ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม)

ปริญญา

วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม | วิทยาลัยสิ่งแวดล้อม

สาขา | **ภาควิชา**

เรื่อง ผลของการใช้ตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียโรงงานอุตสาหกรรมผลิตเบียร์ต่อการเจริญเติบโต และผลผลิตของข้าว

Effects of Activated Sludge from Beverage Production Plant on Growth and Yield of Rice

นามผู้วิจัย นางสาวนิตยา สิงหาวงค์

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก .....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุเทพ ทองแพ, วท.ด.)

ประธานสาขาวิชา .....

(ศาสตราจารย์เกษม จันทร์แก้ว, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

.....

(รองศาสตราจารย์กัญจนา ธีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

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

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

ผลของการใช้ตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียโรงงานอุตสาหกรรมผลิตเบียร์ต่อการเจริญเติบโต และผลผลิตของข้าว

Effects of Activated Sludge from Beverage Production Plant on Growth and Yield of Rice

โดย

นางสาวนิตยา สิงหาวงค์

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม)
พ.ศ. 2553

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

นิตยา สิงหาวงค์ 2553: ผลของการใช้ตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียโรงงานอุตสาหกรรมผลิตเบียร์ต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าว ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม) สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม วิทยาลัยสิ่งแวดล้อม อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุเทพ ทองแพ, วท.ด. 90 หน้า

การศึกษาผลของการใช้ตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียโรงงานอุตสาหกรรมผลิตเบียร์ต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าว เมื่อใช้ตะกอนเพียงอย่างเดียวและเมื่อใช้กับปุ๋ยเคมี ทำการทดลองในกระถาง วางแผนการทดลองแบบ 4×3 Factorial in CRD มี 3 ซ้ำ ประกอบด้วย 2 ปัจจัย คือ ตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียโรงงานเบียร์ 4 อัตรา คือ 0 2 4 และ 6 ตัน/ไร่ และปุ๋ยเคมี 3 อัตรา คือ ไม่ใส่ อัตราต่ำ และอัตราสูง ทำการทดลอง ณ โรงเรือนภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน ในระหว่างเดือนพฤศจิกายน 2551 ถึงเดือนกุมภาพันธ์ 2552 จากการศึกษาพบว่า

ตะกอนมีธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมทั้งหมดร้อยละ 2.73 14.66 และ 0.60 ตามลำดับ มีปริมาณโลหะหนักพวกตะกั่ว แคดเมียม ปรอท และสารหนู เท่ากับ 278.30 19.20 4.49 และ 3.54 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ตามลำดับ เมื่อปลูกข้าวที่ระยะกำเนิดช่อดอก การไม่ใส่และการใส่ตะกอนอัตราต่างๆ ไม่ทำให้ความสูงของข้าวแตกต่างกัน แต่การใส่ตะกอนให้จำนวนต้น/กอของข้าวสูงกว่าการไม่ใส่ตะกอนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ส่วนการใส่ปุ๋ยเคมีทำให้ทั้งความสูงและจำนวนต้น/กอของข้าวสูงกว่าการไม่ใส่ปุ๋ยเคมีแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ อย่างไรก็ตามอิทธิพลร่วมของการใส่ตะกอนและการใส่ปุ๋ยเคมีไม่มีความแตกต่างกัน ที่ระยะเก็บเกี่ยว การใส่ตะกอนและปุ๋ยเคมี มีผลทำให้น้ำหนักตอซังข้าวเพิ่มสูงกว่าการไม่ใส่ตะกอนและไม่ใส่ปุ๋ยเคมีแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ในส่วนน้ำหนักเมล็ด การใส่ตะกอนอัตราต่างๆ แต่เพียงอย่างเดียวไม่มีผลทำให้น้ำหนักเมล็ดข้าวเพิ่มขึ้น แต่การใส่ปุ๋ยเคมี มีผลทำให้น้ำหนักเมล็ดข้าวเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ อย่างไรก็ตาม เมื่อใส่ตะกอนร่วมกับปุ๋ยเคมี พบว่า ข้าวให้ผลผลิตเมล็ดสูงสุด เมื่อใส่ปุ๋ยเคมีอัตราสูงร่วมกับการใส่ตะกอนอัตราต่ำ ทั้งนี้เนื่องจากการใส่ปุ๋ยเคมีและตะกอนร่วมกันในอัตราสูง ทำให้ข้าวได้รับไนโตรเจนมากเกินไปเกิดอาการเฝือใบ ประสิทธิภาพการสังเคราะห์แสงลดลง ทำให้ผลผลิตลดลง สำหรับการปนเปื้อนของโลหะหนักในเมล็ดข้าว การใส่ตะกอนและปุ๋ยเคมีอัตราต่างๆ ไม่มีผลทำให้ความเข้มข้นของตะกั่ว แคดเมียมและปรอทเพิ่มสูงขึ้น ส่วนความเข้มข้นของสารหนูในเมล็ดข้าวมีแนวโน้มลดลง เมื่อใส่ปุ๋ยเคมีแต่มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเล็กน้อยเมื่อมีการใส่ตะกอน อย่างไรก็ตามความเข้มข้นของโลหะหนักดังกล่าว มีปริมาณต่ำกว่าเกณฑ์ตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข พ.ศ. 2529

_____ _____ ___ / ___ / ____

ลายมือชื่อนิสิต ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Nittaya Singhawong 2010: Effects of Activated Sludge from Beverage Production Plant on Growth and Yield of Rice. Master of Science (Environmental Science), Major Field: Environmental Science, College of Environment.
Thesis Advisor: Assistant Professor Suthep Thongpae, Ph.D. 90 pages.

The effects of activated sludge from beverage production plant with and without chemical fertilizer on growth and yield of rice was investigated. Pot experiment was carried on 4 × 3 Factorial in CRD with 3 replications. Two factors consisted of 4 rates of activated sludge 0 2 4 and 6 ton/rai and 3 rates of chemical fertilizer included none, low rate and high rate of recommended formula. The experiment was established in greenhouse at Department of Soil Science, Faculty of Agriculture Kasetsart University during November 2008 to February 2009.

The study indicated that activated sludge contained total content of 2.73%N, 14.66%P_2O_5 and 0.60%K_2O and total content of Pb Cd Hg and As were 278.30 19.20 4.49 and 3.54 $mgkg^{-1}$ respectively. As for the growth of rice at PI stage, the application of activated sludge did not effect plant height but increased number of plant highly significant. Whereas the application of chemical fertilizer increased both plant height and number of plant highly significant. The interaction of both factors resulted no significantly difference. At harvesting stage, the application of activated sludge and also chemical fertilizer increased straw weight highly significant. But only the application of chemical fertilizer resulted the increment of grain weight highly significant. However, high rate of chemical fertilizer gave the heighest grain weight when applied together with low rate of activated sludge because the application with high rate of activated sludge resulted the excessive N phenomenon of rice. The application of activated sludge and chemical fertilizer did not increase the concentration of Pb Cd and Hg in rice grain except As that tended to decrease with the application of chemical fertilizer but tended to increase with the application of activated sludge. However, the concentration of these heavy metals in rice grain are lower than the critical level for food according to Ministry of Public Health (1986).

_____ _____ ___ / ___ / ____

Student's signature Thesis Advisor's signature

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดีจากความกรุณาของ ผู้ช่วยศาสตรจารย์ ดร.สุเทพ ทองแพ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก ที่กรุณาชี้แนะแนวทางในการวิจัย ให้คำปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร.ชูชีพ พิพัฒน์ศิถี ประธานการสอบ และรองศาสตราจารย์ อิทธิพล ราศรีเกรียงไกร ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก ที่เสียสละเวลาในการให้คำแนะนำเพิ่มเติมในการแก้ไขข้อบกพร่อง และนำมาซึ่งความสมเร็จของวิทยานิพนธ์ที่สมบูรณ์ยิ่งขึ้น จึงขอขอบพระคุณมา ณ โอกาสนี้

ขอขอบพระคุณโครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ย อันเนื่องมาจากพระราชดำริ ศาสตราจารย์เกษม จันทร์แก้ว ประธานโครงการฯ มูลนิธิชัยพัฒนา และบริษัท ไทยเอเชีย แปซิฟิค บริวเวอรี่ จำกัด (มหาชน) ที่สนับสนุนงบประมาณในการวิจัยครั้งนี้

ขอขอบพระคุณคณาจารย์วิทยาลัยสิ่งแวดล้อม ที่ได้ประสิทธิประสาทวิชาความรู้อันเป็นพื้นฐานความสำเร็จในการดำเนินการวิจัย และที่สำคัญของกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา คุณน้า คุณยาย และพี่ชาย ที่ได้มอบทั้งความรัก กำลังใจ คำปรึกษา ตลอดจนสิ่งต่างๆ อีกมากมายที่มีส่วนทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์

ขอบคุณเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการทางเคมี ภาควิชาปฐพีวิทยาทุกท่าน ขอบคุณพี่นุ พี่ต้น พี่อ้อย พี่กั้ง พี่แก่ก พี่ออ พี่โต ก้อย แจง แด มิ้ม แป๊ม นก ลูกปลา และเพื่อนทุกคน ที่ให้ความช่วยเหลือในการวิเคราะห์และเก็บข้อมูล รวมทั้งคอยเป็นกำลังใจและให้แรงผลักดันเสมอมา

คุณประโยชน์วิทยานิพนธ์นี้ข้าพเจ้าขอมอบแด่ คุณพ่อ คุณแม่ คุณยาย พี่ชาย คณาจารย์ และบุคคลที่ข้าพเจ้ารักทุกคน รวมทั้งผู้ให้ความรู้และผู้มีพระคุณทุกท่าน

นิตยา สิงหาวงค์

กุมภาพันธ์ 2553

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(5)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการ	17
อุปกรณ์	17
วิธีการ	18
ผลและวิจารณ์	23
ผล	23
วิจารณ์	69
สรุปและข้อเสนอแนะ	72
สรุป	72
ข้อเสนอแนะ	73
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	74
ภาคผนวก	79
ประวัติการศึกษา และการทำงาน	90

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	องค์ประกอบและสมบัติของตะกอนที่ใช้ในการทดลอง	25
2	องค์ประกอบและสมบัติของตัวอย่างดินที่ใช้ในการทดลอง	26
3	ผลของตะกอนและปุ๋ยเคมีต่อความสูง (เซนติเมตร) ของข้าวเฉลี่ยระยะแตกกอ	28
4	ผลของตะกอนและปุ๋ยเคมีต่อจำนวนต้น/กอ (ต้น/กระถาง) ของข้าวเฉลี่ยระยะแตกกอ	29
5	ผลของตะกอนและปุ๋ยเคมีต่อความสูง (เซนติเมตร) ของข้าวเฉลี่ยระยะกำเนิดช่อดอก	31
6	ผลของตะกอนและปุ๋ยเคมีต่อจำนวนต้น/กอ (ต้น/กระถาง) ของข้าวเฉลี่ยระยะกำเนิดช่อดอก	32
7	ผลของตะกอนและปุ๋ยเคมีต่อจำนวนรวง (รวง/กระถาง) ของข้าวเฉลี่ยระยะเก็บเกี่ยว	35
8	ผลของตะกอนและปุ๋ยเคมีต่อน้ำหนักแห้งตอซังข้าว (กรัม/กระถาง) เฉลี่ยระยะเก็บเกี่ยว	36
9	ผลของตะกอนและปุ๋ยเคมีต่อน้ำหนักเมล็ดดี (กรัม/กระถาง) ของข้าวเฉลี่ยระยะเก็บเกี่ยว	37
10	ผลของตะกอนและปุ๋ยเคมีต่อน้ำหนักเมล็ดลีบ (ร้อยละ) ของข้าวเฉลี่ยระยะเก็บเกี่ยว	38
11	ผลของตะกอนและปุ๋ยเคมีต่อความเข้มข้นของไนโตรเจน (ร้อยละ) ในตอซังข้าวเฉลี่ยที่ระยะเก็บเกี่ยว	40
12	ผลของตะกอนและปุ๋ยเคมีต่อความเข้มข้นของฟอสฟอรัส (ร้อยละ) ในตอซังข้าวเฉลี่ยที่ระยะเก็บเกี่ยว	41
13	ผลของตะกอนและปุ๋ยเคมีต่อความเข้มข้นของโพแทสเซียม (ร้อยละ) ในตอซังข้าวเฉลี่ยที่ระยะเก็บเกี่ยว	42
14	ผลของตะกอนและปุ๋ยเคมีต่อความเข้มข้นของไนโตรเจน (ร้อยละ) ในเมล็ดข้าวเฉลี่ยที่ระยะเก็บเกี่ยว	44
15	ผลของตะกอนและปุ๋ยเคมีต่อความเข้มข้นของฟอสฟอรัส (ร้อยละ) ในเมล็ดข้าวเฉลี่ยที่ระยะเก็บเกี่ยว	45
16	ผลของตะกอนและปุ๋ยเคมีต่อความเข้มข้นของโพแทสเซียม (ร้อยละ) ในเมล็ดข้าวเฉลี่ยที่ระยะเก็บเกี่ยว	46

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
17	ผลของตะกอนและปุ๋ยเคมีต่อปริมาณการดูดกิน (Uptake) ไนโตรเจนในข้าวเฉลี่ย (กรัม/กระถาง) ที่ระยะเก็บเกี่ยว	48
18	ผลของตะกอนและปุ๋ยเคมีต่อปริมาณการดูดกิน (Uptake) ฟอสฟอรัสในข้าวเฉลี่ย (กรัม/กระถาง) ที่ระยะเก็บเกี่ยว	49
19	ผลของตะกอนและปุ๋ยเคมีต่อปริมาณการดูดกิน (Uptake) โพแทสเซียมในข้าวเฉลี่ย (กรัม/กระถาง) ที่ระยะเก็บเกี่ยว	50
20	ผลของตะกอนและปุ๋ยเคมีต่อความเข้มข้นของตะกั่ว (มิลลิกรัม/กิโลกรัม) ในตอซังข้าวที่ระยะเก็บเกี่ยว	52
21	ผลของตะกอนและปุ๋ยเคมีต่อความเข้มข้นของแคดเมียม (มิลลิกรัม/กิโลกรัม) ในตอซังข้าวที่ระยะเก็บเกี่ยว	52
22	ผลของตะกอนและปุ๋ยเคมีต่อความเข้มข้นของปรอท (มิลลิกรัม/กิโลกรัม) ในตอซังข้าวที่ระยะเก็บเกี่ยว	53
23	ผลของตะกอนและปุ๋ยเคมีต่อความเข้มข้นของสารหนู (มิลลิกรัม/กิโลกรัม) ในตอซังข้าวที่ระยะเก็บเกี่ยว	53
24	ผลของตะกอนและปุ๋ยเคมีต่อความเข้มข้นของตะกั่ว (มิลลิกรัม/กิโลกรัม) ในเมล็ดข้าวที่ระยะเก็บเกี่ยว	55
25	ผลของตะกอนและปุ๋ยเคมีต่อความเข้มข้นของแคดเมียม (มิลลิกรัม/กิโลกรัม) ในเมล็ดข้าวที่ระยะเก็บเกี่ยว	56
26	ผลของตะกอนและปุ๋ยเคมีต่อความเข้มข้นของปรอท (มิลลิกรัม/กิโลกรัม) ในเมล็ดข้าวที่ระยะเก็บเกี่ยว	56
27	ผลของตะกอนและปุ๋ยเคมีต่อความเข้มข้นของสารหนู (มิลลิกรัม/กิโลกรัม) ในเมล็ดข้าวที่ระยะเก็บเกี่ยว	57
28	ผลของตะกอนและปุ๋ยเคมีปริมาณการดูดกิน (Uptake) ตะกั่ว (กรัม/กระถาง) ในข้าวที่ระยะเก็บเกี่ยว	59
29	ผลของตะกอนและปุ๋ยเคมีปริมาณการดูดกิน (Uptake) แคดเมียม (กรัม/กระถาง) ในข้าวที่ระยะเก็บเกี่ยว	59

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
30	ผลของตะกอนและปุ๋ยเคมีปริมาณการดูดกิน (Uptake) ปรอท (กรัม/กระถาง) ในข้าวที่ระยะเก็บเกี่ยว	60
31	ผลของตะกอนและปุ๋ยเคมีปริมาณการดูดกิน (Uptake) สารหนู (กรัม/กระถาง) ในข้าวที่ระยะเก็บเกี่ยว	60
32	ผลของตะกอนและปุ๋ยเคมีต่อความเป็นกรด-ด่าง (pH) เฉลี่ยในดิน	62
33	ผลของตะกอนและปุ๋ยเคมีต่ออินทรียวัตถุเฉลี่ย (ร้อยละ) ในดิน	63
34	ผลของตะกอนและปุ๋ยเคมีต่อปริมาณฟอสฟอรัสที่แลกเปลี่ยนได้ (มิลลิกรัม/กิโลกรัม) เฉลี่ยในดิน	64
35	ผลของตะกอนและปุ๋ยเคมีต่อปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (มิลลิกรัม/กิโลกรัม) เฉลี่ยในดิน	65
36	ผลของตะกอนและปุ๋ยเคมีต่อความเข้มข้นของตะกั่ว (มิลลิกรัม/กิโลกรัม) ในดิน	67
37	ผลของตะกอนและปุ๋ยเคมีต่อความเข้มข้นของปรอท (มิลลิกรัม/กิโลกรัม) ในดินนา	67
38	ผลของตะกอนและปุ๋ยเคมีต่อความเข้มข้นของแคดเมียม (มิลลิกรัม/กิโลกรัม) ในดิน	68
39	ผลของตะกอนและปุ๋ยเคมีต่อความเข้มข้นของสารหนู (มิลลิกรัม/กิโลกรัม) ในดิน	68

ตารางผนวกที่

1	ความสูง (เซนติเมตร) ของข้าวในระยะแตกกอ	80
2	ความสูง (เซนติเมตร) ของข้าวในระยะกำเนิดช่อดอก	80
3	จำนวนต้น/กอ (ต้น/กระถาง) ของข้าวในระยะแตกกอ	81
4	จำนวนต้น/กอ (ต้น/กระถาง) ของข้าวในระยะกำเนิดช่อดอก	81
5	จำนวนรวง (รวง/กระถาง) ของข้าวในระยะเก็บเกี่ยว	82
6	น้ำหนักตอซัง (กรัม/กระถาง) ของข้าวในระยะเก็บเกี่ยว	82
7	น้ำหนักเมล็ดดี (กรัม/กระถาง) ของข้าวในระยะเก็บเกี่ยว	83
8	น้ำหนักเมล็ดลีบ (ร้อยละ) ของข้าวในระยะเก็บเกี่ยว	83

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	กระบวนการผลิตเบียร์และของเสียที่เกิดขึ้น	16
2	ปริมาณแอมโมเนียมในแต่ละสัปดาห์หลังการบ่มดินนาในสภาพน้ำขัง	23

ภาพผนวกที่

1	การเตรียมดินและตะกอนสำหรับทดลอง	84
2	กระถางสำหรับปลูกข้าว	84
3	ต้นกล้าข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1 ที่ใช้ในการทดลอง	85
4	ลักษณะการปักดำข้าวสุพรรณบุรี 1	85
5	ผลของตะกอนอัตราต่างๆ ต่อความสูงของข้าวที่ระยะแตกกอ	86
6	ผลของตะกอนอัตราต่างๆ ร่วมกับปุ๋ยเคมีอัตราต่ำต่อความสูงของข้าวที่ระยะกำเนิดช่อดอก	86
7	ผลของตะกอนอัตราต่างๆ ร่วมกับปุ๋ยเคมีอัตราสูงต่อความสูงของข้าวที่ระยะกำเนิดช่อดอก	87
8	ผลของตะกอนอัตราต่างๆ ต่อการแตกกอของข้าวที่ระยะแตกกอ	87
9	ผลของตะกอนอัตราต่างๆ ร่วมกับปุ๋ยเคมีอัตราต่ำต่อการแตกกอของข้าวที่ระยะแตกกอ	88
10	ผลของตะกอนอัตราต่างๆ ร่วมกับปุ๋ยเคมีอัตราสูงต่อการแตกกอของข้าวที่ระยะแตกกอ	88
11	การเก็บตัวอย่างข้าวในระยะเก็บเกี่ยว	89
12	การเก็บผลผลิตข้าวในระยะเก็บเกี่ยว	89

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ผลของการใช้ตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียโรงงานอุตสาหกรรมผลิตเบียร์ต่อการเจริญเติบโต และผลผลิตของข้าว

Effects of Activated Sludge from Beverage Production Plant on Growth and Yield of Rice

คำนำ

ในปัจจุบันปัญหาเรื่องของเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมที่มีปริมาณมากกำลังสร้างปัญหาให้แก่ผู้ประกอบการโรงงานอุตสาหกรรมและสิ่งแวดล้อม โดยปกติของเสียที่เกิดจากโรงงานอุตสาหกรรมนั้นจะเกิดขึ้น 2 ส่วนคือ กระบวนการผลิตและกระบวนการบำบัดน้ำเสีย ซึ่งของเสียที่เกิดจากการบำบัดน้ำเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตนั้น ส่วนใหญ่จะเกิดขึ้นกับโรงงานที่มีน้ำเป็นวัตถุดิบในกระบวนการผลิต ทำให้เกิดมีน้ำเสียขึ้นในกระบวนการผลิต

โรงงานผลิตเบียร์ บริษัท ไทยเอเชีย แปซิฟิค บริวเวอรี่ จำกัด อำเภอไทรน้อย จังหวัดนนทบุรี มีเนื้อที่โรงงาน 140 ไร่ โดยมีวัตถุดิบหลักในการผลิตเบียร์คือ มอลท์ ฮอพส์ ยีสต์ และน้ำ ซึ่งในกระบวนการผลิตจะมีน้ำเสียเกิดขึ้น โดยมาจาก 2 กิจกรรม คือ น้ำเสียจากโรงงานการผลิตและน้ำเสียจากการทำความสะอาดภาชนะ ดังนั้น การบำบัดน้ำเสียก่อนปล่อยออกสู่แหล่งน้ำสาธารณะจึงมีความสำคัญเพื่อป้องกันปัญหาสิ่งแวดล้อมที่อาจจะเกิดขึ้น โดยบริษัทได้มีการนำวิธีการบำบัดน้ำเสียแบบ Upflow Anaerobic Slude Blanklet มาใช้ในการบำบัดน้ำเสียที่เกิดขึ้น ซึ่งปัจจุบันมีปริมาณน้ำเสียประมาณ 60 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน รวมทั้งตะกอนที่ได้จากกระบวนการบำบัดอีกประมาณ 10 ตัน/วัน จากข้อมูลนี้จะเห็นว่าปริมาณตะกอนมีมาก ก่อให้เกิดปัญหาในการกำจัดและสิ้นเปลืองงบประมาณในการจัดการ ถือเป็นปัญหาใหญ่ทั้งต่อโรงงานและสิ่งแวดล้อม ดังนั้น การนำตะกอนเหล่านี้ไปใช้ประโยชน์จึงเป็นวิธีที่ควรนำมาใช้ในการแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นนี้

การนำตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานเบียร์มาใช้เป็นปุ๋ยอินทรีย์บำรุงดินในการปลูกข้าว เป็นทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจในการนำตะกอนมาใช้ประโยชน์ เนื่องจากตะกอนมีธาตุอาหารหลักที่จำเป็นต่อการเติบโตของพืชเป็นส่วนประกอบ ซึ่งจงรักษ์และคณะ (2529) รายงานว่า activated sludge จากโรงงานเบียร์ มีปริมาณร้อยละของไนโตรเจน ฟอสฟอรัสและโพแทสเซียม เท่ากับ 4.70 1.25 และ 0.5 ตามลำดับ ประกอบกับดินที่ใช้ในการเพาะปลูกในปัจจุบันส่วนใหญ่มี

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ความเสื่อมโทรม เนื่องจากดินขาดอินทรียวัตถุ การนำตะกอนที่มีส่วนประกอบส่วนใหญ่เป็นอินทรียสาร น่าจะสามารถนำมาใช้ทดแทนปุ๋ยอินทรีย์เพื่อเพิ่มเติมอินทรียวัตถุให้แก่ดินได้ สำหรับข้าวถือเป็นพืชที่มีคุณค่าทางเศรษฐกิจและนิยมปลูกกันมากในภาคกลาง รวมทั้งจังหวัดนนทบุรีด้วย จะเห็นได้จากรายงานของสำนักงานเกษตรจังหวัดนนทบุรี ที่รายงานว่าในปี พ.ศ. 2550 จังหวัดนนทบุรีมีการปลูกข้าวเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญอันดับหนึ่ง โดยคิดเป็นผลผลิตของข้าวนาปีและนาปรัง รวมทั้งสิ้น 114,083 ตัน/ปี คิดเป็นมูลค่ารวม 741,664,898 บาท ฉะนั้นการศึกษาในครั้งนี้จึงมีความสำคัญและจำเป็นเพื่อจะได้การนำผลการศึกษาเป็นแนวทางในการนำตะกอนไปใช้ประโยชน์ทางการเกษตรที่เหมาะสมและคุ้มค่าในเชิงพาณิชย์โดยไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

เนื่องจากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียนี้อาจมีการปนเปื้อนของสารที่เป็นอันตรายต่อมนุษย์และสัตว์ โดยเฉพาะโลหะหนัก ดังนั้น ในการศึกษาการนำเอาตะกอนในระบบบำบัดน้ำเสียมาใช้ในการปลูกพืชโดยตรงนั้น ควรมีการศึกษาปริมาณการสะสมโลหะหนักในตะกอนและในพืชที่นำมาทดลองปลูกด้วย

