

การย่อยสลายของไคโตซานในดินภายหลังจากการดูดซับสีข้อมแอซิด กรีน 25



นางสาว ปิยรัตน์ บำรุงสาดี

สถาบันวิทยบริการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม (สหสาขาวิชา)

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2550

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

DEGRADATION OF CHITOSAN IN SOIL FOLLOWING ACID GREEN 25 ADSORPTION



Miss Piyarat Bumrungsalee

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science Program in Environmental Science

(Interdisciplinary Program)

Graduate School


Chulalongkorn University

Academic Year 2007

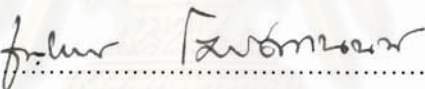
Copyright of Chulalongkorn University

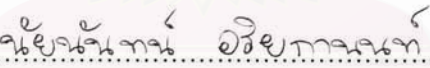
หัวข้อวิทยานิพนธ์	การย่อยสลายของโคโคซานในดินภายหลังจากการดูดซับสีย้อมแอสซิดกรีน 25
โดย	นางสาว ปิยรัตน์ บำรุงสาลี
สาขาวิชา	วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์ ดร.นัยนันท์ อริยกานนท์
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	อาจารย์ ดร.รุ่งกานต์ นุ้ยสินธุ์

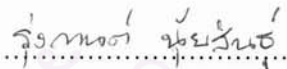
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบัณฑิต

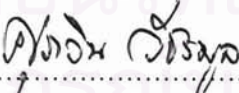
.....  คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ม.ร.ว.กัลยา ดิงศภัทย์)

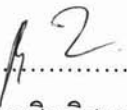
คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....  ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชานูวิทย์ โฉมิตานนท์)

.....  อาจารย์ที่ปรึกษา
(อาจารย์ ดร.นัยนันท์ อริยกานนท์)

.....  อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(อาจารย์ ดร.รุ่งกานต์ นุ้ยสินธุ์)

.....  กรรมการ
(อาจารย์ ดร. สุภวิน วัชรมูล)

.....  กรรมการ
(ดร. กฤษณา ศิริเลิศมุกด)

ปิยรัตน์ บำรุงสาตี : การย่อยสลายของไคโตซานในดินภายหลังจากการดูดซับสีข้อมแอซิด กรีน 25 (DEGRADATION OF CHITOSAN IN SOIL FOLLOWING ACID GREEN 25 ADSORPTION)
 อ. ที่ปรึกษา : อ. ดร.นัยนันทน์ อริยกานนท์, อ.ที่ปรึกษาร่วม : อ. ดร.รุ่งกานต์ นุ้ยสินธุ์, 120 หน้า.

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการลดสีข้อมแอซิด กรีน 25 ของไคโตซานเกรดทางพาณิชย์และเกรดทางเภสัชภัณฑ์ และศึกษาการย่อยสลายของไคโตซานทั้งสองชนิดในดินหลังจากที่ดูดสีข้อมแอซิด กรีน 25 แล้ว

การดูดซับสีข้อมแอซิด กรีน 25 ที่ความเข้มข้น 30 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่า สภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียด้วยไคโตซานทั้งสองชนิด คือ ปรับ พีเอช ของน้ำเสียเท่ากับ 5 ใช้ไคโตซานในปริมาณ 0.2 กรัมต่อน้ำ 100 มิลลิลิตร กวณที่ความเร็ว 150 รอบต่อนาที เป็นเวลา 4 ชั่วโมง ผลการทดลองความสามารถในการลดสีข้อมแอซิด กรีน 25 ของไคโตซานเกรดทางพาณิชย์และเกรดทางเภสัชภัณฑ์ มีค่าเท่ากับ 98.9 ± 0.1 และ 99.2 ± 0.2 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และความสามารถในการลดความขุ่นเท่ากับ 54.9 ± 1.1 และ 57.0 ± 2.6 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าความสามารถในการลดสีข้อมและความขุ่นโดยใช้ไคโตซานทั้งสองชนิดไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่พีเอช 5 ไอโซเทอมของการดูดซับเป็นไปตามสมการของแลงเมียร์ โดยค่าการดูดซับสีแอซิด กรีน 25 สูงสุดของไคโตซานเกรดทางพาณิชย์และเกรดทางเภสัชภัณฑ์ เท่ากับ 854.14 และ 909.09 มิลลิกรัมต่อกรัมไคโตซาน ตามลำดับ

การย่อยสลายในดินทำโดยการนำไคโตซานทั้งสองชนิดที่ดูดซับสีข้อมแล้วมาศึกษาปัจจัยที่เหมาะสมในการย่อยสลายเป็นระยะเวลา 35 วัน ปัจจัยที่ทำการศึกษาคือ พีเอช อุณหภูมิ และความชื้นในดิน โดยมีพารามิเตอร์ที่ติดตามผลคือ ปริมาณ ดี-กลูโคซามีน การหายใจของจุลินทรีย์ดิน อินทรีย์คาร์บอน และไนโตรเจนทั้งหมด จากผลการทดลองพบว่า พีเอช ที่มีผลต่อการย่อยสลายของไคโตซานทั้งสองชนิด คือ พีเอชที่เป็นกลาง (6.79) สภาวะอุณหภูมิที่มีผลต่อการย่อยสลายของไคโตซานทั้งสองชนิด คือ 25-35 องศาเซลเซียส และความชื้นที่มีผลต่อการย่อยสลายของไคโตซานทั้งสองชนิด คือ 70-80 เปอร์เซ็นต์

สาขาวิชา.....วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม.....ลายมือชื่อนิสิต.....ปิยรัตน์ บำรุงสาตี.....
 ปีการศึกษา 2550.....ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....นัยนันทน์ อริยกานนท์.....
 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....รุ่งกานต์ นุ้ยสินธุ์.....

4889105920 : MAJOR ENVIRONMENTAL SCIENCE

KEY WORD : chitosan / adsorption / degradation / acid green 25

PIYARAT BUMRUNGSALEE : DEGRADATION OF CHITOSAN IN SOIL FOLLOWING
ACID GREEN 25 ADSORPTION. THESIS ADVISOR : NAIYANAN ARIYAKANON, Ph.D.,
THESIS COADVISOR : ROONGKAN NUISIN, Ph.D., 120 pp.

The purpose of this study was to compare the efficiency between commercial and pharmaceutical grade chitosan for decolorization of acid green 25 and to study the degradation of both chitosan in soil.

The optimum condition for decolorization of acid green 25 in concentration of 30 mg/L was at pH 5, at 4 hour and 150 rpm/min. A fixed volume of chitosan (0.2 g) in solution of 100 ml was used. The results showed that the decolorization efficiency of acid green 25 of commercial and pharmaceutical grade chitosan were 98.9 ± 0.1 and 99.2 ± 0.2 , respectively. The turbidity removal of commercial and pharmaceutical grade chitosan were 54.9 ± 1.1 and 57.0 ± 2.6 , respectively. The statistical analysis revealed that there was no significantly difference of dye removal and turbidity removal between commercial and pharmaceutical grade chitosan at pH 5. The experimental data were best fitted to Langmuir isotherm. The maximum adsorption capacities of acid green 25 onto commercial and pharmaceutical grade chitosan were determined to be 854.14 and 909.09 mg/g, respectively.

The degradation of chitosan after adsorption of acid green 25 was studied for 35 days. The parameters such as pH, temperature and moisture content were varied. D-glucosamine, soil respiration, organic carbon and total nitrogen were measured. The results indicated that the optimum condition of degradation of chitosan was at pH 6.79, 25-35 °C and 70-80% of moisture content in soil.

Field of studyEnvironmental Science..... Student's signature..... *Piyarat Bumrungsalee*
Academic year2007..... Advisor's signature..... *Naiyanan Ariyakanon*
Co-advisor's signature..... *R. Nuisin*.....

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต คณะบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และวิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีเนื่องจากได้รับความอนุเคราะห์ความช่วยเหลือจากบุคคลหลาย ๆ ฝ่าย ดังนั้นจึงขอแสดงความขอบพระคุณทุกท่านดังมีรายนามต่อไปนี้

ขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ดร. นัยนันท์ อริยกานนท์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์และอาจารย์ดร. รุ่งกานต์ นุ้ยสินธุ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่ได้ให้ความรู้ คำปรึกษา คำแนะนำ และแนวทางในการแก้ปัญหาต่าง ๆ ตลอดจนงานกระทั่งงานวิจัยในครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี รวมทั้งให้หลักการข้อคิดต่าง ๆ อันเป็นประโยชน์ในการพัฒนาตนเองเพื่อนำไปใช้ในการดำเนินชีวิตต่อไปในอนาคต

ขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชาญวิทย์ โฆษิตานนท์ ผู้อำนวยการหลักสูตรสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม ที่กรุณาให้ความอนุเคราะห์เป็นประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ อาจารย์ ดร. ศุภวิน วัชรมูล ที่กรุณาเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รวมทั้งให้คำปรึกษา คำแนะนำ ข้อคิดต่าง ๆ ที่เป็นประโยชน์ และดร. กฤษณา ศิริเลิศมุกด ที่ให้คำแนะนำ คำปรึกษาและเอื้อเฟื้อวัตถุคิบบในงานวิจัยในครั้งนี้ รวมทั้งสละเวลามาเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้

ขอกราบขอบพระคุณ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ทุนอุดหนุนวิจัยและเจ้าหน้าที่สหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ช่วยแนะนำชี้แจงข้อมูลต่าง ๆ และภาควิชาวิทยาศาสตร์ทั่วไป จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ความอนุเคราะห์ให้ใช้เครื่องมือรวมทั้งห้องปฏิบัติการ คุณเพ็ญศรี ชูบรรจง คุณเกศราภรณ์ สงโสด เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการที่ให้ความช่วยเหลือและอำนวยความสะดวกในห้องปฏิบัติการ คุณจิรศักดิ์ อินทโชติ รวมทั้งเพื่อน ๆ พี่ ๆ น้อง ๆ ทุกคนที่ให้ความช่วยเหลือและกำลังใจตลอดมา

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณพ่อประเสริฐ บำรุงสาดี แม่อำพร บำรุงสาดี พี่ชาย รวมทั้งญาติพี่น้องทุกคน ที่ให้การสนับสนุนด้านการศึกษา ให้กำลังใจ คำปรึกษา และดูแลเอาใจใส่ตลอดมาจนทำให้การทำวิทยานิพนธ์สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญรูป.....	ฉ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 แนวเหตุผลและทฤษฎี.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	2
1.3 สมมติฐาน.....	2
1.4 ขอบเขตการศึกษา.....	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 ไคโตซาน.....	4
2.1.1 ลักษณะทั่วไปของไคโตซาน.....	4
2.1.2 กระบวนการเตรียมไคโตซาน.....	5
2.1.3 สมบัติของไคตินและไคโตซาน.....	7
2.1.4 การประยุกต์ใช้ไคโตซาน.....	9
2.2 สีย้อมและการจำแนกสีย้อม.....	9
2.2.1 การเกิดสีของสีย้อม.....	9
2.2.2 การจำแนกสีย้อม.....	10
2.3 แหล่งที่มาของน้ำเสียและสิ่งสกปรกจากอุตสาหกรรมฟอกย้อม.....	12
2.3.1 แหล่งที่มาของน้ำเสีย.....	12
2.3.2 ประเภทของสิ่งสกปรกเจือปนในน้ำเสีย.....	12
2.4 ลักษณะน้ำเสียของโรงงานฟอกย้อม.....	13
2.5 ผลกระทบของน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อมที่มีต่อสิ่งแวดล้อม.....	14
2.6 การบำบัดน้ำเสียโรงงานฟอกย้อม.....	14
2.6.1 การบำบัดน้ำเสียขั้นต้น (primary treatment)	15
2.6.2 การบำบัดขั้นทุติยภูมิ (secondary treatment)	15

2.7 จุลินทรีย์ที่สามารถบำบัดสีย้อม.....	18
2.8 ชนิดของสีย้อมที่ใช้ในการศึกษา.....	18
2.9 การดูดซับ (adsorption).....	20
2.9.1 กลไกการดูดซับ.....	20
2.9.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับ.....	21
2.10 ไอโซเทอมของการดูดซับ(adsorption isotherm).....	22
2.11 การเกิดพันธะไฮออนิกระหว่างไคโตซานและสีย้อมแอซิด กรีน 25.....	24
2.12 การย่อยสลายของไคโตซาน (degradation of chitosan).....	25
2.12.1 การย่อยสลายทางกายภาพ.....	26
2.12.2 การย่อยด้วยสารเคมี.....	26
2.12.3 การย่อยด้วยเอนไซม์.....	26
2.13 จุลินทรีย์ที่ย่อยสลายไคโตซาน.....	27
2.14 ปัจจัยที่มีผลต่อการทำงานของเอนไซม์ไคโตซาน.....	38
2.14.1 อุณหภูมิ (temperature).....	28
2.14.2 ค่าความเป็นกรดด่าง (pH).....	28
2.14.3 ค่าความเข้มข้นของซับสเตรท (substrate).....	28
2.14.4 ปริมาณเอนไซม์.....	28
2.15 ปัจจัยที่มีผลต่อการทำงานของจุลินทรีย์ที่ย่อยสลายไคโตซานในดิน.....	29
2.16 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	30
2.16.1 งานด้านการบำบัดสีย้อม.....	30
2.16.2 งานด้านการย่อยสลายไคโตซาน.....	31
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	32
3.1 วัตถุประสงค์และสารเคมี.....	32
3.1.1 วัตถุประสงค์และสารเคมีในการทดลองการดูดซับสีย้อม.....	32
3.1.2 วัตถุประสงค์และสารเคมีในการทดลองการย่อยสลายไคโตซาน.....	32
3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์.....	33
3.2.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองการดูดซับสีย้อม.....	33
3.2.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองการย่อยสลาย.....	33
3.3 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับสีย้อมของไคโตซาน.....	34
3.3.1 การเตรียมกราฟมาตรฐานสารละลายสีย้อม.....	34

3.3.2 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของไคโตซานในการดูดซับสีข้อม.....	34
3.3.3 การศึกษาจลนพลศาสตร์การดูดซับสีข้อม.....	35
3.3.4. ศึกษากลไกการดูดซับสีข้อม.....	36
3.4 การศึกษาการย่อยสลายของไคโตซานที่ดูดซับสีข้อมแอสิดกรีน 25.....	36
3.4.1 การเก็บตัวอย่างดิน.....	36
3.4.2 ศึกษา pH ที่เหมาะสมในการย่อยสลาย.....	36
3.4.3 ศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการย่อยสลาย.....	36
3.4.4 ศึกษาความชื้นในดินที่เหมาะสมในการย่อยสลาย.....	36
3.5 การติดตามผลของการย่อยสลายไคโตซาน.....	37
3.5.1. การวิเคราะห์หาดี-กลูโคซามีน (D-glucosamine).....	37
3.5.2. การวิเคราะห์หาการหายใจของจุลินทรีย์ดิน (soil respiration).....	37
3.5.3. การวิเคราะห์หาปริมาณเปอร์เซ็นต์อินทรีย์คาร์บอน (organic carbon).....	37
3.5.4. การวิเคราะห์หาปริมาณเปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนทั้งหมด (total nitrogen).....	37
บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง.....	39
4.1 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับสีข้อมของไคโตซาน.....	39
4.1.1 การดูดซับสีข้อมของไคโตซานเกรดทางพาณิชย์และเกรดทางเภสัชภัณฑ์.....	39
4.1.2 การลดความขุ่นของไคโตซานเกรดทางพาณิชย์และเกรดทางเภสัชภัณฑ์.....	42
4.1.3 ผลการศึกษาจลนพลศาสตร์การดูดซับ.....	43
4.1.4 ผลการศึกษากลไกการดูดซับสีข้อม.....	45
4.2 ผลการศึกษาการย่อยสลายของไคโตซาน.....	48
4.2.1 ผลสมบัติทางกายภาพและเคมีดิน.....	48
4.2.2 ผลการศึกษา pH ที่เหมาะสมในการย่อยสลาย.....	49
4.2.3 ศึกษาปัจจัยอุณหภูมิที่เหมาะสมในการย่อยสลาย.....	67
4.2.4 ศึกษาปัจจัยความชื้นในดินที่เหมาะสมในการย่อย.....	84
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	102
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	102
5.1.1 การดูดซับสีข้อมแอสิด กรีน 25 ของไคโตซานทั้งสองชนิด.....	102
5.1.2 ผลการศึกษา pH ที่เหมาะสมในการย่อยสลายของไคโตซาน.....	102
5.1.3 ผลการศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการย่อยสลายของไคโตซาน.....	103
5.1.4 ผลการศึกษาความชื้นในดินที่เหมาะสมในการย่อยสลายของไคโตซาน.....	104

5.2 ข้อเสนอแนะ.....	105
รายการอ้างอิง.....	106
ภาคผนวก.....	112
ภาคผนวก ก รูปภาพที่เกี่ยวข้อง.....	113
ภาคผนวก ข วิธีทดลองการศึกษาการย่อยสลายของไคโตซานในดิน.....	116
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	120



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
ตารางที่ 2.1 การจำแนกสีข้อมตามลักษณะการใช้งาน.....	11
ตารางที่ 4.1 การดูดซับสีข้อมสีแอซิด กรีน 25 ของไคโตซานทั้งสองชนิด ที่ pH 3 5 7 และ 9.....	41
ตารางที่ 4.2 เปรียบเทียบความสามารถในการดูดซับสีข้อมของตัวดูดซับต่าง ๆ	47
ตารางที่ 4.3 คุณสมบัติของดินที่ใช้ในการวิจัย.....	48



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
รูปที่ 2.1 โครงสร้างของไคดินและไคโตซาน.....	4
รูปที่ 2.2 ขั้นตอนทั่วไปของกระบวนการเตรียมไคดิน.....	6
รูปที่ 2.3 ขั้นตอนทั่วไปของกระบวนการเตรียมไคโตซาน.....	7
รูปที่ 2.4 โครงสร้างโมเลกุลสี่อ้อมแอซิด กรีน 25.....	24
รูปที่ 2.5 การเกิดพันธะระหว่างไคโตซานกับสี่แอซิด กรีน 25.....	25
รูปที่ 4.1 กราฟมาตรฐานสี่แอซิด กรีน 25.....	39
รูปที่ 4.2 ประสิทธิภาพการดูดซับสี่อ้อมแอซิด กรีน 25 ของไคโตซานเกรดทางพาณิชย์ และเกรดทางเภสัชภัณฑ์.....	40
รูปที่ 4.3 ประสิทธิภาพการลดความขุ่นน้ำสี่อ้อมแอซิดกรีน 25 ของไคโตซาน เกรดทางพาณิชย์และเกรดทางเภสัชภัณฑ์.....	42
รูปที่ 4.4 ปริมาณสี่อ้อมที่ถูกดูดซับของไคโตซานเกรดทางพาณิชย์ ที่เวลา 30-240 นาที.....	43
รูปที่ 4.5 ปริมาณสี่อ้อมที่ถูกดูดซับของไคโตซานเกรดทางเภสัชภัณฑ์ ที่เวลา 30-240 นาที.....	44
รูปที่ 4.6 สมการการดูดซับสี่แอซิดกรีน 25 ด้วยไคโตซานทั้งสองชนิดตามสมการแลงเมียร์.....	46
รูปที่ 4.7 (ก) ปริมาณดี-กลูโคซามีน และ (ข) ปริมาณดี-กลูโคซามีนสะสมของไคโตซาน เกรดทางพาณิชย์ ที่สภาวะความเป็นกรดต่าง ต่าง ๆ.....	51
รูปที่ 4.8 (ก) ปริมาณดี-กลูโคซามีน และ (ข) ปริมาณดี-กลูโคซามีนสะสมของไคโตซาน เกรดทางเภสัชภัณฑ์ ที่สภาวะความเป็นกรดต่าง ต่าง ๆ.....	52
รูปที่ 4.9 (ก) ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ และ (ข) ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์สะสม ของไคโตซานเกรดทางพาณิชย์ ที่สภาวะความเป็นกรดต่าง ต่าง ๆ.....	54
รูปที่ 4.10 (ก) ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ และ (ข) ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์สะสม ของไคโตซานเกรดทางเภสัชภัณฑ์ ที่สภาวะความเป็นกรดต่าง ต่าง ๆ.....	55
รูปที่ 4.11 (ก) ปริมาณอินทรีย์คาร์บอน และ (ข) ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนสะสมของ ไคโตซานเกรดทางพาณิชย์ ที่สภาวะความเป็นกรดต่าง ต่าง ๆ.....	57
รูปที่ 4.12 (ก) ปริมาณอินทรีย์คาร์บอน และ (ข) ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนสะสมของ ไคโตซานเกรดทางเภสัชภัณฑ์ ที่สภาวะความเป็นกรดต่าง ต่าง ๆ.....	58
รูปที่ 4.13 (ก) ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด และ (ข) ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดสะสม ของไคโตซานเกรดทางพาณิชย์ ที่สภาวะความเป็นกรดต่าง ต่าง ๆ.....	60
รูปที่ 4.14 (ก) ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด และ (ข) ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดสะสม ของไคโตซานเกรดทางเภสัชภัณฑ์ ที่สภาวะความเป็นกรดต่างต่าง ๆ.....	61

รูปที่	
รูปที่ 4.15	พารามิเตอร์ที่ใช้ในการศึกษาสภาวะ pH ที่เหมาะสมต่อการย่อยสลายของ ไคโตซานเกรดทางพาณิชย์ในดิน..... 62
รูปที่ 4.16	พารามิเตอร์ที่ใช้ในการศึกษาสภาวะ pH ที่เหมาะสมต่อการย่อยสลายของ ไคโตซานเกรดทางเภสัชภัณฑ์ในดิน..... 63
รูปที่ 4.17	ปริมาณกลูโคซามีนและการหายใจของจุลินทรีย์ดินจากการย่อยสลายไคโตซาน เกรดทางพาณิชย์ในดินที่ pH กลุ่มควบคุม (6.79)..... 64
รูปที่ 4.18	ปริมาณกลูโคซามีนและการหายใจของจุลินทรีย์ดินจากการย่อยสลายไคโตซาน เกรดทางเภสัชภัณฑ์ในดินที่ pH กลุ่มควบคุม (6.79)..... 65
รูปที่ 4.19	ปริมาณดี-กลูโคซามีนของไคโตซานทั้งสองชนิดในสภาวะ pH ที่เหมาะสม..... 66
รูปที่ 4.20	(ก) ปริมาณดี-กลูโคซามีน และ (ข) ปริมาณดี-กลูโคซามีนสะสมของไคโตซาน เกรดทางพาณิชย์ ในช่วงอุณหภูมิตั้งแต่ 20-40 องศาเซลเซียส..... 71
รูปที่ 4.21	(ก) ปริมาณดี-กลูโคซามีน และ (ข) ปริมาณดี-กลูโคซามีนสะสมของไคโตซาน เกรดทางเภสัชภัณฑ์ ในช่วงอุณหภูมิตั้งแต่ 20-40 องศาเซลเซียส..... 72
รูปที่ 4.22	(ก) ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ และ (ข) ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์สะสมของ ไคโตซานเกรดทางพาณิชย์ ในช่วงอุณหภูมิตั้งแต่ 20-40 องศาเซลเซียส..... 73
รูปที่ 4.23	(ก) ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ และ (ข) ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์สะสม ของไคโตซานเกรดทางเภสัชภัณฑ์ ในช่วงอุณหภูมิตั้งแต่ 20-40 องศาเซลเซียส..... 74
รูปที่ 4.24	(ก) ปริมาณอินทรีย์คาร์บอน และ (ข) ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนสะสมของ ไคโตซานเกรดทางพาณิชย์ ในช่วงอุณหภูมิตั้งแต่ 20-40 องศาเซลเซียส..... 75
รูปที่ 4.25	(ก) ปริมาณอินทรีย์คาร์บอน และ (ข) ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนสะสม(B)ของ ไคโตซานเกรดทางเภสัชภัณฑ์ ในช่วงอุณหภูมิตั้งแต่ 20-40 องศาเซลเซียส..... 76
รูปที่ 4.26	(ก) ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด และ (ข) ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดสะสม ของไคโตซานเกรดทางพาณิชย์ ในช่วงอุณหภูมิตั้งแต่ 20-40 องศาเซลเซียส..... 77
รูปที่ 4.27	(ก) ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด และ (ข) ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดสะสมของ ไคโตซานเกรดทางเภสัชภัณฑ์ ในช่วงอุณหภูมิตั้งแต่ 20-40 องศาเซลเซียส..... 78
รูปที่ 4.28	พารามิเตอร์ที่ใช้ในการศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการย่อยสลายของ ไคโตซานเกรดทางพาณิชย์ในดิน..... 79
รูปที่ 4.29	พารามิเตอร์ที่ใช้ในการศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการย่อยสลายของ ไคโตซานเกรดทางเภสัชภัณฑ์ในดิน..... 80

รูปที่	
รูปที่ 4.30	ปริมาณกลูโคซามีนและการหายใจของจุลินทรีย์ดินจากการย่อยสลายไคโตซาน เกรดทางพาณิชย์ในดินที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส..... 81
รูปที่ 4.31	ปริมาณกลูโคซามีนและการหายใจของจุลินทรีย์ดินจากการย่อยสลายไคโตซาน เกรดทางเภสัชภัณฑ์ในดินที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส..... 82
รูปที่ 4.32	ปริมาณดี-กลูโคซามีนของไคโตซานทั้งสองชนิดในสถานะอุณหภูมิที่เหมาะสม.....83
รูปที่ 4.33 (ก)	ปริมาณดี-กลูโคซามีน และ (ข) ปริมาณดี-กลูโคซามีนสะสมของไคโตซาน เกรดทางพาณิชย์ ในสถานะความชื้นที่เหมาะสมตั้งแต่ 50-80 เปอร์เซ็นต์..... 88
รูปที่ 4.34 (ก)	ปริมาณดี-กลูโคซามีน และ (ข) ปริมาณดี-กลูโคซามีนสะสมของไคโตซาน เกรดทางเภสัชภัณฑ์ ในสถานะความชื้นที่เหมาะสมตั้งแต่ 50-80 เปอร์เซ็นต์..... 89
รูปที่ 4.35 (ก)	ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ และ (ข) ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์สะสมของ ไคโตซานเกรดทางพาณิชย์ ในสถานะความชื้นที่เหมาะสมตั้งแต่ 50-80 เปอร์เซ็นต์..... 90
รูปที่ 4.36 (ก)	ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ และ (ข) ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์สะสมของ ไคโตซานเกรดทางเภสัชภัณฑ์ ในสถานะความชื้นที่เหมาะสมตั้งแต่ 50-80 เปอร์เซ็นต์... 91
รูปที่ 4.37 (ก)	ปริมาณอินทรีย์คาร์บอน และ (ข) ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนสะสมของ ไคโตซานเกรดทางพาณิชย์ ในสถานะความชื้นที่เหมาะสมตั้งแต่ 50-80 เปอร์เซ็นต์..... 92
รูปที่ 4.38 (ก)	ปริมาณอินทรีย์คาร์บอน และ (ข) ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนสะสมของไคโตซาน เกรดทางเภสัชภัณฑ์ ในสถานะความชื้นที่เหมาะสมตั้งแต่ 50-80 เปอร์เซ็นต์..... 93
รูปที่ 4.39 (ก)	ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด และ (ข) ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดสะสมของ ไคโตซานเกรดทางพาณิชย์ ในสถานะความชื้นที่เหมาะสมตั้งแต่ 50-80 เปอร์เซ็นต์..... 94
รูปที่ 4.40 (ก)	ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด และ (ข) ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดสะสมของ ไคโตซานเกรดทางเภสัชภัณฑ์ ในสถานะความชื้นที่เหมาะสมตั้งแต่ 50-80 เปอร์เซ็นต์... 95
รูปที่ 4.41	พารามิเตอร์ที่ใช้ในการศึกษาความชื้นในดินที่เหมาะสมต่อการย่อยสลาย ของไคโตซานเกรดทางพาณิชย์..... 96
รูปที่ 4.42	พารามิเตอร์ที่ใช้ในการศึกษาความชื้นในดินที่เหมาะสมต่อการย่อยสลาย ของไคโตซานเกรดทางเภสัชภัณฑ์..... 97
รูปที่ 4.43	ปริมาณกลูโคซามีนและการหายใจของจุลินทรีย์ดินจากการย่อยสลายไคโตซาน เกรดทางพาณิชย์ที่ความชื้นในดิน 60 เปอร์เซ็นต์.....98
รูปที่ 4.44	ปริมาณกลูโคซามีนและการหายใจของจุลินทรีย์ดินจากการย่อยสลายไคโตซาน เกรดทางเภสัชภัณฑ์ที่ความชื้นในดิน 80 เปอร์เซ็นต์.....99

รูปที่	
รูปที่ 4.45 ปริมาณดี-กลูโคซามีนของไคโตซานทั้งสองชนิดในสภาวะความชื้นที่เหมาะสม.....	100
รูปที่ ก-1 ลักษณะทั่วไปของไคโตซานที่ใช้ในการวิจัย (ก) ไคโตซานเกรดทางพาณิชย์ (ข) ไคโตซานเกรดทางเภสัชภัณฑ์.....	113
รูปที่ ก-2 สารละลายสีข้อมที่ผ่านการดูดซับของไคโตซาน (ก) เกรดทางพาณิชย์ (ข) เกรดทางเภสัชภัณฑ์.....	114
รูปที่ ก-3 เครื่องมือที่ใช้ทดลองการดูดซับที่ย้อมแอซิด กรีน 25 ของไคโตซาน(เครื่องจารุเทส)...	115
รูปที่ ก-4 การทดลองศึกษาสภาวะที่เหมาะสมต่อการย่อยสลายไคโตซานโดยหาปริมาณ การหายใจของจุลินทรีย์ดิน.....	115



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

1.1 แนวเหตุผลและทฤษฎี

ในปัจจุบันประเทศไทยมีอุตสาหกรรมหลายประเภทที่ใช้สีย้อม โดยเฉพาะอุตสาหกรรมสิ่งทอ ที่มีขั้นตอนการฟอกย้อม ซึ่งจะอาศัยน้ำเป็นตัวกลางในการพาสีย้อมเข้าสู่เส้นใย ทำให้ในน้ำที่มีอนุภาคสีย้อมเจือปนอยู่ในปริมาณสูง และเกิดภาวะมลพิษทางน้ำขึ้น เช่น เกิดความเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำ ปริมาณออกซิเจนในแหล่งน้ำลดลง สภาพทางกายภาพของแหล่งน้ำเสื่อมลง เป็นต้น สีย้อมที่ใช้ในอุตสาหกรรมฟอกย้อม มีหลายชนิดและสามารถแบ่งชนิดของสีตามการละลายน้ำได้เป็น 2 ประเภท คือ สีย้อมที่ไม่ละลายน้ำ และสีย้อมที่ละลายน้ำ โดยสีย้อมที่ไม่ละลายน้ำสามารถแยกออกจากน้ำที่ง่าย แต่สีย้อมที่ละลายน้ำกำจัดออกจากน้ำที่ง่ายกว่าทำให้เกิดปัญหาในการบำบัด (รัตนา รุจิรวนิช, 2544)

ปัจจุบันเทคโนโลยีที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียที่มีสีย้อมเจือปนอยู่มีหลายวิธี ทั้งทางกายภาพ เคมี และชีวภาพ เช่น การบำบัดทางกายภาพได้แก่ การกรอง (filtration) การแลกเปลี่ยนไอออน (ion exchange) การดูดซับ (adsorption) การบำบัดทางเคมีได้แก่ การตกตะกอนทางเคมี (precipitation) กระบวนการออกซิเดชัน (oxidation) กระบวนการรีดักชัน (reduction) และทางชีวภาพได้แก่ การย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ทั้งแบบใช้ออกซิเจนและไม่ใช้ออกซิเจน เป็นต้น ซึ่งการบำบัดทางชีวภาพเป็นทางเลือกที่ดีวิธีหนึ่ง เนื่องจากสามารถเปลี่ยนสารพิษให้กลายเป็นสารที่ไม่เป็นพิษ มีค่าใช้จ่ายต่ำ และเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม (Wilson และ Jones, 1993)

ไคโตซานเป็นพอลิเมอร์ธรรมชาติที่ได้จากไคตินซึ่งพบในโครงสร้างเปลือกนอกของสัตว์จำพวกกุ้ง ปู และแกนหมึก โดยมีลักษณะโครงสร้างที่เป็นเส้นยาวจากการจับตัวของกรดอะมิโน ไคโตซานสามารถเป็นตัวตกตะกอนที่ดี เนื่องจากมีหมู่อะมิโนจำนวนมากที่สามารถแตกตัวเป็นประจุบวกและจับกับสารที่มีประจุลบได้ โดยในโตรเจนในหมู่อะมิโนของไคโตซานจะทำหน้าที่เป็นตัวให้อิเล็กตรอน ดังนั้นไคโตซานจึงเป็นสารพอลิอิเล็กโทรไลต์จากธรรมชาติ และมีการนำมาใช้ประโยชน์ในงานด้านต่าง ๆ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดและเกรดของไคโตซาน (Haque และคณะ, 2006) โดยเกรดของไคโตซานสามารถจำแนกตามร้อยละการกำจัดหมู่อะซีทิล (degree of deacetylation) เกรดทางพาณิชย์ (commercial grade) มีร้อยละการกำจัดหมู่อะซีทิล 75-85 และเกรดทางเภสัชภัณฑ์ (pharmaceutical grade) มีร้อยละการกำจัดหมู่อะซีทิล 80-95 (Berger และคณะ, 2005) การนำไคโตซานมาใช้เป็นตัวดูดซับในการบำบัดน้ำเสียที่มีสีย้อมเจือปน (Maetakanon และ

คณะ, 2002) เป็นการนำของเสียที่เหลือจากอุตสาหกรรมเกี่ยวกับสัตว์น้ำโดยเฉพาะพวกเปลือกกุ้งมาใช้ประโยชน์ (Laham และ Lee, 1995) ซึ่งไคโตซานที่ดูดซับสีย้อมแล้วสามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ (Alejandro และคณะ, 2006) โดยจุลินทรีย์ที่อาศัยเอนไซม์ในสภาพที่มีอากาศและไม่มีอากาศ (Minna และคณะ, 1995) จุลินทรีย์ในธรรมชาติ ที่มีเอนไซม์ไคโตซานสามารถย่อยสลายไคโตซานได้ ซึ่งเอนไซม์นี้พบได้ในจุลินทรีย์ที่มีอยู่ในสิ่งแวดล้อม (Laham และ Lee, 1995) อย่างไรก็ตามประสิทธิภาพของจุลินทรีย์ในการย่อยสลายไคโตซานขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ เช่น อุณหภูมิ ความชื้น pH และอัตราส่วนระหว่างคาร์บอนและไนโตรเจน เป็นต้น

ดังนั้นการศึกษาค้นคว้านี้จะแบ่งเป็นสองส่วน คือ การศึกษาเปรียบเทียบความสามารถในการดูดซับสีย้อมของไคโตซานสองชนิดที่มีความแตกต่างกัน และการศึกษาปัจจัยสิ่งแวดล้อมในดินที่มีผลต่อการย่อยสลายของไคโตซานทั้งสองชนิด ภายหลังจากที่นำไปดูดซับสีย้อมแล้ว

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาประสิทธิภาพในการดูดซับสีย้อมแอซิด กรีน 25 (Acid green 25) ของไคโตซานต่างชนิด
2. เพื่อศึกษาปัจจัยสิ่งแวดล้อมในดินที่มีอิทธิพลต่อการย่อยสลายของไคโตซานที่ผ่านการดูดซับสีย้อมแอซิด กรีน 25

1.3 สมมติฐาน

1. ไคโตซานต่างชนิดกันมีประสิทธิภาพในการดูดซับสีย้อมในน้ำเสียแตกต่างกัน
2. ปัจจัยสิ่งแวดล้อมในดินมีอิทธิพลต่อการย่อยสลายของไคโตซานที่ผ่านการดูดซับสีย้อมแอซิด กรีน 25

1.4 ขอบเขตการศึกษา

1. ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพการดูดซับสีของไคโตซาน 2 ชนิด คือ ไคโตซานเกรดทางพาณิชย์ (commercial grade) และ เกรดทางเภสัชภัณฑ์ (pharmaceutical grade)
2. ศึกษาสภาวะที่มีอิทธิพลต่อการย่อยสลายไคโตซานในดินได้แก่ pH อุณหภูมิ และความชื้น

3. พารามิเตอร์ที่วิเคราะห์ในการศึกษาการย่อยสลายไคโตซานในดิน ได้แก่ ปริมาณ ดี-กลูโคซามีน (D-glucosamine) การหายใจของจุลินทรีย์ดิน (soil respiration) ปริมาณอินทรีย์คาร์บอน (organic carbon) และปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (total nitrogen)

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบความสามารถในการดูดซับสีแอสซิด กรีน 25 เมื่อใช้ไคโตซานต่างชนิดกัน
2. ทราบปัจจัยทางกายภาพและเคมีของดินที่มีผลต่อการย่อยสลายของไคโตซานภายหลังจากที่ดูดซับสีซ็อมแอสซิด กรีน 25



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

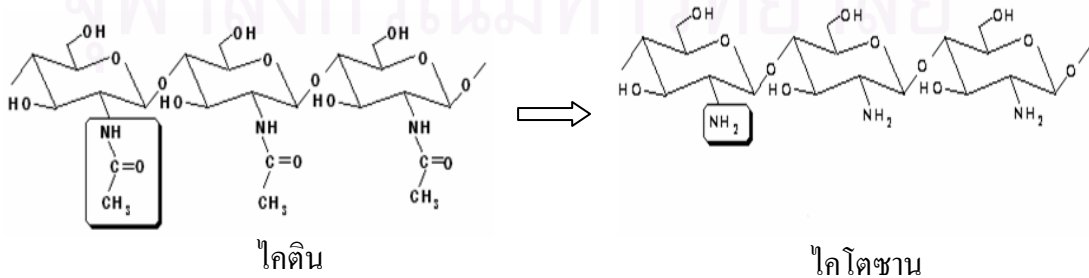
บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ไคโตซาน

2.1.1 ลักษณะทั่วไปของไคโตซาน

ไคโตซานเป็นเป็นอนุพันธ์ ของไคตินมีชื่อทางเคมีว่า poly-(1,4)-2-amino-2-deoxy D-glucose ซึ่งสามารถผลิตได้โดยการแยกหมู่อะซิทิล (deacetylation) ออกจากไคตินเหลือเป็นหมู่อะมิโนอิสระ (NH_2) ที่คาร์บอนตำแหน่งที่สองดังแสดงในรูปที่ 2.1 โดยทั่วไปถ้าหมู่อะซิทิลถูกตัดหรือหลุดไปประมาณร้อยละ 60 เรียกว่า ไคโตซาน และถ้าหมู่อะซิทิลถูกตัดหรือหลุดไปประมาณร้อยละ 90-100 เรียกว่า Fully deacetylated chitosan (Muzzarelli, 1977) ในทางทฤษฎีไคตินประกอบด้วยไนโตรเจนร้อยละ 6.89 และในไคโตซานร้อยละ 8.70 แต่ในทางปฏิบัติการแยกเอาหมู่ อะซิทิลออกมักไม่สมบูรณ์ ดังนั้นปริมาณไนโตรเจนจึงไม่แน่นอน และอยู่ในช่วงร้อยละ 6.89-8.70 เมื่อพิจารณาสูตรโครงสร้างของไคโตซาน จะเห็นว่าไคโตซานสามารถมีประจุบวกบนหมู่อะมิโนและอาจพิจารณาว่าเป็น พอลิเมอร์ที่มีประจุบวก (cationic polymer) สมบัติพอลิอิเล็กโทรไลต์ (polyelectrolyte) ของไคโตซานมีสมบัติในการดูดซับสารจำพวกอินทรีย์ รวมถึงพอลิคลอรีเนต ไบฟีไนต์ (polychlorinated biphenyl) โปรีติน และกรดนิวคลีอิก (nucleic acid) รวมถึงไอออนโลหะ เนื่องจากสมบัติการดูดซับที่ดี ไคโตซานจึงทำหน้าที่เป็นสารช่วยตกตะกอน (coagulant) ได้ดี นอกจากนี้มีสมบัติในการละลายในตัวทำละลายกรดอินทรีย์หลายชนิด เช่น สารละลายกรด ฟอร์มิก สารละลายกรดแอสซิติค เป็นต้น และละลายได้เล็กน้อยในกรดอินทรีย์เจือจาง เช่น กรดเกลือ เป็นต้น จึงเป็นเหตุผลที่ทำให้มีการนำไคโตซานมาใช้ประโยชน์มากกว่าไคติน



รูปที่ 2.1 โครงสร้างของไคตินและไคโตซาน (ที่มา: Wellable Group Marine Biological & Chemical, 2007)

2.1.2 กระบวนการเตรียมโคโคซาน

กระบวนการเตรียมโคโคซานแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน คือขั้นตอนการเตรียมโคโคติน และขั้นตอนการเตรียมโคโคซาน

1. ขั้นตอนการเตรียมโคโคติน

การเตรียมโคโคตินขึ้นกับวัตถุดิบและสารประกอบที่มีอยู่ในวัตถุดิบนั้น ส่วนใหญ่ผลิตจากเปลือกกุ้งและกระดองปูที่เป็นของเหลือทิ้ง ซึ่งองค์ประกอบของวัตถุดิบเหล่านี้ ส่วนใหญ่เป็นโปรตีนและแคลเซียมคาร์บอเนต นอกจากนี้มีพวกกรงควัตถุต่างๆ โปรตีนสามารถแยกออกได้โดยการต้มกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ แคลเซียมคาร์บอเนตสามารถแยกออกได้ด้วยการต้มกับกรดไฮโดรคลอริก หรือกรดไนตริก การเตรียมโคโคตินแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอนที่สำคัญคือ ขั้นตอนการกำจัดแร่ธาตุ (demineralization) และขั้นตอนการกำจัดโปรตีน (deproteinization) ดังรูปที่ 2.2

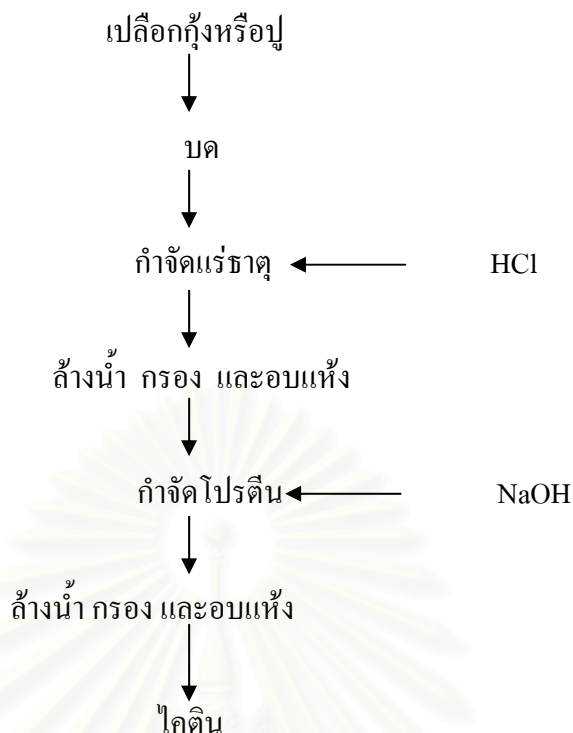
การเตรียมวัตถุดิบ

การเตรียมวัตถุดิบเพื่อแยกโคโคติน เริ่มจากการนำวัตถุดิบ ได้แก่ เปลือกกุ้ง กระดองปู ล้างน้ำ ในกรณีที่ต้องเก็บสะสมวัตถุดิบไว้ระยะหนึ่งก่อน นำเปลือกที่ล้างสะอาดแล้วไปต้มและล้างด้วยสารละลายของสารต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant solution) แล้วนำไปอบให้แห้ง เพื่อเก็บที่อุณหภูมิห้องสะดวกต่อการขนส่ง หลังจากนั้นอาจมีการลดขนาด เช่น บดละเอียด

การกำจัดแร่ธาตุ

การกำจัดแร่ธาตุโดยการใช้สารละลายกรดไฮโดรคลอริกเจือจางเป็นตัวละลายแร่ธาตุ ซึ่งส่วนใหญ่เป็นเกลือแคลเซียมคาร์บอเนต นอกจากนี้ยังมีการใช้กรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) ในการกำจัดแร่ธาตุสำหรับกระบวนการเตรียมโคโคตินในระดับอุตสาหกรรม ซึ่งมีข้อได้เปรียบ คือ ลดปฏิกิริยาการสูญเสียสภาพธรรมชาติของโคโคตินเนื่องจากกรดซัลฟิวริกเป็นกรดอ่อน และสามารถนำกลับมาใช้ได้อีก ตลอดจนได้ผลพลอยได้ เช่น แคลเซียมซัลไฟต์ ($CaSO_3$) แคลเซียมซัลเฟต ($CaSO_4$) และแคลเซียมออกไซด์ (CaO) ซึ่งสามารถนำไปขายได้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



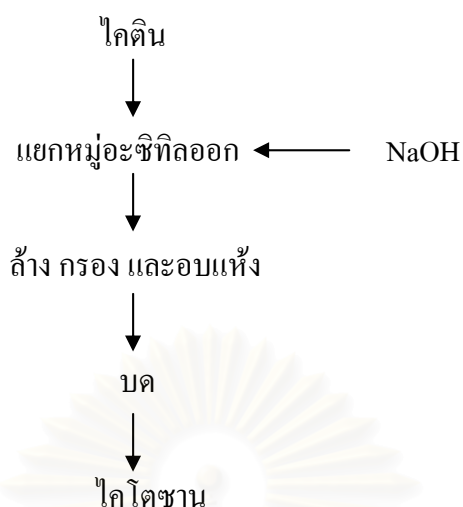
รูปที่ 2.2 ขั้นตอนทั่วไปของกระบวนการเตรียมไคติน

การกำจัดโปรตีน

ขั้นตอนการกำจัดโปรตีน โดยการใช้สารละลายต่าง ส่วนมากนิยมใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ค่า pH ที่เหมาะสมสำหรับการกำจัดโปรตีน คือ 11.5 นอกจากนี้พบว่าขนาดของวัตถุดิบมีผลต่อเวลาที่ใช้ในการกำจัดโปรตีน นอกจากการใช้สารละลายต่างในการกำจัดโปรตีนแล้วยังมีการใช้เอนไซม์ในการกำจัดโปรตีน ซึ่งจะทำให้ความหนืดของสารละลายไคโตซานลดลง

2. ขั้นตอนการเตรียมไคโตซาน

การเตรียมไคโตซาน มีขั้นตอนหลักอยู่เพียงขั้นตอนเดียว คือ ขั้นตอนการกำจัดหมู่อะซิทิล (deacetylation) ในไคตินด้วยสารละลายด่างร้อน แสดงได้ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 ขั้นตอนทั่วไปของกระบวนการเตรียมไคโตซาน

2.1.3 สมบัติของไคตินและไคโตซาน

1. การละลาย (solubility)

ไคตินเป็นพอลิเมอร์ที่มีลักษณะกึ่งผลึก (semicrystalline) เนื่องจากมีโครงสร้างที่จับกันโดยพันธะไฮโดรเจน ด้วยสมบัติทางกายภาพนี้ทำให้ไคตินยากต่อการละลายในกรดเจือจาง หรือด่างเจือจาง และตัวทำละลายอินทรีย์อื่นๆ (organic solvents) ภายใต้สภาวะปกติ ความยากในการละลายของไคตินในตัวทำละลายต่างๆ มีผลมาจากสายโซ่โมเลกุลที่อยู่กันหนาแน่น มีพันธะเกิดขึ้นทั้งภายในและระหว่างโมเลกุล เนื่องจากหมู่ฟังก์ชันที่ต่างกัน หมู่ไฮดรอกซิล และหมู่แอสีเทมิโด (ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ, 2546) อย่างไรก็ตามไคตินสามารถละลายในกรดฟอร์มิก มีเทน กรดซัลโฟนิก และส่วนผสมของ 1,2-คลอโรอีเทน (1,2-dichloroethane) และไตรคลอโรอะซิติก (Trichloroacetic) (35:36) แต่พวกตัวทำละลายเหล่านี้ให้สารเป็นพิษ หรือทำให้สมบัติของไคตินเปลี่ยนแปลงไป การกำจัดหมู่อะซิทิลในสภาวะที่เป็นด่างเป็นการเปลี่ยนจากไคตินเป็นไคโตซาน จากการเปลี่ยนดังกล่าว ทำให้โครงสร้างของไคโตซานมีหมู่เอมิโนอิสระและมีความสามารถในการละลาย แต่โดยปกติไม่ละลายในน้ำที่มีค่า pH 6.5 และในการเตรียมเป็นสารละลายสามารถเตรียมในสารละลายกรดอินทรีย์เจือจาง ได้แก่ กรดฟอร์มิกและกรดอะซิติกได้ (Austin, 1988) ซึ่ง Knorr (1991) รายงานว่าตัวทำละลายที่ดีของไคโตซานคือสารละลายกรดฟอร์มิกความเข้มข้นตั้งแต่ ร้อยละ 0.2-100 โดยปริมาตร นอกจากนี้ไคโตซานยังสามารถละลายได้ในสารละลายกรดไนตริกเจือจางและละลายได้เล็กน้อยในสารละลายกรดฟอสฟอริก ความเข้มข้นร้อยละ 5 โดย

ปริมาณ เนื่องจากสารละลายกรดเหล่านี้ทำให้หมู่เอมิโนอิสระเปลี่ยนอยู่ในรูปหมู่เอมีนที่มีประจุบวก (cationic amine group, $-\text{NH}_3^+$) แต่ไม่ละลายในตัวทำละลายที่เป็นกลางหรือด่าง แต่ถ้านำไคโตซานมาดแห้งกับกรดอินทรีย์ได้ไคโตซานที่สามารถละลายน้ำได้ (water-soluble chitosan) (Kupongsak, 1995)

2. ความหนืด (viscosity)

ความหนืดของสารละลายไคโตซานขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง เช่น ระดับการกำจัดหมู่อะซิทิล น้ำหนักโมเลกุล ความเข้มข้น ค่า pH และอุณหภูมิ โดยทั่วไปแล้วความหนืดของสารละลายพอลิเมอร์ลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น แล้วแต่ชนิดของกรดที่ใช้ และการเปลี่ยนแปลงค่า pH ของสารละลายพอลิเมอร์ให้ผลความหนืดที่แตกต่างกัน เช่น ความหนืดของไคโตซานในกรดอะซิติกเพิ่มขึ้นเมื่อสารละลายมีค่า pH ลดลง ในขณะที่ความหนืดของไคโตซานในกรดไฮโดรคลอริกเพิ่มขึ้นเมื่อค่า pH ของสารละลายเพิ่มขึ้น

3. สมบัติพอลิอิเล็กโทรไลต์ (polyelectrolyte properties)

ไคโตซานเป็นสายพอลิเมอร์ของแอนไฮโดรกลูโคซามีน (Anhydroglucosamine) และเป็นสายพอลิอิเล็กโทรไลต์ที่สภาวะเป็นกรด มีค่า pH เท่ากับ 6.5 ไคโตซานในสารละลายมีประจุเป็นบวก (positive charge) เนื่องจากไคโตซานเป็นพอลิเมอร์จึงมีความหนาแน่นของประจุบวกสูง ซึ่งในอุตสาหกรรมปัจจุบันพวกไฮโดรคอลลอยด์ (hydrocolloids) โมเลกุลสูง หรือพวกพอลิแซคคาไรด์ส่วนใหญ่จะไม่มีประจุเป็นลบ (polyanionic) แต่ไคโตซานเป็นหนึ่งในพวกสารพอลิอิเล็กโทรไลต์ที่มีประจุบวก (cationic polyelectrolyte) จึงมีศักยภาพในการนำไปใช้ได้มากกว่า ประจุบวกของไคโตซานจึงจับอย่างแน่นกับผิวของจุลินทรีย์ ทำให้เกิดความเป็นกลาง ดังนั้นการจับของไคโตซานกับเซลล์จึงมีชีวิตเป็นสมบัติที่สำคัญมากในการนำไปใช้ในด้านการแพทย์ (Hon, 1996)

4. น้ำหนักโมเลกุล (molecular weight)

ความยาวของสายโซ่โมเลกุลมีความสำคัญในการพิจารณาสมบัติของพอลิเมอร์ พอลิเมอร์ทั่วไปมีขนาดใหญ่แต่ไม่จำเป็นต้องมีความยาวเท่ากัน การนำไคโตซานไปใช้ประโยชน์ต่าง ๆ มีความสัมพันธ์กับน้ำหนักโมเลกุล ระดับการกำจัดหมู่อะซิทิล ซึ่งมีผลต่อการทำงาน และสมบัติทางเคมี เมื่อใช้ไคโตซานในการผลิตฟิล์ม การผลิตเมมเบรน และเส้นใยต่าง ๆ น้ำหนักโมเลกุลสามารถวิเคราะห์ได้ทั้งทางตรงและทางอ้อม ซึ่งน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยของไคตินคือ 1.03×10^6 ถึง 2.5×10^6 คอลตัน และน้ำหนักโมเลกุลของคาร์บอกซีเมทิลไคติน (carboxymethyl chitin) ประมาณ 1.33×10^6 คอลตัน (Muzzarelli, 1977) โดยทั่วไปน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยโดยน้ำหนักของไคโตซานที่มีร้อยละการกำจัดหมู่อะซิทิลสูงที่สุดที่ได้จากกุ้งมีค่าประมาณ 440,000-500,000 กรัม/โมล และของปู มีค่าประมาณ 500,000-850,000 กรัม/โมล (เขาวภา ไหวพริบ, 2534)

5. ระดับการกำจัดหมู่อะซิทิล (degree of deacetylation)

การใช้ประโยชน์จากไคโตซานมีสิ่งที่จะต้องคำนึงถึง คือ ระดับการกำจัดหมู่อะซิทิล ซึ่งเป็นตัวบ่งชี้ถึงคุณภาพของไคโตซาน ดังนั้นจึงมีการวัดระดับอะซิทิลของไคโตซานเพื่อพิจารณาถึงการใช้งาน ซึ่งการวิเคราะห์ มีหลายวิธี ได้แก่ อินฟราเรดสเปกโตรสโกปี (Infrared spectroscopy; IR) เซอคิวลาร์ไดโครลิสม์ (Circular dichroism; CD) การวิเคราะห์ธาตุ (Elemental analysis; EA) การไตเตรต (Titration) และอัตราไวโอเลตสเปกโตรสโกปี (First derivation ultraviolet spectroscopy) การศึกษาแบบ IR จะทำการวิเคราะห์ได้ยาก และผลที่ได้มีแนวโน้มที่คลาดเคลื่อน การศึกษาแบบ CD มีข้อจำกัดในการละลายของผลิตภัณฑ์ ดังนั้นจึงไม่สามารถวิเคราะห์พวกที่ไม่ละลาย และพวก Highly acetylated polymeric compound ได้ วิธีการไตเตรตมีความยุ่งยากและใช้เวลานาน และผลที่ได้จากการวิเคราะห์โดย EA ไม่มีความแตกต่างกันทางนัยสำคัญ โดยเฉพาะถ้ามีการปนเปื้อนของผลิตภัณฑ์ข้างเคียง แต่วิธีนี้ใช้ในการหาไคโตซานซึ่งเป็นพอลิเมอร์ร่วมของกลูโคซามีน ส่วนการตรวจสอบพวกกลุ่มอะมิโนอิสระโดยการใช้ฟลูออเรสเซนซ์ (fluorescence) มีการตอบสนองเมื่อมีการเพิ่มความเข้มข้นของกลูโคซามีนแบบไม่เป็นเส้นตรง และการวัดตัวอย่างอาจมีการเงาขึ้นอยู่กับค่าที่ต้องการวัด (Miyoshi และคณะ, 1992)

2.1.4 การประยุกต์ใช้ไคโตซาน

ไคโตซานเป็นสารที่มีลักษณะเป็นเอกลักษณ์ที่โดดเด่นเฉพาะตัว และยังสามารถขึ้นรูปได้หลายแบบ ปัจจุบันได้มีการค้นคว้าและนำไคโตซานไปใช้ประโยชน์กันอย่างแพร่หลาย เช่น ด้านสิ่งทอและกระดาษ ด้านการบำบัดน้ำเสีย ด้านการเกษตร ด้านการแพทย์ ด้านอาหารและยา ด้านเครื่องสำอางค์ และด้านเทคโนโลยีชีวภาพ เป็นต้น

2.2 สีข้อมและการจำแนกสีข้อม

2.2.1 การเกิดสีข้อม

สีที่ปรากฏออกมาทำให้สายตาคนปกติมองเห็นได้นั้นเกิดมาจากการจัดเรียงตัวของกลุ่มอะตอมภายในโมเลกุลของสีข้อม กลุ่มอะตอมเหล่านี้เรียกว่าโครโมฟอร์ (chromophore) (มนตรี รัตนวิจิตร และคณะ, 2541) ซึ่งได้แก่

- กลุ่มไนโตร (Nitro group: $-NO_2$)
- กลุ่มเอโซ (Azo group: $=N=N-$)

