

การศึกษาประสิทธิภาพของสารไคโตซานและสารสกัดจากฟางข้าว
ในการยับยั้งการเจริญเติบโตของสาหร่าย *Microcystis* spp.

A Study of the Efficiency of Chitosan and Rice Straw Extracts
in Inhibiting the Growth of *Microcystis* spp.

ณัฐพล ชาวสวน

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาชีววิทยาประยุกต์

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ปีการศึกษา 2558

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

การศึกษาประสิทธิภาพของสารโคโตซานและสารสกัดจากฟางข้าว
ในการยับยั้งการเจริญเติบโตของสาหร่าย *Microcystis* spp.

ณัฐพล ชาวสวน

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาชีววิทยาประยุกต์
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ปีการศึกษา 2558
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การศึกษาประสิทธิภาพของสารไคโตซานและสารสกัดจากฟางข้าว
ในการยับยั้งการเจริญเติบโตของสาหร่าย *Microcystis* spp.
A Study of the Efficiency of Chitosan and Rice Straw Extracts
in Inhibiting the Growth of *Microcystis* spp.

ชื่อ-นามสกุล

นายณัฐพล ชาวสวน

สาขาวิชา

ชีววิทยาประยุกต์

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผู้ช่วยศาสตราจารย์สิริแข พงษ์สวัสดิ์, วท.ค.

ปีการศึกษา

2558

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

ประธานกรรมการ

(อาจารย์คณิกา แก้วภา, ปร.ค.)

กรรมการ

(อาจารย์สุทธวรรณ สุพรรณ, วท.ค.)

กรรมการ

(อาจารย์รัฐกรณ์ ว่องพิพัฒนานนท์, วท.ค.)

กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์สิริแข พงษ์สวัสดิ์, วท.ค.)

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี อนุมัติวิทยานิพนธ์
ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณบดีคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์สิริแข พงษ์สวัสดิ์, วท.ค.)

วันที่ 28 เดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2559

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การศึกษาประสิทธิภาพของสารไคโตซานและสารสกัดจากฟางข้าวในการยับยั้งการเจริญเติบโตของสาหร่าย <i>Microcystis</i> spp.
ชื่อ-นามสกุล	นายณัฐพล ชาวสวน
สาขาวิชา	ชีววิทยาประยุกต์
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์สิริแจ พงษ์สวัสดิ์, วท.ค.
ปีการศึกษา	2558

บทคัดย่อ

จุดประสงค์ของการวิจัยนี้คือศึกษาประสิทธิภาพของสารไคโตซานและสารสกัดจากฟางข้าวในการยับยั้งการเจริญเติบโตของสาหร่าย *Microcystis* spp.

งานวิจัยนี้ได้แบ่งการทดลองออกเป็น 4 การทดลอง ได้แก่ การทดลองที่ 1 ศึกษาปริมาณของสารไคโตซานที่เหมาะสมในการยับยั้งการเจริญเติบโตของสาหร่าย *Microcystis* spp. ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0, 2, 4, 6, 8 และ 10 การทดลองที่ 2 ศึกษาปริมาณสารสกัดจากฟางข้าวที่เหมาะสมในการยับยั้งการเจริญเติบโตของสาหร่าย *Microcystis* spp. ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0, 2, 4, 6, 8 และ 10 การทดลองที่ 3 ศึกษาอัตราส่วนระหว่างสารไคโตซานและสารสกัดจากฟางข้าวในการยับยั้งการเจริญเติบโตของสาหร่าย *Microcystis* spp. ในอัตราส่วนสารไคโตซานและสารสกัดจากฟางข้าว 3:1, 2:1, 1:1, 1:2 และ 1:3 การทดลองที่ 4 ศึกษาประสิทธิภาพของสารไคโตซานและสารสกัดจากฟางข้าวในการยับยั้งการเจริญเติบโตของสาหร่าย *Microcystis* spp. ในภาคสนาม

ผลการวิจัย ในการทดลองที่ 1 พบว่าปริมาณสารไคโตซานที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของสาหร่าย *Microcystis* spp. คือความเข้มข้นร้อยละ 10 สามารถลดจำนวนเซลล์สาหร่ายได้ร้อยละ 82.76 การทดลองที่ 2 พบว่าปริมาณสารสกัดจากฟางข้าวที่เหมาะสมในการยับยั้งการเจริญเติบโตของสาหร่าย คือความเข้มข้นร้อยละ 10 สามารถลดจำนวนเซลล์สาหร่ายได้ร้อยละ 79.46 การทดลองที่ 3 พบว่าอัตราส่วนที่มีประสิทธิภาพในยับยั้งการเจริญเติบโตของสาหร่าย *Microcystis* spp. ได้ดีที่สุดคือการใช้สารไคโตซานผสมกับสารสกัดจากฟางข้าวในอัตราส่วน 3:1 สามารถลดจำนวนเซลล์สาหร่ายได้ร้อยละ 84.90 และการทดลองที่ 4 พบว่าการเติมสารไคโตซานและสารสกัดจากฟางข้าวสัดส่วน 3:1 ในบ่อทดลองในภาคสนาม จำนวนเซลล์ของสาหร่าย *Microcystis* spp. ลดลงร้อยละ 75.89 เมื่อพิจารณาคุณภาพน้ำผิวดิน

ตามประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2537 พบว่าปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำเพิ่มขึ้น 1.7 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณออกซิเจนที่จุลินทรีย์ใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ลดลง 0.2 มิลลิกรัมต่อลิตร ความเข้มข้นของของแข็งที่ละลายในน้ำลดลงร้อยละ 39.1 และมีค่าอยู่ในระดับไม่เกินค่ามาตรฐาน และปริมาณคุณภาพแหล่งน้ำผิวดินประเภทที่ 4 สารอาหารทั้งสามชนิด ได้แก่ ปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจน ลดลงร้อยละ 74.39 ปริมาณออร์โธฟอสเฟต ลดลงร้อยละ 35.4 และปริมาณไนเตรตไนโตรเจน มีค่าลดลงร้อยละ 36.82 ตามลำดับ แต่สารอาหารทั้งสามชนิดยังคงมีค่าสูงเกินกว่าค่ามาตรฐานคุณภาพแหล่งน้ำผิวดินประเภทที่ 4

คำสำคัญ : ไลโคซาน สารสกัดจากฟางข้าว สาหร่าย *Microcystis* spp. การยับยั้งการเจริญเติบโต



Thesis Title	A Study of the Efficiency of Chitosan and Rice Straw Extracts in Inhibiting the Growth of <i>Microcystis</i> spp.
Name - Surname	Mr. Natthaphon Chaosuan
Program	Applied Biology
Thesis Advisor	Assistant Professor Sirikhae Pongswat, Ph.D.
Academic Year	2015

ABSTRACT

The purpose of this research was to study the efficiency of chitosan and rice straw extracts in inhibiting the growth of *Microcystis* spp.

There were four referential experiments included in this study. The first three experiments aimed to find out 1) the appropriate amount of chitosan, 2) the appropriate amount of rice straw extracts, and 3) the appropriate ratios of chitosan and rice straw extracts in inhibiting the growth of *Microcystis* spp. In the first experiment, chitosan at the concentrations of 0, 2, 4, 6, 8 and 10 % was used. In the second experiment, the rice straw extracts at the concentrations of 0, 2, 4, 6, 8 and 10 % were used. In the third experiment, the different ratios of chitosan and rice straw extracts—3:1, 2:1, 1:1, 1:2, 1:3—were used. In the fourth experiment, however, the appropriate ratio of chitosan and rice straw extracts found in the third experiments was used in the fieldwork to study its efficiency in inhibiting the growth of *Microcystis* spp.

The result of this study revealed that 1) the optimum concentration of chitosan in inhibiting the growth of *Microcystis* spp. was at 10 % which reduced the algal cells of *Microcystis* spp. by 82.76 %, 2) the optimum concentration of rice straw extracts in inhibiting the growth of *Microcystis* spp. was at 10 % which reduced the algal cells of *Microcystis* spp. by 79.46 %, 3) the optimum ratio of chitosan and rice straw extracts in inhibiting the growth of *Microcystis* spp. was 3:1 which reduced the algal cells of *Microcystis* spp. by 84.90 %, and 4) the ratio of chitosan and rice straw extracts of 3:1 reduced the algal cells of *Microcystis* spp. by 75.89 % in the fieldwork pond. Based on the Fourth Category of the

Standards of Surface Water defined by the National Environmental Board of Thailand (1994), 1) the levels of the dissolved oxygen increased to 1.7 mg/l, 2) the biochemical oxygen demand decreased to 0.2 mg/l, and 3) the total dissolved solids decreased by 39.1 % which all of obtained values did not exceed the quality standards. In spite of the decreasing amount of three types of nutrients, 74.39 % of ammonia-nitrogen, 35.4 % of orthophosphate, and 36.82 % of nitrate-nitrogen; all of them were higher than the standards in the Fourth Category of the Surface Water Quality Standards.