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วัตถุประสงค์

1. เพื่อเป็นการกำจัดตะกอนระบบบำบัดน้ำเสีย ซึ่งถือว่าเป็นของเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมการผลิตเบียร์

2. เพื่อศึกษาผลของตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียโรงงานเบียร์และปุ๋ยเคมี ที่มีต่อการเจริญเติบโต และผลผลิตของข้าวจ้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1

3. เพื่อศึกษาผลของตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียโรงงานเบียร์และปุ๋ยเคมีที่มีต่อการดูดกินธาตุอาหาร และโลหะหนักในข้าวจ้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1

4. เพื่อศึกษาผลของตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียโรงงานเบียร์ต่อคุณสมบัติที่สำคัญบางประการของดิน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การตรวจเอกสาร

1. กากตะกอนน้ำเสีย (Activated sludge cake)

1.1 นิยามและความหมาย

จงรักษ์ และคณะ (2529) กล่าวว่า กากตะกอนน้ำเสียเป็นวัสดุอินทรีย์เหลือใช้ที่ได้จากโรงงานที่มีกระบวนการกำจัดน้ำเสียแบบ Upflow Anaerobic Slude Blanklet ซึ่งเป็นระบบที่ใช้กันอย่างแพร่หลายและเหมาะสมในสภาพที่มีพื้นที่ดินจำกัดหรือที่ดินมีราคาแพงและต้องการน้ำทิ้งที่มีคุณภาพสูง โรงงานที่มีการกำจัดตะกอนด้วยวิธีนี้ ได้แก่ โรงงานผงชูรส โรงงานผลิตน้ำอัดลม โรงงานผลิตสุราและเบียร์ เป็นต้น

1.2 องค์ประกอบของกากตะกอนน้ำเสีย

กากตะกอนน้ำเสียมีไนโตรเจนอยู่ในปริมาณที่ค่อนข้างสูง คือ มีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดอยู่ระหว่าง 2.3-5.9 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณฟอสฟอรัสมีตั้งแต่ระดับต่ำ ปานกลาง ถึงค่อนข้างสูง (0.6-1.5 เปอร์เซ็นต์) ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับกรรมวิธีในการผลิตของโรงงานอุตสาหกรรมแต่ละชนิด ปริมาณโพแทสเซียมมีปริมาณค่อนข้างต่ำ คือ มีค่าอยู่ระหว่าง 0.03-0.6 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณแคลเซียมในกากตะกอนน้ำเสียมีค่าอยู่ระหว่าง 0.2-6.8 เปอร์เซ็นต์ โดยในโรงงานมีค่าอยู่ในระดับสูง เช่น โรงงานผลิตโคล่าและโรงงานเบียร์ เป็นต้น กากตะกอนน้ำเสียมีปฏิกิริยาเป็นกรดอย่างอ่อนจนถึงเป็นกลาง มีค่า C/N ratio แคบมาก คือ มีค่าต่ำกว่า 10 ดังนั้น กากตะกอนน้ำเสียจึงมีแนวโน้มที่จะนำไปเป็นแหล่งธาตุไนโตรเจนให้กับพืชได้ (จงรักษ์ และคณะ, 2529)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

1.3 การบำบัดกากตะกอน (sludge treatment)

ระบบบำบัดน้ำเสียที่ใช้หลักการทางชีวภาพจะมีกากตะกอนจุลินทรีย์หรือสลัดจ์เป็นผลผลิตตามมาด้วยเสมอ ซึ่งเป็นผลอันเนื่องมาจากการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในน้ำเสีย ดังนั้น จึงจำเป็นต้องบำบัดสลัดจ์เหล่านั้น เพื่อไม่ให้เกิดปัญหาการเน่าเหม็นของสลัดจ์และเป็นการทำลายเชื้อโรค นอกจากนี้ การลดปริมาตรของสลัดจ์โดยการกำจัดน้ำออกจากสลัดจ์ เป็นวิธีการที่จะช่วยให้เกิดความสะดวกในการเก็บขนไปกำจัดทิ้งหรือนำไปใช้ประโยชน์อื่นๆ ทั้งนี้ในการบำบัดสลัดจ์ประกอบด้วยกระบวนการหลักๆ ดังต่อไปนี้

1.3.1 การทำข้น (thickener) โดยใช้ถังทำข้น ซึ่งมีทั้งที่ใช้กลไกการตกตะกอน (sedimentation) และใช้กลไกการลอยตัว (floatation) ทำหน้าที่ในการลดปริมาตรสลัดจ์ก่อนส่งไปบำบัดโดยวิธีการอื่นต่อไป

1.3.2 การทำให้สลัดจ์คงตัว (stabilization) โดยการย่อยสลัดจ์ ด้วยกระบวนการใช้อากาศ หรือใช้กระบวนการไร้อากาศ เพื่อทำหน้าที่ในการลดสารอินทรีย์ในสลัดจ์ ทำให้สลัดจ์คงตัวสามารถนำไปทิ้งได้โดยไม่เน่าเหม็น

1.3.3 การปรับสภาพสลัดจ์ (conditioning) เพื่อทำให้สลัดจ์มีความเหมาะสมกับการนำไปใช้ประโยชน์ต่อไป เช่น ทำปุ๋ย การใช้ปรับสภาพดินสำหรับใช้ทางการเกษตร เป็นต้น

1.3.4. การรีดน้ำ (dewatering) เพื่อลดปริมาตรสลัดจ์ที่จะนำไปทิ้งโดยการฝังกลบ การเผา หรือนำไปใช้ประโยชน์อื่นๆ ซึ่งจะทำให้เกิดความสะดวกในการขนส่ง โดยอุปกรณ์ที่ใช้ในการรีดน้ำ ได้แก่ เครื่องกรองสุญญากาศ (vacuum filter) เครื่องอัดกรอง (filter press) หรือเครื่องกรองหมุนเหวี่ยง (centrifuge) รวมทั้งลานตากสลัดจ์ (sludge drying bed)

1.4 การกำจัดกากตะกอน (sludge disposal)

หลังจากสลัดจ์ที่เกิดขึ้นจากการบำบัดน้ำเสียได้รับการบำบัดให้มีความคงตัวไม่มีกลิ่นเหม็น และมีปริมาตรลดลง ในขั้นต่อมาก็คือ การนำสลัดจ์เหล่านั้นไปกำจัดทิ้งโดยวิธีการที่เหมาะสม ซึ่งวิธีการกำจัดทิ้งที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันมี 3 วิธีการด้วยกัน ได้แก่ การฝังกลบ (landfill) การหมักทำปุ๋ย (composting) การเผาทิ้ง (incineration)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

1.5 การใช้วัสดุเหลือใช้จากโรงงานเพื่อเป็นปุ๋ยสำหรับข้าว

อวยชัย (2535) ได้ศึกษาการใช้อินทรียวัสดุเหลือใช้จากแหล่งต่างๆ 4 ชนิด คือ กากตะกอนน้ำเสีย กากระหุ่ง ฮิวมัส และปุ๋ยหมักฟางข้าว เป็นแหล่งปุ๋ยไนโตรเจนสำหรับข้าวที่ปลูกในสภาพไร่ในชุดดินกำแพงแสน โดยทำการทดลองในห้องปฏิบัติการและทดลองในกระถาง ซึ่งทำการปลูกพืชในกระถางติดต่อกัน 3 ครั้ง โดยใส่ปุ๋ยตำรับเดิมในดินทุกครั้ง ผลการทดลองพบว่า การทดลองในห้องปฏิบัติการสอดคล้องกับการทดลองในกระถาง กล่าวคือ ปริมาณการปลดปล่อยไนโตรเจน (mineralized N) ของอินทรียวัสดุเหลือใช้แต่ละชนิดแตกต่างกัน ดังนี้: กากละหุ่ง $\geq$ ฮิวมัส $\geq$ กากตะกอนนำเสีย >ปุ๋ยหมักฟางข้าว ซึ่งในกรณีที่ใส่ร่วมกัน ทำให้การปลดปล่อยไนโตรเจนมีปริมาณสูงกว่าการใส่เดี่ยว ประกอบมีการศึกษาถึงประสิทธิภาพของอินทรียวัสดุเหลือใช้ที่นำมาทดลองมีประสิทธิภาพในแง่ปุ๋ยไนโตรเจนที่แตกต่างกัน โดยข้าวมีการเจริญเติบโตและผลผลิต เรียงลำดับดังนี้ : กากระหุ่ง $\geq$ ปุ๋ยเคมี $\geq$ปุ๋ยหมักฟางข้าว$\geq$ฮิวมัส >กากตะกอนน้ำเสีย โดยการใส่เดี่ยวจะมีประสิทธิภาพต่ำที่สุด ขณะที่การใส่ปุ๋ยร่วมและใส่แยกจะมีประสิทธิภาพทางด้านการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าวใกล้เคียงกัน แต่การใส่แยกทำให้การดึงดูดไนโตรเจนของข้าวมีประสิทธิภาพสูงสุด โดยสามารถเรียงลำดับปริมาณไนโตรเจนตอซังและในเมล็ดได้ดังนี้ : ปุ๋ยเคมี > กากตะกอนน้ำเสีย > กากระหุ่ง > ปุ๋ยหมักฟางข้าว> ฮิวมัส > ตำรับควบคุม และการใช้อินทรียวัสดุเหลือใช้ติดต่อกันระยะยาวมีแนวโน้มทำให้ปริมาณธาตุอาหารสูงขึ้น โดยเฉพาะปริมาณอินทรียวัตถุเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนและการใช้ปุ๋ยหมักฟางข้าวติดต่อกัน อาจมีการสะสมปริมาณแคลเซียมและแมกนีเซียมในดิน ขณะที่การใช้กากตะกอนน้ำเสีย จะทำให้ปริมาณ available P ในชุดดินกำแพงแสนมีค่าสูงกว่าอินทรียวัตถุเหลือใช้ชนิดอื่นๆ

หรรษา และคณะ (2537) ได้ศึกษาการใช้ส่าเหล้าร่วมกับปุ๋ยเคมีในดินร่วน ใช้ส่าเหล้า 2 อัตรา คือ 30,000 และ 60,000 ลิตร/ไร่ ใส่อย่างเดียวและร่วมกับปุ๋ยเคมี โดยใช้พันธุ์ข้าวขาวดอกมะลิ 105 ผลการทดลอง พบว่า การใส่ส่าเหล้าหรือปุ๋ยเคมีได้ผลผลิตข้าวเพิ่มขึ้นอย่างเด่นชัด คือ แปลงที่ใส่ส่าเหล้า 30,000 ลิตร/ไร่ และแปลงที่ใส่ส่าเหล้า 30,000 ลิตร/ไร่ ร่วมกับปุ๋ยฟอสเฟตอัตรา 6 กก. P_2O_5 /ไร่ ได้ผลผลิตข้าวเฉลี่ย 351 และ 339 กก./ไร่ ตามลำดับ ส่วนแปลงที่ใส่ปุ๋ยอัตรา 6-6-4 กก./ไร่ และแปลงที่ใส่ส่าเหล้า 60,000 ลิตร/ไร่ ได้ผลผลิตข้าวสูงที่สุดแต่ไม่แตกต่างทางสถิติกับแปลงที่ใส่ส่าเหล้า 30,000 ลิตร/ไร่ ดังนั้น อัตราที่เหมาะสม คือ ใส่ส่าเหล้าอย่างเดียว อัตรา 30,000 ลิตร/ไร่

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

หรรษา และคณะ (2542) ทดลองใช้กากสะเดา 2 อัตรา คือ 500 กก./ไร่ ใส่อย่างเดียว และอัตรา 250 กก./ไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมี 2 อัตรา 0-6-6 และ 6-6-8 กก. $N\text{-}P_2O_5\text{-}K_2O$ /ไร่ เพื่อปรับปรุงดินและเพิ่มผลผลิตข้าวขาวดอกมะลิ 105 ณ ศูนย์วิจัยข้าวอุบลราชธานี ผลการทดลอง พบว่า การใส่กากสะเดา 500 กก./ไร่ ได้ผลผลิตข้าว 425 กก./ไร่ ซึ่งไม่แตกต่างทางสถิติจากการใส่กากสะเดา 250 กก./ไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมี อัตรา 6-6-6 กก. $N\text{-}P_2O_5\text{-}K_2O$ /ไร่ คือ ได้ผลผลิตข้าว 426 กก./ไร่ แต่แตกต่างทางสถิติกับแปลงที่ไม่ใส่ปุ๋ยที่ได้ผลผลิตเพียง 274 กก./ไร่ ส่วนผลการทดลองที่สถานีทดลองข้าวโคกสำโรง จ.ลพบุรี พบว่า การใส่ปุ๋ยเคมีอย่างเดียวอัตรา 12-6-6 กก. $N\text{-}P_2O_5\text{-}K_2O$ /ไร่ ได้ผลผลิตข้าวสูงสุด 523 กก./ไร่ แต่ไม่แตกต่างทางสถิติกับการใส่ปุ๋ยเคมีอัตรา 6-6-6 กก. $N\text{-}P_2O_5\text{-}K_2O$ /ไร่ และที่ใส่ร่วมกับสะเดา 250 กก./ไร่ ได้ผลผลิตข้าว 515 และ 499 กก./ไร่ ตามลำดับ แต่แตกต่างทางสถิติกับแปลงที่ไม่ใส่ปุ๋ยที่ได้ผลผลิตข้าว 309 กก./ไร่

นิรชรา (2542) ได้ศึกษาการใช้น้ำทิ้งจากการผลิตกระดาษสาเพื่อการปลูกข้าวในดินเปรี้ยวจัด ทำการทดลองในกระถางโดยใช้ดินจากชุดดินรังสิตและรังสิตกรดจัด ประกอบด้วย 2 ปัจจัย คือ อัตราน้ำทิ้งจากการผลิตกระดาษสา 0, 75, 150, 300 และ 600 มิลลิลิตร/ดิน 6 กิโลกรัม และเวลาในการบ่มดิน 1, 2 และ 3 สัปดาห์ ผลการทดลอง พบว่า น้ำทิ้งจากการผลิตกระดาษสามีปฏิกิริยาเป็นด่างอย่างรุนแรงมีค่าความเป็นกรดเป็นด่าง 12.2 มีปริมาณโซเดียมอยู่ในปริมาณสูง 5,217 มิลลิกรัม/ไร่ มีปริมาณธาตุอาหารพืชต่ำ คือ มีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด 0.4 กรัม/ลิตร ฟอสฟอรัส 0.02 กรัม/ลิตร และโพแทสเซียม 2.8 กรัม/ลิตร เมื่อนำน้ำทิ้งจากการผลิตกระดาษสามาใส่ในดินเปรี้ยวจัดทั้งสองชุดและบ่มดินในสภาพขังน้ำที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 4 วัน พบว่า การใส่น้ำทิ้งจากการผลิตกระดาษสาสามารถยกระดับค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดินทั้งสองชุดดินได้ ในชุดดินรังสิต พบว่า การใส่น้ำทิ้งในอัตรา 150 และ300 มิลลิลิตร/ดิน 6 กิโลกรัม มีผลต่อการเพิ่มผลผลิตของข้าวที่ปลูกในดินตัวอย่างทุกช่วงระยะเวลาการบ่มดิน และการใส่น้ำทิ้งที่อัตรา 300 มิลลิลิตร/ดิน 6 กิโลกรัม จะเพิ่มการดึงดูดปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดของข้าวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่การใส่น้ำทิ้งที่อัตรา 600 มิลลิลิตร/ดิน 6 กิโลกรัม ทำให้ผลผลิตและปริมาณการดึงดูดไนโตรเจนทั้งหมดของข้าวลดลงทุกช่วงเวลาการบ่มดิน ส่วนในชุดดินรังสิตกรดจัด พบว่า การใส่น้ำทิ้งในอัตรา 75 และ 150 มิลลิลิตร/ดิน 6 กิโลกรัม จะเพิ่มผลผลิตและปริมาณการดึงดูดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสทั้งหมดของข้าวที่ระยะเวลาการบ่มดิน 2 และ 3 สัปดาห์ แต่การใส่น้ำทิ้งในอัตรา 300 และ 600 มิลลิลิตร/ดิน 6 กิโลกรัม มีผลทำให้ผลผลิต ปริมาณการดูดดึงไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมทั้งหมดของข้าวลดลง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

น้ำทิพย์ (2542) ศึกษาการใช้น้ำทิ้งจากการผลิตเยื่อกระดาษที่ใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) ในขั้นตอนการต้มเยื่อเพื่อเป็นปุ๋ยสำหรับข้าว ทำการทดลองในกระถางโดยใช้ชุดดินร้อยเอ็ดซึ่งมีปริมาณโพแทสเซียมและปริมาณอินทรียวัตถุต่ำมาก ปลูกข้าวพันธุ์ กข 23 และข้าวจ้าวหอมคลองหลวง 1 ประกอบด้วย 2 ปัจจัย คือ แหล่งโพแทสเซียมสำหรับข้าว ได้แก่ ปุ๋ยโพแทสเซียมคลอไรด์ และน้ำทิ้งจากการผลิตเยื่อกระดาษ ปัจจัยที่ 2 คือ อัตรา โพแทสเซียม ได้แก่ 0, 25, 50 และ 100 มิลลิกรัม K_2O /กิโลกรัม ผลการทดลองพบว่า น้ำทิ้งจากการผลิตเยื่อกระดาษมีปฏิกิริยาเป็นด่างรุนแรงมีค่า pH เท่ากับ 10.6 มีค่าการนำไฟฟ้าสูง 13.05 mS/cm มีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด 0.10 กรัม/ลิตร มีปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมด 5,900 มิลลิกรัม/ลิตร จากศึกษาพบว่า การใส่น้ำทิ้งจากการผลิตเยื่อกระดาษทำให้การเจริญเติบโต ผลผลิต และการดูดใช้โพแทสเซียมของข้าว กข 23 และข้าวจ้าวหอมคลองหลวง 1 เพิ่มขึ้นตามอัตราการใส่น้ำทิ้งจากการผลิตเยื่อกระดาษที่เพิ่มขึ้นไม่แตกต่างทางสถิติกับการใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมคลอไรด์

กานดา (2545) ศึกษาการใช้น้ำทิ้งจากการผลิตกระดาษสาและน้ำกากส่าจากการผลิตสุรา เป็นปุ๋ยโพแทสเซียมสำหรับข้าว ทำการทดลองในกระถางโดยใช้ชุดดินสันทรายที่มีเนื้อดินร่วนปนทราย ปลูกข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1 ประกอบด้วย 2 ปัจจัย คือ แหล่งโพแทสเซียม 3 ชนิด ได้แก่ ปุ๋ยโพแทสเซียมคลอไรด์ น้ำต้มเยื่อกระดาษ และน้ำกากส่า ปัจจัยที่ 2 คือ อัตรา โพแทสเซียม 3 อัตรา ได้แก่ 25, 50 และ 100 มิลลิกรัม K_2O / กิโลกรัม จากการทดลอง พบว่า น้ำต้มเยื่อกระดาษสา มีปฏิกิริยาเป็นด่างรุนแรง มีค่า pH เท่ากับ 11.4 มีโพแทสเซียมทั้งหมด 7,480 มิลลิกรัม/ลิตร มีไนโตรเจน แคลเซียมและโซเดียมทั้งหมดเท่ากับ 2,100 3,100 และ 5,600 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ ส่วนในน้ำกากส่า มีค่า pH เท่ากับ 4.9 มีปริมาณโพแทสเซียมสูงมากเท่ากับ 16,345 มิลลิกรัม/ลิตร มีปริมาณไนโตรเจน แคลเซียม และโซเดียมทั้งหมดเท่ากับ 10,500 8,500 2,200 และ 8,100 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ ในส่วนของการปลูกพืช พบว่า การใช้น้ำทิ้งจากการผลิตเยื่อกระดาษสาและน้ำกากส่า มีประสิทธิภาพในการเพิ่มการเจริญเติบโต ผลผลิต และการดึงดูดโพแทสเซียมของข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1 ได้อย่างเด่นชัด แตกต่างจากการใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมและการใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมคลอไรด์จะมีผลผลิตเฉลี่ยและปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดในต้นข้าวสูงสุด เมื่อเทียบกับข้าวที่ได้รับโพแทสเซียมจากน้ำต้มเยื่อกระดาษสาและน้ำกากส่า พบว่า น้ำหนักผลผลิตน้ำหนักข้าวมีสหสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญยิ่งกับปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดในข้าว

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

1.6 ปัญหาและข้อจำกัดในการใช้วัสดุอินทรีย์เหลือใช้

เฉลิมชาติ (2546) กล่าวว่า การนำวัสดุอินทรีย์เหลือใช้มาเป็นปุ๋ยหรือวัสดุปรับปรุงดิน ก่อให้เกิดผลดีเป็นส่วนใหญ่ โดยสามารถปลดปล่อยธาตุอาหารให้แก่พืช ซึ่งสามารถนำมาใช้เป็นปุ๋ยแทนปุ๋ยเคมีได้ จึงนับว่าเป็นประโยชน์ทางด้านการเกษตรเป็นอย่างมาก อย่างไรก็ตาม การใช้วัสดุอินทรีย์เหลือใช้ก็มีข้อจำกัด ดังนี้

1.6.1 เกิดสารพิษบางชนิด

การใช้วัสดุเหลือใช้นั้นบางครั้งทำให้เกิดปัญหา โดยทำให้พืชชะงักการเจริญเติบโตได้ เนื่องจากมีสารพิษเกิดขึ้น โดยเฉพาะเมื่อใช้ในนาข้าว เพราะการสลายตัวของวัสดุอินทรีย์ในสภาพน้ำขังจะเกิดสาร intermediate products ที่เป็นพวกกรดอินทรีย์ เช่น กรดฟอร์มิก กรดอะซิตริก กรดโปรไพโอนิค และกรดบิวทีริค เป็นต้น โดยทั่วไปกรดอะซิตริกเป็นกรดที่พบมากที่สุด กรดอินทรีย์เหล่านี้ทำให้รากข้าวชะงักการเจริญเติบโต และสุริยา (2531) ศึกษาการเกิด intermediate products ที่สำคัญบางชนิดที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของข้าวในดินนารังสิตและดินนาร้อยเอ็ด หลังจากที่ใส่กากระหุ่ง กากระหุ่งร่วมกับกากตะกอนน้ำตาลอ้อย และกากระหุ่งร่วมกับผงถ่าน พบว่า ทั้งสองชุดดินให้ผลเช่นเดียวกัน คือ การใส่กากระหุ่งในอัตราสูงทำให้ข้าวชะงักการเจริญเติบโตตั้งแต่เริ่มแรกปักดำจนถึงระยะแตกกอ การใส่กากระหุ่งร่วมกับกากตะกอนน้ำตาลอ้อย และการใส่กากระหุ่งร่วมกับผงถ่าน ไม่มีผลในการกำจัดสารพิษแต่อย่างไร เพียงแต่ช่วยลดปริมาณการสะสมสารอินทรีย์ที่เกิดขึ้นทำให้ข้าวฟื้นตัวได้เร็วขึ้น การเจริญเติบโตของข้าวในช่วงปลาย ปรากฏว่าข้าวมีการตอบสนองการใส่กากระหุ่งอัตราสูงมากกว่าอัตราต่ำและพบว่าปริมาณเฟอรัส (Fe^{2+}) และกรดอะซิตริกที่มีอยู่ในดินมีความสัมพันธ์กับการเจริญเติบโตของข้าวเป็นสมการเส้นตรงแบบผกผันกลับ จึงเชื่อว่าทั้งเฟอรัสและกรดอะซิตริกน่าจะเป็นสารต้นเหตุที่ทำให้ข้าวชะงักการเจริญเติบโตในช่วงแรก

