ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (การผลิตสัตว์)

ปริญญา

การผลิตสัตว์ สัตวบาล

สาขา **ภาควิชา**

เรื่อง การเสริมแร่ธาตุคีเลทต่อสมรรถภาพทางการสืบพันธุ์ของแม่สุกร

Dietary Supplementation of Chelate Minerals on Reproductive Performance of Sows

นามผู้วิจัย นางสาวสุธิษา มาเจริญ

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก .....

(รองศาสตราจารย์ศรีสุวรรณ ชมชัย, วท.ม.)

หัวหน้าภาควิชา .....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์เสกสม อาตมางกูร, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

.....

(รองศาสตราจารย์กัญจนา ธีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ ..... **เดือน** ..... **พ.ศ.** .....

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การเสริมแร่ธาตุคีเลทต่อสมรรถภาพทางการสืบพันธุ์ของแม่สุกร

Dietary Supplementation of Chelate Minerals on Reproductive Performance of Sows

โดย

นางสาวสุธิษา มาเจริญ

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (การผลิตสัตว์)

พ.ศ. 2553

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สุธิษา มาเจริญ 2553: การเสริมแร่ธาตุคีเลทต่อสมรรถภาพทางการสืบพันธุ์ของแม่สุกร ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (การผลิตสัตว์) สาขาการผลิตสัตว์ ภาควิชาสัตวบาล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รองศาสตราจารย์ศรีสุวรรณ ชมชัย, วท.ม. 88 หน้า

การศึกษาผลของการใช้แร่ธาตุคีเลทต่อสมรรถภาพทางการสืบพันธุ์ของแม่สุกร การทดลองที่ 1 ใช้แม่สุกร 2 สายพันธุ์ (ลาร์จไวท์ x แลนด์เรซ) จำนวน 152 ตัว ลำดับครอกที่ 2-6 ทำการสุ่มแม่สุกรออกเป็น 2 กลุ่มการทดลอง แต่ละกลุ่มการทดลองมีแม่สุกร 76 ตัว แม่สุกรได้รับอาหารทดลองต่างกันดังนี้ กลุ่มควบคุมจะได้รับอาหารสูตรพื้นฐาน และกลุ่มทดลองจะได้รับอาหารสูตรพื้นฐาน โดยมีการเสริมแร่ธาตุคีเลท 3 ระยะคือ ระยะอุ้มท้อง 1 เดือนก่อนคลอดจะได้รับแร่ธาตุคีเลทสูตร 2 ในปริมาณ 1 กิโลกรัมต่อตัน ในระยะเลี้ยงลูกจะได้รับแร่ธาตุคีเลทสูตร 3 ในปริมาณ 1 กิโลกรัมต่อตัน และในระยะหย่านมถึงผสมได้ จะได้รับแร่ธาตุคีเลทสูตร 1 ในปริมาณ 0.5 กิโลกรัมต่อตัน การทดลองที่ 2 แบ่งแม่สุกรออกเป็น 2 กลุ่ม โดยใช้แม่สุกรจากกลุ่มเดิมในการทดลองที่ 1 กลุ่มควบคุมจะได้รับอาหารสูตรพื้นฐานเหมือนเดิม และกลุ่มทดลองจะได้รับอาหารสูตรพื้นฐาน และเสริมแร่ธาตุคีเลทดังนี้ ในระยะหย่านมจนถึงก่อนคลอด 1 เดือน จะได้รับแร่ธาตุคีเลทสูตร 1 ในปริมาณ 0.5 กิโลกรัมต่อตัน ในระยะ 1 เดือนก่อนคลอด จะได้รับการเสริมแร่ธาตุคีเลทสูตร 2 ในปริมาณ 1 กิโลกรัมต่อตัน ในระยะเลี้ยงลูกจะได้รับการเสริมแร่ธาตุคีเลทสูตร 3 ในปริมาณ 1 กิโลกรัมต่อตัน และในระยะหย่านมจนถึงผสมได้ จะได้รับแร่ธาตุคีเลทสูตร 1 ในปริมาณ 0.5 กิโลกรัมต่อตัน จากการทดลองพบว่า แม่สุกรในกลุ่มควบคุมและกลุ่มทดลอง มีน้ำหนักลูกสุกรแรกคลอดมีชีวิตเฉลี่ยต่อตัว น้ำหนักลูกสุกรหย่านมเฉลี่ยต่อตัว จำนวนลูกสุกรหย่านมเฉลี่ยต่อครอก เปอร์เซ็นต์การตายของลูกสุกรก่อนหย่านม ระยะเวลาจากหย่านมจนถึงผสมพันธุ์ และระดับฮีโมโกลบินของลูกสุกรแรกคลอด แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

_____ _____ ___ / ___ / ___

ลายมือชื่อนิสิต ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Sutisa Majarune 2010: Dietary Supplementation of Chelate Minerals on Reproductive Performance of Sows. Master of Science (Animal Production), Major Field: Animal Production, Department of Animal Science. Thesis Advisor: Associate Professor Srisuwan Chomchai, M.S. 88 pages.

The experiments were conducted in order to investigate the effects of dietary supplementation chelate mineral on reproductive performance of sows. In the first experiment one hundred fifty–two Large white and Landrace crossbred sows were divided into 2 dietary treatment groups. Each group consisted of 76 sows. The dietary treatments were (1) basal diet (Control group), (2) basal diet + Chelate mineral 2 one month before farrowing + Chelate mineral 3 during lactation period and + Chelate mineral 1 form weaned to service. In the second experiment, the sows from the first experiment were continuously used in the same treatment. The dietary treatments were (1) basal diet (Control group), (2) basal diet + Chelate mineral 1 from weaned to one month before farrowing + Chelate mineral 2 one month before farrowing + Chelate mineral 3 during lactation period and + Chelate mineral 1 form weaned to service. The results found that there were significantly difference ($P<0.05$) between control and treatment group in piglets birth weight, weaning weight, number of piglets weaned, pre-weaning mortality, weaned to service interval and hemoglobin concentration of newborn piglets.

_____ _____ ___ / ___ / ___

Student's signature Thesis Advisor's signature

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ศรีสุวรรณ ชมชัย อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก เป็นอย่างสูงที่กรุณาให้คำปรึกษา คำแนะนำในด้านการศึกษา และการทำวิทยานิพนธ์ ตลอดจนตรวจทานแก้ไขวิทยานิพนธ์ให้มีความสมบูรณ์ และขอกราบขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร. สมิต ยิ้มมงคล ประธานกรรมการสอบ และรองศาสตราจารย์กษิดิศ อื้อเชี่ยวชาญกิจ ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก ที่กรุณาให้คำแนะนำ และแก้ไขวิทยานิพนธ์ให้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณนายสัตวแพทย์สุมิตร ศรีสุนทร กรรมการผู้จัดการบริษัทอะกริฟีด แอนด์ไลฟ์สต๊อค จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่ในการทำงานวิจัยและสัตว์ทดลอง และขอบคุณบุคคลากรในฟาร์มทุกท่านที่อำนวยความสะดวกในด้านต่าง ๆ รวมถึงเพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ นิสิตปริญญาโทที่เป็นกำลังใจ และให้ความช่วยเหลือในระหว่างการทำวิทยานิพนธ์ จนสำเร็จลุล่วงด้วยดี

สุดท้ายนี้ ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ คุณปู่วัน และคุณย่าเป้า มาเจริญ ที่คอยช่วยเหลือและเป็นกำลังใจที่ดีเสมอมา รวมถึงเป็นแบบอย่างการดำเนินชีวิต ความพยายาม และความอดทน ตลอดจนคณาจารย์ทุกๆ ท่านที่ให้ความรู้ สั่งสอน อบรม จนสำเร็จการศึกษา คุณค่า และประโยชน์จากวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ขอมอบแด่ครอบครัว ครูอาจารย์ และผู้มีพระคุณทุกท่าน

สุธิษา มาเจริญ

เมษายน 2553

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(3)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	2
การตรวจเอกสาร	3
อุปกรณ์และวิธีการ	31
อุปกรณ์	31
วิธีการ	38
ผลและวิจารณ์	41
ผล	41
วิจารณ์	59
สรุปและข้อเสนอแนะ	73
สรุป	73
ข้อเสนอแนะ	74
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	75
ภาคผนวก	84
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	88

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	การดูดซึมแร่ธาตุอินทรีย์และอนินทรีย์บริเวณลำไส้เล็ก	18
2	บทบาทของแร่ธาตุรองในรูปของแร่ธาตุอินทรีย์ ต่อการตอบสนองของสุกร	20
3	ความต้องการแร่ธาตุของแม่สุกรในระยะอุ้มท้อง และเลี้ยงลูก	24
4	ปริมาณแร่ธาตุในน้ำนมของแม่สุกร	26
5	ส่วนประกอบของอาหารพื้นฐานสูตรแม่สุกรอุ้มท้องที่ใช้ในการทดลอง	32
6	ส่วนประกอบโภชนะของอาหารพื้นฐานสูตรแม่สุกรอุ้มท้องที่ใช้ในการทดลอง	33
7	ส่วนประกอบของอาหารพื้นฐานสูตรแม่สุกรเลี้ยงลูกที่ใช้ในการทดลอง	34
8	ส่วนประกอบโภชนะของอาหารพื้นฐานสูตรแม่สุกรเลี้ยงลูกที่ใช้ในการทดลอง	35
9	ส่วนประกอบของวิตามินและแร่ธาตุใน 1 กิโลกรัมของพรีมิกซ์	36
10	ส่วนประกอบของแร่ธาตุคีเลทใน 1 กิโลกรัม	37
11	ผลของการเสริมแร่ธาตุคีเลทในระยะอุ้มท้อง 1 เดือนก่อนคลอด และระยะเลี้ยงลูก ต่อสมรรถภาพทางการสืบพันธุ์ของแม่สุกร (การทดลองที่ 1)	45
12	ผลของการเสริมแร่ธาตุคีเลทในระยะหย่านมจนถึงผสมพันธุ์ได้ 30 วัน ต่อสมรรถภาพ ทางการสืบพันธุ์ของแม่สุกร (การทดลองที่ 1)	46
13	ผลของการเสริม แร่ธาตุคีเลทในระยะอุ้มท้อง และระยะเลี้ยงลูก ต่อสมรรถภาพทางการ สืบพันธุ์ของแม่สุกร (การทดลองที่ 2)	50
14	ผลของการเสริมแร่ธาตุคีเลทในระยะหย่านมจนถึงผสมพันธุ์ได้ 30 วัน ต่อสมรรถภาพทางการ สืบพันธุ์ของแม่สุกร (การทดลองที่ 2)	51
15	ผลของการเสริมแร่ธาตุคีเลทต่อระดับแร่ธาตุโพแทสเซียมในซีรั่มของแม่สุกร	52
16	ผลของการเสริมแร่ธาตุคีเลทต่อระดับแร่ธาตุแมกนีเซียมในซีรั่มของแม่สุกร	53
17	ผลของการเสริมแร่ธาตุคีเลทต่อระดับแร่ธาตุทองแดงในซีรั่มของแม่สุกร	55
18	ผลของการเสริมแร่ธาตุคีเลทต่อระดับแร่ธาตุเหล็กในซีรั่มของแม่สุกร	56

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
19	ผลของการเสริมแร่ธาตุคีเลทต่อระดับแร่ธาตุแมงกานีสในซีรั่มของแม่สุกร	57
20	ผลของการเสริมแร่ธาตุคีเลทต่อระดับแร่ธาตุสังกะสีในซีรั่มของแม่สุกร	58
21	ผลของการเสริมแร่ธาตุคีเลทในอาหารแม่สุกรต่อระดับฮีโมโกลบิน และฮีมาโตคริทของลูกสุกรแรกคลอด	59

ตารางผนวกที่

1	ผลการวิเคราะห์ส่วนประกอบทางโภชนะของอาหารทดลองระยะหย่านมถึงก่อนคลอด 1 เดือน	85
2	ผลการวิเคราะห์ส่วนประกอบทางโภชนะของอาหารทดลองระยะอุ้มท้อง (อุ้มท้อง 12-16 สัปดาห์)	86
3	ผลการวิเคราะห์ส่วนประกอบทางโภชนะของอาหารทดลองระยะเลี้ยงลูก	87

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	ปฏิกิริยาการกำจัดอนุมูลซูเปอร์ออกไซด์โดยเอนไซม์ซูเปอร์ออกไซม์ ดิสมิวเตส	8
2	เมแทบอลิซึมของทองแดง	9
3	โครงสร้างของแร่ธาตุอะมิโน เอซิด คีเลท (Metal amino acid chelate)	16
4	บทบาทของแร่ธาตุรองในระบบสืบพันธุ์สุกร	27
5	ปริมาณแร่ธาตุเหล็ก และสังกะสีในร่างกายแม่สุกรในแต่ละระยะของการอุ้มท้อง	28
6	โครงสร้างฮีมซึ่งมีเหล็กเป็นส่วนประกอบ 1 อะตอม	29
7	เปอร์เซ็นต์ลูกสุกรแรกคลอดมีชีวิตที่มีน้ำหนักอยู่ในช่วงน้อยกว่า 1 กก. น้ำหนัก 1.0-1.2 กก. น้ำหนัก 1.3-1.4 กก. และน้ำหนัก 1.5 กก. ขึ้นไปต่อครอก (การทดลองที่ 1)	43
8	เปอร์เซ็นต์ลูกสุกรหย่านมที่มีน้ำหนักอยู่ในช่วงน้อยกว่า 4.5 กก. น้ำหนัก 4.5-5.9 กก. น้ำหนัก 6.0-6.9 กก. และน้ำหนัก 7.0 กก. ขึ้นไปต่อครอก (การทดลองที่ 1)	44
9	เปอร์เซ็นต์ลูกสุกรแรกคลอดมีชีวิตที่มีน้ำหนักอยู่ในช่วงน้อยกว่า 1 กก. น้ำหนัก 1.0-1.2 กก. น้ำหนัก 1.3-1.4 กก. และน้ำหนัก 1.5 กก. ขึ้นไปต่อครอก (การทดลองที่ 2)	48
10	เปอร์เซ็นต์ลูกสุกรหย่านมที่มีน้ำหนักอยู่ในช่วงน้อยกว่า 4.5 กก. น้ำหนัก 4.5-5.9 กก. น้ำหนัก 6.0-6.9 กก. และน้ำหนัก 7.0 กก. ขึ้นไปต่อครอก (การทดลองที่ 2)	49

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การเสริมแร่ธาตุคีเลทต่อสมรรถภาพทางการสืบพันธุ์ของแม่สุกร

Dietary Supplementation of Chelate Minerals on Reproductive Performance of Sows

คำนำ

ความต้องการแร่ธาตุของแม่สุกรเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากการพัฒนาสายพันธุ์ของแม่สุกรให้มีสมรรถภาพการผลิตที่สูง ส่งผลให้แม่สุกรมีความต้องการโภชนะต่างๆ เพิ่มขึ้น แร่ธาตุเป็นโภชนะที่มีความสำคัญ ร่างกายต้องการแร่ธาตุในปริมาณเล็กน้อยแต่ก็ขาดไม่ได้ แร่ธาตุมีบทบาทสำคัญในกระบวนการทางชีวเคมีของสิ่งมีชีวิต เป็นส่วนประกอบโครงสร้างของร่างกายและเกี่ยวข้องกับเมแทบอลิซึมต่าง ๆ ในร่างกาย แร่ธาตุหลายตัวมีความสำคัญในระบบสืบพันธุ์ โดยช่วยให้มดลูกรังไข่มีความสมบูรณ์ จำนวนการตกไข่เพิ่มขึ้น การพัฒนาของตัวอ่อน การสังเคราะห์ฮอร์โมนเพศ เป็นส่วนประกอบของสารต้านอนุมูลอิสระ เป็นส่วนประกอบของน้ำนม เป็นต้น แม้ว่าในวัตถุดิบอาหารจะมีแร่ธาตุอยู่แล้ว แต่ก็ไม่เพียงพอต่อความต้องการของสัตว์ เพราะวัตถุดิบอาหารสัตว์ที่ใช้มักมีสารขัดขวางโภชนะ ที่เป็นตัวจำกัดการใช้ประโยชน์ได้ของแร่ธาตุ เช่น กรดไฟติก (phytic acid) จึงมีการเสริมแร่ธาตุในสูตรอาหารสัตว์ ส่วนใหญ่อยู่ในรูปของสารประกอบอนินทรีย์ อาทิ แร่ธาตุออกไซด์ (metal oxide) แร่ธาตุซัลเฟท (metal sulfate) ซึ่งสัตว์มีความสามารถในการย่อย และดูดซึมไปใช้ประโยชน์ได้น้อย เนื่องมาจากแร่ธาตุในรูปสารประกอบอนินทรีย์ เกิดการแตกตัวเป็นไอออนอิสระในระบบทางเดินอาหาร และสามารถทำปฏิกิริยากับสารอื่น เช่น กรดไฟติก กลายเป็นสารประกอบที่สัตว์ไม่สามารถดูดซึมไปใช้ประโยชน์ได้ ส่งผลให้แร่ธาตุในรูปของสารประกอบอินทรีย์เข้ามามีบทบาทมากขึ้น เพราะแร่ธาตุอินทรีย์มีค่าการย่อยและการดูดซึมนำไปใช้ประโยชน์ได้สูงกว่าแร่ธาตุอนินทรีย์ (Ashmead, 1993)

ดังนั้นจึงได้มีการพัฒนาและผลิตแร่ธาตุให้อยู่ในรูปสารประกอบอินทรีย์ ใช้เสริมในอาหารสัตว์มากขึ้น เพื่อให้สัตว์สามารถใช้ประโยชน์จากแร่ธาตุได้สูงสุด การศึกษานี้จึงให้ความสนใจเกี่ยวกับการใช้แร่ธาตุในรูปสารประกอบอินทรีย์เสริมลงในอาหาร ต่อสมรรถภาพทางการสืบพันธุ์ของแม่สุกร

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาการเสริมแร่ธาตุคีเลทในอาหารแม่สุกร ต่อสมรรถภาพทางการสืบพันธุ์ของแม่สุกร

2. เพื่อศึกษาการเสริมแร่ธาตุคีเลทในอาหารแม่สุกร ต่อปริมาณแร่ธาตุในซีรั่มของแม่สุกร

3. เพื่อศึกษาการเสริมแร่ธาตุคีเลทในอาหารแม่สุกรระยะอุ้มท้อง ต่อปริมาณฮีโมโกลบินและฮีมาโตคริทในเลือดของลูกสุกรแรกคลอด

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การตรวจเอกสาร

แร่ธาตุในร่างกายสัตว์

ร่างกายสัตว์มีแร่ธาตุต่างๆ อยู่ประมาณ 40 ชนิด ซึ่งจำเป็นต่อการเจริญเติบโต การให้ผลผลิต การสืบพันธุ์ เป็นส่วนประกอบของโครงร่างเช่น กระดูก ฟัน เป็นส่วนประกอบของเนื้อเยื่อ รักษาความเป็นกรดด่างในร่างกาย เป็นต้น แร่ธาตุจึงเป็นโภชนะที่มีความจำเป็นต่อร่างกาย แม้ว่าร่างกายจะต้องการในปริมาณเล็กน้อยก็ตาม สามารถแบ่งแร่ธาตุที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของสัตว์ได้เป็น 2 กลุ่มคือ แร่ธาตุหลัก (macro mineral) และแร่ธาตุรอง (micro mineral หรือ trace mineral) แร่ธาตุหลัก คือ แร่ธาตุที่สัตว์ต้องการในปริมาณสูงได้แก่ แคลเซียม (Ca) ฟอสฟอรัส (P) โซเดียม (Na) คลอไรด์ (Cl) แมกนีเซียม (Mg) โปตัสเซียม (K) และ ซัลเฟอร์ (S) แร่ธาตุรอง คือ แร่ธาตุที่สัตว์ต้องการในระดับต่ำ เช่น โครเมียม (Cr) ทองแดง (Cu) ไอโอดีน (I) เหล็ก (Fe) แมงกานีส (Mn) โมลิบดีนั่ม (Mo) ซีลีเนียม (Se) สังกะสี (Zn) เป็นต้น

แมกนีเซียม (Magnesium)

แมกนีเซียมเป็นธาตุที่อยู่ในกลุ่มโลหะแอลคาไลน์เอิร์ธ (alkaline earth) มีสภาพไฟฟ้าบวก (electronpositive) แมกนีเซียมมีมากเป็นอันดับสองในของเหลวภายในเซลล์รองจากโพแทสเซียม ในเซลล์แมกนีเซียมอิออนจะรวมอยู่กับโปรตีน และกรดนิวคลิอิก สำหรับความเข้มข้นปกติของแมกนีเซียมในซีรั่มอยู่ระหว่าง 18 ถึง 27 มิลลิกรัมต่อลิตร (National Research Council [NRC], 2005) สัตว์ที่อายุมากมักขาดแคลนแมกนีเซียมมากกว่าสัตว์อายุน้อย เพราะว่าสัตว์ที่มีอายุมากขึ้นความสามารถในการเคลื่อนย้ายแมกนีเซียมจากกระดูกมาใช้ได้ลดลง โดยทั่วไปสัตว์สามารถใช้ประโยชน์จากแมกนีเซียมในเมล็ดธัญพืชได้ดีกว่าแมกนีเซียมที่อยู่ในพืชอาหารสัตว์ (Miller *et al.,* 1990) เมล็ดธัญพืชมีแมกนีเซียมประกอบอยู่ 1.1-1.3 กรัมต่อกิโลกรัม ปลาป่นมีแมกนีเซียมประกอบอยู่ 1.7-2.5 กรัมต่อกิโลกรัม และในพืชอาหารสัตว์ปริมาณของแมกนีเซียมขึ้นอยู่กับชนิดและสายพันธุ์ (Underwood and Suttle, 1999)

1. การดูดซึมและการขนส่ง

แมกนีเซียมที่อยู่ในอาหารส่วนมากจะรวมตัวอยู่กับโปรตีน กรดอินทรีย์ที่มีประจุเป็นลบ เป็นส่วนประกอบของคลอโรฟิลล์ (chlorophyll) และไฟติน (phytin) ในสัตว์กระเพาะเดียว

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

แมกนีเซียมเกิดการละลายในกระเพาะที่เกิดการหลั่งกรดไฮโดรคลอริก (hydrochloric acid) และแมกนีเซียมอิออนเกิดการดูดซึมที่ลำไส้เล็กในส่วนของดูโอดินัม (duodenum) และตอนต้นของลำไส้ใหญ่ มีการดูดซึมแบบ facilitated diffusion และ active transport ผ่านผนังลำไส้ ในทางเดินอาหารแมกนีเซียมสามารถรวมกับสารอื่นๆ ที่อยู่ในรูปที่ไม่ละลายได้ เช่น คาร์บอเนท (carbonate) ฟอสเฟท (phosphates) และจับกับกรดไขมันทำให้ไม่ละลาย ซึ่งเรียกว่า magnesium soaps ซึ่งกรดที่หลั่งจากน้ำดีทำปฏิกิริยาช้ากว่า calcium soaps ทำให้อัตราการดูดซึมแมกนีเซียมค่อนข้างต่ำ นอกจากนี้ การดูดซึมของแมกนีเซียมในลำไส้จะลดลงเมื่อมีปริมาณที่มากของไขมัน แคลเซียม กรดไฟติค (phytic acid) และ กรดออกซาลิค (oxalic acids) สุกรมีความสามารถในการดูดซึมแมกนีเซียมได้ 20-30 เปอร์เซ็นต์ ของแมกนีเซียมทั้งหมด และหากมีแคลเซียม ฟอสฟอรัส ไฟเตท และกรดไขมันเพิ่มมากขึ้น การดูดซึมแมกนีเซียมก็จะลดลง (Patience and Zijlstra, 2001)

2. หน้าที่ของแมกนีเซียม

แมกนีเซียมมีบทบาทที่เป็นตัวกระตุ้นที่จำเพาะเจาะจงและเป็นโคแฟคเตอร์ของเอนไซม์หลายตัว โดยเฉพาะเอนไซม์ที่มี thiamine pyrophosphate เป็นโคแฟคเตอร์ ในไมโตรคอนเดรีย แมกนีเซียมอิออนจะกระตุ้นกระบวนการออกซิเดทีฟ ฟอสโฟลีเรชัน (oxidative phospholyration) ซึ่งกระบวนการนี้ถ้าขาดแมกนีเซียมจะเกิดขึ้นไม่ได้ เอนไซม์ที่มีแมกนีเซียมเป็นโคแฟคเตอร์ เช่น ไมโอไคเนส (myokinases) ไดฟอสโฟไพริดิน นิวคลีโอไทด์ ไคเนส (diphosphopyridine nucleotide kinase) และ ครีเอทีน ไคเนส (creatine kinase) ที่ทำการส่งผ่าน phosphorus group ในระหว่างเกิดปฏิกิริยาทางเคมี แมกนีเซียมอิออนยังสามารถทำหน้าที่แทนแมงกานีสอิออนในการทำหน้าที่เป็นโคแฟคเตอร์ในเกือบทุกปฏิกิริยา

แมกนีเซียมทำงานตรงข้ามกับแคลเซียมในกล้ามเนื้อ คือ แมกนีเซียมไปยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ ไมโอซีน อะดีโนซีน ไตรฟอสเฟท (myosine adenosine triphosphatase) และกระตุ้นกระบวนการไฮโดรไลซิส (hydrolysis) ของอะซีทิลโคลีน (acetylcholine) โดยผ่านทาง cholinesterase ผลที่เกิดขึ้นมีบทบาทที่สำคัญในการส่งผ่านกระแสประสาท และการบีบรัดตัวของกล้ามเนื้อ

ในกระบวนการสร้างกระดูก ต้องการแมกนีเซียมในจำนวนที่แน่นอน และแมกนีเซียมที่พบในไฮดรอกซีอะพาไทท์ คริสทัล (hydroxyapatite crystals) ช่วยในการแข็งตัวของเนื้อเยื่อกระดูกและฟัน และที่พบใน calcite cystals ช่วยให้เปลือกไข่แข็งแรง การยกระดับความเข้มข้นของ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

แมกนีเซียมในแม่ไก่สามารถควบคุมการเกิดแคลซิฟิเคชัน (calcification) ของเปลือกไข่ในตับของไก่ (ฉลอง, 2543)

โพแทสเซียม (Potassium)

โพแทสเซียมจัดอยู่ในกลุ่มของโลหะแอลคาไล (alkali metal) มีสภาพไฟฟ้าบวก (electronpositive) จะไม่พบโพแทสเซียมในสภาวะที่เป็นธาตุอิสระในธรรมชาติ โพแทสเซียมมีความสำคัญทั้งในพืช และในสัตว์ ส่วนมากในพืชมีปริมาณของโพแทสเซียมมากกว่าความต้องการของสัตว์ ซึ่งการมีโพแทสเซียมมากในอาหารสัตว์อาจนำไปสู่การแสดงอาการผิดปกติของการขาดแมกนีเซียมได้ในสัตว์กระเพาะรวม โพแทสเซียมมีการกระจายตัวอยู่ทั่วร่างกาย และเป็นหนึ่งในแร่ธาตุที่มีปริมาณสูงในร่างกาย คือมีโพแทสเซียมประมาณ 1.8 ถึง 2.0 กรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักตัวสัตว์ที่อยู่ในสภาวะเครียด ความต้องการโพแทสเซียมมีแนวโน้มที่เพิ่มสูงขึ้นจากปกติ (McDowell, 2003) ความเข้มข้นของโพแทสเซียมในพลาสม่าในระดับปกติอยู่ระหว่าง 0.18 ถึง 0.22 กรัมต่อลิตร

1. การดูดซึมและการขนส่ง

โพแทสเซียมที่อยู่ในอาหารจะอยู่ในรูปที่ง่ายต่อการละลายในระบบทางเดินอาหารของสัตว์ โพแทสเซียมสามารถถูกดูดซึมได้ตลอดทางเดินอาหาร โดยลำไส้เล็กเป็นแหล่งหลักที่มีการดูดซึมของโพแทสเซียม หลังจากดูดซึมเข้ากระแสเลือดแล้ว โพแทสเซียมมีการซึมผ่านไปยังเนื้อเยื่อต่างๆ ในร่างกาย ความสามารถในการย่อยได้ของโพแทสเซียม อยู่ในช่วง 95 เปอร์เซ็นต์ ของโพแทสเซียมที่มีอยู่ในอาหาร (McDowell, 1992) การแลกเปลี่ยนของโพแทสเซียมในเซลล์ (intracellular phases) และระหว่างเซลล์ (intercellular phases) ใช้เวลาภายใน 48 ชั่วโมง กระบวนการเมแทบอลิซึมของโพแทสเซียมเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วในกล้ามเนื้อ ไต ตับ และสมอง โพแทสเซียมมีการดูดซึมค่อนข้างสูงเพื่อไปใช้ในการผลิตน้ำนมและไข่ (McDowell, 2003) การขับออกของโพแทสเซียมจะผ่านทางปัสสาวะเป็นส่วนใหญ่

2. หน้าที่ของโพแทสเซียม

โพแทสเซียมเป็นแร่ธาตุที่สำคัญของของเหลวภายในเซลล์ แต่มีน้อยในของเหลวนอกเซลล์ ซึ่งตรงกันข้ามกับโซเดียม ทำหน้าที่เกี่ยวกับการควบคุมความดันออสโมซิส สมดุลกรด ด่าง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สมดุลน้ำ และควบคุมความสมดุลอิออนระหว่างโพแทสเซียม โซเดียม แคลเซียม และแมกนีเซียม (NRC, 1988)

การที่มีโพแทสเซียมสูงภายในเซลล์ ทำหน้าที่เป็นโคแฟคเตอร์ของเอนไซม์ที่มีหน้าที่ในการส่งผ่าน phosphate group จาก ATP ไปยังกรดไพรูวิค (pyruvic acid) และอาจมีส่วนในการกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์หลายๆ ตัวภายในเซลล์ โพแทสเซียมอิออนที่อยู่ในเซลล์ร่วมกับโซเดียมอิออนที่อยู่นอกเซลล์ ทำหน้าที่ร่วมกันในการทำให้เกิด resting potential และ active potential ในการบีบรัดตัวของกล้ามเนื้อ การเต้นของหัวใจ (Crenshaw, 1991) และการส่งผ่านของกระแสประสาท

โพแทสเซียมอิออนในเม็ดเลือดแดงมีความสำคัญในการรักษาความเป็นกรด ด่าง โดยเกี่ยวข้องกับการส่งผ่านออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ผ่านฮีโมโกลบิน (hemoglobin) โพแทสเซียมมีส่วนเกี่ยวข้องกับฮอร์โมนมิเนอร์รัล คอร์ติคอยด์ (mineral corticoids) คือ อัลโดสเตอร์โรน (aldosterone) และ ดีออกซีคอร์ติโคสเตอร์โรน (deoxycorticosterone) แต่ผลของฮอร์โมนเหล่านี้ต่อโพแทสเซียมถือว่าเป็นลำดับรอง (ฉลอง, 2543) นอกจากที่กล่าวมาแล้ว โพแทสเซียมยังเป็นโคแฟคเตอร์ (cofactor) ของเอนไซม์ นิวเมอร์รัส (numerous enzyme) รวมถึง อะดีโนซีน ไตรฟอสฟาเตส (adenosine triphosphatase) เฮกโซไคเนส (hexokinase) และคาร์บอนิคแอนไฮเดรส (carbonic anhydrase) (Patience and Zijlstra, 2001)

ทองแดง (Copper)

ธาตุทองแดงเป็นธาตุประจุบวกวาเลนซี 2 และ 3 มีความสำคัญต่อการสร้างเม็ดเลือดแดง มีผลต่อการนำเหล็กไปเป็นโครงสร้างของฮีม (heme) และช่วยให้เม็ดเลือดแดงเจริญเต็มที่ ทองแดงยังเกี่ยวข้องกับกระบวนการสร้างคอลลาเจน (collagen) อิลาสติน (elastin) และพรอสตาแกลนดิน (prostaglandin) (Pond *et al*., 1995) ทองแดงยังเป็นส่วนประกอบของเอนไซม์อีกหลายตัว และมักปรากฏอยู่ในสารที่มีสีเช่น ทูราซิน (turacin) สีที่อยู่ตามขน ธาตุนี้มีอยู่ทุกเซลล์ในร่างกายในภาวะปกติทองแดงในพลาสม่ามีค่าอยู่ระหว่าง 0.8-1.2 มิลลิกรัมต่อลิตร

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

1. การดูดซึมและการขนส่ง

ธาตุทองแดงดูดซึมที่ลำไส้เล็กเข้าสู่กระแสเลือด จะจับกับโปรตีนอัลบูมิน และขนส่งทองแดงในเลือด ตับจะจับทองแดงส่วนใหญ่ไว้กับโปรตีนเมทัลโลไธโอนีน (metallothionine) และปล่อยทองแดงจับกับโปรตีนเซรูโลพลาสมิน (ceruloplasmin) จากนั้นขนส่งออกจากตับเข้ากระแสเลือดไปให้เซลล์ต่าง ๆ ที่มีโปรตีนตัวรับเซรูโลพลาสมิน จากนั้นทองแดงจะแยกจากเซรูโลพลาสมิน และเข้าสู่เซลล์ การดูดซึมทองแดงจะดีขึ้นในช่วงที่สัตว์อยู่ในภาวะขาดทองแดง หรือช่วงที่ร่างกายสัตว์มีความต้องการทองแดงมากเช่น ในระยะอุ้มท้องของสัตว์ สิ่งที่รบกวนการดูดซึมของทองแดงก็คือ โมลิบดีนัม (Mo) และซัลเฟอร์ (S) ซึ่งโมลิบดีนัม และซัลเฟอร์ ลดความเป็นประโยชน์ของทองแดงในทางเดินอาหารของสัตว์ โดยการจับกับทองแดงเป็นสารประกอบที่ไม่ละลายในทางเดินอาหาร คือ คอปเปอร์-ไธโอโมลิบเดท (Cu-thiomolybdates) ทำให้การดูดซึมของทองแดงลดลง (ฉลอง, 2543)