Keywords : chitosan, rice straw extract, *Microcystis* spp., growth inhibition



กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรีที่
ให้ทุนสนับสนุนการวิจัยในครั้งนี้ให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ประสบความสำเร็จด้วย
ความกรุณาและอนุเคราะห์จากผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สิริแข พงษ์สวัสดิ์ ที่ปรึกษาที่คอยให้ความรู้
คำปรึกษา แนะนำและตรวจแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ตลอดระยะเวลาที่ทำการวิจัยจนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี
ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณอย่างสูงมา ณ ที่นี้

ขอกราบขอบพระคุณ ดร.คลนภา แก้วภา ประธานกรรมการสอบ ดร.สุทธรณ สุพรรณและ
ดร.รัฐกรณ์ ว่องพิพัฒนานนท์ กรรมการสอบ ที่ให้ความกรุณาให้คำแนะนำในการแก้ไขและตรวจสอบ
วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น ขอขอบพระคุณ นายเสวก รุ่งทอง หัวหน้างานบริการ หมู่บ้าน
สัมมากร ที่ได้สนับสนุนสถานที่เก็บตัวอย่าง ขอขอบพระคุณ นางสาวถิวรรณ แห่งประเสริฐ นางสาว
วรรณิสากาทอง นักศึกษาปริญญาโท และนายวัชรพล กาศย์พิมาย รวมทั้งนักศึกษาปริญญาตรีทุกคนที่ให้
ความร่วมมือและสละเวลาให้ความช่วยเหลือในการเก็บตัวอย่าง และขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่บริหารงาน
ห้องปฏิบัติการ สาขาวิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี พิพิธภัณฑพิพิธภัณฑบัว มหาวิทยาลัย
เทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี และหมู่บ้านสัมมากร ที่เอื้อเฟื้อสถานที่รวมทั้งอุปกรณ์ต่างๆ ในการวิจัย

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่ออำนาจและคุณแม่ทองดี ชาวสวน ผู้คอยอบรมสั่งสอนในสิ่ง
ที่ดี คอยช่วยเหลือห่วงใย และเป็นกำลังใจที่ดีอย่างยิ่งตลอดเวลาจนทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วง
ไปได้ด้วยดี

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยหวังว่าวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะเป็นประโยชน์สำหรับผู้สนใจและสามารถนำ
ความรู้ดังกล่าวไปประยุกต์ใช้ เพื่อเป็นประโยชน์ต่อไป และถ้าวิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีข้อผิดพลาดประการ
ใด ผู้วิจัยกราบขออภัยมา ณ โอกาสนี้ด้วย

ณัฐพล ชาวสวน

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	(3)
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	(5)
กิตติกรรมประกาศ.....	(7)
สารบัญ.....	(8)
สารบัญตาราง.....	(10)
สารบัญรูป.....	(13)
คำอธิบายสัญลักษณ์คำย่อ.....	(17)
บทที่ 1 บทนำและวัตถุประสงค์.....	18
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	18
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	19
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	19
1.4 กรอบแนวคิดในการวิจัย.....	20
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	21
บทที่ 2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	22
2.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับสาหร่าย.....	22
2.2 สาหร่าย <i>Microcystis</i> spp.....	25
2.3 การจัดจำแนกสาหร่ายพิษ <i>Microcystis</i> spp.	26
2.4 ชนิดของสาหร่ายพิษ <i>Microcystis</i> spp.	26
2.5 สารพิษไมโครซิสติน (microcystins)	33
2.6 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับไคโตซาน.....	34
2.7 การผลิตไคตินและไคโตซาน.....	34
2.8 การใช้สารไคโตซานในการกำจัดสาหร่ายพิษ.....	36
2.9 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับฟางข้าว.....	36
2.10 ประโยชน์ของฟางข้าว.....	37

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.11 กระบวนการจัดการฟางข้าวหลังการเก็บเกี่ยว.....	38
2.12 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับสาหร่ายพิษ <i>Microcystis</i> spp.	39
บทที่ 3 วิธีดำเนินงานวิจัย.....	47
3.1 อุปกรณ์ สารเคมี และเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย.....	47
3.2 วิธีการทดลอง.....	49
3.3 การวิเคราะห์ข้อมูล.....	53
3.4 สถานที่ทำการทดลอง.....	56
3.5 ระยะเวลาที่ใช้.....	56
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง.....	57
4.1 ผลของปริมาณสารโคโตซานที่เหมาะสมในการยับยั้งการเจริญเติบโตของ สาหร่าย <i>Microcystis</i> spp.	57
4.2 ผลของปริมาณสารสกัดฟางข้าวที่เหมาะสมในการยับยั้งการเจริญเติบโตของ สาหร่าย <i>Microcystis</i> spp.	70
4.3 ผลของปริมาณสารโคโตซานและสารสกัดฟางข้าวที่เหมาะสมใน การยับยั้งการเจริญเติบโตของสาหร่าย <i>Microcystis</i> spp.	81
4.4 ผลของปริมาณสารโคโตซานและสารสกัดฟางข้าวที่เหมาะสมในการยับยั้ง การเจริญเติบโตของสาหร่าย <i>Microcystis</i> spp. ในบ่อทดลอง.....	93
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย.....	120
บรรณานุกรม.....	122
ภาคผนวก.....	129
ภาคผนวก ก	130
ภาคผนวก ข	143
ภาคผนวก ค	148
ประวัติผู้เขียน.....	159

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1	แสดงปริมาณต่อซังและฟางข้าวในแต่ละภาคของประเทศไทย (ล้านตันต่อปี).....	37
ตารางภาคผนวก		
ตารางที่ 1	ค่าดูดกลืนแสง ที่ความยาว 665 นาโนเมตรหลังทดสอบด้วยสารไคโตซาน ระหว่างวันที่ 24 มิถุนายน ถึง 7 สิงหาคม พ.ศ. 2557 (C = ไคโตซาน).....	131
ตารางที่ 2	ความเป็นกรด-ด่าง (pH) หลังทดสอบด้วยสารไคโตซาน ระหว่างวันที่ 24 มิถุนายน ถึง 7 สิงหาคม พ.ศ. 2557 (C = ไคโตซาน).....	131
ตารางที่ 3	จำนวนเซลล์ ($\times 10^6$ เซลล์ต่อมิลลิลิตร) หลังทดสอบด้วยสารไคโตซาน ระหว่างวันที่ 4 มิถุนายน ถึง 7 สิงหาคม พ.ศ. 2557 (C = ไคโตซาน).....	132
ตารางที่ 4	ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ (ไมโครกรัมต่อลิตร) หลังทดสอบด้วยสารไคโตซาน ระหว่างวันที่ 24 มิถุนายน ถึง 7 สิงหาคม พ.ศ. 2557 (C = ไคโตซาน).....	132
ตารางที่ 5	ค่าดูดกลืนแสง ที่ความยาว 665 นาโนเมตรหลังทดสอบด้วย สารสกัดฟางข้าว ระหว่างวันที่ 24 มิถุนายน ถึง 7 สิงหาคม พ.ศ. 2557 (R = สารสกัดฟางข้าว).....	133
ตารางที่ 6	ความเป็นกรด-ด่าง (pH) หลังทดสอบด้วยสารสกัดฟางข้าว ระหว่างวันที่ 24 มิถุนายน ถึง 7 สิงหาคม พ.ศ. 2557 (R = สารสกัดฟางข้าว).....	133
ตารางที่ 7	จำนวนเซลล์ ($\times 10^6$ เซลล์ต่อมิลลิลิตร) หลังทดสอบด้วยสารสกัดจากฟางข้าว ระหว่างวันที่ 24 มิถุนายน ถึง 7 สิงหาคม พ.ศ. 2557 (R = สารสกัดฟางข้าว).....	134
ตารางที่ 8	ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ (ไมโครกรัมต่อลิตร) หลังทดสอบด้วย สารสกัดจากฟางข้าวระหว่างวันที่ 24 มิถุนายน ถึง 7 สิงหาคม พ.ศ. 2557 (R = สารสกัดฟางข้าวฟางข้าว).....	134
ตารางที่ 9	ค่าดูดกลืนแสง ที่ความยาว 665 นาโนเมตรหลังทดสอบด้วยสารไคโตซานและ สารสกัดฟางข้าว ระหว่างวันที่ 25 กันยายน ถึง 8 พฤศจิกายน พ.ศ. 2558 (C = ไคโตซาน, R = สารสกัดฟางข้าว).....	135

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

ตารางที่ 10	ความเป็นกรด-ด่าง (pH) หลังทดสอบด้วยสารโคโตซานและสารสกัดฟางข้าว ระหว่างวันที่ 25 กันยายน ถึง 8 พฤศจิกายน พ.ศ. 2558 (C = โคโตซาน, R = สารสกัดฟางข้าว).....	135
ตารางที่ 11	จำนวนเซลล์ ($\times 10^6$ เซลล์ต่อมิลลิเมตร) หลังทดสอบด้วยสารโคโตซานและ สารสกัดฟางข้าว ระหว่างวันที่ 25 กันยายน ถึง 8 พฤศจิกายน พ.ศ. 2558 (C = โคโตซาน, R = สารสกัดฟางข้าว).....	136
ตารางที่ 12	ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ (ไมโครกรัมต่อลิตร) หลังทดสอบด้วยสารโคโตซานและ สารสกัดฟางข้าว ระหว่างวันที่ 25 กันยายน ถึง 8 พฤศจิกายน พ.ศ. 2558 (C = โคโตซาน, R = สารสกัดฟางข้าว).....	136
ตารางที่ 13	ค่าการนำไฟฟ้า (ไมโครซีเมนต์ต่อเซนติเมตร) หลังทดสอบด้วยสารโคโตซานและ สารสกัดฟางข้าวในบ่อทดลอง (C = โคโตซาน, R = สารสกัดฟางข้าว).....	137
ตารางที่ 14	ความเข้มข้นของของแข็งที่ละลายในน้ำ (มิลลิกรัมต่อลิตร) หลังทดสอบด้วย สารโคโตซานและสารสกัดฟางข้าวในบ่อทดลอง (C = โคโตซาน, R = สารสกัดฟางข้าว).....	137
ตารางที่ 15	ความเป็นกรด-ด่าง (pH) หลังทดสอบด้วยสารโคโตซานและสารสกัดฟางข้าว ในบ่อทดลอง (C = โคโตซาน, R = สารสกัดฟางข้าว).....	137
ตารางที่ 16	ค่าความเป็นด่าง (มิลลิกรัมต่อลิตร) หลังทดสอบด้วยสารโคโตซานและ สารสกัดฟางข้าวในบ่อทดลอง (C = โคโตซาน, R = สารสกัดฟางข้าว).....	138
ตารางที่ 17	ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (มิลลิกรัมต่อลิตร) หลังทดสอบด้วย สารโคโตซานและสารสกัดฟางข้าวในบ่อทดลอง (C = โคโตซาน, R = สารสกัดฟางข้าว).....	138
ตารางที่ 18	ปริมาณความต้องการออกซิเจนในการย่อยสลายสารอินทรีย์ (มิลลิกรัมต่อลิตร) หลังทดสอบด้วยสารโคโตซานและสารสกัดฟางข้าวในบ่อทดลอง (C = โคโตซาน, R = สารสกัดฟางข้าว).....	138
ตารางที่ 19	ปริมาณออร์โทฟอสเฟต (มิลลิกรัมต่อลิตร) หลังทดสอบด้วยสารโคโตซานและ สารสกัดฟางข้าวในบ่อทดลอง (C = โคโตซาน, R = สารสกัดฟางข้าว).....	139

