-ขุน ส่งผลต่อปริมาณโภชนะในอาหาร โดยมีผลทำให้อาหารมีค่าพลังงานย่อยได้ (digestible energy, DE) และพลังงานใช้ประโยชน์ได้ (metabolizable energy, ME) ลดลง สอดคล้องกับการทดลองของ Zimmerman (www, 2003) ที่รายงานว่าการเสริม clinoptilolite ในอาหารสุกรที่ระดับ 0, 2, 4 และ 8 เปอร์เซ็นต์ ส่งผลให้พลังงานในอาหารมีค่าลดลง เป็นผลให้สุกรมีการกินได้ที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟเป็นสารที่ไม่มีมีโภชนะและพลังงาน ดังนั้นการใช้แร่ธาตุจากหินภูเขาไฟโดยไม่ปรับปริมาณโภชนะและพลังงานเป็นผลให้โภชนะและพลังงานในอาหารมีค่าลดลง นอกจากนี้ในการทดลองยังพบว่าการเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟยังส่งผลให้ในช่วงสุกรรุ่นและสุกรขุนได้รับแร่ธาตุแร่ธาตุต่อวันสูงขึ้น ซึ่งพบว่าการเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟส่งผลให้สุกรรุ่นได้รับ magnesium และ copper ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) แต่ได้รับ calcium, potassium, zinc และ iron แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ส่วนสุกรช่วงขุนได้รับ potassium ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) แต่ได้รับ calcium, magnesium, copper, zinc และ iron แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) แต่ทั้งช่วงสุกรรุ่น - ขุน ต่างได้รับแร่ธาตุสูงกว่ามาตรฐานของ NRC (1998) อย่างไรก็ตามมาตรฐานของ NRC (1998) เป็นระดับความต้องการต่ำสุดของสุกร ดังนั้นเมื่อสุกรได้รับแร่ธาตุจากอาหารเพิ่มขึ้นก็อาจจะส่งผลให้สุกรมีสมรรถภาพการผลิตสูงขึ้นด้วย เพราะแร่ธาตุหลายชนิดทำหน้าที่เป็น coenzyme ในขบวนการเมทาโบลิซึมของสุกร

ในด้านสมรรถภาพการผลิต จากการทดลองพบว่าการเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟในอาหารสุกรรุ่น-ขุน ระดับ 0, 1.5 และ 3 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณการกินอาหาร การเจริญเติบโตต่อตัวต่อ

วันและประสิทธิภาพการใช้อาหารไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) สอดคล้องกับผลการทดลองของ พงศธร (2537) ที่รายงานว่า การเสริม natural zeolite ที่ระดับ 0, 1, 3 และ 5 เปอร์เซ็นต์ ไม่ส่งผลต่อการเจริญเติบโตต่อตัวต่อวัน ปริมาณการกินอาหารและประสิทธิภาพการกินอาหารของสุกร Poulsen and Oksbjerg (1995) พบว่าการเสริม clinoptilolite ส่งผลให้สุกรมีปริมาณการกินอาหารเพิ่มขึ้น แต่มีการเจริญเติบโตต่อตัวต่อวันลดลง ส่งผลให้สุกรมีประสิทธิภาพการใช้อาหารลดลง ซึ่งขัดแย้งกับการทดลองของ Liebscher (1991) ที่ทดลองเสริม heulandite (70 เปอร์เซ็นต์ aluminosilicates) 3 เปอร์เซ็นต์ ในสุกรรุ่นถึงขุน (30-100 กิโลกรัม) จำนวน 123 ตัว พบว่า การเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวัน (ADG) เพิ่มขึ้นจาก 853 กรัม เป็น 930 กรัม ($p<0.05$) ปริมาณการกินอาหารต่อตัวต่อวัน (ADFI) เป็น 2.55 และ 2.43 กิโลกรัม ประสิทธิภาพการใช้อาหารเป็น 2.74 และ 2.83 กิโลกรัม/กิโลกรัม เมื่อเสริมและไม่เสริม heulandite ตามลำดับและจากผลการทดลองของ Papaioannou et al. (2004) ซึ่งพบว่าการเสริม clinoptilolite ปริมาณ 2 เปอร์เซ็นต์ ในอาหารส่งผลให้การเจริญเติบโตต่อตัวต่อวันสูงขึ้น แต่ไม่ทำให้ปริมาณการกินอาหารและประสิทธิภาพการใช้อาหารแตกต่างกันทางสถิติ ซึ่งเขาให้เหตุผลว่าการเสริม clinoptilolite ในอาหารมีผลทำให้การใช้ประโยชน์ได้ของพลังงานดีขึ้น นอกจากนี้ Zimmerman (2003) รายงานว่าการเสริม clinoptilolite สามารถปรับปรุงคุณภาพซากของสุกรและเพิ่มประสิทธิภาพการใช้อาหารของสุกรได้ โดยเมื่อเสริม clinoptilolite ทำให้ไขมันบริเวณสันหลัง (backfat, midline) และไขมันสันหลังบริเวณซี่โครงซี่ที่ 10 (backfat, 10th rib) บางลงและยังสามารถเพิ่ม ปริมาณเนื้อแดงในซาก (lean in carcass) ของสุกรได้ Mumpton and Fishman (1977) รายงานว่า การเสริม zeolite ลงในอาหารทำให้การย่อยได้ของอาหารเกิดได้ทั่วถึงมากขึ้น โภชนะในอาหารถูกนำไปใช้ประโยชน์ได้มากขึ้น โดย zeolite ยังช่วยเพิ่มการใช้ประโยชน์ได้ของ nitrogen ในอาหารด้วย แม้ว่าแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟจะประกอบไปด้วยแร่ธาตุหลายชนิดที่มีการจำเป็นต่อสุกร อาทิเช่น K_2O , Fe_2O_3 , CaO , MgO , CuO และ ZnO แต่จากการวิเคราะห์ปริมาณแร่ธาตุใน plasma ด้วยเครื่อง atomic absorption spectrophotometer พบว่า ปริมาณแร่ธาตุของกลุ่มที่ได้รับการเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟและกลุ่มที่ไม่ได้รับการเสริมมีปริมาณไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) อาจเป็นเพราะว่าแร่ธาตุที่เป็นส่วนประกอบอยู่ในรูปของสารประกอบ oxide ซึ่งสุกรสามารถย่อยและดูดซึมได้น้อยยกเว้น ZnO NRC (1998) รายงานว่า CuO มีค่าการใช้ประโยชน์ได้เพียง 0-10 เปอร์เซ็นต์ ส่วน Fe_2O_3 นั้นสุกรไม่สามารถใช้ประโยชน์ได้และ ZnO มีค่าการใช้ประโยชน์ได้ 50-80 เปอร์เซ็นต์ MgO มี Mg เป็นองค์ประกอบเพียง 55 เปอร์เซ็นต์ ส่วน K_2O และ CaO ไม่มีรายงาน ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Schell et al. (1993) ซึ่งพบว่าการเสริม clay (หินภูเขาไฟชนิดหนึ่ง) ไม่ส่งผลให้ปริมาณ Cu และ Zn ใน plasma ต่างกัน Shurson et al. (1984) รายงานว่าการเสริม zeolite A ในอาหารสุกรส่งผล

ให้ปริมาณ Ca, P, Mg, Na, K และ Fe ที่สุกรสะสมในแต่ละวันลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณการเสริม zeolite A

ด้านปริมาณพลังงานย่อยได้ (DE) ที่สุกรในช่วงรุ่นและขุนได้รับต่อตัวต่อวันนั้น พบว่าการเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟไม่ส่งผลให้ปริมาณพลังงานที่ได้รับแตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) ซึ่งขัดแย้งกับการทดลองของ พงศธร (2537) ซึ่งรายงานว่า การเสริม natural zeolite ในอาหารสุกรรุ่น-ขุน ส่งผลต่อปริมาณโภชนะในอาหาร โดยมีผลทำให้อาหารมีค่าพลังงานย่อยได้และพลังงานใช้ประโยชน์ได้ (ME) ลดลง ซึ่งให้เหตุผลว่าเนื่องจากแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟเป็นสารที่ไม่มีโภชนะและพลังงาน ดังนั้นการใช้แร่ธาตุจากหินภูเขาไฟโดยไม่ปรับปริมาณโภชนะและพลังงานเป็นผลให้โภชนะและพลังงานในอาหารมีค่าลดลง ส่วนปริมาณโปรตีนและ lysine ที่สุกรได้รับต่อตัวต่อวัน พบว่าการเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟไม่ส่งผลให้ปริมาณโปรตีนและ lysine แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) เนื่องจากสุกรในกลุ่มควบคุมและกลุ่มทดลองมีปริมาณการกินได้ที่ไม่แตกต่างกันอีกทั้ง มีการเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟในปริมาณไม่สูงจึงไม่ส่งผลกระทบต่อปริมาณโปรตีนและ lysine ในอาหารสุกร สอดคล้องกับผลการทดลองของ Parisini et al. (1999) ซึ่งรายงานว่า การเสริม sepiolite 2 เปอร์เซ็นต์ ไม่ส่งผลให้ปริมาณโปรตีนในอาหารแตกต่างกันทางสถิติ

ด้านปริมาณ nitrogen ในมูลพบว่าการเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟในอาหารสุกรสามารถลดปริมาณ nitrogen ได้โดยปริมาณ nitrogen ในมูลของกลุ่มควบคุมแตกต่างกับกลุ่มที่ได้รับการเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.001$) โดยในกลุ่มควบคุมมีปริมาณ nitrogen เท่ากับ 1.14 เปอร์เซ็นต์ กลุ่มที่เสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟ 1.5 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณ nitrogen เท่ากับ 0.98 เปอร์เซ็นต์ และกลุ่มที่เสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟ 3.0 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณ nitrogen เท่ากับ 0.97 เปอร์เซ็นต์ สอดคล้องกับผลการทดลองของ Shurson et al. (1984) รายงานว่า เมื่อสุกรได้รับ zeolite หรือ clinoptilolite ส่งผลให้ nitrogen ในปัสสาวะมีแนวโน้มลดลง สอดคล้องกับ Vincent et al. (1987) ซึ่งรายงานว่า zeolite จะดูดซับแอมโมเนียที่เกิดขึ้นในระบบทางเดินอาหารทำให้แอมโมเนียในกระแสเลือดลดลง ทำให้ความเป็นพิษของแอมโมเนีย ต่อ epithelial cell ในลำไส้ลดลง ส่งผลให้สุกรมีการเจริญเติบโตที่ดีขึ้น Mumpton and Fishman (1977) รายงานว่า การเสริม zeolite ลงในอาหารทำให้การย่อยได้ของอาหารเกิดได้ทั่วถึงมากขึ้น โภชนะในอาหารถูกนำไปใช้ประโยชน์ได้มากขึ้น โดย zeolite ช่วยเพิ่มการใช้ประโยชน์ได้ของ nitrogen ในอาหารด้วย