- กลุ่มคาร์บอนิล (Carbonyl: C=O)
- อนุพันธ์แอมโมเนียม (Alkyl ammonium derivatives: RNH_3^+)

กลุ่มอะตอมต่างๆ เหล่านี้เป็นตัวไปเพิ่มสีให้แก่สารประกอบอะโรมาติก (aromatic compound) โดยดูดกลืนแสงสีขาวยาวบางแถบแสง และปล่อยออกมาบางแสง ทำให้มนุษย์มองเห็นสีของมีโทนสีที่แตกต่างกันออกไป

สี้อมโดยทั่วไปนอกจากมีกลุ่มอะตอมโครโมฟอร์แล้ว ยังมีกลุ่มอะตอมอีกกลุ่มหนึ่ง ได้แก่ อะตอมออกโซโครม (Auxochrome) ได้แก่ $-\text{OH}_2$ $-\text{NH}_2$ $-\text{NHR}$ $-\text{NR}_2$ $-\text{SO}_3$ และ $-\text{COOH}$ เพื่อทำให้สี้อมยึดติดกับเส้นใยได้ โมเลกุลสีที่ขาดกลุ่มอะตอมออกโซโครม จะขาดสมบัติในการยึดกับเส้นใย โมเลกุลดังกล่าวนี้เรียกว่าโครโมเจน (Chromogen) กลุ่มอะตอมโครโมฟอร์ออกโซโครมและโครมาเจนนี้เป็นส่วนสำคัญในการจำแนกกลุ่มของสี้อมตามโครงสร้างทางเคมี

2.2.2 การจำแนกสี้อม

การจำแนกสี้อมอาจพิจารณาจากลักษณะทางกายภาพ ซึ่งแบ่งได้เป็น 2 ชนิด คือ ชนิดที่ละลายน้ำเรียกว่า สี้อม (dye) และชนิดที่ไม่ละลายน้ำเรียกว่า สารสี (pigment) เมื่อนำไปใช้จำเป็นต้องหาตัวทำละลายน้ำ ซึ่งเมื่อละลายน้ำแล้วมีสมบัติเหมือนกับสี้อม สามารถดูดซึมเข้าไปในเส้นใยได้ ทำให้การจำแนกกลุ่มสีแบบนี้ค่อนข้างสับสน

การจำแนกสี้อมอีกวิธีหนึ่งคือ การจำแนกตามส่วนประกอบทางเคมี ซึ่งมีความยุ่งยากมากสำหรับผู้ที่ไม่มีความรู้ทางด้านเคมี นอกจากนี้วิธีการจำแนกสีประเภทนี้ไม่เป็นที่นิยมมากนัก เนื่องจากสี้อมบางชนิดมีโครงสร้างที่ยังไม่ชัดเจนทำให้การจำแนกสีวิธีนี้ยังมีข้อจำกัด แต่อย่างไรก็ตามการจำแนกสีโดยใช้สูตรโครงสร้างทางเคมีนี้เป็นประโยชน์อย่างมากสำหรับผู้มีความรู้ทางด้านเคมี และสำหรับสี้อมที่ทราบสูตรโครงสร้างทางเคมีอย่างแน่นอน

การจำแนกสี้อมที่นิยมใช้มากที่สุด คือ การจำแนกสี้อมตามการนำไปใช้งานซึ่งเป็นวิธีที่ยอมรับกันทั้งผู้ใช้และอุตสาหกรรม สี้อมแต่ละชนิดมีความเหมาะสมกับเส้นใยแต่ละชนิดแตกต่างกัน

ตารางที่ 2.1 การจำแนกสีย้อมตามลักษณะการใช้งาน (Buckley, 1992; อ้างถึงในอภิชาติ หิรัญจิตต์, 2539)

ประเภทสีย้อม	สมบัติทางกายภาพและเคมี	เส้นใยที่เหมาะสมกับสีย้อม	พันธะและกลไกการติดสี	วิธีใช้ทั่วไป
สีย้อมแอซิด (acid dye)	-ประจุลบ -ละลายน้ำดี -สีติดไม่แน่น	-ไนลอน -ขนสัตว์	-พันธะไอออนิก	-แช่เส้นใยในสารละลายที่มี pH 3-5 -เส้นใยมีประจุบวกติดกับสีย้อมที่มีประจุลบที่อุณหภูมิ 50-110°C
สีเมทัลคอมเพล็กซ์ (metal complex dye)	-ประจุลบ -ละลายน้ำน้อย -สีติดแน่นดี	-ไนลอน -ขนสัตว์	-พันธะไอออนิก	-แช่เส้นใยในสารละลายที่มี pH 5-7 -เส้นใยมีประจุบวกติดกับสีย้อมที่มีประจุลบที่อุณหภูมิ 50-110°C
สีย้อมเบสิก (basic dye)	-ประจุบวก -ละลายน้ำดี	-อะคริลิก	-พันธะไอออนิก	-แช่เส้นใยในสารละลายที่มี pH 4-6 -เดิมสีย้อมแล้วเพิ่มอุณหภูมิให้ได้ 100-105 °C
สีย้อมดิสเพิร์ส (disperse dye)	-ไม่ละลายน้ำหรือละลายน้ำได้น้อยมาก -กระจายอยู่ในน้ำเป็นอนุภาคคอลลอยด์ -สีติดแน่นดี	-อะคริลิก -พอลิเอสเตอร์ -ไนลอน -เซลลูโลสเอซีเทด	-คอลลอยด์ของสีย้อมคูดติดผิวกับเส้นใย	-แช่เส้นใยในสารละลายที่มี pH 4.5 -เดิมสีย้อมแล้วเพิ่มอุณหภูมิให้ได้ 130°C
สีย้อมรีแอกทีฟ (reactive dye)	-ประจุลบ -ละลายน้ำดี -สีติดแน่นดี	-ฝ้าย -วิสคอส -ขนสัตว์	พันธะโควาเลนต์	-แช่เส้นใยในสารละลายที่มี pH เป็นกลาง -เดิมเกลือเพื่อกระจายสีสู่เส้นใย -เดิมค่า pH เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาระหว่างเส้นใยกับสีย้อม
สีย้อมซัลเฟอร์ (sulphur dye) และสีย้อมแวต (vat dye)	-เป็นคอลลอยด์หลังจากเกิดปฏิกิริยาในน้ำ -ไม่ละลาย -สีติดแน่น	-ฝ้าย -วิสคอส	-ปฏิกิริยาคกตะกอนผลึกภายในเส้นใย	-ละลายสีย้อมในสารละลายต่างที่มีโซเดียมซัลไฟด์ -สีย้อมจะแพร่กระจายไปสู่เส้นใยด้วยอิเล็กโทรไลต์
สีย้อมไดเรกต์ (direct dye)	-ประจุลบ -ละลายน้ำดี -สีติดไม่แน่น	-ฝ้าย -วิสคอส	-พันธะไอออนิก	-แช่เส้นใยในสารละลายต่างอ่อน -เดิมอิเล็กโทรไลต์ โซเดียมคลอไรด์ โซเดียมซัลเฟต และสีย้อมที่อุณหภูมิ 98°C
สีย้อมแอโซอิก (azoic dye)	-เป็นคอลลอยด์หลักจากเกิดปฏิกิริยาในน้ำ -ไม่ละลายน้ำ -สีติดแน่น	-ฝ้าย -วิสคอส	-ปฏิกิริยาคกตะกอนผลึกภายในเส้นใย	-ละลายสีย้อมในสารละลายต่างที่มีโซเดียมซัลไฟด์ -สีย้อมจะแพร่กระจายไปสู่เส้นใยอิเล็กโทรไลต์ -ต้มเพื่อให้เกิดตะกอนผลึก
สีย้อมมอร์แดนต์หรือโครม (mordant or chome dye)	-ประจุลบ -ละลายน้ำได้ -สีติดแน่นได้	-ขนสัตว์	-พันธะเชิงซ้อนของเส้นใยโครมและสีย้อม	-แช่เส้นใยสารละลายกรด -เดิมโซเดียมไดโครเมตและสีย้อม -เพิ่มอุณหภูมิถึง 98°C

2.3 แหล่งที่มาของน้ำเสียและสิ่งสกปรกจากอุตสาหกรรมฟอกย้อม

2.3.1 แหล่งที่มาของน้ำเสีย

น้ำเสียจากอุตสาหกรรมฟอกย้อมมาจากแหล่งต่าง ๆ ที่สำคัญ (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2542) คือ

1. น้ำที่ใช้ในกระบวนการผลิต ได้แก่ น้ำที่ใช้ในการดำเนินการฟอกย้อม น้ำที่ใช้ส่วนนี้อาจมีการระเหยไปบ้างในระหว่างขั้นตอนการผลิต แต่ส่วนใหญ่ถูกปล่อยออกมาเป็นน้ำเสียภายหลังการผลิต น้ำที่ใช้ในกระบวนการผลิตนี้แบ่งได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ คือ

- น้ำที่ใช้ในขั้นตอนการฟอกย้อม น้ำในส่วนนี้มีปริมาณไม่มากนัก แต่มีความเข้มข้นของสิ่งสกปรกเจือปนค่อนข้างสูง

- น้ำที่ใช้ในการซักล้างภายหลังการฟอกย้อม น้ำในส่วนนี้มีปริมาณมาก แต่มีความเข้มข้นของสิ่งสกปรกโดยรวมต่ำกว่าน้ำเสียในประเภทแรก

2. น้ำที่ใช้หม้อไอน้ำ ในกระบวนการฟอกย้อม มักมีการอาศัยไอน้ำเป็นตัวให้ความร้อนแก่น้ำที่ใช้ในกระบวนการและเป็นตัวให้ความร้อนในตู้อบไอน้ำ ถ้าไอน้ำที่ถูกปล่อยให้เย็นลงและกลั่นตัวในท่อไอน้ำ น้ำสะอาดที่ได้สามารถนำกลับไปใช้ใหม่แต่ถ้าไอน้ำถูกส่งเข้าไปให้ความร้อนแก่สารละลายสีย้อมจะถูกรวมเป็นน้ำเสีย

3. น้ำที่ใช้ในการหล่อเย็น ในกระบวนการฟอกย้อมโรงงานจำเป็นต้องลดอุณหภูมิของสารละลายสีย้อมลงในเวลาอันสั้น ซึ่งทำได้โดยการใช้น้ำหล่อเย็น น้ำหล่อเย็นนี้ส่วนใหญ่เป็นน้ำสะอาดสามารถนำกลับไปใช้ใหม่ได้

4. น้ำที่ใช้ในการล้างเครื่องจักรและทำความสะอาดโรงงาน น้ำส่วนนี้เป็นส่วนประกอบที่สำคัญส่วนหนึ่งของน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมฟอกย้อม และในบางกรณีเป็นน้ำเสียที่มีความสกปรกสูง เช่น น้ำล้างถังเตรียมสีย้อม เป็นต้น

2.3.2 ประเภทของสิ่งสกปรกเจือปนในน้ำเสีย

สิ่งสกปรกที่เจือปนในน้ำเสียจากกระบวนการฟอกย้อม จำแนกเป็นประเภทต่างๆ ดังนี้

1. สีย้อม การย้อมเส้นใยมีการดูดซึมสีย้อมจากสารละลายสีย้อมเพียงบางส่วนเท่านั้น สีย้อมที่เหลือคงอยู่ในสารละลายที่ย้อมและถูกปล่อยออกมากับน้ำเสียในที่สุด ปริมาณสีย้อมที่ยังคงเหลืออยู่ในสารละลายสีย้อมแตกต่างกันไปตั้งแต่ร้อยละ 5-50 ขึ้นอยู่กับประเภทของสีที่ใช้

2. สารเคมีที่ใช้ในกระบวนการฟอกย้อมและการตกแต่งสำเร็จแบ่งออกเป็น 3 กลุ่มดังนี้

- สารช่วยย้อม (auxiliaries chemicals) ได้แก่ สารช่วยเปียก (wetting agent) และสารช่วยการกระจายตัวของสี (leveling agent)

- สารเคมีพื้นฐาน (basic chemicals) เป็นสารเคมีที่ใช้ในกระบวนการฟอกย้อมโดยตรง ได้แก่ กรด ต่าง บัฟเฟอร์ เกลือ สารฟอกขาว และสารลอกแป้ง เป็นต้น

- สารเคมีที่ตกแต่งสำเร็จ ได้แก่ สารสะท้อนน้ำ สารกันเชื้อรา สารกันไฟ สารกันยับ เป็นต้น

3. สิ่งสกปรกเจือปนในเส้นใย โดยทั่วไปเส้นใยธรรมชาติมีสิ่งสกปรกเจือปนสูงกว่าเส้นใยสังเคราะห์ สิ่งสกปรกเจือปนประกอบด้วย สารจีฟี่ง ไขมัน โปรตีน ตลอดจนสารประกอบโลหะต่างๆ นอกจากนี้ ในกระบวนการผลิตมีการเติมสารเคมีต่างๆ ลงไปในเส้นใยด้วย เช่น การหล่อลื่น และแป้งที่ใช้ในการลงแป้งเส้นด้ายยืน เป็นต้น สิ่งสกปรกเจือปนเหล่านี้ถูกกำจัดออกจากเส้นใยในขั้นตอนการเตรียมผ้าก่อนการฟอกย้อม และหลุดติดมาในน้ำเสียจากขั้นตอนการเตรียมผ้า

2.4 ลักษณะน้ำเสียของโรงงานฟอกย้อม

น้ำเสียของโรงงานฟอกย้อมมีลักษณะที่สำคัญ (ชนิตา เสมรัตน์, 2543) ดังต่อไปนี้

1. มีปริมาณสารอินทรีย์สูง คือ มีค่าบีโอดีประมาณ 100-1000 มิลลิกรัม/ลิตร และค่าซีโอดีประมาณ 500-1200 มิลลิกรัม/ลิตร ซึ่งปริมาณอินทรีย์ที่ได้จากกระบวนการย้อม ได้แก่ แป้ง สีย้อม กรดแอซิดิก เส้นใย สบู่ ไขมัน ตัวทำละลายต่างๆ เป็นต้น

2. มีค่า pH และค่าความเป็นด่าง (alkalinity) สูงคือ ค่า pH ประมาณ 9-12 และค่าความเป็นด่างประมาณ 300-900 ส่วนในล้านส่วน (ppm) ซึ่งเกิดจากโซเดียมไฮดรอกไซด์และโซเดียมคาร์บอเนต เป็นต้น

3. มีความเข้มข้นของสีสูงและอุณหภูมิสูงประมาณ 50 องศาเซลเซียส

4. มีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำ (dissolved solids) สูง ซึ่งเกิดจากเกลือโซเดียม และกรดต่างๆ

5. มีโลหะหนักเจือปน โดยโลหะหนักเหล่านี้จากสีย้อมผ้า เช่น ทองแดง (Cu) ตะกั่ว (Pb) โครเมียม (Cr) และสังกะสี (Zn) เป็นต้น

6. มีปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (total suspended solids) สูง ซึ่งมีผลทำให้ค่าบีโอดี และซีโอดีสูงด้วย

2.5 ผลกระทบของน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อมที่มีต่อสิ่งแวดล้อม

1. สารอินทรีย์ ทำให้ปริมาณออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำ (DO) ลดลง (ชนิตา เสมรัตน์, 2543) ซึ่งมีผลทำให้สิ่งมีชีวิตในน้ำตายเนื่องจากขาดออกซิเจน ทำให้แหล่งน้ำไม่สามารถบำบัดตัวเองได้ทำให้เกิดกลิ่นเหม็นจากการเกิดปฏิกิริยาไม่ใช้ออกซิเจน ทำให้ไม่สามารถใช้ประโยชน์จากแหล่งน้ำนั้นสารอินทรีย์บางชนิดเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิต มีผลทำให้เกิดอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ และอาจเป็นอันตรายต่อมนุษย์ได้ในบางกรณีที่ได้รับสาร โดยตรงจากการบริโภคสัตว์ นอกจากนี้สารพิษยังอาจสะสมอยู่ในระบบนิเวศในกรณีที่สารสลายตัวได้ยาก

2. ค่าความเป็นกรดด่าง ทำให้น้ำเสียที่มีค่า pH สูง เมื่อปล่อยลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ โดยตรงแล้ว เป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ เพราะโดยทั่วไปสิ่งมีชีวิตจะดำรงชีพอยู่ได้ในสภาวะที่เป็นกลาง คือในช่วง pH 6-9

3. อุณหภูมิของน้ำเสียที่สูง เป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ ทำให้ปริมาณออกซิเจนลดลง

4. ของแข็งที่ละลายน้ำ (dissolved solids) อาจทำให้สัตว์น้ำเกิดโรคร้ายแรงได้ และทำให้ไม่สามารถใช้น้ำให้เกิดประโยชน์ได้

5. สี (color) ทำให้เกิดทัศนียภาพที่ไม่น่ามองของแหล่งน้ำ และทำให้ปริมาณแสงที่ส่องผ่านลงสู่แหล่งน้ำลดลง ส่งผลให้พืชน้ำไม่สามารถสังเคราะห์แสงได้ ทำให้ปริมาณออกซิเจนในน้ำลดลง

6. โลหะหนัก (heavy metal) ทำให้เกิดโรคร้ายแรงในสัตว์น้ำและยังสะสมอยู่ในระบบนิเวศ ทำให้เป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตต่างๆ รวมทั้งมนุษย์ด้วย

7. ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (total suspended solid) ทำให้สารอินทรีย์ในแหล่งน้ำเพิ่มขึ้น เมื่อตกตะกอนลงทำให้แหล่งน้ำตื้นเขิน ส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศสัตว์น้ำและทำลายทัศนียภาพของแหล่งน้ำ

2.6 การบำบัดน้ำเสียโรงงานฟอกย้อม

การบำบัดน้ำเสียเป็นวิธีการลดปริมาณสารมลพิษที่ละลายหรือกระจายตัวอยู่ในน้ำเสีย โดยการแยกหรือทำให้เกิดการสลายตัว ในการเลือกวิธีการบำบัดน้ำเสียที่เหมาะสมจำเป็นต้องทราบถึงลักษณะสมบัติและองค์ประกอบของสารมลพิษที่ถูกทิ้งออกจากโรงงานอุตสาหกรรม (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2542) การบำบัดน้ำเสียในโรงงานฟอกย้อมโดยทั่วไป มีระบบบำบัด 2 ขั้นตอน ได้แก่

2.6.1 การบำบัดน้ำเสียขั้นต้น (primary treatment)

การบำบัดน้ำเสียขั้นต้น เป็นการแยกเอาตะกอนแขวนลอยที่มีขนาดใหญ่ออกจากน้ำเสีย เช่น เศษผ้าและเศษเส้นด้าย นอกจากนั้นยังเป็นการปรับปรุงคุณภาพน้ำให้เหมาะสมก่อนเข้าสู่ระบบทศวิทยุต่อไป ขั้นตอนการบำบัดน้ำเสียขั้นต้นในอุตสาหกรรมฟอกย้อม ได้แก่

1. การกำจัดของแข็งแขวนลอยด้วยตะแกรง

ตะกอนแขวนลอยขนาดใหญ่ เช่น เศษผ้า เศษเส้นด้ายและเส้นใยต่างๆ การกำจัดของแข็งแขวนลอยเหล่านี้ส่วนใหญ่ใช้ตะแกรง (screen) ซึ่งมีอยู่ 2 แบบคือ ตะแกรงหยาบ และตะแกรงละเอียด

2. การปรับสภาพสมดุล

โรงงานฟอกย้อมมีขั้นตอนการผลิตต่างๆ ซึ่งน้ำเสียที่ออกมาจากแต่ละกระบวนการมีลักษณะสมบัติที่แตกต่างกัน โดยทั่วไประบบบำบัดน้ำเสียทำงานได้ดีในสภาวะที่มีอัตราการไหลและความเข้มข้นของน้ำเสียสม่ำเสมอ เพราะฉะนั้นการปรับสภาพสมดุลเป็นขั้นตอนที่จำเป็น เพื่อให้อัตราการไหลและความเข้มข้นของน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบสม่ำเสมอ นอกจากนี้ถึงปรับสภาพที่ใช้ใน โรงงานฟอกย้อมทำหน้าที่ลดอุณหภูมิของน้ำเสียเพราะน้ำเสียที่เกิดจากกระบวนการฟอกย้อม ส่วนใหญ่มีอุณหภูมิมากกว่า 40 องศาเซลเซียส ทำให้ระบบทศวิทยุที่เป็นระบบทางชีววิทยาทำงานได้ลดลง

3. การปรับสภาพความเป็นกรดด่าง (pH)

ค่าความเป็นกรดหรือด่าง มีผลต่อการบำบัดน้ำเสีย ในระบบชีวภาพดังนั้นจึงจำเป็นต้องปรับความเป็นกรดด่างของน้ำเสียให้มีสภาวะเป็นกลาง ซึ่งมีความเหมาะสมในการบำบัดทางชีวภาพ โดยน้ำเสียจากการฟอกย้อมถูกส่งไปยังถังปรับ pH ซึ่งมีสารเคมีจำพวก กรดหรือด่างทำหน้าที่ปรับ pH ของน้ำเสียให้เป็นกลาง

2.6.2 การบำบัดขั้นทศวิทยุ (secondary treatment)

ระบบบำบัดขั้นทศวิทยุเป็นระบบบำบัดที่ใช้กำจัดสารอินทรีย์ และตะกอนแขวนลอยออกจากน้ำเสีย โดยมากเป็นระบบบำบัดน้ำเสียที่ใช้กระบวนการทางชีวภาพ หรือเป็นระบบบำบัดทางเคมีแล้วตามด้วยระบบบำบัดทางชีวภาพ สำหรับระบบบำบัดที่เหมาะสมและนิยมใช้กันมาก ได้แก่ ระบบบ่อปรับเสถียร ระบบสระเติมอากาศและระบบเอส

- ระบบบ่อปรับเสถียร (stabilization pond) เป็นบ่อบำบัดน้ำเสียแบบอาศัยธรรมชาติ โดยใช้จุลินทรีย์ย่อยสลายสารอินทรีย์ เกิดเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ แก๊สมีเทน จุลินทรีย์ในบ่อจะมีทั้งจุลินทรีย์ที่ใช้ออกซิเจนและจุลินทรีย์ที่ไม่ใช้ออกซิเจน

- ระบบสระเติมอากาศ (aeration lagoon) เป็นระบบบำบัดน้ำเสียที่จุลินทรีย์ในสระเติมอากาศใช้ออกซิเจนจากเครื่องเติมอากาศชนิดจักรกล แตกต่างจากบ่อปรับเสถียรชนิดบ่อมีออกซิเจนที่ใช้ออกซิเจนจากการสังเคราะห์แสงของสาหร่ายเป็นหลัก

- ระบบเอเอส (activated sludge) กระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วโดยอาศัยจุลินทรีย์จำนวนมากที่แขวนลอยอยู่ในถังอากาศ และต้องควบคุมความเข้มข้นของจุลินทรีย์ให้อยู่ในระดับที่เหมาะสม โดยการย้อนกลับ ตะกอนจุลินทรีย์บางส่วนที่ตกตะกอนในถังตกตะกอนกลับเข้าสู่ถังเติมอากาศซึ่งแตกต่างจากระบบสระเติมอากาศที่ไม่มีการย้อนตะกอนจุลินทรีย์กลับ ตะกอนจุลินทรีย์ส่วนเกินที่เกิดขึ้นถูกนำไปกำจัด เช่น ผ่านการย่อยสลายหรือนำไปตากแห้ง น้ำใสส่วนบนที่ไหลล้นออกจากถังตกตะกอนซึ่งได้มาตรฐาน สามารถระบายลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติได้

ถึงแม้ว่าระบบบำบัดน้ำเสียที่กล่าวข้างต้นสามารถลดสารอินทรีย์ได้ แต่ไม่สามารถกำจัดสีขุ่นในน้ำได้หมด ดังนั้นจึงจำเป็นต้องหาวิธีการอื่นๆมาใช้ในการกำจัดสีขุ่นได้แก่

การตกตะกอนด้วยสารเคมี (chemical coagulation) ประกอบด้วย 2 ขั้นตอนใหญ่ๆ คือ ขั้นตอนเติมสารก่อการจับก้อนเคมี (coagulant) เช่น สารส้ม ปูนขาว เหล็กของเหล็ก สารพอลิอิเล็กโทรไลต์ เป็นต้น ผสมในน้ำเสีย ขั้นตอนที่ 2 การกวนอย่างช้าๆ เพื่อให้เกิดสภาพรวมตะกอน (flocculation) ซึ่งได้มีการเกาะกันระหว่างตะกอนเล็กๆ กับสารสร้างตะกอนจนได้ตะกอนที่มีขนาดใหญ่ขึ้นจนสามารถตกตะกอนได้

คลอรีเนชัน (chlorination) เป็นวิธีการกำจัดสีโดยใช้คลอรีนเป็นสารออกซิไดซ์ (oxidizing agent) ซึ่งมีอำนาจออกซิไดซ์สูงไปทำปฏิกิริยากับสีที่อยู่ในน้ำทิ้ง ทำให้สีหายไปหรือลดปริมาณสีลง ปริมาณสีที่ลดลงขึ้นอยู่กับปริมาณและความเข้มข้นของคลอรีนที่ใช้ โดยคลอรีนที่ใช้อยู่ในรูปของแก๊สคลอรีน สารประกอบไฮโปคลอไรต์และคลอรีนไดออกไซด์

โอโซนเนชัน (ozonation) เป็นการกำจัดสีในน้ำเสียโดยใช้โอโซน (O_3) เป็นสารออกซิไดซ์ ไปทำปฏิกิริยากับสีที่อยู่ในน้ำทิ้งเช่นเดียวกับการใช้คลอรีน แต่โอโซนมีความสามารถในการออกซิไดซ์สูงกว่าคลอรีนเกือบ 1 เท่า การผลิตโอโซนกระทำผ่านอากาศแห้งและออกซิเจนบริสุทธิ์ไประหว่างขั้วไฟฟ้า 2 ขั้ว ที่มีความต่างศักย์ ประมาณ 15,000-20,000 โวลต์ อะตอมของออกซิเจนถูกบังคับให้ถูกจับตัวกันใหม่กลายเป็นโอโซน อากาศแห้ง 1 ลูกบาศก์เมตรสามารถผลิตโอโซนได้ไม่เกิน 30 กรัมหรือเท่ากับร้อยละ 1.4 โดยปริมาตร ถ้าใช้ออกซิเจนบริสุทธิ์แทนอากาศแห้งอาจได้โอโซนเพิ่มเป็น 60-90 กรัม/ลูกบาศก์เมตร โอโซนสามารถทำให้เป็นของเหลวได้แต่นิยมใช้ในรูปแก๊สมากกว่า โอโซนเป็นแก๊สพิษที่ก่อให้เกิดความระคายเคืองอย่างรุนแรง

การใช้เมมเบรน (membrane technology) เทคโนโลยีของการใช้เมมเบรนประกอบด้วยวิธีอัลตราฟิลเตรชัน และกระบวนการออสโมซิสผันกลับวิธีอัลตราฟิลเตรชัน มีหลักการการทำงานของระบบ คือใช้เมมเบรนแบบรูพรุน พวกเซลลูโลสแอซิเตด หรือพอลิเมอร์สังเคราะห์ต่างๆ และอัดน้ำเข้าไปด้วยแรงดันไม่เกิน 1,034 กิโลนิวตัน/ตารางเมตร เมมเบรนทำหน้าที่แยกสารปนเปื้อนทั้งแบบละลายน้ำและตะกอนเล็กที่มีขนาดตั้งแต่ 2×10^{-6} ถึง 1×10^{-2} มิลลิเมตร ได้สำหรับกระบวนการออสโมซิสผันกลับ สามารถแยกสารปนเปื้อนที่มีขนาดตั้งแต่ 4×10^{-7} ถึง 6×10^{-5} มิลลิเมตร ซึ่งมีขนาดเล็กกว่าวิธีอัลตราฟิลเตรชัน นิยมใช้ในการแยกเกลือที่ละลายน้ำได้กรองผ่านเมมเบรนเลือกผ่าน (semi permeable membrane) เมมเบรนที่นิยมใช้กันมากได้แก่ เซลลูโลสแอซิเตด และไนลอน วิธีที่นำมาใช้ปัจจุบัน ได้แก่วิธีอัลตราฟิลเตรชัน ซึ่งเป็นเทคโนโลยีในการนำวัสดุกลับมาใหม่

ไฟฟ้าเคมี (electrochemical) เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพดีวิธีหนึ่ง แต่ใช้กันน้อยมากในการบำบัดเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมฟอกย้อม การบำบัดด้วยวิธีนี้มักถูกใช้เพื่อกำจัดโลหะหนักจากน้ำเสียอุตสาหกรรม ต่อมาได้มีการปรับปรุงเพื่อนำมากำจัด บีโอดี ซีโอดี สารแขวนลอย และสีในน้ำเสีย

การดูดซับ (adsorption) เป็นความสามารถของสารบางชนิดในการดึงโมเลกุลหรือคอลลอยด์ ซึ่งอยู่ในของเหลวหรือแก๊สให้มาเกาะจับและติดบนผิวโมเลกุลหรือคอลลอยด์ เรียกว่าตัวถูกดูดซับ (adsorbate) ส่วนของแข็งที่มีผิวเป็นที่เกาะจับเรียกว่า ตัวดูดซับ (adsorbent) การเกาะจับโมเลกุลบนผิวของสาร อาจเกิดขึ้นด้วยแรงกายภาพ เช่น แรงแวนเดอร์วาล (Van der waals) หรือด้วยแรงทางเคมีหรือทั้งสองอย่างรวมกัน สารดูดซับ มีหลายชนิด อาจแบ่งได้เป็น 3 ประเภทดังนี้

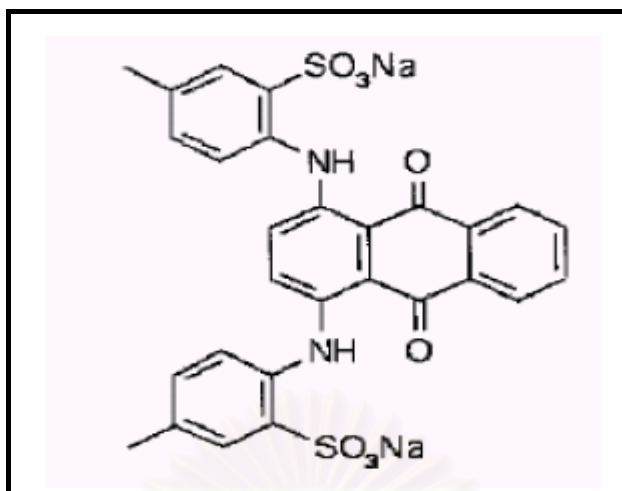
1. ประเภทสารอินทรีย์ เช่นดินเหนียวชนิดต่างๆ แมกนีเซียมออกไซด์ ถ่านกระดูก (bone char) ซิลิกาแกมมันต์ (activated silica) ฯลฯ สารเหล่านี้มีพื้นที่ผิว 50-200 ตารางเมตร/กรัม
2. ถ่านกัมมันต์ (activated carbon) มีพื้นที่ผิวมากกว่าสารอินทรีย์อื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญคือ 600-1,000 ตารางเมตร/กรัม จึงจัดแยกไว้จากสารอินทรีย์ชนิดอื่นๆ
3. สารอินทรีย์สังเคราะห์ เช่น เรซินแลกเปลี่ยนประจุ มีพื้นที่ผิว 300-500 ตารางเมตร/กรัม โดยทั่วไปกระบวนการดูดซับในกระบวนการกำจัดสีและกลิ่นในน้ำประปาและกระบวนการกำจัดสีในน้ำเสียนิยมใช้คาร์บอนกัมมันต์ ซึ่งมีพื้นที่ผิวจำเพาะสูงทำให้มีความสามารถในการดูดซับสูงตามไปด้วย

2.7 จุลินทรีย์ที่สามารถบำบัดสีย้อม

การบำบัดสีย้อมในน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อมโดยวิธีทางชีวภาพ โดยจุลินทรีย์ที่ใช้ได้แก่ เชื้อรา แบคทีเรีย และสาหร่าย ดังเช่นศึกษาของ Hardin และคณะ, (2000) ศึกษาการกำจัดสีย้อมในน้ำทิ้งจากโรงงานสิ่งทอโดยการใช้เชื้อรา แบ่งการศึกษาเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกเป็นการทดลองเบื้องต้นเพื่อหาเชื้อราที่สามารถใช้ในการกำจัดสีย้อมในน้ำทิ้ง ส่วนที่ 2 เป็นการทดลองศึกษาประสิทธิภาพของเชื้อราเหล่านั้นในการกำจัดสีย้อม โดยใช้สปีชีส์ต่างๆ เชื้อราที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้คือ *Phanerochaete chrysosporium*, *Trametes versicolor*, *Pycnoporus cinnabarinus*, *Phellinus oxtosporum*, *Cyathus stercoreus* และ *Pleurotus ostreatus* ผลการทดลองพบว่าเชื้อราสามารถเจริญเติบโตได้ดีในงานเลี้ยงเชื้อและการกำจัดสีเกิดขึ้นอย่างช้าๆ แต่เมื่อสารอาหารในอาหารเลี้ยงเชื้อหมดลง เชื้อราจะใช้สีย้อมเป็นอาหารแทน ดังนั้นสีย้อมจึงถูกย่อยสลายจนหมด งานวิจัยของ Chen และคณะ (2003) ทำการคัดเลือกแบคทีเรีย 6 สายพันธุ์จากตะกอนและโคลนจากทะเลสาบ ซึ่งแบคทีเรียเหล่านี้สามารถย่อยสลายสีย้อมได้และพบว่า *Aeromonas hydrophila* สามารถกำจัดสีได้สูงสุดโดยเจริญใน Aerobic หรือ Agitation culture และประสิทธิภาพการกำจัดสีเกิดขึ้นสูงสุดใน Anoxic หรือ Anaerobic culture ภายในระยะเวลา 8 วัน สามารถลดสี Red RBN ได้มากกว่าร้อยละ 90 เมื่อความเข้มข้นเริ่มต้นมีค่าเท่ากับ 3,000 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่าแบคทีเรียสามารถกำจัดสีได้ใน 2 วัน แต่ในทางตรงกันข้ามกลูโคสยับยั้งการกำจัดสีเนื่องจาก กลูโคสที่ถูกนำไปใช้เปลี่ยนเป็นกรดอินทรีย์ ทำให้ค่า pH ของอาหารเลี้ยงเชื้อลดลง ซึ่งขัดขวางการเจริญและการกำจัดสีของแบคทีเรีย

2.8 ชนิดของสีย้อมที่ใช้ในการศึกษา

สีแอซิด (acid dye) หรือ anionic dyes มีโครงสร้างเป็นเกลือ โซเดียมของกรดอินทรีย์ (กรดซัลโฟนิก: Sulphonic acid) ที่สามารถละลายในน้ำและให้ประจุลบ ซึ่งมักเติมเข้าไปในโครงสร้างของสารตัวกลาง (intermediate) ระหว่างการผลิตสี เพื่อใช้เป็นสีหลักในการย้อมเส้นใยโปรตีนธรรมชาติ ได้แก่ ขนสัตว์ ไหมและเส้นใยพอลิเอไมด์ ได้แก่ ไนลอน ซึ่งเส้นใยเหล่านี้เป็นเส้นใยที่มีหมู่อะมิโนที่สามารถเกิดปฏิกิริยากับสีได้ ตัวอย่าง สีย้อมที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ แสดงดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 โครงสร้างโมเลกุลสีย้อมแอซิด กรีน 25 (ที่มา: Wellable Group Marine Biological & Chemical, 2007)

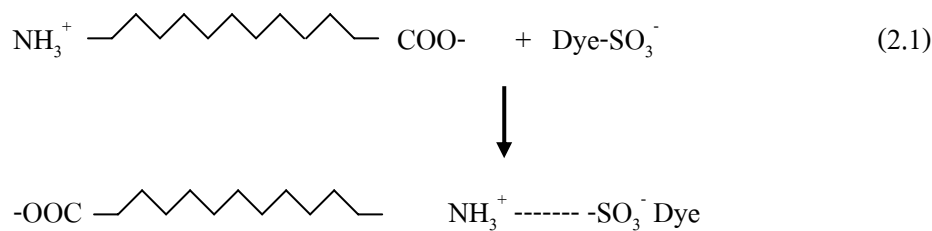
สีแอซิด สามารถจำแนกออกเป็น 3 กลุ่ม ตาม pH ที่ใช้ในการย้อม ดังนี้

กลุ่มที่ 1 สีแอซิดกลุ่มนี้ ต้องการ pH ที่เป็นกรดสูงจึงจะสามารถเข้าสู่เส้นใยได้ดี (ในการย้อมใช้ pH ประมาณ 2-3) หากใช้ pH ที่เป็นกรดไม่มากสีจะติดเส้นใยเพียงจาง ๆ เท่านั้น สีกลุ่มนี้ย้อมง่ายไม่ทำให้เกิดการย้อมต่าง แต่มีความคงทนต่อการซักดำ เนื่องจากจากมีหมู่ $-SO_3Na$ อยู่ในปริมาณน้อยเพียงหนึ่งถึงสองหมู่ต่อโมเลกุลของสีย้อมหนึ่งโมเลกุล จึงไม่ค่อยทนต่อการใช้งานมากนักและสีมักจะหลุดออกมาจากเส้นใยเมื่อผ่านการซักล้าง

กลุ่มที่ 2 ต้องการ pH ที่เป็นกรดปานกลาง (ในการย้อมใช้ pH ประมาณ 3-5) สีแอซิดในกลุ่มนี้มีโมเลกุลใหญ่กว่าสีกลุ่มแรก ทำให้มีความคงทนต่อการซักล้างดีขึ้นและดูดซึมเข้าสู่เส้นใยได้รวดเร็วกว่าจึงเกิดการย้อมต่างได้ง่ายกว่าสีกลุ่มแรก ในการย้อมจึงจำเป็นต้องใช้สารกันต่าง

กลุ่มที่ 3 ต้องการ pH ที่เป็นกรดอ่อน (ในการย้อมใช้ pH ประมาณ 5-7) เนื่องจากโมเลกุลของสีในกลุ่มนี้มีขนาดใหญ่มากจึงดูดติดเส้นใยได้อย่างรวดเร็วและเกิดการย้อมต่างได้ง่าย สีจะแพร่เข้าสู่เส้นใยได้อย่างช้า ๆ ทำให้ย้อมยากและต้องใช้เวลาต่างเสมอในขั้นตอนการย้อม แต่การที่สีในกลุ่มนี้มีโมเลกุลขนาดใหญ่จะมีข้อดี คือ ช่วยเพิ่มความต้านทานต่อการซักล้างให้มากขึ้น ดังนั้นสีในกลุ่มนี้จึงมีความคงทนต่อการซักล้างดีมากและบางชนิดยังมีความคงทนต่อแสงดีด้วย

การเกิดพันธะไอออนิกระหว่างเส้นใยพอลิเอไมด์ (polyamide) และสีแอซิดเกิดขึ้นดังสมการที่ 2.1



เมื่อทำการข้อมลีสีไอออนบวกของประจุบวก (NH_3^+) ของเส้นใยพอลิเอไมด์ สามารถเกิดพันธะไอออนิกกับประจุลบ (anion) ของสีข้อม

2.9 การดูดซับ (adsorption)

การดูดซับเป็นการสะสมสารหรือวัสดุที่พื้นผิวระหว่างของแข็งและของเหลว รวมถึงการเคลื่อนย้ายโมเลกุลของตัวถูกละลายออกจากสารละลายไปอยู่บนผิวของแข็ง แต่ไม่รวมถึงกระบวนการตกตะกอนที่พื้นผิว (surface precipitation process) หรือกระบวนการพอลิเมอไรเซชัน (polymerization process) ซึ่งหากไม่สามารถระบุให้ชัดเจนว่ากลไกที่ทำให้ความเข้มข้นของสารหรือวัสดุในการละลาย ตัวทำละลาย หรือพื้นผิวของแข็งลดลงไปนั้นเกิดจากการดูดซับ หรือการตกตะกอนที่พื้นผิว หรือกระบวนการพอลิเมอไรเซชัน หรือกระบวนการอื่น ๆ ที่เกิดขึ้นที่ผิวแล้ว โดยทั่วไปใช้คำว่าซอร์พชัน (sorption) (Danals, 1995)

2.9.1 กลไกการดูดซับ

กลไกการดูดซับสีโดยโคโคซานที่เกิดขึ้นในระหว่างการดูดซับ ประกอบด้วย 3 ขั้นตอน (Noll และคณะ, 1992) และ (Faust และ Aly, 1987; อ้างถึงในเบญจวรรณ สุทธิไชย, 2548) ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 Bulk transport เป็นขั้นตอนที่เกิดขึ้นเร็วที่สุด โมเลกุลของตัวถูกละลายในของเหลวถูกส่งไปที่ผิวหน้าของชั้นของเหลวบางๆ ที่หุ้มอยู่ที่ผิวสารดูดซับ

ขั้นตอนที่ 2 Film transport เป็นขั้นตอนที่โมเลกุลของตัวถูกละลายที่ผิวหน้าของชั้นของเหลวบางๆ แพร่ไปที่ผิวหน้าสารดูดซับ ขั้นตอนนี้เป็นกระบวนการทำให้เกิดการแพร่ผ่านฟิล์ม (film diffusion) จัดเป็นขั้นตอนจำกัดอัตราการดูดซับที่ผิวขั้นตอนหนึ่ง

ขั้นตอนที่ 3 Intraparticle transport เป็นการแพร่ของโมเลกุลของตัวถูกละลายที่อยู่ ที่ผิวหน้าของสารดูดซับเข้าสู่รูพรุนของสารดูดซับ (pore diffusion) และทำให้เกิดการดูดซับภายใน ซึ่งขั้นตอนนี้จัดเป็นขั้นตอนจำกัดอัตราการดูดซับเช่นกัน

2.9.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับ

1. ความปั่นป่วน (turbulence)

อัตราเร็วในการดูดซับอาจขึ้นอยู่กับ การแพร่ผ่านชั้นฟิล์ม หรือแพร่ผ่านรูพรุน (pore diffusion) ซึ่งแล้วแต่ความปั่นป่วนของระบบ (Said และคณะ, 1993) ถ้าน้ำมีความปั่นป่วนต่ำ ฟิล์มน้ำซึ่งล้อมรอบตัวดูดซับมีความหนามาก (เพราะไม่ถูกรบกวน) เป็นอุปสรรคต่อการเคลื่อนที่ของโมเลกุลเข้าไปหาตัวดูดซับทำให้การแพร่ผ่านฟิล์มน้ำเป็นตัวกำหนดอัตราเร็วของการดูดซับ ในทางตรงกันข้ามถ้าน้ำมีความปั่นป่วนสูง ทำให้น้ำไม่อาจสะสมตัวจนเป็นฟิล์มหนาเป็นผลให้โมเลกุลสามารถเคลื่อนที่ผ่านฟิล์มน้ำเข้าไปหาตัวดูดซับได้เร็วกว่าการเคลื่อนที่เข้าไปในโพรง กรณีนี้แพร่ผ่านรูพรุนเป็นตัวกำหนดอัตราเร็วของการดูดซับ

2. ขนาดและพื้นที่ผิวของตัวดูดซับ

สมบัติทางกายภาพที่สำคัญของตัวดูดซับ คือ ขนาด และพื้นที่ผิว ขนาดของตัวดูดซับมีอิทธิพลต่ออัตราเร็วของการดูดซับ กล่าว คืออัตราเร็วการดูดซับเป็นอัตราส่วนผกผันกับขนาดของตัวดูดซับ ดังนั้นตัวดูดซับที่มีขนาดเล็กจึงมีอัตราเร็วในการดูดซับสูงกว่าขนาดใหญ่ ส่วนพื้นที่ผิวของตัวดูดซับนั้นมีความสัมพันธ์โดยตรงกับความสามารถในการดูดซับ (adsorption capacity) นั่นคือตัวดูดซับที่มีพื้นที่ผิวมากย่อมดูดโมเลกุลตัวถูกดูดซับได้มากกว่าตัวดูดซับที่มีพื้นที่ผิวน้อย

3. ค่า pH

ค่า pH มีความสัมพันธ์โดยตรงต่อปริมาณไฮโดรเนียมไอออน (H_3O^+) เนื่องจากมีค่า pH ต่ำๆ มีปริมาณไฮโดรเนียมไอออนมากกว่าที่ค่า pH สูง ซึ่งมีผลต่อค่าการดูดซับหรือไม่ขึ้นอยู่กับชนิดของตัวถูกดูดซับ กล่าวคือในกรณีที่ตัวถูกดูดซับมีประจุเป็นบวก และตัวถูกดูดซับมีตำแหน่งดูดซับที่มีประจุเป็นลบ ถ้าสารละลายมีค่า pH ต่ำ ทำให้ความสามารถในการดูดซับมีแนวโน้มลดลง เนื่องมาจากการแย่งถูกดูดซับอยู่ในสารละลายที่มีค่า pH สูง เนื่องจากไฮโดรเนียมไอออนมีปริมาณน้อยลง และปริมาณไฮดรอกไซด์ไอออน (OH^-) เพิ่มขึ้น จึงลดการเข้าแย่งจับหรือดูดซับกับตัวถูกดูดซับ และในกรณีที่ตัวถูกดูดซับมีประจุเป็นลบ ให้ผลตรงกันข้ามในทำนองเดียวกัน

4. อุณหภูมิ

ผลของอุณหภูมิต่อการดูดซับขึ้นอยู่กับว่าการดูดซับในระบบเป็นประเภทใด คือ ถ้าเป็นการดูดซับทางกายภาพ อุณหภูมิทำให้ความสามารถในการดูดซับเปลี่ยนแปลงไปในทางน้อยลงหรือคงที่ ถ้าเป็นการดูดซับทางเคมีอุณหภูมิที่สูงขึ้นทำให้ความสามารถในการดูดซับเพิ่มขึ้นไปด้วย เนื่องจากอิทธิพลของความร้อนช่วยเร่งการสร้างพันธะเคมีให้เร็วขึ้น และเพิ่มโอกาสที่ตัวถูกดูดซับเคลื่อนที่เข้าสัมผัสกับตำแหน่งดูดซับได้มากขึ้น

5. ความสามารถในการละลายน้ำของสารที่ถูกดูดซับต่อการดูดซับ

เมื่อเกิดการดูดซับขึ้น โมเลกุลตัวถูกดึงดูดออกจากน้ำก่อนแล้วไปเกาะติดบนผิวของของแข็ง สารที่มีความสามารถละลายน้ำได้ดีย่อมมีแรงยึดเหนี่ยวกับน้ำได้อย่างเหนียวแน่นมากกว่าสารที่มีความสามารถในการละลายน้ำได้น้อยกว่า จึงทำให้ยากต่อการดูดซับมากกว่า สารที่ไม่ละลายน้ำหรือสารละลายน้ำได้น้อยกว่าแต่ไม่ได้เป็นจริงเสมอไป ทั้งนี้เพราะมีสารที่ละลายน้ำได้น้อยหลายชนิด เกาะติดผิวของตัวดูดซับได้ยาก ด้วยเหตุนี้จึงไม่อาจกล่าวได้อย่างเต็มที่ว่าความสามารถในการดูดซับ และความสามารถในการละลายน้ำมีความสัมพันธ์กันอย่างแน่นอนในเชิงปริมาณ

6. ขนาดของสารที่ถูกดูดซับบนผิวของตัวดูดซับ

ขนาดของสารหรือโมเลกุลของตัวถูกดูดซับ มีผลต่อการเพิ่มความสามารถในการดูดซับ เมื่อน้ำหนักหนักโมเลกุลของสารที่ถูกดูดซับเพิ่มขึ้น เช่น การดูดซับกรดอินทรีย์โดยถ่านกัมมันต์ พบว่าถ่านกัมมันต์ดูดซับกรดฟอร์มิก กรดแอซิติค กรดโพรมิโอนิก และกรดบิวเทอริก ได้มากขึ้นตามลำดับของขนาดโมเลกุลที่เพิ่มขึ้น นอกจากนี้ขนาดโมเลกุลที่เพิ่มขึ้นยังส่งผลกระทบต่อผลละลายด้วย โดยสารอินทรีย์ที่มีโครงสร้างที่ยาวมักมีความสามารถในการละลายน้ำได้ลดลงจึงส่งผลทำให้เกิดการดูดซับโดยตัวดูดซับมากขึ้นตามขนาดที่เพิ่มขึ้น แต่ในกรณีที่ถูกดูดซับมีรูพรุนมาก สารที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ เนื่องจากสารโมเลกุลขนาดใหญ่ไม่สามารถเข้ารูพรุนได้และพื้นที่ผิวภายนอกที่ดูดซับมีอยู่ เนื่องจากพื้นที่ผิวภายนอกเป็นรูพรุน

2.10 ไอโซเทอมของการดูดซับ (adsorption isotherm)

การดูดซับด้วยของแข็งที่เกิดขึ้นในสารละลาย สัมพันธ์กับความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับบนผิวของของแข็ง เมื่อกระบวนการดูดซับดำเนินเรื่อยๆ มีการคายการดูดซับ (desorption) เกิดขึ้นพร้อมๆ กัน จนในที่สุดจำนวนตัวถูกดูดซับกับที่คายออกมาเท่ากันหรือระบบเข้าสู่สภาวะสมดุล เรียกว่าสมดุลของการดูดซับ (adsorption equilibrium) ที่สภาวะสมดุลของการดูดซับหนึ่งๆ เป็นสมบัติจำเพาะของระบบนั้นๆ นั้นขึ้นอยู่กับตัวดูดซับ ตัวถูกดูดซับ อุณหภูมิและค่า pH ปริมาณของการดูดซับที่สมดุลเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับเพิ่มขึ้น โดยทั่วไปใช้ไอโซเทอมของการดูดซับเป็นตัวแทนในการอธิบายความสัมพันธ์ที่เกิดขึ้น (Faust และ Aly, 1987; อ้างถึงในเบญจวรรณ สุทธิไชย, 2548)

ไอโซเทอมของการดูดซับเป็นเส้นที่ได้จากความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของสารหรือไอออนที่ถูกดูดซับไว้ต่อหน่วยน้ำหนักของสารดูดซับ (q_s ; มิลลิกรัม/กรัม) กับความเข้มข้นของสารหรือไอออนที่เหลืออยู่ในสารละลายที่สภาวะสมดุล ณ อุณหภูมิคงที่หนึ่งๆ (C_s ; มิลลิกรัม/กรัม)

สมการที่ใช้อธิบายไอโซเทอม

โดยทั่วไปที่สมการที่ใช้อธิบายไอโซเทอมของการดูดซับมีหลายชนิด เนื่องจากมีหลายทฤษฎีได้ถูกนำมาอธิบายสมมูลของการดูดซับที่เกิดขึ้น แต่ที่นิยมใช้งานมากในการศึกษาที่เกี่ยวข้องกับการดูดซับคือ สมการแลงเมียร์ และสมการฟรุนดลิช

1. สมการแลงเมียร์ (Langmuir adsorption isotherm)

สมมติฐานของสมการแลงเมียร์คือ

1. การดูดซับเกิดบนพื้นผิวที่มีพื้นที่ในการดูดซับที่แน่นอนและพื้นที่นั้นๆสามารถดูดซับ โมเลกุลได้เพียงชั้นเดียว (monolayer)

2. การดูดซับสามารถย้อนกลับได้

3. ไม่มีการเคลื่อนย้ายหรือเปลี่ยนตำแหน่งของไอออนหรือโมเลกุลที่ถูกดูดซับบนพื้นผิวของตัวดูดซับ

1. พลังงานในการดูดซับเท่ากันในทุกๆ พื้นที่ของการดูดซับและไม่เกิดปฏิสัมพันธ์ระหว่าง ไอออนหรือโมเลกุลที่ถูกดูดซับ

สมการแลงเมียร์สามารถแสดงด้วยสมการ (2.2)

$$q_e = x_m b C_e / (1 + b C_e) \quad (2.2)$$

เมื่อ q_e = ปริมาณของโลหะที่ถูกดูดซับต่อน้ำหนักของตัวดูดซับ (มิลลิกรัม/กรัม)

X_m = ปริมาณสูงสุดของตัวถูกดูดซับที่สามารถถูกดูดซับแบบชั้นเดียว
ต่อน้ำหนักของตัวดูดซับ (มิลลิกรัม/กรัม)

b = ค่าคงที่ของการดูดซับ

C_e = ความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับอยู่ในสภาวะสมดุล (มิลลิกรัม/ลิตร)

จากสมการ (2.1) สามารถเปลี่ยนให้อยู่ในรูปสมการเส้นตรงตามสมการ (2.3)

$$C_e/q_e = (1/bX_m) + (C_e/X_m) \quad (2.3)$$

เมื่อเขียนกราฟความสัมพันธ์ โดยให้ C_e/q_e เป็นแกน y และ C_e เป็นแกน x ได้ค่าความชันเท่ากับ $1/X_m$ และจุดตัดแกน Y เท่ากับ $1/bx_m c$

2. สมการฟรุนดลิช (Freundlich adsorption isotherm)

สมการฟรุนดลิช เป็นสมการดูดซับที่ได้จากการทดลอง ซึ่งอธิบายถึงการลดลงของพลังงานในการดูดซับเมื่อการปกคลุมผิวของตัวดูดซับเพิ่มขึ้น ในรูปของลอการิทึม (logarithmic) สามารถแสดงได้ด้วยสมการ (2.4)

$$q_e = KC_e^{1/n} \quad (2.4)$$

โดย K = สัมประสิทธิ์ของการแพร่กระจาย

n = correction factor

จากสมการที่ (2.4) สามารถเปลี่ยนให้อยู่ในรูปของสมการเส้นตรงได้สมการ (2.5)

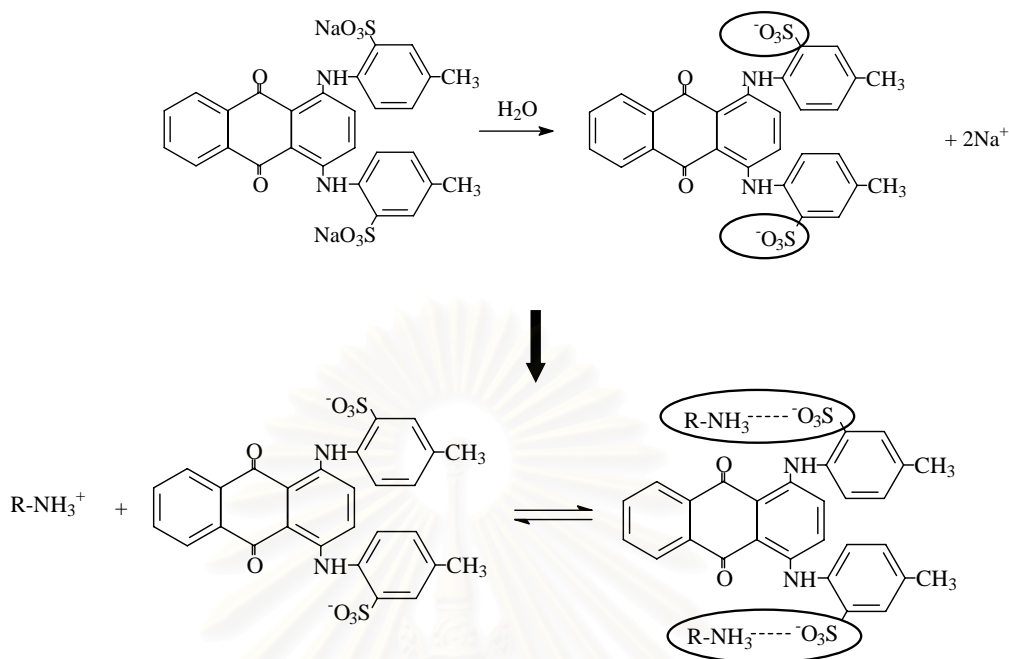
$$\log q_e = \log k + (1/n) \log C_e \quad (2.5)$$

เมื่อนำค่า $\log q_e$ กับ $\log C_e$ มาสร้างกราฟความสัมพันธ์ โดยให้ $\log q_e$ เป็นแกน y $\log C_e$ เป็นแกน x ได้กราฟเส้นตรงมีค่าความชันเท่ากับ $1/n$ และจุดตัดแกน y เท่ากับ $\log k$ เมื่อ $1/n$ มีความชันมาก แสดงให้เห็นว่าการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นเพียงเล็กน้อยมีผลต่ออัตราการดูดซับมาก คือ เมื่อความเข้มข้นอัตราการดูดซับต่ำ และเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นสูงขึ้น แต่เมื่อ $1/n \ll 1$ หรือความชันต่ำมากจนบางครั้งเกือบขนานกับแกน x นั้นแสดงว่า อัตราการดูดซับเมื่อความเข้มข้นต่ำหรือสูงไม่แตกต่างกันนัก

สมการฟรุนดลิชใช้ได้ดีในสารละลายที่มีความเข้มข้นปานกลาง ในการพิจารณาเลือกตัวดูดซับใดมีประสิทธิภาพในการบำบัดมากกว่ากันสามารถพิจารณาค่าไอโซเทอมได้