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

ตารางที่ 20	ปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจน (มิลลิกรัมต่อลิตร) หลังทดสอบด้วย สารไคโตซานและสารสกัดฟางข้าวในบ่อทดลอง (C = ไคโตซาน, R = สารสกัดฟางข้าว).....	139
ตารางที่ 21	ปริมาณไนเตรต-ไนโตรเจน (มิลลิกรัมต่อลิตร) หลังทดสอบด้วย สารไคโตซานและสารสกัดฟางข้าวในบ่อทดลอง (C = ไคโตซาน, R = สารสกัดฟางข้าว)	139
ตารางที่ 22	ปริมาณสาร ไมโครซิสติน (ไมโครกรัมต่อลิตร) หลังทดสอบด้วย สารไคโตซานและสารสกัดฟางข้าวในบ่อทดลอง (C = ไคโตซาน, R = สารสกัดฟางข้าว).....	140
ตารางที่ 23	ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ (ไมโครกรัมต่อลิตร) หลังทดสอบด้วย สารไคโตซานและสารสกัดฟางข้าวในบ่อทดลอง (C = ไคโตซาน, R = สารสกัดฟางข้าว).....	140
ตารางที่ 24	ค่าดูดกลืนแสง ที่ความยาว 665 นาโนเมตรหลังทดสอบด้วยสารไคโตซานและ สารสกัดฟางข้าวในบ่อทดลอง (C = ไคโตซาน, R = สารสกัดฟางข้าว).....	140
ตารางที่ 25	จำนวนเซลล์ ($\times 10^6$ เซลล์ต่อมิลลิลิตร) หลังทดสอบด้วยสารไคโตซานและ สารสกัดฟางข้าวในบ่อทดลอง (C = ไคโตซาน, R = สารสกัดฟางข้าว).....	141
ตารางที่ 26	การวัดปริมาณสารพิษไมโครซิสตินมาตรฐานด้วยไมโครซิสเทส (Microcystest)....	142
ตารางที่ 27	ค่ามาตรฐานคุณภาพในแหล่งน้ำผิวดิน.....	144

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 ลักษณะของสาหร่าย <i>Microcystis natans</i> Lemmermann ex Skuja.....	27
รูปที่ 2.2 ลักษณะของสาหร่าย <i>Microcystis firma</i> (Kützing) Schmidle.....	27
รูปที่ 2.3 ลักษณะของสาหร่าย <i>Microcystis ichtyoblabe</i> Kützing.....	28
รูปที่ 2.4 ลักษณะของสาหร่าย <i>Microcystis smithii</i> Komárek and Anagnostidis.....	29
รูปที่ 2.5 ลักษณะของสาหร่าย <i>Microcystis flos-aquae</i> (Wittrock) Kirchner.....	29
รูปที่ 2.6 ลักษณะของสาหร่าย <i>Microcystis botrys</i> Teiling.....	30
รูปที่ 2.7 ลักษณะของสาหร่าย <i>Microcystis novacekii</i> (Komárek) Compère	31
รูปที่ 2.8 ลักษณะของสาหร่าย <i>Microcystis viridis</i> (A.Braun in Rabenhorst) Lemmermann.....	31
รูปที่ 2.9 ลักษณะของสาหร่าย <i>Microcystis aeruginosa</i> (Kützing) Kützing.....	33
รูปที่ 2.10 ลักษณะของสาหร่าย <i>Microcystis wesenbergii</i> (Komárek) Komárek.....	33
รูปที่ 2.11 โครงสร้างสารพิษ microcystin.....	34
รูปที่ 2.12 โครงสร้างไคโตซาน.....	35
รูปที่ 3.1 รูปถ่ายดาวเทียมจุดเก็บตัวอย่างด้านข้างโรงสูบน้ำ ซึ่งมีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว ของสาหร่าย <i>Microcystis</i> spp. ภายในหมู่บ้านสัมมากร รามคำแหง 112.....	54
รูปที่ 3.2 รูปถ่ายจุดเก็บตัวอย่างน้ำด้านข้างโรงสูบน้ำ.....	54
รูปที่ 3.3 ประสิทธิภาพของสารไคโตซานและสารสกัดฟางข้าวในการยับยั้ง การเจริญเติบโตของสาหร่าย <i>Microcystis</i> spp. ในบ่อทดลอง ในภาคสนาม.....	55
รูปที่ 4.1 จำนวนเซลล์ ($\times 10^6$ เซลล์ต่อมิลลิลิตร) วันที่ 24 มิถุนายน ถึง 7 สิงหาคม พ.ศ. 2557 (C = ไคโตซาน).....	59
รูปที่ 4.2 ค่าดูดกลืนแสง ที่ความยาว 665 นาโนเมตร วันที่ 24 มิถุนายน ถึง 7 สิงหาคม พ.ศ. 2557 (C = ไคโตซาน).....	62
รูปที่ 4.3 ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ (ไมโครกรัมต่อลิตร) วันที่ 24 มิถุนายน ถึง 7 สิงหาคม พ.ศ. 2557 (C = ไคโตซาน).....	65

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.4 ความเป็นกรด-ด่าง (pH) วันที่ 24 มิถุนายน ถึง 7 สิงหาคม พ.ศ. 2557 (C = ไคโตซาน).....	68
รูปที่ 4.5 น้ำตัวอย่างหลังผ่านการยับยั้งด้วยสารไคโตซาน (C = สารไคโตซาน).....	69
รูปที่ 4.6 จำนวนเซลล์ ($\times 10^6$ เซลล์ต่อมิลลิลิตร) วันที่ 24 มิถุนายน ถึง 7 สิงหาคม พ.ศ. 2557 (R = สารสกัดฟางข้าว).....	72
รูปที่ 4.7 ค่าดูดกลืนแสง ที่ความยาว 665 นาโนเมตร วันที่ 24 มิถุนายน ถึง 7 สิงหาคม พ.ศ. 2557 (R = สารสกัดฟางข้าว).....	74
รูปที่ 4.8 ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ (ไมโครกรัมต่อลิตร) วันที่ 24 มิถุนายน ถึง 7 สิงหาคม พ.ศ. 2557 (R = สารสกัดฟางข้าว).....	77
รูปที่ 4.9 ความเป็นกรด-ด่าง (pH) วันที่ 24 มิถุนายน ถึง 7 สิงหาคม พ.ศ. 2557 (R = สารสกัดฟางข้าว).....	79
รูปที่ 4.10 น้ำตัวอย่างหลังผ่านการยับยั้งด้วยสารสกัดฟางข้าว.....	80
รูปที่ 4.11 9 จำนวนเซลล์ ($\times 10^6$ เซลล์ต่อมิลลิลิตร) 25 กันยายน ถึง 8 พฤศจิกายน พ.ศ. 2558 (C = ไคโตซาน, R = สารสกัดฟางข้าว).....	83
รูปที่ 4.12 ค่าดูดกลืนแสง ที่ความยาว 665 นาโนเมตร 25 กันยายน ถึง 8 พฤศจิกายน พ.ศ. 2558 (C = ไคโตซาน, R = สารสกัดฟางข้าว).....	85
รูปที่ 4.13 ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ (ไมโครกรัมต่อลิตร) 25 กันยายน ถึง 8 พฤศจิกายน พ.ศ. 2558 (C = ไคโตซาน, R = สารสกัดฟางข้าว).....	88
รูปที่ 4.14 ความเป็นกรด-ด่าง (pH) 25 กันยายน ถึง 8 พฤศจิกายน พ.ศ. 2558 (C = ไคโตซาน, R = สารสกัดฟางข้าว).....	91
รูปที่ 4.15 น้ำตัวอย่างหลังผ่านการยับยั้งด้วยสารไคโตซานและสารสกัดฟางข้าว.....	92
รูปที่ 4.16 ค่าการนำไฟฟ้า (ไมโครซีเมนส์ต่อเซนติเมตร) ในบ่อทดลอง ระหว่างวันที่ 7 กุมภาพันธ์ ถึง 22 มีนาคม พ.ศ. 2559 (C = สารไคโตซาน, R = สารสกัดฟางข้าว).....	94

