ความสัมพันธ์ของฟอสเฟตระหว่างดินกับพืชในการปลูกข้าวเมื่อใช้ไคโตซาน เป็นสารเร่งการเจริญเติบโต โดยเทคนิคการติดตามเชิงนิวเคลียร์

นพรัตน์ วงศ์อนุรักษ์ชัย

มหาวิทยาลัยบูรพา
Burapha University

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยบูรพา
มิถุนายน 2548

ISBN 974-502-513-5

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยบูรพา

อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์และคณะกรรมการสอบปากเปล่าวิทยานิพนธ์ ได้พิจารณาวิทยานิพนธ์ของ นพรัตน์ วงศ์อนุรักษ์ชัย ฉบับนี้แล้ว เห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม ของมหาวิทยาลัยบูรพาได้

อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์

.....ประธาน
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พิชาญ สว่างวงศ์)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุวรรณา ภาณุตระกูล)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ พรรณี พักคง)

คณะกรรมการสอบปากเปล่า

.....ประธาน
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พิชาญ สว่างวงศ์)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุวรรณา ภาณุตระกูล)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ พรรณี พักคง)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เยาวภา ไหวพริบ)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ศิริโฉม ทุ่งเก้า)

บัณฑิตวิทยาลัยอนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม ของมหาวิทยาลัยบูรพา

.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร. ประทุม ม่วงมี)
วันที่ 29 เดือน มิถุนายน พ.ศ. 2548

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ประกาศคุณูปการ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับความกรุณาให้คำปรึกษา และช่วยแนะนำแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ อย่างดียิ่งจาก ผศ.ดร. พิชาญ สว่างวงศ์ ประธานกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์ ขอกราบขอบพระคุณ ผศ.ดร. สุวรรณา ภาณุตระกูล กรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้คำปรึกษาแนะนำแนวทางที่ถูกต้อง ตลอดจนแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ด้วยความละเอียดถี่ถ้วน และเอาใจใส่ด้วยดีเสมอมา จึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอกราบขอบพระคุณ ผศ. พรรณี พักคง กรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์ เป็นอย่างสูงที่ให้การดูแลเอาใจใส่ ทำให้ผู้วิจัยได้รับแนวทางในการศึกษาค้นคว้าหาความรู้และประสบการณ์อย่างกว้างขวางในการทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้ ตลอดจนให้ความอนุเคราะห์อุปกรณ์ เครื่องมือ และสถานที่ในการศึกษาวิจัยและให้คำแนะนำสั่งสอนโดยเฉพาะในด้านนิวเคลียร์เทคนิคอย่างดียิ่ง จึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร. เยาวภา ไหวพริบ และ ผศ.ดร. ศิริโฉม ทุ่งเก้า คณะกรรมการสอบปากเปล่าที่ได้กรุณาให้ข้อเสนอแนะในการปรับปรุงแก้ไขจนทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ถูกต้องและสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

วิทยานิพนธ์นี้ได้รับทุนสนับสนุนบางส่วนจากโครงการบัณฑิตศึกษา ฝึกอบรมและวิจัยด้านวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและการบริหารจัดการสิ่งแวดล้อม ภายใต้การกำกับของโครงการพัฒนาบัณฑิตศึกษาและวิจัยด้านวิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยี สำนักงานคณะกรรมการอุดมศึกษา กระทรวงศึกษาธิการ

ขอขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ พี่ชาย คุณนันทิยา เฉียบแหลม และเพื่อนร่วมงานทุกท่านที่บริษัท ยูไนเต็ด แอนนาลิสต์ แอนด์ เอ็นจิเนียริ่ง คอนซัลแตนท์ จำกัด สำหรับคำปรึกษาและคำแนะนำ พร้อมทั้งการช่วยเหลือที่ดีตลอดมา และคอยเป็นกำลังใจให้ผู้วิจัยผ่านช่วงเวลาที่ยากลำบากไปได้ด้วยดี รวมทั้งท่านอื่น ๆ ที่มิได้เอ่ยนามในที่นี้ ที่มีส่วนช่วยให้กำลังใจและให้ความช่วยเหลือ ซึ่งมีส่วนทำให้การทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยดี

ความดีและประโยชน์อันที่จะได้รับจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอมอบแด่ คุณพ่อ คุณแม่ และคณาจารย์ผู้ประสาทวิชาความรู้แก่ข้าพเจ้า

นพรัตน์ วงศ์อนุรักษ์ชัย

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

44910727: สาขาวิชา: วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม; วท.ม. (วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม)
คำสำคัญ: ฟอสเฟต/ ไคโตซาน/ เทคนิคการติดตามเชิงนิวเคลียร์