1.6.2 ภาวะมลพิษจากวัสดุอินทรีย์เหลือใช้

วัสดุอินทรีย์เหลือใช้หลายชนิดนอกจากจะมีธาตุอาหารพืชที่เป็นประโยชน์แล้ว ยังมีธาตุโลหะหนัก (heavy metal) เป็นองค์ประกอบอยู่สูง เมื่อใส่วัสดุอินทรีย์ที่มีโลหะในดินทำให้เกิดภาวะมลพิษในดินขึ้นโดยเฉพาะในดินเนื้อหยาบจะเกิดมลพิษในดินได้ง่ายกว่า และในการศึกษาของ Gerritse et al. (1982) พบว่า การใส่กากตะกอนน้ำเสียลงไปในดินทรายและดินร่วน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ปนทราย จะมีการเคลื่อนย้ายของ F, B และ Te ในดินทั้งสองชนิดได้เร็วมาก ขณะที่ Mn, Sr และ Sb จะเคลื่อนได้เร็วเฉพาะดินทราย และ Mo เคลื่อนที่ได้ดีในสภาพดินร่วนปนทราย ในดินร่วนปนทรายแป้งที่ได้รับกากตะกอนน้ำเสียนานถึง 35 ปี พบว่า บริเวณดินระดับความลึก 0-30 เซนติเมตร จะมีการสะสม Al, Cd, Cu, Fe, Pb และ Zn เป็นปริมาณ 1.1, 35, 16.5, 1.1, 16.5 และ 13 เท่าของสภาพปกติตามลำดับ (Kirkham, 1975) รวมทั้ง Rappaport และคณะ (1988) ได้ทดลองใส่ aerobically digested sludge ในอัตรา 6.7, 13.4, 20.2, 26.9 และ 33.6 ตัน/ไร่ในดิน 3 ชนิด คือ loamy sand, Davidson clay loam และ Greseclose silt loam โดยที่อัตราสูงสุด (33.6 ตัน/ไร่) มีปริมาณของโลหะหนัก Cd 0.7 กก./ไร่ Cu 121.6 กก./ไร่ Ni 6.9 กก./ไร่ Zn 99.2 กก./ไร่ นอกจากนี้ยังพบว่า มีการสะสมโลหะหนักในพืชอันเนื่องมาจากการใช้วัสดุอินทรีย์เหลือใช้อีกด้วย และบุปผา (2527) ศึกษาผลกระทบ Cd ในกากตะกอนน้ำเสียจากโรงงานน้ำอัดลมที่มีผลต่อการสะสม Cd ในผัก 3 ชนิด ได้แก่ ผักคะน้า ผักกาดขาว และผักกวางตุ้ง พบว่า ผักที่ปลูกในดินที่ใส่กากตะกอนน้ำเสียจะมีการสะสม Cd สูงกว่าดินที่ไม่ใส่กากตะกอนน้ำเสีย โดยดินที่ไม่ใส่กากตะกอนน้ำเสียมีค่าเฉลี่ยของ Cdในคะน้า ผักกาดขาว และผักกวางตุ้งเท่ากับ 0.06, 0.12 และ 0.16 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ตามลำดับ ส่วนดินที่ใส่กากตะกอนน้ำเสียในปริมาณ 1.2 เปอร์เซ็นต์ จะมี Cd ในคะน้า ผักกาดขาว และผักกวางตุ้ง 0.14, 0.16 และ 2.0 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ตามลำดับ และเพิ่มปริมาณ กากตะกอนน้ำเสียเป็น 2.4 เปอร์เซ็นต์ จะมี Cd สะสมอยู่ 0.19, 0.20 และ 0.38 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ตามลำดับ จะเห็นได้ว่า เมื่อใส่กากตะกอนน้ำเสียเพิ่มขึ้นจะทำให้มีการสะสม Cd ในผักทั้ง 3 ชนิดเพิ่มขึ้นด้วย และจากการศึกษาของ Kirkham (1975) พบว่า ข้าวโพดที่ปลูกในดินที่ได้รับกากตะกอนน้ำเสียนานถึง 35 ปี มีปริมาณ Cu และ Cd ในใบสูงกว่าเกณฑ์ปกติและมีธาตุหลายชนิดสะสมอยู่ที่รากข้าวโพดเป็นปริมาณสูง ดังนั้น การใช้วัสดุอินทรีย์เหล่านี้กับพืชหัว จึงควรระมัดระวังเป็นอย่างมาก ซึ่งจากการทดลองใช้กากตะกอนน้ำเสียกับผักกาดหัว พบว่ามี Cd, Mn, Zn, Fe, Al สะสมอยู่ในหัวไชเท้าจำนวนมาก (Wong, 1985)

2. การใช้ปุ๋ยอินทรีย์ชนิดต่างๆ เพื่อเป็นปุ๋ยสำหรับข้าว

กรรณิกา และคณะ (2527) ได้รายงานการใช้ปุ๋ยหมัก ปุ๋ยพืชสด และฟางข้าว ระยะยาวต่อผลผลิตข้าวที่สถานีทดลองข้าวสุรินทร์ พบว่า การใส่ปุ๋ยอินทรีย์ทุกชนิดทำให้ผลผลิตข้าว กข. 7 สูงกว่าการไม่ใส่ปุ๋ยอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ การใส่ปุ๋ยหมักและปอเทืองจะทำให้ผลผลิตข้าวสูงกว่าการใส่ฟางข้าว โดยได้ผลผลิตเฉลี่ย 612, 586 และ 505 กก./ไร่ ตามลำดับ เมื่อพิจารณาถึงอัตราของปุ๋ยอินทรีย์ที่ใส่มากขึ้น พบว่า ผลผลิตข้าวมีผลผลิตเพิ่มมากขึ้นแต่อัตราการเพิ่มขึ้นของผลผลิตข้าวลดลง กล่าวคือ เมื่อปลูกข้าวโดยไม่ใส่ปุ๋ยได้ผลผลิต 475 กก./ไร่ เมื่อใส่ปุ๋ยอินทรีย์ทั้ง 3 ชนิด เฉลี่ย

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

จากแต่ละอัตราที่ 1,000, 2,000, 3,000 และ 4,000 กิโลกรัม/ไร่ ได้ผลผลิต 528, 570, 576 และ 598 กก./ไร่ ถ้าพิจารณาผลผลิตที่แตกต่างกัน เมื่อไม่ใส่ปุ๋ยกับใส่ปุ๋ย อัตรา 1,000 กก./ไร่ ซึ่งเท่ากับ 53 กก./ไร่ ส่วนผลต่างของผลผลิตที่ อัตรา 2,000 และ 3,000 กิโลกรัม/ไร่ เท่ากับ 6 กก./ไร่ ซึ่งน้อยมาก ทั้งๆที่ใส่ปุ๋ยเพิ่มขึ้นอีกถึง 1,000 กก./ไร่

อนนท์ และคณะ (2537) ทดลองการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ต่างๆ ต่อการเจริญเติบโตและเพิ่มผลผลิตข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ที่ศูนย์วิจัยข้าวพิษณุโลก พบว่า ในฤดูนาปี พ.ศ. 2531 การใส่ปุ๋ยมูลไก่ในอัตรา 600 กก./ไร่ ให้ผลผลิตข้าวไม่แตกต่างทางสถิติกับการใส่ปุ๋ยเคมี อัตรา 8-4-0 กก. $N\text{-}P_2O_5\text{-}K_2O$ /ไร่ คือ 633 และ 672 กก./ไร่ ตามลำดับ แต่แตกต่างกับตำรับที่ไม่ใส่ปุ๋ยซึ่งได้ผลผลิตข้าว 474 กก./ไร่ และในปีเดียวกันนี้ได้ทำทดลองที่สถานีทดลองข้าวชัยนาท ผลการทดลองปรากฏว่า การใส่ปุ๋ยมูลวัวอัตรา 1,500 กก./ไร่ และปุ๋ยเคมีอัตรา 8-4-0 กก. $N\text{-}P_2O_5\text{-}K_2O$ /ไร่ เท่านั้นที่สามารถผลิตข้าวได้อย่างมีนัยสำคัญ คือ 573 และ 676 กก./ไร่ ตามลำดับ แตกต่างจากตำรับที่ไม่ใส่ปุ๋ยที่ได้ผลผลิตเพียง 469 กก./ไร่

ประเสริฐ และคณะ (2540) ทดลองใส่ปุ๋ยหมักฟางข้าวติดต่อกันระยะยาว (24 ปี) กับข้าวขาวดอกมะลิ 105 พบว่าอัตราปุ๋ยหมักฟางข้าว 1,000 กิโลกรัม/ไร่ ทำให้ผลผลิตข้าวสูงกว่าตำรับที่ไม่ใส่ปุ๋ยอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง คือได้ผลผลิตข้าว 600 กก./ไร่ สูงกว่าตำรับที่ไม่ใส่ปุ๋ยที่ได้ผลผลิตเพียง 441 กก./ไร่ ถึง 159 กก./ไร่ และสูงกว่าแปลงที่ใส่ปุ๋ยเคมี 8-4-4 กก. $N\text{-}P_2O_5\text{-}K_2O$ /ไร่ อย่างเดียวโดยผลผลิตข้าวเพิ่มขึ้น 113 กก./ไร่ เมื่อใส่ปุ๋ยหมักฟางข้าวอัตรา 2,000 กก./ไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมี 8-4-4 กก. $N\text{-}P_2O_5\text{-}K_2O$ ผลผลิตข้าวเพิ่มขึ้น 29 กก./ไร่ ทั้งนี้เป็นเพราะข้าวขาวดอกมะลิ 105 เป็นพันธุ์ข้าวไวต่อช่วงแสง มีการตอบสนองต่อปุ๋ยไนโตรเจนได้น้อย เมื่อมีการใส่ปุ๋ยอัตราสูงทำให้ต้นข้าวมีการเจริญเติบโตทางลำต้นมากกว่าเมล็ดข้าว

ประเสริฐ และคณะ (2541) ทดลองใช้แกลบและขี้เถ้าแกลบใส่ร่วมกับปุ๋ยเคมี กับข้าวขาวดอกมะลิ 105 ที่สถานีทดลองข้าวสุรินทร์ ตั้งแต่ปี 2519-2540 พบว่าแปลงที่ใส่ปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟต (21-0-0) 30 กก./ไร่ ร่วมกับแกลบ อัตรา 1,000 กก./ไร่ ได้ผลผลิตข้าวสูงสุด 574 กก./ไร่ สูงกว่าแปลงไม่ใส่ปุ๋ยซึ่งได้ผลผลิต 398 กก./ไร่ และแปลงที่ใส่ปุ๋ยเคมีอย่างเดียวที่ได้ผลผลิต 491 กก./ไร่ แต่ไม่แตกต่างสถิติกับแปลงที่ใส่ปุ๋ยเคมีร่วมกับขี้เถ้าแกลบทั้งสองอัตราคือ 500 และ 1,000 กก./ไร่ ซึ่งได้ผลผลิต 548 และ 563 กก./ไร่ ตามลำดับ ส่วนทดลองที่ศูนย์วิจัยข้าวพิษณุโลก พบว่าผลผลิตข้าวขาวดอกมะลิ 105 ตอบสนองดีที่สุดต่อการใส่ปุ๋ยเคมีร่วมกับแกลบอัตรา 500 กก./ไร่ ได้ผลผลิตข้าว 594 กก./ไร่ สูงกว่าแปลงที่ไม่ใส่ปุ๋ยที่ได้ผลผลิตเพียง 363 กก./ไร่ ถึง 231 กก./ไร่ และมี

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ความแตกต่างทางสถิติกับแปลงที่ใส่ปุ๋ยเคมีอย่างเดียว ซึ่งได้ผลผลิตข้าว 547 กก./ไร่ ใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมคลอไรด์จะมีผลผลิตเฉลี่ยและปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดในต้นข้าวสูงที่สุด เมื่อเทียบกับข้าวที่ได้รับโพแทสเซียมจากน้ำต้มเยื่อกระดาษสาและน้ำกากส่า และพบว่าน้ำหนักผลผลิตน้ำหนักข้าวมีสหสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญยิ่งกับปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดในข้าว

3. ข้าวจ้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1

สถาบันวิจัยข้าว (2540) รายงานว่า ข้าวจ้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1 ได้จากการผสมพันธุ์ระหว่างพันธุ์ผสมชั่วที่ 1 ของ IR 25393-57-2-3/ RD 23// IR 27316-96-3-2-2 และพันธุ์ผสมชั่วที่ 1 ของ SPRLR 77205-3-2-1-1/SPRLR 79134-51-2-2 ที่สถาบันทดลองข้าวสุพรรณบุรี เมื่อ พ.ศ. 2528

ลักษณะประจำพันธุ์ เป็นข้าวนาสวนไม่ไวต่อช่วงแสง อายุเก็บเกี่ยว 120-125 วัน ปลูกได้ทั้งนาปีและนาปรัง สูงประมาณ 125 เซนติเมตร ทรงกอตั้ง ต้นแข็งไม่ล้ม ใบเขียวเข้ม มีขน กาบใบและปล้องสีเขียว ใบธงยาวค่อนข้างตั้งตรง คอรวงยาว ค่อนข้างแน่น ระแง้ค่อนข้างถี่ เปลือกเมล็ดและกลีบรองดอกสี ระยะพักตัวของเมล็ด 22 วัน

ลักษณะดีเด่น ต้านทางเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลเช่นเดียวกับ กข. 23 และสุพรรณบุรี 90 ต้านทานโรคไหม้ และเพลี้ยกระโดดหลังขาวดีกว่าข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 90 ต้านทานโรคใบหงิกและโรคใบสีส้มในสภาพธรรมชาติ ต้านทานโรคขอบใบแห้ง ให้ผลผลิตเฉลี่ย 806 กิโลกรัมต่อไร่ ตอบสนองต่อการใช้ปุ๋ยดี

ข้อควรระวัง พบโรคใบขีดสีน้ำตาลในระยะออกรวง อาจเป็นสาเหตุของเมล็ดด่างได้

4. การผลิตเบียร์

4.1 วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตเบียร์

1) ข้าวมอลท์ (Malt) เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากข้าวบาร์เลย์ ซึ่งเป็นพืชที่เหมาะสมสำหรับใช้ผลิตเบียร์ชนิดหนึ่ง ตามปกติมีพืชที่เหมาะสมสำหรับการผลิตเบียร์หลายชนิด เช่น ข้าวบาร์เลย์ ข้าวโพด ข้าวสาลีและข้าวโอ๊ต เป็นต้น แต่มอลท์จะหมายถึง ข้าวบาร์เลย์เท่านั้น โดยได้จากการนำเมล็ดข้าวบาร์เลย์มาเพาะให้งอกจนเกิดรากอ่อนได้ใบสีเขียวที่เรียกว่า กรีนมอลท์ (Green

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Malt) จากนั้นนำมอลท์ที่ได้ไปบดและอบให้สุกจะได้แป้งซึ่งเรียกว่าขบวนการมอลติ้งโปรเซล (Malting Process) หลังจากเสร็จสิ้นขบวนการนี้แล้วจะได้มอลท์ถึง 3 ชนิด คือ แอมเบอร์หรือไวท์มอลท์ (Amber or White Malt) บราวน์มอลท์ (Brown Malt) และแบล็คมอลท์ (Black Malt) ซึ่งมอลท์แต่ละชนิดมีความเหมาะสมในการผลิตเบียร์ต่างกัน

ปัจจุบันข้าวบาร์เลย์ที่ปลูกในประเทศไทยนั้นยังมีคุณภาพไม่ดีพอที่จะนำมาทำเบียร์ และการที่เบียร์จะมีรสรสชาติดีและมีคุณค่าทางอาหารมากเพียงใดอยู่ที่คุณภาพของข้าวมอลท์ ดังนั้น จึงต้องมีการนำเข้าจากต่างประเทศเป็นส่วนใหญ่ ได้แก่ เยอรมนี ออสเตรเลีย และอังกฤษ เป็นต้น

2) ดอกฮอพส์ (Hops) เป็นพันธุ์ไม้เลื้อยชนิดหนึ่งที่นำมาใช้เป็นส่วนผสมในการผลิตเบียร์ซึ่งดอกฮอพส์ที่นำมาใช้จะใช้เฉพาะเพศเมียเท่านั้น เนื่องจากเป็นตัวที่ทำให้รสชาติขมและเพิ่มกลิ่นหอมแก่เบียร์ รวมทั้งช่วยในการย่อยอาหารด้วย สำหรับพันธุ์ฮอพส์ที่นำมาใช้ในการผลิตเบียร์นั้นจะใช้พันธุ์ Golding หรือ Fuggle และปริมาณที่ใช้ประมาณ 0.4-0.7 ปอนด์ต่อเบียร์ 1 บาร์เรลหรือ 36 แกลลอน ปัจจุบันยังต้องอาศัยการนำเข้าจากต่างประเทศ ได้แก่ ประเทศเยอรมนี ประเทศเชคโกสโลวาเกีย ประเทศสหรัฐอเมริกาและประเทศฝรั่งเศส

3) น้ำ (Water) เป็นวัตถุดิบที่มีความสำคัญมากในการผลิตเบียร์ เนื่องจากเบียร์จะมีปริมาณของน้ำมากที่สุด คือ ประมาณร้อยละ 90 เบียร์แต่ละชนิดจะมีรสชาติดีหรือไม่จะขึ้นอยู่กับคุณภาพของน้ำที่ผลิตเบียร์ ถ้าน้ำที่นำมาใช้ในการผลิตเบียร์มีคุณภาพแตกต่างกันจะทำให้เบียร์ที่ได้มีลักษณะและรสชาติที่แตกต่างกันด้วย เนื่องจาก น้ำที่นำมาใช้ในการผลิตจะมีชนิดและปริมาณของแร่ธาตุแตกต่างกัน ถ้าน้ำมีธาตุเหล็กละลายอยู่จะทำให้เบียร์ตกตะกอน และหากมีธาตุแคลเซียมมากจะทำให้รสชาติของเบียร์เสียไป ยกเว้นเบียร์ชนิด “เอลเบียร์” เท่านั้น แต่ถ้านำน้ำที่มีธาตุแคลเซียมและโซเดียมละลายอยู่ด้วย จะทำให้เบียร์ที่ได้มีรสชาติดียิ่งขึ้น หรือหากมีเกลือซัลเฟตละลายอยู่จะทำให้เบียร์มีรสขมเฝื่อน ดังนั้น การนำน้ำมาผลิตเบียร์จึงต้องควบคุมความกระด้าง ความเป็นกรดและปริมาณเกลือแร่แต่ละชนิดด้วย

4) ยีสต์ (Yeast) เป็นเชื้อที่นำเข้าจากต่างประเทศ โดยนำเข้าจากหลายประเทศ ได้แก่ ฝรั่งเศส เนเธอร์แลนด์และเบลเยี่ยม จากนั้นนำเชื้อมาเลี้ยงให้เป็นยีสต์

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

5) วัตถุดิบที่ใช้ปรุงแต่งและการบรรจุ ได้แก่ น้ำตาลและวิตามินซี ตลอดจนขวดบรรจุกล่องกระดาษ ฝาจุกและฉลากผลิตได้เองภายในประเทศ

4.2 กรรมวิธีการผลิตเบียร์ในประเทศไทย

การผลิตเบียร์ในต่างประเทศเริ่มตั้งแต่การหมักข้าวบาร์เลย์ให้เป็นมอลท์ แต่การผลิตในประเทศไทยจะเริ่มตั้งแต่การสั่งมอลท์เข้ามาจากต่างประเทศเพื่อใช้เป็นวัตถุดิบ เนื่องจากข้าวบาร์เลย์ในเมืองไทยยังมีคุณภาพไม่ดีพอ ซึ่งขั้นตอนการผลิตเบียร์ (Luc *et* al., 2006) มีดังนี้

ขั้นที่ 1 นำข้าวบาร์เลย์มาคัดเพื่อทำความสะอาดและตรวจสอบให้ได้คุณภาพ นำไปผึ่งแดดหลังจากนั้นนำเข้าข้าวบาร์เลย์มาแช่ในน้ำก่อนประมาณ 50 ชั่วโมง แล้วจึงนำไปหมักโดนเกลี่ยในถังหมักประมาณ 6-8 เพื่อให้รากอ่อนงอกออกมาเป็นมอลท์

ขั้นที่ 2 นำมอลท์ที่ได้จากข้าวบาร์เลย์มาคัด ทำความสะอาด แล้วนำเข้าเครื่องบดให้เป็นแป้ง แล้วนำเข้าเครื่องผสมน้ำที่ปรับสภาพแล้วในหม้อต้ม ซึ่งกลไกควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ตลอดเวลาในระดับ 76 องศาเซลเซียส เป็นเวลาประมาณ 3 ชั่วโมง 45 นาที ในหม้อต้มจะมีเครื่องพ่นน้ำร้อนเพื่อให้ความร้อนแป้งผสมน้ำในถัง ในขณะเดียวกันจะมีเครื่องกวนเพื่อให้ตัวเร่ง (Enzyme) ทำหน้าที่เปลี่ยนแป้งที่ผสมอยู่ในข้าวมอลท์ให้กลายเป็นน้ำตาล

ขั้นที่ 3 กรองน้ำตาลด้วยเครื่องกรอง (Mash Filter) เพื่อแยกเอาแป้งออกจากน้ำตาล เมื่อแยกออกมาแล้วจะได้น้ำตาลบริสุทธิ์ที่เรียกว่า “วอร์ท (Wort)” สำหรับกากตะกอนที่เหลือนำไปใช้เป็อาหารสัตว์

ขั้นที่ 4 ผ่านวอร์ทเข้าหม้อต้มพร้อมกับเติมดอกฮอพส์ ต้มวอร์ทกับฮอพส์จนเดือดเป็นเวลา 1 ชั่วโมงครึ่งในหม้อทองแดง (wort copper) ระหว่างที่ต้มวอร์ท ดอกฮอพส์ซึ่งละลายปนอยู่จะช่วยให้เบียร์มีรสชาติดี กลิ่นหอม และป้องกันไม่ให้เบียร์เสียง่าย ช่วยให้เกิดโปรตีนในวอร์ทและช่วยให้ฟองเบียร์อยู่ได้ทน

ขั้นที่ 5 เมื่อต้มวอร์ทกับฮอพส์ได้ที่แล้ว นำไปกรองแยกเอาฮอพส์ออก เพื่อให้ได้น้ำหวานหรือวอร์ทล้วนๆ ส่วนกากของวอร์ทก็นำออกจากหม้อต้มแล้วนำไปทิ้ง จากนั้นก็นำวอร์ทเข้าไปยังถังตกตะกอน นำวอร์ทหรือน้ำหวานที่ยังร้อนอยู่ทำให้เย็นลงด้วยเครื่องทำความเย็น (Plate

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Cooler) การให้ความเย็นแก่วอร์ทนี้เป็นขั้นตอนที่มีความสำคัญมาก หากไม่รักษาด้วยความเย็น วอร์ทจะเสื่อมคุณภาพและเสียง่าย

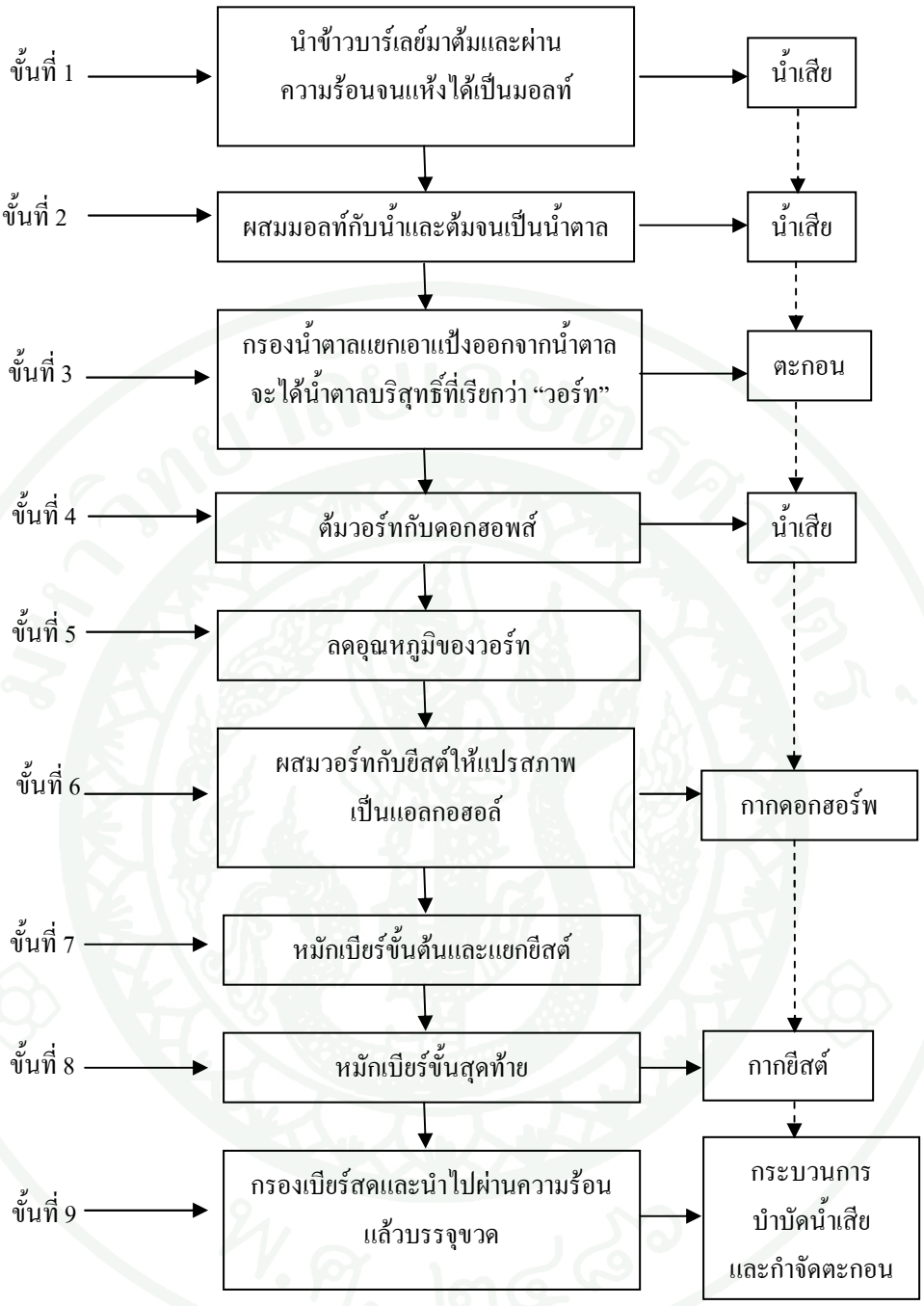
ขั้นที่ 6 ผ่านวอร์ทที่เย็นได้ที่แล้วเข้าเครื่องกรองน้ำหวาน เมื่อวอร์ทเย็นลงจนถึงระดับ 6 องศาเซลเซียส ก็จะใส่เชื้อยีสต์ผสมเข้าด้วยกันเพื่อสภาพน้ำหวานให้เป็นแอลกอฮอล์หรือเบียร์ จุดที่สำคัญที่สุดในการผลิตเบียร์คือ เชื้อยีสต์ ซึ่งเชื้อยีสต์ที่จะนำไปผสมจะต้องเป็นเชื้อยีสต์ที่มีความบริสุทธิ์และเป็นยีสต์ชนิดดี เพราะเบียร์จะมีคุณภาพหรือไม่นั้น ขึ้นอยู่กับเชื้อยีสต์เป็นสำคัญ