2.11 การเกิดพันธะไอออนิกระหว่างไคโตซานและลีสיוםแอสิด กรีน 25

เมื่อทำการละลายลีสיוםแอสิด กรีน 25 ในน้ำ ลีสיוםสามารถแตกตัวให้หมู่ซัลโฟเนตที่มีประจุลบ (SO_3^-) และสามารถไปจับกับสายไคโตซานที่มีหมู่แอมโมเนียมที่เป็นประจุบวก (NH_3^+) โดยเกิดจากการ โพร โทเนตในสภาพที่เป็นกรด และเกิดพันธะขึ้นดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 สูตรโครงสร้างการเกิดพันธะระหว่างไคโตซานกับสีแอมซิด กรีน 25

2.12 การย่อยสลายของไคโตซาน (degradation of chitosan)

ไคโตซานเป็นพอลิแซ็กคาไรด์ที่เชื่อมด้วยสายเบต้า 1-4 ไกลโคซิดิก (β 1-4 glycosidic) (Zhang และ Neau, 2002) ดังนั้นการย่อยสลาย (degradation) จะทำให้สายโพลิเมอร์ที่สั้นลงเป็น โอลิโกเมอร์ (oligomer) หรือ โอลิโกแซ็กคาไรด์ (oligosaccharide) และเป็นหน่วยย่อยที่เล็กที่สุดที่เรียกว่า มอนอแซ็กคาไรด์ (monosaccharide) โอลิโกแซ็กคาไรด์ของไคตินและไคโตซาน คือ เอน-อะเซทิล-ไคโตโอลิโกแซ็กคาไรด์ (N-acetyl-chitooligosaccharide) และไคโตโอลิโกแซ็กคาไรด์ (chitooligosaccharide) ส่วนมอนอแซ็กคาไรด์ของไคตินและไคโตซานคือเอน-อะเซทิล-ดี-กลูโคซามีน (N-acetyl-D-glucosamine) และ ดี-กลูโคซามีน (D-glucosamine) การเสื่อมสลายของไคตินไคโตซานจะเกิดขึ้นได้ทั้งโดยกรด ด่าง การสั่น โดยคลื่นเสียง ความร้อน และการใช้ เอนไซม์ (ดวงกมล วิบูลย์รัตนศรี และพรเทพ พูลเทียบรัตน์, 2545) สามารถแบ่งการย่อยสลายออกเป็น 3 วิธีใหญ่ๆ คือ

2.12.1 การย่อยสลายทางกายภาพ

การย่อยสลายทางกายภาพ เช่น การใช้แสงซึ่งมีรังสีอัลตราไวโอเล็ต ที่สามารถเกิดปฏิกิริยาทางเคมีที่พันธะไกลโคซิดิกของสายโคโคซานทำให้สายโคโคซานมีลักษณะที่สั้นลง (Wang และคณะ, 2005)

2.12.2 การย่อยด้วยสารเคมี

เป็นการย่อยด้วยสารละลายกรดหรือสารละลายด่างซึ่งจะเกิดปฏิกิริยาการทำลายพันธะถ้าการย่อยเกิดอย่างสมบูรณ์จะได้น้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว เช่น กลูโคส

การย่อยสลายด้วยสารเคมีแบ่งเป็น 2 วิธี คือ

1. การย่อยด้วยกรด (acid hydrolysis) แบ่งเป็น 2 กระบวนการ คือ

- กระบวนการแบบโฮโมจีนีส (homogeneous process)

เป็นกระบวนการที่ใช้กรดแก่ เช่น กรดไฮโดรคลอริก (hydrochloric acid) หรือกรดซัลฟูริก (sulfuric acid) ผลผลิตทันทีที่ได้ส่วนใหญ่คือน้ำตาลกลูโคส แต่มีข้อเสียคือต้องมีการแยกกรดที่ใช้ออกจากน้ำตาลก่อนนำไปใช้ และเรื่องการฟุกร่อนของเครื่องมือ

- กระบวนการแบบเฮเทอโรจีนีส (heterogenous process)

เป็นกระบวนการที่ใช้กรดอ่อนกว่า แต่ต้องใช้อุณหภูมิสูงกว่า 180 องศาเซลเซียส ผลการย่อย คือ เซลลูโลสที่ยังมีโครงสร้างของเส้นใยอยู่

2. การย่อยด้วยด่าง (alkaline hydrolysis)

สารละลายที่นิยมใช้ คือ สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เจือจาง เอทิลีนไดอะมีน (ethylene diamine) และแอมโมเนีย (ammonia) เป็นต้น การใช้สารละลายด่างในการย่อยจะทำให้สารของพอลิแซคคาไรด์สั้นลง โดยปฏิกิริยานี้จะเกิดขึ้นที่อุณหภูมิสูงประมาณ 160 ถึง 180 องศาเซลเซียส

2.12.3 การย่อยด้วยเอนไซม์

เอนไซม์เป็นโปรตีนชนิดหนึ่งที่สิ่งมีชีวิตสร้างขึ้น เพื่อทำหน้าที่เร่ง (catalyst) ปฏิกิริยาภายในเซลล์ เอนไซม์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีประสิทธิภาพสูง ในสภาวะการทำงานที่เหมาะสมสามารถเร่งปฏิกิริยาได้เร็วถึง 10^8 ถึง 10^{11} เท่า เมื่อเปรียบเทียบกับปฏิกิริยาที่ไม่มีเอนไซม์เป็นตัวเร่ง นอกจากนี้เอนไซม์ยังมีความเฉพาะ (specificity) ต่อปฏิกิริยาหนึ่งเท่านั้น ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความบริสุทธิ์สูง แม้ว่าเอนไซม์จะถูกสร้างอยู่ภายในเซลล์ของสิ่งมีชีวิต แต่สามารถ

สกัดออกมาใช้งานได้เช่นเดียวกับเมื่ออยู่ในเซลล์ กิจกรรมของสิ่งมีชีวิตที่ใช้เอนไซม์ที่สำคัญคือการเข้าย่อยสลายกลุ่มสารที่มีขั้วเพราะมีจุดอ่อนให้เข้าโจมตีได้ เช่น โครงสร้าง $-OH$, $-COO^-$, $-NH_2$ เป็นต้น (ศุภมาส พนิชศักดิ์พัฒนา, 2540)

เอนไซม์ที่ใช้ในปฏิกิริยาย่อยสลายไคโตซาน คือ เอนไซม์ไคโตซานเนส (chitosanases) ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่พบในจุลินทรีย์หลายชนิด ปัจจัยที่สำคัญในการผลิตเอนไซม์ไคโตซานเนส จากเชื้อจุลินทรีย์ นอกจากจะขึ้นกับสายพันธุ์จุลินทรีย์แล้ว ยังขึ้นอยู่กับปัจจัยอื่น ๆ เช่น ความเป็นกรดต่าง อุณหภูมิ ความชื้น และอื่น ๆ เป็นต้น (Somashekar และ Joseph, 1996)

2.13 จุลินทรีย์ที่ย่อยสลายไคโตซาน

จุลินทรีย์ที่ย่อยสลายไคโตซาน แบ่งออกเป็นสองพวกใหญ่ๆ คือ

1. พวกที่ต้องการออกซิเจน เจริญได้ในอุณหภูมิระหว่าง 15-45 องศาเซลเซียส และเจริญได้ดีในอุณหภูมิ 25-35 องศาเซลเซียส (Aerobic Mesophilic Microflora) จุลินทรีย์พวกนี้ได้แก่ *Streptomyces griseus* *Bacillus* sp. PI-7S *Bacillus* R4 *Pseudomonas* sp. H-14 *Fusarium solani* f. sp. *Phaseoli* เป็นต้น (Somashekar และ Joseph, 1996)

2. พวกที่ต้องการออกซิเจน และเจริญได้ดีในอุณหภูมิ 45-65 องศาเซลเซียส (Aerobic Thermophilic Microflora) จุลินทรีย์พวกนี้ได้แก่ *Streptomyces* sp. No. 6 *Streptomyces* N-174 *Amycolatopsis* sp. CsO-2 *Nocardia orientalis* *Myxobacter* AL-1 *Bacillus circulans* *Bacillus* sp. No. 7-M *Bacterium* sp. K-1 *Enterbacter* sp. G-1 *Penicillium islandicum* เป็นต้น (Somashekar และ Joseph, 1996)

ไคโตซานจะไม่ละลายในน้ำและไม่สามารถผ่านผนังเซลล์ของจุลินทรีย์เข้าไปภายในเซลล์ได้ ต่อเมื่อถูกย่อยสลายให้มีโมเลกุลเล็กลงจึงผ่านผนังเซลล์เข้าไปได้ และถูกใช้ไปในรูปของแหล่งคาร์บอนและพลังงาน การใช้ไคโตซานเนสเป็นแหล่งของคาร์บอนและพลังงานของจุลินทรีย์ที่มีความสามารถย่อยสลายไคโตซานนี้ ก่อให้เกิดผลผลิตภัณฑ์ (product) ที่แตกต่างกันออกไป ซึ่งนอกจากจะแตกต่างกันอันเป็นผลมาจากชนิดของจุลินทรีย์เองแล้ว ยังแตกต่างกันตามสภาพแวดล้อมภายในดินอีกด้วย (Paul และ Clark, 1989)

ในธรรมชาติการย่อยสลายสารประกอบไคโตซาน เกิดโดยอาศัยกิจกรรมของจุลินทรีย์หลายชนิดรวมกัน ในสภาพที่มีออกซิเจนเมื่อย่อยสลายไคโตซานจะได้ผลที่เกิดขึ้นคือ คาร์บอนไดออกไซด์ ฮิวมัส ความร้อน และจุลินทรีย์เพิ่มขึ้น (Brady และ Weil, 1996) โดยที่ปริมาณการเพิ่มขึ้นของจุลินทรีย์จะได้นอกจากการย่อยสลายไคโตซานในสภาพที่เหมาะสม มีอาหารเพียงพอกับการนำไปสร้างพลังงาน เพื่อใช้ในกระบวนการเมตาบอลิซึมและการเพิ่มจำนวนเซลล์

การย่อยสลายไคโตซานโดยจุลินทรีย์พวกเมโซฟิลิก (mesophilic) และเทอร์โมฟิลิก (thermophilic) ในสภาพที่มีออกซิเจน ได้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (สมศักดิ์ วังโน, 2528)

2.14 ปัจจัยที่มีผลต่อการทำงานของเอนไซม์ไคโตซานเอส

2.14.1 อุณหภูมิ (temperature)

อัตราการเกิดปฏิกิริยาของเอนไซม์จะเพิ่มขึ้น 2 เท่าทุก ๆ อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น 10 องศาเซลเซียส เมื่อเขียนกราฟระหว่างอัตราการเกิดปฏิกิริยากับอุณหภูมิพบว่า อัตราการเกิดปฏิกิริยาจะสูงสุดที่อุณหภูมิหนึ่ง ที่อุณหภูมินี้เรียกว่าอุณหภูมิที่เหมาะสม (optimum temperature) เมื่ออุณหภูมิสูงหรือต่ำกว่าจุดนี้อัตราการเกิดปฏิกิริยาจะต่ำลง เนื่องจากเอนไซม์จะเกิดการเสียสภาพ (denaturation) หรืออยู่ในสถานะที่ไม่เหมาะสมในการเกิดปฏิกิริยา

2.14.2 ค่าความเป็นกรดต่าง (pH)

เอนไซม์จะทำงานได้ดีที่สุดที่ pH ค่าหนึ่ง ที่ pH สูงหรือต่ำกว่านี้ กิจกรรมของเอนไซม์จะลดลง pH ที่ค่านี้เรียกว่า optimum pH ไคโตซานเอส มีค่า pH ที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 4.0 – 8.0 (Somashekar และ Joseph, 1996)

2.14.3 ค่าความเข้มข้นของซับสเตรท (substrate)

เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของซับสเตรท อัตราการเกิดปฏิกิริยาสูงขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงแรก และจากนั้นจะค่อย ๆ ช้าลงเมื่อความเข้มข้นของซับสเตรทสูงขึ้น และในที่สุดอัตราเร็วของปฏิกิริยาจะไม่เพิ่มขึ้นอีก

2.14.4 ปริมาณเอนไซม์

เมื่ออัตราเร็วของปฏิกิริยาคำเนินไปจนถึงจุดสูงสุด พบว่าอัตราเร็วของปฏิกิริยาจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มข้นของเอนไซม์

2.15 ปัจจัยที่มีผลต่อการทำงานของจุลินทรีย์ที่ย่อยสลายไคโตซานในดิน

1. ความชื้นชื้นขององค์ประกอบของอินทรีย์วัตถุ

อินทรีย์วัตถุโมเลกุลขนาดใหญ่และชื้นชื้นจะยากต่อการย่อยสลาย ซึ่งอินทรีย์วัตถุที่มีโมเลกุลไม่ชื้นชื้นจะย่อยสลายได้เร็วกว่า เช่น พืชที่มีอายุมาก จะมีระยะเวลาในการย่อยสลายนานกว่าพืชที่มีอายุอ่อนกว่า เพราะองค์ประกอบในพืชจะเปลี่ยนไปตามอายุพืชโดยปริมาณสัดส่วนของไนโตรเจน โปรตีน และสารละลายต่าง ๆ ลดลง แต่สัดส่วน เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนินซึ่งโมเลกุลขนาดใหญ่และชื้นชื้นมากขึ้น จึงสามารถใช้สิ่งเหล่านี้เป็นดัชนีทำนายความเร็วของการย่อยสลายได้ทางหนึ่ง (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548)

2. สัดส่วนระหว่างคาร์บอนและไนโตรเจนในอินทรีย์วัตถุ

ปริมาณไนโตรเจนเป็นปัจจัยทางเคมีที่สำคัญต่อการย่อยสลาย โดยทั่วไป สัดส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจนในเซลล์จุลินทรีย์มีค่าประมาณ 10 ต่อ 1 ถ้าปริมาณไนโตรเจนในอินทรีย์วัตถุที่ถูกย่อยสลายมีมากและธาตุอาหารนั้นอยู่ในรูปที่จุลินทรีย์สามารถนำไปใช้ได้ อัตราการย่อยสลายก็จะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว ดังนั้นการมีไนโตรเจนในสิ่งแวดล้อมสูงทำให้ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ถูกปลดปล่อยมากขึ้น แต่ในที่สุดปริมาณคาร์บอนที่ปลดปล่อยออกมาจะมีค่าเท่ากับที่ไม่ได้เติมออกซิเจน (กัลยา สุนทรวงษ์สกุล, 2537)

3. อุณหภูมิ

อุณหภูมิมีอิทธิพลช่วยเร่งอัตราการทำงานของเอนไซม์และปฏิกิริยาทางชีวเคมีต่าง ๆ เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น กิจกรรมจุลินทรีย์ก็สูงตามไปด้วย ดังนั้นจึงใช้ระดับอุณหภูมิแบ่งกลุ่มจุลินทรีย์และพบว่าที่อุณหภูมิสูงการย่อยสลายอินทรีย์วัตถุเกิดได้ดีกว่าในอุณหภูมิต่ำกว่า แต่ช่วงกว้างของอุณหภูมิต้องอยู่ในช่วงที่เหมาะสมกับจุลินทรีย์นั้น ๆ อุณหภูมิที่เหมาะสมคือ 30-40 องศาเซลเซียส

4. สภาพของการมีหรือไม่มีออกซิเจน

เนื่องจากจุลินทรีย์จะมีทั้งแบบชอบออกซิเจนและไม่ชอบออกซิเจน ดังนั้นสภาวะการมีหรือไม่มีออกซิเจน จึงมีผลต่อการย่อยสลายอินทรีย์วัตถุ

5. ความเป็นกรดด่างของดิน

ความเป็นกรดด่างของดินมีผลต่อการสร้างเอนไซม์ของจุลินทรีย์แต่ละชนิดรวมทั้งยังเป็นตัวกำหนดชนิดของจุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องกับวัฏจักรคาร์บอนด้วย การย่อยสลายจะเกิดขึ้นได้ดีในสภาพที่เป็นกลางหรือด่างเล็กน้อยมากกว่าในสภาพที่เป็นกรด สำหรับ pH ที่เหมาะสมในการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์แต่ละชนิดแตกต่างกันไป จุลินทรีย์ส่วนมากเจริญได้ดีที่ pH 6-8

6. ความชื้นในดิน

ในดินที่มีความชื้นมาก ๆ กิจกรรมของจุลินทรีย์จะลดลงเนื่องจากน้ำเข้าไปขัดขวางการเคลื่อนที่ของอากาศให้ปริมาณออกซิเจนซึ่งเป็นตัวรับอิเล็กตรอนลดลง และน้ำยังเกี่ยวข้องกับกระบวนการละลายของสารละลายต่าง ๆ ในดิน ถ้าความชื้นในดินเพิ่มจะทำให้ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ลดลง ความชื้นที่เหมาะสมกับการหายใจของจุลินทรีย์มากที่สุด คือ 50 – 80 เปอร์เซ็นต์ ของความสามารถในการอุ้มน้ำในดินนั้น (Singh และ Ward, 2004)

7. ปัจจัยอื่น ๆ

ได้แก่ ความลึกของชั้นดิน ปริมาณของอินทรีย์คาร์บอน ประเภทของสารละลายในดิน การมีหรือไม่มีสารยับยั้ง

2.16 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.16.1 งานด้านการบำบัดสีย้อม

จินตนา ชำนาญนุธรรม (2542) ศึกษาปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการดูดซับสีย้อม 4 ชนิด ได้แก่ สีแอสิด สีรีแอกทีฟ สีเบสิกและสีไดเรกต์ บนตัวดูดซับ 3 ชนิด คือ เปลือกกุ้ง ไคโตซานและไคติน ผลการทดลอง พบว่าตัวดูดซับทุกชนิดสามารถดูดซับสีแอสิด สีรีแอกทีฟ และสีไดเรกต์ได้ดี ในการละลายกรดที่มีค่า pH เท่ากับ 5 หรือต่ำกว่า โดยไคโตซานดูดซับสีย้อมดังกล่าวได้ในปริมาณที่สูงกว่าไคตินและเปลือกกุ้ง ตรงข้ามกับสีเบสิกที่ถูกดูดซับได้ดีในสารละลายด่าง ที่มีค่า pH เท่ากับ 10 หรือสูงกว่า ปริมาณสีย้อมที่ถูกดูดซับเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาที่ใช้ในการดูดซับและความเข้มข้นของสารละลายสีย้อมเพิ่มขึ้นแต่ลดลงเมื่ออนุภาคของตัวดูดซับมีขนาดเพิ่มขึ้น

เบญจวรรณ สุทธิไชย (2547) ศึกษาการบำบัดน้ำเสียสีย้อมประเภทละลายน้ำด้วยเกลือโคโตซานจากเปลือกกุ้ง พบว่า สภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดหลังการย้อมด้วยเกลือโคโตซานขนาด 710-850 ไมโครเมตร คือปรับพีเอชของน้ำเสียเท่ากับ 6 ใช้เกลือโคโตซานในปริมาณ 0.4 กรัมต่อน้ำ 200 มิลลิลิตร กวนด้วยความเร็ว 150 รอบ/นาที เป็นเวลา 4 ชั่วโมง สามารถบำบัดน้ำหลังการย้อมโดยสามารถลดค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดของสีแอสิดและสีไดเรกต์ได้ร้อยละ 90.24 และ 98.87 ตามลำดับ

Juang และคณะ (1997) ศึกษาความสามารถในการใช้ไคโตซานบำบัดสีย้อมรีแอกทีฟประเภทไวนิลซัลโฟน (vinyl sulfone) และคลอโรไตรเอซีน (chlorotriazine) ออกจากสารละลาย พบว่า ความสามารถในการดูดซับสีย้อมลดลงเมื่อขนาดของอนุภาคไคโตซานเพิ่มขึ้น

McKay และคณะ (1999) ศึกษาความสามารถในการดูดซับสีย้อม 2 ชนิด คือ ซาฟรานีน (Safranin) และ เมทิลีนบลู (Methylene Blue) โดยใช้ตัวดูดซับที่มีราคาถูก 5 ชนิดคือ เปลือกข้าว ฝ้าย เปลือกไม้ เส้นผม และถ่าน พบว่าเปลือกไม้ เปลือกข้าว ฝ้าย เส้นผม และถ่าน สามารถดูดซับ Safranin ได้สูงสุด 1,119 838 875 190 และ 120 มิลลิกรัมต่อกรัม และสามารถดูดซับ Methylene Blue ได้สูงสุด 914 312 277 158 และ 250 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ

Wong และคณะ (2004) ศึกษาความสามารถของไคโตซานบำบัดสีย้อมในกลุ่มสีแอซิด ได้แก่ AG 25 AO 10 AO 12 AR 18 และ AR 73 เป็นการศึกษาความสามารถในการดูดซับที่มีความแตกต่างกันของน้ำหนักริมโกลและจำนวนกลุ่มซัลโฟเนตของสีแต่ละชนิด ผลการทดลองสามารถอธิบายได้ว่าน้ำหนักริมโกลของสีที่มีขนาดเล็กมีผลการดูดซับที่สูงและสามารถเคลื่อนย้ายเข้าสู่รูพรุนของโครงสร้างไคโตซานได้ดีกว่า

2.16.2 งานด้านการย่อยสลายไคโตซาน

Li และคณะ (2007) ศึกษาอิทธิพลของน้ำหนักริมโกลต่อการย่อยสลายโดยเอนไซม์ทั่วไป โดยศึกษาไคโตซานที่มีความแตกต่างกันของร้อยละการกำจัดหมู่อะซิทิลและน้ำหนักริมโกล ผลการทดลองพบว่าอัตราการย่อยสลายเกิดขึ้นน้อยเมื่อจำนวนร้อยละการกำจัดหมู่อะซิทิลและน้ำหนักริมโกลของไคโตซานสูงขึ้น

Ren และคณะ (2005) ศึกษาการย่อยสลายไคโตซานที่มีความแตกต่างกันของร้อยละการกำจัด หมู่อะซิทิลด้วยเอนไซม์ พบว่าไคโตซานที่มีร้อยละการกำจัดหมู่อะซิทิล เท่ากับ 93 81 และ 75 จะเกิดการย่อยสลายที่ช้ากว่า 52.6 56.1 และ 62.4

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 วัตถุดิบและสารเคมี

3.1.1 วัตถุดิบและสารเคมีในการทดลองการดูดซับสีข้อม

1. ไคโตซาน

- ไคโตซานเกรดทางพาณิชย์ (commercial grade chitosan) ที่มีร้อยละการกำจัดหมู่อะซิทิล เท่ากับ 81 น้ำหนักโมเลกุล 200,000 ดาลตัน ขนาด ≤ 500 ไมโครเมตร
- ไคโตซานเกรดทางเภสัชภัณฑ์ (pharmaceutical grade chitosan) ที่มีร้อยละการกำจัดหมู่อะซิทิล เท่ากับ 95 น้ำหนักโมเลกุล 100,000 ดาลตัน ขนาด ≤ 500 ไมโครเมตร

2. สีข้อมแอซิด กรีน 25 (Acid green 25) บริษัท Aldrich

3. Sodium hydroxide (NaOH: Analytical reagent grade) บริษัท Carlo

4. Hydrochloric acid (HCl: Analytical reagent grade) บริษัท Carlo

3.1.2 วัตถุดิบและสารเคมีในการทดลองการย่อยสลายไคโตซาน

1. ไคโตซานที่ผ่านการดูดซับสีข้อม

2. ดินที่ใช้ฝังกลบ

3. Sodium hydroxide (NaOH: Analytical reagent grade) บริษัท Carlo

4. Hydrochloric acid (HCl: Analytical reagent grade) บริษัท Carlo

5. Barium chloride (BaCl_2 : Analytical reagent grade) บริษัท Merck

6. Sulfuric acid (H_2SO_4 : Reagent grade) บริษัท Volchem

7. 4-nitrobenzaldehyde 98% (reagent grade) บริษัท Aldrich

8. Pyridine (Analytical reagent grade) บริษัท Mallinckrodt

9. Tetra Ethyl Ammonium Hydroxide (Laboratory reagent grade) บริษัท Kock

10. Ethanol (Analytical reagent grade) บริษัท Merck

11. Potassium dichromate ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$: Analytical reagent grade) บริษัท Merck

12. Conc. Orthophosphoric acid (Analytical reagent grade) บริษัท Carlo
13. Ferrous Ammonium sulfate ($\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2$; Laboratory reagent grade) บริษัท Ajax
14. Selenium powder (Se; Analytical reagent grade) บริษัท Riedel
15. Potassium Sulfate (K_2SO_4 ; Analytical reagent grade) บริษัท Carlo
16. Copper sulfate ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$; Analytical reagent grade) บริษัท Carlo Erba
17. Boric Acid (H_3BO_3 ; Analytical reagent grade) บริษัท Fisher
18. Amyl Alcohol ($\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4\text{CH}_2\text{OH}$; Analytical reagent grade) บริษัท Carlo
19. Phenolphthalein indicator
20. Glucosamine
21. Ferroin
22. Calgon 5%

3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์

3.2.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองการดูดซับสีข้อม

1. จาร์เทส (Jar test): VELP Scientifica รุ่น FC6S
2. เครื่องวัด pH (pH meter): HANNA instruments รุ่น pH 211
3. ชุดกรอง (Buchner, Suction): HCT รุ่น 180/110, SCHOTT DURAN 500 ml
4. ปั๊มสุญญากาศ (Vacuum pump): ABM รุ่น 4EKF56CX-4
5. กระดาษกรอง Whatman
6. สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (UV/VIS Spectrophotometer): Perkin Elmer รุ่น Lambda 25
7. เครื่องวัดความขุ่น (Turbidity Meter): EUTECH รุ่น TN-100R

3.2.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองการย่อยสลาย

1. เครื่องชั่ง (Analytical balance): 3 ตำแหน่ง Denver Instrument Company รุ่น TR-203
2. ตู้บ่มเชื้อ (Incubator): WTB BINDER รุ่น KBW
3. ตู้อบ (Oven): Fisher Scientific รุ่น Model 282A

4. Autoclave: Sanyo Labo Auto clave
5. เครื่องวัด pH (pH meter): HANNA instruments รุ่น pH 211
6. สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (UV/VIS Spectrophotometer): Perkin Elmer รุ่น Lambda 25
7. เครื่องเขย่า (Shaker): LAB-LINE ORBIT ENVIRON-SHAKER
8. เครื่องย่อยไนโตรเจน: Buchi Digestion Unit k-435
9. เครื่องดักจับไอกรด: Buchi Scrubber B-414
10. ชุดกลั่นไนโตรเจน: Buchi Distillation Unit 339
11. เครื่องปั่นดิน (Hamilton Beach): HUMBOLDT MFG.CO รุ่น-4260.5F
12. เทอร์โมมิเตอร์ (Thermometer)
13. ไฮโดรมิเตอร์ (Hydrometer)
14. ตะแกรงร่อน (Sieve) ขนาด 10 และ 35 mesh
15. ขวดวัดการหายใจของจุลินทรีย์ดิน

3.3 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับสีของไคโตซาน

3.3.1 การเตรียมกราฟมาตรฐานสารละลายสีข้อม

- เตรียมสารละลายสีแอซิด กรีน 25 ความเข้มข้น 5 10 15 20 25 และ 30 มิลลิกรัมต่อลิตร
- วัดค่าการดูดกลืนแสงสูงสุด ณ ความยาวคลื่น 642 นาโนเมตร ซึ่งสารละลายสีข้อมที่เตรียมสามารถนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงอยู่ในช่วง 0-1 ได้
- เขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดและความเข้มข้นของสารละลายสีข้อม

3.3.2 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของไคโตซานในการดูดซับสีข้อม

- นำสารละลายสีข้อมความเข้มข้น 30 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 100 มิลลิตร ใส่ลงในบีกเกอร์
- หา pH ที่เหมาะสม โดยปรับ pH เท่ากับ 3 5 7 และ 9 โดยใช้ปริมาณไคโตซาน 0.2 กรัม ในแต่ละบีกเกอร์ กวนด้วยเครื่องจาร์เทส ที่ความเร็ว

150 รอบต่อนาที เป็นเวลา 4 ชั่วโมง วัดปริมาณสีย้อมที่เหลื่ออยู่ในน้ำ ตัวอย่าง และวัดความขุ่นของน้ำตัวอย่าง

- คำนวณการลดสีย้อมเป็นเปอร์เซ็นต์

3.3.3 การศึกษาจลนพลศาสตร์การดูดซับสีย้อม

ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสีย้อมที่เหลื่ออยู่กับเวลาที่ใช้ในการกวน เพื่อหาจลนพลศาสตร์การดูดซับสีย้อม โดยทำการทดลองวิเคราะห์ปริมาณสีย้อมที่เหลื่ออยู่ในน้ำเสีย ทุก ๆ 30 นาที เป็นเวลา 4 ชั่วโมง และคำนวณปริมาณสีย้อมที่ถูกดูดซับต่อน้ำหนักไคโตซานที่เวลาต่าง ๆ จากสูตร (Cestari และคณะ, 2005)

$$q_c = \frac{(C_i - C_f)V}{m}$$

เมื่อ q_c = ปริมาณสีย้อมที่ถูกดูดซับต่อน้ำหนักไคโตซานที่เวลาต่าง ๆ

C_i = ความเข้มข้นของสารละลายสีย้อมก่อนถูกดูดซับ

C_f = ความเข้มข้นของสารละลายสีย้อมหลังจากถูกดูดซับที่เวลาต่าง ๆ

V = ปริมาตรสารละลายสีย้อม

m = น้ำหนักไคโตซาน

3.3.4. ศึกษากลไกการดูดซับสีย้อม

วิเคราะห์ระบบการดูดซับสีย้อม โดยอาศัยพื้นฐานทางคณิตศาสตร์ เพื่อศึกษา รูปแบบสมการการดูดซับของแลงเมียร์ ดังนี้

- เตรียมสารละลายสีย้อมความเข้มข้น 30 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 100 มิลลิลิตร ใส่ลงในบีกเกอร์
- ชั่งไคโตซานที่น้ำหนักต่าง ๆ กัน แช่ในสารละลายสีย้อม
- ทดลองตามสภาวะที่เหมาะสมจากข้อ 3.3.2 กวนที่ความเร็ว 150 รอบต่อนาที เวลาตามการทดลองการดูดซับที่คงที่จากข้อ 3.3.3
- วัดปริมาณสีย้อมที่เหลื่ออยู่ในน้ำตัวอย่าง และนำมาคำนวณ หาค่า q_c ตามสมการเดียวกันกับการหาค่า q_e จากนั้นเขียนกราฟระหว่าง q_c กับ C_e/q_c

ทำการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ ด้วยวิธี Duncan 's new multiple range test และ Turkey 's HSD test ที่ระดับความเชื่อมั่น 99 %

3.4 การศึกษาการย่อยสลายของไคโตซานที่ดูดซับสีย้อมแอซิด กรีน 25

3.4.1 การเก็บตัวอย่างดิน

การเก็บตัวอย่างดิน เก็บที่ความลึก 0-30 เซนติเมตร และแบ่งดินออกเป็นสองส่วน ส่วนแรกนำมาบ่มที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ในตู้บ่มเชื้อเป็นเวลา 1 สัปดาห์ สำหรับดินส่วนที่สองนำมาผึ่งไว้ในร่มเป็นเวลา 7 วัน บดและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 2 มิลลิเมตร จากนั้นนำไปศึกษาลักษณะเนื้อดินด้วย Hydrometer method (Tan, 2005)

3.4.2 ศึกษา pH ที่เหมาะสมในการย่อยสลาย

นำตะกอนไคโตซานทั้งสองชนิดที่ดูดซับสีย้อมแล้วผสมกับดินที่บ่มไว้ในอัตราส่วน 1:10 และสร้างชุดการทดลองออกเป็น 3 ชุด เพื่อศึกษาสภาวะ pH เป็นกรด ค่าง และกลุ่มควบคุมที่ไม่มีการปรับ pH (6.79) แต่ละชุดการทดลองมี 3 ซ้ำ

3.4.3 ศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการย่อยสลาย

นำตะกอนไคโตซานทั้งสองชนิดที่ดูดซับสีย้อมแล้วผสมกับดินที่บ่มไว้ในอัตราส่วน 1:10 และสร้างชุดการทดลองออกเป็น 6 ชุด เพื่อศึกษาอุณหภูมิที่ 20 25 30 35 40 องศาเซลเซียส และกลุ่มควบคุม ณ อุณหภูมิห้อง (30.5 องศาเซลเซียส) แต่ละชุดการทดลองมี 3 ซ้ำ และนำไปใส่ตู้บ่มเชื้อ (incubator) ที่อุณหภูมิต่าง ๆ

3.4.4 ศึกษาความชื้นในดินที่เหมาะสมในการย่อยสลาย

นำตะกอนไคโตซานทั้งสองชนิดที่ดูดซับสีย้อมแล้วผสมกับดินที่บ่มไว้ในอัตราส่วน 1:10 และสร้างชุดการทดลองออกเป็น 5 ชุด เพื่อศึกษาปริมาณความชื้นในดินที่ 50 60 70 80% และกลุ่มควบคุมที่ไม่มีการปรับความชื้น (10 เปอร์เซ็นต์) แต่ละชุดการทดลองมี 3 ซ้ำ โดยใช้เครื่องวัดความชื้น (moisture meter) ปรับความชื้นที่ต้องการในดิน

3.5 การติดตามผลของการย่อยสลายไคโตซานทำการเก็บตัวอย่างระยะเวลา 35 วันโดยเก็บตัวอย่างในแต่ละชุดการทดลองวันที่ 1 3 5 7 14 21 28 และ 35 วัน โดยการวัดพารามิเตอร์ ดังนี้

3.5.1. การวิเคราะห์หาดี-กลูโคซามีน (D-glucosamine)

การวิเคราะห์หาดี-กลูโคซามีน ทำการเก็บตัวอย่างจากการศึกษาสภาวะการย่อยสลายด้วยวิธีการวัดสี (Colorimetric method) ของ Scotti และคณะ (2001) และ Nakamura และคณะ (1969)

3.5.2. การวิเคราะห์การหายใจของจุลินทรีย์ดิน (soil respiration)

การวิเคราะห์การหายใจของจุลินทรีย์ดินใช้วิธี Monometric procedure (Kos และ Lestan, 2004) โดยไคโตซานทั้งสองชนิดที่ดูดซับสีเรียบร้อยแล้วผสมกับดินในอัตราส่วน 1:10 ใส่ลงในบีกเกอร์ และวางในขวดวัดการหายใจของจุลินทรีย์ดิน หลังจากนั้นเปิดสารละลาย NaOH ลงในบีกเกอร์อีกใบและใส่ลงในขวดวัดการหายใจของจุลินทรีย์ดิน เดียวกัน ปิดฝาและนำไปศึกษาตามสภาวะการย่อยสลายและระยะเวลาการเก็บตัวอย่างข้างต้น การวิเคราะห์ใช้วิธีการไตเตรทด้วยกรด HCl หลังจากนั้นนำค่าไปคำนวณเพื่อหาปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) ที่ถูกปล่อยออกมา (Rowel, 1997)

3.5.3. การวิเคราะห์ปริมาณเปอร์เซ็นต์อินทรีย์คาร์บอน (organic carbon)

เก็บตัวอย่างจากการศึกษาสภาวะการย่อยสลาย นำดินมาร่อนผ่านตะแกรงและนำไปวิเคราะห์หาปริมาณเปอร์เซ็นต์อินทรีย์คาร์บอนโดยใช้วิธีทางเคมี (Chemical method) (Tan, 2005) เป็นการสันดาปโดยใช้สาร K₂Cr₂O₇

3.5.4 การวิเคราะห์หาปริมาณเปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนทั้งหมด (total nitrogen)

เก็บตัวอย่างจากการศึกษาสภาวะการย่อยสลาย นำดินมาร่อนผ่านตะแกรงและนำไปวิเคราะห์หาปริมาณเปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนทั้งหมดโดยใช้วิธี Kjeldahl method (Tan, 2005)

ทำการศึกษาความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์ที่ใช้ศึกษาการย่อยสลายไคโตซานโดยศึกษาปริมาณดี-กลูโคซามีนเป็นหลักและหาความสัมพันธ์กับพารามิเตอร์อื่นๆ ข้อมูลด้วยวิธี Regression ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %



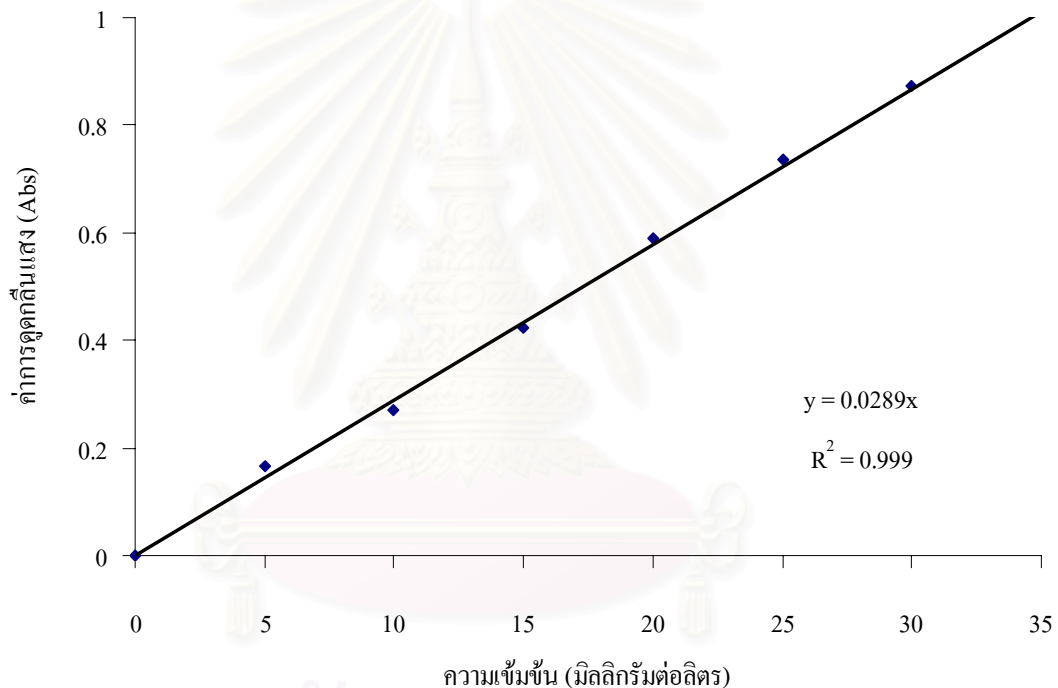
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง

4.1 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับสีของไคโตซาน

ผลการวัดค่าการดูดกลืนแสงของสีแอสิด กรีน 25 ณ ความยาวคลื่น 642 นาโนเมตร ที่ความเข้มข้น 5 10 15 20 25 และ 30 มิลลิกรัมต่อลิตร เพื่อหากราฟมาตรฐานพบว่าได้ค่า $R^2 = 0.999$ ดังรูปที่ 4.1

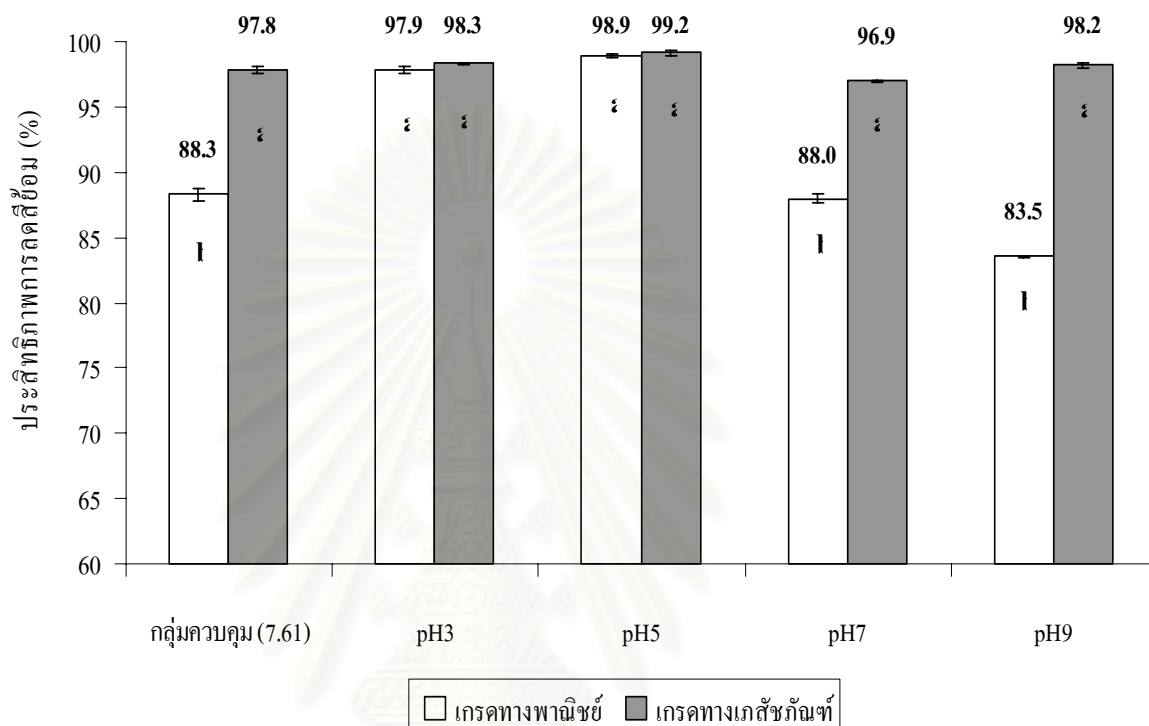


รูปที่ 4.1 กราฟมาตรฐานสีแอสิด กรีน 25

4.1.1 การดูดซับสีของไคโตซานกรดทางพลาสมิกซ์และกรดทางเกสซิกซ์

ความสัมพันธ์ของแอนไอออนจากหมู่ซัลโฟเนตในสี้อมเป็นปัจจัยที่สำคัญในการศึกษาการดูดซับของตัวดูดซับ โดยมีสภาวะของ pH เข้ามาเกี่ยวข้อง (Cestari และคณะ, 2005) จากการศึกษาค่า pH ที่เหมาะสมโดยใช้ปริมาณไคโตซาน 0.2 กรัม อัตราเร็วในการกวน 150 รอบต่อนาที เป็นเวลา 4 ชั่วโมง การดูดซับสีของไคโตซานกรดทางพลาสมิกซ์ พบว่าที่ pH เท่ากับ 5 ทำให้เกิดประสิทธิภาพการลดสี้อมดีที่สุด เท่ากับ 98.9 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือ pH เท่ากับ 3 มี

ประสิทธิภาพเท่ากับ 97.9 เปอร์เซ็นต์ ส่วนการดูดซับสีของไคโตซาน เกรดทางเภสัชภัณฑ์ พบว่า pH เท่ากับ 5 ทำให้เกิดประสิทธิภาพการดูดซับสีที่ดีที่สุด เท่ากับ 99.2 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือ pH เท่ากับ 3 มีประสิทธิภาพเท่ากับ 98.3 เปอร์เซ็นต์ (ดังตารางที่ 4.1 และรูปที่ 4.2)



หมายเหตุ : ตัวอักษรที่ต่างกันบนกราฟแต่ละแห่ง หมายถึง ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99% ตามวิธีของ Duncan's new multiple range test และ Turkey's HSD test

รูปที่ 4.2 ประสิทธิภาพการดูดซับสีของไคโตซานเกรดทางพาณิชย์และเกรดทางเภสัชภัณฑ์

ประสิทธิภาพการลดสีของไคโตซานเกรดทางพาณิชย์กับไคโตซานเกรดทางเภสัชภัณฑ์ ที่ pH ควบคุม (7.61) มีค่าเท่ากับ 88.3 และ 97.8 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เมื่อทำการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่า ประสิทธิภาพของการลดสีของไคโตซานเกรดทางเภสัชภัณฑ์มากกว่าไคโตซานเกรดทางพาณิชย์ อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 99% ตามวิธีของ Duncan's new multiple range test และ Turkey's HSD test ที่ pH 3 พบว่าประสิทธิภาพการลดสีของไคโตซานเกรดทางพาณิชย์เท่ากับ 97.9 เปอร์เซ็นต์ ส่วนไคโตซานเกรดทางเภสัชภัณฑ์ เท่ากับ 98.3 เปอร์เซ็นต์ ผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าประสิทธิภาพการลดสีของไคโตซานทั้งสองชนิดไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติตามวิธีของ Duncan's new multiple range test และ Turkey's

HSD test สำหรับ pH 5 พบว่าไคโตซานเกรดทางพาณิชย์กับไคโตซานเกรดทางเภสัชภัณฑ์มีประสิทธิภาพเท่ากับ 98.9 เปอร์เซ็นต์ และ 99.2 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าประสิทธิภาพการลดสีข้อมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ pH เท่ากับ 7 และ 9 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าประสิทธิภาพการลดสีข้อมของไคโตซานเกรดทางเภสัชภัณฑ์ดีกว่าเกรดทางพาณิชย์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99%

จากการทดลองของไคโตซานทั้งสองชนิดพบว่าความสามารถในการลดสีเพิ่มขึ้นเมื่อ pH ลดลง เนื่องจากสภาวะเป็นกรดทำให้หมู่อะมิโน (NH_2) ของไคโตซานถูกโปรโตเนต (NH_3^+) ทำให้สามารถจับประจุลบ (SO_3^-) ของสีข้อมได้ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Wong และคณะ 2004 ; Yoshida และคณะ 1993 ; Chiou และ Li, 2003 จากนั้นประสิทธิภาพการดูดซับสีข้อมลดลงเมื่อค่า pH เพิ่มขึ้น

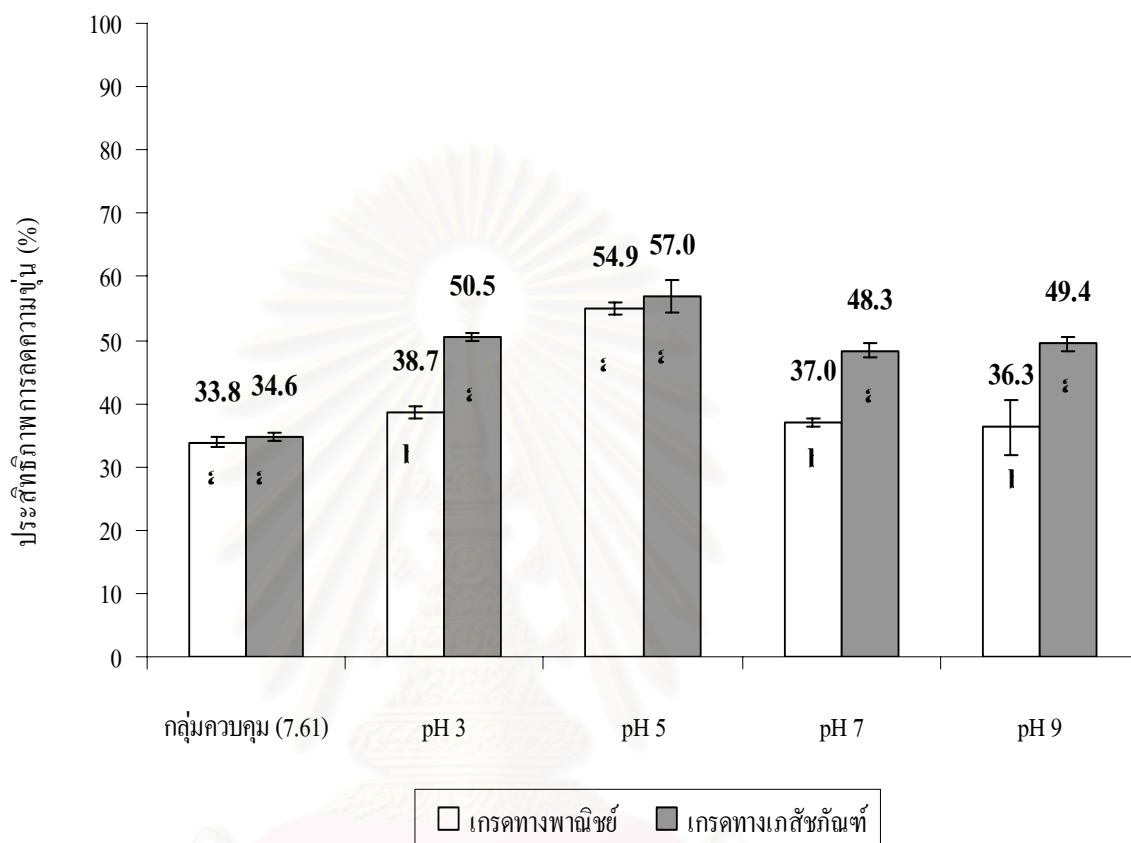
ตารางที่ 4.1 การดูดซับสีข้อมสีแอสิด กรีน 25 ของไคโตซานทั้งสองชนิด ที่ pH 3 5 7 และ 9

ตัวอย่างไคโตซาน	pH	การลดสีข้อม (เปอร์เซ็นต์) \pm SD	การลดความขุ่น
			(เปอร์เซ็นต์) \pm SD
เกรดทางพาณิชย์	ควบคุม (7.61)	88.3 \pm 0.5	33.8 \pm 0.8
	pH 3	97.9 \pm 0.3	38.7 \pm 0.9
	pH 5	98.9 \pm 0.1	54.9 \pm 1.1
	pH 7	88.0 \pm 0.3	37.0 \pm 0.7
	pH 9	83.5 \pm 0.1	36.3 \pm 4.3
เกรดทางเภสัชภัณฑ์	ควบคุม (7.61)	97.8 \pm 0.2	34.6 \pm 0.6
	pH 3	98.3 \pm 0.1	50.5 \pm 0.7
	pH 5	99.2 \pm 0.2	57.0 \pm 2.6
	pH 7	96.9 \pm 0.1	48.3 \pm 1.1
	pH 9	98.2 \pm 0.2	49.4 \pm 1.0

4.1.2 การลดความขุ่นของไคโตซานเกรดทางพาณิชย์และเกรดทางเภสัชภัณฑ์

จากผลการศึกษาค่าการลดความขุ่นในน้ำสีข้อมเมื่อใช้ไคโตซานเกรดทางพาณิชย์เมื่อเวลา 4 ชั่วโมง ณ สภาวะ pH ต่างๆ พบว่าที่ค่า pH เท่ากับ 5 มีเปอร์เซ็นต์การลดความขุ่นสูงสุด

เท่ากับ 76.91 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับค่า pH อื่นๆ และจากผลการศึกษาค่าการลดความขุ่นในน้ำเสียเมื่อใช้ไคโตซานเกรดทางเภสัชภัณฑ์ พบว่าที่ค่า pH เท่ากับ 5 มีเปอร์เซ็นต์การลดความขุ่นสูงสุดเท่ากับ 77.93 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับค่า pH อื่นๆ ดังแสดงในตารางที่ 4.1 และในรูปที่ 4.3



หมายเหตุ : ตัวอักษรที่ต่างกันบนกราฟแต่ละแห่ง หมายถึง ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99% ตามวิธีของ Duncan's new multiple range test และ Turkey's HSD test

รูปที่ 4.3 ประสิทธิภาพการลดความขุ่นน้ำเสียของไคโตซานเกรดทางเภสัชภัณฑ์และเกรดทางเภสัชภัณฑ์

ประสิทธิภาพการลดความขุ่นของไคโตซานเกรดทางเภสัชภัณฑ์และเกรดทางเภสัชภัณฑ์ ที่ pH ควบคุม (7.61) เท่ากับ 33.8 เปอร์เซ็นต์ และ 34.6 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าประสิทธิภาพการลดความขุ่นของไคโตซานทั้งสองชนิดไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ตามวิธีของ Duncan's new multiple range test และ Turkey's HSD test ผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าที่ pH 3 7 และ 9 ไคโตซานเกรดทางเภสัชภัณฑ์ มีประสิทธิภาพในการลดความขุ่นมากกว่าไคโตซานเกรดทางเภสัชภัณฑ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99% ส่วนที่ pH 5 ไคโตซานเกรดทางเภสัชภัณฑ์และไคโตซานเกรดทางเภสัชภัณฑ์มีประสิทธิภาพในการ

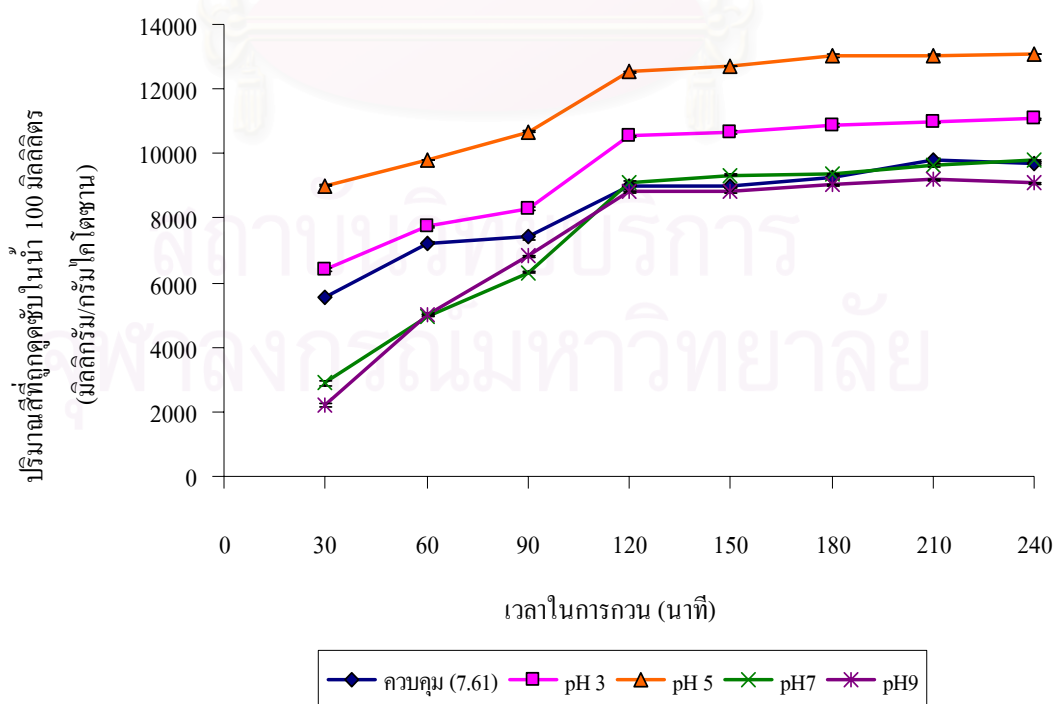
ลดความขุ่นได้มากที่สุดเท่ากับ 54.9 เปอร์เซ็นต์ และ 57.0 เปอร์เซ็นต์ เมื่อนำข้อมูลไปทำการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่า ประสิทธิภาพในการลดความขุ่นของไคโตซานทั้งสองชนิดไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

เมื่อพิจารณาผลการทดลองของไคโตซานทั้งสองชนิดในการลดความขุ่นของน้ำเสียเชื่อมแอสซิดกรีน 25 พบว่ามีประสิทธิภาพสูงสุดมีสภาวะเกี่ยวกับการทดลองการดูดซับสีเขียวข้างต้น เนื่องจากสภาวะดังกล่าวมีความเหมาะสมกับการดูดซับของไคโตซานทั้งสองชนิด จากงานวิจัยของ Huang และ Chen (1996) อธิบายว่าไคโตซานซึ่งเป็นสารพอลิเมอร์ธรรมชาติที่มีประจุบวกสามารถทำลายเสถียรภาพของอนุภาคแขวนลอย ทำให้สารอินทรีย์ที่มีเสถียรภาพอยู่ในสถานะแขวนลอยในน้ำถูกทำลายและจับตัวกันเป็นก้อนตกลงมา ทำให้ไคโตซานทั้งสองชนิดในสภาวะที่เหมาะสมทำงานได้ดีด้วย

4.1.3 ผลการศึกษาจลนพลศาสตร์การดูดซับ

(ก) ผลการศึกษาจลนพลศาสตร์การดูดซับสีเขียวของไคโตซานเกรดทางพาณิชย์

รูปที่ 4.4 แสดงผล ปริมาณสีเขียวที่ถูกดูดซับ ณ เวลาในการกวนทุก ๆ 30 นาที เป็นเวลา 4 ชั่วโมง ของไคโตซานเกรดทางพาณิชย์ พบว่า การดูดซับสีเขียวตามสภาวะค่า pH ทั้งหมดส่วนใหญ่เกิดขึ้นได้เร็วในช่วงแรกของการกวน และการดูดซับเริ่มคงที่เมื่อเวลาผ่านไป 120 นาที โดยที่ pH เท่ากับ 5 มีผลการดูดซับได้สูงสุด