2. หน้าที่ของทองแดง

เป็นส่วนประกอบของเอนไซม์ เอนไซม์หลายชนิดมีธาตุทองแดงเป็นองค์ประกอบ เอนไซม์ที่เป็นที่รู้จักกันดีคือ ไลซิลออกซิเดส (lysyl oxidase) ไทโรซิเนส (tyrosinase) ไซโตโครม ซี ออกซิเดส (Cytochrome C oxidase) เฟอร์รอกซิเดส (ferroxidase) ซูเปอร์ออกไซด์ดิสมิวเตส (superoxide dismutase; SOD) โดพามีนเบต้าไฮดรอกซีเลส (dopamine ß hydroxylase)

ไลซิลออกซิเดส (lysyl oxidase) เป็นเอนไซม์ที่ดึงหมู่อะมิโนออกจากไลซีน และไฮดรอกซีไลซีน (hydroxylysine) ที่อยู่บนสายเปปไทด์ของคอลลาเจนและอิลาสตินที่สังเคราะห์ใหม่ เป็นปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในกระบวนการสังเคราะห์คอลลาเจน และอิลาสติน ซึ่งพบได้ในผิวหนัง ฟัน ปอด กระดูก เป็นต้น Hill และคณะ (1983) รายงานว่าการขาดทองแดงในลูกสุกร จะไปลดการทำงานของไลซิลออกซิเดส และเอสโตรเจน (Oestrogen) ส่งผลให้ลดการทำงานของไลซิลออกซิเดสในผิวหนัง และกระดูก

ไทโรซิเนส (tyrosinase) เป็นเอนไซม์ที่สังเคราะห์เม็ดสีเมลานิน (melanin) ที่ผิวหนัง ขน ผม และตา โดยกระบวนการออกซิเดชันของไทโรซีน (thyrosine) ด้วยเอนไซม์ไทโรซิเนส ได้สารประกอบไดไฮดรอกซีฟีนิลอะลานิน (dihydroxyphenylalanine) หรือ โดปา (dopa) ซึ่งเป็นต้นกำเนิดของสารชนิดต่าง ๆ เช่น รงควัตถุในเส้นผมและผิวหนัง (Underwood, 1977)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ไซโตโครม ซี ออกซิเดส (Cytochrome C oxidase) ประกอบด้วยเหล็ก ฮีม และทองแดง ทำหน้าที่ช่วยในการออกซิไดซ์และรีดิวส์ของปฏิกิริยา เอนไซม์ไซโตโครม ซี ออกซิเดส ในกระบวนการสังเคราะห์ฟอสโฟลิพิด และการสร้างไมอิลิน (myelin) ซึ่งเป็นฉนวนหุ้มป้องกันเซลล์ประสาท ในสุกรหากเกิดภาวการณ์ขาดแคลนทองแดงในหัวใจ และตับ การทำงานของไซโตโครม ซี ออกซิเดส จะลดลง (Hill *et al.,* 1983)

เฟอร์รอกซิเดส (ferroxidase) เป็นเอนไซม์ที่ออกซิไดซ์ Fe^{2+} (ferrous) เป็น Fe^{3+} (ferric) เกิดขึ้นในกระแสเลือด หลังจากที่เหล็กถูกดูดซึมในลำไส้ออกสู่กระแสเลือด Fe^{3+} จับกับโปรตีนเป็นรูปที่ขนส่งในกระแสเลือดรวมทั้งรูปที่สะสมในร่างกาย นอกจากเอนไซม์เฟอร์รอกซิเดสแล้ว โปรตีนเซรูโลพลาสมิน ที่มีทองแดงในโมเลกุลทำหน้าที่ออกซิไดซ์เหล็ก Fe^{2+} เป็น Fe^{3+} เช่นกัน ภาวะขาดทองแดงจะทำให้การใช้เหล็กในร่างกายบกพร่อง เกิดโลหิตจางเหมือนการขาดเหล็ก

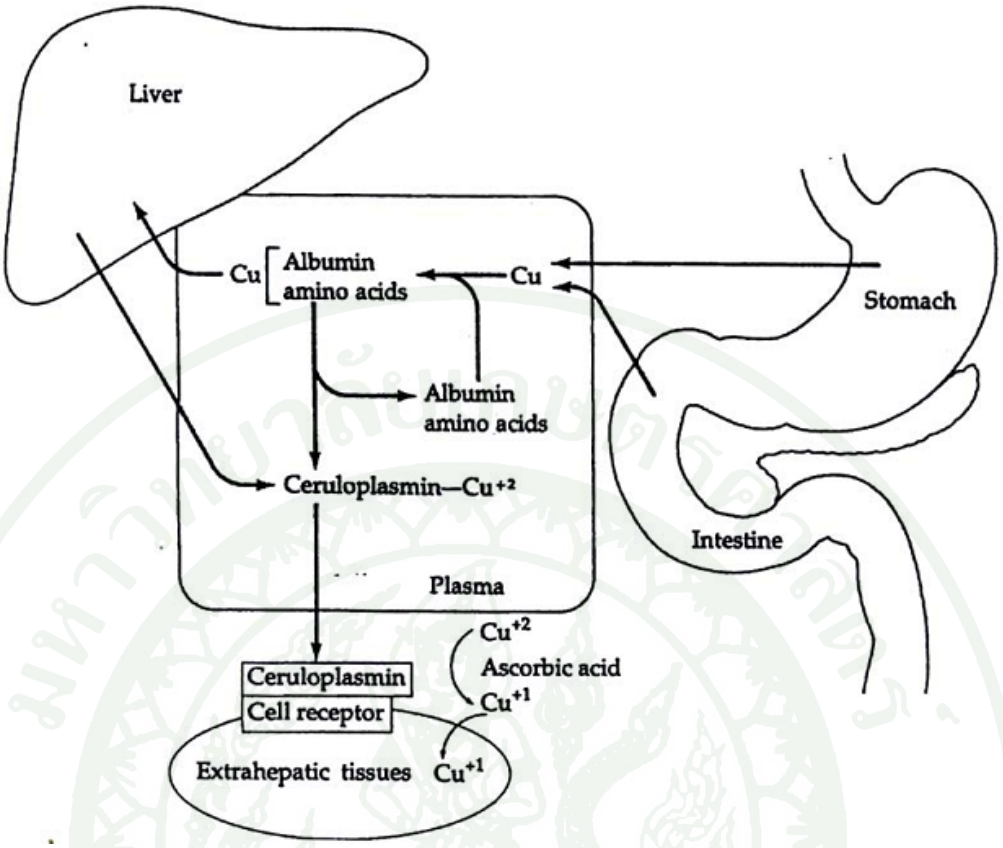
ซูเปอร์ออกไซด์ดิสมิวเตส (superoxide dismutase; SOD) ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่พบในไซโตพลาสซึมของเซลล์โดยมีสังกะสี 2 อะตอม และทองแดง 2 อะตอมเป็นองค์ประกอบ มีหน้าที่ในการเปลี่ยนอนุมูลซูเปอร์ออกไซด์ ($2O_2^-$) ไปเป็นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ และออกซิเจน (ภาพที่ 1)

$$2O_2^- + 2H^+ \xrightarrow{\text{superoxide dismutase}} H_2O_2 + O_2$$

ภาพที่ 1 ปฏิกิริยาการกำจัดอนุมูลซูเปอร์ออกไซด์โดยเอนไซม์ซูเปอร์ออกไซม์ ดิสมิวเตส
ที่มา: Hill and Spears (2001)

โดพามีนเบต้าไฮดรอกซีเลส (dopamine ß hydroxylase) มีหน้าที่สังเคราะห์สารสื่อประสาทในระบบประสาทอัตโนมัติ (sympathetic neurotransmitters) นั่นก็คือนอร์อิพิเนฟริน (norepinephrin) และอิพิเนฟริน (epinephrin) ซึ่งพบในต่อมหมวกไต (adrenal gland) และสมองในส่วนนูเมอร์รัส (numerous) (Hill and Spears, 2001)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 2 เมแทบอลิซึมของทองแดง
ที่มา: Groff *et al*., (1995)

เหล็ก (Iron)

ธาตุเหล็กเป็นธาตุประจุบวกวาเลนซี 2 และ 3 (ferrous, Fe^{2+} และ ferric, Fe^{3+}) เหล็กในร่างกายมีทั้ง Fe^{2+} และ Fe^{3+} โดย 60-70 เปอร์เซ็นต์ของเหล็กในร่างกายอยู่ในรูปฮีโมโกลบินพบในไมโอโกลบิน (myoglobin) ที่อยู่ในกล้ามเนื้อ 20 เปอร์เซ็นต์ เหล็กสะสมอยู่ในตับ ม้าม และกล้ามเนื้ออื่น ๆ ซึ่งเหล็กมีชื่อเรียกต่าง ๆ กันขึ้นอยู่กับว่าพบในส่วนใด ในรกเรียก ยูเทอโรเฟอร์ริน (uteroferrin) ในนมเรียก แลคโตเฟอริน (lactoferrin) และในตับเรียก เฟอร์ริติน (ferritin) เป็นต้น ในภาวะปกติปริมาณเหล็กในพลาสม่าอยู่ระหว่าง 1.1-2.2 มิลลิกรัมต่อลิตร

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

1. การดูดซึมและการขนส่ง

การดูดซึมธาตุเหล็กขึ้นอยู่กับรูปแบบของธาตุเหล็ก คีเลทของเหล็กซึ่งมีเหล็กที่ไม่ใช่ฮีม มีประโยชน์ช่วยลดการตกตะกอนและเพิ่มการคงตัวของ Fe^{2+} ที่ pH เป็นด่างในลำไส้เล็ก กรดอินทรีย์ น้ำดี และโปรตีนที่มีกรดอะมิโนซิสเตอีน จะช่วยให้อะตอมของ Fe^{2+} ออกจากคีเลท และผ่านชั้นเยื่อเมือก (mucous layer) ของเซลล์ลำไส้เล็ก จับกับมิวโคโปรตีน (mucoprotein) Fe^{2+} จะแยกออกจาก มิวซิน (mucin) และผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ผนังลำไส้เล็กที่ตำแหน่งโปรตีนทางผ่าน (transmembrane protein) Fe^{2+} นลำไส้เล็กจะถูกออกซิไดซ์เป็น Fe^{3+} ละจับกับโปรตีนชนิดโมบิลเฟอร์ริน(mobilferrin) ขนส่งในเซลล์ลำไส้ จากนั้นถูกปล่อยออกและเปลี่ยนเป็น Fe^{2+} ซึ่งจะจับกับโปรตีนชนิดพาราเฟอร์ริน (paraferrin) และปล่อยผ่านเยื่อหุ้มเซลล์เข้าสู่กระแสเลือด เหล็กในรูปฮีมจะผ่านเยื่อหุ้มเซลล์บุผนังลำไส้เล็กได้โดยไม่ต้องอาศัยโปรตีนตัวพา จากนั้น Fe^{2+} จะหลุดออกจากฮีมโดยเอนไซม์ฮีมออกซีจีเนส (hemeoxygenase) และได้บิลลิรูบิน (bilirubin) ซึ่งถูกขับออกจากเซลล์เข้าสู่กระแสเลือด เหล็กจะจับกับโปรตีนอะโปเฟอร์ริติน (apoferritin) ในรูป Fe^{3+} และจับกับโปรตีนพาราเฟอร์รินในรูป Fe^{2+} ซึ่งจะถูกปล่อยผ่านเยื่อหุ้มเซลล์เข้าสู่กระแสเลือด (นัยนา, 2546)

2. หน้าที่ของเหล็ก

ธาตุเหล็กมีความสำคัญในเมแทบอลิซึมของสิ่งมีชีวิต เกี่ยวข้องกับการสลายสารอาหารให้ได้พลังงาน เป็นส่วนประกอบของเอนไซม์ในการสังเคราะห์สารที่สำคัญในร่างกาย และเป็นส่วนประกอบของเอนไซม์ในการสังเคราะห์สารที่สำคัญในร่างกาย

ขนส่งออกซิเจนจากเลือดไปยังอวัยวะต่าง ๆ ในร่างกายโดยฮีโมโกลบินในเม็ดเลือดแดงจะจับกับออกซิเจนได้ด้วย Fe^{2+} ในฮีม ฮีโมโกลบินประกอบด้วยฮีม 4 หมู่ สามารถขนส่งออกซิเจนได้ 4 อะตอม จึงนำออกซิเจนไปยังส่วนต่าง ๆ ของร่างกายเพื่อใช้สร้างพลังงาน (ATP) ในระบบลูกโซ่การหายใจ ฮีมจึงเป็นส่วนสำคัญในการขนส่งออกซิเจนในเม็ดเลือดแดง ขนส่งออกซิเจนภายในเซลล์กล้ามเนื้อในลักษณะเดียวกับเม็ดเลือดแดง กล้ามเนื้อจะมีไมโอโกลบิน ซึ่งประกอบด้วยธาตุเหล็กในฮีม เพื่อจับออกซิเจนไว้ใช้ในกระบวนการสร้างพลังงาน

เป็นส่วนประกอบของเอนไซม์ในวัฏจักรเครบ และระบบลูกโซ่การหารใจ เหล็กที่เป็นส่วนประกอบของเอนไซม์มีทั้งอยู่ในรูปฮีม (Fe^{2+}) เช่น ไซโตโครมออกซิเดส ทุกชนิด และไม่ใช่ฮีม (Fe^{3+}) เช่น อะโคนิเตส (acronitase) ซัคซิเนทดีไฮโดรจีเนส (succinate dehydrogenase) เอนเอดีเอช

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ดีไฮโดรจีเนส (NADH dehydrogenase) ทริปโตเฟน ไดออกซีจีเนส (tryptophan dioxygenase) ฟีนิลอลานีน ไฮดรอกซีเลส (phenylalanine hydroxylase) โฮโมเจนติเสท ออกซิเดส (homogentisate oxidase) แซนทีน ออกซิเดส (xanthine oxidase) แซนทีน ดีไฮโดรจีเนส (xanthine dehydrogenase) กลีเซอรอล ฟอสเฟท ดีไฮโดรจีเนส (glecerol phosphate dehydrogenase) นอกจากนั้นฮีมยังเป็นส่วนประกอบของเอนไซม์ไมอีโลเปอร์ออกซิเดส (myeloperoxidase) ทำหน้าที่เร่งปฏิกิริยาสารประกอบไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) กับคลอไรด์ไอออน (Cl) ให้เป็นสารเปอร์ออกไซด์ (HOCl) ซึ่งเป็นตัวออกซิไดซ์อย่างแรงและมีความเป็นพิษสูง ใช้ในการทำลายแบคทีเรียที่เข้ามาในร่างกาย (Hill and Spears, 2001)

เหล็กเป็นส่วนประกอบเอนไซม์ไรโบนิวคลีโอไทด์ รีดักเตส (ribonucleotide reductase) ซึ่งใช้ในการสังเคราะห์ดีเอนเอ สำหรับการแบ่งตัวเพิ่มจำนวนเซลล์ เมื่อร่างกายมีสิ่งแปลกปลอมเข้ามา เซลล์เม็ดเลือดขาวชนิด บีลิมโฟไซด์ (B-lymphocyte) หรือ ทีลิมโฟไซด์ (T-lymphocyte) จะแบ่งเซลล์เพิ่มจำนวนมากขึ้นเพื่อเพิ่มภูมิคุ้มกัน ถ้าขาดเหล็กจะทำให้การเพิ่มจำนวนของเซลล์เม็ดเลือดขาวบกพร่อง มีผลให้ภูมิคุ้มกันบกพร่องด้วย (อรุณี, 2547)

แมงกานีส (Manganese)

แมงกานีสเป็นธาตุในกลุ่มทรานซิชัน (transition element) เป็นธาตุประจุบวกวาเลนซี 2 และ 4 มีความสำคัญต่อการเจริญเติบโต และความสมบูรณ์พันธุ์ของสุกร แมงกานีสพบในเนื้อเยื่อส่วนของตับ ไต ตับอ่อน และต่อมใต้สมอง พบมากในกระดูก และอวัยวะสืบพันธุ์ ในร่างกายพบแมงกานีสในระดับ 0.5-3.9 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (McDowell, 2003) และร่างกายสามารถสะสมธาตุแมงกานีสได้ในปริมาณจำกัด แมงกานีสพบมากในพืชอาหารสัตว์ แต่จะพบได้ปริมาณน้อยในเมล็ดธัญพืช และพืชตระกูลถั่วมีปริมาณแมงกานีส 7.8 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (NRC, 2005)

1. การดูดซึมและการขนส่ง

แมงกานีสในอาหารถูกดูดซึมได้น้อยมาก อยู่ระหว่าง 2-5 เปอร์เซ็นต์ ของแมงกานีสที่ได้รับ มีการดูดซึมที่ลำไส้เล็ก ส่วนดูโอดีนัม บริเวณ brush border membrane ทั้งในสัตว์กระเพาะเดี่ยว และสัตว์กระเพาะรวมโดยการจับกับ α-2 macroglobulin หรือจับกับอัลบูมิน แล้วถูกขนส่งไปยังตับและเนื้อเยื่อต่างๆ การขาดเหล็กส่งผลต่อการดูดซึมแมงกานีส และในอาหารที่มีแคลเซียมและฟอสฟอรัสในปริมาณสูงจะไปลดการดูดซึมของแมงการนีส (Leach and Harris, 1997) โดยระดับที่

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สูงเกินไปของแคลเซียม และฟอสฟอรัสในอาหาร จะเกิดการตกตะกอนระหว่างแคลเซียมและฟอสฟอรัสในระบบทางเดินอาหาร ในรูปแคลเซียมฟอสเฟต และแมงกานีสจะตกตะกอนด้วย ส่งผลให้การดูดซึมลดลง

2. หน้าที่ของแมงกานีส

แมงกานีสเป็นส่วนประกอบของเอนไซม์ ไพรูเวท คาร์บอกซีเลส (pyruvate carboxylase) ไมโตคอนเดรียล เอสโอดี (mitochondrial SOD) อาร์จิเนส (arginase) และเกี่ยวข้องกับระบบการทำงานของเอนไซม์จำนวนมากภายในร่างกายเช่น ไฮโดรเลส (hydrolase) ไคเนส (kinase) ดีคาร์ดรอกซีเลส (decardroxylase) และทรานเฟอร์เรส (transferase) โดยกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ไกลโคซิลทรานเฟอร์เรส (glycosyltransferase) ซึ่งทำหน้าที่ย้ายหมู่น้ำตาลจากสารตั้งต้น (substrate) ไปยังตัวรับเช่น การสังเคราะห์กลูโคสให้เป็นโพลีแซคคาไรด์ ถูกควบคุมโดยเอนไซม์ไกลโคซิลทรานเฟอร์เรสแบบเฉพาะเจาะจง (Hill and Spears, 2001) แมงกานีสยังมีผลที่เฉพาะกับไขมัน (specific lipotropic effect) โดยเพิ่มการใช้ประโยชน์ของไขมันในร่างกาย และป้องกันการสร้างไขมันที่ตับ (ฉลอง, 2543)

จำเป็นต่อการสังเคราะห์กลูโคซามิโนไกลแคน (glucosaminoglycans) ซึ่งเป็นสารมิวโคโพลีแซคคาไรด์ (mucopolysaccharides) ที่สำคัญในเอ็นและกระดูกอ่อน และแมงกานีสมีความสำคัญในการทำหน้าที่ของระบบประสาทส่วนกลางและต่อมไทรอยด์ รวมถึงการสร้างกระดูกและกระดูกอ่อน (Buskirk *et al.,* 2002)

สังกะสี (Zinc)

สังกะสีเป็นองค์ประกอบที่สำคัญของเอนไซม์มากกว่า 100 ชนิด มีหน้าที่เกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโต การทำงานของระบบสืบพันธุ์ เมแทบอลิซึมต่าง ๆ ภายในร่างกายเช่น เป็นส่วนประกอบของเอนไซม์คาร์บอกซีเปปติเดส (carboxypeptidase) ซึ่งมีหน้าที่ในการย่อยโปรตีน เป็นส่วนประกอบของเอนไซม์คาร์บอนิกแอน ไฮเดรส (carbonic anhydrase) และเป็นโคแฟกเตอร์ในกระบวนการไกลโคไลซีส (glycolysis) และ tricarboxylic acid cycle เพื่อให้ได้ ATP ซึ่งเป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญของร่างกาย สังกะสีเป็นส่วนประกอบของอินซูลิน (insulin) มีบทบาทในการควบคุมระดับการเผาผลาญคาร์โบไฮเดรทของร่างกาย และสังกะสีมีความจำเป็นต่อการสร้างขน ผิวหนังและกีบ ในเลือดมีปริมาณสังกะสีเท่ากับ 0.6-5.0 มิลลิกรัมต่อลิตร (NRC, 2005)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

1. การดูดซึมและขนส่ง

ขั้นตอนเริ่มต้นของการดูดซึมสังกะสีภายหลังจากการย่อยเกิดโดยการขนส่งสังกะสีจากท่อลำไส้ (lumen) เข้าสู่เซลล์ของลำไส้ (mucosal cell) โดยกระบวนการที่ต้องอาศัยตัวพา คือลิแกนด์ (อะตอมหรือกลุ่มอะตอมที่เข้ามาสร้างพันธะกับสังกะสี) ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำหลายชนิดช่วยให้มีการดูดซึมสังกะสีได้เพิ่มขึ้น เช่น ซิเตรท (citrate) พิโคลิเนท (picolinate) รวมทั้งกรดอะมิโน เช่นฮิสติดีน (histidine) และกรดกลูตามิค (glutamic acid) ภายในเซลล์ของลำไส้เล็กนั้นมีเมตัลโลไธโอนีน (metallothionein) ซึ่งเป็นโปรตีนที่ช่วยในการควบคุมการขนส่งสังกะสีเข้าไปภายในกระแสเลือด โดยสังกะสีจะจับกับอัลบูมิน 70 เปอร์เซ็นต์ และจับกับ α-2 macroglobulin 20-30 เปอร์เซ็นต์ (NRC, 2005) อย่างไรก็ตามการดูดซึมสังกะสีขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง เช่น สภาวะของสังกะสีในร่างกาย สภาพทางสรีรวิทยาของสัตว์ อายุ สุขภาพ พันธุกรรมของสัตว์ ความต้องการทางสรีรวิทยาของสัตว์และองค์ประกอบของอาหาร (McDowell, 1992)

2. หน้าที่ของสังกะสี

สังกะสีมีบทบาทมากมายในร่างกายทั้งในด้านระบบประสาท ระบบภูมิคุ้มกันของร่างกาย และการป้องกันอนุมูลอิสระ การได้รับสังกะสีในปริมาณสูงเป็นเวลานาน ๆ ก่อให้เกิดความผิดปกติในระบบภูมิคุ้มกันและความผิดปกติของไขมันในร่างกาย แร่ธาตุสังกะสีมีความสำคัญต่อการดูดซึมและการปฏิบัติหน้าที่ของวิตามินโดยเฉพาะวิตามินบีรวม แร่ธาตุสังกะสีเป็นส่วนประกอบของน้ำย่อยไม่น้อยกว่า 25 ชนิด ซึ่งช่วยในการย่อย และการเผาผลาญโดยเฉพาะการย่อยคาร์โบไฮเดรต การเผาผลาญฟอสฟอรัส การทำงานของเซลล์ต่างๆ ในร่างกาย

เป็นส่วนประกอบของเอนไซม์ เช่น เอนไซม์ที่ใช้ในการสังเคราะห์โปรตีน เอนไซม์หลายชนิดมีสังกะสีเป็นส่วนประกอบที่รู้จักกันดี คือ เอนไซม์คาร์โบนิค แอนไฮเดรส ซึ่งพบมากในเม็ดเลือดแดงมีบทบาทในการกำจัดคาร์บอนไดออกไซด์ H^+ ที่ปล่อยจากกรดคาร์โบนิคจะไปรีดิวซ์ออกซี่ฮีโมโกลบิน (oxyhemoglobin) ให้ปล่อยออกซิเจนให้เนื้อเยื่อส่วนไบคาร์โบเนต (HCO_3^-) จะผ่านออกไปยังพลาสม่าและเข้ามามีส่วนร่วมในปฏิกิริยาการปรับสมดุลกรด-ด่าง (buffering reaction)

เอนไซม์อัลคาไลน์ฟอสฟาเตส (alkaline phosphatase) ประกอบด้วยสังกะสี 4 อะตอม เป็นเอนไซม์ที่มีบทบาทในการไฮโดรไลซ์ (hydrolyse) โมโนเอสเทอร์ของฟอสเฟทจาก

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารประกอบชนิดต่าง ๆ และเกี่ยวข้องในเมแทบอลิสมของกระดูก บางครั้งในเอนไซม์ชนิดนี้เป็นตัวบ่งชี้สภาพของสังกะสีในร่างกาย เพราะการทำงานจะลดลงเมื่อขาดสังกะสี แต่การทำงานของเอนไซม์ชนิดนี้ไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้เป็นตัวบ่งชี้สภาวะการเปลี่ยนแปลงของสังกะสีในร่างกาย เนื่องจากมีปัจจัยหลายอย่างที่มีผลต่อการทำงานของเอนไซม์ชนิดนี้ เช่น การอดอาหาร อายุของสัตว์ เวลาที่เก็บซีรั่ม และชนิดของเนื้อเยื่อที่เก็บตัวอย่าง (Hill and Miller, 1983)

แร่ธาตุคีเลท

แร่ธาตุคีเลท คือ แร่ธาตุรูปอินทรีย์ หมายถึง แร่ธาตุ (โลหะทรานซิชั่น) ที่จับกับสารอินทรีย์เช่น กรดอะมิโน หรือเปปไทด์ หรืออาจเรียกว่า organic chelate ซึ่งหมายถึงการจับกับสารอินทรีย์ มีโครงสร้างแบบวงแหวน ที่เกิดขึ้นโดยการจับกันระหว่างประจุบวกของแร่ธาตุ (cations) กับสารประกอบที่มีประจุลบสูงตั้งแต่ 2 ตำแหน่งด้วยพันธะโคออดิเนท คำว่า chelate มาจากคำว่า chele ในภาษากรีกที่หมายถึงก้ามปู (claw) เป็นคำอธิบายถึงลักษณะการจับกันของแร่ธาตุประจุบวกกับสารที่จับกับโลหะ (metal binding agents) ซึ่งเป็นสารอินทรีย์ที่เรียกว่า ลิแกนด์ (ligand) (Scott *et al*., 1971) หรืออาจอธิบายได้ว่า โลหะทรานซิชั่น หมายถึง อะตอมหรือไอออนที่มีอิเลคตรอนใน d- หรือ f- ออร์บิตอลไม่เต็มจึงแสดงเลขออกซิเดชั่นได้หลายค่า (ส่วนมากเป็น +2) และมีแนวโน้มที่จะเกิดสารประกอบเชิงซ้อน (complex หรือ coordinate compound) ได้ง่าย ส่วนลิแกนด์ หมายถึง อะตอมหรือกลุ่มอะตอมที่เข้ามาสร้างพันธะกับโลหะทรานซิชั่น ในลิแกนด์มีอะตอมที่มีคู่อิเลคตรอนโดดเดี่ยวซึ่งสามารถสร้างพันธะโคออดิเนทโควาเลนท์กับไอออนโลหะได้ เรียกอะตอมนั้นว่า donor atom ลิแกนด์ที่มี donor atom 1 อะตอม ต่อ 1 กลุ่มลิแกนด์เรียกว่า monodentate ligands ส่วนลิแกนด์ที่มี donor atom มากกว่า 1 อะตอม ต่อ 1 กลุ่มลิแกนด์ โดยอะตอมเหล่านี้สามารถสร้างพันธะกับไอออนโลหะได้พร้อม ๆ กันเรียกว่า polydentate ligands ซึ่งจะทำให้เกิดสารเชิงซ้อนแบบเป็นวงหรือ cyclic ring ที่เรียกว่า คีเลท (โสภณ, 2545)

คีเลทในระบบชีวภาพ

1. คีเลทที่ใช้ขนส่งและเก็บไอออนโลหะ คีเลทชนิดนี้ไม่มีหน้าที่เฉพาะของตัวเองไม่มีการปรับเปลี่ยนคุณสมบัติของลิแกนด์ แต่ต้องการลิแกนด์ที่มีคุณสมบัติที่สามารถจับเป็นคีเลททำให้สามารถดูดซึมข้ามผ่านเข้าไปในกระแสเลือดและส่งเข้าไปที่ตำแหน่งที่ต้องการได้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

1.1 กรดอะมิโนโดยเฉพาะซิสเตอิน (cysteine) และฮิสตีดีน (histidine) ที่จับกับไอออนโลหะได้เป็นอย่างดี มีความสำคัญในการขนส่งและเก็บแร่ธาตุในร่างกายสัตว์

1.2 Ethylenediaminetetraacetic acid (EDTA) เป็นลิแกนด์สังเคราะห์ที่เพิ่มการใช้ประโยชน์ของแร่ธาตุและใช้ในทางการแพทย์เพื่อกำจัดพิษโลหะหนัก

2. คีเลทที่มีความสำคัญในเมแทบอลิซึม ไอออนของโลหะหลายชนิดในร่างกายต้องอยู่ในโครงสร้างของคีเลทเพื่อให้สามารถทำหน้าที่ในเมแทบอลิสมปกติได้ เช่น ฮีโมโกลบิน (haemoglobin) ไซโตโครม เอนไซม์ (cytocrome enzyme) และวิตามิน บี12

3. คีเลทที่ขัดขวางการใช้ประโยชน์ของแร่ธาตุเช่น phytic acid chelate ที่สามารถจับกับแร่ธาตุประจุบวกได้หลายตัวทำให้อยู่ในรูปที่ไม่สามารถใช้ประโยชน์ได้ (Scott *et al*., 1982)

แร่ธาตุคีเลทที่มีการผลิต และใช้ในอุตสาหกรรมอาหารสัตว์

1. Metal amino acid complex ผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากการรวมตัวกันเป็นสารประกอบ (complexing) ระหว่างเกลือโลหะที่ละลายได้ (soluble metal salt) กับกรดอะมิโนโดยมีอัตราส่วนของโมเลกุลโลหะต่อกรดอะมิโนเท่ากับ 1:1 และต้องระบุปริมาณต่ำสุดของโลหะที่ประกอบอยู่และระบุให้ชัดเจนว่าเป็นสารประกอบชนิดใด เช่น คอปเปอร์อะมิโนแอซิดคอมเพล็กซ์ (copper amino acid complex) ซิงค์อะมิโนแอซิดคอมเพล็กซ์ (zinc amino acid complex)

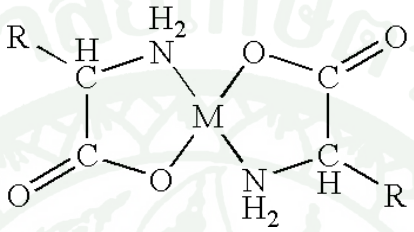
2. Metal amino acid chelate ผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากปฏิกิริยา (reaction) ของไอออน (metal ion) จากเกลือโลหะที่ละลายได้กับกรดอะมิโนในอัตราส่วนของโมเลกุลโลหะต่อกรดอะมิโนเท่ากับ 1:1-3 (ส่วนมากเป็น 1:2) สร้างพันธะโคออดิเนทโควาเลนท์ (coordinate covalent bonds) โดยกรดอะมิโนนั้นต้องมีน้ำหนักไม่เกิน 150 ดาลตันและคีเลทที่เกิดขึ้นต้องมีน้ำหนักไม่เกิน 800 ดาลตัน และต้องระบุปริมาณต่ำสุดของโลหะที่ประกอบอยู่และสามารถบอกได้ชัดเจนว่าเป็นคีเลทชนิดใด เช่น แมกนีเซียมอะมิโนแอซิดคีเลท (magnesium amino acid chelate) ซิงค์อะมิโนแอซิดคีเลท (zinc amino acid chelate)

3. Metal proteinate ผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากการจับกันแบบคีเลท (chelation) ของเกลือโลหะที่ละลายได้กับกรดอะมิโนหรือไฮโดรไลซ์โปรตีน (hydrolyzed protein) และจะต้องระบุ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

องค์ประกอบที่จำเพาะของโลหะโปรติเนทว่าเป็นชนิดใด เช่น คอปเปอร์โปรติเนท ซิงค์โปรติเนท แมกนีเซียมโปรติเนท เป็นต้น

4. Metal polysaccharide complex ผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากการรวมตัวกันเป็นสารประกอบ (complexing) ของเกลือที่ละลายได้กับโพลี่แซคคาไรด์ (polysaccharide solution) (Association of American Feed Control Officials [AAFCO], 1997)



ภาพที่ 3 โครงสร้างของแร่ธาตุอะมิโน เอซิด คีเลท (Metal amino acid chelate)
ที่มา: http://www.freepatentsonline.com/6607711-0-large.jpg

ความเสถียร (stability)