ขั้นที่ 7 นำเบียร์ที่ผสมยีสต์แล้วเข้าถังหมักขึ้นต้ม อากาซึ่งจะใช้เวลาประมาณ 9-12 วัน ภายใต้อุณหภูมิเย็นคงที่ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะเกิดขึ้นจากการหมักในขั้นนี้ เครื่องจะเปิดทางระบายให้อากาศในถังหมักถ่ายเทออกคงเหลือแต่กาซคาร์บอนไดออกไซด์ หลังจากนั้นจะถ่ายน้ำเบียร์ออกจากเชื้อยีสต์ที่นอนก้นเพื่อแยกยีสต์ออก

ขั้นที่ 8 จากนั้นผ่านเบียร์ที่หมักได้ที่แล้วเข้าเครื่องกรองเพื่อทำให้เบียร์มีสีใสมากขึ้น และนำไปผ่านความร้อน (Pasteurized) แล้วจึงบรรจุขวด ปิดฉลากและฝาจุกด้วยเครื่องจักรซึ่งทำหน้าที่ดังกล่าวโดยอัตโนมัติและบรรจุลงลังเพื่อรอการจำหน่ายต่อไป

จากที่กล่าวมาข้างต้นเป็นขั้นตอนของการผลิตเบียร์ ผลผลิตที่ได้นอกจากผลิตภัณฑ์เบียร์แล้วยังมีของเสียด้วย และของเสียที่เกิดขึ้นนั้นส่วนใหญ่จะเป็นน้ำเสีย เนื่องจากมีน้ำเป็นองค์ประกอบสำคัญในการผลิตเบียร์ จะเห็นได้จากภาพที่ 1

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 1 กระบวนการผลิตเบียร์และของเสียที่เกิดขึ้น

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. วัสดุและอุปกรณ์ในภาคสนาม

1.1 ตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียโรงงานเบียร์ บริษัท ไทยเอเชีย แปซิฟิค บริวเวอรี่ จำกัด อำเภอไทรน้อย จังหวัดนนทบุรี

1.2 ดินนาในพื้นที่อำเภอไทรน้อย จังหวัดนนทบุรี

1.3 ปุ๋ยเคมีสูตร 16-20-0 และปุ๋ยยูเรีย ($CO(NH_2)_2$) สูตร 46-0-0

1.4 เมล็ดข้าวจ้าวพันธุ์สุพรรณบุรี

1.5 กระถางพลาสติกสำหรับปลูกข้าว ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 เซนติเมตร สูง 20 เซนติเมตร

1.6 กระบะเพาะกล้าข้าว ขนาด 50×70 เซนติเมตร

1.7 อุปกรณ์ในการเพาะปลูกและดูแลรักษาพืช และอุปกรณ์ในการเก็บตัวอย่างดินและพืช ได้แก่ จอบ เสียม บัวรดน้ำ ถุงพลาสติก ถุงกระดาษใส่ตัวอย่าง ป้ายพลาสติก และอื่นๆ

2. อุปกรณ์และสารเคมีต่างๆ ในห้องปฏิบัติการ

2.1 เครื่องชั่งละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง

2.2 เครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS)

2.3 เครื่อง Kjeldahl heater

2.4 เครื่องบดตัวอย่างดิน

2.5 เครื่องเขย่าตัวอย่าง (Shaking machine)

2.6 เครื่องกรองตัวอย่าง (Filtering apparatus)

2.7 เครื่องบดตัวอย่างพืช

2.8 เครื่องกลั่น (Distillation apparatus)

2.9 กระดาษกรอง และน้ำกลั่น

2.10 เตาอบตัวอย่างพืช

2.11 เครื่องแก้วอื่นๆ ในห้องปฏิบัติการ เช่น Pipette, Beaker, Burette, Erlenmeyer flask, Volumetric pipet, Test Tube ฯลฯ

2.12 สารเคมีสำหรับวิเคราะห์ธาตุอาหาร เช่น Digestion mixture, Boric acid-indicator solution, Sodium hydroxide, Standard sulfuric, Standard phosphate solution, Bray II

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

(0.1 N HCL + 0.03 N NH_4F), Reagent A,Reagent B, Ammonium acetate, Standard solution สำหรับโพแทสเซียม เป็นต้น

2.13 สารเคมีสำหรับวิเคราะห์โลหะหนัก เช่น Potassium permanganate 6% wt/v, H_2SO_4+HNO_3 mixture 2% v/v, Hydroxylamine sulfate sodium chloride, Std. Hg 1000 ppm, 12 N HCL และ Acid mixture เป็นต้น

วิธีการ

1. การทดลองในห้องปฏิบัติการ

1.1 การศึกษาความสามารถในการปลดปล่อยไนโตรเจน (N-mineralization) ของตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียโรงงานเบียร์ในดินนา

ทำการศึกษาการปลดปล่อยไนโตรเจนของตะกอนในดินนา โดยนำตะกอน 1.0 กรัม ผสมกับดิน 10.0 กรัม ใส่ในหลอดทดลองขนาด 25 มล. จำนวน 15 หลอด เติมน้ำกรอง 14 มล.ซึ่งจะทำให้มีน้ำท่วมขังผิวดินประมาณ 3 ซม. ระวังอย่าให้เกิดฟองอากาศแทรกในเนื้อดิน ทำการทดลอง 3 ซ้ำ บ่มไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 1, 2, 3, และ 4 สัปดาห์ เมื่อครบกำหนดในแต่ช่วงเวลาที่กำหนด นำมาวิเคราะห์หาปริมาณ NH_4-N โดยใช้ 2 N KCl เป็นน้ำยาสกัดและใช้วิธีกลั่นหาไนโตรเจนของทัศนีย์ และคณะ (2527)

2. การทดลองในกระถาง

2.1 การเตรียมตัวอย่างตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียโรงงานเบียร์และดิน

การเตรียมตะกอนทำโดยเก็บตัวอย่างตะกอนจากบ่อเก็บตะกอนทุกบ่อในปริมาณที่เท่าๆ กัน คลุกเคล้าตะกอนที่เก็บมาให้เข้ากันดี จากนั้นนำมาผึ่งให้แห้งในที่ร่ม เมื่อตะกอนแห้งแล้วทำการคลุกเคล้าอีกครั้งหนึ่ง เพื่อให้ตะกอนมีความสม่ำเสมอ

การเตรียมดิน เก็บตัวอย่างดินที่เป็นดินบนของนาข้าวในพื้นที่มาผึ่งให้แห้งในที่ร่ม ทุบหรือย่อยดินให้มีขนาดเล็กลง เลือกก้อนหินหรือเศษซากพืชขนาดใหญ่ออก แล้วคลุกเคล้าให้เป็น

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เนื้อเดียวกันอย่างสม่ำเสมอ ชั่งดินใส่ในกระถางทดลองที่เตรียมไว้ กระถางละ 6 กิโลกรัม จำนวน 36 กระถาง

2.2 การวางแผนการทดลอง

วางแผนการทดลองแบบ 4 × 3 Factorial in Completely Randomized Design ทำการทดลอง 3 ซ้ำ ประกอบด้วย 2 ปัจจัย คือ ตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียฯ และปุ๋ยเคมี โดยมีการกำหนดปัจจัย ดังนี้

(1) ตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียโรงงานเบียร์ 4 อัตรา คือ

ก. AS_0 ไม่ใส่ตะกอนฯ

ข. AS_2 ใส่ตะกอนฯ อัตรา 2 ตัน/ไร่ (38.46 กรัม/กระถาง)

ค. AS_4 ใส่ตะกอนฯ อัตรา 4 ตัน/ไร่ (76.92 กรัม/กระถาง)

ง. AS_6 ใส่ตะกอนฯ อัตรา 6 ตัน/ไร่ (115.38 กรัม/กระถาง)

(2) ปุ๋ยเคมีสูตร 16-20-0 และปุ๋ยยูเรียสูตร 46-0-0 ใส่ 3 อัตรา คือ

ก. F_0 ไม่ใส่ปุ๋ยเคมี

ข. F_1 ใส่ปุ๋ยเคอัตราต่ำ โดยใส่ปุ๋ยสูตร16-20-0 อัตรา 3.37 กรัมร่วมกับปุ๋ยยูเรียสูตร 46-0-0 อัตรา 1.521 กรัม/กระถาง

ค. F_2 ใส่ปุ๋ยเคมีอัตราสูง โดยใส่ปุ๋ยสูตร16-20-0 อัตรา 6.75 กรัมร่วมกับปุ๋ยยูเรียสูตร 46-0-0 อัตรา 3.042 กรัม/กระถาง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ดังนั้น ในการทดลองจะประกอบไปด้วย 12 ตำรับการทดลอง ดังนี้

1) AS_0F_0 = ไม่ใส่ตะกอนและไม่ใส่ปุ๋ยเคมี
2) AS_0F_1 = ไม่ใส่ตะกอนและใส่ปุ๋ยเคมีอัตราต่ำ
3) AS_0F_2 = ไม่ใส่ตะกอนและใส่ปุ๋ยเคมีอัตราสูง
4) AS_2F_0 = ใส่ตะกอนอัตรา 2 ตัน/ไร่และไม่ใส่ปุ๋ยเคมี
5) AS_2F_1 = ใส่ตะกอนอัตรา 2 ตัน/ไร่และใส่ปุ๋ยเคมีอัตราต่ำ
6) AS_2F_2 = ใส่ปุ๋ยเคมีอัตรา 2 ตัน/ไร่และใส่ปุ๋ยเคมีอัตราสูง
7) AS_4F_0 = ใส่ตะกอนอัตรา 4 ตัน/ไร่และไม่ใส่ปุ๋ยเคมี
8) AS_4F_1 = ใส่ตะกอนอัตรา 4 ตัน/ไร่และใส่ปุ๋ยเคมีอัตราต่ำ
9) AS_4F_2 = ใส่ตะกอนอัตรา 4 ตัน/ไร่และใส่ปุ๋ยเคมีอัตราสูง
10) AS_6F_0 = ใส่ตะกอนอัตรา 6 ตัน/ไร่และไม่ใส่ปุ๋ยเคมี
11) AS_6F_1 = ใส่ตะกอนอัตรา 6 ตัน/ไร่และใส่ปุ๋ยเคมีอัตราต่ำ
12) AS_6F_2 = ใส่ตะกอนอัตรา 6 ตัน/ไร่และใส่ปุ๋ยเคมีอัตราสูง

2.3 การปลูก ดูแลรักษา และการเก็บเกี่ยว

2.3.1 การเตรียมกล้าข้าว

นำเมล็ดข้าวจ้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1 แช่น้ำทิ้งไว้ 1 คืน นำมาหุ้มด้วยผ้าข้าวบางทิ้งไว้ 3 วัน เมื่อเมล็ดข้าวเริ่มงอก นำไปหว่านในกระบะเพาะกล้าขนาด 50 ×70 เซนติเมตร จนต้นกล้ามีอายุครบ 21 วัน จึงนำไปปักดำ

2.3.2 การปักดำและการให้ปุ๋ย

ก่อนทำการปักดำ ทำการผสมดินและตะกอนคลุกเคล้าเข้าด้วยกัน หลังจากนั้นขังน้ำไว้ 7 วันก่อนปักดำ การปักดำจะใช้ต้นกล้ากระถางละ 3 ต้น เมื่อข้าวอายุครบ 15 วัน ถอนให้เหลือ 2 ต้น/กระถาง พร้อมทั้ง ใส่ปุ๋ยเคมีครั้งที่ 1 โดยใส่ปุ๋ยสูตร 16 – 20 – 0 ตามอัตราที่กำหนด และใส่ปุ๋ยครั้งที่ 2 หลังปักดำต้นกล้า 30 วัน ใส่ปุ๋ยยูเรียสูตร 46 - 0 - 0 ในอัตราที่กำหนดดังที่กล่าวมาข้างต้น

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2.3.3 การดูแลรักษา

การให้น้ำ ดูแลรักษาระดับน้ำในกระถางที่ปลูกข้าวให้อยู่ที่ระดับ 5-10 เซนติเมตร จากผิวดินเสมอตลอดการทดลอง ส่วนการป้องกันกำจัดวัชพืชและการป้องกันกำจัดศัตรูพืช โรคและแมลง กำจัดวัชพืชโดยการถอนด้วยมือ รวมทั้งเมื่อมีแมลงหรือศัตรูพืชรบกวน เช่น หนอนกอและแมลงอื่นๆ ในระยะตกกล้าและหลังจากปักดำ ใช้สารป้องกันกำจัดแมลงศัตรูพืชตามความจำเป็น

2.3.4 การเก็บเกี่ยวผลผลิต

ทำการเก็บเกี่ยวผลผลิตข้าวเมื่อข้าวแก่สุกเต็มที่ หรือมีอายุประมาณ 120 วัน (4 เดือน)

2.4 การบันทึกข้อมูลและการเก็บตัวอย่าง

2.4.1 วัดความสูงและนับจำนวนต้นต่อกระถางในระยะแตกกอ ระยะการกำเนิดช่อดอก ระยะออกดอก และระยะเก็บเกี่ยว

2.4.2 ชั่งน้ำหนักแห้งของตอซังข้าวในระยะเก็บเกี่ยว (120 วัน)

2.4.3 ชั่งน้ำหนักผลผลิตโดยชั่งน้ำหนักเมล็ดทั้งหมด

2.4.4 นับจำนวนรวงต่อกระถางในระยะเก็บเกี่ยว

2.5 วิเคราะห์พืช

นำตัวอย่างพืช คือ ส่วนที่เป็นเมล็ดและตอซัง ไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส จนกระทั่งน้ำหนักคงที่ หลังจากนั้นนำไปบดให้ละเอียด และนำไปวิเคราะห์หาปริมาณธาตุอาหารในพืช ได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม รวมทั้งวิเคราะห์หาโลหะหนัก ได้แก่ ปรอท แคดเมียม ตะกั่วและสารหนู ณ ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2.6 การวิเคราะห์ดินหลังปลูกพืช

ทำการเก็บตัวอย่างดินหลังการเก็บเกี่ยวข้าว เพื่อทำการวิเคราะห์สมบัติของดินบางประการ ได้แก่ ความเป็นกรด-ด่าง (pH) ปริมาณอินทรียวัตถุ ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์และโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้

3. การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

ข้อมูลที่ได้จากการทดลอง นำมาวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ (Analysis of variance) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT)

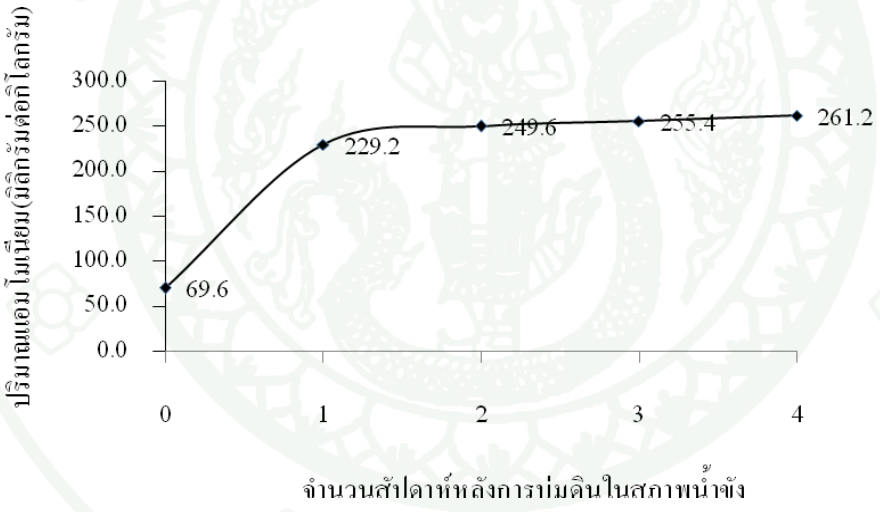
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ผลและวิจารณ์

ผล

1. การศึกษาการปลดปล่อยไนโตรเจนของตะกอนระบบบำบัดน้ำเสียในสภาพดินนาน้ำขัง

จากการศึกษาพบว่า การปลดปล่อยไนโตรเจนของตะกอนระบบบำบัดน้ำเสียในสภาพดินนาน้ำขังในสัปดาห์ที่ 1 มีการปลดปล่อยไนโตรเจนเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว และเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ ในสัปดาห์ที่ 2 3 และ 4 มีปริมาณเท่ากับ 229.2 249.6 255.4 และ 261.2 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 2



ภาพที่ 2 ปริมาณแอมโมเนียมในแต่ละสัปดาห์หลังการบ่มดินนาในสภาพน้ำขัง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2. สมบัติของตะกอนระบบบำบัดน้ำเสียจากโรงงานเบียร์

จากการศึกษาสมบัติของตะกอนระบบบำบัดน้ำเสียจากโรงงานเบียร์ พบว่า ตะกอนมีความเป็นกรด-ด่าง (pH) เท่ากับ 5.5 มีสภาพการนำไฟฟ้า (EC) เท่ากับ 7.51 dS/m มีปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม ร้อยละ 2.73 14.66 และ 0.60 มีปริมาณโลหะหนักพวกทองแดง ตะกั่ว แคดเมียม โครเมียม ปรอทและสารหนู เท่ากับ 81.50 278.30 19.20 80.40 4.49 และ 3.54 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 1

3. สมบัติของดินนาที่ใช้ในการปลูกข้าว

จากการศึกษาสมบัติบางประการของดินนาที่ใช้ในการทดลอง พบว่า เนื้อดินเป็นดินเหนียว (clay) มีสภาพความเป็นกรดเล็กน้อย โดยมี pH เท่ากับ 6.2 มีปริมาณอินทรียวัตถุอยู่ในระดับสูง ร้อยละ 5.6 มีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์สูง คือ 47 มิลลิกรัม/กิโลกรัม มีปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้สูงมาก คือ 130 มิลลิกรัม/กิโลกรัม มีปริมาณแคลเซียมและแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้สูง คือ มีปริมาณ 3,250 และ 510 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ตามลำดับ สำหรับโลหะหนักพวกตะกั่ว แคดเมียม ปรอท และสารหนู มีปริมาณเท่ากับ 40.3 12.5 0.06 และ 4.4 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 2

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 1 องค์ประกอบและสมบัติของตะกอนที่ใช้ในการทดลอง

คุณลักษณะ	ค่าที่วิเคราะห์ได้	เกณฑ์ที่กำหนด [1/]
pH	5.5	5.5-8.5
EC (dS/m)	7.51	$\leq$ 10
Total-N (%)	2.73	$\geq$ 1.0% โดยน้ำหนัก
Total-P_2O_5 (%)	14.66	$\geq$ 0.5% โดยน้ำหนัก
Total-K_2O (%)	0.60	$\geq$ 0.5% โดยน้ำหนัก
Total-Cu (mg/kg)	81.50	$\leq$ 500 mg/kg
Total-Pb (mg/kg)	278.30	$\leq$ 500 mg/kg
Total-Cd (mg/kg)	19.20	$\leq$ 5 mg/kg
Total-Cr (mg/kg)	80.40	$\leq$ 300 mg/kg
Total-Hg (mg/kg)	4.49	$\leq$ 2 mg/kg
Total-As (mg/kg)	3.54	$\leq$ 50 mg/kg

หมายเหตุ 1/ เกณฑ์ที่กำหนดโดยกรมวิชาการเกษตร (2550)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 2 องค์ประกอบและสมบัติของตัวอย่างดินที่ใช้ในการทดลอง

คุณลักษณะ	ค่าที่วิเคราะห์ได้	ระดับและเกณฑ์มาตรฐาน
Soil Texture	Clay	-
Organic Matter (%)	5.60	สูงมาก[1/]
pH	6.20	กรดเล็กน้อย[1/]
Available-P (mg/kg)	47.00	สูงมาก[1/]
Exchangcable K (mg/kg)	130.00	สูงมาก[1/]
Exchangcable Ca (mg/kg)	3520	สูง[1/]
Exchangcable Mg (mg/kg)	510.00	สูง[1/]
Total Pb (mg/kg)	40.30	$\leq$ 400 mg/kg[2/]
Total Cd (mg/kg)	12.50	$\leq$ 37 mg/kg[2/]
Total Hg (mg/kg)	0.06	$\leq$ 23 mg/kg[2/]
Total As (mg/kg)	4.40	$\leq$ 3.9 mg/kg[2/]

หมายเหตุ 1/ อ้างอิงจาก กรมพัฒนาที่ดิน (2548)

2/ อ้างอิงจาก ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 25 (พ.ศ. 2547) ออกตามความในพระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2535 เรื่อง กำหนดมาตรฐานคุณภาพดิน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

4. ผลของตะกอนฯและปุ๋ยเคมีต่อข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1

4.1 ข้าวระยะแตกกอ

4.1.1 ความสูงของข้าว

จากการศึกษาพบว่า การไม่ใส่และการใส่ตะกอน ในอัตราต่างๆ ส่งผลให้ความสูงของข้าวไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่การใส่ตะกอนที่อัตรา 4 ตัน/ไร่ มีผลทำให้ความสูงของข้าวมีแนวโน้มสูงกว่าการใส่อัตราอื่นๆ ส่วนการไม่ใส่และการใส่ปุ๋ยเคมีในอัตราต่างๆ ส่งผลให้ความสูงของข้าวไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการใส่ปุ๋ยเคมีอัตราสูงทำให้ความสูงของข้าวต่ำกว่าการใส่อัตราอื่นๆ อิทธิพลร่วมของตะกอนกับปุ๋ยเคมีในอัตราต่างๆ ต่อความสูงของข้าวไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังแสดงในตารางที่ 3

4.1.2 จำนวนต้น/กอ

การไม่ใส่และการใส่ตะกอนในอัตราต่างๆ รวมทั้งการไม่ใส่และการใส่ปุ๋ยเคมีในอัตราต่างๆ ไม่ทำให้จำนวนต้นต่อกอของข้าวแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ อิทธิพลร่วมของตะกอนกับปุ๋ยเคมีในอัตราต่างๆ ต่อจำนวนต้น/กอของข้าวมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ โดยพบว่า การใส่ตะกอน ถ้าไม่มีการใส่ปุ๋ยเคมีร่วมด้วย จะทำให้จำนวนต้น/กอของข้าวเพิ่มขึ้น ตามอัตราการใส่ตะกอน แต่ถ้ามีการใส่ปุ๋ยเคมีร่วมด้วยในอัตราสูงกลับทำให้จำนวนต้น/กอของข้าวลดลง และพบว่าการใส่ตะกอน อัตรา 2 ตัน/ไร่ร่วมกับปุ๋ยเคมีอัตราสูง และการใส่ตะกอน อัตรา 6 ตัน/ไร่ร่วมกับปุ๋ยเคมีอัตราต่ำ มีแนวโน้มทำให้จำนวนต้นต่อกอของข้าวมีจำนวนสูงสุด ดังแสดงในตารางที่ 4

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 3 ผลของตะกอนและปุ๋ยเคมีต่อความสูง (เซนติเมตร) ของข้าวเฉลี่ยที่ระยะแตกกอ

อัตราตะกอน (ตัน/ไร่)	ปุ๋ยเคมี			**เฉลี่ย**
	F_0	F_1	F_2	
0	71.8	76.6	68.4	72.3
2	71.9	72.4	71.1	71.8
4	74.1	71.7	75.3	73.8
6	73.8	75.1	51.5	66.8
เฉลี่ย	72.0	74.0	67.0	
F-test อัตราตะกอน (AS)				ns
F-test อัตราปุ๋ยเคมี (F)				ns
F-test (AS*F)				ns
CV (%)				4.3

หมายเหตุ ns = ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 4 ผลของตะกอนและปุ๋ยเคมีต่อจำนวนต้น/กอ (ต้น/กระถาง) ของข้าวเฉลี่ยที่ระยะแตกกอ

อัตราตะกอน (ตัน/ไร่)	ปุ๋ยเคมี			**เฉลี่ย**
	F_0	**F_1**	**F_2**	
0	9a	11bc	11bc	10
2	11bc	11bc	13de	11
4	11bc	11bc	10a	11
6	12cde	13e	10ab	12
เฉลี่ย	11	11	11	
F-test อัตราตะกอน (AS)				ns
F-test อัตราปุ๋ยเคมี (F)				ns
F-test (AS*F)				**
CV (%)				9.8

หมายเหตุ ** = แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99%

ns = ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

ในสดมภ์และแถวเดียวกันตัวเลขที่ตามด้วยตัวอักษรที่เหมือนกันจะมีค่าไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยวิธี DMRT

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

4.2 ข้าวระยะกำเนิดช่อดอก

4.2.1 ความสูงของข้าวระยะกำเนิดช่อดอก

จากการศึกษา พบว่า การไม่ใส่และการใส่ตะกอนในอัตราต่างๆ ส่งผลให้ความสูงของข้าวไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนการใส่ปุ๋ยเคมีในอัตราต่างๆ ส่งผลให้ความสูงของข้าวมีความแตกต่างจากการไม่ใส่ปุ๋ยเคมีอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ การใส่ปุ๋ยเคมีอัตราต่ำและอัตราสูงให้ความสูงของข้าวไม่แตกต่างกันแต่มีแนวโน้มว่า การใส่ปุ๋ยเคมีอัตราสูงจะทำให้ข้าวมีความสูงมากกว่า อิทธิพลร่วมของตะกอนกับปุ๋ยเคมีในอัตราต่างๆ ต่อความสูงของข้าวไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ อย่างไรก็ตามพบว่า ถ้าไม่ใส่ปุ๋ยเคมี การใส่ตะกอนในอัตราต่างๆ มีแนวโน้มให้ความสูงของข้าวสูงกว่าการไม่ใส่ตะกอน แต่ถ้าใส่ปุ๋ยเคมี การใส่ตะกอนอัตราต่ำมีแนวโน้ม ทำให้ความความสูงของข้าวสูงกว่าการไม่ใส่ตะกอน และการใส่ตะกอนอัตราสูง 6 ตัน/ไร่ ดังแสดงในตารางที่ 5