6.9 สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองสรุปได้ว่า การเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟในอาหารสุกรรุ่น-ขุน (20-90 กิโลกรัม) ปริมาณ 1.5 เปอร์เซ็นต์ และ 3.0 เปอร์เซ็นต์ ไม่ส่งผลกระทบต่อสมรรถภาพการผลิตของสุกร รุ่น-ขุน ทั้งการเจริญเติบโตต่อตัวต่อวัน (average daily gain, ADG) ปริมาณการกินอาหารต่อวัน (average daily feed intake, ADFI) และประสิทธิภาพการใช้อาหาร (gain:feed, G:F) ของสุกร รวมทั้งไม่มีผลทำให้ปริมาณแร่ธาตุใน plasma ของสุกรแตกต่างกัน และจากการทดลองพบว่าการเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟทำให้ปริมาณ nitrogen แตกต่างกันโดยกลุ่มควบคุมมีปริมาณ nitrogen ในมูลสูงสุด

บทที่ 7

สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาการเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟแหล่งหนึ่งในประเทศไทยในอาหารสุกรเพื่อทราบถึงองค์ประกอบแร่ธาตุของหินภูเขาไฟ ประสิทธิภาพการดูดซับสารพิษ aflatoxin B₁ ในห้องปฏิบัติการ (*in vitro*) สมรรถภาพการผลิตของสุกรแม่พันธุ์ สุกรรุ่น-ขุน (20-90 กิโลกรัม) และการลด nitrogen ในมูล โดยใช้ น้ำหนักของแม่พันธุ์ ณ วันคลอด และวันหย่านม, จำนวนลูกสุกร/แม่, จำนวนลูกมีชีวิต, ลูกตายขณะคลอด, ลูกตายในท้อง, น้ำหนักลูกสุกรแรกคลอด, น้ำหนักลูกสุกรหลังหย่านม, จำนวนวันตั้งแต่หย่านม-เป็นสัด เป็นกรณีในการวัดสมรรถภาพการผลิตของสุกรแม่พันธุ์และใช้อัตราการเจริญเติบโตต่อวัน ปริมาณอาหารที่กินต่อวัน และประสิทธิภาพในการใช้อาหารเป็นกรณีในการวัดสมรรถภาพการผลิตของสุกรรุ่น-ขุนพบว่า

1. จากการทดลองเพื่อทราบถึงปริมาณแร่ธาตุที่เป็นองค์ประกอบของหินภูเขาไฟจากแหล่งในจังหวัดลพบุรี พบว่ามี Ca, K, Mg, Fe, Cu และ Zn เป็นองค์ประกอบของแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟ โดยมี calcium เป็นองค์ประกอบประมาณ 22.60 g/kg, potassium 80.36 g/kg, magnesium 1.92 g/kg, iron 56.3 g/kg, copper 200 ppm และ zinc 200 ppm แต่แร่ธาตุนั้นอยู่ในรูปของสารประกอบ oxide ซึ่งสุกรสามารถดูดซึมไปใช้ได้เล็กน้อยหรือไม่ได้เลยดังนั้นแม้แร่ธาตุจากหินภูเขาไฟจะมีแร่ธาตุหลายชนิดเป็นองค์ประกอบ แต่ไม่เหมาะสมที่จะนำมาเป็นแหล่งแร่ธาตุของสุกรได้เพราะแร่ธาตุอยู่ในรูปที่สุกรไม่สามารถย่อยและดูดซึมมาใช้ประโยชน์ได้ จากการทดลองเพื่อทราบถึงปริมาณการดูดซับสารพิษ aflatoxin B₁ พบว่าแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟ มีประสิทธิภาพในการดูดซับสารพิษ aflatoxin B₁ สูงกว่ากลุ่มควบคุม + aflatoxin 100 ppb และอะลูมิเนียมซลิเกตทางการค้า 2 อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p < 0.001$) โดยแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟมีประสิทธิภาพการดูดซับสารพิษ aflatoxin B₁ เท่ากับ 59.95 ± 4.26 เปอร์เซ็นต์

2. จากผลการทดลองสรุปได้ว่า การเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟในอาหารสุกรแม่พันธุ์ระยะอุ้มท้องถึงเลี้ยงลูกไม่ส่งผลต่อขนาดครอก (litter size) จำนวนลูกสุกรมีชีวิต (born alive) ปริมาณลูกสุกรหย่านม (weaning pig) และน้ำหนักลูกสุกรหย่านม (weaning weight) ในด้านสุกรแม่พันธุ์พบว่า การเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟไม่มีผลทำให้น้ำหนักตัวแม่สุกรระหว่างเลี้ยงลูกลดลงแตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) แต่พบว่าการเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟมีผลทำให้จำนวนวันหลังหย่านมถึงผสม (weaning to mating) ของสุกรแม่พันธุ์แตกต่างกัน โดยที่กลุ่มการทดลองที่ 3 มีจำนวนวัน

หลังหย่านมถึงผสมพันธุ์ที่สุดคือ 3.75 วัน กลุ่มการทดลองที่ 2 มีจำนวนวันหลังหย่านมถึงผสมพันธุ์ที่สุดคือ 5.75 วัน ส่วนการทดลองที่ 1 มีจำนวนวันหลังหย่านมถึงผสมไม่แตกต่างกับกลุ่มการทดลองที่ 2 และ 3 คือ 4.33 วัน อย่างไรก็ตามพบว่า การทดลองนี้มีค่า coefficient of variation (CV) สูงซึ่งจะส่งผลต่อการตรวจสอบผลของแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟที่เสริมในอาหาร (treatment effect) คือทำให้พบความแตกต่างระหว่างกลุ่มการทดลองได้ยากขึ้น ดังจะเห็นได้จาก mean ของลักษณะที่เราวัดมีค่าแตกต่างกันทางคณิตศาสตร์ แต่เมื่อนำมาวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ ($p > 0.05$)

3. จากผลการทดลองสรุปได้ว่า การเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟในอาหารสุกรรุ่น-ขุน (20-90 กิโลกรัม) ปริมาณ 1.5 เปอร์เซ็นต์ และ 3.0 เปอร์เซ็นต์ ไม่ส่งผลต่อสมรรถภาพการผลิตของสุกรรุ่น-ขุนและไม่ส่งผลต่อปริมาณแร่ธาตุใน plasma แต่การเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟส่งผลให้ปริมาณ nitrogen ในมูลลดลงโดยการเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟส่งผลให้ปริมาณเถ้า (ash) ในอาหารมีค่าสูงขึ้น แต่ไม่ทำให้ปริมาณพลังงานย่อยได้ (digestible energy, DE) ปริมาณโปรตีนและปริมาณ lysine ในอาหารแตกต่างกันทางสถิติ ในด้านสมรรถภาพการผลิตพบว่า การเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟไม่ส่งผลต่อ การเจริญเติบโตต่อตัวต่อวัน (average daily gain, ADG) ปริมาณการกินอาหารต่อวัน (average daily feed intake, ADFI) และประสิทธิภาพการใช้อาหาร (gain:feed, G:F) ของสุกร รวมทั้งไม่มีผลทำให้ปริมาณแร่ธาตุใน plasma ของสุกรแตกต่างกัน และจากการทดลองพบว่า การเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟทำให้ปริมาณ nitrogen แตกต่างกันโดยกลุ่มควบคุมมีปริมาณ nitrogen ในมูลสูงสุด

ข้อเสนอแนะ

จากผลที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้พบว่าแร่ธาตุที่เป็นส่วนประกอบของแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟในแหล่งในจังหวัดลพบุรีของประเทศไทยอยู่ในรูปสารประกอบ oxide ซึ่งสุกรไม่สามารถนำไปใช้ได้ โดยดูจากปริมาณแร่ธาตุใน plasma ของสุกรในการทดลองนี้ ซึ่งพบว่าการเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟในอาหารสุกรไม่ส่งผลให้แร่ธาตุใน plasma ของสุกรมีค่าแตกต่างกันคือแม้สุกรได้รับแร่ธาตุเพิ่มขึ้นแต่สุกรไม่สามารถย่อยและดูดซึมแร่ธาตุไปใช้ในร่างกายได้ ส่วนคุณสมบัติในการดูดซับสารพิษ aflatoxin และการลดปริมาณ nitrogen นั้นขึ้นอยู่กับความจุในการแลกเปลี่ยนประจุซึ่งขึ้นกับจำนวน AI ที่เข้ามาทดแทน Si ซึ่งทำให้เกิดประจุลบบนโครงสร้างขึ้น ซึ่งหมายความว่าคุณสมบัติในการดูดซับสารพิษ aflatoxin และการลดปริมาณ nitrogen นั้นขึ้นอยู่กับปริมาณของ AI และ Si ที่เป็นส่วนประกอบของแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟ ดังนั้นก่อนใช้แร่ธาตุจากหินภูเขาไฟจาก

แหล่งที่ต่างกันต้องมีการศึกษาถึงชนิดของแร่ธาตุที่เป็นส่วนประกอบว่ามีแร่ธาตุใดเป็นส่วนประกอบอยู่บ้างเพราะแร่ธาตุจากแหล่งต่างกันจะมีปริมาณแร่ธาตุที่เป็นส่วนประกอบแตกต่างกัน แม้แต่แร่ธาตุจากหินภูเขาไฟที่อยู่ในแหล่งเดียวกันแต่อยู่คนละชั้น ก็ยังมีปริมาณและส่วนประกอบของแร่ธาตุที่แตกต่างกัน

จากผลการทดลองที่ 2 ซึ่งศึกษาผลของการเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟต่อลักษณะการสืบพันธุ์และการให้ผลผลิตของแม่พันธุ์สุกร ซึ่งลักษณะดังกล่าวมีค่า coefficient of variation (CV) ก่อนข้างสูงซึ่งจะส่งผลต่อการตรวจสอบผลของแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟที่เสริมในอาหาร (treatment effect) คือทำให้พบความแตกต่างระหว่างกลุ่มการทดลองได้ยากขึ้น ซึ่งอาจทำให้เราสรุปผลการทดลองคลาดเคลื่อนได้ ดังนั้นในการทดลองครั้งต่อไปผู้ทดลองควรจัดการทดลองให้เหมาะสมเพื่อทำให้ค่า coefficient of variation (CV) เป็นค่าที่แท้จริงของประชากร โดยอาจจะใช้ design ที่เหมาะสมเพื่อแยกความแปรปรวนที่เราทราบออกมา การเพิ่มจำนวนซ้ำให้มากขึ้นและทำการจัดแม่สุกรให้มีความสม่ำเสมอมากขึ้น เช่น แม่สุกรอยู่ในลำดับท้องเดียวกัน และมีจำนวนวันตั้งท้องใกล้เคียงกัน ข้อสังเกตที่สำคัญอีกประการหนึ่งคือ การเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟเพื่อศึกษาถึงสมรรถภาพการผลิตของสุกรแม่พันธุ์ควรทำการเสริมก่อนที่จะทำการผสมพันธุ์สุกรเพื่อให้เห็นผลต่อเนื่องในระบบสืบพันธุ์ของสุกรได้ชัดเจนยิ่งขึ้น