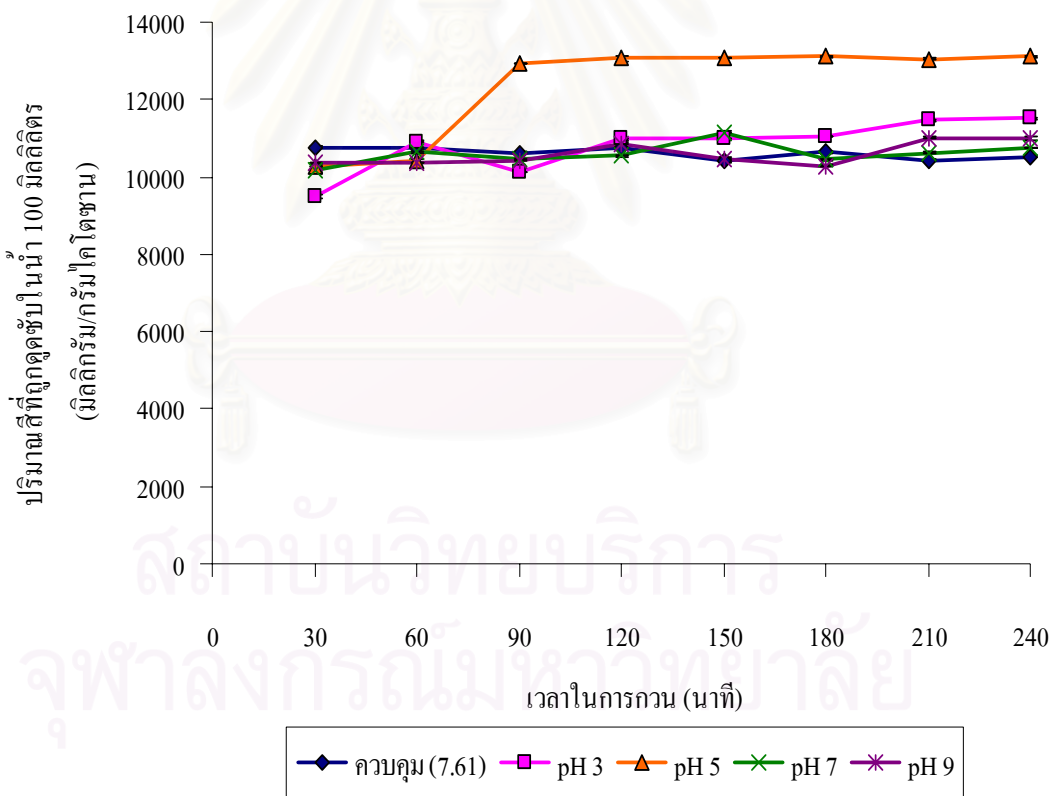


รูปที่ 4.4 ปริมาณสีเขียวที่ถูกดูดซับของไคโตซานเกรดทางพาณิชย์ ที่เวลาในการกวน 30-240 นาที

(ข) ผลการศึกษาจลนพลศาสตร์การดูดซับสีของไคโตซานเกรดทางเภสัชภัณฑ์

รูปที่ 4.5 แสดงผล ปริมาณสีที่ถูกดูดซับ ณ เวลาในการกวนทุก ๆ 30 นาที เป็นเวลา 4 ชั่วโมง ของไคโตซานเกรดทางเภสัชภัณฑ์ พบว่า การดูดซับสีขึ้นตามสภาวะค่า pH ทั้งหมดส่วนใหญ่เกิดขึ้นได้เร็วในช่วงแรกของการกวน และการดูดซับเริ่มคงที่เมื่อเวลาผ่านไป 90 นาที โดยที่ pH เท่ากับ 5 มีผลการดูดซับได้สูงสุด

จากการศึกษาจลนพลศาสตร์การดูดซับสีของไคโตซานทั้งสองชนิด พบว่าสภาวะค่า pH เท่ากับ 5 มีผลการดูดซับได้สูงสุด และการดูดซับส่วนใหญ่เกิดขึ้นได้เร็วในช่วงแรกของการกวน แต่การดูดซับเริ่มคงที่เมื่อเวลาผ่านไปเป็นเวลา ต่าง ๆ กัน เนื่องจากไคโตซานทั้งสองชนิดมีโครงสร้างทางเคมี เช่น จำนวนของกลุ่มอะมิโน (-NH₂) และไฮดรอกซิล (-OH) ในการทำปฏิกิริยากับแอนไอออนของสีต่างกัน (Morais และคณะ, 2007) ทำให้มีผลต่อการแสดงถึงเวลาที่สมดุล



รูปที่ 4.5 ปริมาณสีที่ถูกดูดซับของไคโตซานเกรดทางเภสัชภัณฑ์ ที่เวลาในการกวน 30-240 นาที

4.1.4 ผลการศึกษากลไกการดูดซับสีเขียวของไคโตซานเกรดทางพาณิชย์และเกรดทางเภสัชภัณฑ์

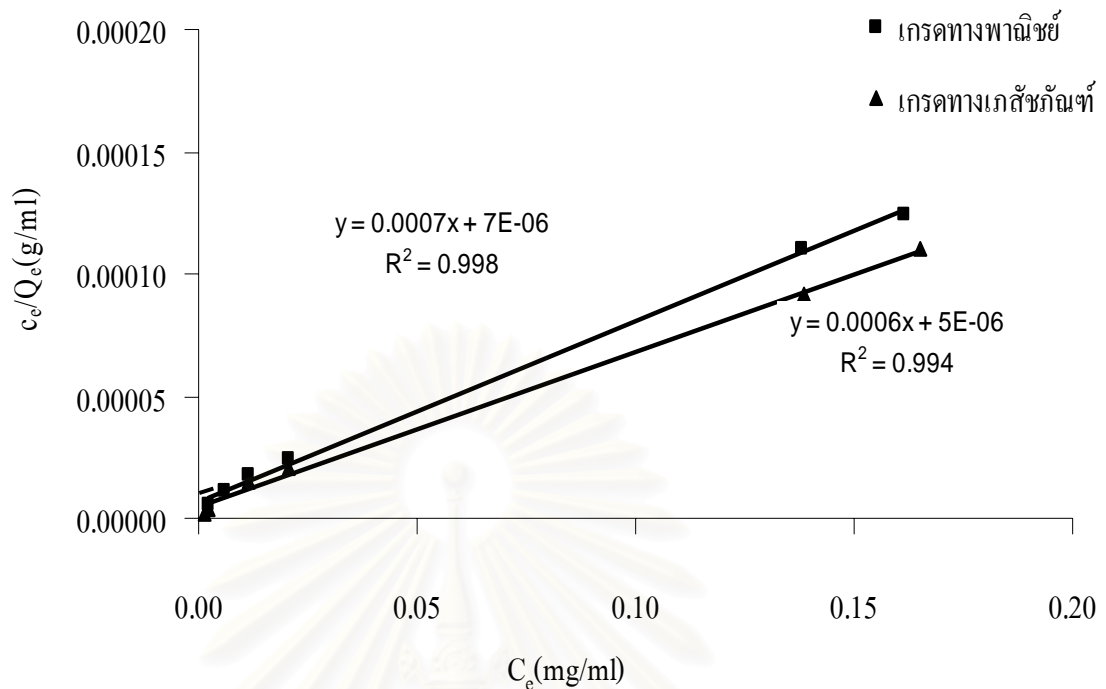
ไอโซเทอมของการดูดซับเป็นตัวแทนในการอธิบายกลไกการดูดซับสีเขียวที่สมดุลที่เกิดขึ้น โดยไอโซเทอมของการดูดซับเป็นเส้นที่ได้จากความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของสารหรือไอออนที่ถูกดูดซับไว้ต่อหน่วยน้ำหนักของสารดูดซับ กับความเข้มข้นของสารหรือไอออนที่เหลืออยู่ในสารละลายที่สภาวะสมดุล ณ อุณหภูมิคงที่หนึ่งๆ

ผลการวิเคราะห์ระบบการดูดซับสีเขียว กรีน 25 โดยอาศัยพื้นฐานทางคณิตศาสตร์เพื่อศึกษารูปแบบสมการการดูดซับของแลงเมียร์ ซึ่งมีสมมติฐานคือ

1. การดูดซับเกิดบนพื้นผิวที่มีพื้นที่ในการดูดซับที่แน่นอนและพื้นที่นั้นๆ สามารถดูดซับโมเลกุลได้เพียงชั้นเดียว (monolayer)
2. การดูดซับสามารถย้อนกลับได้
3. ไม่มีการเคลื่อนย้ายหรือเปลี่ยนแปลงตำแหน่งของไอออนหรือโมเลกุลที่ถูกดูดซับบนพื้นผิวของตัวดูดซับ
4. พลังงานในการดูดซับเท่ากันในทุกๆ พื้นที่ของการดูดซับและไม่เกิดปฏิสัมพันธ์ระหว่างไอออนหรือโมเลกุลที่ถูกดูดซับ (Yoshida และคณะ, 1993)

เมื่อทราบเวลาที่ทำให้การดูดซับสีเขียวของไคโตซานเข้าสู่สมดุลแล้วจึงได้ทำการศึกษาไอโซเทอมของการดูดซับสีเขียว กรีน 25 ด้วยไคโตซานเกรดทางพาณิชย์ ที่เวลาของการดูดซับ 120 นาที ตามโมเดลของแลงเมียร์ พบว่ากราฟที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า C_e กับ C_e/Q_e เป็นเส้นตรงที่มีสมการ $y = 0.0007 + 7E-06$ โดยมีค่า correlation coefficient (R^2) เท่ากับ 0.998 (รูปที่ 4.6)

ส่วนไอโซเทอมของการดูดซับสีเขียว กรีน 25 ด้วยไคโตซานเกรดทางเภสัชภัณฑ์ ที่เวลาของการดูดซับ 90 นาที ตามโมเดลของแลงเมียร์ พบว่ากราฟที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า C_e กับ C_e/Q_e เป็นเส้นตรงที่มีสมการ $y = 0.0006 + 5E-06$ โดยมีค่า correlation coefficient (R^2) เท่ากับ 0.994 (รูปที่ 4.6)



รูปที่ 4.6 การดูดซับสีแอสิตกรีน 25 ด้วยไคโตซานทั้งสองชนิดตามสมการแลงเมียร์

จากกราฟในรูปที่ 4.6 สามารถคำนวณหาปริมาณสีย้อมที่ถูกดูดซับได้สูงสุดตามวิธีของ H_u และคณะ (2006) พบว่าผลการศึกษาสีย้อมที่สามารถดูดซับได้สูงสุด (Q_0) ของไคโตซานเกรดทางพาณิชย์ คือ 857.14 มิลลิกรัม/กรัมไคโตซานและ Q_0 ของไคโตซานเกรดทางเภสัชภัณฑ์คือ 909.09 มิลลิกรัม/กรัมไคโตซาน แสดงให้เห็นว่าไคโตซานเกรดทางเภสัชภัณฑ์ สามารถดูดซับสีแอสิตกรีน 25 ได้มากกว่า ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองข้อ 4.1.1 คือประสิทธิภาพการดูดซับสีย้อมของไคโตซานโดยไคโตซานเกรดทางเภสัชภัณฑ์มีเปอร์เซ็นต์การดูดซับที่สูงกว่าไคโตซานเกรดทางพาณิชย์

จากตารางที่ 4.2 แสดงค่าความสามารถในการดูดซับสูงสุดของไคโตซานต่าง ๆ ในการศึกษากลุ่มสีแอสิต พบว่าเมื่อเปรียบเทียบปริมาณการดูดซับสีย้อมสูงสุดไคโตซานที่ได้ทำการศึกษาในครั้งนี้มีความสามารถในการดูดซับสูงสุดได้มากเมื่อเทียบกับการทดลองอื่น ๆ เนื่องจาก ไคโตซานที่ใช้ในการทดลองนี้มีค่าร้อยละการกำจัดหมู่อะซิทิล (DD) สูง โดยไคโตซานเกรดทางพาณิชย์และไคโตซานเกรดทางเภสัชภัณฑ์ มีค่าร้อยละการกำจัดหมู่อะซิทิลเท่ากับ 81 และ 95 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.2 เปรียบเทียบความสามารถในการดูดซับสีของตัวดูดซับต่าง ๆ

สีย้อม	ตัวดูดซับ	ความสามารถในการดูดซับ (มิลลิกรัมต่อกรัม)	อ้างอิง
AG 25	Chitosan flake (pharmaceutical grade) (DD =95 เปอร์เซ็นต์; size $\leq 500 \mu\text{m}$)	909.09	งานวิจัยนี้
	Chitosan flake (commercial grade) (DD =81 เปอร์เซ็นต์; size $\leq 500 \mu\text{m}$)	857.14	งานวิจัยนี้
	Chitosan powder (DD =54 เปอร์เซ็นต์; size 355-500 μm)	645.1	Wong และคณะ, 2004
AR 18	Chitosan powder (DD =54 เปอร์เซ็นต์; size 355-500 μm)	693.2	Wong และคณะ, 2004
AB	Chitosan flake (DD =92.8 เปอร์เซ็นต์; size 2.2 mm)	323	Satchatham, 2003
AO 51	Chitosan bead (dried bead) (DD =97.2 เปอร์เซ็นต์)	494	Chang และ Juang, 2005
AB 25	Chitin	183	McKay และคณะ, 2004
AB 158	Chitin	216	McKay และคณะ, 2004

4.2 ผลการศึกษาการย่อยสลายของไคโตซาน

4.2.1 สมบัติทางกายภาพและเคมีดิน

เมื่อนำดินมาวิเคราะห์หาสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดิน ได้ผลการทดลอง ดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 คุณสมบัติของดินที่ใช้ในการวิจัย

พารามิเตอร์	ลักษณะสมบัติของดิน
1. ลักษณะเนื้อดิน (soil texture)	45 : 36 : 19 (loam)
2. ความเป็นกรดต่างของดิน (pH)	6.79
3. ปริมาณอินทรีย์คาร์บอน (organic carbon)	1.57 เปอร์เซ็นต์
4. ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (total nitrogen)	0.104 เปอร์เซ็นต์

1) ลักษณะเนื้อดิน (soil texture)

ดินที่ใช้ในงานวิจัยครั้งนี้มีอัตราส่วนของ sand: silt: clay เป็น 45 : 36 : 19 เมื่อนำมาเทียบกับสามเหลี่ยมประเภทของเนื้อดินพบว่า เป็นดินร่วน (loam) ซึ่งดินร่วน หมายถึง ดินที่แสดงสมบัติเด่นของอนุภาคในกลุ่มขนาดหลักทั้ง 3 กลุ่มในระดับความเด่นชัดที่ไม่แตกต่างกัน หรือแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย (ศุภมาส พนิชศักดิ์พัฒนา, 2540)

2) ความเป็นกรดต่างของดิน (pH)

ความเป็นกรดต่างของดินนั้นบ่งบอกถึงความสามารถในการเกิดปฏิกิริยาต่าง ๆ ของดินโดยพิจารณาจากปริมาณของไฮโดรเจนไอออน (H^+) และไฮดรอกซิลไอออน (OH^-) ในสารละลายดิน (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2536) ซึ่งดินที่ใช้ในงานวิจัยนี้มีค่าความเป็นกรดต่างของดินอยู่ที่ 6.79 เป็นดินที่มีค่าความเป็นกรดต่างค่อนข้างเป็นกลาง ซึ่งค่าความเป็นกรดต่างของดินที่เหมาะสมกับกิจกรรมของจุลินทรีย์ดินคือในสภาพดินเป็นกลาง (ศุภมาส พนิชศักดิ์พัฒนา, 2540)

3) ปริมาณอินทรีย์คาร์บอน (organic carbon)

ปริมาณอินทรีย์คาร์บอน คือปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน มีต้นกำเนิดมาจากซากพืช ซากสัตว์ รวมทั้งอินทรียสารที่รากพืชปลดปล่อยออกมาทางรากและที่จุลินทรีย์ดิน

สังเคราะห์ขึ้นมา ซึ่งปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในดินนั้นแสดงถึงความอุดมสมบูรณ์ของดินนั่นเอง (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2536) ดินที่ใช้ในงานวิจัยนี้มีค่าปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในดินอยู่ที่ 1.57 เปอร์เซ็นต์

4) ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (total nitrogen)

ไนโตรเจนนับว่าเป็นธาตุอาหารหลักสำหรับการเจริญเติบโตเพราะไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบของโปรตีน ซึ่งเป็นสารที่ต้องใช้ในการสร้างกรดอะมิโนต่างๆ ที่ใช้ในการสร้างเซลล์ของจุลินทรีย์ (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548) สำหรับดินที่ใช้ในงานวิจัยในครั้งนี้มีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด 0.104 เปอร์เซ็นต์

4.2.2 ผลการศึกษา pH ที่เหมาะสมในการย่อยสลาย

pH ของดินกับกิจกรรมจุลินทรีย์ดิน โดยแบคทีเรียส่วนใหญ่สามารถเจริญเติบโตได้ดีในสภาพดินเป็นกลาง กิจกรรมของแบคทีเรียบางอย่าง เช่น กระบวนการไนตริฟิเคชันจะเป็นไปโดยช้ามากถ้าดินเป็นกรดจัด (ศุภมาส พนิชศักดิ์พัฒนา, 2540)

(ก) ผลการศึกษาหาปริมาณ ดี-กลูโคซามีนของไคโตซานเกรดทางพาณิชย์และเกรดทางเภสัชภัณฑ์

จากการทดลองศึกษาหาปริมาณดี-กลูโคซามีนของไคโตซานเกรดทางพาณิชย์ในสถานะความเป็นกรดต่าง ได้ผลการทดลอง คือ ค่าปริมาณ ดี-กลูโคซามีนของไคโตซานเกรดทางพาณิชย์โดยรวมทั้งหมดอยู่ในช่วง 0.013-0.050 มิลลิกรัมต่อกรัมไคโตซาน ปริมาณ ดี-กลูโคซามีน (รูปที่ 4.7 ก) มีค่าสูงสุดเท่ากับ 0.050 มิลลิกรัมต่อกรัมไคโตซาน ในดินที่มี pH เป็นกลาง และปริมาณ ดี-กลูโคซามีนมีค่าที่ต่ำที่สุดเท่ากับ 0.013 มิลลิกรัมต่อกรัมไคโตซาน ในดินที่มี pH เป็นกรด

ปริมาณดี-กลูโคซามีนของไคโตซานเกรดทางพาณิชย์ ในดินชุดควบคุม (pH กลาง) pH กรด pH ต่าง มีค่าอยู่ในช่วง 0.017-0.05 0.013-0.047 และ 0.016-0.041 มิลลิกรัมต่อกรัมไคโตซาน ตามลำดับ จากรูปที่ 4.7 (ก) พบว่าที่สถานะทั้งสามปริมาณดี-กลูโคซามีน มีการเปลี่ยนแปลงในช่วงแรกเล็กน้อยและเริ่มเพิ่มขึ้นหลังจากวันที่ 7 และมีค่าสูงสุดในวันที่ 14 หลังจากนั้น ค่าเริ่มมีการลดลงและค่อนข้างคงที่

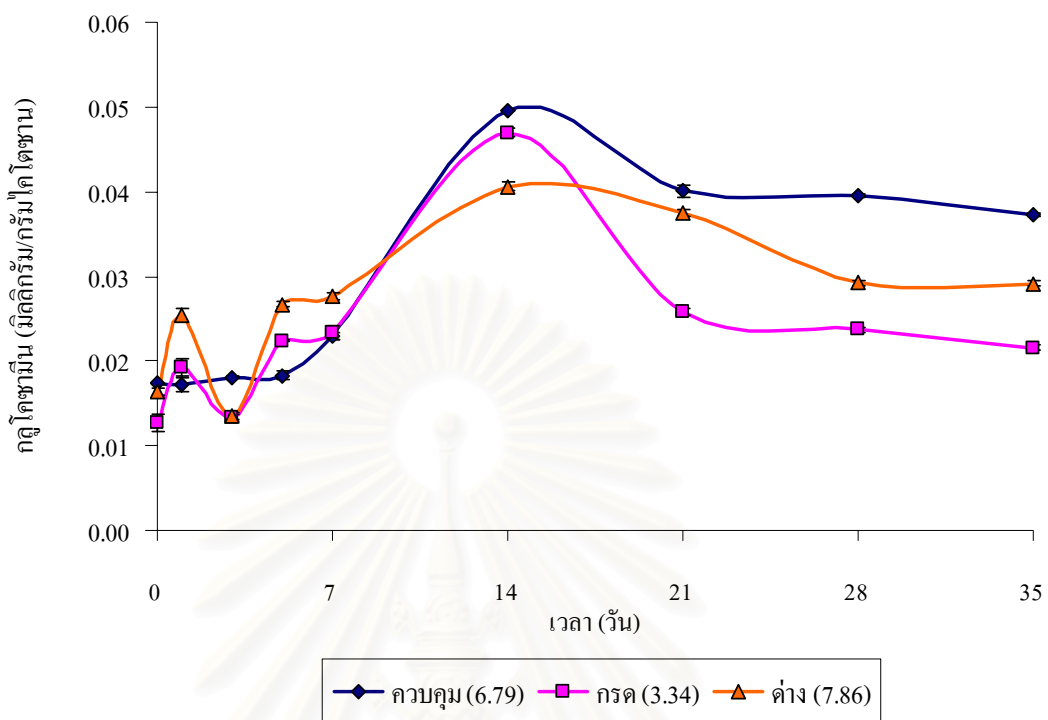
จากการทดลองศึกษาหาปริมาณดี-กลูโคซามีนของไคโตซานเกรดทางเภสัชภัณฑ์ ในสถานะความเป็นกรด-ต่าง ได้ผลการทดลอง คือ ค่าปริมาณ ดี-กลูโคซามีนของไคโตซานเกรดทางเภสัชภัณฑ์โดยรวมทั้งหมดอยู่ในช่วง 0.013-0.053 มิลลิกรัมต่อกรัมไคโตซาน

ปริมาณ ดี-กลูโคซามีน (รูปที่ 4.8 ก) มีค่าสูงสุดเท่ากับ 0.053 มิลลิกรัมต่อกรัมไคโตซาน ในดินที่มี pH เป็นกลาง ค่า ปริมาณ ดี-กลูโคซามีน มีค่าต่ำที่สุดคือ 0.013 มิลลิกรัมต่อกรัมไคโตซานในดินที่มี pH เป็นกรด

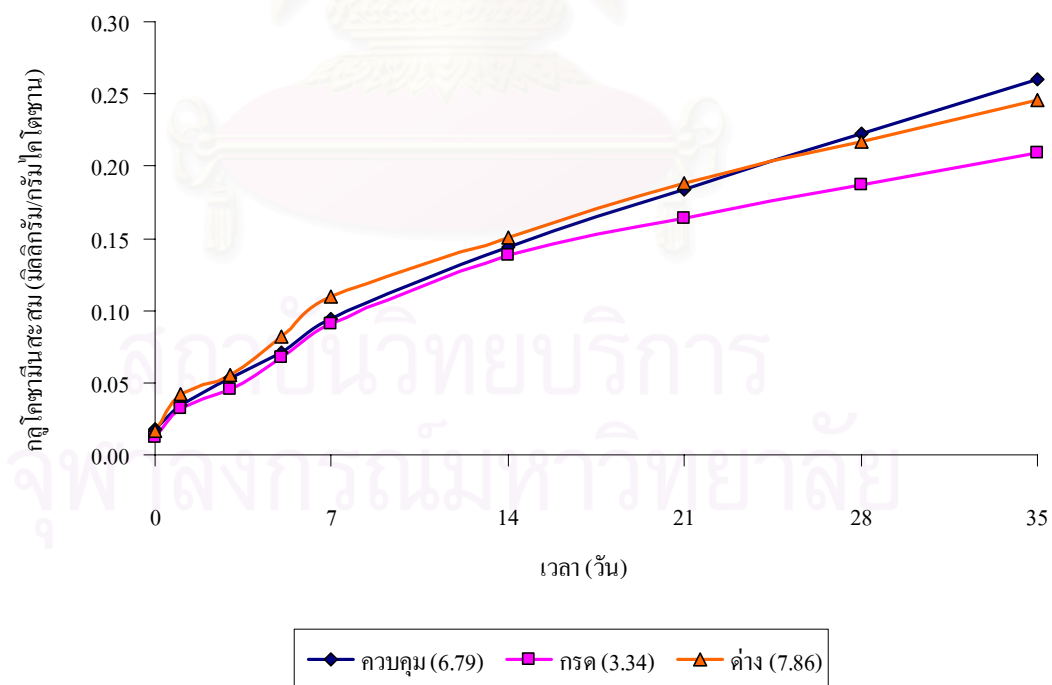
ปริมาณดี-กลูโคซามีนของไคโตซานเกรดทางเภสัชภัณฑ์ ในดินชุดควบคุม (pH กลาง) pH กรด pH ต่าง มีค่าอยู่ในช่วง 0.019-0.053 0.013-0.052 และ 0.019-0.035 มิลลิกรัมต่อกรัมไคโตซาน ตามลำดับ จากรูปที่ 4.8 (ก) พบว่าที่สถานะทั้งสามปริมาณดี-กลูโคซามีน มีการเปลี่ยนแปลงในช่วงแรกเล็กน้อยและเริ่มเพิ่มขึ้นหลังจากวันที่ 7 และมีค่าสูงสุดในวันที่ 14 หลังจากนั้น ค่าเริ่มมีการลดลง และค่อนข้างคงที่

จากการศึกษาหาปริมาณดี-กลูโคซามีน ในดินที่มี pH เป็นกลาง กรด และ ต่าง ของไคโตซานทั้งสองชนิดมีการเปลี่ยนแปลงในการทำงานเดียวกันคือ ช่วงแรกมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย หลังจากนั้นค่าปริมาณดี-กลูโคซามีน เพิ่มสูงขึ้น และเริ่มคงที่เมื่อระยะเวลาผ่านไป ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Cabrera และ Cutsem (2005) ที่ส่วนหนึ่งได้ศึกษาการย่อยของไคโตซาน และผลพบว่าจำนวนไคโตซานที่สลายเป็น กลูโคซามีนช่วงแรกจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว หลังจากนั้น จะไม่มีการเพิ่มขึ้นและเริ่มคงที่เมื่อเวลาผ่านไป และจากรูปที่ 4.7 (ข) และ 4.8 (ข) พบว่าดินที่มี pH เป็นกลางมีแนวโน้มของค่าปริมาณดี-กลูโคซามีน เพิ่มสูงขึ้นกว่าดินชนิดอื่น อาจเนื่องมาจากความเหมาะสมในกิจกรรมของจุลินทรีย์ที่ได้กล่าวในข้างต้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Setti และคณะ (1999) ที่กล่าวว่า ไคโตซานสามารถย่อยได้ดีในสถานะที่มี pH เท่ากับ 7

(ก)

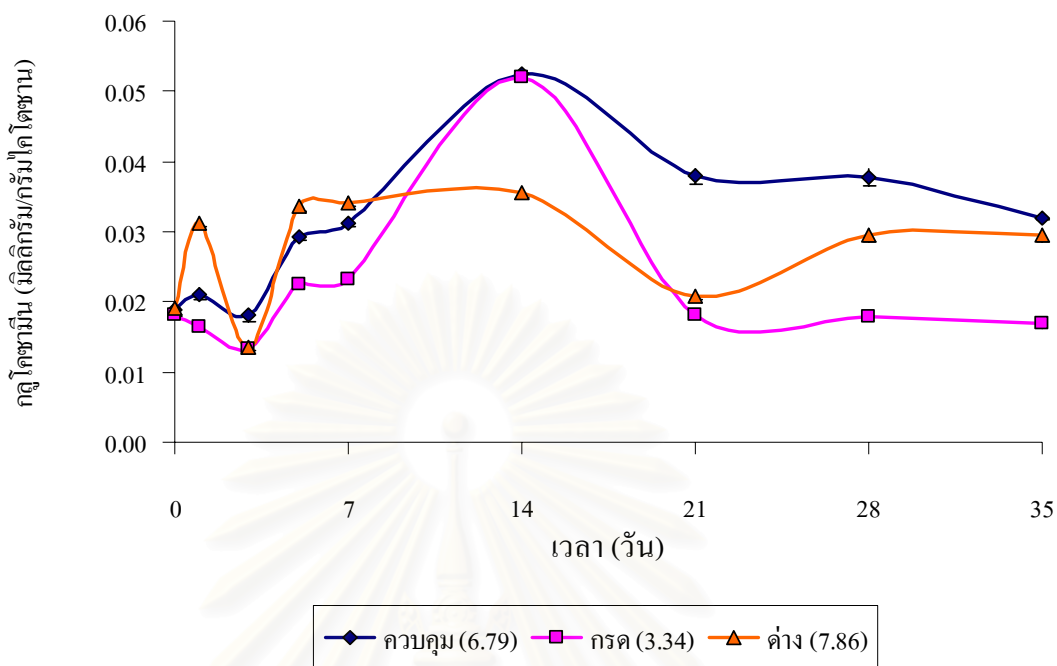


(ข)

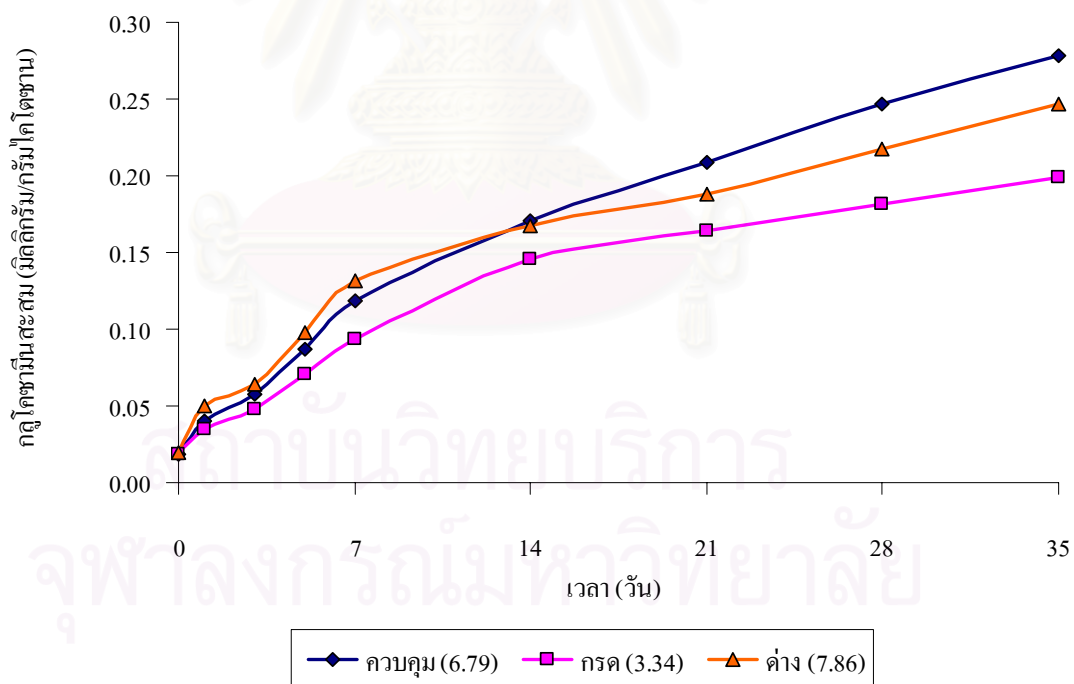


รูปที่ 4.7 (ก) ปริมาณดี-กดูโคชาเมิน และ (ข) ปริมาณดี-กดูโคชาเมินสะสมของโคโตซานเกรดทางพาณิชย์ ที่สภาวะความเป็นกรด ต่าง และควบคุม

(ก)



(ข)



รูปที่ 4.8 (ก) ปริมาณดี-กลูโคซามีน และ (ข) ปริมาณดี-กลูโคซามีนสะสมของไคโตซานเกรดทางเภสัชภัณฑ์ ที่สภาวะความเป็นกรด ต่าง และควบคุม

(ข) ผลการศึกษาการหายใจของจุลินทรีย์ดินของไคโตซานเกรดทางพาณิชย์และเกรดทางเภสัชภัณฑ์

จากการทดลองศึกษาการหายใจของจุลินทรีย์ดินพบว่า ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ของไคโตซานเกรดทางพาณิชย์โดยรวมทั้งหมดอยู่ในช่วง 0-0.14 มิลลิกรัมต่อกรัมไคโตซานต่อวัน (รูปที่ 4.9 ก) และมีค่าสูงสุดเท่ากับ 0.139 กรัมต่อกรัมไคโตซานต่อวัน ในดินที่มี pH เป็นกลาง

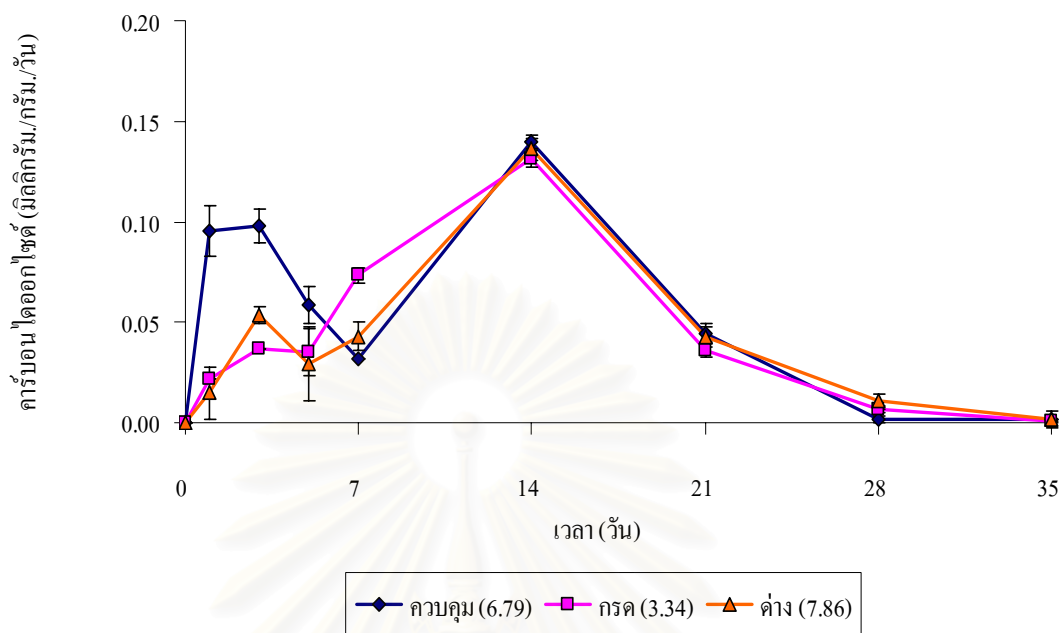
ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นของไคโตซานเกรดทางพาณิชย์ ในดินชุดควบคุม (pH กลาง) pH กรด pH ด่าง มีค่าอยู่ในช่วง 0-0.139 0-0.132 และ 0-0.136 กรัมต่อกรัมไคโตซานต่อวัน ตามลำดับ จากรูปที่ 4.9 (ก) พบว่าปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นมีการเปลี่ยนแปลงขึ้นลงในช่วง 0-7 วัน และมีค่าสูงสุดในวันที่ 14 จากนั้นจึงลดลงในวันที่ 21 และ 28 ส่วนในวันที่ 35 ปริมาณ ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นมีค่าใกล้ศูนย์

จากการทดลองศึกษาการหายใจของจุลินทรีย์ดินพบว่า ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ของไคโตซานเกรดทางเภสัชภัณฑ์ โดยรวมทั้งหมดอยู่ในช่วง 0-0.18 กรัมต่อกรัมไคโตซานต่อวัน (รูปที่ 4.10 ก) และมีค่าสูงสุดเท่ากับ 0.18 กรัมต่อกรัมไคโตซานต่อวัน ในดินที่มี pH เป็นกลาง

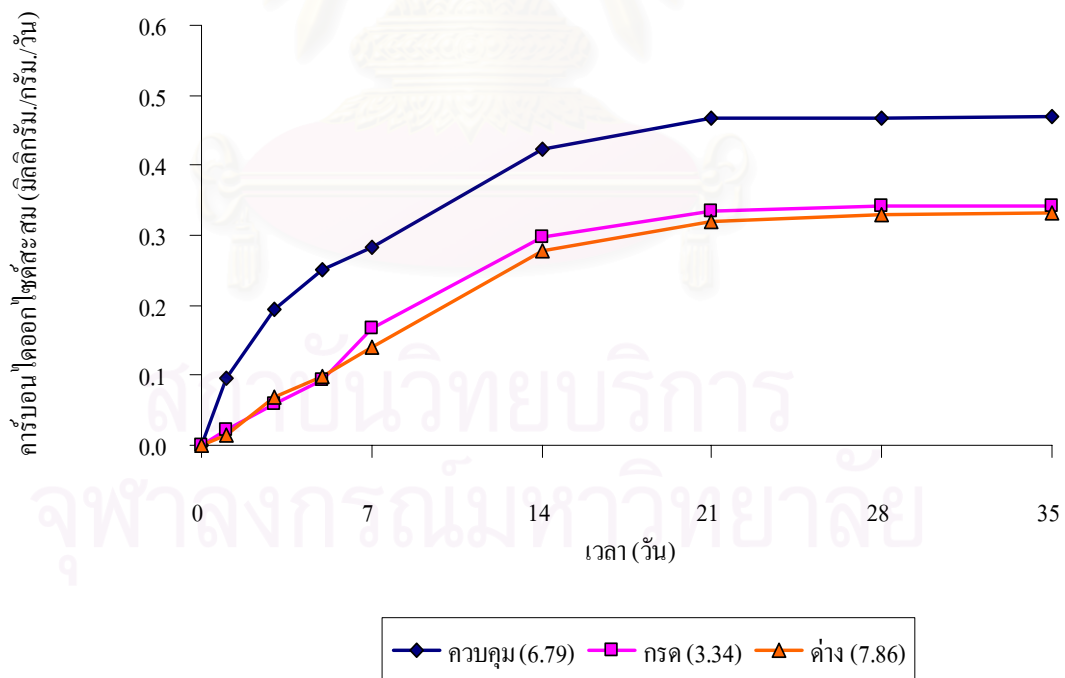
ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นของไคโตซานเกรดทางเภสัชภัณฑ์ ในดินชุดควบคุม (pH กลาง) pH กรด pH ด่าง มีค่าอยู่ในช่วง 0-0.18 0-0.149 และ 0-0.142 กรัมต่อกรัมไคโตซานต่อวัน ตามลำดับ จากรูปที่ 4.10 (ก) พบว่าปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นมีการเปลี่ยนแปลงขึ้นลงในช่วง 0-7 วัน และมีค่าสูงสุดในวันที่ 14 จากนั้นจึงลดลงในวันที่ 21 และ 28 ส่วนในวันที่ 35 ปริมาณ ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นมีค่าใกล้ 0

จากการทดลองศึกษาการหายใจของจุลินทรีย์ดินของไคโตซานทั้งสองชนิด ในดินที่มี pH กรด ด่าง และควบคุม พบว่า ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ มีการเปลี่ยนแปลงในทำนองเดียวกันคือ ช่วงแรกมีการเปลี่ยนแปลง และเริ่มเพิ่มขึ้นสูงสุดในวันที่ 14 หลังจากนั้น ค่าเริ่มมีการลดลง และจากรูปที่ 4.9 (ข) และ 4.10 (ข) พบว่ามีการเพิ่มมากขึ้นเมื่อระยะเวลาผ่านไป 21 วัน หลังจากนั้นค่าค่อนข้างคงที่ จากผลการทดลองที่เกิดขึ้นเนื่องจากปัจจัยที่มีผลต่อจุลินทรีย์ในการย่อยสลายจะเกิดขึ้นได้ดีในสภาพที่เป็นกลางหรือด่างเล็กน้อย มากกว่าในสภาพที่เป็นกรด (ศุภมาส พนิชศักดิ์พัฒนา, 2540) ซึ่งสอดคล้องกับผลที่แสดงให้เห็นว่าที่สภาวะเป็นกลางมีค่าการหายใจของจุลินทรีย์ดินที่ดีที่สุด

(ก)

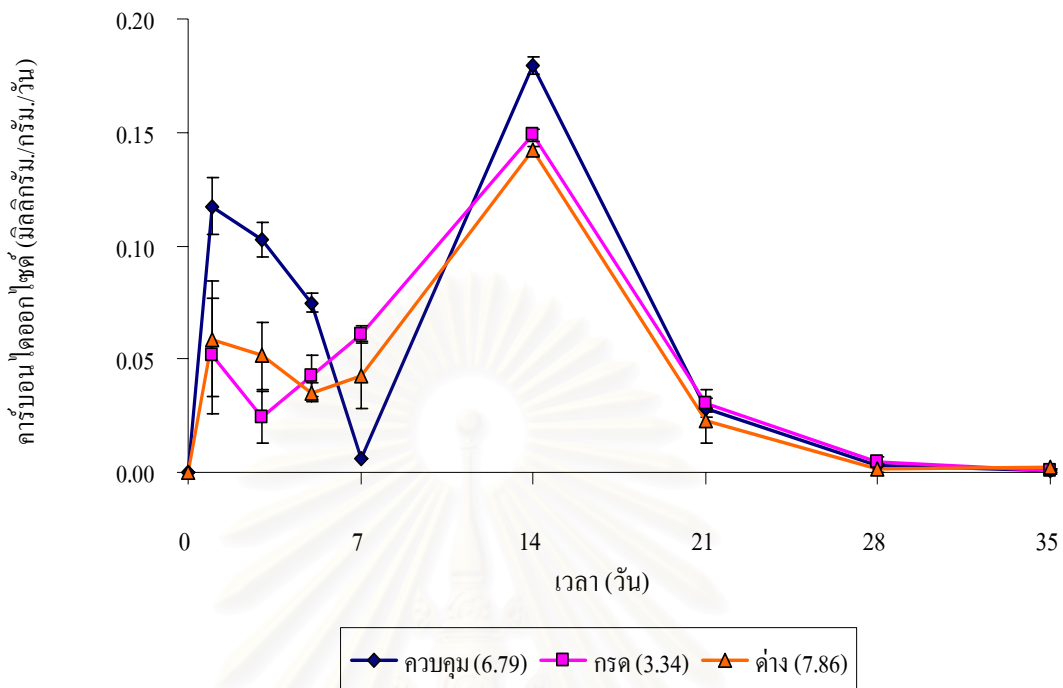


(ข)

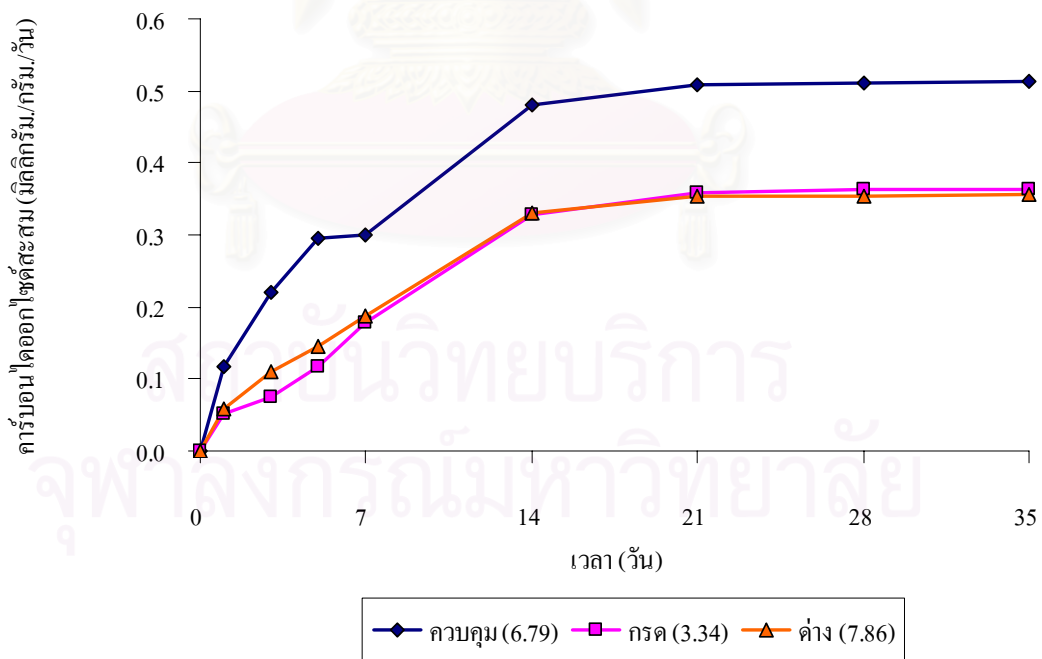


รูปที่ 4.9 (ก) ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ และ (ข) ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์สะสมของ ไคโตซานเกรดทางพาณิชย์ ที่สภาวะความเป็นกรด ต่าง และควบคุม

(ก)



(ข)



รูปที่ 4.10 (ก) ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ และ (ข) ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์สะสมของ ไคโตซานเกรดทางเภสัชภัณฑ์ ที่สภาวะความเป็นกรด ค้าง และควบคุม

(ค) ผลการศึกษาปริมาณอินทรีย์คาร์บอนของไคโตซานเกรดทางพาณิชย์และเกรดทางเภสัชภัณฑ์

จากการทดลองศึกษาปริมาณอินทรีย์คาร์บอนของไคโตซานเกรดทางพาณิชย์ พบว่า ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนโดยรวมทั้งหมดอยู่ในช่วง 0.3-2.6 เปอร์เซ็นต์ ดังรูปที่ 4.11 (ก) โดยค่าน้อยสุดเท่ากับ 0.399 เปอร์เซ็นต์ ในดินที่มี pH เป็นกลาง และปริมาณอินทรีย์คาร์บอนจะสูงที่สุดเท่ากับ 2.584 เปอร์เซ็นต์ ในดินที่มี pH เป็นด่าง

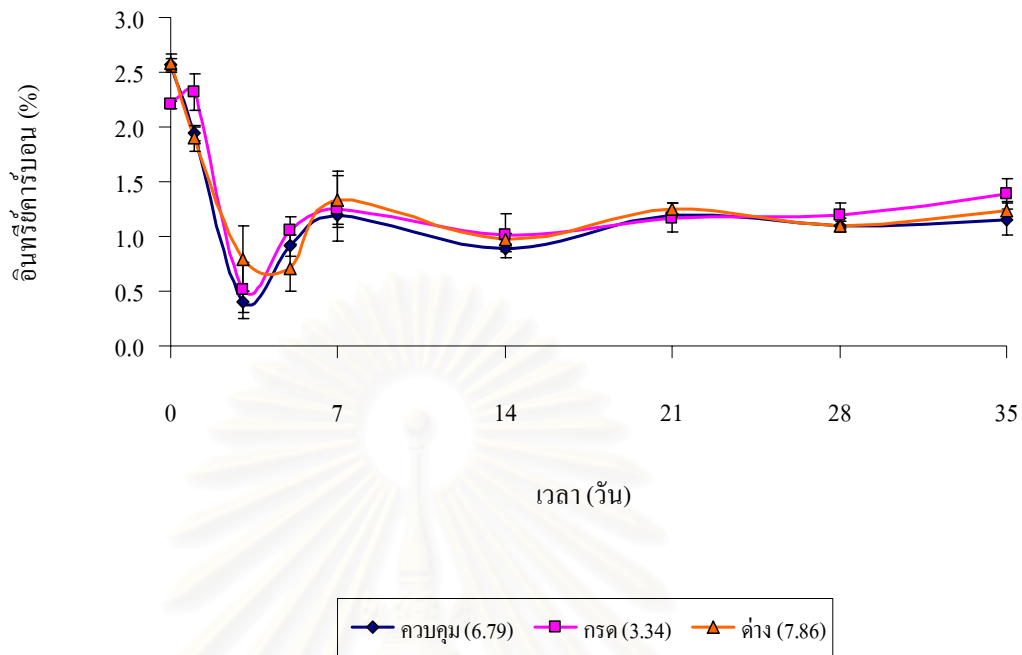
ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนของไคโตซานเกรดทางพาณิชย์ ในดินชุดควบคุม (pH กลาง) pH กรด pH ด่าง มีค่าอยู่ในช่วง 0.399-2.565 0.513-2.318 และ 0.798-2.584 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ จากรูปที่ 4.11 (ก) พบว่าปริมาณอินทรีย์คาร์บอนมีการเปลี่ยนแปลงในช่วงแรกโดยปริมาณอินทรีย์คาร์บอนลดลงต่ำสุดวันที่ 3 และเพิ่มขึ้นหลังจากนั้นค่าเริ่มลดลงอีกครั้งในวันที่ 14 หลังจากนั้นค่าค่อนข้างคงที่

จากการทดลองศึกษาปริมาณอินทรีย์คาร์บอนของไคโตซานเกรดทางเภสัชภัณฑ์ พบว่า ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนโดยรวมทั้งหมดอยู่ในช่วง 0.4-3.344 เปอร์เซ็นต์ (รูปที่ 4.12 ก) โดยค่าน้อยสุดเท่ากับ 0.399 เปอร์เซ็นต์ ในดินที่มี pH เป็นกลาง และปริมาณอินทรีย์คาร์บอนมีค่าสูงที่สุดเท่ากับ 3.344 เปอร์เซ็นต์ ในดินที่มี pH เป็นด่าง

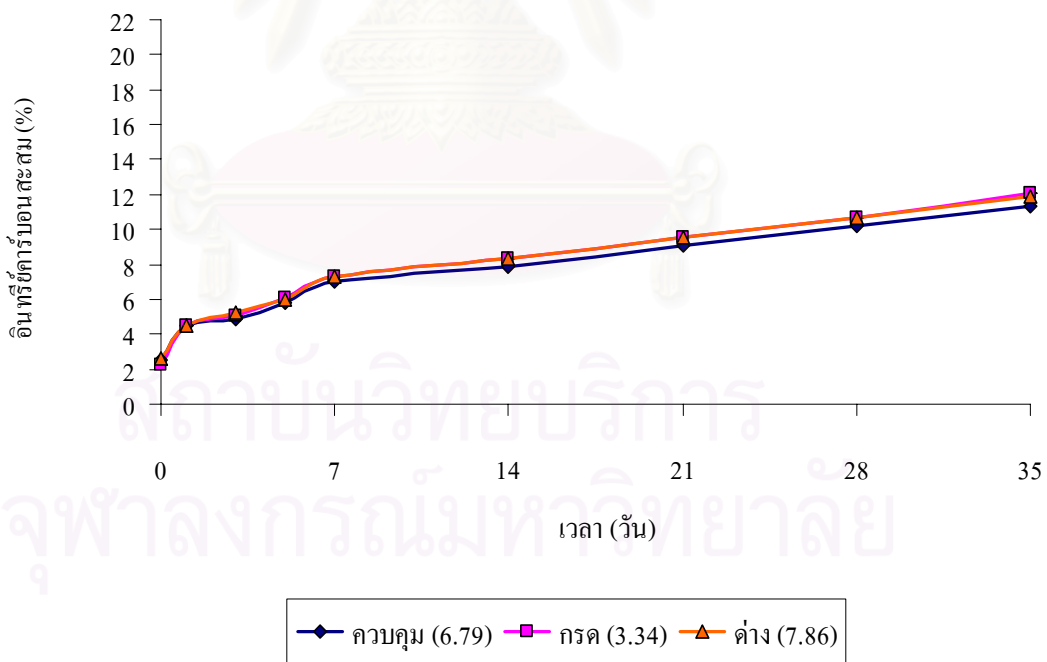
ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนของไคโตซานเกรดทางเภสัชภัณฑ์ในดินชุดควบคุม (pH กลาง) pH กรด pH ด่าง มีค่าอยู่ในช่วง 0.399-3.306 0.655-3.021 และ 0.712-3.344 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ จากรูปที่ 4.12 (ก) พบว่าปริมาณอินทรีย์คาร์บอนมีการเปลี่ยนแปลงในช่วงแรกโดยปริมาณอินทรีย์คาร์บอนลดลงต่ำสุดวันที่ 3 และเพิ่มขึ้นหลังจากนั้นค่าเริ่มลดลงอีกครั้งในวันที่ 14 หลังจากนั้นค่าค่อนข้างคงที่

จากการศึกษาหาค่าปริมาณอินทรีย์คาร์บอนของไคโตซานเกรดทางพาณิชย์และเกรดทางเภสัชภัณฑ์ ในดินที่มี pH เป็นกรด ด่าง และควบคุม พบว่าปริมาณอินทรีย์คาร์บอนเปลี่ยนแปลงในทำนองเดียวกัน แต่ไคโตซานเกรดทางเภสัชภัณฑ์จะเห็นการเปลี่ยนแปลงที่ชัดเจนกว่า จากรูปที่ 4.11 (ข) และ 4.12 (ข) ที่แสดงการสะสมค่าปริมาณอินทรีย์คาร์บอน เมื่อระยะเวลาต่าง ๆ พบว่าดินที่มีสภาพเป็นกลาง (6.79) มีค่าปริมาณอินทรีย์คาร์บอนที่น้อยกว่าดินชนิดอื่น ซึ่งจากการทดลองของ Wang และคณะ (2003) พบว่าการย่อยสลายทั่วไป จะทำให้อินทรีย์คาร์บอนในดินค่อย ๆ ลดลง

(ก)

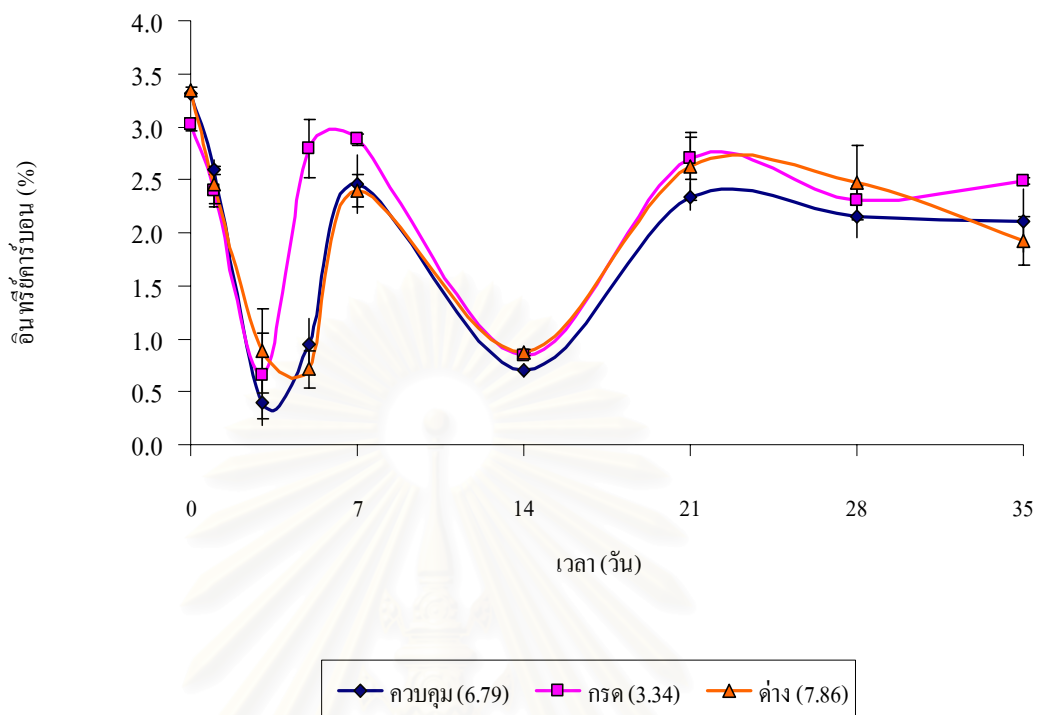


(ข)

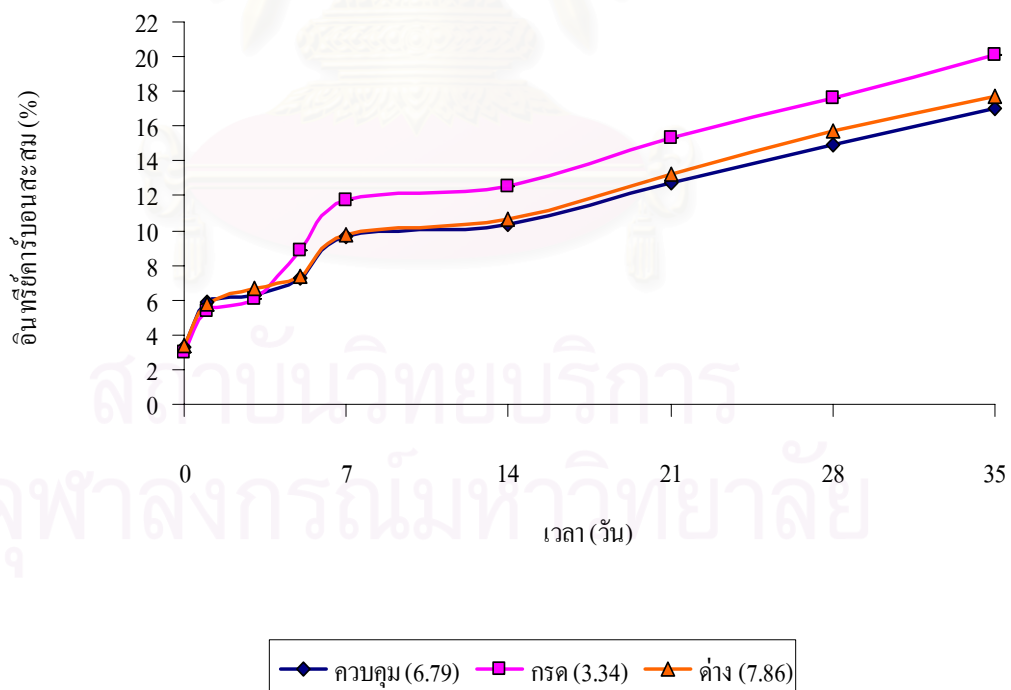


รูปที่ 4.11 (ก) ปริมาณอินทรีย์คาร์บอน และ (ข) ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนสะสมของไคโตซานเกรดทางพาณิชย์ ที่สภาวะความเป็นกรด ต่าง และควบคุม

(ก)



(ข)



รูปที่ 4.12 (ก) ปริมาณอินทรีย์คาร์บอน และ (ข) ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนสะสมของไคโตซานเกรดทางเภสัชภัณฑ์ ที่สภาวะความเป็นกรด ต่าง และควบคุม

