



ใบรับรองวิทยานิพนธ์  
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม)

ปริญญา

วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง ผลการใช้น้ำสกัดมูลไก่ไข่และน้ำสกัดมูลนกกระทาไข่ เป็นแหล่งธาตุอาหารเสริมทางใบต่อปริมาณธาตุอาหารในลำต้น ใบ เมล็ด และผลผลิตของข้าวหอมพันธุ์ปิ่นเกษตร 1

Effect of Layer and Laying Japanese Quails Manure Extract as Foliar Application on Mineral Content in Stem, Leaf, Grain and Yield of Rice CV. Pin Kaset 1

นามผู้วิจัย นางสาวศาล์ณี ศรีศาสนวงศ์

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

( รองศาสตราจารย์จรงค์ แก้วประสิทธิ์, Ph.D. )

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

( รองศาสตราจารย์อุทัย คันโช, วท.ม. )

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

( อาจารย์สุกัญญา จิตตพรพงษ์, วท.ม. )

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

( อาจารย์วิจิตร ใจอารีย์, Dr.rer.agr. )

หัวหน้าสายวิชา

( ผู้ช่วยศาสตราจารย์ธนวรรณ พาณิชพัฒน์, ประ.ด. )

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

( รองศาสตราจารย์กัญญา ชีระกุล, D.Agr. )

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ ..... เดือน ..... พ.ศ. ....

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

ผลการใช้น้ำสกัดมูลไก่ไข่และน้ำสกัดมูลนกกกระทาไข่ เป็นแหล่งธาตุอาหารเสริมทางใบต่อปริมาณ  
ธาตุอาหารในลำต้น ใบ เมล็ด และผลผลิตของข้าวหอมพันธุ์ปิ่นเกษตร 1

Effect of Layer and Laying Japanese Quails Manure Extract as Foliar Application on Mineral  
Content in Stem, Leaf, Grain and Yield of Rice CV. Pin Kaset 1

โดย

นางสาวศัลลณี ศรีศาสนวงศ์

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม)

พ.ศ. 2553

ศาลัชนี ศรีศาสนวงศ์ 2553: ผลการใช้ น้ำสัคคมูล ไก่ไข่และ น้ำสัคคมูลนกกระทาไข่ เป็นแหล่งธาตุอาหารเสริมทางใบต่อปริมาณธาตุอาหารในลำต้น ใบ เมล็ด และผลผลิตของข้าวหอมพันธุ์ปิ่นเกษตร 1 ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม) สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม สายวิชาวิทยาศาสตร์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รองศาสตราจารย์ จงรักษ์ แก้วประสิทธิ์, Ph.D. 147 หน้า

การทดลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลการใช้ น้ำสัคคมูล ไก่ไข่และ น้ำสัคคมูลนกกระทาไข่ เป็นแหล่งธาตุอาหารเสริมทางใบต่อปริมาณธาตุอาหารในลำต้น ใบ เมล็ด และผลผลิตของข้าวหอมพันธุ์ปิ่นเกษตร 1 โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มภายในบล็อกสมบูรณ์ (Randomize Completely Block Design, RCBD) จำนวน 3 ซ้ำ ซึ่งมีดำรับการทดลองดังนี้ 1.ไม่พ่นน้ำสัคคและปุ๋ยเคมี 2.ปุ๋ยเคมีน้ำ 3.น้ำสัคคมูลไก่ไข่ร่วมกับปุ๋ยเคมีน้ำ 4.น้ำสัคคมูลไก่ไข่ 5.น้ำสัคคมูลนกกระทาไข่ร่วมกับปุ๋ยเคมีน้ำ 6.น้ำสัคคมูลนกกระทาไข่ ทุกดำรับการทดลองเริ่มให้ธาตุอาหารเสริมทางใบเมื่อข้าวอายุ 45 วัน และให้ครั้งต่อไปทุก ๆ 15 วัน จนกระทั่งอายุ 120 วัน และเก็บเกี่ยวผลผลิตเมื่ออายุ 140 วัน

ผลการศึกษาปริมาณแร่ธาตุอาหารพืชในมูลและน้ำสัคคมูลของไก่ไข่และนกกระทาไข่ พบว่า น้ำสัคคทั้งสองชนิดมีแร่ธาตุอาหารต่าง ๆ ที่มีในมูลครบทั้ง 13 ชนิด และเป็นแร่ธาตุชนิดเดียวกับที่พืชต้องการใช้เป็นแหล่งธาตุอาหาร นอกจากนี้ พบความสัมพันธ์ระหว่างแร่ธาตุในมูลและน้ำสัคคมูลทั้งของไก่ไข่และนกกระทาไข่ โดยมีสมการความสัมพันธ์ในเชิงคณิตศาสตร์แบบเส้นตรง  $Y = aX \pm b$  ความสัมพันธ์ของแร่ธาตุที่พบระหว่างมูลและน้ำสัคคมูลของไก่ไข่ คือ ธาตุไนโตรเจน โปแทสเซียม ทองแดง สังกะสี และโซเดียม ( $r^2 = 0.564, 0.794, 0.679, 0.267$  และ  $0.318$  ตามลำดับ) ส่วนความสัมพันธ์ของแร่ธาตุที่พบระหว่างมูลและน้ำสัคคมูลของนกกระทาไข่ คือ ธาตุไนโตรเจน โปแทสเซียม กำมะถัน คลอรีน และโซเดียม ( $r^2 = 0.289, 0.435, 0.270, 0.825$  และ  $0.726$  ตามลำดับ)

น้ำสัคคมูลไก่ไข่ และน้ำสัคคมูลนกกระทาไข่มีผลต่อการสะสมของธาตุอาหารต่าง ๆ รวมถึงการเจริญเติบโต และผลผลิตของข้าวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) โดยการสะสมของธาตุอาหารส่วนใหญ่อยู่ที่ลำต้นมากที่สุด รองลงมาคือ ใบ และเมล็ด สำหรับการเจริญเติบโตได้แก่ ความยาวใบ ความสูงของลำต้น และการแตกกอ พบว่า การให้น้ำสัคคมูลไก่ไข่ร่วมกับปุ๋ยเคมีน้ำมีแนวโน้มทำให้มีความยาวใบ และ ความสูงมากที่สุด โดยมีความยาวใบ เท่ากับ 46.1 เซนติเมตร และความสูงของลำต้น เท่ากับ 147.4 เซนติเมตร ส่วนน้ำสัคคมูลนกกระทาไข่มีผลทำให้การแตกกอมีแนวโน้มมากกว่าดำรับการทดลองอื่น ๆ โดยมีการแตกกอ 34 กอต่อต้นในด้านผลผลิต ได้แก่ น้ำหนักแห้ง 1,000 เมล็ด และน้ำหนักผลผลิตข้าวสด พบว่าการใช้น้ำสัคคมูลนกกระทาไข่มีแนวโน้มให้ผลผลิตสูงกว่าดำรับการทดลองอื่น ๆ โดยมีน้ำหนักแห้ง 1,000 เมล็ด 26.05 กรัม และน้ำหนักผลผลิตข้าวสด 933.7 กิโลกรัมต่อไร่ ตามลำดับ

ลายมือชื่อนิสิต

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

Satane Srisatsanawong 2010: Effect of Layer and Laying Japanese Quails Manure Extract as Foliar Application on Mineral Content in Stem, Leaf, Grain and Yield of Rice CV. Pin Kaset 1. Master of Science (Environmental Science and Technology), Major Field: Environmental Science and Technology, Division of Sciences. Thesis Advisor: Associate Professor Chongrak Kaewprasit, Ph.D. 147 pages.

Objective of this study was to compared effects of layer and laying Japanese quails manure extract as foliar application on mineral contents in stem, leaf, grain and yield of rice CV. Pin Kaset 1. Experimental design of this study was Randomize Completely Block Design (RCBD) with 6 treatments and 3 replicates as followed : 1. control unit (no manure extract and fertilizer spraying) 2. liquid chemical fertilizer (LCF) 3. layer manure extract with LCF 4. layer manure extract 5. laying Japanese quails manure extract with LCF 6. laying Japanese quails manure extract. All treatments were foliar applied to rice when rice was grown at 45 days and applied every 15 days until 120 days, then stop applying all treatments, and harvested at 140 days.

Results showed that diet minerals found in both of manure extract were 13 minerals, which was as same as plant minerals. Furthermore, by regressions between minerals in manure and mineral in manure extract of layer and laying Japanese quails, there was relationships among this two parameters according to  $Y = aX \pm b$ .  $r^2$  of the regressions of minerals that found in manure and layer manure extract for N, K, Cu, Zn and Na were 0.564, 0.794, 0.679, 0.267 and 0.318, respectively and  $r^2$  of the regressions of those in laying Japanese quails for N, K, S, Cl and Na were 0.289, 0.435, 0.270, 0.825 and 0.726, respectively.

Layer and laying Japanese quails manure extracts significantly ( $p < 0.05$ ) effect on rice minerals accumulation. The highest accumulation was found in stem, followed by leaf and grain. For growth of rice, it were found that, firstly, rice applied by layer manure extract with LCF treatment trended to increase leaf extent and stem height which was more than the other treatments (46.1 cm of leaf extent and 147.4 cm of stem height), secondly, rice applied by laying Japanese quails manure extract treatment had 34 tillers which was more than the other. thirdly, 1,000 dry weight of grain that applied by laying Japanese quails manure extract were 26.05 g and finally, fresh yield was 933.7 kg rai<sup>-1</sup> which were higher than the other treatments.

---

Student's signature

---

Thesis Advisor's signature

## กิตติกรรมประกาศ

ดิฉันขอกราบขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร. จงรักษ์ แก้วประสิทธิ์ ประธานกรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้กรุณาให้คำอบรม สั่งสอน คำแนะนำ คำปรึกษา ความรู้ต่างๆ ทั้งทางด้านวิชาการและการดำเนินชีวิตปัจจุบันและในอนาคต ตลอดจนตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ขอกราบขอบพระคุณรองศาสตราจารย์อุทัย คันโธ อาจารย์สุกัญญา จัตตุพรพงษ์ และอาจารย์ ดร. วิจิตร ใจอารีย์ กรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่ให้คำปรึกษาในการเรียน การค้นคว้าวิจัย ตลอดจนการตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์จนกระทั่งเสร็จสมบูรณ์ และขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พงษ์นาค นาถวรานันต์ ผู้ทรงคุณวุฒิ และอาจารย์ ดร. จุฑิษา แซ่ปั้ง ประธานกรรมการการสอบวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่สายวิชาเคมี คณะศิลปศาสตร์และวิทยาศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน เจ้าหน้าที่งานทดสอบดินปุ๋ยและการประยุกต์ ฝ่ายปฏิบัติการวิจัยและเรือนปลูกพืชทดลอง สถาบันวิจัยและพัฒนา กำแพงแสน และเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการศูนย์ค้นคว้าและพัฒนาวิชาการอาหารสัตว์ ที่ให้ความช่วยเหลือตลอดจนอำนวยความสะดวกในการทดลองและวิเคราะห์ตัวอย่าง

ท้ายสุดขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และญาติพี่น้อง ที่ให้การสนับสนุนและเป็นกำลังใจตลอดมา ขอขอบคุณเพื่อน ๆ ในสาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม และน้อง ๆ ฟาร์มนิสิตคณะเกษตรกำแพงแสน สำหรับความช่วยเหลือในแปลงทดลอง

คุณค่าและสิ่งที่เป็นประโยชน์ที่วิทยานิพนธ์เล่มนี้พึงมี ขอมอบแด่บิดา มารดา และผู้มีพระคุณทุกท่าน รวมทั้งครูบาอาจารย์ตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน

ศาส์ธานี ศรีศาสนวงศ์

พฤษภาคม 2553

## สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(6)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการ	25
อุปกรณ์	25
วิธีการ	27
ผลและวิจารณ์	39
สรุปผลการทดลอง	120
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	122
ภาคผนวก	130
ภาคผนวก ก ตารางผนวก	131
ภาคผนวก ข ภาพผนวก	138
ประวัติการศึกษา และการทำงาน	147

## สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ระดับค่าวิกฤติของธาตุอาหารบางชนิดที่มีผลทำให้เกิดการขาดแคลน เหมาะสม และความเป็นพิษแก่ต้นข้าว	16
2	ผลกระทบจากการขาดธาตุอาหารบางชนิดในส่วนต่าง ๆ ของต้นข้าว	17
3	ลักษณะเด่นประจำพันธุ์ของข้าวหอมพันธุ์ปิ่นเกษตร 1	25
4	ฟาร์มไก่ไข่ ฟาร์มนกกกระทาไข่ และสถานที่ตั้ง	28
5	การให้ธาตุอาหารเสริมทางใบแบบต่าง ๆ แก่ข้าวในการทดลอง	33
6	สมบัติทางกายภาพและสมบัติทางเคมีของอาหาร มูลและน้ำสกัดมูลไก่ไข่ อายุ 24 ชั่วโมง แต่ละฟาร์มที่ศึกษา	40
7	สมบัติทางกายภาพและสมบัติทางเคมีของอาหาร มูลและน้ำสกัดมูล นกกกระทาไข่อายุ 24 ชั่วโมง แต่ละฟาร์มที่ศึกษา	42
8	ปริมาณแร่ธาตุอาหารพืช (ค่าเฉลี่ย $\pm$ S.D.) ในอาหารไก่ไข่น้ำหนักแห้ง แต่ละฟาร์มที่ศึกษา	46
9	ปริมาณแร่ธาตุอาหารพืช (ค่าเฉลี่ย $\pm$ S.D.) ในมูลไก่ไข่น้ำหนักแห้ง แต่ละฟาร์มที่ศึกษา	49
10	ปริมาณแร่ธาตุอาหารพืช (ค่าเฉลี่ย $\pm$ S.D.) ในน้ำสกัดมูลไก่ไข่อายุ 24 ชั่วโมง แต่ละฟาร์มที่ศึกษา	52
11	ปริมาณแร่ธาตุอาหารพืช (ค่าเฉลี่ย $\pm$ S.D.) ในอาหารนกกกระทาไข่น้ำหนัก แห้งแต่ละฟาร์มที่ศึกษา	55
12	ปริมาณแร่ธาตุอาหารพืช (ค่าเฉลี่ย $\pm$ S.D.) ในมูลนกกกระทาไข่น้ำหนักแห้ง แต่ละฟาร์มที่ศึกษา	58
13	ปริมาณแร่ธาตุอาหารพืช (ค่าเฉลี่ย $\pm$ S.D.) ในน้ำสกัดมูลนกกกระทาไข่อายุ 24 ชั่วโมง แต่ละฟาร์มที่ศึกษา	62
14	ความสัมพันธ์ระหว่างแร่ธาตุในอาหารไก่ไข่และมูลไก่ไข่	64
15	ความสัมพันธ์เชิงบวกระหว่างแร่ธาตุในมูลไก่ไข่และน้ำสกัดมูลไก่ไข่	66

### สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
16	ความสัมพันธ์ระหว่างแร่ธาตุในอาหารนกกกระทาไข่และมูลนกกกระทาไข่	68
17	ความสัมพันธ์เชิงบวกระหว่างแร่ธาตุในมูลนกกกระทาไข่และน้ำสกัดมูลนกกกระทาไข่	70
18	สมบัติทางกายภาพ สมบัติทางเคมี และปริมาณแร่ธาตุอาหารพืชของน้ำสกัดมูลไก่ไข่ฟาร์มฟ้าใสการเกษตร 3 และน้ำสกัดมูลนกกกระทาไข่ฟาร์มอเนกอายุ 24 ชั่วโมง และอายุ 3 เดือน	72
19	การนำไฟฟ้าขณะที่ดินอิ่มตัวด้วยน้ำ (EC (Sat)) และความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (CEC) ของตัวอย่างดินแต่ละตำรับการทดลองก่อนปลูกและหลังการเก็บเกี่ยว	74
20	ความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) และปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน (OM) ของตัวอย่างดินแต่ละตำรับการทดลองก่อนปลูกและหลังเก็บเกี่ยว	76
21	ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (total N) และฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (available P) ของตัวอย่างดินแต่ละตำรับการทดลองก่อนปลูกและหลังเก็บเกี่ยว	78
22	ปริมาณโพแทสเซียม และแคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (exchangeable K and Ca) ของตัวอย่างดินแต่ละตำรับการทดลองก่อนปลูกและหลังเก็บเกี่ยว	80
23	ปริมาณแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (exchangeable Mg) และกำมะถันที่สกัดได้ (Extractable S) ของตัวอย่างดินแต่ละตำรับการทดลองก่อนปลูกและหลังเก็บเกี่ยว	82
24	ปริมาณคลอรีน โบรอนที่สกัดได้ (extractable Cl and B) และโซเดียมที่แลกเปลี่ยนได้ (exchangeable Na) ของตัวอย่างดินแต่ละตำรับการทดลองก่อนปลูกและหลังเก็บเกี่ยว	84
25	ปริมาณทองแดง และเหล็กที่สกัดได้ (extractable Cu and Fe) ของตัวอย่างดินแต่ละตำรับการทดลองก่อนปลูกและหลังเก็บเกี่ยว	86

### สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
26	ปริมาณแมงกานีส และสังกะสีที่สกัดได้ (extractable Mn and Zn) ของตัวอย่างดินแต่ละตำรับการทดลองก่อนปลูกและหลังเก็บเกี่ยว	88
27	ปริมาณไนโตรเจนในลำต้น ใบ และเมล็ด (เปอร์เซ็นต์) ของข้าวหอมพันธุ์ปิ่นเกษตร 1 ในระยะเก็บเกี่ยว ที่ตำรับการทดลองต่าง ๆ	90
28	ปริมาณฟอสฟอรัสในลำต้น ใบ และเมล็ด (เปอร์เซ็นต์) ของข้าวหอมพันธุ์ปิ่นเกษตร 1 ในระยะเก็บเกี่ยว ที่ตำรับการทดลองต่าง ๆ	92
29	ปริมาณโพแทสเซียมในลำต้น ใบ และเมล็ด (เปอร์เซ็นต์) ของข้าวหอมพันธุ์ปิ่นเกษตร 1 ในระยะเก็บเกี่ยว ที่ตำรับการทดลองต่าง ๆ	94
30	ปริมาณแคลเซียมในลำต้น ใบ และเมล็ด (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ของข้าวหอมพันธุ์ปิ่นเกษตร 1 ในระยะเก็บเกี่ยว ที่ตำรับการทดลองต่าง ๆ	96
31	ปริมาณแมกนีเซียมในลำต้น ใบ และเมล็ด (เปอร์เซ็นต์) ของข้าวหอมพันธุ์ปิ่นเกษตร 1 ในระยะเก็บเกี่ยว ที่ตำรับการทดลองต่าง ๆ	98
32	ปริมาณกำมะถันในลำต้น ใบ และเมล็ด (เปอร์เซ็นต์) ของข้าวหอมพันธุ์ปิ่นเกษตร 1 ในระยะเก็บเกี่ยว ที่ตำรับการทดลองต่าง ๆ	100
33	ปริมาณคลอรีนในลำต้น ใบ และเมล็ด (เปอร์เซ็นต์) ของข้าวหอมพันธุ์ปิ่นเกษตร 1 ในระยะเก็บเกี่ยว ที่ตำรับการทดลองต่าง ๆ	102
34	ปริมาณโบรอนในลำต้น ใบ และเมล็ด (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ของข้าวหอมพันธุ์ปิ่นเกษตร 1 ในระยะเก็บเกี่ยว ที่ตำรับการทดลองต่าง ๆ	103
35	ปริมาณทองแดงในลำต้น ใบ และเมล็ด (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ของข้าวหอมพันธุ์ปิ่นเกษตร 1 ในระยะเก็บเกี่ยว ที่ตำรับการทดลองต่าง ๆ	105
36	ปริมาณเหล็กในลำต้น ใบ และเมล็ด (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ของข้าวหอมพันธุ์ปิ่นเกษตร 1 ในระยะเก็บเกี่ยว ที่ตำรับการทดลองต่าง ๆ	106
37	ปริมาณแมงกานีสในลำต้น ใบ และเมล็ด (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ของข้าวหอมพันธุ์ปิ่นเกษตร 1 ในระยะเก็บเกี่ยว ที่ตำรับการทดลองต่าง ๆ	108

## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
38	ปริมาณสังกะสีในลำต้น ใบ และเมล็ด (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ของข้าวหอมพันธุ์ปิ่นเกษตร 1 ในระยะเก็บเกี่ยว ที่ได้รับการทดลองต่าง ๆ	110
39	ปริมาณโซเดียมในลำต้น ใบ และเมล็ด (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ของข้าวหอมพันธุ์ปิ่นเกษตร 1 ในระยะเก็บเกี่ยว ที่ได้รับการทดลองต่าง ๆ	112
40	ความยาวใบของข้าวหอมพันธุ์ปิ่นเกษตร 1 (เซนติเมตร) ในระยะแตกกอ และเริ่มออกดอก-ออกรวงที่ได้รับการทดลองต่าง ๆ	113
41	ความสูงลำต้นของข้าวหอมพันธุ์ปิ่นเกษตร 1 (เซนติเมตร) ในระยะแตกกอ และเริ่มออกดอก-ออกรวงที่ได้รับการทดลองต่าง ๆ	115
42	ความสามารถในการแตกกอของข้าวหอมพันธุ์ปิ่นเกษตร 1 ในระยะแตกกอสูงสุด อายุข้าว 60 วัน ที่ได้รับการทดลองต่าง ๆ	116
43	น้ำหนักแห้ง 1,000 เมล็ด ของข้าวหอมพันธุ์ปิ่นเกษตร 1 (กรัม) ที่ได้รับการทดลองต่าง ๆ	117
44	ผลผลิตของข้าวหอมพันธุ์ปิ่นเกษตร 1 (กิโลกรัมต่อไร่) ที่ได้รับการทดลองต่าง ๆ	118
ตารางผนวกที่		
ก1	ปริมาณแร่ธาตุอาหารพืชชนิดต่าง ๆ ในมูลไก่ไข่ และมูลนกกะหร้าน้ำหนักแห้ง	132
ก2	สมบัติทางกายภาพ และสมบัติทางเคมีที่ใช้ประเมินความอุดมสมบูรณ์ของดิน (Land Classification Division and FAO Staff, 1973) และมาตรฐานปริมาณของธาตุชนิดต่าง ๆ ในดิน	133

## สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	ขั้นตอนการดูชิม และใช้รสชาติของพืชทางใบ	20
<b>ภาพผนวกที่</b>		
ข1	ปริมาณไนโตรเจนในลำต้น ใบ และเมล็ด (เปอร์เซ็นต์) ของข้าวหอมพันธุ์ปิ่นเกษตร 1 ในระยะเก็บเกี่ยว ที่ได้รับการทดลองต่าง ๆ	139
ข2	ปริมาณฟอสฟอรัสในลำต้น ใบ และเมล็ด (เปอร์เซ็นต์) ของข้าวหอมพันธุ์ปิ่นเกษตร 1 ในระยะเก็บเกี่ยว ที่ได้รับการทดลองต่าง ๆ	139
ข3	ปริมาณโพแทสเซียมในลำต้น ใบ และเมล็ด (เปอร์เซ็นต์) ของข้าวหอมพันธุ์ปิ่นเกษตร 1 ในระยะเก็บเกี่ยว ที่ได้รับการทดลองต่าง ๆ	140
ข4	ปริมาณแคลเซียมในลำต้น ใบ และเมล็ด (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ของข้าวหอมพันธุ์ปิ่นเกษตร 1 ในระยะเก็บเกี่ยว ที่ได้รับการทดลองต่าง ๆ	140
ข5	ปริมาณแมกนีเซียมในลำต้น ใบ และเมล็ด (เปอร์เซ็นต์) ของข้าวหอมพันธุ์ปิ่นเกษตร 1 ในระยะเก็บเกี่ยว ที่ได้รับการทดลองต่าง ๆ	141
ข6	ปริมาณกำมะถันในลำต้น ใบ และเมล็ด (เปอร์เซ็นต์) ของข้าวหอมพันธุ์ปิ่นเกษตร 1 ในระยะเก็บเกี่ยว ที่ได้รับการทดลองต่าง ๆ	141
ข7	ปริมาณคลอรีนในลำต้น ใบ และเมล็ด (เปอร์เซ็นต์) ของข้าวหอมพันธุ์ปิ่นเกษตร 1 ในระยะเก็บเกี่ยว ที่ได้รับการทดลองต่าง ๆ	142
ข8	ปริมาณโบรอนในลำต้น ใบ และเมล็ด (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ของข้าวหอมพันธุ์ปิ่นเกษตร 1 ในระยะเก็บเกี่ยว ที่ได้รับการทดลองต่าง ๆ	142
ข9	ปริมาณทองแดงในลำต้น ใบ และเมล็ด (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ของข้าวหอมพันธุ์ปิ่นเกษตร 1 ในระยะเก็บเกี่ยว ที่ได้รับการทดลองต่าง ๆ	143
ข10	ปริมาณเหล็กในลำต้น ใบ และเมล็ด (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ของข้าวหอมพันธุ์ปิ่นเกษตร 1 ในระยะเก็บเกี่ยว ที่ได้รับการทดลองต่าง ๆ	143

## สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
ข11	ปริมาณแมงกานีสในลำต้น ใบ และเมล็ด (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ของข้าวหอมพันธุ์ปิ่นเกษตร 1 ในระยะเก็บเกี่ยว ที่ดำเนินการทดลองต่าง ๆ	144
ข12	ปริมาณสังกะสีในลำต้น ใบ และเมล็ด (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ของข้าวหอมพันธุ์ปิ่นเกษตร 1 ในระยะเก็บเกี่ยว ที่ดำเนินการทดลองต่าง ๆ	144
ข13	ปริมาณโซเดียมในลำต้น ใบ และเมล็ด (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ของข้าวหอมพันธุ์ปิ่นเกษตร 1 ในระยะเก็บเกี่ยว ที่ดำเนินการทดลองต่าง ๆ	145
ข14	ความสามารถในการแตกกอของข้าวหอมพันธุ์ปิ่นเกษตร 1 (จำนวนกอดต่อต้น) ในระยะแตกกอสูงสุด อายุข้าว 60 วัน ที่ดำเนินการทดลองต่าง ๆ	145
ข15	น้ำหนักแห้ง 1,000 เมล็ดของข้าวหอมพันธุ์ปิ่นเกษตร 1 (กรัม) ที่ดำเนินการทดลองต่าง ๆ	146
ข16	ผลผลิตของข้าวหอมพันธุ์ปิ่นเกษตร 1 (กิโลกรัมต่อไร่) ที่ดำเนินการทดลองต่าง ๆ	146

ผลการใช้น้ำสกัดมูลไก่ไข่และน้ำสกัดมูลนกกระทาไข่ เป็นแหล่งธาตุอาหารเสริมทางใบ  
ต่อปริมาณธาตุอาหารในลำต้น ใบ เมล็ด และผลผลิตของข้าวหอมพันธุ์ปิ่นเกษตร 1

**Effect of Layer and Laying Japanese Quails Manure Extract as Foliar  
Application on Mineral Content in Stem, Leaf, Grain and Yield of  
Rice CV. Pin Kaset 1**

คำนำ

ไก่ไข่และนกกระทาไข่มีความสำคัญต่อเศรษฐกิจของประเทศ เกษตรกรที่เลี้ยงสัตว์ทั้ง 2 ชนิดนี้มีทั้งฟาร์มขนาดเล็ก กลาง และใหญ่ เนื่องจากเป็นสัตว์ที่เลี้ยงง่าย ให้ผลผลิตเร็ว รวมทั้งให้ผลตอบแทนดีพอสมควร จำนวนไก่ไข่และนกกระทาในประเทศไทย ณ วันที่ 1 มกราคม 2551 มีจำนวน 40,861,102 และ 5,020,436 ตัว ตามลำดับ (กรมปศุสัตว์, 2551) แม้จะมีการระบาดของโรคไข้หวัดนกในปี 2551 (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2551) และประสบปัญหาต้นทุนเพิ่มสูงขึ้น การบริโภคก็ยังมีปริมาณสูงขึ้นทุกปี ๆ ทำให้มีการขยายกำลังการผลิตของฟาร์มเลี้ยงสัตว์อย่างต่อเนื่อง แต่ละฟาร์มจึงประสบปัญหาที่เหมือนกัน คือ การจัดการมูลสัตว์

ในประเทศไทยมีมูลไก่ไข่น้ำหนักแห้งประมาณ 512 ล้านกิโลกรัมต่อปี (จากข้อมูล ปี พ.ศ. 2543 มีไก่ไข่จำนวน 172,247,561 ตัว ให้มูลสดเฉลี่ย 0.03 กิโลกรัมต่อตัวต่อวัน ความชื้น 70–75 เปอร์เซ็นต์) (วงกต, 2547) เนื่องจากของเสียที่เกิดขึ้นอยู่ในรูปของอินทรีย์สารและอนินทรีย์สาร อินทรีย์สารได้แก่ โปรตีน น้ำตาล ไขมันและวิตามิน ซึ่งสามารถจัดการอินทรีย์สารเหล่านี้โดยนำมาหมักแบบไร้อากาศ และนำก๊าซมีเทนกลับมาใช้ในการผลิตพลังงานไฟฟ้า ส่วนกากตะกอนที่เหลือจากการหมักสามารถนำไปใช้เป็นปุ๋ยแก่พืชได้ สำหรับอนินทรีย์สารได้แก่ แร่ธาตุที่สัตว์กินเข้าไปแล้วถูกย่อยและดูดซึมไปใช้ไม่ได้ไม่หมด จะถูกขับถ่ายออกมาจากร่างกาย ซึ่งสามารถจัดการอนินทรีย์สารได้โดยการใช้เป็นปุ๋ยอินทรีย์เพื่อการปลูกพืช (วงกต, 2547)

ข้าวเป็นพืชที่มีความสำคัญต่อเศรษฐกิจของประเทศไทยเป็นอย่างยิ่งเพราะเป็นทั้งอาหารหลักและสินค้านำเงินตราเข้าสู่ประเทศ โดยประเทศไทยมีการส่งออกข้าวในปี 2552 จำนวน 8.62 ล้านตัน และมีมูลค่าการส่งออก 172,207.7 ล้านบาท (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2553) รวมทั้ง

การส่งออกข้าวโลก ในปี 2552 มีจำนวน 28.212 ล้านตันข้าวสาร และประเทศไทยเป็นผู้นำในการส่งออกข้าวเป็นอันดับ 1 ของโลก โดยคาดว่าไทยมีแนวโน้มการส่งออกข้าวในปี พ.ศ. 2553 ได้ประมาณ 8.60 ล้านตันข้าวสาร หรือคิดเป็นส่วนแบ่งการตลาด ร้อยละ 30 ของการส่งออกข้าวทั้งหมด (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2552) ในปัจจุบันการใช้ปุ๋ยอย่างเหมาะสมเป็นสิ่งจำเป็นในการเพิ่มผลผลิตข้าว เพราะดินนาในประเทศไทยให้ธาตุอาหารหลักไม่เพียงพอ จำเป็นต้องใส่สารเคมีเพื่อเพิ่มผลผลิตข้าว ทำให้เสียเงินตราจำนวนมาก และก่อให้เกิดปัญหาตามมา เช่น ต้นทุนการผลิตที่สูงขึ้น ดินเสื่อมโทรม รวมทั้งส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และสุขภาพของผู้ผลิต ตลอดจนผู้บริโภค ปัญหาเหล่านี้สามารถแก้ไขและลดความเสียหายได้ โดยการฟื้นฟูระบบการเกษตรแบบยั่งยืน ด้วยการนำทรัพยากรที่มีในท้องถิ่นหรือวัสดุเหลือใช้จากกระบวนการผลิต ได้แก่ มูลสัตว์ พืชผักสด หอยเชอร์รี่ เศษพลาสติก ขี้เถ้าแกลบ กากอ้อย กากน้ำตาล มาผลิตเป็นปุ๋ยอินทรีย์น้ำเพื่อลดการใช้ปุ๋ยเคมีซึ่งเป็นต้นทุนการผลิตส่วนใหญ่

งานวิจัยนี้ศึกษาถึงผลการใช้ประโยชน์น้ำสกัดมูลไก่ไข่ และน้ำสกัดมูลนกกกระทาไข่ เป็นแหล่งธาตุอาหารเสริมทางใบแก่ข้าวต่อปริมาณธาตุอาหารในลำต้น ใบ เมล็ด และผลผลิตข้าวหอมพันธุ์ปิ่นเกษตร 1 เพื่อเป็นแนวทางในการจัดการของเสียจากฟาร์มเลี้ยง และเพิ่มมูลค่ามูลไก่ไข่ มูลนกกกระทาไข่ โดยนำไปใช้ประโยชน์เป็นแหล่งธาตุอาหารพืช รวมทั้งการป้องกันหรือลดมลพิษสิ่งแวดล้อมภายในฟาร์มและชุมชนใกล้เคียงด้วย

## วัตถุประสงค์

1. ศึกษาปริมาณแร่ธาตุอาหารพืชในมูล และน้ำสกัดมูลของไก่ไข่และนกกกระทาไข่
2. หาความสัมพันธ์ระหว่างแร่ธาตุในมูลไก่ไข่และน้ำสกัดมูลไก่ไข่
3. หาความสัมพันธ์ระหว่างแร่ธาตุในมูลนกกกระทาไข่ และน้ำสกัดมูลนกกกระทาไข่
4. ศึกษาผลการใช้ประโยชน์น้ำสกัดมูลไก่ไข่และน้ำสกัดมูลนกกกระทาไข่ เป็นแหล่งธาตุอาหารเสริมทางใบแก่ข้าวต่อปริมาณธาตุอาหารในลำต้น ใบ เมล็ด และผลผลิตข้าวหอมพันธุ์ปิ่น-เกษตร 1

## การตรวจเอกสาร

### 1. ข้าว

#### 1.1 ความสำคัญของข้าว

ข้าวเป็นธัญพืชอาหารที่มีความสำคัญที่สุดของเขตร้อน (tropical) และเขตกึ่งร้อน (sub-tropical) ของโลก สามารถปลูกได้ทั้งในสภาพที่สูงจากระดับน้ำทะเล เช่น ในบริเวณหุบเขา แคนเมียร์ ประเทศบังกลาเทศ ซึ่งมีความสูงจากระดับน้ำทะเลประมาณ 2,400 เมตร และปลูกได้ในบริเวณที่มีน้ำลึกถึง 6 เมตร (ข้าวขึ้นน้ำ) นอกจากนี้ ในบริเวณทางเหนือและทางใต้ของซีกโลกก็มีการปลูกข้าวเช่นกัน เช่น ประเทศเชค โกส โลวาเกีย และรัฐนิวเซาท์เวลท์ของประเทศออสเตรเลีย (ทรงเชาว์, 2545)

สำหรับประเทศไทยถือว่าข้าวเป็นพืชเศรษฐกิจที่มีความสำคัญ และเป็นพืชไร่ที่มีความสำคัญอันดับหนึ่งของประเทศ คนไทยบริโภคข้าวเป็นประจำทุกวัน นอกจากนี้ ข้าวยังเป็นพืชที่นำรายได้เข้าประเทศปีละนับแสนล้านบาท ประโยชน์ของข้าวนอกจากใช้บริโภคเป็นอาหารหลักแล้วยังใช้ทำเป็นของหวานชนิดต่าง ๆ ทำเป็นแป้งข้าวเหนียว แป้งข้าวเจ้า ใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตแอลกอฮอล์ โดยใช้ข้าวเหนียวมาหุงแล้วผสมกับน้ำตาลและเชื้อยีสต์ในขบวนการหมักเพื่อเปลี่ยนแป้งเป็นน้ำตาลแล้วเป็นแอลกอฮอล์ ไร่ที่ได้จากการสีข้าวก็สามารถนำไปใช้เป็นอาหารสัตว์ สักค่น้ำมันรำข้าว ส่วนเปลือกของเมล็ดที่เรียกว่าแกลบสามารถใช้เป็นเชื้อเพลิง และใช้รักษาความเย็นในโรงงานอุตสาหกรรมทำน้ำแข็ง (ทรงเชาว์, 2545)

การสำรวจพื้นที่เพาะปลูกข้าวของ สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร (2552) พบว่าประเทศไทยมีพื้นที่เพาะปลูกข้าวรวมทั้งหมดประมาณ 57,508,852 ไร่ ผลผลิตรวมทั้งหมด 23,086,203 ตัน โดยผลผลิตข้าวโลกในช่วง 5 ปีที่ผ่านมา (2547/48 - 2551/52) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจาก 401.756 ล้านตันข้าวสาร (597.80 ล้านตันข้าวเปลือก) เป็น 445.667 ล้านตันข้าวสาร (664.70 ล้านตันข้าวเปลือก) หรือเพิ่มขึ้นร้อยละ 2.46 ในปี 2552 การส่งออกข้าวโลก มีจำนวน 28.212 ล้านตันข้าวสาร ลดลงจากปี 2551 ซึ่งส่งออกได้ 29.598 ล้านตันข้าวสาร หรือลดลงร้อยละ 4.68 โดยประเทศที่ส่งออกลดลงได้แก่ ไทย อินเดีย สหรัฐอเมริกา บราซิล จีน อียิปต์ และอียู ส่วนประเทศที่ส่งออกเพิ่มขึ้นได้แก่ เวียดนาม กัมพูชา อาร์เจนตินา และอุรุกวัย เป็นต้น อย่างไรก็ตาม ประเทศไทย

ยังคงเป็นผู้นำในการส่งออกข้าวเป็นอันดับ 1 ของโลก โดยคาดว่าไทยมีแนวโน้มการส่งออกข้าวในปี พ.ศ. 2553 ได้ประมาณ 8.60 ล้านตันข้าวสาร หรือคิดเป็นส่วนแบ่งการตลาด ร้อยละ 30 ของการส่งออกข้าวทั้งหมด เนื่องจากไทยมีศักยภาพในการส่งออก และมีผลผลิตในสต็อกข้าวเพียงพอต่อความต้องการข้าวของโลก ประเทศที่มีส่วนแบ่งการตลาดรองลงมาได้แก่ เวียดนาม 5.70 ล้านตันข้าวสาร (ร้อยละ 20) สหรัฐอเมริกา 3.10 ล้านตันข้าวสาร (ร้อยละ 11) ปากีสถาน 3 ล้านตันข้าวสาร (ร้อยละ 10) อินเดีย 2 ล้านตันข้าวสาร (ร้อยละ 7) และประเทศอื่น ๆ

## 1.2 ลักษณะทั่วไปของข้าว

ข้าวจัดอยู่ในวงศ์ Gramineae (Poaceae) ในสกุล *Oryza* ซึ่งในสกุลนี้มีทั้งหมด 23 ชนิด จัดเป็นข้าวป่า (wild rice) 21 ชนิด มีเพียง 2 ชนิด ที่จัดเป็นข้าวปลูก (cultivate rice) ได้แก่ *O. sativa* ปลูกในพื้นที่ปลูกทั่วไป และ *O. glaberrima* ปลูกเฉพาะในแถบแอฟริกาตะวันตกเป็นส่วนใหญ่ ข้าวเป็นพืชล้มลุกมีอายุแค่ปีเดียว (annual) เป็นพืชใบเลี้ยงเดี่ยว รากเป็นระบบรากฝอย สามารถเจริญเติบโตได้ดีทั้งในเขตร้อน (tropical zone) ซึ่งเป็นเขตร้อน และในเขตอบอุ่น (temperate zone) อุณหภูมิเฉลี่ยที่เหมาะสมสำหรับการปลูกข้าวตลอดฤดูการเพาะปลูก ประมาณ 21 – 35 องศาเซลเซียส (อรรควุฒิ, 2530; จำรัส, 2534)

ข้าวเจริญเติบโตได้ดีในบริเวณที่มีอากาศร้อนและมีความชื้นเพียงพอ อุณหภูมิที่เหมาะสมคือ 21 องศาเซลเซียส หรือสูงกว่านี้ อากาศร้อนช่วยให้ข้าวออกดอกเร็วขึ้น เพราะมีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วในระยะแรกๆ ข้าวมีความต้องการน้ำแตกต่างกันตั้งแต่ปริมาณน้ำฝน 8 - 35 นิ้วต่อเดือน และบริเวณที่ปลูกข้าวส่วนใหญ่จะมีฝนตกประจำประมาณ 75 นิ้ว-นิ้ว (3,046 ลูกบาศก์เมตรต่อไร่) ซึ่งรวมทั้งน้ำฝนและน้ำที่ได้จากการชลประทาน จำนวนน้ำทั้งหมดนี้ประมาณ 25 นิ้ว-นิ้ว (1,015 ลูกบาศก์เมตรต่อไร่) ใช้ขณะเป็นกล้าและเตรียมดิน ประมาณ 40 นิ้ว-นิ้ว (1,624 ลูกบาศก์เมตรต่อไร่) ใช้ตั้งแต่ปักดำถึงเวลาออกดอก ส่วนที่เหลืออีกประมาณ 10 นิ้ว-นิ้ว (409 ลูกบาศก์เมตรต่อไร่) ใช้จนถึงข้าวแก่ ข้าวเจริญเติบโตได้ในดินตั้งแต่ดินทรายจนถึงดินเหนียวแต่ดินเหนียวจะเจริญเติบโตได้ดีกว่า เพราะเก็บรักษาน้ำไว้ได้มากกว่าและเหมาะสมสำหรับข้าวที่ชอบเจริญเติบโตในดินน้ำขัง ความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) ของดินที่เหมาะสมอยู่ระหว่าง pH 5.5 - 6.5 ไม่ชอบกรดจัด (pH<4.0) และด่างจัด (pH>7.0) ไนโตรเจนเป็นธาตุอาหารที่ข้าวต้องการมากที่สุด สำหรับการให้ผลผลิตสูง ในสภาพน้ำขัง ข้าวดูดใช้ในโตรเจนในรูปแอมโมเนียม และอาจดูดใช้ใน

รูปในเตรทข้างในขณะที่น่าถูกระบายออกจนแห้งหรือเกือบแห้ง นอกจากนี้ ยังมีธาตุฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมที่ข้าวต้องการสำหรับการเจริญเติบโตตามปกติ (อรรควุฒิ, 2530)

การแบ่งประเภทของข้าว และการดูแลเมื่อปลูก สามารถแบ่งข้าวออกตามพื้นที่ปลูก พันธุ์ข้าว และฤดูกาลที่ปลูก ได้ดังนี้

### 1.2.1 ข้าวแบ่งออกตามพื้นที่ปลูกได้ 3 ชนิด คือ

- 1) ข้าวนาสวน คือข้าวที่ปลูกในที่ที่มีระดับน้ำตั้งแต่ 5 - 10 เซนติเมตร จนถึงพื้นที่ที่มีระดับน้ำ 70 - 80 เซนติเมตร อาจปลูกได้ด้วยวิธีปักดำ หว่านข้าวแห้ง หรือ หว่านข้าวออก (นาหว่านนํ้าตม)
- 2) ข้าวขึ้นน้ำ ปลูกในพื้นที่ที่มีระดับน้ำตั้งแต่ 50 เซนติเมตร ขึ้นไปจนถึง 5 เมตร แต่พื้นที่ส่วนใหญ่จะมีระดับประมาณ 1 - 2 เมตร ปลูกโดยวิธีหว่านข้าวแห้ง (หว่านสำรว)
- 3) ข้าวไร่ คือข้าวที่ปลูกในพื้นที่ที่มีสภาพเช่นเดียวกับพืชไร่และให้ผลผลิตต่ำ ประมาณ 1/3 หรือ 2/3 ของข้าวนาสวนเท่านั้น

### 1.2.2 ข้าวแบ่งออกตามพันธุ์ข้าวและแบ่งตามฤดูกาลได้ 2 พวก คือ

- 1) ข้าวไวต่อช่วงแสง (ข้าวนาปี) เป็นพันธุ์ข้าวที่ต้องการช่วงแสงสั้น (น้อยกว่า 12 ชั่วโมงต่อวัน) จึงจะเจริญเติบโตออกดอกออกรวงและเก็บเกี่ยวได้ตามปกติ ปลูกได้ปีละครั้งและตอบสนองต่อปุ๋ยในโตรเจนต่ำ
- 2) ข้าวไม่ไวต่อช่วงแสง (ข้าวนาปรังหรือข้าวนอกฤดู) เป็นพันธุ์ข้าวที่สามารถปลูกได้ตลอดปีไม่ว่าจะปลูกเดือนไหน เมื่อมีอายุครบตามกำหนดก็จะออกดอกออกรวงและเก็บเกี่ยวได้และตอบสนองต่อปุ๋ยในโตรเจนสูง (อรรควุฒิ, 2530)

### 1.3 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของข้าว

1.3.1 ราก (root) เป็นระบบรากฝอย (fibrous root system) ประกอบด้วยรากเล็กๆ แตกกออกจากโคนต้นที่อยู่ใต้ดิน รากเล็กๆ นี้จะมีขนราก (root hair) ทำหน้าที่ดูดอาหาร

1.3.2 ลำต้น (culm or stem) ตั้งตรง กลม ประกอบด้วยข้อปล้องสลับกันไป แถบกลาง กลวง ความสูงของลำต้นขึ้นกับพันธุ์และสิ่งแวดล้อม

1.3.3 ใบ (leaf) มีลักษณะแบนบาง ขาว แฉก เกิดที่ข้อบนลำต้น เกิดสลับกันเป็น 2 แถว ในทิศทางตรงกันข้าม ใบประกอบด้วยกาบใบ (leaf sheath) ซึ่งเป็นส่วนของก้านใบที่แผ่เป็น กาบหุ้มส่วนที่เป็นข้อปล้อง ซึ่งหนากว่าแผ่นใบ (leaf blade) รอยต่อระหว่างกาบใบและแผ่นใบจะมี ลักษณะคล้ายรอยพับ เรียกว่า ข้อต่อใบ (collar) ทำมุมทแยงยื่นออกไปจากลำต้น ที่ข้อต่อมีเยื่อเกี่ยว น้ำฝน (ligule) เป็นเยื่อบาง ๆ รูปสามเหลี่ยมมุมแหลม

1.3.4 ช่อดอก (inflorescence) มีลักษณะเป็นช่อดอกแบบรวง (panicle) โดยแตก ออกมาจากข้อสุดท้ายของต้นข้าว

1.3.5 ผล (grain) ภายหลังจากที่อับเกสรเพศผู้ภายในดอกแตกออกและละอองเกสร เพศผู้ตกลงบนยอดเกสรเพศเมียจะเกิดการผสมพันธุ์ขึ้น (อรรถวุฒิ, 2530) การเจริญเติบโตของผล แบ่งออกเป็น 3 ระยะ คือ ระยะน้ำนม (milk stage) หลังจากดอกข้าวผสมติด ผลจะเริ่มเจริญเติบโต ขึ้นเป็นผลเล็ก ๆ ผอมๆ อยู่ในดอกข้าว โดยเจริญเติบโตเนบกับใบธง ต่อจากนี้ผลจะสะสมแป้งมาก ขึ้น มีขนาดใหญ่ขึ้น เข้าสู่การเจริญในระยะที่สอง คือ ระยะที่แป้งเริ่มแข็งตัว (dough stage) ระยะนี้ ผลยังสะสมแป้งมากขึ้น และเข้าสู่ระยะผลแก่ (mature grain stage) ซึ่งสะสมแป้งจนเต็มใบธงทั้งสอง และแป้งจะแข็งตัว สีของใบธงเริ่มเปลี่ยนเป็นสีเหลือง (อรรถวุฒิ, 2530)

### 1.4 การปลูกข้าวนาดำ (ประภาส, 2523)

การปลูกข้าวในนาดำ เรียกว่า การปักดำ ซึ่งวิธีการปลูกแบ่งออกได้เป็น 2 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนแรก ได้แก่ การตกกล้าในแปลงขนาดเล็ก และขั้นตอนที่สอง ได้แก่ การถอนต้นกล้าเอาไป ปักดำในนาพื้นที่ใหญ่

### 1.4.1 การเตรียมดิน

ต้องเตรียมดินให้ดีกว่าการปลูกข้าวไร่ โดยมีการไถตะ การไถแปร และการคราด ปกติการไถและคราดในนาดำมักจะใช้แรงวัว ควาย หรือแทรกเตอร์ขนาดเล็ก ที่เรียกว่าควายเหล็กหรือไถยนต์เดินตาม ทั้งนี้เพราะพื้นที่นาดำนั้น ได้มีคันนาแบ่งกันออกเป็นแปลงเล็ก ๆ ขนาด 1 - 2 ไร่ คันนามีไว้สำหรับกักเก็บน้ำหรือปล่อยน้ำทิ้งจากแปลงนา นาดำจึงมีการบังคับระดับน้ำในนาได้บ้างพอสมควร ก่อนที่จะทำการไถ ต้องรอให้ดินมีความชื้นพอที่จะไถได้เสียก่อน ปกติจะต้องรอให้ฝนตกจนมีน้ำขังในผืนนาหรือไขน้ำเข้าไปในนาเพื่อทำให้ดินเปียก การไถตะ หมายถึงการไถครั้งแรกเพื่อทำลายวัชพืชในนา และพลิกกลับหน้าดิน แล้วปล่อยทิ้งไว้ประมาณ 1 สัปดาห์จึงทำการไถแปร ซึ่งหมายถึง การไถเพื่อตัดกับรอยไถตะ ทำให้รอยไถตะแตกออกเป็นก้อนเล็ก ๆ จนวัชพืชหลุดออกจากดิน การไถแปรอาจไถมากกว่าหนึ่งครั้ง ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับระดับน้ำในนา ตลอดถึงชนิดและปริมาณของวัชพืช เมื่อไถแปรแล้วก็ทำการคราดได้ทันที การคราด คือ การคราดเอาวัชพืชออกจากผืนนา และปรับพื้นที่นาให้ได้ระดับเป็นที่ราบเสมอกันด้วย นาที่มีระดับเป็นที่ราบต้นข้าวจะได้รับน้ำเท่า ๆ กัน และสะดวกแก่การไขน้ำเข้าออก

### 1.4.2 การปักดำ

เมื่อต้นกล้ามีอายุประมาณ 25 - 30 วัน จากการตกกล้าในดินเปียกหรือการตกกล้าในดินแห้ง ก็จะโตพอที่จะถอนเอาไปปักดำได้ สำหรับต้นกล้าที่ได้มาจากการตกกล้าแบบคาปกนั้น ในเมืองไทยยังไม่เคยปฏิบัติ เพราะต้นกล้าขนาด 10-14 วันนั้นอาจมีขนาดเล็กเกินไปที่จะใช้ปักดำในพื้นที่นาของเรา ซึ่งมีน้ำขังมาก ชั้นแรกให้ถอนต้นกล้าขึ้นมาจากแปลงแล้วมัดรวมกันเป็นมัดๆ ตัดปลายใบทิ้ง ถ้าต้นกล้าเล็กมากไม่ต้องตัดปลายใบทิ้ง สำหรับต้นกล้าที่ได้มาจากการตกกล้าในดินเปียก จะต้องล้างเอาดินที่รากออกเสียด้วยแล้วเอาไปปักดำในพื้นที่นาได้เตรียมไว้ พื้นที่นาที่ใช้ปักดำควรมีน้ำขังอยู่ประมาณ 5 - 10 เซนติเมตร เพราะต้นข้าวอาจจะถูกลมพัดจนพับลงได้ในเมื่อนานนั้นไม่มีน้ำอยู่เลย ถ้าระดับน้ำในนานั้นลึกมาก ต้นข้าวที่ปักดำอาจจมน้ำในระยะแรก และทำให้ต้นข้าวต้องยึดต้นมากกว่าปกติจนมีผลให้แตกกอน้อย การปักดำที่จะให้ได้ผลผลิตสูงจะต้องปักดำให้เป็นแถวเป็นแนว และมีระยะห่างระหว่างกอมากพอสมควร การปักดำโดยทั่วไปมักใช้ต้นกล้าจำนวน 3 - 5 ต้นต่อกอ ระยะปลูกหรือปักดำจะต้องมีระยะห่างระหว่างกอและระหว่างแถวประมาณ 25 เซนติเมตร

## 2. บทบาทธาตุอาหารพืช

### 2.1 ธาตุอาหารพืช

พืชใช้ธาตุอาหารในการดำรงชีวิต ถ้าหากขาดธาตุอาหารพืชจะแสดงอาการผิดปกติ และมีผลต่อกระบวนการเมแทบอลิซึม ทำให้พืชตายได้ (ยงยุทธและคณะ, 2551; ยงยุทธ, 2552ก, 2552ข)

ธาตุอาหารที่จำเป็นต่อพืช มี 17 ธาตุ มีเพียง 3 ธาตุ ที่ได้มาจากอากาศและน้ำ คือ คาร์บอน (carbon, C) ไฮโดรเจน (hydrogen, H) และออกซิเจน (oxygen, O) ส่วนอีก 14 ธาตุ นั้น พืช ดูดซับขึ้นมาจากดิน ซึ่งแบ่งธาตุอาหารพืชได้ 2 กลุ่ม (ยงยุทธ, 2552ก) ตามปริมาณที่พืชต้องการ คือ

2.1.1 มหาธาตุ (macronutrient elements) หมายถึง ธาตุอาหารที่พืชต้องการปริมาณมาก มีในพืชมากกว่า 500 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้ง (ยงยุทธและคณะ, 2551) โดยสามารถ แบ่งย่อยออกเป็น 2 พวก คือ

ธาตุอาหารหลัก (primary elements) ได้แก่ ธาตุไนโตรเจน (nitrogen, N) ฟอสฟอรัส (phosphorus, P) และโพแทสเซียม (potassium, K) เป็นธาตุที่ขาดแคลนในดินทั่วไป

ธาตุอาหารรอง (secondary elements) ได้แก่ แคลเซียม (calcium, Ca) แมกนีเซียม (magnesium, Mg) และกำมะถัน (sulfur, S)

2.1.2 จุลธาตุ (micronutrient elements) หมายถึง ธาตุอาหารที่พืชต้องการปริมาณน้อย มีในพืชต่ำกว่า 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้ง (ยงยุทธและคณะ, 2551) ได้แก่ คลอรีน (chlorine, Cl) โบรอน (boron, B) ทองแดง (copper, Cu) เหล็ก (iron, Fe) แมงกานีส (manganese, Mn) โมลิบดีนัม (molybdenum, Mo) สังกะสี (zinc, Zn) และนิกเกิล (nickel, Ni)

นอกจากธาตุอาหารทั้ง 17 ธาตุ ที่กล่าวมาแล้ว พืชบางชนิดยังต้องการธาตุอาหารชนิดอื่นเป็นการเฉพาะ หรือธาตุเสริมประโยชน์ ได้แก่ ซิลิคอน (silicon, Si) โซเดียม (sodium, Na) โคบอลต์ (cobalt, Co) ซีลีเนียม (selenium, Se) และอลูมิเนียม (aluminum, Al) (ยงยุทธ, 2552ก) เช่น

ข้าวที่ปลูกในสารละลายธาตุอาหารที่มีโพแทสเซียมต่ำ และแสดงอาการขาดโพแทสเซียมเล็กน้อย การใส่เกลือของ โซเดียม (sodium, Na) สามารถแก้ไขอาการนั้นได้ แต่ข้าวนั้นต้องได้รับ โพแทสเซียมด้วยจึงจะแทนที่ได้ (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2544)

## 2.2 บทบาทและความสำคัญของธาตุอาหารพืช

พืชต้องการธาตุอาหารชนิดต่าง ๆ เพื่อให้กิจกรรมที่เกี่ยวข้องดำเนินไปโดยปกติ ซึ่ง บทบาทและความสำคัญของธาตุอาหารต่าง ๆ ที่พืชต้องการ มีดังนี้

### 2.2.1 ไนโตรเจน

ไนโตรเจนเป็นสารประกอบที่สำคัญของโปรตีน กรดอะมิโน กรดนิวคลีอิก คลอโรฟิลล์ โคเอนไซม์ (Fageria, 2009 อ้างโดย อุทัยวรรณ, 2552) และสารประกอบที่สำคัญอื่น ๆ อีกหลายชนิด โดย 70 เปอร์เซ็นต์ ของไนโตรเจนในพืชจะอยู่ในคลอโรพลาสต์ และไนโตรเจนใน รูปที่เป็นประโยชน์ ซึ่งพืชนำไปใช้ได้ คือ ไนเตรทไอออน ( $\text{NO}_3^-$ ) แอมโมเนียมไอออน ( $\text{NH}_4^+$ ) และ ยูเรีย ( $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ ) โดยทั่วไปพืชมีปริมาณไนโตรเจนอยู่ระหว่าง 2 - 5 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง เมื่อพืชได้รับไนโตรเจนในปริมาณที่ต่ำกว่าระดับปกติย่อมมีการเจริญเติบโตน้อยลง พืชที่ขาดธาตุ ไนโตรเจนจะปรากฏอาการชัดเจนที่ใบแก่ก่อนโดยใบแก่ร่วงหล่นเร็ว เนื่องจากไนโตรเจน เคลื่อนย้ายจากใบแก่ไปเลี้ยงเนื้อเยื่อที่กำลังพัฒนา (ยงยุทธ, 2552ข)

### 2.2.2 ฟอสฟอรัส

ฟอสฟอรัสเป็นองค์ประกอบของอินทรีย์สารที่สำคัญหลายชนิด โดยอยู่ใน โครงสร้างของกรดนิวคลีอิก ฟอสโฟลิพิด ATP โคเอนไซม์ คือ  $\text{FAD}$ ,  $\text{NAD}^+$ ,  $\text{NADP}^+$  และ โคเอนไซม์เอ รวมทั้งเป็นสารประกอบฟอสเฟตอื่น ซึ่งสารอินทรีย์ฟอสเฟตจำนวนมากที่เกี่ยวข้อง กับเมแทบอลิซึมของพืช เช่น วิตามินบี-1 มี ribulose biphosphate, phosphoglyceraldehyde วิตามินบี-2 มี guanosine triphosphate และกระบวนการ glycolysis มี glucose-6-phosphate, fructose-1,6-diphosphate เป็นต้น ปริมาณฟอสฟอรัสที่พืชต้องการคือ 0.3 - 0.5 เปอร์เซ็นต์ โดย น้ำหนักแห้งเพื่อให้การเจริญเติบโตในระยะเติบโตไม่อาศัยเพศ (vegetative stage) เป็นไปได้ ตามปกติ สำหรับระดับที่ถือว่าเป็นพิษ คือ สูงกว่า 1 เปอร์เซ็นต์ (ยงยุทธ, 2552ข)