ในการทดลองที่ 3 การเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟอาจทำให้โคชนะมีความเข้มข้นลดลง แม้จะไม่แตกต่างกันทางสถิติ ดังนั้นการทบทวนครั้งต่อไปควรมีการปรับความเข้มข้นของโคชนะในกลุ่มที่ทำการเสริมให้มีค่าเท่ากับกลุ่มควบคุมด้วยเพื่อให้ผลที่ได้ชัดเจนขึ้น ในด้านผลของการเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟเพื่อลดปริมาณ nitrogen ในมูล ในการทดลองครั้งต่อไปควรศึกษาด้วยวิธี Total Collection เพื่อทราบถึงปริมาณของ nitrogen ที่ถูกขับถ่ายออกมาทั้งหมด เพราะมี nitrogen ส่วนหนึ่งซึ่งถูกขับออกทางปัสสาวะ (ในการทดลองนี้ไม่ได้ทำการศึกษา) และปริมาณ nitrogen ที่ร่างกายนำไปใช้ได้ โดยนำปริมาณ nitrogen ที่สุกรได้รับจากการกินลบออกด้วยปริมาณ nitrogen ที่สุกรขับถ่ายออก ในด้านปริมาณ DE, โปรตีน และ Lysine ในการทดลองนี้ใช้การคำนวณโดยนำปริมาณ DE, โปรตีน และ Lysine ในอาหาร 1 กิโลกรัม มาคูณกับปริมาณการกินได้ของสุกร ซึ่งอาจทำให้ค่าที่ได้คลาดเคลื่อนได้ ดังนั้นในการทดลองครั้งต่อไปควรมีการวิเคราะห์จากอาหารเพื่อความแม่นยำในการสรุปผลการทดลอง

รายการอ้างอิง

- ฉลอง วชิราภากร. (2543). โภชนศาสตร์แร่ธาตุของสัตว์. ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- นวลจันทร์ พารักษา, อุทัย คั่นโธ และชาญยุทธ จรุงเกียรติกำจร. (2536). การศึกษาความสามารถในการดูดซับสารอะฟลาทอกซินของสารอะลูมิเนียมซิลิเกตชนิดต่างๆ ภายนอกร่างกายสัตว์, น. 132. ใน บทคัดย่อการประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 31, 3-6 กุมภาพันธ์ 2536. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- ปรียพันธุ์ อุดมประเสริฐ. (2542). การจัดการสุขภาพและการผลิตในฟาร์มสุกร. อุดมสุขการพิมพ์ (1993) จำกัด กรุงเทพมหานคร.
- ผุสดี คำวงศ์ปิ่น. (2537). สมรรถภาพการผลิตของไก่กระทางที่เสริมด้วยซีโอไลท์ธรรมชาติ. วิทยานิพนธ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- พงศธร อุ่นจิตต์วรรณะ. (2537). ผลของการใช้ซีโอไลท์ธรรมชาติต่อสมรรถภาพการผลิตของสุกรระยะรุ่น-ขุน. วิทยานิพนธ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- เพิ่มพูน กิรติกลีกร. (2528). เคมีของดิน. คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ขอนแก่น. 249 น.
- ไมตรี สุทธจิตต์. (2543). สารเคมีก่อมะเร็ง. ภาควิชาชีวเคมี คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- สุกัญญา จิตตพรพงษ์. (2530). การใช้และการตรวจสอบคุณภาพอาหารสัตว์. วัตถุดิบอาหารสัตว์. 135.
- เสกสม อาตมางกูร. (2545). อาหารและปัจจัยอื่นๆ ที่มีความสำคัญต่อการผลิตสุกรขุน. วารสารสัตว์เศรษฐกิจ. ฉบับที่ 453.
- เสกสม อาตมางกูร. (2546). การจัดการโภชนาการและฟาร์มสุกร. วารสารสัตว์เศรษฐกิจ. ฉบับที่ 453.
- อรประพันธ์ พุ่มอินทร์ และสุกัญญา จิตตพรพงษ์. 2536. การใช้สารซีโอไลท์ในการลดสารพิษอะฟลาท็อกซิน. วารสารสุกรสารัน. 20(78): 17-19.
- อุมา บริบูรณ์ และดวงจันทร์ สุประเสริฐ. 2537. การวิเคราะห์หาปริมาณอะฟลาท็อกซิน M_1 และ M_2 ในน้ำมันและผลิตภัณฑ์นม. วารสารกระทรวงสาธารณสุข. 13(7-9): 108-114.
- Agricultural Research Council. (1981). **The nutrient requirements of pigs.** Commonwealth Agricultural Bureaux, Slough. 307 pp.
- AOAC. (1990). **Official methods of analysis (15th Ed.).** Association of official analytical chemistry, Arlington, VA.

- Bowman, R. S., E.J. Sullivan and Z. Li. in: C. Colella and F.A. Mumpton (eds.), (2000). **Natural Zeolites '97: Occurrence, Properties**, Int. Comm. Natural Zeolites, Naples, in press.
- Cheshmedzhiev, B., A. Angelove, N. Nestorow, A. Kraster, S. Bakalivanov and R. Cheshmedzhiev. (1985). **Effect of zeolite on feeding pregnant and nursing sows and suckling pigs. Zhivotnov dni Nauki.** 22 (9): 40-46. (Abstr.).
- Colvin, B.M., L.T. Sangster, K.D. Haydon, R.W. Beaver and D.M. Wilson. (1989). **Effect of a high affinity aluminosilicate sorbent on prevention of aflatoxicosis in growing pigs. Nutr. Abstr. Rev.** (Series B) 59(8):557. (Abstr.).
- Cool, W. M. and J. M. Willard. (1982). **Effect of Clinoptilolite on Swine Nutrition. Nutr. Abstr. Rev.** (Series B) 53(6): 428. (Abstr.)
- Georgievskii, V. I., B. N. Annenkov and V. I. Samokhin. (1982). **Mineral Nutrition of Animals.** Butterworths, London.
- Gunther, K. D. (1992). **Zeolite Minerals in Pig and Poultry Feeding. Pig News Inform.** 13(3): 283. (Abstr.).
- Halmagean, P., F. Carpan, M. Milos, R. Covasintent, M. Rotaru, B. Lixandru, B. Sava, S. Sinitean and Z. Brancov. (1990). **Use of zeolite from volcanic stuff in feeding growing pigs. I. Results of the First Experimental Phase. Pig News Inform.** 11(1): 109. (Abstr.).
- Haydon, K.D., R.W. Beaver, D.M. Wilson, B.M. Colvin and L.T. Sangster. (1991). **Efficacy of an aluminosilicate in prevention of aflatoxicosis in swine. Nutr. Abstr. Rev.** 61:1000.
- Isaces, A., J. Daintith and E. Martin. (1988). **Concise Science Dictionary.** Oxford University Press, Oxford. 758 p.
- Italian Natural Zeolite Quarries. (2003). **feeding lactating sows.** [On — line]. Available: <http://www.sogang.ac.kr/~zeolite/enat-zeol.htm>
- Jones, D. B. and T. S. Stahley. (1995). **Impact of amino acid nutrition during lactation on subsequent reproductive function of sows. J. Anim. Sci.** 73 (suppl. 1): 183(Abstr.).
- Kim, S. W., D. H. Baker and R. A. Easter. (2003). **Dynamic Ideal Protein: A novel approach to feeding lactating sows.** [On — line]. Available: <http://www.traill.outreach.Uiuc.edu/uploads/porknet/paper/435RR-7-Dynamic Ideal Protein-Kim.pdf>

- Liebscher, A. (1991). **Influence of heulandite (zeolite) as feed additive on growth and carcass quality in sibling tests.** *Bodenkultur*. 42 (4) : 367-376. (Abstr.).
- Lindemann, M.D., D.J. Blodgett, E.T. Kornegay and G.G. Schuring. (1989). **Evaluation of potential ameliorators of aflatoxicosis in weanling /growing swine.** *J. Anim. Sci.* 67 (Suppl. B): 36 (Abstr.)
- Lindemann, M.D., D.J. Blodgett, E.T. Kornegay and G. G. Schuring. (1993). **Potential ameliorators of aflatoxicosis in weanling growing swine.** *J. Anim. Sci.* 71: 171-178.
- Lindsay, W. L and W. A. Norvell. (1978). **Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese, and copper.** *Soil Sci. Soc. Am. J.* 42: 421-428. [On — line]. Available: http://www.icarda.cgiar.org/Publications/Lab_Manual/read.htm
- Lopez, R. G., A. Elias and M. A. Menchaca. (1992). **The utilization of zeolite by dairy cows. 2. Effect of milk yield.** *Cuban J. of Agri. Sci.* 26, 131-134.
- Ma, C. S., C. M. Tzeng, M. K. Lai and A. H. Tsai. (1979). **Effect of zeolite feeding on pregnant pigs on the litter size at birth.** *K' o Hseuh Nung Yeh (Taipei)* 27, 189-192.
- McDowell, L.R. (1992). **Minerals in Animal and Human Nutrition.** Academic Press, Inc., New York.
- Mineral Data Publishing, version 1.2. (2001). **Clinoptilolite (Na, K, Ca)₂₋₃Al₃(Al, Si)Si₁₃O₃₆.12H₂O.** [On — line]. Available: <http://www.minsocam.org/msa/Handbook/Clinoptilolite.PDF>
- Mumpton, F.A. and P.H. Fishman. (1977). **The application of natural zeolites in animal science and aquaculture.** *J. Anim. Sci.* 15(5): 1188-1202.
- Nishimaru, Y. (1973). **Properties and utilization of zeolite.** Cited by F. A. Mumpton and P. H. Fishman. (1977). **The application of natural zeolites in animal science and aquaculture.** *J. Anim. Sci.* 15(5): 1188-1202.
- NRC. (1998). **Nutrient Requirements of Swine (10th Ed.).** National Academy Press, Washington, DC.
- Parisini, P., G. Martelli, L. Sardi and F. Escribano. (1999). **Protein and energy retention in pigs fed diets containing sepiolite.** *Animal Feed Science and Technology* 79, 155-162.
- Parker, S. P. (1984). **McGraw-Hill Concise Encyclopedia of Science & Technology.** McGraw-Hill Book Company, New York. 2065 p.