(ง) ผลการศึกษาปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดของไคโตซานเกรดทางพาณิชย์และเกรดทางเภสัชภัณฑ์

จากการทดลองศึกษาปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดของไคโตซานเกรดทางพาณิชย์ พบว่า ปริมาณไนโตรเจนโดยรวมทั้งหมดอยู่ในช่วง 0.09-0.195 เปอร์เซ็นต์ (รูปที่ 4.13 ก) โดยค่าน้อยสุดเท่ากับ 0.09 เปอร์เซ็นต์ ในดินที่มี pH เป็นกลาง และปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดมีค่าสูงที่สุดเท่ากับ 0.195 เปอร์เซ็นต์ ในดินที่มี pH เป็นกรด

ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดของไคโตซานเกรดทางพาณิชย์ ในดินชุดควบคุม (pH กลาง) pH กรด pH ต่าง มีค่าอยู่ในช่วง 0.09-0.135 0.095-0.195 และ 0.092-0.162 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ จากรูปที่ 4.13 (ก) พบว่าปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดมีการเปลี่ยนแปลงในช่วงแรกโดยลดลงต่ำสุดวันที่ 14 และเพิ่มสูงขึ้นอีกครั้งในวันที่ 21 หลังจากนั้นค่าค่อนข้างคงที่จนถึงวันที่ 35

จากการทดลองศึกษาปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดของไคโตซานเกรดทางเภสัชภัณฑ์ พบว่า ปริมาณไนโตรเจนโดยรวมทั้งหมดอยู่ในช่วง 0.142-3.357 เปอร์เซ็นต์ (รูปที่ 4.14 ก) โดยค่าน้อยสุดคือ 0.412 เปอร์เซ็นต์ ในดินที่มี pH เป็นกลาง

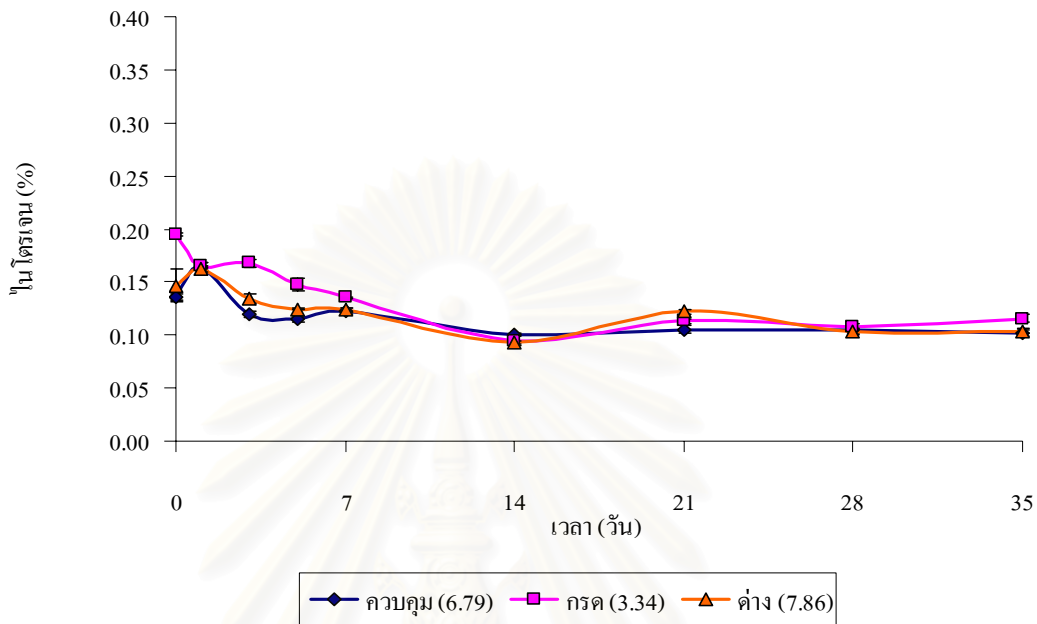
ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดของไคโตซานเกรดทางเภสัชภัณฑ์ในดินชุดควบคุม (pH กลาง) pH กรด pH ต่าง มีค่าอยู่ในช่วง 0.142-0.357 0.178-0.355 และ 0.145-0.353 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ จากรูปที่ 4.14 (ก) พบว่าปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดมีการเปลี่ยนแปลงในช่วงแรก หลังจากวันที่ 7 ค่าเริ่มลดลงและเพิ่มสูงขึ้นอีกครั้งในวันที่ 21 หลังจากนั้นเริ่มลดลงและค่อนข้างคงที่จนถึงวันที่ 35

จากการศึกษาปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดของไคโตซานเกรดทางพาณิชย์ และเกรดทางเภสัชภัณฑ์ในดินที่มี pH เป็นกรด ต่าง และควบคุม พบว่าปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดมีการเปลี่ยนแปลงในทำนองเดียวกัน คือมีแนวโน้มลดลง จากรูปที่ 4.13 (ข) และ 4.14 (ข) ที่แสดงการสะสมปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด เมื่อระยะเวลาต่าง ๆ สังเกตว่าดินที่มีสภาพเป็นกลางมีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดสะสมที่เวลาต่าง ๆ ที่ค่อนข้างน้อยกว่าดินชนิดอื่น ซึ่งจากการทดลองของ Bustamante และคณะ (2007) พบว่าการย่อยสลายทั่วไปปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด เพิ่มขึ้นใน 2 สัปดาห์แรก หลังจากนั้นค่าปริมาณไนโตรเจนลดลง อาจเป็นเพราะปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดถูกระเหยในรูปของแอมโมเนียหรือจากกระบวนการดีไนตริฟิเคชัน ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลอง

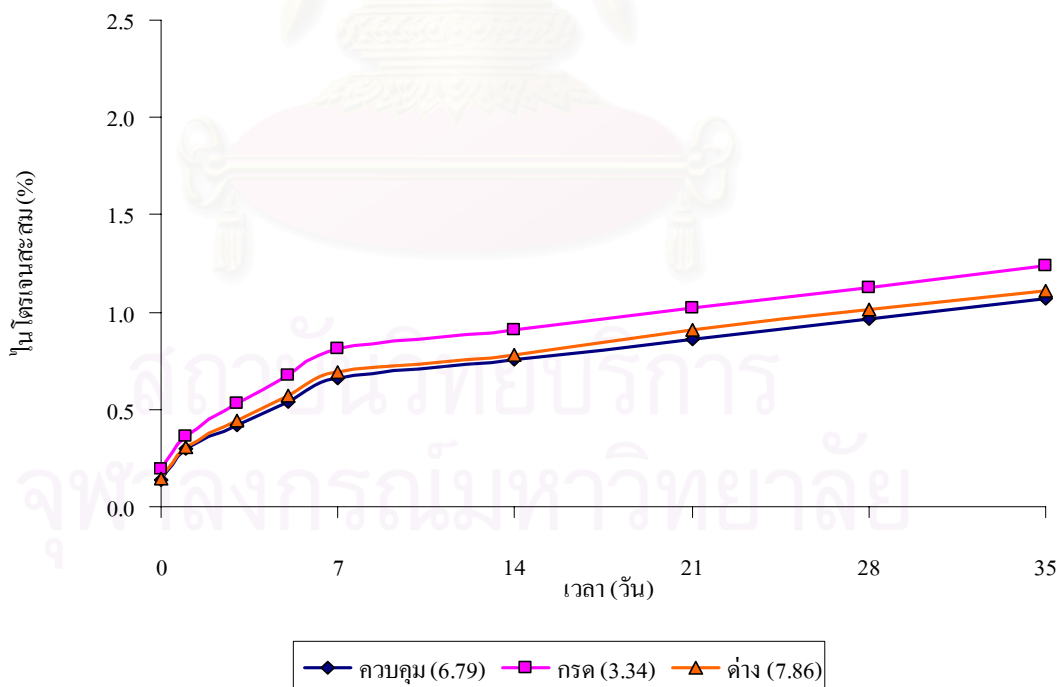
จากการศึกษาปัจจัย pH ของดินในการย่อยสลายของไคโตซานทั้งสองชนิด พบว่า ค่าพารามิเตอร์ที่กล่าวข้างต้นส่วนใหญ่มีแนวโน้มที่เหมือนกันและค่าไม่แตกต่างกันมากนัก เพราะสภาพของ pH ดินมีผลต่อการทำงานของเอนไซม์ และกิจกรรมต่างๆ ภายในดิน โดยทั่วไป

การย่อยสลายจะเกิดขึ้นได้ดีในสภาวะดินเป็นกลาง (สุกมาศ พนิชศักดิ์พัฒนา, 2540) ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษานี้

(ก)

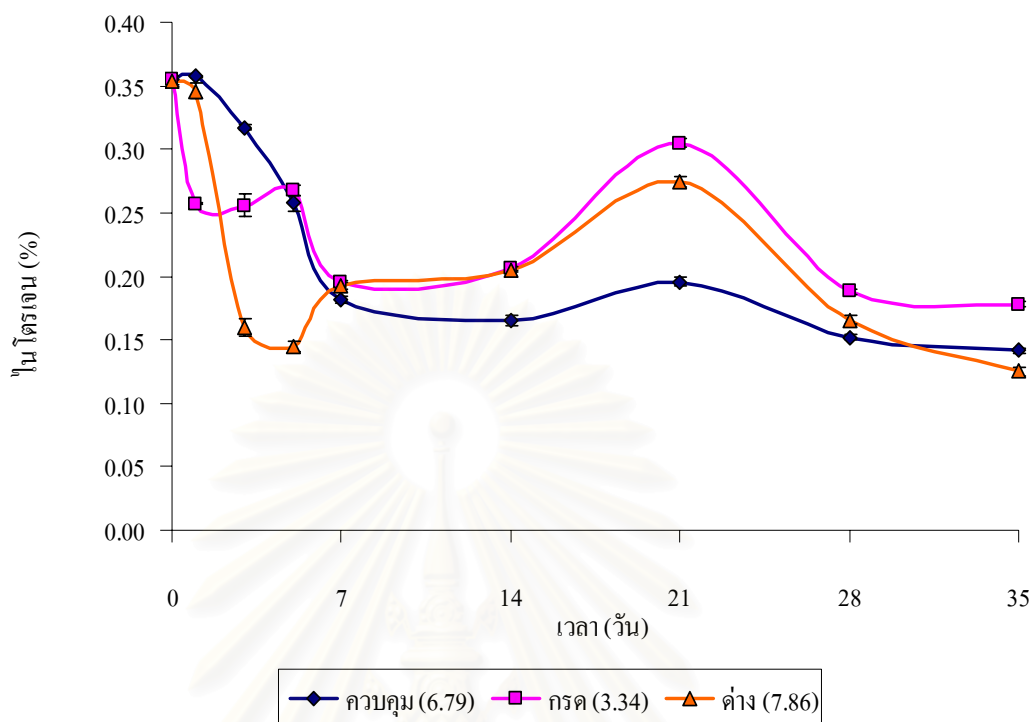


(ข)

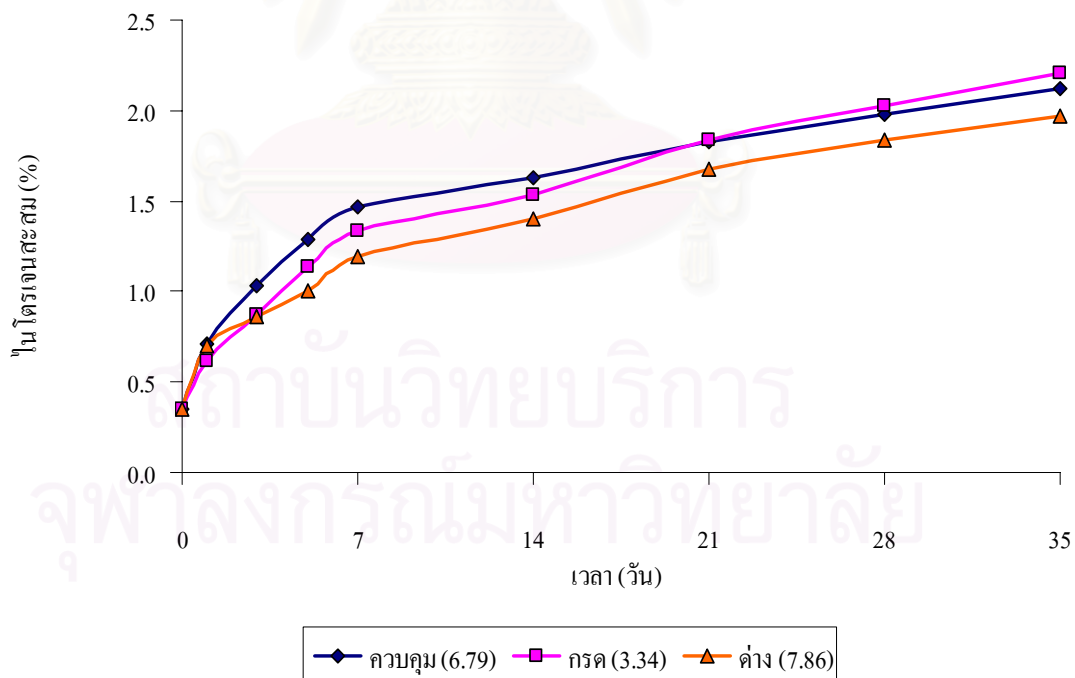


รูปที่ 4.13 (ก) ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด และ (ข) ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดสะสมของไคโดซาน เกรดทางพาณิชย์ ที่สภาวะความเป็นกรด ด่าง และควบคุม

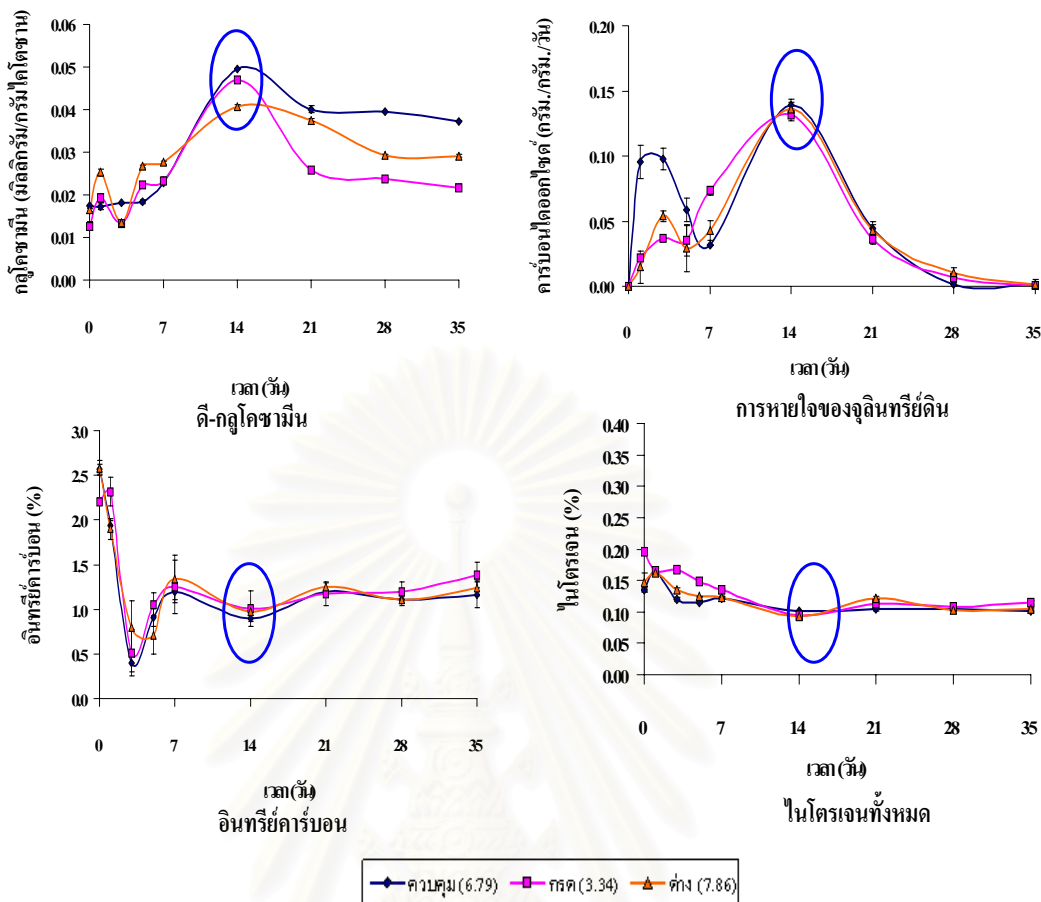
(ก)



(ข)



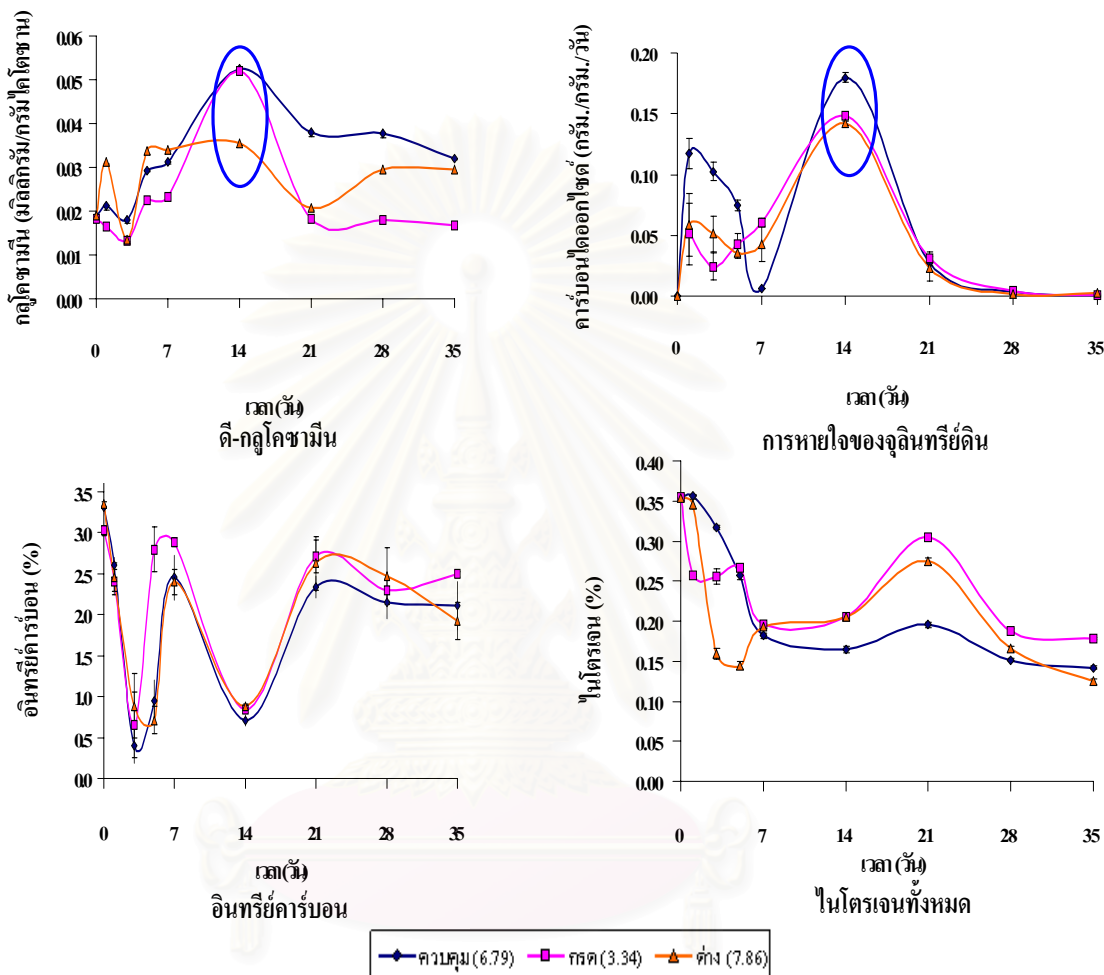
รูปที่ 4.14 (ก) ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด และ (ข) ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดสะสมของโคโคซาน เกรดทางเภสัชภัณฑ์ ที่สภาวะความเป็นกรด ต่าง และควบคุม



รูปที่ 4.15 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการศึกษาสภาวะ pH ที่เหมาะสมต่อการย่อยสลายของไคโตซานเกรดทางพาณิชย์ในดิน

จากรูปที่ 4.15 แสดงพารามิเตอร์ที่ใช้ในการศึกษาสภาวะ pH ที่เหมาะสมต่อการย่อยสลายของไคโตซานเกรดทางพาณิชย์ในดิน เห็นได้ว่าพารามิเตอร์ทั้งสี่มีความสอดคล้องกัน โดยปริมาณกลูโคซามีนสูงสุดในวันที่ 14 และการหายใจของจุลินทรีย์ที่มีปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์สูงสุดในวันที่ 14 และสอดคล้องกับเปอร์เซ็นต์อินทรีย์คาร์บอนและเปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนที่ลดลงในวันที่ 14 เช่นกัน ในการศึกษาการย่อยสลายสังเกตว่าในช่วง 0-7 วันแรก ค่ามีการเปลี่ยนแปลงขึ้นๆ ลงๆ เป็นผลจากการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ ในสภาพแวดล้อมทั่วไปจุลินทรีย์สามารถแบ่งการเจริญเติบโตเป็น 4 ระยะดังนี้ระยะ lag phase เป็นช่วงการปรับตัวของเซลล์แบคทีเรียแต่ละชนิดจะมีการปรับตัวแตกต่างกันออกไป โดยทั่วไปจะใช้เวลา 30 นาที - 3 ชั่วโมง ระยะ log phase ระยะนี้จุลินทรีย์จะมีการแบ่งเซลล์อย่างรวดเร็ว ระยะเวลาของ log phase ของจุลินทรีย์จะต่างกันไปแม้ว่าจะเป็นสายพันธุ์เดียวกันซึ่งขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมเช่นอุณหภูมิ pH สารอาหาร ระยะ stationary phase เป็นระยะที่จำนวนเซลล์ของจุลินทรีย์เพิ่มขึ้นสูงสุดอายุมากขึ้นการเจริญเติบโตเป็นแบบ

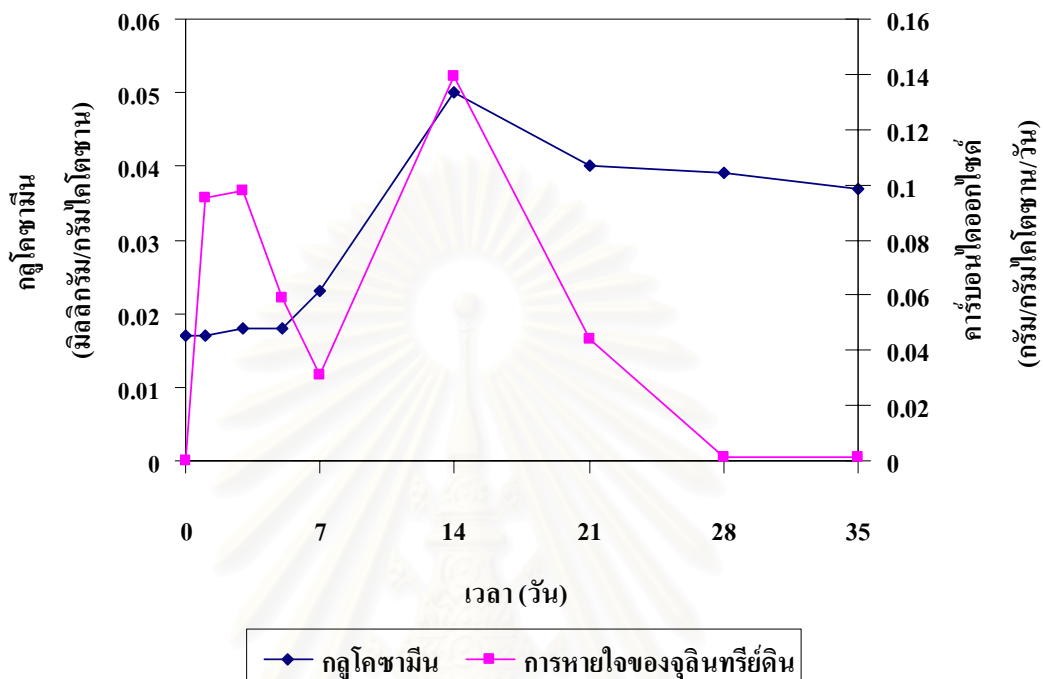
ถดถอยเซลล์เริ่มตาย และระยะDeath phase เป็นระยะสุดท้ายของการเจริญเติบโตของเซลล์ มีอัตราการตายเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ซึ่งเป็นระยะเวลาประมาณ 7-15 วัน ดังนั้นผลการทดลองในช่วงแรกจึงน่าจะเป็นการปรับตัวของจุลินทรีย์



รูปที่ 4.16 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการศึกษาสภาวะ pH ที่เหมาะสมต่อการย่อยสลายของโคโตซานเกรดทางเภสัชภัณฑ์ในดิน

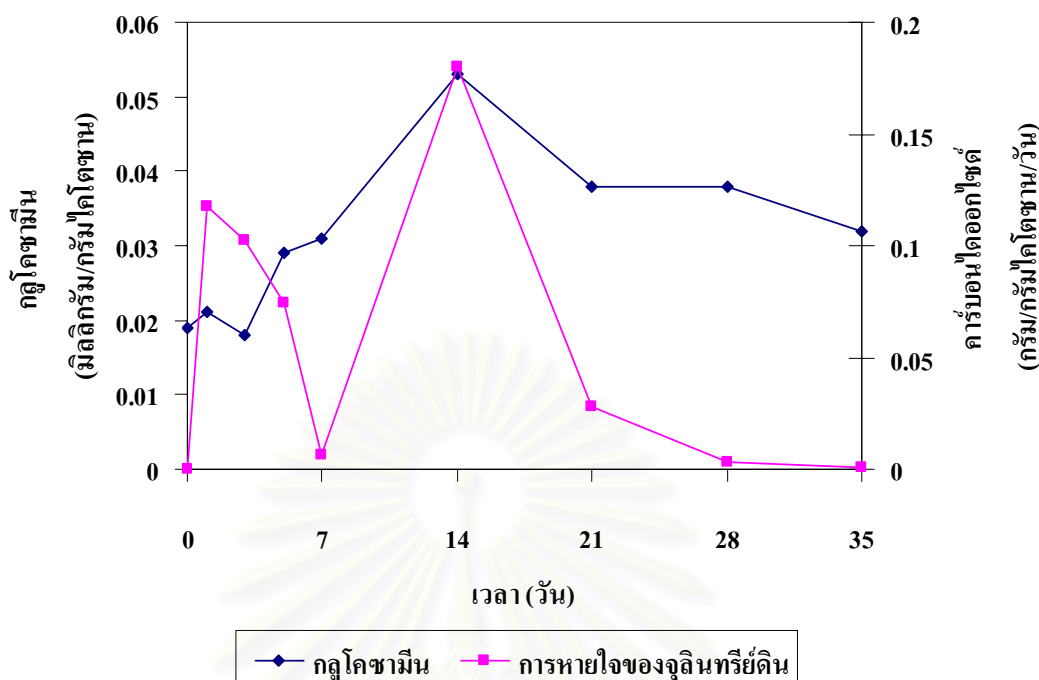
จากรูปที่ 4.16 แสดงพารามิเตอร์ที่ใช้ในการศึกษาสภาวะ pH ที่เหมาะสมต่อการย่อยสลายของโคโตซานเกรดทางเภสัชภัณฑ์ในดิน เห็นได้ว่าพารามิเตอร์ทั้งสี่มีความสอดคล้องกันแต่ค่าเปอร์เซ็นต์อินทรีย์คาร์บอนและเปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนทั้งหมดหลังจากวันที่ 14 กลับเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด อาจเป็นความคลาดเคลื่อนในการทดลองเนื่องจากการศึกษาการย่อยสลาย จุลินทรีย์ใช้

สารอินทรีย์ (ไคโตซาน) เป็นแหล่งอาหาร ดังนั้นการย่อยสลายจะทำให้ปริมาณสารอินทรีย์และปริมาณไนโตรเจนจำเป็นต้องลดลงจากการใช้และเปลี่ยนรูปไปเป็นรูปอื่น



รูปที่ 4.17 ปริมาณกลูโคซามีนและการหายใจของจุลินทรีย์ดินจากการย่อยสลายไคโตซานเกรดทางพาณิชย์ในดินที่ pH กลุ่มคววบคุม (6.79)

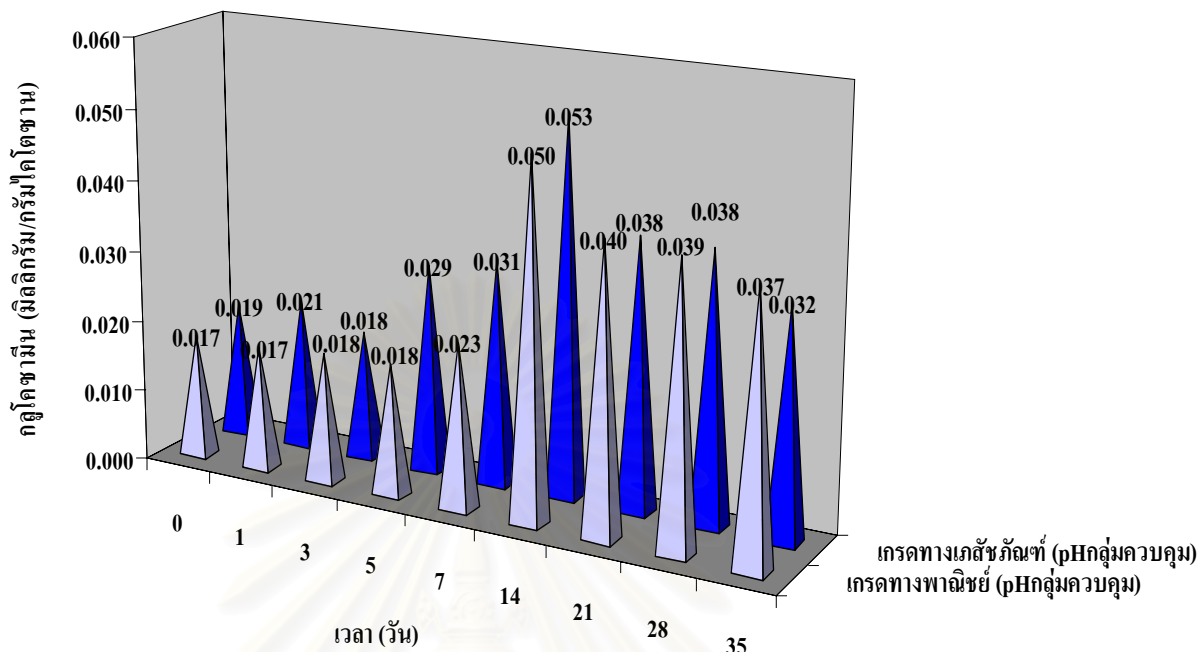
รูปที่ 4.17 แสดงปริมาณกลูโคซามีนและการหายใจของจุลินทรีย์ดินจากการย่อยสลายไคโตซานเกรดทางพาณิชย์ในดินที่ pH กลุ่มคววบคุม (6.79) จากการศึกษการย่อยสลายโดยพิจารณาปริมาณดี-กลูโคซามีนและการหายใจของจุลินทรีย์ดิน พบว่า พารามิเตอร์ทั้งสองนั้นมีแนวโน้มในทิศทางเดียวกันและมีค่าสูงสุดในวันที่ 14 เช่นกัน เมื่อทดสอบความสัมพันธ์เชิงเส้นพบว่าปริมาณกลูโคซามีนมีความสอดคล้องกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % และมีค่า Multiple R เท่ากับ 71.02 เปอร์เซ็นต์



รูปที่ 4.18 ปริมาณกลูโคซามีนและการหายใจของจุลินทรีย์ดินจากการย่อยสลายไคโตซานเกรดทางเภสัชภัณฑ์ในดินที่ pH กลุ่มควบคุม (6.79)

รูปที่ 4.18 แสดงปริมาณกลูโคซามีนและการหายใจของจุลินทรีย์ดินจากการย่อยสลายไคโตซานเกรดทางเภสัชภัณฑ์ในดินที่ pH กลุ่มควบคุม (6.79) จากการศึกษการย่อยสลายโดยพิจารณาปริมาณดี-กลูโคซามีนและการหายใจของจุลินทรีย์ดิน พบว่า พารามิเตอร์ทั้งปริมาณดี-กลูโคซามีนและการหายใจของจุลินทรีย์ดินมีแนวโน้มในทิศทางเดียวกันและมีค่าสูงสุดในวันที่ 14 เมื่อนำมาทดสอบความสัมพันธ์เชิงเส้นพบว่าปริมาณกลูโคซามีนมีความสอดคล้องกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % และมีค่า Multiple R เท่ากับ 70.55 เปอร์เซ็นต์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.19 ปริมาณดี-กลูโคซามีนของไคโตซานทั้งสองชนิดในสภาวะ pH ที่เหมาะสม

จากรูปที่ 4.19 แสดงค่าปริมาณดี-กลูโคซามีนของไคโตซานทั้งสองชนิดในสภาวะ pH ที่เหมาะสม เมื่อทำการเปรียบเทียบการย่อยสลายไคโตซานทั้งสองชนิดโดยพิจารณาจากปริมาณดี-กลูโคซามีน จากผลการทดลองที่สภาวะ pH ที่เหมาะสมต่อการย่อยสลาย พบว่าไคโตซานทั้งสองชนิดมีค่าปริมาณดี-กลูโคซามีนสูงสุดในสภาวะ pH ที่เป็นกลุ่มควบคุม (6.79) มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน และมีค่าสูงสุดในวันที่ 14 เช่นเดียวกัน โดยไคโตซานเกรดทางพาณิชย์มีค่าปริมาณดี-กลูโคซามีน เท่ากับ 0.050 มิลลิกรัมต่อกรัมไคโตซาน ส่วนไคโตซานเกรดทางเภสัชภัณฑ์มีค่าปริมาณดี-กลูโคซามีน เท่ากับ 0.053 มิลลิกรัมต่อกรัมไคโตซาน โดยไคโตซานทั้งสองชนิดมีค่าต่างกัน 0.003 มิลลิกรัมต่อกรัมไคโตซาน ซึ่งถือว่าน้อยมากหรือไม่แตกต่างกันเลย

4.2.3 ผลการศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการย่อยสลาย

อุณหภูมิเป็นปัจจัยที่ควบคุมการย่อยสลายของอินทรียสารที่ใส่ลงไปในดิน โดยเมื่ออุณหภูมิมียุ่ค่ามากกว่า 5 องศาเซลเซียส เศษซากพืชจะเน่าเปื่อยผุพังเร็วขึ้น เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นจะช่วยย่นระยะเวลาในการย่อยสลายอีกด้วย

(ก) ผลการศึกษาหาปริมาณ ดี-กลูโคซามีนของไคโตซานเกรดทางพาณิชย์และเกรดทางเภสัชภัณฑ์

จากการทดลองศึกษาหาปริมาณดี-กลูโคซามีนของไคโตซานเกรดทางพาณิชย์ในช่วงอุณหภูมิตั้งแต่ 20-40 องศาเซลเซียส พบว่า ปริมาณ ดี-กลูโคซามีนของไคโตซานเกรดทางพาณิชย์โดยรวมทั้งหมดอยู่ในช่วง 0.014-0.074 มิลลิกรัมต่อกรัมไคโตซาน (รูปที่ 4.20 ก) และมียุ่ค่าสูงสุดเท่ากับ 0.072 มิลลิกรัมต่อกรัมไคโตซาน ในดินที่มีอุณหภูมิ เท่ากับ 25 องศาเซลเซียส

ปริมาณดี-กลูโคซามีนของไคโตซานเกรดทางพาณิชย์ ในดินที่สภาวะควบคุม (ณ อุณหภูมิห้อง) ที่อุณหภูมิ 20 25 30 35 และ 40 องศาเซลเซียสมียุ่ค่าอยู่ในช่วง 0.017-0.050 0.016-0.066 0.016-0.072 0.014-0.059 0.016-0.061 และ 0.016-0.064 มิลลิกรัมต่อกรัมไคโตซาน ตามลำดับ จากรูปที่ 4.20 (ก) พบว่า ปริมาณดี-กลูโคซามีน มีค่าเพิ่มขึ้นส่วนใหญ่จนถึงวันที่ 14 หลังจากนั้นค่าเริ่มลดลง จนถึงวันที่ 28-35 วัน ค่าเริ่มค่อนข้างคงที่

จากการทดลองศึกษาหาปริมาณดี-กลูโคซามีนของไคโตซานเกรดทางเภสัชภัณฑ์ ในช่วงอุณหภูมิตั้งแต่ 20-40 องศาเซลเซียส พบว่า ปริมาณดี-กลูโคซามีนของไคโตซานเกรดทางเภสัชภัณฑ์ โดยรวมทั้งหมดอยู่ในช่วง 0.018-0.067 มิลลิกรัมต่อกรัมไคโตซาน (รูปที่ 4.21 ก) และมียุ่ค่าสูงสุดเท่ากับ 0.066 มิลลิกรัมต่อกรัมไคโตซาน ในดินที่มีอุณหภูมิ เท่ากับ 20 และ 25 องศาเซลเซียส

ปริมาณดี-กลูโคซามีนของไคโตซานเกรดทางเภสัชภัณฑ์ ในดินที่สภาวะควบคุม (ณ อุณหภูมิห้อง) ที่อุณหภูมิ 20 25 30 35 และ 40 องศาเซลเซียสมียุ่ค่าอยู่ในช่วง 0.019-0.053 0.019-0.066 0.018-0.066 0.019-0.06 0.019-0.042 และ 0.019-0.059 มิลลิกรัมต่อกรัมไคโตซาน ตามลำดับ จากรูปที่ 4.21 (ก) พบว่าปริมาณดี-กลูโคซามีน มีการเปลี่ยนแปลงในช่วงแรกเล็กน้อย และเริ่มเพิ่มขึ้น โดยมีค่าสูงสุดในวันที่ 14 หลังจากนั้น เริ่มมีค่าลดลง และค่อนข้างคงที่ในวันที่ทำการทดลอง 28 ถึง 35 วัน

จากการศึกษาหาปริมาณดี-กลูโคซามีนของไคโตซานเกรดทางพาณิชย์และเกรดทางเภสัชภัณฑ์ในช่วงอุณหภูมิตั้งแต่ 20-40 องศาเซลเซียส พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงในทำนองเดียวกันที่อุณหภูมิต่าง ๆ คือ มีการเปลี่ยนแปลงในช่วงแรกเล็กน้อยและเริ่มเพิ่มขึ้น โดยมี

ค่าสูงสุดในวันที่ 14 หลังจากนั้น ค่าเริ่มมีการลดลง และค่อนข้างคงที่ในวันที่ 28-35 จากรูปที่ 4.20 (ข) และ 4.21 (ข) พบว่าสำหรับไคโตซานเกรดทางพาณิชย์ที่อุณหภูมิ 35 และสำหรับไคโตซานเกรดทางเภสัชภัณฑ์อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส มีปริมาณดี-กลูโคซามีนสะสมมากกว่าอุณหภูมิอื่น อาจเป็นเพราะช่วง อุณหภูมิ 25-35 องศาเซลเซียส เป็นช่วงที่เหมาะสมต่อการทำกิจกรรมของ จุลินทรีย์ดิน

(ข) ผลการศึกษาการหายใจของจุลินทรีย์ดินของไคโตซานเกรดทางพาณิชย์และเกรดทางเภสัชภัณฑ์

จากการทดลองศึกษาการหายใจของจุลินทรีย์ดินพบว่าปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นของไคโตซานเกรดทางพาณิชย์ในช่วงอุณหภูมิตั้งแต่ 20-40 องศาเซลเซียส พบว่า ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ของไคโตซานเกรดทางพาณิชย์โดยรวมทั้งหมดอยู่ในช่วง 0-0.272 กรัมต่อกรัมไคโตซานต่อวัน (รูปที่ 4.22 ก) และมีค่าสูงสุดเท่ากับ 0.272 กรัมต่อกรัมไคโตซานต่อวัน ที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส

ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นของไคโตซานเกรดทางพาณิชย์ ในดินที่สภาวะควบคุม (ณ อุณหภูมิห้อง) ที่อุณหภูมิ 20 25 30 35 และ 40 องศาเซลเซียส มีค่าอยู่ในช่วง 0-0.139 0-0.174 0-0.213 0-0.206 0-0.272 และ 0-0.200 กรัมต่อกรัมไคโตซานต่อวัน ตามลำดับ จากรูปที่ 4.22 (ก) พบว่าปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นมีการเปลี่ยนแปลงขึ้นลงในช่วง 0-7 วัน และเพิ่มขึ้นในวันที่ 14 จากนั้นจึงลดลงในวันที่ 21 และ 28 ส่วนในวันที่ 35 ปริมาณ ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นมีค่าใกล้เคียง

จากการทดลองศึกษาการหายใจของจุลินทรีย์ดินพบว่าปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นของไคโตซานเกรดทางเภสัชภัณฑ์ ในช่วงอุณหภูมิตั้งแต่ 20-40 องศาเซลเซียส พบว่า ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ของไคโตซานเกรดทางเภสัชภัณฑ์ โดยรวมทั้งหมดอยู่ในช่วง 0-0.305 กรัมต่อกรัมไคโตซานต่อวัน (รูปที่ 4.23 ก) และมีค่าสูงสุดเท่ากับ 0.305 กรัมต่อกรัมไคโตซานต่อวัน ที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส

ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นของไคโตซานเกรดทางเภสัชภัณฑ์ ในดินที่สภาวะควบคุม (ณ อุณหภูมิห้อง) ที่อุณหภูมิ 20 25 30 35 และ 40 องศาเซลเซียส มีค่าอยู่ในช่วง 0-0.18 0-0.214 0-0.235 0-0.207 0-0.305 และ 0-0.266 กรัมต่อกรัมไคโตซานต่อวัน ตามลำดับ จากรูปที่ 4.23 (ก) พบว่าปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นมีการเปลี่ยนแปลงขึ้นลงในช่วง 0-7 วัน และเพิ่มขึ้นในวันที่ 14 จากนั้นจึงลดลงในวันที่ 21 และ 28 ส่วนในวันที่ 35 ปริมาณ ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นมีค่าใกล้เคียง

จากการศึกษาการหายใจของจุลินทรีย์ดินของไคโตซานเกรดทางพาณิชย์ และเกรดทางเภสัชภัณฑ์ในช่วงอุณหภูมิตั้งแต่ 20-40 องศาเซลเซียส พบว่าการเปลี่ยนแปลงปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นที่อุณหภูมิต่าง ๆ เกิดขึ้นในทำนองเดียวกัน จากรูปที่ 4.22 (ข) และ 4.23 (ข) พบว่าสำหรับไคโตซานเกรดทางพาณิชย์ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และสำหรับไคโตซานเกรดทางเภสัชภัณฑ์ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส มีปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์สะสมมากกว่าที่อุณหภูมิต่ำกว่า

(ค) ผลการศึกษาปริมาณอินทรีย์คาร์บอนของไคโตซานเกรดทางพาณิชย์และเกรดทางเภสัชภัณฑ์

จากการทดลองศึกษาปริมาณอินทรีย์คาร์บอนของไคโตซานเกรดทางพาณิชย์ ในช่วงอุณหภูมิตั้งแต่ 20-40 องศาเซลเซียส พบว่า ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนโดยรวมทั้งหมดอยู่ในช่วง 0.190-3.135 เปอร์เซ็นต์ (รูปที่ 4.24 ก) โดยมีค่าน้อยสุดเท่ากับ 0.19 เปอร์เซ็นต์ ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส

ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนของไคโตซานเกรดทางพาณิชย์ ในดินที่สภาวะควบคุม (ณ อุณหภูมิห้อง) ที่อุณหภูมิ 20 25 30 35 และ 40 องศาเซลเซียสมีค่าอยู่ในช่วง 0.370-2.565 0.313-2.109 0.532-2.765 0.190-2.850 0.228-3.135 และ 0.399-2.413 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ จากรูปที่ 4.24 (ก) พบว่าปริมาณอินทรีย์คาร์บอนมีการเปลี่ยนแปลงในช่วงแรก และเพิ่มขึ้นหลังจากนั้นค่าเริ่มลดลงอีกครั้งในวันที่ 14 หลังจากนั้นค่าค่อนข้างคงที่จนถึงวันที่ 35

จากการทดลองศึกษาปริมาณอินทรีย์คาร์บอนของไคโตซานเกรดทางเภสัชภัณฑ์ ในช่วงอุณหภูมิตั้งแต่ 20-40 องศาเซลเซียส พบว่า ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนโดยรวมทั้งหมดอยู่ในช่วง 0.5-3.9 เปอร์เซ็นต์ (รูปที่ 4.25 ก) โดยมีค่าน้อยสุดเท่ากับ 0.57 เปอร์เซ็นต์ ที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส

ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนของไคโตซานเกรดทางเภสัชภัณฑ์พาณิชย์ ในดินที่สภาวะควบคุม (ณ อุณหภูมิห้อง) ที่อุณหภูมิ 20 25 30 35 และ 40 องศาเซลเซียส มีค่าอยู่ในช่วง 0.703-3.306 0.456-3.021 0.722-3.173 0.589-3.135 0.570-3.848 และ 0.627-3.211 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ จากรูปที่ 4.25 (ก) พบว่าปริมาณอินทรีย์คาร์บอนมีการเปลี่ยนแปลงในช่วงแรกโดยปริมาณอินทรีย์คาร์บอนเริ่มลดลงวันที่ 7 และลดลงค่อนข้างต่ำสุดในวันที่ 14 หลังจากนั้นค่าค่อนข้างคงที่ จนถึงวันที่ 35

ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนของไคโตซานเกรดทางพาณิชย์และเกรดทางเภสัชภัณฑ์ในช่วงอุณหภูมิตั้งแต่ 20-40 องศาเซลเซียส พบว่าอุณหภูมิต่างๆ มีการเปลี่ยนแปลงในทำนองเดียวกันคือ มีแนวโน้มที่ลดลง จากรูปที่ 4.24 (ข) และ 4.25 (ข) พบว่าสำหรับไคโตซานเกรด

ทางพาณิชย์ที่อุณหภูมิ 20 และสำหรับไคโตซานเกรดทางเภสัชภัณฑ์ที่ 30 องศาเซลเซียส มีปริมาณอินทรีย์คาร์บอนสะสม ต่ำกว่าที่อุณหภูมิอื่น

(ง) ผลการศึกษาปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดของไคโตซานเกรดทางพาณิชย์และเกรดทางเภสัชภัณฑ์

จากการทดลองศึกษาปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดของไคโตซานเกรดทางพาณิชย์ ในช่วงอุณหภูมิตั้งแต่ 20-40 องศาเซลเซียส พบว่า ปริมาณไนโตรเจนโดยรวมทั้งหมดอยู่ในช่วง 0.089-0.164 เปอร์เซ็นต์ (รูปที่ 4.26 ก) โดยมีค่าน้อยสุดเท่ากับ 0.089 เปอร์เซ็นต์ ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส

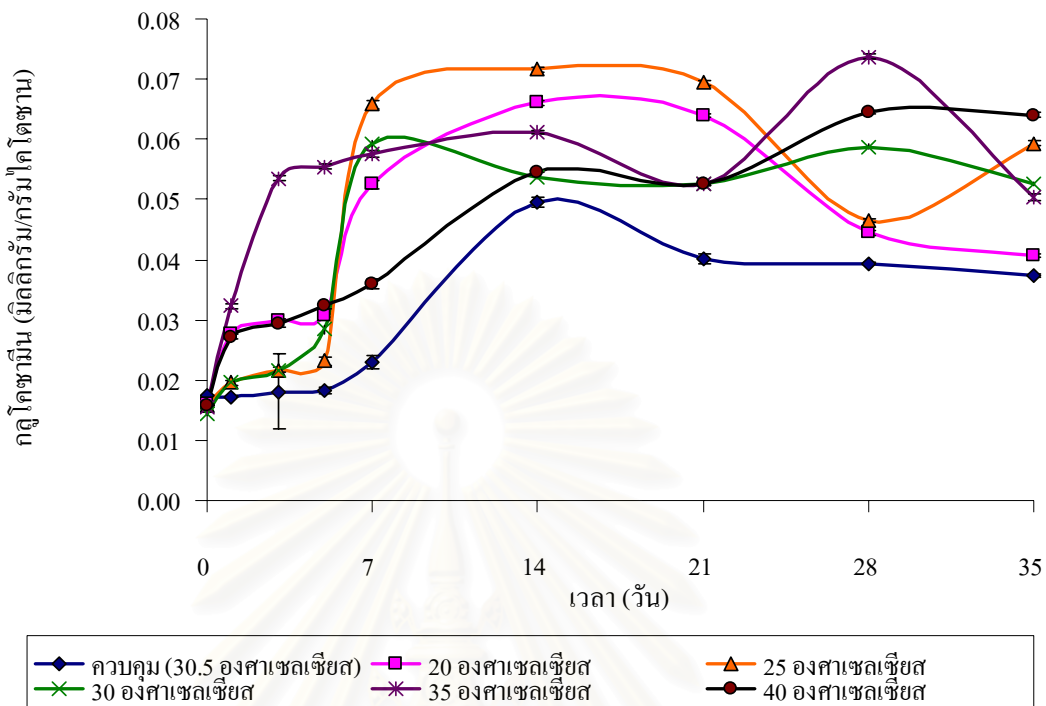
ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดของไคโตซานเกรดทางพาณิชย์ ในคืนที่สภาวะควบคุม (ณ อุณหภูมิห้อง) ที่อุณหภูมิ 20 25 30 35 และ 40 องศาเซลเซียส มีค่าอยู่ในช่วง 0.090-0.164 0.098-0.133 0.092-0.133 0.089-0.133 0.092-0.132 และ 0.098-0.136 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ จากรูปที่ 4.26 (ก) พบว่าปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดมีการเปลี่ยนแปลงในช่วงแรกโดยลดลงต่ำสุดวันที่ 14 หลังจากนั้นค่าค่อนข้างคงที่จนถึงวันที่ 35

จากการทดลองศึกษาปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดของไคโตซานเกรดทางเภสัชภัณฑ์ ในช่วงอุณหภูมิตั้งแต่ 20-40 องศาเซลเซียส พบว่า ปริมาณไนโตรเจนโดยรวมทั้งหมดอยู่ในช่วง 0.104-0.387 เปอร์เซ็นต์ (รูปที่ 4.27 ก) โดยมีค่าน้อยสุดเท่ากับ 0.104 เปอร์เซ็นต์ ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

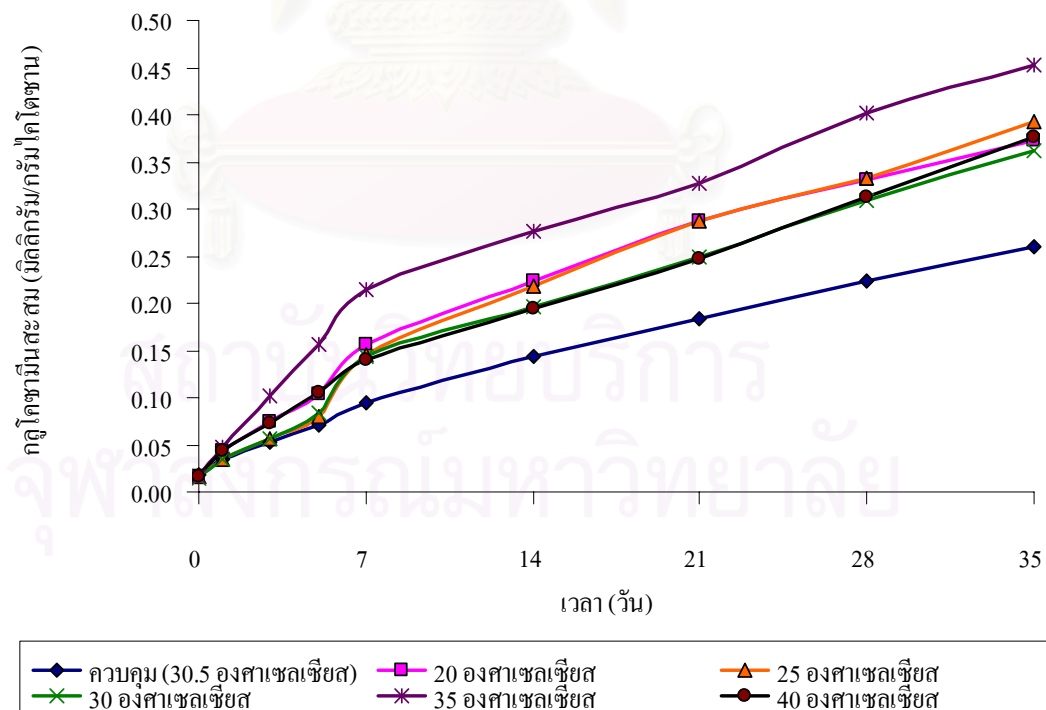
ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดของไคโตซานเกรดทางเภสัชภัณฑ์ในคืนที่สภาวะควบคุม (ณ อุณหภูมิห้อง) ที่อุณหภูมิ 20 25 30 35 และ 40 องศาเซลเซียส มีค่าอยู่ในช่วง 0.142-0.357 0.155-0.351 0.104-0.315 0.115-0.343 0.112-0.391 และ 0.105-0.387 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ จากรูปที่ 4.27 (ก) พบว่าปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดมีการเปลี่ยนแปลงโดยมีแนวโน้มลดลงตั้งแต่วันที่ 0 จนถึงวันที่ 35

จากการศึกษาปริมาณไนโตรเจนของไคโตซานเกรดทางพาณิชย์และเกรดทางเภสัชภัณฑ์ในช่วงอุณหภูมิตั้งแต่ 20-40 องศาเซลเซียส พบว่า มีการเปลี่ยนแปลงในทำนองเดียวกัน คือมีแนวโน้มลดลง จากรูปที่ 4.26 (ข) และ 4.27 (ข) พบว่า สำหรับไคโตซานเกรดทางพาณิชย์ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และไคโตซานเกรดทางเภสัชภัณฑ์ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส มีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดสะสมที่เวลาต่าง ๆ ที่ค่อนข้างน้อยกว่าที่อุณหภูมิอื่น

(ก)

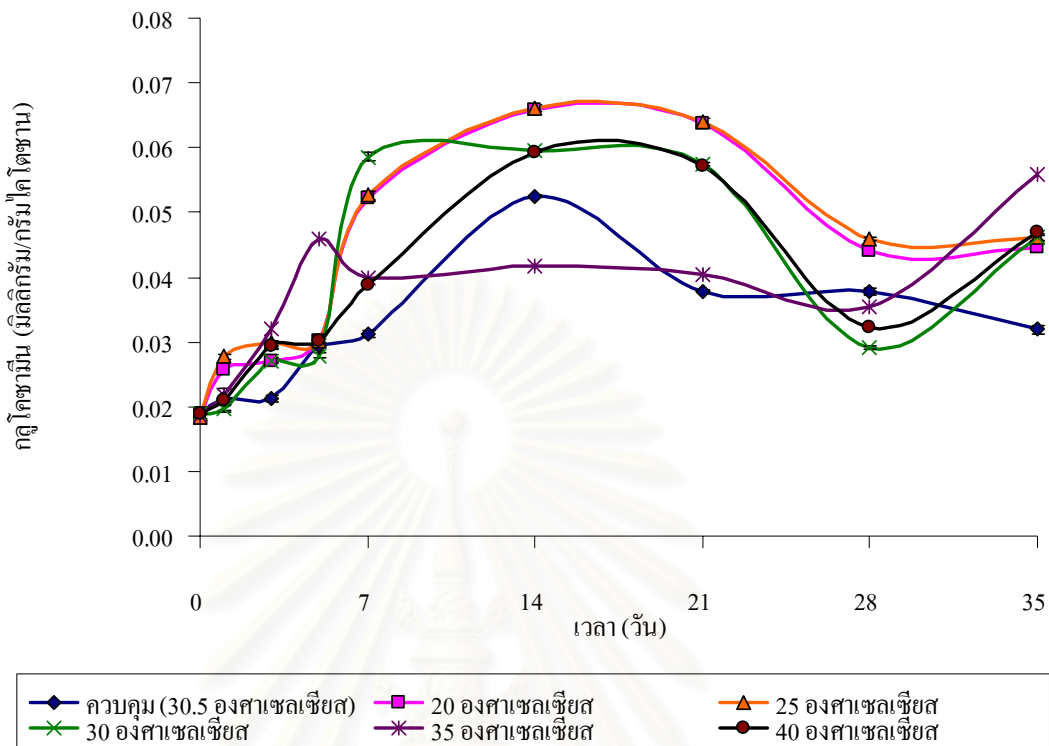


(ข)