### 2.2.3 โพแทสเซียม

โพแทสเซียมรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืช คือ  $K^+$  มีบทบาทเกี่ยวกับการขยายขนาดของเซลล์และปรับความต่งภายในเซลล์ ควบคุมระดับ pH ของไซโตพลาซึม ดังนั้น จึงมีส่วนในกลไกการควบคุมสภาวะ homeostasis ของสิ่งแวดล้อมภายในเซลล์ให้เหมาะสมสำหรับกิจกรรมต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นภายในเซลล์ นอกจากนี้ ธาตุโพแทสเซียมยังมีบทบาทที่สำคัญในการช่วยปลุกฤทธิ์ (activate) เอนไซม์ ซึ่งเกี่ยวข้องกับกระบวนการขนส่งไอออน และปลุกฤทธิ์เอนไซม์ที่สร้างแป้ง คือ เอนไซม์ starch synthetase ซึ่งเร่งปฏิกิริยาการถ่ายโอนกลูโคสไปยังโมเลกุลของแป้ง โดยที่ความเข้มข้นของโพแทสเซียมภายในใบ เมล็ด และหัวของพืชหลายชนิด มีความเหมาะสมอยู่ในช่วง 50-100 มิลลิโมลาร์ หากสูงกว่านี้จะมีผลยับยั้งและทำให้ปริมาณแป้งลดลง ความต้องการโพแทสเซียมเพื่อการเจริญเติบโตตามปกติของพืชมีปริมาณแตกต่างกันไป โดยทั่วไปแล้วอยู่ในพิสัย 2 – 5 เปอร์เซ็นต์ (ยงยุทธ, 2552ข)

### 2.2.4 แคลเซียม

แคลเซียมเป็นธาตุที่มีความสำคัญต่อเนื้อเยื่อ ช่วยในการรักษาความสมดุลของธาตุอาหาร บรรเทาความเป็นพิษของโลหะหนัก และเป็นธาตุที่ไม่ค่อยเป็นพิษต่อพืช เพราะพืชมีกลไกที่สามารถควบคุมให้มีแคลเซียมในไซโตพลาซึมอยู่ในระดับต่ำได้ (Hanson, 1984) นอกจากนี้ แคลเซียมยังเป็นธาตุที่มีบทบาทในการควบคุมด้านออสโมซิสโดยทางอ้อมในการปิด และเปิดปากใบ ดังนั้น หากขาดแคลเซียมจะเกิดการบิดเบี้ยวของใบอ่อน การเจริญของปลายยอด และรากหยุดชะงัก รวมทั้งการเลือกผ่านของเยื่อหุ้มเซลล์หายไป ทำให้เซลล์ถูกทำลายได้ง่าย แต่ดินโดยทั่วไปจะมีปริมาณแคลเซียมที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืชอยู่แล้ว (ยงยุทธ, 2552ข; Epstein and Bloom, 2005) ความเข้มข้นของแคลเซียมในพืชแตกต่างกันตามสภาพปลูก พันธุ์พืช และอวัยวะ ซึ่งแปรผันอยู่ในช่วง 0.1 ถึงมากกว่า 5 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักแห้ง (ยงยุทธ, 2552ข)

### 2.2.5 แมกนีเซียม

แมกนีเซียมมีบทบาทสำคัญในพืชสีเขียว ซึ่งเป็นองค์ประกอบของโมเลกุลคลอโรฟิลล์ และจำเป็นต่อกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง (ยงยุทธ, 2552ข; Hillocks *et al.*, 2002) โดยมีส่วนช่วยในเมแทบอลิซึมของฟอสเฟต และการหายใจของพืช นอกจากนี้ ยังเกี่ยวข้องกับการ

สร้างน้ำตาล น้ำมัน ไขมัน สายโพลีเปปไทด์จากกรดอะมิโน และกระตุ้นการแบ่งเซลล์แบบไมซิส รวมถึงการหายใจแบบใช้ออกซิเจน เพื่อให้ได้พลังงาน ATP ของเซลล์อ่อน (Jones and Huber, 2007) ซึ่งปกติแมกนีเซียมในพืชจะอยู่ในช่วง 0.15 – 0.35 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง หากขาดจะแสดงอาการ ได้แก่ ใบเหลืองซีด การสังเคราะห์แสงลดลงจึงสร้าง ATP ได้น้อย และขาดพลังงานในการเคลื่อนย้ายผลผลิตจากแหล่งสร้างไปยังแหล่งรับ ทำให้แบ่งในหัวมันฝรั่งและเมล็ดธัญพืชลดลง (ยงยุทธ, 2552ข)

### 2.2.6 กำมะถัน

กำมะถันเป็นองค์ประกอบของสารอินทรีย์ที่สำคัญในต้นพืช และรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืช คือ ซัลเฟตไอออน ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) กำมะถันมีบทบาทในกระบวนการเมแทบอลิซึมหลายประการ คือ เป็นองค์ประกอบของกรดอะมิโน ซิสเทอีน และเมทไธโอนีน จึงเป็นองค์ประกอบของโปรตีนด้วย ดังนั้นพืชที่ขาดกำมะถันจึงสังเคราะห์โปรตีนได้น้อย พืชปกติมีกำมะถัน 0.1 - 0.5 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก อย่างไรก็ตาม พืชแต่ละวงศ์มีความต้องการธาตุนี้ในปริมาณที่แตกต่างกัน (ยงยุทธ, 2552ข) การให้ธาตุกำมะถันในรูปปุ๋ยซัลเฟตแก่พืชที่ขาดธาตุกำมะถันจนมีระดับที่เพียงพอพบว่า ปริมาณซัลเฟตในเนื้อเยื่อเพิ่มขึ้น และเป็นพรรณที่แสดงได้ดีกว่ากำมะถันทั้งหมด (Freney *et al.*, 1978)

### 2.2.7 คลอรีน

คลอรีนเป็นธาตุที่มีมากในธรรมชาติ คลอรีนในดินอยู่ในรูปคลอไรด์ (Cl) เคลือคลอไรด์ละลายน้ำง่าย และแตกตัวได้คลอไรด์ไอออน (Cl) ซึ่งแอนไอออนนี้เคลื่อนย้ายในดินรวดเร็ว รากพืชดูดไอออนนี้ได้ง่าย และเคลื่อนย้ายสู่ส่วนเหนือดินทางไซเลม โดยพบว่า พืชต้องการเพื่อการเจริญเติบโตเพียง 2 - 10 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้ง แต่สามารถพบคลอรีนในเนื้อเยื่อพืชได้ประมาณ 0.2 – 2 เปอร์เซ็นต์ รวมทั้งไม่พบอาการขาดธาตุคลอรีนในพืช เพราะคลอรีนมีอยู่ทั่วไปทั้งในดิน น้ำ และอากาศ (ยงยุทธ, 2552ข) ดังนั้นอาการขาดที่พอสังเกตได้ คือ ใบจะเหี่ยว เกิดอาการใบเหลือง (chlorosis) และใบไหม้ (necrosis) และใบมีสีบรอนซ์ นอกจากนี้ หากมีคลอรีนในปริมาณมากเกินไป จะเกิดอาการเป็นพิษกับพืช ได้แก่ การเจริญเติบโตช้า ขนาดใบลดลง และอาจเกิดอาการใบเหลือง (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2544)

### 2.2.8 โบรอน

โบรอนมีบทบาทที่เด่นชัด 2 ด้าน คือ 1) การสังเคราะห์ และการสร้างความสมบูรณ์ให้ผนังเซลล์จากการสังเคราะห์สารเชิงซ้อนโบรอน-เพกทิน และ 2) บทบาทที่เกี่ยวข้องกับการรวมตัวของโบรอนกับไกลโคลิพิดในเนื้อเยื่อ ปริมาณของโบรอนในพืชชนิดต่าง ๆ แตกต่างกันไป เช่นในข้าวพบว่าหากมีปริมาณโบรอนในส่วนของใบธงและส่วนเหนือดินน้อยกว่า 7.3 และ 3.6 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ จัดว่าขาดโบรอน (ขงยุทธ, 2552ข) หากขาดธาตุโบรอนพืชจะแสดงอาการ คือ ส่วนอ่อนที่สุดของพืชจะชะงักการเจริญเติบโต เกิดจุดสีน้ำตาลในส่วนต่าง ๆ ของพืช เซลล์ในเนื้อเยื่อเจริญ (meristematic tissue) ฉีกขาด และการเจริญเติบโตของเนื้อเยื่อในกลุ่มท่อลำเลียงไม่เป็นปกติ (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2544)

### 2.2.9 ทองแดง

ทองแดงที่พืชนำไปใช้อยู่ในรูป  $\text{Cu}^{+2}$  ซึ่งเกาะอยู่กับกรดฮิวมิกในดิน ทองแดงมีหน้าที่คล้ายกับเหล็ก คือ เป็นส่วนประกอบของเอนไซม์ ทำหน้าที่ในปฏิกิริยารีดอกซ์ หากพืชยืนต้นขาดทองแดงจะแสดงอาการ คือ ต้นแกร็น ใบอ่อนบิดเบี้ยว และปลายกิ่งแห้งลูกตามลงมาหาโคนกิ่ง สำหรับพืชใบเลี้ยงเดี่ยวที่ขาดจะมีการแตกแขนงมาก ส่วนพืชใบเลี้ยงคู่จะมีการแตกตาข้างมากทำให้จำนวนยอดมากกว่าปกติ โดยปริมาณทองแดงในใบข้าวที่จัดว่าเพียงพอต่อการเจริญเติบโตคือ 37.00 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้ง (ขงยุทธ, 2552ข)

### 2.2.10 เหล็ก

เหล็กในใบพืชมีทั้งที่อยู่ในรูปเฟอร์ริก (ferric;  $\text{Fe}^{+3}$ ) และเฟอร์รัส (ferrous;  $\text{Fe}^{+2}$ ) เหล็กในรูปเฟอร์ริกทำหน้าที่เป็นองค์ประกอบของไซโทโครม ไฟโทเฟอร์รีทิน โปรตีนที่มีเหล็กและกัมมะถันเป็นองค์ประกอบ ส่วนเหล็กในรูปเฟอร์รัสใช้เป็นโคแฟกเตอร์ของเอนไซม์ Fe (II) เมื่อพืชขาดธาตุเหล็กจะมีผลกระทบ คือ การสร้างไทลาคอยด์หยุดชะงักการสังเคราะห์คลอโรฟิลล์ การตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ การรับพลังงานแสง การเคลื่อนย้ายอิเล็กตรอน และการสร้างโปรตีนในใบลดลง ช่วงวิกฤติของการขาดธาตุเหล็กในใบพืชทั่วไปอยู่ระหว่าง 50-150 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักแห้ง (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2544 ; ขงยุทธ, 2552ข)

### 2.2.11 แมงกานีส

แมงกานีสในพืชส่วนมากอยู่ในรูป  $Mn^{2+}$  ซึ่งอาจถูกออกซิไดส์เป็น  $Mn^{3+}$  ได้ ธาตุแมงกานีสสามารถทำหน้าที่แทนแมกนีเซียมได้ในปฏิกิริยาที่เกี่ยวข้องกับ ATP และเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาของเอนไซม์พวกดีคาร์บอกซิเลส และดีไฮโดรจีเนส (ยงยุทธ, 2552ข) รวมทั้งมีบทบาทภายในคลอโรพลาสต์ เมื่อปริมาณแมงกานีสในใบอ่อนลดลง ปริมาณคลอโรฟิลล์ และน้ำหนักแห้งของใบจะลดลงเพียงเล็กน้อย แต่มีผลกระทบอย่างรุนแรง คือ การปลดปล่อยออกซิเจนของปฏิกิริยาฮิลล์ลดลงกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ แต่ถ้าเพิ่มธาตุแมงกานีสแก่ใบพืชจนเพียงพอ ปฏิกิริยาฮิลล์จะคืนสู่สภาพปกติภายในเวลาหนึ่งวัน และการขาดแมงกานีสมีผลให้โครงสร้างย่อยของเยื่อหุ้มไทลาคอยด์ชำรุด แต่ถ้าพืชขาดแมงกานีสอย่างรุนแรงจะมีผลให้ปริมาณคลอโรฟิลล์ลดลง และโครงสร้างย่อยของไทลาคอยด์เสียหายมาก ถึงแม้จะได้รับแมงกานีสเข้ามา ก็ไม่สามารถจะซ่อมแซมได้ เนื่องจากมีการยับยั้งการสังเคราะห์สารลิพิดและสารแคโรทีนอยด์ (Polle *et al.*, 1992) ปริมาณของแมงกานีสในส่วนเหนือดินของข้าวที่อายุ 30 วัน ที่จัดว่าเพียงพอคือ 55 - 130 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และในใบที่เพิ่งพัฒนาเต็มที่เมื่อข้าวอยู่ในระยะก่อนออกดอกคือ 40 - 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (ยงยุทธ, 2552ข)

### 2.2.12 สังกะสี

สังกะสีมีบทบาทต่อการเจริญเติบโตของพืช คือ 1) ทำหน้าที่เป็นตัวเร่งกิจกรรมของเอนไซม์หลายชนิด เช่น carbonic anhydrase, alcohol dehydrogenase และ peptidase 2) เกี่ยวข้องกับฮอร์โมนพืช 3) ช่วยในการขยายพันธุ์พืชบางชนิด และ 4) บทบาททางอ้อมในการสร้างคลอโรฟิลล์ หากขาดสังกะสีจะทำให้การยึดต้นข้าว มีใบเล็กแคบ ไม่ออกผล และมีการผลิตออกซิเจนได้น้อยลง (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2544) ปริมาณสังกะสีในพืชทั่วไปที่จัดว่าอยู่ในระดับวิกฤตคือความเป็นพิษมีค่าตั้งแต่ 100 จนถึงสูงกว่า 400 - 500 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมใบแห้ง (ยงยุทธ, 2552ข)

### 2.2.13 โซเดียม

โซเดียมเป็นธาตุที่จำเป็นต่อการเจริญของพืชในกลุ่มที่ชอบขึ้นในดินเค็ม (halophyte) ซึ่งสามารถดูดเกลือ โซเดียม ( $Na^+$ ) และมีการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ในพืชแบบ C4 (C-4 plant) และมีการสังเคราะห์แสงแบบแคม (Crassulacian acid metabolism, CAM) พืชพวก

ซูการ์บีตจะดูดและเคลื่อนย้ายโซเดียมไปยังส่วนเหนือดินได้ดี รวมทั้งทำหน้าที่แทนโพแทสเซียมในกระบวนการเคลื่อนย้ายอาหารต่าง ๆ ภายในพืช และกระตุ้นการเจริญเติบโตของพืช ได้แก่ การขยายขนาดเซลล์ รักษาสมดุลของน้ำในพืช และกิจกรรมเอนไซม์ (ยงยุทธ, 2552ข)

#### 2.2.14 โมลิบดีนัม

โมลิบดีนัมเป็นโลหะทรานซิชัน แต่ที่พบในสารละลายดินส่วนมากอยู่ในรูปออกซีแอนไอออนโมลิบเดต ( $\text{MoO}_4^{2-}$ ) ซึ่งพืชต้องการ โมลิบดีนัมในปริมาณที่ต่ำและน้อยกว่าธาตุอาหารอื่น ๆ (ยกเว้นนิกเกิล) ส่วนบทบาทและหน้าที่ของธาตุโมลิบดีนัมที่มีต่อการเจริญเติบโต ถือเป็นองค์ประกอบของเอนไซม์ ได้แก่ เอนไซม์ในเทรตรีคักซ์เตส, ไดโน ไตรจินีส, xanthine dehydrogenase และ oxidase (ลิลลี่, 2552) ปริมาณ โมลิบดีนัมทั้งหมดในดินอยู่ในช่วง 0.6 – 3.5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม หรือเฉลี่ย 2.0 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม สำหรับส่วนที่เป็นประโยชน์มีประมาณ 0.2 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (ยงยุทธ, 2552ข)

#### 2.2.15 นิกเกิล

นิกเกิลเป็นธาตุอาหารที่ค้นพบล่าสุด และพืชสามารถดูดไปใช้ได้ในรูปแบบ  $\text{Ni}^{2+}$  โดยนิกเกิลมีบทบาทในเมแทบอลิซึมเป็นโคแฟกเตอร์ของเอนไซม์ยูรีเอส (urease) ต่อมาพบว่า การขาดนิกเกิลทำให้การเจริญเติบโตของพืชลดลง และจำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช ซึ่งพืชโดยทั่วไปมีนิกเกิลในส่วนเหนือดินอยู่ในช่วง 0.05 – 5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม แต่มีการกระจายในแต่ละอวัยวะแตกต่างกัน เนื่องจากนิกเกิลเคลื่อนย้ายได้ใหม่ในพืชง่าย ในรูปสารเชิงซ้อนกับกรดอินทรีย์และกรดอะมิโน จึงเคลื่อนย้ายทางโพลีเอมจากใบไปยังส่วนอ่อนได้ดี (ยงยุทธ, 2552ข)

ค่าวิกฤตธาตุอาหารพืช (critical level of nutrient) เป็นระดับธาตุอาหารในระดับต่ำสุดที่พืช ต้องการที่จะทำให้พืชเจริญเติบโตได้อย่างปกติ ถ้าพืชได้รับธาตุอาหารต่ำกว่าระดับวิกฤตธาตุอาหาร จะมีผลกระทบต่อเจริญเติบโตของพืช และทำให้ผลผลิตของพืชลดลง (จักรพันธ์, 2549) ระดับค่าวิกฤตของธาตุอาหารที่มีผลทำให้เกิดการขาดแคลน (deficiency) ความเหมาะสม (optimum) และความเป็นพิษ (toxicity) แก่ต้นข้าวแสดงไว้ในตารางที่ 1 ส่วนผลกระทบจากการขาดธาตุอาหารในส่วนต่าง ๆ ของต้นข้าวแสดงไว้ในตารางที่ 2

**ตารางที่ 1** ระดับค่าวิกฤติของธาตุอาหารพืชบางชนิดที่มีผลทำให้เกิดการขาดแคลน เหมาะสม และ  
ความเป็นพิษแก่ต้นข้าว

ธาตุอาหาร	ขาดแคลน	เหมาะสม	พิษ	ส่วนของพืช	ระยะ
ไนโตรเจน (%)	< 2.50	2.90 - 4.20	-	Y leaf	Till-PI
	< 2.00	2.20 - 3.00	-	Flag leaf	Flowering
ฟอสฟอรัส (%)	< 0.10	0.20 - 0.40	-	Y leaf	Till-PI
	< 0.18	0.20 - 0.30	-	Flag leaf	Flowering
	< 0.06	0.10 - 0.15	> 1.00	Straw	Maturity
โพแทสเซียม (%)	< 1.50	1.80 - 2.60	-	Y leaf	Till-PI
	< 1.20	1.40 - 2.00	-	Flag leaf	Flowering
	< 1.20	1.50 - 2.00	-	Straw	Maturity
แคลเซียม (%)	< 0.15	0.20 - 0.60	-	Y leaf	Till-PI
	< 0.15	0.30 - 0.50	-	Straw	Maturity
แมกนีเซียม (%)	< 0.12	0.15 - 0.30	-	Y leaf	Till-PI
	< 0.10	0.20 - 0.30	-	Straw	Maturity
กำมะถัน (%)	< 0.16	-	-	Y leaf	Till
	< 0.10	0.10 - 0.15	-	Flag leaf	Flowering
	< 0.06	-	-	Straw	Maturity
เหล็ก (mg kg <sup>-1</sup> )	< 70	75 - 150	> 300	Y leaf	Till-PI
สังกะสี (mg kg <sup>-1</sup> )	< 20	25 - 50	-	Y leaf	Till
	-	-	> 1,500	Straw	Maturity
แมงกานีส (mg kg <sup>-1</sup> )	< 40	40 - 700	> 800	Y leaf Shoot	Till-PI
โบรอน (mg kg <sup>-1</sup> )	< 5	6 - 15	> 100	Y leaf	Till-PI
	< 3	-	> 100	Straw	Maturity
ทองแดง (mg kg <sup>-1</sup> )	< 5	7 - 15	-	Y leaf	Till-PI
	< 6	-	> 30	Straw	Maturity

หมายเหตุ Y leaf = Leaf Blade = ใบไม้, Flag leaf = ใบธง, Straw = ฟางข้าว

Till-PI = Tillering Panicle Initiation = ระยะเริ่มต้นการแตกกอ

Flowering = ระยะออกดอก, Maturity = โตเต็มวัย

ที่มา: Dobermann and Fairhurst (2000)

ตารางที่ 2 ผลกระทบจากการขาดธาตุอาหารพืชบางชนิดในส่วนต่าง ๆ ของต้นข้าว

ธาตุอาหารที่ขาด	ผลกระทบต่อส่วนต่าง ๆ ของต้นข้าว	
	ใบข้าว	ลำต้นข้าว
ไนโตรเจน	แคบ สั้น ใบแก่มีสีเขียวอมเหลือง	
ฟอสฟอรัส	แคบ สั้น ใบแก่มีสีเขียวเข้มหรือสีม่วง เมื่อแห้งตายจะมีสีน้ำตาล	แคระแกร็น การแตกกอลดลงมาก
โพแทสเซียม	สั้น สีเขียวเข้ม เกิดจุดน้ำตาลระหว่าง เส้นใบ ใบล่างมีแถบสีเหลืองเริ่มจาก ปลายลงมา ใบลู่ลง	
กำมะถัน	แคบ สั้น ใบแก่มีสีเขียวอมเหลือง แต่แสดงอาการในใบอ่อนด้วย	-
แคลเซียม	ปลายใบอ่อนมีสีเขียวขาว และม้วนปิด ใบยอดอาจแห้งตาย	แคระแกร็น
แมกนีเซียม	ใบมีลักษณะเป็นคลื่น และลู่ลง ใบล่างมีสีเหลืองซีดระหว่างเส้นใบ	ความสูงลดลงเล็กน้อย การแตกกอน้อยลงบ้าง
เหล็ก	ใบสีซีดเหลืองถึงขาว	-
แมงกานีส	เส้นใบมีรอยด่างเหลือง ต่อมาจะ เปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลเข้ม ใบอ่อนสั้นและแคบ และมีสีเขียวอ่อน	แคระแกร็น การแตกกอปกติ
สังกะสี	ฐานเส้นกลางใบของใบอ่อนมีสี เหลืองซีด ใบล่างอาจมีเส้นและจุดสี น้ำตาล ใบมีขนาดลดลง	แคระแกร็น เมล็ดสุดท้ายแก่ช้าลง
โบรอน	ปลายใบอ่อนขาว และม้วนงอ คล้าย ขาดแคลเซียม ใบยอดอาจแห้งตาย	ความสูงลดลง
ทองแดง	ใบมีสีเขียวแกมน้ำเงิน ปลายใบมีสี เหลืองซีดและขยายลงมาข้าง โคนใบ ใบอ่อนมีลักษณะเป็นเส้นคล้ายเข็ม	-

ที่มา: IRRI (1977)

### 3. การให้ปุ๋ยทางใบ (Foliar application)

#### 3.1 ความหมาย

การให้ปุ๋ยทางใบเป็นการให้ปุ๋ยแบบพ่นทางใบกับต้นพืช โดยการพ่นปุ๋ยที่ละลายน้ำให้เป็นละอองน้ำจับที่ใบหรือส่วนของต้นพืชเหนือดิน ซึ่งเป็นวิธีหนึ่งที่ทำให้พืชได้รับธาตุอาหารเพิ่มเติมจากที่รากดูดซึมจากดิน ถึงแม้การให้ปุ๋ยทางใบทำให้ธาตุอาหารเข้าสู่พืชได้เร็ว (ยงยุทธ, 2552ก) แต่ปริมาณธาตุอาหารที่ดูดซึมเข้าสู่พืชจะน้อยกว่า ดังนั้น การให้ปุ๋ยโดยวิธีการนี้จึงเหมาะสำหรับให้ธาตุอาหารเสริมแก่พืช และพืชที่มีระบบรากถูกทำลาย (มุกดา, 2547)

#### 3.2 วัตถุประสงค์

เพื่อเสริมการให้ปุ๋ยทางดินใน 2 กรณี คือ เมื่อการให้ปุ๋ยทางดินให้ผลช้า และเสริมเมื่อการให้ปุ๋ยทางดินให้ผลไม่ได้ตามเป้าหมาย (ยงยุทธ, 2552ก)

#### 3.3 ข้อดีและข้อจำกัดของการให้ปุ๋ยทางใบ

##### 3.3.1 ข้อดีในการให้ปุ๋ยทางใบ (ยงยุทธ, 2552ก)

- 1) การให้ปุ๋ยทางใบโดยตรง สามารถแก้ปัญหาการขาดธาตุอาหารได้เร็วกว่าการให้ปุ๋ยทางดิน เพราะการให้ปุ๋ยทางดินต้องคำนึงถึงการเคลื่อนย้ายของปุ๋ยในดิน การตรึงธาตุอาหาร ความเข้มข้นของธาตุเหล่านั้นในสารละลายดิน และการปรับปรุงดินให้มีคุณสมบัติเหมาะสมต้องใช้เวลา
- 2) ประสิทธิภาพสูงกว่าใส่ในดินในพืชบางชนิด โดยเฉพาะพวกจุลธาดู
- 3) พืชที่ขาดธาตุอาหารในระยะวิกฤต ปุ๋ยทางใบจะช่วยแก้ไขได้เร็วที่สุด

4) การให้น้ำปุ๋ยทางใบให้ผลดีกับพืชที่มีพื้นที่ผิวใบทั้งหมดสูง คือ ใบใหญ่ และใบมาก เพราะรับละอองปุ๋ยไว้ได้มาก วิธีนี้ให้ผลดีกับพืชใบเลี้ยงคู่ เช่น ไม้ผล ผักต่างๆ นอกจากนี้ มุมใบยังมีผลต่อการรับและจับเกาะของละอองน้ำปุ๋ยด้วย

5) การให้น้ำปุ๋ยทางใบเพื่อเสริมกับการให้น้ำปุ๋ยทางดินจะให้ผลเด่นชัด เมื่อให้ตอนที่พืชมีอัตราการเจริญเติบโตค่อนข้างช้าและระหว่างการออกดอก

### 3.3.2 ข้อจำกัดในการใช้น้ำปุ๋ยทางใบ (มุกดา, 2547)

1) การพ่นปุ๋ยน้ำให้มีละอองเล็กและรวดเร็ว ต้องใช้เครื่องมือพิเศษและความชำนาญของผู้ฉีด

2) พืชหลายชนิดไม่ค่อยตอบสนองต่อการให้น้ำปุ๋ยทางใบ องค์ประกอบทางเคมีและสัณฐานของใบพืช มีผลต่อการเกาะติดที่ใบ และการใช้ประโยชน์จากปุ๋ย

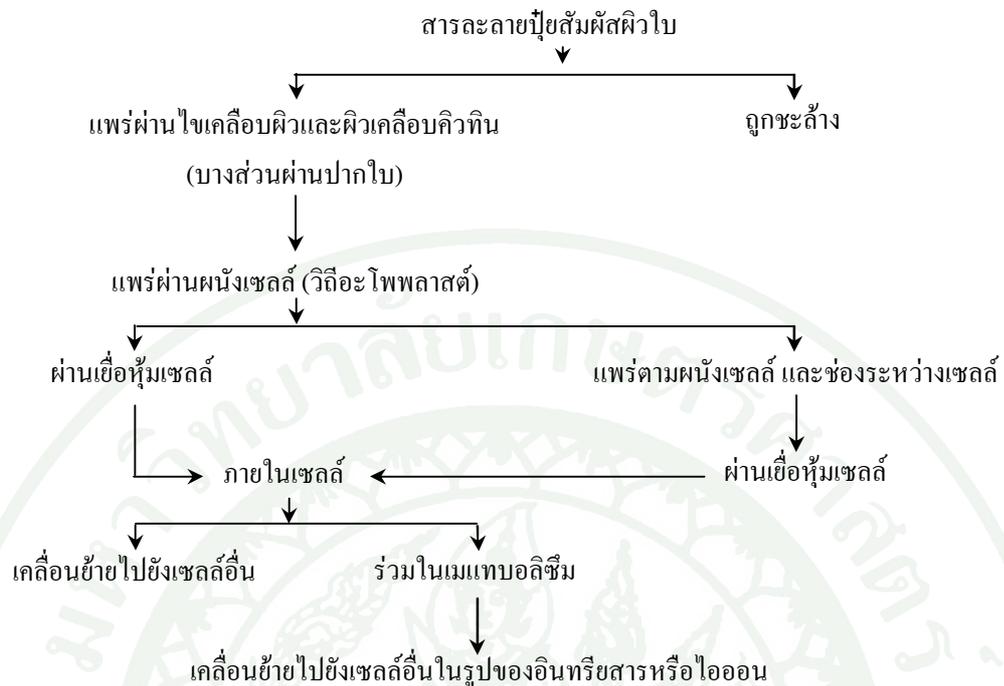
3) หากใช้อัตราสูงเกินไปอาจเกิดการใบไหม้รุนแรงกว่าการให้ทางดิน

4) ปุ๋ยที่เป็นอนินทรีย์สาร จะกัดกร่อนอุปกรณ์ยิ่งกว่ายาปราบศัตรูพืช

## 3.4 เส้นทางการดูดซึมธาตุอาหารทางใบ

### 3.4.1 เส้นทางการผ่านของธาตุอาหาร (ยงยุทธ, 2552ก)

เมื่อสารละลายปุ๋ยสัมผัสผิวใบจะแพร่ผ่าน ใบเคลือบผิว ผิวเคลือบคิวทิน และผนังเซลล์ จากนั้นจะผ่านเยื่อหุ้มเซลล์แล้วนำไปใช้ประโยชน์ภายในเซลล์ ดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 ขั้นตอนการดูดซึม และใช้ธาตุอาหารของพืชทางใบ

ที่มา: ขงยุทธ (2552ก)

การซึมซาบธาตุอาหารและสารต่าง ๆ เข้าทางใบ ดังภาพที่ 1 แบ่งเป็น 2 ขั้นตอน คือ

ขั้นแรก ไอออนของธาตุอาหารผ่านไขเคลือบผิวคิวทิน คิวทิน และผนังเซลล์ โดยการแพร่ และการแลกเปลี่ยนไอออน (ion exchange) การแพร่เป็นไปอย่างรวดเร็ว เพราะผิวใบมีช่องเสรี (free space) ซึ่งเป็นช่องระหว่างเซลล์ มีประมาณ 5 - 20 เปอร์เซ็นต์ของปริมาตรใบ ทำให้เกิดทางเคลื่อนย้ายอยู่นอกโพรโทพลาสซึมของไอออนและสารที่ให้ทางใบ ก่อนผ่านเยื่อหุ้มเซลล์เข้าไป เรียกเส้นทางการเคลื่อนย้ายนี้ว่า วิถีอะโพพลาสต์ (apoplast pathway)

ขั้นสอง ไอออนผ่านเยื่อหุ้มเซลล์เข้าสู่เซลล์ของเนื้อเยื่อชั้นผิวใบ ซึ่งเป็นขั้นตอนที่ต้องใช้พลังงานจากเมแทบอลิซึม และเมื่อไอออนเข้าไปอยู่ในเซลล์แล้ว ไอออนสามารถเคลื่อนย้ายไปยังเซลล์ข้างเคียงได้ โดยอยู่ในรูปของอินทรีย์สารหรือไอออน

### 3.4.2 กลไกการดูดซึมธาตุอาหารทางใบ

เมื่อธาตุอาหารผ่านผิวเคลือบคิวทิน และช่องเสริมในผนังเซลล์แล้ว จึงผ่านมาถึงเยื่อหุ้มเซลล์และมีกลไกการดูดซึมธาตุอาหารทางใบเข้าสู่เซลล์ใบ โดยผ่านเข้าทางช่องผ่านพาหะ และตัวสูบ (Voet and Voet, 1995) มีขั้นตอนดังนี้

ช่องผ่าน (channels) เยื่อหุ้มเซลล์มีช่องผ่านสำหรับไอออนหรือโมเลกุลที่จำเพาะต่อสารที่ผ่านในเรื่องขนาดและจำนวนประจุของไอออน โดยไอออนเคลื่อนย้ายจากด้านนอกที่มีศักย์เคมีไฟฟ้าสูงเข้าสู่ภายในเซลล์ที่มีศักย์เคมีไฟฟ้าต่ำกว่า

พาหะ (trans-porters) กลไกการเคลื่อนย้ายด้วยพาหะมีขั้นตอน คือ เริ่มจากโปรตีนจดจำยอมให้ไอออนหรือโมเลกุลอย่างหนึ่งเข้าเกาะ แล้วชักนำให้เคลื่อนย้ายผ่าน โดยปลดปล่อยไอออนหรือโมเลกุลไว้ภายในเซลล์ และพาหะปรับโครงสร้างให้พร้อมรับไอออนหรือโมเลกุลจากภายนอกเข้ามาอีก

ตัวสูบ (pumps) ทำหน้าที่ขนส่งไอออนบางชนิด เช่น แคลเซียม และ โซเดียม เป็นต้น เพื่อควบคุมความเข้มข้นของไอออนดังกล่าวภายในเซลล์

## 4. ธาตุอาหารพืชในปุ๋ยอินทรีย์น้ำและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สุริยา (2542) ศึกษาการตอบสนองของข้าวพันธุ์กุ่มเมืองหลวงต่อการใช้ปุ๋ยน้ำชีวภาพที่ผลิตจากปลา 2 ชนิด ร่วมกับการใช้ปุ๋ยเคมีสูตร 16-16-8 เป็นปุ๋ยรองพื้นในอัตราต่างๆ พบว่า การใช้ปุ๋ยเคมีร่วมกับปุ๋ยน้ำชีวภาพทั้ง 2 ชนิด ทำให้ผลผลิตข้าวเพิ่มขึ้นมากกว่าการใช้ปุ๋ยเคมีเพียงอย่างเดียวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

กรมวิชาการเกษตร (2544) ศึกษาการผลิตและการใช้น้ำสกัดชีวภาพที่ผลิตจากปลา พบว่าปริมาณธาตุอาหารต่าง ๆ ขึ้นกับแร่ธาตุที่เป็นองค์ประกอบทางเคมีของปลา และขึ้นอยู่กับสิ่งแวดล้อมที่ปลาอาศัยอยู่ คือ น้ำและอาหารที่ปลากิน แร่ธาตุที่พบทั้งในปลาน้ำจืด และปลาน้ำเค็ม 60 ชนิด มีออกซิเจน 75 เปอร์เซ็นต์ ไฮโดรเจน 10 เปอร์เซ็นต์ คาร์บอน 9.5 เปอร์เซ็นต์ ไนโตรเจน

2.5 - 3.0 เปอร์เซ็นต์ แคลเซียม 1.2 - 1.5 เปอร์เซ็นต์ ฟอสฟอรัส 0.6-0.8 เปอร์เซ็นต์ กำมะถัน 0.3 เปอร์เซ็นต์ ส่วนแร่ธาตุอื่น ๆ มีอยู่ในปริมาณที่น้อยมาก

ธงชัย (2544) ทดลองให้ธาตุอาหารจากสารอินทรีย์แก่พืช โดยใช้ปุ๋ยน้ำหมักเป็นปุ๋ยทางใบ พบว่า แม้ปริมาณธาตุอาหารไม่มาก แต่พืชสามารถดูดซึมผ่านผิวใบเข้าสู่ระบบท่อลำเลียง และนำไปใช้ได้รวดเร็ว รวมทั้งปุ๋ยน้ำหมักมีธาตุอาหารพืชครบทุกธาตุ ทั้งธาตุหลัก ธาตุรอง และจุลธาตุ

สุรชัย (2546) ศึกษาประสิทธิภาพของน้ำสกัดชีวภาพพืชและน้ำสกัดชีวภาพปลาต่อการเจริญเติบโตของผักกาดกวางตุ้ง ผักกาดหอม และพริกยักษ์ ในระบบการปลูกพืชแบบไม่ใช้ดิน พบว่า การใช้น้ำสกัดชีวภาพพืชหรือปลาที่เจือจาง 1 : 1,000 และ 1 : 500 ร่วมกับสารละลายที่มีธาตุอาหารครบ ทำให้พืชมีการเจริญเติบโตและการดูดกินธาตุอาหารเพิ่มขึ้นดีกว่าการใช้สารละลายที่มีธาตุอาหารครบแต่เพียงอย่างเดียวแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนการใช้น้ำสกัดชีวภาพพืช และน้ำสกัดชีวภาพปลาแต่เพียงอย่างเดียว ทั้งในอัตรา 1 : 1,000 และ 1 : 500 จะทำให้พืชมีการเจริญเติบโต และการดูดกินธาตุอาหารน้อยมากและไม่แตกต่างกัน

ศูนย์วิจัยเพื่อเพิ่มผลผลิตทางการเกษตร (2546) ปลูกข้าวโดยใช้ น้ำสกัดชีวภาพจากพืช เช่น ผักบุ้ง หน่อไม้ หยวกกล้วย และพืชตระกูลถั่วอื่นๆ ที่มีการเจริญเติบโตเร็ว และน้ำสกัดชีวภาพจากปลา ทำการพ่นเพื่อช่วยเพิ่มธาตุไนโตรเจน โดยพ่นในช่วงที่ข้าวกำลังเจริญเติบโต ส่วนน้ำสกัดชีวภาพจากผลไม้ เช่น กล้วย ฟักทอง มะละกอ และขนุน มีการพ่นในช่วงข้าวตั้งท้องและออกรวง พบว่า สามารถช่วยให้ต้นข้าวมีการเจริญเติบโตดีและให้ผลผลิตสูงขึ้นได้

วรารักษ์ (2547) ศึกษาการใช้น้ำสกัดมูลสุกรเป็นปุ๋ยทางใบในมันสำปะหลังพันธุ์ระยอง 5 เริ่มทดลองเมื่อมันสำปะหลังมีอายุได้ 3 เดือน พบว่า การพ่นน้ำสกัดมูลสุกรทุก 1 เดือน และทุก 2 เดือน มีผลทำให้ น้ำหนักรวมทั้งต้น น้ำหนักใบ ผลผลิตต่อไร่ และเปอร์เซ็นต์แป้งของมันสำปะหลัง สูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติจากการทดลองอื่น ได้แก่ ไม่มีการพ่นใด ๆ เลย การพ่นน้ำเปล่าทุก 1 เดือน และ การพ่นน้ำเปล่าทุก 2 เดือน ส่วนผลการพ่นน้ำสกัดมูลสุกรต่อปริมาณธาตุอาหารได้แก่ ธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม เหล็ก ทองแดง และแมงกานีส ในใบและหัวมันสำปะหลัง พบว่า มีแนวโน้มไม่ชัดเจน การตอบสนองของปริมาณธาตุอาหารต่อการให้น้ำสกัดมูลสุกรทางใบ มีความแปรปรวนสูงเมื่อมันสำปะหลังมีอายุเก็บเกี่ยวที่ 9, 10 และ 11 เดือน

นิภาวรรณ (2548) ศึกษาการใช้สารสกัดพืช สารสกัดปลา ไคโตซาน และปุ๋ยหมักร่วมกับ ปุ๋ยเคมีต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของถั่วเหลืองพันธุ์เชียงใหม่ 60 พบว่า การพ่นสารสกัดปลา เพียงอย่างเดียว 4 ครั้ง ที่อายุ 20, 30, 40 และ 50 วันหลังงอก ในช่วงต้นฤดูฝนและปลายฤดูฝน ให้ผลผลิตสูงกว่าวิธีอื่นๆ ผลผลิตสูงสุด คือ 182 และ 375 กิโลกรัมต่อไร่ ตามลำดับ อย่างไรก็ตาม ไม่มี ความแตกต่างกันทางสถิติกับการใส่ปุ๋ยเคมีอัตรา 10 กิโลกรัมต่อไร่ ร่วมกับปุ๋ยหมัก สารสกัดพืช สาร สกัดปลา และไคโตซาน รวมทั้งการใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 16-20-0 อัตรา 10 และ 20 กิโลกรัมต่อไร่เพียง อย่างเดียว

ปฎิมาและคณะ (2548) ศึกษาปริมาณของแร่ธาตุชนิดต่าง ๆ ในน้ำสกัดมูลสุกร โดยทำการ หมักมูลสุกรแห้งกับน้ำ ในอัตราส่วนมูลต่อน้ำ 1: 10, 2:10 และ 2.5 : 10 ในถัง 200ลิตร แล้วหมักทิ้ง ไว้ และเก็บตัวอย่างน้ำหมักในวันที่ 1, 3, 5 และ 7 วัน นำมากรองด้วยผ้าขาวบางก่อนนำไป วิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหาร พบว่า การเพิ่มอัตราส่วนของมูลสุกรแห้งต่อน้ำและระยะเวลาหมักให้นาน ขึ้น มีผลต่อการละลายของธาตุอาหารชนิดต่างๆเพิ่มมากขึ้น แต่การเพิ่มขึ้นของอัตราส่วนมูลสุกร แห้งต่อน้ำ 2: 10 และ 2.5 :10 รวมทั้งการเพิ่มระยะเวลาหมักให้นานขึ้นถึง 7วัน ไม่ได้ทำให้ปริมาณ ธาตุอาหารที่ละลายออกมามากขึ้นตามอัตราส่วนและระยะเวลาหมัก อีกทั้งการหมักเป็นเวลานานทำ ให้ค่าการนำไฟฟ้า กลิ่นของน้ำสกัด และค่าใช้จายเพิ่มขึ้นตามไปด้วย ดังนั้นจึงแนะนำให้หมักมูล สุกรอัตราส่วนมูลแห้งต่อน้ำ 1:10 เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

จักรพันธ์ (2549) ศึกษาผลของการให้ปุ๋ยอินทรีย์น้ำชนิดต่าง ๆ ได้แก่ ปุ๋ยน้ำสกัดมูลสุกร ปุ๋ย ปลาหมัก ปุ๋ยน้ำมังกรเกษตร และพ่นปุ๋ยเคมีทางใบ เมื่อมันสำปะหลังอายุ 1, 2 และ 3 เดือน โดย เปรียบเทียบกับการให้ปุ๋ยเคมี 15-15-15 ทางดิน อัตรา 50 กิโลกรัมต่อไร่ เมื่อมันสำปะหลังอายุ 1 เดือน การพ่นน้ำเปล่า และการไม่ให้ปุ๋ย ในมันสำปะหลังพันธุ์ห้วยบง 60 ผลการศึกษาพบว่า การพ่น ปุ๋ยอินทรีย์น้ำทุกชนิดที่ทดลอง ให้ลักษณะการเจริญเติบโต รวมถึงลักษณะการผลิตที่ไม่แตกต่างกัน กับการพ่นน้ำเปล่า และการไม่ให้ปุ๋ย โดยให้ลักษณะการเจริญเติบโตในส่วนของความสูงต่ำกว่าการ ให้ปุ๋ยเคมี 15-15-15 แต่การใช้ปุ๋ยเคมีทางใบให้ลักษณะการเติบโต และผลผลิตของมันสำปะหลังไม่ แตกต่างจากการใช้ปุ๋ยเคมี 15-15-15 ทางดิน

อุทัยวรรณ (2552) ศึกษาผลการใช้ปุ๋ยน้ำสกัดมูลสุกรเป็นปุ๋ยทางใบหรือทางดินต่อการ เจริญเติบโต ผลผลิตและความเข้มข้นของธาตุอาหารในใบมันสำปะหลังเปรียบเทียบกับการให้ ปุ๋ยเคมี คือ ไม่ใส่ปุ๋ย ใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 21-10-10 ให้น้ำสกัดมูลสุกรทางใบ ให้น้ำสกัดมูลสุกรทางดิน

ให้น้ำสกัดมูลสุกรทางใบและทางดิน ผลการทดลอง พบว่า การพ่นน้ำสกัดมูลสุกรทางใบไม่มีผลทำให้เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น ความสูงลำต้น ความกว้างทรงพุ่ม ดัชนีพื้นที่ใบ ผลผลิต เปอร์เซ็นต์แป้ง ปริมาณธาตุอาหารต่าง ๆ ในใบดัชนี ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ บี และคลอโรฟิลล์รวม แตกต่างจากการไม่ให้ปุ๋ย นอกจากนี้การให้น้ำสกัดมูลสุกรทางดินร่วมกับการพ่นทางใบยังให้ค่าของเปอร์เซ็นต์แป้ง สูงรองจากการให้ปุ๋ยน้ำสกัดมูลสุกรทางดิน รวมถึงทำให้มีปริมาณคลอโรฟิลล์เอ บี และคลอโรฟิลล์รวมในใบ ดัชนีพื้นที่ใบ น้ำหนักใบแห้ง เมื่อมันสำปะหลังอยู่ในอายุวิกฤติ 4-6 เดือนมากที่สุดด้วย



# อุปกรณ์และวิธีการ

## อุปกรณ์

### 1. อุปกรณ์การทดลอง

#### 1.1 มูลไก่ไข่ มูลนกกระทาไข่

#### 1.2 ข้าวหอมพันธุ์ปิ่นเกษตร 1 (Pin Kaset 1)

ข้าวหอมพันธุ์ปิ่นเกษตร 1 เป็นลูกผสมระหว่างข้าวขาวดอกมะลิ 105 กับข้าวทนแล้งพันธุ์ CT 9993 เป็นข้าวไม่ไวต่อแสง กลิ่นหอม นุ่มเหนียว ข้าวกล้องพันธุ์นี้มีความนุ่มนวล เมล็ดยาว 8 มิลลิเมตรและใสมาก เปอร์เซ็นต์ต้นข้าวสูงเมื่อขจัดดี ข้าวกล้องมีความเป็นประโยชน์ของธาตุเหล็กดี เมื่อหุงรวมกับข้าวพันธุ์อื่นจะช่วยทำให้ประโยชน์ของธาตุเหล็กสูงขึ้น ซึ่งให้ผลสอดคล้องกันทั้งการทดสอบในระดับเซลล์และในมนุษย์ ด้วยคุณสมบัตินี้จึงได้รับรางวัลชนะเลิศอันดับ 3 จากการประกวดข้าวโลก (2<sup>nd</sup> World Rice Competition) เมื่อปี 2547 (ศูนย์วิทยาศาสตร์ข้าว, 2550)

ข้าวหอมพันธุ์ปิ่นเกษตร 1 มีลักษณะเด่นประจำพันธุ์ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ลักษณะเด่นประจำพันธุ์ของข้าวหอมพันธุ์ปิ่นเกษตร 1

ลักษณะประจำพันธุ์		หน่วย
ความสูง	106	เซนติเมตร
อายุเก็บเกี่ยว	125 – 130	วัน
ผลผลิต	700 – 800	กิโลกรัมต่อไร่
ปริมาณอไมเลส (amylase)	19.5	เปอร์เซ็นต์
อุณหภูมิแป้งสุก	70 – 74	เปอร์เซ็นต์
ความเป็นประโยชน์ของธาตุเหล็ก	9.45	ng Ferritin/mg-cell protein
ธาตุสังกะสี	21.6	มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

ที่มา: คัดแปลงจากศูนย์วิทยาศาสตร์ข้าว (2550)

- 1.3 น้ำสกัดมูลไก่ไข่ น้ำสกัดมูลนกกกระทาไข่ และปุ๋ยเคมีน้ำ
  - 1.4 ถังสำหรับแช่มูล เพื่อทำน้ำสกัดมูล
  - 1.5 เครื่องฟ่นปุ๋ยชนิดสะพวยหลัง
  - 1.6 อุปกรณ์ในการเก็บ และเตรียมตัวอย่างดิน
  - 1.7 อุปกรณ์ในการเก็บ และเตรียมตัวอย่างพืช
  - 1.8 ตลับเทพวัดระยะ
  - 1.9 ป้ายไม้ปักแปลง
  - 1.10 สารจับใบ หรือน้ำยาล้างจาน
  - 1.11 เครื่องมือทางการเกษตร
2. เครื่องมือสำหรับวิเคราะห์ทางเคมี และกายภาพ
    - 2.1 Atomic absorption spectrophotometer (เครื่องวัดแร่ธาตุ)
    - 2.2 Balance (เครื่องชั่ง)
    - 2.3 Block digester (เครื่องย่อยสลายตัวอย่าง)
    - 2.4 Electrical conductivity meter (เครื่องวัดค่าการนำไฟฟ้า)
    - 2.5 Hot plate (เตาต้ม)
    - 2.6 Muffle furnace (เตาเผา)
    - 2.7 Nitrogen distillation apparatus (เครื่องกลั่นไนโตรเจน)
    - 2.8 Oven (เตาอบ)
    - 2.9 pH meter (เครื่องวัดค่าความเป็นกรดเป็นด่าง)
    - 2.10 UV-VIS Spectrophotometer (เครื่องวัดค่าการดูดกลืนคลื่นแสง)
3. สารเคมี
    - 3.1 conc.  $H_2SO_4$
    - 3.2 0.36 N  $H_2SO_4$
    - 3.3  $HClO_4$
    - 3.4  $HNO_3$
    - 3.5 CaO

- 3.6 0.02 N AgNO<sub>3</sub>  
 3.7 Ca(OH)<sub>2</sub>  
 3.8 1 N NH<sub>4</sub>OAc  
 3.9 10% NaCl  
 3.10 Bray II (1 N NH<sub>4</sub>F, 0.5 N HCl)

### วิธีการ

## 1. การศึกษาสมบัติทางกายภาพ สมบัติทางเคมี และปริมาณธาตุอาหารพืชในอาหาร มูล น้ำสกัดมูลของไก่ไข่และนกกกระทาไข่

การศึกษาสมบัติทางกายภาพ สมบัติทางเคมี และปริมาณแร่ธาตุอาหารพืชของอาหาร มูล น้ำสกัดมูลของไก่ไข่และนกกกระทาไข่ โดยกำหนดปัจจัย ได้แก่ สัตว์ 2 ชนิด คือ ไก่ไข่ และ นกกกระทาไข่ จากฟาร์มที่ต่างกัน 4 ฟาร์ม และเก็บตัวอย่าง 2 ครั้ง ในเดือนมกราคมและมกราคม 2552 ทั้งนี้วางแผนทดลองแบบสุ่มภายในบล็อกสมบูรณ์ (Randomize Complete Block Design, RCBD) จำนวน 3 ซ้ำ โดยให้เดือนเป็นบล็อก เพื่อลดความแตกต่างที่จะเกิดขึ้นเนื่องมาจากเดือนทั้ง 2 เดือน ซึ่งมีสภาพอากาศแตกต่างกัน กล่าวคือ เดือนมกราคมอยู่ในช่วงฤดูหนาว โดยสภาพทั่วไปอุณหภูมิจะค่อนข้างต่ำ มีผลทำให้สัตว์กินอาหารได้มากกว่าในช่วงเดือนมีนาคมที่อยู่ในช่วงต้นฤดูร้อน ซึ่งเมื่อสัตว์กินอาหารได้น้อยลง ควรมีการปรับปริมาณสารอาหารต่าง ๆ ให้มีความเข้มข้นมากขึ้น (อานนท์, 2542) เพื่อให้เพียงพอกับความต้องการของสัตว์ในการเจริญเติบโต และให้ผลผลิตในระดับปกติได้ ซึ่งมีรายละเอียดการทดลองดังนี้

### 1.1 ตัวอย่างอาหาร มูลของไก่ไข่และนกกกระทาไข่

เก็บตัวอย่างอาหาร และมูลสดของสัตว์ทั้ง 2 ชนิด คือไก่ไข่และนกกกระทาไข่ โดยสุ่มเก็บชนิดละ 4 ฟาร์ม ดังรายละเอียดในตารางที่ 4 การสุ่มเก็บตัวอย่างแยกเก็บตัวอย่างอาหาร ซึ่งในแต่ละฟาร์มมีทั้งฟาร์มที่ผลิตอาหารสัตว์ใช้เอง และฟาร์มที่ซื้ออาหารสัตว์จากบริษัทผู้ผลิตอาหารสัตว์ โดยสุ่มเก็บตัวอย่าง 2 ครั้ง ในเดือนมกราคมและมกราคม 2552 ทั้งนี้ แต่ละฟาร์มใช้อาหารเลี้ยงสัตว์สูตรเดียวกันตลอดการทดลอง

#### ตารางที่ 4 ฟาร์มไก่ไข่ ฟาร์มนกกกระทาไข่ และสถานที่ตั้ง

ชื่อฟาร์มไก่ไข่	สถานที่ตั้ง
1. ฟาร์มสี่ร้อย	ต.สี่ร้อย อ.วิเศษชัยชาญ จ.อ่างทอง
2. ฟาร์มรุ่งโรจน์	ต.บางภาษี อ.บางเลน จ.นครปฐม
3. ฟาร์มฟ้าใสการเกษตร 3	ต.บางเลน อ.บางเลน จ.นครปฐม
4. ศูนย์วิจัยและพัฒนาการผลิตสัตว์ปีก	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จ.นครปฐม
ชื่อฟาร์มนกกกระทาไข่	สถานที่ตั้ง
1. ฟาร์มอเนก	ต.ป่าจิว อ.เมือง จ.อ่างทอง
2. ฟาร์มประทีป	อ.มหาราช จ.พระนครศรีอยุธยา
3. ฟาร์มไพฑูริย์	ต.ห้วยคันแหลน อ.วิเศษชัยชาญ จ.อ่างทอง
4. ฟาร์มนาดยา	อ.ท่าหลวง จ.ลพบุรี

#### 1.2 การเตรียมมูลแห้งเพื่อการวิเคราะห์

สุ่มเก็บตัวอย่างมูลสดของไก่ไข่ และมูลสดของนกกกระทาไข่ ฟาร์มละ 30 กิโลกรัมต่อเดือน โดยแยกตากแต่ละฟาร์มบนแผ่นพลาสติก กลิ้งให้ทั่วแผ่น และตากมูลสดให้แห้งในที่อากาศถ่ายเทหรือโรงเรือนที่เปิดโล่ง ป้องกันการเกิดเชื้อราโดยพลิกกลับมูลสดเป็นประจำทุกวัน ตากไว้เป็นระยะเวลา 1-2 สัปดาห์ หรือจนมูลสดแห้งสนิท (ความชื้น 0 - 10 เปอร์เซ็นต์)

#### 1.3 การเตรียมน้ำสกัดมูลไก่ไข่ และน้ำสกัดมูลนกกกระทาไข่อายุ 24 ชั่วโมง เพื่อการวิเคราะห์

นำมูลไก่ไข่ หรือ มูลนกกกระทาไข่แห้งจากแต่ละฟาร์มรวม 8 ฟาร์ม ซึ่งแยกเก็บเดือนมกราคมและมีนาคม 2552 และแต่ละฟาร์มทำ 3 ซ้ำ โดยนำมูลแห้งบรรจุลงในถุงไนลอน (มุ้งเขียว) แล้วแช่ในน้ำ อัตราส่วนมูล 1 กิโลกรัม ต่อน้ำ 10 ลิตร (อัตราส่วนมูล:น้ำ 1:10 ปริมาณแร่ธาตุสามารถละลายออกมาได้หมด แต่ถ้าลดอัตราส่วนของน้ำเป็น 1:5 หรืออื่น ๆ ปริมาณแร่ธาตุไม่สามารถละลายออกมาได้หมด เพราะเกิดการอิมตัวของแร่ธาตุก่อนจะละลายออกมาได้หมด) ปิดฝา ปล่อยให้สนิทและหมักไว้เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วยกถุงที่บรรจุมูลออกจากถัง (สุกัญญา และคณะ,

2550) หลังจากนั้นกรองเอาส่วนกากออก เหลือส่วนที่เป็นน้ำสกัดเข้มข้น แบ่งน้ำสกัดมูลไก่ไข่และน้ำสกัดมูลนกกระทาไข่อายุ 24 ชั่วโมง นี้ไปวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ สมบัติทางเคมี และปริมาณแร่ธาตุอาหารพืชต่อไป โดยแต่ละซ้ำทำการวิเคราะห์เพิ่มอีก 2 ซ้ำ

1.4 การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ และสมบัติทางเคมีของอาหาร มูล น้ำสกัดมูลอายุ 24 ชั่วโมง ของไก่ไข่และนกกระทาไข่ (ทัศนีย์และจรงค์, 2542)

นำตัวอย่างอาหาร มูล น้ำสกัดมูลอายุ 24 ชั่วโมง ของไก่ไข่และนกกระทาไข่ มาวิเคราะห์ ดังนี้

1.4.1 สมบัติทางกายภาพ คือ ค่าการนำไฟฟ้า (electrical conductivity, EC) โดยใช้ อัตราส่วนของตัวอย่าง : น้ำ ได้แก่ อัตราส่วน 1 : 5 สำหรับอาหาร มูลของไก่ไข่และนกกระทาไข่ และอัตราส่วน 1 : 1 สำหรับน้ำสกัดมูลของไก่ไข่และนกกระทาไข่ เมื่อเติมน้ำกลั่นแล้วตั้งไว้ 1 ชั่วโมง วัดที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ด้วย EC meter

1.4.2 สมบัติทางเคมี คือ ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (power of hydrogen, pH) โดยใช้ อัตราส่วนตัวอย่าง : น้ำ ได้แก่ อัตราส่วน 1 : 5 (อัตราส่วน 1 : 1 ไม่สามารถใช้ได้ เพราะการละลายได้ของอาหารและมูลน้อยมาก อย่างไรก็ตาม อัตราส่วน 1 : 5 ถึงแม้จะมีค่า pH แตกต่างกับ อัตราส่วน 1 : 1 แต่ค่า pH ที่ได้ไม่ต่างกันมาก) สำหรับอาหาร มูลของไก่ไข่และนกกระทาไข่ และอัตราส่วน 1 : 1 สำหรับน้ำสกัดมูลของไก่ไข่และนกกระทาไข่ เมื่อเติมน้ำกลั่นแล้วตั้งไว้ 30 นาที แล้ววัดด้วย pH meter