นพรัตน์ วงศ์อนุรักษ์ชัย: ความสัมพันธ์ของฟอสเฟตระหว่างดินกับพืชในการปลูกข้าวเมื่อใช้ไคโตซานเป็นสารเร่งการเจริญเติบโต โดยเทคนิคการติดตามเชิงนิวเคลียร์ (RELATIONSHIP OF PHOSPHATE AND SOIL-PLANT IN RICE CROP USING CHITOSAN AS GROWTH PROMOTER BY NUCLEAR TRACER TECHNIQUE) อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์: พิชาญ สว่างวงศ์, Ph.D., สุวรรณา ภาณุตระกูล, D.Sc., พรรณี พักคง, M.Sc. 167 หน้า. ปี พ.ศ. 2548. ISBN 974-502-513-5

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการตัดสายโพลิเมอร์ของไคโตซานด้วยรังสีแกมมาต่อการลดขนาดมวลโมเลกุลของไคโตซาน และประสิทธิภาพขนาดมวลโมเลกุลและความเข้มข้นของไคโตซานต่อการเร่งการเจริญเติบโตของข้าว และการแลกเปลี่ยนฟอสฟอรัสในสภาพไอออนในดินกับสารละลาย (E-Value) โดยทำการศึกษาประสิทธิภาพการใช้ปุ๋ยฟอสเฟตของต้นข้าว (% FPU) ด้วยเทคนิคทางนิวเคลียร์ ทั้งนี้ในการตัดสายโพลิเมอร์ของไคโตซานจะใช้วิธีการฉายรังสีแกมมาแบบเฉียบพลัน ด้วยต้นกำเนิดรังสีโคบอลท์- 60 ที่ระดับปริมาณรังสีในช่วง 0-200 KGy และใช้ข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 1 และพันธุ์ปทุมธานี 1 เป็นพืชทดสอบ ผลการวิจัยพบว่า

มวลโมเลกุลของไคโตซานจะมีค่าลดลงตามปริมาณรังสีแกมมาที่เพิ่มขึ้นจาก 1.12×10^6 ดาลตัน ลดลงเหลือ 9.10×10^3 ดาลตัน โดยมวลโมเลกุลจะลดลงอย่างรวดเร็วในช่วงปริมาณรังสีที่ปริมาณต่ำ ๆ คือ 50-75 KGy และลดลงอย่างช้า ๆ เมื่อปริมาณรังสีเพิ่มสูงขึ้นที่ 75 –200 KGy ตามลำดับ สำหรับผลของขนาดมวลโมเลกุลของไคโตซานต่อการเร่งการเจริญเติบโตของข้าว พบว่า การฉายรังสีแกมมาในช่วง 0-100 KGy ที่ความเข้มข้นต่ำ ๆ คือ 5-100 ppm มีแนวโน้มในการเร่งการเจริญเติบโตของข้าวที่อายุ 14 วันได้ดีที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม

สำหรับการศึกษาค่า E-Value ในดิน ได้ทำการศึกษาในดิน 2 ชุด คือ ดินเค็มและดินเปรี้ยว ซึ่งมีระยะเวลาในการเกิดสมดุลที่ 10 วันเท่ากัน เมื่อใช้ความเข้มข้นของฟอสฟอรัส-31 เป็น 120 ไมโครกรัม พบว่า ค่า E-Value ของดินแต่ละชุดจะมีค่าเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของไคโตซานที่ฉายรังสีแกมมาปริมาณต่าง ๆ ที่เพิ่มขึ้น โดยค่า E-Value ของดินเปรี้ยวมีค่าสูงมากกว่าค่า E-Value ของดินเค็มทุกชุดการทดลอง ทั้งนี้ดินเปรี้ยวที่ผสมไคโตซานที่ไม่ฉายรังสี ที่ความเข้มข้น 200 ppm มีค่า E-Value สูงที่สุด คือ 36.9196 ± 1.9231 มิลลิกรัม P / ดิน 100 กรัม ซึ่งผลที่ได้สอดคล้องกับผลการศึกษาค่า % FPU ซึ่งทรีตเมนต์ดังกล่าวให้ค่า % FPU สูงที่สุดเช่นกัน คือ 13.8782 ± 1.2518 อย่างไรก็ตาม ค่า % FPU ของข้าวที่ปลูกร่วมกับไคโตซานฉายรังสีปริมาณต่าง ๆ จะมีค่าเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของไคโตซานที่เพิ่มขึ้น ยกเว้นไคโตซานฉายรังสีที่ 100 KGy ที่ให้ผลในทิศทางตรงกันข้าม

44910727: MAJOR: ENVIRONMENTAL SCIENCE; M.Sc. (ENVIRONMENTAL SCIENCE)
KEYWORDS: PHOSPHATE/ CHITOSAN/ NUCLEAR TRACER TECHNIQUE