- Papaioannou, D.S., S.C. Kyriakis, A. Papasteriadis, N. Roumbies, A. Yannakopoulos and C. Alexopoulos. (2002). **A field study on the effect of in-feed inclusion of a natural zeolite (clinoptilolite) on health status and performance of sows/gilts and their litters. Research in Veterinary Science 72. 51—59.**
- Papaioannou, D. S., C. S. Kyriakis, C. Alexopoulos, E. D. Tzika, Z. S. Polizopoulou and S. C. Kyriakis. (2004). **A field study on the effect of the dietary use of a clinoptilolite-rich tuff, alone or in combination with certain antimicrobials, on the health status and performance of weaned, growing and finishing pigs. Research in Veterinary Science, Volume 76, Issue 1, February 2004, 19-29.**
- Phillips, T. D., L. F. Kubena, R. B. Harvey, D. R. Taylor and N. D. Heidelhaugh. (1988). **Hydrated sodium calcium aluminosilicate: a high affinity absorbent for aflatoxin. Poult. Sci. 67(2): 243-247.**
- Poulsen, H. D. and N. Oksbjerg. (1995). **Effects of dietary inclusion of a zeolite (clinoptilolite) on performance and protein metabolism of young growing pigs. Animal Feed Science and Technology. 53: 297-303.**
- Richards, L. A. (1954). **Diagnosis and improvement of saline and alkali soils.** USDA Agric. Handbook 60. Washington, D. C. [On — line]. Available:
http://www.icarda.cgiar.org/Publications/Lab_Manual/read.htm
- Rao, P.R., A.S. Murthy, N.R.G. Naidu, P.K. Sriraman, A.S. Murthy, M.N. Ahmed and K.J. Dillai. (1981). **Note on aflatoxicosis in pigs. J. Anim. Sci. 51: 800-802.**
- Roussel, J. D., J. K. Thibodeaux, R. W. Adkinson, G. M. Toups and L. L. Goodeaux. (1992). **Effect of feeding various levels of sodium zeolite A on milk yield, milk composition and blood profiles in thermally stressed Holstein cows. International J. of Vitamin and Nutr. Res. 62, pp. 91 - 98.**
- SAS. (1985). **Statistics Analytical System.** Guide Statistics Inc., Cary, North Carolina, U.S.A.
- Scheideler, S. E. (1989). **Effects of various types of aluminosilicates and aflatoxin on aflatoxin toxicity, bird performance and mineral status. Poult. Sci. 68(Suppl. 1): 203. (Abstr.)**
- Schell, T. C., M. D. Lindmann, D. J. Blodgett and E. T. Kornegay. (1994). **Dietary hydrated sodium calcium alumino silicate reduction of aflatoxin M1 residue in dairy goat milk and effects on milk production and component. J. Anim. Sci. 72: 677-682**

- Scott, P. M. (1990). Natural Poisons. In Helrich, K. (ed.). **Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical chemists (15th ed., pp. 1184-1213)** Virginia: Arlington.
- Shurson, G.C., P.K. Ku, E.R. Miller and M.T. Yokoyama. (1984). **Effect of zeolite a of clinoptilolite in diet of growing swine. J. Anim. Sci.** 59(6): 1536-1545.
- Steel, R.G.D. and J.H. Torries. (1980). **Principles and Procedures of Statistics: a Biometric Approach (2nd Ed).** McGrawHill : New York
- Torii, K. (1974). **Utilization of natural zeolite in Japan.** Cite by F. A. Mumpton and P. H. Fishman. (1977). **The application of natural zeolites in animal science and aquaculture. J. Anim. Sci.** 15(5): 1188-1202.
- Tzeng, C. M. (1979). **The feeding of zeolite on the litter size at birth in swine. Sci. Agric.** 27 (5/6): 189-193.
- Uygongco, G., M. Honeyman, D. Zimmerman and D. Bundy. (2003). **Effects of reduced nitrogen content and clinoptilolite supplementation of diets on growth performance, nitrogen excretion and odor production.** [On — line]. Available: <http://www.extension.iastate.edu/ipic/reports/99swinereports/asl-1663.pdf>.
- Varian Australia Pty Ltd. (1989). **Analytical Methods Flame Atomic Absorption Spectrometry.** Mulgrave Victoria Australia, Australia.
- Vincent, H.V., I.M. Robinson and W.G. Pond. (1987). **Effect of dietary copper sulfate, Aureo SP 250, or clinoptilolite on ureolytic bacteria found in the pig large intestine. Appl. Environ. Microbiot.** 53(9):2009-2012.
- Zimmerman, D. (2003). **Effects of Clinoptilolite on Growth Performance and Carcass Composition of Growing-Finishing Pigs and on Fecal Nitrogen and Phosphorus Content.** [On — line]. Available: <http://www.extension.iastate.edu/Pages/ansci/swinereports/asl-1370.pdf>.

ภาคผนวก ก

การสกัดแร่ธาตุที่เป็นส่วนประกอบของแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟ

การสกัด K, Ca และ Mg

1. ชั่งตัวอย่างแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟแต่ละซ้ำ จำนวน 10 กรัม ใส่ลงใน Erlenmeyer flask ขนาด 300 ml เติมน้ำละลายกลาง neutral 1 N NH_4OAc (Ammonium acetate) ลงไป 50 ml แล้วเขย่าเป็นเวลา 30 นาที

2. ถ่ายสิ่งที่อยู่ใน flask ลงใน Buchner funnel ซึ่งมีกระดาษกรอง Whatman No. 42 นุ่มอยู่ ติดกับเครื่อง suction flask และ vacuum pump ใช้ neutral 1 N NH_4OAc จำนวน 100 ml ล้างดินใน flask ลงใน Buchner funnel ให้หมด ใช้ vacuum pump ดูดน้ำ แล้วนำน้ำที่กรองได้ไปวัดหา K, Ca และ Mg

การวิเคราะห์หา Micronutrients บางตัว (Fe, Mn, Cu และ Zn)

การวิเคราะห์พวก available micronutrients มีปัญหาหลายอย่าง เพราะว่าปริมาณที่อยู่ในแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟมีน้อยมาก ถ้าไม่ระมัดระวังก็จะเกิด contaminate จากเครื่องใช้หรือสารเคมีอื่นที่มีอยู่ในห้องปฏิบัติการได้น้ำยาที่ใช้สกัดมีหลายชนิด การที่จะใช้น้ำยาสกัดตัวไหนจะต้องพิจารณาถึงแร่ธาตุปริมาณที่สกัดได้ อีกประการหนึ่งน้ำยาสกัดที่ใช้ควรจะสกัดได้หลายๆ ธาตุในเวลาเดียวกัน

ในบรรดา micronutrient ทั้งหมด Fe, Mn, Cu และ Zn ได้รับความสนใจมากกว่าตัวอื่นๆ ทั้งนี้เพราะอาหารสุกรที่ใช้โดยทั่วไป มักจะมีปัญหาเกี่ยวกับการขาดหรือการที่มีปริมาณมากจนเป็นพิษของจุลธาตุเหล่านี้ได้

ปริมาณ Fe ที่สกัดได้

ปริมาณ Fe ในแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟนั้นแตกต่างกันออกไปจากปริมาณที่เล็กน้อยจนถึงปริมาณที่มีมาก การขาด Fe มักจะเกิดขึ้นในแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟที่มี free CaCO_3 มาก

วิธีการสกัดปริมาณ Fe ที่จะเป็นประโยชน์ในดินมีหลายวิธี อาทิเช่น NaOAc pH 4.8, NH_4OAc pH 4.8, NH_4OAc pH 3.0 นอกจากนั้นก็ยังมีการใช้ EDTA และ reducing agent อื่นๆ เช่น 0.5% oxalic acid เป็นต้น

อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. 125 ml. Erlenmeyer flask
2. Shaking machine

3. Filtering apparatus

สารเคมีและน้ำยา

Ammonium acetate (NH_4OAc) 1 N, pH 4.8: ผสม glacial acetic acid 102 มล. และ NH_4OH เข้มข้น 70 มล. เติมน้ำจนได้ปริมาตร 750 มล. ปรับ pH ของสารละลายให้เป็น 4.8 โดยการเติม HOAc เติมน้ำจนได้ปริมาตร 1 ลิตร

วิธีการ

ชั่งแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟแห้งมา 12.5 กรัม ใส่ใน Erlenmeyer flask ขนาด 125 มล. เติมน้ำ NH_4OAc ลงไป 50 มล. เขย่าเป็นเวลา 30 นาที กรอง นำสิ่งที่กรองได้ไปวิเคราะห์ Fe ต่อไป

ปริมาณ Cu ที่สกัดได้

ปริมาณทองแดงที่จะพบใน soil solution จะมีอยู่ในช่วง 0.01 ถึง 0.05 mgL^{-1} การสกัด Cu จึงมีปัญหา ดังนั้นจึงได้มีการเสนอวิธีสกัดที่สามารถจะสกัด Cu ออกมาให้ได้มาก น้ำยาสกัดต่างๆ ที่มี NH_4NO_3 , NH_4OAc pH 4.8 และ 0.1 N HCl

อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. 125 ml. Erlenmeyer flask
2. Shaking machine
3. Filtering apparatus

สารเคมีและน้ำยา

Hydrochloric acid (HCl), 0.1 N : เติมกรด conc. HCl จำนวน 8.3 มล. ลงไปในน้ำกลั่น 950 มล. ปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตร ด้วยน้ำกลั่น

วิธีการ

ชั่งแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟแห้ง 5 กรัม (ถ้าเป็นแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟที่มี Cu สูงก็ใช้ 1 กรัม ถ้าเป็นแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟที่ขาด Cu ก็ใช้ 10 กรัม) ลงใน 125 ml. Erlenmeyer flask เติมน้ำ 0.1 N HCl 50 มล. เขย่าเป็นเวลา 1 ชั่วโมง กรอง นำสิ่งที่กรองได้ไปวิเคราะห์หาปริมาณ Cu

ปริมาณ Zn ที่สกัดได้

Zn จะอยู่ในดินในรูปของ primary mineral และจะตกตะกอนเป็น hydroxide, phosphate, carbonate และ silicate ปริมาณ Zn ที่แลกเปลี่ยนได้ที่ถูกสกัดโดย NH_4OAc จะมีปริมาณต่ำมาก ยกเว้นจะมีพวก complexing agent เช่น EDTA, dithizone อยู่ด้วย ปริมาณที่สกัดได้โดย NH_4OAc ถือว่าเป็นส่วนของ Zn ที่จะเป็นประโยชน์ต่อพืช น้ำยาสกัดที่นิยมกันมากสำหรับ Zn ก็คือ NH_4OAc ใน dithizone และ 0.1 N HCl

อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. 50 ml. Centrifuge tube
2. 100 ml. Volumetric flask

สารเคมีและน้ำยา

1. Hydrochloride acid (HCl), 0.1 N: เจือจาง 6 N HCl 1 ส่วน ด้วยน้ำกลั่นที่ไม่มี Zn 59 ส่วน

วิธีการ

ชั่งแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟแห้ง 2 กรัม ใส่ใน centrifuge tube ขนาด 50 ซี.ซี. เติม 0.1 N HCl 20 มล. ปิดฝา (หลีกเลี่ยงการใช้ฝาที่เป็นยาง) เขย่าเป็นเวลา 5 นาที centrifuge จนกระทั่งดินแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟตกตะกอน เทส่วนที่ใสลงใน volumetric flask ขนาด 100 มล. ทำเช่นเดียวกันนี้อีก 2 ครั้ง สิ่งที่สำคัญได้จะต้องมี $\text{pH} < 2$ ปรับปริมาตรให้ได้ 100 ซี.ซี. และนำไปวิเคราะห์ Zn ต่อไป