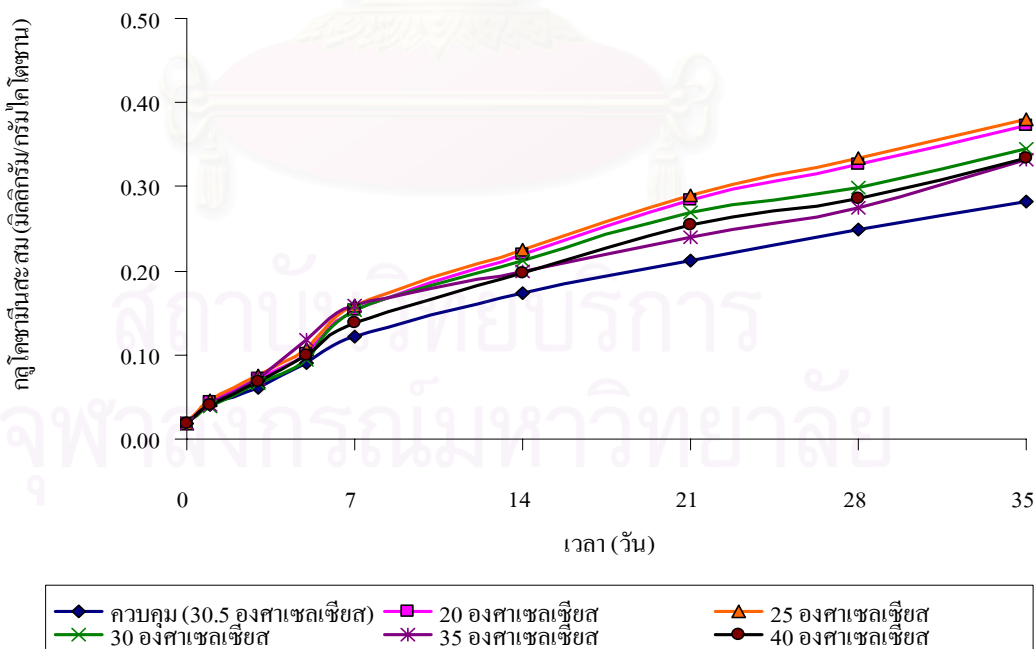


รูปที่ 4.20 (ก) ปริมาณดี-กลูโคซามีน และ (ข) ปริมาณดี-กลูโคซามีนสะสมของโคโตซานเกรดทางพาณิชย์ ในช่วงอุณหภูมิตั้งแต่ 20-40 องศาเซลเซียส

(ก)

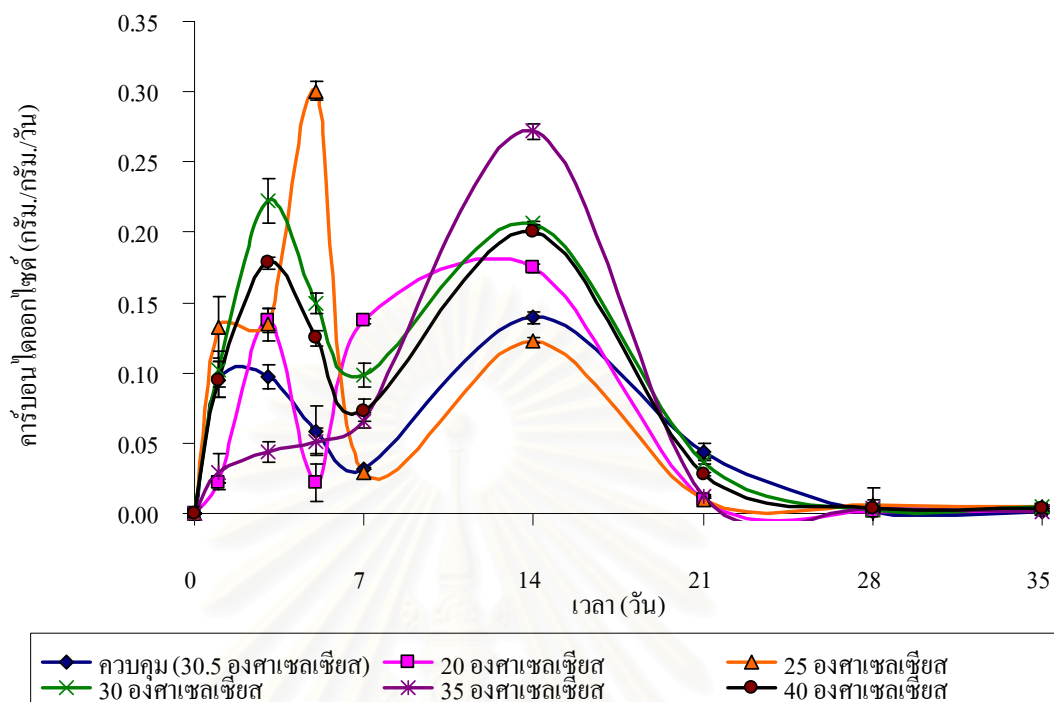


(ข)

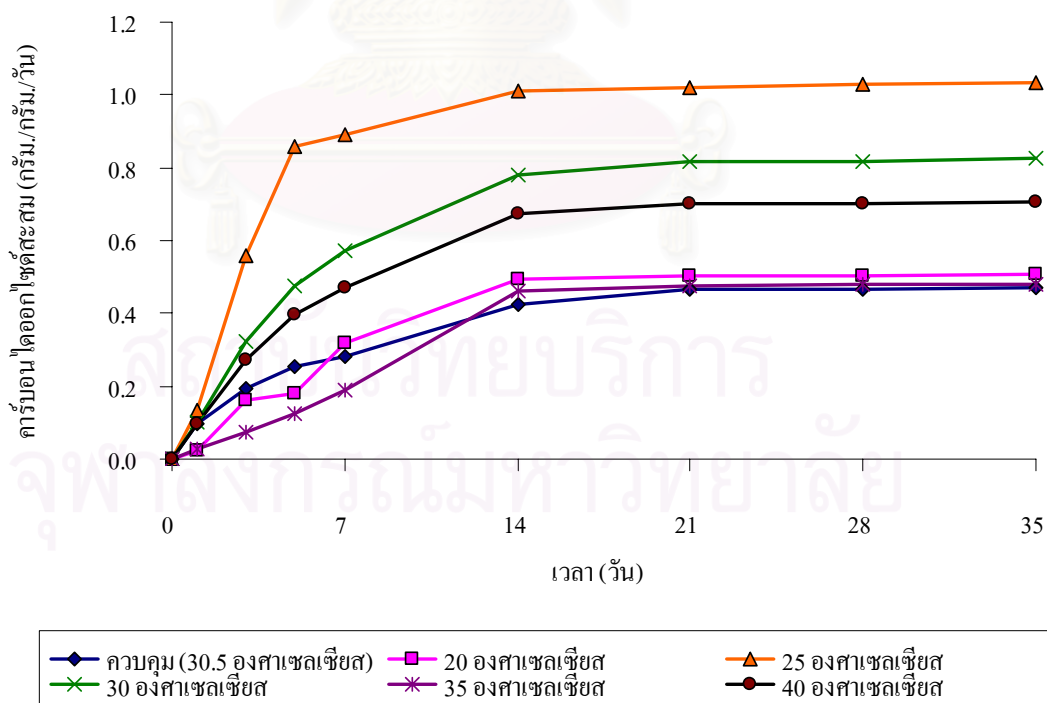


รูปที่ 4.21 (ก) ปริมาณดี-กลูโคซามีน และ (ข) ปริมาณดี-กลูโคซามีนสะสมของไคโตซานเกรดทางเภสัชภัณฑ์ ในช่วงอุณหภูมิตั้งแต่ 20-40 องศาเซลเซียส

(ก)

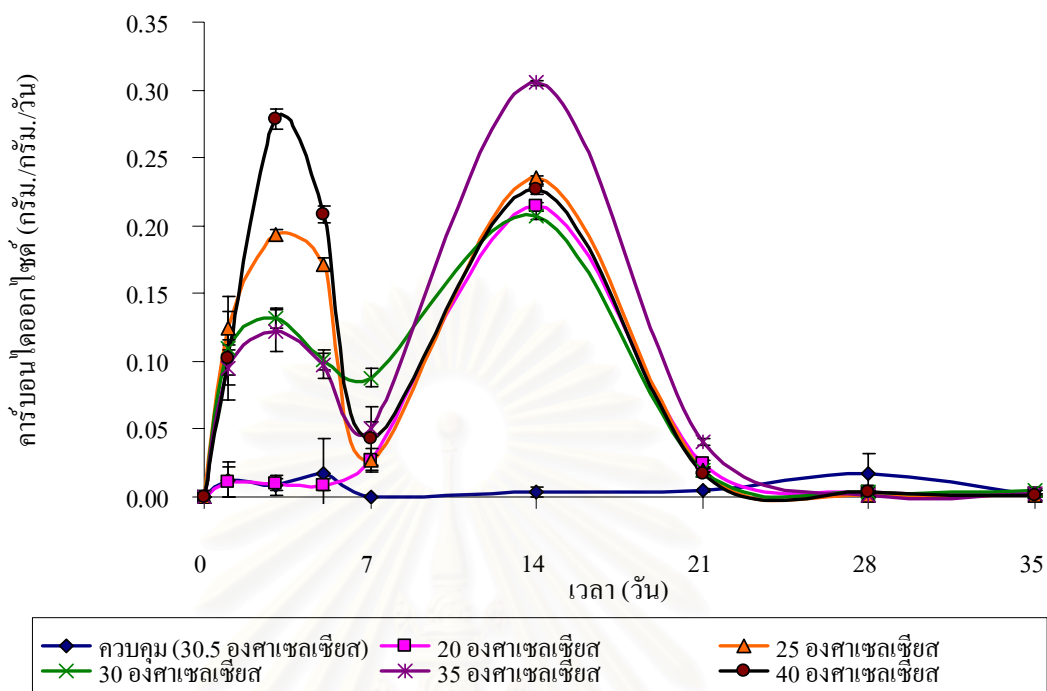


(ข)

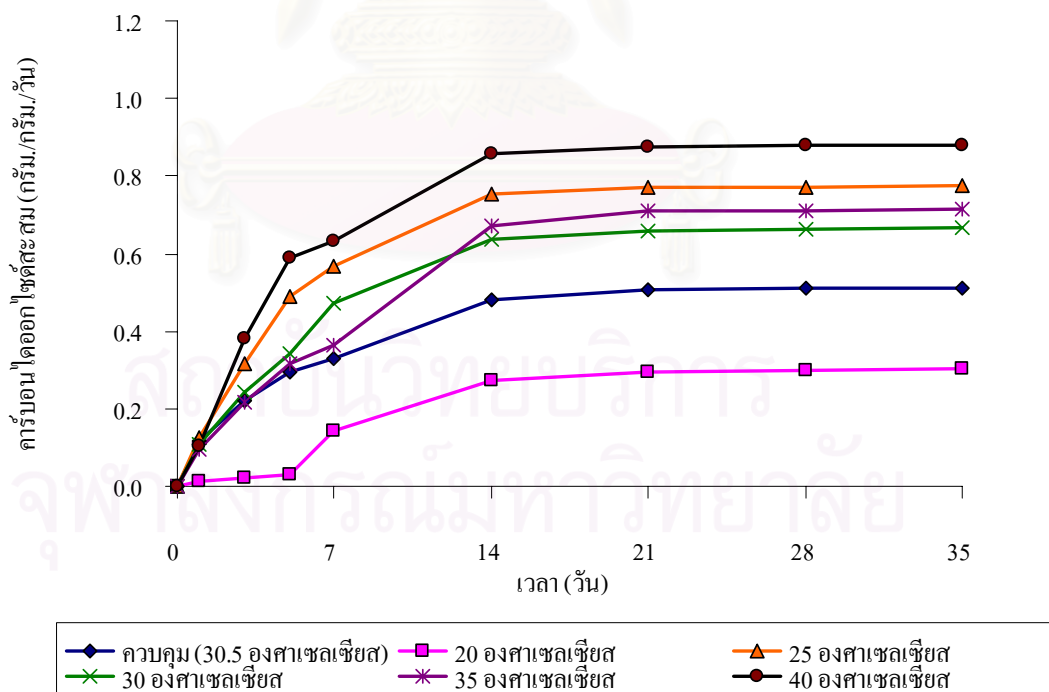


รูปที่ 4.22 (ก) ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ และ (ข) ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์สะสมของ ไคโตซานเกรดทางพาณิชย์ ในช่วงอุณหภูมิตั้งแต่ 20-40 องศาเซลเซียส

(ก)

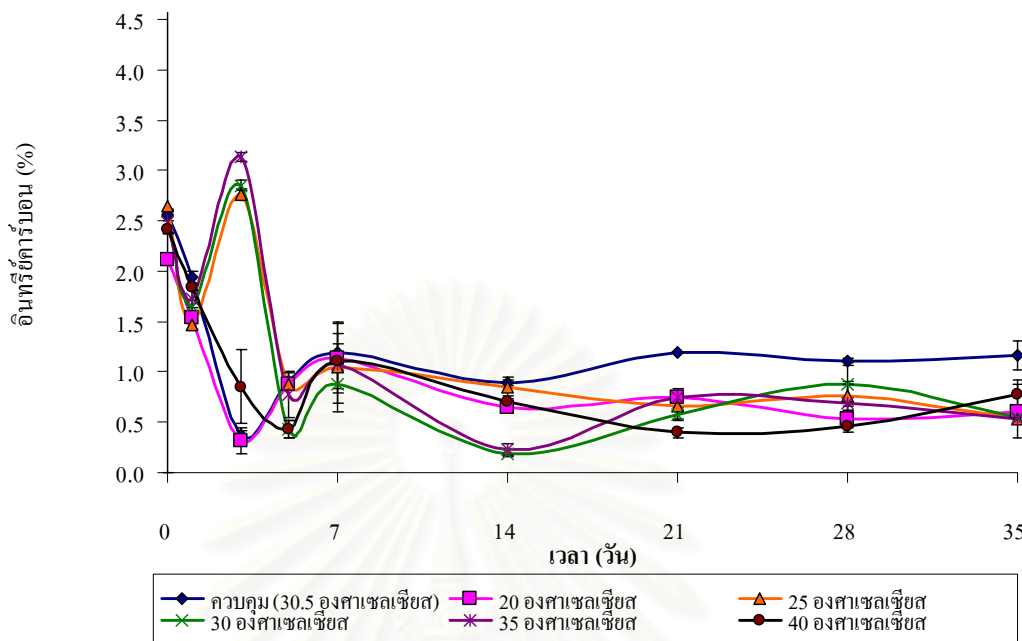


(ข)

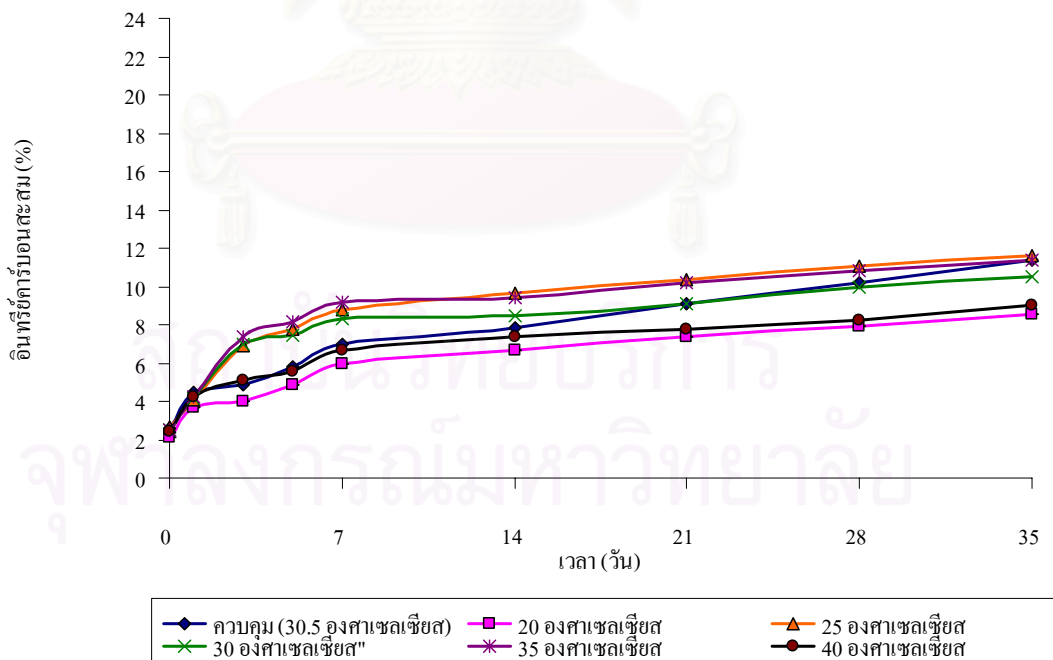


รูปที่ 4.23 (ก) ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ และ (ข) ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์สะสมของ
 ไคโตซานเกรดทางเภสัชภัณฑ์ ในช่วงอุณหภูมิตั้งแต่ 20-40 องศาเซลเซียส

(ก)

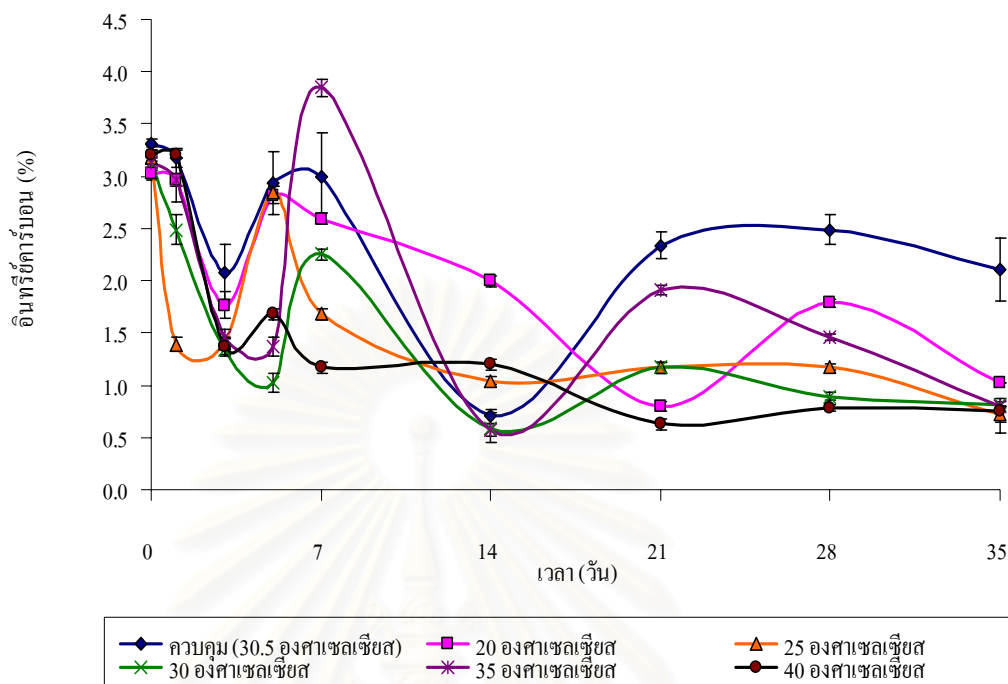


(ข)

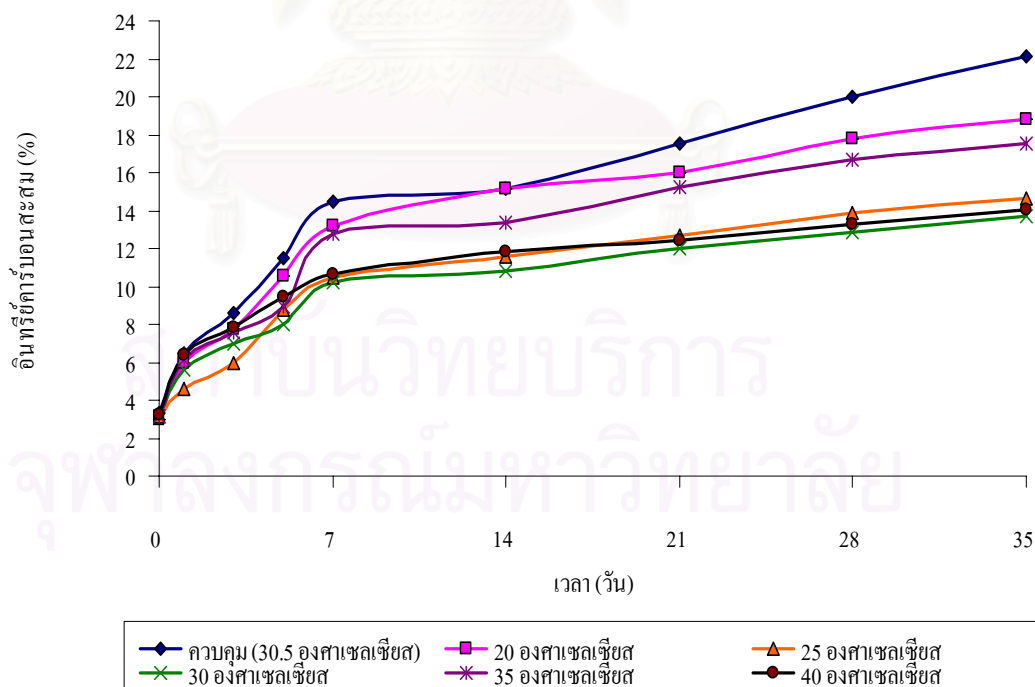


รูปที่ 4.24 (ก) ปริมาณอินทรีย์คาร์บอน และ (ข) ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนสะสมของโคโคซานเกรดทางพาณิชย์ ในช่วงอุณหภูมิตั้งแต่ 20-40 องศาเซลเซียส

(ก)

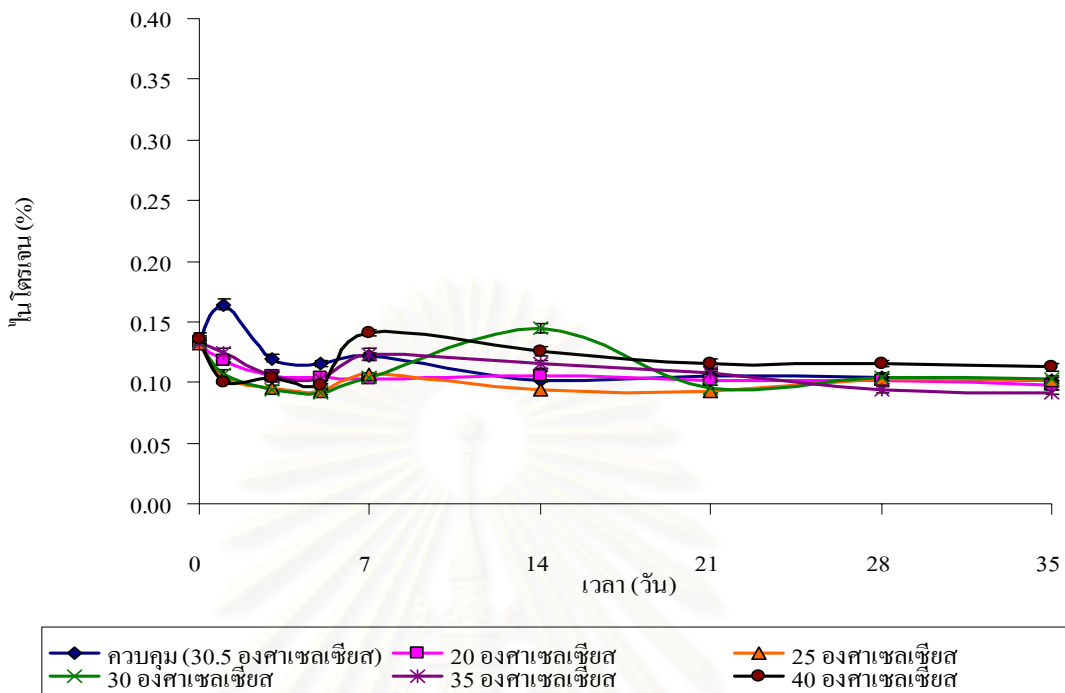


(ข)

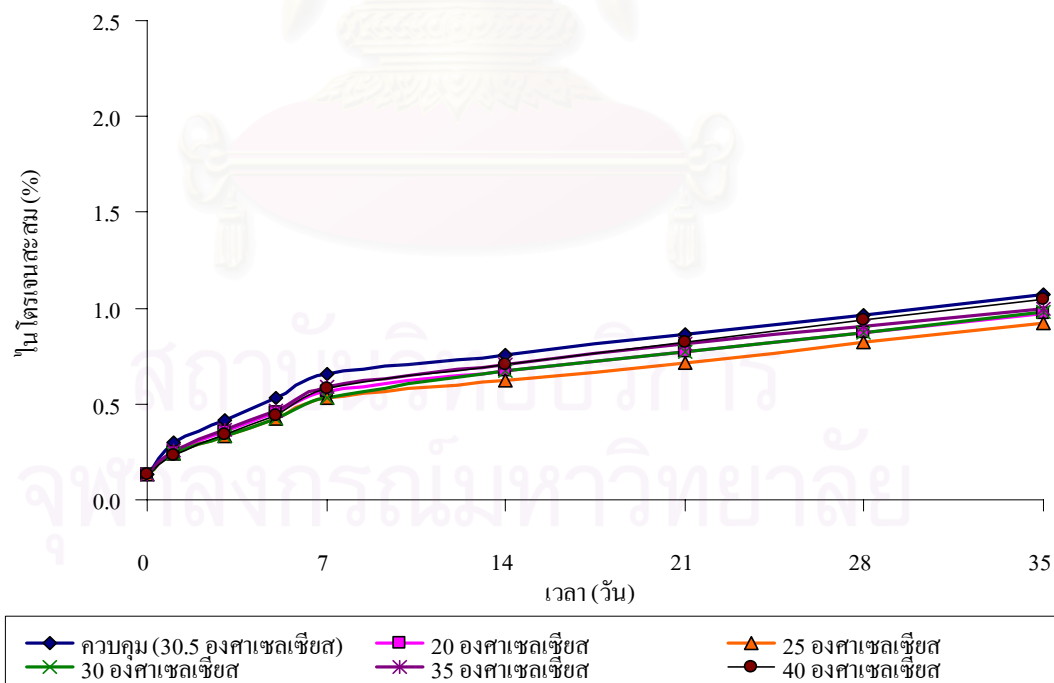


รูปที่ 4.25 (ก) ปริมาณอินทรีย์คาร์บอน และ (ข) ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนสะสม ของโคโตซานเกรดทางเภสัชภัณฑ์ ในช่วงอุณหภูมิตั้งแต่ 20-40 องศาเซลเซียส

(ก)

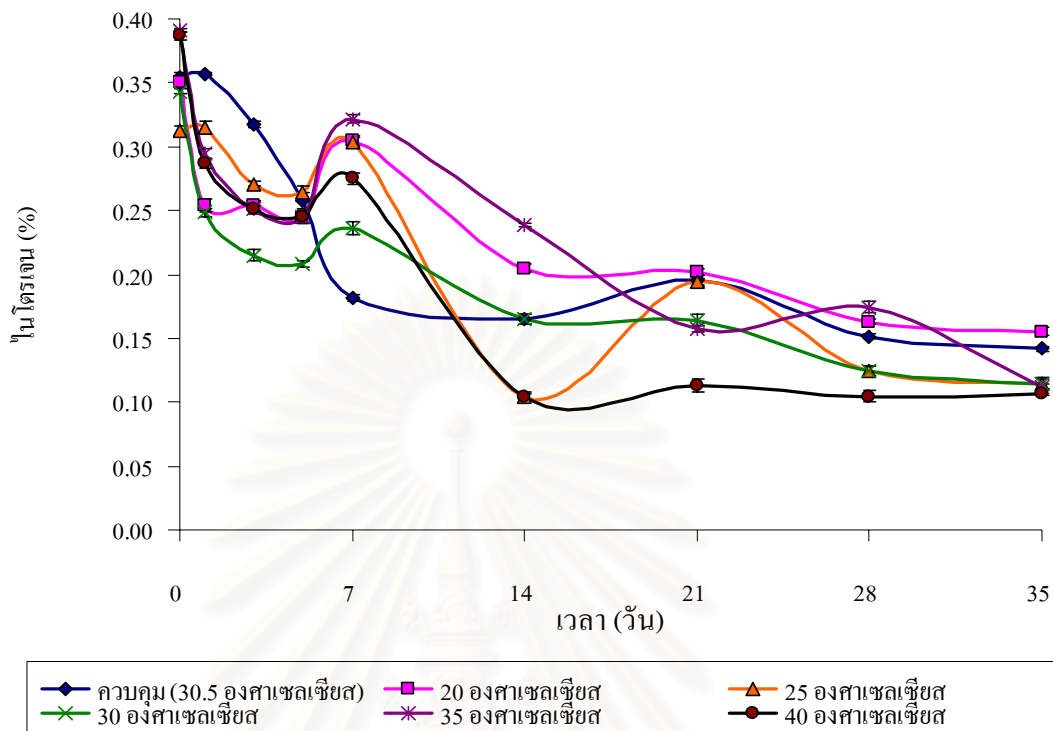


(ข)

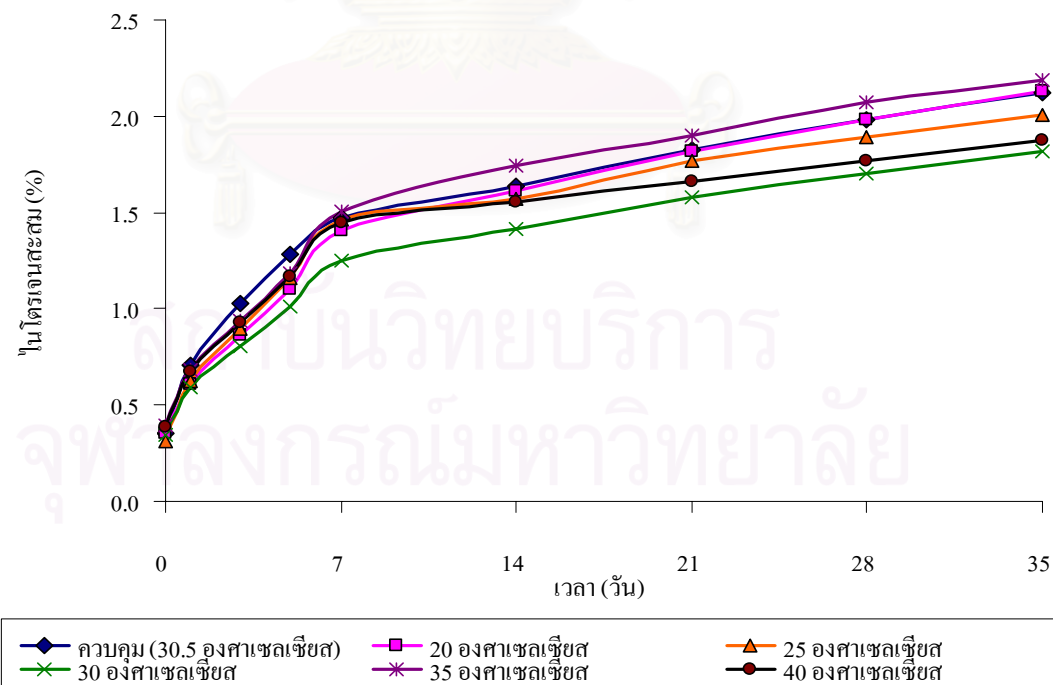


รูปที่ 4.26 (ก) ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด และ (ข) ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดสะสมของไคโตซานเกรดทางพาณิชย์ ในช่วงอุณหภูมิตั้งแต่ 20-40 องศาเซลเซียส

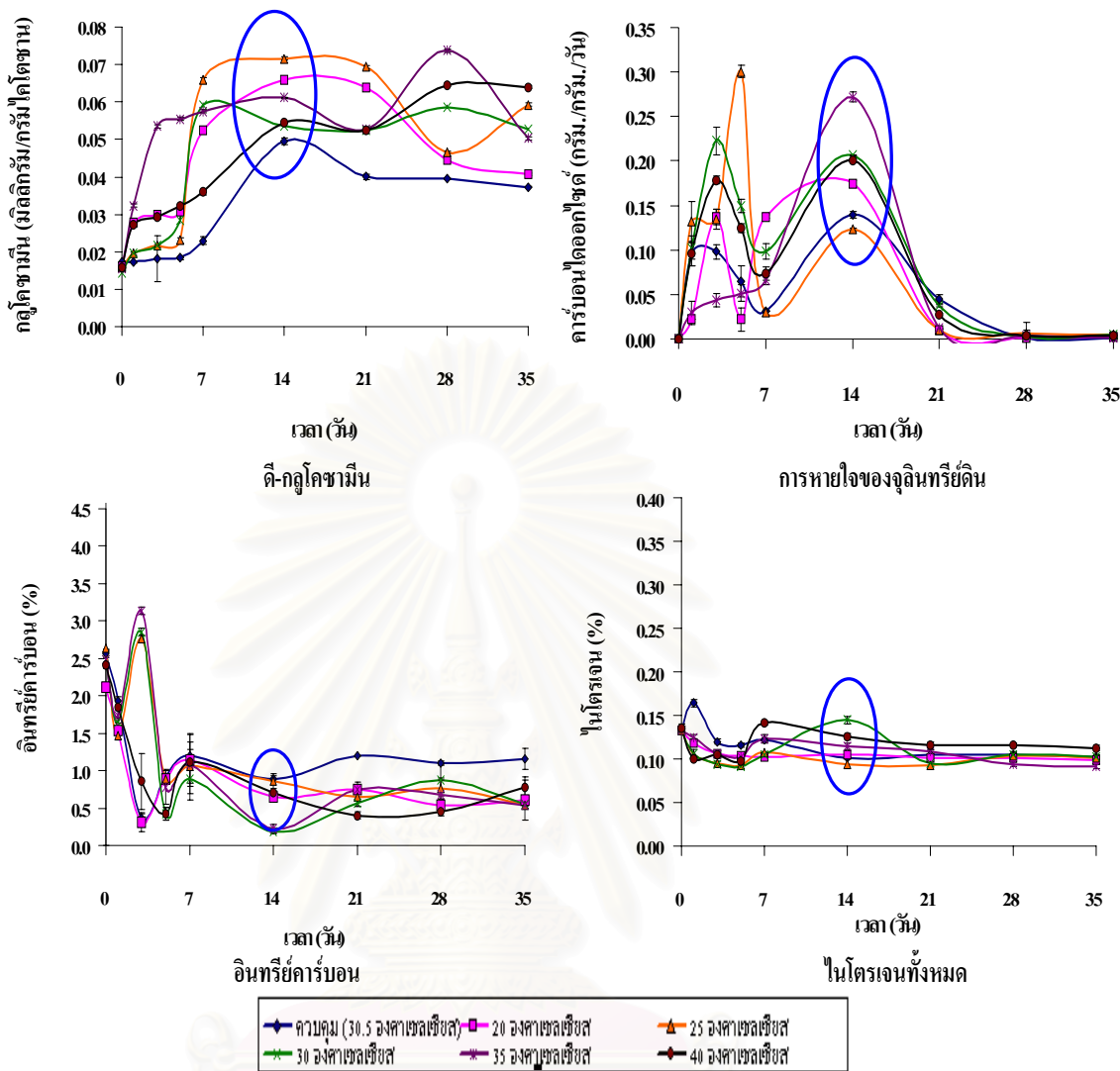
(ก)



(ข)



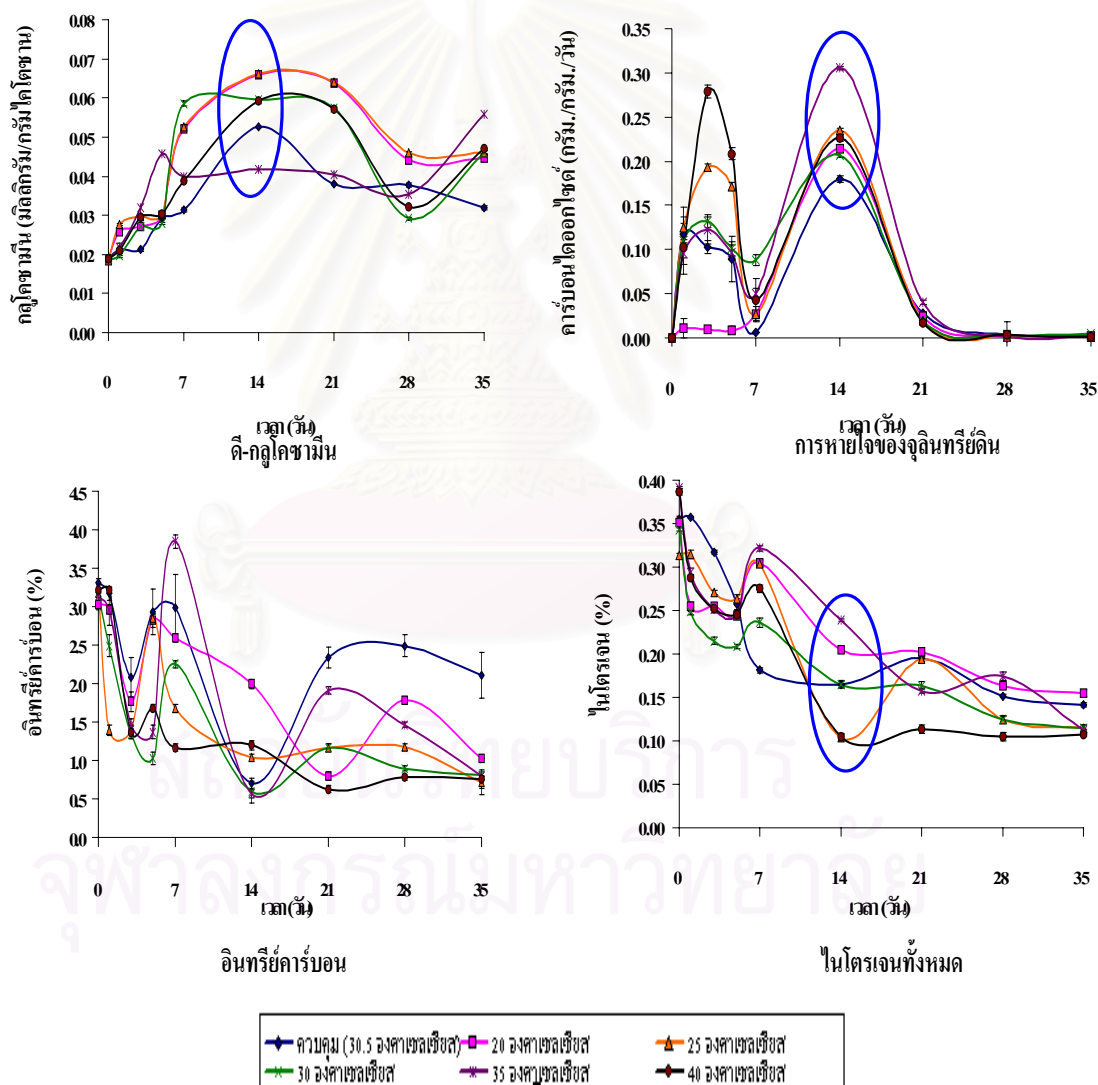
รูปที่ 4.27 (ก) ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด และ (ข) ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดสะสมของไคโตซานเกรดทางเกษตรภัณฑ์ ในช่วงอุณหภูมิตั้งแต่ 20-40 องศาเซลเซียส



รูปที่ 4.28 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการย่อยสลายของไคโตซานเกรดทางพาณิชย์ในดิน

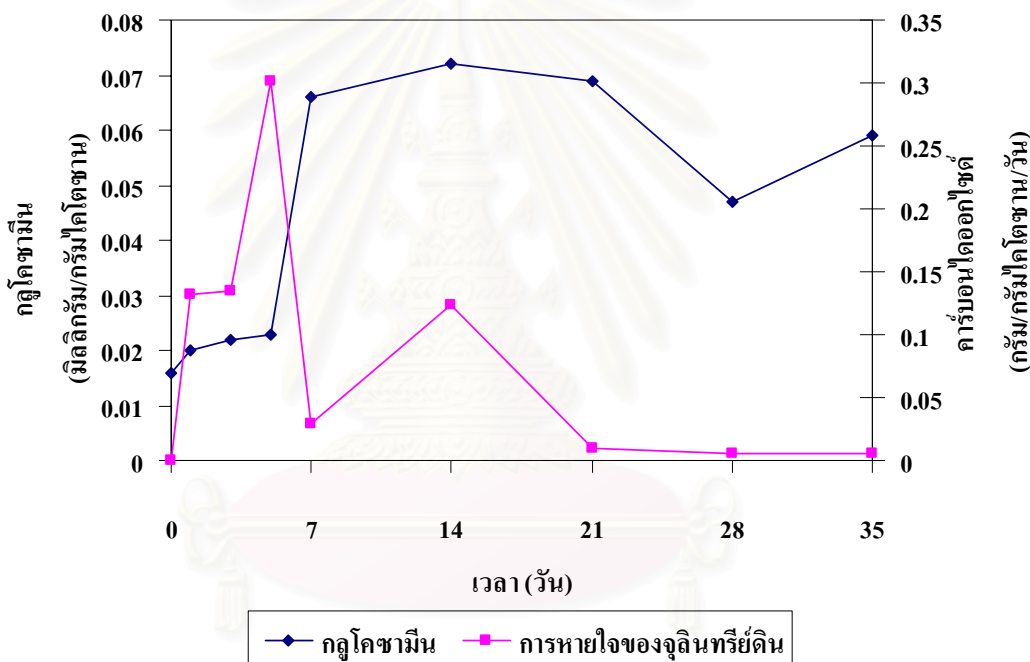
จากรูปที่ 4.28 แสดงพารามิเตอร์ที่ใช้ในการศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการย่อยสลายของไคโตซานเกรดทางพาณิชย์ในดิน เห็นได้ว่าพารามิเตอร์ทั้งสี่มีความสอดคล้องกัน โดยปริมาณกลูโคซามีนสูงสุดในวันที่ 14 และการหายใจของจุลินทรีย์ที่มีปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์สูงสุดในวันที่ 14 และสอดคล้องกับเปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนทั้งหมดและเปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนที่ลดลงในวันที่ 14 เช่นกัน ในการศึกษาการย่อยสลายสังเกตว่าในช่วง 0-7 วันแรก สังเกตว่าค่ามีการเปลี่ยนแปลงขึ้น ๆ ลง ๆ เป็นผลจากการปรับตัวของจุลินทรีย์ให้สามารถอยู่รอดได้ภายใต้การเปลี่ยนแปลงของสิ่งแวดล้อม เช่น การปรับตัวทางด้านพฤติกรรม กลไกระดับสรีรวิทยาและระดับโมเลกุลเพื่อ

ควบคุมอุณหภูมิกลางในเซลล์ให้คงที่หรือเปลี่ยนแปลงน้อยที่สุด ซึ่งความสามารถในการรักษาสมดุล (homeostasis) ของอุณหภูมิกลาง (deep core temperature) และถ้าอุณหภูมิร่างกายสูงจากระดับสรีรวิทยapakdi 2 – 3 องศาเซลเซียส ก็พอที่จะส่งผลกระทบต่อการทำงานของเนื้อเยื่อหรือเซลล์ภายในร่างกายได้ เนื่องจากเอนไซม์ภายในเซลล์แต่ละชนิดมีอุณหภูมิจำเพาะสำหรับทำงานที่มีผลต่อการสร้างเอนไซม์ซึ่งมีบทบาทสำคัญในการย่อยสลาย โดยจุลินทรีย์เริ่มสร้างเอนไซม์ทันทีที่มีการเจริญเติบโตหรือแบ่งเซลล์ ซึ่งพบในระยะ log phase จะเริ่มมีการสร้างเอนไซม์จนเมื่อเจริญเติบโตถึงระยะสุดท้ายและเริ่มมีการตาย เมื่อการย่อยโดยเอนไซม์เสร็จสิ้นลง เอนไซม์ตัวเดิมก็จะสามารถกลับมาย่อยของเสียได้อีกจนกว่าเอนไซม์จะเสื่อมสภาพไป



รูปที่ 4.29 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการย่อยสลายของโคโคซานเกรดทางเกษตรภัณฑ์ในดิน

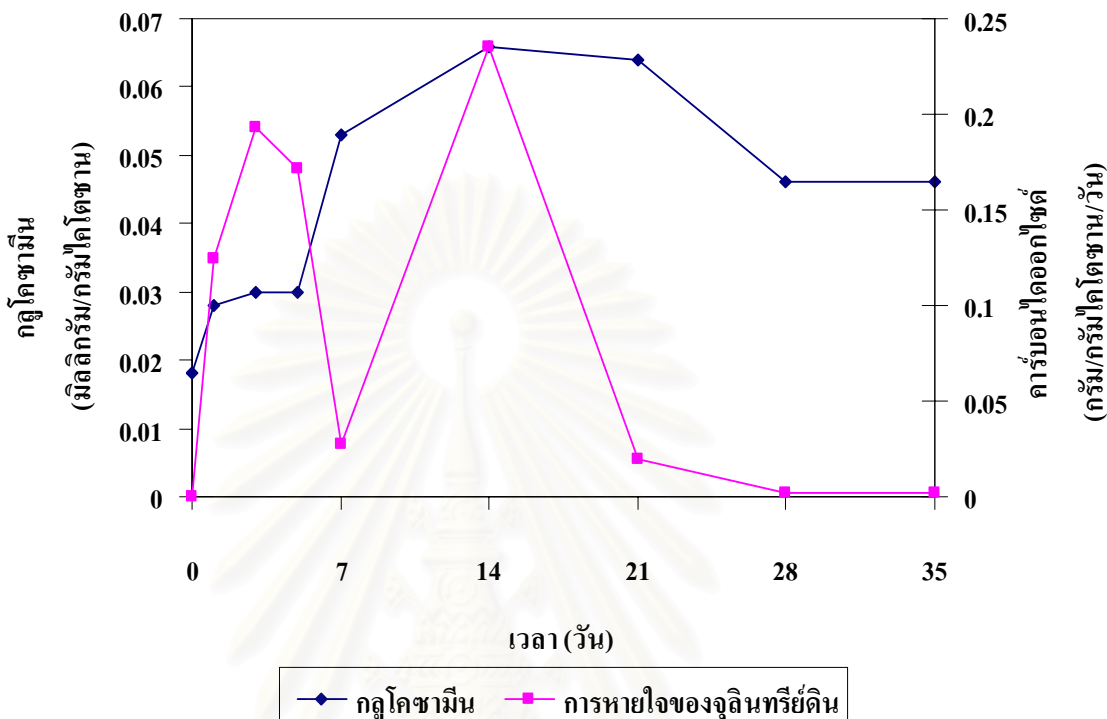
จากรูปที่ 4.29 แสดงพารามิเตอร์ที่ใช้ในการศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการย่อยสลายของ ไคโตซานเกรดทางเภสัชภัณฑ์ในดิน จุลินทรีย์แต่ละชนิดเติบโตได้ในที่มีอุณหภูมิต่างกัน เนื่องจาก มีเอ็นไซม์ที่ต่างกัน เอ็นไซม์เป็นสารเร่งปฏิกิริยาซึ่งต้องการอุณหภูมิที่เหมาะสมในการทำงาน พบว่าทุกระดับอุณหภูมิที่ลดลง 10 องศาเซลเซียส อัตราการทำงานของเอ็นไซม์จะลดลง 50 เปอร์เซ็นต์ การเพิ่มอุณหภูมิในการเลี้ยงจุลินทรีย์ให้สูงขึ้น อาจมีผลให้เอ็นไซม์เปลี่ยนแปลงสภาพ (denature) เป็นผลให้กิจกรรมต่างๆ ของเซลล์จุลินทรีย์หยุดชะงักเห็นได้ จากการทดลองพบว่า พารามิเตอร์ทั้งสองมีความสอดคล้องกัน โดยในช่วง 0-7 วันแรกสังเกตว่าค่ามีการเปลี่ยนแปลงเป็นผล จากการปรับตัวของจุลินทรีย์ให้เข้ากับสภาพแวดล้อม



รูปที่ 4.30 ปริมาณกลูโคซามีนและการหายใจของจุลินทรีย์ดินจากการย่อยสลายไคโตซานเกรดทาง พยาณัชยในดินที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

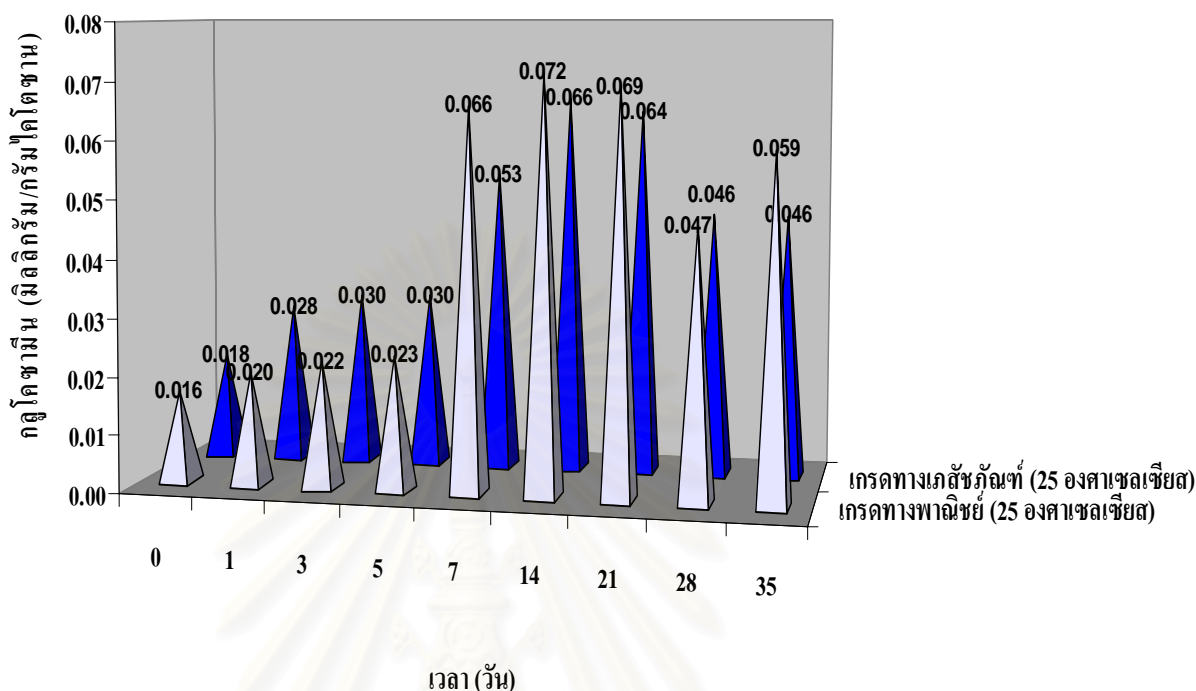
รูปที่ 4.30 แสดงปริมาณกลูโคซามีนและการหายใจของจุลินทรีย์ดินจากการย่อยสลาย ไคโตซานเกรดทางพยาณัชยในดินที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส จากการศึกษการย่อยสลายโดย พิจารณาปริมาณดี-กลูโคซามีนและการหายใจของจุลินทรีย์ดิน จากกราฟสังเกตว่าพารามิเตอร์ ทั้งสองมีค่าบางช่วงในทิศทางเดียวกัน เช่น มีค่าสูงในวันที่ 14 เช่นกัน และเมื่อทดสอบ

ความสัมพันธ์เชิงเส้นพบว่าปริมาณกลูโคซามีนไม่สอดคล้องกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยมีค่า Multiple R เท่ากับ 44.26 เปอร์เซ็นต์



รูปที่ 4.31 ปริมาณกลูโคซามีนและการหายใจของจูลินทรีย์ดินจากการย่อยสลายโคโตซานเกรดทางเภสัชภัณฑ์ในดินที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

รูปที่ 4.31 แสดงปริมาณกลูโคซามีนและการหายใจของจูลินทรีย์ดินจากการย่อยสลายโคโตซานเกรดทางเภสัชภัณฑ์ในดินที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส จากการศึกษการย่อยสลายโดยพิจารณาปริมาณดี-กลูโคซามีนและการหายใจของจูลินทรีย์ดิน พบว่า พารามิเตอร์ทั้งสองมีแนวโน้มในทิศทางเดียวกันและมีค่าสูงสุดในวันที่ 14 เช่นกัน และเมื่อทดสอบความสัมพันธ์เชิงเส้นพบว่าปริมาณกลูโคซามีนมีความสอดคล้องกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % และมีค่า Multiple R เท่ากับ 64.86 เปอร์เซ็นต์



รูปที่ 4.32 ปริมาณดี-กลูโคซามีนของไคโตซานทั้งสองชนิดในสภาวะอุณหภูมิที่เหมาะสม

จากรูปที่ 4.32 แสดงค่าปริมาณดี-กลูโคซามีนของไคโตซานทั้งสองชนิดในสภาวะ pH ที่เหมาะสม เมื่อทำการเปรียบเทียบการย่อยสลายไคโตซานทั้งสองชนิดโดยพิจารณาจากปริมาณดี-กลูโคซามีน จากผลการทดลองที่สภาวะอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการย่อยสลาย พบว่าไคโตซานทั้งสองชนิดมีค่าปริมาณดี-กลูโคซามีนสูงสุดในอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน และมีค่าสูงสุดในวันที่ 14 เช่นเดียวกัน โดยไคโตซานเกรดทางพาณิชย์มีค่าปริมาณดี-กลูโคซามีน เท่ากับ 0.072 มิลลิกรัมต่อกรัมไคโตซาน ส่วนไคโตซานเกรดทางเภสัชภัณฑ์มีค่าปริมาณดี-กลูโคซามีน เท่ากับ 0.066 มิลลิกรัมต่อกรัมไคโตซาน โดยไคโตซานทั้งสองชนิดมีค่าต่างกัน 0.006 มิลลิกรัมต่อกรัมไคโตซาน ซึ่งถือว่ามีค่าแตกต่างกันน้อยมาก

งานวิจัยของ Sanz และคณะ (2006) พบว่า การเติบโตของจุลินทรีย์ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ โดยพบว่าอุณหภูมิเหมาะสมต่อจุลินทรีย์อยู่ในช่วงเมโซฟิลิก (mesophilic) และเทอร์โมฟิลิก (thermophilic) ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองที่ได้ข้างต้น

4.2.4 ผลการศึกษาปัจจัยความชื้นในดินที่เหมาะสมในการย่อยสลาย

(ก) ผลการศึกษาหาปริมาณดี-กลูโคซามีนของไคโตซานเกรดทางพาณิชย์และเกรดทางเภสัชภัณฑ์

จากการทดลองศึกษาหาปริมาณดี-กลูโคซามีนของไคโตซานเกรดทางพาณิชย์ในสถานะความชื้นตั้งแต่ 50-80 เปอร์เซ็นต์ พบว่าปริมาณดี-กลูโคซามีนโดยรวมทั้งหมดอยู่ในช่วง 0.010-0.052 มิลลิกรัมต่อกรัมไคโตซาน (รูปที่ 4.33 ก) โดยค่าสูงสุดคือ 0.052 มิลลิกรัมต่อกรัมไคโตซาน ในดินที่มีความชื้น 60 เปอร์เซ็นต์

ปริมาณดี-กลูโคซามีนของไคโตซานเกรดทางพาณิชย์ ในดินที่สถานะควบคุม(ดินที่ไม่มีการปรับความชื้น) ที่ความชื้น 50 60 70 และ 80 เปอร์เซ็นต์มีค่าอยู่ในช่วง 0.017-0.050 0.011-0.049 0.010-0.052 0.016-0.051 และ 0.013-0.050 มิลลิกรัมต่อกรัมไคโตซาน ตามลำดับ จากรูปที่ 4.33 (ก) พบว่าปริมาณดี-กลูโคซามีน มีค่าเพิ่มขึ้นจนถึงวันที่ 14 หลังจากนั้นค่าเริ่มลดลง จนถึงวันที่ 28-35 วัน ค่าเริ่มค่อนข้างคงที่

จากการทดลองศึกษาหาปริมาณดี-กลูโคซามีนของไคโตซานเกรดทางเภสัชภัณฑ์ ในสถานะความชื้นตั้งแต่ 50-80 เปอร์เซ็นต์ พบว่าปริมาณดี-กลูโคซามีนโดยรวมทั้งหมดอยู่ในช่วง 0.012-0.055 มิลลิกรัมต่อกรัมไคโตซาน (รูปที่ 4.34 ก) โดยค่าสูงสุดคือ 0.055 มิลลิกรัมต่อกรัมไคโตซาน ในดินที่มีความชื้น 80 เปอร์เซ็นต์

ปริมาณดี-กลูโคซามีนของไคโตซานเกรดทางเภสัชภัณฑ์ ในดินที่สถานะควบคุม (ดินที่ไม่มีการปรับความชื้น) ที่ความชื้น 50 60 70 และ 80 เปอร์เซ็นต์ มีค่าอยู่ในช่วง 0.019-0.053 0.019-0.054 0.016-0.052 0.016-0.053 และ 0.012-0.055 มิลลิกรัมต่อกรัมไคโตซาน ตามลำดับ จากรูปที่ 4.34 (ก) พบว่า ปริมาณดี-กลูโคซามีน ส่วนใหญ่มีค่าเพิ่มขึ้นจนถึงวันที่ 14 หลังจากนั้นค่าเริ่มลดลง จนถึงวันที่ 28-35 วัน ค่าเริ่มค่อนข้างคงที่