1.5 การวิเคราะห์ปริมาณแร่ธาตุอาหารพืชในอาหาร มูล น้ำสกัดมูลอายุ 24 ชั่วโมง ของไก่ไข่และนกกระทาไข่

ศึกษาปริมาณแร่ธาตุอาหารพืชในอาหาร มูล น้ำสกัดมูลอายุ 24 ชั่วโมง ของไก่ไข่และนกกระทาไข่ ได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม กำมะถัน เหล็ก ทองแดง แมงกานีส สังกะสี คลอรีน โบรอน และโซเดียม โดยมีรายละเอียดดังนี้

1.5.1 ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม โดยนำตัวอย่างอาหาร มูลของไก่ไข่ และนกกกระทาไข่ 0.2 กรัม หรือ น้ำสกัดมูลไก่ไข่และน้ำสกัดมูลนกกกระทาไข่ 1 มิลลิลิตร ผสมด้วย  $H_2SO_4$  ปริมาตร 4 มิลลิลิตรต่อตัวอย่าง แล้วนำไปย่อย (digestion) ที่อุณหภูมิ 350 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง 30 นาที แล้วปรับปริมาตรเป็น 50 มิลลิลิตร เพื่อนำไปวิเคราะห์หาปริมาณ ไนโตรเจนด้วยวิธี Kjeldahl method วิเคราะห์หาฟอสฟอรัสด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Spectrophotometer) และโพแทสเซียมด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Atomic absorption spectrophotometer) (AOAC, 1980)

1.5.2 แคลเซียม แมกนีเซียม กำมะถัน เหล็ก แมงกานีส สังกะสี ทองแดง และโซเดียม โดยนำตัวอย่างอาหาร มูลของไก่ไข่และนกกกระทาไข่ 0.2 กรัม หรือ น้ำสกัดมูลไก่ไข่และน้ำสกัดมูลนกกกระทาไข่ 1 มิลลิลิตร มาเติมด้วยสารละลายกรดที่ผสมระหว่าง  $HClO_4$  1 ส่วน กับ  $HNO_3$  2 ส่วน ใช้ปริมาตร 10 มิลลิลิตรต่อตัวอย่าง แล้วนำไปย่อยที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ปรับปริมาตรเป็น 50 มิลลิลิตร เพื่อนำไปวิเคราะห์หาปริมาณกำมะถันด้วยเครื่อง Spectrophotometer ส่วนธาตุที่เหลือด้วยเครื่อง Atomic absorption spectrophotometer (ทัศนีย์และจรงค์, 2542; AOAC, 1980)

1.5.3 คลอรีน โดยนำตัวอย่างอาหาร มูล น้ำสกัดมูลของไก่ไข่และนกกกระทาไข่ 1 กรัม ผสมกับ  $CaO$  0.3 กรัม เฝ้าที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง จากนั้นนำมาสกัดด้วย น้ำร้อน 50 มิลลิลิตร ไตเตรทด้วย 0.02 N  $AgNO_3$  เพื่อหาปริมาณ

1.5.4 โบรอน โดยนำตัวอย่างอาหาร มูล น้ำสกัดมูลของไก่ไข่และนกกกระทาไข่ 1 กรัม เติม  $Ca(OH)_2$  5 มิลลิลิตร ระเหยจนแห้ง แล้วนำไปเฝ้าที่อุณหภูมิ 470 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง จากนั้นสกัดด้วย 0.36 N  $H_2SO_4$  20 มิลลิลิตร และวิเคราะห์หาปริมาณด้วยเครื่อง Spectrophotometer (ทัศนีย์และจรงค์, 2542)

1.6 การเตรียมน้ำสกัดมูลไก่ไข่ และน้ำสกัดมูลนกกกระทาไข่อายุ 3 เดือน เพื่อใช้เป็นแหล่งธาตุอาหารเสริมพันทางใบแก่ข้าว

นำน้ำสกัดมูลไก่ไข่ หรือ มูลนกกกระทาไข่ที่เตรียมได้จากการทดลองที่ 1.3 (น้ำสกัดมูลอายุ 24 ชั่วโมง) จากฟาร์มที่ปริมาณไนโตรเจนในน้ำสกัดมูลอายุ 24 ชั่วโมง มีค่าประมาณค่าเฉลี่ย

ของแต่ละฟาร์มที่ศึกษาโดยใช้น้ำสกัดมูลจากมูลในเดือนมีนาคม 2552 มาบ่มต่อเป็นเวลา 3 เดือน (อุทัยวรรณ, 2552) ในถังขนาด 5 ลิตร จำนวน 20 ถัง เพื่อให้ปริมาณสารแขวนลอยและกลิ่นลดลง จากนั้นกรองน้ำสกัดแล้วจึงนำน้ำสกัดส่วนใสที่ได้มาเจือจางกับน้ำ อัตราส่วนเทียบกับปุ๋ยเคมีน้ำ เพื่อใช้เป็นปุ๋ยพ่นทางใบ

1.7 การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ สมบัติทางเคมีและปริมาณแร่ธาตุอาหารพืชในน้ำ สกัดมูลของไก่ไข่และนกกกระทาไข่อายุ 3 เดือน

นำตัวอย่างน้ำสกัดมูลของไก่ไข่และนกกกระทาไข่อายุ 3 เดือน ที่ผ่านการกรองแล้วมา วิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ สมบัติทางเคมีและปริมาณแร่ธาตุอาหารพืชตามวิธีการทดลองที่ 1.4 และ การทดลองที่ 1.5 โดยสุ่มเก็บตัวอย่างน้ำสกัดก่อนพ่น 7 วัน จากถังบ่ม 4 ถัง แต่ละถังเก็บ 3 ซ้ำ

## 2. การศึกษาผลการตอบสนองของต้นข้าว

ศึกษาผลการตอบสนองของต้นข้าวหอมพันธุ์ปิ่นเกษตร 1 ต่อการให้ปุ๋ยน้ำสกัดมูลไก่ไข่ และน้ำสกัดมูลนกกกระทาไข่เป็นแหล่งธาตุอาหารเสริมโดยการพ่นทางใบ เปรียบเทียบกับการใช้ ปุ๋ยเคมีน้ำพ่นทางใบ สูตร 12-11-5 ทั้งนี้พ่นปุ๋ยเมื่อต้นข้าวอายุ 45 และ 60 วัน และสูตร 4-24-24 โดย พ่นปุ๋ยต้นข้าวอายุ 75, 90, 105 และ 120 วัน ภายใต้สภาพแวดล้อมเดียวกัน และวางแผนทดลองแบบ สุ่มภายในบล็อกสมบูรณ์ (Randomize Completely Block Design, RCBD) จำนวน 3 ซ้ำ เพื่อลดความ แปรปรวนจากสภาพแวดล้อม โดยให้ซ้ำเป็นบล็อกของแปลงข้าวด้านซ้าย กลาง และขวาของแต่ละ ดำรับการทดลอง ซึ่งมีรายละเอียดการทดลอง ดังนี้

### 2.1 การเตรียมแปลงทดลอง

เตรียมแปลงทดลองขนาดพื้นที่ 14.8×11 ตารางเมตรต่อแปลงย่อย จำนวน 18 แปลง ณ แปลงทดลองภาควิชาพืชไร่นา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม โดยการไถพลิกกลับดินปรับพื้นที่ให้สม่ำเสมอ และกำจัดเศษวัชพืชที่หลงอยู่ได้ ดิน หลังจากนั้นเปิดน้ำเข้าแปลงให้ท่วมดิน เพื่อกระตุ้นน้ำว่าสม่ำเสมอทั่วทั้งแปลง เมื่อปรับ พื้นที่สม่ำเสมอแล้ว ชั่งน้ำไว้เพื่อแช่ดินให้อิ่มน้ำเป็นเวลานานประมาณ 20 วัน หลังการปลูก 5 วัน ทำคันดินขนาด 20 เซนติเมตร ขึ้นมาเพื่อแบ่งแปลงออกเป็น 18 แปลง

## 2.2 ดำเนินการทดลองผลการตอบสนองของต้นข้าว

ใช้ข้าวหอมพันธุ์ปิ่นเกษตร 1 ปลูกในช่วงเดือนมิถุนายน-ตุลาคม พ.ศ. 2552 ซึ่งเป็นฤดูกาลทำนาปกติ (นาปี) ตามฤดูฝน ปลูกแบบใช้รถปักดำ ระยะการปักดำห่างกันต้นละ 25 เซนติเมตร หลังการปลูก 5 วัน ตรวจสอบต้นกล้าที่ปักดำ หากพบว่าตายให้ปลูกซ่อมทันที หลังจากนั้นกำจัดวัชพืชอย่างสม่ำเสมอ โดยมีดำเนินการทดลอง ดังนี้

ดำเนินการทดลองที่ 1 ควบคุม (control) โดยใช้ปุ๋ยธรรมชาติจากบ่อพักน้ำบ่อ 1 ของมหาวิทยาลัย เกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม

ดำเนินการทดลองที่ 2 ปุ๋ยเคมีน้ำ (LCF, liquid chemical fertilizer) สูตร 12-11-5 ที่ระยะแตกกอ และ สูตร 4-24-24 ที่ระยะเริ่มออกดอก-ออกรวง

ดำเนินการทดลองที่ 3 น้ำสกัดมูลไก่ไข่ร่วมกับปุ๋ยเคมีน้ำ (LME, Layer Manure Extract + LCF, liquid chemical fertilizer)

ดำเนินการทดลองที่ 4 น้ำสกัดมูลไก่ไข่ (LME, Layer Manure Extract)

ดำเนินการทดลองที่ 5 น้ำสกัดมูลนกกระทาไข่ร่วมกับปุ๋ยเคมีน้ำ (QME, Laying Japanese Quail Manure Extract + LCF, liquid chemical fertilizer)

ดำเนินการทดลองที่ 6 น้ำสกัดมูลนกกระทาไข่ (QME, Laying Japanese Quail Manure Extract)

ในทุกดำเนินการทดลอง เมื่อปักดำต้นกล้าได้ 15 วัน หรือต้นข้าวอายุ 36 วัน ใส่ปุ๋ยยูเรีย สูตร 46-0-0 อัตรา 25 กิโลกรัมต่อไร่ หรือดำเนินการทดลองละ 2.5 กิโลกรัมต่อพื้นที่ 14.8×11 ตารางเมตร (หรือ 1 แปลง) เป็นปุ๋ยรองพื้น หลังจากนั้นจึงให้ปุ๋ยเคมีน้ำ หรือ น้ำสกัดมูลพ่นทางใบ เพื่อเสริมธาตุอาหารแก่ต้นข้าว

การให้ปุ๋ยทางใบแก่ต้นข้าว แบ่งออกเป็น 2 ระยะ คือ ระยะแตกกอ โดยเริ่มให้ปุ๋ยทางใบเมื่อต้นข้าวอายุ 45 และ 60 วัน และระยะเริ่มออกดอก-ออกรวง โดยเริ่มให้ปุ๋ยทางใบเมื่อต้นข้าวอายุ 75 และให้ทุก ๆ 15 วัน จนกระทั่งต้นข้าวมีอายุ 120 วัน ซึ่งมีอัตราส่วนความเข้มข้นของน้ำสกัดมูลไก่ และน้ำสกัดมูลนกกกระทาไข่ที่ใช้ในแต่ละตำรับการทดลองคิดคำนวณจากผลวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารหลักของพืช (N-P-K) มาเปรียบเทียบกับอัตราส่วนให้มีปริมาณธาตุอาหารใกล้เคียงกับปุ๋ยเคมีน้ำ สูตร 12-11-5 (เปรียบเทียบกับ N) และสูตร 4-24-24 (เปรียบเทียบกับ K)

ในแต่ละตำรับการทดลองใช้ปุ๋ยเคมีน้ำ หรือ น้ำสกัดมูลที่ผสมแล้วพ่นทางใบในอัตรา 80 ลิตรต่อไร่ หรือตำรับการทดลองละ 8.14 ลิตรต่อพื้นที่ 14.8×11 ตารางเมตร (หรือ 1 แปลง) แต่เพื่อง่ายต่อการนำไปใช้จึงปรับเป็นตำรับการทดลองละ 10 ลิตรต่อ 1 แปลง ดังรายละเอียดในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 การให้ธาตุอาหารเสริมทางใบแบบต่าง ๆ แก่ข้าวในการทดลอง

ตำรับการทดลอง (Treatment)	ระยะแตกกอ	ระยะเริ่มออกดอก-ออกรวง
1. ควบคุม (control)	น้ำธรรมชาติ 20 ลิตร	น้ำธรรมชาติ 20 ลิตร
2. ปุ๋ยเคมีน้ำ (LCF, liquid chemical fertilizer)	ปุ๋ยเคมีน้ำ (12-11-5) อัตรา 30 มิลลิลิตรต่อน้ำ 20 ลิตร	ปุ๋ยเคมีน้ำ (4-24-24) อัตรา 15 มิลลิลิตรต่อน้ำ 20 ลิตร
3. น้ำสกัดมูลไก่ร่วมกับปุ๋ยเคมีน้ำ (LME, Layer Manure Extract + LCF, liquid chemical fertilizer)	น้ำสกัดมูลไก่ 1.3 ลิตร ร่วมกับปุ๋ยเคมีน้ำ (12-11-5) 15 มิลลิลิตร แล้วปรับด้วยน้ำ เป็น 20 ลิตร	น้ำสกัดมูลไก่ 0.65 ลิตร ร่วมกับปุ๋ยเคมีน้ำ (4-24-24) 7.5 มิลลิลิตร แล้วปรับด้วยน้ำ เป็น 20 ลิตร
4. น้ำสกัดมูลไก่ (LME, Layer Manure Extract)	น้ำสกัดมูลไก่ อัตรา 2.6 ลิตรต่อน้ำ 20 ลิตร	น้ำสกัดมูลไก่ อัตรา 1.3 ลิตรต่อน้ำ 20 ลิตร
5. น้ำสกัดมูลนกกกระทาไข่ร่วมกับ ปุ๋ยเคมีน้ำ ( QME, Laying Japanese Quail Manure Extract + LCF, liquid chemical fertilizer)	น้ำสกัดมูลนกกกระทาไข่ 0.95 ลิตร ร่วมกับปุ๋ยเคมีน้ำ (12-11-5) 15 มิลลิลิตร แล้วปรับ ด้วยน้ำเป็น 20 ลิตร	น้ำสกัดมูลนกกกระทาไข่ 1 ลิตร ร่วมกับปุ๋ยเคมีน้ำ (4-24-24) 7.5 มิลลิลิตร แล้ว ปรับด้วยน้ำเป็น 20 ลิตร
6. น้ำสกัดมูลนกกกระทาไข่ (QME, Laying Japanese Quail Manure Extract)	น้ำสกัดมูลนกกกระทาไข่ อัตรา 1.9 ลิตรต่อน้ำ 20 ลิตร	น้ำสกัดมูลนกกกระทาไข่ อัตรา 2 ลิตรต่อน้ำ 20 ลิตร

## 2.3 การเก็บข้อมูลตัวอย่างดินก่อนและหลังการปลูก

เก็บตัวอย่างดินที่ระดับความลึก 0 - 30 เซนติเมตร โดยแบ่งการเก็บออกเป็น 2 ระยะ คือ ก่อนปลูกและหลังเก็บเกี่ยวผลผลิต

ระยะก่อนปลูก เก็บตัวอย่างดินในพื้นที่แปลงปลูกแบบกระจายทั่วแปลงทั้งหมดที่ใช้ในการทดลอง (14.8×11 ตารางเมตร × 18 แปลง) โดยกำหนดระยะห่างระหว่างจุดเก็บดินทุก ๆ 3.7×5.5 ตารางเมตร จำนวน 36 จุด จุดละ 500 กรัม แล้วนำมาผสมรวมกัน จากนั้นนำตัวอย่างที่ได้ไปวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ คือ ค่าการนำไฟฟ้า ค่าความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวก และสมบัติทางเคมี คือ ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง ปริมาณอินทรีย์วัตถุซึ่งสามารถวิเคราะห์หาปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดได้ รวมทั้งวิเคราะห์หาปริมาณแร่ธาตุที่อยู่ในดิน ได้แก่ ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ ปริมาณโพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม และโซเดียมที่แลกเปลี่ยนได้ และปริมาณกำมะถัน คลอรีน โบรอน ทองแดง เหล็ก แมงกานีส และสังกะสีที่สกัดได้ในดิน

ระยะหลังปลูก หรือระยะหลังเก็บเกี่ยวผลผลิต เก็บตัวอย่างดินในพื้นที่แปลงปลูกซึ่งมี 6 ดำรับการทดลอง และในแต่ละดำรับการทดลองมี 3 แปลงย่อย หรือ 3 ซ้ำ รวมทั้งสิ้น 18 แปลงการทดลอง โดยสุ่มเก็บตัวอย่างดินแปลงละ 10 จุด จุดละ 200 กรัม แล้วนำมาผสมรวมกันเพื่อนำไปวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ สมบัติทางเคมี และปริมาณแร่ธาตุอาหารพืชที่อยู่ในดิน (ทัศนีย์และจรงค์ษ์, 2542) โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

### 2.3.1 การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ และสมบัติทางเคมีของดินก่อนและหลังการปลูก

สมบัติทางกายภาพของดิน ได้แก่ ค่าการนำไฟฟ้า (electric conductivity) โดยวัดค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายดินที่สกัดจากดินที่อิมด้วยน้ำ (saturated water extract, EC (sat)) วัดที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ด้วยเครื่อง EC meter ค่าความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (cation exchange capacity, CEC) โดยชะดินด้วย 1 N  $\text{NH}_4\text{OAc}$  ที่เป็นกลาง (pH 7) และแทนที่ ammonium ด้วย 10% NaCl ในสภาพที่เป็นกรด กลั่นหาประจุแอมโมเนียม แล้วหาค่าความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของดิน (ทัศนีย์และจรงค์ษ์, 2542; AOAC, 1980)

สมบัติทางเคมีของดิน ได้แก่ ค่าความเป็นกรด-ด่าง (power of hydrogen, pH) โดยใช้ น้ำในอัตราส่วนดินต่อน้ำเท่ากับ 1 : 5 (เนื่องจากดินเป็นดินเหนียว) แล้ววัดค่า pH ของดิน ด้วยเครื่อง pH meter สำหรับปริมาณอินทรีย์วัตถุ (organic matter, OM) วิเคราะห์โดยวิธี Walkly and Black (1934)

2.3.2 การวิเคราะห์ปริมาณแร่ธาตุอาหารพืชในดินก่อนและหลังการปลูก (ทัศนีย์และจรงค์, 2542; AOAC, 1980)

- 1) ปริมาณ ไนโตรเจนทั้งหมด (total N) และฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (available P) ปริมาณ available P สกัดด้วยน้ำยา Bray II และวัดปริมาณด้วยเครื่อง Spectrophotometer ส่วนปริมาณ ไนโตรเจนทั้งหมดในดินคิดคำนวณจากค่าอินทรีย์วัตถุจากการทดลองที่ 2.3.1
- 2) ปริมาณ โพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม และ โซเดียมที่แลกเปลี่ยนได้ (exchangeable K, Ca, Mg and Na) สกัดด้วย 1 N  $\text{NH}_4\text{OAc}$  ที่เป็นกลาง (pH 7) และวัดปริมาณธาตุเหล่านี้ด้วยเครื่อง Atomic absorption spectrophotometer
- 3) ปริมาณทองแดง เหล็ก แมงกานีส และสังกะสีที่สกัดได้ (extractable Cu, Fe, Mn and Zn) สกัดด้วย DTPA และวัดปริมาณธาตุเหล่านี้ด้วยเครื่อง Atomic absorption spectrophotometer
- 4) ปริมาณกำมะถันที่สกัดได้ (extractable S) สกัดด้วย Acetate-acetic และวัดปริมาณด้วยเครื่อง Spectrophotometer
- 5) ปริมาณคลอรีนที่สกัดได้ (extractable Cl) สกัดด้วยน้ำร้อน และไตเตรทด้วย  $\text{AgNO}_3$  เพื่อหาปริมาณ
- 6) ปริมาณ โบรอนที่สกัดได้ (extractable B) สกัดโดยการต้ม และวัดปริมาณด้วย Spectrophotometer

## 2.4 การวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารในพืช

ระยะหลังปลูก หรือ ระยะหลังเก็บเกี่ยวผลผลิต สุ่มเก็บตัวอย่างต้นข้าวในพื้นที่แปลงปลูก แปลงละ 10 จุด จุดละ 1 กอ ซึ่งเป็นตำแหน่งเดียวกับตำแหน่งการเก็บตัวอย่างดินหลังการปลูก แล้วนำตัวอย่างต้นข้าวมารวมกัน และแยกส่วนของลำต้น ใบ และเมล็ดข้าว เพื่อนำมาวิเคราะห์หาปริมาณธาตุอาหารพืช ตามวิธีการในการทดลองที่ 1.5

## 2.5 การเจริญเติบโต และผลผลิตของข้าว

สุ่มถอนต้นข้าวทั้งต้นเมื่อต้นข้าวอายุ 45, 60, 75, 90, 105 และ 120 วัน โดยสุ่มเก็บตัวอย่างต้นข้าวสำหรับการทดลองละ 4 จุด จุดละ 1 ต้น นำตัวอย่างมาล้างดินออกให้สะอาด แล้วนำไปวัดอัตราการเจริญเติบโต ดังนี้

2.5.1 ความยาวใบ (leaf length) ได้จากการวัดความยาวของใบบนสุดของกอหลักในต้นข้าว โดยวัดจากปลายใบถึงโคนใบ ที่ลิ้นใบ (ligule) เห็นได้ชัดเจนและวัดความยาวเพียงใบเดียวต่อหนึ่งต้น

$$\text{ความยาวใบ} = \frac{\text{ผลรวมของความยาวใบทั้งหมด}}{\text{จำนวนใบที่วัดความยาว}}$$

2.5.2 ความสูงของลำต้น (stem height) วัดหนึ่งกอต่อหนึ่งต้น เป็นกอดีียวกับที่วัดความยาวใบ

$$\text{วัดความสูงของลำต้นข้าว} = \frac{\text{ผลรวมของความสูงทั้งหมด}}{\text{จำนวนต้นที่วัดความสูง}}$$

และเมื่อข้าวอายุ 60 วัน ซึ่งเป็นระยะแตกกอสูงสุด นำตัวอย่างต้นข้าวจากการสุ่มถอนในข้างต้นมานับจำนวนกอดต่อต้น ดังนี้

2.5.3 ความสามารถในการแตกกอ (tillering capacity) นำตัวอย่างมานับจำนวน กอต่อต้นข้าว

$$\text{ความสามารถในการแตกกอ} = \frac{\text{จำนวนกอทั้งหมด}}{\text{จำนวนต้นที่เก็บตัวอย่าง}}$$

และในวันเก็บเกี่ยวผลผลิตสุ่มเก็บเมล็ดข้าว เพื่อนำมาหาค่าน้ำหนักแห้ง 1,000 เมล็ด และ ผลผลิตหลังการเก็บเกี่ยว ดังนี้

2.5.4 น้ำหนักแห้ง 1,000 เมล็ด (1,000 dry weight of grain) โดยสุ่มจากเมล็ดที่ผ่าน กระบวนการข้าวแล้วในวันเก็บเกี่ยวผลผลิตดำเนินการทดลองละ 1,000 เมล็ด นำไปอบที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 วัน จึงชั่งวัดน้ำหนักแห้ง 1,000 เมล็ด

2.5.5 ผลผลิตหลังการเก็บเกี่ยว (yield) เก็บข้อมูลจากน้ำหนักผลผลิตที่ได้ทั้งหมดในแต่ละดำเนินการทดลองในวันเก็บเกี่ยวผลผลิต

### 3. การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

ข้อมูลต่างๆ ในการทดลองนำมาวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance) หากค่า การทดสอบค่าเฉลี่ยระหว่างกลุ่มของประชากร (F-test) แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทาง สถิติในระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างกลุ่ม ด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ในขณะเดียวกันข้อมูลที่มีลักษณะบ่งชี้ให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลนั้นกับข้อมูลลักษณะอื่น ๆ ให้นำมาวิเคราะห์โดยใช้วิธีหา ความสัมพันธ์ถดถอย (regression analysis)

#### 4. สถานที่ทำการวิจัย

##### 4.1 สถานที่วิเคราะห์น้ำสกัดมูลไก่ไข่ น้ำสกัดมูลนกกระทาไข่ ดินและพืช

โรงผลิตปุ๋ยมูลสัตว์ และ โรงผสมอาหารสัตว์ของสถาบันสุวรรณวาทกสิกิจ เพื่อ  
ค้นคว้าและพัฒนาปุ๋ยสัตว์และผลิตภัณฑ์สัตว์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน  
จังหวัดนครปฐม

งานทดสอบดินปุ๋ยและการประยุกต์ ฝ่ายปฏิบัติการวิจัยและเรือนปลูกพืชทดลอง  
สถาบันวิจัยและพัฒนา กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จังหวัด  
นครปฐม

ห้องปฏิบัติการสาขาวิชาเคมี สายวิชาวิทยาศาสตร์ คณะศิลปศาสตร์และวิทยาศาสตร์  
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม

##### 4.2 สถานที่ทดลองการตอบสนองของต้นข้าว

แปลงทดลองภาควิชาพืชไร่ นา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขต  
กำแพงแสน จังหวัดนครปฐม

#### 5. ระยะเวลาทำการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เริ่มตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2552 ถึงเดือนมกราคม พ.ศ. 2553

#### 6. ทุนสนับสนุนการวิจัย

ขอขอบคุณ โครงการศูนย์ความเป็นเลิศทางวิชาการ การใช้ประโยชน์ของเสียจากฟาร์มเลี้ยง  
สัตว์เป็นปุ๋ยแก่พืช สถาบันสุวรรณวาทกสิกิจเพื่อการค้นคว้าและพัฒนาสัตว์และผลิตภัณฑ์สัตว์  
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ที่ให้ทุนอุดหนุนค่าวัสดุ สารเคมี และค่าบริการ  
การใช้เครื่องมือในงานวิจัยนี้

## ผลและวิจารณ์

### 1. การศึกษาสมบัติทางกายภาพ สมบัติทางเคมี และปริมาณแร่ธาตุอาหารพืชในอาหาร มูล น้ำสกัดมูลอายุ 24 ชั่วโมง ของไก่ไข่และนกกกระทาไข่

#### 1.1 สมบัติทางกายภาพและสมบัติทางเคมีของอาหาร มูล น้ำสกัดมูลของไก่ไข่และนกกกระทาไข่

##### 1.1.1 ไก่ไข่

###### 1) อาหารไก่ไข่

ผลการศึกษาสมบัติทางกายภาพของอาหารไก่ไข่ พบว่า อาหารไก่ไข่ของแต่ละฟาร์มที่ศึกษามีค่าการนำไฟฟ้า (EC) แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) โดยอาหารไก่ไข่ของฟาร์มรุ่งโรจน์มีค่า EC มากที่สุด คือ 6.27 เดซิซีเมนต์ต่อเมตร ( $\text{dS m}^{-1}$ ) ส่วนอาหารไก่ไข่ของฟาร์มฟ้าใสการเกษตร 3 มีค่า EC น้อยที่สุด คือ 4.68 เดซิซีเมนต์ต่อเมตร ดังรายละเอียดในตารางที่ 6 โดยค่า EC ของอาหารไก่ไข่อยู่ระหว่าง 4.68 - 6.27 เดซิซีเมนต์ต่อเมตร ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ระดับปานกลาง

สำหรับสมบัติทางเคมีของอาหารไก่ไข่ พบว่า อาหารไก่ไข่ของแต่ละฟาร์มที่ศึกษามีค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) โดยฟาร์มฟ้าใสการเกษตร 3 มีค่า pH ของอาหารไก่ไข่มากที่สุด คือ 6.5 ส่วนฟาร์มรุ่งโรจน์มีค่า pH ของอาหารไก่ไข่น้อยที่สุด คือ 5.7 ดังรายละเอียดในตารางที่ 6 โดยค่า pH ของอาหารไก่ไข่อยู่ระหว่าง 5.7 - 6.5 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ความเป็นปานกลางถึงกรดเล็กน้อย

ตารางที่ 6 สมบัติทางกายภาพและสมบัติทางเคมีของอาหาร มูลและน้ำสกัดมูลไก่ไข่อายุ 24 ชั่วโมง แต่ละฟาร์มที่ศึกษา

ฟาร์มไก่ไข่	สมบัติทางกายภาพและทางเคมี					
	อาหาร		มูล		น้ำสกัดมูล	
	EC (1 : 5) (เดซิซีเมนต์ ต่อเมตร)	pH (1 : 5)	EC (1 : 5) (เดซิซีเมนต์ ต่อเมตร)	pH (1 : 5)	EC (1 : 1) (เดซิซีเมนต์ ต่อเมตร)	pH (1 : 1)
1. สี่ร้อย	5.01 <sup>b</sup>	5.8 <sup>b</sup>	13.79 <sup>c</sup>	6.7	8.64	7.4
2. รุ่งโรจน์	6.27 <sup>a</sup>	5.7 <sup>c</sup>	19.88 <sup>a</sup>	6.5	9.57	7.3
3. ฟาร์มไสการเกษตร 3	4.68 <sup>b</sup>	6.5 <sup>a</sup>	17.00 <sup>b</sup>	6.5	9.04	7.4
4. ศูนย์วิจัยและพัฒนาการผลิต สัตว์ปีก	4.93 <sup>b</sup>	5.9 <sup>b</sup>	13.20 <sup>c</sup>	6.7	9.85	7.6
F-test	*	*	*	ns	ns	ns
CV (%)	14.27	4.8	18.75	2.04	5.67	3.07
ค่าเฉลี่ย	5.22	6.0	15.97	6.6	9.27	7.4

หมายเหตุ a b c ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันที่มีอักษรแตกต่างกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ )

\* หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ )

ns หมายถึง ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $p > 0.05$ )

## 2) มูลไก่ไข่

ผลการศึกษาศสมบัติทางกายภาพของมูลไก่ไข่ พบว่า มูลไก่ไข่ของแต่ละฟาร์มที่ศึกษามีค่าการนำไฟฟ้า (EC) แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) โดยฟาร์มรุ่งโรจน์มีค่า EC ของมูลไก่ไข่มากที่สุด คือ 19.88 เดซิซีเมนต์ต่อเมตร ส่วนฟาร์มศูนย์วิจัยและพัฒนาการผลิตสัตว์ปีก มีค่า EC ของมูลไก่ไข่น้อยที่สุด คือ 13.20 เดซิซีเมนต์ต่อเมตร ดังรายละเอียดในตารางที่ 6 โดยค่า EC ของมูลไก่ไข่อยู่ระหว่าง 13.20 - 19.88 เดซิซีเมนต์ต่อเมตร ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ระดับที่สูงกว่ามาตรฐานของปุ๋ยหมักที่รับรอง โดยกรมพัฒนาที่ดิน (2547) ที่ระบุค่า EC ของปุ๋ยหมักไม่เกิน 3.5 เดซิซีเมนต์ต่อเมตร หากนำมูลไก่ไข่แห่งนี้ไปใช้ปรับปรุงคุณภาพดินควรปรับค่า EC ของมูลไก่ไข่อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของปุ๋ยหมัก คือ EC ไม่เกิน 3.5 เดซิซีเมนต์ต่อเมตร

สำหรับสมบัติทางเคมีของมูลไก่ไข่ พบว่า มูลไก่ไข่ของแต่ละฟาร์มที่ศึกษามีค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p>0.05$ ) ดังรายละเอียดในตารางที่ 6 นอกจากนี้ยังพบว่า ค่า pH ของมูลไก่ไข่อยู่ระหว่าง 6.5 – 6.7 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ความเป็นกรดเล็กน้อยถึงเป็นกลาง และอยู่ในมาตรฐานของปุ๋ยหมักที่รับรองโดยกรมพัฒนาที่ดิน (2547) ที่ระบุค่า pH ของปุ๋ยหมักต้องอยู่ระหว่าง 5.5 – 8.5

### 3) น้ำสกัดมูลไก่ไข่

ผลการศึกษาสมบัติทางกายภาพของน้ำสกัดมูลไก่ไข่อายุ 24 ชั่วโมง พบว่า น้ำสกัดมูลไก่ไข่ของแต่ละฟาร์มที่ศึกษามีค่าการนำไฟฟ้า (EC) แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p>0.05$ ) ดังรายละเอียดในตารางที่ 6 โดยค่า EC ของน้ำสกัดมูลไก่ไข่อยู่ระหว่าง 8.64 - 9.85 เดซิซีเมนต์ต่อเมตร ซึ่งอยู่ในระดับมาตรฐานของปุ๋ยอินทรีย์น้ำที่รับรองโดยกรมพัฒนาที่ดิน (2547) ที่ระบุค่า EC ของปุ๋ยอินทรีย์น้ำต้องไม่เกิน 20 เดซิซีเมนต์ต่อเมตร

สำหรับสมบัติทางเคมีของน้ำสกัดมูลไก่ไข่อายุ 24 ชั่วโมง พบว่า น้ำสกัดมูลไก่ไข่ของแต่ละฟาร์มที่ศึกษามีค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p>0.05$ ) ดังรายละเอียดในตารางที่ 6 โดยค่า pH ของน้ำสกัดมูลไก่ไข่อยู่ระหว่าง 7.3 – 7.6 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ความเป็นกลางถึงด่างเล็กน้อย และอยู่ในเกณฑ์ที่สูงกว่าในมาตรฐานของปุ๋ยอินทรีย์น้ำที่รับรองโดยกรมพัฒนาที่ดิน (2547) ที่ระบุค่า pH ของปุ๋ยอินทรีย์น้ำต้องไม่เกิน 4 ซึ่งการที่ระบุเช่นนี้เนื่องจากปุ๋ยอินทรีย์น้ำโดยทั่วไปเกิดจากการใช้กากน้ำตาลหมักเศษพืชหรือสัตว์ ซึ่งในกระบวนการหมักจะเกิดการคั่งขึ้นทำให้ pH เป็นกรด ส่วนการผลิตน้ำสกัดมูลสัตว์ไม่ได้ใช้กากน้ำตาล จึงไม่เกิดสภาพความเป็นกรด แต่กลับเป็นด่างเล็กน้อย ซึ่งน่าจะเนื่องจากแอมโมเนียที่เกิดจากการคั่งยูริกในมูลไก่ไข่ละลายน้ำ ทำให้น้ำสกัดมูลไก่ไข่มีสภาพเป็นด่างเล็กน้อย

#### 1.1.2 นกกระทาไข่

##### 1) อาหารนกกระทาไข่

ผลการศึกษาสมบัติทางกายภาพของอาหารนกกระทาไข่ พบว่า อาหารนกกระทาไข่ของแต่ละฟาร์มที่ศึกษามีค่าการนำไฟฟ้า (EC) แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

( $p < 0.05$ ) โดยอาหารนกระทําไข่ของฟาร์มโพทุรย์มีค่า EC มากที่สุด คือ 5.13 เดซิซีเมนต์ต่อเมตร ส่วนอาหารนกระทําไข่ของฟาร์มอเนกมีค่า EC น้อยที่สุด คือ 4.40 เดซิซีเมนต์ต่อเมตร ดังรายละเอียดในตารางที่ 7 โดยค่า EC ของอาหารนกระทําไข่อยู่ระหว่าง 4.40 - 5.13 เดซิซีเมนต์ต่อเมตร ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ระดับปานกลาง

ตารางที่ 7 สมบัติทางกายภาพและสมบัติทางเคมีของอาหาร มูลและน้ำสกัดมูลนกระทําไข่อายุ 24 ชั่วโมง แต่ละฟาร์มที่ศึกษา

ฟาร์มนกระทําไข่	สมบัติทางกายภาพและทางเคมี					
	อาหาร		มูล		น้ำสกัดมูล	
	EC (1 : 5) (เดซิซีเมนต์ต่อ เมตร)	pH (1 : 5)	EC (1 : 5) (เดซิซีเมนต์ ต่อเมตร)	pH (1 : 5)	EC (1 : 1) (เดซิซีเมนต์ ต่อเมตร)	pH (1 : 1)
1. อเนก	4.40 <sup>b</sup>	6.2 <sup>a</sup>	11.48 <sup>c</sup>	6.5 <sup>b</sup>	11.34 <sup>b</sup>	7.5 <sup>a</sup>
2. ประทีป	5.05 <sup>a</sup>	6.0 <sup>c</sup>	17.38 <sup>a</sup>	7.0 <sup>a</sup>	10.31 <sup>b</sup>	7.2 <sup>ab</sup>
3. โพทุรย์	5.13 <sup>a</sup>	6.1 <sup>b</sup>	13.68 <sup>b</sup>	6.7 <sup>b</sup>	13.20 <sup>a</sup>	7.5 <sup>a</sup>
4. นาดยา	4.97 <sup>a</sup>	6.0 <sup>c</sup>	12.67 <sup>b</sup>	7.0 <sup>a</sup>	8.26 <sup>c</sup>	7.1 <sup>b</sup>
F-test	*	*	*	*	*	*
CV (%)	9.37	2.02	19.64	5.56	21.89	4.40
ค่าเฉลี่ย	4.89	6.1	13.80	6.8	10.78	7.3

หมายเหตุ a b c ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันที่มีอักษรแตกต่างกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ )

\* หมายถึง แตกต่างกันทางสถิติ ( $p < 0.05$ )

สำหรับสมบัติทางเคมีของอาหารนกระทําไข่ พบว่า อาหารนกระทําไข่ของแต่ละฟาร์มที่ศึกษามีค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) โดยฟาร์มอเนกมีค่า pH ของอาหารนกระทําไข่มากที่สุด คือ 6.2 ส่วนฟาร์มประทีปและฟาร์มนาดยามีค่า pH ของอาหารนกระทําไข่น้อยที่สุด คือ 6.0 ดังรายละเอียดในตารางที่ 7 โดยค่า pH ของอาหารนกระทําไข่อยู่ระหว่าง 6.0 - 6.2 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ความเป็นกรดเล็กน้อย

## 2) มุลนกระหาไ้

ผลการศึกษาสมบัติทางกายภาพของมูลนกระหาไ้ พบว่า มุลนกระหาไ้ของแต่ละฟาร์มที่ศึกษามีค่าการนำไฟฟ้า (EC) แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) โดยฟาร์มประทีปมีค่า EC ของมูลนกระหาไ้มากที่สุด คือ 17.38 เดซิซีเมนต์ต่อเมตร ส่วนฟาร์มอเนกมีค่า EC ของมูลนกระหาไ้น้อยที่สุด คือ 11.48 เดซิซีเมนต์ต่อเมตร ดังรายละเอียดในตารางที่ 7 โดยค่า EC ของมูลนกระหาไ้อยู่ระหว่าง 11.48 - 17.38 เดซิซีเมนต์ต่อเมตร ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ระดับที่สูงกว่ามาตรฐานของปุ๋ยหมักที่รับรองโดยกรมพัฒนาที่ดิน (2547) ที่ระบุค่า EC ของปุ๋ยหมักต้องไม่เกิน 3.5 เดซิซีเมนต์ต่อเมตร หากนำมูลนกระหาไ้แห่งนี้ไปใช้ปรับปรุงคุณภาพดินควรปรับให้ค่า EC ของมูลนกระหาไ้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของปุ๋ยหมัก คือ EC ไม่เกิน 3.5 เดซิซีเมนต์ต่อเมตร

สำหรับสมบัติทางเคมีของมูลนกระหาไ้ พบว่า มุลนกระหาไ้ของแต่ละฟาร์มที่ศึกษามีค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) โดยฟาร์มประทีปและฟาร์มนาดขามีค่า pH ของมูลนกระหาไ้มากที่สุด คือ 7.0 ส่วนฟาร์มอเนกมีค่า pH ของมูลนกระหาไ้น้อยที่สุด คือ 6.5 ดังรายละเอียดในตารางที่ 7 โดยค่า pH ของมูลนกระหาไ้อยู่ระหว่าง 6.5 - 7.0 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ความเป็นกรดเล็กน้อยถึงเป็นกลาง และอยู่ในมาตรฐานของปุ๋ยหมักที่รับรองโดยกรมพัฒนาที่ดิน (2547) ที่ระบุค่า pH ของปุ๋ยหมักต้องอยู่ระหว่าง 5.5 - 8.5

## 3) น้ำสกัดมูลนกระหาไ้

ผลการศึกษาสมบัติทางกายภาพของน้ำสกัดมูลนกระหาไ้อายุ 24 ชั่วโมง พบว่า น้ำสกัดมูลนกระหาไ้ของแต่ละฟาร์มที่ศึกษามีค่าการนำไฟฟ้า (EC) แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) โดยฟาร์มไพฑูรย์มีค่า EC ของน้ำสกัดมูลนกระหาไ้มากที่สุด คือ 13.20 เดซิซีเมนต์ต่อเมตร ส่วนฟาร์มนาดขามีค่า EC ของน้ำสกัดมูลนกระหาไ้น้อยที่สุด คือ 8.26 เดซิซีเมนต์ต่อเมตร ดังรายละเอียดในตารางที่ 7 โดยค่า EC ของน้ำสกัดมูลนกระหาไ้อยู่ระหว่าง 8.26 - 13.20 เดซิซีเมนต์ต่อเมตร ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ระดับที่สูง แต่อยู่ในระดับมาตรฐานของปุ๋ยอินทรีย์น้ำที่รับรองโดยกรมพัฒนาที่ดิน (2547) ที่ระบุค่า EC ของปุ๋ยอินทรีย์น้ำต้องไม่เกิน 20 เดซิซีเมนต์ต่อเมตร

สำหรับสมบัติทางเคมีของน้ำสกัดมูลนกกระทาไข่อายุ 24 ชั่วโมง พบว่า น้ำสกัดมูลนกกระทาไข่ของแต่ละฟาร์มที่ศึกษามีค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) โดยฟาร์มอ่อนแอกและฟาร์มไพฑูรย์มีค่า pH ของน้ำสกัดมูลนกกระทาไข่มากที่สุด คือ 7.5 ส่วนฟาร์มนาตยา มีค่า pH ของน้ำสกัดมูลนกกระทาไข่น้อยที่สุด คือ 7.1 ดังรายละเอียดในตารางที่ 7 โดยค่า pH ของน้ำสกัดมูลนกกระทาไข่อยู่ระหว่าง 7.1 – 7.5 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ความเป็นกลางถึงด่างเล็กน้อย และอยู่ในเกณฑ์ที่สูงกว่าในมาตรฐานของปุ๋ยอินทรีย์น้ำที่รับรองโดยกรมพัฒนาที่ดิน (2547) ที่ระบุค่า pH ของปุ๋ยอินทรีย์น้ำต้องไม่เกิน 4 ซึ่งการที่ระบุเช่นนี้เนื่องจากปุ๋ยอินทรีย์น้ำโดยทั่วไปเกิดจากการใช้กากน้ำตาลหมักเศษพืชหรือสัตว์ ซึ่งในกระบวนการหมักจะเกิดการขึ้นทำให้ pH เป็นกรด ส่วนการผลิตน้ำสกัดมูลสัตว์ไม่ได้ใช้กากน้ำตาลจึงไม่เกิดสภาพความเป็นกรด แต่กลับเป็นด่างเล็กน้อย ซึ่งน่าจะเนื่องจากแอมโมเนียที่เกิดจากการคยूरิกในมูลนกกระทาไข่ละลายน้ำ ทำให้น้ำสกัดมูลนกกระทาไข่มีสภาพเป็นด่างเล็กน้อย

## 1.2 ปริมาณแร่ธาตุอาหารพืชในอาหาร มูล น้ำสกัดมูลอายุ 24 ชั่วโมง ของไก่ไข่และนกกระทาไข่

### 1.2.1 ไก่ไข่

#### 1) อาหารไก่ไข่

ปริมาณแร่ธาตุอาหารพืชในอาหารไก่ไข่ของแต่ละฟาร์ม โดยมีเปอร์เซ็นต์การคืนกลับระหว่าง 80-90 เปอร์เซ็นต์ แสดงในตารางที่ 8 ผลการศึกษาพบว่า ปริมาณธาตุอาหารหลัก คือ ไนโตรเจนและฟอสฟอรัสมีปริมาณแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) โดยฟาร์มรุ่งโรจน์มีปริมาณไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในอาหารไก่ไข่มากที่สุด คือ  $3.36 \pm 0.17$  และ  $0.98 \pm 0.06$  เปอร์เซ็นต์ (กรัมต่อ 100 กรัม) ตามลำดับ ส่วนฟาร์มศูนย์วิจัยและพัฒนาการผลิตสัตว์ปีก มีปริมาณไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในอาหารไก่ไข่น้อยที่สุด คือ  $3.12 \pm 0.13$  และ  $0.78 \pm 0.04$  เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ แต่ปริมาณโพแทสเซียมมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) ส่วนปริมาณธาตุอาหารรอง คือ แคลเซียม แมกนีเซียม และกำมะถันมีปริมาณแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) โดยอาหารไก่ไข่จากฟาร์มรุ่งโรจน์ ฟาร์มฟ้าใสการเกษตร 3 และฟาร์มสี่ร้อยมีปริมาณแคลเซียม แมกนีเซียม และกำมะถันมากที่สุด คือ  $6.85 \pm 0.75$ ,  $0.41 \pm 0.03$  และ  $0.97 \pm 0.12$  เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ส่วนฟาร์ม สี่ร้อย มีปริมาณแคลเซียมและแมกนีเซียมน้อย

ที่สุด คือ  $4.96 \pm 0.31$  และ  $0.30 \pm 0.01$  เปอร์เซ็นต์ และฟาร์มฟ้าใสการเกษตร 3 มีปริมาณกำมะถันในอาหารไก่ไข่น้อยที่สุด คือ  $0.58 \pm 0.10$  เปอร์เซ็นต์

ปริมาณจุลธาตุ กลุ่มธาตุที่มีความเข้มข้นสูง (เปอร์เซ็นต์, กรัมต่อ 100 กรัม) คือ คลอรีนมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) แต่กลุ่มธาตุที่มีความเข้มข้นต่ำ (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม,  $\text{mg kg}^{-1}$ ) คือ ทองแดง เหล็ก แมงกานีสและสังกะสีมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) โดยฟาร์มรุ่งโรจน์มีปริมาณทองแดง และแมงกานีสมากที่สุด ( $13.47 \pm 2.05$  และ  $173.34 \pm 29.61$  มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ) ส่วนฟาร์มศูนย์วิจัยและพัฒนาการผลิตสัตว์ปีกมีปริมาณเหล็กมากที่สุด ( $737.90 \pm 114.62$  มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) แต่มีปริมาณทองแดง แมงกานีส และสังกะสีน้อยที่สุด ( $6.95 \pm 5.64$   $135.50 \pm 11.03$  และ  $96.57 \pm 6.84$  มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ) สำหรับฟาร์มฟ้าใสการเกษตร 3 มีปริมาณสังกะสีมากที่สุด ( $138.00 \pm 5.86$  มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) แต่มีปริมาณเหล็กน้อยที่สุด ( $440.70 \pm 51.84$  มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ยกเว้น โบรอน และธาตุเสริมประ โยชน์โซเดียมมีปริมาณแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ )

จากปริมาณแร่ธาตุต่าง ๆ ในอาหารไก่ไข่ที่แตกต่างกันของแต่ละฟาร์ม เนื่องจากใช้วัตถุดิบที่เป็นส่วนผสมของอาหาร โดยเฉพาะวิตามินและแร่ธาตุที่ต่างกัน แต่อย่างไรก็ตาม อาหารที่แต่ละฟาร์มใช้มีโภชนะต่าง ๆ ที่แร่ธาตุจำเป็นต่อความต้องการของไก่ไข่นครบถ้วน ซึ่งสูตรอาหารไก่ไข่โดยทั่วไปประกอบด้วยข้าวโพด รำละเอียด ปลาป่น กากถั่วเหลือง ใบกระถินป่น ดีแอล-เมทไธโอนีน ไขมันสัตว์หรือน้ำมันพืช เปลือกหอย แคลเซียมคาร์บอเนต ไคแคลเซียม ฟอสเฟต เกลือ หัววิตามิน และแร่ธาตุ

ตารางที่ 8 ปริมาณแร่ธาตุอาหารพืช (ค่าเฉลี่ย  $\pm$  S.D.) ในอาหารไก่ไข่น้ำหนักแห้งแต่ละฟาร์มที่ศึกษา

แร่ธาตุอาหารพืช	ฟาร์มไก่ไข่				ค่าเฉลี่ย	CV (%)
	สี่ร้อย	รุ่งโรจน์	ฟ้าใสการเกษตร 3	ศูนย์วิจัยและพัฒนาการผลิตสัตว์ปีก		
มหธาตุ (กรัมต่อ 100 กรัม)						
ธาตุหลัก						
ไนโตรเจน	3.25 $\pm$ 0.09 <sup>ab</sup>	3.36 $\pm$ 0.17 <sup>a</sup>	3.27 $\pm$ 0.20 <sup>ab</sup>	3.12 $\pm$ 0.13 <sup>b</sup>	3.25 $\pm$ 0.17	5.23
ฟอสฟอรัส	0.84 $\pm$ 0.04 <sup>b</sup>	0.98 $\pm$ 0.06 <sup>a</sup>	0.78 $\pm$ 0.03 <sup>b</sup>	0.78 $\pm$ 0.04 <sup>b</sup>	0.84 $\pm$ 0.09	10.71
โพแทสเซียม	0.77 $\pm$ 0.03	0.84 $\pm$ 0.13	0.82 $\pm$ 0.02	0.77 $\pm$ 0.01	0.80 $\pm$ 0.07	8.75
ธาตุรอง						
แคลเซียม	4.96 $\pm$ 0.31 <sup>c</sup>	6.85 $\pm$ 0.75 <sup>a</sup>	5.55 $\pm$ 0.48 <sup>b</sup>	6.86 $\pm$ 0.31 <sup>a</sup>	6.06 $\pm$ 0.96	15.84
แมกนีเซียม	0.30 $\pm$ 0.01 <sup>c</sup>	0.37 $\pm$ 0.03 <sup>ab</sup>	0.41 $\pm$ 0.03 <sup>a</sup>	0.37 $\pm$ 0.02 <sup>b</sup>	0.36 $\pm$ 0.04	11.11
กำมะถัน	0.97 $\pm$ 0.12 <sup>a</sup>	0.89 $\pm$ 0.21 <sup>ab</sup>	0.58 $\pm$ 0.10 <sup>c</sup>	0.73 $\pm$ 0.08 <sup>bc</sup>	0.79 $\pm$ 0.20	25.32
จุลธาตุ						
(กรัมต่อ 100 กรัม)						
คลอรีน	0.27 $\pm$ 0.03	0.29 $\pm$ 0.03	0.28 $\pm$ 0.02	0.29 $\pm$ 0.02	0.28 $\pm$ 0.02	7.14
(มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)						
โบรอน	10.68 $\pm$ 1.10	11.16 $\pm$ 1.29	9.78 $\pm$ 1.63	11.25 $\pm$ 2.31	10.72 $\pm$ 1.65	15.39

ตารางที่ 8 (ต่อ)

แร่ธาตุอาหารพืช	ฟาร์มไก่ไข่				ค่าเฉลี่ย	CV (%)
	สี่ร้อย	รุ่งโรจน์	ฟ้าใสการเกษตร 3	ศูนย์วิจัยและพัฒนาการผลิตสัตว์ปีก		
ทองแดง	9.05±4.39 <sup>ab</sup>	13.47±2.05 <sup>a</sup>	11.59±7.19 <sup>ab</sup>	6.95±5.64 <sup>b</sup>	10.26±5.45	53.12
เหล็ก	548.10±128.36 <sup>bc</sup>	581.67±49.97 <sup>b</sup>	440.70±51.84 <sup>c</sup>	737.90±114.62 <sup>a</sup>	577.09±139.24	24.13
แมงกานีส	141.73±27.88 <sup>b</sup>	173.34±29.61 <sup>a</sup>	151.47±11.02 <sup>ab</sup>	135.50±11.03 <sup>b</sup>	150.51±25.05	16.64
สังกะสี	108.67±10.49 <sup>bc</sup>	117.18±10.58 <sup>b</sup>	138.00±5.86 <sup>a</sup>	96.57±6.84 <sup>c</sup>	115.11±17.44	15.15
ธาตุเสริมประโยชน์ (กรัมต่อ 100 กรัม)						
โซเดียม	0.15±0.03	0.17±0.02	0.14±0.01	0.17±0.04	0.16±0.03	18.75

หมายเหตุ a b c ค่าเฉลี่ยในแถวเดียวกันที่มีอักษรแตกต่างกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ )

## 2) มูลไก่ไข่

ปริมาณแร่ธาตุอาหารพืชในมูลไก่ไข่ของแต่ละฟาร์มโดยมีเปอร์เซ็นต์การคืนกลับระหว่าง 80-90 เปอร์เซ็นต์ แสดงในตารางที่ 9 ผลการศึกษาพบว่า ปริมาณธาตุอาหารหลักคือ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) โดยฟาร์มศูนย์วิจัยและพัฒนาการผลิตสัตว์ปีกมีปริมาณไนโตรเจนในมูลไก่ไข่มากที่สุด คือ  $4.21 \pm 0.16$  เปอร์เซ็นต์ (กรัมต่อ 100 กรัม) และฟาร์มฟ้าใสการเกษตร 3 มีปริมาณไนโตรเจนในมูลไก่ไข่น้อยที่สุด คือ  $3.25 \pm 0.46$  เปอร์เซ็นต์ สำหรับฟาร์มสี่ร้อยมีปริมาณฟอสฟอรัสมากที่สุด คือ  $2.76 \pm 0.12$  เปอร์เซ็นต์ และฟาร์มรุ่งโรจน์มีปริมาณโพแทสเซียมมากที่สุด คือ  $2.85 \pm 0.21$  เปอร์เซ็นต์ ส่วนฟาร์มศูนย์วิจัยและพัฒนาการผลิตสัตว์ปีกมีปริมาณฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมในมูลไก่ไข่น้อยที่สุด คือ  $2.17 \pm 0.08$  และ  $2.39 \pm 0.17$  เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ กลุ่มธาตุอาหารรองแคลเซียม และแมกนีเซียมมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) โดยฟาร์มรุ่งโรจน์มีปริมาณแคลเซียมในมูลไก่ไข่มากที่สุด คือ  $13.19 \pm 1.11$  เปอร์เซ็นต์ และฟาร์มสี่ร้อยมีแคลเซียมในมูลไก่ไข่น้อยที่สุด คือ  $10.82 \pm 0.65$  เปอร์เซ็นต์ แต่ธาตุกำมะถันมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ )

ปริมาณจุลธาตุ กลุ่มธาตุที่มีความเข้มข้นสูง (เปอร์เซ็นต์, กรัมต่อ 100 กรัม) คือ คลอรีน กลุ่มธาตุที่มีความเข้มข้นต่ำ (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) คือ โบรอน แมงกานีสและสังกะสีมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) โดยฟาร์มรุ่งโรจน์มีปริมาณคลอรีน และโบรอนในมูลไก่ไข่มากที่สุด คือ  $0.77 \pm 0.01$  เปอร์เซ็นต์ และ  $36.11 \pm 2.56$  มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ส่วนฟาร์มสี่ร้อยมีปริมาณแมงกานีส และสังกะสีในมูลไก่ไข่มากที่สุด คือ  $555.64 \pm 10.21$  และ  $520.14 \pm 22.76$  มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ฟาร์มศูนย์วิจัยและพัฒนาการผลิตสัตว์ปีกมีปริมาณแมงกานีสและสังกะสีน้อยที่สุด คือ  $458.83 \pm 20.41$  และ  $319.22 \pm 26.45$  มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ยกเว้น ทองแดง เหล็ก และธาตุเสริมประโยชน์โซเดียมมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ )

ตารางที่ 9 ปริมาณแร่ธาตุอาหารพืช (ค่าเฉลี่ย  $\pm$  S.D.) ในมูลไก่ไข่ น้ำหนักแห้งแต่ละฟาร์มที่ศึกษา

แร่ธาตุอาหารพืช	ฟาร์มไก่ไข่				ค่าเฉลี่ย	CV (%)
	สี่ร้อย	รุ่งโรจน์	ฟ้าใสการเกษตร 3	ศูนย์วิจัยและพัฒนาการผลิตสัตว์ปีก		
มหธาตุ (กรัมต่อ 100 กรัม)						
ธาตุหลัก						
ไนโตรเจน	3.61 $\pm$ 0.32 <sup>b</sup>	3.30 $\pm$ 0.36 <sup>b</sup>	3.25 $\pm$ 0.46 <sup>b</sup>	4.21 $\pm$ 0.16 <sup>a</sup>	3.59 $\pm$ 0.50	13.93
ฟอสฟอรัส	2.76 $\pm$ 0.12 <sup>a</sup>	2.69 $\pm$ 0.33 <sup>a</sup>	2.41 $\pm$ 0.09 <sup>b</sup>	2.17 $\pm$ 0.08 <sup>c</sup>	2.51 $\pm$ 0.30	11.95
โพแทสเซียม	2.51 $\pm$ 0.07 <sup>b</sup>	2.85 $\pm$ 0.21 <sup>a</sup>	2.46 $\pm$ 0.33 <sup>b</sup>	2.39 $\pm$ 0.17 <sup>b</sup>	2.55 $\pm$ 0.27	10.59
ธาตุรอง						
แคลเซียม	10.82 $\pm$ 0.65 <sup>c</sup>	13.19 $\pm$ 1.11 <sup>a</sup>	12.23 $\pm$ 0.73 <sup>b</sup>	11.06 $\pm$ 0.56 <sup>c</sup>	11.83 $\pm$ 1.22	10.31
แมกนีเซียม	1.01 $\pm$ 0.04 <sup>a</sup>	0.94 $\pm$ 0.06 <sup>b</sup>	1.00 $\pm$ 0.04 <sup>a</sup>	0.75 $\pm$ 0.03 <sup>c</sup>	0.92 $\pm$ 0.11	11.96
กำมะถัน	0.91 $\pm$ 0.11	0.93 $\pm$ 0.04	0.95 $\pm$ 0.03	0.97 $\pm$ 0.05	0.94 $\pm$ 0.07	7.45
จุลธาตุ						
(กรัมต่อ 100 กรัม)						
คลอรีน	0.58 $\pm$ 0.05 <sup>b</sup>	0.77 $\pm$ 0.01 <sup>a</sup>	0.61 $\pm$ 0.05 <sup>b</sup>	0.54 $\pm$ 0.11 <sup>b</sup>	0.62 $\pm$ 0.11	17.74
(มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)						
โบรอน	29.04 $\pm$ 3.00 <sup>b</sup>	36.11 $\pm$ 2.56 <sup>a</sup>	27.21 $\pm$ 1.41 <sup>b</sup>	35.67 $\pm$ 2.045 <sup>a</sup>	32.01 $\pm$ 4.58	14.31