NOPPARAT WONGANURAKCHAI: RELATIONSHIP OF PHOSPHATE AND SOIL-PLANT IN RICE CROP USING CHITOSAN AS GROWTH PROMOTER BY NUCLEAR TRACER TECHNIQUE. THESIS ADVISORS: PICHAN SAWANGWONG, Ph.D., SUWANNA PHANUTRAKUL, Ph.D., PANNEE PAKKHONG, M.Sc. 167 P. 2005. ISBN 974-502-513-5

The purpose of this research project is to investigate the effect of depolymerized chitosan by gamma irradiation to molecular weight and isotopically exchangeable phosphate (E-value) as well as to examine the effectiveness of Fertilizer P Utilization (% FPU) by using nuclear technique. The experiment has been conducted by applying the method of acute gamma irradiation and Cobalt-60 radiation source at 0-200 KGy. Rice crops Supanburi 1 and Pathumthani 1 types were used as testers.

The study found that if gamma radiation was increased, molecular weight of chitosan would decrease from 1.12×10^6 Dalton to 9.10×10^3 Dalton. Molecular weight rapidly decreased at low radiation (50-75 KGy) and slightly decreased at 75–200 KGy. The dose of gamma ray at 0-100 KGy with 5-100 ppm of concentration was the most suitable plant growth promoter for 14- day rice as compared to control group.

Salty soil and sour soil at the concentration of 120 microgram phosphorus-32 had been studied for 10 days to explore E-value in soil. The experiment revealed that E-value of each soil type would dependently increase by the dose of gamma radiation to chitosan irradiation. The E-value of sour soil was higher than that of the salty soil in every treatment. The mixture of sour soil and chitosan without radiation at 200 ppm of concentration contained the highest E-value (36.9196 ± 1.9231 mg P / 100 gram of soil). The result was consistent to % FPU study which contained the highest % FPU (13.8782 ± 1.2518). However, % FPU of rice with various chitosan irradiation would dependently increase by chitosan concentration, except chitosan irradiation at 100 KGy which led to the opposite result.

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... จ

สารบัญ..... ฉ

สารบัญตาราง..... ญ

สารบัญภาพ..... ฑ

บทที่

1 บทนำ..... 1

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา..... 1

วัตถุประสงค์ของการวิจัย..... 2

สมมติฐานของการวิจัย..... 3

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย..... 3

ขอบเขตของการวิจัย..... 3

ข้อจำกัดของการวิจัย..... 4

นิยามศัพท์เฉพาะ..... 4

2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 6

ไคโตซานกับการเป็นสารเร่งการเจริญเติบโตของพืช..... 6

การประยุกต์ใช้ไคโตซานเพื่อเป็นสารเร่งการเจริญเติบโตของพืช..... 6

การศึกษาการเจริญเติบโตของพืช โดยการศึกษาประสิทธิภาพของการใช้ธาตุอาหารฟอสฟอรัสในดิน..... 9

การตรึงฟอสฟอรัสในดิน..... 11

การสูญเสียฟอสฟอรัสจากดิน..... 14

ดัชนีที่ใช้บ่งชี้การเร่งการเจริญเติบโตของพืชของไคโตซาน..... 16

การตอบสนองการเจริญเติบโตของพืชต่อไคโตซาน..... 17

การแลกเปลี่ยนไอโซโทปโดยใช้สารกัมมันตรังสีฟอสฟอรัส..... 18

การวัดค่าความเป็นประโยชน์ของปุ๋ยฟอสเฟตต่อพืช โดยใช้เทคนิคทางนิวเคลียร์ของสารกัมมันตรังสีฟอสฟอรัส..... 20

วิธีการวัดความแรงรังสีของฟอสฟอรัส-32 ในสารละลายสกัดดินและพืช..... 22

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

สารบัญ (ต่อ)

บทที่		หน้า
	งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	23
3	วิธีดำเนินการวิจัย	27
	วัสดุอุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในการวิจัย	27
	การเตรียมไคโตซานที่ตัดโพลิเมอร์ด้วยการฉายรังสีแกมมา	28
	ตัวอย่างดินที่ใช้ในการวิจัย	28
	พืชที่ใช้ในการวิจัย	29
	วิธีการทดลอง	30
	การทดลองที่ 1: การศึกษาหามวลโมเลกุล (Molecular Weight) ของไคโตซานที่ตัดสายโพลิเมอร์ด้วยการฉายรังสีแกมมา	32
	การทดลองที่ 2: การศึกษาเพื่อหาปริมาณรังสีแกมมาที่เหมาะสมในการนำมาใช้ตัดสายโพลิเมอร์ของไคโตซาน ให้ได้มวลโมเลกุลเหมาะสมต่อการเป็นสารเร่งการเจริญเติบโตของข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 1 และข้าวเจ้าพันธุ์ปทุมธานี 1	34
	การทดลองที่ 3: การศึกษาเพื่อหาความเข้มข้นที่เหมาะสมของไคโตซานที่ตัดสายโพลิเมอร์ด้วยการฉายรังสีแกมมาต่อการเป็นสารเร่งการเจริญเติบโตของข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 1	36
	การทดลองที่ 4: การใช้เทคนิคทางนิวเคลียร์ในการศึกษาการประเมินค่าความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสในดินผสมไคโตซานที่ตัดสายโพลิเมอร์ด้วยการฉายรังสีแกมมา โดยวิธีการแลกเปลี่ยนไอโซโทปที่ใช้สารกัมมันตรังสีฟอสฟอรัส (E-Value)	38
	การทดลองที่ 5: การศึกษาการประเมินค่าความเป็นประโยชน์ของปุ๋ยฟอสเฟตต่อพืช (% FPU) เมื่อใช้ไคโตซานที่ตัดสายโพลิเมอร์ด้วยการฉายรังสีแกมมาร่วมกับปุ๋ยฟอสเฟต โดยใช้ฟอสฟอรัส-32 เป็นตัวติดตาม	42
4	ผลการวิจัย	47
	การศึกษาหามวลโมเลกุลของไคโตซานที่ผ่านการฉายรังสีแกมมา	47