ความเสถียรของคีเลทหมายถึงความหนาแน่นในการจับกันระหว่างไอออนกับลิแกนด์ถือว่ามีความสำคัญในการแสดงบทบาททางโภชนะของคีเลท ถ้าคีเลทนั้นมีความเสถียรมากเกินไปร่างกายก็ไม่สามารถย่อยคีเลทนั้นได้ ถ้าคีเลทมีความเสถียรต่ำเกินไป คีเลทนั้นก็จะแตกตัวในกระเพาะอาหารก่อนที่จะถึงลำไส้เล็ก ซึ่งกรณีนี้จะทำให้คีเลทนั้นไม่แตกต่างจากแร่ธาตุอนินทรีย์ ปัจจัยที่มีผลต่อความเสถียรของคีเลทพอที่จะสรุปได้ดังนี้

1. ขนาดของวงแหวน ลิแกนด์ที่สร้างวงแหวน 6 เหลี่ยมจะทำให้เกิดคีเลทที่มีความเสถียรดีที่สุด ลิแกนด์ในกลุ่มนี้ได้แก่ แอลฟ่า อะมิโน แอซิด เช่น ไกลซีน (glycine) สามารถสร้างคีเลทที่มีความเสถียรที่ดีได้ ส่วนกรดซิตริก (citric acid) กรดฟูมาริก (fumaric acid) และกรดกลูคานิก (glucanic acid) ไม่สามารถสร้างคีเลทที่มีโครงสร้างแบบวงแหวนที่มีความเสถียรที่ดีได้

2. จำนวนลิแกนด์ ถ้าลิแกนด์ที่เข้ามาจับกับโลหะตัวเดียวกันมีมากขึ้น คีเลทจะมีความเสถียรมากขึ้น

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

3. ความแข็งแรงของลิแกนด์ (strength) ถ้าลิแกนด์มีความแข็งแรงมากก็มีแนวโน้มที่จะสร้างคีเลทที่มีความเสถียรมาก

4. ขนาดและประจุของลิแกนด์ คีเลทที่สร้างจากลิแกนด์ที่มีขนาดเล็กและมีประจุสูงจะเป็นคีเลทที่มีความเสถียรสูง

5. ลิแกนด์ที่มีตำแหน่งในการสร้างพันธะหลายตำแหน่ง คือ มัลติเดนเตตลิแกนด์ (multidentate ligand) หมายถึงลิแกนด์ที่มีตำแหน่งในการสร้างพันธะกับโลหะมากกว่า 1 ตำแหน่ง ซึ่งมัลติเดนเตตลิแกนด์จะสร้างคีเลทที่มีความเสถียรดีกว่าโมโนเดนเตทลิแกนด์ กรดอะมิโนส่วนใหญ่เป็นลิแกนด์ที่มีตำแหน่งที่สร้างพันธะกับโลหะได้อย่างน้อย 2 ตำแหน่ง (Albion, 1994)

ความแตกต่างของแร่ธาตุคีเลท และแร่ธาตุอนินทรีย์

แร่ธาตุในรูปคีเลทจะมีความเสถียรที่ช่วง pH กว้าง ทำให้คีเลท ทนต่อสภาพการเปลี่ยนแปลง pH ในทางเดินอาหารได้ดีไม่เกิดการแตกตัวก่อนถึงตำแหน่งที่มีการดูดซึม มีการละลายได้ดี ทำให้อยู่ในสภาพที่เหมาะสมต่อการดูดซึม มีประจุไฟฟ้าเป็นกลาง ไม่ทำปฏิกิริยากับสารอื่น ๆ ในทางเดินอาหาร และกรดอะมิโนที่จับกับแร่ธาตุ เป็นตัวพาแร่ธาตุนั้นผ่านผนังเซลล์ลำไส้เข้าไปได้ (Vandergrift, 1994)

แร่ธาตุที่อยู่ในรูปเกลืออนินทรีย์เมื่อละลายจะแตกตัวให้แร่ธาตุอิออนบวก อิออนของแร่ธาตุ โดยเฉพาะของแร่ธาตุปลีกย่อยในกลุ่มทรานซิชัน ซึ่งไม่ค่อยเสถียร มีพลังงานสูง และไวในการเข้าทำปฏิกิริยา จะทำปฏิกิริยากับสารอื่น เกิดเป็นเกลือหรือสารประกอบเชิงซ้อนชนิดใหม่ ซึ่งบางชนิดอาจทำให้แร่ธาตุถูกดูดซึมได้ง่าย และอีกบางชนิดอาจไม่ละลาย แร่ธาตุไม่ถูกดูดซึมจึงเป็นผลให้แร่ธาตุซึ่งอยู่ในเกลือที่ละลายได้ถูกดูดซึม และเป็นประโยชน์ต่อสัตว์ได้น้อยลง (สาโรช, 2547)

ปริมาณการดูดซึมแร่ธาตุในรูปคีเลท และในรูปอนินทรีย์ ได้แก่ คาร์บอเนท (carbonate) ซัลเฟท (sulfate) และออกไซด์ (oxide) บริเวณลำไส้เล็กส่วนกลาง พบว่า แมกนีเซียม ทองแดง เหล็ก และสังกะสี ในรูปคีเลทมีปริมาณการดูดซึมสูงที่สุด (ตารางที่ 1) โดยปริมาณการดูดซึมแมกนีเซียมในรูปคีเลท คาร์บอเนท ซัลเฟท และออกไซด์ มีค่าเท่ากับ 94 36 23 และ 51 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ปริมาณการดูดซึมทองแดงในรูปคีเลท คาร์บอเนท ซัลเฟท และออกไซด์ มี

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ค่าเท่ากับ 35 8 11 และ 6 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ปริมาณการดูดซึมเหล็กในรูปคีเลท คาร์บอเนท ซัลเฟท และออกไซด์ มีค่าเท่ากับ 298 78 61 และ 82 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ และปริมาณการดูดซึมสังกะสีในรูปคีเลท คาร์บอเนท ซัลเฟท และออกไซด์ มีค่าเท่ากับ 191 84 66 และ 87 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ (Ashmead, 1993)

ตารางที่ 1 การดูดซึมแร่ธาตุอินทรีย์และอนินทรีย์บริเวณลำไส้เล็ก

	ปริมาณการดูดซึมแร่ธาตุบริเวณลำไส้เล็กส่วนกลาง (มก./กก.)			
	คีเลท	คาร์บอเนท	ซัลเฟท	ออกไซด์
แมกนีเซียม	94	36	23	51
ทองแดง	35	8	11	6
เหล็ก	298	78	61	82
สังกะสี	191	84	66	87

ที่มา: Ashmead (1993)

Ashmead (1979) รายงานว่ากลไกการดูดซึมแร่ธาตุเหล็กในระบบทางเดินอาหาร แร่ธาตุเหล็กในรูปคีเลทจะมีการดูดซึมบริเวณลำไส้ดีกว่าแร่ธาตุในรูปสารประกอบอนินทรีย์ โดยธาตุเหล็กในรูปคาร์บอเนท ใช้เวลาในการดูดซึมเป็น 3.6 เท่าของเหล็กในรูปคีเลท เหล็กในรูปซัลเฟทใช้เวลาในการดูดซึมเป็น 3.8 เท่าของเหล็กในรูปคีเลท และเหล็กในรูปออกไซด์ ใช้เวลาในการดูดซึมเป็น 4.9 เท่าของเหล็กในรูปคีเลท

ผลของแร่ธาตุคีเลทต่อการตอบสนองของสัตว์

Creech และคณะ (2004) ทำการเสริมแร่ธาตุรอง ซึ่งประกอบด้วย ทองแดง เหล็ก แมงกานีส และสังกะสีในรูปคีเลท เปรียบเทียบกับแร่ธาตุรองในรูปอนินทรีย์ ในอาหารสุกรหย่านม-ขุน พบว่าสุกรที่ได้รับแร่ธาตุคีเลท มีสมรรถภาพการผลิตดีขึ้น และมีปริมาณแร่ธาตุในร่างกายสูงขึ้น การเสริมแร่ธาตุคีเลทในอาหารสุกรหย่านมมีแนวโน้มช่วยให้อัตราการเจริญเติบโต อัตราการแลกเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนัก 1 กิโลกรัม และคุณภาพซากดีขึ้น (อรุณี, 2547) การเสริมแร่ธาตุทองแดงในรูปคีเลท (Cu-Lysine) ในอาหารสุกรหย่านม พบว่า ปริมาณการกินได้ อัตราการเจริญเติบโต และประสิทธิภาพการใช้อาหาร ของลูกสุกรหย่านม ที่ได้รับการเสริม

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

แร่ธาตุทองแดงในรูปคีเลทดีกว่าสุกรที่ได้รับการเสริมแร่ธาตุในรูป อนินทรีย์ (Cu sulfate) (Zhou *et al*., 1994; Close, 1998)

สุกรระยะขุนที่ได้รับการเสริมทองแดงคีเลท การขับออกของทองแดงลดลง (Spears *et al.,* 1999) การเสริมทองแดงโปรตีเนท (Cu-proteinate) ในอาหารสุกรหย่านม ที่ระดับ 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม พบว่าลูกสุกรมีการดูดซึมทองแดงดีกว่าลูกสุกรที่ได้รับการเสริมทองแดงซัลเฟทในอาหารที่ระดับ 250 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (Veum *et al.,* 2004)

การเสริมแร่ธาตุเหล็กในอาหารลูกสุกรหย่านม ในรูปเหล็กเมทไธโอนีน (Fe-methionine) เทียบกับเหล็กซัลเฟท (Fe sulfate) การใช้ประโยชน์ได้ของเหล็กเมทไธโอนีน 81 เปอร์เซ็นต์ สูงกว่าเหล็กซัลเฟทที่มีค่าการใช้ประโยชน์ได้ 68 เปอร์เซ็นต์ (Lewis *et al*., 1995) การเสริมเหล็กคีเลท ในรูปเหล็กไกลซีน (Fe-glycine) ในอาหารลูกสุกรหย่านม ช่วยเพิ่มสมรรถภาพการผลิต เพิ่มปริมาณเหล็ก ฮีโมโกลบิน และฮีมาโคคริทในเลือด (Feng *et al.,* 2007) เพิ่มปริมาณเหล็กในเนื้อเยื่อ เพิ่มการทำงานของเอนไซม์ต่อต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant enzyme) และลดปริมาณเหล็กในมูล เมื่อเทียบกับลูกสุกรหย่านมที่ได้รับการเสริมเหล็กซัลเฟท (Feng *et al.,* 2009)

Yu และคณะ (2000) รายงานว่า ลูกสุกรหย่านมที่ได้รับการเสริมเหล็กคีเลท เป็นเวลา 5 สัปดาห์ ปริมาณฮีมาโตคริท สูงขึ้น 9 เปอร์เซ็นต์ และปริมาณฮีโมโกลบินสูงขึ้น 14 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับลูกสุกรหย่านมที่ได้รับการเสริมเหล็กซัลเฟท เป็นเวลา 5 สัปดาห์ แมงกานีสคีเลท ในรูปแมงกานีส เมทไธโอนีน (Mn-methionine) มีค่าการย่อย และค่าการใช้ประโยชน์ได้สูงกว่าแมงกานีสอนินทรีย์ ในรูป แมงกานีสซัลเฟท (Mn sulfate) (Li *et al.,* 2004)

การเสริมแร่ธาตุสังกะสีคีเลท ในรูปสังกะสี เมทไธโอนีน (Zn-methionine) ในอาหารสุกร พบว่าสมรรถภาพการผลิตของสุกรที่ได้รับการเสริมแร่ธาตุสังกะสีคีเลทดีกว่าสุกรที่ได้รับการเสริมแร่ธาตุในรูป อนินทรีย์ (Zn sulfate) (Cheng *et al*., 1998) Sahin และคณะ (2005) ทำการทดลองเสริมสังกะสีจากแหล่งอินทรีย์ และอนินทรีย์เพื่อปรับปรุงสมรรถภาพการผลิตของนกกระทาพันธุ์ภายใต้สภาวะความเครียดจากความร้อน พบว่าการเสริมสังกะสีในรูปอินทรีย์ สามารถช่วยในการปรับปรุงการกินได้ น้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้น ประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหาร น้ำหนักซาก และผลผลิตของนกกระทาให้ดีขึ้น

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สังกะสีอินทรีย์ในรูปสังกะสีโปรติเนท (Zn-proteinate) มีการดูดซึมได้ดีกว่าสังกะสีอนินทรีย์ ในรูปสังกะสีซัลเฟท เมื่อพิจารณาจากความเข้มข้นของสังกะสีในซีรั่มหลังการให้อาหาร 1 ชั่วโมง (โสภณ, 2545) การสะสมของแร่ธาตุเหล็ก และสังกะสีในตับสูงขึ้นเมื่อได้รับอาหารที่เสริมแร่ธาตุเหล็กและสังกะสีในรูปอินทรีย์ (Mullis *et al.,* 2003)

ตารางที่ 2 บทบาทของแร่ธาตุรองในรูปของแร่ธาตุอินทรีย์ ต่อการตอบสนองของสุกร

แร่ธาตุ	ระยะ	สมรรถภาพการผลิต	การตอบสนอง	อ้างอิง
เหล็ก	อุ้มท้อง	การอยู่รอดของ embryo	เพิ่มขึ้น	Smyth, 1998
		ขนาดครอก	เพิ่มขึ้น	
	เลี้ยงลูก	ปริมาณอาหารที่กิน	เพิ่มขึ้น	
		การเจริญเติบโตของลูกสุกร	เพิ่มขึ้น	
		น้ำหนักหย่านม	เพิ่มขึ้น	
เหล็ก	เลี้ยงลูก	ลูกสุกรตายก่อนหย่านม	ลดลง	Ashmead, 1996
		ระยะหย่านมถึงเป็นสัตว์	ลดลง	
ทองแดง	ลูกสุกรหย่านม	การกินได้	เพิ่มขึ้น	Zhou *et al*. (1994);
		อัตราการเจริญเติบโต	เพิ่มขึ้น	Coffey *et al.* (1994);
		ประสิทธิภาพการใช้อาหาร	เพิ่มขึ้น	Close (1998)
ทองแดง	ขุน	การขับออกของทองแดง	ลดลง	Spears *et al*. (1999)
สังกะสี	ลูกสุกรหย่านม	ประสิทธิภาพการใช้อาหาร	เพิ่มขึ้น	Cheng *et al.* (1998)
สังกะสี	ขุน	การขับออกของสังกะสี	ลดลง	Spears *et al.* (1999)
สังกะสี	ลูกสุกรหย่านม	การดูดซึมเหล็ก	เพิ่มขึ้น	Swinkles *et al.* (1996)
ซีลีเนียม	แม่สุกร	ลูกสุกรตายแรกคลอด	ลดลง	Mahan and Kim (1996)
		ลูกสุกรตายก่อนหย่านม	ลดลง	
ซีลีเนียม	ขุน	คุณภาพเนื้อ	เพิ่มขึ้น	Munoz, 1997 cited by Lyons (1997)
โครเมียม	แม่สุกร	อัตราการเข้าคลอด	เพิ่มขึ้น	Campbell (1998)
โครเมียม	แม่สุกร	ขนาดครอก	เพิ่มขึ้น	Lindemann (1996)
		จำนวนลูกสุกรหย่านม	เพิ่มขึ้น	
โครเมียม	แม่สุกร	การอยู่รอดของ embryo	เพิ่มขึ้น	Bortolozzo *et al.* (1998)

ที่มา: Close (1999)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ความต้องการแร่ธาตุในสุกร

ความต้องการแร่ธาตุของสัตว์แปรผันตามชนิด อายุ การให้ผลผลิต สุขภาพ สภาพทางสรีรวิทยาของสัตว์ และปัจจัยด้านสภาพแวดล้อม (McDowell, 2003) ซึ่งในปัจจุบันพบว่าความต้องการแร่ธาตุของสัตว์มีมากขึ้นเนื่องมาจาก การเปลี่ยนแปลงพันธุกรรมของสัตว์เพื่อปรับปรุงคุณภาพของซากหรือผลผลิต เช่น คัดพันธุ์สัตว์เพื่อให้ได้สายพันธุ์ที่ผลิตเนื้อแดงสูง ซึ่งทำให้ความต้องการแร่ธาตุต่างๆ สูงตามไปด้วย การทำลายแร่ธาตุตามธรรมชาติ ส่งผลให้แร่ธาตุในธรรมชาติมีปริมาณลดน้อยลง มีการแก่งแย่งการดูดซึมระหว่างธาตุด้วยกันเอง ทำให้เกิดผลเสียต่อกระบวนการเมแทบอลิซึม ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อตัวสัตว์อีกหลาย ๆ ด้าน ถ้ามีการป้องกันไม่ให้เกิดธาตุไอออนอิสระ ปัญหานี้จะลดน้อยลง และการให้ความสำคัญในบทบาทของแร่ธาตุรอง ในด้านของการทำให้เกิดภูมิต้านทาน ระบบสืบพันธุ์ เปอร์เซ็นต์เนื้อแดง การทนต่อความเครียด (Vandergriff, 1993)

ความต้องการแมกนีเซียมในสุกร

สุกรระยะเล็กมีความต้องการแมกนีเซียมในอาหารที่ระดับ 325 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (Miller *et al.,* 1965) ระดับแมกนีเซียมที่เพียงพอต่อการเจริญเติบโต และป้องกันการขาดแมกนีเซียม ของลูกสุกรหย่านม อยู่ที่ระดับ 400 - 500 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม แม่สุกรระยะอุ้มท้องและเลี้ยงลูกมีความต้องการแมกนีเซียมในอาหาร ที่ระดับ 0.04 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเป็นความต้องการขั้นต่ำ (NRC, 1998) Harmon และคณะ (1976) รายงานว่า แม่สุกรระยะอุ้มท้องมีความต้องการแมกนีเซียมที่ระดับ 400 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และมีความต้องการแมกนีเซียมเพิ่มสูงขึ้นในระยะเลี้ยงลูก ระดับของแมกนีเซียมในอาหารที่เหมาะสมต่อการให้ผลผลิตของแม่สุกร อยู่ที่ระดับ 0.04 เปอร์เซ็นต์ (Close and Cole, 2000) ระดับสูงที่สุดของแมกนีเซียมที่ทำการเสริมลงในอาหารสุกร คือ ระดับ 0.3 เปอร์เซ็นต์ (NRC, 2005) การเสริมแมกนีเซียมที่ระดับ 0.24 เปอร์เซ็นต์ ของอาหารในระยะสั้น ก่อนส่งโรงฆ่า ช่วยลดการสูญเสียน้ำออกจากเนื้อสุกร และช่วยปรับปรุงคุณภาพซากได้ (Hamilton *et al.,* 2002)

ความต้องการโพแทสเซียมในสุกร

สุกรระยะเล็กมีความต้องการโพแทสเซียมในอาหารที่ระดับ 3 กรัมต่อกิโลกรัม และสุกรระยะรุ่น-ขุน มีความต้องการโพแทสเซียมในอาหารที่ระดับ 1.7 กรัมต่อกิโลกรัม (NRC, 1998) ลูกสุกรหย่านมมีความต้องการโพแทสเซียมในอาหาร ที่ระดับ 2.6 - 3.3 กรัมต่อกิโลกรัม (Underwood

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

and Suttle, 1999) และความต้องการโพแทสเซียมเพื่อการเจริญเติบโต อยู่ที่ระดับ 2.8 กรัมต่อกิโลกรัม (Agricultural Research Council [ARC], 1981) แม่สุกรระยะอุ้มท้อง และเลี้ยงลูกมีความต้องการโพแทสเซียมในอาหาร ที่ระดับ 0.2 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเป็นความต้องการขั้นต่ำ (NRC, 1998) ระดับของโพแทสเซียมในอาหารที่เหมาะสมต่อการให้ผลผลิตของแม่สุกร อยู่ที่ระดับ 0.25 เปอร์เซ็นต์ (Close and Cole, 2000) ระดับสูงที่สุดของโพแทสเซียมที่ทำการเสริมลงในอาหารสุกร คือ ระดับ 1 เปอร์เซ็นต์ (NRC, 2005)

ความต้องการทองแดงในสุกร

สุกรมีความต้องการทองแดงในอาหารที่ระดับ 4 - 6 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (Underwood and Suttle, 1999) การเสริมทองแดงที่ระดับ 125 – 250 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม สามารถกระตุ้นการเจริญเติบโต และเพิ่มประสิทธิภาพการใช้อาหาร (Cromwell *et al.,* 1989; Li *et al.,* 2008) การเสริมทองแดงที่ระดับ 250 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ในอาหารลูกสุกรหย่านม ช่วยกระตุ้นการเจริญเติบโตของลูกสุกร และเพิ่มปริมาณทองแดงในตับ (Hill *et al.,* 2000) การเสริมทองแดงในระดับ 500 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ในอาหารสุกรระยะรุ่น-ขุน ส่งผลให้อัตราการเจริญเติบโต และปริมาณฮีโมโกลบินของสุกรลดลง (Bunch *et al.,* 1965) แม่สุกรระยะอุ้มท้อง และเลี้ยงลูกมีความต้องการทองแดงในอาหาร ที่ระดับ 5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งเป็นความต้องการขั้นต่ำ (NRC, 1998; ARC, 1981) ระดับของทองแดงในอาหารที่เหมาะสมต่อการให้ผลผลิตของแม่สุกร อยู่ที่ระดับ 10 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (Close and Cole, 2000) และในระยะ 1 เดือนสุดท้ายของการอุ้มท้อง แม่สุกรสามารถดูดซึมทองแดงได้ถึง 50 เปอร์เซ็นต์ ของทองแดงที่มีในอาหาร ระดับสูงที่สุดของทองแดงที่ทำการเสริมลงในอาหารสุกร คือ ระดับ 250 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (NRC, 2005) อาหารที่มีเหล็กระดับสูง จะลดการดูดซึมทองแดง และลดระดับทองแดงในร่างกายสัตว์ (Spears, 2003)

ความต้องการเหล็กในสุกร

สุกรระยะเล็กมีความต้องการเหล็กในอาหาร ที่ระดับ 60-125 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งเป็นความต้องการเพื่อการเจริญเติบโต และการผลิตฮีโมโกลบิน (Underwood and Suttle, 1999) สุกรระยะรุ่น-ขุน มีความต้องการเหล็กในอาหารที่ระดับ 40-100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม สุกรสาว และแม่สุกรระยะอุ้มท้อง และเลี้ยงลูกมีความต้องการเหล็กในอาหารที่ระดับ 80 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งเป็นความต้องการขั้นต่ำ (NRC, 1998) ระดับของเหล็กในอาหารที่เหมาะสมต่อการให้ผลผลิตของ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

แม่สุกร อยู่ที่ระดับ 80-120 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (Close and Cole, 2000) ระดับสูงที่สุดของเหล็กที่ทำการเสริมลงในอาหารสุกร คือ ระดับ 3000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (NRC, 2005)

ความต้องการแมงกานีสในสุกร

สุกรมีความต้องการแมงกานีสในอาหาร ที่ระดับ 2-4 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งเป็นความต้องการเพื่อการเจริญเติบโต แม่สุกรมีความต้องการแมงกานีสเพื่อการสืบพันธุ์ โดยระยะอุ้มท้องและเลี้ยงลูกแม่สุกรมีความต้องการแมงกานีสในอาหาร ที่ระดับ 20 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งเป็นความต้องการขั้นต่ำ (NRC, 1998) ระดับของแมงกานีสในอาหารที่เหมาะสมต่อการให้ผลผลิตของแม่สุกร อยู่ที่ระดับ 20-40 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (Close and Cole, 2000) แม่สุกรที่ได้รับอาหารที่ประกอบด้วยแมงกานีส 10 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ส่งผลให้มีขนาดครอกต่ำกว่าแม่สุกรที่ได้รับการเสริมแมงกานีสที่ระดับ 84 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (Rheaume and Chavez, 1989) ระดับสูงที่สุดของแมงกานีสที่ทำการเสริมลงในอาหารสุกร คือ ระดับ 1000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (NRC, 2005)

ความต้องการสังกะสีในสุกร

สุกรมีความต้องการสังกะสีในอาหาร ที่ระดับ 24-33 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งเป็นความต้องการเพื่อการเจริญเติบโต (Hill *et al.,* 1986) ความต้องการสังกะสีเพื่อการสืบพันธุ์ของแม่สุกรสูงกว่าความต้องการเพื่อการเจริญเติบโต โดยระยะอุ้มท้อง และเลี้ยงลูกแม่สุกรมีความต้องการสังกะสีในอาหาร ที่ระดับ 50 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (NRC, 1998; ARC, 1981) ระดับของสังกะสีในอาหารที่เหมาะสมต่อการให้ผลผลิตของแม่สุกร อยู่ที่ระดับ 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (Close and Cole, 2000) ระดับสังกะสีที่เหมาะสม ในการเสริมลงในอาหารสุกรอยู่ที่ระดับ 250 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และระดับสูงที่สุดของสังกะสีที่ทำการเสริมลงในอาหารสุกร คือ ระดับ 1000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (NRC, 2005)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 3 ความต้องการแร่ธาตุของแม่สุกรในระยะอุ้มท้อง และเลี้ยงลูก

	อุ้มท้อง	เลี้ยงลูก
แคลเซียม (%)	0.75	0.75
ฟอสฟอรัสทั้งหมด (%)	0.60	0.60
ฟอสฟอรัสที่นำไปใช้ประโยชน์ได้ (%)	0.35	0.35
โซเดียม (%)	0.15	0.20
คลอไรด์ (%)	0.12	0.16
โพแทสเซียม (%)	0.20	0.20
แมกนีเซียม (%)	0.04	0.04
ทองแดง (มก./กก.)	5.00	5.00
ไอโอดีน (มก./กก.)	0.14	0.14
เหล็ก (มก./กก.)	80.00	80.00
แมงกานีส (มก./กก.)	20.00	20.00
สังกะสี (มก./กก.)	50.00	50.00
ซีลีเนียม (มก./กก.)	0.15	0.15

ที่มา: NRC (1998)

ผลของแร่ธาตุต่อการสืบพันธุ์

แม่สุกรมีการพัฒนาสายพันธุ์เพื่อให้ได้สายพันธุ์ที่ให้ผลผลิตสูง มีความต้องการโภชนะที่สูงขึ้น รวมทั้งแร่ธาตุ ในการให้ผลผลิตที่เพิ่มขึ้นแม่สุกรมีความต้องการแร่ธาตุในปริมาณที่สูงขึ้นเช่นกัน เพื่อการเจริญเติบโตของลูกสุกร และความสมบูรณ์พันธุ์ของแม่สุกรเอง แต่การเสริมแร่ธาตุในรูปอนินทรีย์ การนำไปใช้ประโยชน์ได้น้อยและรบกวนการดูดซึมโภชนะอื่น และมีการขับออกของแร่ธาตุในปริมาณที่สูง เมื่อเปรียบเทียบกับการเสริมในรูปแร่ธาตุอินทรีย์ (Mahan and Newton, 1995)

การให้แม่สุกรได้รับอาหารที่ประกอบด้วยแมกนีเซียม 0.04 เปอร์เซ็นต์ เปรียบเทียบกับ 0.09 เปอร์เซ็นต์ ในระยะอุ้มท้อง และแมกนีเซียม 0.015 เปอร์เซ็นต์ เปรียบเทียบกับ 0.065 เปอร์เซ็นต์ ในระยะเลี้ยงลูก จากการศึกษาไม่พบความแตกต่างของสมรรถภาพทางการสืบพันธุ์

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

(Harmon *et al*., 1976) แต่แม่สุกรที่ได้รับอาหารที่มีแมกนีเซียมต่ำในระยะเลี้ยงลูก จะพบปัญหาเกี่ยวกับ Negative Magnesium Balance ซึ่งระดับของแมกนีเซียม ที่มากที่สุดในสูตรอาหารสุกรอยู่ที่ประมาณ 0.3 เปอร์เซ็นต์ (NRC, 2005) จากการศึกษาของ Everts และคณะ (1998) ศึกษาความสมดุลของแคลเซียม แมกนีเซียม และฟอสฟอรัส ในอาหารแม่สุกรเลี้ยงลูก อาหารในกลุ่มทดลองทำการลดสัดส่วนของแคลเซียม และฟอสฟอรัสลง จากกลุ่มควบคุม พบว่าแม่สุกรในกลุ่มควบคุมการใช้ประโยชน์ของฟอสฟอรัสเพิ่มสูงขึ้น และลดการขับออกของฟอสฟอรัส ดังนั้นการจะเพิ่มหรือลดระดับแมกนีเซียมในอาหาร ต้องมีความสัมพันธ์กับระดับของแคลเซียม และฟอสฟอรัสด้วย

การเสริมโพแทสเซียมในอาหารระยะเลี้ยงลูก มีความสำคัญในด้านผลผลิตของน้ำนม องค์ประกอบของน้ำนมแม่สุกร เพื่อการเจริญเติบโตของลูกสุกร (Øverland *et al*., 2009) โดยโพแทสเซียมเป็นโคแฟคเตอร์ ในการสังเคราะห์โปรตีนในน้ำนม และเป็นแร่ธาตุหลักที่มีอยู่ในองค์ประกอบของน้ำนม โพแทสเซียมในน้ำนมแม่สุกรมีค่าอยู่ระหว่าง 630-650 มิลลิกรัมต่อลิตร (Harmon *et al*., 1976) การศึกษาการเสริมโพแทสเซียม ไดฟอร์เมท (potassium diformate) ในอาหารแม่สุกรระยะอุ้มท้อง และเลี้ยงลูก ที่ระดับ 0.08 เปอร์เซ็นต์ พบว่าแม่สุกรระยะอุ้มท้องมีความหนาไขมันสันหลังเพิ่มขึ้น น้ำหนักแรกคลอด และน้ำหนักหย่านมของลูกสุกรเพิ่มขึ้น และมีแนวโน้มในการเพิ่มไขมันในน้ำนมของแม่สุกร (Øverland *et al.,* 2009) ซึ่งไขมันเป็นองค์ประกอบที่สำคัญต่อระดับพลังงานในน้ำนมของแม่สุกร การขาดโพแทสเซียมในลูกสุกรจะส่งผลให้ลดความอยากกินอาหาร ส่งผลต่อการเจริญเติบโตของลูกสุกร (NRC, 2005)

แร่ธาตุรองมีผลต่อการเมแทบอลิซึมของโปรตีน คาร์โบไฮเดรท และกรดไขมัน ในการสังเคราะห์นม โดยทำหน้าที่เป็นโคแฟคเตอร์ และ metalloenzymes การดูดซึมแร่ธาตุเพิ่มขึ้นในระยะให้นมลูก เพื่อตอบสนองกับความต้องการโภชนะที่สูงซึ่งนำไปผลิตนม แร่ธาตุถูกดูดซึมมาเป็นองค์ประกอบของนม เป็นโคแฟคเตอร์ และ metalloenzymes ในการสังเคราะห์น้ำนม โดยความเข้มข้นของแร่ธาตุสังกะสี แมงกานีส และซีลีเนียมที่เสริมในอาหารแม่สุกร ส่งผลต่อความเข้มข้นของแร่ธาตุสังกะสี แมงกานีส และซีลีเนียมในน้ำนม (Hill *et al*., 1983; Mahan and Peters, 2004)

น้ำนมแม่สุกรประกอบด้วยแร่ธาตุที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโต และพัฒนาระบบต่าง ๆ ในร่างกายของลูกสุกร ซึ่งในน้ำนมมีปริมาณแคลเซียม 1900 มิลลิกรัมต่อลิตร ฟอสฟอรัส 1300 มิลลิกรัมต่อลิตร แมกนีเซียม 110 มิลลิกรัมต่อลิตร ทองแดง 1.20 มิลลิกรัมต่อลิตร เหล็ก 2 มิลลิกรัมต่อลิตร แมงกานีส 0.07 มิลลิกรัมต่อลิตร ซีลีเนียม 0.03 มิลลิกรัมต่อลิตร และสังกะสี 6.12 มิลลิกรัมต่อลิตร (Mahan and Peters, 2004)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

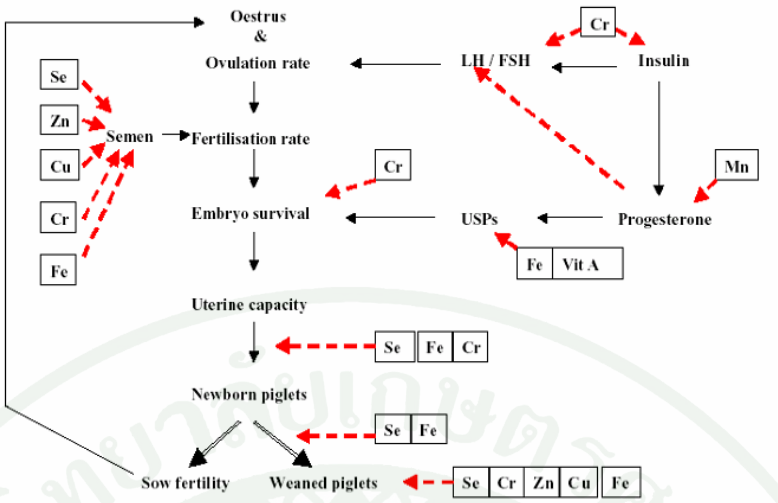
ตารางที่ 4 ปริมาณแร่ธาตุในน้ำนมของแม่สุกร