จากการศึกษาหาปริมาณดี-กลูโคซามีนของไคโตซานเกรดทางพาณิชย์และเกรดทางเภสัชภัณฑ์ในสถานะความชื้นตั้งแต่ 50-80 เปอร์เซ็นต์ พบว่าปริมาณดี-กลูโคซามีนที่ระดับความชื้นต่างๆ มีการเปลี่ยนแปลงในทำนองเดียวกัน คือ มีการเปลี่ยนแปลงในช่วงแรกเล็กน้อยและเริ่มเพิ่มขึ้น โดยมีค่าสูงสุดในวันที่ 14 หลังจากนั้นเริ่มมีค่าลดลง และค่อนข้างคงที่ในวันที่ 28-35 จากรูปที่ 4.33 (ข) และ 4.34 (ข) พบว่าสำหรับไคโตซานเกรดทางพาณิชย์ที่ระดับความชื้น 70 เปอร์เซ็นต์ และสำหรับไคโตซานเกรดทางเภสัชภัณฑ์ที่ระดับความชื้น 60 เปอร์เซ็นต์ มีแนวโน้มของปริมาณดี-กลูโคซามีนสะสมมากกว่าที่ความชื้นอื่น อาจเป็นเพราะเป็นระดับความชื้นที่มีความเหมาะสมต่อกิจกรรมของจุลินทรีย์

(ข) ผลการศึกษาการหายใจของจุลินทรีย์ดินของไคโตซานเกรดทางพาณิชย์และเกรดทางเภสัชภัณฑ์

ผลการศึกษาปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นของไคโตซานเกรดทางพาณิชย์ในสภาวะความชื้นตั้งแต่ 50-80 เปอร์เซ็นต์ พบว่าปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นโดยรวมทั้งหมดอยู่ในช่วง 0-0.150 กรัมต่อกรัมไคโตซานต่อวัน (รูปที่ 4.35 ก) โดยค่าสูงสุดคือ 0.150 กรัมต่อกรัมไคโตซานต่อวัน ในดินที่มีความชื้น 70 เปอร์เซ็นต์

ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นของไคโตซานเกรดทางพาณิชย์ ในดินที่สภาวะควบคุม (ดินที่ไม่มีการปรับความชื้น) ที่ความชื้น 50 60 70 และ 80 เปอร์เซ็นต์ มีค่าอยู่ในช่วง 0-0.39 0-0.113 0-0.126 0-0.150 และ 0-0.131 กรัมต่อกรัมไคโตซานต่อวัน ตามลำดับ จากรูปที่ 4.35 (ก) พบว่าปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นมีการเปลี่ยนแปลงขึ้นลงในช่วง 0-7 วัน โดยวันที่ 3 และในวันที่ 14 มีค่าสูงสุด จากนั้นจึงลดลงในวันที่ 21 และ 28 ส่วนในวันที่ 35 ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นมีค่าใกล้ศูนย์

ผลการศึกษาปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นของไคโตซานเกรดทางเภสัชภัณฑ์ ในสภาวะความชื้นตั้งแต่ 50-80 เปอร์เซ็นต์ พบว่าปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ของไคโตซานเกรดทางเภสัชภัณฑ์ โดยรวมทั้งหมดอยู่ในช่วง 0-0.2 กรัมต่อกรัมไคโตซานต่อวัน (รูปที่ 4.36 ก) และมีค่าสูงสุดคือ 0.197 กรัมต่อกรัมไคโตซานต่อวัน ในดินที่มีความชื้น 70 เปอร์เซ็นต์

ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นของไคโตซานเกรดทางเภสัชภัณฑ์ ในดินที่สภาวะควบคุม (ดินที่ไม่มีการปรับความชื้น) ที่ความชื้น 50 60 70 และ 80 เปอร์เซ็นต์ มีค่าอยู่ในช่วง 0-0.18 0-0.123 0-0.137 0-0.197 และ 0-0.133 กรัมต่อกรัมไคโตซานต่อวัน ตามลำดับ จากรูปที่ 4.36 (ก) พบว่าปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นมีการเปลี่ยนแปลงขึ้นลงในช่วง 0-7 วัน และเพิ่มขึ้นในวันที่ 14 จากนั้นจึงลดลงในวันที่ 21 และ 28 ส่วนในวันที่ 35 ปริมาณ ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นมีค่าใกล้ศูนย์

การศึกษาการหายใจของจุลินทรีย์ดินของไคโตซานเกรดทางพาณิชย์และเกรดทางเภสัชภัณฑ์ในสภาวะความชื้นตั้งแต่ 50-80 เปอร์เซ็นต์พบว่าที่ความชื้นต่างๆ มีการเปลี่ยนแปลงปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นในทำนองเดียวกัน จากรูปที่ 4.35 (ข) และ 4.36 (ข) พบว่าสำหรับไคโตซานทั้งสองชนิดที่ความชื้น 70 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์สะสมเกิดขึ้นมากกว่าอุณหภูมิอื่น

(ค) ผลการศึกษาปริมาณอินทรีย์คาร์บอนของไคโตซานเกรดทางพาณิชย์และเกรดทางเภสัชภัณฑ์

จากการทดลองศึกษาปริมาณอินทรีย์คาร์บอนของไคโตซานเกรดทางพาณิชย์ ในสภาวะความชื้นตั้งแต่ 50-80 เปอร์เซ็นต์ พบว่าปริมาณอินทรีย์คาร์บอนโดยรวมทั้งหมดอยู่ในช่วง 0.171-2.603 เปอร์เซ็นต์ (รูปที่ 4.37 ก) โดยค่าน้อยสุดคือ 0.171 เปอร์เซ็นต์ ในดินที่มีความชื้น 50 และ 80 เปอร์เซ็นต์

ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนของไคโตซานเกรดทางพาณิชย์ ในดินที่สภาวะควบคุม(ดินที่ไม่มีการปรับความชื้น) ที่ความชื้น 50 60 70 และ 80 เปอร์เซ็นต์ มีค่าอยู่ในช่วง 0.399-2.565 0.171-2.375 0.712-2.109 0.589-2.603 และ 0.171-2.394 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ จากรูปที่ 4.37 (ก) พบว่าปริมาณอินทรีย์คาร์บอนมีการเปลี่ยนแปลงในช่วงแรก และเพิ่มขึ้นหลังจากนั้นค่าเริ่มลดลงอีกครั้งและพบว่าในวันที่ 3 14 และวันที่ 28 มีปริมาณอินทรีย์คาร์บอนที่ลดลง

จากการทดลองศึกษาปริมาณอินทรีย์คาร์บอนของไคโตซานเกรดทางเภสัชภัณฑ์ ในสภาวะความชื้นตั้งแต่ 50-80 เปอร์เซ็นต์ พบว่าปริมาณอินทรีย์คาร์บอนโดยรวมทั้งหมดอยู่ในช่วง 0.3-3.99 เปอร์เซ็นต์ (รูปที่ 4.38 ก) โดยค่าน้อยสุดคือ 0.313 เปอร์เซ็นต์ ในดินที่มีความชื้น 80 เปอร์เซ็นต์

ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนของไคโตซานเกรดทางพาณิชย์ ในดินที่สภาวะควบคุม (ดินที่ไม่มีการปรับความชื้น) ที่ความชื้น 50 60 70 และ 80 เปอร์เซ็นต์ มีค่าอยู่ในช่วง 0.627-3.306 0.399-3.990 0.342-3.705 0.484-3.705 และ 0.313-3.686 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ จากรูปที่ 4.38 (ก) พบว่าปริมาณอินทรีย์คาร์บอนมีการเปลี่ยนแปลงในช่วงแรกโดยปริมาณอินทรีย์คาร์บอนเริ่มลดลงวันที่ 5-7 หลังจากนั้นค่าเริ่มสูงขึ้นและลดลงในวันที่ 14 หลังจากนั้นค่าเริ่มสูงขึ้นอีกครั้งและลดลงในวันที่ 28

ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนของไคโตซานเกรดเกรดทางพาณิชย์และเกรดทางเภสัชภัณฑ์ในสภาวะความชื้นตั้งแต่ 50-80 เปอร์เซ็นต์ พบว่าปริมาณอินทรีย์คาร์บอนที่ความชื้นต่างๆ มีการเปลี่ยนแปลงในทำนองเดียวกันคือ ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนมีการเปลี่ยนแปลงในช่วงแรก และเพิ่มขึ้นหลังจากนั้นค่าเริ่มลดลงอีกครั้งและพบว่าในวันที่ 3 14 และวันที่ 28 มีปริมาณอินทรีย์คาร์บอนที่ลดลง จากรูปที่ 4.37 (ข) และ 4.38 (ข) พบว่าที่ความชื้น 80 เปอร์เซ็นต์ สำหรับไคโตซานทั้งสองชนิดมีปริมาณอินทรีย์คาร์บอนสะสมต่ำกว่าอนุภูมิอื่น

(ง) ผลการศึกษาปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดของไคโตซานเกรดทางพาณิชย์และเกรดทางเภสัชภัณฑ์

จากการทดลองศึกษาปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดของไคโตซานเกรดทางพาณิชย์ ในสภาวะความชื้นตั้งแต่ 50-80 เปอร์เซ็นต์ พบว่าปริมาณไนโตรเจนโดยรวมทั้งหมดอยู่ในช่วง 0.086-0.164 เปอร์เซ็นต์ (รูปที่ 4.39 ก) โดยค่าน้อยสุดคือ 0.086 เปอร์เซ็นต์ ในดินที่มีความชื้น 80 เปอร์เซ็นต์

ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดของไคโตซานเกรดทางพาณิชย์ ในดินที่สภาวะควบคุม(ดินที่ไม่มีการปรับความชื้น) ที่ความชื้น 50 60 70 และ 80 เปอร์เซ็นต์ มีค่าอยู่ในช่วง 0.102-0.164 0.097-0.150 0.104-0.135 0.093-0.163 และ 0.086-0.134 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ จากรูปที่ 4.39 (ก) พบว่าปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดมีการเปลี่ยนแปลงในช่วงแรกโดยลดลงต่ำสุดวันที่ 14 หลังจากนั้นค่าค่อนข้างคงที่จนถึงวันที่ 35

จากการทดลองศึกษาปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดของไคโตซานเกรดทางเภสัชภัณฑ์ ในสภาวะความชื้นตั้งแต่ 50-80 เปอร์เซ็นต์ พบว่าปริมาณไนโตรเจนโดยรวมทั้งหมดอยู่ในช่วง 0.093-0.433 เปอร์เซ็นต์ (รูปที่ 4.40 ก) โดยค่าน้อยสุดคือ 0.093 เปอร์เซ็นต์ ในดินที่มีความชื้น 80 เปอร์เซ็นต์

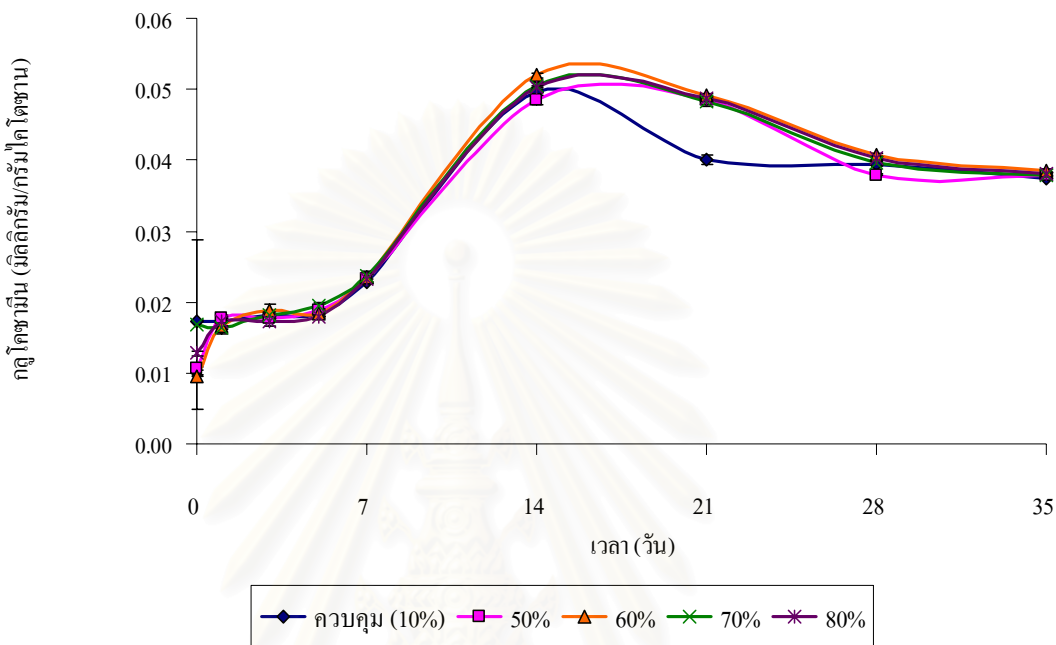
ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดของไคโตซานเกรดทางเภสัชภัณฑ์ในดินที่สภาวะควบคุม(ดินที่ไม่มีการปรับความชื้น) ที่ความชื้น 50 60 70 และ 80 เปอร์เซ็นต์ มีค่าอยู่ในช่วง 0.142-0.354 0.102-0.360 0.096-0.433 0.102-0.392 และ 0.093-0.430 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ จากรูปที่ 4.40 (ก) พบว่าปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดมีการเปลี่ยนแปลงโดยมีแนวโน้มลดลงตั้งแต่วันที่ 0 จนถึงวันที่ 35

จากการศึกษาปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดของไคโตซานเกรดทางพาณิชย์และเกรดทางเภสัชภัณฑ์ในสภาวะความชื้นตั้งแต่ 50-80 เปอร์เซ็นต์ พบว่าปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดมีการเปลี่ยนแปลงในทำนองเดียวกัน คือมีแนวโน้มลดลง จากรูปที่ 4.39 (ข) และ 4.40 (ข) พบว่าสำหรับไคโตซานเกรดทางพาณิชย์ที่ความชื้น 80 เปอร์เซ็นต์ ส่วนไคโตซานเกรดทางเภสัชภัณฑ์ที่ความชื้น 50 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดสะสมน้อยกว่าที่ระดับความชื้นอื่น

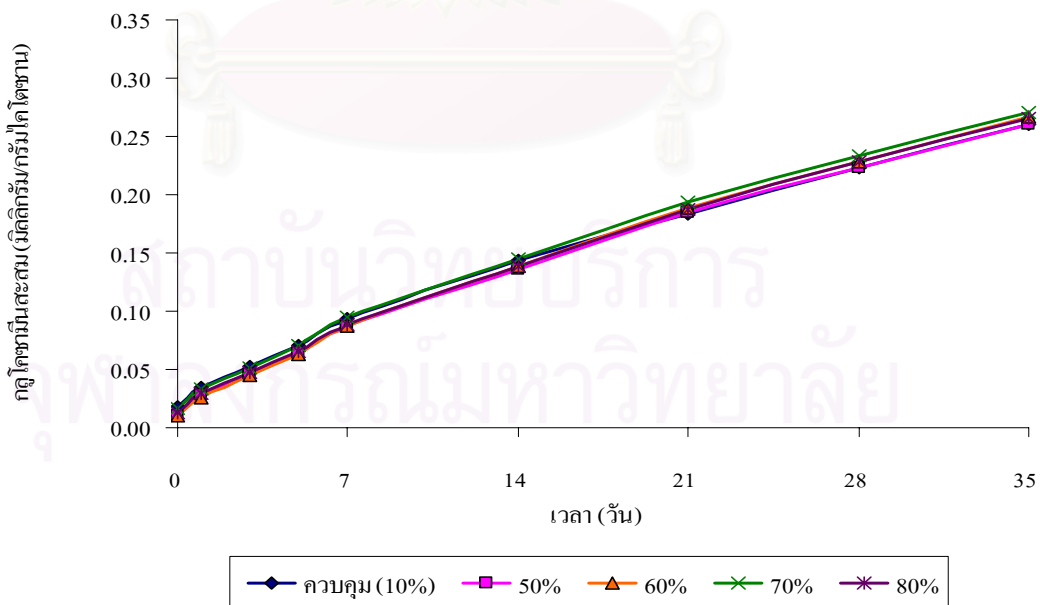
จากการศึกษาสภาวะความชื้นที่เหมาะสมตั้งแต่ 50-80เปอร์เซ็นต์ ในการย่อยสลายของไคโตซานทั้งสองชนิด พบว่าปริมาณดี-กลูโคซามีน ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ ปริมาณอินทรีย์คาร์บอน และปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงที่คล้ายคลึงกัน และค่าไม่แตกต่างกันมากนัก และระดับความชื้นที่มีผลต่อพารามิเตอร์ทั้ง 4 ชนิดคือ 70-80 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสอดคล้องกับความชื้นที่มีผลต่อการย่อยอินทรียสารย่อยสลายที่ได้ผลเร็วที่สุด คือ

ความชื้น 60-80 เปอร์เซ็นต์ (ศุภมาส พนิชศักดิ์พัฒนา, 2540) นอกจากนี้ยังมีรายงานของ Bardgett และ คณะ (1995) พบว่านอกจากความชื้นในช่วงที่กล่าวไว้แล้วยังมีที่ความชื้น 84 เปอร์เซ็นต์ ที่ให้ผลที่ดีต่อการย่อยสลายไคโตซาน

(ก)

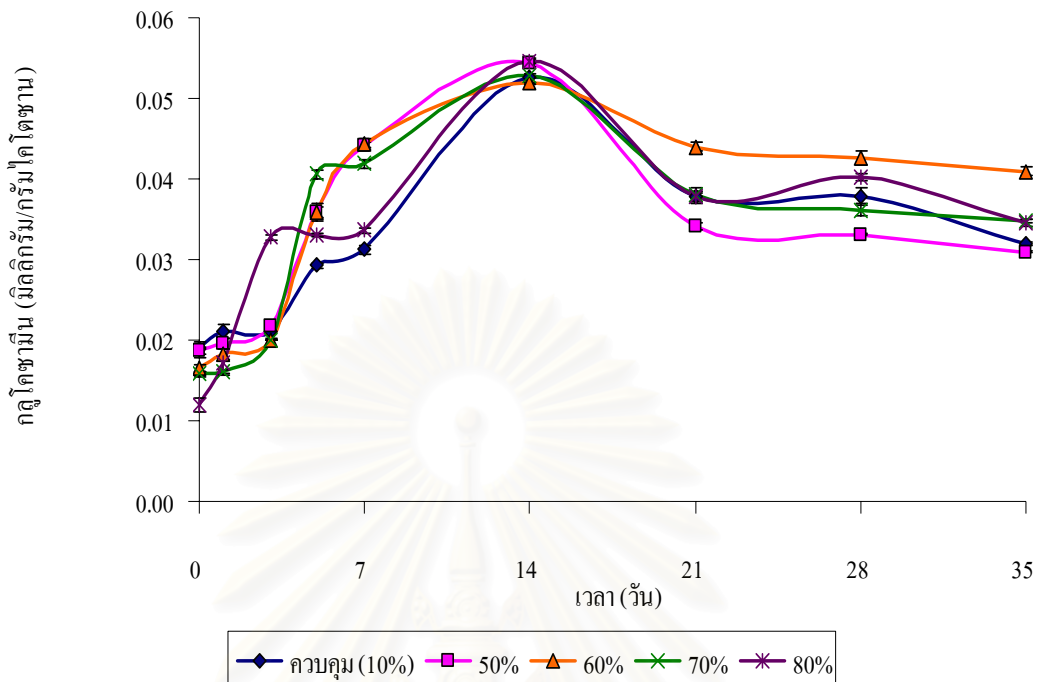


(ข)

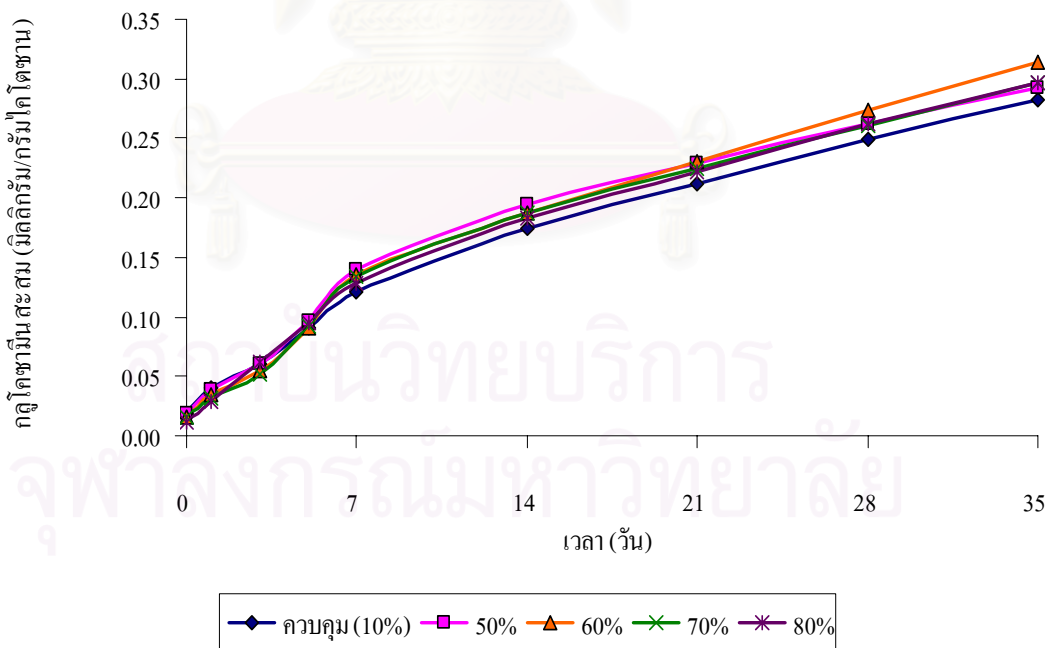


รูปที่ 4.33 (ก) ปริมาณดี-กลูโคซามีน และ (ข) ปริมาณดี-กลูโคซามีนสะสมของไคโตซานเกรดทางพาณิชย์ ในสภาวะความชื้นที่เหมาะสมตั้งแต่ 50-80 เปอร์เซ็นต์

(ก)

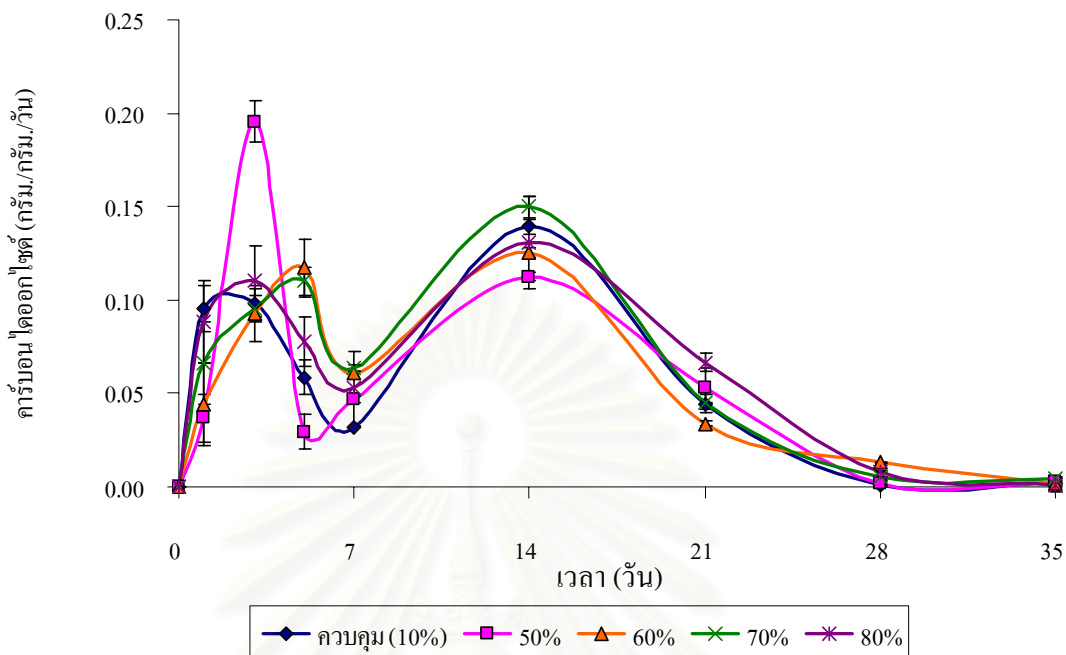


(ข)

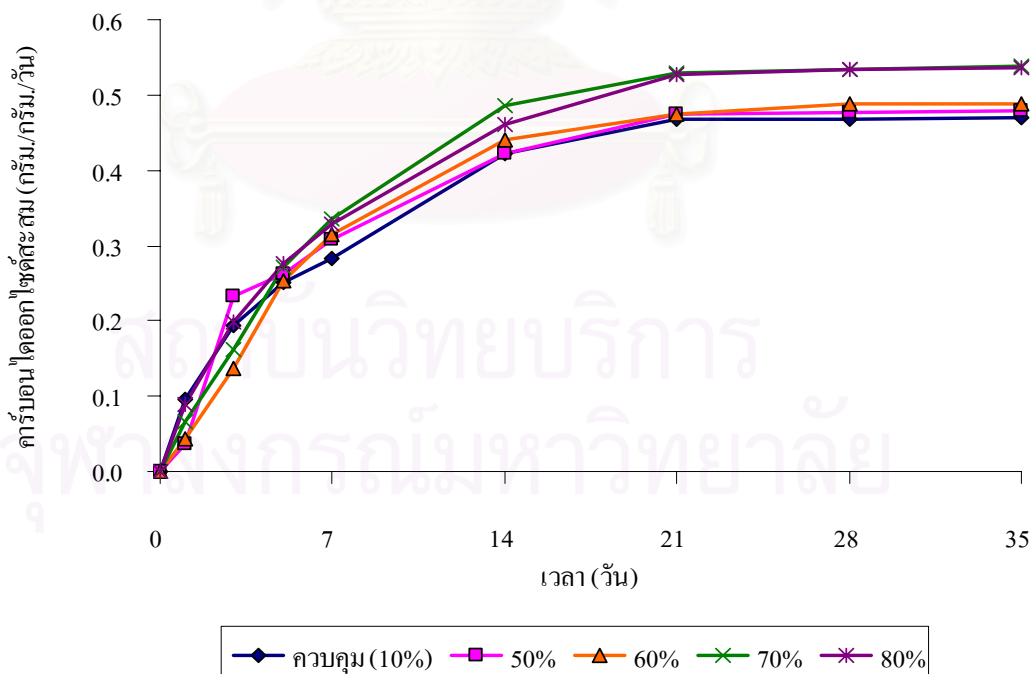


รูปที่ 4.34 (ก) ปริมาณดี-กลูโคซามีน และ (ข) ปริมาณดี-กลูโคซามีนสะสมของไคโตซานเกรดทางเภสัชภัณฑ์ ในสภาวะความชื้นที่เหมาะสมตั้งแต่ 50-80 เปอร์เซ็นต์

(ก)

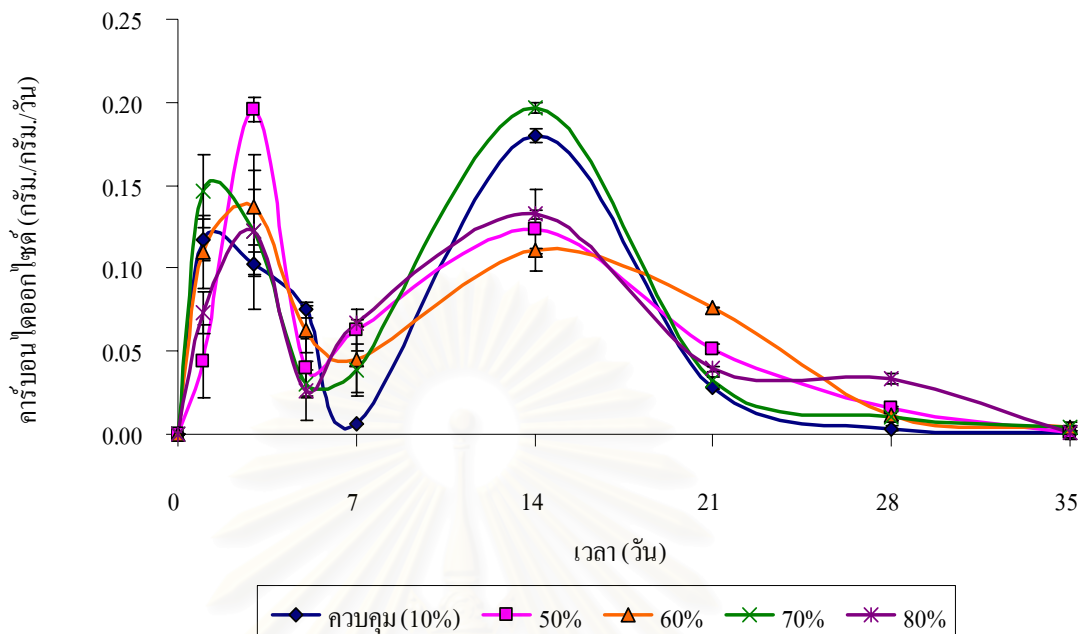


(ข)

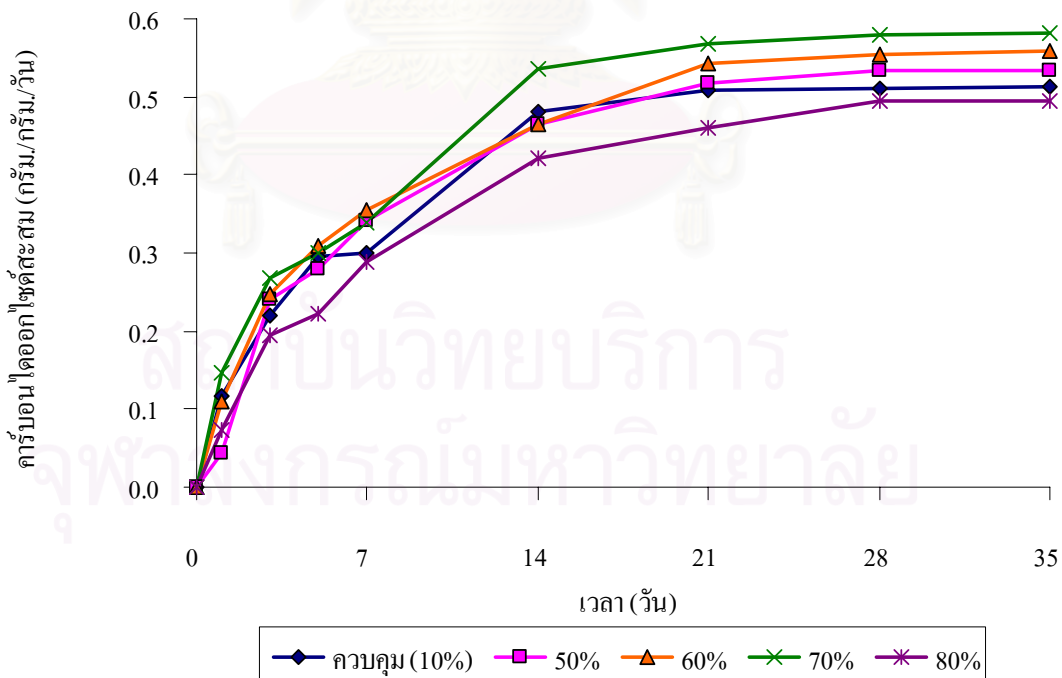


รูปที่ 4.35 (ก) ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ และ (ข) ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์สะสมของ ไคโตซานเกรดทางพาณิชย์ ในสภาวะความชื้นที่เหมาะสมตั้งแต่ 50-80 เปอร์เซ็นต์

(ก)

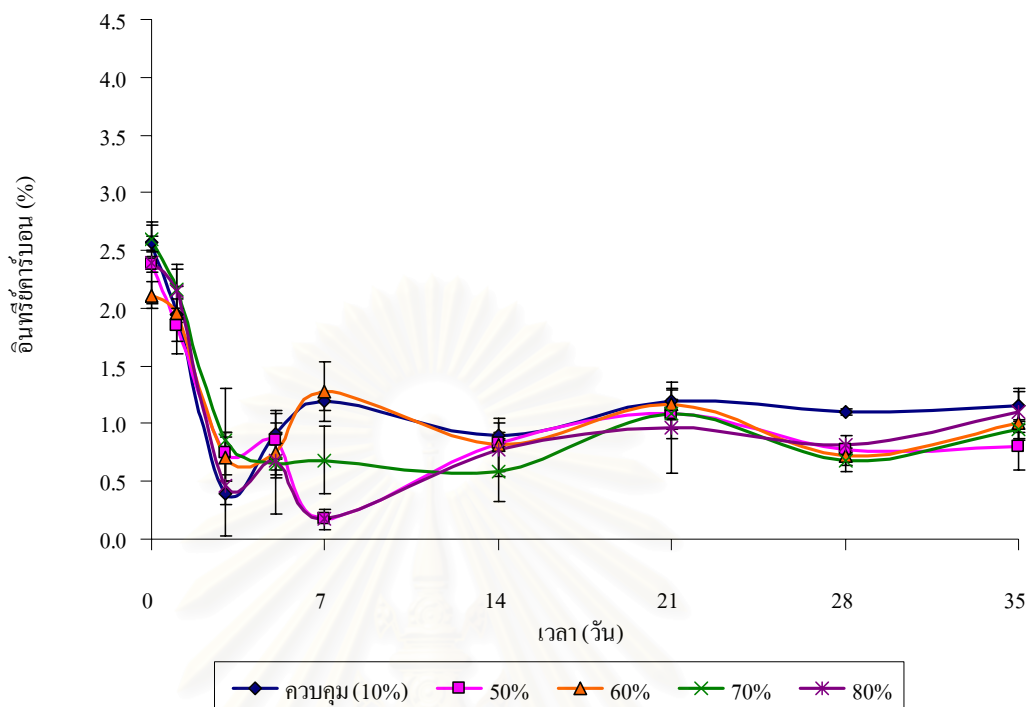


(ข)

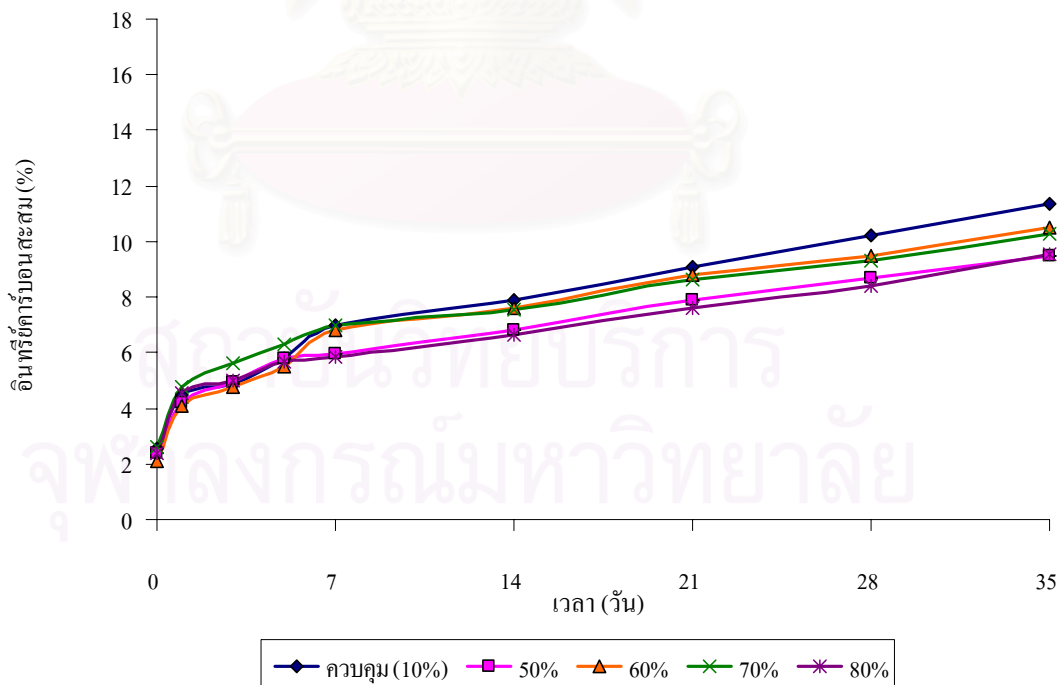


รูปที่ 4.36 (ก) ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ และ (ข) ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์สะสมของ ไคโตซานเกรดทางเภสัชภัณฑ์ ในสถานะความชื้นที่เหมาะสมตั้งแต่ 50-80 เปอร์เซ็นต์

(ก)

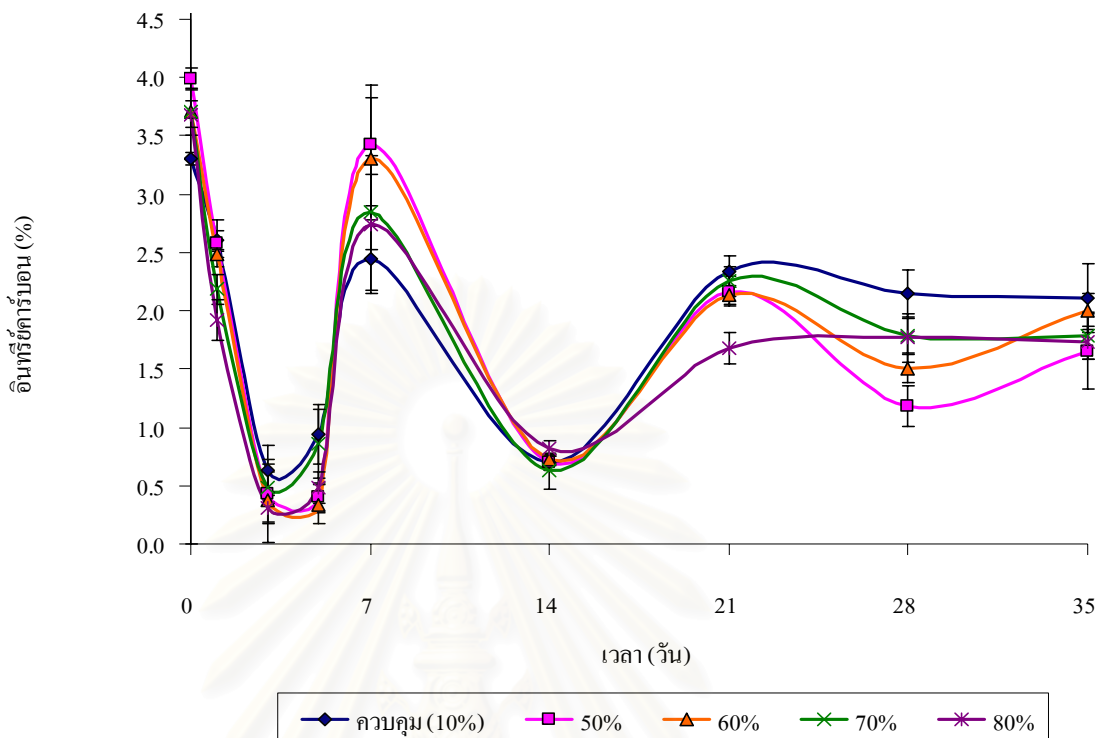


(ข)

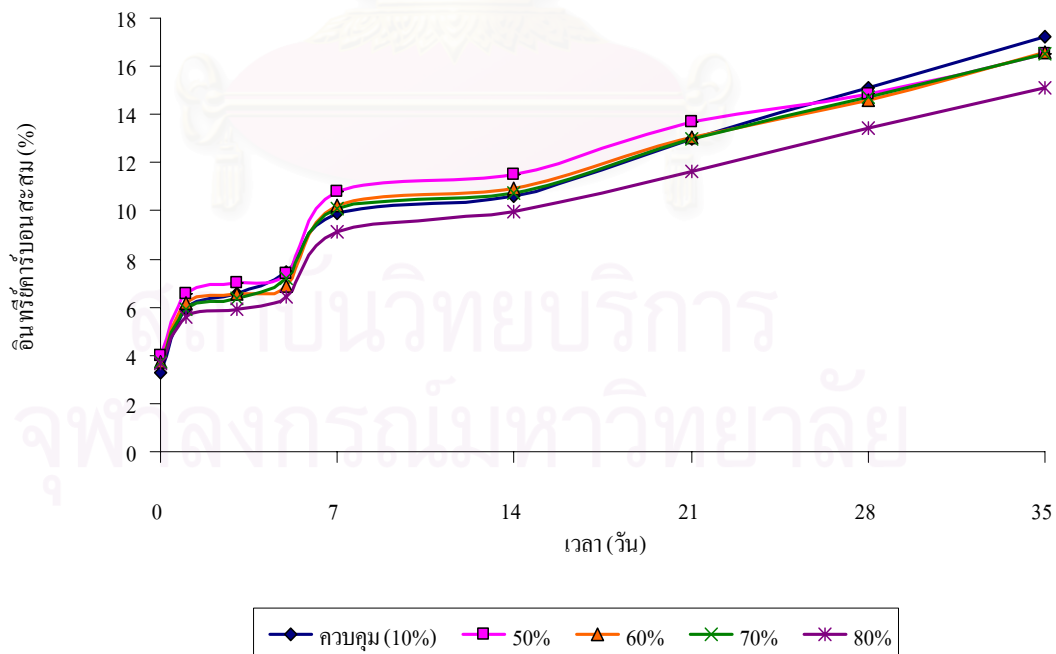


รูปที่ 4.37 (ก) ปริมาณอินทรีย์คาร์บอน และ (ข) ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนสะสมของไคโตซานเกรดทางพาณิชย์ ในสภาวะความชื้นที่เหมาะสมตั้งแต่ 50-80 เปอร์เซ็นต์

(ก)

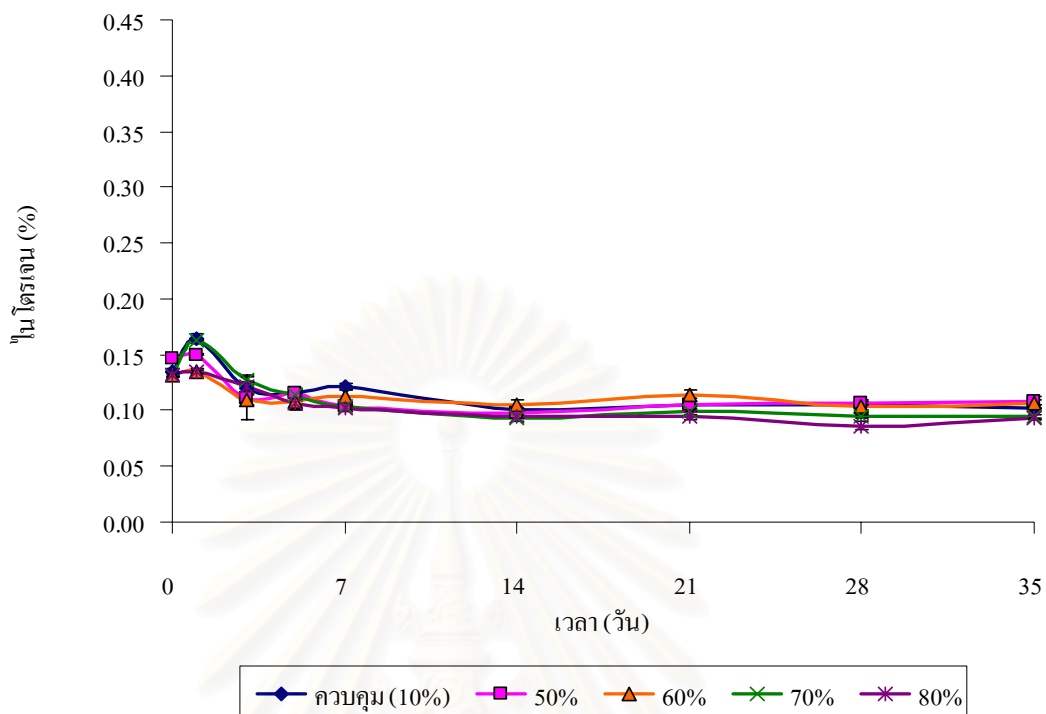


(ข)

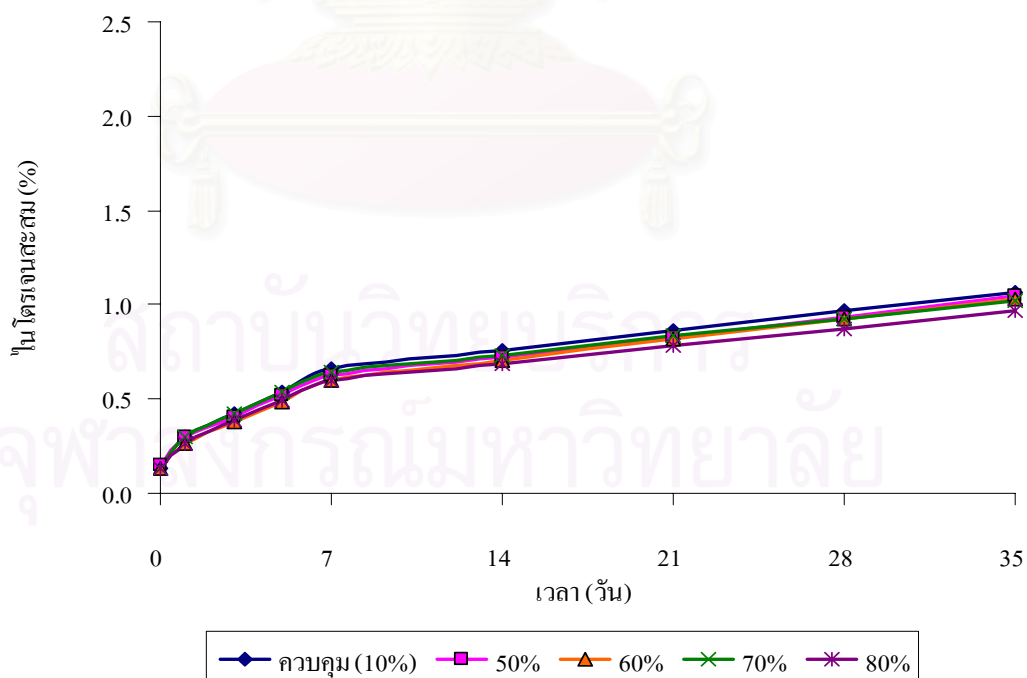


รูปที่ 4.38 (ก) ปริมาณอินทรีย์คาร์บอน และ (ข) ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนสะสมของไคโตซานเกรดทางเภสัชภัณฑ์ ในสภาวะความชื้นที่เหมาะสมตั้งแต่ 50-80 เปอร์เซ็นต์

(ก)

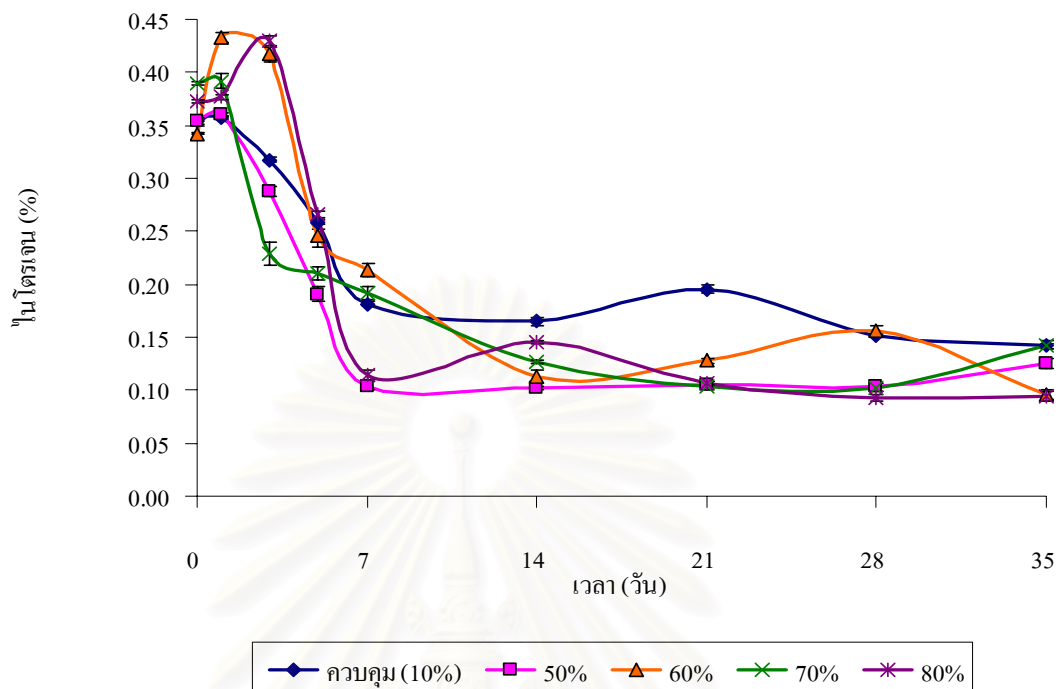


(ข)

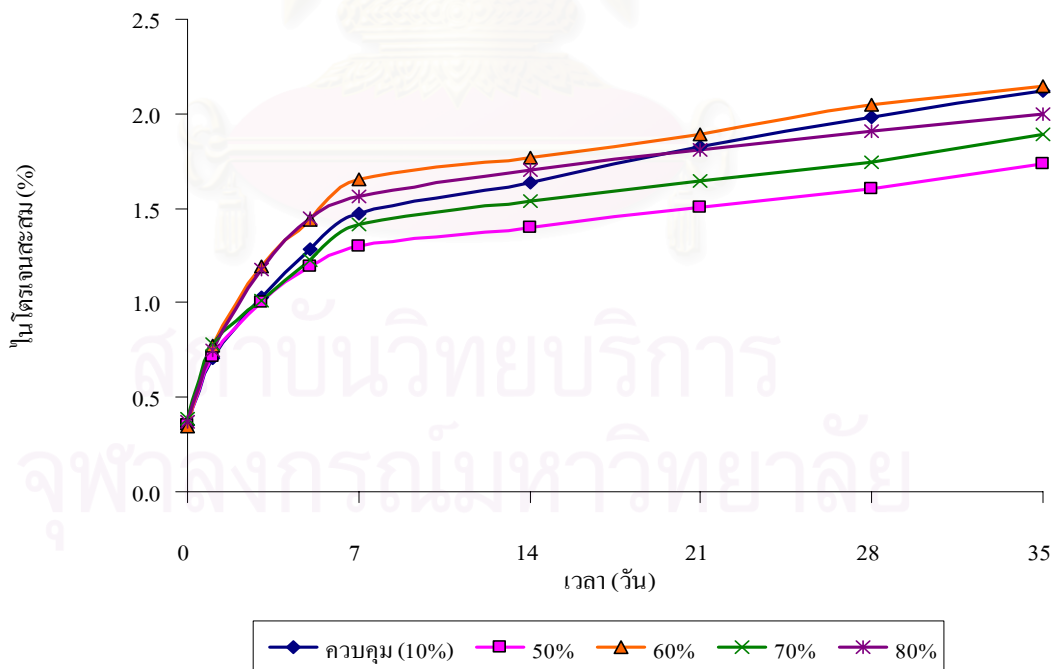


รูปที่ 4.39 (ก) ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด และ (ข) ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดสะสมของไคโตซานเกรดทางพาณิชย์ ในสภาวะความชื้นที่เหมาะสมตั้งแต่ 50-80 เปอร์เซ็นต์

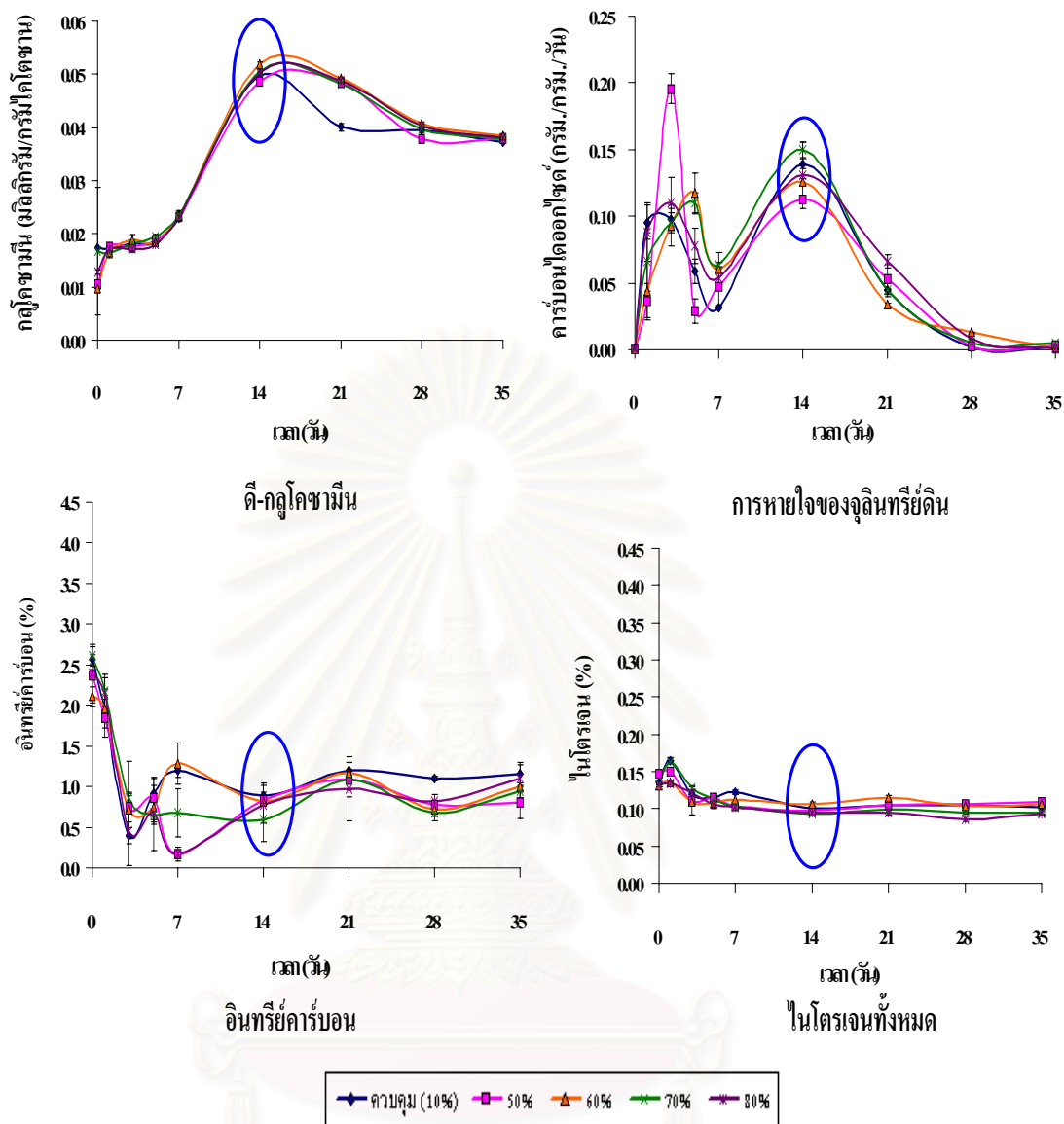
(ก)



(ข)



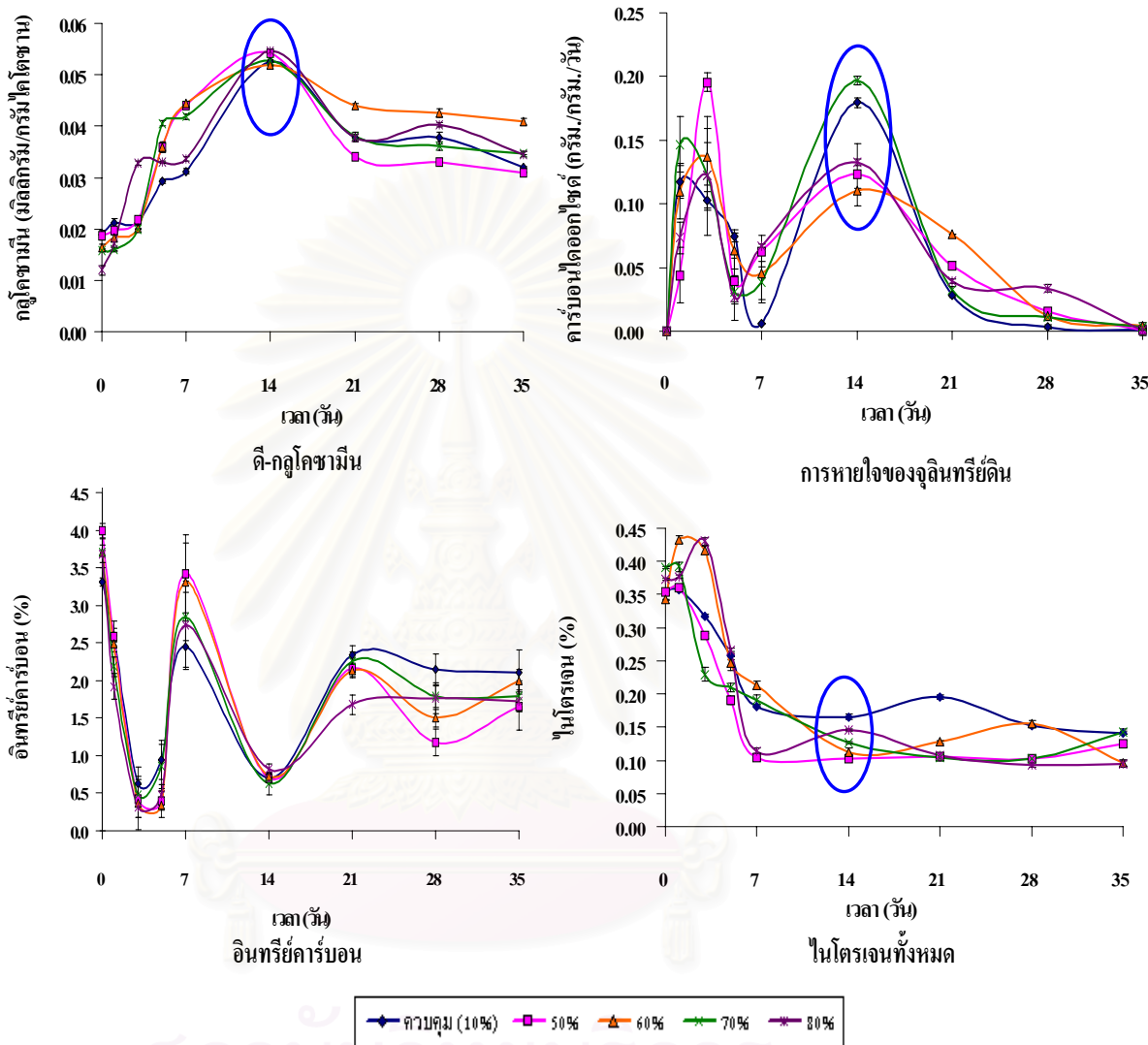
รูปที่ 4.40 (ก) ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด และ (ข) ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดสะสมของโคโคซาน เกรดทางเกษตรภัณฑ์ ในสภาวะความชื้นที่เหมาะสมตั้งแต่ 50-80 เปอร์เซ็นต์