4.2.2 จำนวนต้น/กอของข้าว

การใส่ตะกอนในอัตราต่างๆ ส่งผลให้จำนวนต้น/กอของข้าวมีจำนวนสูงขึ้นแตกต่างจากการไม่ใส่ตะกอนอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ และการใส่ตะกอน อัตรา 4 ตัน/ไร่ มีแนวโน้มทำให้จำนวนต้น/กอของข้าวสูงที่สุด ในส่วนของการไม่ใส่และใส่ปุ๋ยเคมีในอัตราต่างๆ ส่งผลให้จำนวนต้น/กอของข้าวมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ โดยการใส่ปุ๋ยเคมีอัตราสูง ส่งผลให้มีจำนวนต้น/กอของข้าวสูงสุด อิทธิพลร่วมของตะกอนกับปุ๋ยเคมีในอัตราต่างๆ ต่อจำนวนต้น/กอของข้าวไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่การใส่ตะกอน อัตรา 2 ตัน/ไร่ร่วมกับปุ๋ยเคมีอัตราสูง มีแนวโน้มทำให้จำนวนต้น/กอของข้าวสูงกว่าตำรับอื่นๆ ดังแสดงในตารางที่ 6

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 5 ผลของตะกอนและปุ๋ยเคมีต่อความสูง (เซนติเมตร) ของข้าวเฉลี่ยที่ระยะกำเนิดช่อดอก

อัตราตะกอน (ตัน/ไร่)	ปุ๋ยเคมี			**เฉลี่ย**
	F_0	F_1	F_2	
0	96.2	102.7	102.0	100.3
2	95.8	104.9	104.2	101.6
4	99.7	99.4	105.6	101.5
6	98.0	98.7	100.5	99.1
เฉลี่ย	97.4x	101.4y	103.1y	
F-test อัตราตะกอนฯ (AS)				ns
F-test อัตราปุ๋ยเคมี (F)				**
F-test (AS*F)				ns
CV (%)				3.5

หมายเหตุ ** = แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99%

ns = ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

ในสดมภ์เดียวกันตัวเลขที่ตามด้วยตัวอักษรตัวเล็กที่เหมือนกันจะมีค่าไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยวิธี DMRT

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 6 ผลของตะกอนและปุ๋ยเคมีต่อจำนวนต้น/กอ (ต้น/กระถาง) ของข้าวเฉลี่ยที่ระยะกำเนิดช่อดอก

อัตราตะกอน (ตัน/ไร่)	ปุ๋ยเคมี			**เฉลี่ย**
	F_0	F_1	F_2	
0	29	45	54	43A
2	36	50	65	50BC
4	37	53	62	51C
6	38	47	59	48B
เฉลี่ย	35x	49y	60z	
F-test อัตราตะกอน (AS)				**
F-test อัตราปุ๋ยเคมี (F)				**
F-test (AS*F)				ns
CV (%)				6.4

หมายเหตุ ** = แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99%

ns = ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

ในสดมภ์เดียวกันตัวเลขที่ตามด้วยตัวอักษรที่เหมือนกันจะมีค่าไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยวิธี DMRT

ในแถวเดียวกันตัวเลขที่ตามด้วยตัวอักษรที่เหมือนกันจะมีค่าไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยวิธี DMRT

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

4.3 ข้าวระยะเก็บเกี่ยว

4.3.1 จำนวนรวงของข้าว

การใส่ตะกอน อัตราต่างๆ ไม่ส่งผลให้จำนวนรวงของข้าวมีความแตกต่างกัน แต่มีจำนวนรวงสูงกว่าการไม่ใส่ตะกอนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ และการใส่ตะกอนอัตรา 6 ตัน/ไร่ มีแนวโน้มทำให้มีจำนวนรวงมากที่สุด ในส่วนของการใส่ปุ๋ยเคมีในอัตราต่างๆ ส่งผลให้จำนวนรวงของข้าวมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ โดยการใส่ปุ๋ยเคมีอัตราสูง ส่งผลให้ความสูงของข้าวสูงสุด อิทธิพลร่วมของตะกอนร่วมกับปุ๋ยเคมีในอัตราต่างๆ ต่อจำนวนรวงของข้าวไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการใส่ตะกอน อัตรา 2 ตัน/ไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมีอัตราสูง ส่งผลให้จำนวนรวงของข้าวมีแนวโน้มสูงกว่าการใส่อัตราอื่นๆ ดังแสดงในตารางที่ 7

4.3.2 น้ำหนักแห้งตอซังข้าว

การไม่ใส่และการใส่ตะกอน อัตราต่างๆ ส่งผลให้น้ำหนักแห้งตอซังข้าว มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ โดยการใส่ตะกอน อัตรา 6 ตัน/ไร่ ให้น้ำหนักแห้งของตอซังข้าวมีน้ำหนักสูงสุด ในส่วนของการไม่ใส่และการใส่ปุ๋ยเคมีอัตราต่างๆ ส่งผลให้น้ำหนักแห้งตอซังข้าวมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ โดยการใส่ปุ๋ยเคมีอัตราสูง ส่งผลให้ข้าวมีน้ำหนักตอซังสูงสุด อิทธิพลร่วมของตะกอนกับปุ๋ยเคมีในอัตราต่างๆ ต่อน้ำหนักแห้งของตอซังข้าวไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการใส่ตะกอน อัตรา 4 ตัน/ไร่ร่วมกับปุ๋ยเคมีอัตราสูง มีแนวโน้มทำให้น้ำหนักแห้งตอซังข้าวสูงกว่าการใส่ตำรับอื่นๆ ดังแสดงในตารางที่ 8

4.3.3 น้ำหนักเมล็ดของข้าว

การใส่ตะกอน อัตรา 2 ตัน/ไร่ ให้น้ำหนักเมล็ดของข้าวสูงสุด สูงกว่าการไม่ใส่ตะกอนและใส่ตะกอนในอัตราอื่นๆ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนของการไม่ใส่และการใส่ปุ๋ยเคมีอัตราต่างๆ ส่งผลให้น้ำหนักเมล็ดแห้งของข้าวมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ โดยการใส่ปุ๋ยเคมีอัตราสูง ส่งผลให้ข้าวมีน้ำหนักเมล็ดสูงสุด อิทธิพลร่วมของตะกอนกับปุ๋ยเคมีในอัตราต่างๆ ต่อน้ำหนักเมล็ดแห้งของข้าวมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

โดยการใส่ตะกอน อัตรา 2 ตัน/ไร่ร่วมกับปุ๋ยเคมีอัตราสูง ส่งผลให้น้ำหนักเมล็ดของข้าวสูงสุด ดังแสดงในตารางที่ 9

4.3.4 ร้อยละเมล็ดลีบของข้าว

การไม่ใส่และการใส่ตะกอนอัตราต่างๆ ส่งผลให้ร้อยละเมล็ดลีบของข้าวมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการใส่ตะกอน อัตรา 4 ตัน/ไร่ มีแนวโน้มส่งผลให้ร้อยละเมล็ดลีบของข้าวสูงกว่าการใส่อัตราอื่นๆ ส่วนของการใส่ปุ๋ยเคมี พบว่า การใส่ปุ๋ยเคมีอัตราสูง ทำให้ร้อยละเมล็ดลีบสูงกว่าการไม่ใส่ปุ๋ยเคมีและใส่ปุ๋ยเคมีอัตราต่ำแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ อิทธิพลร่วมของตะกอนกับปุ๋ยเคมีในอัตราต่างๆ ต่อปริมาณเมล็ดลีบของข้าวมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งการใส่ตะกอน อัตรา 6 ตัน/ไร่ร่วมกับปุ๋ยเคมีอัตราสูง มีแนวโน้มส่งผลให้ร้อยละเมล็ดลีบของข้าวสูงกว่าการใส่ตำรับอื่นๆ ดังแสดงในตารางที่ 10

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 7 ผลของตะกอนและปุ๋ยเคมีต่อจำนวนรวง (รวง/กระถาง) ของข้าวเฉลี่ยที่ระยะเก็บเกี่ยว

อัตราตะกอน (ตัน/ไร่)	ปุ๋ยเคมี			**เฉลี่ย**
	F_0	F_1	F_2	
0	25	36	52	38A
2	27	41	59	42B
4	28	41	55	41B
6	32	42	56	43B
เฉลี่ย	28x	40y	56z	
F-test อัตราตะกอน (AS)				**
F-test อัตราปุ๋ยเคมี (F)				**
F-test (AS*F)				ns
CV (%)				6.1

หมายเหตุ ** = แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99%

ns = ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

ในสดมภ์เดียวกันตัวเลขที่ตามด้วยตัวอักษรที่เหมือนกันจะมีค่าไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยวิธี DMRT

ในแถวเดียวกันตัวเลขที่ตามด้วยตัวอักษรที่เหมือนกันจะมีค่าไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยวิธี DMRT

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 8 ผลของตะกอนและปุ๋ยเคมีต่อน้ำหนักแห้งตอซังข้าว(กรัม/กระถาง)เฉลี่ยที่ระยะเก็บเกี่ยว

อัตราตะกอน (ตัน/ไร่)	ปุ๋ยเคมี			**เฉลี่ย**
	F_0	F_1	F_2	
0	70.3	119.5	187.3	125.7A
2	76.1	134.3	193.0	134.4AB
4	81.1	133.8	206.7	140.5BC
6	89.6	140.5	201.1	143.8C
เฉลี่ย	79.3x	132.0y	197.0z	
F-test อัตราตะกอน (AS)				**
F-test อัตราปุ๋ยเคมี (F)				**
F-test (AS*F)				ns
CV (%)				6.7

หมายเหตุ ** = แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99%

ns = ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

ในสดมภ์เดียวกันตัวเลขที่ตามด้วยตัวอักษรที่เหมือนกันจะมีค่าไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยวิธี DMRT

ในแถวเดียวกันตัวเลขที่ตามด้วยตัวอักษรที่เหมือนกันจะมีค่าไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยวิธี DMRT

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 9 ผลของตะกอนและปุ๋ยเคมีต่อน้ำหนักเมล็ดดี (กรัม/กระถาง) ของข้าวเฉลี่ยที่ระยะเก็บเกี่ยว

อัตราตะกอน (ตัน/ไร่)	ปุ๋ยเคมี			**เฉลี่ย**
	F_0	F_1	F_2	
0	46.3a	90.7b	111.0dc	82.6A
2	53.0a	94.0bc	119.7e	88.9B
4	57.3a	82.0b	94.1bc	77.8A
6	59.8a	86.4bc	98.5cd	81.6A
เฉลี่ย	54.1x	88.3y	105.8z	
F-test อัตราตะกอน (AS)				*
F-test อัตราปุ๋ยเคมี (F)				**
F-test (AS*F)				*
CV (%)				10.6

หมายเหตุ * = แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

** = แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99%

ในสดมภ์เดียวกันตัวเลขที่ตามด้วยตัวอักษรที่เหมือนกันจะมีค่าไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยวิธี DMRT

ในแถวเดียวกันตัวเลขที่ตามด้วยตัวอักษรที่เหมือนกันจะมีค่าไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยวิธี DMRT

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 10 ผลของตะกอนและปุ๋ยเคมีต่อน้ำหนักเมล็ดลีบ (ร้อยละ) ของข้าวเฉลี่ยที่ระยะเก็บเกี่ยว

อัตราตะกอน (ตัน/ไร่)	ปุ๋ยเคมี			**เฉลี่ย**
	F_0	F_1	F_2	
0	1.80a	2.21a	6.83c	3.61B
2	1.26a	2.74a	4.85b	2.95A
4	4.26b	6.88c	12.15e	7.76C
6	4.16b	7.59c	9.75d	7.17C
เฉลี่ย	2.87x	4.86y	8.40z	
F-test อัตราตะกอนฯ (AS)				**
F-test อัตราปุ๋ยเคมี (F)				**
F-test (AS*F)				**
CV (%)				12.4

หมายเหตุ ** = แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99%

ในสดมภ์เดียวกันตัวเลขที่ตามด้วยตัวอักษรที่เหมือนกันจะมีค่าไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยวิธี DMRT

ในแถวเดียวกันตัวเลขที่ตามด้วยตัวอักษรที่เหมือนกันจะมีค่าไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยวิธี DMRT

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

4.4.4 ธาตุอาหารในข้าวระยะเก็บเกี่ยว

1) ตอซังข้าว

(1) ไนโตรเจน

การไม่ใส่และการใส่ตะกอน อัตราต่างๆ ส่งผลให้ความเข้มข้นของไนโตรเจนในตอซังข้าว (ไม่รวมราก) ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการใส่ตะกอน อัตรา 4 ตัน/ไร่ มีแนวโน้มส่งผลให้ความเข้มข้นของไนโตรเจนในตอซังข้าวสูงกว่าการใส่อัตราอื่นๆ ในส่วนของการใส่ปุ๋ยเคมี พบว่า การใส่ปุ๋ยเคมีอัตราสูง ทำให้ความเข้มข้นของปริมาณไนโตรเจนสูงกว่าการไม่ใส่และใส่ปุ๋ยเคมีอัตราต่ำแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ อิทธิพลร่วมของตะกอนร่วมกับปุ๋ยเคมีในอัตราต่างๆ ส่งผลให้ความเข้มข้นของไนโตรเจนไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยการใส่ตะกอน อัตรา 6 ตัน/ไร่ร่วมกับปุ๋ยเคมีอัตราสูง มีแนวโน้มส่งผลให้ความเข้มข้นของไนโตรเจนในตอซังข้าวสูงกว่าการใส่ตำรับอื่นๆ ดังแสดงในตารางที่ 11

(2) ฟอสฟอรัส

จากการศึกษา พบว่า การไม่ใส่และการใส่ตะกอน อัตราต่างๆ ส่งผลให้ความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในตอซังข้าว (ไม่รวมราก) ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่การใส่ตะกอน อัตรา 4 ตัน/ไร่ มีแนวโน้มส่งผลให้ความเข้มข้นของของฟอสฟอรัสในตอซังข้าวสูงกว่าการใส่อัตราอื่นๆ ส่วนของการใส่ปุ๋ยเคมีในอัตราต่างๆ ไม่ทำให้ความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในตอซังข้าวแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ อิทธิพลร่วมของตะกอนร่วมกับปุ๋ยเคมีในอัตราต่างๆ ไม่ทำให้ความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในตอซังข้าวแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังแสดงในตารางที่ 12

(3) โพแทสเซียม

การใส่ตะกอน อัตรา 2 ตัน/ไร่ ส่งผลให้ความเข้มข้นของโพแทสเซียมในตอซังข้าว (ไม่รวมราก) สูงสุด สูงกว่าการไม่ใส่ตะกอนและใส่ตะกอนในอัตราอื่นๆ แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ส่วนของการใส่ปุ๋ยเคมีในอัตราต่างๆ พบว่า การใส่ปุ๋ยเคมีอัตราสูงทำให้ความเข้มข้นของโพแทสเซียมในตอซังข้าวต่ำกว่าการไม่ใส่ปุ๋ยและการใส่ปุ๋ยเคมีอัตราต่ำแตกต่าง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

กันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ อิทธิพลร่วมของตะกอนกับปุ๋ยเคมีในอัตราต่างๆ ไม่ทำให้ความเข้มข้นของโพแทสเซียมในตอซังข้าวมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังแสดงในตารางที่ 13

ตารางที่ 11 ผลของตะกอนและปุ๋ยเคมีต่อความเข้มข้นของไนโตรเจน (ร้อยละ) ในตอซังข้าวเฉลี่ยที่ระยะเก็บเกี่ยว

อัตราตะกอน (ตัน/ไร่)	ปุ๋ยเคมี			**เฉลี่ย**
	F_0	F_1	F_2	
0	0.42	0.50	0.60	0.51
2	0.41	0.53	0.60	0.51
4	0.51	0.57	0.67	0.58
6	0.45	0.49	0.70	0.55
เฉลี่ย	0.45x	0.52y	0.64z	
F-test อัตราตะกอน (AS)				ns
F-test อัตราปุ๋ยเคมี (F)				**
F-test (AS*F)				ns
CV (%)				10.9

หมายเหตุ ** = แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99%

ns = ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

ในสดมภ์เดียวกันตัวเลขที่ตามด้วยตัวอักษรที่เหมือนกันจะมีค่าไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยวิธี DMRT

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 12 ผลของตะกอนและปุ๋ยเคมีต่อความเข้มข้นของฟอสฟอรัส (ร้อยละ) ในตอซังข้าวเฉลี่ยที่ระยะเก็บเกี่ยว

อัตราตะกอน (ตัน/ไร่)	ปุ๋ยเคมี			**เฉลี่ย**
	F_0	F_1	F_2	
0	0.07	0.05	0.07	0.06
2	0.09	0.08	0.08	0.08
4	0.10	0.10	0.10	0.10
6	0.09	0.09	0.10	0.09
เฉลี่ย	0.08	0.08	0.08	
F-test อัตราตะกอน (AS)				ns
F-test อัตราปุ๋ยเคมี (F)				ns
F-test (AS*F)				ns
CV (%)				10.7

หมายเหตุ ns = ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 13 ผลของตะกอนและปุ๋ยเคมีต่อความเข้มข้นของโพแทสเซียม (ร้อยละ) ในตอซังข้าว เฉลี่ยที่ระยะเก็บเกี่ยว

อัตราตะกอน (ตัน/ไร่)	ปุ๋ยเคมี			**เฉลี่ย**
	F_0	F_1	F_2	
0	1.53	1.23	1.07	1.28B
2	1.72	1.47	1.07	1.42C
4	1.38	1.18	0.87	1.14A
6	1.43	1.12	0.97	1.17AB
เฉลี่ย	1.52x	1.25y	1.00z	
F-test อัตราตะกอน (AS)				**
F-test อัตราปุ๋ยเคมี (F)				**
F-test (AS*F)				ns
CV (%)				10.3

หมายเหตุ ** = แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99%

ns = ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

ในสดมภ์เดียวกันตัวเลขที่ตามด้วยตัวอักษรที่เหมือนกันจะมีค่าไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยวิธี DMRT

ในแถวเดียวกันตัวเลขที่ตามด้วยตัวอักษรที่เหมือนกันจะมีค่าไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยวิธี DMRT

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2) เมล็ดข้าว

(1) ไนโตรเจน

การไม่ใส่และการใส่ตะกอน อัตราต่างๆ ไม่ทำให้ความเข้มข้นของไนโตรเจนในเมล็ดข้าว (ข้าวเปลือก) มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่การใส่ตะกอนอัตรา 4 ตัน/ไร่ มีแนวโน้มส่งผลให้ความเข้มข้นของไนโตรเจนในเมล็ดข้าวสูงกว่าการใส่อัตราอื่นๆ ส่วนของการใส่ปุ๋ยเคมีในอัตราต่าง ๆ พบว่า การใส่ปุ๋ยเคมีอัตราสูง ทำให้ความเข้มข้นของไนโตรเจนในเมล็ดข้าวสูงกว่าการไม่ใส่ปุ๋ยเคมีและการใส่ปุ๋ยเคมีอัตราต่ำแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ อิทธิพลร่วมของตะกอนกับปุ๋ยเคมีในอัตราต่างๆ ไม่ทำให้ความเข้มข้นของไนโตรเจนในเมล็ดข้าวมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่การใส่ตะกอนอัตรา 4 ตัน/ไร่ร่วมกับปุ๋ยเคมีอัตราสูง มีแนวโน้มส่งผลให้ความเข้มข้นของไนโตรเจนในเมล็ดข้าวสูงกว่าการใส่ตำรับอื่นๆ ดังแสดงในตารางที่ 14

(2) ฟอสฟอรัส

การใส่ตะกอน อัตราต่างๆ ไม่ทำให้ความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในเมล็ดข้าว (ข้าวเปลือก) มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่การไม่ใส่ตะกอนมีแนวโน้มส่งผลให้ความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในเมล็ดข้าวสูงกว่าการใส่ตะกอนในอัตราต่างๆ ส่วนของการใส่ปุ๋ยเคมีในอัตราต่างๆ พบว่า การใส่ปุ๋ยเคมีอัตราต่ำทำให้ความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในเมล็ดข้าวสูงกว่าการไม่ใส่ปุ๋ยเคมีและการใส่ปุ๋ยเคมีอัตราต่ำแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ อิทธิพลร่วมของตะกอนกับปุ๋ยเคมีในอัตราต่างๆ ไม่ทำให้ความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในเมล็ดข้าวมีความแตกต่างกันทางสถิติ ดังแสดงในตารางที่ 15

(3) โพแทสเซียม

จากการศึกษาพบว่า การไม่ใส่และการใส่ตะกอน อัตราต่างๆ ไม่ทำให้ความเข้มข้นของโพแทสเซียมในเมล็ดข้าว (ข้าวเปลือก) มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่การใส่ตะกอน อัตรา 4 ตัน/ไร่ มีแนวโน้มส่งผลให้ความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในเมล็ดข้าวสูงกว่าการใส่อัตราอื่นๆ ส่วนของการใส่ปุ๋ยเคมีในอัตราต่างๆ ไม่ทำให้ความเข้มข้นของโพแทสเซียมในเมล็ดข้าวแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ อิทธิพลร่วมของตะกอนกับปุ๋ยเคมี

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ในอัตราต่างๆ ไม่ทำให้ความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในเมล็ดข้าวมีความแตกต่างกันทางสถิติ ดังแสดงในตารางที่ 16

ตารางที่ 14 ผลของตะกอนและปุ๋ยเคมีต่อความเข้มข้นของไนโตรเจน (ร้อยละ) ในเมล็ดข้าวเฉลี่ยที่ระยะเก็บเกี่ยว

อัตราตะกอน (ตัน/ไร่)	ปุ๋ยเคมี			**เฉลี่ย**
	F_0	F_1	F_2	
0	1.17	1.06	1.28	1.17
2	1.18	1.23	1.26	1.22
4	1.13	1.24	1.42	1.26
6	1.07	1.16	1.39	1.21
เฉลี่ย	1.14x	1.17x	1.34y	
F-test อัตราตะกอน (AS)				ns
F-test อัตราปุ๋ยเคมี (F)				**
F-test (AS*F)				ns
CV (%)				9.0

หมายเหตุ ** = แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99%

ns = ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

ในสดมภ์เดียวกันตัวเลขที่ตามด้วยตัวอักษรตัวเล็กที่เหมือนกันจะมีค่าไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยวิธี DMRT

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 15 ผลของตะกอนและปุ๋ยเคมีต่อความเข้มข้นของฟอสฟอรัส (ร้อยละ) ในเมล็ดข้าวเฉลี่ยที่ระยะเก็บเกี่ยว

อัตราตะกอน (ตัน/ไร่)	ปุ๋ยเคมี			**เฉลี่ย**
	F0	F1	F2	
0	0.39	0.48	0.41	0.43
2	0.39	0.42	0.42	0.41
4	0.38	0.41	0.41	0.40
6	0.36	0.42	0.44	0.41
เฉลี่ย	0.38x	0.43y	0.42y	
F-test อัตราตะกอน (AS)				ns
F-test อัตราปุ๋ยเคมี (F)				**
F-test (AS*F)				ns
CV (%)				7.5

หมายเหตุ ** = แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99%

ns = ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

ในสดมภ์เดียวกันตัวเลขที่ตามด้วยตัวอักษรที่เหมือนกันจะมีค่าไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยวิธี DMRT

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 16 ผลของตะกอนและปุ๋ยเคมีต่อความเข้มข้นของโพแทสเซียม (ร้อยละ) ในเมล็ดข้าว เฉลี่ยที่ระยะเก็บเกี่ยว

อัตราตะกอน (ตัน/ไร่)	ปุ๋ยเคมี			**เฉลี่ย**
	F_0	F_1	F_2	
0	0.22	0.24	0.23	0.23
2	0.24	0.25	0.25	0.25
4	0.24	0.29	0.28	0.27
6	0.22	0.26	0.29	0.26
เฉลี่ย	0.23	0.26	0.26	
F-test อัตราตะกอน (AS)				ns
F-test อัตราปุ๋ยเคมี (F)				ns
F-test (AS*F)				ns
CV (%)				8.5

หมายเหตุ ns = ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

3) ปริมาณการดูดกิน (Uptake) ธาตุอาหารในข้าว

(1) ไนโตรเจน

การไม่ใส่และการใส่ตะกอน อัตราต่างๆ ไม่ทำให้ปริมาณการดูดกินไนโตรเจนในข้าวมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่การใส่ตะกอน อัตรา 4 ตัน/ไร่ มีแนวโน้มให้ปริมาณการดูดกินไนโตรเจนในข้าวสูงกว่าการใส่อัตราอื่นๆ ส่วนของการปุ๋ยเคมีอัตราต่างๆ พบว่า การใส่ปุ๋ยเคมีอัตราสูง ทำให้ปริมาณการดูดกินไนโตรเจนในข้าวสูงสุด สูงกว่าการไม่ใส่ปุ๋ยเคมีและใส่ปุ๋ยเคมีอัตราต่ำแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ อิทธิพลร่วมของตะกอนกับปุ๋ยเคมีในอัตราต่างๆ ส่งผลให้ปริมาณการดูดกินไนโตรเจนในข้าวไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่การใส่ตะกอน อัตรา 6 ตัน/ไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมีอัตราสูง มีแนวโน้มส่งผลให้ปริมาณการดูดกินไนโตรเจนในข้าวสูงกว่าการใส่ในตำรับอื่นๆ ดังแสดงในตารางที่ 17