ตารางที่ 9 (ต่อ)

แร่ธาตุอาหารพืช	ฟาร์มไก่ไข่				ค่าเฉลี่ย	CV (%)
	สี่ร้อย	รุ่งโรจน์	ฟ้าใสการเกษตร 3	ศูนย์วิจัยและพัฒนาการผลิตสัตว์ปีก		
ทองแดง	43.90±9.56	45.32±6.23	49.34±10.32	38.48±8.95	44.26±9.20	20.79
เหล็ก	1,734.05±75.78	1,889.90±114.07	1,704.18±219.08	1,692.09±127.12	1,755.06±156.82	8.94
แมงกานีส	555.64±10.21 <sup>a</sup>	539.77±32.41 <sup>a</sup>	550.69±47.63 <sup>a</sup>	458.83±20.41 <sup>b</sup>	526.23±49.49	9.40
สังกะสี	520.14±22.76 <sup>a</sup>	467.51±104.31 <sup>a</sup>	494.84±93.33 <sup>a</sup>	319.22±26.45 <sup>b</sup>	450.43±104.27	23.15
ธาตุเสริมประโยชน์ (กรัมต่อ 100 กรัม)						
โซเดียม	0.26±0.03	0.37±0.06	0.26±0.04	0.25±0.05	0.29±0.07	24.14

หมายเหตุ a b c ค่าเฉลี่ยในแถวเดียวกันที่มีอักษรแตกต่างกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ )

ในมูลไก่ไข่มีค่าเฉลี่ยของปริมาณแร่ธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และ โปแทสเซียม เท่ากับ  $3.59 \pm 0.50$ ,  $2.51 \pm 0.30$  และ  $2.55 \pm 0.27$  เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ปริมาณแร่ธาตุเหล่านี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ สุกัญญาและคณะ (2550); Patterson and Lorenz (1996) ส่วนปริมาณแร่ธาตุต่าง ๆ ในมูลไก่ไข่จะมากหรือน้อยนั้นขึ้นอยู่กับชนิดของวัตถุดิบและปริมาณแร่ธาตุที่เสริมในอาหารไก่ไข่เป็นปัจจัยหลัก รวมทั้งปัจจัยอื่น ๆ ได้แก่ ระบบการย่อยอาหารของสัตว์ วิธีการให้อาหาร และการจัดการรวบรวมมูลสัตว์ในฟาร์ม (บุญล้อมและคณะ, 2548ก; สุกัญญาและคณะ, 2550)

### 3) น้ำสกัดมูลไก่ไข่

ปริมาณแร่ธาตุอาหารพืชในน้ำสกัดมูลไก่ไข่อายุ 24 ชั่วโมง ของแต่ละฟาร์ม โดยมีเปอร์เซ็นต์การคืนกลับระหว่าง 80-90 เปอร์เซ็นต์ แสดงไว้ในตารางที่ 10 ผลการศึกษาพบว่า ปริมาณธาตุอาหารหลัก คือ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโปแทสเซียมมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) โดยน้ำสกัดมูลไก่ไข่จากฟาร์มศูนย์วิจัยและพัฒนาการผลิตสัตว์ปีกมีปริมาณไนโตรเจนมากที่สุด คือ  $0.21 \pm 0.02$  เปอร์เซ็นต์ (กรัมต่อ 100 มิลลิลิตร) และฟาร์มรุ่งโรจน์มีปริมาณไนโตรเจนในน้ำสกัดมูลไก่ไข่น้อยที่สุด คือ  $3.25 \pm 0.46$  เปอร์เซ็นต์ สำหรับฟาร์มสี่ร้อยมีปริมาณฟอสฟอรัสมากที่สุด คือ  $2.76 \pm 0.12$  เปอร์เซ็นต์ และฟาร์มรุ่งโรจน์มีโปแทสเซียมมากที่สุด คือ  $2.85 \pm 0.21$  เปอร์เซ็นต์ ส่วนฟาร์มฟ้าใสการเกษตร 3 มีปริมาณฟอสฟอรัสและโปแทสเซียมในน้ำสกัดมูลไก่ไข่น้อยที่สุด คือ  $0.02 \pm 0.00$  และ  $0.25 \pm 0.04$  เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ กลุ่มธาตุอาหารรอง แคลเซียม แมกนีเซียม และกำมะถันมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ )

ปริมาณจุลธาตุ กลุ่มธาตุที่มีความเข้มข้นสูง (เปอร์เซ็นต์, กรัมต่อ 100 มิลลิลิตร) คือ คลอรีนในน้ำสกัดมูลไก่ไข่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) โดยน้ำสกัดมูลไก่ไข่จากฟาร์มสี่ร้อยมีปริมาณคลอรีนมากที่สุด คือ  $0.08 \pm 0.01$  เปอร์เซ็นต์ และฟาร์มฟ้าใสการเกษตร 3 มีปริมาณคลอรีนน้อยที่สุด คือ  $0.04 \pm 0.02$  เปอร์เซ็นต์ แต่กลุ่มธาตุที่มีความเข้มข้นต่ำ (มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร) คือ โบรอน ทองแดง เหล็ก แมงกานีส และสังกะสีมีปริมาณน้ำสกัดมูลไก่ไข่แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) ส่วนธาตุเสริมประโยชน์โซเดียมมีปริมาณน้ำสกัดมูลไก่ไข่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) โดยน้ำสกัดมูลไก่ไข่จากฟาร์มรุ่งโรจน์มีปริมาณโซเดียมมากที่สุด คือ  $0.04 \pm 0.00$  เปอร์เซ็นต์ และฟาร์มสี่ร้อยมีปริมาณโซเดียมน้อยที่สุด คือ  $0.02 \pm 0.00$  เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 10 ปริมาณแร่ธาตุอาหารพืช (ค่าเฉลี่ย  $\pm$  S.D.) ในน้ำสกัดมูลไก่ไข่อายุ 24 ชั่วโมง แต่ละฟาร์มที่ศึกษา

แร่ธาตุอาหารพืช	ฟาร์มไก่ไข่				ค่าเฉลี่ย	CV (%)
	สี่ร้อย	รุ่งโรจน์	ฟ้าใสการเกษตร 3	ศูนย์วิจัยและพัฒนาการผลิตสัตว์ปีก		
มหธาตุ (กรัมต่อ 100 มิลลิลิตร)						
ธาตุหลัก						
ไนโตรเจน	0.18 $\pm$ 0.03 <sup>ab</sup>	0.13 $\pm$ 0.02 <sup>c</sup>	0.15 $\pm$ 0.02 <sup>bc</sup>	0.21 $\pm$ 0.02 <sup>a</sup>	0.16 $\pm$ 0.03	18.75
ฟอสฟอรัส	0.04 $\pm$ 0.01 <sup>a</sup>	0.03 $\pm$ 0.01 <sup>bc</sup>	0.02 $\pm$ 0.00 <sup>c</sup>	0.03 $\pm$ 0.01 <sup>abc</sup>	0.03 $\pm$ 0.01	33.33
โพแทสเซียม	0.25 $\pm$ 0.01 <sup>b</sup>	0.32 $\pm$ 0.01 <sup>a</sup>	0.25 $\pm$ 0.04 <sup>b</sup>	0.25 $\pm$ 0.02 <sup>b</sup>	0.27 $\pm$ 0.04	14.81
ธาตุรอง						
แคลเซียม	0.03 $\pm$ 0.01	0.03 $\pm$ 0.01	0.04 $\pm$ 0.01	0.05 $\pm$ 0.01	0.04 $\pm$ 0.01	25.00
แมกนีเซียม	0.02 $\pm$ 0.00	0.01 $\pm$ 0.00	0.02 $\pm$ 0.01	0.01 $\pm$ 0.01	0.01 $\pm$ 0.01	100.00
กำมะถัน	0.02 $\pm$ 0.00	0.02 $\pm$ 0.00	0.02 $\pm$ 0.00	0.02 $\pm$ 0.00	0.02 $\pm$ 0.00	0.00
จุลธาตุ						
(กรัมต่อ 100 มิลลิลิตร)						
คลอรีน	0.08 $\pm$ 0.01 <sup>a</sup>	0.07 $\pm$ 0.02 <sup>a</sup>	0.04 $\pm$ 0.02 <sup>b</sup>	0.06 $\pm$ 0.01 <sup>ab</sup>	0.06 $\pm$ 0.02	33.33
(มิลลิกรัมต่อลิตร)						
โบรอน	1.71 $\pm$ 0.26	1.79 $\pm$ 1.01	1.97 $\pm$ 0.79	2.27 $\pm$ 0.40	1.94 $\pm$ 0.68	35.05

ตารางที่ 10 (ต่อ)

แร่ธาตุอาหารพืช	ฟาร์มไก่ไข่				ค่าเฉลี่ย	CV (%)
	สี่ร้อย	รุ่งโรจน์	ฟ้าใสการเกษตร 3	ศูนย์วิจัยและพัฒนาการผลิตสัตว์ปีก		
ทองแดง	1.85±0.83	1.45±1.06	1.52±1.04	1.49±0.95	1.58±0.92	58.23
เหล็ก	10.79±2.02	6.41±4.13	7.43±4.58	10.03±6.11	8.66±4.55	52.54
แมงกานีส	1.84±0.29	1.43±0.85	2.09±0.67	2.25±1.00	1.91±0.77	40.31
สังกะสี	2.20±0.38	1.79±1.28	2.52±2.10	2.20±1.60	2.18±1.41	64.68
ธาตุเสริมประโยชน์ (กรัมต่อ 100 มิลลิลิตร)						
โซเดียม	0.02±0.00 <sup>b</sup>	0.04±0.00 <sup>a</sup>	0.03±0.00 <sup>b</sup>	0.03±0.01 <sup>b</sup>	0.03±0.01	33.33

หมายเหตุ a b c ค่าเฉลี่ยในแถวเดียวกันที่มีอักษรแตกต่างกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ )

## 1.2.2 นกกระทาไข่

### 1) อาหารนกกระทาไข่

ปริมาณแร่ธาตุอาหารพืชในอาหารนกกระทาไข่ของแต่ละฟาร์ม โดยมีเปอร์เซ็นต์การคืนกลับระหว่าง 80-90 เปอร์เซ็นต์ แสดงไว้ใน ตารางที่ 11 ผลการศึกษาพบว่า ปริมาณธาตุอาหารหลัก คือ ไนโตรเจนและฟอสฟอรัสมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) โดยอาหารนกกระทาไข่จากฟาร์มไพฑูรย์มีปริมาณไนโตรเจนมากที่สุด คือ  $4.03 \pm 0.10$  เปอร์เซ็นต์ และอาหารของฟาร์มอนเนกมีปริมาณไนโตรเจนน้อยที่สุด คือ  $3.54 \pm 0.17$  เปอร์เซ็นต์ ส่วนอาหารของฟาร์มนาดยามีปริมาณฟอสฟอรัสมากที่สุด คือ  $1.31 \pm 0.06$  เปอร์เซ็นต์ ขณะที่อาหารของฟาร์มประทีปมีปริมาณฟอสฟอรัสน้อยที่สุด คือ  $0.93 \pm 0.04$  เปอร์เซ็นต์ แต่ปริมาณโพแทสเซียมมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) สำหรับปริมาณธาตุอาหารรอง คือ แคลเซียม แมกนีเซียม และกำมะถันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) โดยอาหารของฟาร์มนาดยามีปริมาณแคลเซียมและแมกนีเซียมมากที่สุด คือ  $5.92 \pm 0.43$  และ  $0.38 \pm 0.02$  เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ แต่อาหารของฟาร์มประทีปมีปริมาณแคลเซียมและแมกนีเซียมน้อยที่สุด คือ  $4.10 \pm 0.18$  และ  $0.25 \pm 0.05$  เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ส่วนฟาร์มไพฑูรย์มีปริมาณกำมะถันในอาหารนกกระทาไข่มากที่สุด คือ  $0.85 \pm 0.17$  เปอร์เซ็นต์ และฟาร์มนาดยามีปริมาณกำมะถันในอาหารนกกระทาไข่น้อยที่สุด คือ  $0.60 \pm 0.08$  เปอร์เซ็นต์

ปริมาณจุลธาตุ กลุ่มธาตุที่มีความเข้มข้นสูง (เปอร์เซ็นต์) คือ คลอรีน กลุ่มธาตุที่มีความเข้มข้นต่ำ (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) คือ โบรอน ทองแดง เหล็ก แมงกานีส และสังกะสี รวมทั้งธาตุเสริมประโยชน์โซเดียมมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) โดยฟาร์มนาดยามีปริมาณคลอรีน และโบรอนในอาหารนกกระทาไข่มากที่สุด คือ  $0.27 \pm 0.04$  เปอร์เซ็นต์ และ  $16.00 \pm 2.40$  มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ส่วนฟาร์มประทีปมีปริมาณทองแดง และเหล็กในอาหารนกกระทาไข่มากที่สุด คือ  $19.46 \pm 6.57$  และ  $750.98 \pm 86.79$  มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ และฟาร์มไพฑูรย์มีปริมาณแมงกานีส สังกะสี และโซเดียมในอาหารนกกระทาไข่มากที่สุด คือ  $313.58 \pm 45.13$  มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม  $148.99 \pm 21.11$  มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และ  $0.17 \pm 0.02$  เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

ตารางที่ 11 ปริมาณแร่ธาตุอาหารพืช (ค่าเฉลี่ย  $\pm$  S.D.) ในอาหารนกกกระทาไข่น้ำหนักแห้งแต่ละฟาร์มที่ศึกษา

แร่ธาตุอาหารพืช	ฟาร์มนกกกระทาไข่น้ำหนักแห้ง				ค่าเฉลี่ย	CV (%)
	อเนก	ประทีป	ไพฑูริย์	นาดยา		
มหธาตุ (กรัมต่อ 100 กรัม)						
ธาตุหลัก						
ไนโตรเจน	3.54 $\pm$ 0.17 <sup>c</sup>	3.94 $\pm$ 0.18 <sup>ab</sup>	4.03 $\pm$ 0.10 <sup>a</sup>	3.77 $\pm$ 0.10 <sup>b</sup>	3.82 $\pm$ 0.23	6.02
ฟอสฟอรัส	1.05 $\pm$ 0.05 <sup>b</sup>	0.93 $\pm$ 0.04 <sup>c</sup>	1.09 $\pm$ 0.06 <sup>b</sup>	1.31 $\pm$ 0.06 <sup>a</sup>	1.10 $\pm$ 0.15	13.64
โพแทสเซียม	1.08 $\pm$ 0.16	1.08 $\pm$ 0.05	1.09 $\pm$ 0.03	1.10 $\pm$ 0.03	1.09 $\pm$ 0.08	7.34
ธาตุรอง						
แคลเซียม	5.38 $\pm$ 0.22 <sup>b</sup>	4.10 $\pm$ 0.18 <sup>c</sup>	5.30 $\pm$ 0.22 <sup>b</sup>	5.92 $\pm$ 0.43 <sup>a</sup>	5.18 $\pm$ 0.73	14.09
แมกนีเซียม	0.31 $\pm$ 0.01 <sup>b</sup>	0.25 $\pm$ 0.05 <sup>c</sup>	0.31 $\pm$ 0.01 <sup>b</sup>	0.38 $\pm$ 0.02 <sup>a</sup>	0.31 $\pm$ 0.06	19.35
กำมะถัน	0.83 $\pm$ 0.08 <sup>ab</sup>	0.69 $\pm$ 0.14 <sup>bc</sup>	0.85 $\pm$ 0.17 <sup>a</sup>	0.60 $\pm$ 0.08 <sup>c</sup>	0.74 $\pm$ 0.16	21.62
จุลธาตุ						
(กรัมต่อ 100 กรัม)						
คลอรีน	0.26 $\pm$ 0.01 <sup>a</sup>	0.20 $\pm$ 0.03 <sup>b</sup>	0.27 $\pm$ 0.06 <sup>a</sup>	0.27 $\pm$ 0.04 <sup>a</sup>	0.25 $\pm$ 0.05	20.00
(มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)						
โบรอน	13.03 $\pm$ 0.90 <sup>b</sup>	15.59 $\pm$ 1.13 <sup>a</sup>	12.84 $\pm$ 0.98 <sup>b</sup>	16.00 $\pm$ 2.40 <sup>a</sup>	14.36 $\pm$ 2.02	14.07
ทองแดง	11.40 $\pm$ 2.65 <sup>b</sup>	19.46 $\pm$ 6.57 <sup>a</sup>	12.86 $\pm$ 4.26 <sup>b</sup>	12.83 $\pm$ 1.13 <sup>b</sup>	14.14 $\pm$ 5.03	35.57

ตารางที่ 11 (ต่อ)

แร่ธาตุอาหารพืช	ฟาร์มนกกระทาไข่				ค่าเฉลี่ย	CV (%)
	อนก	ประทีป	ไพฑูรย์	นาดยา		
เหล็ก	552.41±58.82 <sup>b</sup>	750.98±86.79 <sup>a</sup>	673.64±177.29 <sup>a</sup>	300.81±25.53 <sup>c</sup>	569.46±199.23	34.99
แมงกานีส	206.90±20.30 <sup>b</sup>	210.27±16.34 <sup>b</sup>	313.58±45.13 <sup>a</sup>	218.18±23.56 <sup>b</sup>	237.23±52.50	22.13
สังกะสี	73.38±4.85 <sup>c</sup>	87.51±18.04 <sup>c</sup>	148.99±21.11 <sup>a</sup>	123.89±14.11 <sup>b</sup>	108.44±33.80	31.17
ธาตุเสริมประโยชน์ (กรัมต่อ 100 กรัม)						
โซเดียม	0.15±0.02 <sup>a</sup>	0.08±0.01 <sup>c</sup>	0.17±0.02 <sup>a</sup>	0.12±0.01 <sup>b</sup>	0.13±0.04	30.77

หมายเหตุ a b c ค่าเฉลี่ยในแถวเดียวกันที่มีอักษรแตกต่างกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ )

จากปริมาณแร่ธาตุต่าง ๆ ในอาหารนกกกระทาไข่ที่แตกต่างกันของแต่ละฟาร์ม เนื่องจากใช้วัตถุดิบที่เป็นส่วนผสมของอาหาร โดยเฉพาะวิตามิน และแร่ธาตุที่ต่างกัน แต่อย่างไรก็ตาม อาหารที่แต่ละฟาร์มใช้มีโภชนะต่าง ๆ ที่มีแร่ธาตุจำเป็นต่อความต้องการของนกกกระทาไข่ครบถ้วน ซึ่งสูตรอาหารนกกกระทาไข่โดยทั่วไปประกอบด้วยข้าวโพดป่น รำละเอียด ปลาป่น กากถั่วเหลือง ใบกระถินป่น ไขมันสัตว์หรือน้ำมันพืช วิตามิน-แร่ธาตุ ไอโอดีน ไคคลอซีม-ฟอสเฟต เกลือ หัววิตามิน และแร่ธาตุ

## 2) มวลนกกกระทาไข่

ปริมาณแร่ธาตุอาหารพืชในมวลนกกกระทาไข่ของแต่ละฟาร์มโดยมีเปอร์เซ็นต์การคืนกลับระหว่าง 80-90 เปอร์เซ็นต์ แสดงไว้ในตารางที่ 12 ผลการศึกษาพบว่าปริมาณธาตุอาหารหลัก คือ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และ โพแทสเซียม มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) โดยฟาร์มอเนกมีปริมาณไนโตรเจนในมวลนกกกระทาไข่มากที่สุด คือ  $7.59 \pm 0.25$  เปอร์เซ็นต์ และฟาร์มประทีปมีปริมาณไนโตรเจนน้อยที่สุด คือ  $5.74 \pm 0.30$  เปอร์เซ็นต์ ส่วนฟาร์มนาดายมีปริมาณฟอสฟอรัสในมวลนกกกระทาไข่มากที่สุด คือ  $3.03 \pm 0.06$  เปอร์เซ็นต์ ฟาร์มประทีปมีปริมาณโพแทสเซียมในมวลนกกกระทาไข่มากที่สุด คือ  $3.00 \pm 0.10$  เปอร์เซ็นต์ สำหรับฟาร์มอเนกมีปริมาณฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมน้อยที่สุด คือ  $1.93 \pm 0.14$  เปอร์เซ็นต์ และ  $2.50 \pm 0.06$  เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ปริมาณธาตุอาหารรอง คือ แคลเซียม และแมกนีเซียมมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) โดยฟาร์มนาดายมีปริมาณแคลเซียม และแมกนีเซียมในมวลนกกกระทาไข่มากที่สุด คือ  $9.46 \pm 0.48$  และ  $0.88 \pm 0.05$  มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ แต่ธาตุกำมะถันมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ )

ตารางที่ 12 ปริมาณแร่ธาตุอาหารพืช (ค่าเฉลี่ย  $\pm$  S.D.) ในมูลนกกระทาไข่น้ำหนักแห้งแต่ละฟาร์มที่ศึกษา

แร่ธาตุอาหารพืช	ฟาร์มนกกระทาไข่				ค่าเฉลี่ย	CV (%)
	อเนก	ประทีป	ไพฑูรย์	นาดยา		
มหธาตุ (กรัมต่อ 100 กรัม)						
ธาตุหลัก						
ไนโตรเจน	7.59 $\pm$ 0.25 <sup>a</sup>	5.74 $\pm$ 0.30 <sup>c</sup>	6.92 $\pm$ 0.44 <sup>b</sup>	6.55 $\pm$ 0.27 <sup>b</sup>	6.70 $\pm$ 0.75	11.19
ฟอสฟอรัส	1.93 $\pm$ 0.14 <sup>c</sup>	2.24 $\pm$ 0.08 <sup>b</sup>	2.24 $\pm$ 0.07 <sup>b</sup>	3.03 $\pm$ 0.06 <sup>a</sup>	2.36 $\pm$ 0.42	17.80
โพแทสเซียม	2.50 $\pm$ 0.06 <sup>c</sup>	3.00 $\pm$ 0.10 <sup>a</sup>	2.57 $\pm$ 0.08 <sup>c</sup>	2.79 $\pm$ 0.06 <sup>b</sup>	2.72 $\pm$ 0.22	8.09
ธาตุรอง						
แคลเซียม	8.73 $\pm$ 0.52 <sup>a</sup>	7.87 $\pm$ 0.36 <sup>b</sup>	7.65 $\pm$ 0.26 <sup>b</sup>	9.46 $\pm$ 0.48 <sup>a</sup>	8.43 $\pm$ 0.83	9.85
แมกนีเซียม	0.58 $\pm$ 0.04 <sup>b</sup>	0.59 $\pm$ 0.01 <sup>b</sup>	0.60 $\pm$ 0.03 <sup>b</sup>	0.88 $\pm$ 0.05 <sup>a</sup>	0.66 $\pm$ 0.13	19.70
กำมะถัน	0.82 $\pm$ 0.25	0.73 $\pm$ 0.11	0.82 $\pm$ 0.07	0.72 $\pm$ 0.29	0.77 $\pm$ 0.19	24.68
จุลธาตุ						
(กรัมต่อ 100 กรัม)						
คลอรีน	0.71 $\pm$ 0.20	0.68 $\pm$ 0.07	0.59 $\pm$ 0.17	0.57 $\pm$ 0.09	0.64 $\pm$ 0.15	23.44
(มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)						
โบรอน	32.19 $\pm$ 4.76 <sup>c</sup>	39.48 $\pm$ 4.36 <sup>a</sup>	36.05 $\pm$ 2.48 <sup>ab</sup>	34.46 $\pm$ 1.72 <sup>bc</sup>	35.54 $\pm$ 4.29	12.07
ทองแดง	23.34 $\pm$ 3.39 <sup>b</sup>	74.22 $\pm$ 5.38 <sup>a</sup>	29.82 $\pm$ 13.44 <sup>b</sup>	31.55 $\pm$ 7.72 <sup>b</sup>	39.73 $\pm$ 22.01	55.40

ตารางที่ 12 (ต่อ)

แร่ธาตุอาหารพืช	ฟาร์มนกกระทาไข่				ค่าเฉลี่ย	CV (%)
	อนก	ประทีป	ไพฑูรย์	นาดยา		
เหล็ก	1,071.30±267.57 <sup>b</sup>	1,894.74±238.44 <sup>a</sup>	1,109.17±146.69 <sup>b</sup>	949.40±146.54 <sup>b</sup>	1,256.15±427.49	34.03
แมงกานีส	502.15±36.16 <sup>b</sup>	663.02±67.65 <sup>a</sup>	539.00±116.50 <sup>b</sup>	517.05±16.35 <sup>b</sup>	555.31±92.21	16.61
สังกะสี	228.39±43.33 <sup>b</sup>	313.71±20.03 <sup>a</sup>	292.26±78.40 <sup>ab</sup>	324.03±17.96 <sup>a</sup>	289.60±57.81	19.96
ธาตุเสริมประโยชน์ (กรัมต่อ 100 กรัม)						
โซเดียม	0.41±0.23 <sup>a</sup>	0.38±0.15 <sup>a</sup>	0.33±0.18 <sup>a</sup>	0.13±0.01 <sup>b</sup>	0.31±0.19	61.29

หมายเหตุ a b c ค่าเฉลี่ยในแถวเดียวกันที่มีอักษรแตกต่างกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ )

ปริมาณจุลธาตุ กลุ่มธาตุที่มีความเข้มข้นสูง (เปอร์เซ็นต์) คือ คลอรีนมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) ส่วนกลุ่มธาตุที่มีความเข้มข้นต่ำ (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) คือ โบรอน ทองแดง เหล็ก แมงกานีส และสังกะสี รวมทั้งธาตุเสริมประโยชน์โซเดียมมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) โดยฟาร์มประทีปมีปริมาณ โบรอน ทองแดง เหล็ก และแมงกานีสในมูลนกกระทาไข่มากที่สุด คือ  $39.48 \pm 4.36$   $74.22 \pm 5.38$   $1,894.74 \pm 238.44$  และ  $663.02 \pm 67.65$  มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ และฟาร์มอเนกมีปริมาณ โบรอน ทองแดง แมงกานีส และสังกะสีในมูลนกกระทาไข่น้อยที่สุด คือ  $32.19 \pm 4.76$   $23.34 \pm 3.39$   $502.15 \pm 36.16$  และ  $228.39 \pm 43.33$  มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ส่วนฟาร์มนาดายามีปริมาณสังกะสีในมูลนกกระทาไข่มากที่สุด คือ  $324.03 \pm 17.96$  มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม สำหรับฟาร์มอเนกมีปริมาณโซเดียมในมูลนกกระทาไข่มากที่สุด คือ  $0.41 \pm 0.23$  เปอร์เซ็นต์ และฟาร์มนาดายามีปริมาณโซเดียมในมูลนกกระทาไข่น้อยที่สุด คือ  $0.13 \pm 0.01$  เปอร์เซ็นต์

ในมูลนกกระทาไข่มีค่าเฉลี่ยของปริมาณธาตุฟอสฟอรัส และ โพแทสเซียมเท่ากับ  $2.36 \pm 0.42$  และ  $2.72 \pm 0.22$  เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ปริมาณแร่ธาตุเหล่านี้สอดคล้องกับรายงานธาตุอาหารพืชบางชนิดในมูลนกกระทา (อ้างอิงโดย คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา) แต่ธาตุไนโตรเจนพบว่ามีปริมาณแร่ธาตุ เท่ากับ  $6.70 \pm 0.75$  เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีค่ามากกว่าและไม่สอดคล้องกับรายงานธาตุอาหารพืชบางชนิดในมูลนกกระทา (อ้างอิงโดย คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา) เนื่องจากปริมาณธาตุไนโตรเจน และธาตุต่าง ๆ ในมูลนกกระทาไข่จะมากหรือน้อยนั้นขึ้นอยู่กับชนิดของวัตถุดิบและปริมาณแร่ธาตุที่เสริมในอาหารนกกระทาไข่เป็นปัจจัยหลัก รวมทั้งปัจจัยอื่น ๆ ได้แก่ ระบบการย่อยอาหารของสัตว์ วิธีการให้อาหาร และการจัดการรวบรวมมูลสัตว์ในฟาร์ม (บุญล้อมและคณะ, 2548ก; สุกัญญาและคณะ, 2550)

นอกจากนี้ จากการศึกษายังพบว่าปริมาณแร่ธาตุในมูลทั้งของไก่ไข่และนกกระทาไข่สูงกว่าแร่ธาตุในอาหาร เนื่องมาจากร่างกายสัตว์มีกระบวนการดึงโปรตีนสำรองจากที่เก็บสะสมไว้ออกมาใช้ในเวลาที่ขาดแคลน (ฉลอง, 2543) และสิ่งที่ขับออกมาในมูลมิได้มาจากอาหารทั้งหมด แต่มาจากส่วนของเซลล์ที่หลุดลอกจากทางเดินอาหาร อีกทั้งอาหารที่กินเข้าไปจะถูกย่อยและดูดซึมภายในระบบของร่างกายเพียง 2.50 ชั่วโมง จากนั้นจะถูกขับออกทางทวารหนัก ซึ่งทั้งไก่ไข่และนกกระทาไข่เป็นสัตว์ที่มีลำไส้สั้นกว่าสัตว์กระเพาะเดี่ยวอื่น ๆ เช่น สุกร ม้า และกระต่าย จึงมีพื้นที่ผิวการดูดซึมแร่ธาตุหรือสารอาหารภายในลำไส้สั้นๆ กากอาหารจึงถูกขับออกมาจากร่างกายมาก (บุญล้อมและคณะ, 2548ก, 2548ข) ดังนั้น ปริมาณแร่ธาตุในมูลจึงสูงกว่าในอาหาร

### 3) น้ำสกัดมูลนกกระทาไข่

ปริมาณแร่ธาตุอาหารพืชในน้ำสกัดมูลนกกระทาไข่อายุ 24 ชั่วโมง ของแต่ละฟาร์ม โดยมีเปอร์เซ็นต์การคืนกลับระหว่าง 80-90 เปอร์เซ็นต์ แสดงไว้ในตารางที่ 13 ผลการศึกษาพบว่า ปริมาณธาตุอาหารหลัก คือ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) โดยฟาร์มอเนกมีปริมาณไนโตรเจนในน้ำสกัดมูลนกกระทาไข่มากที่สุด คือ  $0.28 \pm 0.03$  เปอร์เซ็นต์ (กรัมต่อ 100 มิลลิลิตร) และฟาร์มนาดายามีปริมาณไนโตรเจนน้อยที่สุด คือ  $0.21 \pm 0.04$  เปอร์เซ็นต์ สำหรับฟาร์มไพฑูรย์และฟาร์มนาดายามีปริมาณฟอสฟอรัสในน้ำสกัดมูลนกกระทาไข่มากที่สุด คือ  $0.05 \pm 0.01$  เปอร์เซ็นต์ ส่วนฟาร์มประทีปมีปริมาณโพแทสเซียมในน้ำสกัดมูลนกกระทาไข่มากที่สุด คือ  $0.30 \pm 0.02$  เปอร์เซ็นต์ และฟาร์มอเนกมีปริมาณโพแทสเซียมน้อยที่สุด คือ  $0.21 \pm 0.03$  เปอร์เซ็นต์ ปริมาณธาตุอาหารรอง คือ แคลเซียมมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) โดยฟาร์มอเนกมีปริมาณแคลเซียมในน้ำสกัดมูลนกกระทาไข่มากที่สุด คือ  $0.07 \pm 0.04$  เปอร์เซ็นต์ ส่วนฟาร์มประทีปและฟาร์มนาดายามีปริมาณแคลเซียมน้อยที่สุด คือ  $0.02 \pm 0.01$  เปอร์เซ็นต์ แต่แมกนีเซียม และกำมะถันมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ )

ปริมาณจุลธาตุ กลุ่มธาตุที่มีความเข้มข้นสูง (เปอร์เซ็นต์, กรัมต่อ 100 มิลลิลิตร) คือ คลอรีนมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) โดยฟาร์มประทีปมีปริมาณคลอรีนในน้ำสกัดมูลนกกระทาไข่มากที่สุด คือ  $0.07 \pm 0.01$  เปอร์เซ็นต์ และฟาร์มนาดายามีปริมาณคลอรีนน้อยที่สุด คือ  $0.03 \pm 0.01$  เปอร์เซ็นต์ แต่กลุ่มธาตุที่มีความเข้มข้นต่ำ (มิลลิกรัมต่อ มิลลิลิตร) คือ ทองแดง และสังกะสีมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) ส่วนโบรอน เหล็ก แมงกานีส และธาตุเสริมประโยชน์โซเดียมมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) โดยฟาร์มไพฑูรย์มีปริมาณโบรอน และแมงกานีสในน้ำสกัดมูลนกกระทาไข่มากที่สุด คือ  $3.49 \pm 0.88$  และ  $3.61 \pm 0.56$  มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ ส่วนฟาร์มอเนกมีปริมาณเหล็กในน้ำสกัดมูลนกกระทาไข่มากที่สุด คือ  $17.71 \pm 2.23$  มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร และฟาร์มประทีปมีปริมาณโซเดียมเหล็กในน้ำสกัดมูลนกกระทาไข่มากที่สุด คือ  $0.04 \pm 0.00$  เปอร์เซ็นต์ ส่วนฟาร์มนาดายามีปริมาณโบรอน เหล็ก แมงกานีส และโซเดียมเหล็กในน้ำสกัดมูลนกกระทาไข่น้อยที่สุด คือ  $2.49 \pm 0.67$ ,  $8.82 \pm 1.09$ , และ  $1.47 \pm 1.09$  มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร และ  $0.01 \pm 0.00$  เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

ตารางที่ 13 ปริมาณแร่ธาตุอาหารพืช (ค่าเฉลี่ย  $\pm$  S.D.) ในน้ำสกัดมูลนกกระทาไข่อายุ 24 ชั่วโมง แต่ละฟาร์มที่ศึกษา

แร่ธาตุอาหารพืช	ฟาร์มนกกกระทาไข่				ค่าเฉลี่ย	CV (%)
	อนก	ประทีป	ไพฑูรย์	นาคยา		
มหธาตุ (กรัมต่อ 100 มิลลิตร)						
ธาตุหลัก						
ไนโตรเจน	0.28 $\pm$ 0.03 <sup>a</sup>	0.21 $\pm$ 0.02 <sup>b</sup>	0.24 $\pm$ 0.04 <sup>b</sup>	0.21 $\pm$ 0.04 <sup>b</sup>	0.23 $\pm$ 0.05	21.74
ฟอสฟอรัส	0.04 $\pm$ 0.01 <sup>b</sup>	0.04 $\pm$ 0.00 <sup>b</sup>	0.05 $\pm$ 0.01 <sup>a</sup>	0.05 $\pm$ 0.01 <sup>a</sup>	0.04 $\pm$ 0.01	25.00
โพแทสเซียม	0.21 $\pm$ 0.03 <sup>c</sup>	0.30 $\pm$ 0.02 <sup>a</sup>	0.25 $\pm$ 0.03 <sup>b</sup>	0.23 $\pm$ 0.04 <sup>bc</sup>	0.25 $\pm$ 0.04	16.00
ธาตุรอง						
แคลเซียม	0.07 $\pm$ 0.04 <sup>a</sup>	0.02 $\pm$ 0.01 <sup>c</sup>	0.05 $\pm$ 0.00 <sup>b</sup>	0.02 $\pm$ 0.01 <sup>c</sup>	0.04 $\pm$ 0.03	75.00
แมกนีเซียม	0.02 $\pm$ 0.01	0.02 $\pm$ 0.01	0.02 $\pm$ 0.00	0.02 $\pm$ 0.00	0.02 $\pm$ 0.00	0.00
กำมะถัน	0.02 $\pm$ 0.00	0.02 $\pm$ 0.01	0.02 $\pm$ 0.01	0.02 $\pm$ 0.01	0.02 $\pm$ 0.01	50.00
จุลธาตุ						
(กรัมต่อ 100 มิลลิตร)						
คลอรีน	0.07 $\pm$ 0.03 <sup>a</sup>	0.07 $\pm$ 0.01 <sup>a</sup>	0.05 $\pm$ 0.02 <sup>ab</sup>	0.03 $\pm$ 0.01 <sup>b</sup>	0.06 $\pm$ 0.03	50.00
(มิลลิกรัมต่อลิตร)						
โบรอน	2.49 $\pm$ 0.46 <sup>b</sup>	2.55 $\pm$ 0.22 <sup>b</sup>	3.49 $\pm$ 0.88 <sup>a</sup>	2.49 $\pm$ 0.67 <sup>b</sup>	2.75 $\pm$ 0.71	25.82
ทองแดง	3.06 $\pm$ 2.54	3.26 $\pm$ 0.78	2.08 $\pm$ 1.34	2.21 $\pm$ 1.39	2.65 $\pm$ 1.62	61.13

ตารางที่ 13 (ต่อ)

แร่ธาตุอาหารพืช	ฟาร์มนกกระทาไข่				ค่าเฉลี่ย	CV (%)
	อนก	ประทีป	ไพฑูรย์	นาคยา		
เหล็ก	17.71±2.23 <sup>a</sup>	14.96±2.40 <sup>ab</sup>	11.69±2.28 <sup>bc</sup>	8.82±1.09 <sup>c</sup>	13.29±3.93	29.57
แมงกานีส	2.83±1.21 <sup>ab</sup>	2.52±0.50 <sup>bc</sup>	3.61±0.56 <sup>a</sup>	1.47±1.09 <sup>c</sup>	2.61±1.15	44.06
สังกะสี	2.60±1.68	2.43±0.76	3.27±0.97	2.34±1.29	2.66±1.20	45.11
ธาตุเสริมประโยชน์ (กรัมต่อ 100 มิลลิลิตร)						
โซเดียม	0.03±0.01 <sup>b</sup>	0.04±0.00 <sup>a</sup>	0.02±0.01 <sup>c</sup>	0.01±0.00 <sup>d</sup>	0.02±0.01	50.00

หมายเหตุ a b c ค่าเฉลี่ยในแถวเดียวกันที่มีอักษรแตกต่างกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ )

### 1.3 ความสัมพันธ์ระหว่างแร่ธาตุในอาหารไก่ไข่และมูลไก่ไข่ มูลไก่ไข่และน้ำสกัดมูลไก่ไข่

#### 1.3.1 ความสัมพันธ์ระหว่างแร่ธาตุในอาหารไก่ไข่และมูลไก่ไข่

ธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส แคลเซียม โบรอน ทองแดง สังกะสี และโซเดียม มีสมการความสัมพันธ์เชิงคณิตศาสตร์แบบเส้นตรง ดังแสดงในตารางที่ 14 โดยแบ่งความสัมพันธ์ได้ 2 แบบ คือ  $Y = aX + b$  และ  $Y = -aX + b$  เมื่อ  $Y$  คือ แร่ธาตุในมูลไก่ไข่  $X$  คือ แร่ธาตุในอาหารไก่ไข่  $a, b$  คือ ค่าคงที่ และ  $r^2$  คือ ความสัมพันธ์ระหว่างแร่ธาตุในอาหารไก่ไข่และมูลไก่ไข่ โดยมีรายละเอียดดังตารางที่ 14

ตารางที่ 14 ความสัมพันธ์ระหว่างแร่ธาตุในอาหารไก่ไข่และมูลไก่ไข่

ความสัมพันธ์	แร่ธาตุอาหารพืช	สมการ	$r^2$ ( $p < 0.05$ )
1. เชิงบวก			
ระดับสูง			
$Y = aX + b$	ทองแดง	$Y = 1.503X + 28.836$	0.791
ระดับต่ำ			
$Y = aX + b$	ฟอสฟอรัส	$Y = 1.402X + 1.324$	0.186
	แคลเซียม	$Y = 0.548X + 8.505$	0.187
	โบรอน	$Y = 1.296X + 18.118$	0.218
	สังกะสี	$Y = 3.434X + 55.211$	0.330
	โซเดียม	$Y = 1.295X + 0.083$	0.297
2. เชิงลบ			
ระดับต่ำ			
$Y = -aX + b$	ไนโตรเจน	$Y = 7.797 - 1.294X$	0.186

ความสัมพันธ์เชิงบวก ได้แก่ ธาตุฟอสฟอรัส แคลเซียม โบรอน ทองแดง สังกะสี และโซเดียม โดยธาตุทองแดงมีความสัมพันธ์ระหว่างแร่ธาตุในอาหารและมูลไก่ไข่ในระดับสูง ( $r^2 = 0.791$ ) ส่วนธาตุฟอสฟอรัส แคลเซียม โบรอน สังกะสี และโซเดียมมีความสัมพันธ์

กันในระดับต่ำ ( $r^2 = 0.186, 0.187, 0.218, 0.330$  และ  $0.297$  ตามลำดับ) ซึ่งธาตุเหล่านี้มีสมการความสัมพันธ์เชิงคณิตศาสตร์แบบ  $Y = aX + b$  เมื่อ  $X=0$  มีค่า  $Y=b$  แสดงว่าถึงแม้ว่าไก่ไม่ได้กินอาหาร ร่างกายก็ขับถ่ายแร่ธาตุเหล่านี้ออกมา เพราะแร่ธาตุเหล่านี้มีการสะสมไว้ภายในส่วนต่าง ๆ ของร่างกายสัตว์อยู่แล้ว เมื่อไก่ได้รับสารเหล่านี้เพิ่มเติมจากอาหารอีก ร่างกายสัตว์จะขับถ่ายออกจากร่างกายเพิ่มมากขึ้น โดยปริมาณแร่ธาตุในกระแสเลือดจะเป็นตัวกำหนด หากมีปริมาณแร่ธาตุสูงเกินความต้องการของร่างกายจะถูกขับออกมากับมูล นอกจากนี้สิ่งที่ขับออกมากับมูลมิได้มาจากอาหารทั้งหมด แต่มาจากส่วนของเซลล์ที่หลุดลอกจากทางเดินอาหาร (บุญล้อมและคณะ, 2548ข; Underwood and Suttle, 1999) ดังนั้น ถ้าปริมาณแร่ธาตุในอาหารไก่ไข่มากจะมีความเข้มข้นของแร่ธาตุเหล่านี้ในมูลไก่ไข่มากเช่นกัน

ในกรณีธาตุทองแดงอาจกล่าวได้ว่า ปริมาณทองแดงในมูลมีความสัมพันธ์กับปริมาณทองแดงในอาหารไก่ไขในระดับที่สูง เนื่องจากค่า  $r^2 = 0.791$  และจากความสัมพันธ์นี้สามารถนำไปใช้ในการปรับปริมาณทองแดงที่เติมลงในหัวไวตามิน และแร่ธาตุ สำหรับไก่ไข่ให้มีความเหมาะสมต่อไป

ความสัมพันธ์เชิงลบ ได้แก่ ธาตุไนโตรเจนมีความสัมพันธ์ระหว่างแร่ธาตุในอาหารและมูลไก่ไขในระดับต่ำ ( $r^2 = 0.186$ ) และมีสมการความสัมพันธ์เชิงคณิตศาสตร์แบบ  $Y = -aX + b$  เมื่อ  $X=0$  มีค่า  $Y=b$  แสดงว่าถึงแม้ไก่ไม่ได้กินอาหาร ร่างกายก็ขับถ่ายแร่ธาตุไนโตรเจนออกมา เพราะร่างกายสัตว์มีกระบวนการดึงโปรตีนสำรองจากที่เก็บสะสมไว้ออกมาใช้ในเวลาที่ขาดแคลน (ฉลอง, 2543) และสิ่งที่ขับออกมาในมูลมิได้มาจากอาหารทั้งหมด แต่มาจากส่วนของเซลล์ที่หลุดลอกจากทางเดินอาหาร (บุญล้อมและคณะ, 2548ข) ดังนั้นจึงมีไนโตรเจนในมูลไก่ไข่มากกว่าในอาหารไก่ไข่

สำหรับธาตุโพแทสเซียม แมกนีเซียม กำมะถัน คลอรีน เหล็ก และแมงกานีส ไม่พบสมการความสัมพันธ์เชิงคณิตศาสตร์แบบเส้นตรงระหว่างแร่ธาตุในอาหารไก่ไข่และในมูลไก่ไข่

ดังนั้น สูตรอาหารไก่ไข่ที่ต่างกันของแต่ละฟาร์ม ทำให้แร่ธาตุอาหารพืชในมูลมีความผันแปรตามแร่ธาตุในอาหาร สอดคล้องกับ Brady and Weil (2002) แต่อย่างไรก็ตามในมูลไก่ไข่มิมีแร่ธาตุอาหารต่าง ๆ ที่มีในอาหารไก่ไข่ครบทุกชนิด และเป็นแร่ธาตุชนิดเดียวกับที่พืช

ต้องการใช้เป็นแหล่งธาตุอาหาร จึงสามารถสร้างมูลค่าให้แก่มูลไก่ไข่และเพิ่มรายได้แก่เกษตรกร โดยการใช้มูลไก่ไข่เป็นปุ๋ยให้กับพืช ซึ่งเป็นแนวทางการจัดการของเสียจากฟาร์ม รวมทั้งป้องกัน หรือลดมลพิษสิ่งแวดล้อมทั้งภายในฟาร์มและชุมชนข้างเคียง ได้แก่ ลดการแพร่กระจายของกลิ่น ที่เกิดจากก๊าซแอมโมเนีย ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์และสารประกอบอินทรีย์ระเหยได้ (Volatile Organic Compounds : VOCs) สาเหตุของโรกระบบทางเดินหายใจ และลดพาหะนำเชื้อโรคจาก แมลง สาเหตุของโรคบิด อหิวาต์ ตาแดงและพยาธิ

### 1.3.2 ความสัมพันธ์ระหว่างแร่ธาตุในมูลไก่ไข่และน้ำสกัดมูลไก่ไข่

ธาตุไนโตรเจน โพแทสเซียม ทองแดง สังกะสี และโซเดียมมีสมการ ความสัมพันธ์เชิงคณิตศาสตร์แบบเส้นตรง ดังแสดงในตารางที่ 15 โดยมีความสัมพันธ์แบบ  $Y = aX \pm b$  เมื่อ Y คือ แร่ธาตุในน้ำสกัดมูลไก่ไข่ X คือ แร่ธาตุในมูลไก่ไข่ a, b คือ ค่าคงที่ และ  $r^2$  คือ ความสัมพันธ์ระหว่างแร่ธาตุในมูลไก่ไข่และน้ำสกัดมูลไก่ไข่ โดยมีรายละเอียดดังตารางที่ 15

ตารางที่ 15 ความสัมพันธ์เชิงบวกระหว่างแร่ธาตุในมูลไก่ไข่และน้ำสกัดมูลไก่ไข่

ความสัมพันธ์เชิงบวก	แร่ธาตุอาหารพืช	สมการ	$r^2$ ( $p < 0.05$ )
ระดับสูง	ไนโตรเจน	$Y = 0.051X - 0.016$	0.564
	โพแทสเซียม	$Y = 0.121X - 0.042$	0.794
	ทองแดง	$Y = 0.083X - 2.081$	0.679
ระดับต่ำ	โซเดียม	$Y = 0.048X + 0.017$	0.318
	สังกะสี	$Y = 0.007X - 0.961$	0.267

ความสัมพันธ์เชิงบวก คือ ธาตุไนโตรเจน โพแทสเซียม ทองแดง สังกะสี และโซเดียม โดยธาตุไนโตรเจน โพแทสเซียม และทองแดงมีความสัมพันธ์ระหว่างแร่ธาตุในมูลไก่ไข่และน้ำสกัดมูลไก่ไข่ในระดับสูง ( $r^2 = 0.564, 0.794$  และ  $0.679$  ตามลำดับ) ส่วนธาตุสังกะสีมีความสัมพันธ์กันในระดับต่ำ ( $r^2 = 0.267$ ) ซึ่งธาตุเหล่านี้มีสมการความสัมพันธ์เชิงคณิตศาสตร์แบบ  $Y = aX - b$  หรือ  $Y + b = aX$  เมื่อ  $X = 0$  มีค่า  $Y = -b$  หมายความว่า ในปริมาณแร่ธาตุเหล่านี้ใน

น้ำสกัดมูลไก่ไข่มีน้อยกว่าในมูลไก่ไข่ แสดงว่าปริมาณแร่ธาตุเหล่านี้บางส่วนละลายออกมาไม่หมด ยังคงตกค้างอยู่ที่กากตะกอนมูลไก่ไข่ สำหรับธาตุโซเดียมมีความสัมพันธ์ระหว่างแร่ธาตุในมูลไก่ไข่และน้ำสกัดมูลไก่ไข่ในระดับต่ำ ( $r^2 = 0.318$ ) และมีสมการความสัมพันธ์เชิงคณิตศาสตร์แบบ  $Y = aX + b$  เมื่อ  $X=0$  มีค่า  $Y=b$  แต่ค่า  $a$  และ  $b$  มีค่าน้อยมากทั้งคู่ แสดงว่าในน้ำสกัดมูลไก่ไข่มีปริมาณโซเดียมละลายอยู่น้อยกว่าในมูลไก่ไข่ และมีปริมาณโซเดียมตกค้างอยู่ที่กากตะกอนเช่นเดียวกันกับธาตุอื่น ๆ

สำหรับธาตุฟอสฟอรัส แคลเซียม แมกนีเซียม กำมะถัน คลอรีน โบรอน เหล็ก และแมงกานีส ไม่พบความสัมพันธ์เชิงคณิตศาสตร์แบบเส้นตรงระหว่างแร่ธาตุในมูลไก่ไข่และน้ำสกัดมูลไก่ไข่

มูลไก่ไข่ของแต่ละฟาร์มที่ต่างกันมีผลทำให้แร่ธาตุอาหารพืชในน้ำสกัดมูลไก่ไข่มีความผันแปรตามแร่ธาตุในมูล แต่อย่างไรก็ตาม ในน้ำสกัดมูลไก่ไข่มีแร่ธาตุอาหารต่าง ๆ ที่มีในมูลไก่ไข่ครบทั้ง 13 ชนิด และเป็นแร่ธาตุชนิดเดียวกันที่พืชต้องการใช้เป็นแหล่งธาตุอาหาร

#### 1.4 ความสัมพันธ์ระหว่างแร่ธาตุในอาหารนกกะทาไข่และมูลนกกะทาไข่ มูลนกกะทาไข่และน้ำสกัดมูลนกกะทาไข่

##### 1.4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างแร่ธาตุในอาหารนกกะทาไข่และมูลนกกะทาไข่

ธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส แคลเซียม แมกนีเซียม คลอรีน โบรอน ทองแดง และเหล็ก มีสมการความสัมพันธ์เชิงคณิตศาสตร์แบบเส้นตรง ดังแสดงในตารางที่ 16 โดยแบ่งความสัมพันธ์ได้ 2 แบบ คือ  $Y = aX + b$  และ  $Y = -aX + b$  เมื่อ  $Y$  คือ แร่ธาตุในมูลนกกะทาไข่  $X$  คือ แร่ธาตุในอาหารนกกะทาไข่  $a, b$  คือ ค่าคงที่ และ  $r^2$  คือ ความสัมพันธ์ระหว่างแร่ธาตุในอาหารนกกะทาไข่และมูลนกกะทาไข่ โดยมีรายละเอียดดังตารางที่ 16

ตารางที่ 16 ความสัมพันธ์ระหว่างแร่ธาตุในอาหารนกกระทาไข่และมูลนกกระทาไข่

ความสัมพันธ์	แร่ธาตุอาหารพืช	สมการ	$r^2$ ( $p < 0.05$ )
1. เชิงบวก			
ระดับสูง			
$Y = aX + b$	แมกนีเซียม	$Y = 1.799X + 0.097$	0.557
$Y = aX - b$	ฟอสฟอรัส	$Y = 2.204X - 0.058$	0.616
ระดับต่ำ			
$Y = aX + b$	แคลเซียม	$Y = 0.658X + 5.022$	0.334
	โบรอน	$Y = 0.904X + 22.566$	0.181
	เหล็ก	$Y = 1.280X + 527.337$	0.356
$Y = aX - b$	ทองแดง	$Y = 3.050X - 3.382$	0.487
2. เชิงลบ			
ระดับต่ำ			
$Y = -aX + b$	ไนโตรเจน	$Y = 11.743 - 1.320X$	0.169
	คลอรีน	$Y = 0.967 - 1.322X$	0.169

ความสัมพันธ์เชิงบวก  $Y = aX \pm b$  ได้แก่ ธาตุฟอสฟอรัส แคลเซียม แมกนีเซียม โบรอน ทองแดง และเหล็ก โดยธาตุฟอสฟอรัสมีความสัมพันธ์ระหว่างแร่ธาตุในอาหารและมูลนกกระทาไข่ในระดับสูง ( $r^2 = 0.616$ ) ส่วนธาตุทองแดงมีความสัมพันธ์ในระดับต่ำ ( $r^2 = 0.487$ ) ทั้ง 2 ธาตุนี้มีสมการความสัมพันธ์เชิงคณิตศาสตร์แบบ  $Y = aX - b$  เมื่อ  $X = 0$  มีค่า  $Y = -b$  แสดงว่าหากนกกระทาไข่ไม่ได้กินอาหารที่มีธาตุทั้งสองชนิดนี้เข้าไป ร่างกายจะไม่มีสารจับถ่ายแร่ธาตุเหล่านี้ออกมา สำหรับธาตุแคลเซียม โบรอน และเหล็กมีความสัมพันธ์ระหว่างแร่ธาตุในอาหารและมูลนกกระทาไข่ในระดับต่ำ ( $r^2 = 0.334, 0.181$  และ  $0.356$  ตามลำดับ) ยกเว้น ธาตุแมกนีเซียมที่มีความสัมพันธ์กันในระดับสูง ( $r^2 = 0.557$ ) ซึ่งธาตุเหล่านี้มีสมการความสัมพันธ์เชิงคณิตศาสตร์แบบ  $Y = aX + b$  เมื่อ  $X = 0$  มีค่า  $Y = b$  แสดงว่าถึงแม้นกกระทาไข่ไม่ได้กินอาหาร ร่างกายก็จับถ่ายแร่ธาตุเหล่านี้ออกมา เพราะแร่ธาตุเหล่านี้มีการสะสมไว้ภายในส่วนต่างๆ ของร่างกายสัตว์อยู่แล้ว และเมื่อได้รับสารเหล่านี้เพิ่มเติมจากอาหารที่นกกระทาไข่กินเข้าไปอีก ปริมาณแร่ธาตุในกระแสเลือดจะเป็นตัวกำหนด หากสูงเกินความต้องการของร่างกายจะถูกขับออกมากับมูล

(Underwood and Suttle, 1999) ดังนั้น ถ้าปริมาณแร่ธาตุในอาหารนกกระทาไข่มากจะมีปริมาณแร่ธาตุเหล่านี้ในมูลนกกระทาไข่มากเช่นกัน

ความสัมพันธ์เชิงลบ ได้แก่ ธาตุไนโตรเจน และคลอรีนมีความสัมพันธ์ระหว่างแร่ธาตุในอาหารและมูลนกกระทาไข่ในระดับต่ำ ( $r^2 = 0.169$  และ  $0.169$  ตามลำดับ) และมีสมการความสัมพันธ์เชิงคณิตศาสตร์แบบ  $Y = -aX + b$  เมื่อ  $X = 0$  มีค่า  $Y = b$  แสดงว่าถึงแม้นกกระทาไข่ไม่ได้กินอาหาร ร่างกายก็ขับถ่ายแร่ธาตุไนโตรเจนและคลอรีนออกมา เพราะร่างกายสัตว์มีกระบวนการดึงโปรตีนสำรองและคลอรีนจากระบบทางเดินอาหารที่เก็บสะสมไว้ออกมาใช้เวลาขาดแคลน (ฉลอง, 2543) และสิ่งที่ขับออกมาในมูลไม่ได้มาจากอาหารทั้งหมด แต่มาจากส่วนของเซลล์ที่หลุดลอกจากทางเดินอาหาร (บุญล้อมและคณะ, 2548ข) ดังนั้น ไนโตรเจนและคลอรีนในมูลนกกระทาไข่จึงมากกว่าในอาหารนกกระทาไข่

สำหรับธาตุโพแทสเซียม กำมะถัน แมงกานีส สังกะสี และโซเดียมไม่พบความสัมพันธ์เชิงคณิตศาสตร์แบบเส้นตรงระหว่างแร่ธาตุในอาหารนกกระทาไข่และในมูลนกกระทาไข่