แร่ธาตุ	มิลลิกรัม/ลิตร
แคลเซียม	1900.00
ฟอสฟอรัส	1300.00
แมกนีเซียม	110.00
ทองแดง	1.20
เหล็ก	2.00
แมงกานีส	0.07
ซีลีเนียม	0.03
สังกะสี	6.12

ที่มา: Mahan and Peters (2004)

แร่ธาตุรองมีบทบาทสำคัญอย่างมากต่อระบบสืบพันธุ์ของสุกร โดยสุกรต้องการแร่ธาตุรอง เพื่อการดำรงชีวิต การแบ่งเซลล์ การเพิ่มขนาดของเซลล์ ระบบภูมิคุ้มกัน การสืบพันธุ์ และการให้ผลผลิต ในด้านการสืบพันธุ์ของแม่สุกร แต่ละระยะของวงรอบการสืบพันธุ์ ความต้องการแร่ธาตุก็จะแตกต่างกัน (ภาพที่ 4) ในช่วงระยะเวลา 12 ถึง 30 วันหลังผสม บริเวณรอบเยื่อบุมดลูกและรังไข่ มีระดับความเข้มข้นของแร่ธาตุทองแดง แมงกานีส และสังกะสีสูงกว่าปกติ (Hostetler *et al*., 2000) แร่ธาตุรองมีความสำคัญในการเป็นส่วนประกอบ และตัวกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ที่สังเคราะห์สเตอร์รอยด์ (Hurley and Doane, 1989) แร่ธาตุทองแดง เหล็ก แมงกานีส สังกะสี ซีลีเนียม และโครเมียม มีความสำคัญต่อคุณภาพน้ำเชื้อ สเตอร์รอยด์ฮอร์โมน ความสมบูรณ์ของมดลูก และรังไข่ ซึ่งจะส่งผลต่อการให้ผลผลิตของแม่สุกร (Close and Cole, 2000)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



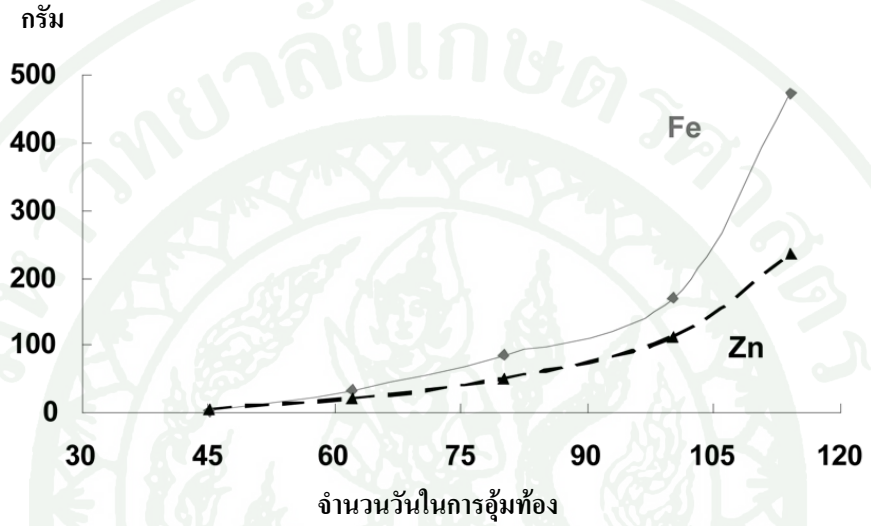
ภาพที่ 4 บทบาทของแร่ธาตุรองในระบบสืบพันธุ์สุกร
ที่มา: Close and Cole (2000)

การเสริมแร่ธาตุทองแดงในอาหารสุกรอุ้มท้อง ส่งผลให้ขนาดครอกของสุกรเพิ่มขึ้น (Cromwell *et al.,* 1993) อาจเนื่องมาจากแร่ธาตุทองแดงเป็นส่วนประกอบของ ซูปเปอร์ออกไซด์ดิสมิวเตส (superoxide dismutase; SOD) ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่พบในไซโตพลาสซึมของเซลล์โดยมีสังกะสี 2 อะตอมและทองแดง 2 อะตอมเป็นองค์ประกอบ มีหน้าที่ในการเปลี่ยนอนุมูลซูเปอร์ออกไซด์ ($2O_2^-$) ไปเป็นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์และออกซิเจน ช่วยทำหน้าที่ยับยั้งอนุมูลอิสระป้องกัน embryo จากอนุมูลอิสระ และช่วยในการมีชีวิตรอดของตัวอ่อน การเสริมแร่ธาตุทองแดงในระยะอุ้มท้อง และเลี้ยงลูก ในระดับ 60 พีพีเอ็ม ช่วยเพิ่มน้ำหนักลูกสุกรแรกคลอด และน้ำหนักลูกสุกรหย่านม (Lillie and Frobish, 1978) การสะสมของแร่ธาตุทองแดงในร่างกายของสุกรแรกคลอด จะได้รับจากแม่ผ่านรก ซึ่งระดับของแร่ธาตุทองแดงที่สะสมในร่างกายของลูกสุกรแรกคลอด จะขึ้นกับระดับของแร่ธาตุทองแดงในอาหารแม่สุกรอุ้มท้อง (Cromwell *et al.,* 1993)

การเสริมแร่ธาตุเหล็กในสุกรอุ้มท้องระดับ 100 และ 200 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ไม่พบความแตกต่างในการเพิ่มขนาดครอก และจำนวนลูกมีชีวิต แต่การเสริมแร่ธาตุรวมในอาหารสุกร การตอบสนองของระบบสืบพันธุ์สุกรจะดีกว่าการเสริมแร่ธาตุเหล็กเพียงอย่างเดียว (Lillie and Frobish, 1978) สุกรแรกคลอดมีปัญหาการขาดธาตุเหล็ก เนื่องจากมีการสะสมเหล็กในร่างกายน้อย และการสะสมเหล็กที่ตับยังขึ้นอยู่กับปริมาณของโครเมียม ทองแดง และสังกะสี ในเลือดด้วย (O'Dell and Sunde, 1997)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

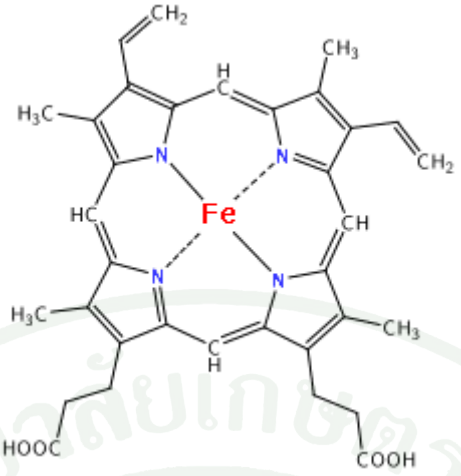
การศึกษาการเสริมธาตุเหล็กคีเลทในอาหารแม่สุกรอุ้มท้องช่วง 3 สัปดาห์สุดท้ายของการอุ้มท้อง พบว่าแม่สุกรและลูกสุกรแรกคลอดมีปริมาณของฮีโมโกลบิน และฮีมาโตคริทในพลาสมาเพิ่มสูงขึ้น และลูกสุกรแรกคลอดมีการสะสมของเหล็กที่ตับเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน (Ashmead, 1979) ปริมาณแร่ธาตุเหล็ก และสังกะสีในร่างกายของแม่สุกรเพิ่มสูงขึ้นในระยะท้ายของการอุ้มท้อง ดังแสดงในภาพที่ 5 (Mahan, 2006)



ภาพที่ 5 ปริมาณแร่ธาตุเหล็ก และสังกะสีในร่างกายแม่สุกรในแต่ละระยะของการอุ้มท้อง
ที่มา: Mahan (2006)

การเสริมธาตุเหล็กคีเลทในอาหารแม่สุกรเลี้ยงลูก ช่วยป้องกันการเกิดโลหิตจาง (anemia) จากการขาดธาตุเหล็กในลูกสุกร เนื่องจากธาตุเหล็กในน้ำนมมีระดับเพิ่มสูงขึ้น ส่งผลให้ลูกสุกรได้รับธาตุเหล็กสูงขึ้นด้วย จึงมีระดับฮีโมโกลบินในพลาสมาเพิ่มสูงขึ้นเช่นเดียวกัน (Ashmead, 1979) ซึ่งฮีโมโกลบินประกอบด้วยฮีม 4 หมู่ และฮีม 1 หมู่ มีเหล็กเป็นส่วนประกอบ 1 อะตอม (ภาพที่ 6) หากสุกรขาดธาตุเหล็กจะเป็นโรคโลหิตจางชนิดไมโครไซติค (microcytic) เซลล์เม็ดเลือดแดงจะมีขนาดเล็กมาก ความเข้มข้นของฮีโมโกลบินในเลือดของสุกร สามารถชี้วัดการเกิดสภาวะโลหิตจาง โดยฮีโมโกลบินที่ระดับ 10 g/dL เป็นระดับที่เหมาะสมและเพียงพอ ฮีโมโกลบินที่ระดับ 8 g/dL บอกให้รู้ว่าอยู่ในสภาวะเสี่ยงต่อการเกิดโลหิตจาง และฮีโมโกลบินที่ระดับ 7 g/dL หรือน้อยกว่า บ่งบอกถึงการเกิดโลหิตจางในสุกร (Zimmerman, 1980)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 6 โครงสร้างฮีมซึ่งมีเหล็กเป็นส่วนประกอบ 1 อะตอม
ที่มา: http://www.scientificpsychic.com/health/heme.gif

การเสริมแร่ธาตุแมงกานีสในอาหารแม่สุกรอุ้มท้อง ในระดับ 10 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม พบว่าน้ำหนักแรกคลอดของลูกสุกร มีค่าต่ำกว่าแม่สุกรที่ได้รับแร่ธาตุแมงกานีสระดับ 84 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (Rheaume and Chavaz, 1989) การเสริมแร่ธาตุแมงกานีสในอาหารแม่สุกรอุ้มท้อง ในระดับ 10 และ 20 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักแรกคลอดของลูกสุกรมีค่าสูงกว่าแม่สุกรที่ได้รับแร่ธาตุแมงกานีสในระดับ 5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (Christianson *et al*., 1989) และการกลับมาเป็นสัดของแม่สุกรหลังหย่านมดีขึ้น เมื่อแม่สุกรได้รับอาหารที่มีแมงกานีสในระดับ 20 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (Christianson *et al*., 1990) การสะสมของแร่ธาตุแมงกานีสในร่างกายของสุกรแรกคลอดจะได้รับจากแม่ผ่านรก ซึ่งระดับของแร่ธาตุแมงกานีสที่สะสมในร่างกายของลูกสุกรแรกคลอด จะขึ้นกับระดับของแร่ธาตุแมงกานีสในอาหารแม่สุกรอุ้มท้อง (Plumlee *et al.,* 1956) แร่ธาตุแมงกานีสเกี่ยวข้องกับเมแทบอลิซึมของคาร์โบไฮเดรท ไขมัน และโปรตีน ในการสังเคราะห์น้ำนม

ทางด้านการสืบพันธุ์แม่สุกรมีความต้องการแร่ธาตุสังกะสีเพื่อการเจริญเติบโตของตัวอ่อน การสังเคราะห์น้ำนม และการกลับคืนสภาพของมดลูกหลังคลอด (NRC, 1980) การเสริมแร่ธาตุสังกะสีในอาหารแม่สุกรอุ้มท้อง ส่งผลให้ขนาดครอกของสุกรเพิ่มขึ้น และแม่สุกรที่ได้รับอาหารที่มีปริมาณแร่ธาตุสังกะสีต่ำ จะมีขนาดครอกเล็ก แต่ไม่พบความแตกต่างของจำนวนลูกสุกรตายก่อนคลอด เมื่อเทียบกับแม่สุกรที่ได้รับอาหารที่มีแร่ธาตุสังกะสีระดับสูง (Hill *et al*., 1983) Zn enzyme มีผลต่อ arachidonic acid cascade ซึ่งเป็นองค์ประกอบของพรอสต้าแกลนดิน (Prostaglandin) โดยแร่ธาตุสังกะสีในมดลูกมีผลต่อการสังเคราะห์พรอสต้าแกลนดิน (Wauben *et al*., 1999) ในช่วงการตั้งท้องของสุกรจะมี IGF-1 (insulin-like growth factor-I) ระดับสูงในมดลูก และระดับของ IGF-1

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ลดลงเมื่อเกิดการขาดแร่ธาตุสังกะสี (MacDonald, 2000) แร่ธาตุสังกะสีเป็นส่วนประกอบของซูเปอร์ออกไซด์ดิสมิวเตส (superoxide dismutase; SOD) ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่พบในไซโตพลาสซึมของเซลล์โดยมีสังกะสี 2 อะตอมและทองแดง 2 อะตอมเป็นองค์ประกอบ มีหน้าที่ในการเปลี่ยนอนุมูลซูเปอร์ออกไซด์ ($2O_2^-$) ไปเป็นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์และออกซิเจน ช่วยทำหน้าที่ยับยั้งอนุมูลอิสระ ป้องกัน embryo จากอนุมูลอิสระ และช่วยในการมีชีวิตรอดของตัวอ่อน การสะสมของแร่ธาตุสังกะสีในร่างกายของสุกรแรกคลอด จะได้รับจากแม่ผ่านรก ซึ่งระดับของแร่ธาตุสังกะสีที่สะสมในร่างกายของลูกสุกรแรกคลอด จะขึ้นกับระดับของแร่ธาตุสังกะสีในอาหารแม่สุกรอุ้มท้อง (Hill *et al*., 1983)

Caine และคณะ (2009) ศึกษาการเสริมสังกะสี เมทไธโอนีน (Zn-methionine) ในอาหารแม่สุกรอุ้มท้องระยะสุดท้าย (อุ้มท้อง 80±2 วัน ถึงคลอด 115±2 วัน) ที่ระดับ 250 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม พบว่าแม่สุกรที่ได้รับการเสริมสังกะสี เมทไธโอนีน มีขนาดครอกเพิ่มขึ้น และลูกสุกรที่อายุ 7 วัน และหย่านม (14±2 วัน) มีปริมาณสังกะสีในซีรั่มสูงขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับแม่สุกรที่ไม่ได้รับการเสริมสังกะสี เมทไธโอนีน

Peters และ Mahan (2008) ศึกษาผลของแร่ธาตุรอง ซึ่งประกอบด้วย ทองแดง เหล็ก แมงกานีส สังกะสี และซีลีเนียม ในรูปอนินทรีย์ (metal sulfate) และในรูปอินทรีย์ (metal proteinate) ที่เสริมในอาหารแม่สุกรระยะอุ้มท้อง และเลี้ยงลูก ต่อสมรรถภาพทางการสืบพันธุ์ของแม่สุกร จากการศึกษาพบว่า แม่สุกรที่ได้รับการเสริมแร่ธาตุอินทรีย์ มีขนาดครอก และน้ำหนักครอกเพิ่มขึ้น

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. สัตว์ทดลอง

การทดลองที่ 1 ใช้แม่สุกร 2 สายพันธุ์ (ลาร์จไวท์ x แลนด์เรซ) จำนวน 152 ตัว ลำดับครอกที่ 2-6 ทำการสุ่มแม่สุกรออกเป็น 2 กลุ่มการทดลอง แต่ละกลุ่มการทดลองมีแม่สุกร 76 ตัว

การทดลองที่ 2 ใช้แม่สุกรชุดเดิมจำนวน 123 ตัว เป็นแม่สุกรที่เหลือจากตาย และคัดทิ้ง ในการทดลองที่ 1 ที่สามารถจะให้ผลผลิตต่อไปอีกได้ โดยกลุ่มควบคุมใช้แม่สุกรจำนวน 60 ตัว และกลุ่มทดลองใช้แม่สุกรจำนวน 63 ตัว

2. อาหารทดลอง

2.1 อาหารที่ใช้ในการทดลองมี 2 สูตร คือ สูตรแม่สุกรอุ้มท้อง ส่วนประกอบของอาหารและส่วนประกอบของโภชนะจากการคำนวณ แสดงในตารางที่ 5 และ 6 และสูตรแม่สุกรเลี้ยงลูก ส่วนประกอบของอาหาร และส่วนประกอบของโภชนะจากการคำนวณ ดังแสดงในตารางที่ 7 และ 8

2.2 แร่ธาตุคีเลทที่ใช้ในการทดลองมี 3 สูตร คือ คีเลท 1 คีเลท 2 และคีเลท 3 ซึ่งคีเลทสูตร 1 และ 2 จะประกอบด้วยทองแดง เหล็ก แมงกานีส และสังกะสี ส่วนในคีเลทสูตร 3 จะประกอบด้วย ทองแดง เหล็ก แมงกานีส สังกะสี โพแทสเซียม และแมกนีเซียม ดังแสดงในตารางที่ 10 โดยแร่ธาตุคีเลทที่ใช้เป็นแร่ธาตุที่ทำ chelation กับกรดอะมิโนไกลซีน (metal glycine)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 5 ส่วนประกอบของอาหารพื้นฐานสูตรแม่สุกรอุ้มท้องที่ใช้ในการทดลอง

ส่วนประกอบของอาหาร	เปอร์เซ็นต์
ปลายข้าว	14.79
ข้าวโพด	14.79
มันสำปะหลัง	14.79
รำละเอียด	23.67
รำสกัดน้ำมัน	9.86
กากถั่วเหลือง (โปรตีน 44%)	12.82
ไก่ป่น (โปรตีน 60%)	4.93
ไขมัน	1.97
แอล-ไลซีน	0.10
ไดแคลเซียมฟอสเฟต (โปรตีน 18%)	1.68
เกลือ	0.35
พรีมิกซ์	0.20
รวม	100.00

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 6 ส่วนประกอบโภชนะของอาหารพื้นฐานสูตรแม่สุกรอุ้มท้องที่ใช้ในการทดลอง

ส่วนประกอบโภชนะโดยการคำนวณ	
พลังงานใช้ประโยชน์ได้สำหรับสุกร (แคลอรี่/กรัม)	3052.76
โปรตีน (%)	15.56
ไขมัน (%)	7.03
เยื่อใย (%)	5.68
แคลเซียม (%)	0.92
ฟอสฟอรัสทั้งหมด (%)	1.13
ฟอสฟอรัสที่ใช้ประโยชน์ได้สำหรับสุกร (%)	0.50
เกลือ (%)	0.48
ไลซีน (%)	0.87
เมธไทโอนีน (%)	0.26
เมธไทโอนีน + ซิสทีน (%)	0.47
ทรีโอนีน (%)	0.55
ทริปโตเฟน (%)	0.21

หมายเหตุ จากการวิเคราะห์อาหารควบคุมพบว่ามีโพแทสเซียม 8.56 ก./กก. แมกนีเซียม 2.62 ก./กก. ทองแดง 51.37 มก./กก. เหล็ก 482.55 มก./กก. แมงกานีส 73.92 มก./กก. และสังกะสี 182.76 มก./กก.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 7 ส่วนประกอบของอาหารพื้นฐานสูตรแม่สุกรเลี้ยงลูกที่ใช้ในการทดลอง

ส่วนประกอบของอาหาร	เปอร์เซ็นต์
ปลายข้าว	15.05
ข้าวโพด	15.05
มันสำปะหลัง	15.05
รำละเอียด	21.07
กากถั่วเหลือง (โปรตีน 44%)	14.04
ถั่วเหลืองอบชนิดไขมันเต็ม	10.03
ไก่ป่น (โปรตีน 60%)	5.02
ไขมัน	2.31
แอล-ไลซีน	0.08
ไดแคลเซียมฟอสเฟต (โปรตีน 18%)	1.71
เกลือ	0.35
พรีมิกซ์	0.20
รวม	100.00

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 8 ส่วนประกอบโภชนะของอาหารพื้นฐานสูตรแม่สุกรเลี้ยงลูกที่ใช้ในการทดลอง

ส่วนประกอบโภชนะโดยการคำนวณ	
พลังงานใช้ประโยชน์ได้สำหรับสุกร (แคลอรี่/กรัม)	3203.85
โปรตีน (%)	18.09
ไขมัน (%)	8.68
เยื่อใย (%)	4.85
แคลเซียม (%)	0.95
ฟอสฟอรัสทั้งหมด (%)	1.02
ฟอสฟอรัสที่ใช้ประโยชน์ได้สำหรับสุกร (%)	0.49
เกลือ (%)	0.48
ไลซีน (%)	1.02
เมธไทโอนีน (%)	0.29
เมธไทโอนีน + ซิสทีน (%)	0.54
ทรีโอนีน (%)	0.66
ทริปโตเฟน (%)	0.25
โคลีน (มก./กก.)	1104.53
โซเดียม (%)	0.17

หมายเหตุ จากการวิเคราะห์อาหารควบคุมพบว่ามีโพแทสเซียม 8.74 ก./กก. แมกนีเซียม 2.67 ก./กก. ทองแดง 39.57 มก./กก. เหล็ก 465.15 มก./กก. แมงกานีส 65.27 มก./กก. และสังกะสี 158.41 มก./กก.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 9 ส่วนประกอบของวิตามินและแร่ธาตุใน 1 กิโลกรัมของพรีมิกซ์

ส่วนประกอบ	ปริมาณ
วิตามินเอ (หน่วยสากล)	8,000,000.00
วิตามินดี3 (หน่วยสากล)	1,200,000.00
วิตามินอี (ก./กก.)	18.00
วิตามินเค 3 (มก./กก.)	1,600.00
วิตามินบี 1 (มก./กก.)	800.00
วิตามินบี 2 (มก./กก.)	2,400.00
วิตามินบี 6 (มก./กก.)	800.00
วิตามินบี 12 (มก./กก.)	8.00
กรดนิโคทินิก (มก./กก.)	10,000.00
กรดโฟลิก (มก./กก.)	400.00
ไบโอติน (มก./กก.)	80.00
โคลีน (มก./กก.)	80,000.00
แคลเซียม แพนโททีเนต (มก./กก.)	7,200.00
เหล็ก (ก./กก.)	48.00
สังกะสี (ก./กก.)	40.00
ทองแดง (ก./กก.)	10.00
แมงกานีส (ก./กก.)	24.00
โคบอลต์ (มก./กก.)	240.00
ไอโอดีน (มก./กก.)	400.00
ซีลีเนียม (มก./กก.)	60.00

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 10 ส่วนประกอบของแร่ธาตุคีเลทใน 1 กิโลกรัมของแร่ธาตุ

แร่ธาตุ	หย่านมถึงก่อนคลอด 1 เดือน (คีเลท 1)[1]	1 เดือนก่อนคลอด (คีเลท 2)[1]	เลี้ยงลูก (คีเลท 3)[1]
ทองแดง (ก./กก.)	1.50	2.00	2.00
เหล็ก (ก./กก.)	50.00	100.00	45.00
แมงกานีส (ก./กก.)	6.00	20.00	10.00
สังกะสี (ก./กก.)	15.00	40.00	23.00
โพแทสเซียม (ก./กก.)	-	-	60.00
แมกนีเซียม (ก./กก.)	-	-	20.00

หมายเหตุ [1] แร่ธาตุซึ่งทำ chelation กับกรดอะมิโนไกลซีน (metal glycine)

3. โรงเรือนและคอกทดลอง

สัตว์ทดลองเลี้ยงในโรงเรือนระบบเปิด แม่สุกรหย่านมและแม่สุกรอุ้มท้องอยู่ในกรงตับที่มีความกว้าง x ยาว x สูง เท่ากับ 70 ซม. x 230 ซม. x 150 ซม. แม่สุกรเลี้ยงลูกอยู่ในซองบังคับที่มีความกว้าง x ยาว x สูง เท่ากับ 70 ซม. x 230 ซม. x 150 ซม. โดยคอกเลี้ยงลูกมีความกว้าง x ยาว x สูง เท่ากับ 200 ซม. x 230 ซม. x 50 ซม.

4. อุปกรณ์อื่น ๆ

4.1 เครื่องผสมอาหาร

4.2 เทอร์โมมิเตอร์สำหรับวัดอุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์

4.3 อุปกรณ์สำหรับเก็บตัวอย่างเลือด

4.4 อุปกรณ์และสารเคมีสำหรับวิเคราะห์หาระดับแร่ธาตุในซีรั่มสุกร

4.5 อุปกรณ์และสารเคมีสำหรับวิเคราะห์หาระดับฮีมาโตคริท และฮีโมโกลบินในเลือดของลูกสุกร

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิธีการ

1. การศึกษาผลของการเสริมคีเลทในอาหารต่อสมรรถภาพการผลิตของแม่สุกร

การทดลองที่ 1

แบ่งแม่สุกรออกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มควบคุมจะได้รับอาหารสูตรพื้นฐาน และกลุ่มทดลองจะได้รับอาหารสูตรพื้นฐาน โดยมีการเสริมแร่ธาตุคีเลท 3 ระยะคือ ระยะอุ้มท้อง 1 เดือนก่อนคลอดจะได้รับแร่ธาตุคีเลทสูตร 2 ในปริมาณ 1 กิโลกรัมต่อตัน ในระยะเลี้ยงลูกจะได้รับแร่ธาตุคีเลทสูตร 3 ในปริมาณ 1 กิโลกรัมต่อตัน และในระยะหย่านมถึงผสมพันธุ์ 30 วัน จะได้รับแร่ธาตุคีเลทสูตร 1 ในปริมาณ 0.5 กิโลกรัมต่อตัน

การทดลองที่ 2 (เป็นการเสริมต่อเนื่องจากการทดลองที่ 1)

แบ่งแม่สุกรออกเป็น 2 กลุ่ม โดยใช้แม่สุกรจากกลุ่มเดิมในการทดลองที่ 1 กลุ่มควบคุมจะได้รับอาหารสูตรพื้นฐานเหมือนเดิม และกลุ่มทดลองจะได้รับอาหารสูตรพื้นฐาน และเสริมแร่ธาตุคีเลทดังนี้ ในระยะหย่านมจนถึงก่อนคลอด 1 เดือน จะได้รับแร่ธาตุคีเลทสูตร 1 ในปริมาณ 0.5 กิโลกรัมต่อตัน ในระยะ 1 เดือนก่อนคลอด จะได้รับการเสริมแร่ธาตุคีเลทสูตร 2 ในปริมาณ 1 กิโลกรัมต่อตัน ในระยะเลี้ยงลูกจะได้รับการเสริมแร่ธาตุคีเลทสูตร 3 ในปริมาณ 1 กิโลกรัมต่อตัน และในระยะหย่านมจนถึงผสมได้ จะได้รับแร่ธาตุคีเลทสูตร 1 ในปริมาณ 0.5 กิโลกรัมต่อตัน ในสูตรอาหาร ซึ่งส่วนประกอบของแร่ธาตุคีเลท แสดงในตารางที่ 10

1.1 การให้อาหาร แม่สุกรในระยะหย่านม จนถึง 1 เดือนก่อนคลอด แม่สุกรทั้ง 2 กลุ่มจะได้รับอาหารวันละ 1 ครั้ง ปริมาณครั้งละ 2.0-3.0 กิโลกรัม ในระยะอุ้มท้อง 1 เดือนก่อนคลอด จะได้รับอาหาร 3.0 กิโลกรัม และในระยะเลี้ยงลูกจะได้รับอาหารวันละ 3 ครั้ง ครั้งละ 1.5-3.0 กิโลกรัม ตามสภาพร่างกายของแม่สุกร

1.2 การบันทึกข้อมูล

1.2.1 ปริมาณอาหารที่กิน

1.2.2 ระยะเวลาจากหย่านมจนเป็นสัด

1.2.3 การกลับสัด (ที่ 21 วัน)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

1.2.4 สุขภาพแม่สุกร

1.2.5 จำนวนลูกสุกรแรกคลอดทั้งหมด

1.2.6 จำนวนลูกสุกรแรกคลอดมีชีวิต

1.2.7 จำนวนลูกสุกรตายแรกคลอด

1.2.8 น้ำหนักลูกสุกรแรกคลอดทั้งหมด

1.2.9 น้ำหนักลูกสุกรแรกคลอดมีชีวิต

1.2.10 จำนวนลูกสุกรตายก่อนหย่านม

1.2.11 จำนวนลูกสุกรเมื่ออายุ 21 วัน

1.2.12 น้ำหนักลูกสุกรเมื่ออายุ 21 วัน

2. การศึกษาผลของการเสริมแร่ธาตุคีเลทในอาหารต่อปริมาณแร่ธาตุในซีรั่มของแม่สุกร

การศึกษาผลของการเสริมคีเลทในอาหาร ต่อปริมาณแร่ธาตุทองแดง เหล็ก สังกะสี แมงกานีส แมกนีเซียม และโพแทสเซียม ในซีรั่มของแม่สุกร ทำการวิเคราะห์หาปริมาณแร่ธาตุในซีรั่มโดยเครื่อง Atomic Absorbtion Spectrometer (SHIMAZU AA-680) วิธีการทดสอบอ้างอิงจาก Analytical Methods for Atomic Absorbtion Spectroscopy (1996) และ Sullivan and Carpenter (1993)

การเก็บตัวอย่างซีรั่ม ทำการเก็บตัวอย่างซีรั่มโดยสุ่มแม่สุกร กลุ่มละ 6 ตัว ทำการเจาะเลือดเก็บซีรั่มบริเวณเส้นเลือดดำที่คอ ทำการเก็บตัวอย่างซีรั่มทั้งหมด 7 ครั้ง โดยการทดลองที่ 1 เก็บทั้งหมด 4 ครั้งคือ ก่อนทำการเสริมแร่ธาตุคีเลทให้กับแม่สุกร (แม่สุกรอุ้มท้อง 11 สัปดาห์) แม่สุกรอุ้มท้อง 16 สัปดาห์ แม่สุกรเลี้ยงลูกก่อนหย่านม 1 วัน (วันที่ 20 ของการเลี้ยงลูก) และแม่สุกรหลังผสมพันธุ์ 30 วัน การทดลองที่ 2 เก็บทั้งหมด 3 ครั้งคือ แม่สุกรอุ้มท้อง 16 สัปดาห์ แม่สุกรเลี้ยงลูกก่อนหย่านม 1 วัน (วันที่ 20 ของการเลี้ยงลูก) และแม่สุกรหลังผสมพันธุ์ 30 วัน โดยทำการเก็บตัวอย่างซีรั่มแม่สุกรซ้ำตัวเดิมที่เก็บในการทดลองที่ 1 เพื่อนำไปวิเคราะห์หาระดับแร่ธาตุในซีรั่มของแม่สุกร

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

3. การศึกษาผลของการเสริมแร่ธาตุคีเลทในอาหารแม่สุกรต่อปริมาณฮีโมโกลบินและฮีมาโตคริทในเลือดของลูกสุกร

การศึกษาผลของการเสริมแร่ธาตุคีเลทในอาหารแม่สุกรต่อปริมาณฮีโมโกลบินและฮีมาโตคริทในเลือดของลูกสุกร ทำการสุ่มแม่สุกรกลุ่มละ 20 ตัว เพื่อเก็บตัวอย่างเลือดของลูกสุกรแรกคลอด ทำการเก็บตัวอย่างเลือดลูกสุกร 2 ตัวต่อแม่สุกร 1 ตัว เก็บเลือดจากสายสะดือของลูกสุกรแรกคลอด โดยใช้หลอดที่มีสารป้องกันเลือดแข็งตัว (EDTA)

การวิเคราะห์หาปริมาณฮีมาโตคริท และปริมาณฮีโมโกลบินในเลือด ด้วยเครื่องวิเคราะห์อัตโนมัติ (Automated Hematology Analyzer)

4. การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

เมื่อสิ้นสุดการทดลองนำข้อมูลที่ได้มาคำนวณค่าเฉลี่ยและค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน เพื่อตรวจสอบความแตกต่างระหว่างทรีทเมนต์ด้วยวิธี T-test

5. สถานที่ทำการทดลอง

5.1 ฟาร์มอะกริฟีด แอนด์ ไลฟ์สต็อค จำกัด ต.เขาขลุง อ.บ้านโป่ง จ.ราชบุรี

5.2 วิเคราะห์โภชนะในอาหารสัตว์ ณ สถาบันค้นคว้า และพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ บางเขน กรุงเทพฯ

5.3 วิเคราะห์แร่ธาตุในซีรั่ม ณ ห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ดินและปุ๋ย ศูนย์ปฏิบัติการวิจัยและเรือนปลูกพืชทดลอง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม

5.4 วิเคราะห์ฮีโมโกลบิน และฮีมาโตคริท ณ ห้องปฏิบัติการตรวจโรคทางเทคนิคการสัตวแพทย์ คณะเทคนิคการสัตวแพทย์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ บางเขน กรุงเทพฯ

6. ระยะเวลาทำการทดลอง

เริ่มทำการทดลอง: พฤษภาคม 2551

สิ้นสุดการทดลอง: กรกฎาคม 2552

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ผลและวิจารณ์

ผล

สมรรถภาพทางการสืบพันธุ์ ของแม่สุกรในการทดลองที่ 1

1. จำนวนลูกสุกรแรกคลอดเฉลี่ยต่อครอก

จากการทดลองพบว่าแม่สุกรกลุ่มที่ได้รับอาหารสูตรควบคุม และแม่สุกรกลุ่มที่ได้รับอาหารเสริมแร่ธาตุคีเลท ในระยะอุ้มท้องก่อนคลอด 1 เดือน มีจำนวนลูกแรกคลอดทั้งหมดต่อครอกเฉลี่ยเท่ากับ 12.04 และ 11.84 ตัวตามลำดับ แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) ดังแสดงในตารางที่ 11