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

สารบัญ (ต่อ)

บทที่		หน้า
	การศึกษาหาปริมาณรังสีแกมมาที่เหมาะสมในการนำมาใช้ตัดสายโพลิเมอร์ของไคโตซานให้ได้มวลโมเลกุลเหมาะสมต่อการเป็นสารเร่งการเจริญเติบโตของข้าว	48
	การศึกษาหาความเข้มข้นที่เหมาะสมของสารละลายไคโตซานฉายรังสีแกมมาต่อการเร่งการเจริญเติบโตของข้าว	53
	การประเมินค่าความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสในดินผสมไคโตซานที่ตัดโพลิเมอร์ด้วยการฉายรังสีแกมมา โดยวิธีการแลกเปลี่ยนไอโซโทปที่ใช้สารกัมมันตรังสีฟอสฟอรัส (E-Value)	61
	การประเมินค่าความเป็นประโยชน์ของปุ๋ยฟอสเฟตต่อพืช (% FPU) เมื่อใช้ไคโตซานที่ตัดสายโพลิเมอร์ด้วยการฉายรังสีแกมมาร่วมกับปุ๋ยฟอสเฟต โดยใช้ฟอสฟอรัส-32 เป็นตัวติดตาม	65
5	สรุปและอภิปรายผล	74
	สรุปผลการวิจัย	74
	อภิปรายผลการวิจัย	76
	ข้อเสนอแนะ	91
บรรณานุกรม		92
ภาคผนวก		99
	ภาคผนวก ก คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของตัวอย่างดินที่ใช้ในการวิจัย	100
	ภาคผนวก ข สารละลายสูตร Hoagland Solution	101
	ภาคผนวก ค การวิเคราะห์หาปริมาณฟอสฟอรัส โดยวิธี Molybdenum Blue	102
	ภาคผนวก ง กราฟมาตรฐาน	104
	ภาคผนวก จ ผลการศึกษาหามวลโมเลกุลของไคโตซาน	106
	ภาคผนวก ฉ ผลการวิเคราะห์ข้อมูลของการทดลองเพื่อศึกษาหาปริมาณรังสีแกมมาที่เหมาะสมในการนำมาใช้ตัดสายโพลิเมอร์ของไคโตซานให้ได้มวลโมเลกุลเหมาะสมต่อการเป็นสารเร่งการเจริญเติบโตของข้าว	116

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

สารบัญ (ต่อ)

บทที่		หน้า
ภาคผนวก ช	ผลการวิเคราะห์ข้อมูลของการทดลองเพื่อศึกษาหาความเข้มข้นที่เหมาะสมของไคโตซานฉายรังสีแกมมาต่อการเป็นสารเร่งการเจริญเติบโตของข้าว.....	122
ภาคผนวก ซ	ข้อมูลการทดลองเพื่อศึกษาหาค่า E-Value.....	128
ภาคผนวก ฌ	ผลการวิเคราะห์ข้อมูลการทดลองเพื่อศึกษาหาค่า E-Value.....	139
ภาคผนวก ญ	ผลการวิเคราะห์ข้อมูลของการทดลองเพื่อศึกษาหาค่า % FPU.....	144
ภาคผนวก ฎ	ข้อมูลของการทดลองเพื่อศึกษาหาค่า % FPU	153
ภาคผนวก ฏ	ข้อมูลของการทดลองเพื่อศึกษาหาค่า Distribution Coefficient และ Transfer Factor ของฟอสฟอรัส.....	157
ประวัติย่อของผู้วิจัย.....		167

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

4-1 ผลการศึกษาหามวลโมเลกุลของไคโตซานที่ฉายรังสีแกมมาปริมาณต่าง ๆ..... 47

ภาคผนวก ก-1 คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของตัวอย่างดินที่ใช้ในการวิจัย..... 100