ดังนั้น สูตรอาหารนกกระทาไข่ที่ต่างกันของแต่ละฟาร์ม ทำให้แร่ธาตุอาหารพืชในมูลมีความผันแปรตามแร่ธาตุในอาหาร สอดคล้องกับ สุกัญญาและคณะ (2550) แต่อย่างไรก็ตาม ในมูลนกกระทาไข่มีแร่ธาตุอาหารต่างๆ ที่มีในอาหารนกกระทาไข่ครบทุกชนิด และเป็นธาตุชนิดเดียวกับที่พืชต้องการใช้เป็นแหล่งธาตุอาหาร จึงสามารถสร้างมูลค่าให้แก่มูลนกกระทาไข่และเพิ่มรายได้แก่เกษตรกร โดยการใช้มูลนกกระทาไข่เป็นปุ๋ยให้กับพืช ซึ่งเป็นแนวทางการจัดการของเสียจากฟาร์ม รวมทั้งป้องกันหรือลดมลพิษสิ่งแวดล้อมทั้งภายในฟาร์มและชุมชนข้างเคียง ได้แก่ ลดการแพร่กระจายของกลิ่น ที่เกิดจากก๊าซแอมโมเนีย ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ และสารประกอบอินทรีย์ระเหยได้ (Volatile Organic Compounds : VOCs) สาเหตุของโรครบบทางเดินหายใจ และลดพาหะนำเชื้อโรคจากแมลง สาเหตุของโรคบิด อหิวาต์ ตาแดงและพยาธิ

#### 1.4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างแร่ธาตุในมูลนกกระทาไข่และน้ำสกัดมูลนกกระทาไข่

ธาตุไนโตรเจน โพแทสเซียม กำมะถัน คลอรีน และโซเดียมมีสมการความสัมพันธ์เชิงคณิตศาสตร์แบบเส้นตรง ดังแสดงในตารางที่ 17 โดยมีความสัมพันธ์แบบ

$Y = aX \pm b$  เมื่อ  $Y$  คือ แร่ธาตุในน้ำสกัดมูลนกกกระทาไข่  $X$  คือ แร่ธาตุในมูลนกกกระทาไข่  $a, b$  คือ ค่าคงที่ และ  $r^2$  คือ ความสัมพันธ์ระหว่างแร่ธาตุในมูลนกกกระทาไข่และน้ำสกัดมูลนกกกระทาไข่ โดยมีรายละเอียดดังตารางที่ 17

ตารางที่ 17 ความสัมพันธ์เชิงบวกระหว่างแร่ธาตุในมูลนกกกระทาไข่และน้ำสกัดมูลนกกกระทาไข่

ความสัมพันธ์เชิงบวก	แร่ธาตุอาหารพืช	สมการ	$r^2$ ( $p < 0.05$ )
ระดับสูง			
$Y = aX + b$	โซเดียม	$Y = 0.059X + 0.006$	0.726
$Y = aX - b$	คลอรีน	$Y = 0.154X - 0.042$	0.825
ระดับต่ำ			
$Y = aX + b$	ไนโตรเจน	$Y = 0.032X + 0.017$	0.289
	กำมะถัน	$Y = 0.017X + 0.008$	0.270
$Y = aX - b$	โพแทสเซียม	$Y = 0.137X - 0.124$	0.435

ความสัมพันธ์เชิงบวก คือ ธาตุไนโตรเจน โพแทสเซียม กำมะถัน คลอรีน และ โซเดียม โดยธาตุคลอรีนมีความสัมพันธ์ระหว่างแร่ธาตุในมูลนกกกระทาไข่และน้ำสกัดมูลนกกกระทาไข่ในระดับสูง ( $r^2 = 0.825$ ) ส่วนธาตุโพแทสเซียมมีความสัมพันธ์กันในระดับต่ำ ( $r^2 = 0.435$ ) ซึ่งธาตุทั้งสองนี้มีสมการความสัมพันธ์เชิงคณิตศาสตร์แบบ  $Y = aX - b$  หรือ  $Y + b = aX$  เมื่อ  $X = 0$  มีค่า  $Y = -b$  หมายความว่า ในปริมาณแร่ธาตุเหล่านี้ในน้ำสกัดมูลนกกกระทาไข่น้อยกว่าในมูลนกกกระทาไข่ (เมื่อ  $a$  และ  $b$  เป็นเลขจำนวนบวก) แสดงว่าปริมาณแร่ธาตุเหล่านี้บางส่วนละลายออกมาไม่หมดยังคงตกค้างอยู่ที่การตะกอนมูลนกกกระทาไข่ สำหรับธาตุโซเดียมมีความสัมพันธ์ระหว่างแร่ธาตุในมูลนกกกระทาไข่และน้ำสกัดมูลนกกกระทาไข่ในระดับสูง ( $r^2 = 0.726$ ) แต่ธาตุไนโตรเจนและกำมะถันมีความสัมพันธ์กันในระดับต่ำ ( $r^2 = 0.289$  และ  $0.270$  ตามลำดับ) ซึ่งธาตุเหล่านี้มีสมการความสัมพันธ์เชิงคณิตศาสตร์แบบ  $Y = aX + b$  เมื่อ  $X = 0$  มีค่า  $Y = b$  แต่ค่า  $a$  และ  $b$  มีค่าน้อยมากทั้งคู่ แสดงว่าในน้ำสกัดมูลนกกกระทาไข่นี้อาจมีปริมาณโซเดียมละลายอยู่น้อยกว่าในมูลนกกกระทาไข่ และมีปริมาณโซเดียมตกค้างอยู่ที่กากตะกอนเช่นเดียวกับธาตุอื่น ๆ

สำหรับธาตุฟอสฟอรัส แคลเซียม แมกนีเซียม โบรอน ทองแดง เหล็ก แมงกานีส และสังกะสี ไม่พบความสัมพันธ์เชิงคณิตศาสตร์แบบเส้นตรงระหว่างแร่ธาตุใน มูลนกกระทาไข่และน้ำสกัดมูลนกกระทาไข่

มูลนกกระทาไข่ของแต่ละฟาร์มที่ต่างกันทำให้แร่ธาตุอาหารพืชในน้ำสกัดมูล นกกระทาไข่มีความผันแปรตามแร่ธาตุในมูล แต่อย่างไรก็ตามในน้ำสกัดมูลนกกระทาไข่มีแร่ธาตุ อาหารต่าง ๆ ที่มีในมูลนกกระทาไข่ครบทั้ง 13 ชนิด และเป็นแร่ธาตุชนิดเดียวกับที่พืชต้องการใช้ เป็นแหล่งธาตุอาหาร

1.5 การเลือกน้ำสกัดมูลจากฟาร์มไก่ไข่และฟาร์มนกกระทาไข่สำหรับทำน้ำสกัดมูลอายุ 3 เดือน เพื่อนำไปศึกษาผลการตอบสนองของต้นข้าว คือ ฟาร์มฟ้าใสการเกษตร 3 สำหรับน้ำสกัดมูล ไก่ไข่ โดยมีปริมาณไนโตรเจน  $0.15 \pm 0.02$  เปอร์เซ็นต์ ดังตารางที่ 10 และฟาร์มอนอกสำหรับ น้ำสกัดมูลนกกระทาไข่ โดยมีปริมาณไนโตรเจน  $0.28 \pm 0.03$  เปอร์เซ็นต์ ดังตารางที่ 13 ทั้งนี้ ปริมาณมูลจากฟาร์มโพธิ์บุรีมีไม่เพียงพอเพื่อทำน้ำสกัดอายุ 3 เดือน ถึงแม้ว่าจะมีปริมาณไนโตรเจน ใกล้เคียงกับค่าประมาณค่าเฉลี่ยของแต่ละฟาร์มที่ศึกษา ปริมาณไนโตรเจนในน้ำสกัดอายุ 3 เดือน จากมูลที่เก็บในเดือนมีนาคมของฟาร์มไก่ไข่ และฟาร์มนกกระทาไข่ มีค่าไนโตรเจน เท่ากับ 0.14 และ 0.19 เปอร์เซ็นต์ ดังตารางที่ 18

1.6 สมบัติทางกายภาพ สมบัติทางเคมี และปริมาณแร่ธาตุอาหารพืชของน้ำสกัดมูลไก่ไข่ และน้ำสกัดมูลนกกระทาไข่อายุ 3 เดือน

น้ำสกัดมูลไก่ไข่และน้ำสกัดมูลนกกระทาไข่มีค่าความเป็นกรด-ด่าง ที่เป็นต่าง ปานกลาง คือ มีค่า pH 8.1 และ 8.0 ตามลำดับ ค่าการนำไฟฟ้า อยู่ในเกณฑ์ปานกลาง มีค่า EC เท่ากับ 5.21 และ 4.95 เดซิซีเมนต์ต่อตารางเมตร ตามลำดับ มีธาตุอาหารหลัก ธาตุอาหารรอง จุลธาตุ และธาตุเสริมประโยชน์ครบทุกธาตุ ดังรายละเอียดในตารางที่ 18 เนื่องจากการละลายของ ธาตุอาหารแต่ละชนิดจากมูลไก่ไข่และมูลนกกระทาไข่ในระหว่างการหมักแต่ละครั้งมีการละลาย ได้ไม่เท่ากันหรือแตกต่างกันนั่นเอง ซึ่งจากผลการทดลองในตารางที่ 10 และตารางที่ 13 พบว่า ปริมาณธาตุอาหารในน้ำสกัดมูลของไก่ไข่ และนกกระทาไข่มีความผันแปรกับปริมาณธาตุอาหารที่ อยู่ในมูล รวมทั้งมีความผันแปรตามปริมาณแร่ธาตุที่อยู่ในอาหารที่ใช้เลี้ยงไก่ไข่และนกกระทาไข่ ด้วย

**ตารางที่ 18** สมบัติทางกายภาพ สมบัติทางเคมี และปริมาณแร่ธาตุอาหารพืชของน้ำสกัดมูลไก่ไข่ ฟาร์มฟ้าใสการเกษตร 3 และน้ำสกัดมูลนกกระทาไข่ฟาร์มอนุอายุ 24 ชั่วโมง และอายุ 3 เดือน

รายการวิเคราะห์	น้ำสกัดมูลไก่ไข่ (ฟาร์มฟ้าใสการเกษตร 3)		น้ำสกัดมูลนกกระทาไข่ (ฟาร์มอนุ)	
	24 ชั่วโมง	3 เดือน	24 ชั่วโมง	3 เดือน
<b>สมบัติทางกายภาพ (เดซิซีเมนต์ต่อเมตร)</b>				
การนำไฟฟ้า (1 : 1)	8.80	5.21	9.99	4.95
<b>สมบัติทางเคมี</b>				
ความเป็นกรด-ด่าง (1 : 1)	7.1	8.1	7.1	8.0
<b>แร่ธาตุอาหารพืช</b>				
มหธาตุ (กรัมต่อ 100 มิลลิลิตร)				
ธาตุหลัก				
ไนโตรเจน	0.14	0.14	0.25	0.19
ฟอสฟอรัส	0.019	0.007	0.026	0.003
โพแทสเซียม	0.22	0.28	0.19	0.18
ธาตุรอง				
แคลเซียม	0.04	0.02	0.04	0.02
แมกนีเซียม	0.03	0.01	0.02	0.02
กำมะถัน	0.01	0.15	0.02	0.27
จุลธาตุ (กรัมต่อ 100 มิลลิลิตร)				
คลอรีน	0.03	0.03	0.04	0.03
(มิลลิกรัมต่อลิตร)				
โบรอน	2.66	0.27	2.81	0.25
ทองแดง	0.61	0.84	0.81	0.71
เหล็ก	3.40	2.70	16.08	12.10
แมงกานีส	1.58	0.50	1.79	0.26
สังกะสี	0.65	0.79	1.13	0.68
ธาตุเสริมประโยชน์ (กรัมต่อ 100 มิลลิลิตร)				
โซเดียม	0.03	0.03	0.02	0.02

## 2. การศึกษาผลการตอบสนองของต้นข้าว

การศึกษาผลของการใช้น้ำสกัดมูลไก่ไข่และน้ำสกัดมูลนกกกระทาไข่ เป็นแหล่งธาตุอาหารเสริมทางใบต่อปริมาณธาตุอาหารในลำต้น ใบ เมล็ด และผลผลิตของข้าวหอมพันธุ์ปิ่นเกษตร 1 เมื่อปลูกข้าววันที่ 15 มิถุนายน พ.ศ. 2552 และเก็บเกี่ยวที่อายุต้น 140 วัน (สาเหตุที่เก็บเกี่ยวช้ากว่ากำหนดอายุพันธุ์ 125 – 130 วัน เนื่องจากในการทดลองครั้งนี้ปลูกข้าวแบบปักดำ ซึ่งต้นกล้าต้องใช้เวลาในการฟื้นตัวมากกว่าการปลูกแบบหว่านเมล็ด) หลังปลูกในวันที่ 8 กรกฎาคม พ.ศ. 2552 ผลการศึกษามีรายละเอียด ดังต่อไปนี้

### 2.1 ดินก่อนและหลังการปลูก

#### 2.1.1 สมบัติทางกายภาพ และสมบัติทางเคมีของดินก่อนและดินหลังปลูก

ผลการศึกษาสมบัติทางกายภาพของดิน พบว่า ค่าการนำไฟฟ้าของดินขณะอิ่มตัวด้วยน้ำ (EC (Sat)) ในดินก่อนปลูกมีค่าเท่ากับ 1.16 เดซิซีเมนต์ต่อเมตร ( $\text{dS m}^{-1}$ ) ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ระดับที่ต่ำมาก (Land Classification Division and FAO Staff, 1973) และดินหลังปลูก พบว่าค่า EC (Sat) ของแต่ละตำรับการทดลองแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) โดยแปลงที่มีค่า EC (Sat) มากที่สุด คือ แปลงที่ใช้น้ำสกัดมูลนกกกระทาไข่ และแปลงที่ใช้น้ำสกัดมูลนกกกระทาไข่ร่วมกับปุ๋ยเคมีน้ำ ซึ่งมีค่า EC (Sat) ในดินหลังการปลูก เท่ากับ 1.14 และ 1.12 เดซิซีเมนต์ต่อเมตร ตามลำดับ รองลงมา คือ แปลงที่ใช้น้ำสกัดมูลไก่ไข่ แปลงควบคุม และแปลงที่ใช้ปุ๋ยเคมีน้ำ ซึ่งมีค่า EC (Sat) ในดินหลังการปลูก เท่ากับ 1.02, 0.92 และ 0.90 เดซิซีเมนต์ต่อเมตร ตามลำดับ ส่วนแปลงที่ใช้น้ำสกัดมูลไก่ไข่ร่วมกับปุ๋ยเคมีน้ำมีค่า EC (Sat) ในดินหลังปลูกน้อยที่สุด คือ 0.84 เดซิซีเมนต์ต่อเมตร นอกจากนี้ยังพบว่า ค่า EC (Sat) ของดินหลังการปลูกมีแนวโน้มลดลงอยู่ที่ประมาณ 0.84 – 1.14 เดซิซีเมนต์ต่อเมตร ซึ่งจัดว่ามีค่า EC (Sat) อยู่ในเกณฑ์ระดับที่ต่ำมาก เช่นเดียวกับดินก่อนปลูก

จากผลการทดลองนี้จัดได้ว่าดินที่ใช้ในการปลูกข้าวเป็นดินธรรมดา คือ มีค่า EC (Sat) น้อยกว่า 4 เดซิซีเมนต์ต่อเมตร และเป็นดินที่ไม่เค็ม คือ มีค่า EC (Sat) 0 – 2 เดซิซีเมนต์ต่อเมตร ซึ่งไม่เป็นอันตรายต่อข้าว (ขงยุทธ, 2548) การที่ค่า EC (Sat) ในดินลดต่ำลงอาจเนื่องมาจาก

ดินได้รับน้ำฝน และมีการเปิดน้ำเข้าแปลงทดลองเพื่อรักษาระดับน้ำ จึงทำให้เกิดบริเวณหน้าดิน ถูกชะล้างออกไป (Havlin *et al.*, 2005) ดังรายละเอียดในตารางที่ 19

**ตารางที่ 19** การนำไฟฟ้าขณะที่ดินอิ่มตัวด้วยน้ำ (EC (Sat)) และความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (CEC) ของตัวอย่างดินแต่ละตำรับการทดลองก่อนปลูกและหลังการเก็บเกี่ยว

ตำรับการทดลอง	การนำไฟฟ้าขณะที่ดินอิ่มตัวด้วยน้ำ (เดซิซีเมนต์ต่อเมตร)		ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (เซนติโมลต่อกิโลกรัม)	
	ก่อนปลูก	หลังปลูก	ก่อนปลูก	หลังปลูก
1. ควบคุม (control)	1.16	0.92 <sup>bc</sup>	12.55	15.15 <sup>a</sup>
2. ปุ๋ยเคมีน้ำ (LCF)	1.16	0.90 <sup>bc</sup>	12.55	15.99 <sup>a</sup>
3. น้ำสกัดมูลไก่ใช้ร่วมกับปุ๋ยเคมีน้ำ (LME + LCF)	1.16	0.84 <sup>c</sup>	12.55	15.16 <sup>a</sup>
4. น้ำสกัดมูลไก่ใช้ (LME)	1.16	1.02 <sup>ab</sup>	12.55	13.07 <sup>b</sup>
5. น้ำสกัดมูลนกกระทาใช้ร่วมกับปุ๋ยเคมีน้ำ (QME + LCF)	1.16	1.12 <sup>a</sup>	12.55	11.81 <sup>c</sup>
6. น้ำสกัดมูลนกกระทาใช้ (QME)	1.16	1.14 <sup>a</sup>	12.55	12.23 <sup>c</sup>
F-test	-	*	-	*
CV (%)	-	9.80	-	12.54

**หมายเหตุ** a b c ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันที่มีอักษรแตกต่างกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ )

\* หมายถึง แตกต่างกันทางสถิติ ( $p < 0.05$ )

สำหรับความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (CEC) ของดินก่อนปลูกมีค่าเท่ากับ 12.55 เซนติโมลต่อกิโลกรัม ( $\text{cmol kg}^{-1}$ ) ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ระดับปานกลาง (Land Classification Division and FAO Staff, 1973) และดินหลังปลูก พบว่า ค่า CEC ของแต่ละตำรับการทดลองแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) โดยแปลงที่มีค่า CEC มากที่สุด คือ แปลงที่ใช้ปุ๋ยเคมีน้ำ แปลงที่ใช้ น้ำสกัดมูลไก่ใช้ร่วมกับปุ๋ยเคมีน้ำ และแปลงควบคุม ซึ่งมีค่า CEC ในดินหลังการปลูก เท่ากับ 15.99, 15.16 และ 15.15 เซนติโมลต่อกิโลกรัม ตามลำดับ รองลงมา คือ แปลงที่ใช้ น้ำสกัดมูลไก่ใช้ ซึ่งมีค่า CEC ในดินหลังการปลูก เท่ากับ 13.07 เซนติโมลต่อกิโลกรัม ส่วน

แปลงที่มีค่า CEC น้อยที่สุด คือ แปลงที่ใช้ น้ำสกัดมูลนกกกระทา ไข่ร่วมกับปุ๋ยเคมีน้ำ และแปลงที่ใช้ น้ำสกัดมูลนกกกระทา ไข่ ซึ่งมีค่า CEC ในดินหลังการปลูก เท่ากับ 11.81 และ 12.23 เซนติโมลต่อ กิโลกรัม ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่าค่า CEC ในดินหลังการปลูกในแปลงควบคุม แปลงที่ใช้ ปุ๋ยเคมีน้ำ แปลงที่ใช้ น้ำสกัดมูลไก่ ไข่ร่วมกับปุ๋ยเคมีน้ำ และแปลงที่ใช้ น้ำสกัดมูลไก่ ไข่ไม่มีแนวโน้มน เพิ่มขึ้นจาก 12.55 เซนติโมลต่อกิโลกรัม เมื่อก่อนปลูกเป็น 13.07 – 15.99 เซนติโมลต่อกิโลกรัม ส่วน แปลงที่ใช้ น้ำสกัดมูลนกกกระทา ไข่ และแปลงที่ใช้ น้ำสกัดมูลนกกกระทา ไข่ร่วมกับปุ๋ยเคมีน้ำมี แนวโน้มนลดลงอยู่ที่ 12.23 - 11.81 เซนติโมลต่อกิโลกรัม (ตารางที่ 19) ซึ่งค่า CEC หลังการปลูกจัด ว่าอยู่ในเกณฑ์ระดับปานกลางถึงค่อนข้างสูง (Land Classification Division and FAO Staff, 1973) สาเหตุการเพิ่มขึ้นของค่า CEC ในการทดลองนี้ อาจเกิดจากการดูดซับประจุบวกโดยอินทรีย์วัตถุใน ดิน ซึ่งดินที่มีอินทรีย์วัตถุสูง จะมีค่า CEC สูงด้วย (อนนท์, 2547)

ผลการศึกษาสมบัติทางเคมีของดิน พบว่า ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) ของ ดินก่อนปลูกจัดว่าเป็นกลาง pH 7.2 ซึ่งอยู่ในช่วง pH ระหว่าง 6.5 – 7.5 ของชุดดินกำแพงแสน (กรมพัฒนาที่ดิน, 2553ก) และดินหลังการปลูก พบว่า ดินในแปลงที่ใช้ น้ำสกัดมูลนกกกระทา ไข่ เพียงอย่างเดียวมีความแตกต่างกันกับตำรับการทดลองอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) และมีค่าความเป็นกรดเป็นด่างมากที่สุด pH 7.1 รองลงมาคือ แปลงที่ใช้ น้ำสกัดมูลนกกกระทา ไข่ร่วมกับ ปุ๋ยเคมีน้ำ pH 6.9 ส่วนแปลงควบคุม แปลงที่ใช้ปุ๋ยเคมีน้ำ แปลงที่ใช้ น้ำสกัดมูลไก่ ไข่ร่วมกับปุ๋ยเคมี น้ำ และแปลงที่ใช้ น้ำสกัดมูลไก่ ไข่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) คือ pH 6.8 เท่ากันหมด ทุกตำรับการทดลอง นอกจากนี้ยังพบว่า pH ของดินหลังการปลูกในทุกตำรับการทดลองมี แนวโน้มนลดลงเล็กน้อยอยู่ที่ประมาณ pH 6.8 – 7.1 ซึ่งยังคงมีค่า pH อยู่ในระดับที่เป็นกลาง ดัง รายละเอียดในตารางที่ 20 สาเหตุที่ค่า pH ของดินลดลงในทุกตำรับการทดลอง อาจเนื่องมาจากดิน ได้รับน้ำฝน และการปล่อยน้ำเข้าแปลง อีกทั้งกระบวนการทางชีวเคมีในการย่อยสลายค่า OM ที่ เกิดจากจุลินทรีย์ปลดปล่อยก๊าซคาร์บอน ไดออกไซด์ ( $\text{CO}_2$ ) และก๊าซนี้ทำปฏิกิริยากับน้ำได้  $\text{H}_2\text{CO}_3$  จึงเพิ่มไฮโดรเจนไอออน ( $\text{H}^+$ ) ขึ้นในสารละลายดิน ทำให้ pH ลดลง (Havlin *et al.*, 2005) สอดคล้องกับ รายงานของ Patrick and Reddy (1978) ที่กล่าวว่า เมื่อดินมีน้ำขัง จะทำให้ค่า pH เปลี่ยนแปลงไปอยู่ในระดับที่เป็นกลาง คือ มีค่า pH อยู่ในช่วง 6.54 – 7.50

ตารางที่ 20 ความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) และปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน (OM) ของตัวอย่างดินแต่ละ  
 ดำรับการทดลองก่อนปลูกและหลังเก็บเกี่ยว

ดำรับการทดลอง	ความเป็นกรด-ด่าง (pH 1 : 5)		อินทรีย์วัตถุ (เปอร์เซ็นต์)	
	ก่อนปลูก	หลังปลูก	ก่อนปลูก	หลังปลูก
1. ควบคุม (control)	7.2	6.8 <sup>b</sup>	1.81	2.12 <sup>bc</sup>
2. ปุ๋ยเคมีน้ำ (LCF)	7.2	6.8 <sup>b</sup>	1.81	2.30 <sup>ab</sup>
3. น้ำสกัดมูลไก่ไข่ร่วมกับปุ๋ยเคมีน้ำ (LME + LCF)	7.2	6.8 <sup>b</sup>	1.81	2.45 <sup>a</sup>
4. น้ำสกัดมูลไก่ไข่ (LME)	7.2	6.8 <sup>b</sup>	1.81	2.32 <sup>ab</sup>
5. น้ำสกัดมูลนกกระทาไข่ร่วมกับปุ๋ยเคมีน้ำ (QME + LCF)	7.2	6.9 <sup>b</sup>	1.81	1.95 <sup>cd</sup>
6. น้ำสกัดมูลนกกระทาไข่ (QME)	7.2	7.1 <sup>a</sup>	1.81	1.77 <sup>d</sup>
F-test	-	*	-	*
CV (%)	-	2.59	-	13.29

หมายเหตุ a b c d ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันที่มีอักษรแตกต่างกัน มีความแตกต่างกันอย่างมี  
 นัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ )  
 \* หมายถึง แตกต่างกันทางสถิติ ( $p < 0.05$ )

สำหรับปริมาณอินทรีย์วัตถุ (OM) ในดินก่อนการปลูก เท่ากับ 1.81 เปอร์เซ็นต์  
 ซึ่งอยู่ในช่วง OM ระหว่าง 1.5 – 2.5 ของชุดดินกำแพงแสน (กรมพัฒนาที่ดิน, 2553) และดินหลัง  
 การปลูก พบว่า ค่า OM ของแต่ละดำรับการทดลองแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ )  
 โดยแปลงที่ใช้น้ำสกัดมูลไก่ไข่ร่วมกับปุ๋ยเคมีน้ำมีค่า OM ในดินหลังการปลูกมากที่สุด คือ 2.45  
 เปอร์เซ็นต์ ส่วนแปลงที่ใช้น้ำสกัดมูลนกกระทาไข่มีค่า OM ในดินหลังการปลูกน้อยที่สุด คือ 1.77  
 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ยังพบว่า ค่า OM ในดินหลังการปลูกของแต่ละดำรับการทดลอง (แปลง  
 ควบคุม แปลงที่ใช้น้ำปุ๋ยเคมีน้ำ แปลงที่ใช้น้ำสกัดมูลไก่ไข่ร่วมกับปุ๋ยเคมีน้ำ แปลงที่ใช้น้ำสกัดมูล  
 ไก่ไข่ และแปลงที่ใช้น้ำสกัดมูลนกกระทาไข่ร่วมกับปุ๋ยเคมีน้ำ) มีแนวโน้มเพิ่มจาก 1.81 เปอร์เซ็นต์  
 เมื่อก่อนปลูกเป็น 1.95 – 2.45 เปอร์เซ็นต์ ดังรายละเอียดในตารางที่ 20 ซึ่งจัดว่ามีค่า OM ก่อนและ  
 หลังการปลูกอยู่ในเกณฑ์ระดับปานกลาง (กรมพัฒนาที่ดิน, 2542) เนื่องจากในระหว่างที่ข้าวมีการ  
 เจริญเติบโตจนเข้าสู่ระยะเก็บเกี่ยว นั้น ใบข้าวที่แก่มีการร่วงหล่นลงบนพื้นดิน อีกทั้งในดินยังมีราก  
 และเศษวัชพืชที่เน่าเปื่อยต่าง ๆ ส่งผลให้ปริมาณ OM มีค่าเพิ่มขึ้น และทำให้กิจกรรมของจุลินทรีย์

ปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO<sub>2</sub>) และก๊าซนี้ทำปฏิกิริยากับน้ำได้ H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> จึงเพิ่มไฮโดรเจนไอออน (H<sup>+</sup>) ขึ้นในสารละลายดิน ในขณะที่เดียวกันการย่อยสลายอินทรีย์วัตถุในดินโดยกลุ่มจุลินทรีย์ยังปลดปล่อยกรดอินทรีย์ออกมาด้วย ซึ่งเป็นอีกส่วนหนึ่งที่ทำให้ pH ลดลง (Havlin *et al.*, 2005) ยกเว้น แปลงที่ใช้ น้ำสกัดมูลนกกกระทา ไข่เพียงอย่างเดียวที่มีค่า OM ก่อนและหลังการปลูกใกล้เคียงกัน หรือ มีแนวโน้มลดลงเพียงเล็กน้อยจาก 1.81 เปอร์เซ็นต์ เมื่อก่อนปลูกเป็น 1.77 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากแปลงที่ใช้ น้ำสกัดมูลนกกกระทา ไข่ไม่มีการเจริญเติบโตของต้นข้าวทางด้านความสามารถในการแตกกอมากที่สุด จึงอาจเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ OM ในดินถูกดึงขึ้นไปใช้มากกว่าการรับการทดลองอื่น ๆ ถึงแม้ว่าจะมีใบข้าวที่แก่ร่วงหล่นลงบนพื้นดินและเศษวัชพืชที่เน่าเปื่อยต่าง ๆ เช่นเดียวกับการรับการทดลองอื่น ๆ ก็ตาม

### 2.1.2 ปริมาณแร่ธาตุอาหารพืชในดินก่อนและหลังการปลูก

1) ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (total N) และฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (available P)

ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (total N) ในดินก่อนปลูก เท่ากับ 906.08 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (mg kg<sup>-1</sup>) และดินหลังปลูก พบว่า การรับการทดลองทุกแปลงมีค่า total N แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) โดยแปลงที่ใช้ น้ำสกัดมูลไก่ ไข่ร่วมกับปุ๋ยเคมีน้ำมี total N ในดินหลังปลูกมากที่สุด คือ 1,224.09 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และแปลงที่ใช้ น้ำสกัดมูลนกกกระทา ไข่ร่วมกับปุ๋ยเคมีน้ำมี total N ในดินหลังปลูกน้อยที่สุด คือ 886.72 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม นอกจากนี้ยังพบว่า total N ในดินหลังการปลูกของแต่ละการทดลอง (แปลงควบคุม แปลงที่ใช้ปุ๋ยเคมีน้ำ แปลงที่ใช้ น้ำสกัดมูลไก่ ไข่ร่วมกับปุ๋ยเคมีน้ำ แปลงที่ใช้ น้ำสกัดมูลไก่ ไข่ และแปลงที่ใช้ น้ำสกัดมูลนกกกระทา ไข่ร่วมกับปุ๋ยเคมีน้ำ) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจาก 906.08 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม เมื่อก่อนปลูกเป็น 973.86–1,224.09 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ยกเว้น แปลงที่ใช้ น้ำสกัดมูลนกกกระทา ไข่เพียงอย่างเดียวที่มีปริมาณ total N ในดินลดลงเพียงเล็กน้อยจาก 906.08 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม เป็น 886.72 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ดังรายละเอียดในตารางที่ 21 เนื่องจากปริมาณ total N ในดินก่อนและหลังการปลูกที่เพิ่มขึ้นหรือลดลงนั้นแปรผันตามปริมาณค่า OM อีกทั้งปริมาณธาตุอื่น ๆ ที่พบในน้ำสกัดมูลนกกกระทา ไข่มีมากกว่าการรับการทดลองอื่น ๆ จึงส่งผลให้มีการเจริญทางด้านและการสังเคราะห์ด้วยแสงมากกว่า (ลิลลี่ และคณะ, 2552) รวมทั้งการดึง total N ในดินไปใช้ได้เพิ่มขึ้น ทำให้ผลผลิตของแปลงที่ใช้ น้ำสกัดมูลนกกกระทา ไข่สูงกว่าการรับการทดลองอื่น ๆ ในขณะที่การรับ

การทดลองอื่น ๆ มีธาตุอาหารทั้ง 13 ชนิด น้อยกว่า พีชจึงดึงไปใช้ได้ น้อย ผลผลิตจึงต่ำ และเหลือ total N ในดินหลังปลูกเช่นเดียวกับค่า OM ที่เพิ่มขึ้น

ตารางที่ 21 ปริมาณ ไนโตรเจนทั้งหมด (total N) และฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (available P) ของ ตัวอย่างดินแต่ละตำรับการทดลองก่อนปลูกและหลังเก็บเกี่ยว

ตำรับการทดลอง	ไนโตรเจนทั้งหมด		ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์	
	(มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)		(มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)	
	ก่อนปลูก	หลังปลูก	ก่อนปลูก	หลังปลูก
1. ควบคุม (control)	906.08	1,058.10 <sup>bc</sup>	2,109.69	1,931.57 <sup>b</sup>
2. ปุ๋ยเคมีน้ำ (LCF)	906.08	1,152.11 <sup>ab</sup>	2,109.69	1,970.26 <sup>b</sup>
3. น้ำสกัดมูลไก่ไข่ร่วมกับปุ๋ยเคมีน้ำ (LME + LCF)	906.08	1,224.09 <sup>a</sup>	2,109.69	2,152.43 <sup>a</sup>
4. น้ำสกัดมูลไก่ไข่ (LME)	906.08	1,157.96 <sup>ab</sup>	2,109.69	2,186.68 <sup>a</sup>
5. น้ำสกัดมูลนกกระทาไข่ร่วมกับปุ๋ยเคมีน้ำ (QME + LCF)	906.08	973.86 <sup>cd</sup>	2,109.69	2,043.85 <sup>ab</sup>
6. น้ำสกัดมูลนกกระทาไข่ (QME)	906.08	886.72 <sup>d</sup>	2,109.69	1,956.57 <sup>b</sup>
F-test	-	*	-	*
CV (%)	-	13.30	-	7.27

หมายเหตุ a b c d ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันที่มีอักษรแตกต่างกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ )

\* หมายถึง แตกต่างกันทางสถิติ ( $p < 0.05$ )

ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (available P) ในดินก่อนปลูก เท่ากับ 2,109.69 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และดินหลังปลูก พบว่า ปริมาณ available P ของแต่ละตำรับการทดลองแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) โดยแปลงที่มีปริมาณ available P มากที่สุดคือ แปลงที่ใช้ น้ำสกัดมูลไก่ไข่ และแปลงที่ใช้ น้ำสกัดมูลไก่ไข่ร่วมกับปุ๋ยเคมีน้ำ ซึ่งมีปริมาณ available P ในดินหลังการปลูก เท่ากับ 2,186.68 และ 2,152.43 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ รองลงมา คือ แปลงที่ใช้ น้ำสกัดมูลนกกระทาไข่ร่วมกับปุ๋ยเคมีน้ำ ซึ่งมีปริมาณ available P ในดินหลังการปลูก เท่ากับ 2,043.85 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ส่วนแปลงที่มีปริมาณ available P น้อยที่สุดคือ แปลงควบคุม แปลงที่ใช้ น้ำสกัดมูลนกกระทาไข่ และแปลงที่ใช้ปุ๋ยเคมีน้ำ ซึ่งมีปริมาณ

available P ในดินหลังการปลูก เท่ากับ 1,931.57, 1,956.57 และ 1,970.26 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่า available P ของดินหลังปลูกในแปลงที่ใช้น้ำสกัดมูลไก่ไข่ร่วมกับปุ๋ยเคมีน้ำ และน้ำสกัดมูลไก่ไข่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อย (เพิ่มขึ้นจาก 2,109.69 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม เมื่อก่อนปลูกเป็น 2,152.43 – 2,186.68 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ขณะที่แปลงควบคุม แปลงที่ใช้ปุ๋ยเคมีน้ำ แปลงที่ใช้น้ำสกัดมูลนกกกระทาไข่ร่วมกับปุ๋ยเคมีน้ำ และแปลงที่ใช้น้ำสกัดมูลนกกกระทาไข่มีค่า available P ในดินหลังปลูกลดลงเล็กน้อย (ลดลงจาก 2,109.69 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม เมื่อก่อนปลูกเป็น 1,931.57 – 2,043.85 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ดังรายละเอียดในตารางที่ 21 แสดงว่าทุกตำรับการทดลองมีค่า available P ที่พ่นให้ทางใบพอเพียงกับความต้องการของพืช

## 2) ปริมาณ โพแทสเซียม และแคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (exchangeable K and Ca)

ปริมาณ โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (exchangeable K) ในดินก่อนปลูก เท่ากับ 281.15 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และดินหลังปลูก พบว่า ปริมาณ exchangeable K ของแต่ละตำรับการทดลองแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) โดยแปลงที่มีปริมาณ exchangeable K มากที่สุด คือ แปลงที่ใช้ปุ๋ยเคมีน้ำ แปลงควบคุม และแปลงที่ใช้น้ำสกัดมูลไก่ไข่ร่วมกับปุ๋ยเคมีน้ำ ซึ่งมีปริมาณ exchangeable K ในดินหลังการปลูก เท่ากับ 288.13, 279.79 และ 273.46 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ รองลงมา คือ แปลงที่ใช้น้ำสกัดมูลไก่ไข่ ซึ่งมีปริมาณ exchangeable K ในดินหลังการปลูก เท่ากับ 240.36 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ส่วนแปลงที่มีปริมาณ exchangeable K น้อยที่สุด คือ แปลงที่ใช้น้ำสกัดมูลนกกกระทาไข่ร่วมกับปุ๋ยเคมีน้ำ และแปลงที่ใช้น้ำสกัดมูลนกกกระทาไข่ ซึ่งมีปริมาณ exchangeable K ในดินหลังการปลูก เท่ากับ 198.67 และ 207.66 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม นอกจากนี้ยังพบว่า ปริมาณ exchangeable K ของดินหลังการปลูกในแปลงควบคุม แปลงที่ใช้น้ำสกัดมูลไก่ไข่ร่วมกับปุ๋ยเคมีน้ำ แปลงที่ใช้น้ำสกัดมูลไก่ไข่ แปลงที่ใช้น้ำสกัดมูลนกกกระทาไข่ร่วมกับปุ๋ยเคมีน้ำ และแปลงที่ใช้น้ำสกัดมูลนกกกระทาไข่มีแนวโน้มลดลงจาก 281.15 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม เมื่อก่อนปลูกเป็น 198.67 - 279.79 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ส่วนแปลงที่ใช้น้ำสกัดมูลนกกกระทาไข่มีค่าใกล้เคียงกับดินก่อนปลูกข้าว หรือ มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเป็น 288.13 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ดังรายละเอียดในตารางที่ 22

ตารางที่ 22 ปริมาณโพแทสเซียม และแคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (exchangeable K and Ca) ของตัวอย่างดินแต่ละตำรับการทดลองก่อนปลูกและหลังเก็บเกี่ยว

ตำรับการทดลอง	ปริมาณที่แลกเปลี่ยนได้ (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)			
	โพแทสเซียม		แคลเซียม	
	ก่อนปลูก	หลังปลูก	ก่อนปลูก	หลังปลูก
1. ควบคุม (control)	281.15	279.79 <sup>a</sup>	3,208.96	2,726.62 <sup>b</sup>
2. ปุ๋ยเคมีน้ำ (LCF)	281.15	288.13 <sup>a</sup>	3,208.96	2,847.01 <sup>ab</sup>
3. น้ำสกัดมูลไก่ไข่ร่วมกับปุ๋ยเคมีน้ำ (LME + LCF)	281.15	273.46 <sup>a</sup>	3,208.96	2,618.97 <sup>bc</sup>
4. น้ำสกัดมูลไก่ไข่ (LME)	281.15	240.36 <sup>b</sup>	3,208.96	2,562.04 <sup>bc</sup>
5. น้ำสกัดมูลนกกระทาไข่ร่วมกับปุ๋ยเคมีน้ำ (QME + LCF)	281.15	198.67 <sup>c</sup>	3,208.96	2,194.73 <sup>c</sup>
6. น้ำสกัดมูลนกกระทาไข่ (QME)	281.15	207.66 <sup>c</sup>	3,208.96	3,168.46 <sup>a</sup>
F-test	-	*	-	*
CV (%)	-	17.25	-	16.54

หมายเหตุ a b c ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันที่มีอักษรแตกต่างกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ )

\* หมายถึง แตกต่างกันทางสถิติ ( $p < 0.05$ )

ปริมาณแคลเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (exchangeable Ca) ในดินก่อนปลูกเท่ากับ 3,208.96 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และดินหลังปลูก พบว่า ตำรับการทดลองทุกแปลงมีค่า exchangeable Ca แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) โดยแปลงที่ใช้แปลงที่ใช้น้ำสกัดมูลนกกระทาไข่มี exchangeable Ca ในดินหลังปลูกมากที่สุด คือ 3,168.46 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และแปลงที่ใช้น้ำสกัดมูลนกกระทาไข่ร่วมกับปุ๋ยเคมีน้ำมี exchangeable Ca ในดินหลังปลูกน้อยที่สุด คือ 2,194.73 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม นอกจากนี้ยังพบว่าปริมาณ exchangeable Ca ของดินหลังการปลูกในตำรับการทดลองทุกแปลงมีแนวโน้มลดลงจาก 3,208.96 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม เมื่อก่อนปลูกเป็น 2,194.73 - 3,168.46 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ดังรายละเอียดในตารางที่ 22 แสดงว่าแคลเซียมที่พ่นให้ทางใบไม่พอกับความต้องการใช้สร้างผลผลิต จึงดึงจากดินขึ้นไปใช้มากและเหลือ exchangeable Ca ในดินหลังปลูกน้อยกว่าในดินก่อนการปลูกข้าว ยกเว้นแปลงที่ใช้น้ำสกัดมูลนกกระทาไข่มีปริมาณแคลเซียมใกล้เคียงกันระหว่างก่อนและหลังปลูก แสดงว่าในน้ำสกัดมูลนก

กระทำไข่มิมีปริมาณแคลเซียมเพียงพอกับความต้องการของพืช และอีกสาเหตุที่ทำให้ปริมาณ exchangeable Ca ในดินหลังปลูกทุกตำรับการทดลองมีแนวโน้มลดลง เนื่องจากดินนาเป็นดินนา น้ำขังแคลเซียมจะถูกปลดปล่อยออกมาอย่างรวดเร็ว เมื่อปลดปล่อยออกมาถึงระดับสูงสุดจะลดลงไปได้ (อนนท์, 2547; Islam and Islam, 1973) และการเปิดน้ำเข้าแปลงทดลองเพื่อรักษาระดับน้ำ ซึ่งอาจทำให้มีการชะแคลเซียมที่ละลายในบริเวณหน้าดินออกไป นอกจากนี้ ยงยุทธ (2548) รายงานว่า หากค่า pH ของดินลดลง การละลายและความเป็นประโยชน์ของธาตุแคลเซียม และแมกนีเซียมจะลดลงตามไปด้วย ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองในครั้งนี้ที่มีค่า pH ของดินหลังปลูกลดลง

3) ปริมาณแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (exchangeable Mg) และกำมะถันที่สกัดได้ (extractable and S)

ปริมาณแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (exchangeable Mg) ในดินก่อนปลูก เท่ากับ 281.68 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และดินหลังปลูก พบว่า ปริมาณ exchangeable Mg ของแต่ละตำรับการทดลองแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) โดยแปลงที่มีปริมาณ exchangeable Mg มากที่สุด คือ แปลงที่ใช้ปุ๋ยเคมีน้ำ แปลงควบคุม และแปลงที่ใช้น้ำสกัดมูลไก่ไข่ร่วมกับปุ๋ยเคมีน้ำ ซึ่งมีปริมาณ exchangeable Mg ในดินหลังการปลูก เท่ากับ 290.36, 279.55 และ 274.67 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ส่วนแปลงที่ใช้น้ำสกัดมูลนกกระทาไข่ร่วมกับปุ๋ยเคมีน้ำมีปริมาณ exchangeable Mg ในดินหลังปลูกน้อยที่สุด คือ 219.53 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม นอกจากนี้ยังพบว่า ปริมาณ exchangeable Mg ของดินหลังการปลูกในแปลงควบคุม แปลงที่ใช้น้ำสกัดมูลไก่ไข่ร่วมกับปุ๋ยเคมีน้ำ แปลงที่ใช้น้ำสกัดมูลไก่ไข่ แปลงที่ใช้น้ำสกัดมูลนกกระทาไข่ร่วมกับปุ๋ยเคมีน้ำ และแปลงที่ใช้น้ำสกัดมูลนกกระทาไข่มีแนวโน้มลดลงเล็กน้อย (ลดลงจาก 281.68 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม เมื่อก่อนปลูกเป็น 219.53 - 279.55 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ส่วนแปลงที่ใช้น้ำสกัดมูลน้ำมีค่าใกล้เคียงกับดินก่อนปลูกข้าว หรือ มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อย (เพิ่มขึ้นจาก 281.68 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม เมื่อก่อนปลูกเป็น 290.36 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ดังรายละเอียดในตารางที่ 23 สาเหตุที่ทำให้ปริมาณ exchangeable Mg ในดินหลังปลูกมีแนวโน้มลดลง เนื่องจากดินนาเป็นดินนา น้ำขังแมกนีเซียมจะถูกปลดปล่อยออกมาอย่างรวดเร็ว เมื่อปลดปล่อยออกมาถึงระดับสูงสุดจะลดลงไปได้เช่นเดียวกับแคลเซียม (อนนท์, 2547; Islam and Islam, 1973) และการเปิดน้ำเข้าแปลงทดลองเพื่อรักษาระดับน้ำ ซึ่งอาจทำให้มีการชะแมกนีเซียมที่ละลายในบริเวณหน้าดินออกไป นอกจากนี้ ค่า pH ของดินที่ลดลงเป็นผลให้ธาตุแมกนีเซียมลดลงตามไปด้วยเช่นเดียวกับธาตุแคลเซียมที่ได้กล่าวไปแล้วในข้างต้น

ตารางที่ 23 ปริมาณแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (exchangeable Mg) และกำมะถันที่สกัดได้ (extractable S) ของตัวอย่างดินแต่ละตำรับการทดลองก่อนปลูกและหลังเก็บเกี่ยว

ตำรับการทดลอง	แมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้		กำมะถันที่สกัดได้	
	(มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)		(มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)	
	ก่อนปลูก	หลังปลูก	ก่อนปลูก	หลังปลูก
1. ควบคุม (control)	281.68	279.55 <sup>a</sup>	470.79	415.72 <sup>ab</sup>
2. ปุ๋ยเคมีน้ำ (LCF)	281.68	290.36 <sup>a</sup>	470.79	406.14 <sup>ab</sup>
3. น้ำสกัดมูลไก่ไข่ร่วมกับปุ๋ยเคมีน้ำ (LME + LCF)	281.68	274.67 <sup>a</sup>	470.79	444.54 <sup>ab</sup>
4. น้ำสกัดมูลไก่ไข่ (LME)	281.68	248.37 <sup>b</sup>	470.79	333.40 <sup>b</sup>
5. น้ำสกัดมูลนกกระทาไข่ร่วมกับปุ๋ยเคมีน้ำ (QME + LCF)	281.68	219.53 <sup>c</sup>	470.79	360.43 <sup>ab</sup>
6. น้ำสกัดมูลนกกระทาไข่ (QME)	281.68	238.46 <sup>bc</sup>	470.79	470.36 <sup>a</sup>
F-test	-	*	-	*
CV (%)	-	12.10	-	23.38

หมายเหตุ a b c ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันที่มีอักษรแตกต่างกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ )

\* หมายถึง แตกต่างกันทางสถิติ ( $p < 0.05$ )

ปริมาณกำมะถันที่สกัดได้ (extractable S) ในดินก่อนปลูก เท่ากับ 470.79 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และดินหลังปลูก พบว่า ตำรับการทดลองทุกแปลงมีค่า extractable S แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) โดยแปลงที่ใช้ น้ำสกัดมูลนกกระทาไข่มี extractable S ในดินหลังปลูกมากที่สุด คือ 470.36 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และแปลงที่ใช้ น้ำสกัดมูลไก่ไข่มี extractable S ในดินหลังปลูกน้อยที่สุด คือ 333.40 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ส่วนแปลงที่ใช้ น้ำสกัดมูลไก่ไข่ร่วมกับปุ๋ยเคมีน้ำ แปลงควบคุม แปลงที่ใช้ปุ๋ยเคมีน้ำ และแปลงที่ใช้ น้ำสกัดมูลนกกระทาไข่ร่วมกับปุ๋ยเคมีน้ำมีค่า extractable S แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) และมี ค่า extractable S เท่ากับ 444.54, 415.72, 406.14 และ 360.43 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่า ปริมาณ extractable S ของดินหลังการปลูกในตำรับการทดลองทุกแปลงมีแนวโน้มลดลงจาก 470.79 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม เมื่อก่อนปลูกเป็น 333.40 - 470.36 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ดัง

รายละเอียดในตารางที่ 23 จากการทดลองแสดงให้เห็นว่าแปลงที่ใช้น้ำสกัดมูลนกกะทาจมีค่า extractable S ไม่เปลี่ยนแปลง อาจเนื่องมาจากปริมาณ extractable S ที่มีในน้ำสกัดมูลนกกะทาจเพียงพอสำหรับการเจริญเติบโตและสร้างผลผลิตของข้าว ขณะที่ได้รับการทดลองอื่น ๆ ทั้งแปลงควบคุม แปลงใช้ปุ๋ยเคมีน้ำ แปลงที่ใช้น้ำสกัดมูลไก่ไข่ร่วมกับปุ๋ยเคมีน้ำ แปลงที่ใช้น้ำสกัดมูลไก่ไข่ และแปลงที่ใช้น้ำสกัดมูลนกกะทาจร่วมกับปุ๋ยเคมีน้ำยังมีค่า extractable S ของดินหลังปลูกลดลงและอีกสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ extractable S ของดินหลังปลูกลดลงเพียงเล็กน้อย เนื่องจากกำมะถันที่เป็นประโยชน์ต่อพืชจะอยู่ในรูปของอนุมูลซัลเฟต ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) เมื่อดินถูกน้ำซังซัลเฟตจะถูกรีดิวซ์ไปเป็นซัลไฟด์ ( $\text{S}^{2-}$ ) ซึ่งพืชไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ (อนนท์, 2547)

4) ปริมาณคลอรีน และ โบรอนที่สกัดได้ (extractable Cl and B) และ โซเดียมที่แลกเปลี่ยนได้ (exchangeable Na)

ปริมาณคลอรีนที่สกัดได้ (extractable Cl) ในดินก่อนปลูก เท่ากับ 266.92 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และดินหลังปลูก พบว่า ได้รับการทดลองทุกแปลงมีค่า extractable Cl แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) โดยแปลงควบคุมมี extractable Cl ในดินหลังปลูกมากที่สุด คือ 223.15 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ส่วนแปลงที่ใช้น้ำสกัดมูลไก่ไข่ร่วมกับปุ๋ยเคมีน้ำ แปลงที่ใช้น้ำสกัดมูลไก่ไข่ แปลงที่ใช้น้ำสกัดมูลนกกะทาจร่วมกับปุ๋ยเคมีน้ำ แปลงที่ใช้น้ำสกัดมูลนกกะทาจ และแปลงที่ใช้ปุ๋ยเคมีน้ำมี extractable Cl แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) และมีค่า extractable Cl เท่ากับ 157.84, 152.41, 141.52, 125.19 และ 125.19 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่าปริมาณ extractable Cl ของดินหลังการปลูกในได้รับการทดลองทุกแปลงมีแนวโน้มลดลงจาก 266.92 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม เมื่อก่อนปลูกเป็น 125.19 – 223.15 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ดังรายละเอียดในตารางที่ 24

ตารางที่ 24 ปริมาณคลอรีน โบรอนที่สกัดได้ (extractable Cl and B) และ โซเดียมที่แลกเปลี่ยนได้ (exchangeable Na) ของตัวอย่างดินแต่ละตำรับการทดลองก่อนปลูกและหลังเก็บเกี่ยว

ตำรับการทดลอง	คลอรีนที่สกัดได้ (มิลลิกรัมต่อ กิโลกรัม)		โบรอนที่สกัดได้ (มิลลิกรัมต่อ กิโลกรัม)		โซเดียม ที่แลกเปลี่ยนได้ (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)	
	ก่อน ปลูก	หลัง ปลูก	ก่อน ปลูก	หลัง ปลูก	ก่อนปลูก	หลังปลูก
	1. ควบคุม (control)	266.92	223.15 <sup>a</sup>	1.60	1.13 <sup>ab</sup>	68.64
2. ปุ๋ยเคมีน้ำ (LCF)	266.92	125.19 <sup>b</sup>	1.60	1.27 <sup>a</sup>	68.64	54.99 <sup>a</sup>
3. น้ำสกัดมูลไก่ไข่ร่วมกับ ปุ๋ยเคมีน้ำ (LME + LCF)	266.92	157.84 <sup>b</sup>	1.60	1.01 <sup>ab</sup>	68.64	45.87 <sup>b</sup>
4. น้ำสกัดมูลไก่ไข่ (LME)	266.92	152.41 <sup>b</sup>	1.60	1.09 <sup>ab</sup>	68.64	41.85 <sup>b</sup>
5. น้ำสกัดมูลนกกระทาไข่ร่วมกับ ปุ๋ยเคมีน้ำ (QME + LCF)	266.92	141.52 <sup>b</sup>	1.60	1.15 <sup>ab</sup>	68.64	26.53 <sup>c</sup>
6. น้ำสกัดมูลนกกระทาไข่ (QME)	266.92	125.19 <sup>b</sup>	1.60	0.86 <sup>b</sup>	68.64	29.33 <sup>c</sup>
F-test	-	*	-	*	-	*
CV (%)	-	29.99	-	24.00	-	31.23

หมายเหตุ a b c ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันที่มีอักษรแตกต่างกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ )

\* หมายถึง แตกต่างกันทางสถิติ ( $p < 0.05$ )

ปริมาณ โบรอนที่สกัดได้ (extractable B) ในดินก่อนปลูก เท่ากับ 1.60 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ระดับที่สูง (Jones, 2001) และดินหลังปลูก พบว่า ตำรับการทดลองทุกแปลงมีค่า extractable B แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) โดยแปลงที่ใช้ปุ๋ยเคมีน้ำมี extractable B ในดินหลังปลูกมากที่สุด คือ 1.27 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ส่วนแปลงที่ใช้ น้ำสกัดมูลนกกระทาไข่มี extractable B ในดินหลังปลูกน้อยที่สุด คือ 0.86 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม นอกจากนี้ยังพบว่าปริมาณ extractable B ของดินหลังการปลูกในตำรับการทดลองทุกแปลงมีแนวโน้มลดลงจาก 1.60 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม เมื่อก่อนปลูกเป็น 0.86 – 1.27 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ระดับปานกลาง (Jones, 2001) ดังรายละเอียดในตารางที่ 24 สาเหตุที่ทำให้ปริมาณ

extractable B ในดินหลังปลูกลดลง เนื่องจากการที่ค่า pH ของดินหลังปลูกลดลง ทำให้โบรอน ละลายออกมาในรูปของกรดบอริก  $[B(OH)_3]$  ซึ่งพืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ (ยงยุทธ, 2552ข)

ปริมาณ โขเดียมที่แลกเปลี่ยนได้ (exchangeable Na) ในดินก่อนปลูก เท่ากับ 68.64 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และดินหลังปลูก พบว่า ดำรับการทดลองทุกแปลงมีค่า exchangeable Na แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) โดยแปลงที่มี exchangeable Na มากที่สุด คือ แปลงควบคุม และแปลงที่ใช้ปุ๋ยเคมี ซึ่งมีปริมาณ exchangeable Na ในดินหลังปลูก เท่ากับ 57.38 และ 54.99 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ รองลงมา คือ แปลงที่ใช้น้ำสกัดมูลไก่ไข่ร่วมกับ ปุ๋ยเคมีน้ำ และแปลงที่ใช้น้ำสกัดมูลไก่ไข่ ซึ่งมีปริมาณ exchangeable Na ในดินหลังปลูก เท่ากับ 45.87 และ 41.85 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ส่วนแปลงที่มี exchangeable Na น้อยที่สุด คือ แปลงที่ใช้น้ำสกัดมูลนกกะทาไข่ร่วมกับปุ๋ยเคมีน้ำ และแปลงที่ใช้น้ำสกัดมูลนกกะทาไข่ ซึ่งมี ปริมาณ exchangeable Na ในดินหลังปลูก เท่ากับ 26.53 และ 29.33 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่าปริมาณ exchangeable Na ของดินหลังการปลูกในดำรับการทดลองทุกแปลงมี แนวโน้มลดลงจาก 68.64 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม เมื่อก่อนปลูกเป็น 26.53 – 57.38 มิลลิกรัมต่อ กิโลกรัม ดังรายละเอียดในตารางที่ 24

ทั้งปริมาณ extractable Cl และ exchangeable Na ของดำรับการทดลองทุก แปลง (ยกเว้น แปลงควบคุม) มีแนวโน้มลดลงมาก แสดงว่า คลอรีน และโซเดียม ที่พ่นให้ทางใบ ไม่พอกับความต้องการให้ผลผลิต จึงดึงจากดินขึ้นไปใช้มากและเหลือ extractable Cl และ exchangeable Na ในดินหลังปลูกลดลง ส่วนแปลงควบคุมที่มี extractable Cl และ exchangeable Na ในดินหลังปลูกลดลงน้อยสุด หรือมีปริมาณใกล้เคียงกันระหว่างก่อนและหลังปลูก สาเหตุอาจเกิด จากข้าวตังธาตุทั้งสองนี้ไปใช้ในการเจริญเติบโตและสร้างผลผลิตได้น้อย อีกทั้งข้าวมีการตาย มากกว่าแปลงอื่น ๆ การดึงธาตุไปใช้ จึงน้อยลงตามไปด้วย

##### 5) ปริมาณทองแดง และเหล็กที่สกัดได้ (extractable Cu and Fe)

ปริมาณทองแดงที่สกัดได้ (extractable Cu) ในดินก่อนปลูก เท่ากับ 2.91 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ระดับที่สูงมาก (Jones, 2001) และดินหลังปลูก พบว่า ปริมาณ extractable Cu ของแต่ละดำรับการทดลองแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) โดยแปลง ที่มีปริมาณ extractable Cu มากที่สุด คือ แปลงที่ใช้ปุ๋ยเคมีน้ำแปลงควบคุม และแปลงที่ใช้น้ำสกัด

มูลไก่ไข่ร่วมกับปุ๋ยเคมีน้ำ ซึ่งมีปริมาณ extractable Cu ในดินหลังการปลูก เท่ากับ 4.27, 3.82 และ 3.81 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ส่วนแปลงที่มีปริมาณ extractable Cu น้อยที่สุด คือ แปลงที่ใช้ น้ำสกัดมูลนกกระทาไข่ร่วมกับปุ๋ยเคมีน้ำ แปลงที่ใช้ น้ำสกัดมูลนกกระทาไข่ และแปลงที่ใช้ น้ำสกัดมูลไก่ไข่ ซึ่งมีปริมาณ extractable Cu ในดินหลังการปลูก เท่ากับ 3.02, 3.05 และ 3.31 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่าปริมาณ extractable Cu ของดินหลังการปลูกใน คำนับการทดลองทุกแปลงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจาก 2.91 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม เมื่อก่อนปลูกเป็น 3.02 – 4.27 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ระดับที่สูงมาก (Jones, 2001) แต่จัดอยู่ในช่วงของดินใน แถบร้อน (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2544) ดังรายละเอียดในตารางที่ 25