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

(2) ฟอสฟอรัส

การไม่ใส่และการใส่ตะกอน อัตราต่างๆ ไม่ทำให้ปริมาณการดูดกินฟอสฟอรัสในข้าวมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่การใส่ตะกอนทุกอัตรามีแนวโน้มให้ปริมาณการดูดกินฟอสฟอรัสในข้าวสูงกว่าการไม่ใส่ตะกอน ส่วนของการใส่ปุ๋ยเคมีในอัตราต่างๆ ไม่ทำให้ปริมาณการดูดกินฟอสฟอรัสในข้าวมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่การใส่ปุ๋ยเคมีอัตราสูง มีแนวโน้มทำให้ปริมาณการดูดกินฟอสฟอรัสในข้าวสูงสุด สูงกว่าการไม่ใส่ปุ๋ยเคมีและการใส่ปุ๋ยเคมีอัตราสูง อิทธิพลร่วมของตะกอนกับปุ๋ยเคมีในอัตราต่างๆ ส่งผลให้ปริมาณการดูดกินฟอสฟอรัสในข้าวไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังแสดงในตารางที่ 18

(3) โพแทสเซียม

การไม่ใส่และการใส่ตะกอน อัตราต่างๆ ไม่ทำให้ปริมาณการดูดกินโพแทสเซียมในข้าวมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่การใส่ตะกอน อัตรา 6 ตัน/ไร่ มีแนวโน้มส่งผลให้ปริมาณการดูดกินโพแทสเซียมในข้าวสูงกว่าการใส่ตะกอนอัตราอื่นๆ ส่วนของการไม่ใส่และการใส่ปุ๋ยเคมีในอัตราต่างๆ ไม่ทำให้ปริมาณการดูดกินโพแทสเซียมในข้าวมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่การใส่ปุ๋ยเคมีอัตราสูงทำให้ปริมาณการดูดกินโพแทสเซียมในข้าวสูงสุด สูงกว่าการใส่ปุ๋ยเคมีในอัตราต่างๆ อิทธิพลร่วมของตะกอนกับปุ๋ยเคมีในอัตราต่างๆ ไม่ทำให้ปริมาณการดูดกินโพแทสเซียมในข้าวมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการใส่ตะกอน อัตรา 6 ตัน/ไร่ร่วมกับปุ๋ยเคมีอัตราสูง มีแนวโน้มส่งผลให้ปริมาณการดูดกินโพแทสเซียมในข้าวสูงกว่าการใส่ในตำรับอื่นๆ ดังแสดงในตารางที่ 19

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 17 ผลของตะกอนและปุ๋ยเคมีต่อปริมาณการดูดกิน (Uptake) ไนโตรเจนในข้าวเฉลี่ย (กรัม/กระถาง) ที่ระยะเก็บเกี่ยว

อัตราตะกอน (ตัน/ไร่)	ปุ๋ยเคมี			**เฉลี่ย**
	F_0	F_1	F_2	
0	0.08	0.16	0.25	0.16
2	0.09	0.19	0.27	0.18
4	0.11	0.18	0.27	0.19
6	0.10	0.17	0.28	0.18
เฉลี่ย	0.10x	0.18x	0.27y	
F-test อัตราตะกอน (AS)				ns
F-test อัตราปุ๋ยเคมี (F)				**
F-test (AS*F)				ns
CV (%)				6.3

หมายเหตุ ** = แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99%

ns = ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ในสดมภ์เดียวกันตัวเลขที่ตามด้วยตัวอักษรตัวเล็กที่เหมือนกันจะมีค่าไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยวิธี DMRT

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 18 ผลของตะกอนและปุ๋ยเคมีต่อปริมาณการดูดกิน (Uptake) ฟอสฟอรัสในข้าวเฉลี่ย (กรัม/กระถาง) ที่ระยะเก็บเกี่ยว

อัตราตะกอน (ตัน/ไร่)	ปุ๋ยเคมี			**เฉลี่ย**
	F_0	F_1	F_2	
0	0.02	0.05	0.06	0.04
2	0.03	0.05	0.07	0.05
4	0.03	0.05	0.06	0.05
6	0.03	0.05	0.06	0.05
เฉลี่ย	0.03	0.05	0.06	
F-test อัตราตะกอน (AS)				ns
F-test อัตราปุ๋ยเคมี (F)				ns
F-test (AS*F)				ns
CV (%)				12.7

หมายเหตุ _ns = ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 19 ผลของตะกอนและปุ๋ยเคมีต่อปริมาณการดูดกิน (Uptake) โพแทสเซียมในข้าวเฉลี่ย (กรัม/กระถาง) ที่ระยะเก็บเกี่ยว

อัตราตะกอน (ตัน/ไร่)	ปุ๋ยเคมี			**เฉลี่ย**
	F_0	F_1	F_2	
0	0.12	0.17	0.22	0.17
2	0.14	0.22	0.24	0.20
4	0.13	0.18	0.21	0.17
6	0.14	0.18	0.31	0.21
เฉลี่ย	0.13	0.19	0.25	
F-test อัตราตะกอน (AS)				ns
F-test อัตราปุ๋ยเคมี (F)				ns
F-test (AS*F)				ns
CV (%)				24.1

หมายเหตุ ns = ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

4.4.5 โลหะหนักในข้าวระยะเก็บเกี่ยว

1) ตอซังข้าว

(1) ตะกั่ว

การใส่ตะกอน อัตรา 4 ตัน/ไร่ ส่งผลให้ความเข้มข้นของตะกั่วในตอซังข้าวสูงสุด สูงกว่าการไม่ใส่ตะกอนและใส่ตะกอนในอัตราอื่นๆ ส่วนของการใส่ปุ๋ยเคมีในอัตราต่างๆ พบว่า การใส่ปุ๋ยเคมีอัตราสูง มีแนวโน้มส่งผลให้ความเข้มข้นของตะกั่วในตอซังข้าวต่ำกว่าการใส่ปุ๋ยเคมีอัตราอื่นๆ อิทธิพลร่วมของตะกอนกับปุ๋ยเคมีในอัตราต่างๆ พบว่า การใส่ตะกอนอัตรา 6 ตัน/ไร่ร่วมกับปุ๋ยเคมีอัตราสูง มีแนวโน้มส่งผลให้ความเข้มข้นของตะกั่วในตอซังข้าวสูงกว่าการใส่ในตำรับอื่นๆ ดังแสดงในตารางที่ 20

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

(2) แคดเมียม

การไม่ใส่ตะกอนและการใส่ตะกอนในอัตราต่างๆ ไม่ส่งผลให้มีการสะสมของแคดเมียมในตอซังข้าว ส่วนของการไม่ใส่ปุ๋ยเคมีและการใส่ปุ๋ยเคมีในอัตราต่างๆ ไม่ส่งผลให้มีการสะสมของแคดเมียมในตอซังข้าว อิทธิพลของตะกอนร่วมกับปุ๋ยเคมีในอัตราต่างๆ ไม่ส่งผลทำให้มีการสะสมของแคดเมียมในตอซังข้าว ดังแสดงในตารางที่ 21

(3) ปรอท

การใส่ตะกอนในอัตรา 6 ตัน/ไร่ ส่งผลให้ความเข้มข้นของปรอทในตอซังสูงกว่าการไม่ใส่ตะกอนและการใส่ตะกอนในอัตราอื่นๆ ส่วนของการใส่ปุ๋ยเคมีในอัตราต่างๆ พบว่า การใส่ปุ๋ยเคมีอัตราสูง ทำให้ความเข้มข้นของปรอทในตอซังข้าวสูงสุด สูงกว่าการไม่ใส่ปุ๋ยเคมีและใส่ปุ๋ยเคมีในอัตราต่ำ อิทธิพลร่วมของตะกอนกับปุ๋ยเคมีในอัตราต่างๆ พบว่า การใส่ตะกอนอัตรา 6 ตัน/ไร่ร่วมกับปุ๋ยเคมีอัตราต่ำ มีแนวโน้มส่งผลให้ความเข้มข้นของปรอทในตอซังข้าวสูงกว่าการใส่ในตำรับอื่นๆ ดังแสดงในตารางที่ 22

(4) สารหนู

การใส่ตะกอน อัตรา 6 ตัน/ไร่ ส่งผลให้ความเข้มข้นของสารหนูในตอซังข้าวสูงสุด สูงกว่าการไม่ใส่ตะกอนและใส่ตะกอนในอัตราอื่นๆ ส่วนของการใส่ปุ๋ยเคมีในอัตราต่างๆ พบว่า การใส่ปุ๋ยเคมีอัตราสูงทำให้ความเข้มข้นของสารหนูต่ำสุด ต่ำกว่าการไม่ใส่ปุ๋ยเคมีและใส่ปุ๋ยเคมีอัตราต่ำ อิทธิพลร่วมของตะกอนร่วมกับปุ๋ยเคมีในอัตราต่างๆ พบว่า การใส่ตะกอนในอัตรา 4 ตัน/ไร่ร่วมกับปุ๋ยเคมีอัตราต่ำ มีแนวโน้มส่งผลให้ความเข้มข้นของสารหนูในตอซังข้าวสูงกว่าการใส่ในตำรับอื่นๆ ดังแสดงในตารางที่ 23

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 20 ผลของตะกอนและปุ๋ยเคมีต่อความเข้มข้นของตะกั่ว (มิลลิกรัม/กิโลกรัม) ในตอซังข้าวที่ระยะเก็บเกี่ยว

อัตราตะกอน (ตัน/ไร่)	ปุ๋ยเคมี			**เฉลี่ย**
	F_0	F_1	F_2	
0	0.6	1.1	1.4	1.0
2	1.9	1.4	0	1.1
4	3.9	1	0	1.6
6	2.1	0	1.7	1.3
เฉลี่ย	2.1	0.9	0.8	
Standard		0.1-0.5[1/]		

หมายเหตุ 1/ อ้างอิงจาก ศุภมาศ (2540)

ตารางที่ 21 ผลของตะกอนและปุ๋ยเคมีต่อความเข้มข้นของแคดเมียม (มิลลิกรัม/กิโลกรัม) ในตอซังข้าวที่ระยะเก็บเกี่ยว

อัตราตะกอน (ตัน/ไร่)	ปุ๋ยเคมี			**เฉลี่ย**
	F_0	F_1	F_2	
0	0	0	0.1	0
2	0	0	0	0
4	0	0	0	0
6	0	0	0	0
เฉลี่ย	0	0	0	
Standard		0-0.8[1/]		

หมายเหตุ 1/ อ้างอิงจาก ศุภมาศ (2540)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 22 ผลของตะกอนและปุ๋ยเคมีต่อความเข้มข้นของปรอท (มิลลิกรัม/กิโลกรัม) ในตอซังข้าวที่ระยะเก็บเกี่ยว

อัตราตะกอน (ตัน/ไร่)	ปุ๋ยเคมี			**เฉลี่ย**
	F_0	F_1	F_2	
0	0.2	0.1	0.3	0.2
2	0.1	0.1	0.1	0.1
4	0.2	0.2	0.4	0.3
6	0.4	0.5	0.3	0.4
เฉลี่ย	0.2	0.2	0.3	
Standard	n.a.[1/]			

หมายเหตุ 1/ อ้างอิงจาก ศุภมาศ (2540)

ตารางที่ 23 ผลของตะกอนและปุ๋ยเคมีต่อความเข้มข้นของสารหนู (มิลลิกรัม/กิโลกรัม) ในตอซังข้าวที่ระยะเก็บเกี่ยว

อัตราตะกอน (ตัน/ไร่)	ปุ๋ยเคมี			**เฉลี่ย**
	F_0	F_1	F_2	
0	3.6	4.0	3.0	3.5
2	3.8	3.7	3.7	3.7
4	4.0	4.1	3.2	3.8
6	4.9	3.9	3.2	4.0
เฉลี่ย	4.1	3.9	3.3	
Standard	0.1-0.5[1/]			

หมายเหตุ 1/ อ้างอิงจาก ศุภมาศ (2540)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2) เมล็ดข้าว

(1) ตะกั่ว

การไม่ใส่ตะกอนและการใส่ตะกอนในอัตราต่างๆ ไม่ส่งผลให้ความเข้มข้นของตะกั่วในเมล็ดข้าวแตกต่างกัน เช่นเดียวกันกับการไม่ใส่ปุ๋ยเคมีและการใส่ปุ๋ยเคมีในอัตราต่างๆ ไม่ส่งผลให้ความเข้มข้นของตะกั่วแตกต่างกัน อิทธิพลร่วมของตะกอนร่วมกับปุ๋ยเคมีในอัตราต่างๆ ไม่ส่งผลให้ความเข้มข้นของตะกั่วในเมล็ดข้าวแตกต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 24

(2) แคดเมียม

การไม่ใส่ตะกอนและการใส่ตะกอนในอัตราต่างๆ ไม่ส่งผลให้ความเข้มข้นของแคดเมียมในเมล็ดข้าวแตกต่างกัน ส่วนของการไม่ใส่ปุ๋ยเคมีและการใส่ปุ๋ยเคมีในอัตราต่างๆ ไม่ส่งผลให้ความเข้มข้นของแคดเมียมแตกต่างกัน อิทธิพลร่วมของตะกอนร่วมกับร่วมกับปุ๋ยเคมีในอัตราต่างๆ ไม่ส่งผลให้มีความเข้มข้นของแคดเมียมในเมล็ดข้าวแตกต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 25

(3) ปรอท

การใส่ตะกอนในอัตรา 2 ตัน/ไร่ มีแนวโน้มส่งผลให้ความเข้มข้นของปรอทในเมล็ดข้าวสูงกว่าการไม่ใส่ตะกอนและใส่ตะกอนในอัตราอื่นๆ ส่วนของการใส่ปุ๋ยเคมีในอัตราต่างๆ พบว่า การไม่ใส่ปุ๋ยเคมีทำให้ความเข้มข้นของปรอทสูงสุด สูงกว่าการใส่ปุ๋ยเคมีอัตราสูงและอัตราต่ำ อิทธิพลร่วมของตะกอนกับปุ๋ยเคมีอัตราต่างๆ พบว่า การใส่ตะกอน อัตรา 6 ตัน/ไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมีอัตราสูง มีแนวโน้มทำให้ความเข้มข้นของปรอทในเมล็ดข้าวสูงกว่าการใส่ในตำรับอื่นๆ ดังแสดงในตารางที่ 26

(4) สารหนู

การใส่ตะกอนในอัตรา 2 ตัน/ไร่ มีแนวโน้มทำให้ความเข้มข้นของสารหนูในเมล็ดข้าวสูงกว่าการไม่ใส่ตะกอนและการใส่ตะกอนในอัตราอื่นๆ ส่วนของการใส่ปุ๋ยเคมีในอัตราต่างๆ พบว่าการไม่ใส่ปุ๋ยเคมี ทำให้ความเข้มข้นของสารหนูในเมล็ดข้าวสูงสุด สูงกว่าการใส่ปุ๋ยเคมีในอัตราสูงและอัตราต่ำ อิทธิพลร่วมของตะกอนกับปุ๋ยเคมีในอัตราต่างๆ พบว่า การใส่ตะกอนอัตรา 2 ตัน/

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ไร่ร่วมกับปุ๋ยเคมี อัตราสูงและอัตราต่ำ มีแนวโน้มส่งผลให้ความเข้มข้นสารหนูในเมล็ดข้าวสูงสุด สูงกว่าการใส่ในตำรับอื่นๆ ดังแสดงในตารางที่ 27

ตารางที่ 24 ผลของตะกอนและปุ๋ยเคมีต่อความเข้มข้นของตะกั่ว (มิลลิกรัม/กิโลกรัม) ในเมล็ดข้าวที่ระยะเก็บเกี่ยว

อัตราตะกอน (ตัน/ไร่)	ปุ๋ยเคมี			**เฉลี่ย**
	F_0	F_1	F_2	
0	0.1	0.1	0.1	0.1
2	0.1	0.1	0.1	0.1
4	0.1	0.1	0.1	0.1
6	0.1	0.1	0.1	0.1
เฉลี่ย	0.1	0.1	0.1	
Standard		$\leq 1^{1/}$		

หมายเหตุ 1/ อ้างอิงจาก ประกาศกระทรวงสาธารณสุขฉบับที่ 98 (พ.ศ.2529) เรื่อง มาตรฐานอาหารที่มีสารปนเปื้อน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 25 ผลของตะกอนและปุ๋ยเคมีต่อความเข้มข้นของแคดเมียม (มิลลิกรัม/กิโลกรัม) ในเมล็ดข้าวที่ระยะเก็บเกี่ยว

อัตราตะกอน (ตัน/ไร่)	ปุ๋ยเคมี			**เฉลี่ย**
	F_0	F_1	F_2	
0	0.1	0.1	0.1	0.1
2	0.1	0.1	0.1	0.1
4	0.1	0.1	0.1	0.1
6	0.1	0.1	0.1	0.1
เฉลี่ย	0.1	0.1	0.1	
Standard		≤ 0.8[1/]		

หมายเหตุ 1/ อ้างอิงจาก ประกาศกระทรวงสาธารณสุขฉบับที่ 98 (พ.ศ.2529) เรื่อง มาตรฐานอาหารที่มีสารปนเปื้อน

ตารางที่ 26 ผลของตะกอนและปุ๋ยเคมีต่อความเข้มข้นของปรอท (มิลลิกรัม/กิโลกรัม) ในเมล็ดข้าวที่ระยะเก็บเกี่ยว

อัตราตะกอน (ตัน/ไร่)	ปุ๋ยเคมี			**เฉลี่ย**
	F_0	F_1	F_2	
0	0.1	0.2	0.1	0.1
2	0.3	0.1	0.1	0.2
4	0.1	0.1	0.1	0.1
6	0.1	0.1	0.2	0.1
เฉลี่ย	0.2	0.1	0.1	
Standard		≤ 0.5[1/]		

หมายเหตุ 1/ อ้างอิงจาก ประกาศกระทรวงสาธารณสุขฉบับที่ 98 (พ.ศ.2529) เรื่อง มาตรฐานอาหารที่มีสารปนเปื้อน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 27 ผลของตะกอนและปุ๋ยเคมีต่อความเข้มข้นของสารหนู (มิลลิกรัม/กิโลกรัม) ในเมล็ดข้าวที่ระยะเก็บเกี่ยว

อัตราตะกอน (ตัน/ไร่)	ปุ๋ยเคมี			**เฉลี่ย**
	F_0	F_1	F_2	
0	0.7	0.8	0.8	0.8
2	1.4	1.0	1.0	1.1
4	1.0	0.9	0.8	0.9
6	1.0	0.8	0.9	0.9
เฉลี่ย	1.0	0.9	0.9	
Standard		$\leq 2^{1/}$		

หมายเหตุ 1/ อ้างอิงจาก ประกาศกระทรวงสาธารณสุขฉบับที่ 98 (พ.ศ.2529) เรื่อง มาตรฐานอาหารที่มีสารปนเปื้อน

3) ปริมาณการดูดกิน (Uptake) โลหะหนักในข้าว

(1) ตะกั่ว

การใส่ตะกอน อัตรา 6 ตัน/ไร่ มีแนวโน้มทำให้ปริมาณการดูดกินตะกั่วในข้าวสูงสุด สูงกว่าการไม่ใส่ตะกอนและการใส่ตะกอนในอัตราอื่นๆ ส่วนของการใส่ปุ๋ยเคมีในอัตราต่างๆ พบว่า การไม่ใส่ปุ๋ยเคมี ทำให้ปริมาณการดูดกินตะกั่วในข้าวสูงกว่าการใส่ปุ๋ยเคมีอัตราสูงและอัตราต่ำ แต่การใส่ปุ๋ยเคมีอัตราสูงทำให้ปริมาณการดูดกินตะกั่วในข้าวสูงกว่าการปุ๋ยเคมีอัตราต่ำ อิทธิพลของตะกอนร่วมกับปุ๋ยเคมีในอัตราต่างๆ พบว่า การใส่ตะกอนในอัตรา 6 ตัน/ไร่ร่วมกับปุ๋ยเคมีในอัตราสูง มีแนวโน้มทำให้ปริมาณการดูดกิน ตะกั่วในข้าวสูงกว่าการใส่ในตำรับอื่นๆ ดังแสดงในตารางที่ 28

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

(2) แคดเมียม

การไม่ใส่ตะกอนและการใส่ตะกอนในอัตราต่างๆ ไม่ส่งผลให้ปริมาณการดูดกินแคดเมียมในข้าวแตกต่างกัน ส่วนของการไม่ใส่และการใส่ปุ๋ยเคมีในอัตราต่างๆ ไม่ส่งผลให้ปริมาณการดูดกินแคดเมียมในข้าวแตกต่างกัน อิทธิพลร่วมของตะกอนร่วมกับปุ๋ยเคมีในอัตราต่างๆ ส่งผลให้ปริมาณการดูดกินแคดเมียมในข้าวมีปริมาณเล็กน้อย ดังแสดงในตารางที่ 29

(3) ปรอท

การใส่ตะกอนในอัตรา 6 ตัน/ไร่ ทำให้ปริมาณการดูดกิน ปรอทในข้าวสูงสุด สูงกว่าการไม่ใส่ตะกอนและใส่ตะกอนในอัตราอื่นๆ ส่วนของการใส่ปุ๋ยเคมีในอัตราต่างๆ พบว่า การใส่ปุ๋ยเคมีอัตราสูงทำให้ปริมาณการดูดกินปรอทในข้าวสูงกว่าการไม่ใส่ปุ๋ยเคมีและการใส่ปุ๋ยเคมีในอัตราต่ำ อิทธิพลร่วมของตะกอนกับปุ๋ยเคมีในอัตราต่างๆ พบว่า การใส่ตะกอนอัตรา 4 ตัน/ไร่ร่วมกับปุ๋ยเคมีอัตราสูง มีแนวโน้มส่งผลให้ปริมาณการดูดกินปรอทในข้าวสูงกว่าการใส่ในตำรับอื่นๆ ดังแสดงในตารางที่ 30

(4) สารหนู

การใส่ตะกอน อัตรา 6 ตัน/ไร่ ส่งผลให้ปริมาณการดูดกินสารหนูในข้าวสูงสุด สูงกว่าการไม่ใส่ตะกอนและใส่ตะกอนในอัตราอื่นๆ ส่วนของการใส่ปุ๋ยเคมีอัตราต่างๆ พบว่า การใส่ปุ๋ยเคมีอัตราสูง ทำให้ปริมาณการดูดกินสารหนูในข้าวสูงกว่าการไม่ใส่ปุ๋ยเคมีและการใส่ปุ๋ยเคมีอัตราต่ำ อิทธิพลร่วมของตะกอนกับปุ๋ยเคมีในอัตราต่างๆ พบว่า การใส่ตะกอน อัตรา 2 ตัน/ไร่ร่วมกับปุ๋ยเคมีอัตราสูง มีแนวโน้มส่งผลให้ปริมาณการดูดกินสารหนูสูงกว่าการใส่ในตำรับอื่นๆ ดังแสดงในตารางที่ 31

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 28 ผลของตะกอนและปุ๋ยเคมีต่อปริมาณการดูดกิน (Uptake) ตะกั่ว (กรัม/กระถาง) ในข้าวที่ระยะเก็บเกี่ยว

อัตราตะกอน (ตัน/ไร่)	ปุ๋ยเคมี			**เฉลี่ย**
	F_0	F_1	F_2	
0	0.04	0.14	0.27	0.15
2	0.15	0.20	0.01	0.12
4	0.33	0.14	0.01	0.16
6	0.20	0.01	0.35	0.19
เฉลี่ย	0.18	0.12	0.16	

ตารางที่ 29 ผลของตะกอนและปุ๋ยเคมีต่อปริมาณการดูดกิน (Uptake) แคดเมียม (กรัม/กระถาง) ในข้าวที่ระยะเก็บเกี่ยว

อัตราตะกอน (ตัน/ไร่)	ปุ๋ยเคมี			**เฉลี่ย**
	F_0	F_1	F_2	
0	0.00	0.01	0.02	0.01
2	0.01	0.01	0.01	0.01
4	0.01	0.01	0.01	0.01
6	0.01	0.01	0.01	0.01
เฉลี่ย	0.01	0.01	0.01	

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 30 ผลของตะกอนและปุ๋ยเคมีต่อปริมาณการดูดกิน (Uptake) ปรอท (กรัม/กระถาง) ในข้าวที่ระยะเก็บเกี่ยว

อัตราตะกอน (ตัน/ไร่)	ปุ๋ยเคมี			**เฉลี่ย**
	F_0	F_1	F_2	
0	0.01	0.03	0.07	0.04
2	0.03	0.02	0.03	0.03
4	0.03	0.04	0.09	0.05
6	0.05	0.08	0.08	0.07
เฉลี่ย	0.03	0.04	0.07	

ตารางที่ 31 ผลของตะกอนและปุ๋ยเคมีต่อปริมาณการดูดกิน (Uptake) สารหนู (กรัม/กระถาง) ในข้าวที่ระยะเก็บเกี่ยว

อัตราตะกอน (ตัน/ไร่)	ปุ๋ยเคมี			**เฉลี่ย**
	F_0	F_1	F_2	
0	0.28	0.55	0.65	0.49
2	0.36	0.59	0.83	0.59
4	0.38	0.62	0.74	0.58
6	0.59	0.62	0.73	0.65
เฉลี่ย	0.40	0.60	0.74	

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

5. ผลของตะกอนระบบบำบัดน้ำเสียโรงงานเบียร์ต่อสมบัติของดินหลังปลูกข้าว

5.1 ความเป็นกรด-ด่าง (pH)

การไม่ใส่และการใส่ตะกอนในอัตราต่างๆ ไม่ทำให้ความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของดินมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ รวมทั้งอิทธิพลร่วมของตะกอนกับปุ๋ยเคมีในอัตราต่างๆ ก็ไม่ทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่างของดินมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังแสดงในตารางที่ 32