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.17	ความเข้มข้นของของแข็งที่ละลายในน้ำ (มิลลิกรัมต่อลิตร) ในบ่อทดลองระหว่างวันที่ 7 กุมภาพันธ์ ถึง 22 มีนาคม พ.ศ. 2559 (C = สารไลโคซาน, R = สารสกัดฟางข้าว).....	96
รูปที่ 4.18	ความเป็นกรด-ด่าง (pH) ในบ่อทดลอง ระหว่างวันที่ 7 กุมภาพันธ์ ถึง 22 มีนาคม พ.ศ. 2559 (C = สารไลโคซาน, R = สารสกัดฟางข้าว).....	98
รูปที่ 4.19	ค่าความเป็นด่าง (มิลลิกรัมต่อลิตร) ในบ่อทดลองระหว่างวันที่ 7 กุมภาพันธ์ ถึง 22 มีนาคม พ.ศ. 2559 (C = สารไลโคซาน, R = สารสกัดฟางข้าว).....	100
รูปที่ 4.20	ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (มิลลิกรัมต่อลิตร) ในบ่อทดลองระหว่างวันที่ 7 กุมภาพันธ์ ถึง 22 มีนาคม พ.ศ. 2559 (C = สารไลโคซาน, R = สารสกัดฟางข้าว).....	102
รูปที่ 4.21	ปริมาณความต้องการออกซิเจนในการย่อยสลายสารอินทรีย์ (มิลลิกรัมต่อลิตร) ในบ่อทดลองระหว่างวันที่ 7 กุมภาพันธ์ ถึง 22 มีนาคม พ.ศ. 2559 (C = สารไลโคซาน, R = สารสกัดฟางข้าว).....	104
รูปที่ 4.22	ปริมาณออร์โทฟอสเฟต (มิลลิกรัมต่อลิตร) ในบ่อทดลองระหว่างวันที่ 7 กุมภาพันธ์ ถึง 22 มีนาคม พ.ศ. 2559 (C = สารไลโคซาน, R = สารสกัดฟางข้าว).....	106
รูปที่ 4.23	ปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจน (มิลลิกรัมต่อลิตร) ในบ่อทดลองระหว่างวันที่ 7 กุมภาพันธ์ ถึง 22 มีนาคม พ.ศ. 2559 (C = สารไลโคซาน, R = สารสกัดฟางข้าว).....	108
รูปที่ 4.24	ปริมาณไนเตรต-ไนโตรเจน (มิลลิกรัมต่อลิตร) ในบ่อทดลองระหว่างวันที่ 7 กุมภาพันธ์ ถึง 22 มีนาคม พ.ศ. 2559 (C = สารไลโคซาน, R = สารสกัดฟางข้าว).....	110

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.25 ปริมาณสารไมโครซิสติน (ไมโครกรัมต่อลิตร) ในบ่อทดลองระหว่างวันที่ 7 กุมภาพันธ์ ถึง 22 มีนาคม พ.ศ. 2559 (C = สารไลโคซาน, R = สารสกัดฟางข้าว).....	112
รูปที่ 4.26 ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ (ไมโครกรัมต่อลิตร) ในบ่อทดลองระหว่างวันที่ 7 กุมภาพันธ์ ถึง 22 มีนาคม พ.ศ. 2559 (C = สารไลโคซาน, R = สารสกัดฟางข้าว).....	114
รูปที่ 4.27 ค่าดูดกลืนแสง ที่ความยาว 665 นาโนเมตรในบ่อทดลองระหว่างวันที่ 7 กุมภาพันธ์ ถึง 22 มีนาคม พ.ศ. 2559 (C = สารไลโคซาน, R = สารสกัดฟางข้าว).....	116
รูปที่ 4.28 จำนวนเซลล์ ($\times 10^6$ เซลล์ต่อมิลลิลิตร) ในบ่อทดลองระหว่างวันที่ 7 กุมภาพันธ์ ถึง 22 มีนาคม พ.ศ. 2559 (C = สารไลโคซาน, R = สารสกัดฟางข้าว).....	118
รูปที่ 4.29 น้ำตัวอย่างหลังผ่านการยับยั้งด้วยสารไลโคซานและสารสกัดฟางข้าว ในบ่อทดลอง.....	119
รูปภาคผนวก	
รูปที่ 1 กราฟมาตรฐานของไมโครซิสติน แอลอาร์ (กราฟแบบกระจาย).....	142

ตารางคำย่อ

คำย่อ	ความหมาย
Conduct	ค่าการนำไฟฟ้า
pH	ความเป็นกรด – ด่าง
Alkali	ค่าความเป็นด่าง
DO	ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ
BOD	ปริมาณออกซิเจนที่จุลินทรีย์ใช้ ในการย่อยสลายสารอินทรีย์
NH ₃	ปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจน
Chloro	ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ
NO ₃	ปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจน
PO ₄	ปริมาณฟอสเฟต
C	สารโคโคซาน
R	สารสกัดฟางข้าว



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันนี้แหล่งน้ำต่างๆ ในธรรมชาติได้มีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว (bloom) ของสาหร่าย *Microcystis* spp. โดยในช่วงเวลาที่ผ่านมาได้มีเหตุการณ์นี้เกิดขึ้นกับแหล่งน้ำหลายแหล่งในประเทศไทยและยังคงมีการเกิดขึ้นอยู่ตลอดเวลา นอกจากนี้การเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วยังได้แพร่ขยายเพิ่มไปยังแหล่งน้ำอื่นๆ อีกด้วย ถ้ามีการปล่อยให้เกิดขึ้นต่อไปก็就会有การเจริญของสาหร่ายชนิดนี้ไปทั่วทุกแหล่งน้ำทำให้เป็นปัญหาอย่างมากต่อการจัดการแหล่งน้ำเนื่องมาจากสาหร่ายชนิดนี้เป็นสาหร่ายที่ผลิตสารพิษในแหล่งน้ำจืดก่อให้เกิดปัญหาต่อการดำรงชีวิตของสัตว์ในแหล่งน้ำและสิ่งมีชีวิตที่อาศัยแหล่งน้ำในการอุปโภคและบริโภคและยังก่อให้เกิดปัญหาต่อของมนุษย์ สารพิษที่มักเป็นปัญหาสำคัญได้แก่สารพิษในกลุ่มไมโครซิสติน (microcystins) ซึ่งเป็นสารที่เป็นพิษต่อตับ ทำให้เกิดตับอักเสบและเร่งการเกิดมะเร็งของตับ (hepatic tumor promotor) สารพิษของสาหร่ายชนิดนี้นอกจากจะเกิดขึ้นกับมนุษย์แล้ว ยังมีผลเกิดขึ้นโดยตรงกับสัตว์น้ำที่อาศัยในแหล่งน้ำที่มีสาหร่ายชนิดนี้เจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว ทำให้สัตว์น้ำตายเป็นจำนวนมากเนื่องจากการขาดออกซิเจน อีกทั้งสาหร่ายชนิดนี้ยังส่งผลกระทบต่อการท่องเที่ยวตามแหล่งน้ำเพราะแหล่งน้ำที่มีสาหร่ายชนิดนี้เจริญอยู่จะสูญเสียทัศนียภาพไป

ฟางข้าวเป็นวัสดุที่เหลือทิ้งจากการทำนาข้าว โดยในประเทศไทยเป็นประเทศที่มีการปลูกข้าวเป็นจำนวนมาก ทำให้มีฟางข้าวเหลือทิ้งมากมายเกษตรกรส่วนใหญ่ก็จะกำจัดด้วยการเผาทำให้เกิดปัญหามลพิษต่อสิ่งแวดล้อม สารเคมีในฟางข้าวที่พบส่วนใหญ่คือ p-hydroxybenzoic acid, p-coumaric acid, ferulic acid, vanillic acid, salicylic acid, syringic acid และ benzoic acid ซึ่งสารดังกล่าวนี้มีคุณสมบัติสามารถยับยั้งการเจริญเติบโตและยับยั้งกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืชและสาหร่าย

สารไคโตซานเป็นพอลิเมอร์ตามธรรมชาติ ที่อยู่ในรูปของ D -glucosamine ได้จากการทำปฏิกิริยากำจัดหมู่อะซิทธิลของไคติน พบมากในสัตว์พวกที่มีเปลือกแข็ง โดยเป็นองค์ประกอบอยู่ในเปลือกนอกของสัตว์พวกกุ้ง ปู และแมลง นอกจากนี้ยังพบสารชนิดนี้อยู่เชื้อรา โดยไคตินในเศษเปลือกกุ้งและเปลือกปู ในช่วง 14-27 เปอร์เซ็นต์และ 13-15 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ไคโตซานเป็นสารชีวภาพที่สามารถย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติ มีความปลอดภัยในการนำมาใช้กับมนุษย์ ไม่เกิดผลเสียและปลอดภัยต่อสิ่งแวดล้อมดังนั้นสารไคโตซานเป็นสารที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้

ในหลายๆ ด้านเช่นด้านการเกษตร ด้านการแพทย์ ด้านการประมง ด้านการบำบัดน้ำรวมไปถึงด้านการปรับสภาพแวดล้อมต่างๆ คุณสมบัติของสารไลโคซานเป็นสารที่ช่วยในการยับยั้งและสร้างความต้านทานศัตรูพืชและมีความปลอดภัยในการใช้กับมนุษย์ สัตว์และสิ่งแวดล้อมโดยเฉพาะในด้านสิ่งแวดล้อมนั้นสารไลโคซานมีคุณสมบัติที่สามารถดูดซับและจับตะกอนต่างๆในน้ำ และทำให้เกิดการตกตะกอนลงสู่ก้นแหล่งน้ำ เนื่องจากโครงสร้างของสารไลโคซานประกอบไปด้วยกลุ่มอะมิโนที่มีโปรตอน จึงทำให้สารไลโคซานมีอนุภาคเป็นประจุบวกสามารถที่จะดึงดูดเซลล์สาหร่ายที่มีประจุลบแล้วทำให้สาหร่ายตกลงสู่ก้นของแหล่งน้ำได้

จากประสิทธิภาพของสารไลโคซานและสารสกัดจากฟางข้าวซึ่งเป็นสารที่ออกฤทธิ์ในการกำจัดสาหร่ายพิษดังกล่าวได้ งานวิจัยนี้จึงเห็นความสำคัญในการนำสารทั้งสองชนิดที่มีศักยภาพมาใช้ร่วมกันในการกำจัดสาหร่ายที่เจริญอย่างรวดเร็วในแหล่งน้ำนิ่ง โดยผสมไลโคซานกับสารสกัดจากฟางข้าวซึ่งเป็นวัสดุเหลือใช้จากธรรมชาตินำมาใช้ร่วมกันในการกำจัดสาหร่าย *Microcystis* spp. ซึ่งเป็นสาหร่ายที่พบในแหล่งน้ำที่มีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว (blooming)

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาปริมาณของสารไลโคซานที่เหมาะสมในการยับยั้งการเจริญเติบโตของสาหร่าย *Microcystis* spp.