ภาคผนวก ข

การวิเคราะห์แร่ธาตุด้วยวิธี Atomic Absorption

ปัจจุบันนี้การวิเคราะห์ elemental analysis โดยเฉพาะพวก trace element นั้นได้หันมานิยมใช้วิธี atomic absorption วิเคราะห์กันมาก ทั้งนี้เนื่องจากเครื่องมือชนิดนี้สามารถวิเคราะห์แร่ธาตุได้เกือบทุกชนิด (ยกเว้นแร่ธาตุบางตัวเท่านั้น) ไม่เสียเวลามากในการเตรียมตัวอย่างในการวิเคราะห์ และนอกจากนั้นยังสามารถวิเคราะห์หาแร่ธาตุที่มีอยู่ในปริมาณน้อยๆ ในตัวอย่างที่วิเคราะห์ได้ หลักการของการวิเคราะห์ atomic absorption นั้นเกี่ยวกับการดูดแสง (absorption of light) โดยอะตอม ซึ่งจะดูดทุกตัวของแร่ธาตุต่างๆ นั้นสามารถที่จะดูดแสงได้ที่ wavelengths ต่างๆ กันตามพลังงานที่จะดูดของแต่ละแร่ธาตุที่ต้องการ ยกตัวอย่าง เช่น โซเดียมซึ่งสามารถดูดแสงได้สูงสุดที่ 589.0 um. เมื่อให้พลังงานแก่อะตอมตามต้องการมันจะเปลี่ยนอะตอมจาก “ground state” มาเป็น “excited state” ที่ดูดแสงได้ ดังนั้นจากการ transition ระหว่างความแตกต่างของ electronic energy state ที่แตกต่างกันและ wavelength ที่ดูดแสงได้สูงสุดของแร่ธาตุของอะตอมแต่ละตัวแตกต่างกันนี้สามารถที่จะวิเคราะห์หาปริมาณของอะตอมของแร่ธาตุได้ ความสัมพันธ์ระหว่าง atomic absorption และ atomic concentration นั้นสามารถที่จะเขียนสมการได้ตาม The Bur-lambert law (The fundamental laws of light absorption) ได้ดังนี้

$$P_t = P_o e^{-abc}$$

$$\log_{10} = P_o/P_t = abc = \text{absorbance (A)}$$

$$P_o = \text{incident radiation power}$$

$$P_t = \text{Transmitted radiation power}$$

$$a = \text{absorbance coefficient}$$

$$b = \text{length of absorbance path}$$

$$c = \text{concentration of absorbance atoms}$$

จากสมการนี้พบว่าค่าของ “absorbance” นั้นคือ ปริมาณของแสงที่ถูก absorbed โดยอะตอม ภายใต้สภาวะที่ต้องการของแร่ธาตุของอะตอมนั้นๆ และสามารถที่จะเปลี่ยนค่า absorbance ให้เป็นความเข้มข้น (concentration) ของแร่ธาตุทำการวิเคราะห์ได้ ดังนั้นเมื่อเอา standard solution ที่ทราบความเข้มข้นของแร่ธาตุที่ต้องการวิเคราะห์มาวัดค่า absorbance แล้วเปรียบเทียบกับตัวอย่างอาหารที่ต้องการวิเคราะห์สามารถที่จะคำนวณหาปริมาณของแร่ธาตุที่ต้องการวิเคราะห์ได้

การย่อยตัวอย่างสำหรับการวิเคราะห์ atomic absorption นิยมทำกัน 2 วิธีคือ

1. Dry digestion
2. Wet digestion

Determination of mineral โดย Dry digestion

1. การเตรียม sample ซึ่งอาหาร sample 2 กรัม ใส่ใน crucible แล้วนำไปเผาที่อุณหภูมิ 550-600 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง (จับเวลาตั้งแต่อุณหภูมิขึ้น 550°C) แล้วนำออกทิ้งให้เย็นดูสีของ ash ถ้ายังเป็นสีดำอยู่แสดงว่ายังมีคาร์บอนเหลืออยู่ให้หยด $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ หรือน้ำกลั่น 2-3 หยด แล้วเผาต่อไปจนได้ ash สีเทาอ่อนๆ นำออกมาทิ้งให้เย็นในโถอบแห้ง
2. การละลาย ash
 - 1) ถ่าย ash ลงใน beaker ขนาด 150 ซี.ซี โดยใช้ น้ำกลั่น ช่วยในการถ่าย
 - 2) ใส่ 5N HCL 12 ซี.ซี ลงใน crucible แล้วนำไปตั้งบน hot plate ให้เดือดประมาณ 5 นาที แล้วรวบรวมสารละลายถ่ายลงใน beaker 200 ซี.ซี ล้าง crucible 2-3 ครั้ง ด้วยน้ำกลั่นจนแน่ใจว่า ash ละลายหมดจาก crucible หลังจากนั้นเติมน้ำกลั่นลงไป ใน beaker ให้ได้ ปริมาตรประมาณ 70 ซี.ซี เติม 3 ซี.ซี perchloric acid เข้มข้น แล้วนำไปตั้งบน hot plate ใช้ ไฟปานกลางเพื่อย่อยให้ ash ละลายจนได้สารละลายเหลือประมาณ 50 ซี.ซี แล้วนำไป กรองโดยใช้กระดาษกรอง Whatman No 42 โดยใช้ volumetric flask 100 ซี.ซี เป็นตัวรับ สารละลายทิ้งให้เย็นแล้วปรับปริมาตรให้ได้ 100 ซี.ซี ด้วยน้ำกลั่น
(dilution factor = 100, 3% HClO_4) – Dilution I

Determination of Mineral โดย Wet Digestion

1. การเตรียม sample อาหารที่จะนำมาวิเคราะห์ต้องผ่านการบดอย่างละเอียดอย่างน้อยให้ผ่าน ตะแกรง 20 mesh ซึ่งอาหารประมาณ 0.5 กรัม ใส่ลงไป ใน volumetric flask 100 ซี.ซี เติม HNO_3 เข้มข้น 5 ซี.ซี และหมุน flask ให้ sample ที่อยู่ใน flask เปียก นำไป digest บน hot plate ซึ่งเปิดไว้ที่อุณหภูมิต่ำ (low heat) หลังจากนั้น 5 นาทีค่อยๆ เพิ่มอุณหภูมิของ hot plate ให้มีความร้อนปานกลาง (medium heat) ทำการ digest จนกระทั่งไม่มีควันสีน้ำตาลเกิดขึ้น ซึ่งจะใช้เวลาประมาณ 30 นาที
2. ยก volumetric flask ลงจาก hot plate แล้วตั้งทิ้งไว้จนเย็นแล้วเติม HClO_4 เข้มข้น 1 ซี.ซี แล้วนำไป digest บน hot plate อีกโดยใช้อุณหภูมิร้อนปานกลาง ทำการ digest จนกระทั่งสารละลาย ใน flask สีใส (clear) และมีควันสีขาวเกิดขึ้นและระเหยไปเสียเป็นส่วนใหญ่ ตั้งทิ้งไว้ให้เย็นแล้ว เติมน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 100 ซี.ซี
3. Solution นี้ได้ในการ digestion ด้วยวิธีที่สามารถนำไปจัดหา Cu, Fe, Mg, Mn, Zn, Na, K, P, และ Ca ได้ – Dilution II

วิธีวิเคราะห์ Potassium

1. การทำ stock standard solution (1000 ug/ml) ใช้ KCl ชนิด AR grade (M.W. 74.55, 99.8% purity, K = 39.10) นำ KCl ไปอบที่เตาอบ 100 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ทิ้งไว้ให้เย็นในโถอบแล้วชั่ง KCl 1.9105 กรัม ละลายในน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตร 1000 ซี.ซี สารละลายที่ได้จะมี K = 1000 ug/ml.
2. การทำ standard solution ค่อยๆ ละลาย stock standard solution 10 ml. แล้วละลายให้ได้ปริมาตร 100 ml. ด้วยน้ำกลั่น สารละลายที่ได้จะมี K = 100 ug/ml
3. การเตรียม sample สำหรับวิเคราะห์ pipet 2 ml. Dilution I แล้วละลายด้วยน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตร 100 ml. แล้วนำไปวัด K (dilution factor = 5000, 0.06% HClO₄)
4. การเตรียม blood serum สำหรับวิเคราะห์ pipet 0.1 ml. blood serum แล้วละลายด้วยน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 5 ml. แล้วนำไปวัด K (dilution factor = 50)

stock solution	น้ำกลั่น	K (ug/ml)
10	90	10
8	92	8
6	94	6
4	96	4
2	98	2
1	99	1
0	100	0

วิธีวิเคราะห์ Calcium

1. การทำ stock standard solution (1000 ug/ml.) ใช้ CaCl_2 (M.W.110.99, 97.8% purity, Ca 40.08) นำ CaCl_2 ไปอบที่อุณหภูมิ 100 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ทำให้เย็นในโถอบแล้วชั่ง CaCl_2 จำนวน 2.8316 กรัม แล้วละลายด้วย HCl เจือจาง 1000 ซี.ซี (ใช้ 5N HCl 120 ซี.ซี ผสมน้ำกลั่น 880 ซี.ซี สารละลายที่ได้จะมี Ca = 1000 ug/ml.)

stock Lanthanum solution

- 1) ถ้าใช้ lanthanum chloride 10% ซึ่ง lanthanum 10 กรัม ละลายใน 5% (v/v) HCl 100 ซี.ซี
 - 2) ถ้าใช้ lanthanum Oxide (La_2O_3) (1% lanthanum in 5% (v/v) HCl) โดยชั่ง lanthanum oxide 11.73 กรัม ทำให้เปียกด้วยน้ำกลั่น 20 ซี.ซี แล้วค่อยๆ เติม HCl เข้มข้น 50 ซี.ซี พร้อมกับคนให้ละลายแล้วเติมน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 1 ลิตร
2. การทำ standard solution (0, 1, 2, 4, 6, 8, 10 ug/ml) ชูตสารละลาย stock standard solution 10 ml. แล้วละลายให้เป็น 100 ml. ด้วยน้ำกลั่น

stock solution	stock La_2O_3	stock LaCl	น้ำกลั่น	Ca (ug/ml.)
ml	ml	ml	ml	
10	90	10	80	10
8	92	10	82	8
6	94	10	84	6
4	96	10	86	4
2	98	10	88	2
1	99	10	89	1
0.0	100	10	90.0	0

3. การเตรียม sample สำหรับวิเคราะห์ นำ Dilution I มาวิเคราะห์ดังต่อไปนี้

Dilution I	Stock La_2O_3	Stock LaCl	+	น้ำกลั่น
ml	ml	ml		ml
1	9	1		9
2	8	1		8

(Dilution factor = 1000 ถ้าใช้ 1 ซี.ซี. และ 2000 ถ้าใช้ 2 ซี.ซี. Dilution I)