**ตารางที่ 25** ปริมาณทองแดง และเหล็กที่สกัดได้ (extractable Cu and Fe) ของตัวอย่างดินแต่ละ คำนับการทดลองก่อนปลูกและหลังเก็บเกี่ยว

คำนับการทดลอง	ปริมาณที่สกัดได้ (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)			
	ทองแดง		เหล็ก	
	ก่อนปลูก	หลังปลูก	ก่อนปลูก	หลังปลูก
1. ควบคุม (control)	2.91	3.82 <sup>a</sup>	65.68	254.35 <sup>bc</sup>
2. ปุ๋ยเคมีน้ำ (LCF)	2.91	4.27 <sup>a</sup>	65.68	274.30 <sup>ab</sup>
3. น้ำสกัดมูลไก่ไข่ร่วมกับปุ๋ยเคมีน้ำ (LME + LCF)	2.91	3.81 <sup>a</sup>	65.68	288.82 <sup>a</sup>
4. น้ำสกัดมูลไก่ไข่ (LME)	2.91	3.31 <sup>b</sup>	65.68	271.17 <sup>ab</sup>
5. น้ำสกัดมูลนกกระทาไข่ร่วมกับปุ๋ยเคมีน้ำ (QME + LCF)	2.91	3.02 <sup>b</sup>	65.68	230.51 <sup>c</sup>
6. น้ำสกัดมูลนกกระทาไข่ (QME)	2.91	3.05 <sup>b</sup>	65.68	171.57 <sup>d</sup>
F-test	-	*	-	*
CV (%)	-	16.54	-	18.78

**หมายเหตุ** a b c d ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันที่มีอักษรแตกต่างกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ )

\* หมายถึง แตกต่างกันทางสถิติ ( $p < 0.05$ )

ปริมาณเหล็กที่สกัดได้ (extractable Fe) ในดินก่อนปลูก เท่ากับ 65.68 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และดินหลังปลูก พบว่า ค่ารับการทดลองทุกแปลงมีค่า extractable Fe แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) โดยแปลงที่ใช้ปุ๋ยสัปดาห์ละ 1 กิโลกรัมร่วมกับปุ๋ยเคมีน้ำมี extractable Fe ในดินหลังปลูกมากที่สุด คือ 288.82 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และแปลงที่ใช้ปุ๋ยสัปดาห์ละ 1 กิโลกรัมร่วมกับปุ๋ยเคมีน้ำมี extractable Fe ในดินหลังปลูกน้อยที่สุด คือ 171.57 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม นอกจากนี้ยังพบว่าปริมาณ extractable Fe ของดินหลังการปลูกในค่ารับการทดลองทุกแปลงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นมาก โดยเพิ่มขึ้นจาก 65.68 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม เมื่อก่อนปลูกเป็น 171.57 – 288.82 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ดังรายละเอียดในตารางที่ 25 เนื่องจากการปลูกข้าวครั้งนี้อยู่ในสภาพน้ำขัง และเป็นสภาพที่ไม่มีสภาพออกซิเจน (anaerobic system) ทำให้เกิดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ( $H_2S$ ) และเฟอร์รัสซัลไฟด์ ( $FeS$ ) ดังนั้นสภาพดินน้ำขังจึงมีปริมาณเฟอร์รัส ( $Fe^{2+}$ ) สูงขึ้นด้วย ซึ่งสอดคล้องกับตารางที่ 25 (Tanaka *et al.*, 1968; Snyder and Jones, 1988; Fageria, 2003) อีกสาเหตุหนึ่งที่สำคัญที่ทำให้ปริมาณเฟอร์รัสในดินมาก เพราะเกิดปฏิกิริยารีดักชัน (reduction) โดยเหล็ก  $Fe^{3+}$  ถูกรีดิวซ์ได้เหล็ก  $Fe^{2+}$  กระบวนการดังกล่าวเกิดขึ้นจากกระบวนการหายใจของจุลินทรีย์ (Patrick and Reddy, 1978) Benckiser *et al.* (1984) พบว่า ดินที่มีธาตุแคลเซียม แมกนีเซียม โพแทสเซียม และฟอสฟอรัสลดลง พืชที่ปลูกในบริเวณนั้นจะมีปริมาณ  $Fe^{2+}$  ในดินมากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองที่แคลเซียม แมกนีเซียม โพแทสเซียม และฟอสฟอรัสลดลง (ดังตารางที่ 21 - 23)

#### 6) ปริมาณแมงกานีส และสังกะสีที่สกัดได้ (extractable Mn and Zn)

ปริมาณแมงกานีสที่สกัดได้ (extractable Mn) ในดินก่อนปลูก เท่ากับ 49.16 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และดินหลังปลูก พบว่า ปริมาณ extractable Mn ของแต่ละค่ารับการทดลอง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) โดยแปลงที่มีปริมาณ extractable Mn มากที่สุด คือ แปลงที่ใช้ปุ๋ยสัปดาห์ละ 1 กิโลกรัมร่วมกับปุ๋ยเคมีน้ำ แปลงที่ใช้ปุ๋ยเคมีน้ำ แปลงควบคุม แปลงที่ใช้ปุ๋ยสัปดาห์ละ 1 กิโลกรัม และแปลงที่ใช้ปุ๋ยสัปดาห์ละ 1 กิโลกรัมร่วมกับปุ๋ยเคมีน้ำ ซึ่งมีปริมาณ extractable Mn ในดินหลังการปลูก เท่ากับ 124.86, 116.43, 115.43, 105.00 และ 100.97 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ส่วนแปลงที่ใช้ปุ๋ยสัปดาห์ละ 1 กิโลกรัมร่วมกับปุ๋ยเคมีน้ำมีปริมาณ extractable Mn ในดินหลังปลูกน้อยที่สุด คือ 55.69 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม นอกจากนี้ยังพบว่าปริมาณ extractable Mn ของดินหลังการปลูกในค่ารับการทดลองทุกแปลงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจาก 49.16 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม เมื่อก่อนปลูกเป็น 55.69 – 115.43 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ดังรายละเอียดในตารางที่ 26

ตารางที่ 26 ปริมาณแมงกานีส และสังกะสีที่สกัดได้ (extractable Mn and Zn) ของตัวอย่างดินแต่ ละตำรับการทดลองก่อนปลูกและหลังเก็บเกี่ยว

ตำรับการทดลอง	ปริมาณที่สกัดได้ (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)			
	แมงกานีส		สังกะสี	
	ก่อนปลูก	หลังปลูก	ก่อนปลูก	หลังปลูก
1. ควบคุม (control)	49.16	115.43 <sup>a</sup>	2.41	3.47 <sup>ab</sup>
2. ปุ๋ยเคมีน้ำ (LCF)	49.16	116.43 <sup>a</sup>	2.41	4.06 <sup>a</sup>
3. น้ำสกัดมูลไก่ไข่ร่วมกับปุ๋ยเคมีน้ำ (LME + LCF)	49.16	124.86 <sup>a</sup>	2.41	4.07 <sup>a</sup>
4. น้ำสกัดมูลไก่ไข่ (LME)	49.16	105.00 <sup>a</sup>	2.41	3.34 <sup>b</sup>
5. น้ำสกัดมูลนกกระทาไข่ร่วมกับปุ๋ยเคมีน้ำ (QME + LCF)	49.16	100.97 <sup>a</sup>	2.41	3.08 <sup>bc</sup>
6. น้ำสกัดมูลนกกระทาไข่ (QME)	49.16	55.69 <sup>b</sup>	2.41	2.57 <sup>c</sup>
F-test	-	*	-	*
CV (%)	-	30.71	-	15.00

หมายเหตุ a b c ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันที่มีอักษรแตกต่างกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ )

\* หมายถึง แตกต่างกันทางสถิติ ( $p < 0.05$ )

ปริมาณสังกะสีที่สกัดได้ (extractable Zn) ในดินก่อนปลูก เท่ากับ 2.41 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ระดับปานกลาง (Jones, 2001) และดินหลังปลูก พบว่า ปริมาณ extractable Zn ของแต่ละตำรับการทดลองแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) โดยแปลงที่มีปริมาณ extractable Zn มากที่สุด คือ แปลงที่ใช้ น้ำสกัดมูลไก่ไข่ร่วมกับปุ๋ยเคมีน้ำ และแปลงที่ใช้ปุ๋ยเคมีน้ำ ซึ่งมีปริมาณ extractable Zn ในดินหลังการปลูก เท่ากับ 4.07 และ 4.06 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ส่วนแปลงที่ใช้ น้ำสกัดมูลนกกระทาไข่มีปริมาณ extractable Zn ในดินหลังปลูกน้อยที่สุด คือ 2.57 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม นอกจากนี้ยังพบว่าปริมาณ extractable Zn ของดินหลังการปลูกในตำรับการทดลองทุกแปลงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจาก 2.41 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

เมื่อก่อนปลูกเป็น 2.57 – 4.07 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ระดับที่สูง (Jones, 2001) ดังรายละเอียดในตารางที่ 26

ทั้งนี้การเพิ่มขึ้นของ extractable Fe, Mn, Cu และ Zn ของดินหลังปลูก เป็นผลมาจากการลดลงของค่า pH ในดิน คือ หากค่า pH ของดินลดลง การละลายและความเป็นประโยชน์ของธาตุเหล็ก แมงกานีส ทองแดง และสังกะสีจะเพิ่มมากขึ้นตามไปด้วย (ขงยุทธ, 2548; Barker and Pilbeam, 2007) ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองในครั้งนี้ที่มีค่า pH ของดินหลังปลูกลดลง

## 2.2 ปริมาณธาตุอาหารในพืช

### 2.2.1 ปริมาณไนโตรเจนในลำต้น ใบ และเมล็ด (N quantity in stem, leaf and grain)

การสะสมของธาตุไนโตรเจนในลำต้น ใบ และเมล็ดในระยะเก็บเกี่ยว พบว่าธาตุไนโตรเจนมีการสะสมไว้ในเนื้อเยื่อใบมากที่สุด เท่ากับ 1.19 – 1.98 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือส่วนของเมล็ดมีการสะสมของธาตุไนโตรเจนอยู่ระหว่าง 1.57 – 1.76 เปอร์เซ็นต์ และลำต้นมีการสะสมของธาตุไนโตรเจนน้อยที่สุด เท่ากับ 0.84 – 1.20 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ยังพบว่า ปริมาณไนโตรเจนในลำต้น (stem) ของแต่ละดำรับการทดลองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) โดยดำรับการทดลองที่มีปริมาณไนโตรเจนในลำต้นข้าวมากที่สุด คือ แปลงที่ใช้ปุ๋ยเคมีน้ำ แปลงที่ใช้น้ำสกัดมูลไก่ไข่ร่วมกับปุ๋ยเคมีน้ำ แปลงควบคุม และแปลงที่ใช้น้ำสกัดมูลไก่ไข่ ซึ่งมีปริมาณไนโตรเจนในลำต้น เท่ากับ 1.20, 1.19, 1.16 และ 1.05 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ส่วนดำรับการทดลองที่มีปริมาณไนโตรเจนในลำต้นข้าวน้อยที่สุด คือ แปลงที่ใช้น้ำสกัดมูลนกกกระทาไข่ร่วมกับปุ๋ยเคมีน้ำ และแปลงที่ใช้น้ำสกัดมูลนกกกระทาไข่ ซึ่งมีปริมาณไนโตรเจนในลำต้น เท่ากับ 0.84 และ 0.86 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ไนโตรเจนในใบ (leaf) ของแต่ละดำรับการทดลองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเช่นเดียวกัน โดยดำรับการทดลองที่มีปริมาณไนโตรเจนในใบมากที่สุด คือ แปลงที่ใช้น้ำสกัดมูลไก่ไข่ร่วมกับปุ๋ยเคมีน้ำ แปลงควบคุม แปลงที่ใช้น้ำสกัดมูลไก่ไข่ และแปลงที่ใช้น้ำสกัดมูลไก่ไข่ ซึ่งมีปริมาณไนโตรเจนในใบข้าว เท่ากับ 1.98, 1.80, 1.80 และ 1.68 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ส่วนดำรับการทดลองที่มีปริมาณไนโตรเจนในใบข้าวน้อยที่สุด คือ แปลงที่ใช้น้ำสกัดมูลนกกกระทาไข่ และแปลงที่ใช้น้ำสกัดมูลนกกกระทาไข่ร่วมกับปุ๋ยเคมีน้ำ ซึ่งมีปริมาณไนโตรเจนในใบข้าว เท่ากับ 1.19 และ 1.30 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ส่วนไนโตรเจนในเมล็ด (grain) ของแต่ละดำรับการทดลองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเช่นเดียวกัน โดยแปลงควบคุมมี

ไนโตรเจนในเมล็ดข้าวมากที่สุด คือ 1.76 เปอร์เซ็นต์ และแปลงที่ใช้น้ำสกัดมูลนกกะทาจ่วมกับปุ๋ยเคมีน้ำมีไนโตรเจนในเมล็ดน้อยที่สุด คือ 0.84 เปอร์เซ็นต์ ดังแสดงในตารางที่ 27

ตารางที่ 27 ปริมาณไนโตรเจนในลำต้น ใบ และเมล็ด (เปอร์เซ็นต์) ของข้าวหอมพันธุ์ปิ่นเกษตร 1 ในระยะเก็บเกี่ยว ที่ได้รับการทดลองต่าง ๆ

ได้รับการทดลอง	ไนโตรเจน (เปอร์เซ็นต์)		
	ลำต้น	ใบ	เมล็ด
1. ควบคุม (control)	1.16 <sup>a</sup>	1.80 <sup>a</sup>	1.76 <sup>a</sup>
2. ปุ๋ยเคมีน้ำ (LCF)	1.20 <sup>a</sup>	1.80 <sup>a</sup>	1.73 <sup>ab</sup>
3. น้ำสกัดมูลไก่จ่วมกับปุ๋ยเคมีน้ำ (LME + LCF)	1.19 <sup>a</sup>	1.98 <sup>a</sup>	1.74 <sup>ab</sup>
4. น้ำสกัดมูลไก่ (LME)	1.05 <sup>a</sup>	1.68 <sup>a</sup>	1.70 <sup>abc</sup>
5. น้ำสกัดมูลนกกะทาจ่วมกับปุ๋ยเคมีน้ำ (QME + LCF)	0.84 <sup>b</sup>	1.30 <sup>b</sup>	1.57 <sup>c</sup>
6. น้ำสกัดมูลนกกะทาจ (QME)	0.86 <sup>b</sup>	1.19 <sup>b</sup>	1.59 <sup>ab</sup>
F-test	*	*	*
CV (%)	17.95	23.06	8.02

หมายเหตุ a b c ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันที่มีอักษรแตกต่างกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ )

\* หมายถึง แตกต่างกันทางสถิติ ( $p < 0.05$ )

จากการทดลองแสดงให้เห็นว่า ปริมาณไนโตรเจนในลำต้น (0.84 – 1.20 เปอร์เซ็นต์) ใบ (1.19 – 1.98 เปอร์เซ็นต์) และเมล็ด (1.57 – 1.76 เปอร์เซ็นต์) อยู่ในระดับที่พบได้ในพืช ซึ่งมีเกณฑ์อยู่ในช่วง 0.2 – 4 เปอร์เซ็นต์ (ศรีสม, 2547) ในส่วนของต้นข้าวในแปลงที่ใช้น้ำสกัดมูลนกกะทาจ่วมกับปุ๋ยเคมีน้ำ และแปลงที่ใช้น้ำสกัดมูลนกกะทาจที่มีปริมาณไนโตรเจนในลำต้น ใบ และเมล็ดน้อยกว่าได้รับการทดลองอื่น ๆ อาจเกิดมาจากข้าวที่ปลูกในได้รับการทดลองทั้งสองนี้ มีการแตกกอ และผลผลิตมากกว่า ทำให้ไนโตรเจนเคลื่อนย้ายกระจายไปสู่ส่วนต่าง ๆ เพื่อช่วยในการสังเคราะห์แสง เนื่องจากไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบของคลอโรฟิลล์ นอกจากนี้ยังเป็นองค์ประกอบที่สำคัญของฮอร์โมนพืช คือ ออกซิน และไซโตไคนิน (ยงยุทธ, 2552ข; ลิลลี่ และ

คณะ, 2552) อีกทั้งถูกนำไปใช้สังเคราะห์อินทรีย์สารหลายชนิด โดยสะสมในแหล่งที่มีการเคลื่อนย้ายได้ง่าย และถูกลำเลียงทางโฟลเอ็มไปเลี้ยงส่วนต่าง ๆ ได้เร็ว (Below *et al.*, 1985)

## 2.2.2 ปริมาณฟอสฟอรัสในลำต้น ใบ และเมล็ด (P quantity in stem, leaf and grain)

การสะสมของธาตุฟอสฟอรัสในลำต้น ใบ และเมล็ดในระยะเก็บเกี่ยว พบว่า ธาตุฟอสฟอรัสมีการสะสมไว้ในเนื้อเยื่อเมล็ดมากที่สุด เท่ากับ 0.53 – 0.67 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือ ส่วนของลำต้นมีการสะสมของธาตุฟอสฟอรัสอยู่ระหว่าง 0.15 – 0.19 เปอร์เซ็นต์ และใบมีการสะสมของธาตุฟอสฟอรัสน้อยที่สุด เท่ากับ 0.12 – 0.18 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ยังพบว่า ปริมาณฟอสฟอรัสในลำต้นของแต่ละตำรับการทดลองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) โดยแปลงที่ใช้ปุ๋ยเคมีน้ำและแปลงที่ใช้น้ำสกัดมูลไก่ไข่มีปริมาณฟอสฟอรัสในลำต้นข้าวมากที่สุด คือ 0.19 เปอร์เซ็นต์ และแปลงที่ใช้น้ำสกัดมูลนกกกระทาไข่มีฟอสฟอรัสในลำต้นน้อยที่สุด คือ 0.15 เปอร์เซ็นต์ ฟอสฟอรัสในใบของแต่ละตำรับการทดลองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเช่นเดียวกัน โดยตำรับการทดลองที่มีปริมาณฟอสฟอรัสในใบข้าวมากที่สุด คือ แปลงที่ใช้น้ำสกัดมูลไก่ไข่ร่วมกับปุ๋ยเคมีน้ำ แปลงที่ใช้น้ำสกัดมูลนกกกระทาไข่ และแปลงที่ใช้น้ำสกัดมูลนกกกระทาไข่ร่วมกับปุ๋ยเคมีน้ำ ซึ่งมีฟอสฟอรัสในใบเท่ากับ 0.18, 0.17, 0.16 และ 0.16 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ส่วนตำรับการทดลองที่มีปริมาณฟอสฟอรัสในใบข้าวน้อยที่สุด คือ แปลงที่ใช้น้ำสกัดมูลนกกกระทาไข่ และแปลงที่ใช้น้ำสกัดมูลนกกกระทาไข่ร่วมกับปุ๋ยเคมีน้ำ ซึ่งมีฟอสฟอรัสในใบเท่ากับ 0.12 และ 0.13 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ส่วนฟอสฟอรัสในเมล็ดของแต่ละตำรับการทดลองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเช่นเดียวกัน โดยแปลงที่ใช้น้ำสกัดมูลนกกกระทาไข่มีปริมาณฟอสฟอรัสในเมล็ดข้าวมากที่สุด คือ 0.67 เปอร์เซ็นต์ และแปลงที่ใช้น้ำสกัดมูลนกกกระทาไข่ร่วมกับปุ๋ยเคมีน้ำมีฟอสฟอรัสในเมล็ดน้อยที่สุด คือ 0.53 เปอร์เซ็นต์ ดังแสดงในตารางที่ 28

ตารางที่ 28 ปริมาณฟอสฟอรัสในลำต้น ใบ และเมล็ด (เปอร์เซ็นต์) ของข้าวหอมพันธุ์ปิ่นเกษตร 1 ในระยะเก็บเกี่ยว ที่ได้รับการทดลองต่าง ๆ

ได้รับการทดลอง	ฟอสฟอรัส (เปอร์เซ็นต์)		
	ลำต้น	ใบ	เมล็ด
1. ควบคุม (control)	0.18 <sup>ab</sup>	0.16 <sup>a</sup>	0.63 <sup>ab</sup>
2. ปุ๋ยเคมีน้ำ (LCF)	0.19 <sup>a</sup>	0.17 <sup>a</sup>	0.64 <sup>ab</sup>
3. น้ำสกัดมูลไก่ไข่ร่วมกับปุ๋ยเคมีน้ำ (LME + LCF)	0.18 <sup>ab</sup>	0.18 <sup>a</sup>	0.53 <sup>c</sup>
4. น้ำสกัดมูลไก่ไข่ (LME)	0.19 <sup>a</sup>	0.16 <sup>a</sup>	0.61 <sup>ab</sup>
5. น้ำสกัดมูลนกกระทาไข่ร่วมกับปุ๋ยเคมีน้ำ (QME + LCF)	0.16 <sup>bc</sup>	0.13 <sup>b</sup>	0.59 <sup>bc</sup>
6. น้ำสกัดมูลนกกระทาไข่ (QME)	0.15 <sup>c</sup>	0.12 <sup>b</sup>	0.67 <sup>a</sup>
F-test	*	*	*
CV (%)	16.67	17.38	10.94

หมายเหตุ a b c ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันที่มีอักษรแตกต่างกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ )

\* หมายถึง แตกต่างกันทางสถิติ ( $p < 0.05$ )

จากการทดลองแสดงให้เห็นว่า ปริมาณฟอสฟอรัสในลำต้น (0.15 – 0.19 เปอร์เซ็นต์) และใบ (0.12 – 0.18 เปอร์เซ็นต์) อยู่ในระดับที่ต่ำกว่าเกณฑ์ในพืช ซึ่งมีเกณฑ์อยู่ในช่วง 0.2 – 0.5 เปอร์เซ็นต์ (ศรีสม, 2547) แต่พบว่าในเมล็ด (0.53 – 0.67 เปอร์เซ็นต์) มีปริมาณฟอสฟอรัสอยู่ในระดับที่เพียงพอ และจัดว่าไม่เป็นพิษต่อพืช คือ มีปริมาณฟอสฟอรัสน้อยกว่า 1 เปอร์เซ็นต์ (ขงยุทธ, 2552ข) ในส่วนของแปลงที่ใช้ น้ำสกัดมูลนกกระทาไข่มีปริมาณฟอสฟอรัสในลำต้นและใบน้อยกว่าได้รับการทดลองอื่น ๆ แต่มีปริมาณฟอสฟอรัสในเมล็ดมากกว่า อาจเกิดจากสาเหตุเกี่ยวกับการเคลื่อนย้ายของไนโตรเจนไปยังส่วนต่าง ๆ เนื่องจากฟอสฟอรัสและไนโตรเจนมีอันตรกิริยาแบบมีผลเสริมกัน (synergistic effect) ในด้านการดูดธาตุและการเจริญเติบโตของพืช ส่วนการที่พบฟอสฟอรัสสะสมในเมล็ดมากกว่าส่วนอื่น ๆ ของข้าว เพราะฟอสฟอรัสเป็นธาตุที่มีการสะสมในเมล็ดมากที่สุด (ขงยุทธ, 2552ข)

### 2.2.3 ปริมาณโพแทสเซียมในลำต้น ใบ และเมล็ด (K quantity in stem, leaf and grain)

การสะสมของธาตุโพแทสเซียมในลำต้น ใบ และเมล็ดในระยะเก็บเกี่ยว พบว่า ธาตุโพแทสเซียมมีการสะสมไว้ในเนื้อเยื่อลำต้นมากที่สุด เท่ากับ 1.38 – 1.82 เปอร์เซ็นต์ รองลงมา คือ ส่วนของใบมีการสะสมของธาตุโพแทสเซียมอยู่ระหว่าง 0.89 – 1.07 เปอร์เซ็นต์ และเมล็ดมีการสะสมของธาตุโพแทสเซียมน้อยที่สุด เท่ากับ 0.57 – 0.68 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ยังพบว่า ปริมาณโพแทสเซียมในลำต้นของแต่ละดำรับการทดลองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) โดยแปลงที่ใช้น้ำสกัดมูลไก่ไข่มีปริมาณโพแทสเซียมในลำต้นข้าวมากที่สุด คือ 1.82 เปอร์เซ็นต์ ส่วนดำรับการทดลองที่มีปริมาณโพแทสเซียมในลำต้นข้าวน้อยที่สุด คือ แปลงควบคุม แปลงที่ใช้น้ำสกัดมูลไก่ไข่ร่วมกับปุ๋ยเคมีน้ำ และแปลงที่ใช้น้ำปุ๋ยเคมีน้ำ ซึ่งมีปริมาณโพแทสเซียมในลำต้น เท่ากับ 1.38, 1.40 และ 1.41 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ โพแทสเซียมในใบของแต่ละดำรับการทดลองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเช่นเดียวกัน โดยแปลงควบคุม และแปลงที่ใช้น้ำสกัดมูลไก่ไข่ร่วมกับปุ๋ยเคมีน้ำมีปริมาณโพแทสเซียมในใบข้าวมากที่สุด คือ 1.07 เปอร์เซ็นต์ และแปลงที่ใช้น้ำสกัดมูลนกกระทาไข่มีโพแทสเซียมในใบน้อยที่สุด คือ 0.89 เปอร์เซ็นต์ ส่วนโพแทสเซียมในเมล็ดของแต่ละดำรับการทดลองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเช่นเดียวกัน โดยดำรับการทดลองที่มีปริมาณโพแทสเซียมในเมล็ดข้าวมากที่สุด คือ แปลงที่ใช้น้ำปุ๋ยเคมีน้ำ แปลงควบคุม และแปลงที่ใช้น้ำสกัดมูลนกกระทาไข่ ซึ่งมีปริมาณโพแทสเซียมในเมล็ด เท่ากับ 0.68, 0.66 และ 0.66 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ส่วนดำรับการทดลองที่มีปริมาณโพแทสเซียมน้อยที่สุด คือ แปลงที่ใช้น้ำสกัดมูลไก่ไข่ร่วมกับปุ๋ยเคมีน้ำและแปลงที่ใช้น้ำสกัดมูลนกกระทาไข่ร่วมกับปุ๋ยเคมีน้ำ ซึ่งมีปริมาณโพแทสเซียมในเมล็ด เท่ากับ 0.57 และ 0.59 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 29

ตารางที่ 29 ปริมาณโพแทสเซียมในลำต้น ใบ และเมล็ด (เปอร์เซ็นต์) ของข้าวหอม พันธุ์ปิ่นเกษตร 1 ในระยะเก็บเกี่ยว ที่ได้รับการทดลองต่าง ๆ

ได้รับการทดลอง	โพแทสเซียม (เปอร์เซ็นต์)		
	ลำต้น	ใบ	เมล็ด
1. ควบคุม (control)	1.38 <sup>c</sup>	1.07 <sup>a</sup>	0.66 <sup>a</sup>
2. ปุ๋ยเคมีน้ำ (LCF)	1.41 <sup>c</sup>	0.97 <sup>abc</sup>	0.68 <sup>a</sup>
3. น้ำสกัดมูลไก่ไข่ร่วมกับปุ๋ยเคมีน้ำ (LME + LCF)	1.40 <sup>c</sup>	1.07 <sup>a</sup>	0.57 <sup>b</sup>
4. น้ำสกัดมูลไก่ไข่ (LME)	1.82 <sup>a</sup>	1.01 <sup>ab</sup>	0.63 <sup>ab</sup>
5. น้ำสกัดมูลนกกระทาไข่ร่วมกับปุ๋ยเคมีน้ำ (QME + LCF)	1.69 <sup>ab</sup>	0.93 <sup>bc</sup>	0.59 <sup>b</sup>
6. น้ำสกัดมูลนกกระทาไข่ (QME)	1.51 <sup>bc</sup>	0.89 <sup>c</sup>	0.66 <sup>a</sup>
F-test	*	*	*
CV (%)	14.90	10.12	9.61

หมายเหตุ a b c ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันที่มีอักษรแตกต่างกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ )

\* หมายถึง แตกต่างกันทางสถิติ ( $p < 0.05$ )

จากการทดลองแสดงให้เห็นว่า ปริมาณโพแทสเซียมในลำต้น (1.38 – 1.82 เปอร์เซ็นต์) ใบ (0.89 – 1.07 เปอร์เซ็นต์) และเมล็ด (0.57 – 0.68 เปอร์เซ็นต์) อยู่ในระดับที่พบได้ในพืช ซึ่งมีเกณฑ์อยู่ในช่วง 0.2 – 3.5 เปอร์เซ็นต์ (ศรีสม, 2547) ในส่วนของแปลงที่ใช้ น้ำสกัดมูลนกกระทาไข่มีค่าโพแทสเซียมในใบต่ำกว่าได้รับการทดลองอื่น ๆ เนื่องจากต้นข้าวมีแนวโน้มการดูดซึมโพแทสเซียมไปสะสมอยู่ในส่วนของเมล็ดมาก จึงส่งผลให้มีผลผลิตข้าวมากที่สุด เพราะโพแทสเซียมมีบทบาทสำคัญในการช่วยปลูกฤทธิ์เอนไซม์ที่สร้างแป้ง คือ เอนไซม์ starch synthetase ซึ่งเร่งปฏิกิริยาการถ่ายโอนกลูโคสไปยังโมเลกุลของแป้ง (ยงยุทธ, 2552ข) ทำให้ข้าวจากแปลงที่ใช้ น้ำสกัดมูลนกกระทาไข่ที่มีการสะสมของโพแทสเซียมในเมล็ดมากมีแป้งเต็มเมล็ด และมีน้ำหนัก 1,000 เมล็ด รวมทั้งผลผลิตทั้งหมดมากที่สุด

#### 2.2.4 ปริมาณแคลเซียมในลำต้น ใบ และเมล็ด (Ca quantity in stem, leaf and grain)

การสะสมของธาตุแคลเซียมในลำต้น ใบ และเมล็ดในระยะเก็บเกี่ยว พบว่า ธาตุแคลเซียมมีการสะสมไว้ในเนื้อเยื่อลำต้นมากที่สุด เท่ากับ 709.32 – 1,267.57 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม รองลงมาคือ ส่วนของใบมีการสะสมของธาตุแคลเซียมอยู่ระหว่าง 783.66 – 876.24 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และเมล็ดมีการสะสมของธาตุแคลเซียมน้อยที่สุด เท่ากับ 77.41 – 126.97 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม นอกจากนี้ยังพบว่า ปริมาณแคลเซียมในลำต้นของแต่ละการทดลองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) โดยแปลงควบคุมมีปริมาณแคลเซียมในลำต้นข้าวมากที่สุด คือ 1,267.57 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ส่วนการทดลองที่มีปริมาณแคลเซียมในลำต้นข้าวน้อยที่สุด คือ แปลงที่ใช้น้ำสกัดมูลนกกะทาชี้ร่วมกับปุ๋ยเคมีน้ำ แปลงที่ใช้น้ำสกัดมูลไก่ชี้ร่วมกับปุ๋ยเคมีน้ำ และแปลงที่ใช้น้ำสกัดมูลนกกะทาชี้ ซึ่งมีปริมาณแคลเซียมในลำต้น เท่ากับ 709.32, 927.69 และ 955.03 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ แคลเซียมในใบของแต่ละการทดลองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเช่นเดียวกัน โดยการทดลองที่มีปริมาณแคลเซียมในใบข้าวมากที่สุด คือ แปลงควบคุม แปลงที่ใช้น้ำสกัดมูลไก่ชี้ และแปลงที่ใช้น้ำสกัดมูลนกกะทาชี้ร่วมกับปุ๋ยเคมีน้ำ ซึ่งมีปริมาณแคลเซียมในใบ เท่ากับ 876.24, 866.22 และ 847.73 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ส่วนแปลงที่ใช้น้ำสกัดมูลนกกะทาชี้มีแคลเซียมในใบน้อยที่สุด คือ 783.66 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ส่วนแคลเซียมในเมล็ดของแต่ละการทดลองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเช่นเดียวกัน โดยแปลงควบคุมมีปริมาณแคลเซียมในเมล็ดข้าวมากที่สุด คือ 126.97 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ส่วนการทดลองที่มีปริมาณแคลเซียมในเมล็ดน้อยที่สุด คือ แปลงที่ใช้น้ำสกัดมูลนกกะทาชี้ร่วมกับปุ๋ยเคมีน้ำ และแปลงที่ใช้น้ำสกัดมูลนกกะทาชี้ ซึ่งมีปริมาณแคลเซียมในเมล็ด เท่ากับ 77.41 และ 82.77 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ดังแสดงในตารางที่ 30

ตารางที่ 30 ปริมาณแคลเซียมในลำต้น ใบ และเมล็ด (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ของข้าวหอมพันธุ์ปิ่นเกษตร 1 ในระยะเก็บเกี่ยว ที่ได้รับการทดลองต่าง ๆ

ได้รับการทดลอง	แคลเซียม (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)		
	ลำต้น	ใบ	เมล็ด
1. ควบคุม (control)	1,267.57 <sup>a</sup>	876.24 <sup>a</sup>	126.97 <sup>a</sup>
2. ปุ๋ยเคมีน้ำ (LCF)	1,027.43 <sup>ab</sup>	847.73 <sup>a</sup>	93.47 <sup>bc</sup>
3. น้ำสกัดมูลไก่ไข่ร่วมกับปุ๋ยเคมีน้ำ (LME + LCF)	927.69 <sup>b</sup>	831.83 <sup>ab</sup>	109.61 <sup>ab</sup>
4. น้ำสกัดมูลไก่ไข่ (LME)	1,019.88 <sup>ab</sup>	866.22 <sup>a</sup>	107.85 <sup>ab</sup>
5. น้ำสกัดมูลนกกระทาไข่ร่วมกับปุ๋ยเคมีน้ำ (QME + LCF)	709.32 <sup>b</sup>	828.42 <sup>ab</sup>	77.41 <sup>c</sup>
6. น้ำสกัดมูลนกกระทาไข่ (QME)	955.03 <sup>b</sup>	783.66 <sup>b</sup>	82.77 <sup>c</sup>
F-test	*	*	*
CV (%)	28.59	6.07	22.96

หมายเหตุ a b c ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันที่มีอักษรแตกต่างกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ )

\* หมายถึง แตกต่างกันทางสถิติ ( $p < 0.05$ )

จากการทดลองแสดงให้เห็นว่า ปริมาณแคลเซียมในลำต้น (709.32 – 1,267.57 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ใบ (783.66 – 876.24 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) และเมล็ด (77.41 – 126.97 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) อยู่ในระดับที่พอเพียง คือ 1,000 – 10,000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และอยู่ในระดับที่พบได้ในพืช คือ น้อยกว่า 1,000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (ศรีสม, 2547) ในส่วนของการสะสมแคลเซียมที่เมล็ดน้อยกว่าส่วนอื่น ๆ ของข้าว เพราะแคลเซียมเคลื่อนย้ายมาทางโพลีเอมได้น้อยมาก เนื่องจากแคลเซียมที่สะสมแล้วในส่วนหนึ่งจะไม่ค่อยเคลื่อนย้ายไปยังส่วนอื่น ๆ เพราะแคลเซียมที่อยู่ในโพลีเอมจะทำปฏิกิริยากับฟอสเฟตไอออนแล้วตกตะกอน หมายความว่า แทบจะไม่มีการลำเลียงแคลเซียมทางโพลีเอมมาสู่ผลได้ แต่พบว่าแคลเซียมไอออนที่เคลื่อนย้ายทางไซเล็มสู่ส่วนเหนือดินและกระจายไปยังส่วนต่าง ๆ มีความสัมพันธ์กันโดยตรงกับปริมาณการคายน้ำ ดังนั้น ใบจึงมีการสะสมแคลเซียมได้มากกว่าผล (ขงยุทธ, 2552ข)

### 2.2.5 ปริมาณแมกนีเซียมในลำต้น ใบ และเมล็ด (Mg quantity in stem, leaf and grain)

การสะสมของธาตุแมกนีเซียมในลำต้น ใบ และเมล็ดในระยะเก็บเกี่ยว พบว่า ธาตุแมกนีเซียมมีการสะสมไว้ในเนื้อเยื่อใบมากที่สุด เท่ากับ 0.31 – 0.33 เปอร์เซ็นต์ รองลงมา คือ ส่วนของเมล็ดมีการสะสมของธาตุแมกนีเซียมอยู่ระหว่าง 0.24 – 0.30 เปอร์เซ็นต์ และลำต้นมีการสะสมของธาตุแมกนีเซียมน้อยที่สุด เท่ากับ 0.17 – 0.24 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ยังพบว่า ปริมาณแมกนีเซียมในลำต้นของแต่ละการทดลองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) โดยแปลงที่ใช้ปุ๋ยเคมีน้ำมีปริมาณแมกนีเซียมในลำต้นข้าวมากที่สุด คือ 0.24 เปอร์เซ็นต์ ส่วนการทดลองที่มีปริมาณแมกนีเซียมในลำต้นน้อยที่สุด คือ แปลงควบคุม และแปลงที่ใช้น้ำสกัดมูลไก่ไข่ร่วมกับปุ๋ยเคมีน้ำ ซึ่งมีปริมาณแมกนีเซียมในลำต้นเท่ากัน คือ 0.17 เปอร์เซ็นต์ แมกนีเซียมในใบของแต่ละการทดลองมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) แมกนีเซียมในเมล็ดของแต่ละการทดลองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) โดยแปลงที่ใช้น้ำสกัดมูลนกกระทาไข่มีปริมาณแมกนีเซียมในเมล็ดข้าวมากที่สุด คือ 0.30 เปอร์เซ็นต์ ส่วนการทดลองที่มีปริมาณแมกนีเซียมในเมล็ดข้าวน้อยที่สุด คือ แปลงที่ใช้น้ำสกัดมูลไก่ไข่ร่วมกับปุ๋ยเคมีน้ำ และแปลงที่ใช้น้ำสกัดมูลนกกระทาไข่ร่วมกับปุ๋ยเคมีน้ำ ซึ่งมีแมกนีเซียมในเมล็ด เท่ากับ 0.24 และ 0.26 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 31

ตารางที่ 31 ปริมาณแมกนีเซียมในลำต้น ใบ และเมล็ด (เปอร์เซ็นต์) ของข้าวหอมพันธุ์ปิ่นเกษตร 1 ในระยะเก็บเกี่ยว ที่ได้รับการทดลองต่าง ๆ

ได้รับการทดลอง	แมกนีเซียม (เปอร์เซ็นต์)		
	ลำต้น	ใบ	เมล็ด
1. ควบคุม (control)	0.17 <sup>c</sup>	0.32	0.27 <sup>ab</sup>
2. ปุ๋ยเคมีน้ำ (LCF)	0.24 <sup>a</sup>	0.31	0.28 <sup>ab</sup>
3. น้ำสกัดมูลไก่ไข่ร่วมกับปุ๋ยเคมีน้ำ (LME + LCF)	0.17 <sup>c</sup>	0.32	0.24 <sup>b</sup>
4. น้ำสกัดมูลไก่ไข่ (LME)	0.20 <sup>b</sup>	0.33	0.27 <sup>ab</sup>
5. น้ำสกัดมูลนกกกระทาไข่ร่วมกับปุ๋ยเคมีน้ำ (QME + LCF)	0.20 <sup>b</sup>	0.31	0.26 <sup>b</sup>
6. น้ำสกัดมูลนกกกระทาไข่ (QME)	0.22 <sup>ab</sup>	0.32	0.30 <sup>a</sup>
F-test	*	ns	*
CV (%)	16.61	8.29	12.33

หมายเหตุ a b c ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันที่มีอักษรแตกต่างกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ )

\* หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ )

ns หมายถึง ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $p > 0.05$ )

จากการทดลองแสดงให้เห็นว่า ปริมาณแมกนีเซียมในลำต้น (0.17 – 0.24 เปอร์เซ็นต์) ใบ (0.31 – 0.33 เปอร์เซ็นต์) และเมล็ด (0.24 – 0.30 เปอร์เซ็นต์) อยู่ในระดับที่เพียงพอในพืช ซึ่งมีเกณฑ์อยู่ในช่วง 0.1 – 0.4 เปอร์เซ็นต์ (ศรีสม, 2547) ในส่วนของแปลงที่ใช้ น้ำสกัดมูลนกกกระทาไข่ไม่มีการสะสมของแมกนีเซียมในเมล็ดมากที่สุด ส่งผลให้มีผลผลิตมากที่สุด เนื่องจากแมกนีเซียมมีผลต่อกระบวนการสร้างแป้งในเมล็ด โดยช่วยในการเคลื่อนย้ายน้ำตาลจากแหล่งจ่ายไปยังแหล่งรับ ทำให้เกิดการสังเคราะห์แป้งเพิ่มขึ้น (ยงยุทธ, 2552ข)

### 2.2.6 ปริมาณกำมะถันในลำต้น ใบ และเมล็ด (S quantity in stem, leaf and grain)

การสะสมของธาตุกำมะถันในลำต้น ใบ และเมล็ดในระยะเก็บเกี่ยว พบว่า ธาตุกำมะถันมีการสะสมไว้ในเนื้อเยื่อเมล็ดมากที่สุด เท่ากับ 0.10 – 0.24 เปอร์เซ็นต์ รองลงมา คือ ส่วนของใบมีการสะสมของธาตุกำมะถันอยู่ระหว่าง 0.03 – 0.11 เปอร์เซ็นต์ และลำต้นมีการสะสมของธาตุกำมะถันน้อยที่สุด เท่ากับ 0.04 – 0.07 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ยังพบว่า ปริมาณกำมะถันในลำต้นของแต่ละตำบลการทดลองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) โดยแปลงที่ใช้ปุ๋ยสัคนาคมกลไก้ไขมีปริมาณกำมะถันในลำต้นข้าวมากที่สุด คือ 0.07 เปอร์เซ็นต์ แปลงที่ใช้ปุ๋ยสัคนาคมกลไก้ไขร่วมกับปุ๋ยเคมีน้ำและแปลงที่ใช้ปุ๋ยสัคนาคมกลไก้ไขมีปริมาณกำมะถันในลำต้นน้อยที่สุด คือ 0.04 เปอร์เซ็นต์ กำมะถันในใบของแต่ละตำบลการทดลองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเช่นเดียวกัน โดยแปลงที่ใช้ปุ๋ยสัคนาคมกลไก้ไขมีปริมาณกำมะถันในใบข้าวมากที่สุด คือ 0.11 เปอร์เซ็นต์ ส่วนตำบลการทดลองที่มีปริมาณกำมะถันในใบข้าวน้อยที่สุด คือ แปลงควบคุม แปลงที่ใช้ปุ๋ยเคมีน้ำ และแปลงที่ใช้ปุ๋ยสัคนาคมกลไก้ไขร่วมกับปุ๋ยเคมีน้ำ ซึ่งมีกำมะถันในใบ เท่ากับ 0.03, 0.03 และ 0.04 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ส่วนกำมะถันในเมล็ดของแต่ละตำบลการทดลองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเช่นเดียวกัน โดยตำบลการทดลองที่มีปริมาณกำมะถันในเมล็ดมากที่สุด คือ แปลงที่ใช้ปุ๋ยสัคนาคมกลไก้ไขร่วมกับปุ๋ยเคมีน้ำ แปลงที่ใช้ปุ๋ยสัคนาคมกลไก้ไขร่วมกับปุ๋ยเคมีน้ำ และแปลงที่ใช้ปุ๋ยสัคนาคมกลไก้ไข ซึ่งมีปริมาณกำมะถันในเมล็ด เท่ากับ 0.24, 0.24 และ 0.21 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และแปลงควบคุมมีกำมะถันในเมล็ดน้อยที่สุด คือ 0.10 เปอร์เซ็นต์ ดังแสดงในตารางที่ 32

ตารางที่ 32 ปริมาณกำมะถันในลำต้น ใบ และเมล็ด (เปอร์เซ็นต์) ของข้าวหอมพันธุ์ปิ่นเกษตร 1 ใน ระยะเก็บเกี่ยว ที่ได้รับการทดลองต่าง ๆ

ตำรับการทดลอง	กำมะถัน (เปอร์เซ็นต์)		
	ลำต้น	ใบ	เมล็ด
1. ควบคุม (control)	0.05 <sup>bc</sup>	0.03 <sup>c</sup>	0.10 <sup>c</sup>
2. ปุ๋ยเคมีน้ำ (LCF)	0.06 <sup>ab</sup>	0.03 <sup>c</sup>	0.14 <sup>bc</sup>
3. น้ำสกัดมูลไก่ไข่ร่วมกับปุ๋ยเคมีน้ำ (LME + LCF)	0.05 <sup>bc</sup>	0.04 <sup>c</sup>	0.24 <sup>a</sup>
4. น้ำสกัดมูลไก่ไข่ (LME)	0.07 <sup>a</sup>	0.07 <sup>b</sup>	0.19 <sup>ab</sup>
5. น้ำสกัดมูลนกกระทาไข่ร่วมกับปุ๋ยเคมีน้ำ (QME + LCF)	0.04 <sup>c</sup>	0.08 <sup>b</sup>	0.24 <sup>a</sup>
6. น้ำสกัดมูลนกกระทาไข่ (QME)	0.04 <sup>c</sup>	0.11 <sup>a</sup>	0.21 <sup>a</sup>
F-test	*	*	*
CV (%)	37.80	51.10	38.00

หมายเหตุ a b c ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันที่มีอักษรแตกต่างกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ )

\* หมายถึง แตกต่างกันทางสถิติ ( $p < 0.05$ )

จากการทดลองแสดงให้เห็นว่า ปริมาณกำมะถันในลำต้น (0.04 – 0.07 เปอร์เซ็นต์) ใบ (0.03 – 0.11 เปอร์เซ็นต์) และเมล็ด (0.10 – 0.24 เปอร์เซ็นต์) อยู่ในระดับที่พอเพียงคือ 0.10 – 0.50 เปอร์เซ็นต์ และอยู่ในระดับที่พบได้ในพืช คือ น้อยกว่า 0.10 เปอร์เซ็นต์ (ศรีสม, 2547; ยงยุทธ, 2552ข) ในส่วนของแปลงที่ใช้ น้ำสกัดมูลนกกระทาไข่ มีการสะสมของกำมะถันในใบและเมล็ดมากกว่าตำรับการทดลองอื่น ๆ เนื่องมาจากกำมะถันเป็นองค์ประกอบของโปรตีน (มุกดา, 2544) ซึ่งมีผลต่อการสร้างแป้งในเมล็ด ส่งผลให้มีผลผลิตมากที่สุด

### 2.2.7 ปริมาณคลอโรฟิลล์ในลำต้น ใบ และเมล็ด (CI quantity in stem, leaf and grain)

การสะสมของธาตุคลอโรฟิลล์ในลำต้น ใบ และเมล็ดในระยะเก็บเกี่ยว พบว่า ธาตุคลอโรฟิลล์มีการสะสมไว้ในเนื้อเยื่อลำต้นมากที่สุด เท่ากับ 0.34 – 0.52 เปอร์เซ็นต์ รองลงมา คือ ส่วนของใบมีการสะสมของธาตุคลอโรฟิลล์อยู่ระหว่าง 0.34 – 0.44 เปอร์เซ็นต์ และเมล็ดมีการสะสมของธาตุคลอโรฟิลล์น้อยที่สุด เท่ากับ 0.04 – 0.07 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ยังพบว่า ปริมาณคลอโรฟิลล์ในลำต้นของแต่ละตำรับการทดลองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) โดยแปลงที่ใช้น้ำสกัดมูลไก่ไข่มีปริมาณคลอโรฟิลล์ในลำต้นข้าวมากที่สุด คือ 0.52 เปอร์เซ็นต์ ส่วนตำรับการทดลองที่มีปริมาณคลอโรฟิลล์ในลำต้นข้าวน้อยที่สุด คือ แปลงที่ใช้น้ำสกัดมูลนกกกระทาไข่ แปลงที่ใช้น้ำสกัดมูลไก่ไข่ร่วมกับปุ๋ยเคมีน้ำ แปลงที่ใช้น้ำสกัดมูลนกกกระทาไข่ร่วมกับปุ๋ยเคมีน้ำ แปลงควบคุม และแปลงที่ใช้น้ำสกัดมูลไก่ไข่ ซึ่งมีคลอโรฟิลล์ในลำต้น เท่ากับ 0.34, 0.37, 0.37, 0.38 และ 0.38 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ คลอโรฟิลล์ในใบ ของแต่ละตำรับการทดลองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เช่นเดียวกัน โดยแปลงที่ใช้น้ำสกัดมูลไก่ไข่มีปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบข้าวมากที่สุด คือ 0.44 เปอร์เซ็นต์ ส่วนตำรับการทดลองที่มีปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบข้าวน้อยที่สุด คือ แปลงที่ใช้น้ำสกัดมูลนกกกระทาไข่ แปลงที่ใช้น้ำสกัดมูลไก่ไข่ แปลงที่ใช้น้ำสกัดมูลไก่ไข่ร่วมกับปุ๋ยเคมีน้ำ และแปลงที่ใช้น้ำสกัดมูลนกกกระทาไข่ร่วมกับปุ๋ยเคมีน้ำ ซึ่งมีคลอโรฟิลล์ในใบ เท่ากับ 0.34, 0.36, 0.36, 0.37 และ 0.37 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ คลอโรฟิลล์ในเมล็ดของแต่ละตำรับการทดลองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเช่นเดียวกัน โดยแปลงควบคุมมีปริมาณคลอโรฟิลล์ในเมล็ดข้าวมากที่สุด คือ 0.07 เปอร์เซ็นต์ ส่วนตำรับการทดลองที่มีปริมาณคลอโรฟิลล์ในเมล็ดน้อยที่สุด คือ แปลงที่ใช้น้ำสกัดมูลนกกกระทาไข่ (0.04 เปอร์เซ็นต์) แปลงที่ใช้น้ำสกัดมูลไก่ไข่ แปลงที่ใช้น้ำสกัดมูลไก่ไข่ร่วมกับปุ๋ยเคมีน้ำ น้ำสกัดมูลไก่ไข่ แปลงที่ใช้น้ำสกัดมูลนกกกระทาไข่ร่วมกับปุ๋ยเคมีน้ำ ซึ่งมีปริมาณคลอโรฟิลล์ในเมล็ดเท่ากัน คือ 0.05 เปอร์เซ็นต์ ดังแสดงในตารางที่ 33

ตารางที่ 33 ปริมาณคลอรีนในลำต้น ใบ และเมล็ด (เปอร์เซ็นต์) ของข้าวหอมพันธุ์ปิ่นเกษตร 1 ในระยะเก็บเกี่ยว ที่ได้รับการทดลองต่าง ๆ

ตำรับการทดลอง	คลอรีน (เปอร์เซ็นต์)		
	ลำต้น	ใบ	เมล็ด
1. ควบคุม (control)	0.38 <sup>b</sup>	0.44 <sup>a</sup>	0.07 <sup>a</sup>
2. ปุ๋ยเคมีน้ำ (LCF)	0.38 <sup>b</sup>	0.36 <sup>b</sup>	0.05 <sup>b</sup>
3. น้ำสกัดมูลไก่ไข่ร่วมกับปุ๋ยเคมีน้ำ (LME + LCF)	0.37 <sup>b</sup>	0.37 <sup>b</sup>	0.05 <sup>b</sup>
4. น้ำสกัดมูลไก่ไข่ (LME)	0.52 <sup>a</sup>	0.36 <sup>b</sup>	0.05 <sup>b</sup>
5. น้ำสกัดมูลนกกระทาไข่ร่วมกับปุ๋ยเคมีน้ำ (QME + LCF)	0.37 <sup>b</sup>	0.37 <sup>b</sup>	0.05 <sup>b</sup>
6. น้ำสกัดมูลนกกระทาไข่ (QME)	0.34 <sup>b</sup>	0.34 <sup>b</sup>	0.04 <sup>b</sup>
F-test	*	*	*
CV (%)	19.44	11.02	32.00

หมายเหตุ a b ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันที่มีอักษรแตกต่างกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ )

\* หมายถึง แตกต่างกันทางสถิติ ( $p < 0.05$ )

จากการทดลองแสดงให้เห็นว่า ปริมาณคลอรีนในลำต้น (0.34 – 0.52 เปอร์เซ็นต์) ใบ (0.34 – 0.44 เปอร์เซ็นต์) และเมล็ด (0.04 – 0.07 เปอร์เซ็นต์) จัดอยู่ในระดับที่มากกว่าความต้องการของพืช คือ 2 – 10 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม แต่อยู่ในระดับที่พบในเนื้อเยื่อได้คือไม่เกิน 2 เปอร์เซ็นต์ (ยงยุทธ, 2552ข)

### 2.2.8 ปริมาณโบรอนในลำต้น ใบ และเมล็ด (B quantity in stem, leaf and grain)

การสะสมของธาตุโบรอนในส่วนลำต้น ใบ และเมล็ดในระยะเก็บเกี่ยว พบว่า ธาตุโบรอนมีการสะสมไว้ในเนื้อเยื่อใบมากที่สุด เท่ากับ 9.84 – 10.28 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม รองลงมาคือ ส่วนของลำต้นมีการสะสมของธาตุโบรอนอยู่ระหว่าง 3.06 – 3.87 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และเมล็ดมีการสะสมของธาตุโบรอนน้อยที่สุด เท่ากับ 2.54 – 4.59 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (ซึ่งแปลงที่ใช้ น้ำสกัดมูลไก่ไข่ร่วมกับปุ๋ยเคมีน้ำเป็นตำรับการทดลองเดียวที่มีค่าในช่วง 4 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม แต่ได้รับการ

ทดลองอื่น ๆ จะอยู่ในช่วง 2-3 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) นอกจากนี้ยังพบว่า ปริมาณโบรอนในลำต้น (stem) ของแต่ละตำรับการทดลองมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p>0.05$ ) โบรอนในใบ (leaf) ของแต่ละตำรับการทดลองมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p>0.05$ ) เช่นเดียวกับลำต้น ส่วนโบรอนในเมล็ด (grain) ของแต่ละตำรับการทดลองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p<0.05$ ) โดยแปลงที่ใช้น้ำสกัดมูลไก่ไข่ร่วมกับปุ๋ยเคมีน้ำมีปริมาณโบรอนในเมล็ดข้าวมากที่สุด คือ 4.59 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ส่วนตำรับการทดลองที่มีปริมาณโบรอนในเมล็ดข้าวน้อยที่สุด คือ แปลงที่ใช้น้ำสกัดมูลนกกระทาไข่ร่วมกับปุ๋ยเคมีน้ำ แปลงที่ใช้น้ำสกัดมูลไก่ไข่ และแปลงที่ใช้น้ำปุ๋ยเคมีน้ำ ซึ่งมีปริมาณโบรอนในเมล็ด เท่ากับ 2.54, 2.98 และ 3.01 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 34

ตารางที่ 34 ปริมาณโบรอนในลำต้น ใบ และเมล็ด (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ของข้าวหอมพันธุ์ปิ่นเกษตร 1 ในระยะเก็บเกี่ยว ที่ตำรับการทดลองต่าง ๆ

ตำรับการทดลอง	โบรอน (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)		
	ลำต้น	ใบ	เมล็ด
1. ควบคุม (control)	3.69	10.01	3.61 <sup>ab</sup>
2. ปุ๋ยเคมีน้ำ (LCF)	3.61	10.11	3.01 <sup>b</sup>
3. น้ำสกัดมูลไก่ไข่ร่วมกับปุ๋ยเคมีน้ำ (LME + LCF)	3.54	9.84	4.59 <sup>a</sup>
4. น้ำสกัดมูลไก่ไข่ (LME)	3.64	10.47	2.98 <sup>b</sup>
5. น้ำสกัดมูลนกกระทาไข่ร่วมกับปุ๋ยเคมีน้ำ (QME + LCF)	3.06	10.28	2.54 <sup>b</sup>
6. น้ำสกัดมูลนกกระทาไข่ (QME)	3.87	10.17	3.18 <sup>ab</sup>
F-test	ns	ns	*
CV (%)	19.64	11.02	38.66

หมายเหตุ a b ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันที่มีอักษรแตกต่างกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p<0.05$ )

\* หมายถึง แตกต่างกันทางสถิติ ( $p<0.05$ )

ns หมายถึง ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $p>0.05$ )

จากการทดลองแสดงให้เห็นว่า ปริมาณโบรอนในลำต้น (3.06 – 3.87 มิลลิกรัม ต่อ กิโลกรัม) ใบ (9.84 – 10.28 มิลลิกรัมต่อ กิโลกรัม) และเมล็ด (2.54 – 4.59 มิลลิกรัมต่อ กิโลกรัม) อยู่ในระดับที่พอเพียง คือ 5 – 67 มิลลิกรัมต่อ กิโลกรัม (Yu and Bell, 1998) และอยู่ในระดับที่พบได้ในพืช คือ น้อยกว่า 5 มิลลิกรัมต่อ กิโลกรัม (ศรีสม, 2547)