1.2.2 เพื่อศึกษาปริมาณสารสกัดจากฟางข้าวที่เหมาะสมในการยับยั้งการเจริญเติบโตของสาหร่าย *Microcystis* spp.

1.2.3 เพื่อศึกษาอัตราส่วนของสารไลโคซานและสารสกัดจากฟางข้าวที่เหมาะสมในการยับยั้งการเจริญเติบโตของสาหร่าย *Microcystis* spp.

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1.3.1 ขอบเขตของสถานที่ทำการวิจัย

1.3.1.1 ห้องปฏิบัติการสาหร่ายวิทยา สาขาวิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี อำเภอธัญบุรี จังหวัดปทุมธานี

1.3.1.2 ห้องปฏิบัติการสิ่งแวดล้อม สาขาวิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี อำเภอธัญบุรี จังหวัดปทุมธานี

1.3.1.2 พิพิธภัณฑ์บัว มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี อำเภอธัญบุรี จังหวัดปทุมธานี

1.3.2 ขอบเขตเนื้อหางานวิจัย

ขอบเขตด้านตัวแปร เพื่อเก็บตัวอย่างแหล่งน้ำได้แก่สำรวจแหล่งน้ำที่มีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วของสาหร่าย และกำหนดจุดเก็บตัวอย่าง บริเวณสระเก็บน้ำภายในหมู่บ้านสัมมากร ซอยรามคำแหง 112 นำมา ศึกษาปริมาณสาหร่าย *Microcystis* spp. ซึ่งเป็นสาหร่ายพิษชนิดเด่น จากแหล่งน้ำก่อนและหลังบำบัดด้วยสารโคโคซานและสารสกัดจากฟางข้าวในห้องปฏิบัติการ และในภาคสนามรวมถึงศึกษาคุณภาพน้ำทางกายภาพ เคมี และชีวภาพเพื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพของสารดังกล่าวที่นำมาใช้ในการยับยั้งการเจริญเติบโตของสาหร่าย *Microcystis* spp.

1.3.3 ขอบเขตของเวลาที่ทำการวิจัย

ทำการศึกษาปริมาณของสารโคโคซาน สารสกัดจากฟางข้าวและอัตราส่วนที่เหมาะสมของสารโคโคซานและสารสกัดจากฟางข้าวในการยับยั้งการเจริญเติบโตของสาหร่าย *Microcystis* spp. ในระยะเวลา 1 ปี 6 เดือน ตั้งแต่เดือนตุลาคม พ.ศ. 2557 ถึงเดือนมีนาคม พ.ศ. 2559

1.4 กรอบแนวคิดในการวิจัย

สาหร่าย *Microcystis* spp. เป็นสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินชนิดเด่นที่พบในแหล่งน้ำที่มีการเกิดปรากฏการณ์ยูโทรฟิเคชัน เป็นสาหร่ายที่สามารถสร้างสารพิษไมโครซิสตินได้ สารพิษชนิดนี้เป็นพิษต่อตับทำให้เกิดตับอักเสบและเร่งการเกิดมะเร็งของตับ (hepatic tumor promotor) ในแหล่งน้ำที่มีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วของสาหร่ายชนิดนี้มีผลทำให้ปริมาณสารพิษในแหล่งน้ำมีปริมาณเพิ่มมากขึ้น ส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศในแหล่งน้ำ เช่น ปริมาณออกซิเจนในแหล่งน้ำไม่เพียงพอต่อการดำรงชีวิตของสัตว์โดยเฉพาะเวลากลางคืน และไม่สามารถนำน้ำจากแหล่งน้ำนี้ไปใช้ในการอุปโภคบริโภคได้ รวมทั้งส่งผลกระทบต่อทัศนียภาพของแหล่งน้ำ งานวิจัยนี้จึงมีแนวคิดที่จะนำสารโคโคซานที่มีหมู่อะซิทธิลเป็นองค์ประกอบในโครงสร้าง มีคุณสมบัติเป็นประจุบวก สามารถทำลายโครงสร้างของผนังเซลล์สาหร่ายและดูดซับตะกอนต่างๆในน้ำ ทำให้เกิดการตกตะกอนลงสู่ก้นแหล่งน้ำ อีกทั้งเป็นสารที่สามารถย่อยสลายเองได้โดยธรรมชาติ มีความปลอดภัยเมื่อนำมาใช้กับมนุษย์และสิ่งแวดล้อมมาใช้ร่วมกับสารสกัดจากฟางข้าวที่มีสาร p-hydroxybenzoic acid, p-coumaric acid, ferulic acid, vanillic acid, salicylic acid, syringic acid และ benzoic acid ซึ่งเป็นสารที่สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตและยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ที่ใช้ในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงของสาหร่ายได้ จากประสิทธิภาพของสารดังกล่าวงานวิจัยนี้เล็งเห็นความสำคัญในการนำสารทั้งสองชนิดมาใช้ร่วมกันในการกำจัดสาหร่าย *Microcystis* spp. ที่เจริญอย่างรวดเร็วในแหล่งน้ำ โดยศึกษาประสิทธิภาพของสาร

โคโคซานและสารสกัดจากฟางข้าวทั้งในห้องปฏิบัติการและภาคสนาม งานวิจัยนี้แบ่งการทดลองออกเป็น 4 การทดลอง ดังนี้

การทดลองที่ 1 ศึกษาปริมาณของสารโคโคซานที่เหมาะสมในการยับยั้งการเจริญเติบโตของสาหร่าย *Microcystis* spp.

การทดลองที่ 2 ศึกษาปริมาณสารสกัดจากฟางข้าวที่เหมาะสมในการยับยั้งการเจริญเติบโตของสาหร่าย *Microcystis* spp.

การทดลองที่ 3 ศึกษาอัตราส่วนของสารโคโคซานและสารสกัดจากฟางข้าวที่เหมาะสมในการยับยั้งการเจริญเติบโตของสาหร่าย *Microcystis* spp.

การทดลองที่ 4 ศึกษาประสิทธิภาพของสารโคโคซานและสารสกัดจากฟางข้าวในการยับยั้งการเจริญเติบโตของสาหร่าย *Microcystis* spp. ในบ่อทดลอง ในภาคสนาม

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 ทราบปริมาณที่เหมาะสมของสารโคโคซานในการยับยั้งการเจริญเติบโตของสาหร่าย *Microcystis* spp.

1.5.2 ทราบปริมาณที่เหมาะสมของสารสกัดจากฟางข้าวในการยับยั้งการเจริญเติบโตของสาหร่าย *Microcystis* spp.

1.5.3 ทราบปริมาณอัตราส่วนของสารโคโคซานและสารสกัดจากฟางข้าวที่เหมาะสมในการยับยั้งการเจริญเติบโตของสาหร่าย *Microcystis* spp.

บทที่ 2

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับสาหร่าย

สาหร่าย (Algae) เป็นสิ่งมีชีวิตมีขนาดเล็กมาก บางชนิดไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า เช่น *Navicula* sp. และ *Chlorella* sp. เป็นต้น จนถึงชนิดที่มีขนาดใหญ่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า เช่น *Spirogyra* sp. และ *Chara* sp. เป็นต้น [3] สาหร่ายแต่ละชนิดจะมีการดำรงชีวิตที่แตกต่างกัน เช่น ในบางชนิดดำรงชีวิตแบบแพลงก์ตอน (phytoplankton) แบบยึดเกาะกับวัสดุต่างๆ (benthic algae) เช่น ดิน โคลนหรือหิน พีชน้ำรวมถึงอาศัยอยู่ในสิ่งมีชีวิตชนิดอื่น [5] สาหร่ายที่ดำรงชีวิตแบบแพลงก์ตอนพืช จัดอยู่ในสาหร่ายขนาดเล็ก เซลล์สาหร่ายจะลอยอยู่บนผิวน้ำ ส่วนสาหร่ายขนาดใหญ่จะพบโครงสร้างที่ทำหน้าที่คล้ายราก ลำต้นและใบของพืช เรียกว่า ทัลลัส (thallas) สาหร่ายทุกชนิดจัดเป็นสิ่งมีชีวิตดำรงชีวิตแบบออโตโทรฟิก (autotrophic organism) สามารถผลิตออกซิเจนได้โดยการสังเคราะห์ด้วยแสง นอกจากนี้สาหร่ายยังเป็นอาหารของตัวอ่อนสัตว์น้ำต่างๆ เช่น ตัวอ่อนของแมลง กุ้ง ปลา รวมสัตว์น้ำตัวเต็มวัยอีกด้วย [14]

ยูวดี [15] ได้แบ่งแพลงก์ตอนพืชและสาหร่ายยึดเกาะโดยยึดหลักของ Bold และ Wynne (1978) ซึ่งแบ่งออกเป็น 9 ดิวิชัน ดังนี้