การวิเคราะห์ Copper

1. การทำ stock standard solution (1000 ug/ml) ใช้ $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ (98.5% purity, M.W. 249.69, Cu = 63.54) นำ $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ไปอบที่อุณหภูมิ 100°C 2 ชั่วโมง ทำให้เย็นในโถอบ แล้วชั่ง $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ จำนวน 3.9895 กรัม แล้วละลายด้วยน้ำกลั่น 1000 ซี.ซี. สารละลายที่ได้จะมี (Cu = 1000 ug/ml)
2. วิธีทำ standard solution (0.0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 ug/ml) ดูดสารละลาย stock standard solution 10 ml. แล้วละลายให้เป็น 100 ml. ด้วยน้ำกลั่น

stock solution ml	5N HCl ml	HClO_4 ml	น้ำกลั่น ml	Cu (ug/ml)
10	12	3	75	10
9	12	3	76	9
8	12	3	77	8
7	12	3	78	7
6	12	3	79	6
5	12	3	80	5
4	12	3	81	4
3	12	3	82	3
2	12	3	83	2
1	12	3	84	1
0	12	3	85	0

(standard ประกอบด้วย 3% HClO_4)

3. การเตรียม sample สำหรับวิเคราะห์ นำ Dilution I จากการเตรียม sample ไปวิเคราะห์ Cu (dilution factor = 100)

การวิเคราะห์ Iron

1. การทำ stock standard (1000 ug/ml.) ชั่ง pure Fe wire 1 กรัม ละลายใน 30 ml 6NHCl แล้วปรับปริมาตรให้ได้ 1 ลิตร ด้วยน้ำกลั่น (หรืออาจจะใช้ $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$ 4.3303 กรัมละลายใน 0.2 N HNO_3 ก็ได้) สารละลายที่ได้จะมี Fe 1000 ug/ml.
2. การทำ standard solution คูดสารละลาย stock standard solution 10 ml. แล้วละลายให้เป็น 1000 ml. ด้วยน้ำกลั่น
3. การเตรียม sample สำหรับวัด นำ Dilution I จากการเตรียม sample ไปวิเคราะห์ Fe (dilution factor = 100)

stock solution	น้ำกลั่น	Fe (ug/ml.)
20	80	20
18	82	18
16	84	16
14	86	14
12	88	12
10	90	10
8	92	8
6	94	6
4	96	4
2	98	2
0	100	0

วิธีวิเคราะห์ Magnesium

1. การทำ stock standard solution (1000 ug/ml.) ชั่ง pure Mg metal 1.0 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 50 ml ค่อยๆ เทกรด HCl ลงไป 10 ml แล้วละลายให้ได้ปริมาตร 1 ลิตรด้วยน้ำกลั่น (อาจจะใช้ MgCl_2 2.4588 กรัมแทน pure Mg metal ก็ได้) สารละลายที่ได้จะมี Mg = 1000 ug/ml.
2. การทำ standard solution ดูดสารละลาย stock standard solution 10 ml. แล้วละลายให้ได้ปริมาตร 100 ml. ด้วย dil HCl(10:1000) สารละลายที่ได้จะมี Mg 100 ug/ml
3. การเตรียม sample สำหรับวิเคราะห์ นำ Dilution II มาวิเคราะห์ทำ Mg (dilution factor = 100)

stock solution	dil HCl (10:1000)	Mg (ug/ml.)
3	97.0	3.0
2.5	97.5	2.5
2.0	98	2.0
1.5	98.5	1.5
1.0	99.0	1.0
0.5	99.5	0.5
0.0	100	0.0

การวิเคราะห์ Zinc

1. การทำ stock standard solution (1000 ug/ml.) ละลาย pure Zn metal 1.0 กรัมใน 10 ml 6N HCl แล้วละลายให้ได้ปริมาตร 1 ลิตร ด้วยน้ำกลั่น (หรือจะใช้ ZnCl_2 1.5423 กรัมแทน pure Zn metal ก็ได้) สารละลายที่ได้มี Zn = 1000 ug/ml.
2. การทำ standard solution ดูดสารละลาย stock standard solution 10 ml. แล้วละลายให้ได้ปริมาตร 100 ml
3. การเตรียม sample สำหรับวิเคราะห์ นำ Dilution II มาวิเคราะห์ด้วย Zinc (dilution factor =100)

stock solution	10% HCl	Zn (ug/ml)
4	96	4
3.5	96.5	3.5
3.0	97.0	3.0
2.5	97.5	2.5
2.0	98.0	2.0
1.5	98.5	1.5
1.0	99.0	1.0
0.5	99.5	0.5
0.0	100	0.0

ภาคผนวก ค

การเตรียมชุดการทดลองประสิทธิภาพการดูดซับสารพิษ aflatoxin B₁

การเตรียมชุดการทดลองประสิทธิภาพการดูดซับสารพิษ aflatoxin B₁ ของแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟ โดยวิธีการสกัดและวิเคราะห์ ด้วยวิธี HPLC ตามวิธีการวิเคราะห์มาตรฐานของ AOAC (Scott, 1990) ดังนี้

การสกัด aflatoxin B₁

1. นำอาหารสัตว์บดให้ละเอียด ผสมให้เข้ากัน ชั่งอาหารสัตว์ใส่ในขวดรูปชมพู่ ขนาด 500 ml ขวดละ 50 g เติมสารละลายมาตรฐาน aflatoxin B₁ ใส่ในแต่ละขวด เพื่อทดสอบประสิทธิภาพการดูดซับ aflatoxin B₁ ของแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟ, aluminosilicate ของบริษัท K.C. FRANCHISE และผลิตภัณฑ์ดูดซับ aluminosilicate (เป็นผลิตภัณฑ์ทางการค้าของบริษัทแห่งหนึ่ง)
2. เติมน้ำกลั่นในแต่ละขวด ขวดละ 25 ml ใส่ diatomaceous earth 25 g
3. เติม chloroform 250 ml
4. ชั่ง แร่ธาตุจากหินภูเขาไฟ, aluminosilicate ของ บริษัท K.C. FRANCHISE และผลิตภัณฑ์ดูดซับ aluminosilicate (เป็นผลิตภัณฑ์ทางการค้าของบริษัทแห่งหนึ่ง) 0.25 g ใส่ในขวดในแต่ละชุดการทดลอง
5. ปิดขวดให้สนิทนำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่า 30 นาที
6. กรองผ่านกระดาษกรอง เก็บสารที่สกัดได้ 50 ml นำไปผ่าน chromatography column เพื่อชะล้างสารที่สกัดได้ให้สะอาด

การชะล้างสารที่สกัดให้สะอาดด้วย chromatography column

การเตรียม column

1. ใช้ chromatography column ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 22 mm ความยาว 300 mm ที่มี stopcock บุปปลายล่างของ column ด้วยสำลี
2. เติม chloroform ประมาณครึ่ง column
3. ใส่ anhydrous sodium sulphate 5 g เพื่อรองรับ silica gel
4. ใส่ silica gel 10 g กวนให้เข้ากันกับ chloroform
5. ชะล้าง silica gel ที่ติดอยู่ข้าง column ด้วย chloroform ปล่อยให้ silica gel ตกกลงสู่ก้นของ column เมื่ออัตราเร็วของการตกตะกอนของ silica gel ลดลง ปล่อยให้ chloroform ไหลออก

จนอยู่เหนือระดับของชั้น silica gel ประมาณ 5-7 cm

6. ใส่ anhydrous sodium sulphate 15 g
7. ปล่อยให้ chloroform ไหลออกจนอยู่เหนือระดับของ anhydrous sodium sulphate ประมาณ 1 cm

การชะล้าง column

1. นำตัวอย่างสารที่สกัดได้ 50 ml ผ่าน column
2. ล้าง column ด้วย hexane 150 ml ปล่อยให้สารชะล้างออกจนหมด
3. เติม diethyl ether 150 ml ปล่อยให้สารชะล้างออกจนหมด
4. ชะล้าง aflatoxin B₁ ออกจาก column โดยใช้สารผสมระหว่าง chloroform: methanol (97: 3 v/v) 150 ml เก็บสารที่ถูกระบายออกจาก column จนหมด
5. นำไประเหยบนอ่างน้ำเดือด ลดปริมาตรจนเกือบแห้ง
6. ล้างด้วย chloroform ถ่ายลงสู่หลอดแก้วขนาดเล็ก แล้วระเหยแห้งโดยใช้แก๊สเป่า
7. เติม 98% TFA 50 ไมโครลิตร (microliter, μ l) ระเหยแห้งโดยใช้แก๊สเป่า
8. เติม methanol 1 ml ถ่ายลงสู่หลอดแก้วขนาดเล็ก เพื่อเตรียมวิเคราะห์หาปริมาณ aflatoxin B₁

การวิเคราะห์ด้วย HPLC

การเตรียม mobile phase เตรียม 0.05% TFA: acetonitrile: methanol (65:20:15 v/v/v) โดยใช้ปริมาณสารดังนี้ ปิเปต 98% TFA 0.5 ml ใส่ในน้ำกลั่น 1,000 ml ใช้ปริมาตร 650 ml: acetonitrile 200 ml: methanol 150 ml นำ mobile phase ไปกรองผ่านชุดกรองสารละลายขนาดอนุภาค 0.45 μ m การปรับตั้งค่าของเครื่อง HPLC

1. เตรียม column ชนิด reversed phase column C18 Spherisorb 5 ODS 2 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.6 mm x ความยาว 25 cm ต่อเข้ากับเครื่อง HPLC
2. ตั้งค่า flow rate ของ mobile phase 1 ml/min
3. ล้าง column ด้วย mobile phase ประมาณ 5 ชั่วโมง
4. ตั้งค่า fluorescence detector ตรวจวัดที่ excitation wavelength 364 nm และ emission wavelength 424 nm
5. ระยะเวลา 15 นาที

การเตรียมสารละลายมาตรฐาน aflatoxin B₁

1. ละลายสารมาตรฐาน aflatoxin B₁ 1 mg ใน benzene: acetonitrile (98:2 v/v) ปริมาตร 100 ml ทำให้สารละลายมาตรฐาน aflatoxin B₁ มีความเข้มข้น 10 µg/ml
2. ปิเปต สารละลายมาตรฐาน 20 µl ระบายแห้งโดยใช้แก๊สเป่า
3. เติม 98% TFA 50 µl ระบายแห้งโดยใช้แก๊สเป่า
4. ละลายสารละลายมาตรฐานด้วย methanol 2 ml ได้สารละลายมาตรฐานมีความเข้มข้น 100 ppb
5. เตรียมสารละลายมาตรฐานให้มีความเข้มข้น 2, 4, 6, 8 และ 10 ppb ในตัวทำละลาย methanol ความเข้มข้นละ 1 ml โดยวิธีการเจือจางจากสารละลายมาตรฐาน aflatoxin B₁ ตั้งต้นที่มีความเข้มข้น 100 ppb ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 แสดงการเตรียมสารละลายมาตรฐาน aflatoxin B₁

ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน aflatoxin B ₁ (ppb)	ปริมาตรสารละลายมาตรฐาน aflatoxin B ₁ ตั้งต้น 100 ppb (µl)	ปริมาตร methanol (µl)
2	20	980
4	40	960
6	60	940
8	80	920
10	100	900