## 2.2.9 ปริมาณทองแดงในลำต้น ใบ และเมล็ด (Cu quantity in stem, leaf and grain)

การสะสมของธาตุทองแดงในลำต้น ใบ และเมล็ดในระยะเก็บเกี่ยว พบว่า ธาตุทองแดงมีการสะสมไว้ในเนื้อเยื่อใบมากที่สุด เท่ากับ 3.45 – 6.01 มิลลิกรัมต่อ กิโลกรัม รองลงมา คือ ส่วนของลำต้นมีการสะสมของธาตุทองแดงอยู่ระหว่าง 2.59 – 3.66 มิลลิกรัมต่อ กิโลกรัม และเมล็ดมีการสะสมของธาตุทองแดงน้อยที่สุด เท่ากับ 2.14 – 3.18 มิลลิกรัมต่อ กิโลกรัม นอกจากนี้ยังพบว่า ปริมาณทองแดงในลำต้นของแต่ละการทดลองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) โดยทำการทดลองที่มีทองแดงในลำต้นข้าวมากที่สุด คือ แปลงควบคุม แปลงที่ใช้ปุ๋ยเคมีน้ำ และแปลงที่ใช้น้ำสกัดมูลนกกะทาคู่ ซึ่งมีความปริมาณทองแดงในลำต้น เท่ากับ 3.66, 3.42 และ 3.41 มิลลิกรัมต่อ กิโลกรัม ตามลำดับ ส่วนทำการทดลองที่มีทองแดงในลำต้นข้าว น้อยที่สุด คือ แปลงที่ใช้น้ำสกัดมูลไก่ไข่ร่วมกับปุ๋ยเคมีน้ำและแปลงที่ใช้น้ำสกัดมูลนกกะทาคู่ ร่วมกับปุ๋ยเคมีน้ำ ซึ่งมีความปริมาณทองแดงในลำต้น เท่ากับ 2.59 และ 2.62 มิลลิกรัมต่อ กิโลกรัม ตามลำดับ ทองแดงในใบของแต่ละการทดลองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เช่นเดียวกัน โดยแปลงที่ใช้น้ำสกัดมูลไก่ไข่ร่วมกับปุ๋ยเคมีน้ำมีทองแดงในใบข้าวมากที่สุด คือ 6.01 มิลลิกรัมต่อ กิโลกรัม และแปลงควบคุมมีทองแดงในใบน้อยที่สุด คือ 3.45 มิลลิกรัมต่อ กิโลกรัม ส่วนทองแดงในเมล็ดของแต่ละการทดลองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเช่นเดียวกัน โดยแปลงที่ใช้น้ำสกัดมูลนกกะทาคู่มีความปริมาณทองแดงในเมล็ดข้าวมากที่สุด คือ 3.18 มิลลิกรัมต่อ กิโลกรัม ส่วนทำการทดลองที่มีทองแดงในเมล็ดข้าว น้อยที่สุด คือ แปลงที่ใช้น้ำสกัดมูลไก่ไข่ร่วมกับปุ๋ยเคมีน้ำ แปลงที่ใช้น้ำสกัดมูลไก่ไข่ แปลงควบคุม และแปลงที่ใช้น้ำสกัดมูลนกกะทาคู่ ซึ่งมีความปริมาณทองแดงในเมล็ด เท่ากับ 2.14, 2.30, 2.40 และ 2.42 มิลลิกรัมต่อ กิโลกรัม ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 35

ตารางที่ 35 ปริมาณทองแดงในลำต้น ใบ และเมล็ด (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ของข้าวหอม พันธุ์ปิ่นเกษตร 1 ในระยะเก็บเกี่ยว ที่ได้รับการทดลองต่าง ๆ

ได้รับการทดลอง	ทองแดง (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)		
	ลำต้น	ใบ	เมล็ด
1. ควบคุม (control)	3.66 <sup>a</sup>	3.45 <sup>c</sup>	2.40 <sup>b</sup>
2. ปุ๋ยเคมีน้ำ (LCF)	3.42 <sup>a</sup>	6.01 <sup>a</sup>	2.68 <sup>ab</sup>
3. น้ำสกัดมูลไก่ไข่ร่วมกับปุ๋ยเคมีน้ำ (LME + LCF)	2.59 <sup>b</sup>	4.07 <sup>bc</sup>	2.14 <sup>b</sup>
4. น้ำสกัดมูลไก่ไข่ (LME)	3.20 <sup>ab</sup>	4.44 <sup>b</sup>	2.30 <sup>b</sup>
5. น้ำสกัดมูลนกกระทาไข่ร่วมกับปุ๋ยเคมีน้ำ (QME + LCF)	2.62 <sup>b</sup>	3.81 <sup>bc</sup>	2.42 <sup>b</sup>
6. น้ำสกัดมูลนกกระทาไข่ (QME)	3.41 <sup>a</sup>	3.63 <sup>bc</sup>	3.18 <sup>a</sup>
F-test	*	*	*
CV (%)	21.89	25.04	24.48

หมายเหตุ a b c ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันที่มีอักษรแตกต่างกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ )

\* หมายถึง แตกต่างกันทางสถิติ ( $p < 0.05$ )

จากการทดลองแสดงให้เห็นว่า ปริมาณทองแดงในลำต้น (2.59 – 3.66 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ใบ (3.45 – 6.01 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) และเมล็ด (2.14 – 3.18 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) อยู่ในระดับที่พอเพียง คือ 5 – 20 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และอยู่ในระดับที่พบได้ในพืช คือน้อยกว่า 1 – 25 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (ศรีสม, 2547)

#### 2.2.10 ปริมาณเหล็กในลำต้น ใบ และเมล็ด (Fe quantity in stem, leaf and grain)

การสะสมของธาตุเหล็กในลำต้น ใบ และเมล็ดในระยะเก็บเกี่ยว พบว่า ธาตุเหล็กมีการสะสมไว้ในเนื้อเยื่อลำต้นมากที่สุด เท่ากับ 332.13 – 841.55 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม รองลงมาคือ ส่วนของใบมีการสะสมของธาตุเหล็กอยู่ระหว่าง 176.89 – 334.54 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และเมล็ดมีการสะสมของธาตุเหล็กน้อยที่สุด เท่ากับ 86.98 – 126.43 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม นอกจากนี้ยังพบว่า ปริมาณเหล็กในลำต้นของแต่ละการทดลองมีความแตกต่างกันอย่างมี

นัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) โดยแปลงที่ใช้น้ำสกัดมูลไก่ไข่มีปริมาณเหล็กในลำต้นข้าวมากที่สุด คือ 841.55 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ส่วนค่ารับการทดลองที่มีปริมาณเหล็กในลำต้นข้าวน้อยที่สุด คือ แปลงที่ใช้น้ำสกัดมูลนกกกระทาไข่ร่วมกับปุ๋ยเคมีน้ำ แปลงที่ใช้น้ำสกัดมูลนกกกระทาไข่ และแปลงที่ใช้น้ำสกัดมูลไก่ไข่ร่วมกับปุ๋ยเคมีน้ำ ซึ่งมีปริมาณเหล็กในลำต้น เท่ากับ 332.13, 367.08 และ 562.33 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ เหล็กในใบของแต่ละค่ารับการทดลองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเช่นเดียวกัน โดยแปลงที่ใช้น้ำสกัดมูลไก่ไข่มีปริมาณเหล็กในใบข้าวมากที่สุด คือ 334.54 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และแปลงที่ใช้น้ำสกัดมูลนกกกระทาไข่มีเหล็กในใบน้อยที่สุด คือ 176.89 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ส่วนเหล็กในเมล็ดของแต่ละค่ารับการทดลองมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) ดังแสดงในตารางที่ 36

ตารางที่ 36 ปริมาณเหล็กในลำต้น ใบ และเมล็ด (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ของข้าวหอมพันธุ์ปิ่นเกษตร 1 ในระยะเก็บเกี่ยว ที่ค่ารับการทดลองต่าง ๆ

ค่ารับการทดลอง	เหล็ก (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)		
	ลำต้น	ใบ	เมล็ด
1. ควบคุม (control)	607.25 <sup>ab</sup>	295.94 <sup>ab</sup>	126.43
2. ปุ๋ยเคมีน้ำ (LCF)	580.14 <sup>ab</sup>	259.47 <sup>ab</sup>	86.98
3. น้ำสกัดมูลไก่ไข่ร่วมกับปุ๋ยเคมีน้ำ (LME + LCF)	562.33 <sup>b</sup>	257.72 <sup>ab</sup>	116.17
4. น้ำสกัดมูลไก่ไข่ (LME)	841.55 <sup>a</sup>	334.54 <sup>a</sup>	112.55
5. น้ำสกัดมูลนกกกระทาไข่ร่วมกับปุ๋ยเคมีน้ำ (QME + LCF)	332.13 <sup>b</sup>	221.73 <sup>bc</sup>	97.33
6. น้ำสกัดมูลนกกกระทาไข่ (QME)	367.08 <sup>b</sup>	176.89 <sup>c</sup>	109.48
F-test	*	*	ns
CV (%)	47.64	30.20	31.28

หมายเหตุ a b c ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันที่มีอักษรแตกต่างกัน มีความแตกต่างกันอย่างมี

นัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ )

\* หมายถึง แตกต่างกันทางสถิติ ( $p < 0.05$ )

ns หมายถึง ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $p > 0.05$ )

จากการทดลองแสดงให้เห็นว่า ปริมาณเหล็กในลำต้น (332.13 – 841.55 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ใบ (176.89 – 334.54 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) และเมล็ด (86.98 – 126.43 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) อยู่ในระดับที่เพียงพอในพืช ซึ่งมีเกณฑ์อยู่ในช่วง 50 – 250 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ส่วนปริมาณเหล็กในลำต้นของแปลงควบคุม แปลงที่ใช้ปุ๋ยเคมีน้ำ และแปลงที่ใช้น้ำสกัดมูลไก่ไข่ร่วมกับปุ๋ยเคมีน้ำ พบว่า อยู่ในระดับที่เป็นพิษ เพราะมีปริมาณเหล็กมากกว่า 500 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (ศรีสม, 2547; ยงยุทธ, 2552ข) และสาเหตุที่ทำให้เหล็กสะสมอยู่ในส่วนต่าง ๆ ของข้าวมากกว่าระดับที่เพียงพอในการทดลองครั้งนี้ เนื่องจากดินนาอยู่ในสภาพน้ำขังเหล็กจึงละลายออกมาได้มาก ส่งผลให้ข้าวดูดขึ้นมาสะสมไว้ในส่วนต่าง ๆ มากกว่าเกณฑ์ที่พืชต้องการ (อนนท์, 2547) ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ของดินที่พบว่า ปริมาณเหล็กมีการละลายออกมามากในดินหลังปลูก

#### 2.2.11 ปริมาณแมงกานีสในลำต้น ใบ และเมล็ด (Mn quantity in stem, leaf and grain)

การสะสมของธาตุแมงกานีสในส่วนลำต้น ใบ และเมล็ดในระยะเก็บเกี่ยว พบว่า ธาตุแมงกานีสมีการสะสมไว้ในเนื้อเยื่อใบมากที่สุด เท่ากับ 727.99 – 1,085.75 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม รองลงมาคือ ส่วนของลำต้นมีการสะสมของธาตุแมงกานีสอยู่ระหว่าง 561.28 – 893.10 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และเมล็ดมีการสะสมของธาตุแมงกานีสน้อยที่สุด เท่ากับ 97.48 – 115.90 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม นอกจากนี้ยังพบว่า ปริมาณแมงกานีสในลำต้นของแต่ละดำรับการทดลองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) โดยดำรับการทดลองที่มีปริมาณแมงกานีสในลำต้นข้าวมากที่สุด คือ แปลงที่ใช้น้ำสกัดมูลไก่ไข่ และแปลงที่ใช้น้ำสกัดมูลไก่ไข่ร่วมกับปุ๋ยเคมีน้ำ ซึ่งมีปริมาณแมงกานีสในลำต้น เท่ากับ 893.10 และ 869.97 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ และแปลงที่ใช้น้ำสกัดมูลนกกระทาไข่ร่วมกับปุ๋ยเคมีน้ำมีแมงกานีสในลำต้นน้อยที่สุด คือ 561.28 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม แมงกานีสในใบของแต่ละดำรับการทดลองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเช่นเดียวกัน โดยดำรับการทดลองที่มีปริมาณแมงกานีสในใบข้าวมากที่สุด คือ แปลงที่ใช้น้ำสกัดมูลไก่ไข่ และแปลงที่ใช้น้ำสกัดมูลนกกระทาไข่ร่วมกับปุ๋ยเคมีน้ำ ซึ่งมีปริมาณแมงกานีสในใบ เท่ากับ 1,085.75 และ 1,060.29 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ และแปลงที่ใช้น้ำสกัดมูลไก่ไข่ร่วมกับปุ๋ยเคมีน้ำมีปริมาณแมงกานีสในใบน้อยที่สุด คือ 727.99 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ส่วนแมงกานีสในเมล็ดของแต่ละดำรับการทดลองมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีความสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) ดังแสดงในตารางที่ 37

ตารางที่ 37 ปริมาณแมงกานีสในลำต้น ใบ และเมล็ด (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ของข้าวหอมพันธุ์ปิ่นเกษตร 1 ในระยะเก็บเกี่ยว ที่ได้รับการทดลองต่าง ๆ

ได้รับการทดลอง	แมงกานีส(มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)		
	ลำต้น	ใบ	เมล็ด
1. ควบคุม (control)	615.69 <sup>bc</sup>	727.99 <sup>c</sup>	108.26
2. ปุ๋ยเคมีน้ำ (LCF)	869.97 <sup>a</sup>	985.31 <sup>ab</sup>	97.48
3. นำสัปดาห์ปุ๋ยเคมีน้ำไปใช้ร่วมกับปุ๋ยเคมีน้ำ (LME + LCF)	739.24 <sup>ab</sup>	932.92 <sup>b</sup>	102.07
4. นำสัปดาห์ปุ๋ยเคมีน้ำไปใช้ (LME)	893.10 <sup>a</sup>	1,085.75 <sup>a</sup>	115.90
5. นำสัปดาห์ปุ๋ยเคมีน้ำและปุ๋ยเคมีน้ำไปใช้ร่วมกับปุ๋ยเคมีน้ำ (QME + LCF)	561.28 <sup>c</sup>	1,060.29 <sup>a</sup>	99.92
6. นำสัปดาห์ปุ๋ยเคมีน้ำไปใช้ (QME)	596.62 <sup>bc</sup>	991.86 <sup>ab</sup>	105.35
F-test	*	*	ns
CV (%)	25.93	14.94	14.34

หมายเหตุ a b c ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันที่มีอักษรแตกต่างกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ )

\* หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ )

ns หมายถึง ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $p > 0.05$ )

จากการทดลองแสดงให้เห็นว่า ปริมาณแมงกานีสในลำต้น (561.28 – 893.10 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ใบ (727.99 – 1,085.75 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) และเมล็ด (97.48 – 115.90 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) จัดอยู่ในระดับที่พบได้ในพืช ซึ่งมีเกณฑ์อยู่ในช่วง น้อยกว่า 5 – 1,000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (ศรีสม, 2547) ในกรณีที่พบมากกว่า 1,000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ขึ้นไป ข้าวยังคงไม่แสดงอาการเป็นพิษ เนื่องจากระบบรากสามารถป้องกันการดูดแมงกานีสมาใช้ (Tanaka *et al.*, 1975) และทนได้มากกว่า 2,500 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม โดยไม่มีผลต่อการเจริญเติบโต หรือผลผลิต อีกทั้งปริมาณแมงกานีสที่เป็นพิษ คือ 7,000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (Cheng and Quелlette, 1971; Wells *et al.*, 1993) ในส่วนของปริมาณแมงกานีสที่พบในเมล็ดน้อยกว่าในลำต้นและใบ เนื่องจากแมงกานีสเป็นธาตุที่เคลื่อนย้ายทางโพเอ็มได้น้อย โดยปกติแล้วแมงกานีสที่รากพืชดูดได้ จะเคลื่อนย้ายอย่างรวดเร็วทางไซเล็มซึ่งเคลื่อนย้ายในรูปไอออนหรือรูปคีเลต ส่วนการเคลื่อนย้ายทางโพเอ็มนั้นแตกต่างกันออกไปตามส่วนของพืช กล่าวคือแมงกานีสในใบเคลื่อนย้ายได้ยาก แต่

ในรากและลำต้นมีการเคลื่อนย้ายใหม่ได้ (ยงยุทธ, 2552ข; Mazzolini *et al.*, 1985) ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองที่พบปริมาณแมงกานีสในใบมากกว่าส่วนอื่น ๆ สำหรับแมงกานีสที่สะสมในเมล็ดได้มาจากการเคลื่อนย้ายใหม่ของธาตุจากต้นไปยังเมล็ด (ยงยุทธ, 2552ข; Mazzolini *et al.*, 1985) ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองที่พบปริมาณแมงกานีสในเมล็ดน้อยที่สุด

#### 2.2.12 ปริมาณสังกะสีในลำต้น ใบ และเมล็ด (Zn quantity in stem, leaf and grain)

การสะสมของธาตุสังกะสีในลำต้น ใบ และเมล็ดในระยะเก็บเกี่ยว พบว่าธาตุสังกะสีมีการสะสมไว้ในเนื้อเยื่อลำต้นมากที่สุด เท่ากับ 24.83 – 33.81 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม รองลงมาคือ ส่วนของใบมีการสะสมของธาตุสังกะสีอยู่ระหว่าง 20.55 – 26.77 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และเมล็ดมีการสะสมของธาตุสังกะสีน้อยที่สุด เท่ากับ 18.52 – 22.39 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม นอกจากนี้ยังพบว่า ปริมาณสังกะสีในลำต้นของแต่ละตำรับการทดลองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) โดยแปลงที่ใช้ปุ๋ยคอกมูลไก่ไข่มีปริมาณสังกะสีในลำต้นข้าวมากที่สุด คือ 33.81 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ส่วนตำรับการทดลองที่มีสังกะสีในลำต้นข้าวน้อยที่สุดคือ แปลงที่ใช้ปุ๋ยคอกมูลไก่ไข่ร่วมกับปุ๋ยเคมีน้ำแปลงควบคุม และแปลงที่ใช้ปุ๋ยคอกมูลไก่ไข่ ซึ่งมีปริมาณสังกะสีในลำต้น เท่ากับ 24.83, 25.86 และ 26.71 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ สังกะสีในใบของแต่ละตำรับการทดลองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเช่นเดียวกัน โดยแปลงที่ใช้ปุ๋ยคอกมูลไก่ไข่ร่วมกับปุ๋ยเคมีน้ำมีปริมาณสังกะสีในใบข้าวมากที่สุด คือ 26.77 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และแปลงที่ใช้ปุ๋ยคอกมูลนกกระทาไข่ร่วมกับปุ๋ยเคมีน้ำมีสังกะสีในใบน้อยที่สุด คือ 20.55 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ส่วนสังกะสีในเมล็ดของแต่ละตำรับการทดลองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเช่นเดียวกัน โดยแปลงควบคุมมีปริมาณสังกะสีในเมล็ดข้าวมากที่สุด คือ 22.39 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และแปลงที่ใช้ปุ๋ยคอกมูลนกกระทาไข่ร่วมกับปุ๋ยเคมีน้ำมีสังกะสีในเมล็ดน้อยที่สุด คือ 18.52 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ดังแสดงในตารางที่ 38

ตารางที่ 38 ปริมาณสังกะสีในลำต้น ใบ และเมล็ด (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ของข้าวหอม พันธุ์ปิ่นเกษตร 1 ในระยะเก็บเกี่ยว ที่ได้รับการทดลองต่าง ๆ

ได้รับการทดลอง	สังกะสี (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)		
	ลำต้น	ใบ	เมล็ด
1. ควบคุม (control)	25.86 <sup>b</sup>	25.36 <sup>ab</sup>	22.39 <sup>a</sup>
2. ปุ๋ยเคมีน้ำ (LCF)	29.78 <sup>ab</sup>	21.98 <sup>bc</sup>	20.92 <sup>b</sup>
3. น้ำสกัดมูลไก่ไข่ร่วมกับปุ๋ยเคมีน้ำ (LME + LCF)	24.83 <sup>b</sup>	26.77 <sup>a</sup>	20.29 <sup>bc</sup>
4. น้ำสกัดมูลไก่ไข่ (LME)	33.81 <sup>a</sup>	24.60 <sup>abc</sup>	20.78 <sup>b</sup>
5. น้ำสกัดมูลนกกระทาไข่ร่วมกับปุ๋ยเคมีน้ำ (QME + LCF)	27.91 <sup>ab</sup>	20.55 <sup>c</sup>	18.52 <sup>d</sup>
6. น้ำสกัดมูลนกกระทาไข่ (QME)	26.71 <sup>b</sup>	22.46 <sup>bc</sup>	19.14 <sup>cd</sup>
F-test	*	*	*
CV (%)	20.64	15.46	7.69

หมายเหตุ a b c d ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันที่มีอักษรแตกต่างกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ )

\* หมายถึง แตกต่างกันทางสถิติ ( $p < 0.05$ )

จากการทดลองแสดงให้เห็นว่า ปริมาณสังกะสีในลำต้น (24.83 – 33.81 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ใบ (20.55 – 26.77 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) และเมล็ด (18.52 – 22.39 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) จัดอยู่ในระดับที่พบทั่วไปในพืช ซึ่งมีเกณฑ์อยู่ในช่วง 5 – 75 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (ศรีสม, 2547) โดยปริมาณสังกะสีที่เป็นพิษในใบข้าวอยู่ในช่วง มากกว่า 400 – 500 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (Marschner, 1995; Fageria, 2003) และข้าวสามารถทนต่อปริมาณสังกะสีในระดับที่เป็นพิษได้มากกว่า 1,500 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (Wells *et al.*, 1993) ในส่วนแปลงที่ใช้ น้ำสกัดมูลไก่ไข่มีการสะสมของสังกะสีในลำต้นมากกว่าได้รับการทดลองอื่น ๆ อาจเกิดจากปริมาณกำมะถันในลำต้นที่มากกว่าเช่นเดียวกัน เพราะธาตุทั้งสองนี้ต่างก็ส่งเสริมซึ่งกันในการดูดไปใช้ของราก (ยงยุทธ, 2552ข) จึงทำให้ปริมาณสังกะสีในลำต้นสูงขึ้นตามไปด้วย

### 2.2.13 ปริมาณโซเดียมในลำต้น ใบ และเมล็ด (Na quantity in stem, leaf and grain)

การสะสมของธาตุโซเดียมในลำต้น ใบ และเมล็ดในระยะเก็บเกี่ยว พบว่า ธาตุโซเดียมมีการสะสมไว้ในเนื้อเยื่อลำต้นมากที่สุด เท่ากับ 484.33 – 1,947.48 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม รองลงมาคือ ส่วนของใบมีการสะสมของธาตุโซเดียมอยู่ระหว่าง 132.86 – 162.09 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และเมล็ดมีการสะสมของธาตุโซเดียมน้อยที่สุด เท่ากับ 97.00 – 108.63 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม นอกจากนี้ยังพบว่า ปริมาณโซเดียมในลำต้นของแต่ละการทดลองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) โดยแปลงควบคุมมีปริมาณโซเดียมในลำต้นข้าวมากที่สุด คือ 1,947.48 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และแปลงที่ใช้น้ำสกัดมูลนกกกระทาไข่มีโซเดียมในลำต้นน้อยที่สุด คือ 484.33 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม โซเดียมในใบของแต่ละการทดลองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเช่นเดียวกัน โดยแปลงควบคุมมีปริมาณโซเดียมในใบข้าวมากที่สุด คือ 162.09 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ส่วนการทดลองที่มีโซเดียมในใบข้าวน้อยที่สุด คือ แปลงที่ใช้น้ำสกัดมูลนกกกระทาไข่มีโซเดียม แปลงที่ใช้น้ำสกัดมูลไก่ไข่ร่วมกับปุ๋ยเคมีน้ำ และแปลงที่ใช้น้ำสกัดมูลนกกกระทาไข่ร่วมกับปุ๋ยเคมีน้ำ ซึ่งมีโซเดียมในใบ เท่ากับ 132.86, 134.68 และ 137.68 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ส่วนโซเดียมในเมล็ดของแต่ละการทดลองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเช่นเดียวกัน โดยแปลงควบคุมมีปริมาณโซเดียมในเมล็ดข้าวมากที่สุด คือ 108.63 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ส่วนการทดลองที่มีโซเดียมในเมล็ดน้อยที่สุด คือ แปลงที่ใช้น้ำสกัดมูลนกกกระทาไข่ร่วมกับปุ๋ยเคมีน้ำ และแปลงที่ใช้น้ำสกัดมูลนกกกระทาไข่ ซึ่งมีโซเดียมในเมล็ด เท่ากับ 97.00 และ 98.59 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 39

ตารางที่ 39 ปริมาณ โขเดียมในลำต้น ใบ และเมล็ด (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ของข้าวหอม พันธุ์ปิ่นเกษตร 1 ในระยะเก็บเกี่ยว ที่ได้รับการทดลองต่าง ๆ

ได้รับการทดลอง	โขเดียม (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)		
	ลำต้น	ใบ	เมล็ด
1. ควบคุม (control)	1,947.48 <sup>a</sup>	162.09 <sup>a</sup>	108.63 <sup>a</sup>
2. ปุ๋ยเคมีน้ำ (LCF)	1,504.68 <sup>b</sup>	155.52 <sup>ab</sup>	103.64 <sup>b</sup>
3. น้ำสกัดมูลไก่ไข่ร่วมกับปุ๋ยเคมีน้ำ (LME + LCF)	1,318.78 <sup>b</sup>	134.68 <sup>c</sup>	101.43 <sup>bc</sup>
4. น้ำสกัดมูลไก่ไข่ (LME)	1,577.11 <sup>ab</sup>	144.63 <sup>bc</sup>	104.53 <sup>ab</sup>
5. น้ำสกัดมูลนกกระทาไข่ร่วมกับปุ๋ยเคมีน้ำ (QME + LCF)	914.69 <sup>c</sup>	137.68 <sup>c</sup>	97.00 <sup>c</sup>
6. น้ำสกัดมูลนกกระทาไข่ (QME)	484.33 <sup>d</sup>	132.86 <sup>c</sup>	98.59 <sup>c</sup>
F-test	*	*	*
CV (%)	44.24	11.20	5.24

หมายเหตุ a b c ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันที่มีอักษรแตกต่างกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ )

\* หมายถึง แตกต่างกันทางสถิติ ( $p < 0.05$ )

## 2.3 การเจริญเติบโต และผลผลิตของข้าว

### 2.3.1 ความยาวใบ (leaf length)

ความยาวใบของข้าวก่อนให้ปุ๋ยในแต่ละได้รับการทดลอง พบว่า มีความยาวใกล้เคียงกันประมาณ 30.8 – 33.3 เซนติเมตร หลังจากการให้ปุ๋ย 15 วัน คือ ข้าวอายุได้ 60 วัน พบว่าความยาวใบของแต่ละได้รับการทดลองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) โดยได้รับการทดลองที่มีความยาวใบมากที่สุด คือ แปลงควบคุม แปลงที่ใช้ปุ๋ยเคมีน้ำ และแปลงที่ใช้น้ำสกัดมูลไก่ไข่ร่วมกับปุ๋ยเคมีน้ำ ซึ่งมีความยาวใบ เท่ากับ 66.7, 64.7 และ 64.3 เซนติเมตร ตามลำดับ แต่เมื่อข้าวอายุได้ 75 วัน (หลังจากให้ปุ๋ย 2 ครั้ง) พบว่า ความยาวใบมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ ) โดยได้รับการทดลองที่มีความยาวใบมากที่สุด คือ แปลงที่ใช้น้ำสกัดมูลไก่ไข่ แปลงที่ใช้น้ำสกัดมูลไก่ไข่ร่วมกับปุ๋ยเคมีน้ำ และแปลงที่ใช้ปุ๋ยเคมีน้ำ ซึ่งมีความยาวใบ เท่ากับ 75.3, 74.4 และ

74.3 เซนติเมตร ตามลำดับ ส่วนแปลงควบคุมและแปลงที่ใช้น้ำสกัดมูลนกกระทาไข่ให้ความยาวใบน้อยที่สุด คือ 68.9 และ 69.6 เซนติเมตร ตามลำดับ เมื่อข้าวอายุ 90 วัน ความยาวใบของข้าวมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเช่นเดียวกัน โดยแปลงที่ใช้น้ำสกัดมูลไก่ไข่ร่วมกับปุ๋ยเคมีน้ำมีความยาวใบมากที่สุด คือ 69.1 เซนติเมตร รองลงมา คือ แปลงที่ใช้น้ำสกัดมูลไก่ไข่ และแปลงที่ใช้น้ำปุ๋ยเคมีน้ำ ซึ่งมีความยาวใบ เท่ากับ 68.3 และ 65.9 เซนติเมตร ตามลำดับ หลังจากให้ปุ๋ยได้ 4 ครั้ง เมื่อข้าวอายุ 105 วัน และ 5 ครั้ง เมื่อข้าวอายุ 120 วัน ความยาวใบแต่ละตำรับการทดลองแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p>0.05$ ) ดังแสดงในตารางที่ 40

ตารางที่ 40 ความยาวใบของข้าวหอมพันธุ์ปิ่นเพชร 1 (เซนติเมตร) ในระยะแตกกอ และเริ่มออกดอก-ออกรวงที่ตำรับการทดลองต่าง ๆ

ตำรับการทดลอง	ความยาวใบ (เซนติเมตร)					
	ระยะแตกกอ (อายุข้าว)		ระยะเริ่มออกดอก-ออกรวง (อายุข้าว)			
	45 วัน	60 วัน	75 วัน	90 วัน	105 วัน	120 วัน
1. ควบคุม (control)	32.6 <sup>a</sup>	66.7 <sup>a</sup>	69.6 <sup>b</sup>	58.3 <sup>c</sup>	51.6	44.0
2. ปุ๋ยเคมีน้ำ (LCF)	33.3 <sup>a</sup>	64.7 <sup>a</sup>	74.3 <sup>a</sup>	65.9 <sup>ab</sup>	48.9	43.8
3. น้ำสกัดมูลไก่ไข่ร่วมกับ ปุ๋ยเคมีน้ำ (LME + LCF)	30.8 <sup>b</sup>	64.3 <sup>a</sup>	74.4 <sup>a</sup>	69.1 <sup>a</sup>	51.7	46.1
4. น้ำสกัดมูลไก่ไข่ (LME)	32.3 <sup>ab</sup>	58.3 <sup>b</sup>	75.3 <sup>a</sup>	68.3 <sup>ab</sup>	53.6	41.0
5. น้ำสกัดมูลนกกระทาไข่ร่วมกับ ปุ๋ยเคมีน้ำ (QME + LCF)	32.6 <sup>a</sup>	57.5 <sup>b</sup>	70.8 <sup>ab</sup>	62.7 <sup>bc</sup>	51.9	41.3
6. น้ำสกัดมูลนกกระทาไข่ (QME)	33.0 <sup>a</sup>	57.3 <sup>b</sup>	68.9 <sup>b</sup>	62.8 <sup>bc</sup>	47.3	41.1
F-test	*	*	*	*	ns	ns
CV (%)	6.43	9.38	8.02	11.50	20.46	15.17

หมายเหตุ a b c ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันที่มีอักษรแตกต่างกัน มีความแตกต่างกันอย่างมี

นัยสำคัญทางสถิติ ( $p<0.05$ )

\* หมายถึง แตกต่างกันทางสถิติ ( $p<0.05$ )

ns หมายถึง ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $p>0.05$ )

### 2.3.2 ความสูงของลำต้น (stem height)

ความสูงของลำต้นในระยะที่ข้าวแตกกอ (เมื่อข้าวอายุ 45-60 วัน) ในแต่ละตำรับการทดลองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) โดยพบว่าก่อนให้ปุ๋ย คือ เมื่อข้าวอายุ 45 วัน ความสูงของลำต้นมีความแตกต่างกันค่อนข้างมาก ซึ่งตำรับการทดลองที่จะให้น้ำ สกัคมูลนกกระทาไข่มีความสูงของลำต้นมากที่สุด คือ 50.9 เซนติเมตร ส่วนแปลงที่ใช้น้ำสกัคมูล ไก่ไข่ร่วมกับปุ๋ยเคมีน้ำมีความสูงของลำต้นน้อยที่สุดคือ 47.0 เซนติเมตร หลังจากให้ปุ๋ย 15 วัน คือ เมื่อข้าวอายุ 60 วัน พบว่า ความสูงของลำต้นเริ่มมีความสม่ำเสมอมากขึ้น เมื่อข้าวเข้าสู่ระยะเริ่มออกดอก คือ เมื่อข้าวอายุ 75 วัน พบว่า ความสูงของลำต้นในแต่ละตำรับการทดลองมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) โดยมีความสูงของลำต้น 101.4 – 107.3 เซนติเมตร เมื่อข้าวอายุ 90 วัน พบว่า แปลงควบคุมมีความสูงของลำต้นน้อยที่สุด คือ 107.1 เซนติเมตร ส่วนตำรับการทดลองอื่น ๆ ไม่พบความแตกต่างกันทางสถิติ เมื่อข้าวอายุ 105 วัน พบว่า ความสูงของลำต้นแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) โดยตำรับการทดลองที่มีความสูงของลำต้นมากที่สุด คือ แปลงที่ใช้น้ำสกัคมูลไก่ไข่ และแปลงที่ใช้น้ำสกัคมูลนกกระทาไข่ร่วมกับปุ๋ยเคมีน้ำ ซึ่งมีความสูงของลำต้น เท่ากับ 135.7 และ 135.1 เซนติเมตร ตามลำดับ ส่วนแปลงควบคุมมีความสูงของลำต้นน้อยที่สุด คือ 129.0 เซนติเมตร และเมื่อข้าวมีอายุ 120 วัน พบว่า ความสูงของลำต้นมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเช่นเดียวกัน ซึ่งแปลงที่ใช้น้ำสกัคมูลไก่ไข่ร่วมกับปุ๋ยเคมีน้ำมีความสูงของลำต้นมากที่สุด คือ 147.4 เซนติเมตร ส่วนแปลงควบคุมมีความสูงของลำต้นน้อยที่สุด คือ 137.3 เซนติเมตร ดังแสดงในตารางที่ 41

ตารางที่ 41 ความสูงลำต้นของข้าวหอมพันธุ์ปิ่นเกษตร 1 (เซนติเมตร) ในระยะแตกกอ และเริ่มออกดอก-ออกรวงที่ดำเนินการทดลองต่าง ๆ

ดำเนินการทดลอง	ความสูงลำต้น (เซนติเมตร)					
	ระยะแตกกอ		ระยะเริ่มออกดอก-ออกรวง			
	(อายุข้าว)		(อายุข้าว)			
	45 วัน	60 วัน	75 วัน	90 วัน	105 วัน	120 วัน
1. ควบคุม (control)	47.9 <sup>bc</sup>	96.3 <sup>a</sup>	101.4	107.1 <sup>b</sup>	129.0 <sup>b</sup>	137.3 <sup>c</sup>
2. ปุ๋ยเคมีน้ำ (LCF)	49.7 <sup>ab</sup>	96.3 <sup>a</sup>	107.3	120.9 <sup>a</sup>	134.3 <sup>ab</sup>	140.2 <sup>bc</sup>
3. น้ำสกัดมูลไก่ไข่ร่วมกับ ปุ๋ยเคมีน้ำ (LME + LCF)	47.0 <sup>c</sup>	87.3 <sup>b</sup>	105.1	119.6 <sup>a</sup>	134.3 <sup>ab</sup>	147.4 <sup>a</sup>
4. น้ำสกัดมูลไก่ไข่ (LME)	48.3 <sup>ab</sup>	85.4 <sup>b</sup>	105.9	122.2 <sup>a</sup>	135.7 <sup>a</sup>	143.5 <sup>ab</sup>
5. น้ำสกัดมูลนกกระทาไข่ร่วมกับ ปุ๋ยเคมีน้ำ (QME + LCF)	48.6 <sup>abc</sup>	86.3 <sup>b</sup>	103.1	119.3 <sup>a</sup>	135.1 <sup>a</sup>	141.5 <sup>bc</sup>
6. น้ำสกัดมูลนกกระทาไข่ (QME)	50.9 <sup>a</sup>	84.9 <sup>b</sup>	104.8	115.8 <sup>a</sup>	134.0 <sup>ab</sup>	140.0 <sup>bc</sup>
F-test	*	*	ns	*	*	*
CV (%)	6.68	9.44	6.28	7.26	4.74	4.82

หมายเหตุ a b c ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันที่มีอักษรแตกต่างกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ )

\* หมายถึง แตกต่างกันทางสถิติ ( $p < 0.05$ )

ns หมายถึง ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $p > 0.05$ )

### 2.3.3 ความสามารถในการแตกกอ (tillering capacity)

ความสามารถในการแตกกอในระยะแตกกอสูงสุดของแต่ละดำเนินการทดลองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) โดยแปลงที่ใช้ น้ำสกัดมูลนกกระทาไข่มีการแตกกอสูงสุด เท่ากับ 34 กอต่อต้น รองลงมา คือ แปลงควบคุม แปลงที่ใช้ น้ำสกัดมูลนกกระทาไข่ร่วมกับปุ๋ยเคมีน้ำ แปลงที่ใช้ น้ำสกัดมูลไก่ไข่ร่วมกับปุ๋ยเคมีน้ำ และแปลงที่ใช้ปุ๋ยเคมีน้ำ ซึ่งมีการ

แตกกอ เท่ากับ 31, 31, 27 และ 26 กอต่อต้น ตามลำดับ ส่วนแปลงที่ใช้ น้ำสกัดมูลไก่ไข่ มีการแตกกอ น้อยที่สุด เท่ากับ 24 กอต่อต้น ดังแสดงในตารางที่ 42

ตารางที่ 42 ความสามารถในการแตกกอของข้าวหอมพันธุ์ปิ่นเกษตร 1 (จำนวนกอต่อต้น) ในระยะแตกกอสูงสุด อายุข้าว 60 วัน ที่ได้รับการทดลองต่าง ๆ

ได้รับการทดลอง	ความสามารถในการแตกกอ (จำนวนกอต่อต้น)
1. ควบคุม (control)	31 <sup>ab</sup>
2. ปุ๋ยเคมีน้ำ (LCF)	26 <sup>bc</sup>
3. น้ำสกัดมูลไก่ไข่ร่วมกับปุ๋ยเคมีน้ำ (LME + LCF)	27 <sup>bc</sup>
4. น้ำสกัดมูลไก่ไข่ (LME)	24 <sup>c</sup>
5. น้ำสกัดมูลนกกระทาไข่ร่วมกับปุ๋ยเคมีน้ำ (QME + LCF)	31 <sup>ab</sup>
6. น้ำสกัดมูลนกกระทาไข่ (QME)	34 <sup>a</sup>
F-test	*
CV (%)	27.12

หมายเหตุ a b c ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันที่มีอักษรแตกต่างกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ )

\* หมายถึง แตกต่างกันทางสถิติ ( $p < 0.05$ )

#### 2.3.4 น้ำหนักแห้ง 1,000 เมล็ด (1,000 dry weight of grain)

น้ำหนักแห้ง 1,000 เมล็ด ของแปลงที่ใช้ น้ำสกัดมูลไก่ไข่ แปลงที่ใช้ น้ำสกัดมูลนกกระทาไข่ร่วมกับปุ๋ยเคมี และแปลงที่ใช้ น้ำสกัดมูลนกกระทาไข่มีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) และเป็นได้รับการทดลองที่มีน้ำหนักแห้ง 1,000 เมล็ด สูงที่สุด คือ แปลงที่ใช้ น้ำสกัดมูลนกกระทาไข่มีน้ำหนักแห้งของเมล็ดข้าว 1,000 เมล็ด เท่ากับ 26.05 กรัม รองลงมา คือ แปลงที่ใช้ น้ำสกัดมูลนกกระทาไข่ร่วมกับปุ๋ยเคมีน้ำ และแปลงที่ใช้ น้ำสกัดมูลไก่ไข่มีน้ำหนักแห้ง 1,000 เมล็ด เท่ากับ 25.63 และ 25.32 กรัม ตามลำดับ ส่วนแปลงที่ใช้ ปุ๋ยเคมีน้ำ แปลงควบคุม และแปลงที่ใช้ น้ำสกัดมูลไก่ไข่ร่วมกับปุ๋ยเคมีน้ำเป็นได้รับการทดลองที่มีน้ำหนักแห้ง

1,000 เมล็ด น้อยที่สุด และมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p>0.05$ ) โดยมีน้ำหนักแห้ง 1,000 เมล็ด เท่ากับ 23.84 , 23.44 และ 23.24 กรัม ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 43

ตารางที่ 43 น้ำหนักแห้ง 1,000 เมล็ด ของข้าวหอมพันธุ์ปิ่นเกษตร 1 (กรัม) ที่ได้รับการทดลองต่าง ๆ

ได้รับการทดลอง	น้ำหนัก 1,000 เมล็ด (กรัม)
1. ควบคุม (control)	23.44 <sup>b</sup>
2. ปุ๋ยเคมีน้ำ (LCF)	23.84 <sup>b</sup>
3. น้ำสกัดมูลไก่ไข่ร่วมกับปุ๋ยเคมีน้ำ (LME + LCF)	23.24 <sup>b</sup>
4. น้ำสกัดมูลไก่ไข่ (LME)	25.32 <sup>a</sup>
5. น้ำสกัดมูลนกกกระทาไข่ร่วมกับปุ๋ยเคมีน้ำ (QME + LCF)	25.63 <sup>a</sup>
6. น้ำสกัดมูลนกกกระทาไข่ (QME)	26.05 <sup>a</sup>
F-test	*
CV (%)	5.02

หมายเหตุ a b ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันที่มีอักษรแตกต่างกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p<0.05$ )

\* หมายถึง แตกต่างกันทางสถิติ ( $p<0.05$ )

### 2.3.5 ผลผลิตน้ำหนักสดของข้าว (yield)

ผลผลิตน้ำหนักสดของข้าวจากแปลงที่ใช้ น้ำสกัดมูลนกกกระทาไข่ และแปลงที่ใช้ น้ำสกัดมูลนกกกระทาไข่ร่วมกับปุ๋ยเคมีน้ำมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p>0.05$ ) และเป็นได้รับการทดลองที่มีผลผลิตน้ำหนักสดของข้าวมากที่สุด โดยแปลงที่ใช้ น้ำสกัดมูลนกกกระทาไข่มีผลผลิต เท่ากับ 933.7 กิโลกรัมต่อไร่ รองลงมา คือ แปลงที่ใช้ น้ำสกัดมูลนกกกระทาไข่ร่วมกับปุ๋ยเคมีน้ำมีผลผลิต เท่ากับ 845.9 กิโลกรัมต่อไร่ ส่วนแปลงที่ใช้ น้ำสกัดมูลไก่ไข่ แปลงควบคุม แปลงที่ใช้ปุ๋ยเคมีน้ำ และแปลงที่ใช้ น้ำสกัดมูลไก่ไข่ร่วมกับปุ๋ยเคมีน้ำมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p>0.05$ ) และเป็นได้รับการทดลองที่มีผลผลิตน้ำหนักสดของข้าวน้อยที่สุด ซึ่งผลผลิต เท่ากับ 422.6, 371.8 และ 345.3 กิโลกรัมต่อไร่ ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 44

ตารางที่ 44 ผลผลิตของข้าวหอมพันธุ์ปิ่นเกษตร 1 (กิโลกรัมต่อไร่) ที่ได้รับการทดลองต่าง ๆ

ได้รับการทดลอง	ผลผลิต (กิโลกรัมต่อไร่)
1. ควบคุม (control)	423 <sup>b</sup>
2. ปุ๋ยเคมีน้ำ (LCF)	372 <sup>b</sup>
3. น้ำสกัดมูลไก่ไข่ร่วมกับปุ๋ยเคมีน้ำ (LME + LCF)	345 <sup>b</sup>
4. น้ำสกัดมูลไก่ไข่ (LME)	564 <sup>b</sup>
5. น้ำสกัดมูลนกกระทาไข่ร่วมกับปุ๋ยเคมีน้ำ (QME + LCF)	846 <sup>a</sup>
6. น้ำสกัดมูลนกกระทาไข่ (QME)	934 <sup>a</sup>
F-test	*
CV (%)	45.89

หมายเหตุ a b ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันที่มีอักษรแตกต่างกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ )

\* หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ )

จากผลการทดลองสรุปได้ว่า การใช้ น้ำสกัดมูลไก่ไข่ร่วมกับปุ๋ยเคมีน้ำมีแนวโน้มทำให้ความยาวใบ และความสูงของลำต้นข้าวสูงกว่าได้รับการทดลองอื่น ๆ โดยมีความยาวใบและความสูงของลำต้นในระยะเก็บเกี่ยว เท่ากับ 46.1 และ 147.4 เซนติเมตร ตามลำดับ ส่วนการใช้ น้ำสกัดมูลนกกระทาไข่มีผลทำให้อัตราการแตกกอ น้ำหนักแห้ง 1,000 เมล็ด และน้ำหนักผลผลิตข้าวสดมีแนวโน้มสูงกว่าได้รับการทดลองอื่น ๆ โดยมีจำนวน 34 กอต่อต้น น้ำหนักแห้ง 1,000 เมล็ด เท่ากับ 26.05 กรัม และน้ำหนักผลผลิตข้าวสด เท่ากับ 933.7 กิโลกรัมต่อไร่

การที่ น้ำสกัดมูลไก่ไข่ร่วมกับปุ๋ยเคมีน้ำมีแนวโน้มทำให้ความยาวใบ และความสูงของลำต้นข้าวสูงกว่าได้รับการทดลองอื่น ๆ เนื่องจากในระยะแตกกอได้ปรับปริมาณไนโตรเจนของปุ๋ยเคมีน้ำและน้ำสกัดมูลทั้ง 2 ชนิด ให้เท่ากัน (ปุ๋ยเคมีน้ำ (12-11-5) น้ำสกัดมูลไก่ไข่ (0.14-0.007-0.28) และน้ำสกัดมูลนกกระทาไข่ (0.19-0.003-0.18)) จึงทำให้ข้าวที่ปลูกในแปลงที่ใช้ น้ำสกัดมูลไก่ไข่ได้รับแร่ธาตุฟอสฟอรัส โพแทสเซียม คลอรีน โบรอน ทองแดง แมงกานีส สังกะสี และโซเดียมมากกว่า ส่วนในระยะเริ่มออกดอก-ออกรวง ได้ปรับให้ปริมาณโพแทสเซียมเท่ากัน (ปุ๋ยเคมีน้ำ (4-24-24) น้ำสกัดมูลไก่ไข่ (0.14-0.007-0.28) และน้ำสกัดมูลนกกระทาไข่ (0.19-0.003-

0.18)) ข้าวที่ปลูกในแปลงที่ใช้น้ำสกัดมูลนกกกระทาไข่จึงได้รับปริมาณแร่ธาตุไนโตรเจน แคลเซียม แมกนีเซียม กำมะถัน คลอรีน โบรอน ทองแดง เหล็ก สังกะสี และโซเดียมมากกว่า และเมื่อนำน้ำสกัดมูลไก่ไข่มาใช้ร่วมกับปุ๋ยเคมีน้ำซึ่งมีฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมมากกว่าการใช้น้ำสกัดมูลไก่ไข่เพียงอย่างเดียว ทำให้ข้าวดูดซับแร่ธาตุเข้าไปใช้ในการเจริญเติบโตทางด้านความยาวใบ และความสูงของลำต้นมากกว่าด้วย เป็นผลให้ข้าวมีการเจริญเติบโตของใบ และลำต้นมากกว่า เช่นเดียวกับในระยะเริ่มออกดอก-ออกรวง เมื่อปรับปริมาณธาตุโพแทสเซียมให้เท่ากันแล้ว ข้าวในแปลงที่ใช้น้ำสกัดมูลนกกกระทาไข่ จึงมีแนวโน้มทำให้การแตกกอ น้ำหนักแห้ง 1,000 เมล็ด และน้ำหนักผลผลิตข้าวสดสูงกว่าได้รับการทดลองอื่น ๆ

เมื่อเปรียบเทียบธาตุอาหารในน้ำสกัดมูลไก่ไข่ร่วมกับปุ๋ยเคมีน้ำ พบว่า มีปริมาณฟอสฟอรัส โพแทสเซียม และแมกนีเซียมมากกว่าในน้ำสกัดมูลนกกกระทาไข่ จึงอาจทำให้ข้าวเจริญเติบโตทางด้านลำต้นและใบมากกว่า ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ IRRI (1997) ที่กล่าวถึงผลกระทบจากการขาดธาตุอาหารพืชบางชนิดว่า ข้าวที่ขาดฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมจะมีใบสั้นและลำต้นแคระแกร็น แต่ในส่วนของน้ำสกัดมูลนกกกระทาไข่ที่มีปริมาณไนโตรเจน แคลเซียม แมกนีเซียม กำมะถัน และเหล็กมากกว่าน้ำสกัดมูลไก่ไข่ร่วมกับปุ๋ยเคมีน้ำ ในโตรเจนจึงเข้าไปช่วยในการสังเคราะห์แสงและเป็นองค์ประกอบที่สำคัญของฮอร์โมนพืช คือ ออกซิน และไซโตไคนิน โดยออกซินมีผลต่อการเจริญของตาข้าง กระตุ้นการเติบโตของราก และกระตุ้นการเกิดรากแขนง ส่วนไซโตไคนินเมื่อใช้ร่วมกับออกซินแล้วมีผลกระตุ้นการแบ่งเซลล์ อีกทั้งพบไซโตไคนินสูงขณะเกิดการสร้างเมล็ดของพืช (ลิลลี่ และคณะ, 2552) นอกจากนี้ แคลเซียม แมกนีเซียม กำมะถัน รวมทั้งเหล็กมีส่วนช่วยในการสร้างแป้งและเมล็ด (มุกดา, 2544; ยงยุทธ, 2552) จึงอาจทำให้ข้าวในแปลงที่ใช้น้ำสกัดมูลนกกกระทาไข่มีการแตกกอ น้ำหนักแห้ง 1,000 เมล็ด และน้ำหนักผลผลิตสูง

## สรุปผลการทดลอง

ในการทดลองนี้ได้ศึกษาผลของการใช้น้ำสกัดมูลไก่ไข่และน้ำสกัดมูลนกกกระทาไข่เป็นแหล่งธาตุอาหารเสริมทางใบต่อปริมาณธาตุอาหารในลำต้น ใบ เมล็ด และผลผลิตของข้าวหอมพันธุ์ปิ่นเกษตร 1 สรุปผลการศึกษาได้ดังนี้

1. ปริมาณแร่ธาตุอาหารพืชในมูลและน้ำสกัดมูลมีความผันแปรระหว่างฟาร์มแต่ละฟาร์มที่ศึกษาทั้งของไก่ไข่และนกกกระทาไข่

2. ปริมาณแร่ธาตุอาหารพืชในมูลและในน้ำสกัดมูลที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) ของไก่ไข่ คือ ธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม และคลอรีน ส่วนปริมาณแร่ธาตุในมูลและน้ำสกัดมูลของนกกกระทาไข่ที่มีความแตกต่างกัน คือ ธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม โบรอน เหล็ก แมงกานีสและโซเดียม

3. ความสัมพันธ์ระหว่างแร่ธาตุในมูลและน้ำสกัดมูล พบสมการความสัมพันธ์ในเชิงคณิตศาสตร์แบบเส้นตรง  $Y = aX \pm b$  ทั้งของไก่ไข่และนกกกระทาไข่ ความสัมพันธ์ของแร่ธาตุที่พบระหว่างมูลและน้ำสกัดมูลของไก่ไข่ คือ ธาตุไนโตรเจน โพแทสเซียม ทองแดง สังกะสี และโซเดียม ( $r^2 = 0.564, 0.794, 0.679, 0.267$  และ  $0.318$  ตามลำดับ) ส่วนความสัมพันธ์ของแร่ธาตุที่พบระหว่างมูลและน้ำสกัดมูลของนกกกระทาไข่ คือ ธาตุไนโตรเจน โพแทสเซียม กำมะถัน คลอรีน และโซเดียม ( $r^2 = 0.289, 0.435, 0.270, 0.825$  และ  $0.726$  ตามลำดับ)

4. ปริมาณแร่ธาตุอาหารพืชในน้ำสกัดมูลทั้งของไก่ไข่และนกกกระทาไข่ มีความผันแปรตามปริมาณแร่ธาตุที่อยู่ในมูล นอกจากนี้ยังพบว่า น้ำสกัดมูลทั้งสองชนิดมีแร่ธาตุอาหารต่าง ๆ ที่มีในมูลครบทั้ง 13 ชนิด และเป็นแร่ธาตุชนิดเดียวกับที่พืชต้องการใช้เป็นแหล่งธาตุอาหาร

5. การสะสมของธาตุอาหารส่วนใหญ่มีการสะสมไว้ในส่วนเนื้อเยื่อลำต้นมากที่สุดและธาตุที่สะสมในลำต้นมากที่สุด คือ ธาตุโพแทสเซียม แคลเซียม คลอรีน เหล็ก สังกะสี และโซเดียม รองลงมา ได้แก่ ใบและธาตุที่สะสมในใบมากที่สุด คือ ธาตุไนโตรเจน แมกนีเซียม โบรอน ทองแดง และแมงกานีส สำหรับเมล็ดมีการสะสมของธาตุน้อยที่สุดและธาตุที่สะสมในเมล็ดมากที่สุด คือ ธาตุฟอสฟอรัส และกำมะถัน

6. การใช้น้ำสกัดมูลไก่ไข่ร่วมกับปุ๋ยเคมีน้ำมีแนวโน้มทำให้ความยาวใบ และความสูงของ ลำต้นข้าวสูงกว่าตำรับการทดลองอื่น ๆ โดยมีความยาวใบและความสูงของลำต้นในระยะเก็บเกี่ยว เท่ากับ 46.1 และ 147.4 เซนติเมตร ตามลำดับ

7. การใช้น้ำสกัดมูลนกกระทาไข่มีผลทำให้การแตกกอ น้ำหนักแห้ง 1,000 เมล็ด และ น้ำหนักผลผลิตข้าวสดมีแนวโน้มสูงกว่าตำรับการทดลองอื่น ๆ โดยมีจำนวนการแตกกอ 34 กอต่อ ต้น น้ำหนักแห้ง 1,000 เมล็ด เท่ากับ 26.05 กรัม และน้ำหนักผลผลิตสด เท่ากับ 933.7 กิโลกรัมต่อ ไร่

8. เมื่อเปรียบเทียบธาตุอาหารในน้ำสกัดมูลไก่ไข่ร่วมกับปุ๋ยเคมีน้ำพบว่า มีปริมาณ ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม และแมงกานีสมากกว่าน้ำสกัดมูลนกกระทาไข่ ทำให้ข้าวเจริญเติบโต ทางด้านลำต้นและใบมากกว่า ส่วนน้ำสกัดมูลนกกระทาไข่มีปริมาณไนโตรเจน แคลเซียม แมกนีเซียม กำมะถัน และเหล็กมากกว่า ทำให้ข้าวมีการแตกกอ น้ำหนักแห้ง 1,000 เมล็ด และ น้ำหนักผลผลิตสูงกว่า

## เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กรมปศุสัตว์. 2551. จำนวนประชากรสัตว์ปีกในประเทศไทย ณ วันที่ 1 มกราคม 2551. กลุ่มสารสนเทศและข้อมูลสถิติ ศูนย์สารสนเทศ กรมปศุสัตว์, กรุงเทพฯ.

กรมพัฒนาที่ดิน. 2542. คู่มือการประเมินคุณภาพที่ดินสำหรับพืชเศรษฐกิจ. กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

\_\_\_\_\_. 2547. ระเบียบกรมพัฒนาที่ดิน ว่าด้วยการใช้เครื่องหมายรับรองมาตรฐานสินค้าประเภทปัจจัยการผลิตทางการเกษตร พ.ศ. 2547 (ฉบับที่ 1). สำนักวิทยาศาสตร์เพื่อการพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

\_\_\_\_\_. 2553ก. คุณสมบัติและการจัดการกลุ่มชุดดิน. กลุ่มชุดดินที่ 33. แหล่งที่มา: <http://r09.Idd.go.th/nsn01/map/soilgroup/soilgroup33.doc.>, 3 เมษายน 2553.

\_\_\_\_\_. 2553ข. ลักษณะและสมบัติของชุดดินภาคกลาง. ชุดดินกำแพงแสน. แหล่งที่มา: [http://www.Idd.go.th/thaisoils\\_museum/pf\\_desc/central/Ks.htm.](http://www.Idd.go.th/thaisoils_museum/pf_desc/central/Ks.htm.), 4 เมษายน 2553.

กรมวิชาการเกษตร. 2544. การผลิตและการใช้น้ำสกัดชีวภาพ. ใน รายงานเวทีเสวนาเกษตรระดับชาติ. 22-23 พ.ค. 2544. ณ โรงแรมเคพีแกรนด์ อ.เมือง, จันทบุรี.

คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา. 2544. ปฐพีวิทยาเบื้องต้น. ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. พิมพ์ครั้งที่ 9. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

จรัส โปร่งศิริวัฒนา. 2534. ความรู้เรื่องข้าว. สถาบันวิจัยข้าว กรมวิชาการเกษตร, กรุงเทพฯ.

จักรพันธ์ แสงกล้า. 2549. ผลของการให้ปุ๋ยอินทรีย์น้ำทางใบต่อการเจริญเติบโตผลผลิตและปริมาณแป้งของมันสำปะหลังพันธุ์ห้วยบง 60. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ฉลอง วชิราภากร. 2543. โภชนศาสตร์แร่ธาตุของสัตว์. ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ขอนแก่น.

ทรงเชาว์ อินสมพันธ์. 2545. ข้าว (Rice). เอกสารคำสอนวิชาพืชไร่สำคัญของประเทศไทย. ภาควิชาพืชไร่ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่.

ทัศนีย์ อัดตะนันท์ และจรงค์ จันท์เจริญสุข. 2542. แบบฝึกหัดและคู่มือปฏิบัติการวิเคราะห์ดินและพืช. ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ธงชัย มาลา. 2544. การผลิตน้ำปุ๋ยหมัก. สำนักส่งเสริมและฝึกอบรม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน, นครปฐม.

นิภาวรรณ โพธิสุวรรณ. 2548. ผลของการใช้สารสกัดพืช สารสกัดปลา ไคโตซาน และภูไมท์ ร่วมกับปุ๋ยเคมีต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของถั่วเหลืองพันธุ์ ชม. 60. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

บุญล้อม ชีวะอิสระกุล, ภรณ์ ต่างวิวัฒน์ และเสาวคนธ์ โรจนสถิตย์. 2548ก. เอกสารการสอนชุดวิชา หลักโภชนศาสตร์และอาหารสัตว์ หน่วยที่ 1-8. พิมพ์ครั้งที่ 5. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมมาธิราช, นนทบุรี.