2. จำนวนลูกสุกรมีชีวิตเฉลี่ยต่อครอก

พบว่าจำนวนลูกสุกรแรกคลอดมีชีวิตต่อครอกของแม่สุกรในกลุ่มควบคุม และกลุ่มทดลองที่มีการเสริมแร่ธาตุคีเลท มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 10.64 และ 10.80 ตัว ตามลำดับ ซึ่งแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) ดังแสดงในตารางที่ 11

3. เปอร์เซ็นต์การตายแรกคลอดของลูกสุกร

พบว่าเปอร์เซ็นต์การตายแรกคลอดของลูกสุกรในกลุ่มควบคุม และกลุ่มทดลองที่แม่สุกรได้รับการเสริมแร่ธาตุคีเลท ในระยะ 1 เดือนก่อนคลอด มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 11.58 และ 8.77 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) ดังแสดงในตารางที่ 11

4. เปอร์เซ็นต์ลูกกรอก

พบว่าแม่สุกรกลุ่มควบคุม และแม่สุกรทดลองที่ได้รับการเสริมแร่ธาตุคีเลท ในระยะ 1 เดือนก่อนคลอด มีเปอร์เซ็นต์ลูกกรอกเฉลี่ยต่อครอกเท่ากับ 3.71 และ 2.55 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) ดังแสดงในตารางที่ 11

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

5. น้ำหนักลูกสุกรแรกคลอดมีชีวิตเฉลี่ยต่อตัว

จากการทดลองพบว่าน้ำหนักลูกสุกรแรกคลอดมีชีวิตเฉลี่ยต่อตัว ที่เกิดจากแม่สุกรในกลุ่มควบคุม และกลุ่มทดลองที่ได้รับการเสริมแร่ธาตุคีเลทในระยะ 1 เดือนก่อนคลอด มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.57 และ 1.67 กิโลกรัม ตามลำดับ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 11 จากการศึกษา ถึงเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักลูกสุกรแรกคลอดมีชีวิต โดยแบ่งน้ำหนักลูกสุกรแรกคลอดออกเป็น 4 กลุ่มคือ กลุ่มที่ 1 ลูกสุกรมีน้ำหนักแรกคลอดต่ำกว่า 1 กิโลกรัม กลุ่มที่ 2 ลูกสุกรมีน้ำหนักแรกคลอด อยู่ในช่วง 1.0-1.2 กิโลกรัม กลุ่มที่ 3 ลูกสุกรมีน้ำหนักแรกคลอด อยู่ในช่วง 1.3-1.4 กิโลกรัม และกลุ่มที่ 4 ลูกสุกรมีน้ำหนักแรกคลอด ตั้งแต่ 1.5 กิโลกรัมขึ้นไป พบว่าเปอร์เซ็นต์ของลูกสุกรแรกคลอดมีชีวิตที่มีน้ำหนักน้อยกว่า 1 กิโลกรัม 1.0-1.2 กิโลกรัม 1.3-1.4 กิโลกรัม และตั้งแต่ 1.5 กิโลกรัมขึ้นไป ของแม่สุกรในกลุ่มควบคุม และกลุ่มทดลอง มีค่าเท่ากับ 3.88, 2.05; 10.47, 10.02; 14.74,12.03 และ 70.70, 75.90 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ดังแสดงในภาพที่ 7

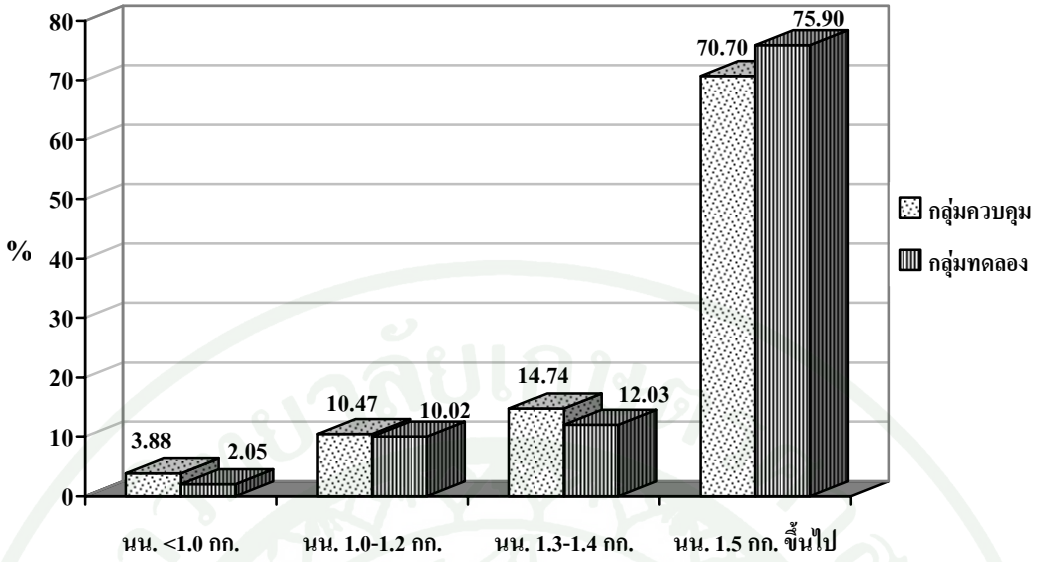
6. จำนวนลูกสุกรหย่านมเฉลี่ยต่อครอก

พบว่าจำนวนลูกสุกรหย่านมของแม่สุกรในกลุ่มควบคุม มีค่าต่ำกว่าจำนวนลูกสุกรหย่านมของแม่สุกรในกลุ่มทดลองที่เสริมแร่ธาตุคีเลท โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 9.31 และ 9.77 ตัว ตามลำดับ แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 11

7. เปอร์เซ็นต์การตายของลูกสุกรก่อนหย่านม

พบว่าเปอร์เซ็นต์การตายของลูกสุกรก่อนหย่านมของแม่สุกรในกลุ่มควบคุมมีค่าสูงกว่าแม่สุกรในกลุ่มทดลองที่เสริมแร่ธาตุคีเลท ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 12.48 และ 9.50 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 11

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

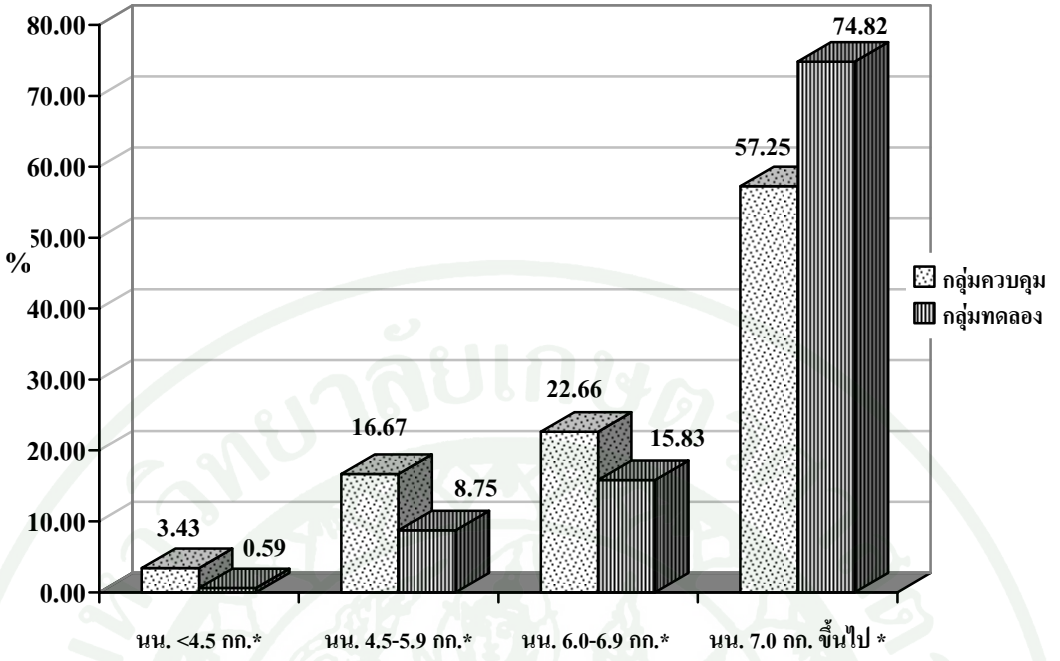


ภาพที่ 7 เปอร์เซ็นต์ลูกสุกรแรกคลอดมีชีวิตที่มีน้ำหนักอยู่ในช่วงน้อยกว่า 1 กก. น้ำหนัก 1.0-1.2 กก. น้ำหนัก 1.3-1.4 กก. และน้ำหนัก 1.5 กก. ขึ้นไป (การทดลองที่ 1)

8. น้ำหนักลูกสุกรหย่านมเฉลี่ยต่อตัว

พบว่าแม่สุกรในกลุ่มทดลองที่ได้รับแร่ธาตุคีเลท ในระยะเลี้ยงลูก มีน้ำหนักลูกสุกรหย่านมเฉลี่ยต่อตัว ที่หย่านมเมื่ออายุเฉลี่ย 21 วัน สูงกว่าแม่สุกรในกลุ่มควบคุมแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P<0.01$) โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 7.88 และ 7.22 กิโลกรัม ตามลำดับ ดังแสดงไว้ในตารางที่ 11 จากการศึกษาถึงเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักลูกสุกรหย่านม โดยแบ่ง น้ำหนักลูกสุกรหย่านมออกเป็น 4 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ 1 ลูกสุกรมีน้ำหนักหย่านม น้อยกว่า 4.5 กิโลกรัม กลุ่มที่ 2 ลูกสุกรมีน้ำหนักหย่านม อยู่ในช่วง 4.5-5.9 กิโลกรัม กลุ่มที่ 3 ลูกสุกรมีน้ำหนักหย่านม อยู่ในช่วง 6.0-6.9 กิโลกรัม และกลุ่มที่ 4 ลูกสุกรมีน้ำหนักหย่านม ตั้งแต่ 7.0 กิโลกรัมขึ้นไป พบว่าเปอร์เซ็นต์ของลูกสุกรหย่านม ที่มีน้ำหนัก น้อยกว่า 4.5 กิโลกรัม 4.5-5.9 กิโลกรัม 6.0-6.9 กิโลกรัม และตั้งแต่ 7.0 กิโลกรัมขึ้นไป ของแม่สุกรในกลุ่มควบคุม และกลุ่มทดลองมีค่าเท่ากับ 3.43, 0.59; 16.67, 8.75; 22.66, 15.83 และ 57.25, 74.82 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($P<0.05$) ดังแสดงในภาพที่ 8

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 8 เปอร์เซ็นต์ลูกสุกรหย่านมที่มีน้ำหนักอยู่ในช่วงน้อยกว่า 4.5 กก. น้ำหนัก 4.5-5.9 กก. น้ำหนัก 6.0-6.9 กก. และน้ำหนัก 7.0 กก. ขึ้นไป (การทดลองที่ 1)

หมายเหตุ * ค่าที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

9. ระยะเวลาจากหย่านมจนถึงผสมพันธุ์

พบว่าระยะเวลาจากหย่านมจนถึงผสมพันธุ์ได้ของแม่สุกรกลุ่มควบคุม มีระยะเวลายาวนานกว่า แม่สุกรกลุ่มทดลองที่ได้รับแร่ธาตุคีเลท ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 5.04 และ 4.43 วัน ตามลำดับ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 12

10. อัตราการผสมติดที่ 21 วัน

พบว่าอัตราการผสมติดที่ 21 วันหลังได้รับการผสมพันธุ์ ของแม่สุกรกลุ่มควบคุม และแม่สุกรกลุ่มทดลองที่ได้รับแร่ธาตุคีเลท มีอัตราการผสมติดเท่ากับ 94.12 และ 92.75 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ แตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 12

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 11 ผลของการเสริมแร่ธาตุคีเลท ในระยะอุ้มท้อง 1 เดือนก่อนคลอด และระยะเลี้ยงลูก ต่อสมรรถภาพทางการ สืบพันธุ์ของแม่สุกร (การทดลองที่ 1)

ลักษณะ	กลุ่มควบคุม	กลุ่มทดลอง	Pooled SE	P-value
จำนวนแม่สุกร (ตัว)	76.00	76.00		
ลำดับท้องแม่สุกรเฉลี่ย	3.60	3.60		
จำนวนลูกสุกรแรกคลอดเฉลี่ยต่อครอก (ตัว)	12.04	11.84	2.66	0.60
จำนวนลูกสุกรมีชีวิตเฉลี่ยต่อครอก (ตัว)	10.64	10.80	2.48	0.70
เปอร์เซ็นต์การตายแรกคลอดของลูกสุกร (%)	11.58	8.77	0.38	0.20
เปอร์เซ็นต์ลูกกรอก (%)	3.71	2.55	0.24	0.14
น้ำหนักลูกสุกรแรกคลอดมีชีวิตเฉลี่ยต่อตัว (กก.) *	1.59[ก]	1.67[ข]	0.2	0.02
จำนวนลูกสุกรหย่านมเฉลี่ยต่อครอก (ตัว) *	9.31[ก]	9.77[ข]	1.34	0.03
เปอร์เซ็นต์การตายของลูกสุกรก่อนหย่านม (%) *	12.48[ข]	9.50[ก]	0.24	0.04
น้ำหนักลูกสุกรหย่านมเฉลี่ยต่อตัว (กก.) **	7.22[ก]	7.88[ข]	0.78	<0.01

หมายเหตุ * ค่าที่ตัวอักษรในบรรทัดเดียวกันที่แตกต่างกันแสดงค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

** ค่าที่ตัวอักษรในบรรทัดเดียวกันที่แตกต่างกันแสดงค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (P<0.01)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 12 ผลของการเสริมแร่ธาตุคีเลทในระยะหย่านมจนถึงผสมพันธุ์ได้ 30 วัน ต่อสมรรถภาพทางการสืบพันธุ์ของแม่สุกร (การทดลองที่ 1)

ลักษณะ	กลุ่มควบคุม	กลุ่มทดลอง	Pooled SE	P-value
จำนวนแม่สุกรเข้าคลอด (ตัว)	76.00	76.00		
จำนวนแม่สุกรคัดทิ้งหลังหย่านม (ตัว)	8.00	7.00		
จำนวนแม่สุกรได้รับการผสมหลังหย่านม (ตัว)	68.00	69.00		
ระยะเวลาจากหย่านมจนถึงผสมพันธุ์ (วัน) *	5.04[ข]	4.43[ก]	1.48	0.02
อัตราการผสมติดที่ 21 วัน (%)	94.12	92.75	0.9	0.96

หมายเหตุ * ค่าที่ตัวอักษรในบรรทัดเดียวกันที่แตกต่างกันแสดงค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

ผลสมรรถภาพทางการสืบพันธุ์ของแม่สุกร ในการทดลองที่ 2

จำนวนแม่สุกรในการทดลองที่ 2 ของกลุ่มควบคุม มีจำนวน 68 ตัว แต่ภายหลังผสมไปแล้ว จะมีแม่สุกรเพียง 60 ตัว ที่สามารถเข้าคลอดได้ และกลุ่มทดลอง มีแม่สุกรจำนวน 69 ตัว มีแม่สุกรที่สามารถเข้าคลอดได้จริงเพียง 63 ตัว

1. จำนวนลูกสุกรแรกคลอดเฉลี่ยต่อครอก

จากการทดลองพบว่าแม่สุกรกลุ่มควบคุม และแม่สุกรกลุ่มทดลองที่ได้รับอาหารเสริมแร่ธาตุคีเลท ในระยะอุ้มท้อง มีจำนวนลูกแรกคลอดทั้งหมดต่อครอกเฉลี่ยเท่ากับ 11.60 และ 12.38 ตัว ตามลำดับ แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 13

2. จำนวนลูกสุกรมีชีวิตเฉลี่ยต่อครอก

พบว่าจำนวนลูกแรกคลอดมีชีวิตต่อครอกของแม่สุกรในกลุ่มควบคุมและแม่สุกรกลุ่มทดลองที่ได้รับการเสริมแร่ธาตุคีเลท ในระยะอุ้มท้อง มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 10.50 และ 10.92 ตัว ตามลำดับ ซึ่งแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 13

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

3. เปอร์เซ็นต์การตายแรกคลอดของลูกสุกร

พบว่าเปอร์เซ็นต์การตายแรกคลอดของลูกสุกรในกลุ่มควบคุม และกลุ่มทดลองที่แม่สุกรได้รับการเสริมแร่ธาตุคีเลท ในระยะอุ้มท้อง มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 7.47 และ 6.41 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) ดังแสดงในตารางที่ 13

4. เปอร์เซ็นต์ลูกกรอก

พบว่าเปอร์เซ็นต์ลูกกรอกของแม่สุกรกลุ่มควบคุม และแม่สุกรทดลองที่ได้รับการเสริมแร่ธาตุคีเลท ในระยะอุ้มท้อง มีเปอร์เซ็นต์ลูกกรอกเท่ากับ 2.01 และ 3.72 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) ดังแสดงในตารางที่ 13

5. น้ำหนักลูกสุกรแรกคลอดมีชีวิตเฉลี่ยต่อตัว

จากการทดลองพบว่าน้ำหนักลูกสุกรแรกคลอดมีชีวิตต่อตัว ที่เกิดจากแม่สุกรในกลุ่มควบคุม และกลุ่มทดลองที่ได้รับการเสริมแร่ธาตุคีเลท ในระยะอุ้มท้อง มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.64 และ 1.74 กิโลกรัม ตามลำดับ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) ดังแสดงในตารางที่ 13 จากการศึกษา ถึงเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักลูกสุกรแรกคลอดมีชีวิต โดยแบ่งน้ำหนักลูกสุกรแรกคลอดออกเป็น 4 กลุ่มคือ กลุ่มที่ 1 ลูกสุกรมีน้ำหนักแรกคลอดต่ำกว่า 1 กิโลกรัม กลุ่มที่ 2 ลูกสุกรมีน้ำหนักแรกคลอด อยู่ในช่วง 1.0-1.2 กิโลกรัม กลุ่มที่ 3 ลูกสุกรมีน้ำหนักแรกคลอด อยู่ในช่วง 1.3-1.4 กิโลกรัม และกลุ่มที่ 4 ลูกสุกรมีน้ำหนักแรกคลอด ตั้งแต่ 1.5 กิโลกรัมขึ้นไป พบว่าเปอร์เซ็นต์ของลูกสุกรแรกคลอดมีชีวิตที่มีน้ำหนักน้อยกว่า 1 กิโลกรัม 1.0-1.2 กิโลกรัม และตั้งแต่ 1.5 กิโลกรัมขึ้นไป ของแม่สุกรในกลุ่มควบคุม และกลุ่มทดลอง มีค่าเท่ากับ 2.73, 0.00; 17.61, 12.81 และ 66.88, 82.63 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) และพบว่าเปอร์เซ็นต์ของลูกสุกรแรกคลอดมีชีวิตที่มีน้ำหนัก 1.3-1.4 กิโลกรัม ของแม่สุกรในกลุ่มควบคุม และกลุ่มทดลอง มีค่าเท่ากับ 12.78 และ 21.50 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) ดังแสดงในภาพที่ 9

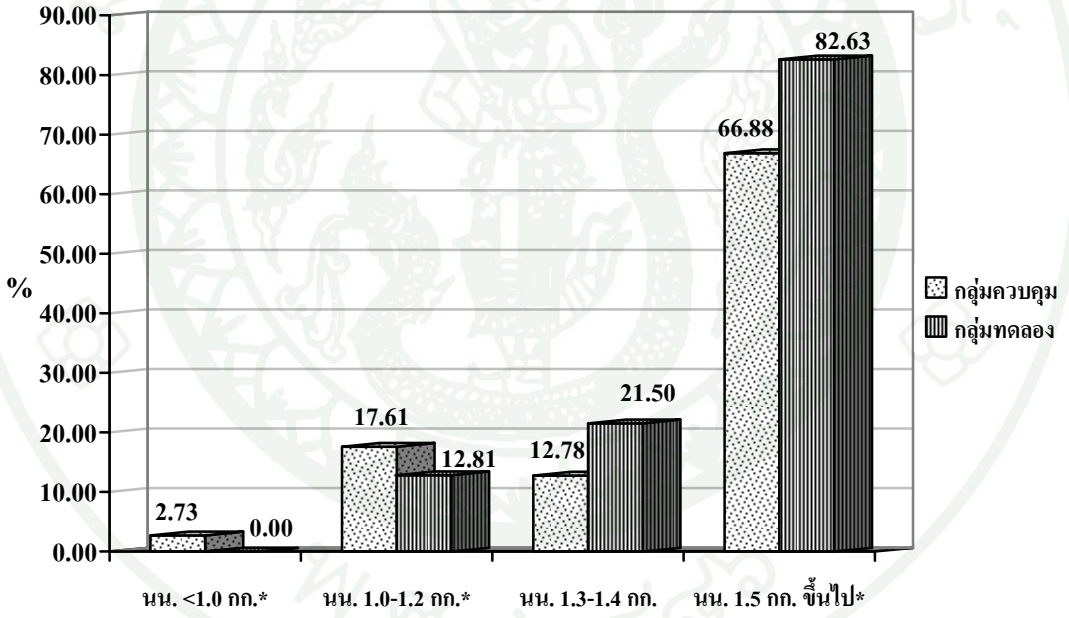
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

6. จำนวนลูกสุกรหย่านมเฉลี่ยต่อครอก

พบว่าจำนวนลูกสุกรหย่านมเฉลี่ยต่อครอกของแม่สุกรในกลุ่มทดลองที่เสริมแร่ธาตุคีเลท มีค่าเฉลี่ยสูงกว่าจำนวนลูกหย่านมของแม่สุกรในกลุ่มควบคุม โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 9.68 และ 8.95 ตัว ตามลำดับ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 13

7. เปอร์เซ็นต์การตายของลูกสุกรก่อนหย่านม

พบว่าแม่สุกรในกลุ่มทดลองที่ได้รับการเสริมแร่ธาตุคีเลท มีเปอร์เซ็นต์การตายของลูกสุกรก่อนหย่านมต่ำกว่าแม่สุกรในกลุ่มควบคุม ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.09 และ 7.57 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ดังแสดงไว้ในตารางที่ 13



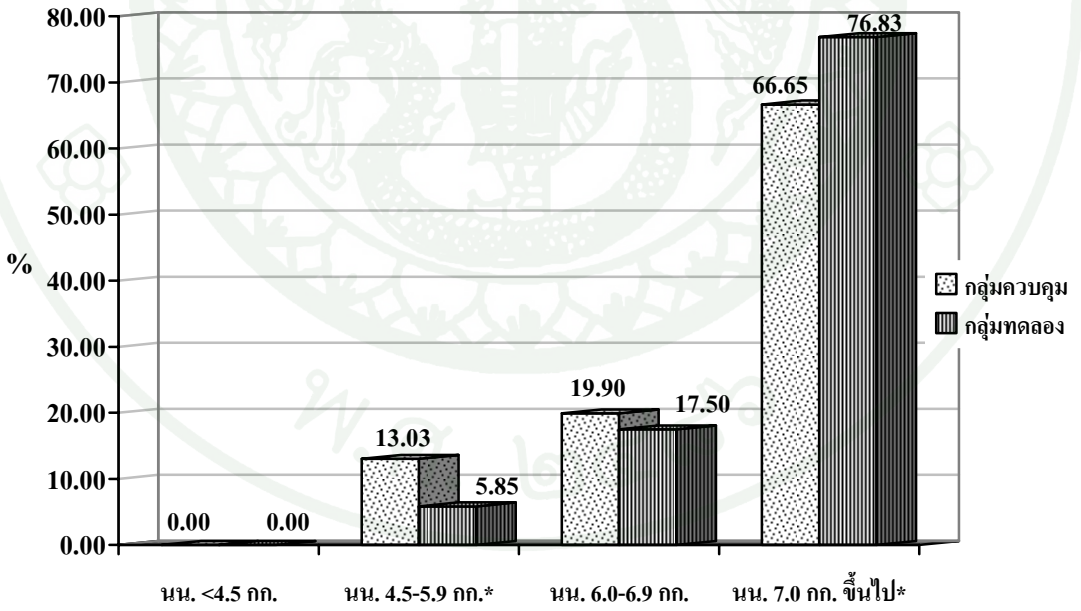
ภาพที่ 9 เปอร์เซ็นต์ลูกสุกรแรกคลอดมีชีวิตที่มีน้ำหนักอยู่ในช่วงน้อยกว่า 1 กก. น้ำหนัก 1.0-1.2 กก. น้ำหนัก 1.3-1.4 กก. และน้ำหนัก 1.5 กก. ขึ้นไป (การทดลองที่ 2)

หมายเหตุ * ค่าที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

8. น้ำหนักลูกสุกรหย่านมเฉลี่ยต่อตัว

จากการทดลองพบว่าแม่สุกรในกลุ่มทดลองที่ได้รับแร่ธาตุคีเลท มีน้ำหนักลูกสุกรหย่านมที่ 21 วัน เฉลี่ยต่อตัวสูงกว่าแม่สุกรในกลุ่มควบคุม แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 8.04 และ 7.71 กิโลกรัม ตามลำดับ ดังแสดงไว้ในตารางที่ 13 จากการศึกษาถึงเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักลูกสุกรหย่านม โดยแบ่ง น้ำหนักลูกสุกรหย่านม ออกเป็น 4 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ 1 ลูกสุกรมีน้ำหนักหย่านม น้อยกว่า 4.5 กิโลกรัม กลุ่มที่ 2 ลูกสุกรมีน้ำหนักหย่านมอยู่ในช่วง 4.5-5.9 กิโลกรัม กลุ่มที่ 3 ลูกสุกรมีน้ำหนักหย่านม อยู่ในช่วง 6.0-6.9 กิโลกรัม และกลุ่มที่ 4 ลูกสุกรมีน้ำหนักหย่านม ตั้งแต่ 7.0 กิโลกรัมขึ้นไป พบว่าเปอร์เซ็นต์ของลูกสุกรหย่านม ที่มีน้ำหนัก น้อยกว่า 4.5 กิโลกรัม และ 6.0-6.9 กิโลกรัม ของแม่สุกรในกลุ่มควบคุม และกลุ่มทดลองมีค่าเท่ากับ 0.00, 0.00 และ 19.90, 17.50 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) และพบว่าเปอร์เซ็นต์ของลูกสุกรหย่านม ที่มีน้ำหนัก 4.5-5.9 กิโลกรัม และตั้งแต่ 7.0 กิโลกรัมขึ้นไป ของแม่สุกรในกลุ่มควบคุม และกลุ่มทดลองมีค่าเท่ากับ 13.03, 5.85 และ 66.65, 76.83 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($P<0.05$) ดังแสดงในภาพที่ 10



ภาพที่ 10 เปอร์เซ็นต์ลูกสุกรหย่านมที่มีน้ำหนักอยู่ในช่วงน้อยกว่า 4.5 กก. น้ำหนัก 4.5-5.9 กก. น้ำหนัก 6.0-6.9 กก. และน้ำหนัก 7.0 กก. ขึ้นไป (การทดลองที่ 2)

หมายเหตุ * ค่าที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

9. ระยะเวลาจากหย่านมจนถึงผสมพันธุ์

พบว่าแม่สุกรกลุ่มทดลองที่ได้รับการเสริมแร่ธาตุคีเลท มีระยะเวลาจากหย่านมจนถึงผสมพันธุ์ได้สั้นกว่าแม่สุกรกลุ่มควบคุม มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.47 และ 5.45 วัน ตามลำดับ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) ดังแสดงในตารางที่ 14

10. อัตราการผสมติดที่ 21 วัน

พบว่าอัตราการผสมติดหลังได้รับการผสมพันธุ์ 21 วัน ของแม่สุกรกลุ่มควบคุม และกลุ่มทดลองที่ได้รับการเสริมแร่ธาตุคีเลท มีอัตราการผสมติดเท่ากับ 98.15 และ 95.00 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ แตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) ดังแสดงในตารางที่ 14

ตารางที่ 13 ผลของการเสริม แร่ธาตุคีเลท ในระยะอุ้มท้อง และระยะเลี้ยงลูก ต่อสมรรถภาพทางการสืบพันธุ์ของแม่สุกร (การทดลองที่ 2)

ลักษณะ	กลุ่มควบคุม	กลุ่มทดลอง	Pooled SE	P-value
จำนวนแม่สุกร (ตัว)	60.00	63.00		
ลำดับท้องแม่สุกรเฉลี่ย	4.50	4.57		
จำนวนลูกสุกรแรกคลอดเฉลี่ยต่อครอก (ตัว)	11.60	12.38	2.56	0.09
จำนวนลูกสุกรมีชีวิตเฉลี่ยต่อครอก (ตัว)	10.50	10.92	2.67	0.38
เปอร์เซ็นต์การตายแรกคลอดของลูกสุกร (%)	7.47	6.41	1.04	0.70
เปอร์เซ็นต์ลูกกรอก (%)	2.01	3.72	0.66	0.06
น้ำหนักลูกสุกรแรกคลอดมีชีวิตเฉลี่ยต่อตัว (กก.) *	1.64[ก]	1.74[ข]	0.24	0.03
จำนวนลูกสุกรหย่านมเฉลี่ยต่อครอก (ตัว) *	8.95[ก]	9.68[ข]	1.76	0.02
เปอร์เซ็นต์การตายของลูกสุกรก่อนหย่านม (%) *	7.57[ข]	4.09[ก]	0.75	0.02
น้ำหนักลูกสุกรหย่านมเฉลี่ยต่อตัว (กก.) *	7.71[ก]	8.04[ข]	0.87	0.04

หมายเหตุ * ค่าที่ตัวอักษรในบรรทัดเดียวกันที่แตกต่างกันแสดงค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 14 ผลของการเสริมแร่ธาตุคีเลท ในระยะหย่านมจนถึงผสมพันธุ์ได้ 30 วัน ต่อสมรรถภาพทางการสืบพันธุ์ของแม่สุกร (การทดลองที่ 2)

ลักษณะ	กลุ่มควบคุม	กลุ่มทดลอง	Pooled SE	P-value
จำนวนแม่สุกรเข้าคลอด (ตัว)	60.00	63.00		
จำนวนแม่สุกรคัดทิ้งหลังหย่านม (ตัว)	6.00	3.00		
จำนวนแม่สุกรได้รับการผสมหลังหย่านม (ตัว)	54.00	60.00		
ระยะเวลาจากหย่านมจนถึงผสมพันธุ์ (วัน) *	5.45[ข]	4.47[ก]	1.62	0.05
อัตราการผสมติดที่ 21 วัน (%)	98.15	95.00	0.87	0.52

หมายเหตุ * ค่าที่ตัวอักษรในบรรทัดเดียวกันที่แตกต่างกันแสดงค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

ผลวิเคราะห์ปริมาณแร่ธาตุในซีรั่มของแม่สุกร

ผลการวิเคราะห์ปริมาณแร่ธาตุโพแทสเซียม แมกนีเซียม ทองแดง เหล็ก แมงกานีส และสังกะสีในซีรั่มของแม่สุกร ซึ่งได้รับการเสริมแร่ธาตุคีเลทในอาหาร ระยะอุ้มท้อง 1 เดือนก่อนคลอด ระยะเลี้ยงลูก และระยะหย่านมถึงผสมพันธุ์ได้ 30 วันได้ผลดังนี้

1. แร่ธาตุโพแทสเซียม

การทดลองที่ 1 ก่อนการทดลองปริมาณแร่ธาตุโพแทสเซียมในซีรั่มของแม่สุกรในกลุ่มควบคุม และกลุ่มทดลอง มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 152.29 และ 152.57 พีพีเอ็ม ตามลำดับ ในระยะอุ้มท้อง 16 สัปดาห์ ปริมาณแร่ธาตุโพแทสเซียมในซีรั่มของแม่สุกรในกลุ่มควบคุม และกลุ่มทดลอง มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 155.21 และ 151.64 พีพีเอ็ม ตามลำดับ ในระยะก่อนหย่านม 1 วัน ปริมาณแร่ธาตุโพแทสเซียมในซีรั่มของแม่สุกรในกลุ่มควบคุม และกลุ่มทดลอง มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 164.99 และ 181.86 พีพีเอ็ม ตามลำดับ และในระยะหลังผสม 30 วัน ปริมาณแร่ธาตุโพแทสเซียมในซีรั่มของแม่สุกรในกลุ่มควบคุม และกลุ่มทดลอง มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 150.80 และ 176.82 พีพีเอ็ม ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของกลุ่มควบคุม และกลุ่มทดลอง แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ทั้ง 4 ระยะ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การทดลองที่ 2 ในระยะอุ้มท้อง16 สัปดาห์ ปริมาณแร่ธาตุโพแทสเซียมในซีรั่มของแม่สุกรในกลุ่มควบคุม และกลุ่มทดลอง มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 153.15 และ 169.69 พีพีเอ็ม ตามลำดับ ในระยะก่อนหย่านม 1 วัน ปริมาณแร่ธาตุโพแทสเซียมในซีรั่มของแม่สุกรในกลุ่มควบคุม และกลุ่มทดลอง มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 161.36 และ 193.76 พีพีเอ็ม ตามลำดับ และในระยะหลังผสม 30 วัน ปริมาณแร่ธาตุโพแทสเซียมในซีรั่มของแม่สุกรในกลุ่มควบคุม และกลุ่มทดลอง มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 150.84 และ 187.21 พีพีเอ็ม ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของกลุ่มควบคุม และกลุ่มทดลองแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) ทั้ง 4 ระยะ จากผลวิเคราะห์ของทั้ง 2 การทดลองให้ผลไปในทางเดียวกัน ดังแสดงในตารางที่ 15