การฉีดสารเข้าเครื่อง HPLC

1. ฉีดสารละลายมาตรฐาน aflatoxin B₁ ความเข้มข้นละ 40 µl สารละลายมาตรฐานถูกชะล้างออกมาที่เวลา 9 นาที
2. นำค่าพื้นที่ใต้กราฟของสารละลายมาตรฐานมาคำนวณค่าสมการในการวิเคราะห์ปริมาณ aflatoxin B₁ ในตัวอย่าง
3. ฉีดสารละลายตัวอย่างที่สกัดได้ ตัวอย่างละ 40 µl
4. นำค่าพื้นที่ใต้กราฟสารละลายตัวอย่างที่สกัดได้ ในแต่ละตัวอย่างมาคำนวณเปรียบเทียบกับค่าสมการพื้นที่ใต้กราฟของสารละลายมาตรฐาน aflatoxin B₁
5. วิธีการสกัด และวิเคราะห์หาปริมาณ aflatoxin B₁ มีค่า % recovery มีค่าเท่ากับ 76%

ภาคผนวก ง

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการทดลองแบบ
completely randomized design (CRD)

$$X_{ij} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij}$$

เมื่อ	X	คือ ข้อมูลที่ได้รับอิทธิพลของปัจจัย τ ระดับที่ i และปัจจัย ε ระดับที่ K
	μ	คือ ค่าเฉลี่ยของประชากร
	τ_i	คือ อิทธิพลของการเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟระดับที่ i
	ε_{ij}	คือ ค่าความคลาดเคลื่อนในการทดลอง

ตารางวิเคราะห์หว่าเรียนซ์

ตารางที่ 4.2 แสดงผลการดูดซับปริมาณสารพิษ aflatoxin B₁ ของสารประเภท aluminosilicate จากแหล่งต่างๆ (บทที่ 4)

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Treatment	4	46831.16	11707.79	210.32	0.0001
Error	15	834.98	55.67		
Total	19	47666.14			
Mean	93.78				
%CV	7.95				
SEM	1.67				
R-Square	0.98				

ตารางที่ 5.1 แสดงโภชนะที่เป็นส่วนประกอบของอาหารแม่สุกรอู้มท้อง (บทที่ 5)
เปอร์เซ็นต์ความชื้น

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Treatment	2	0.16	0.079	0.32	0.738
Error	6	1.48	0.246		
Total	8	1.64			
Mean	8.23				
%CV	6.03				
SEM	0.165				
R-Square	0.096				

เปอร์เซ็นต์โปรตีน

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Treatment	2	0.45	0.22	0.33	0.739
Error	3	1.99	0.67		
Total	5	2.444			
Mean	16.81				
%CV	4.85				
SEM	0.333				
R-Square	0.18				

เปอร์เซ็นต์เยื่อใย

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Treatment	2	1.09	0.54	12.60	0.035
Error	3	0.13	0.04		
Total	5	1.22			
Mean	5.24				
%CV	3.97				
SEM	0.085				
R-Square	0.89				

เปอร์เซ็นต์ไขมัน

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Treatment	2	0.10	0.05	0.73	0.551
Error	3	0.20	0.07		
Total	5	0.30			
Mean	5.03				
%CV	5.24				
SEM	0.107				
R-Square	0.33				

เปอร์เซ็นต์เถ้า

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Treatment	2	0.82	0.41	75.84	0.003
Error	3	0.016	0.005		
Total	5	0.84			
Mean	7.70				
%CV	0.96				
SEM	0.030				
R-Square	0.98				

ตารางที่ 5.2 แสดงลักษณะที่เป็นส่วนประกอบของอาหารแม่สุกรเลี้ยงลูก (บทที่ 5)

เปอร์เซ็นต์ความชื้น

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Treatment	2	0.005	0.003	0.02	0.981
Error	6	0.84	0.140		
Total	8	0.846			
Mean	8.34				
%CV	4.49				
SEM	0.125				
R-Square	0.006				

เปอร์เซ็นต์โปรตีน

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Treatment	2	0.404	0.202	4.96	0.112
Error	3	0.122	0.041		
Total	5	0.526			
Mean	20.775				
%CV	0.972				
SEM	0.082				
R-Square	0.768				

เปอร์เซ็นต์เยื่อใย

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Treatment	2	0.0405	0.0202	1.30	0.3922
Error	3	0.0467	0.0156		
Total	5	0.0872			
Mean	3.55				
%CV	3.52				
SEM	0.051				
R-Square	0.464				

เปอร์เซ็นต์ไขมัน

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Treatment	2	3.082	1.541	6.17	0.0865
Error	3	0.749	0.250		
Total	5	3.832			
Mean	4.52				
%CV	11.06				
SEM	0.204				
R-Square	0.804				

เปอร์เซ็นต์ถั่ว

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Treatment	2	11.267	5.634	18.46	0.0206
Error	3	0.916	0.305		
Total	5	12.183			
Mean	10.35				
%CV	5.34				
SEM	0.225				
R-Square	0.925				

ตารางที่ 5.3 แสดงปริมาณแร่ธาตุที่แม่สุกรอ้วนต้องได้รับจากอาหารต่อตัวต่อวัน (บทที่ 5)

Calcium

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Treatment	2	7.88	3.94	7.00	0.074
Error	3	1.69	0.56		
Total	5	9.56			
Mean	27.22				
%CV	2.76				
SEM	0.306				
R-Square	0.823				

Potassium

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Treatment	2	4.20	2.10	6.25	0.085
Error	3	1.01	0.32		
Total	5	5.21			
Mean	19.28				
%CV	3.01				
SEM	0.237				
R-Square	0.806				

Magnesium

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Treatment	2	5.46	2.73	73.06	0.0029
Error	3	0.11	0.037		
Total	5	5.57			
Mean	7.53				
%CV	2.57				
SEM	0.079				
R-Square	0.980				

Iron

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Treatment	2	476870	238435	3050.34	0.0001
Error	3	235	78		
Total	5	477105			
Mean	1142				
%CV	0.774				
SEM	3.610				
R-Square	0.999				

Copper

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Treatment	2	84	42	3.94	0.145
Error	3	32	10.7		
Total	5	116			
Mean	157				
%CV	2.08				
SEM	1.334				
R-Square	0.724				

Zinc

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Treatment	2	1689	845	1.21	0.4120
Error	3	2096	699		
Total	5	3785			
Mean	436				
%CV	6.058				
SEM	10.79				
R-Square	0.446				

ตารางที่ 5.4 แสดงปริมาณแร่ธาตุที่แม่สุกรเลี้ยงลูกได้รับจากอาหารต่อตัวต่อวัน (บทที่ 5)

Calcium

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Treatment	2	17.51	8.76	35.76	0.0081
Error	3	0.73	0.245		
Total	5	18.25			
Mean	39.76				
%CV	1.24				
SEM	0.202				
R-Square	0.960				

Potassium

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Treatment	2	1.69	0.85	17.41	0.0223
Error	3	0.15	0.049		
Total	5	1.84			
Mean	32.52				
%CV	0.678				
SEM	0.090				
R-Square	0.921				

Magnesium

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Treatment	2	0.474	0.237	10.49	0.044
Error	3	0.068	0.023		
Total	5	0.542			
Mean	12.76				
%CV	1.178				
SEM	0.061				
R-Square	0.875				

Iron

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Treatment	2	3249424	1624712	181.61	0.0007
Error	3	26838	8946		
Total	5	3276262			
Mean	2079				
%CV	4.549				
SEM	38.621				
R-Square	0.992				

Copper

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Treatment	2	530	265	2.90	0.1992
Error	3	275	92		
Total	5	805			
Mean	261.2				
%CV	3.663				
SEM	3.906				
R-Square	0.66				

Zinc

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Treatment	2	5681	2841	13.57	0.0314
Error	3	628	209		
Total	5	6309			
Mean	373.7				
%CV	3.872				
SEM	5.908				
R-Square	0.900				

ตารางที่ 5.5 แสดงผลของการเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟในอาหารต่อประสิทธิภาพการผลิตของแม่

สุกร

Litter size, ตัว

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Treatment	2	32.74	16.37	2.69	0.116
Error	10	60.95	6.09		
Total	12	93.69			
Mean	11.15				
%CV	22.13				
SEM	0.686				
R-Square	0.349				

Born alive, ตัว

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Treatment	2	5.47	2.73	0.45	0.650
Error	8	48.17	6.02		
Total	10	53.64			
Mean	9.82				
%CV	24.99				
SEM	0.708				
R-Square	0.102				

Birth weight, kg

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Treatment	2	0.05	0.02	0.42	0.670
Error	8	0.44	0.06		
Total	10	0.49			
Mean	1.74				
%CV	13.53				
SEM	0.068				
R-Square	0.09				

Weaning pig, ตัว

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Treatment	2	3.58	1.79	0.50	0.622
Error	8	28.42	3.55		
Total	10	32.00			
Mean	9.00				
%CV	20.94				
SEM	0.54				
R-Square	0.11				

Weaning weight, kg

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Treatment	2	0.75	0.38	0.77	0.495
Error	8	3.90	0.19		
Total	10	4.65			
Mean	6.36				
%CV	10.98				
SEM	0.36				
R-Square	0.16				

Sow weight change, kg

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Treatment	2	22.13	11.06	0.17	0.851
Error	8	536.42	67.05		
Total	10	558.55			
Mean	12.36				
%CV	66.23				
SEM	2.36				
R-Square	0.04				

Weaning to mating, day

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Treatment	2	8.38	4.19	5.43	0.032
Error	8	6.17	0.77		
Total	10	14.55			
Mean	4.65				
%CV	18.95				
SEM	0.253				
R-Square	0.58				

ตารางที่ 6.1 แสดงลักษณะที่เป็นส่วนประกอบของอาหารสุกรรุ่น (20-60 kg) (บทที่ 6)

เปอร์เซ็นต์ความชื้น

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Treatment	2	0.276	0.138	2.15	0.1975
Error	6	0.385	0.064		
Total	8	0.661			
Mean	6.72				
%CV	3.76				
SEM	0.012				
R-Square	0.418				

เปอร์เซ็นต์โปรตีน

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Treatment	2	1.018	0.509	1.52	0.3499
Error	3	1.004	0.335		
Total	5	2.021			
Mean	22.67				
%CV	2.55				
SEM	0.236				
R-Square	0.503				

เปอร์เซ็นต์เยื่อใย

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Treatment	2	0.757	0.379	1.29	0.3942
Error	3	0.881	0.294		
Total	5	1.638			
Mean	3.89				
%CV	13.94				
SEM	0.221				
R-Square	0.462				

เปอร์เซ็นต์ไขมัน

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Treatment	2	0.965	0.482	1.26	0.3996
Error	3	1.144	0.381		
Total	5	2.109			
Mean	2.89				
%CV	21.40				
SEM	0.252				
R-Square	0.457				

เปอร์เซ็นต์ถั่ว

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Treatment	2	5.215	2.608	22.17	0.0160
Error	3	0.353	0.118		
Total	5	5.568			
Mean	8.85				
%CV	3.87				
SEM	0.140				
R-Square	0.937				

ตารางที่ 6.2 แสดงลักษณะที่เป็นส่วนประกอบของอาหารสุกรขุน (60-90 kg) (บทที่ 6)

เปอร์เซ็นต์ความชื้น

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Treatment	2	0.072	0.036	0.41	0.6785
Error	6	0.522	0.087		
Total	8	0.594			
Mean	7.74				
%CV	3.81				
SEM	0.120				
R-Square	0.121				