2.1.1 ดิวิชันไซยาโนไฟตา (Division Cyanophyta) เป็นกลุ่มสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินที่พบโครงสร้างของนิวเคลียสที่ไม่มีเยื่อหุ้ม บางชนิดสามารถตรึงไนโตรเจนจากอากาศลงสู่แหล่งน้ำได้ มีคุณสมบัติทางชีวเคมีที่เหมือนกันกับแบคทีเรีย แต่นักสาหร่ายวิทยาได้แยกสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินออกจากแบคทีเรีย เนื่องจากองค์ประกอบภายในเซลล์สาหร่ายมีคลอโรฟิลล์ เอ เป็นปัจจัยสำคัญที่ใช้ในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง ทำให้สาหร่ายในดิวิชันนี้สามารถผลิตออกซิเจนให้แก่แหล่งน้ำได้ บริเวณที่สามารถพบสาหร่ายชนิดนี้นอกจากในแหล่งน้ำทั่วไปแล้วยังสามารถพบได้ในบริเวณที่มีความชื้นต่างๆ บริเวณที่มีอุณหภูมิสูง เช่น ที่บ่อน้ำพุร้อน รวมถึงบริเวณที่มีอากาศเย็นจัด เช่น แถบขั้วโลก เป็นต้น โดยสาหร่ายในดิวิชันนี้บางชนิดจะสามารถผลิตเมือก (gelatinous sheath) หุ้มตัวเซลล์ไว้เพื่อป้องกันเซลล์ไม่ให้ถูกทำลายในสภาพที่ไม่เหมาะสม เช่น ในบริเวณที่มีอุณหภูมิร้อนหรือเย็นจนเกินไป และช่วยกักเก็บความชื้นให้กับเซลล์ทำให้เซลล์สามารถดำรงชีวิตได้นาน สาหร่ายในดิวิชันนี้มีจำนวนชนิดที่ค้นพบแล้วมากที่สุดเมื่อเทียบกับทุกดิวิชัน โดยค้นพบแล้วประมาณ 7,500 ชนิด ซึ่งอาจมีการค้นพบชนิดใหม่เพิ่มขึ้นอีกด้วย [14]

2.1.2 ดิวิชันคลอโรไฟตา (Division Chlorophyta) เป็นกลุ่มสาหร่ายสีเขียว ภายในเซลล์มีออร์แกเนลล์ที่สำคัญคือคลอโรพลาสต์ที่ประกอบไปด้วยคลอโรฟิลล์ทั้งเอและบีเป็นจำนวนมาก ยังพบมีรงควัตถุชนิดอื่น เช่น พวักแคโรทีนและแซนโทฟิลล์ เป็นต้น อยู่ในคลอโรพลาสต์ รูปร่างของคลอโรพลาสต์มีหลายแบบ ช่วยในการวินิจฉัยชนิดของสาหร่ายในกลุ่มนี้ได้ สาหร่ายในดิวิชันนี้พบได้ในแหล่งน้ำทั่วไปทุกแหล่ง ส่วนใหญ่เป็นสาหร่ายน้ำจืด โดยเจริญอยู่ในน้ำที่มีแสงสว่างส่องถึง บางชนิดสามารถตรวจพบได้ในอากาศ บางชนิดเป็นแพลงก์ตอนพืช บางชนิดอาศัยยึดเกาะอยู่บนก้อนหิน ดินทราย วัสดุอื่นๆ รวมถึงยึดเกาะพืช สัตว์ชนิดต่างหรือเจริญอยู่ในเนื้อเยื่อพืชหรือในเซลล์สัตว์อื่นก็ได้ สาหร่ายกลุ่มนี้มีการค้นพบประมาณ 450 ชนิดและสามารถระบุชนิดได้แล้วมากกว่า 7,500 สปีชีส์ [8]

2.1.3 ดิวิชันคริสโตไฟตา (Division Chrysophyta) ประกอบด้วยสาหร่าย 3 กลุ่มด้วยกัน คือ สาหร่ายสีเขียวแกมเหลือง (yellow-green algae) สาหร่ายสีน้ำตาลแกมทอง (golden-brown algae) และไดอะตอม (diatom) ตามระบบของ Bold and Wynne (1985) [15] มีทั้งชนิดที่มีลักษณะเป็นเซลล์เดี่ยวและเซลล์อยู่กันเป็นกลุ่ม บางชนิดมีแฟลกเจลลัมช่วยในการว่ายน้ำ บางชนิดไม่พบแฟลกเจลลัม ในกลุ่มไดอะตอมจะพบผนังเซลล์ประกอบด้วยสารซิลิกา และมีลวดลายบนผนังเซลล์ เซลล์มีการสะสมรงควัตถุประเภทสารแคโรทีนอยด์มากกว่าคลอโรฟิลล์ ภายในเซลล์พบว่ามีสารสะสมอาหารจำพวกคริสโซลามินาริน (chrysolaminarin) รวมทั้งรายละเอียดของลักษณะแต่ละลักษณะที่แตกต่างกันจะพบว่า สาหร่ายทั้งสามกลุ่มนี้จะมีพบรงควัตถุชนิดต่างๆที่เป็นองค์ประกอบในคลอโรพลาสต์ในปริมาณที่แตกต่างกัน [7]

2.1.4 ดิวิชันไพร์โรไฟตา (Division Pyrrophyta) เป็นสาหร่ายในกลุ่มไดโนแฟลกเจลเลต และสาหร่ายในกลุ่มคริปโตไฟต์ (cryptophytes) ลักษณะเซลล์สาหร่ายในกลุ่มนี้เป็นแบบเซลล์เดี่ยว พบแฟลกเจลลัมซึ่งช่วยในการเคลื่อนที่ไปยังบริเวณที่มีแสงมาก เพื่อสังเคราะห์ด้วยแสง แฟลกเจลลา 2 เส้นยาวไม่เท่ากันและตำแหน่งที่ตั้งของแฟลกเจลลาก็แตกต่างกันด้วย โดยตำแหน่งของแฟลกเจลลาแต่ละเส้นตั้งอยู่บนแนวระนาบที่ตั้งฉากซึ่งกันและกัน รูปร่างของเซลล์ส่วนใหญ่มีลักษณะค่อนข้างกลมหรือรี แต่เซลล์ไม่สมมาตรกัน สาหร่ายกลุ่มนี้ดำรงชีวิตเป็นแพลงก์ตอนลอยตามกระแสน้ำ พบได้ในแหล่งน้ำทุกประเภททั้งน้ำจืด น้ำกร่อยและน้ำเค็ม

2.1.5 ดิวิชันยูกลีโนไฟตา (Division Euglenophyta) เป็นสาหร่ายในกลุ่มยูกลีโนอยด์ สาหร่ายในดิวิชันนี้มีลักษณะที่แตกต่างกันออกไปหลายลักษณะที่ทำให้ประสบปัญหาในการจัดจำแนก เนื่องจากมีเซลล์เดี่ยว มีแฟลกเจลลัมเป็นออร์แกเนลล์ที่ใช้ในการเคลื่อนที่ มีอายสปอตทำหน้าที่รับแสง ทำให้สามารถจัดสาหร่ายกลุ่มนี้เป็น โพรโตซัวได้ และสามารถจัดเป็นสาหร่ายได้เช่นกัน เนื่องจากมีรงควัตถุเป็นองค์ประกอบภายในเซลล์ได้แก่ คลอโรฟิลล์ เอ และ บี [16]

2.1.6 ดิวิชันคริปโตไฟตา (Division Cryptophyta) หรือสาหร่ายคริปโตโมแนด เป็นสาหร่ายที่มีลักษณะเซลล์เดี่ยว ส่วนใหญ่มีการดำรงชีวิตแบบแพลงก์ตอนพืชพบได้ทั้งในน้ำจืดและน้ำเค็ม มีแฟลกเจลลัม 2 เส้น สามารถว่ายน้ำได้ ลักษณะเด่นของสาหร่ายคริปโตโมแนดคือ ตัวเซลล์จะประกอบด้วยเซลล์พิเศษที่เรียกว่า อีเจคโตโซม (ejectosome) มีลักษณะเป็นเข็มพิษ ทำหน้าที่ป้องกันตัวและใช้จับเหยื่อ พบรงควัตถุมีสีน้ำเงิน สีแดงและไฟโคบิลิโปรตีน (phycobiliprotein) ซึ่งรงควัตถุดังกล่าวนี้มีองค์ประกอบที่แตกต่างจากรรงควัตถุสีน้ำเงินของไฟโคบิลินที่พบในสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน [9]

2.1.7 ดิวิชันโรโดไฟตา (Division Rhodophyta) ได้แก่สาหร่ายสีแดง (red algae) มีการจำแนกอยู่ประมาณ 3,900 สปีชีส์ รงควัตถุภายในพลาสติดส่วนมากนั้นมองเห็นเป็นสีแดง คือ คลอโรฟิลล์ ดี และไฟโคอีริทริน (phycoerythrin) บางครั้งสาหร่ายสีแดงจะปรากฏเซลล์เป็นสีน้ำเงินเนื่องจากในเซลล์มีรงควัตถุพวกไฟโคไซยานิน (phycocyanin) รวมอยู่ในพลาสติดด้วย [6] สาหร่ายสีแดงจะพบคลอโรฟิลล์ เอ ซึ่งเป็นรงควัตถุหลักในการสังเคราะห์แสง ส่วนประกอบของผนังเซลล์ ประกอบด้วยผนังเซลล์ชั้นใน เป็นพวกลิวโรซัลโลส ผนังเซลล์ชั้นนอกเป็นสารเมือกพวกซัลเฟตเตต แกแลกแตน (sulfated galactan) ได้แก่ วุ้น (agar) พอร์ไฟแรน (porphyran) เฟอ์เซลเลอแรน (fucellaran) และคาร์ราจีแนน (carrageenan) มีคลอโรพลาสต์มี 2 แบบ คือบางพวกมีลักษณะเป็นแฉกรูปดาว และมีไพรินอยด์ตรงกลาง บางพวกมีลักษณะกลมแบน อาหารสะสมเป็นแป้งว่า ฟลอริเดียนสตาร์ช (floridean starch) อยู่ในไซโทพลาสซึม นอกจากแป้งแล้วยังสะสมไวน์รูปของน้ำตาล ฟลอริโดไซด์ (floridoside) ซึ่งทำหน้าที่เหมือนน้ำตาลซูโครสในสาหร่ายสีเขียวและพืชชั้นสูง ไม่มีแฟลกเจลลัมช่วยในการเคลื่อนที่ ส่วนใหญ่อยู่ในทะเลมีบางชนิดเท่านั้นที่อยู่ในน้ำจืด [15]