\_\_\_\_\_, พรศรี ชัยรัตน์นุรักษ์ และศิริลักษณ์ วงศ์พิเชษฐ์. 2548ข. เอกสารการสอนชุดวิชา หลักโภชนศาสตร์และอาหารสัตว์ หน่วยที่ 9-16. พิมพ์ครั้งที่ 5. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมมาธิราช, นนทบุรี.

ปฎิมา อู่สูงเนิน, สุกัญญา จัตตุพรพงษ์ และ อุทัย คันโธ. 2548. ใน รายงานผลการดำเนินงานโครงการร่วมส่งเสริมการใช้มันสำปะหลังเป็นอาหารสัตว์ในประเทศไทยปี 2548. ศูนย์ค้นคว้าและพัฒนาวิชาการอาหารสัตว์, ศูนย์วิจัยและพัฒนาการผลิตกระบือและโค สถาบันสุวรรณวาทกสิกิจ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน, นครปฐม.

ประพาส วีระแพทย์. 2523. ความรู้เรื่องข้าว. สำนักพิมพ์ไทยวัฒนาพานิช, กรุงเทพฯ.

มุกดา สุขสวัสดิ์. 2544. **ความอุดมสมบูรณ์ของดิน**. คณะพืชศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตพิษณุโลก. สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์, กรุงเทพฯ.

มุกดา สุขสวัสดิ์. 2547. **ปุ๋ยและการใช้ปุ๋ยอย่างมีประสิทธิภาพ**. ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตรศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตพิษณุโลก. พิมพ์ครั้งที่ 2. สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์, กรุงเทพฯ.

ขงยุทธ โอสดสภา. 2548. **เทคนิคการแปลความหมายผลการวิเคราะห์ดินและพืช**. ใน เอกสารประกอบการฝึกอบรมหลักสูตรระบบข้อมูลดินและธาตุอาหารพืช. ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน.

\_\_\_\_\_. 2552ก. **การให้ปุ๋ยทางใบ**. ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน. พิมพ์ครั้งที่ 3. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

\_\_\_\_\_. 2552ข. **ธาตุอาหารพืช**. ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน. พิมพ์ครั้งที่ 3. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

\_\_\_\_\_, อรรถศิษฐ์ วงศ์มณีโรจน์ และชวลิต ฮงประยูร. 2551. **ปุ๋ยเพื่อการเกษตรยั่งยืน**. ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตรกำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ลิลลี่ กาวีตะ, มาลี ณ นคร, ศรีสม สุวรรณวงศ์ และสุรีษา ดันติวิวัฒน์. 2552. **สรีรวิทยาของพืช**. ภาควิชาพฤกษศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. พิมพ์ครั้งที่ 2. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

วงกต วงศ์อภัย. 2547. จากมูลสัตว์สู่พลังงาน สิ่งปฏิภูลอันมีคุณค่า. **มติชนสุดสัปดาห์** 24 (1237): 29-30.

วราภรณ์ หม่อมงาม. 2547. **ผลของการใช้น้ำสกัดมูลสุกรเป็นปุ๋ยทางใบมันดำปะหลังต่อผลผลิต**

เปอร์เซ็นต์แป้งของหัวมันสำปะหลัง และต่อคุณค่าทางอาหารของมันเส้น วิทยานิพนธ์  
ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน, นครปฐม.

ศรีสม สุวรรณวงศ์. 2547. การวิเคราะห์ธาตุอาหารพืช. ภาควิชาพฤกษศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์  
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. พิมพ์ครั้งที่ 2. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์,  
กรุงเทพฯ.

ศูนย์วิจัยเพื่อเพิ่มผลผลิตทางการเกษตร. 2546. ระบบการขยายผลผลิตข้าว. คณะเกษตรศาสตร์  
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่.

ศูนย์วิทยาศาสตร์ข้าว. 2550. ข้าวเพื่ออนาคต พัฒนาพันธุ์ข้าวสู่โลกอนาคต. แผ่นพับเผยแพร่ทาง  
วิชาการ หน่วยปฏิบัติการค้นหาและใช้ประโยชน์ข้าว มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์,  
นครปฐม.

สุกัญญา จัตตพรพงษ์, ปฎิมา อู่สูงเนิน และอุทัย กันโร. 2550. การใช้ประโยชน์จากมูลสัตว์และ  
น้ำเสียจากฟาร์มเลี้ยงสัตว์เป็นปุ๋ยอินทรีย์แบบต่างๆ สำหรับพืชเศรษฐกิจ. สถาบันสุวรรณ  
วาทกสถิจ เพื่อการค้นคว้าและพัฒนาปศุสัตว์และผลิตภัณฑ์สัตว์  
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน, นครปฐม.

สุรัชย์ พัฒนพิบูล. 2546. ประสิทธิภาพของน้ำสกัดชีวภาพต่อการเจริญเติบโตของผักบางชนิดใน  
ระบบการปลูกพืชแบบไม่ใช้ดิน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์,  
กรุงเทพฯ.

สุริยา ศาสนรักกิจ. 2542. ปุ๋ยชีวภาพ. วารสารดินและปุ๋ย 21(3): 152-171.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2551. ภาวะเศรษฐกิจการเกษตรปี 2551 และแนวโน้มปี 2552.  
สำนักนโยบายและแผนพัฒนาการเกษตร สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตร  
และสหกรณ์. ชุมชนสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย จำกัด, กรุงเทพฯ.

- \_\_\_\_\_. 2552. สถานการณ์สินค้าเกษตรที่สำคัญและแนวโน้มปี 2553. สำนักวิจัยเศรษฐกิจการเกษตร สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.
- \_\_\_\_\_. 2553. สถิติการส่งออก (export) – ข้าว: ปริมาณและมูลค่าการส่งออก. ระบบแสดงข้อมูลด้านสถิติ. แหล่งที่มา: [http://www.oae.go.th/oae\\_report/export\\_import/export\\_result.php](http://www.oae.go.th/oae_report/export_import/export_result.php), 17 เมษายน 2553.
- อนันท์ อินทพัฒน์. 2542. การเลี้ยงไก่ไข่. อักษรสยามการพิมพ์, กรุงเทพฯ.
- อนันท์ สุขสวัสดิ์. 2547. การประเมินความอุดมสมบูรณ์ของดินนา. พิมพ์ครั้งที่ 1. โอเดียนสโตร์, กรุงเทพฯ.
- อรรควุฒิ ทศน์สองชั้น. 2530. เรื่องของข้าว. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- อุทัยวรรณ คันโช. 2552. ผลของการใช้น้ำสกัดมูลสุกรเป็นแหล่งธาตุอาหารทางใบและทางดินแก่มันสำปะหลังต่อปริมาณธาตุอาหารในใบ ปริมาณคลอโรฟิลล์และผลผลิตมันสำปะหลังพันธุ์ห้วยบง 60. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, นครปฐม.
- AOAC. 1980. **Official Method of Analysis of AOAC International**. 16<sup>th</sup> ed., AOAC International, Gaithersburg, Maryland, U.S.A.
- Barker, A.V. and D.J. Pilbeam. 2007. **Handbook of Plant Nutrition**. Taylor & Francis Group, CRK Press, USA. 613 p.
- Below, F.E., S.J. Crafts-Brandner, J.E. Harper and R.H. Hageman. 1985. Uptake, distribution and remobilization of <sup>15</sup>N-labeled urea applied to maize canopies. **Agronomy Journal** 77: 412-415.
- Benckiser, G., J.C.G. Ottow, I. Watanbe and S. Santiago. 1984. The mechanism of excessive ironuptake (iron toxicity) of wetland rice. **Plant Nutrition** 7: 177-185.

- Brady, N.C. and R.R. Weil. 2002. **The Nature and Properties of Soils**. Prentice Hall, New Jersey.
- Cheng, B.T. and G.J. Quелlette. 1971. Manganese availability in soil. **Soil and Fertilizers** 34: 589-595.
- Dobermann, A. and T. Fairhurst. 2000. **Rice: Nutrient disorders and nutrient management**. Potash & Phosphite Institute (PPI), Potash & Phosphite Institute of Canada (PPIC) and IRRI. Oxford Graphic Printers Pte Ltd.
- Epstein, E. and A.J. Bloom. 2005. **Mineral Nutrition of Plants: Principles and Perspectives**. Sunderland, Massachusetts: Sinauer Associates, Inc. Publishers.
- Fageria, N.K., N.A. Slaton, and V.C. Baligar. 2003. **Nutrient Management for improving lowland rice productivity and sustainability** 80: 63-152.
- \_\_\_\_\_. 2009. **The Use of Nutrients in Crop Plants**. Taylor & Francis Group, CRC Press, USA.
- Freney, J.R., K. Spencer and M.B. Jones. 1978. The diagnosis of sulfur deficiency in wheat. **Agriculture Respond** 29: 727-738.
- Hanson, J.B. 1984. The function of calcium in plant nutrition. *In **Advance in Plant Nutrition***. P.B. Tinker and A. Louchli, eds. Praeger Publishers. New York. pp. 149-207.
- Havlin, J.L., J.D. Beaton, S.L. Tisdale and W.L. Nelson. 2005. **Soil fertility and fertilizers : an introduction to nutrient management**. 7<sup>th</sup> ed., Pearson Education, Inc., New Jersey. USA. 515 p.
- Hillocks, R.J., J.M. Thresh and A.C. Bellotti. 2002. **Cassava: Biology, Production and**

**Utilization.** CABI Publishing, UK.

IRRI. 1977. **Annual report for 1976.** Philippines: Los Banos.

Islam A. and W. Islam. 1973. Chemistry of submerged soils and growth and yield of rice.

I. Benefit form submergence. **Plant Soils** 39: 555-565.

Jones, J.B. 2001. **Laboratory guide for conducting soil tests and plant analysis.** CPR Press, London.

Jones, J.K. and D.M. Huber. 2007. Magnesium and plant disease. *In: Mineral nutrition and plant disease*, L. C. Datnoff, W. H. Elmer, and D. M. Huber, Eds., 95-100. St. Paul, MN: The American Phytopathological Society.

Land Classification Division and FAO Project Staff. 1973. **Soil Interpretation Handbook for Thailand.** Land Development Department, Ministry of Agriculture and Cooperatives, Bangkok. 135 p.

Marschner, H. 1995. **Mineral Nutrition of Higher Plants.** 2<sup>nd</sup> ed., Academic Press, New York.

Mazzolini, A.P., C.K. Pallaghy and G.J.F. Legge. 1985. Quantitative microanalysis of Mn, Zn and other elements in mature wheat seed. **New Phytologist** 100: 483-509.

Patrick, W.H., Jr. and C.N. Reddy. 1978. **Chemical changes in rice soils.** *In* Soils and Rice. (International Rice Research Institute, Ed.), pp. 361-379.

Patterson, P.H. and E.S. Lorenz. 1996. Manure nutrient production from commercial White Leghorn hens. **The Journal of Applied Poultry Research** 5(3):260-268.

Polle, A., K. Chakrabarti, F. Seifert, P. Schramel and H. Rennenberg. 1992. Antioxidants and

manganese deficiency in needles of Norway spruce trees. **Plant Physiology** 99: 1084-1089.

Snyder, G.H. and D.B. Jones. 1988. Prediction and prevention of iron-related rice seedling chlorosis on everglades Histosols. **Soil Science** 52: 1043-1046.

Tanaka, A., R.P. Mulleriyawa and T. Yasu. 1968. Possibility of hydrogen sulfide induced iron toxicity of the rice plant. **Soil Science** 48: 175-180.

\_\_\_\_\_, T. Tadano and H. Fujita. 1975. Comparative studies on plant nutrition: adaptability to heavy metals among crop species. I. Adaptability to manganese. **Journal of Soil Science Manure** 46: 425-430.

Underwood, E.J. and N.F. Suttle. 1999. **The Mineral Nutrition of Livestock**. 3<sup>rd</sup> ed., CABI Publishing, UK.

Voet, D. and J.D. Voet. 1995. **Biochemistry**. 2<sup>nd</sup> ed., John Wiley and Sons. New York.

Walkley, A. and C.A. Black. 1934. An examination of didestion method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. **Soil Science** 37: 29-38.

Wells, B.R., B.A. Huey, R.J. Norman and R.S. Helms. 1993. **Rice**. In Nutrient Deficiencies and Toxicities in Crop Plants. (W. F. Bennett, Ed.), pp. 361-379.

Yu, X. and P.F. Bell. 1998. Nutrient deficiency symptoms and boron uptake mechanisms of rice. **Journal of Plant Nutrition** 21: 2077-2088.



ภาคผนวก



ตารางผนวกที่ ก1 ปริมาณแร่ธาตุอาหารพืชชนิดต่าง ๆ ในมูลไก่ไข่ และมูลนกกกระทาน้ำหนักแห้ง

แร่ธาตุอาหารพืช	มูลไก่ไข่น้ำหนักแห้ง*	มูลนกกกระทาน้ำหนักแห้ง**
มหธาตุ (กรัมต่อ 100 กรัม)		
ธาตุหลัก		
ไนโตรเจน	2.59	4.1
ฟอสฟอรัส	1.96	3.7
โพแทสเซียม	2.29	2.3
ธาตุรอง		
แคลเซียม	8.09	ns
แมกนีเซียม	0.74	ns
กำมะถัน	0.54	ns
จุลธาตุ (กรัมต่อ 100 กรัม)		
คลอรีน	ns	ns
(มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)		
โบรอน	ns	ns
ทองแดง	75.51	ns
เหล็ก	3,100	ns
แมงกานีส	591.87	ns
สังกะสี	396.54	ns
ธาตุเสริมประโยชน์ (กรัมต่อ 100 กรัม)		
โซเดียม	0.32	ns

หมายเหตุ ns หมายถึง ไม่พบข้อมูล

ที่มา: \* สุกัญญาและคณะ (2550)

\*\* คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา (2544)

ตารางผนวกที่ ก2 สมบัติทางกายภาพ และสมบัติทางเคมีที่ใช้ประเมินความอุดมสมบูรณ์ของดิน  
(Land Classification Division and FAO Staff, 1973) และมาตรฐานปริมาณของ  
ธาตุชนิดต่าง ๆ ในดิน

1. การนำไฟฟ้า (electric conductivity; EC)

ระดับ	ความเค็ม	การนำไฟฟ้า (เดซิซีเมนต์ต่อเมตร)
1. ต่ำมาก	ไม่เค็ม	> 0 – 2
2. ต่ำ	เค็ม	> 2 – 4
3. ปานกลาง	เค็มปานกลาง	> 4 – 8
4. สูง	เค็มมาก	> 8 – 16
5. สูงมาก	เค็มมากที่สุด	> 16

2. ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (cation exchange capacity; CEC)

ระดับ	การแลกเปลี่ยนประจุบวก (เซนติโมลต่อกิโลกรัม)
1. ต่ำมาก	< 3
2. ต่ำ	3 – 5
3. ค่อนข้างต่ำ	5 – 10
4. ปานกลาง	10 – 15
5. ค่อนข้างสูง	15 – 20
6. สูง	20 – 30
7. สูงมาก	> 30

## 3. ความเป็นกรดเป็นด่าง (pH)

ระดับ	ความเป็นกรด - ด่าง
1. กรดรุนแรงมาก (very extremely acid)	< 4.0
2. กรดรุนแรง (extremely acid)	4.0 – 4.4
3. กรดจัดมาก (very strongly acid)	4.5 – 5.0
4. กรดจัด (strongly acid)	5.1 – 5.5
5. กรดปานกลาง (medium acid)	5.6 – 6.0
6. กรดเล็กน้อย (slightly acid)	6.1 – 6.5
7. กลาง (neutral)	6.6 – 7.3
8. ด่างเล็กน้อย (mildly alkaline)	7.4 – 7.8
9. ด่างปานกลาง (moderately alkaline)	7.9 – 8.4
10. ด่างจัด (strongly alkaline)	8.5 – 9.0
11. ด่างจัดมาก (very strongly alkaline)	> 9

## 4. ปริมาณอินทรีย์วัตถุ (organic matter; OM) (กรมพัฒนาที่ดิน, 2542)

ระดับ	อินทรีย์วัตถุ (เปอร์เซ็นต์)
1. ต่ำมาก	< 0.5
2. ต่ำ	0.5 – 1.0
3. ก่อนข้างต่ำ	1.0 – 1.5
4. ปานกลาง	1.5 – 2.5
5. ก่อนข้างสูง	2.5 – 3.5
6. สูง	3.5 – 4.5
7. สูงมาก	> 4.5

5. ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (available P) ที่สกัดด้วย Bray II

	ระดับ	ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)
1.	ต่ำมาก	< 0.5
2.	ต่ำ	0.5 – 1.0
3.	ค่อนข้างต่ำ	1.0 – 1.5
4.	ปานกลาง	1.5 – 2.5
5.	ค่อนข้างสูง	2.5 – 3.5
6.	สูง	3.5 – 4.5
7.	สูงมาก	> 4.5

6. ปริมาณโพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (exchangeable K, Ca and Mg) ที่สกัดด้วย ammonium acetate (กรมพัฒนาที่ดิน, 2542)

ระดับ	ปริมาณที่แลกเปลี่ยนได้ (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)		
	โพแทสเซียม	แคลเซียม	แมกนีเซียม
1. ต่ำมาก	< 30	< 400	< 36
2. ต่ำ	30 – 60	400 – 1,000	36 – 120
3. ปานกลาง	60 – 90	1,000 – 2,000	120 – 360
4. สูง	90 – 120	2,000 – 4,000	360 – 960
5. สูงมาก	> 120	> 4,000	> 960

7. ปริมาณทองแดง เหล็ก แมงกานีส และสังกะสีที่สกัดได้ (Extractable Cu, Fe, Mn and Zn) ที่สกัดด้วย DTPA (Jones, 2001)

ระดับ	ปริมาณที่สกัดได้ (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)			
	ทองแดง	เหล็ก	แมงกานีส	สังกะสี
1. ต่ำมาก	< 0.3	< 5	< 4	< 0.5
2. ต่ำ	0.3 – 0.8	5 – 10	4 – 8	0.5 – 1.0
3. ปานกลาง	0.9 – 1.2	11 – 16	9 – 12	1.1 – 3.0
4. สูง	1.3 – 2.5	17 – 25	13 – 30	3.1 – 6.0
5. สูงมาก	> 2.5	> 25	> 30	> 6.0

8. ปริมาณโบรอนที่สกัดได้ (extractable B) ที่สกัดโดยการต้ม (Jones, 2001)

ระดับ	โบรอนที่สกัดได้ (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)
1. ต่ำมาก	< 0.4
2. ต่ำ	0.4 – 0.7
3. ปานกลาง	0.8 – 1.2
4. สูง	1.3 – 2.0
5. สูงมาก	> 2.0

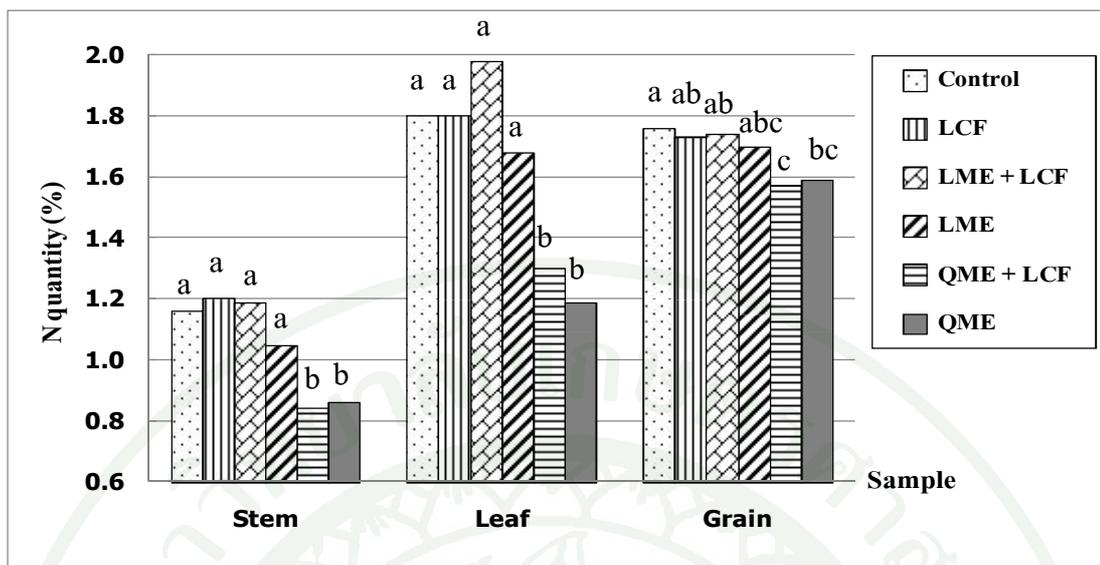
## 9. ผลการวิเคราะห์ดินทางเคมีของดินในแถบอบอุ่น (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2544)

รายการวิเคราะห์	ผลการวิเคราะห์ (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)
สมบัติทางเคมี	
อินทรียวัตถุ (OM, %)	4,000 – 100,000
แร่ธาตุอาหารพืช	
ไนโตรเจน (N)	200 – 5,000
ฟอสฟอรัส (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	200 – 4,000
โพแทสเซียม (K <sub>2</sub> O)	2,000 – 40,000
แคลเซียม (CaO)	1,000 – 50,000
แมกนีเซียม (MgO)	2,000 – 25,000
กำมะถัน (SO <sub>3</sub> )	200 – 5,000
เหล็ก (Fe)	500 - 5,000
แมงกานีส (Mn)	20 - 1,000
สังกะสี (Zn)	1 - 25
โบรอน (B)	0.5 - 15
ทองแดง (Cu)	0.5 - 15
โมลิบดีนัม (Mo)	0.02 - 0.5
คลอรีน (Cl)	1 - 100

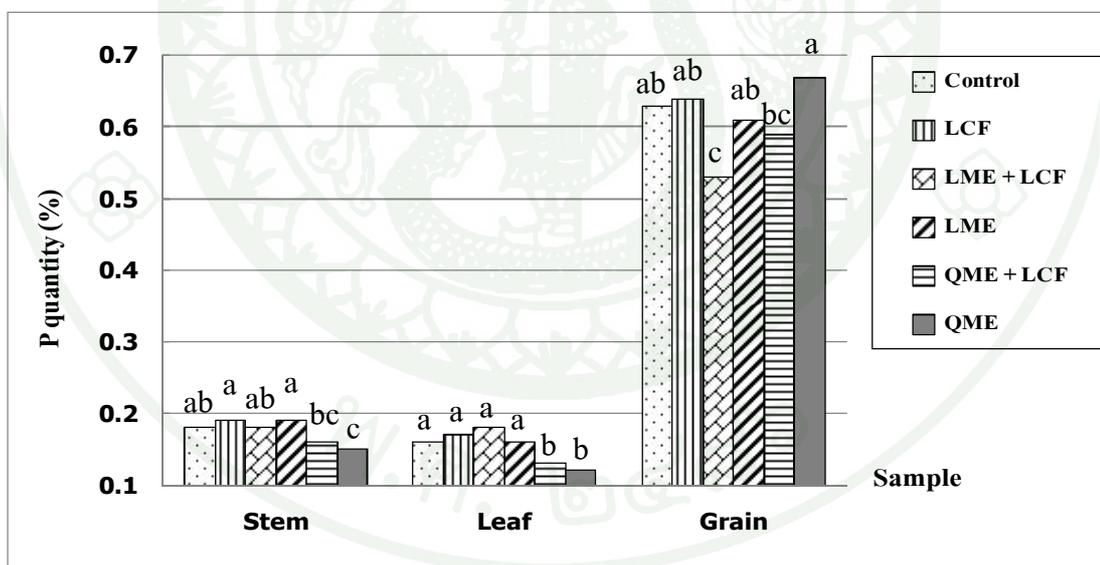


ภาคผนวก ข

ภาพผนวก

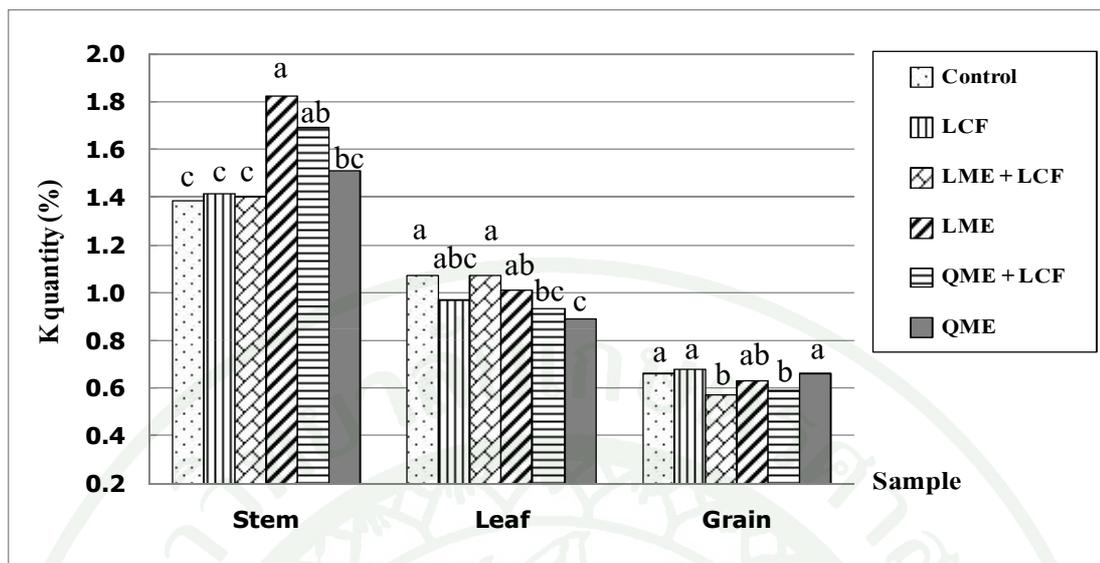


ภาพผนวกที่ ข1 ปริมาณไนโตรเจนในลำต้น ใบ และเมล็ด (เปอร์เซ็นต์) ของข้าวหอมพันธุ์ปิ่นเกษตร 1 ในระยะเก็บเกี่ยว ที่ได้รับการทดลองต่าง ๆ

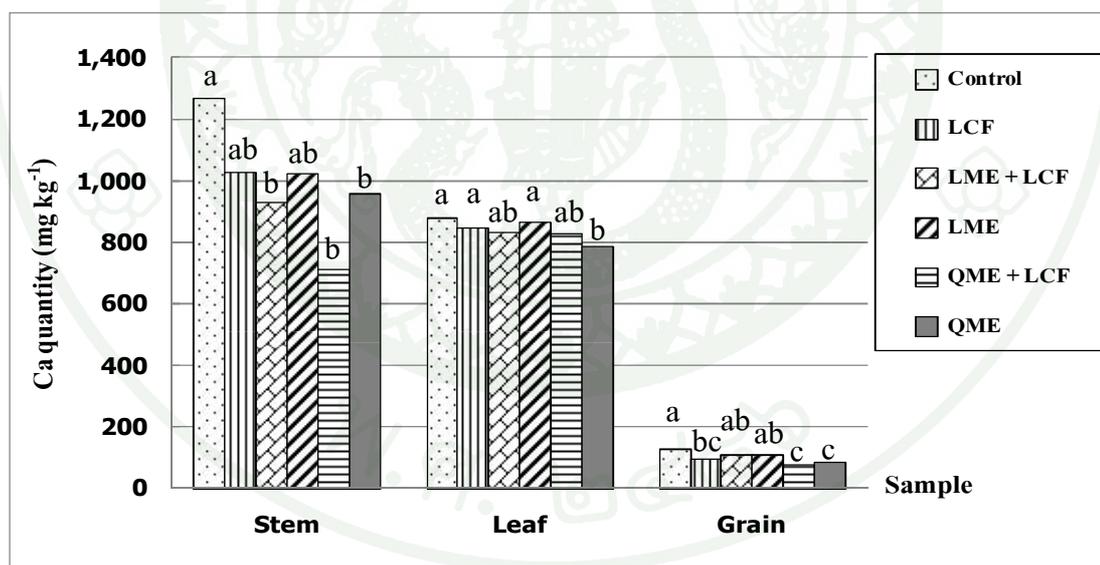


ภาพผนวกที่ ข2 ปริมาณฟอสฟอรัสในลำต้น ใบ และเมล็ด (เปอร์เซ็นต์) ของข้าวหอมพันธุ์ปิ่นเกษตร 1 ในระยะเก็บเกี่ยว ที่ได้รับการทดลองต่าง ๆ

หมายเหตุ a b c ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันที่มีอักษรแตกต่างกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ )

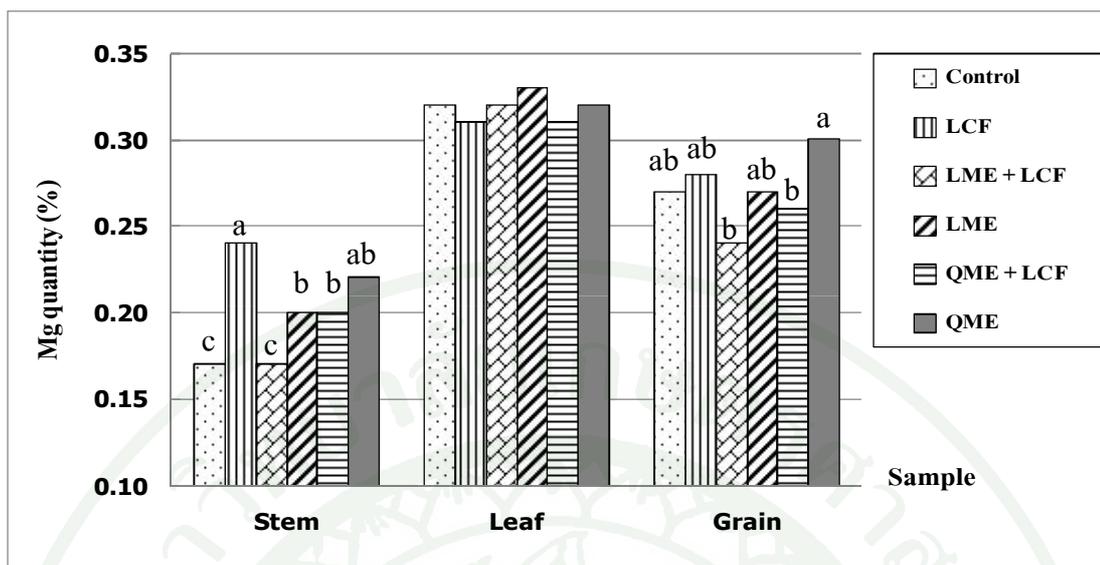


ภาพผนวกที่ ข3 ปริมาณโพแทสเซียมในลำต้น ใบ และเมล็ด (เปอร์เซ็นต์) ของข้าวหอมพันธุ์ปิ่นเกษตร 1 ในระยะเก็บเกี่ยว ที่ได้รับการทดลองต่าง ๆ

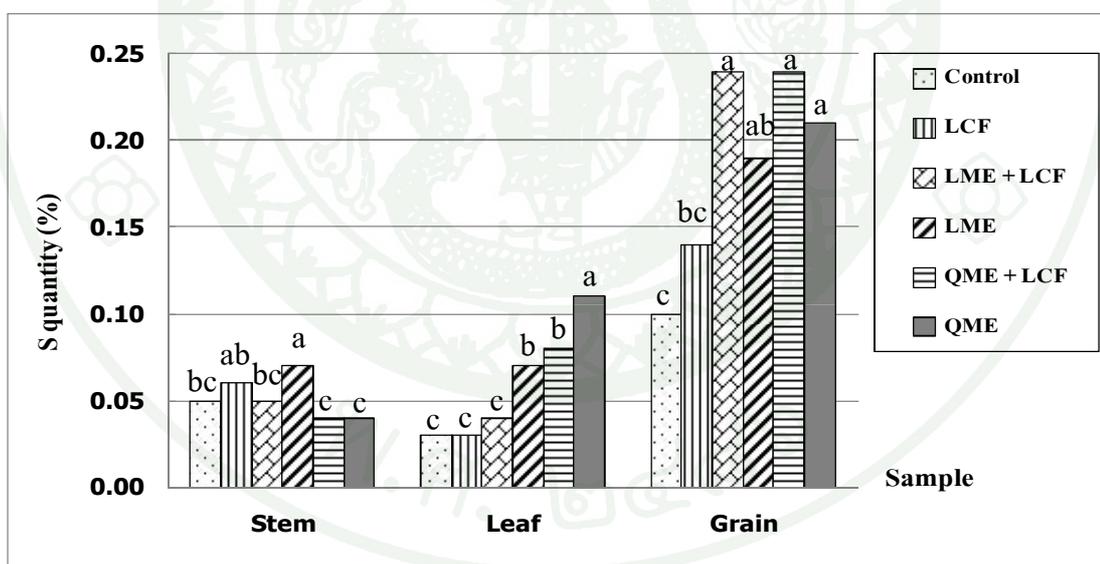


ภาพผนวกที่ ข4 ปริมาณแคลเซียมในลำต้น ใบ และเมล็ด (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ของข้าวหอมพันธุ์ปิ่นเกษตร 1 ในระยะเก็บเกี่ยว ที่ได้รับการทดลองต่าง ๆ

หมายเหตุ a b c ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันที่มีอักษรแตกต่างกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ )

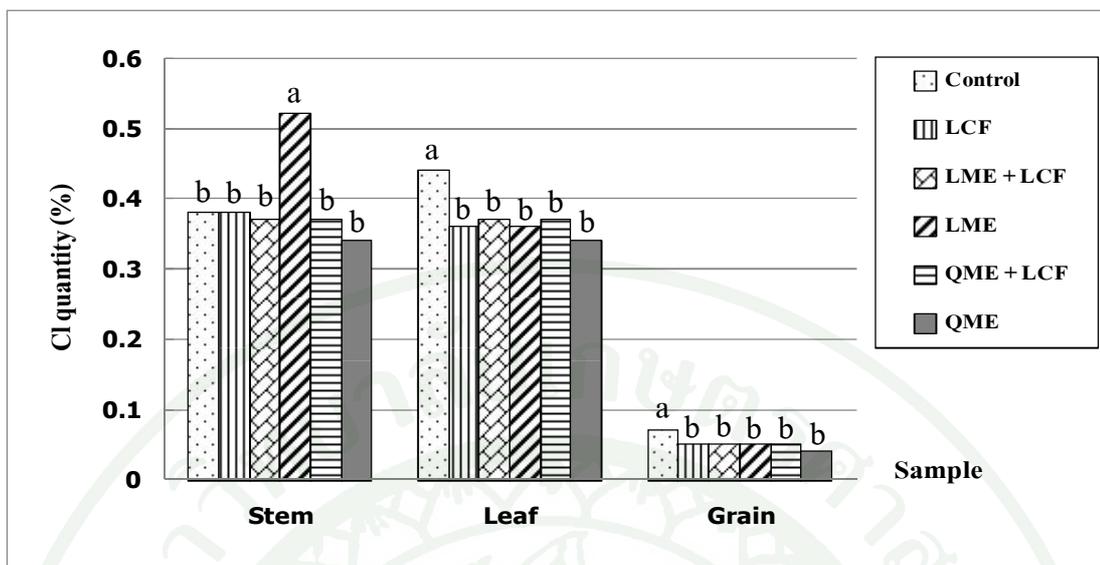


ภาพผนวกที่ ข5 ปริมาณแมกนีเซียมในลำต้น ใบ และเมล็ด (เปอร์เซ็นต์) ของข้าวหอมพันธุ์ปิ่นเกษตร 1 ในระยะเก็บเกี่ยว ที่ได้รับการทดลองต่าง ๆ

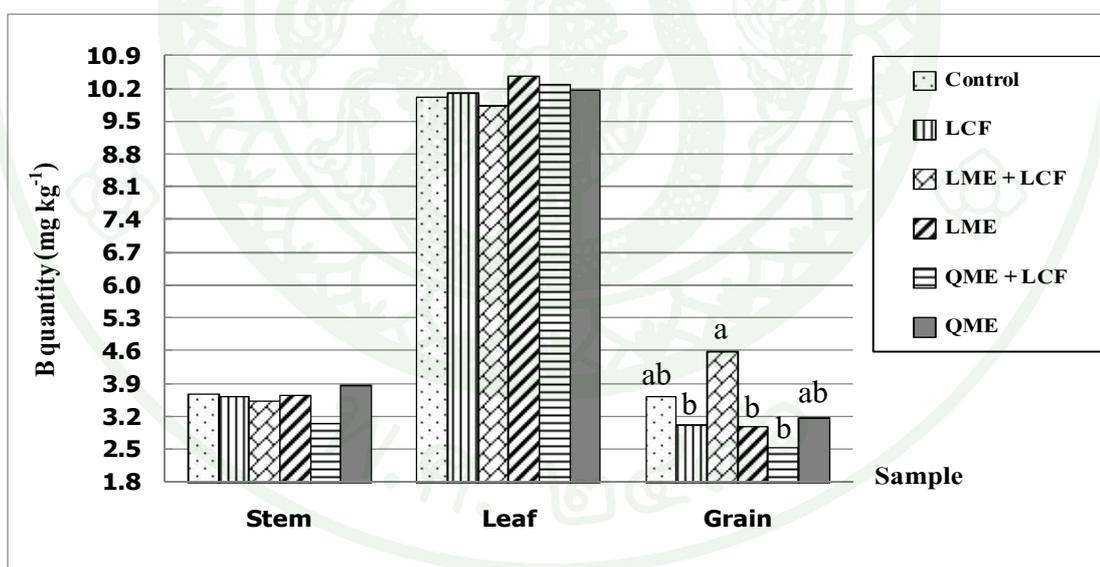


ภาพผนวกที่ ข6 ปริมาณกำมะถันในลำต้น ใบ และเมล็ด (เปอร์เซ็นต์) ของข้าวหอมพันธุ์ปิ่นเกษตร 1 ในระยะเก็บเกี่ยว ที่ได้รับการทดลองต่าง ๆ

หมายเหตุ a b c ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันที่มีอักษรแตกต่างกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ )

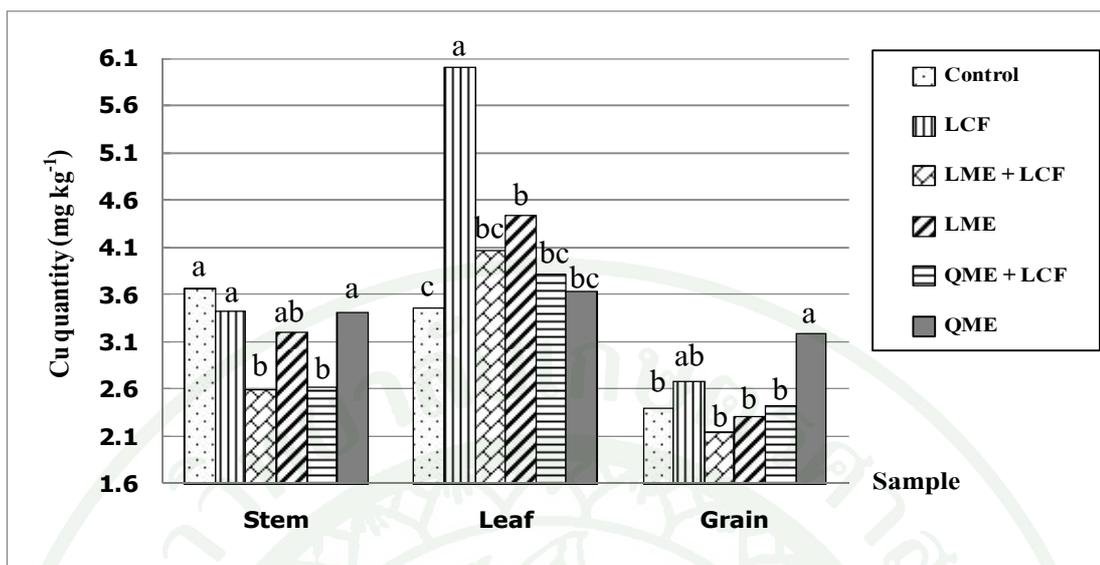


ภาพผนวกที่ ข7 ปริมาณคลอรีนในลำต้น ใบ และเมล็ด (เปอร์เซ็นต์) ของข้าวหอมพันธุ์ปิ่นเกษตร 1 ในระยะเก็บเกี่ยว ที่ได้รับการทดลองต่าง ๆ

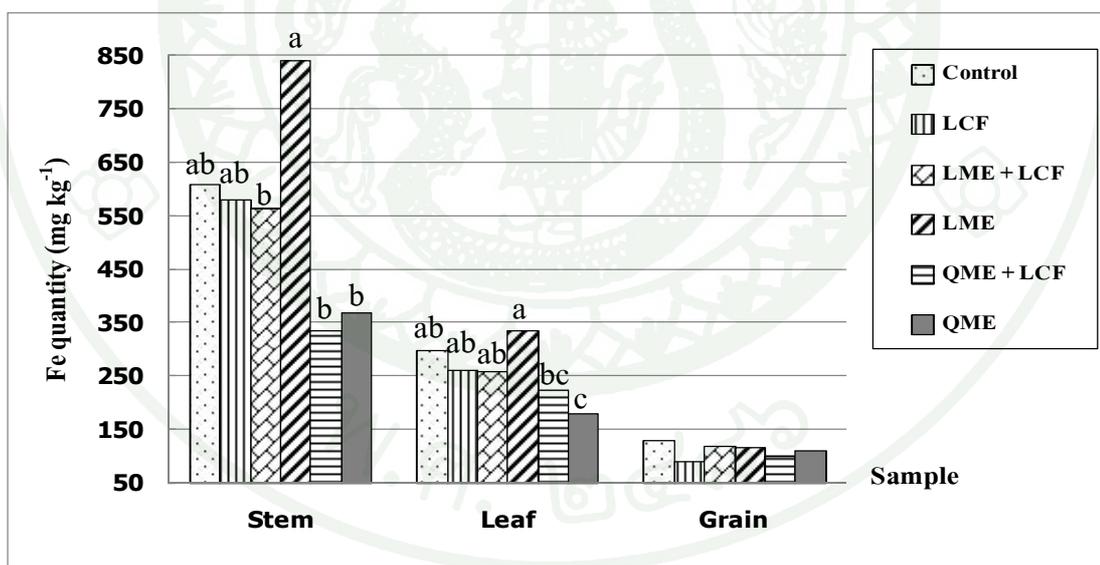


ภาพผนวกที่ ข8 ปริมาณโบรอนในลำต้น ใบ และเมล็ด (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ของข้าวหอมพันธุ์ปิ่นเกษตร 1 ในระยะเก็บเกี่ยว ที่ได้รับการทดลองต่าง ๆ

หมายเหตุ a b ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันที่มีอักษรแตกต่างกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ )

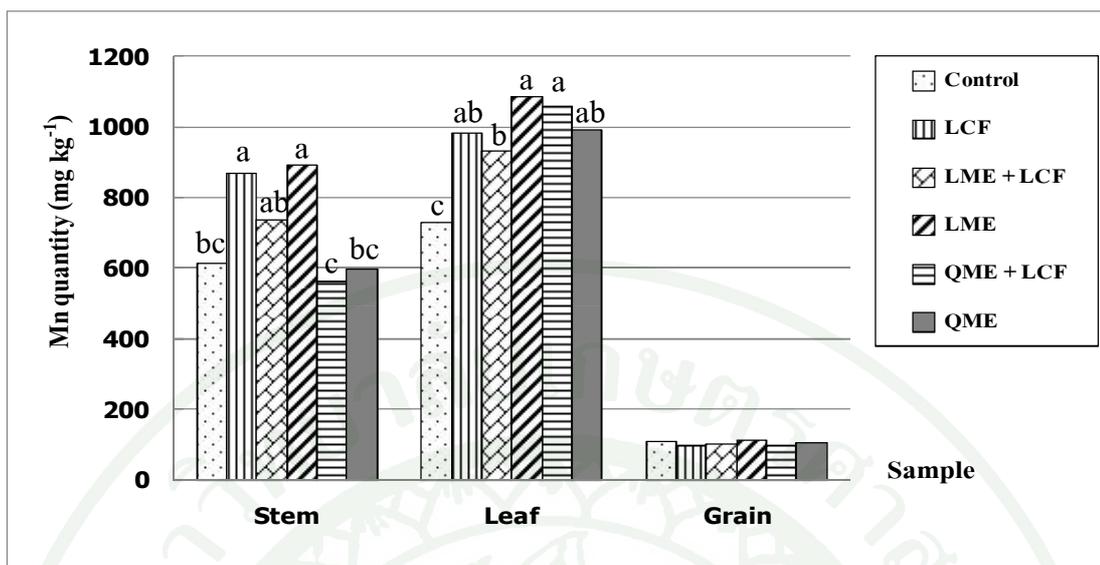


ภาพผนวกที่ ข9 ปริมาณทองแดงในลำต้น ใบ และเมล็ด (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ของข้าวหอมพันธุ์ปิ่นเกษตร 1 ในระยะเก็บเกี่ยว ที่ได้รับการทดลองต่าง ๆ

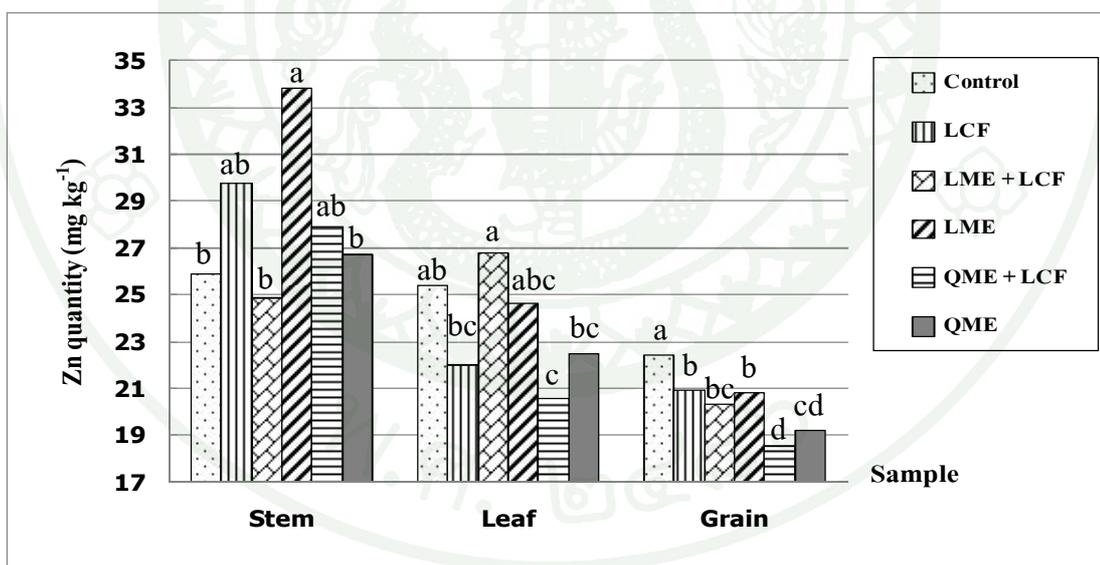


ภาพผนวกที่ ข10 ปริมาณเหล็กในลำต้น ใบ และเมล็ด (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ของข้าวหอมพันธุ์ปิ่นเกษตร 1 ในระยะเก็บเกี่ยว ที่ได้รับการทดลองต่าง ๆ

หมายเหตุ a b c ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันที่มีอักษรแตกต่างกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ )

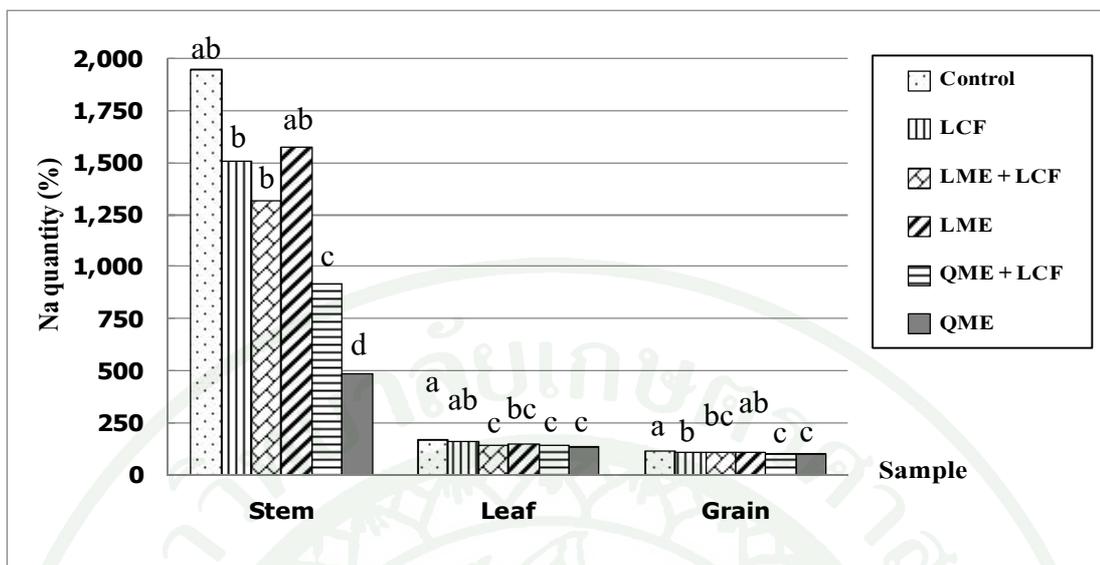


ภาพผนวกที่ ข11 ปริมาณแมงกานีสในลำต้น ใบ และเมล็ด (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ของข้าวหอมพันธุ์ปิ่นเกษตร 1 ในระยะเก็บเกี่ยว ที่ได้รับการทดลองต่าง ๆ

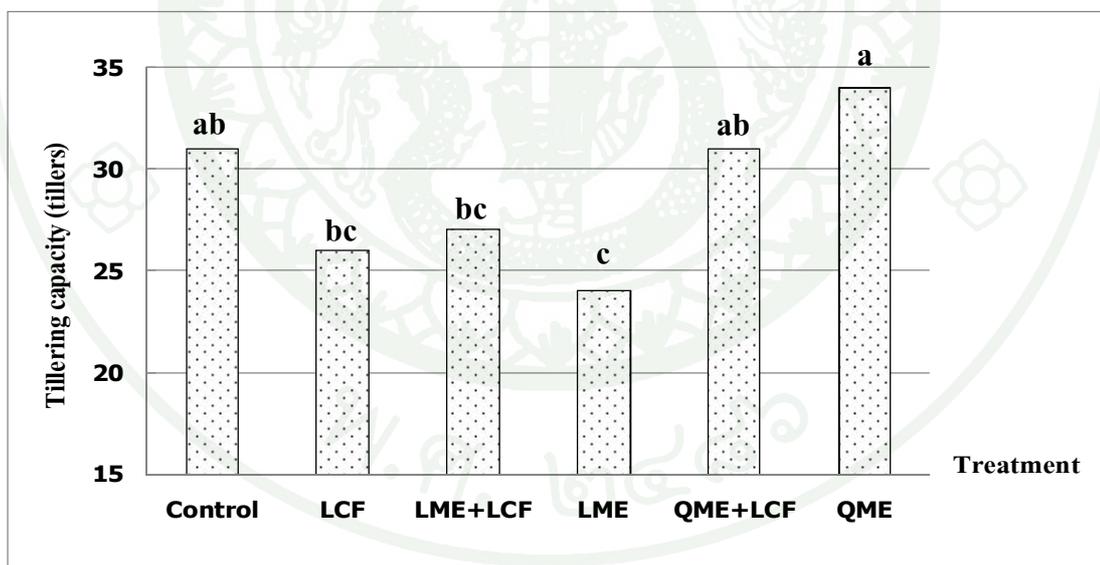


ภาพผนวกที่ ข12 ปริมาณสังกะสีในลำต้น ใบ และเมล็ด (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ของข้าวหอมพันธุ์ปิ่นเกษตร 1 ในระยะเก็บเกี่ยว ที่ได้รับการทดลองต่าง ๆ

หมายเหตุ a b c d ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันที่มีอักษรแตกต่างกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ )

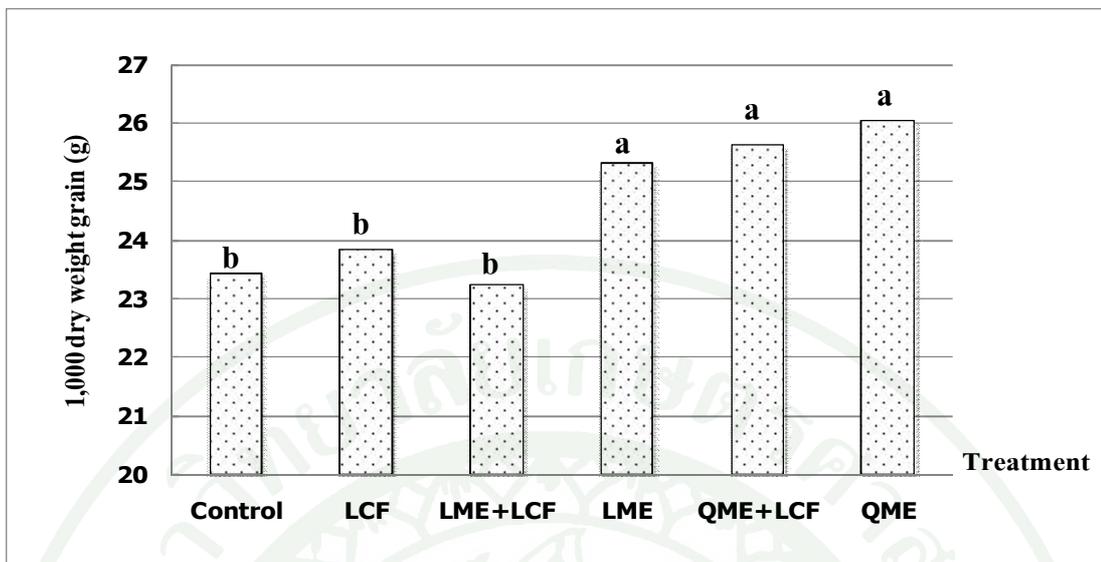


ภาพผนวกที่ ข13 ปริมาณโซเดียมในลำต้น ใบ และเมล็ด (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) ของข้าวหอมพันธุ์ปิ่นเกษตร 1 ในระยะเก็บเกี่ยว ที่ได้รับการทดลองต่าง ๆ

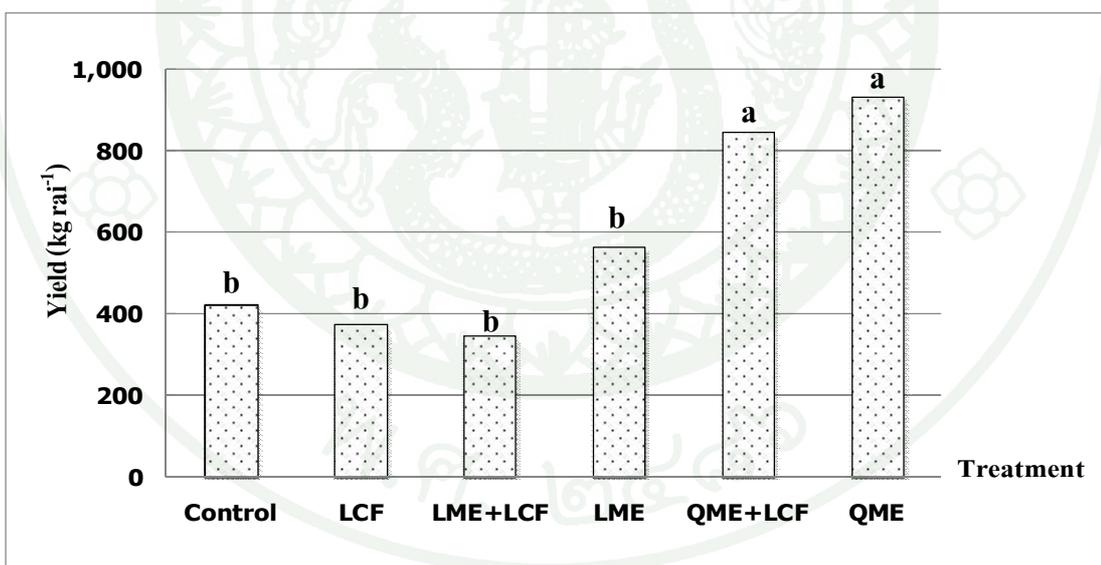


ภาพผนวกที่ ข14 ความสามารถในการแตกกอของข้าวหอมพันธุ์ปิ่นเกษตร 1 (จำนวนกอต่อต้น) ในระยะแตกกอสูงสุด อายุข้าว 60 วัน ที่ได้รับการทดลองต่าง ๆ

หมายเหตุ a b c d ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันที่มีอักษรแตกต่างกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ )



ภาพผนวกที่ ข15 น้ำหนักแห้ง 1,000 เมล็ดของข้าวหอมพันธุ์ปิ่นเกษตร 1 (กรัม) ที่ได้รับการทดลองต่าง ๆ



ภาพผนวกที่ ข16 ผลผลิตของข้าวหอมพันธุ์ปิ่นเกษตร 1 (กิโลกรัมต่อไร่) ที่ได้รับการทดลองต่าง ๆ

หมายเหตุ a b ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกันที่มีอักษรแตกต่างกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ )

## ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ – นามสกุล	นางสาวศาล์ธนี ศรีศาสนวงศ์
วัน เดือน ปี ที่เกิด	26 ธันวาคม 2527
สถานที่เกิด	อำเภอเมือง จังหวัดราชบุรี
ประวัติการศึกษา	วท. บ. (เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ) มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา วิทยาเขตตรัง
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	ได้รับทุนผู้ช่วยสอนจากบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (พ.ศ. 2550)