ภาคผนวก ง-1 แสดงค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 882 นาโนเมตรของฟอสฟอรัสที่ความเข้มข้นต่าง ๆ 104

ภาคผนวก จ-1 แสดงค่า Efflux Time, Relative Viscosity (η_r), Specific Viscosity (η_{sp}) และ Reduced Viscosity (η_{red}) ของตัวอย่างไคโตซานที่ไม่ฉายรังสี ทำการทดลองครั้งที่ 1..... 106

ภาคผนวก ฉ-1 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของความสูงของต้นข้าวสุพรรณบุรี 1 และปทุมธานี 1 ที่ปลูกร่วมกับการใช้สารละลายไคโตซานที่ฉายรังสีปริมาณต่าง ๆ..... 116

ภาคผนวก ฉ-2 ความสูงของต้นข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1 และพันธุ์ปทุมธานี 1 ที่ปลูกร่วมกับการใช้สารละลายไคโตซานที่ฉายรังสีปริมาณต่าง ๆ..... 117

ภาคผนวก ฉ-3 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของความยาวของรากข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1และพันธุ์ปทุมธานี 1 ที่ปลูกร่วมกับการใช้สารละลายไคโตซานที่ฉายรังสีปริมาณต่าง ๆ..... 118

ภาคผนวก ฉ-4 ความยาวของรากข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1 และพันธุ์ปทุมธานี 1 ที่ปลูกร่วมกับการใช้สารละลายไคโตซานที่ฉายรังสีปริมาณต่าง ๆ..... 119

ภาคผนวก ฉ-5 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของน้ำหนักแห้งของต้นและรากข้าวพันธุ์ สุพรรณบุรี 1 และพันธุ์ปทุมธานี 1 ที่ปลูกร่วมกับการใช้สารละลายไคโตซานที่ฉายรังสีปริมาณต่าง ๆ..... 120

ภาคผนวก ฉ-6 น้ำหนักแห้งของต้นและรากข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1 และพันธุ์ปทุมธานี 1 ที่ปลูกร่วมกับการใช้สารละลายไคโตซานที่ฉายรังสีปริมาณต่าง ๆ..... 121

ภาคผนวก ช-1 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของความสูงของต้นข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1 ที่ปลูกร่วมกับสารละลายไคโตซานที่ไม่ฉายรังสี, ไคโตซานฉายรังสี 75 KGy และไคโตซานฉายรังสี 100 KGy ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ กัน..... 122

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
ภาคผนวก ช-2	ความสูงของข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1 ที่ปลูกร่วมกับสารละลายไคโตซานที่ไม่ฉายรังสี, ไคโตซานฉายรังสี 75 KGy และไคโตซานฉายรังสี 100 KGy ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ กัน.....	123
ภาคผนวก ช-3	การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของความยาวของรากข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1 ที่ปลูกร่วมกับสารละลายไคโตซานที่ไม่ฉายรังสี, ไคโตซานฉายรังสี 75 KGy และไคโตซานฉายรังสี 100 KGy ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ กัน.....	124
ภาคผนวก ช-4	ความยาวของรากข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1 ที่ปลูกร่วมกับสารละลายไคโตซานที่ไม่ฉายรังสี, ไคโตซานฉายรังสี 75 KGy และไคโตซานฉายรังสี 100 KGy ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ กัน.....	125
ภาคผนวก ช-5	การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของน้ำหนักแห้งของต้นและรากข้าวพันธุ์ สุพรรณบุรี 1 ที่ปลูกร่วมกับสารละลายไคโตซานที่ไม่ฉายรังสี, ไคโตซานฉายรังสี 75 KGy และไคโตซานฉายรังสี 100 KGy ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ กัน.....	126
ภาคผนวก ช-6	น้ำหนักแห้งของต้นและรากข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1 ที่ปลูกร่วมกับสารละลายไคโตซานที่ไม่ฉายรังสี, ไคโตซานฉายรังสี 75 KGy และไคโตซานฉายรังสี 100 KGy ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ กัน.....	127
ภาคผนวก ซ-1	ค่า E-Value ของชุดดินตัวอย่างเพื่อศึกษาหาระยะเวลาสมดุล.....	129
ภาคผนวก ซ-2	ค่า E-Value ของชุดดินตัวอย่าง เพื่อศึกษาปริมาณการแลกเปลี่ยนไอโซโทปของฟอสฟอรัสในดินผสมไคโตซาน.....	134
ภาคผนวก ฌ-1	การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของค่า E-Value จากการทดลองเพื่อหาระยะเวลาสมดุล.....	139
ภาคผนวก ฌ-2	ค่า E-Value ที่ได้จากการทดลองเพื่อหาระยะเวลาสมดุล.....	140
ภาคผนวก ฌ-3	ค่า E-Value ที่ได้จากการทดลองเพื่อหาระยะเวลาสมดุล เปรียบเทียบ 2 ปัจจัย ระหว่างความเข้มข้นของฟอสฟอรัส-31 กับชนิดของดิน.....	140