2.1.8 ดิวิชันไฟโอไฟตา (Division Phaeophyta) ได้แก่สาหร่ายสีน้ำตาล เซลล์มีคลอโรฟิลล์ (chlorophyll a, c) แคโรทีน (carotene) แซนโทฟิลล์ (xanthophyll) และฟูโคแซนทิน (fucoxanthin) ผนังเซลล์ประกอบด้วยสารจำพวกเซลลูโลส กรดแอลจินิก (alginic acid) และมูโคโพลิแซ็กคาไรด์ (mucopolysaccharide) มีไว้ทำหน้าที่สร้างและสะสมน้ำตาลลามินาริน (laminarin) และแมนนิทอล (mannitol) เซลล์รวมกลุ่มทำหน้าที่คล้ายราก (hold fast) ลำต้น (stipe) และใบ (blade) มีทรมเป็ต ไฮฟี (trumpet hyphae) ช่วยในการลำเลียง บางชนิดมีถุงลมอยู่ที่ลำต้นช่วยให้ลอยตัวได้ [16] สาหร่ายสีน้ำตาลมีความสำคัญใช้เป็นอาหาร สกัดกรดแอลจินิก ใช้ในอุตสาหกรรมในรูปสารประกอบแอลจิน (algin) ในการทำสี ยาน้ำ ขนมหวาน รวมทั้งนำมาเผาสกัดไอโอดีนและโปแตสเซียมนำไปใช้ในรูปปุ๋ยธรรมชาติ [13]

2.1.9 ดิวิชันแคโรไฟตา (Charophyta) ได้แก่ สาหร่ายไฟ เช่น *Chara* sp. และ *Nitella* sp. มีลักษณะแตกต่างจากสาหร่ายน้ำจืดชนิดอื่น ๆ เนื่องจากมีลักษณะคล้ายพืชชั้นสูงมาก มีส่วนที่ทำหน้าที่คล้ายลำต้น มองเห็นข้อและปล้องชัดเจน ตามผนังเซลล์ของสาหร่าย มีสารประกอบพวกเซลลูลูโลส และมีพวกแคลเซียมคาร์บอเนตสะสมอยู่มาก จึงทำให้มีลักษณะแข็งและหยากสามารถคงสภาพอยู่ได้นาน เมื่อสาหร่ายตายลง มีนูกูล (nucule) เป็นเซลล์สืบพันธุ์ของเพศเมีย มีลักษณะกลมรีสีเขียวเมื่อเกิดใหม่แล้วเปลี่ยนเป็นสีส้ม เมื่อได้รับการผสมกับบเซลล์สืบพันธุ์เพศผู้แล้วจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลหรือดำ ส่วนเซลล์สืบพันธุ์เพศผู้เรียกว่า โกลบูล (globule) เมื่อเกิดใหม่จะมีสีเขียว เมื่อเจริญเต็มที่จะมีสีแดง [15]

2.2 สาหร่าย *Microcystis* spp.

สาหร่าย *Microcystis* spp. จัดอยู่ในดิวิชันไซยาโนไฟตา (Cyanophyta) สามารถจำแนกในสิ่งมีชีวิตพวกโปรคาริโอต (prokaryotic) รูปร่างเซลล์เป็นเซลล์เดี่ยว มีลักษณะกลมหรือรี เซลล์มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3-8 ไมครอน มักอยู่รวมกันเป็นกลุ่ม (colony) มีเมือกหุ้มรอบๆ กลุ่มเซลล์ (amorphous mucilage) ทำให้รูปร่างของกลุ่มเซลล์มีหลายลักษณะ เช่น กลม เบี้ยว หรือแหงงว่า *Microcystis* spp. เป็นสาหร่ายที่ไม่มีการสร้างเซลล์พิเศษ ได้แก่ อะคิเน็ต หรือ เฮเทอโรซิสต์ จึงดำรงชีวิตบนผิวน้ำได้อย่างอิสระ มีแก๊สแวนิวโอล อยู่ในเซลล์ช่วยพยุงให้เซลล์สามารถลอยอยู่บนผิวน้ำได้ มีการนำคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศมาใช้เป็นแหล่งคาร์บอน โดยผ่านกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง ซึ่งเกิดขึ้นที่ผิวทั้งสองด้านของบริเวณเยื่อหุ้มเซลล์ชั้นในที่มีการโค้งเว้าเป็นพิเศษเรียกว่า ไทลาคอยด์ รังควัตถุหลักที่ใช้ในการสังเคราะห์ด้วยแสงได้แก่ คลอโรฟิลล์ เอ, แคลโรทีนอยด์ และไฟโคบิลิน แบ่งเป็นไฟโคไซยานิน และ อัลโลไฟโคไซยานิน ซึ่งคลอโรฟิลล์ เอ เป็นรงควัตถุชนิดเดียวกันกับ ที่ใช้ในการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืชชั้นสูงและสาหร่ายทั่วไป ทำให้ผลิตผลจากกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงของ *Microcystis* spp. มีการปลดปล่อยแก๊สออกซิเจนในรูปของโมเลกุลอิสระเกิดขึ้น [9] การดำรงชีวิตของ *Microcystis* spp. พบได้ตามแหล่งน้ำจืด โดยในแหล่งน้ำที่มีความอุดมสมบูรณ์ของสารอาหารมาก (eutrophication) จะพบการเกิดการเจริญอย่างรวดเร็วของสาหร่ายชนิดนี้บ่อยที่สุด [7]

2.3 การจัดจำแนกสาหร่าย *Microcystis* sp.

สาหร่าย *Microcystis* spp. จัดเป็นสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินชนิดที่สร้างสารพิษ ซึ่ง Komárek และ Anagnostidis [57] ได้จัดจำแนกสาหร่ายพิษ *Microcystis* sp. ดังนี้

Division Cyanophyta

Order Chroococcales

Family Microcystaceae

Genus *Microcystis*

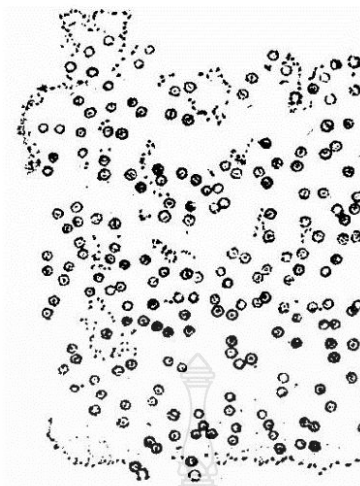
นอกจากนี้ยังได้จัดจำแนกสาหร่าย *Microcystis* spp. ชนิดที่สามารถสร้างสารพิษได้ ออกเป็น 4 สายพันธุ์ คือ *Microcystis aeruginosa*, *M. viridis*, *M. wesenbergii* และ *M. flos-aquae* มีรายงานว่า *M. aeruginosa* เป็นสายพันธุ์แรกที่ได้มีการคัดแยกเพาะเลี้ยงให้เป็นสายพันธุ์บริสุทธิ์ และใช้เป็นตัวอย่างศึกษาในห้องปฏิบัติการ [4] แต่ในปัจจุบันได้มีการแยกสายพันธุ์อื่น เพื่อใช้ในการศึกษาได้อีกหลายสายพันธุ์ เช่น *M. wesenbergii* และ *M. smithii* เป็นต้น [18]

2.4 ชนิดของสาหร่ายพิษ *Microcystis* sp.