5.2 ปริมาณอินทรียวัตถุ

การไม่ใส่ตะกอนและการใส่ตะกอนในอัตราต่างๆ ไม่ส่งผลให้ปริมาณอินทรียวัตถุในดินมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนของการใส่ปุ๋ยเคมีในอัตราต่างๆ รวมทั้งอิทธิพลร่วมของตะกอนกับปุ๋ยเคมีในอัตราต่างๆ ไม่ส่งผลให้ปริมาณอินทรียวัตถุในดินมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเช่นกัน ดังแสดงในตารางที่ 33

5.3 ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์

การไม่ใส่ตะกอนและการใส่ตะกอน อัตรา 6 ตัน/ไร่ มีแนวโน้มทำให้ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินสูงกว่าการใส่ตะกอนในอัตราอื่นๆ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนของการใส่ปุ๋ยเคมีในอัตราต่างๆ พบว่า การใส่ปุ๋ยเคมีอัตราสูง ส่งผลให้ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินสูงสุด สูงกว่าการไม่ใส่ปุ๋ยเคมีและใส่ปุ๋ยเคมีอัตราสูงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ อิทธิพลร่วมของตะกอนกับปุ๋ยเคมีในอัตราต่างๆไม่ส่งผลให้ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชในดินมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังแสดงในตารางที่ 34

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

5.5 ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้

การใส่ตะกอน อัตรา 4 และ 6 ตัน/ไร่ มีแนวโน้มส่งผลให้ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินสูงกว่าการไม่ใส่และใส่ตะกอนในอัตราอื่นๆ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนของการใส่ปุ๋ยเคมีในอัตราต่างๆ พบว่า การไม่ใส่ปุ๋ยเคมี ทำให้ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินสูงสุด สูงกว่าการใส่ปุ๋ยเคมีอัตราต่างๆ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ อิทธิพลร่วมของตะกอนกับปุ๋ยเคมีในอัตราต่างๆ ส่งผลให้ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ดังแสดงในตารางที่ 35

ตารางที่ 32 ผลของตะกอนและปุ๋ยเคมีต่อความเป็นกรด-ด่าง (pH) เฉลี่ยในดิน

อัตราตะกอน (ตัน/ไร่)	ปุ๋ยเคมี			**เฉลี่ย**
	F_0	F_1	F_2	
0	5.83	6.10	6.03	5.99
2	6.07	6.00	5.97	6.01
4	6.00	5.97	5.97	5.98
6	6.10	6.00	6.03	6.04
เฉลี่ย	6.00	6.02	6.00	
F-test อัตราตะกอน (AS)				ns
F-test อัตราปุ๋ยเคมี (F)				ns
F-test (AS*F)				ns
CV (%)				1.7

หมายเหตุ ns = ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 33 ผลของตะกอนและปุ๋ยเคมีต่ออินทรียวัตถุ (ร้อยละ) เฉลี่ยในดิน

อัตราตะกอน (ตัน/ไร่)	ปุ๋ยเคมี			**เฉลี่ย**
	F_0	F_1	F_2	
0	3.57	3.37	4.47	3.80
2	3.57	3.43	3.40	3.47
4	3.53	3.47	3.57	3.52
6	3.37	3.47	3.57	3.47
เฉลี่ย	3.51	3.44	3.75	
F-test อัตราตะกอนฯ (AS)				ns
F-test อัตราปุ๋ยเคมี (F)				ns
F-test (AS*F)				ns
CV (%)				3.3

หมายเหตุ ns = ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 34 ผลของตะกอนและปุ๋ยเคมีต่อปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (มิลลิกรัม/กิโลกรัม) เฉลี่ยในดิน

อัตราตะกอน (ตัน/ไร่)	ปุ๋ยเคมี			**เฉลี่ย**
	F_0	F_1	F_2	
0	51.67	54.33	98.33	68.11B
2	37.33	47.33	54.67	46.44A
4	52.33	53.00	89.67	65.00B
6	64.00	69.00	76.00	69.67B
เฉลี่ย	51.33x	55.92x	79.67y	
F-test อัตราตะกอนฯ (AS)				*
F-test อัตราปุ๋ยเคมี (F)				**
F-test (AS*F)				ns
CV (%)				28.6

หมายเหตุ * = แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

** = แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99%

ns = ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

ในสดมภ์เดียวกันตัวเลขที่ตามด้วยตัวอักษรที่เหมือนกันจะมีค่าไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยวิธี DMRT

ในแถวเดียวกันตัวเลขที่ตามด้วยตัวอักษรที่เหมือนกันจะมีค่าไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยวิธี DMRT

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 35 ผลของตะกอนและปุ๋ยเคมีต่อปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (มิลลิกรัม/กิโลกรัม) เฉลี่ยในดิน

อัตราตะกอน (ตัน/ไร่)	ปุ๋ยเคมี			**เฉลี่ย**
	F_0	F_1	F_2	
0	143.33c	96.67ab	70.00a	103.33A
2	96.67ab	126.6bc	120.00bc	114.44A
4	203.33e	183.33d	143.33c	176.67B
6	213.33e	153.33c	106.67b	157.78B
เฉลี่ย	164.17x	140.00y	110.00z	
F-test อัตราตะกอน (AS)				**
F-test อัตราปุ๋ยเคมี (F)				**
F-test (AS*F)				**
CV (%)				15.0

หมายเหตุ ** = แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99%

ในสดมภ์เดียวกันตัวเลขที่ตามด้วยตัวอักษรที่เหมือนกันจะมีค่าไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยวิธี DMRT

ในแถวเดียวกันตัวเลขที่ตามด้วยตัวอักษรที่เหมือนกันจะมีค่าไม่แตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยวิธี DMRT

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

5.2 การสะสมโลหะหนัก

5.2.1 ตะกั่ว

การไม่ใส่และการใส่ตะกอนในอัตราต่างๆ ไม่ทำให้ความเข้มข้นของตะกั่วในดินแตกต่ากัน ส่วนการไม่ใส่และใส่ปุ๋ยเคมีอัตราต่างๆ ไม่ส่งผลให้ความเข้มข้นของตะกั่วในดินแตกต่างกัน อิทธิพลร่วมของตะกอนกับปุ๋ยเคมีในอัตราต่างๆ ไม่ส่งผลให้ความเข้มข้นของตะกั่วในดินแตกต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 36

5.2.2 ปรอท

การใส่ตะกอน อัตรา 4 ตัน/ไร่ มีแนวโน้มทำให้ความเข้มข้นของปรอทในดินสูงกว่าการไม่ใส่ตะกอนและการใส่ตะกอนในอัตราอื่นๆ ส่วนของการใส่ปุ๋ยเคมีในอัตราต่างๆทำให้ความเข้มข้นของปรอทในดินไม่แตกต่างกัน อิทธิพลร่วมของตะกอนกับปุ๋ยเคมีในอัตราต่างๆพบว่า การใส่ตะกอน 2 ตัน/ไร่ร่วมกับปุ๋ยเคมีอัตราต่ำ และการใส่ตะกอน อัตรา 6 ตัน/ไร่ร่วมกับปุ๋ยเคมีอัตราสูง มีแนวโน้มทำให้ความเข้มข้นของปรอทในดินสูงกว่าการใส่ในตำรับอื่นๆ ดังแสดงในตารางที่ 37

5.2.3 แคดเมียม

การไม่ใส่ตะกอนและการใส่ตะกอนอัตราต่างๆ ไม่ทำให้ความเข้มข้นของแคดเมียมในดินแตกต่างกัน ส่วนการไม่ใส่และการใส่ปุ๋ยเคมีอัตราต่างๆ ไม่ทำให้ความเข้มข้นของแคดเมียมในดินแตกต่างกัน อิทธิพลร่วมของตะกอนกับปุ๋ยเคมีในอัตราต่างๆ ไม่ส่งผลให้ความเข้มข้นของแคดเมียมในดินแตกต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 38

5.2.4 สารหนู

การใส่ตะกอน อัตรา 6 ตัน/ไร่ มีแนวโน้มทำให้ความเข้มข้นของสารหนูในดินสูงกว่าการไม่ใส่ตะกอนและการใส่ตะกอนในอัตราอื่นๆ ส่วนของการใส่ปุ๋ยเคมีในอัตราต่างๆ พบว่า การใส่ปุ๋ยเคมีอัตราสูง ทำให้ความเข้มข้นของสารหนูสูงสุด สูงกว่าการไม่ใส่ปุ๋ยเคมีและใส่ปุ๋ยเคมีในอัตราสต่ำ อิทธิพลร่วมของตะกอนกับปุ๋ยเคมีในอัตราต่างๆ พบว่า การใส่ตะกอน อัตรา 4 ตัน/ไร่ร่วมกับปุ๋ยเคมีอัตราต่ำ มีแนวโน้มส่งผลให้ความเข้มข้นของสารหนูในข้าวสูงกว่าการใส่ในตำรับอื่นๆ ดังแสดงในตารางที่ 39

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 36 ผลของตะกอนและปุ๋ยเคมีต่อความเข้มข้นของตะกั่ว (มิลลิกรัม/กิโลกรัม) ในดิน

อัตราตะกอน (ตัน/ไร่)	ปุ๋ยเคมี			**เฉลี่ย**
	F_0	F1	F2	
0	39.0	38.7	40.8	39.5
2	39.4	39.2	39.8	39.5
4	41.0	41.1	40.8	41.0
6	41.3	41.1	41.8	41.4
เฉลี่ย	40.2	40.0	40.8	
Standard		$\leq 400^{1/}$		

หมายเหตุ 1/ อ้างอิงจาก ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 25 (พ.ศ. 2547) ออกตามความในพระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2535 เรื่อง กำหนดมาตรฐานคุณภาพดิน

ตารางที่ 37 ผลของตะกอนและปุ๋ยเคมีต่อความเข้มข้นของปรอท (มิลลิกรัม/กิโลกรัม) ในดิน

อัตราตะกอน (ตัน/ไร่)	ปุ๋ยเคมี			**เฉลี่ย**
	F_0	F_1	F_2	
0	0.2	0.1	0.02	0.1
2	0.1	0.04	0.2	0.1
4	0.2	0.2	0.1	0.2
6	0.1	0.1	0.03	0.1
เฉลี่ย	0.2	0.1	0.1	
Standard		$\leq 23^{1/}$		

หมายเหตุ 1/ อ้างอิงจาก ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 25 (พ.ศ. 2547) ออกตามความในพระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2535 เรื่อง กำหนดมาตรฐานคุณภาพดิน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 38 ผลของตะกอนและปุ๋ยเคมีต่อความเข้มข้นของแคดเมียม (มิลลิกรัม/กิโลกรัม) ในดิน

อัตราตะกอน (ตัน/ไร่)	ปุ๋ยเคมี (กรัม/กระถาง)			**เฉลี่ย**
	F_0	F_1	F_2	
0	0.0	0.9	0.4	0.4
2	0.5	0.0	0.6	0.4
4	0.0	0.7	0.0	0.2
6	0.8	0.0	0.1	0.3
เฉลี่ย	0.3	0.4	0.3	
Standard		$\leq 37^{1/}$		

หมายเหตุ 1/ อ้างอิงจาก ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 25 (พ.ศ. 2547) ออกตามความในพระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2535 เรื่อง กำหนดมาตรฐานคุณภาพดิน

ตารางที่ 39 ผลของตะกอนและปุ๋ยเคมีต่อความเข้มข้นของสารหนู (มิลลิกรัม/กิโลกรัม) ในดิน

อัตราตะกอน (ตัน/ไร่)	ปุ๋ยเคมี			**เฉลี่ย**
	F_0	F_1	F_2	
0	7.2	8.1	8.7	8.0
2	7.2	7.6	8.9	7.9
4	9.8	9.8	9.2	9.6
6	7.7	8.4	8.3	8.1
เฉลี่ย	8.0	8.5	8.8	
Standard		$\leq 3.9^{1/}$		

หมายเหตุ 1/ อ้างอิงจาก ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 25 (พ.ศ. 2547) ออกตามความในพระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2535 เรื่อง กำหนดมาตรฐานคุณภาพดิน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิจารณ์

1. สมบัติของดินนาที่ใช้ในการทดลอง

ดินที่ใช้ในการทดลอง เป็นดินที่มีสภาพความเป็นกรดเล็กน้อย จัดว่ามีความเหมาะสมในการปลูกพืช คือ มี pH ในช่วง 5.5-6.5 (ไพบูลย์, 2528) มีความอุดมสมบูรณ์สูง เนื่องจาก มีปริมาณอินทรียวัตถุในระดับสูง มีฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์สูงมาก มีโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้สูงมาก ปริมาณแคลเซียมและแมกนีเซียมที่แลกเปลี่ยนได้สูง ในส่วนของการปนเปื้อนโลหะหนักในดิน พบว่าดินมีปริมาณตะกั่ว แคดเมียมและปรอทต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพดินที่ใช้ประโยชน์เพื่อการอยู่อาศัยและเกษตรกรรม (ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 25, 2547) แต่ดินมีปริมาณของสารหนูสูงเกินกว่าเกณฑ์ที่กำหนด ทั้งนี้อาจจะมีสาเหตุมาจากการใช้ปุ๋ยและวัสดุที่ใช้ป้องกัน กำจัดโรคแมลง ซึ่งมักจะมีโลหะหนักพวกสารหนูปะปนมาด้วย ประกอบกับดินนาเป็นดินเหนียว ซึ่งมีความสามารถในการดูดซับธาตุต่างๆ เอาไว้ได้ดี ทำให้เกิดการสะสมในดินสูงเกินค่ามาตรฐานได้ (ศุภมาศ, 2539)

2. สมบัติของตะกอนที่ใช้ในการทดลอง

จากการศึกษาองค์ประกอบและคุณสมบัติของตะกอน เปรียบเทียบกับกับเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ที่เสนอโดยกรมวิชาการเกษตร (2550) พบว่าตะกอนมีความเป็นกรด-ด่าง (pH) ค่าการนำไฟฟ้า (EC) รวมทั้งปริมาณธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัสและโพแทสเซียม อยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาปริมาณโลหะหนักในตะกอน พบว่า มีปริมาณของแคดเมียมและปรอทเกินค่ามาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ ซึ่งการปนเปื้อนของโลหะหนักในตะกอนที่มีปริมาณสูงนี้ อาจเนื่องมาจาก การปนเปื้อนของโลหะหนักในวัตถุดิบหรือจากกระบวนการผลิตเบียร์

3. การเจริญเติบโต และผลผลิตของข้าว

จากการทดลองที่พบว่า การใส่ตะกอนในอัตรา 2 4 และ 6 ตัน/ไร่ ส่วนใหญ่จะส่งผลให้ข้าวมีการเจริญเติบโตทางด้านลำต้น เช่น จำนวนต้น/กอ จำนวนรวง และน้ำหนักตอซังสูงกว่าการไม่ใส่ตะกอน เนื่องจากตะกอนทำให้ข้าวได้รับธาตุอาหารเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตาม การใส่ตะกอนในอัตราสูงโดยเฉพาะเมื่อใส่ร่วมกับปุ๋ยเคมีกลับส่งผลให้ข้าวมีน้ำหนักเมล็ดต่ำกว่าการใส่ตะกอนในอัตราต่ำ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ทั้งนี้เนื่องจาก การใส่ปุ๋ยเคมีและการใส่ตะกอนในอัตราสูงๆร่วมกัน ส่งผลให้ข้าวได้รับปริมาณไนโตรเจนมากเกินไป ทำให้ข้าวมีการเจริญเติบโตทางด้านลำต้น จนเกิดการเฝือใบ ซึ่งจะเห็นว่าการใส่ตะกอนในอัตราสูงร่วมกับปุ๋ยเคมี ข้าวจะให้น้ำหนักตอซังสูงที่สุด อาการเฝือใบทำให้ข้าวมีการบังแสงกัน ใบข้าวสังเคราะห์แสงได้น้อยลง ทำให้ข้าวสร้างผลผลิตเมล็ดได้น้อยลง ซึ่งสามารถสังเกตได้ว่า การใส่ตะกอนอัตราสูงๆ ร่วมกับการใส่ปุ๋ยเคมีจะทำให้น้ำหนักเมล็ดลีบเพิ่มสูงขึ้นมาก

นอกจากนี้ปุ๋ยเคมีที่ใช้จะเป็นปุ๋ยที่มีเฉพาะไนโตรเจนและฟอสฟอรัสเท่านั้น เนื่องจากคำแนะนำใช้ปุ๋ยข้าวในดินที่เป็นดินเหนียว มักจะไม่แนะนำให้ใส่โพแทสเซียม เพราะดินมีโพแทสเซียมสูง อย่างไรก็ตาม การใส่ตะกอนอัตราสูงๆ ร่วมกับปุ๋ยเคมี ทำให้ข้าวได้รับทั้งไนโตรเจนและฟอสฟอรัสสูงมาก ไม่สมดุลกับปริมาณที่มีในดิน ทำให้การสร้างเมล็ดมีประสิทธิภาพน้อยลง

4. การสะสมธาตุอาหาร และโลหะหนักในข้าว

จากการวิเคราะห์ปริมาณการดูดกินไนโตรเจนในข้าว พบว่า ปริมาณการดูดกินไนโตรเจนในข้าวมีแนวโน้มสูงขึ้น เมื่อมีการใส่ตะกอนและปุ๋ยเคมีเพิ่มมากขึ้น อาจจะเนื่องมาจากการได้รับปริมาณไนโตรเจนเพิ่มขึ้นจากการใส่ตะกอนและปุ๋ยเคมี อย่างไรก็ตามปริมาณการดูดกินฟอสฟอรัสมีการเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อใส่ตะกอนเพิ่มมากขึ้น แต่มีแนวโน้มสูงขึ้นมากเมื่อมีการใส่ปุ๋ยเคมีเพิ่มมากขึ้น เช่นเดียวกันกับปริมาณการดูดกินโพแทสเซียมในข้าวที่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อย เมื่อมีการใส่ตะกอนเพิ่มมากขึ้น แต่มีแนวโน้มดูดกินโพแทสเซียมสูงขึ้นมาก เมื่อมีการใส่ปุ๋ยเคมีที่เพิ่มมากขึ้น

จากการวิเคราะห์ความเข้มข้นของโลหะหนักในตอซัง พบว่า ความเข้มข้นของตะกั่ว ปรอท และสารหนู มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเมื่อมีการใส่ตะกอนเพิ่มมากขึ้น ซึ่งอาจจะเนื่องมาจากปริมาณโลหะหนักที่ดินได้รับเพิ่มขึ้นจากการใส่ตะกอน แต่สำหรับแคดเมียมไม่พบมีอยู่ในตอซังข้าวที่ไม่ใส่และใส่ตะกอนในอัตราต่างๆ ในส่วนการใส่ปุ๋ยเคมี มีแนวโน้มทำให้ความเข้มข้นของตะกั่วและสารหนูในตอซังข้าวลดลง ซึ่งน่าจะเนื่องมาจากการใส่ปุ๋ยเคมีทำให้ส่วนของลำต้นและใบข้าวเจริญเติบโตเพิ่มขึ้นมาก ส่งผลให้ความเข้มข้นของตะกั่วและสารหนูลดลง อย่างไรก็ตาม ความเข้มข้นของปรอทในตอซัง มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อย เมื่อมีการใส่ปุ๋ยเคมีอัตราสูง แสดงว่า การดูดกินปรอทของพืชเพิ่มมากขึ้นตามการเจริญเติบโตของลำต้น สำหรับแคดเมียมไม่พบมีอยู่ในตอซังเช่นกัน ไม่ว่าจะมีการใส่หรือไม่ใส่ปุ๋ยเคมี เมื่อเปรียบเทียบความเข้มข้นของโลหะหนักในตอซังข้าว

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

กับช่วงความเข้มข้นของโลหะหนักที่พบในพืชทั่วๆไปพบว่า ในตำรับที่ไม่มีการใส่ตะกอนและปุ๋ยเคมี ก็ยังมีความเข้มข้นของตะกั่วและสารหนูสูงกว่าที่พบในพืชทั่วๆไปมาก ที่เป็นเช่นนี้น่าจะเนื่องจากดินที่ใช้ในการทดลองมีปริมาณตะกั่วและสารหนูปนเปื้อนอยู่มาก

ในส่วนของผลวิเคราะห์ความเข้มข้นของตะกั่ว แคดเมียม ปรอทและสารหนูในเมล็ดข้าว เพื่อประเมินผลกระทบที่อาจจะเกิดจากการบริโภคข้าวที่มีการใส่ตะกอน แสดงให้เห็นว่า การใส่ตะกอน รวมทั้งการใส่ปุ๋ยเคมีไม่มีผลทำให้ความเข้มข้นของตะกั่ว แคดเมียม และปรอทในเมล็ดข้าวเพิ่มสูงขึ้นกว่าการไม่ใส่ตะกอนและปุ๋ยเคมี สำหรับสารหนูมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อย เมื่อมีการใส่ตะกอน แต่กลับมีแนวโน้มลดลงเมื่อมีการใส่ปุ๋ยเคมี อย่างไรก็ตามปริมาณความเข้มข้นของโลหะหนักเหล่านี้ในเมล็ดข้าว ยังมีค่าต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานอาหารที่มีสารปนเปื้อน ตามประกาศกระทรวงสาธารณสุขฉบับที่ 98 (พ.ศ. 2529)

5. คุณสมบัติดินหลังการปลูกข้าว

จากการวิเคราะห์สมบัติของดินหลังจากการทดลอง พบว่า การไม่ใส่และการใส่ตะกอน รวมทั้งปุ๋ยเคมีอัตราต่างๆ ไม่มีผลทำให้ pH และปริมาณอินทรียวัตถุในดินแตกต่างกัน สาเหตุที่การใส่ตะกอนไม่มีผลทำให้อินทรียวัตถุในดินเพิ่มมากขึ้น อาจเนื่องมาจากการสลายตัวของตะกอนในสภาพการทดลองในกระถางซึ่งใช้ดินน้อย รากข้าวแผ่กระจายเต็มกระถาง ซึ่งมีผลทำให้การสลายตัวของตะกอนเกิดได้เร็วไม่เหลือตกค้างในดิน ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบดินก่อนการทดลอง ยังพบว่า ดินที่ใช้ในการทดลองทุกตำรับการทดลองมีอินทรียวัตถุเหลืออยู่ต่ำกว่าในดินก่อนการทดลอง สำหรับปริมาณฟอสฟอรัสการใส่ตะกอนมีแนวโน้มไม่ทำให้ความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสเพิ่ม เนื่องจากฟอสฟอรัสบางส่วนในตะกอนอาจจะยังเหลืออยู่ในรูปสารประกอบอินทรีย์ และส่วนที่ถูกปลดปล่อยออกมาบางส่วนอาจจะถูกดินเหนียวตรึงไว้ ส่วนปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินที่พบว่า การใส่ปุ๋ยเคมีทำให้มีปริมาณลดลงนั้น เป็นเพราะปุ๋ยเคมีที่ใช้ไม่มีโพแทสเซียมและการใส่ปุ๋ยเคมีทำให้ข้าวมีการเจริญเติบโตมากขึ้น จึงดูดใช้โพแทสเซียมออกไปจากดินมากขึ้น

ในส่วนของโลหะหนักในดินพบว่าการใส่ตะกอนอัตราต่างๆ รวมทั้งการใส่ปุ๋ยเคมีอัตราต่างๆ รวมทั้งการใส่ปุ๋ยเคมีอัตราต่างๆ ไม่ทำให้มีการสะสมของตะกั่ว แคดเมียม และปรอทในดินสูงกว่าการไม่ใส่ตะกอนและปุ๋ยเคมี ส่วนสารหนูมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อย เมื่อมีการใส่ตะกอนและปุ๋ยเคมีซึ่งก็น่าจะมาจากการใส่ตะกอนและปุ๋ยเคมีลงไปในดิน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

ตะกอนจากระบบน้ำเสียโรงงานอุตสาหกรรมการผลิตเบียร์ที่ศึกษามีสมบัติและธาตุอาหารอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ที่กำหนดโดยกรมวิชาการเกษตร (2550) ยกเว้นโลหะหนักพวกแคดเมียมและปรอทที่มีค่าสูงเกินเกณฑ์ที่กำหนด เมื่อนำตะกอนมาใช้เพื่อการผลิตข้าวโดยใช้ร่วมกับปุ๋ยเคมี โดยทำการทดลองกับดินนาที่เก็บมาจากบริเวณพื้นที่ใกล้ๆโรงงานในอำเภอไทรน้อย จังหวัดนนทบุรี ซึ่งเป็นดินที่มีปริมาณอินทรียวัตถุสูงมาก และมีปริมาณธาตุอาหารพืชสูง ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า การใส่ตะกอนเพียงอย่างเดียว ไม่สามารถเพิ่มผลผลิตข้าวให้สูงขึ้นอย่างเด่นชัด แม้จะใช้ในอัตราสูงถึง 6 ตัน/ไร่ แต่เมื่อมีการใส่ปุ๋ยเคมีร่วมด้วยจะทำให้ผลผลิตของข้าวเพิ่มขึ้นมาก อย่างไรก็ตามผลผลิตเมล็ดข้าวสูงสุดพบที่การใส่ปุ๋ยเคมีอัตราสูงร่วมกับการใส่ตะกอน 2 ตัน/ไร่ ซึ่งถ้าใส่ตะกอนมากกว่านี้ผลผลิตของข้าวกลับลดลง จากการที่ข้าวแสดงอาการเฝือใบ

ในส่วนของโลหะหนัก ดินที่ใช้ในการทดลองมีปริมาณสารหนูเกินเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพดินตามประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ และในส่วนของตะกอนที่ใช้ในการทดลองก็มีปริมาณแคดเมียมกับปรอทสูงเกินเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ที่กำหนดโดยกรมวิชาการเกษตร อย่างไรก็ตามผลการทดลองพบว่า เมื่อปลูกข้าวมีโลหะหนักสะสมในส่วนของผลผลิตเมล็ดน้อยมาก ต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานอาหารที่มีสารปนเปื้อน ตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข ดังนั้น จากผลการทดลองที่ได้น่าจะไม่จะเกิดอันตรายในแง่ของการบริโภคเมล็ดข้าว

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ข้อเสนอแนะ

1. ควรมีการนำตะกอนไปปรับใช้กับพืชสวน/พืชไร่ เนื่องจากพืชเหล่านี้จะเจริญเติบโตดีในดินที่ร่วนซุย ดังนั้น การนำตะกอนไปทดลองใช้กับพืชดังกล่าวน่าจะเหมาะสม

2. การทดลองในครั้งนี้ เป็นการทดลองในกระถาง ซึ่งการกำหนดอัตราของตะกอนและปุ๋ยเคมีของแต่ละตำรับการทดลองจำเป็นต้องใส่ในปริมาณที่มากกว่าการใช้ในพื้นที่จริง ประมาณ 2-3 เท่า ทั้งนี้เพื่อให้ได้ผลการทดลองที่แตกต่างกันอย่างชัดเจน และผลการทดลองที่ได้มาเป็นแค่มูลเบื้องต้นในการนำไปปรับใช้กับพื้นที่จริง

3. ตะกอนที่ใช้ในการทดลองมีโลหะหนักบางตัวเกินมาตรฐานของกรมวิชาการเกษตร รวมทั้งจากผลการทดลองที่ได้จะพบว่า มีปริมาณของโลหะหนักสะสมในลำต้นมากกว่าในเมล็ด ดังนั้น ควรระวังถ้านำไปใช้กับพืชประเภทกินหัวและพืชกินลำต้น/ใบ

4. ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมโดยอาจจะปรับการใช้ปุ๋ยเคมีให้เหมาะสม น่าจะทำให้ได้ผลผลิตข้าวเพิ่มมากขึ้นเมื่อมีการใส่ตะกอนในอัตราสูงขึ้น เป็นการช่วยกำจัดตะกอนจากโรงงานอย่างมีประสิทธิภาพ

5. ควรมีการติดตามตรวจสอบสารพิษตกค้างในร่างกายของผู้บริโภคที่เสี่ยงต่อการได้รับสารพิษตกค้าง ในกรณีที่มีการศึกษาในครั้งต่อไป

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 2548. **รายงานการจัดการทรัพยากรดิน เพื่อการปลูกพืช เศรษฐกิจหลักตามกลุ่มชุดดิน เล่มที่ 2 ดินบนพื้นที่ดอน**.