เปอร์เซ็นต์โปรตีน

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Treatment	2	0.389	0.195	1.05	0.4523
Error	3	0.558	0.186		
Total	5	0.948			
Mean	20.27				
%CV	2.13				
SEM	0.176				
R-Square	0.411				

เปอร์เซ็นต์เยื่อใย

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Treatment	2	0.880	0.440	1.51	0.3510
Error	3	0.872	0.291		
Total	5	1.752			
Mean	3.96				
%CV	13.63				
SEM	0.220				
R-Square	0.502				

เปอร์เซ็นต์ไขมัน

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Treatment	2	0.057	0.029	0.48	0.6597
Error	3	0.179	0.060		
Total	5	0.236			
Mean	2.33				
%CV	10.46				
SEM	0.099				
R-Square	0.242				

เปอร์เซ็นต์เถ้า

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Treatment	2	14.285	7.142	606.10	0.0001
Error	3	0.035	0.012		
Total	5	14.320			
Mean	10.57				
%CV	1.03				
SEM	0.044				
R-Square	0.998				

ตารางที่ 6.3 แสดงปริมาณแร่ธาตุที่สุกรรุ่น (20-60 ได้รับจากอาหารต่อตัวต่อวัน (บทที่6)

Calcium

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Treatment	2	2.05	1.026	41.47	0.0065
Error	3	0.074	0.025		
Total	5	2.127			
Mean	13.53				
%CV	1.163				
SEM	0.064				
R-Square	0.965				

Potassium

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Treatment	2	1.45	0.723	9.56	0.050
Error	3	0.227	0.076		
Total	5	1.673			
Mean	10.12				
%CV	2.72				
SEM	0.112				
R-Square	0.864				

Magnesium

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Treatment	2	0.07	0.035	1.61	0.334
Error	3	0.065	0.022		
Total	5	0.136			
Mean	3.09				
%CV	4.77				
SEM	0.060				
R-Square	0.518				

Iron

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Treatment	2	243268	121634	1066.96	0.0001
Error	3	342	114		
Total	5	243610			
Mean	684				
%CV	1.56				
SEM	4.360				
R-Square	0.999				

Copper

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Treatment	2	234	117	5.09	0.1085
Error	3	69	23		
Total	5	303			
Mean	152.7				
%CV	3.141				
SEM	1.958				
R-Square	0.773				

Zinc

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Treatment	2	1029	514	181.59	0.0007
Error	3	8.5	2.83		
Total	5	1037			
Mean	151.5				
%CV	1.11				
SEM	0.687				
R-Square	0.992				

ตารางที่ 6.4 แสดงปริมาณแร่ธาตุที่สุกรขุน (60-90 kg) ได้รับจากอาหารต่อตัวต่อวัน (บทที่ 6)

Calcium

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Treatment	2	9.02	4.51	286.73	0.0004
Error	3	0.047	0.016		
Total	5	9.07			
Mean	20.56				
%CV	0.61				
SEM	0.051				
R-Square	0.995				

Potassium

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Treatment	2	0.402	0.201	5.63	0.0965
Error	3	0.107	0.036		
Total	5	0.509			
Mean	18.2				
%CV	1.04				
SEM	0.077				
R-Square	0.790				

Magnesium

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Treatment	2	0.046	0.023	7.50	0.0681
Error	3	0.009	0.003		
Total	5	0.055			
Mean	5.10				
%CV	1.09				
SEM	0.023				
R-Square	0.833				

Iron

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Treatment	2	1894164	947082	606.72	0.0001
Error	3	4683	1561		
Total	5	1898847			
Mean	1859				
%CV	2.125				
SEM	2.115				
R-Square	0.998				

Copper

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Treatment	2	1122	561.2	20.91	0.0173
Error	3	80.5	26.8		
Total	5	1202.8			
Mean	276.2				
%CV	1.88				
SEM	16.133				
R-Square	0.933				

Zinc

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Treatment	2	5329	2665	19.69	0.0188
Error	3	406	135		
Total	5	5735			
Mean	284				
%CV	4.09				
SEM	4.750				
R-Square	0.929				

ตารางที่ 6.5 แสดงผลของการเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟ ต่อปริมาณการกินอาหารของสุกรต่อตัว
ต่อวัน (Average Daily Feed Intake, ADFI, g) ระยะรุ่น - ขุน (20 – 90) (บทที่ 6)

ระยะรุ่น

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Treatment	2	14144.67	7072.33	1.25	0.3320
Error	9	50944.25	5660.47		
Total	11	65088.92			
Mean	1375				
%CV	5.47				
SEM	21.72				
R-Square	0.217				

ระยะขุน

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Treatment	2	12123.17	6061.58	0.26	0.7795
Error	9	213007.5	23667.50		
Total	11	225130.67			
Mean	2007				
%CV	7.66				
SEM	44.41				
R-Square	0.054				

ตารางที่ 6.6 แสดงผลของการเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟต่อการเจริญเติบโตของสุกรต่อตัวต่อวัน
(Average Daily Gain, ADG, g) ระยะรุ่น - ชุ่น (20 – 90) (บทที่ 6)

ระยะรุ่น

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Treatment	2	9987.17	4993.58	4.14	0.0532
Error	9	10866.50	1207.39		
Total	11	20853.67			
Mean	700				
%CV	4.96				
SEM	10.03				
R-Square	0.479				

ระยะชุ่น

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Treatment	2	6381.41	3190.70	0.42	0.6691
Error	8	60395.50	7549.42		
Total	10	66776.91			
Mean	763				
%CV	11.39				
SEM	25.08				
R-Square	0.096				

ตารางที่ 6.7 แสดงผลของการเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟ ต่อประสิทธิภาพการใช้อาหารของสุกร
(Gain : Feed, G:F) ระยะรุ่น - ชุ่น (20 – 90) (บทที่ 6)

ระยะรุ่น

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Treatment	2	0.0029	0.00146	1.43	0.2888
Error	9	0.0092	0.00102		
Total	11	0.0121			
Mean	0.490				
%CV	6.51				
SEM	0.009				
R-Square	0.241				

ระยะชุ่น

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Treatment	2	0.0020	0.001014	1.77	0.2305
Error	8	0.0046	0.000572		
Total	10	0.0066			
Mean	0.346				
%CV	6.92				
SEM	0.072				
R-Square	0.307				

ตารางที่ 6.8 แสดงผลของการเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟ ต่อปริมาณพลังงานย่อยได้ (digestible energy, DE, kcal/kg) ที่สุกกระษะรุ่น - ชุน (20 – 90) ได้รับจากอาหารต่อตัวต่อวัน (บทที่ 6)

กระษะรุ่น

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Treatment	2	180923.17	90461.58	1.31	0.3155
Error	9	619213.50	68801.50		
Total	11	800136.67			
Mean	4756				
%CV	5.51				
SEM	75.72				
R-Square	0.226				

กระษะชุน

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Treatment	2	220802.67	110401.33	0.41	0.6784
Error	9	2452137.00	272459.67		
Total	11	2672939.67			
Mean	6687				
%CV	7.80				
SEM	150.68				
R-Square	0.083				

ตารางที่ 6.9 แสดงผลของการเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟ ต่อปริมาณโปรตีน (crude protein, g) ที่
สุกรระยะรุ่น - ขุน (20 – 90) ได้รับจากอาหารต่อตัวต่อวัน (บทที่ 6)

ระยะรุ่น

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Treatment	2	864.33	432.17	0.91	0.4375
Error	9	4286.46	476.27		
Total	11	5150.79			
Mean	309.6				
%CV	7.05				
SEM	6.06				
R-Square	0.168				

ระยะขุน

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Treatment	2	2252.50	1126.25	1.19	0.3478
Error	9	8516.43	946.27		
Total	11	10768.92			
Mean	401.1				
%CV	7.67				
SEM	8.66				
R-Square	0.209				

ตารางที่ 6.10 แสดงผลของการเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟ ต่อปริมาณ Lysine (g) ที่สุกกระยะรุ่น - รุ่น (20 – 90) ได้รับจากอาหารต่อตัวต่อวัน (บทที่ 6)

ระยะรุ่น

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Treatment	2	3.885	1.9425	1.31	0.3165
Error	9	13.338	1.4819		
Total	11	17.223			
Mean	21.98				
%CV	5.54				
SEM	0.35				
R-Square	0.226				

ระยะขุน

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Treatment	2	4.085	2.043	0.52	0.6089
Error	9	35.045	3.894		
Total	11	39.130			
Mean	25.75				
%CV	7.66				
SEM	0.569				
R-Square	0.104				

ตารางที่ 6.11 แสดงผลของการเสริมแร่ธาตุจากหินภูเขาไฟต่อปริมาณแร่ธาตุใน plasma ของสุกร
(บทที่ 6)

Calcium

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Treatment	2	35.12	17.56	2.37	0.24
Error	3	22.22	7.41		
Total	5	57.34			
Mean	77.87				
%CV	3.49				
SEM	1.11				
R-Square	0.612				

Potassium

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Treatment	2	38697.25	19348.63	1.76	0.315
Error	3	32910.25	10970.08		
Total	5	71607.50			
Mean	1703				
%CV	6.15				
SEM	42.449				
R-Square	0.54				

Magnesium

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Treatment	2	2.32	1.16	0.26	0.79
Error	3	13.36	4.45		
Total	5	15.67			
Mean	18.83				
%CV	11.20				
SEM	0.861				
R-Square	0.148				

Iron

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Treatment	2	0.138	0.069	1.03	0.456
Error	3	0.199	0.067		
Total	5	0.34			
Mean	1.31				
%CV	19.69				
SEM	0.105				
R-Square	0.408				

Copper

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Treatment	2	0.015	0.0077	1.57	0.342
Error	3	0.015	0.0049		
Total	5	0.030			
Mean	0.827				
%CV	8.46				
SEM	0.028				
R-Square	0.511				

Zinc

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Treatment	2	0.0033	0.0016	0.74	0.548
Error	3	0.0067	0.0022		
Total	5	0.010			
Mean	0.757				
%CV	6.248				
SEM	0.019				
R-Square	0.330				

ตารางที่ 6.12 แสดงปริมาณ nitrogen ในมูลสุกร (บทที่ 6)

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Treatment	2	0.0699	0.0350	16.33	0.0010
Error	9	0.0193	0.0021		
Total	11	0.0892			
Mean	1.03				
%CV	4.48				
SEM	0.013				
R-Square	0.784				

ประวัติผู้เขียน

นายเอกพล ศิริกุล เกิดเมื่อวันที่ 1 พฤษภาคม พ.ศ. 2522 ที่จังหวัดสุพรรณบุรี ศึกษาในระดับมัธยมศึกษาที่โรงเรียนกรรณสูตศึกษาลัยจังหวัดสุพรรณบุรี จบการศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์ สำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา สำเร็จการศึกษาเมื่อปี พ.ศ. 2544 จากนั้นศึกษาต่อระดับปริญญาโท สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์ สำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา ในปีการศึกษา 2545