รูปที่ 4.41 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการศึกษาความชื้นในดินที่เหมาะสมต่อการย่อยสลายของโคโตซานเกรดทางพาณิชย์

จากรูปที่ 4.41 แสดงพารามิเตอร์ที่ใช้ในการศึกษาความชื้นที่เหมาะสมต่อการย่อยสลายของโคโตซานเกรดทางพาณิชย์ในดิน เห็นได้ว่าพารามิเตอร์ทั้งสี่มีความสอดคล้องกัน โดยปริมาณ ดิน-กลูโคซามีนมีค่าสูงสุดในวันที่ 14 ซึ่งสอดคล้องกับการหายใจของจุลินทรีย์ที่มีปริมาณ คาร์บอนไดออกไซด์สูงสุดในวันที่ 14 เช่นกัน ส่วนเปอร์เซ็นต์อินทรีย์คาร์บอนและเปอร์เซ็นต์ ไนโตรเจนทั้งหมดจากการที่จุลินทรีย์ใช้เป็นแหล่งอาหารจะเห็นว่าค่าก็มีแนวโน้มลดลงเช่นกัน สังเกตว่าในช่วง 0-7 วันแรก สังเกตว่าค่ามีการเปลี่ยนแปลงขึ้น ๆ ลง ๆ เป็นผลจากการปรับตัวของ

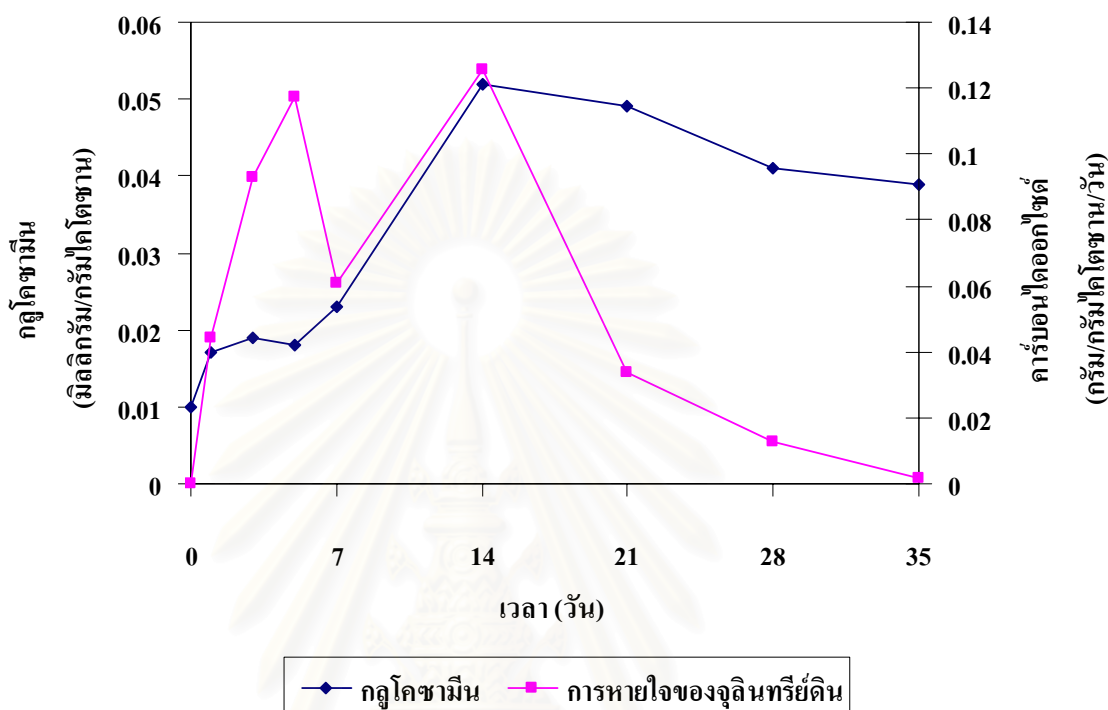
จุลินทรีย์ให้เข้ากับสภาพแวดล้อม ซึ่งคือระดับความชื้นต่าง ๆ ในดินที่มีผลต่อกลไกการทำงานของภายในเซลล์ของจุลินทรีย์ที่สามารถย่อยสลายไคโตซาน



รูปที่ 4.42 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการศึกษาความชื้นในดินที่เหมาะสมต่อการย่อยสลายของไคโตซานเกรดทางเภสัชภัณฑ์

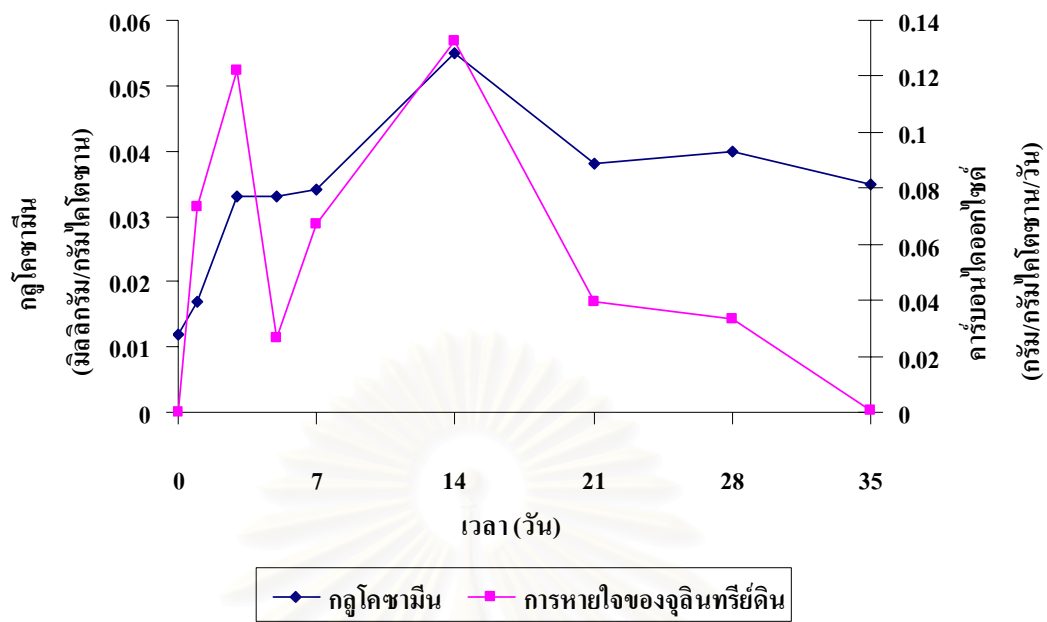
จากรูปที่ 4.42 แสดงพารามิเตอร์ที่ใช้ในการศึกษาความชื้นในดินที่เหมาะสมต่อการย่อยสลายของไคโตซานเกรดทางเภสัชภัณฑ์ เห็นได้ว่าพารามิเตอร์ทั้งสี่มีความสอดคล้องกันแต่ค่าเปอร์เซ็นต์อินทรีย์คาร์บอนหลังจากวันที่ 14 กลับเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด อาจเป็นความคลาดเคลื่อนในการทดลองเนื่องจากในการศึกษาการย่อยสลาย จุลินทรีย์ใช้สารอินทรีย์ (ไคโตซาน) เป็นแหล่ง

อาหาร ดังนั้นการย่อยสลายจะทำให้ปริมาณสารอินทรีย์จำเป็นต้องลดลงจากการใช้และเปลี่ยนรูปไปเป็นรูปอื่น



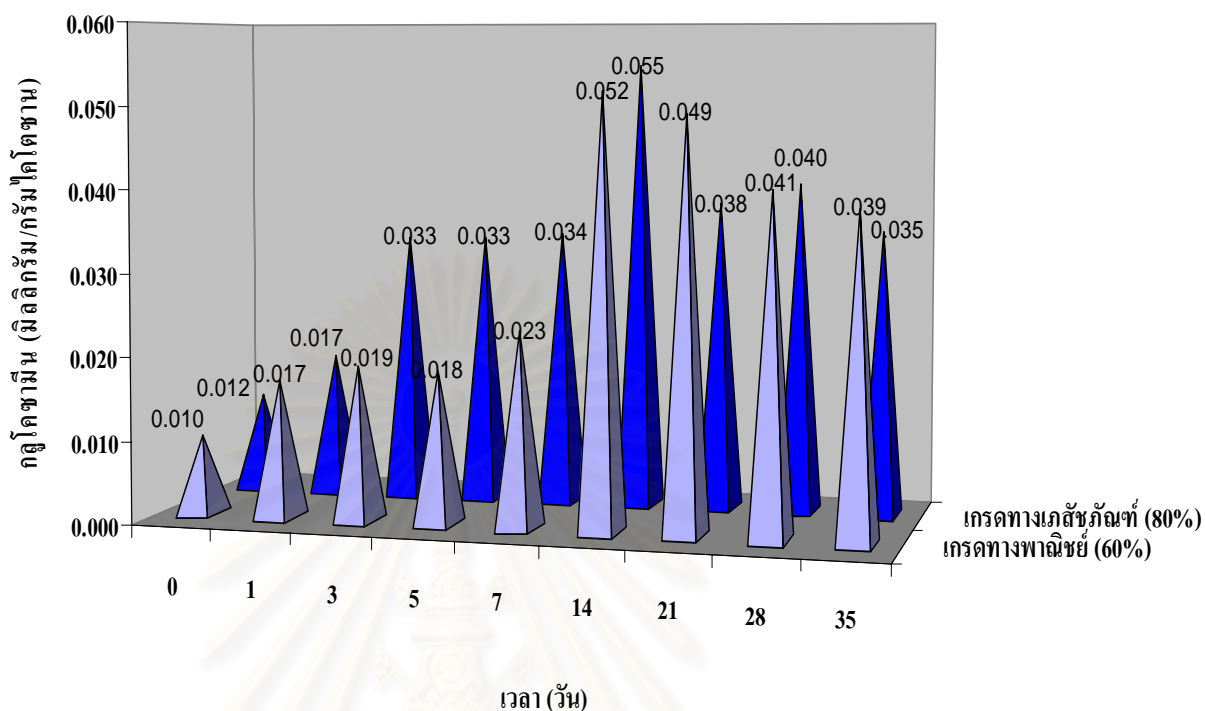
รูปที่ 4.43 ปริมาณกลูโคซามีนและการหายใจของจุลินทรีย์ดินจากการย่อยสลายโคโคซานเกรดทางพาณิชย์ที่ความชื้นในดิน 60 เปอร์เซ็นต์

รูปที่ 4.43 แสดงปริมาณกลูโคซามีนและการหายใจของจุลินทรีย์ดินจากการย่อยสลายโคโคซานเกรดทางพาณิชย์ที่ความชื้นในดิน 60 เปอร์เซ็นต์ จากการศึกษการย่อยสลายโดยพิจารณาปริมาณดี-กลูโคซามีนและการหายใจของจุลินทรีย์ดิน พบว่า พารามิเตอร์ทั้งสองมีแนวโน้มในทิศทางเดียวกันและมีค่าสูงสุดในวันที่ 14 เช่นกัน และเมื่อทดสอบความสัมพันธ์เชิงเส้นพบว่า ปริมาณกลูโคซามีนมีความสอดคล้องกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % และมีค่า Multiple R เท่ากับ 70.07 เปอร์เซ็นต์



รูปที่ 4.44 ปริมาณกลูโคซามีนและการหายใจของจุลินทรีย์ดินจากการย่อยสลายโคโตซานเกรดทางเภสัชภัณฑ์ที่ความชื้นในดิน 80 เปอร์เซ็นต์

รูปที่ 4.44 แสดงปริมาณกลูโคซามีนและการหายใจของจุลินทรีย์ดินจากการย่อยสลายโคโตซานเกรดทางเภสัชภัณฑ์ที่ความชื้นในดิน 80 เปอร์เซ็นต์ จากการศึกษาการย่อยสลายโดยพิจารณาและการหายใจของจุลินทรีย์ดิน พบว่า ปริมาณดี-กลูโคซามีนมีแนวโน้มในทิศทางเดียวกันกับการหายใจของจุลินทรีย์ดิน และมีค่าสูงสุดในวันที่ 14 เช่นกัน และเมื่อทดสอบความสัมพันธ์เชิงเส้นพบว่าปริมาณกลูโคซามีนมีความสอดคล้องกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % และมีค่า Multiple R เท่ากับ 82.63 เปอร์เซ็นต์



รูปที่ 4.45 ปริมาณดี-กลูโคซามีนของไคโตซานทั้งสองชนิดในสภาวะความชื้นที่เหมาะสม

จากรูปที่ 4.45 แสดงค่าปริมาณดี-กลูโคซามีนของไคโตซานทั้งสองชนิดในสภาวะความชื้นในดินที่เหมาะสม เมื่อทำการเปรียบเทียบการย่อยสลายไคโตซานทั้งสองชนิดโดยพิจารณาจากปริมาณ ดี-กลูโคซามีน จากผลการทดลองที่สภาวะอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการย่อยสลาย พบว่าไคโตซานเกรตทางพาณิชย์มีค่าปริมาณดี-กลูโคซามีนสูงสุดที่ความชื้น 60 เปอร์เซ็นต์ ส่วนไคโตซานเกรตทางเภสัชภัณฑ์มีค่าปริมาณดี-กลูโคซามีนสูงสุดที่ความชื้น 80 เปอร์เซ็นต์ แต่ไคโตซานทั้งสองชนิดมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันโดยมีค่าสูงสุดในวันที่ 14 เช่นเดียวกัน ซึ่งไคโตซานเกรตทางพาณิชย์มีค่าปริมาณดี-กลูโคซามีน เท่ากับ 0.052 มิลลิกรัมต่อกรัมไคโตซาน ส่วนไคโตซานเกรตทางเภสัชภัณฑ์มีค่าปริมาณดี-กลูโคซามีน เท่ากับ 0.055 มิลลิกรัมต่อกรัมไคโตซาน โดยไคโตซานทั้งสองชนิดมีค่าต่างกัน 0.003 มิลลิกรัมต่อกรัมไคโตซาน ซึ่งถือว่ามีค่าแตกต่างกันน้อยมาก

การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการย่อยสลายของไคโตซานทั้งสองชนิดพบว่าพารามิเตอร์ส่วนใหญ่ในสภาวะที่ทดลองมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงในทิศทางเดียวกันและ

ค่าพารามิเตอร์ไม่แตกต่างกันมากนัก เนื่องจากไคโตซานเกรดทางเภสัชภัณฑ์ มีน้ำหนักโมเลกุลน้อยกว่าไคโตซานเกรดทางพาณิชย์ คือ น้ำหนักโมเลกุล 100,000 และ 200,000 ดาลตัน ตามลำดับ แต่ไคโตซานเกรดทางพาณิชย์มีร้อยละการกำจัดหุ้ะซีทิล น้อยกว่า ไคโตซานเกรดทางเภสัชภัณฑ์ เท่ากับ 81 และ 90 ตามลำดับ โดยพบว่าทั้งน้ำหนักโมเลกุลและร้อยละการกำจัดหุ้ะซีทิล มีผลต่อการเข้าไปย่อยโดยเอนไซม์ของจุลินทรีย์ที่สายของไคโตซาน ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Zhang และ Neau (2002) ที่กล่าวว่าผลของน้ำหนักโมเลกุลและร้อยละการกำจัดหุ้ะซีทิล มีผลต่อการย่อยสลายไคโตซาน และการย่อยสลายไคโตซานของเอนไซม์โดยทั่วไปจะเกิดได้ดีที่น้ำหนักโมเลกุลกับร้อยละการกำจัดหุ้ะซีทิลต่ำ ๆ (Li และคณะ, 2007) นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยของ Ren และคณะ (2005) พบว่าผลของค่าครึ่งชีวิตของน้ำหนักโมเลกุลไคโตซานลดลงอย่างมีนัยสำคัญกับร้อยละการกำจัดหุ้ะซีทิลของไคโตซานที่ลดลงด้วย



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองการดูดซับสีของแอซิด กรีน 25 และผลการศึกษาปัจจัยในการย่อยสลายไคโตซาน สามารถสรุปได้ดังนี้

5.1.1 การดูดซับสีของแอซิด กรีน 25 ของไคโตซานทั้งสองชนิด

- การดูดซับสีของไคโตซานทั้งสองชนิดที่ pH เท่ากับ 5 ทำให้เกิดประสิทธิภาพการลดสีได้ดีที่สุด ส่วนประสิทธิภาพการลดสีของไคโตซานเกรดทางพาณิชย์กับไคโตซานเกรดทางเภสัชภัณฑ์ที่ pH 5 มีประสิทธิภาพเท่ากับ 98.9 และ 99.2 เปอร์เซ็นต์ และจากผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ตามวิธีของ Duncan 's new multiple range test และTurkey 's HSD test

- การลดความขุ่นในสีของไคโตซานทั้งสองชนิดที่ pH เท่ากับ 5 ทำให้เกิดประสิทธิภาพการลดสีได้ดีที่สุด ส่วนประสิทธิภาพการลดความขุ่นของไคโตซานเกรดทางพาณิชย์กับไคโตซานเกรดทางเภสัชภัณฑ์ที่ pH 5 มีประสิทธิภาพเท่ากับ 54.9 และ 57 เปอร์เซ็นต์ และจากผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ตามวิธีของ Duncan 's new multiple range test และTurkey 's HSD test

5.1.2 การศึกษา pH ที่เหมาะสมในการย่อยสลายของไคโตซาน

- การศึกษาหาปริมาณดี-กลูโคซามีน ในสภาวะความเป็นกรดต่าง พบว่าไคโตซานทั้งสองชนิด ในดินที่มี pH เป็นกรด ต่าง และซดควบคุม (6.79) มีการเปลี่ยนแปลงในทำนองเดียวกันคือ ช่วงแรกมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย หลังจากนั้นค่าปริมาณดี-กลูโคซามีน เพิ่มขึ้นในวันที่ 14 และเริ่มทรงตัวเมื่อระยะเวลาผ่านไป

- การศึกษาการหายใจของจุลินทรีย์ดินของไคโตซานทั้งสองชนิดในสภาวะความเป็นกรดต่าง พบว่าปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นจากการหายใจของจุลินทรีย์ ในดินที่มี pH

เป็นกรด ค่าง และชุดควบคุม (6.79) มีการเปลี่ยนแปลงในทำนองเดียวกันคือ ช่วงแรกมีการเปลี่ยนแปลง และเริ่มเพิ่มขึ้นสูงสุดในวันที่ 14 หลังจากนั้น ค่าเริ่มมีการลดลง

- การศึกษาหาค่าปริมาณอินทรีย์คาร์บอนของไคโตซานทั้งสองชนิดในสภาวะความเป็นกรดค่าง พบว่าในดินที่มี pH เป็นกรด ค่าง และชุดควบคุม (6.79) มีการเปลี่ยนแปลงในทำนองเดียวกันกล่าวคือ ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนจะลดลงวันที่ 3 และเพิ่มขึ้นหลังจากนั้นค่าเริ่มลดลงอีกครั้งในวันที่ 14 หลังจากนั้นค่าค่อนข้างคงที่

- การศึกษาปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดของไคโตซานทั้งสองชนิดในสภาวะความเป็นกรดค่าง พบว่าในดินที่มี pH เป็นกรด ค่าง และชุดควบคุม (6.79) มีการเปลี่ยนแปลงหลังจากวันที่ 7 ค่าเริ่มลดลงและเพิ่มสูงขึ้นอีกครั้งในวันที่ 21 หลังจากนั้นเริ่มลดลงและค่อนข้างคงที่จนถึงวันที่ 35

สรุป จากการศึกษาปัจจัย pH ของดินในการย่อยสลายของไคโตซานทั้งสองชนิด พบว่า ค่าพารามิเตอร์ที่กล่าวข้างต้นส่วนใหญ่มีแนวโน้มที่สอดคล้องกันและค่าไม่แตกต่างกันมากนักของไคโตซานทั้งสองชนิด โดยสภาพของ pH ดินมีผลต่อการทำงานของเอนไซม์ และกิจกรรมต่างๆ ภายในดิน โดยทั่วไปการย่อยสลายจะเกิดขึ้นได้ดีในสภาวะดินเป็นกลาง และผลการทดลองพบว่าที่ pH กลุ่มควบคุม (6.79) มีปริมาณดี-กลูโคซามีนสะสมและปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์สะสมมากที่สุด ส่วนปริมาณอินทรีย์คาร์บอนสะสมและปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดสะสมมีค่าน้อยที่สุด

5.1.3 การศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการย่อยสลายของไคโตซาน

- การศึกษาหาปริมาณดี-กลูโคซามีนในช่วงอุณหภูมิตั้งแต่ 20-40 องศาเซลเซียส พบว่าการเปลี่ยนแปลงในทำนองเดียวกัน คือ มีการเปลี่ยนแปลงในช่วงแรกเล็กน้อยและเริ่มเพิ่มขึ้น โดยมีค่าสูงสุดในวันที่ 14 หลังจากนั้น ค่าเริ่มมีการลดลง และค่อนข้างคงที่ในวันที่ 28-35

- การศึกษาการหายใจของจุลินทรีย์ดินของไคโตซานทั้งสองชนิดในช่วงอุณหภูมิตั้งแต่ 20-40 องศาเซลเซียส พบว่าที่อุณหภูมิต่างๆ มีการเปลี่ยนแปลงขึ้นลงในช่วง 0-7 วัน และเพิ่มขึ้นในวันที่ 14 จากนั้นจึงลดลงในวันที่ 21 และ 28 ส่วนในวันที่ 35 ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นมีค่าใกล้เคียง

- การศึกษาหาค่าปริมาณอินทรีย์คาร์บอนของไคโตซานทั้งสองชนิดในช่วงอุณหภูมิตั้งแต่ 20-40 องศาเซลเซียส พบว่าที่อุณหภูมิต่างๆ มีการเปลี่ยนแปลงในช่วงแรกโดยปริมาณอินทรีย์คาร์บอนเริ่มลดลงค่อนข้างต่ำสุดในวันที่ 14 หลังจากนั้นค่าค่อนข้างคงที่ จนถึงวันที่

- การศึกษาปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดของไคโตซานทั้งสองชนิดในช่วงอุณหภูมิ ตั้งแต่ 20-40 องศาเซลเซียส พบว่าที่อุณหภูมิต่างๆ มีการเปลี่ยนแปลงในทำนองเดียวกัน คือมีแนวโน้มลดลง

สรุป จากการศึกษาปัจจัยอุณหภูมิของดินในการย่อยสลายของไคโตซานทั้งสองชนิด ค่าพารามิเตอร์ที่กล่าวข้างต้นส่วนใหญ่มีแนวโน้มที่สอดคล้องกันและค่าไม่แตกต่างกันมากนัก และพบว่าอุณหภูมิที่มีผลต่อปริมาณดี-กลูโคซามีนสะสม ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์สะสม ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนสะสม และปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดสะสม คือ 25-35 องศาเซลเซียส

5.1.4 การศึกษาความชื้นในดินที่เหมาะสมในการย่อยสลายของไคโตซาน

- การศึกษาหาปริมาณดี-กลูโคซามีนในสภาวะความชื้นตั้งแต่ 50-80 เปอร์เซ็นต์ พบว่า มีการเปลี่ยนแปลงในทำนองเดียวกัน คือ ปริมาณดี-กลูโคซามีนมีการเปลี่ยนแปลงในช่วงแรกเล็กน้อยและเริ่มเพิ่มขึ้น โดยมีค่าสูงสุดในวันที่ 14 หลังจากนั้น ค่าเริ่มมีการลดลง และค่อนข้างคงที่ในวันที่ 28-35

- การศึกษาการหายใจของจุลินทรีย์ดินของไคโตซานทั้งสองชนิดในสภาวะความชื้นตั้งแต่ 50-80 เปอร์เซ็นต์ พบว่าปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นมีการเปลี่ยนแปลงขึ้นลงในช่วง 0-7 วัน และเพิ่มขึ้นในวันที่ 14 จากนั้นจึงลดลงในวันที่ 21 และ 28 ส่วนในวันที่ 35 ปริมาณ ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นมีค่าใกล้เคียง

- การศึกษาหาค่าปริมาณอินทรีย์คาร์บอนของไคโตซานทั้งสองชนิดในสภาวะความชื้นตั้งแต่ 50-80 เปอร์เซ็นต์ พบว่าที่ความชื้นต่างๆ มีการเปลี่ยนแปลงในทำนองเดียวกันคือ ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนมีการเปลี่ยนแปลงในช่วงแรก และเพิ่มขึ้นหลังจากนั้นค่าเริ่มลดลงอีกครั้ง และพบว่าในวันที่ 3 14 และวันที่ 28 มีปริมาณอินทรีย์คาร์บอนที่ลดลง

- การศึกษาปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดของไคโตซานทั้งสองชนิดในสภาวะความชื้นตั้งแต่ 50-80 เปอร์เซ็นต์ พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงในทำนองเดียวกัน คือมีแนวโน้มลดลง

สรุป จากการศึกษาสภาวะความชื้นที่เหมาะสมตั้งแต่ 50-80 เปอร์เซ็นต์ ในการย่อยสลายของไคโตซานทั้งสองชนิด พบว่าปริมาณดี-กลูโคซามีน ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ ปริมาณอินทรีย์คาร์บอน และปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงที่คล้ายคลึงกันและค่าไม่แตกต่างกันมากนัก การศึกษาสภาวะความชื้นที่มีผลต่อการย่อยสลายของไคโตซานทั้งสองชนิด โดยพิจารณาจากปริมาณดี-กลูโคซามีนสะสม ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์สะสม ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนสะสม และปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดสะสม พบว่าความชื้นในดินที่มีผลต่อการย่อยสลายไคโตซานทั้งสองชนิดเมื่อพิจารณาแนวโน้มสะสม คือ 70-80 เปอร์เซ็นต์

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. จากผลการทดลองพบว่าที่ pH 5 เกิดประสิทธิภาพในการลดสีข้อมได้สูงสุด และเนื่องจากสีแอมซิดส่วนใหญ่จะทำการข้อมที่สภาวะที่เป็นกรด ดังนั้นอาจใช้ไคโตซานทำการบำบัดน้ำสีข้อมในน้ำเสียจากกระบวนการข้อมสีเลย เพื่อเป็นการลดสีข้อมในน้ำเสียก่อนนำไปรวมกับน้ำเสียกระบวนการอื่น ๆ ที่อาจทำให้คุณสมบัติของน้ำเปลี่ยนแปลง นอกจากนี้ยังเป็นการลดต้นทุนในการปรับ pH ของน้ำเสียให้เหมาะสมกับการบำบัดอีกด้วย

2. จากการศึกษาการดูดซับสีข้อมที่ทราบความสามารถสูงสุดที่ไคโตซานสามารถดูดซับสีข้อมได้ ดังนั้นการนำไปใช้จริงจึงควรมีการศึกษาจำนวนการใช้ไคโตซานที่เหมาะสมในการดูดซับสีข้อมเพื่อให้ได้ประสิทธิภาพและประสิทธิผลในการบำบัดน้ำสีข้อมสูงสุด และถ้าใช้ไคโตซานในรูปสารละลาย (solution) จะใช้ระดับ ppm ซึ่งน้อยมากและน่าจะถือว่าคุ้มทุนจริง ๆ มากกว่านี้

3. ประสิทธิภาพการลดสีข้อมของไคโตซานเกรดทางพาณิชย์กับไคโตซานเกรดทางเภสัชภัณฑ์ที่ pH 5 มีประสิทธิภาพเท่ากับ 98.9 และ 99.2 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งพบว่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และราคาของไคโตซานเกรดทางพาณิชย์เท่ากับ 1,000 บาทต่อกิโลกรัม ราคาไคโตซานเกรดทางเภสัชภัณฑ์เท่ากับ 2,100 บาทต่อกิโลกรัม ดังนั้นการนำไคโตซานไปใช้บำบัดน้ำเสียจริงจึงควรพิจารณาถึงต้นทุน ซึ่งการใช้ไคโตซานเกรดทางพาณิชย์น่าจะมีความเหมาะสมกว่าไคโตซานเกรดทางเภสัชภัณฑ์

4. จากการศึกษาขั้นตอนการย่อยสลายไคโตซานเป็นข้อมูลพื้นฐานในการสนับสนุนการใช้ไคโตซานบำบัดน้ำเสียที่มีสีข้อมเจือปนว่าเกิดการย่อยสลายในธรรมชาติ แต่ควรมีการศึกษากลไกและการทำงานของจุลินทรีย์เพิ่มเพื่อให้เข้าใจถึงกระบวนการมากกว่านี้

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

- กรมโรงงานอุตสาหกรรม. 2542. การกำจัดสีข้อมในน้ำเสียจากการข้อมผ้า. คู่มือการจัดการสิ่งแวดล้อมโรงงานฟอกข้อม. หน้า 17-26. กรุงเทพมหานคร.
- กัลยา สุนทรวงศ์สกุล. 2537. อิทธิพลของโลหะหนักต่อกิจกรรมจุลินทรีย์ดินและความเสี่ยงต่อเชื้อซาลโมเนลลาเนื่องจากการนำกากตะกอนน้ำเสียชุมชนไปใช้ประโยชน์ทางการเกษตร. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา. 2536. คู่มือปฏิบัติการปฐพีวิทยาเบื้องต้นระบบไฮโดรทีคัลกรรณ. พิมพ์ครั้งที่ 9. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์ชวนพิมพ์.
- คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา. 2548. ปฐพีวิทยาเบื้องต้น. พิมพ์ครั้งที่ 2. หน้า 231-237. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- จินตนา ชำนาญนุธรรม. 2542. การดูดซับของสีข้อมประเภทละลายน้ำได้บนไคดินและไคโตแซน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต สาขาวิชาปิโตรเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ชนิดา เสมรัตน์. 2543. ประสิทธิภาพการกำจัดสีข้อมน้ำทิ้งอุตสาหกรรมสีทอด้วยกระบวนการดูดซับด้วยใช้ถ่านที่ผลิตจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ดวงกมล วิบูลย์รัตนศรี และพรเทพ พูลเทียบรัตน์. 2545. การประยุกต์ไคโตซานในการนำสีแอสติกกลับมาใช้ใหม่. โครงการเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์ ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- เบญจวรรณ สุทธิไชย. 2547. การบำบัดน้ำเสียสีข้อมประเภทละลายน้ำด้วยเกลือไคโตซานจากเปลือกกุ้ง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- มนตรี รัตน์วิจิตร ชัชวาล งามศรี และสุพรรณิ บุญเรือง. 2541. การเตรียมผ้า การข้อม การพิมพ์และการตกแต่งสำเร็จ. คู่มือวิชาการสิ่งทอ. หน้า 241-242. กรุงเทพมหานคร.
- เยาวภา ไหวพริบ. 2534. การผลิตไคดินและไคโตซานจากเปลือกกุ้ง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- รัตนา รุจิรวนิช. 2544. การดูดซับสีข้อมประเภทละลายน้ำได้บนไคดินและไคโตซาน. จุฬาวิจัย 20 (มีนาคม-เมษายน): 18-21.

- ศุภมาส พนิชศักดิ์พัฒนา. 2540. ภาวะมลพิษของดินจากการใช้สารเคมี. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร: เท็กซ์ แอนด์ เจอร์นัลส์ พับลิเคชั่น .
- ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ. 2546. ประโยชน์ของไคตินและไคโตซาน. ใน Chitin Chitosan. หน้า 5-7. กรุงเทพมหานคร.
- สมศักดิ์ วังโน. 2528. จุลินทรีย์และกิจกรรมในดิน. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์ไทยวัฒนาพานิชย์.
- อภิชาติ หิรัญจิตต์. 2539. การกำจัดสีย้อมรีแอคทีฟจากน้ำเสี้ยว้อมผ้าด้วยกระบวนการร่วมของการดูดซับผิวและโคแอกูเลชัน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ภาษาอังกฤษ

- Alejandro, R.G., Maria, A.C., Marcela, F., and Maria S. R. 2006. Bioremediation of crude oil polluted seawater by a hydrocarbon degrading bacterial strain immobilized on chitin and chitosan flakes. International Biodeterioration and biodegradation 57: 222-228.
- Austin, P. R. 1988. Chitin solution and purification of chitin. Method in Enzymology 61: 403-407.
- Bardgett, R. D., James, L., and Leemans, D. K. 1995. Microbial biomass and activity in a grassland soil amended with different application rates of silage effluent-a laboratory study. Bioresource Technology 52: 175-180.
- Wilson, S. C., and Jones, K. C. 1993. Bioremediation of soil contaminate with polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs). Environmental Pollution. 81: 229-249.
- Berger, J., Reist, M., Chenite, A., Felt-Baeyens, O., Maye, J. M., and Gurny, R. 2005. Pseudo-thermosetting chitosan hydrogels for biomedical application. International Journal of Pharmaceutics 288: 17-25.
- Brady, N.C. and R.R. Weil. 1996. The nature and properties of soils. pp 196. New Jersey: Prentice-Hall.
- Bustamante, M. A., Perez-Murcia, M. D., Paredes, C., and Moral, R. 2007. Short-term carbon and nitrogen mineralisation in soil amended with winery and distillery organic wastes. Bioresource Technology 98 (17): 3269-3277.
- Cabrera, J. C., and Cutsem, P. V. 2005. Preparation of chitooligosaccharides with degree of polymerization higher than 6 by acid or enzymatic degradation of chitosan. Biochemical Engineering Journal 25:165-172.

- Cestari, A. R., Vieira, E. F. S., Pinto, A. A., and Lopes, E. C. N. 2005. Multistep adsorption of anionic dyes on silica/chitosan hybrid 1. Comparative kinetic data from liquid and solid-phase models. Journal Colloid and Interface Science 292: 363-372.
- Chang, M. Y., and Juang, R. S., 2005. Equilibrium and kinetic studies on the adsorption of surfactant, organic acids and dyes from water onto natural biopolymers. Journal Colloids and Surfaces A 269: 35-46.
- Chen, K. C., Wu, J. Y., Liou, D. J., and Hwang, S. J. 2003. Decolorization of the textile dyes by newly isolated bacterial strains. Journal of Biotechnology 101: 57-68.
- Chiou, M. S., and Li, H. Y. 2003. Adsorption behavior of reactive dye in aqueous solution on chemical cross-linked chitosan beads. Chemosphere 50: 1095-1105.
- Danals, S. L. 1995. Environmental Soil Chemistry. pp. 99-139. USA: Academic press.
- European Commission. 2007. Scientific Committee on Consumer Products [Online]. Available from: <http://members.tripod.com/~Dalwoo/structure.gif>[2007 August 21].
- Haque, P., Mustafa, A.I., and Mubarak, A.K. 2006. Effect of crosslinking monomers the physico-mechanical and degradation properties of photografted chitosan film. Carbohydrate Polymers in press.
- Hardin, I. R., Cao, H., Wilson, S. S., and Akin, D. E. 2000. Decolorization of textile wastewater by selective fungi. Textile Chemist and Colorist and American Dyestuff Reporter 32: 38-42.
- Hon, D. N. S. 1996. Chitin and chitosan: Medical application. in Polysaccharides in Medicinal Application. pp. 631-649. New York: Marcel Dekker.
- Hu, Z. G., Zhang, J., Chan, W. L., and Szeto, Y. S. 2006. The sorption of acid dye onto chitosan nanoparticles. J. Polymer 47: 5838-5842.
- Huang, C., Chen, Y. 1996. Coagulation of colloidal particles in water by chitosan. Journal of Chemical Technology and Biotechnology 66: 227-232.
- Juang, R. S., Tseng, R. L., Wu, F. C., and Lee, S. H. 1997. Adsorption behavior of reactive dyes from aqueous solution on chitosan. Journal of Chemical Technology and Biotechnology 70: 391-399.
- Kos, B., and Lestan, D. 2004. Chelator induced phytoextraction and in situ soil washing of CU. Environmental Pollution. 132: 333-339.
- Knorr, D. 1991. Recovery and utilization of chitin and chitosan in food processing waste management. Food Technology 1:114-122.

- Kupongsak, S. 1995. Deacetylated chitin used as absorbent in clarification of pineapple syrup production. Master's Thesis. Agriculture. Aquatic Systems and Engineering Program. Asian Institute of Technology.
- Laham, I.M., and Lee, T.C. 1995. Biodegradability of chitin and chitosan containing films in soil environment. Journal of Environmental Polymer Degradation 3: 3-36.
- Li, J. Du, Y., and Liang, H. 2007. Influence of molecular parameters on the degradation of chitosan by a commercial enzyme. Polymer Degradation and Stability 92: 515-524.
- Maetakanon, P., Fuangfuchart, A., and Kongsuwan, K. 2002. Chitin-chitosan technical note. National Metal and Materials Technology Center. Pp. 24. Bangkok.
- McKay, G., Blair, H .S., and Gardner J. R. 2004. Rate studies for the adsorption of dyestuffs on chitin. Journal Colloid and Interface Science 280: 380-386.
- McKay, G., Porter, J. F., and Prasad, G. R. 1999. The removal of dye colours from aqueous solution by adsorption on low-cost materials. Water, Air and Soil Pollution 114: 423-438.
- Minna, V., Merja, I., and Kaisa, P. 1995. Measurement of biodegradation of starch-based materials by enzymatic methods and composting. Journal of Environmental Polymer Degradation 3: 23-29.
- Miyoshi, H., Shimura, K., and Kasuki, O. 1992. Characterization of some fungal chitosan. Bioscience Biotechnology and Biochemistry 56: 1901-1905.
- Morais, W. A., Fernandes, A. L. P., Dantas, T. N. C., Pereira, M. R., and Fonseca, J. L. C. 2007. Sorption studies of a model anionic dye on crosslinked chitosan. Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects 1-12.
- Muzzarelli, R. A. A. 1977. Chitin. pp. 309. Great Britain: Pergamon Press.
- Nakamura, A., Maeda, M., Kinoshita, T., and Tsuji, A. 1969. Analytical chemical studies on amino sugars. I. new color reaction of hexosamines using p- nitrobenzaldehyde and tetraethylammonium hydroxide. Chemical and Pharmaceutical Bulletin 17: 770-774.
- Noll, K. E., Gounaris, V., and Hou, W. S. 1992. Adsorption Technology for Air and Water Pollution Control. Michigan: Lewis.
- Paul, E. A., and Clark, F. E. 1989. Soil Microbiology and Biochemistry. pp. 275. USA: Academic press.
- Ren, D., Yi, H., Wang, W., and Ma, X. 2005. The enzymatic degradation and swelling properties of chitosan matrices with different degrees of N-acetylation. Carbohydrate Research 340: 2403-2410.

- Rowel, D. L. 1997. Soil Science: Method and applications. pp. 118-119. England: Addison Wesley Longman Limited.
- Said, O. B., Shalмор, M. B., and Egila, J. N. 1993. A note on the binding of nickel and copper ions by cellulose materials. Bioresource Technology 43: 63-65.
- Sanz, E., Prats, D., Rodriguez, M., and Camacho, A. 2006. Effect of temperature and organic nutrients on the biodegradation of linear alkylbenzene sulfonate (LAS) during the composting of anaerobically digested sludge from a wastewater treatment plant. Waste Management 26: 1237-1245.
- Satchatham, K. 2003. Decolorization of dye wastewater by chitosan from dried shrimp shell. Degree of Master of Science Graduate School Chulalongkorn University.
- Scotti, C. T., Vergoignan, C., Feron, G., and Durand, A. 2001. Glucosamine measurement as indirect method for biomass estimation of *Cunninghamella elegans* grown in solid state cultivation conditions. Biochemical Engineering Journal 7:1-5.
- Setti, L., Mazzieri, S., and Pifferi, P. G. 1999. Enhanced degradation of heavy oil in an aqueous system by a *Pseudomonas sp.* in The presence of natural and synthetic sorbents. Bioresource Technology 67: 191-199.
- Singh, A., and Ward, O. P. 2004. Biodegradation and bioremediation. New York: Springer.
- Somashekar, D., and Joseph, R. 1996. Chitosanases-properties and application: A review. Bioresource Technology 55: 35-45.
- Tan, K. H. 2005. Soil Sampling, Preparation, and Analysis. New York: Marcel Dekker, Inc.
- Wang, W. J., Dalal, R. C., Moody, P. W., and Smith, C. J. 2003. Relationships of soil respiration to microbial biomass, substrate availability and clay content. Soil Biology and Biochemistry 35: 273-284.
- Wang, S. M., Huang, Q. Z. And Wang Q. S. 2005. Study on the synergetic degradation of chitosan with ultraviolet light and hydrogen peroxide. Carbohydrate Research 340: 1143-1147.
- Wellable Group Marine Biological & Chemical. 2007. Products [Online]. Available from: http://ec.europa.eu/health/ph_risk/committees/04_sccp/docs/sccp_o_009.pdf[2007 August 21].
- Wilson, S. C., and Jones, K. C. 1993. Bioremediation of soil contaminate with polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs). Environmental Pollution 81: 229-249.

- Wong, Y. C., Szeto, Y. S., Cheung, W. H., and McKay, G. 2004. Adsorption of acid dyes on chitosan-Equilibrium isotherm analyses. Process Biochemistry 39: 695-704.
- Yoshida, H., Okamoto, A., and Kataoka, T. 1993. Adsorption of acid dye on cross-linked chitosan fiber: Equilibria. Chemical Engineering Science 48:2267-2272.
- Zhang, H., and Neau, S. H. 2002. In vitro degradation of chitosan by bacterial enzymes from rat cecal and colonic contents. Biomaterials 23: 2761-2766.



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

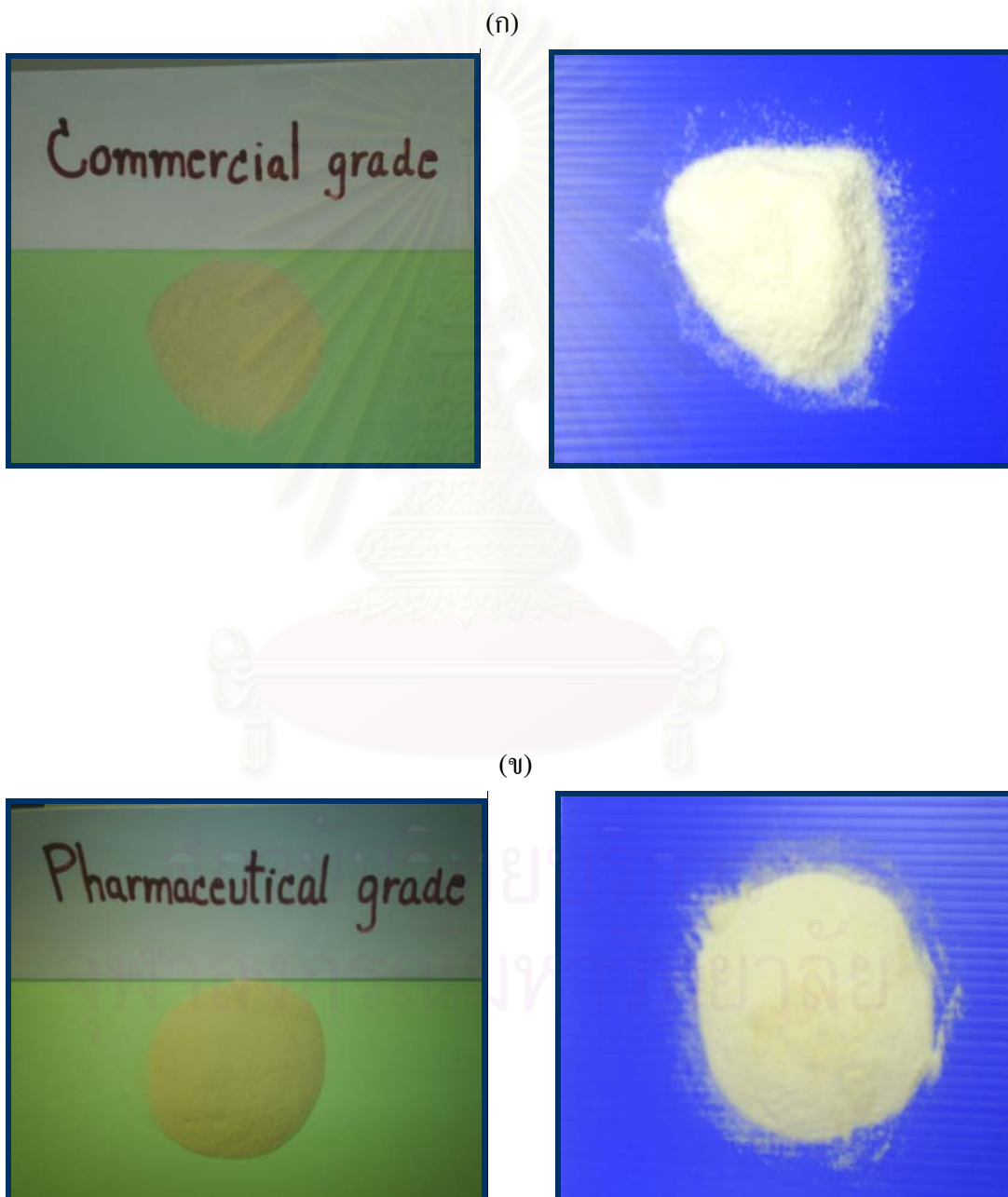


ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก
รูปภาพที่เกี่ยวข้อง

รูปภาพที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยมีดังนี้

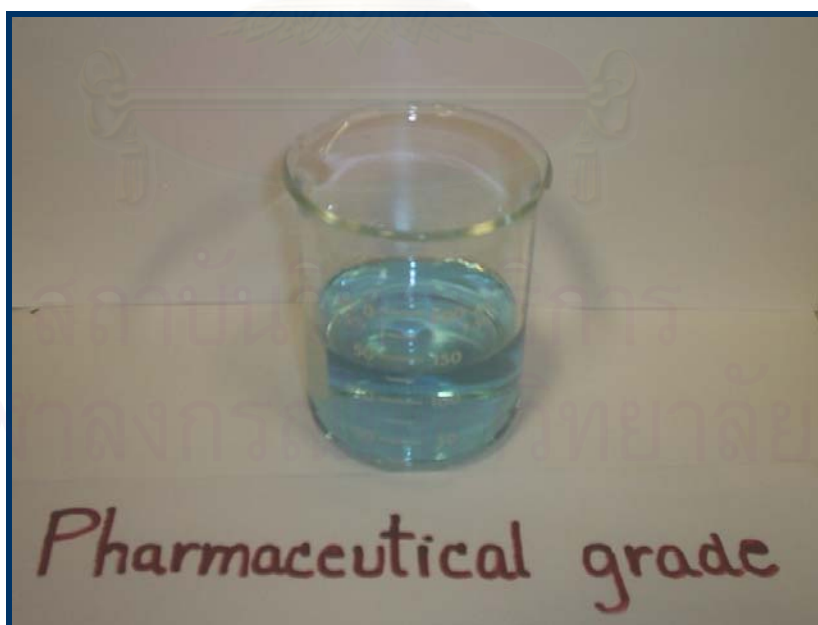


รูปที่ ก-1 ลักษณะทั่วไปของโคโตซานที่ใช้ในการวิจัย (ก)โคโตซานเกรดทางพาณิชย์ (ข)โคโตซานเกรดทางเภสัชภัณฑ์

(ก)



(ข)



รูปที่ ก-2 สารละลายสีส้มแสด กรีน 25 ที่ผ่านการดูดซับของไลโตซาน (ก) เกรดทางพาณิชย์ (ข) เกรดทางเภสัชภัณฑ์



รูปที่ ก-3 เครื่องมือที่ใช้ทดลองการดูดซับที่ย้อมแอสิด กรีน 25 ของไคโตซาน(เครื่องจาร์เทส)



รูปที่ ก-4 การทดลองศึกษาสถานะที่เหมาะสมต่อการย่อยสลายไคโตซานโดยหาปริมาณการหายใจของจุลินทรีย์ดิน

ภาคผนวก ข
วิธีการศึกษาการย่อยสลายของไคโตซานในดิน

การวิเคราะห์หาดี-กลูโคซามีนด้วยวิธี Colorimetric method ของ Scotti และคณะ (2001) และ Nakamura และคณะ (1969)

วิธีการทดลอง

1. นำตัวอย่างดินจำนวน 10 กรัม ใส่ 72% H₂SO₄ จำนวน 5 มล. เขย่าที่ความเร็ว 130 รอบต่อนาที เป็นเวลา 30 นาที หลังจากนั้นนำไปกรอง
2. นำน้ำที่ผ่านการกรองเจือจางกับน้ำกลั่น 54 มล.
3. นำไป autocaving ที่ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง
4. ทิ้งไว้ให้เย็น แล้วนำมาปรับ pH เป็น 7 กับ 10 M และ 0.5 M ของ NaOH
5. ปิเปต 1 มล. ของสารละลาย และเติม 0.5 มล. ของ 1% ของ 4-nitrobenzaldehyde
6. ผสมและตั้งทิ้งไว้ 20 นาที ที่อุณหภูมิ 27-28 องศาเซลเซียส
7. ทำให้เย็นโดยวางไว้ใน ice water bath เป็นเวลา 5 นาที
8. หลังจากนั้นเจือจางกับ 10 มล. ของ ice cold 0.3% Tetra Ethyl Ammonium Hydroxide (เจือจางด้วยเอทานอล 100 มล.)
9. นำไปวัดด้วยสปีคโตรอสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ที่ความยาวคลื่น 504 นาโนเมตร
10. standard ใช้ D-glucosamine ที่ความเข้มข้นต่างๆ และทำตามข้อ 5-9
11. นำค่ามาคำนวณหาปริมาณดี-กลูโคซามีนจากสมการที่ได้จากการสร้างกราฟ standard

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การวิเคราะห์หาการหายใจของจุลินทรีย์ด้วยวิธี Monometric procedure (Kos และ Lestan, 2004)

วิธีการทดลอง

1. ชั่งดินตัวอย่าง 10 กรัม ลงในบีกเกอร์ และบีปละลายด้วย 0.05 M NaOH จำนวน 150 มล. ลงในบีกเกอร์อีกใบ แล้วนำไปใส่ในขวดวัดการหายใจของจุลินทรีย์
2. สำหรับ blank ไม่ต้องใส่ดินตัวอย่าง
3. นำขวดวัดการหายใจของจุลินทรีย์ทั้งตัวอย่างและ blank ไปทำการทดลองตามสถานะต่างๆ ตามระยะเวลาการทดลอง
4. หลังจากครบเวลานำบีกเกอร์ที่ใส่ NaOH ออกแล้วเติม 0.5 M BaCl₂ จำนวน 2 มล.
5. ไตเตรตด้วย 0.1 M HCl โดยใช้ฟีนอล์ฟทาลีนเป็นอินดิเคเตอร์
6. นำค่า HCl ที่ได้มาคำนวณหาการหายใจของจุลินทรีย์ดิน ตามสูตร

$$\frac{((C-S)*44)2}{\text{น้ำหนักดิน (กรัม)} * \text{จำนวนวัน}} = \text{gCO}_2 * \text{g}^{-1} * \text{d}^{-1}$$

โดยที่ C = (0.1*ปริมาณของ HCl ที่ใช้ในกลุ่ม blank)/1000

S = (0.1*ปริมาณของ HCl ที่ใช้ในกลุ่มตัวอย่าง)/1000

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การวิเคราะห์หาปริมาณอินทรีย์คาร์บอนด้วยวิธี Chemical (Tan, 2005)

วิธีการทดลอง

1. ชั่งตัวอย่างดินที่ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 0.5 มม. จำนวน 0.5-2 กรัม
2. ใส่ตัวอย่างดินลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 500 มล.
3. เติมน้ำกลั่น 1 N $K_2Cr_2O_7$ จำนวน 10 มล. จากนั้นเขย่าขวดเบาๆ เพื่อให้ดินกระจายทั่วกัน
4. เติม conc. H_2SO_4 20 มล. ลงไปอย่างรวดเร็ว ค่อยๆ เขย่าทันที จนสารละลายผสมกับดินอย่างทั่วถึง แล้วจึงเขย่ารุนแรงขึ้นอีก 1 นาที จากนั้นวางขวดรูปชมพู่บนแผ่น Asbestos ประมาณ 30 นาทีทิ้งไว้ให้เย็น
5. เติมน้ำกลั่นลงไป 200 มล. แล้วกรองสารละลายโดยใช้กระดาษกรอง (ในกรณีสารละลายขุ่น) เติม 85% H_3PO_4 10 มล. เพื่อขจัดความขุ่นและเติม NaF 0.2 กรัม เพื่อขจัด Cl^- ในน้ำกลั่น
6. เติม indicator ลงไป 5 หยด เขย่าให้เข้ากัน
7. ไตเตรตกับ 0.5 N $Fe(NH_4)_2(SO_4)_2$ จนกระทั่งสีของสารละลายเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลแดง บันทึกปริมาณ $Fe(NH_4)_2(SO_4)_2$ ที่ใช้ไป
8. ทำ blank โดยไม่ต้องใส่ดินตัวอย่าง

การคำนวณ

$$\text{เปอร์เซ็นต์อินทรีย์คาร์บอน} = \frac{(B-T) * \text{Normality ของ } Fe(NH_4)_2(SO_4)_2 * 3 * 1.14 * 100}{\text{น้ำหนักของดินตัวอย่าง (มก.)}}$$

โดยที่ B = ปริมาณ $Fe(NH_4)_2(SO_4)_2$ ที่ใช้ในการไตเตรตกับ blank

T = ปริมาณ $Fe(NH_4)_2(SO_4)_2$ ที่ใช้ในการไตเตรตกับดินตัวอย่าง

การวิเคราะห์หาปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดด้วยวิธี Kjeldahl method (Tan, 2005)

วิธีการทดลอง

1. เปิดเครื่องย่อยไนโตรเจนในดินไว้ล่วงหน้า 10 นาที
2. นำตัวอย่างที่ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 0.5 มม. จำนวน 0.5-1 กรัม ใส่ในขวดที่ใช้กับเครื่องย่อยดิน
3. เติม conc. H_2SO_4 ลงไป 20 มล. จากนั้นใส่ catalyst (K_2SO_4 : $CuSO_4 \cdot 5H_2O$: Se ที่ผสมในอัตราส่วน 100:10:1) 7 กรัม แล้วนำไปย่อยจนกระทั่งสารละลายที่ได้ใส (ใช้เวลาประมาณ 1-2 ชั่วโมง) ในระหว่างการย่อยไนโตรเจน ต้องเปิด scrubber ตลอดเวลาเพราะไอของสารที่เกิดขึ้นขณะย่อยไนโตรเจนเป็นอันตราย
4. ตั้งทิ้งไว้ให้เย็นประมาณ 1 ชั่วโมง
5. ตรวจสอบความเรียบร้อยของเครื่องกลั่น และสารเคมีที่ต้องใช้คือ NaOH, H_3BO_3 , H_2SO_4 และ น้ำกลั่นว่ามีเพียงพอหรือไม่ จากนั้นเปิดน้ำผ่าน condenser
6. ใส่หลอดเปล่าเข้าไปในเครื่องกลั่น ทำการ Preheat, pH calibration, Priming ตามคู่มือการใช้งาน
7. เลือกเมนู Boric acid titration ตั้งให้เครื่องเติมน้ำ 60 มล. สารละลาย NaOH 80 มล. และ สารละลาย H_3BO_3 65 มล. ลงในหลอดกลั่น จากนั้นตั้งให้เครื่องทำการกลั่นและไตเตรตตามคู่มือการใช้งาน จากนั้นกลั่น blank (ไม่ใส่ดิน) และตามด้วยตัวอย่าง
8. เครื่องจะคำนวณหาปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดโดย

$$\text{เปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนทั้งหมด} = \frac{(S-B) * \text{Normality ของ } H_2SO_4 * 1.4}{\text{น้ำหนักของตัวอย่างดิน (กรัม)}}$$

โดยที่ S = ปริมาณที่ไตเตรตกับตัวอย่าง (มล.)

B = ปริมาณที่ไตเตรตกับ blank (มล.)