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
ภาคผนวก ฌ-4	การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของค่า E-Value สำหรับดินเค็มและดินเปรี้ยวที่ผสมสารละลายไคโตซานที่ฉายรังสีแกมมาปริมาณต่าง ๆ.....	141
ภาคผนวก ฌ-5	ค่า E-Value ของดินเค็มและดินเปรี้ยวที่ผสมสารละลายไคโตซานที่ฉายรังสีแกมมาปริมาณต่าง ๆ.....	142
ภาคผนวก ฌ-6	การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของค่า E-Value สำหรับดินเค็มที่ผสมสารละลายไคโตซานที่ฉายรังสีแกมมาปริมาณต่าง ๆ เปรียบเทียบกับแบลงค์.....	143
ภาคผนวก ฌ-7	การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของค่า E-Value สำหรับดินเปรี้ยวที่ผสมสารละลายไคโตซานที่ฉายรังสีแกมมาปริมาณต่าง ๆ เปรียบเทียบกับแบลงค์.....	143
ภาคผนวก ญ-1	การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของความสูงของต้นข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1 ที่ปลูกในดินเปรี้ยวร่วมกับการใช้สารละลายไคโตซานที่ฉายรังสีปริมาณต่าง ๆ.....	144
ภาคผนวก ญ-2	ความสูงของต้นข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1ที่ปลูกในดินเปรี้ยวร่วมกับการใช้สารละลายไคโตซานที่ฉายรังสีปริมาณต่าง ๆ.....	145
ภาคผนวก ญ-3	การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของความยาวของรากข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1ที่ปลูกในดินเปรี้ยวร่วมกับการใช้สารละลายไคโตซานที่ฉายรังสีปริมาณต่าง ๆ.....	146
ภาคผนวก ญ-4	ความยาวของรากข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1ที่ปลูกในดินเปรี้ยวร่วมกับการใช้สารละลายไคโตซานที่ฉายรังสีปริมาณต่าง ๆ.....	147
ภาคผนวก ญ-5	การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของน้ำหนักแห้งของต้นและรากข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1 ที่ปลูกในดินเปรี้ยวร่วมกับการใช้สารละลายไคโตซานที่ฉายรังสีปริมาณต่าง ๆ.....	148
ภาคผนวก ญ-6	น้ำหนักแห้งของต้นและรากข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1ที่ปลูกในดินเปรี้ยวร่วมกับการใช้สารละลายไคโตซานที่ฉายรังสีปริมาณต่าง ๆ.....	149

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
ภาคผนวก ญ-7	การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของ % FPU ของข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 1 ที่ปลูกในดินเปรี้ยวร่วมกับการใช้สารละลายไคโตซานที่ฉายรังสีปริมาณต่าง ๆ.....	150
ภาคผนวก ญ-8	ค่า % FPU ของข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 1 ที่ปลูกในดินเปรี้ยวร่วมกับการใช้สารละลายไคโตซานที่ฉายรังสีปริมาณต่าง ๆ.....	151
ภาคผนวก ญ-9	การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของค่า % FPU สำหรับดินเปรี้ยวที่ผสมสารละลายไคโตซานที่ฉายรังสีแกมมาปริมาณต่าง ๆ เปรียบเทียบกับ Checks.....	152
ภาคผนวก ฏ-1	ค่า % FPU ของการทดลองเพื่อศึกษาค่าความเป็นประโยชน์ของปุ๋ยฟอสเฟตต่อพืชเมื่อใช้ไคโตซานฉายรังสีแกมมาร่วมกับปุ๋ยฟอสเฟต.....	154
ภาคผนวก ฏ-1	ค่า Distribution Coefficient ของฟอสฟอรัส.....	158
ภาคผนวก ฏ-2	ค่า Transfer Factor.....	164