ตารางที่ 15 ผลของการเสริมแร่ธาตุคีเลทต่อระดับแร่ธาตุโพแทสเซียมในซีรั่มของแม่สุกร

	กลุ่มควบคุม (พีพีเอ็ม)	กลุ่มทดลอง (พีพีเอ็ม)	Pooled SE	P-value
การทดลองที่ 1				
ก่อนการทดลอง	152.29	152.57	6.60	0.35
อุ้มท้อง 16 สัปดาห์	155.21	151.64	5.34	0.37
ก่อนหย่านม 1 วัน	164.99	181.86	7.40	0.62
หลังผสม 30 วัน	150.80	176.82	7.29	0.82
การทดลองที่ 2				
อุ้มท้อง 16 สัปดาห์	153.15	169.69	7.67	0.66
ก่อนหย่านม 1 วัน	161.36	193.76	9.89	0.41
หลังผสม 30 วัน	150.84	187.21	9.76	0.26

2. แร่ธาตุแมกนีเซียม

การทดลองที่ 1 ก่อนการทดลองปริมาณแร่ธาตุแมกนีเซียมในซีรั่มของแม่สุกรในกลุ่มควบคุม และกลุ่มทดลอง มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 17.78 และ 17.88 พีพีเอ็ม ตามลำดับ ในระยะอุ้มท้อง16 สัปดาห์ปริมาณแร่ธาตุแมกนีเซียมในซีรั่มของแม่สุกรในกลุ่มควบคุม และกลุ่มทดลอง มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 18.99 และ 18.18 พีพีเอ็ม ตามลำดับ ในระยะก่อนหย่านม 1 วัน ปริมาณแร่ธาตุแมกนีเซียมในซีรั่มของแม่สุกรในกลุ่มควบคุม และกลุ่มทดลอง มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 18.96 และ 21.80 พีพีเอ็ม ตามลำดับ และในระยะหลังผสม 30 วัน ปริมาณแร่ธาตุแมกนีเซียมในซีรั่มของแม่สุกรในกลุ่ม

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ควบคุม และกลุ่มทดลอง มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 17.63 และ 18.08 พีพีเอ็ม ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของกลุ่มควบคุม และกลุ่มทดลอง แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) ทั้ง 4 ระยะ

การทดลองที่ 2 ในระยะอุ้มท้อง16 สัปดาห์ ปริมาณแร่ธาตุแมกนีเซียมในซีรั่มของแม่สุกรในกลุ่มควบคุม และกลุ่มทดลอง มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 18.08 และ 17.96 พีพีเอ็ม ตามลำดับ ในระยะก่อนหย่านม 1 วัน ปริมาณแร่ธาตุแมกนีเซียมในซีรั่มของแม่สุกรในกลุ่มควบคุม และกลุ่มทดลอง มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 18.81 และ 22.08 พีพีเอ็ม ตามลำดับ และในระยะหลังผสม 30 วัน ปริมาณแร่ธาตุแมกนีเซียมในซีรั่มของแม่สุกรในกลุ่มควบคุม และกลุ่มทดลอง มีค่าเฉลี่ยเท่า 17.90 และ 18.76 พีพีเอ็ม ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของกลุ่มควบคุม และกลุ่มทดลอง แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) ทั้ง 4 ระยะ จากผลวิเคราะห์ของทั้ง 2 การทดลองให้ผลไปในทางเดียวกัน ดังแสดงในตารางที่ 16

ตารางที่ 16 ผลของการเสริมแร่ธาตุคีเลทต่อระดับแร่ธาตุแมกนีเซียมในซีรั่มของแม่สุกร

	กลุ่มควบคุม (พีพีเอ็ม)	กลุ่มทดลอง (พีพีเอ็ม)	Pooled SE	P-value
การทดลองที่ 1				
ก่อนการทดลอง	17.78	17.88	0.46	0.88
อุ้มท้อง 16 สัปดาห์	18.99	18.18	0.38	0.87
ก่อนหย่านม 1 วัน	18.96	21.80	1.04	0.95
หลังผสม 30 วัน	17.63	18.08	0.78	0.29
การทดลองที่ 2				
อุ้มท้อง 16 สัปดาห์	18.08	17.96	0.53	0.34
ก่อนหย่านม 1 วัน	18.81	22.08	0.76	0.45
หลังผสม 30 วัน	17.90	18.76	0.75	0.73

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

3. แร่ธาตุทองแดง

การทดลองที่ 1 ก่อนการทดลองปริมาณแร่ธาตุทองแดงในซีรั่มของแม่สุกรในกลุ่มควบคุม และกลุ่มทดลอง มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.48 และ 1.44 พีพีเอ็ม ตามลำดับ ในระยะอุ้มท้อง16 สัปดาห์ปริมาณแร่ธาตุทองแดงในซีรั่มของแม่สุกรในกลุ่มควบคุม และกลุ่มทดลอง มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.49 พีพีเอ็ม เท่ากันทั้ง 2 กลุ่ม ในระยะก่อนหย่านม 1 วัน ปริมาณแร่ธาตุทองแดงในซีรั่มของแม่สุกรในกลุ่มควบคุม และกลุ่มทดลอง มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.47 และ 1.65 พีพีเอ็ม ตามลำดับ และในระยะหลังผสม 30 วัน ปริมาณแร่ธาตุทองแดงในซีรั่มของแม่สุกรในกลุ่มควบคุม และกลุ่มทดลอง มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.59 และ 1.68 พีพีเอ็ม ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของกลุ่มควบคุม และกลุ่มทดลอง แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) ทั้ง 4 ระยะ

การทดลองที่ 2 ในระยะอุ้มท้อง16 สัปดาห์ ปริมาณแร่ธาตุทองแดงในซีรั่มของแม่สุกรในกลุ่มควบคุม และกลุ่มทดลอง มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.52 และ 1.61 พีพีเอ็ม ตามลำดับ ในระยะก่อนหย่านม 1 วัน ปริมาณแร่ธาตุทองแดงในซีรั่มของแม่สุกรในกลุ่มควบคุม และกลุ่มทดลอง มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.61 และ 1.69 พีพีเอ็ม ตามลำดับ และในระยะหลังผสม 30 วัน ปริมาณแร่ธาตุทองแดงในซีรั่มของแม่สุกรในกลุ่มควบคุม และกลุ่มทดลอง มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.61 และ 1.70 พีพีเอ็ม ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของกลุ่มควบคุม และกลุ่มทดลอง แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) ทั้ง 4 ระยะ จากผลวิเคราะห์ของทั้ง 2 การทดลองให้ผลไปในทางเดียวกัน ดังแสดงในตารางที่ 17

4. แร่ธาตุเหล็ก

การทดลองที่ 1 ก่อนการทดลองปริมาณแร่ธาตุเหล็กในซีรั่มของแม่สุกรในกลุ่มควบคุม และกลุ่มทดลอง มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 12.44 และ 11.62 พีพีเอ็ม ตามลำดับ ในระยะอุ้มท้อง16 สัปดาห์ ปริมาณแร่ธาตุเหล็กในซีรั่มของแม่สุกรในกลุ่มควบคุม และกลุ่มทดลอง มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 12.31 และ 12.45 พีพีเอ็ม ตามลำดับ ในระยะก่อนหย่านม 1 วัน ปริมาณแร่ธาตุเหล็กในซีรั่มของแม่สุกรในกลุ่มควบคุม และกลุ่มทดลอง มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 10.36 และ 11.75 พีพีเอ็ม ตามลำดับ และในระยะหลังผสม 30 วัน ปริมาณแร่ธาตุเหล็กในซีรั่มของแม่สุกรในกลุ่มควบคุม และกลุ่มทดลอง มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 10.62 และ 12.79 พีพีเอ็ม ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของกลุ่มควบคุม และกลุ่มทดลอง แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) ทั้ง 4 ระยะ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การทดลองที่ 2 ในระยะอุ้มท้อง16 สัปดาห์ ปริมาณแร่ธาตุเหล็กในซีรั่มของแม่สุกรในกลุ่มควบคุม และกลุ่มทดลอง มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 13.00 และ 13.62 พีพีเอ็ม ตามลำดับ ในระยะก่อนหย่านม 1 วัน ปริมาณแร่ธาตุเหล็กในซีรั่มของแม่สุกรในกลุ่มควบคุม และกลุ่มทดลอง มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 11.57 และ 12.09 พีพีเอ็ม ตามลำดับ และในระยะหลังผสม 30 วัน ปริมาณแร่ธาตุเหล็กในซีรั่มของแม่สุกรในกลุ่มควบคุม และกลุ่มทดลอง มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 11.22 และ 13.17 พีพีเอ็ม ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของกลุ่มควบคุม และกลุ่มทดลอง แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) ทั้ง 4 ระยะ จากผลวิเคราะห์ของทั้ง 2 การทดลองให้ผลไปในทางเดียวกัน ดังแสดงในตารางที่ 18

ตารางที่ 17 ผลของการเสริมแร่ธาตุคีเลทต่อระดับแร่ธาตุทองแดงในซีรั่มของแม่สุกร

	กลุ่มควบคุม (พีพีเอ็ม)	กลุ่มทดลอง (พีพีเอ็ม)	Pooled SE	P-value
การทดลองที่ 1				
ก่อนการทดลอง	1.48	1.44	0.04	0.93
อุ้มท้อง 16 สัปดาห์	1.49	1.49	0.03	0.65
ก่อนหย่านม 1 วัน	1.47	1.65	0.04	0.15
หลังผสม 30 วัน	1.59	1.68	0.04	0.72
การทดลองที่ 2				
อุ้มท้อง 16 สัปดาห์	1.52	1.61	0.03	0.26
ก่อนหย่านม 1 วัน	1.61	1.69	0.05	0.70
หลังผสม 30 วัน	1.61	1.70	0.05	0.21

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 18 ผลของการเสริมแร่ธาตุคีเลทต่อระดับแร่ธาตุเหล็กในซีรั่มของแม่สุกร

	กลุ่มควบคุม (พีพีเอ็ม)	กลุ่มทดลอง (พีพีเอ็ม)	Pooled SE	P-value
การทดลองที่ 1				
ก่อนการทดลอง	12.44	11.62	0.91	0.55
อุ้มท้อง 16 สัปดาห์	12.31	12.45	0.89	0.74
ก่อนหย่านม 1 วัน	10.36	11.75	0.53	0.56
หลังผสม 30 วัน	10.62	12.79	0.64	0.56
การทดลองที่ 2				
อุ้มท้อง 16 สัปดาห์	13.00	13.62	0.51	0.42
ก่อนหย่านม 1 วัน	11.57	12.09	0.76	0.76
หลังผสม 30 วัน	11.22	13.17	0.62	0.78

5. แร่ธาตุแมงกานีส

การทดลองที่ 1 ก่อนการทดลองปริมาณแร่ธาตุแมงกานีสในซีรั่มของแม่สุกรในกลุ่มควบคุม และกลุ่มทดลอง มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.64 และ 0.50 พีพีเอ็ม ตามลำดับ ในระยะอุ้มท้อง16 สัปดาห์ ปริมาณแร่ธาตุแมงกานีสในซีรั่มของแม่สุกรในกลุ่มควบคุม และกลุ่มทดลอง มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.65 และ 0.72 พีพีเอ็ม ตามลำดับ ในระยะก่อนหย่านม 1 วัน ปริมาณแร่ธาตุแมงกานีสในซีรั่มของแม่สุกรในกลุ่มควบคุม และกลุ่มทดลอง มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.51 และ 0.71 พีพีเอ็ม ตามลำดับ และในระยะหลังผสม 30 วัน ปริมาณแร่ธาตุแมงกานีสในซีรั่มของแม่สุกรในกลุ่มควบคุม และกลุ่มทดลอง มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.64 และ 0.91 พีพีเอ็ม ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของกลุ่มควบคุม และกลุ่มทดลอง แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ทั้ง 4 ระยะ

การทดลองที่ 2 ในระยะอุ้มท้อง16 สัปดาห์ ปริมาณแร่ธาตุแมงกานีสในซีรั่มของแม่สุกรในกลุ่มควบคุม และกลุ่มทดลอง มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.63 และ 0.85 พีพีเอ็ม ตามลำดับ ในระยะก่อนหย่านม 1 วัน ปริมาณแร่ธาตุแมงกานีสในซีรั่มของแม่สุกรในกลุ่มควบคุม และกลุ่มทดลอง มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.60 และ 0.85 พีพีเอ็ม ตามลำดับ และในระยะหลังผสม 30 วัน ปริมาณแร่ธาตุแมงกานีสในซีรั่มของแม่สุกรในกลุ่มควบคุม และกลุ่มทดลอง มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.71 และ 0.91

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

พีพีเอ็ม ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของกลุ่มควบคุม และกลุ่มทดลอง แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) ทั้ง 4 ระยะ จากผลวิเคราะห์ของทั้ง 2 การทดลองให้ผลไปในทางเดียวกัน ดังแสดงในตารางที่ 19

ตารางที่ 19 ผลของการเสริมแร่ธาตุคีเลทต่อระดับแร่ธาตุแมงกานีสในซีรั่มของแม่สุกร

	กลุ่มควบคุม (พีพีเอ็ม)	กลุ่มทดลอง (พีพีเอ็ม)	Pooled SE	P-value
การทดลองที่ 1				
ก่อนการทดลอง	0.64	0.50	0.12	0.72
อุ้มท้อง 16 สัปดาห์	0.65	0.72	0.12	0.76
ก่อนหย่านม 1 วัน	0.51	0.71	0.12	0.48
หลังผสม 30 วัน	0.64	0.91	0.09	0.68
การทดลองที่ 2				
อุ้มท้อง 16 สัปดาห์	0.63	0.85	0.10	0.58
ก่อนหย่านม 1 วัน	0.60	0.85	0.10	0.90
หลังผสม 30 วัน	0.71	0.91	0.10	0.98

6. แร่ธาตุสังกะสี

การทดลองที่ 1 ก่อนการทดลองปริมาณแร่ธาตุสังกะสีในซีรั่มของแม่สุกรในกลุ่มควบคุม และกลุ่มทดลอง มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.59 และ 1.63 พีพีเอ็ม ตามลำดับ ในระยะอุ้มท้อง16 สัปดาห์ปริมาณแร่ธาตุสังกะสีในซีรั่มของแม่สุกรในกลุ่มควบคุม และกลุ่มทดลอง มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.07 และ 1.91 พีพีเอ็ม ตามลำดับ ในระยะก่อนหย่านม 1 วัน ปริมาณแร่ธาตุสังกะสีในซีรั่มของแม่สุกรในกลุ่มควบคุม และกลุ่มทดลอง มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.53 และ 1.91 พีพีเอ็ม ตามลำดับ และในระยะหลังผสม 30 วัน ปริมาณแร่ธาตุสังกะสีในซีรั่มของแม่สุกรในกลุ่มควบคุม และกลุ่มทดลอง มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.63 และ 1.96 พีพีเอ็ม ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของกลุ่มควบคุม และกลุ่มทดลอง แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) ทั้ง 4 ระยะ

การทดลองที่ 2 ในระยะอุ้มท้อง16 สัปดาห์ ปริมาณแร่ธาตุสังกะสีในซีรั่มของแม่สุกรในกลุ่มควบคุม และกลุ่มทดลอง มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.64 และ 2.04 พีพีเอ็ม ตามลำดับ แตกต่างกันอย่างมี

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

นัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)ในระยะก่อนหย่านม 1 วัน ปริมาณแร่สังกะสีในซีรั่มของแม่สุกรในกลุ่มควบคุม และกลุ่มทดลอง มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.57 และ 2.01 พีพีเอ็ม ตามลำดับ และในระยะหลังผสม 30 วัน ปริมาณแร่ธาตุสังกะสีในซีรั่มของแม่สุกรในกลุ่มควบคุม และกลุ่มทดลอง มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.65 และ 2.00 พีพีเอ็ม ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของกลุ่มควบคุม และกลุ่มทดลองในระยะก่อนหย่านม 1 วัน และระยะหลังผสมพันธุ์ 30 วัน แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) ดังแสดงในตารางที่ 20

ตารางที่ 20 ผลของการเสริมแร่ธาตุคีเลทต่อระดับแร่ธาตุสังกะสีในซีรั่มของแม่สุกร

	กลุ่มควบคุม (พีพีเอ็ม)	กลุ่มทดลอง (พีพีเอ็ม)	Pooled SE	P-value
การทดลองที่ 1				
ก่อนการทดลอง	1.59	1.63	0.08	0.43
อุ้มท้อง 16 สัปดาห์	2.07	1.91	0.50	0.22
ก่อนหย่านม 1 วัน	1.53	1.91	0.08	0.34
หลังผสม 30 วัน	1.63	1.96	0.09	0.33
การทดลองที่ 2				
อุ้มท้อง 16 สัปดาห์*	1.64^{ก}	2.04^{ข}	0.10	0.04
ก่อนหย่านม 1 วัน	1.57	2.01	0.08	0.68
หลังผสม 30 วัน	1.65	2.00	0.09	0.41

หมายเหตุ * ค่าที่ตัวอักษรในบรรทัดเดียวกันที่แตกต่างกันแสดงค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

ผลวิเคราะห์ปริมาณฮีโมโกลบิน และฮีมาโตคริท

1. ฮีโมโกลบิน

จากผลวิเคราะห์ปริมาณฮีโมโกลบินพบว่า ลูกสุกรแรกคลอดในกลุ่มควบคุม และลูกสุกรแรกคลอดในกลุ่มทดลองมีระดับฮีโมโกลบินเท่ากับ 10.92 และ 11.98 g/dL ตามลำดับ แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) ดังแสดงในตารางที่ 21

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2. ฮีมาโตคริท

จากผลวิเคราะห์ฮีมาโตคริทพบว่า ลูกสุกรแรกคลอดในกลุ่มควบคุม และลูกสุกรแรกคลอดในกลุ่มทดลองมีเปอร์เซ็นต์ฮีมาโตคริทเท่ากับ 35.82 และ 40.05 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ แตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) ดังแสดงในตารางที่ 21

ตารางที่ 21 ผลของการเสริมแร่ธาตุคีเลทในอาหารแม่สุกรต่อระดับฮีโมโกลบิน และฮีมาโตคริทของลูกสุกรแรกคลอด

	กลุ่มควบคุม	กลุ่มทดลอง	Pooled SE	P-value
จำนวนตัวอย่าง	20.00	20.00		
ฮีโมโกลบิน (g/dL) *	10.92[ก]	11.98[ข]	0.27	0.02
ฮีมาโตคริท (%)	35.82	40.05	1.06	0.67

หมายเหตุ * ค่าที่ตัวอักษรในบรรทัดเดียวกันที่แตกต่างกันแสดงค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

วิจารณ์

วิจารณ์ผลสมรรถภาพทางการสืบพันธุ์ของแม่สุกร

1. จำนวนลูกสุกรแรกคลอดเฉลี่ยต่อครอก

ในการทดลองที่ 1 พบว่าจำนวนลูกสุกรแรกคลอดเฉลี่ยต่อครอก ของแม่สุกรในกลุ่มควบคุมมีจำนวนลูกสุกรแรกคลอดเฉลี่ยต่อครอกสูงกว่าในกลุ่มทดลองที่ได้รับการเสริมแร่ธาตุคีเลท ในระยะ 1 เดือนก่อนคลอด (P>0.05) อาจเนื่องมาจากปัจจัยอื่นมากกว่าเรื่องอาหาร เพราะปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อขนาดครอกก็คือ การตกไข่ การปฏิสนธิ และการฝังตัวของตัวอ่อนซึ่งเกิดขึ้นในระยะ 1 เดือนแรกของการผสมพันธุ์ (ศรีสุวรรณ, 2541) แต่การเสริมแร่ธาตุคีเลทจะทำในช่วง 1 เดือนก่อนคลอด ดังนั้นผลของจำนวนสุกรแรกคลอดทั้งหมดต่อครอก ของกลุ่มทดลองที่ต่ำกว่าไม่ได้มีอิทธิพลจากการเสริมแร่ธาตุคีเลท

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ในการทดลองที่ 2 จำนวนลูกสุกรแรกคลอดเฉลี่ยต่อครอก ของแม่สุกรในกลุ่มทดลอง ที่ได้รับการเสริมแร่ธาตุคีเลทในระยะอุ้มท้อง มีแนวโน้มของจำนวนลูกแรกคลอดทั้งหมดต่อครอกสูงกว่าในกลุ่มควบคุม ($P<0.10$) อาจเนื่องมาจากแม่สุกรในกลุ่มทดลองได้รับแร่ธาตุสังกะสี ทองแดง แมงกานีสและเหล็กในอาหารสูงกว่ากลุ่มควบคุม ดังแสดงในตารางผนวกที่ 1 และ 2 ประกอบกับแร่ธาตุที่แม่สุกรกลุ่มทดลองได้รับเพิ่มขึ้นมาเป็นแร่ธาตุคีเลท ซึ่งมีค่าการย่อย และการดูดซึมไปใช้ประโยชน์ได้สูงกว่าแร่ธาตุในรูปอนินทรีย์ แร่ธาตุสังกะสี ทองแดง แมงกานีส เหล็ก มีความสำคัญในการเป็นเมทัลโลเอนไซม์ (metalloenzymes) ซึ่ง มีความสำคัญต่อระบบฮอร์โมน ส่วนประกอบของเอนไซม์ และเป็นโคแฟคเตอร์ของเอนไซม์ที่สังเคราะห์โปรตีนซึ่งช่วยฟื้นฟูสภาพมดลูก รังไข่ (Peters and Mahan, 2008) โดย IGF-I มีหน้าที่ในการเตรียมความพร้อมของผนังมดลูก เพื่อรองรับการฝังตัวของตัวอ่อน (implantation) ซึ่งสังกะสีมีความสำคัญต่อการเพิ่มความสามารถในการจับกันของ IGF-I กับ IGF receptors ในผนังมดลูก (McCusker *et al.,* 1998) สังกะสียังมีความเกี่ยวเนื่องกับการทำงานของ FSH (follicle-stimulating hormone) และ LH (luteinizing hormone) ในการพัฒนาถุงหุ้มไข่ และการตกของไข่ ทองแดงเป็นส่วนประกอบของเอนไซม์คอลลาจีเนส (collagenase) ซึ่งทำให้ไข่ตกจากถุงหุ้มไข่ (Peters, 2006) ในช่วงระยะเวลา 12 ถึง 30 วันหลังผสมบริเวณรอบเยื่อบุมดลูก มีระดับความเข้มข้นของแร่ธาตุทองแดง แมงกานีส และสังกะสีสูงกว่าปกติ โดยปริมาณแร่ธาตุเพิ่มขึ้นเพื่อให้ตัวอ่อนได้ใช้ประโยชน์จากแร่ธาตุเพื่อการอยู่รอด และการพัฒนาระบบต่างๆ ในการตั้งท้องระยะแรก (Hostetler *et al*., 2000) และอีกสาเหตุที่สำคัญ ที่ส่งผลให้แม่สุกรในกลุ่มทดลอง มีแนวโน้มของจำนวนลูกสุกรแรกคลอดเฉลี่ยต่อครอกสูงกว่า แม่สุกรในกลุ่มควบคุม อาจจะมาจากการได้รับแร่ธาตุคีเลทเป็นระยะเวลานานติดต่อกัน ตั้งแต่ก่อนคลอด เลี้ยงลูก หย่านม ซึ่งแร่ธาตุคีเลท อาจจะไปช่วยเพิ่มอัตราการตกไข่ ส่งผลให้เพิ่มจำนวนไข่ที่จะได้รับการปฏิสนธิ เพิ่มการฝังตัวของตัวอ่อน และขนาดครอกเพิ่มสูงขึ้น (Hill *et a*l., 1983; Cromwell *et al*., 1993; Plumlee *et al*., 1956; Close, 1998) ดังนั้นการที่แม่สุกรได้รับแร่ธาตุคีเลทในระยะยาวติดต่อกันจะมีส่วนช่วยให้ลูกดกขึ้น

ผลที่ได้จากการทดลองที่ 2 สอดคล้องกับงานทดลองของ Peters และ Mahan (2008) ที่ศึกษาผลของแร่ธาตุรอง ซึ่งประกอบด้วย ทองแดง เหล็ก แมงกานีส สังกะสี และซีลีเนียม ในรูปอนินทรีย์ (metal sulfate) และในรูปอินทรีย์ (metal proteinate) ที่เสริมในอาหารแม่สุกรระยะอุ้มท้อง และเลี้ยงลูก จากการศึกษาพบว่า แม่สุกรที่ได้รับการเสริมแร่ธาตุอินทรีย์ มีขนาดครอกเพิ่มขึ้น งานทดลองของ Caine และคณะ (2009) ที่ศึกษาการเสริมสังกะสี เมทไธโอนีน (Zn-methionine) ในอาหารแม่สุกรอุ้มท้องระยะสุดท้าย (อุ้มท้อง 80±2 วัน ถึงคลอด 115±2 วัน) ที่ระดับ 250 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม พบว่าแม่สุกรที่ได้รับการเสริมสังกะสี เมทไธโอนีน มีขนาดครอกเพิ่มขึ้น

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2. จำนวนลูกสุกรมีชีวิตเฉลี่ยต่อครอก

จำนวนลูกสุกรมีชีวิตเฉลี่ยต่อครอก ของทั้ง 2 การทดลอง ให้ผลไปในทางเดียวกัน คือ แม่สุกรในกลุ่มทดลองที่ได้รับการเสริมแร่ธาตุคีเลทในระยะอุ้มท้อง มีจำนวนลูกแรกคลอดมีชีวิตสูงเฉลี่ยกว่าแม่สุกรในกลุ่มควบคุม (P>0.05) เนื่องจากในระยะอุ้มท้อง แม่สุกรในกลุ่มทดลองที่มีการเสริมแร่ธาตุคีเลท อาจจะได้รับแร่ธาตุในอาหารที่สำคัญในรูปคีเลท เพิ่มขึ้นหลายตัว เช่น เหล็ก สังกะสี แมงกานีส และทองแดง ดังแสดงไว้ในตารางผนวกที่ 1 และ 2 ซึ่งแร่ธาตุทองแดง และแร่ธาตุสังกะสีเป็นส่วนประกอบของซูเปอร์ออกไซด์ดิสมิวเตส (Super oxide dismutase; SOD) ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่พบในไซโตพลาสซึมของเซลล์ และเลือด โดยมีสังกะสี 2 อะตอม และทองแดง 2 อะตอม เป็นองค์ประกอบ (Cu/Zn-SOD) และที่พบในไมโตรคอนเดรีย เป็นแมงกานีส เอสโอดี (Mn-SOD) มีหน้าที่ในการเปลี่ยนอนุมูลซูเปอร์ออกไซด์ ($2O_2^-$) ไปเป็นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ และออกซิเจน ช่วยทำหน้าที่ยับยั้งอนุมูลอิสระ เหล็กยังเป็นส่วนประกอบของเอนไซม์คะตาเลส (catalase) มีหน้าที่เปลี่ยนสารเปอร์ออกไซด์ ไปเป็นน้ำ ซึ่งเป็นการทำหน้าที่ต่อจากเอสโอดี ป้องกันตัวอ่อน (embryo) จากอนุมูลอิสระ และช่วยในการมีชีวิตรอดของตัวอ่อน (Peters, 2006) แร่ธาตุสังกะสี ทองแดง แมงกานีส เหล็ก มีความสำคัญในการเป็นเมทัลโลเอนไซม์ (metalloenzymes) ซึ่งมีความสำคัญต่อระบบฮอร์โมน ส่วนประกอบของเอนไซม์ และเป็นโคแฟคเตอร์ของเอนไซม์ที่สังเคราะห์โปรตีน การเมแทบอลิซึมของคาร์โบไฮเดรท และไขมัน ซึ่งจำเป็นต่อการพัฒนาระบบต่าง ๆ และการมีชีวิตรอดของตัวอ่อน (McDowell, 2003; Peters and Mahan, 2008)

3. เปอร์เซ็นต์การตายแรกคลอดของลูกสุกร

เปอร์เซ็นต์การตายแรกคลอดของลูกสุกร ทั้ง 2 การทดลอง ให้ผลไปในทางเดียวกันคือ แม่สุกรกลุ่มทดลองที่ได้รับการเสริมแร่ธาตุคีเลท มีอัตราการตายของลูกสุกรแรกคลอดต่ำกว่าแม่สุกรในกลุ่มควบคุม (P>0.05) ดังที่ได้กล่าวมาแล้วว่า สังกะสี แมงกานีส และทองแดง เป็นส่วนประกอบของซูเปอร์ออกไซด์ดิสมิวเตส (Super oxide dismutase; SOD) มีหน้าที่ในการเปลี่ยนอนุมูลซูเปอร์ออกไซด์ ($2O_2^-$) ไปเป็นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ และออกซิเจน ช่วยทำหน้าที่ยับยั้งอนุมูลอิสระ เหล็กยังเป็นส่วนประกอบของเอนไซม์คะตาเลส (catalase) มีหน้าที่เปลี่ยนสารเปอร์ออกไซด์ ไปเป็นน้ำ ซึ่งเป็นการทำหน้าที่ต่อจากเอสโอดี ป้องกันตัวอ่อน (embryo) จากอนุมูลอิสระ และช่วยในการมีชีวิตรอดของตัวอ่อน (Peters, 2006) แร่ธาตุสังกะสี ทองแดง แมงกานีส เหล็ก มีความสำคัญในการเป็นเมทัลโลเอนไซม์ (metalloenzymes) ซึ่ง มีความสำคัญต่อระบบฮอร์โมน ส่วนประกอบของเอนไซม์ และเป็นโคแฟคเตอร์ของเอนไซม์ที่สังเคราะห์โปรตีน การเมแทบอลิซึม

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ของคาร์โบไฮเดรท และไขมัน ซึ่งจำเป็นต่อการพัฒนาระบบต่าง ๆ และการมีชีวิตรอดของตัวอ่อน (McDowell, 2003; Peters and Mahan, 2008) การตายแรกคลอดยังมีสาเหตุมาจาก สภาพแวดล้อม ความเครียดเนื่องจากอุณหภูมิ 2-3 สัปดาห์ ก่อนคลอด ซึ่งจะทำให้มีการสูญเสียลูกสุกรเมื่อคลอด แม่สุกรไม่มีลมเบ่ง เนื่องจากขาดฮอร์โมน การคลอดยากเนื่องจากลูกมีขนาดใหญ่ ลูกตายในท้อง ทำให้ไม่มีการช่วยขับตัวออกจากมดลูกของลูกสุกร ลูกสุกรอยู่ผิดท่า และไม่มีคนช่วยทำคลอด ส่งผลให้เพิ่มการสูญเสียลูกสุกรเมื่อคลอด (ศรีสุวรรณ, 2542) และการที่แม่สุกรกลุ่มทดลองได้รับแร่ธาตุคีเลท ช่วยให้มีสุขภาพที่ดี เพราะได้รับแร่ธาตุในคีเลทที่สำคัญหลายตัว ทำให้แม่สุกรไม่มีปัญหาในการคลอดลูกนาน กล้ามเนื้อมดลูกมีแรงบีบรัดตัวที่ดี ส่งผลให้คลอดลูกได้เร็ว การตายแรกคลอดจึงลดลง

4. เปอร์เซ็นต์ลูกกรอก

เปอร์เซ็นต์ลูกกรอกของทั้ง 2 การทดลองให้ผลไปในทางเดียวกัน คือ แม่สุกรที่มีขนาดครอกใหญ่ จะมีเปอร์เซ็นต์ลูกกรอกสูงกว่าแม่สุกรในกลุ่มที่มีขนาดครอกเล็กกว่า แม่สุกรในกลุ่มทดลองมีจำนวนลูกแรกคลอดเฉลี่ยต่อครอกสูงกว่าแม่สุกรกลุ่มควบคุม อาจเป็นไปได้ที่จะมีลูกกรอกได้มากกว่า การเกิดลูกกรอกเกิดได้จากหลายปัจจัย สภาพอากาศที่ร้อน การจัดการด้านอาหาร และโรค เป็นต้น โดยโรคที่ทำให้เกิดลูกกรอกได้เช่น พาร์โวไวรัส โรคพิษสุนัขบ้าเทียม โรคพีอาร์อาร์เอส หรือโรคเลปโตสไปโรซีส หรืออาจเกิดจากการจัดการในระยะอุ้มท้องที่ไม่ดี ก็จะมีลูกกรอกออกมา โดยปกติแล้วในฟาร์มขนาดใหญ่แม่สุกรมักจะมีลูกกรอกอยู่ในระดับไม่เกิน 2 เปอร์เซ็นต์ (ศรีสุวรรณ, 2542)