กรมวิชาการเกษตร. 2550. **คุณสมบัติของปุ๋ยอินทรีย์ แก้ไขเพิ่มเติมโดยพระราชบัญญัติปุ๋ย (ฉบับที่ 2)**

กรรณิกา นากลาง. 2527. อิทธิพลการใช้ปุ๋ยหมัก ปุ๋ยพืชสด และฟางข้าว ติดต่อกันเป็นระยะเวลานานต่ออินทรียวัตถุในดินและผลผลิตข้าว. น. 8-17. ใน **รายงานผลการค้นคว้าวิจัยดินและปุ๋ยข้าว 2527**. กลุ่มงานวิจัยดินและปุ๋ยข้าว กองปฐพีวิทยา กรมวิชาการเกษตร.

กานดา ฉัตรชัยศิริ. 2545. **การใช้น้ำทิ้งจากการผลิตเยื่อกระดาษสาและน้ำกากส่าเป็นปุ๋ยโพแทสเซียมสำหรับข้าวที่ปลูกในดินสันทราย.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์. 2542. **การบำบัดน้ำเสีย**. หจก. สยามสเตชั่นเนอรี่ซัพพลายส์, กรุงเทพฯ.

คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา. 2541. **ปฐพีวิทยาเบื้องต้น**. ภาควิชาปฐพีวิทยาคณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

จงรักษ์ จันทร์เจริญสุข. 2529. **การใช้วัสดุเหลือใช้เพื่อประโยชน์ทางด้านการเกษตร**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

จงรักษ์ จันทร์เจริญสุข. 2541. **การวิเคราะห์ดินและพืชทางเคมี**. ภาควิชาปฐพีวิทยาคณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

เฉลิมชาติ ฤาไชยคาม. 2546. **การใช้วัสดุเหลือใช้จากอุตสาหกรรมผลิตผงชูรสและปุ๋ยหมักมูลเป็ดอัดเม็ดเป็นปุ๋ยสำหรับข้าวที่ปลูกในนาน้ำขัง**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ทัศนีย์ อัตตะนันทน์, จงรักษ์ จันทร์เจริญสุข และสุรเดช จินตกานนท์. 2537. **แบบฝึกหัดและคู่มือปฏิบัติการ การวิเคราะห์ดินและพืช**. ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

น้ำทิพย์ พวงระย้า. 2542. **การใช้น้ำทิ้งจากการผลิตเยื่อกระดาษสาเป็นปุ๋ยโพแทสเซียมสำหรับข้าว.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

นิรชรา พิเนตรเสถียร. 2542. **การใช้น้ำทิ้งจากการผลิตกระดาษสาเพื่อการปลูกข้าวในดินเปรี้ยวจัด.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

บุปผา แช่มประเสริฐ. 2527. **ผลกระทบของแคดเมียมใน activated sludge ที่มีต่อพืชผักและธาตุอาหารพืชบางชนิด**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ประกาศกระทรวงสาธารณสุขฉบับที่ 98 (พ.ศ.2529) เรื่อง **มาตรฐานอาหารที่มีสารปนเปื้อน**.

ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 25 (พ.ศ. 2547) ออกตามความในพระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2535 เรื่อง **กำหนดมาตรฐานคุณภาพดินเพื่อการเกษตร**.

ประเสริฐ สองเมือง, นิพรรณศรี โคมทอง และกรีพล ลิ้มสมวงศ์. 2540. การใช้ปุ๋ยหมักฟางข้าวระยะยาวต่อสรีรวิทยาของข้าวและสมบติของดินที่ศูนย์จัยข้าวพิษณุโลก. ใน **รายงานการวิจัย 2540**. กลุ่มงานวิจัยความอุดมสมบูรณ์ของดินและปุ๋ยข้าวและธัญพืชเมืองหนาว กองปฐพีวิทยา กรมวิชาการเกษตร.

ประเสริฐ สองเมือง, เจิม แสงเทียน และธวัชชัย ณ นคร. 2521. การใช้แกลบและขี้เถ้าแกลบเพื่อเพิ่มผลผลิตข้าว. ใน **รายงานผลการค้นคว้าวิจัย 2521**. กลุ่มงานวิจัยความอุดมสมบูรณ์ของดินและปุ๋ยข้าวและธัญพืชเมืองหนาว กองปฐพีวิทยา กรมวิชาการเกษตร. โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย, กรุงเทพฯ.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ไพบูลย์ ประพฤติธรรม. 2528. **เคมีของดิน**. ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ศุภมาศ พนิชศักดิ์พัฒนา. 2539. **ภาวะมลพิษของดินจากการใช้สารเคมี**. สำนักพิมพ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

_____. 2540. **ภาวะมลพิษของดินจากการใช้สารเคมี**. สำนักพิมพ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

สถาบันวิจัยข้าว. 2540. **ข้าวจ้าวพันธุ์สุพรรณบุรี** 1. กรมวิชาการเกษตร, กรุงเทพฯ.

สมฤทัย ตันเจริญ. 2545. **อิทธิพลของการใส่ฟางข้าวร่มกับปุ๋ยเคมีต่อการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของดิน ผลผลิตและการดูดใช้ธาตุอาหารของข้าวที่ปลูกในดินเนื้อปูนชุดดินลพบุรีในสภาพน้ำขัง**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

หรรษา คุณาไท, ชอบ คณฤกษ์, สมศักดิ์ โตจันทึก, สมจิต คันสุวรรณ, พรพิมล เลี้ยงสุทธิสกนธิ์, และเสาวนีย์ พิสิฏฐพันธ์. 2537. การศึกษาการใช้ส่าเหล้าร่วมกับปุ๋ยเคมีที่มีต่อผลผลิตข้าวในจังหวัดอุบลราชธานี, น. 235-244. ใน **การประชุมวิชาการประจำปี 2537**. เอกสารวิชาการด้านปฐพีวิทยา กรุงเทพฯ.

หรรษา คุณาไท, จัตุรงค์ พิพัฒน์พิริยานนท์, บรรจง เหมทานนท์ และสมศักดิ์ โตจันทึก. 2542. การปรับปรุงความอุดมสมบูรณ์ของดินนาในการปลูกข้าว โดยการใช้กากสะเดาร่วมกับปุ๋ยเคมี, 237-242. ใน **รายงานผลการค้นคว้าวิจัย 2542**. กลุ่มงานวิจัยความอุดมสมบูรณ์ของดินและปุ๋ยข้าวและธัญพืชเมืองหนาว กองปฐพีวิทยา กรมวิชาการเกษตร.

อนนท์ สุขสวัสดิ์, พนัส สุวรรณธาดา และดิเรก อินตาพรม. 2537. อิทธิพลของปริมาณและระยะเวลาในการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ชนิดต่างๆ ต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตข้าว. **วารสารวิชาเกษตร** 12 (2) : 94-100.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

อวยชัย บุญญานุพงศ์. 2535. **การใช้อินทรีย์วัสดุเหลือใช้บางชนิดเป็นปุ๋ยพืชไร่ในชุดดินกำแพงแสน**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

Bray, R.H. and Kurtz, L.T. 1945. **Determination of total, organic and available forms of Phosphorus in soils.** Soil Sci. 59: 39-45.

Gerritse, R.G; R. Vriesema, J.W. Dalenberg and H.P. De Roos. 1982. **Effect of Sewage Sludge on trace element mobility in soil.** 11: 359-364.

Kirkham, M.B. 1975. Trace element in corn grown of long-term sludge disposal sites Environ. **Sci. Thechnol**. 9:765-768

Luc Fillaudeau, Pascal Blanpain-Avet, Georges Daufin. 2006. Water management in brewing industries. **Journal of Cleaner Production** 14: 463-471.

Rappaport, B.D; D.C. Marten, R.B. Renesan, Jr. and T.W. Simpson. 1988. Metal availability in sludge amended soil with elevated metal levaels**. J. Environ. Quart** . 17 : 42-54.

Richards, L.M. 1945. **Diagnostic and Improvement of Saline Alkaline Soils U.S. Salinity Laboratory**, U.S. Dept. Agr. Hbk. 60: 160 p.

Soil conension service. 1982. **Procedures for Collecting Soil Samples and Method of Analysis for Soil survey**. **Soil survey Investigration Report No. 1**. U.S. Dept. Agr. Washington, D.C. 94 p.

Sukasem, W. 1989. Improvement of soivent extraction method for trace metral in seawater. M.S. thesis, Chula.S. thesis, Chulalongkorn Univ., Bangkok.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Thomas, G.W. 1982. Exchangeable cation. In A.L. Page et al (ed.). **Method of soil analysis. Second edition. Agronomy 9: 159-166.** American Society of Agronomy Inc, Madison, Wisconsin, U.S.A.

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

Wong, M.H. 1985. Heavy metal contamination of soil and crops from auto traffic, sewage sludge, pig manure and chemical fertilizer. **Agric. Ecosyst. Environ**. 13: 139-149.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ภาคผนวก

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 1 ความสูง (เซนติเมตร) ของข้าวในระยะแตกกอ

ตำรับการทดลอง	จำนวนซ้ำ			เฉลี่ย
	R_1	R_2	R_3	
AS_0F_0	73.5	72.0	70.0	71.8
AS_0F_1	77.2	73.8	78.9	76.6
AS_0F_2	67.0	66.5	71.7	68.4
AS_2F_0	72.6	74.3	68.8	71.9
AS_2F_1	67.8	73.7	75.7	72.4
AS_2F_2	75.0	73.4	64.8	71.1
AS_4F_0	73.8	74.0	75.3	74.4
AS_4F_1	72.6	68.6	73.9	71.7
AS_4F_2	78.0	74.5	73.5	75.3
AS_6F_0	73.0	79.7	68.6	73.8
AS_6F_1	75.8	74.2	75.4	75.1
AS_6F_2	71.6	76.0	71.0	72.9

ตารางผนวกที่ 2 ความสูง (เซนติเมตร) ของข้าวในระยะกำเนิดช่อดอก

ตำรับการทดลอง	จำนวนซ้ำ			เฉลี่ย
	R_1	R_2	R_3	
AS_0F_0	99.0	93.8	95.7	96.2
AS_0F_1	104.5	101.5	102.0	102.7
AS_0F_2	102.0	99.1	105.0	102.0
AS_2F_0	98.2	96.2	93.0	95.8
AS_2F_1	105.6	103.0	106.0	104.9
AS_2F_2	106.5	102.5	103.5	104.2
AS_4F_0	98.0	101.5	99.5	99.7
AS_4F_1	102.4	99.0	96.7	99.4
AS_4F_2	102.8	104.5	109.5	105.6
AS_6F_0	101.5	98.0	94.5	98.0
AS_6F_1	102.0	96.0	98.0	98.7
AS_6F_2	110.0	95.0	96.6	100.5

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 3 จำนวนต้น/กอ (ต้น/กระถาง) ของข้าวในระยะแตกกอ

ตำรับการทดลอง	จำนวนซ้ำ			เฉลี่ย
	R_1	R_2	R_3	
AS_0F_0	8	9	9	8.7
AS_0F_1	10	12	11	11
AS_0F_2	9	9	10	9.3
AS_2F_0	10	12	11	11
AS_2F_1	13	11	13	12.3
AS_2F_2	13	13	10	12
AS_4F_0	11	12	11	11.3
AS_4F_1	11	10	10	10.3
AS_4F_2	10	11	10	10.3
AS_6F_0	13	14	10	12.3
AS_6F_1	10	10	10	10.0
AS_6F_2	10	14	13	12.3

ตารางผนวกที่ 4 จำนวนต้น/กอ (ต้น/กระถาง) ของข้าวในระยะกำเนิดช่อดอก

ตำรับการทดลอง	จำนวนซ้ำ			เฉลี่ย
	R_1	R_2	R_3	
AS_0F_0	31	28	27	28.7
AS_0F_1	42	43	50	45
AS_0F_2	53	53	56	54
AS_2F_0	35	37	36	36
AS_2F_1	52	47	51	50
AS_2F_2	65	62	67	64.7
AS_4F_0	37	34	40	37
AS_4F_1	51	50	59	53.3
AS_4F_2	61	65	60	62
AS_6F_0	37	40	37	38
AS_6F_1	48	45	47	46.7
AS_6F_2	53	62	62	59

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 5 จำนวนรวง (รวง/กระถาง) ของข้าวในระยะเก็บเกี่ยว

ตำรับการทดลอง	จำนวนซ้ำ			เฉลี่ย
	R_1	R_2	R_3	
AS_0F_0	27	25	24	25.3
AS_0F_1	35	34	39	36
AS_0F_2	51	51	54	52
AS_2F_0	26	28	27	27
AS_2F_1	42	39	42	41
AS_2F_2	59	62	56	59
AS_4F_0	26	29	29	28
AS_4F_1	44	36	43	41
AS_4F_2	54	58	53	55
AS_6F_0	33	31	32	32
AS_6F_1	41	41	44	42
AS_6F_2	57	52	60	56.3

ตารางผนวกที่ 6 น้ำหนักต่อซัง (กรัม/กระถาง) ของข้าวในระยะเก็บเกี่ยว

ตำรับการทดลอง	จำนวนซ้ำ			เฉลี่ย
	R_1	R_2	R_3	
AS_0F_0	76.02	70.71	64.41	70.38
AS_0F_1	128.71	111.75	118.11	119.52
AS_0F_2	185.1	182.35	194.43	187.29
AS_2F_0	76.54	79.62	72.11	76.09
AS_2F_1	147.99	130.47	124.29	134.25
AS_2F_2	183.44	211.42	184.03	192.96
AS_4F_0	85.15	80.12	77.99	81.09
AS_4F_1	135.83	125.85	139.61	133.76
AS_4F_2	189.41	212.07	218.59	206.69
AS_6F_0	91.66	92.3	84.87	89.61
AS_6F_1	146.59	135.68	139.34	140.54
AS_6F_2	198.26	212.06	193.11	201.14

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 7 น้ำหนักเมล็ดดี (กรัม/กระถาง) ของข้าวในระยะเก็บเกี่ยว

ตำรับการทดลอง	จำนวนซ้ำ			เฉลี่ย
	R_1	R_2	R_3	
AS_0F_0	44.62	46.16	48.04	46.27
AS_0F_1	83.94	89.25	98.84	90.68
AS_0F_2	102.06	124.82	105.99	110.96
AS_2F_0	45.94	57.97	55.2	53.04
AS_2F_1	91.56	91.33	99.07	93.99
AS_2F_2	128.38	106	124.5	119.63
AS_4F_0	50.29	56.77	64.89	57.32
AS_4F_1	77.75	84.94	83.33	82.01
AS_4F_2	81.84	114.86	85.71	94.14
AS_6F_0	54.24	68.13	57.14	59.84
AS_6F_1	79.67	91.82	87.79	86.43
AS_6F_2	101.79	100.95	92.66	98.47

ตารางผนวกที่ 8 น้ำหนักเมล็ดลีบ (ร้อยละ) ของข้าวในระยะเก็บเกี่ยว

ตำรับการทดลอง	จำนวนซ้ำ			เฉลี่ย
	R_1	R_2	R_3	
AS_0F_0	1.81	1.76	1.85	1.81
AS_0F_1	2.10	2.20	2.33	2.21
AS_0F_2	7.05	6.77	6.67	6.83
AS_2F_0	1.21	1.15	1.41	1.26
AS_2F_1	3.21	2.25	2.76	2.74
AS_2F_2	4.75	4.33	5.47	4.85
AS_4F_0	3.03	4.55	5.22	4.27
AS_4F_1	7.20	6.70	6.75	6.88
AS_4F_2	11.83	12.44	12.22	12.16
AS_6F_0	5.16	3.32	4.00	4.16
AS_6F_1	8.49	6.43	7.87	7.60
AS_6F_2	8.85	9.37	11.05	9.76

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ภาพผนวกที่ 1 การเตรียมดินและตะกอนสำหรับทดลอง

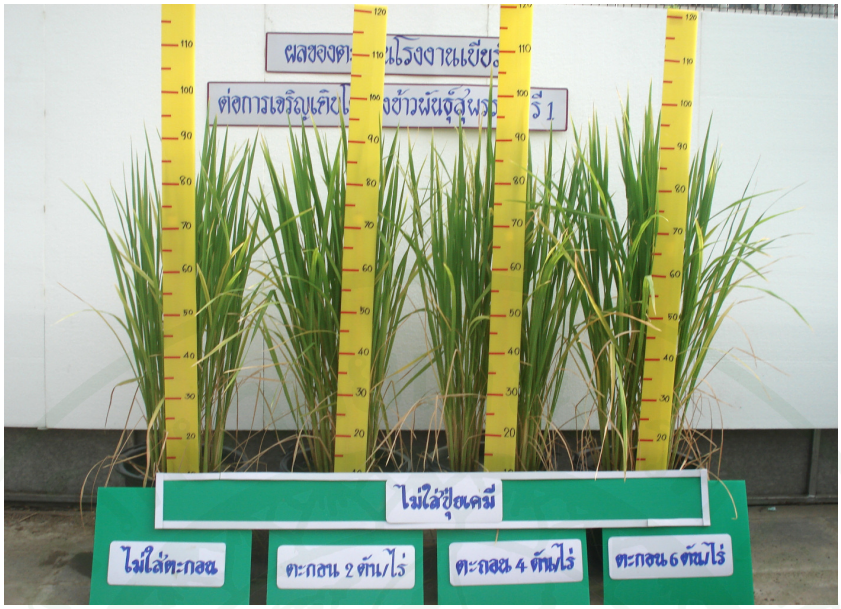
ภาพผนวกที่ 2 กระถางสำหรับปลูกข้าว

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ภาพผนวกที่ 3 ต้นกล้าข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1 ที่ใช้ในการทดลอง

ภาพผนวกที่ 4 ลักษณะการปักดำข้าวสุพรรณบุรี 1

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

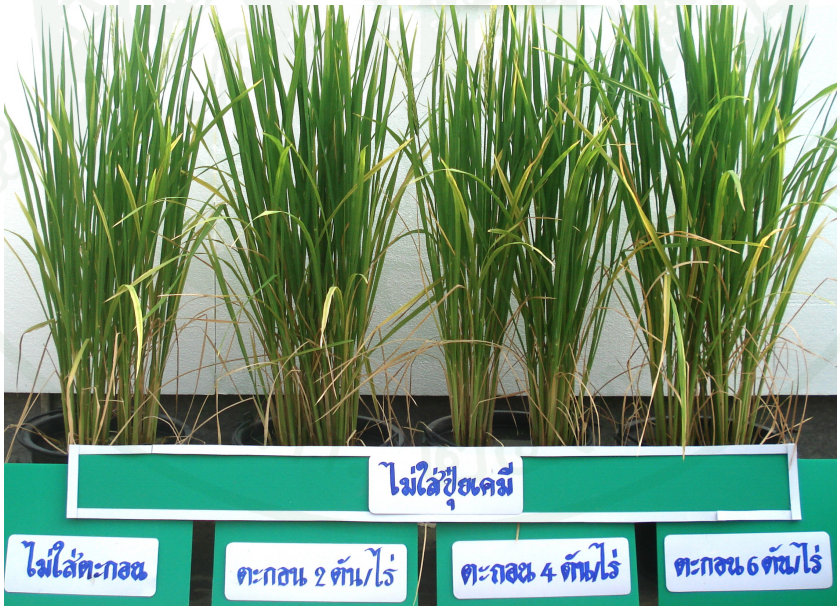


ภาพผนวกที่ 5 ผลของตะกอนอัตราต่างๆ ต่อความสูงของข้าวที่ระยะแตกกอ

ภาพผนวกที่ 6 ผลของตะกอนอัตราต่างๆ ร่วมกับปุ๋ยเคมีอัตราต่ำต่อความสูงของข้าวที่ระยะกำเนิดช่อดอก

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ภาพผนวกที่ 7 ผลของตะกอนอัตราต่างๆ ร่วมกับปุ๋ยเคมีอัตราสูงต่อความสูงของข้าวที่ระยะกำเนิดช่อดอก



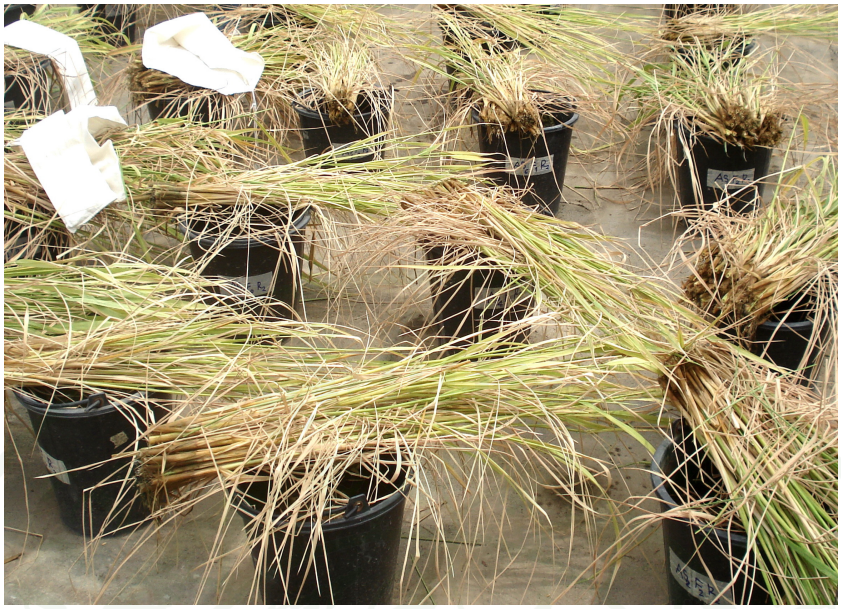
ภาพผนวกที่ 8 ผลของตะกอนอัตราต่างๆ ต่อการแตกกอของข้าวที่ระยะแตกกอ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ภาพผนวกที่ 9 ผลของตะกอนอัตราต่างๆ ร่วมกับปุ๋ยเคมีอัตราต่ำต่อการแตกกอของข้าวที่ระยะแตกกอ

ภาพผนวกที่ 10 ผลของตะกอนอัตราต่างๆ ร่วมกับปุ๋ยเคมีอัตราสูงต่อการแตกกอของข้าวที่ระยะแตกกอ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพผนวกที่ 11 การเก็บตัวอย่างข้าวที่ระยะเก็บเกี่ยว

ภาพผนวกที่ 12 การเก็บผลผลิตข้าวที่ระยะเก็บเกี่ยว

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ – นามสกุล	นางสาวนิตยา สิงหาวงค์
วัน เดือน ปี ที่เกิด	11 พฤษภาคม 2527
สถานที่เกิด	อุบลราชธานี
ประวัติการศึกษา	ปริญญาตรีวิทยาศาสตรบัณฑิต (การจัดการประมง) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย วิทยาเขตตรัง
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	เจ้าหน้าที่โครงการ
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	วิทยาลัยสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	บริษัท ไทยเอเชีย แปซิฟิค บริวเวอรี่ จำกัด ผ่านโครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ย อันเนื่องมาจากพระราชดำริ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์