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
2-1	โครงสร้างทางเคมีของไคตินและไคโตซาน.....	7
2-2	ไอออนต่าง ๆ ที่มีแนวโน้มว่าจะสามารถจับกับไคโตซาน.....	9
2-3	แสดงสัดส่วนของการตรึงฟอสเฟตซึ่งเกิดขึ้นที่ระดับ pH ต่าง ๆ ของดิน	12
2-4	พฤติกรรมและความเป็นไปของฟอสฟอรัสที่เกิดขึ้นในดิน.....	15
2-5	ผลของไคโตซานต่อการเจริญเติบโตของข้าว.....	23
3-1	ภาพรวมของการทดลองทั้ง 5 ชุดการทดลองจำแนกตามวัตถุประสงค์ของการวิจัย....	31
3-2	Ubbelohde Viscometer.....	32
3-3	แผนผังการทดลองที่ 2.....	35
3-4	แผนผังการทดลองที่ 3.....	37
3-5	แผนผังการทดลองที่ 4 เพื่อหาระยะเวลาสมดุลระหว่างฟอสฟอรัส-31 ในดินกับฟอสฟอรัส-32 จากปุ๋ยที่เติมลงไป ของดิน 2 ชุด	39
3-6	แผนผังการทดลองที่ 4 เพื่อหาปริมาณการแลกเปลี่ยนไอโซโทปของฟอสฟอรัสในดินผสมไคโตซานที่ตัดโพลิเมอร์ด้วยการฉายรังสีแกมมา.....	41
3-7	แผนผังการทดลองที่ 5.....	43
4-1	ผลการเปลี่ยนแปลงโมเลกุลของไคโตซานที่ผ่านการฉายรังสีแกมมาปริมาณต่าง ๆ...	48
4-2	แผนภูมิความสูงของต้นข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1 และพันธุ์ปทุมธานี 1 ที่ปลูกร่วมกับการใช้สารละลายไคโตซานที่ฉายรังสีปริมาณต่าง ๆ.....	50
4-3	แผนภูมิความยาวของรากข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1 และพันธุ์ปทุมธานี 1 ที่ปลูกร่วมกับการใช้สารละลายไคโตซานที่ฉายรังสีปริมาณต่าง ๆ.....	51
4-4	แผนภูมิน้ำหนักแห้งของต้นและรากข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1 และพันธุ์ปทุมธานี 1 ที่ปลูกร่วมกับการใช้สารละลายไคโตซานที่ฉายรังสีปริมาณต่าง ๆ.....	52
4-5	แผนภูมิความสูงของต้นข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1 ที่ปลูกร่วมกับการใช้สารละลายไคโตซานที่ไม่ฉายรังสี, ไคโตซานฉายรังสี 75 KGy และไคโตซานฉายรังสี 100 KGy ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ กัน.....	55
4-6	แผนภูมิความยาวของรากข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1 ที่ปลูกร่วมกับการใช้สารละลายไคโตซานที่ไม่ฉายรังสี, ไคโตซานฉายรังสี 75 KGy และไคโตซานฉายรังสี 100 KGy ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ กัน.....	57

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
4-7	แผนภูมิน้ำหนักแห้งของต้นและรากข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1 ที่ปลูกร่วมกับการใช้สารละลายไคโตซานที่ไม่ฉายรังสี, ไคโตซานฉายรังสี 75 KGy และไคโตซานฉายรังสี 100 KGy ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ กัน.....	59
4-8	ค่า E-Value (มิลลิกรัม P / ดิน 100 กรัม) ของตัวอย่างดินเค็มที่มีความเข้มข้นของฟอสฟอรัส-31 เป็น 60 ไมโครกรัม และ 120 ไมโครกรัม.....	63
4-9	ค่า E-Value (มิลลิกรัม P / ดิน 100 กรัม) ของตัวอย่างดินเปรี้ยวที่มีความเข้มข้นของฟอสฟอรัส-31 เป็น 60 ไมโครกรัม และ 120 ไมโครกรัม.....	63
4-10	ค่า E-Value (มิลลิกรัม P / ดิน 100 กรัม) ของตัวอย่างดินเค็มและดินเปรี้ยวผสมสารละลายไคโตซานฉายรังสีแกมมาปริมาณต่าง ๆ.....	65
4-11	แผนภูมิความสูงของต้นข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1 ที่ปลูกในดินเปรี้ยวร่วมกับการใช้สารละลายไคโตซานที่ฉายรังสีปริมาณต่างกัน ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ.....	67
4-12	แผนภูมิความยาวของรากข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1 ที่ปลูกในดินเปรี้ยวร่วมกับการใช้สารละลายไคโตซานที่ฉายรังสีปริมาณต่างกัน ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ.....	69
4-13	แผนภูมิน้ำหนักแห้งของต้นและรากข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1 ที่ปลูกในดินเปรี้ยวร่วมกับการใช้สารละลายไคโตซานที่ฉายรังสีปริมาณต่างกัน ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ...	71
4-14	แผนภูมิแสดงค่า % FPU ของข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1 ที่ปลูกในดินเปรี้ยวร่วมกับการใช้สารละลายไคโตซานที่ฉายรังสีปริมาณต่างกัน ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ.....	73
5-1	โครงสร้างของไคโตซานบริเวณ Amorphous Region และ Crystalline Region.....	77
5-2	การกระจายน้ำหนักโมเลกุลของโพลิเมอร์แบบ Monodisperse และ Polydisperse.....	78
5-3	การแพร่กระจายของสารระหว่างส่วนต่าง ๆ (Compartments) ของสิ่งแวดล้อม.....	86
5-4	ค่า Distribution Coefficient ของฟอสฟอรัสในตัวอย่างดินเค็มผสมสารละลายไคโตซานที่ฉายรังสีแกมมาปริมาณต่าง ๆ กัน.....	88
5-5	ค่า Distribution Coefficient ของฟอสฟอรัสในตัวอย่างดินเปรี้ยวผสมสารละลายไคโตซานที่ฉายรังสีแกมมาปริมาณต่าง ๆ กัน.....	89
5-6	แผนภูมิแสดงค่า Transfer Factor ของฟอสฟอรัส ของข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1 ที่ปลูกในดินเปรี้ยวร่วมกับการใช้สารละลายไคโตซานที่ฉายรังสีปริมาณต่างกัน ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ	90