5. น้ำหนักลูกสุกรแรกคลอดมีชีวิตเฉลี่ยต่อตัว

น้ำหนักสุกรแรกคลอดมีชีวิตต่อตัว ทั้ง 2 การทดลองให้ผลไปในทางเดียวกัน โดยน้ำหนักลูกสุกรแรกคลอดมีชีวิตเฉลี่ยต่อตัวของแม่สุกรกลุ่มทดลองที่ได้รับการเสริมแร่ธาตุคีเลท มีน้ำหนักสูงกว่าลูกสุกรในกลุ่มควบคุม ($P<0.05$) อาจเนื่องมาจากแม่สุกรกลุ่มทดลองได้รับแร่ธาตุในปริมาณมากขึ้น ดังแสดงในตารางผนวกที่ 1 และ 2 ประกอบกับได้รับแร่ธาตุเพิ่มในรูปคีเลทซึ่งมีค่าการย่อย และการดูดซึมไปใช้ประโยชน์ได้สูง เนื่องจากแร่ธาตุในรูปคีเลทจะมีความเสถียรที่ช่วง pH กว้าง ทำให้คีเลท ทนต่อสภาพการเปลี่ยนแปลง pH ในทางเดินอาหารได้ดีไม่เกิดการแตกตัวก่อนถึงตำแหน่งที่มีการดูดซึม มีการละลายได้ดี ทำให้อยู่ในสภาพที่เหมาะสมต่อการดูดซึม มีประจุไฟฟ้าเป็นกลาง ไม่ทำปฏิกิริยากับสารอื่น ๆ ในทางเดินอาหาร และกรดอะมิโนที่จับกับแร่ธาตุ เป็นตัวพา

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

แร่ธาตุนั้นผ่านผนังเซลล์ลำไส้เข้าไปได้ (Vandergrift, 1994) ปริมาณการดูดซึมแร่ธาตุทองแดง เหล็ก และสังกะสีในรูปคีเลท บริเวณลำไส้เล็กส่วนกลาง มีปริมาณการดูดซึมสูงที่สุด เมื่อเทียบกับแร่ธาตุอนินทรีย์ (Ashmead, 1993) ส่งผลให้แม่สุกรได้รับแร่ธาตุเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งทองแดงมีความสำคัญในการสังเคราะห์ผิวหนัง ขน กีบ โดยเป็นส่วนประกอบของเอนไซม์ไลซิลออกซิเดส (lysyl oxidase) ทำหน้าที่สังเคราะห์คอลลาเจน และอิลาสติน (Hill and Spears, 2001) เหล็กมีความสำคัญในการเป็นส่วนประกอบของฮีม ในฮีโมโกลบินของเม็ดเลือดแดง และไมโอโกลบินของกล้ามเนื้อ ทำหน้าที่ขนส่งออกซิเจนในร่างกาย และเป็นส่วนประกอบของเอนไซม์ในกระบวนการเมแทบอลิซึม แมงกานีสมีความจำเป็นต่อการสังเคราะห์ กลูโคซามิโนไกลแคน (glucosaminoglycans) ซึ่งเป็นสารมิวโคโพลีแซคคาไรด์ (mucopolysaccharides) ที่สำคัญในเอ็นและกระดูกอ่อน และแมงกานีสมีความสำคัญในการทำหน้าที่ของระบบประสาทส่วนกลางและต่อมไทรอยด์ รวมถึงการสร้างกระดูกและกระดูกอ่อน (Buskirk *et al.,* 2002) สังเคราะห์โปรตีนและเพิ่มการใช้ประโยชน์ของไขมันในร่างกาย (ฉลอง, 2543) สังกะสีมีความสำคัญในการสังเคราะห์ ผิวหนัง ขน กีบ เช่นเดียวกับทองแดง และสังเคราะห์กระดูก โดยเป็นส่วนประกอบของเอนไซม์อัลคาไลน์ ฟอสฟาเตส ประกอบด้วยสังกะสี 4 อะตอม ทำหน้าที่ไฮโดรไลซ์ (hydrolyse) โมโนเอสเทอร์ของฟอสเฟทจากสารประกอบชนิดต่าง ๆ และเกี่ยวข้องในการสังเคราะห์กระดูก สังกะสียังเป็นส่วนประกอบของเอนไซม์ และโคแฟคเตอร์ของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์โปรตีน (Hill and Spears, 2001) ดังนั้นแร่ธาตุทองแดง เหล็ก แมงกานีส และสังกะสี จึงมีความสำคัญต่อการพัฒนา และการเจริญเติบโตของลูกสุกร

ผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับในหลายการทดลอง ซึ่งรายงานว่าการเสริมแร่ธาตุทองแดง และแมงกานีสระดับสูง ในอาหารแม่สุกรอุ้มท้อง ส่งผลให้น้ำหนักลูกสุกรแรกคลอดสูงขึ้น (Lillie and Frobish, 1978; Christianson *et al*., 1989) การเสริมแร่ธาตุทองแดง เหล็ก แมงกานีส และสังกะสี ในรูปสารประกอบอินทรีย์ ในอาหารแม่สุกรอุ้มท้อง ส่งผลให้น้ำหนักลูกสุกรแรกคลอดสูงขึ้น (Peters and Mahan, 2008) การเสริมสารประกอบสังกะสีอะมิโนเอซิด (zinc amino acid) ในอาหารแม่สุกรอุ้มท้อง มีผลต่อการเพิ่มน้ำหนักครอกสุกรแรกคลอดมีชีวิต โดยกลุ่มควบคุม และกลุ่มที่ทำการเสริมสารประกอบสังกะสีอะมิโนเอซิด มีน้ำหนักครอกสุกรแรกคลอดมีชีวิต เท่ากับ 13.1 และ 13.9 กิโลกรัม ตามลำดับ (Caine *et al*., 2009)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

6. จำนวนลูกสุกรหย่านมเฉลี่ยต่อครอก

จำนวนลูกหย่านมต่อครอกของแม่สุกรในกลุ่มทดลองมีค่าสูงกว่ากลุ่มควบคุม ($P<0.05$) อาจจะเนื่องมาจากน้ำหนักแรกคลอดของลูกสุกรในกลุ่มทดลองนี้ จะสูงกว่ากลุ่มควบคุม และลูกสุกรในกลุ่มทดลองมีน้ำหนักมากกว่า 1.5 กิโลกรัม ในเปอร์เซ็นต์ที่สูง จึงทำให้ลูกสุกรมีความแข็งแรงมากกว่า และมีการตายก่อนหย่านมต่ำ ดังนั้นจึงมีลูกสุกรหย่านมต่อครอกสูงกว่าแม่สุกรในกลุ่มควบคุม สอดคล้องกับงานทดลองของ Peters และ Mahan (2008) ซึ่งทำการเสริมแร่ธาตุอินทรีย์ในอาหารแม่สุกรอุ้มท้อง และเลี้ยงลูก ประกอบด้วยธาตุทองแดง เหล็ก แมงกานีส และสังกะสี ส่งผลให้จำนวนลูกหย่านมต่อครอกมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น เมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม และในการทดลองที่ 2 ให้ผลเป็นไปในทางเดียวกันกับรอบการผลิตที่ 1 จำนวนลูกหย่านมต่อครอกของแม่สุกรในกลุ่มทดลองมีค่าสูงกว่ากลุ่มควบคุม ($P<0.05$) อาจจะเนื่องมาจากแม่สุกรในกลุ่มทดลองได้รับแร่ธาตุคีเลท ตั้งแต่ระยะอุ้มท้องและในช่วงที่แม่เลี้ยงลูกแม่สุกรก็ได้รับการเสริมแร่ธาตุคีเลทต่อเนื่องกัน ซึ่งแม่สุกรในกลุ่มทดลองได้รับแร่ธาตุในอาหารซึ่งมีปริมาณสูงกว่าอาหารของแม่สุกรกลุ่มควบคุม ดังแสดงในตารางผนวกที่ 3 ปริมาณของแร่ธาตุที่ได้รับในช่วงเลี้ยงลูกนี้จะช่วยทำให้แม่สุกรมีสุขภาพที่ดีทำให้สร้างน้ำนมได้ดี และคุณภาพของน้ำนมแม่มีโภชนะสูง โดย Spears และ Kegley (2002) รายงาน การใช้สังกะสีโปรตีเนต (zinc proteinate) ทดแทนสังกะสีออกไซด์ (ZnO) ในระดับ 50 เปอร์เซ็นต์ ของสูตรอาหารโคนมระยะให้นมพบว่า มีผลทำให้การติดเชื้อของต่อมน้ำนมลดลงอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อพิจารณาจาก somatic cell counts สังกะสีมีความสำคัญในการคงสภาพของเนื้อเยื่อเคอราติน (keratin layer) ใน streak canal ของหัวนม ซึ่งช่วยป้องกันการติดเชื้อ (Perters, 2006)

แร่ธาตุสังกะสีและเหล็กในน้ำนม ช่วยในการสร้างภูมิคุ้มกันในร่างกาย โดยสังกะสีเกี่ยวข้องในการสังเคราะห์อาร์เอนเอ (RNA) เพื่อเพิ่มปริมาณเซลล์เม็ดเลือดขาวทั้งนิวโทรฟิล (neutrophils) และ โมโนซัยต์ (monocytes) ในระบบภูมิคุ้มกันชนิดพึ่งเซลล์ (cell mediated immune system) และเกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงลิมโฟซัยต์ (lymphocytes) เป็น บีเซลล์ (B cell) ในระบบภูมิคุ้มกันแบบอาศัยแอนติบอดี (humoral immune system) (Stipanuk, 2000) และเหล็กเป็นส่วนประกอบเอนไซม์ไรโบนิวคลีโอไทด์ รีดักเตส (ribonucleotide reductase) ซึ่งใช้ในการสังเคราะห์ดีเอนเอ สำหรับการแบ่งตัวเพิ่มจำนวนเซลล์ เมื่อร่างกายมีสิ่งแปลกปลอมเข้ามา เซลล์เม็ดเลือดขาวชนิด บีลิมโฟไซด์ (B-lymphocyte) หรือ ทีลิมโฟไซด์ (T-lymphocyte) จะแบ่งเซลล์เพิ่มจำนวนมากขึ้นเพื่อเพิ่มภูมิคุ้มกัน ถ้าขาดเหล็กจะทำให้การเพิ่มจำนวนของเซลล์เม็ดเลือดขาวบกพร่อง มีผลให้ภูมิคุ้มกันบกพร่องด้วย (อรุณี, 2547) เมื่อลูกสุกรได้รับน้ำนมที่มีโภชนะสูงและ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

พอเพียงจะทำให้ลูกมีความแข็งแรง ประกอบกับน้ำหนักแรกคลอดของลูกสุกรในกลุ่มทดลองนี้ จะสูงกว่ากลุ่มควบคุม จึงทำให้ลูกสุกรมีความแข็งแรงมากกว่า และมีการตายก่อนหย่านมต่ำ ดังนั้นจึงมีลูกสุกรหย่านมต่อครอกสูงกว่าแม่สุกรในกลุ่มควบคุม

7. เปอร์เซ็นต์การตายของลูกสุกรก่อนหย่านม

เปอร์เซ็นต์การตายของลูกสุกรก่อนหย่านม ทั้ง 2 การทดลองให้ผลไปในทางเดียวกัน โดยแม่สุกรในกลุ่มทดลองที่ได้รับการเสริมแร่ธาตุคีเลทในระยะเลี้ยงลูก มีอัตราการตายก่อนหย่านมต่ำกว่ากลุ่มควบคุม ($P<0.05$) อาจจะเนื่องมาจากน้ำหนักแรกคลอดของลูกสุกรในกลุ่มทดลองนี้จะสูงกว่ากลุ่มควบคุม และลูกสุกรในกลุ่มทดลองมีน้ำหนักมากกว่า 1.5 กิโลกรัม ในเปอร์เซ็นต์ที่สูง จึงทำให้ลูกสุกรมีความแข็งแรงมากกว่า และมีการตายก่อนหย่านมต่ำ อัตราการตายก่อนหย่านมจึงน้อยกว่ากลุ่มควบคุม อัตราการตายก่อนหย่านมส่วนมากเกิดจาก การถูกทับตายในช่วง 2-3 วัน หลังจากคลอด และจากเหตุผลที่กล่าวมาแล้วในจำนวนลูกหย่านมต่อครอก ผลที่ได้สอดคล้องกับงานทดลองของ Ashmead (1996) ทำการเสริมเหล็กอินทรีย์ในอาหารแม่สุกรเลี้ยงลูก ส่งผลให้อัตราการตายก่อนหย่านมลดลง ธาตุเหล็กมีผลต่อระบบภูมิคุ้มกันโรคของสัตว์ โดยสัตว์ที่เป็นโรคโลหิตจางจะมีความอ่อนแอต่อการติดเชื้อสูงกว่าสัตว์ที่ได้รับธาตุเหล็กอย่างพอเพียง

8. น้ำหนักลูกสุกรหย่านมเฉลี่ยต่อตัว

น้ำหนักลูกสุกรหย่านมเฉลี่ยต่อตัว ทั้ง 2 การทดลองให้ผลไปในทางเดียวกัน โดยแม่สุกรในกลุ่มทดลองที่ได้รับการเสริมแร่ธาตุคีเลทในระยะเลี้ยงลูก ลูกสุกรมีน้ำหนักหย่านมสูงกว่ากลุ่มควบคุม ($P<0.05$) เนื่องมาจากน้ำหนักแรกคลอดของลูกสุกรในกลุ่มทดลอง สูงกว่ากลุ่มควบคุม และลูกสุกรในกลุ่มทดลองมีน้ำหนักมากกว่า 1.5 กิโลกรัม ในเปอร์เซ็นต์ที่สูง จึงส่งผลมาถึงน้ำหนักหย่านมด้วย และอาจเนื่องมาจากในระยะเลี้ยงลูกแม่สุกรต้องการโภชนะต่าง ๆ เพิ่มสูงขึ้นเพื่อนำไปผลิตนม เพราะการเพิ่มน้ำหนักของลูกสุกรในระยะดูดนม จะเพิ่มน้ำหนักได้ดีมักจะมีอิทธิพลมาจากน้ำนมของแม่สุกรมากกว่าอาหารเลียราง ซึ่งการเสริมแร่ธาตุคีเลทในอาหาร อาจส่งผลให้แม่สุกรได้รับแร่ธาตุต่าง ๆ เพียงพอ และการเสริมแร่ธาตุในรูปคีเลทลงในอาหาร ส่งผลให้สัตว์สามารถใช้ประโยชน์จากแร่ธาตุได้ดียิ่งขึ้น เพราะแร่ธาตุในรูปคีเลทจะมีความเสถียรที่ช่วง pH กว้าง ทำให้คีเลท ทนต่อสภาพการเปลี่ยนแปลง pH ในทางเดินอาหารได้ดีไม่เกิดการแตกตัวก่อนถึงตำแหน่งที่มีการดูดซึม มีการละลายได้ดี ทำให้อยู่ในสภาพที่เหมาะสมต่อการดูดซึม มีประจุไฟฟ้า

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เป็นกลาง ไม่ทำปฏิกิริยากับสารอื่น ๆ ในทางเดินอาหาร และกรดอะมิโนที่จับกับแร่ธาตุ เป็นตัวพาแร่ธาตุนั้นผ่านผนังเซลล์ลำไส้เข้าไปได้ (Vandergrift, 1994)

จากที่กล่าวว่าการเพิ่มน้ำหนักของลูกสุกรในระยะดูดนม จะเพิ่มน้ำหนักได้ดีมักจะมีอิทธิพลมาจากน้ำนมของแม่สุกรมากกว่าอาหารเลียราง เนื่องมาจากลูกสุกรในช่วงสัปดาห์แรก ๆ หลังคลอดเอนไซม์ที่ใช้ในการย่อยโภชนะในน้ำนมจะมีปริมาณมากควบคู่ไปกับปริมาณน้ำนมที่แม่สุกรผลิตได้ แต่เมื่อลูกสุกรอายุมากขึ้นเอนไซม์ที่ใช้ในการย่อยโภชนะในน้ำนมจะลดลง ในขณะที่เอนไซม์อื่น ๆ ที่มีอยู่น้อยในระยะแรกจะค่อย ๆ เพิ่มมากขึ้น ทำให้ระบบย่อยอาหารของลูกสุกรเล็กสามารถย่อยและดูดซึมน้ำตาลกลูโคส (glucose) ไปใช้ประโยชน์ได้ แต่ไม่สามารถย่อยน้ำตาลซูโครสหรือสารประเภทโพลีแซคคาไรค์ (polysaccharides) อื่น ๆ เพื่อนำไปใช้เป็นแหล่งพลังงานได้ ลูกสุกรสามารถย่อยและดูดซึมไขมันไปใช้ประโยชน์ได้ดีตั้งแต่แรกเกิด เนื่องจากมีการผลิตเอนไซม์ไลเปสจากตับอ่อน (pancreatic lipase) ย่อยไขมัน และมีน้ำดีในปริมาณที่มากพอ โดยสามารถดูดซึมไขมันไปใช้ประโยชน์ได้มากกว่า 80 เปอร์เซ็นต์ (Pond and Maner, 1984) สำหรับเอนไซม์ที่ใช้ในการย่อยแป้งได้แก่ อะไมเลสจากตับอ่อน (pancreatic amylase) มีในระดับต่ำเมื่อลูกสุกรมีอายุน้อย แต่จะเพิ่มระดับสูงขึ้นเมื่อลูกสุกรมีอายุมากขึ้น โดยจะสร้างเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในสัปดาห์ที่ 4-5 และสร้างได้เต็มที่เมื่อลูกสุกรอายุได้ 8 สัปดาห์ จึงเป็นสาเหตุทำให้ลูกสุกรที่อายุน้อยไม่สามารถนำอาหารจำพวกแป้งไปใช้ประโยชน์ได้เต็มที่ (Mavromichalis, 2006)

การดูดซึมแร่ธาตุจะเพิ่มขึ้นในระยะเลี้ยงลูก เพื่อตอบสนองกับความต้องการโภชนะที่สูง ซึ่งนำไปผลิตน้ำนม (McDowell, 2003) แร่ธาตุถูกดูดซึมมาเป็นองค์ประกอบของน้ำนม เป็นโคแฟคเตอร์ และ metalloenzyme ในการสังเคราะห์น้ำนม โดยความเข้มข้นของแร่ธาตุสังกะสี แมงกานีส และซีลีเนียม ที่เสริมในอาหารแม่สุกร ส่งผลต่อความเข้มข้นของแร่ธาตุสังกะสี แมงกานีส และซีลีเนียมในน้ำนม (Hill *et al*., 1983; Mahan and Peters, 2004) โพแทสเซียมมีความสำคัญในการเป็นโคแฟคเตอร์ในการสังเคราะห์โปรตีนในน้ำนม องค์ประกอบหลักในน้ำนม การศึกษาการเสริมโพแทสเซียม ไดฟอร์เมท (potassium diformate) ในอาหารแม่สุกรระยะเลี้ยงลูกที่ระดับ 0.08 เปอร์เซ็นต์ มีแนวโน้มในการเพิ่มไขมันในน้ำนมของแม่สุกร (Øverland *et al.,* 2009) ซึ่งไขมันเป็นองค์ประกอบที่สำคัญต่อระดับพลังงานในน้ำนมของแม่สุกร แมกนีเซียมมีความสำคัญในการพัฒนาโครงร่างของร่างกายระยะกำลังเจริญเติบโต ส่วนประกอบของกระดูก และสังเคราะห์โปรตีน ทองแดงมีความสำคัญในการสังเคราะห์ผิวหนัง ขน กีบ โดยเป็นส่วนประกอบของเอนไซม์ไลซิลออกซิเดส (lysyl oxidase) ทำหน้าที่สังเคราะห์คอลลาเจน และอิลาสติน (Hill and Spears, 2001) เหล็กมีความสำคัญในการเป็นส่วนประกอบของฮีม ในฮีโมโกลบินของเม็ดเลือดแดง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

และไมโอโกลบินของกล้ามเนื้อ ทำหน้าที่ขนส่งออกซิเจนในร่างกาย และเป็นส่วนประกอบของเอนไซม์ในกระบวนการเมแทบอลิซึม แมงกานีสมีความจำเป็นต่อการสังเคราะห์ กลูโคซามิโนไกลแคน (glucosaminoglycans) ซึ่งเป็นสารมิวโคโพลีแซคคาไรด์ (mucopolysaccharides) ที่สำคัญในเอ็นและกระดูกอ่อน และแมงกานีสมีความสำคัญในการทำหน้าที่ของระบบประสาทส่วนกลางและต่อมไทรอยด์ รวมถึงการสร้างกระดูกและกระดูกอ่อน (Buskirk *et al.,* 2002) สังเคราะห์โปรตีนและเพิ่มการใช้ประโยชน์ของไขมันในร่างกาย (ฉลอง, 2543) สังกะสีมีความสำคัญในการสังเคราะห์ ผิวหนัง ขน กีบ เช่นเดียวกับทองแดง และสังเคราะห์กระดูก โดยเป็นส่วนประกอบของเอนไซม์อัลคาไลน์ ฟอสฟาเตส ประกอบด้วยสังกะสี 4 อะตอม ทำหน้าที่ไฮโดรไลซ์ (hydrolyse) โมโนเอสเทอร์ของฟอสเฟทจากสารประกอบชนิดต่าง ๆ และเกี่ยวข้องในการสังเคราะห์กระดูก สังกะสียังเป็นส่วนประกอบของเอนไซม์ และโคแฟคเตอร์ของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์โปรตีน (Hill and Spears, 2001) ดังนั้นแร่ธาตุทองแดง เหล็ก แมงกานีส และสังกะสี จึงมีความสำคัญต่อการพัฒนา และการเจริญเติบโตของลูกสุกร

ผลที่ได้สอดคล้องกับงานทดลองของ Flowers และ Coworker (2001) ทำการเสริมแร่ธาตุทองแดง เหล็ก แมงกานีส และสังกะสี ในรูปโปรตีเนทเทียบกับแร่ธาตุอนินทรีย์ พบว่า แม่สุกรในกลุ่มทดลองที่ได้รับแร่ธาตุในรูปโปรตีเนท มีน้ำหนักลูกสุกรหย่านมสูงกว่าแม่สุกรที่ได้รับแร่ธาตุอนินทรีย์ Øverland และคณะ (2009) ทำการเสริมโพแทสเซียมไดฟอร์เมท ในอาหารสุกรที่ระดับ 0.8 และ 1.2 เปอร์เซ็นต์ ช่วยเพิ่มน้ำหนักลูกสุกรหย่านมที่ 21 วัน การเสริมทองแดงในอาหารเลี้ยงลูกในระดับสูง (60 มก./กก.) ช่วยเพิ่มน้ำหนักลูกสุกรหย่านม (Lillie and Frobish, 1978) และการเสริมเหล็กอินทรีย์ ในอาหารแม่สุกรเลี้ยงลูก ช่วยเพิ่มน้ำหนักลูกสุกรหย่านม (Close, 1998)

9. ระยะเวลาจากหย่านมจนถึงผสมพันธุ์

จากผลการทดลองแม่สุกรในกลุ่มทดลองมีระยะหย่านมจนถึงผสมพันธุ์ได้สั้นกว่าแม่สุกรกลุ่มควบคุม ($P<0.05$) ซึ่งทั้ง 2 การทดลองให้ผลสอดคล้องกัน อาจจะเป็นเพราะว่าแม่สุกรได้รับอาหารที่มีโภชนะที่สมดุลกับความต้องการของร่างกายในระยะที่มีการผลิตน้ำนมสูง จึงไม่มีผลกระทบต่อความสมบูรณ์พันธุ์ของแม่สุกร แม่สุกรกลุ่มทดลองได้รับอาหารที่มีปริมาณแร่ธาตุรองสูงกว่ากลุ่มควบคุม ดังแสดงในตารางผนวกที่ 3 ทำให้ได้รับ สังกะสี ทองแดง แมงกานีส เหล็ก เป็นส่วนประกอบของเมทัลโลเอนไซม์ (metalloenzymes) ซึ่ง มีความสำคัญต่อระบบฮอร์โมนส่วนประกอบของเอนไซม์ และเป็นโคแฟคเตอร์ของเอนไซม์ที่สังเคราะห์โปรตีนซึ่งช่วยฟื้นฟูสภาพมดลูก รังไข่ (Peters and Mahan, 2008) และการเสริมแร่ธาตุคีเลท ให้กับแม่สุกรในระยะ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เลี้ยงลูกจะทำให้แม่สุกรได้รับแร่ธาตุโพแทสเซียม และแมกนีเซียม เพิ่มขึ้นจากระยะอุ้มท้อง ซึ่งแร่ธาตุทั้ง 2 ตัวนี้ มีความสำคัญอย่างมากในการผลิต และเป็นองค์ประกอบของน้ำนม ส่วนแร่ธาตุทองแดง เหล็ก แมงกานีส และสังกะสีมีความสำคัญต่อการฟื้นฟูสภาพร่างกาย สภาพมดลูก และการทำงานของฮอร์โมนในระบบสืบพันธุ์ (Close, 1999) โดยแร่ธาตุทองแดง และสังกะสีในมดลูกมีผลต่อการสังเคราะห์พรอสต้าแกลนดิน (Wauben *et al*., 1999) Christianson และคณะ (1990) รายงานว่าการกลับมาเป็นสัดของแม่สุกรหลังหย่านมดีขึ้น เมื่อแม่สุกรได้รับอาหารที่มีแมงกานีสในระดับ 20 พีพีเอ็ม เทียบกับที่ระดับ 10 และ 5 พีพีเอ็ม Peters และ Mahan (2008) ทำการเสริมแร่ธาตุอินทรีย์ในอาหารแม่สุกร ประกอบด้วยแร่ธาตุทองแดง เหล็ก แมงกานีส และสังกะสี ส่งผลให้ระยะเวลาหย่านมถึงเป็นสัดสั้นลง Ashmead (1996) รายงานว่าการเสริมเหล็กอินทรีย์ในอาหารแม่สุกร ส่งผลให้ ระยะเวลาหย่านมถึงเป็นสัดสั้นลง

10. อัตราการผสมติดที่ 21 วัน

จากผลการทดลองพบว่าอัตราการผสมติดที่ 21 วันหลังได้รับการผสมพันธุ์ ในกลุ่มควบคุมมีอัตราการผสมติดสูงกว่าแม่สุกรในกลุ่มทดลอง ($P>0.05$) ผลที่ได้เป็นไปในทางเดียวกันทั้ง 2 การทดลอง ถึงแม้ว่าแม่สุกรในกลุ่มทดลองจะมีความสมบูรณ์พันธุ์มากกว่าก็ตาม (ระยะหย่านมจนถึงผสมพันธุ์) แต่อัตราการผสมติดหลังหย่านมนอกจากจะขึ้นอยู่กับความสมบูรณ์พันธุ์ของแม่สุกรแล้วยังขึ้นกับปัจจัยอื่นอีกหลายอย่างเช่น การเป็นสัดของแม่สุกร ช่วงเวลาที่เหมาะสมในการผสมเทียม คุณภาพของน้ำเชื้อ บุคลากร และการจัดการหลังผสม เป็นต้น (ศรีสุวรรณ, 2541)

วิจารณ์ผลวิเคราะห์ปริมาณแร่ธาตุในซีรั่ม

1. แร่ธาตุโพแทสเซียม

จากผลวิเคราะห์ปริมาณโพแทสเซียมในซีรั่มของแม่สุกร กลุ่มทดลองมีค่าสูงกว่ากลุ่มควบคุม ในระยะก่อนหย่านม 1 วัน ($P>0.05$) เป็นไปในทางเดียวกันของทั้ง 2 การทดลอง เนื่องจากการทดลองนี้ แม่สุกรกลุ่มทดลองได้รับการเสริมโพแทสเซียม ไกลซีน ในระยะเลี้ยงลูก (แสดงในตารางที่ 10) และปริมาณโพแทสเซียมในอาหารสูตรเลี้ยงลูก ของแม่สุกรกลุ่มทดลอง สูงกว่ากลุ่มควบคุม ดังแสดงในตารางผนวกที่ 3 ความสามารถในการย่อยได้ของโพแทสเซียม อยู่ในช่วง 95 เปอร์เซ็นต์ ของโพแทสเซียมที่มีอยู่ในอาหาร (McDowell, 1992) จึงส่งผลให้ปริมาณโพแทสเซียมในซีรั่ม ของแม่สุกรระยะเลี้ยงลูกสูงขึ้นด้วย การเสริมโพแทสเซียมในอาหารระยะเลี้ยงลูก มี

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ความสำคัญในด้านผลผลิตของน้ำนม องค์ประกอบของน้ำนมแม่สุกร เพื่อการเจริญเติบโตของลูกสุกร (Øverland *et al*., 2009) โดยโพแทสเซียมเป็นโคแฟคเตอร์ ในการสังเคราะห์โปรตีนในน้ำนม และเป็นแร่ธาตุหลักที่มีอยู่ในองค์ประกอบของน้ำนม โพแทสเซียมในน้ำนมแม่สุกรมีค่าอยู่ระหว่าง 630-650 มิลลิกรัมต่อลิตร (Harmon *et al*., 1976) การขาดโพแทสเซียมในลูกสุกรจะส่งผลให้ลดความอยากกินอาหาร ส่งผลต่อการเจริญเติบโตของลูกสุกร (NRC, 2005)

2. แร่ธาตุแมกนีเซียม

จากผลการทดลอง แม่สุกรในกลุ่มทดลอง มีปริมาณแมกนีเซียมในซีรั่มสูงกว่าแม่สุกรกลุ่มควบคุม ในระยะก่อนหย่านม 1 วัน ($P>0.05$) เป็นไปในทางเดียวกันของทั้ง 2 การทดลอง เนื่องมาจาก แม่สุกรในกลุ่มทดลองได้รับอาหารที่เสริมแมกนีเซียม ไกลซีน ในระยะเลี้ยงลูก (ดังแสดงในตารางที่ 10) และปริมาณแมกนีเซียมในอาหารสูตรเลี้ยงลูก ของแม่สุกรกลุ่มทดลอง สูงกว่ากลุ่มควบคุม ดังแสดงในตารางผนวกที่ 3 จึงอาจส่งผลให้แม่สุกรกลุ่มทดลองมีปริมาณแร่ธาตุแมกนีเซียมในซีรั่ม สูงกว่ากลุ่มควบคุมในระยะเลี้ยงลูก จากการวิเคราะห์ปริมาณแมกนีเซียมในซีรั่ม ของการทดลองนี้ มีค่าอยู่ในช่วง 17 ถึง 22 พีพีเอ็ม ค่าที่ได้ใกล้เคียงกับงานทดลองของ Harmon และคณะ (1976) ซึ่งทำการเสริมแร่ธาตุแมกนีเซียมในอาหารแม่สุกรอุ้มท้อง และเลี้ยงลูก ผลวิเคราะห์ปริมาณแร่ธาตุแมกนีเซียมในซีรั่มอยู่ในช่วง 14 ถึง 21 พีพีเอ็ม การเสริมแมกนีเซียมในอาหารแม่สุกรระยะเลี้ยงลูก มีความสำคัญต่อระดับแมกนีเซียมในน้ำนมแม่สุกร ซึ่งปริมาณแมกนีเซียมในน้ำนมแม่สุกร เท่ากับ 110 มิลลิกรัมต่อลิตร (Mahan and Peters, 2004) แต่ลูกสุกรต้องการแมกนีเซียมมากกว่า 400 มิลลิกรัมต่อลิตร จึงต้องทำการเพิ่มระดับแมกนีเซียมในอาหารระยะเลี้ยงลูก เพื่อเพิ่มระดับแมกนีเซียมในน้ำนม (Harmon *et al.,* 1976) จากการศึกษาของ Everts และคณะ (1998) ศึกษาความสมดุลของแคลเซียม แมกนีเซียม และฟอสฟอรัส ในอาหารแม่สุกรเลี้ยงลูก อาหารในกลุ่มทดลองทำการลดสัดส่วนของแคลเซียม และฟอสฟอรัสลง จากกลุ่มควบคุม พบว่าแม่สุกรในกลุ่มควบคุมการใช้ประโยชน์ของฟอสฟอรัสเพิ่มสูงขึ้น และลดการขับออกของฟอสฟอรัส ดังนั้นการจะเพิ่มหรือลดระดับแมกนีเซียมในอาหาร ต้องมีความสัมพันธ์กับระดับของแคลเซียม และฟอสฟอรัสด้วย

3. แร่ธาตุทองแดง

จากผลการทดลอง แม่สุกรในกลุ่มทดลอง มีปริมาณทองแดงในซีรั่มสูงกว่าแม่สุกร กลุ่มควบคุม ($P>0.05$) อาจเนื่องมาจาก แม่สุกรในกลุ่มทดลองได้รับอาหารที่เสริมทองแดง ไกลซีน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

(copper glycine) ส่งผลให้สัตว์สามารถใช้ประโยชน์จากทองแดงได้ดียิ่งขึ้น เพราะทองแดงที่จับกับกรดอะมิโน ไกลซีน อยู่ในรูปคีเลท ซึ่งมีความเสถียรที่ช่วง pH กว้าง ทำให้คีเลท ทนต่อสภาพการเปลี่ยนแปลง pH ในทางเดินอาหารได้ดีไม่เกิดการแตกตัวก่อนถึงตำแหน่งที่มีการดูดซึม มีการละลายได้ดี ทำให้อยู่ในสภาพที่เหมาะสมต่อการดูดซึม มีประจุไฟฟ้าเป็นกลาง ไม่ทำปฏิกิริยากับสารอื่น ๆ ในทางเดินอาหาร และกรดอะมิโนที่จับกับแร่ธาตุ เป็นตัวพาแร่ธาตุนั้นผ่านผนังเซลล์ลำไส้เข้าไปได้ (Vandergrift, 1994) และปริมาณทองแดงในอาหารของแม่สุกรกลุ่มทดลอง สูงกว่ากลุ่มควบคุม ดังแสดงในตารางผนวกที่ 1 2 และ 3 การดูดซึมทองแดง ในระยะ 1 เดือนสุดท้ายของการอุ้มท้อง เพิ่มขึ้น 50 เปอร์เซ็นต์ (Close and Cole, 2000) ทองแดงมีความสำคัญ โดยเป็นส่วนประกอบของเอนไซม์ เอนไซม์ที่เป็นที่รู้จักกันดีคือ ไลซิลออกซิเดส (lysyl oxidase) ไทโรซิเนส (tyrosinase) ไซโตโครม ซี ออกซิเดส (Cytochrome C oxidase) เฟอร์รอกซิเดส (ferroxidase) ซูเปอร์ออกไซด์ดิสมิวเตส (superoxide dismutase; SOD) โดพามีนเบต้าไฮดรอกซีเลส (dopamine ß hydroxylase)