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
ภาคผนวก ง-1	กราฟมาตรฐานแสดงค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 882 นาโนเมตร ของฟอสฟอรัส ที่ความเข้มข้น 0.0-0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร.....	104
ภาคผนวก ง-2	การลดประสิทธิภาพในการวัดรังสีของฟอสฟอรัส-32 โดยการวัดรังสี Cerenkov อันเนื่องมาจากความเข้มของสีของสารละลาย K_2CrO_4	105
ภาคผนวก จ-1	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายไคโตซาน กับค่า Reduced Viscosity (η_{red}) ของตัวอย่างไคโตซานที่ไม่ฉายรังสี (0 KGy) ทำการทดลองครั้งที่ 1.....	107
ภาคผนวก จ-2	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายไคโตซาน กับค่า Reduced Viscosity (η_{red}) ของตัวอย่างไคโตซานที่ไม่ฉายรังสี (0 KGy) ทำการทดลองครั้งที่ 2.....	108
ภาคผนวก จ-3	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายไคโตซาน กับค่า Reduced Viscosity (η_{red}) ของตัวอย่างไคโตซานที่ไม่ฉายรังสี (0 KGy) ทำการทดลองครั้งที่ 3.....	108
ภาคผนวก จ-4	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายไคโตซาน กับค่า Reduced Viscosity (η_{red}) ของตัวอย่างไคโตซานที่ฉายรังสี 50 KGy ทำการทดลองครั้งที่ 1.....	109
ภาคผนวก จ-5	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายไคโตซาน กับค่า Reduced Viscosity (η_{red}) ของตัวอย่างไคโตซานที่ฉายรังสี 50 KGy ทำการทดลองครั้งที่ 2.....	110
ภาคผนวก จ-6	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายไคโตซาน กับค่า Reduced Viscosity (η_{red}) ของตัวอย่างไคโตซานที่ฉายรังสี 50 KGy ทำการทดลองครั้งที่ 3.....	110
ภาคผนวก จ-7	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายไคโตซาน กับค่า Reduced Viscosity (η_{red}) ของตัวอย่างไคโตซานที่ฉายรังสี 75 KGy ทำการทดลองครั้งที่ 1.....	111

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ หน้า

ภาคผนวก จ-8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายไคโตซานกับค่า Reduced Viscosity (η_{red}) ของตัวอย่างไคโตซานที่ฉายรังสี 75 KGy ทำการทดลองครั้งที่ 2..... 111

ภาคผนวก จ-9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายไคโตซานกับค่า Reduced Viscosity (η_{red}) ของตัวอย่างไคโตซานที่ฉายรังสี 75 KGy ทำการทดลองครั้งที่ 3..... 112

ภาคผนวก จ-10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายไคโตซานกับค่า Reduced Viscosity (η_{red}) ของตัวอย่างไคโตซานที่ฉายรังสี 100 KGy ทำการทดลองครั้งที่ 1..... 113

ภาคผนวก จ-11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายไคโตซานกับค่า Reduced Viscosity (η_{red}) ของตัวอย่างไคโตซานที่ฉายรังสี 100 KGy ทำการทดลองครั้งที่ 2..... 113

ภาคผนวก จ-12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายไคโตซานกับค่า Reduced Viscosity (η_{red}) ของตัวอย่างไคโตซานที่ฉายรังสี 100 KGy ทำการทดลองครั้งที่ 3..... 114

ภาคผนวก จ-13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายไคโตซานกับค่า Reduced Viscosity (η_{red}) ของตัวอย่างไคโตซานที่ฉายรังสี 150 KGy ทำการทดลองครั้งที่ 1..... 114

ภาคผนวก จ-14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายไคโตซานกับค่า Reduced Viscosity (η_{red}) ของตัวอย่างไคโตซานที่ฉายรังสี 150 KGy ทำการทดลองครั้งที่ 2..... 115

ภาคผนวก จ-15 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายไคโตซานกับค่า Reduced Viscosity (η_{red}) ของตัวอย่างไคโตซานที่ฉายรังสี 150 KGy ทำการทดลองครั้งที่ 3..... 115

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University