4. แร่ธาตุเหล็ก

จากผลการทดลอง แม่สุกรในกลุ่มทดลอง มีปริมาณเหล็กในซีรั่มสูงกว่าแม่สุกร กลุ่มควบคุม (P>0.05) อาจเนื่องมาจาก แม่สุกรในกลุ่มทดลองได้รับอาหารที่เสริมเหล็ก ไกลซีน (iron glycine) ส่งผลให้สัตว์สามารถใช้ประโยชน์จากเหล็กได้ดียิ่งขึ้น และปริมาณเหล็กในอาหารของแม่สุกรกลุ่มทดลองสูงกว่ากลุ่มควบคุม ดังแสดงในตารางผนวกที่ 1 2 และ 3 เมื่อพิจารณาการเพิ่มขึ้นและการลดลงของปริมาณแร่ธาตุเหล็กในซีรั่มในแต่ละระยะที่ทำการวิเคราะห์ จะพบว่าปริมาณแร่ธาตุเหล็กในซีรั่มแม่สุกร ระยะอุ้มท้อง 16 สัปดาห์ มีปริมาณสูงขึ้น และลดลงในระยะเลี้ยงลูก ซึ่งให้ผลสอดคล้องกับงานทดลองของ Mahan (2006) ดังแสดงในภาพที่ 5 เพราะว่าในช่วงท้ายของการอุ้มท้องแม่สุกรจะได้รับอาหารเพิ่มมากขึ้น ร่างกายก็ได้รับแร่ธาตุเพิ่มขึ้นด้วย แต่ในระยะเลี้ยงลูกโภชนะต่าง ๆ ที่ได้จากการกินอาหารจะนำไปผลิตนม และใช้ในการฟื้นฟูร่างกายหลังคลอดลูก (Peters, 2006) การเพิ่มของเหล็กในช่วงท้ายของการอุ้มท้องช่วยให้การสะสมของเหล็กในร่างกายของลูกสุกรเพิ่มสูงขึ้น (O'Dell *et al*., 1997)

5. แร่ธาตุแมงกานีส

จากผลการทดลอง แม่สุกรในกลุ่มทดลอง มีปริมาณแมงกานีสในซีรั่มสูงกว่าแม่สุกรกลุ่มควบคุม (P>0.05) อาจเนื่องมาจาก แม่สุกรในกลุ่มทดลองได้รับอาหารที่เสริมแมงกานีส

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ไกลซีน (manganese glycine) ส่งผลให้สัตว์สามารถใช้ประโยชน์จากแมงกานีสได้ดียิ่งขึ้น และปริมาณแมงกานีสในอาหารของแม่สุกรกลุ่มทดลองสูงกว่ากลุ่มควบคุม ดังแสดงในตารางผนวกที่ 1 2 และ 3 แมงกานีสมีความสำคัญ โดยเป็นส่วนประกอบของเอนไซม์ ไพรูเวท คาร์บอกซีเลส (pyruvate carboxylase) ไมโตคอนเดรียล เอสโอดี (mitochondrial SOD) อาร์จิเนส (arginase) และเกี่ยวข้องกับระบบการทำงานของเอนไซม์จำนวนมากภายในร่างกายเช่น ไฮโดรเลส (hydrolase) ไคเนส (kinase) ดีคาร์ดรอกซีเลส (decardroxylase) และทรานเฟอร์เรส (transferase) โดยกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ไกลโคซิลทรานเฟอร์เรส (glycosyltransferase) ซึ่งทำหน้าที่ย้ายหมู่น้ำตาลจากสารตั้งต้น (substrate) ไปยังตัวรับเช่น การสังเคราะห์กลูโคสให้เป็นโพลีแซคคาไรด์ ถูกควบคุมโดยเอนไซม์ไกลโคซิลทรานเฟอร์เรสแบบเฉพาะเจาะจง (Hill and Spears, 2001) แมงกานีสยังมีผลที่เฉพาะกับไขมัน (specific lipotropic effect) โดยเพิ่มการใช้ประโยชน์ของไขมันในร่างกาย และป้องกันการสร้างไขมันที่ตับ (ฉลอง, 2543)

6. แร่ธาตุสังกะสี

จากผลการทดลอง แม่สุกรในกลุ่มทดลอง มีปริมาณสังกะสีในซีรั่มสูงกว่าแม่สุกร กลุ่มควบคุม อาจเนื่องมาจาก แม่สุกรในกลุ่มทดลองได้รับอาหารที่เสริมสังกะสี ไกลซีน (zinc glycine) ส่งผลให้สัตว์สามารถใช้ประโยชน์จากสังกะสีได้ดียิ่งขึ้น และปริมาณสังกะสีในอาหารของแม่สุกรกลุ่มทดลองสูงกว่ากลุ่มควบคุม ดังแสดงในตารางผนวกที่ 1 2 และ 3 จากผลวิเคราะห์ปริมาณแร่ธาตุสังกะสีในซีรั่มแม่สุกรของกลุ่มควบคุม ในระยะเลี้ยงลูก 3 สัปดาห์ ปริมาณแร่ธาตุสังกะสีจะลดต่ำลง เมื่อเทียบกับระยะอุ้มท้อง 16 สัปดาห์ ซึ่งให้ผลสอดคล้องกับงานทดลองของ Mahan (2006) แสดงในภาพที่ 5 แต่ในกลุ่มทดลองปริมาณแร่ธาตุสังกะสีในซีรั่ม ระยะอุ้มท้อง 16 สัปดาห์ และเลี้ยงลูก 3 สัปดาห์ มีค่าใกล้เคียงกัน อาจเนื่องมาจากแม่สุกรกลุ่มทดลองได้รับแร่ธาตุคีเลท ที่มีส่วนประกอบของสังกะสีคีเลทเสริมลงในอาหารเหมือนกัน ดังแสดงในตารางที่ 10

วิจารณ์ผลวิเคราะห์ปริมาณฮีโมโกลบิน และฮีมาโตคริท

1. ฮีโมโกลบิน

ลูกสุกรแรกคลอดในกลุ่มทดลองมีระดับฮีโมโกลบินสูงกว่าลูกสุกรแรกคลอดในกลุ่มควบคุม ($P<0.05$) อาจเนื่องมาจากแม่สุกรในกลุ่มทดลองได้รับแร่ธาตุเหล็กในรูปคีเลท ซึ่งมีการดูดซึมมาใช้ประโยชน์ได้ดีกว่าแร่ธาตุเหล็กในรูปอนินทรีย์ และการสะสมของแร่ธาตุเหล็กในร่างกาย

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ของลูกสุกรแรกคลอด จะได้รับจากแม่ผ่านรก ซึ่งระดับของแร่ธาตุเหล็ก ที่สะสมในร่างกายของลูกสุกรแรกคลอด จะขึ้นกับระดับของแร่ธาตุเหล็ก ในอาหารแม่สุกรอุ้มท้อง (Ashmead, 1979) ผลที่ได้สอดคล้องกับงานทดลองของ Ashmead (1979) โดยศึกษาการเสริมธาตุเหล็กคีเลทในอาหารแม่สุกรอุ้มท้องช่วง 3 สัปดาห์สุดท้ายของการอุ้มท้อง พบว่าแม่สุกรและลูกสุกรแรกคลอดมีปริมาณของฮีโมโกลบิน และฮีมาโตคริทในพลาสมาเพิ่มสูงขึ้น และลูกสุกรแรกคลอดมีการสะสมของเหล็กที่ตับเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน ระดับของฮีโมโกลบินในเลือดของสุกร สามารถชี้วัดการเกิดสภาวะโลหิตจาง โดยฮีโมโกลบินที่ระดับ 10 g/dL เป็นระดับที่เหมาะสมและเพียงพอ ฮีโมโกลบินที่ระดับ 8 g/dL บอกให้รู้ว่าอยู่ในสภาวะเสี่ยงต่อการเกิดโลหิตจาง และฮีโมโกลบินที่ระดับ 7 g/dL หรือน้อยกว่า บ่งบอกถึงการเกิดโลหิตจางในสุกร (Zimmerman, 1980) จากผลการทดลองระดับฮีโมโกลบินของลูกสุกรแรกคลอดทั้ง 2 กลุ่ม อยู่ในช่วง 10-12 g/dL ซึ่งอยู่ในระดับปกติ

2. ฮีมาโตคริท

ฮีมาโตคริท หรือปริมาณเม็ดเลือดแดง (Pack cell volume, PCV) ลูกสุกรแรกคลอดในกลุ่มทดลองมีเปอร์เซ็นต์ฮีมาโตคริทสูงกว่าลูกสุกรแรกคลอดในกลุ่มควบคุม ผลที่ได้สอดคล้องกับการทดลองของ Ashmead (1979) และค่าฮีมาโตคริทจะแตกต่างกันไปตามอายุของสุกร เปอร์เซ็นต์ฮีมาโตคริทของสุกรแรกคลอด อยู่ในช่วง 35-40 เปอร์เซ็นต์ (Peters and Mahan, 2008)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

1. การศึกษาผลของการเสริมแร่ธาตุคีเลท ในอาหารต่อสมรรถภาพทางการสืบพันธุ์ของแม่สุกร ทั้ง 2 รอบการผลิต สรุปผลได้ดังนี้

1.1 จำนวนลูกสุกรแรกคลอดเฉลี่ยต่อครอก จำนวนลูกสุกรแรกคลอดมีชีวิตเฉลี่ยต่อครอก เปอร์เซ็นต์การตายแรกคลอดของลูกสุกร เปอร์เซ็นต์ลูกกรอก และอัตราการผสมติดที่ 21 วัน ของแม่สุกรกลุ่มควบคุม และกลุ่มทดลองที่เสริมแร่ธาตุคีเลท มีค่าแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$)

1.2 น้ำหนักลูกสุกรแรกคลอดมีชีวิตเฉลี่ยต่อตัว น้ำหนักลูกสุกรหย่านมเฉลี่ยต่อตัว จำนวนลูกสุกรหย่านมเฉลี่ยต่อครอก เปอร์เซ็นต์การตายของลูกสุกรก่อนหย่านม และระยะเวลาจากหย่านมจนถึงผสมพันธุ์ ของแม่สุกรกลุ่มควบคุม และกลุ่มทดลองที่เสริมแร่ธาตุคีเลท มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

2. การศึกษาผลของการเสริมแร่ธาตุคีเลทในอาหาร มีผลต่อปริมาณแร่ธาตุในซีรั่มของแม่สุกรอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$)

3. การศึกษาผลของการเสริมแร่ธาตุคีเลทในอาหารแม่สุกร มีผลต่อระดับฮีโมโกบินของลูกสุกรแรกคลอดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) และมีผลต่อค่าฮีมาโตคริทของลูกสุกรแรกคลอดอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ข้อเสนอแนะ

1. ควรเพิ่มการศึกษาปริมาณแร่ธาตุที่สะสมในร่างกายของลูกสุกรแรกคลอด เช่น ตับ ไต เนื้อ และในซีรั่มของลูกสุกร เพื่อยืนยันได้ว่า การเสริมแร่ธาตุคีเลทในอาหารแม่สุกรส่งผลต่อระดับแร่ธาตุในร่างกายของลูกสุกร และมีความสัมพันธ์กับน้ำหนักลูกสุกรแรกคลอด

2. การศึกษาครั้งนี้ทำการเสริมแร่ธาตุคีเลทลงในอาหารที่มีส่วนผสมของพรีมิกซ์ ซึ่งมีแร่ธาตุอนินทรีย์เป็นส่วนประกอบอยู่แล้ว หากต้องการผลสรุปที่ชัดเจนควรทำการทดลองโดยแบ่งเป็น 4 กลุ่มการทดลอง กลุ่มที่ 1 ไม่เสริมแร่ธาตุ กลุ่มที่ 2 เสริมแร่ธาตุในรูปอนินทรีย์ กลุ่มที่ 3 เสริมแร่ธาตุในรูปคีเลท และกลุ่มที่ 4 เสริมแร่ธาตุอนินทรีย์ + คีเลทในอาหาร

3. การใช้แร่ธาตุคีเลทควรคำนึงถึงความเหมาะสมในการใช้ โดยพิจารณาจากสมรรถภาพของสุกรที่เลี้ยง และอาหารที่ใช้ แม้ว่าแร่ธาตุในรูปคีเลทจะมีการดูดซึมได้ดี แต่สัตว์ก็ไม่สามารถใช้ประโยชน์จากแร่ธาตุที่ดูดซึมเข้าไปได้หมด และหากมีปริมาณที่มากเกินไปอาจมีผลกระทบต่อแร่ธาตุตัวอื่น ๆ ซึ่งจะส่งผลเสียต่อขบวนการทางชีวเคมีในร่างกายได้ และอาจเป็นการเพิ่มต้นทุนโดยไม่จำเป็น

4. ควรเพิ่มการศึกษาการย่อยได้ของแร่ธาตุ และการสะสมของแร่ธาตุในร่างกาย เพื่อทราบว่าปริมาณแร่ธาตุที่เสริมไป เพียงพอกับความต้องการ หรือเกินความต้องการของแม่สุกร

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

ฉลอง วชิราภากร. 2543. **โภชนศาสตร์แร่ธาตุของสัตว์.** ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

นัยนา บุญทวียวัฒน์. 2546. **ชีวเคมีทางโภชนาการ.** บ. ซิกมา ดีไซม์กราฟฟิค จำกัด. กรุงเทพฯ.

ศรีสุวรรณ ชมชัย. 2541. **คู่มือปฏิบัติการผสมเทียมสุกร**. พิมพ์ครั้งที่ 3. สำนักพิมพ์สัตว์ เศรษฐกิจแมกกาซีน, กรุงเทพฯ.

_____. 2542. **การผลิตสุกร**. ภาควิชาสัตวบาล คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สาโรช ค้าเจริญ. 2547. **อาหารและการให้อาหารสัตว์ไม่เคี้ยวเอื้อง**. ภาควิชาสัตวศาสตร์. คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ขอนแก่น.

โสภณ วิลัยศร. 2545. **ผลตอบสนองของการเสริมสังกะสีโปรตีเนทต่อสมรรถภาพการผลิตและระดับสังกะสีในซีรั่มของสุกร.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

อรุณี มัชมี. 2547. **ผลของแร่ธาตุอินทรีย์ต่อสมรรถภาพการผลิตและภูมิคุ้มกันต่อโรคอหิวาต์สุกรในสุกรหย่านม-100 กิโลกรัม.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

AAFCO. 1997. **Feed Ingredients Definition**. P. 165. *In* Hass, E. (ed.). Official Publication. Am. Assoc. Feed Control Offic., Harrisburg.

Albion. 1994. **Factors influencing stability**. Albion Research Notes. 3(4): 1-4.

Ashmead, H.D. 1979. The influence of Chelated Iron Proteinate Fed to Sows with No Iron Supplementation to Their Baby Pigs. **J. Animal Sci.** 49:235-.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

_____. 1993. **The Roles of Amino Acid Chelates in Animal Nutrition**. Noyes Publication. New Jersey. 479 p.

_____. 1996. **Nutrition of the high producing first-parity sow.** Proceedings of the XVII ANAPORC Symposium, Santiago de Compostela, Spain.

Bunch, R. J., J. T. McCall, V. C. Speer and V. W. Hays. 1965. Copper supplementation for weaning pigs. **J. Anim. Sci.** 24: 995-1000.

Buskirk, D., G. Hill, H. Ritchie and D. Nielsen. 2002. Upper midwest beef cow mineral – vitamin nutrition. **Ext. Bull.** E – 2810. 7: 1 – 8.

Caine, W.R., B.U. Metzler-Zebeli, M. McFall, T.L., Ward, R.N. Kirkwood and R. Mosenthin. 2009. Supplementation of diets for gestating sows with zinc amino acid complex and gastric intubation of suckling pigs with zinc-methionine on mineral status, intestinal morphology and bacterial translocation in lipopolysaccharide-challenged early-weaned pigs. **Res. Vet. Sci.** 86: 453-462.

Cheng, J., E.T. Kornegay and T. Schell. 1998. Influence of dietary lysine on the utilisation of zinc from zinc sulfate and zinc-lysine complex by young pigs. **J. Anim. Sci.** 76:1064.

Close, W. H. 1998**.** The role of trace mineral proteinates in pig nutrition. *In* Biotecnology in the feed industry. Proceedings of the 14th Annual Symposium. Eds.

_____. 1999**.** Mineral nutrition in the new millennium: The scientific case for organic minerals. **Concepts in Pig Science**. Ed T. P. Lyons & D.J.A. Cole. Notingham University Press. Nottingham, UK Pg 131-142.

_____ and D. J. A. Cole. 2000. **Nutrition of Sows and Boars.** Nottingham University Press, Nottingham. 377 p.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Coffey, R.D., G.L. Cromwell, and H.J. Monegue. 1994. Efficacy of a copper – lysine complex as a growth promotant for weanling pigs. **J. Anim. Sci.** 72: 2880 – 2891.

Christianson, S.L., E.R. Peo, and A.J. Lewis. 1989. Effects of dietary manganese levels on reproductive performance of sows. **J. Anim. Sci.** 67 (Suppl. 1) : 251(Abstr).

_____, E.R. Peo, A.J. Lewis and M.A. Giesemann. 1990. Influence of dietary manganese levels on reproduction, serum cholesterol, and milk manganese concentration of sows. **J. Anim. Sci.** 68 (Suppl. 1) : 368(Abstr).

Creech, B.L., J. W. Spears, W.L. Flowers, G.M. Hill, K.E. Lloyd, T.A. Armstrong, and T.E. Engle. 2004. Effect of dietary trace mineral concentration and source (inorganic vs. chelated) on performance, mineral status, and fecal mineral excretion in pigs from weaning through finishing. **J. Anim. Sci.** 82:2140-2147.

Crenshaw, T.D. 1991. Sodium, potassium, magnesium and chloride in swine nutrition. *In* **Swine Nutrition**, Miller, E.R., D.E. Ullrey and A.J. Lewis, Eds., Butterworth-Heinemann, Boston, 183.

Cromwell, G.L., T.S. Stahly and H. J. Monegue. 1989. Effects of source and level of copper on performance and liver copper stores in weaning pigs. **J. Anim. Sci.** 67: 2996-3002.

_____, _____, R.D. Coffey, H.J. Monegue, and J.H. Randolph. 1993. Efficacy of phytase in improving the bioavailability of phosphorus in soybean meal and corn- soybean meal diets for pigs. **J. Anim. Sci.** 71:1831-1840.

Everts, E., A.W. Jongbloed and R.A. Dekker. 1998. Calcium, magnesium and phosphorus balance of sows during lactation for three parities. **Livest. Prod. Sci.** 55:109-115.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Feng, J., W.Q. Ma, Z.R. Xu, J.X. He, Y.Z. Wang and J.X. Liu. 2009. The effect of iron glycine chelate on tissue mineral levels, fecal mineral concentration, and liver antioxidant enzyme activity in weanling pigs. **Anim. Feed Sci. Technol.** 150: 106–113.

_____, _____, _____, Y.Z. Wang and J.X. Liu. 2007. Effects of iron glycine chelate on growth, haematological and immunological characteristics in weaning pigs. **Anim. Feed Sci. Technol.** 134: 261–272.

Groff, J.L., S.S. Gropper and S.M. Hunt. 1995. **Advanced Nutrition and Human Metabolism**. 2nd ed., West Publication Company, New York. 575 p.

Hamilton, D. N., M. Ellis, M. D. Hermann, F. K. McKeith, K. D. Miller and K. W. Purser. 2002. The impact of longissimus glycolytic potential and short-term feeding of magnesium sulfate heptahydrate prior to slaughter on carcass characteistics and pork quality. **J. Anim. Sci.** 80: 1586-1592.

Harmon, B.G., C.T. Liu, A.H. Jensen and D.H. Baker. 1976. Dietary magnesium levels for sows during gestation and lactation. **J. Anim. Sci.** 40:660-664.

Hill, G.M. and J.W. Spears. 2001. Trace and Ultratrace Elements in Swine Nutrition. pp. 229-262. *In* Lewis, A.J. and L.L. Southen (eds.). **Swine Nutrition**. CRC Press, New York. 1009 p.

_____, G.L. Cromwell, T.D. Crenshaw, C.R. Dove, R.C. Ewan, D.A. Knabe, A. J. Lewis, G.W. Libal, D.C. Mahan, G.C. Shurson, L.L. Southern, and T.L. Veum. 2000. Growth promotion effects and plasma changes from feeding high dietary concentrations of zinc and copper to weanling pigs (regional study). **J. Anim Sci.** 78:1010-1016.

_____, P.K. Ku, E.R. Miller, D.E. Ullrey, T.A. Losty, and B.L. O'Dell. 1983. Copper deficiency in neonatal pigs induced by a high zinc maternal diet. **J. Nutr.** 113:867-872.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Hostetler, C.E.. J.D. Cronath, W.C. Becker, and M.A. Mirando. 2000. Dietary supplementation of proteinated trace minerals (OPTiMIN) in sow and replacement gilts increases mineral concentrations in reproductive tissues. **Congr. Anim. Reprod**. 1: 272.

Hurley, W.L. and R.M. Doane. 1989. Recent developments in the role of vitamins and minerals in reproduction. **J. Dairy Sci**. 72: 784-804.

Li, J., L. Yan, X. Zheng, G. Liu, N. Zhang and Z. Wang. 2008. Effect of high dietary copper on weight gain and neuropeptide Y level in the hypothalamus of pigs. **J. Trace Elem.** 22: 33-38.

Lillie, R.J. and L.T. Frobish. 1978. Effect of copper and iron supplements on performance and hematology of confined sows and their progeny through four reproductive cycles. **J. Anim. Sci.** 46:678-685.

MacDonald, R.S. 2000. The role of zinc in growth and cell proliferation. **J. Nutr.** 130:1500-1508.

Mahan, D.C. 2006. **The changing mineral status of high reproducing sows.** Swine Nutrition Conference Proceeding. 17-27.

_____ and E.A. Newton. 1995. Effects of initial breeding weight on macro- and micromineral composition over a three-parity period using a high-producing sow genotype. **J. Anim. Sci.** 73:151-158.

_____ and J. C. Peters. 2004. Long-term effects of dietary organic and inorganic selenium sources and levels on reproducing sows and their progeny. **J. Anim. Sci.** 82:1343-1358.

Mavromichalis, I. 2006. **Applied Nutrition for Young Pigs**. CABI, Inc., Massachusetts.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

McCusker, R. H., M. Kaleko, and R. L. Sackett. 1998. Multivalent cations and ligand affinity of the type 1 insulin-like growth factor receptor on P2A2-LISN muscle cells. **J. Cell. Phys.** 176:392-401.

McDowell, L.R. 1992. **Minerals in Animal and Human Nutrition**. Academic Press, Inc., San Diego.

_____. 2003. **Minerals in Animal and Human Nutrition**. Amsterdam: Elsevier.

Miller, D.J., D.E. Ullrey, C.L. Zutaut, B.V. Baltzer, D.A. Schmidt, J.A. Hoefer and R.W. Luecke. 1965. Magnesium requirement of the baby pig. **J. Nutr.** 85: 13-20.

Miller, S.M. 1990. Protecting mineral but not too much. **Pig Progress**. 16: 28-30.

Mullis, L.A., J.W. Spears, and R.L. McCraw. 2003. Effects of breed (Angus vs Simmental) and copper and zinc source on mineral status of steers fed high dietary iron. **J. Anim Sci.** 81:318-322.

NRC. 1988. **Nutrient Requirements of Swine**. 9th ed., National Academy Press, Washington, D.C.

_____. 1998. **Nutrient Requirements of swine**. 10th ed., National Academy press., Washington, D.C.

_____. 2005. **Mineral Tolerance of Animals**. 2sd ed., National Academy press., Washington, D.C.

O'Dell, B.L. and R.A. Sunde. 1977. **Hanbook of Nutritionally Essential Mineral Elements**. Marcel Dekker, Inc., New York.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Øverland, M., P. Bikker and J. Fledderus. 2009. Potassium diformate in the diet of reproducing sows: Effect on performance of sows and litters. **Livest. Sci.** 122: 241-247

Patience, J.F. and R.T. Zijstra. 2001. Sodium, potassium, magnesium and chloride. pp. 213-228. *In* Lewis, A.J. and L.L. Southen (eds.). **Swine Nutrition**. CRC Press, New York. 1009 p.

Peters, J. C. 2006. **Evaluating the efficacy of dietary organic and inorganic trace minerals in reproducing female pigs on reproductive performance and body mineral composition.** Ph.D. thesis. Department of Animal Sciences. The Ohio State University.

_____ and D.C. Mahan. 2008. Effects of neonatal iron status, iron injections at birth, and weaning in young pigs from sows fed either organic or inorganic trace minerals. **J. Anim. Sci.** 86:2261-2269.

Pond, W. G. and J. H. Maner. 1984. **Swine Production and Nutrition**. pp 276278. AVI Publishing Co., Westport, CT.

_____, D.C. Church and K.R. Pond. 1995. **Basic Animal Nutrition and Feeding**. 4th ed. John Wiley and Sons. Inc., New York.

Plumlee, M.P., D.M. Thrasher, W.M. Beeson, F.N. Andrews, and H.E. Parker. 1956. The effects of a manganese deficiency upon the growth, development, and reproduction of swine. **J. Anim. Sci.** 15:352-367.

Reaume, J.A. and E.R. Chavaz. 1989. Trace mineral metabolism in non-gravid, gestation and lactation gilts fed two dietary levels of manganese. **J. Trace Elem. Electrolytes Health Dis.** 3:231-242.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Sahin, K., M. O.Smith, M. Onderci, N. Sahin, M. F. Gursu, S. Gursu and O. Kucuk. 2005. Supplementation of zinc form organic or inorganic source improves performance and Antioxidant status of heat-distressed Quail. **J. Poult. Sci.** 84: 882-887.

Scott, M. L., M. C. Nesheim and R.J. Young. 1971. **Nutrition of the Chicken.** M.L. Scott & Associates Publishers, New York. 511 p.

_____. 1982**.** **Nutrition of the Chicken**. Humphrey Press INC., Ithaca, New York. 562 p.

Spears, J. W. 2003. Trace mineral bioavailability in ruminants. **J. Nutr.** 133:1506S-1509S.

_____ and E. B. Kegley. 2002. Effect of zinc source (zinc oxide vs zinc proteinate) and level on performance, carcass characteristics, and immune response of growing and finishing steers. **J. Anim. Sci.** 80: 2747-2752.

Stipanuk, M.H. 2000. **Biochemical and Physiological Aspects of Human Nutrition.** W.B. Saunders Company, London, 1007 p.

Sullivan, D.M. and D.E. Carpenter. 1993. **Method of Analysis for Nutrition Labeling**. A.O.A.C. International, USA. 614 p.

Underwood, E.J. and N.F. Suttle. 1999. **The Mineral Nutrition of Livestock**. 3rd Edition. CABI Publ. New York, NY.

Vandergriff, B. 1993. The role of mineral protinates in immunity and reproduction. What do we really know about them ?. pp. 27-39**.** *In* **Biotechnology in the Feed Industry**. Proceeding of Altech' s Ninth Annuat Symposium, Nottingham University Press, Nottingham.

_____. 1994. **Bioplexes trace mineral proteinate.** Alltech, Inc., New York. 331 p.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Veum, T.L. M.S. Carlson, C.W. Wu, D.W. Bollinger, and M.R. Ellersieck. 2004. Copper proteinate in weanling pig diets for enhancing growth performance and reducing fecal copper excretion compared with copper sulfate. **J. Anim Sci.** 82:1062-1070.

Wauben, I.P., H.C. Xing and P.E. Wainwright. 1999. Neonatal dietary zinc deficiency in artificially reared rat pups retards behavioral development and interacts with essential fatty acid deficiency to alter liver and brain fatty acid composition. **J. Nutr.** 129:1773-1781.

Yu, S., C. E. West and A. C. Beynen. 1994. Increasing intakes of iron reduces status, absorption and biliary excretion of copper in rats. **Br. J. Nutr.** 71: 887-895.

Zhou, W., E.T. Kornegay, H.van Larr, J.W.G.M. Swinkels, E.A. Wong, and M.D. Lindemann. 1994. The role of feed consumption and feed efficiency in copper– stimulated growth. **J. Anim. Sci.** 72: 2385 – 2394.

Zimmerman, D.R. 1980. **Iron in swine nutrition**. In National Feed Ingredient Association Literature Review on Iron in Animal and Poultry Nutrition. Des Moines, Iowa: National Feed Ingredient Association.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ภาคผนวก

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ผลวิเคราะห์องค์ประกอบทางโภชนะของอาหารทดลอง

ส่วนประกอบทางโภชนะของอาหารทดลองในระยะหย่านมถึงผสมพันธุ์ได้ 30 วัน ระยะอุ้มท้องที่ 12-16 สัปดาห์ และระยะเลี้ยงลูก โภชนะอาหารในแต่ละระยะของกลุ่มควบคุม และกลุ่มทดลองมีค่าใกล้เคียงกัน ผลการวิเคราะห์ปริมาณแร่ธาตุในอาหารทดลองทั้ง 3 ระยะ อาหารในกลุ่มทดลอง ซึ่งทำการเสริมแร่ธาตุคีเลท มีปริมาณแร่ธาตุในอาหารสูงขึ้น ดังแสดงไว้ในตารางผนวกที่ 1 2 และ 3 ตามลำดับ

ตารางผนวกที่ 1 ผลการวิเคราะห์ส่วนประกอบทางโภชนะของอาหารทดลองระยะหย่านมถึง ก่อนคลอด 1 เดือน

ส่วนประกอบทางโภชนะ	กลุ่มควบคุม	กลุ่มทดลอง
ความชื้น (%)	9.52	9.85
โปรตีน (%)	16.16	16.24
ไขมัน (%)	7.33	7.16
เถ้า (%)	8.90	8.73
เยื่อใย (%)	5.47	5.67
คาร์โบไฮเดรท (%)	58.09	58.05
พลังงานรวม (แคลอรี่/กรัม)	3629.70	3627.50
พลังงานจากไขมัน (แคลอรี่/กรัม)	659.70	658.80
โพแทสเซียม (ก./กก.)	8.56	8.51
แมกนีเซียม (ก./กก.)	2.62	2.60
ทองแดง (มก./กก.)	51.37	53.94
เหล็ก (มก./กก.)	482.55	581.44
แมงกานีส (มก./กก.)	73.92	79.30
สังกะสี (มก./กก.)	182.76	188.75

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 2 ผลการวิเคราะห์ส่วนประกอบทางโภชนะของอาหารทดลองระยะอุ้มท้อง (อุ้มท้อง 12-16 สัปดาห์)

ส่วนประกอบทางโภชนะ	กลุ่มควบคุม	กลุ่มทดลอง
ความชื้น (%)	9.52	9.85
โปรตีน (%)	16.16	16.24
ไขมัน (%)	7.33	7.16
เถ้า (%)	8.90	8.73
เยื่อใย (%)	5.47	5.67
คาร์โบไฮเดรท (%)	58.09	58.05
พลังงานรวม (แคลอรี่/กรัม)	3629.70	3627.50
พลังงานจากไขมัน (แคลอรี่/กรัม)	659.70	658.80
โพแทสเซียม (ก./กก.)	8.53	8.52
แมกนีเซียม (ก./กก.)	2.59	2.58
ทองแดง (มก./กก.)	51.79	55.27
เหล็ก (มก./กก.)	480.78	505.83
แมงกานีส (มก./กก.)	75.15	95.15
สังกะสี (มก./กก.)	179.45	221.25

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 3 ผลการวิเคราะห์ส่วนประกอบทางโภชนะของอาหารทดลองระยะเลี้ยงลูก

ส่วนประกอบทางโภชนะ	กลุ่มควบคุม	กลุ่มทดลอง
ความชื้น (%)	9.21	9.35
โปรตีน (%)	18.63	18.46
ไขมัน (%)	6.61	6.82
เถ้า (%)	7.92	7.64
เยื่อใย (%)	4.32	4.56
คาร์โบไฮเดรท (%)	57.63	57.85
พลังงานรวม (แคลอรี่/กรัม)	3645.30	3647.10
พลังงานจากไขมัน (แคลอรี่/กรัม)	594.90	597.40
โพแทสเซียม (ก./กก.)	8.74	8.96
แมกนีเซียม (ก./กก.)	2.67	2.73
ทองแดง (มก./กก.)	39.57	41.92
เหล็ก (มก./กก.)	465.15	505.88
แมงกานีส (มก./กก.)	65.27	75.65
สังกะสี (มก./กก.)	158.41	181.55

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ประวัติการศึกษาและการทำงาน

ชื่อ–นามสกุล	นางสาวสุธิษา มาเจริญ
วัน เดือน ปี ที่เกิด	28 มกราคม 2528
สถานที่เกิด	จังหวัดลพบุรี
ประวัติการศึกษา	วท.บ. (เกษตรศาสตร์) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์