ในงานวิจัยนี้ได้จัดจำแนกสาหร่าย *Microcystis* spp. เป็นสาหร่ายชนิดเด่นที่มักพบในแหล่งน้ำที่เกิดปรากฏการณ์ยูโทรฟิเคชันตามการจัดจำแนกของ Komárek และ Anagnostidis [11] ซึ่งได้จัดจำแนกไว้ 10 ชนิด ดังต่อไปนี้

2.4.1. *Microcystis natans* Lemmermann ex Skuja

โคโลนีมีขนาดเล็กมาก ลักษณะกลม ขาว มีรูปร่างไม่แน่นอนมีขนาดประมาณ 40-200 μm จัดเรียงตัวกันไม่ค่อยสม่ำเสมอ ไม่ซ้อนทับกันหนาแน่น เมื่อกที่หุ้มจะไม่มีสี มีความหนาจากขอบโคโลนีประมาณ 4 μm ลักษณะของเซลล์จะมีรูปร่างกลม อาจจะมีรูปร่างรีก่อนที่จะมีการแบ่งเซลล์มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 1.5-3 μm ขนาดประมาณ 1.5 μm ปกติจะมีแอโรโทป (aerotop) 1 อัน ตรงกลางเซลล์ [3]

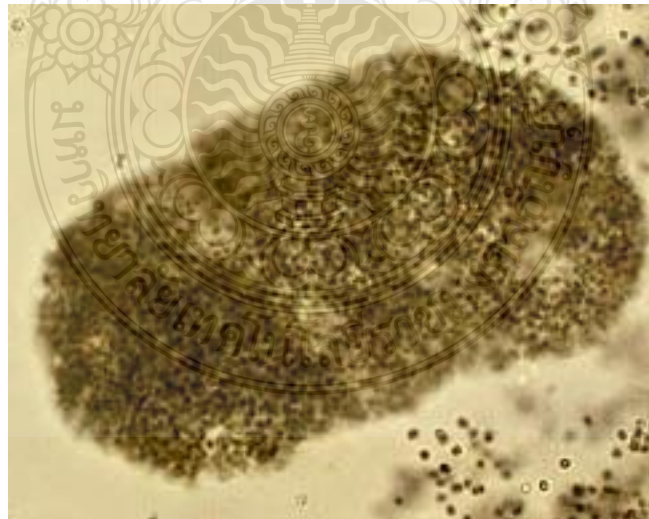


รูปที่ 2.1 ลักษณะของสาหร่าย *Microcystis natans* Lemmermann ex Skuja

ที่มา : Komárek และ Komáková [57]

2.4.2. *Microcystis firma* (Kützing) Schmidle

โคโลนีมีขนาดเล็กมาก ลักษณะกลมหรือค่อนข้างกลมจัดเรียงตัวกันไม่สม่ำเสมอ เซลล์จะซ้อนทับกันหนาแน่น จะเห็นเมือกหุ้มไม่ชัดเจนนักเนื่องจากจะอยู่ชิดกับขอบโคโลนี บางครั้งจะพบบางโคโลนีเกาะอยู่ด้วยกัน เซลล์มีรูปร่างกลม มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 2-3.7 μm มีแก๊สเวสซิเคิล (gas vesicles) [3]

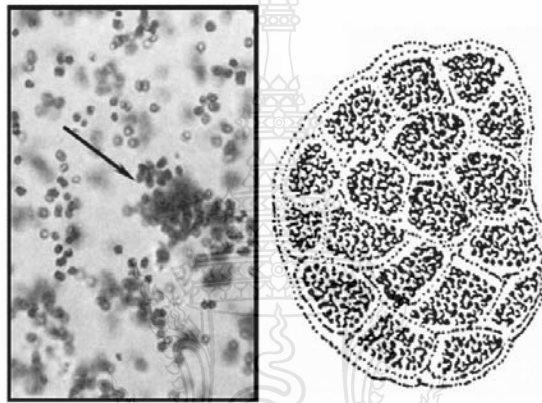


รูปที่ 2.2 ลักษณะของสาหร่าย *Microcystis firma* (Kützing) Schmidle

ที่มา : Ball *et al.* [55]

2.4.3. *Microcystis ichtyoblabe* Kützing

โคโลนีสมีลักษณะเป็นทรงกลมที่มีรูปร่างไม่แน่นอนมักประกอบด้วยโคโลนีย่อยๆ (sub-colonies) รวมเป็นโคโลนีใหญ่ มีเมือกหุ้มอยู่รวมกันหนาแน่น แต่ละโคโลนีมีเมือกซึ่งไม่มีสีหุ้มอยู่ บางครั้งเมือกจะเชื่อมติดกัน ในระยะสุดท้ายของการดำรงชีวิต โคโลนีย่อยๆจะหลุดออกมาจากเมือก และรวมกันเป็นรูปร่างไม่แน่นอน ซึ่งบางครั้งอาจจะแยกเป็นกลุ่มเล็กๆเซลล์มีรูปร่างกลมมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 -3.2 μm มีรายงานว่าเป็นสาหร่ายที่มีพิษ [21]

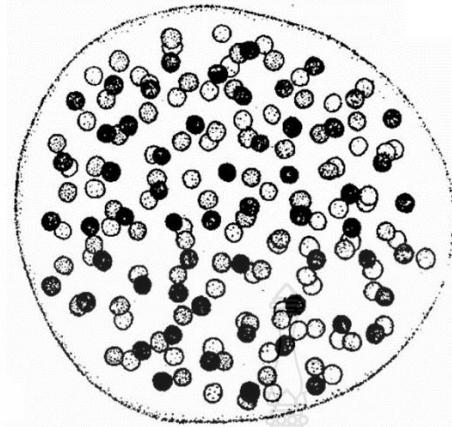


รูปที่ 2.3 ลักษณะของสาหร่าย *Microcystis ichtyoblabe* Kützing

ที่มา : Komárek และ Komáková [57]

2.4.4. *Microcystis smithii* Komárek and Anagnostidis

โคโลนีจะล่องลอย มีลักษณะค่อนข้างกลม บางครั้งรูปร่างไม่แน่นอน มีเมือก เซลล์อยู่อย่างกระจัดกระจาย แทบจะไม่พบเซลล์ที่อยู่รวมกันอย่างหนาแน่น เมือกจะไม่มีสี อาจจะเห็นได้ชัดหรือไม่ชัดเจนในโคโลนีเซลล์อาจจะอยู่เดี่ยวๆหรืออยู่เป็นคู่ หลังจากมีการแบ่งตัว ลักษณะเซลล์จะมีสีเขียวแกมน้ำเงินหรือเขียวมะกอก มักจะมีแอโรโทปัสติน้ำตาลหนึ่งหรือหลายอันในแต่ละเซลล์ เซลล์มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3.2-5.6 μm [22]



รูปที่ 2.4 ลักษณะของสาหร่าย *Microcystis smithii* Komárek and Anagnostidis
ที่มา : Komárek และ Komáková [57]

2.4.5. *Microcystis flos-aquae* (Wittrock) Kirchner

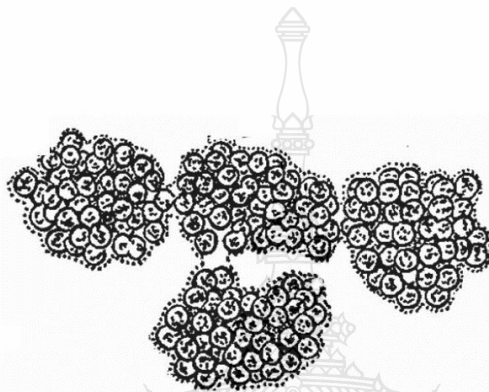
โคโลนีมีขนาดเล็กมากแทบจะไม่พบว่ามีความใหญ่ มีรูปร่างค่อนข้างกลม แต่จะไม่มีลักษณะเป็นพู่ เซลล์จะอยู่รวมกันหนาแน่น บางครั้งพบโคโลนีที่แก่จะมีช่องว่างในโคโลนีแต่น้อยมาก เมื่อจะไม่เกินจากขอบโคโลนีมากนักเซลล์มีลักษณะกลม มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3.5-4.8 μm อาจได้ถึง 5.6 μm มีแอรโรโทปไม่มีนิวโรทอกซิน (neurotoxins) แต่มีสารประกอบที่เป็น isopropylthio-compound [23]



รูปที่ 2.5 ลักษณะของสาหร่าย *Microcystis flos-aquae* (Wittrock) Kirchner
ที่มา : Komárek & Komáková [57]

2.4.6. *Microcystis botrys* Teiling

โคโลนีต้องลอยอิสระ รูปร่างค่อนข้างกลม มีเซลล์อยู่อย่างสม่ำเสมอและอยู่อย่างหนาแน่น ในเมือกที่ไม่มีสี มีความหนาแต่บางครั้งก็เห็นไม่ชัดเจน กลุ่มเซลล์จะมีการเจริญอย่างเห็นได้ชัดอยู่ในเมือกซึ่งปกติจะมีความหนามากกว่า 1 μm รูปร่างจะมีการเปลี่ยนแปลงเป็นครึ่งวงกลมหรือมีลักษณะคล้ายท่อพุ่งออกมา บางครั้งก็มีการเชื่อมกับโคโลนีย่อย เซลล์จะมีลักษณะกลม มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 5-6 μm มีแอโรโทป [24]

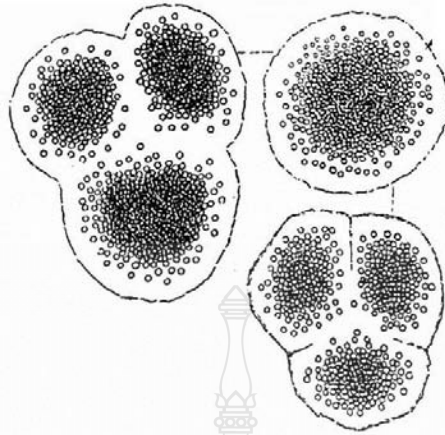


รูปที่ 2.6 ลักษณะของสาหร่าย *Microcystis botrys* Teiling

ที่มา : Komárek และ Komáková [57]

2.4.7. *Microcystis novacekii* (Komárek) Compère

โคโลนีมีขนาดเล็กมาก ไม่พบโคโลนีขนาดใหญ่ ลักษณะโคโลนีมีรูปร่างเหมือนเลนส์หรือเกือบเป็นทรงกลม อาจจะมีรูปร่างทรงรีหรือมีขอบที่มีลักษณะเป็นลอนคลื่น เซลล์อยู่รวมกันหนาแน่นจนไม่มีช่องว่างและจะไม่มีลักษณะหยัก โคโลนีที่แก่จะประกอบด้วยกลุ่มของโคโลนีย่อยหลายๆกลุ่ม ซึ่งจะมีเซลล์อยู่รวมกันอย่างหนาแน่นเป็นขนาดใหญ่จะมีเซลล์เดี่ยวหลายๆเซลล์อยู่รอบๆกลุ่มเซลล์ เมือกที่หุ้มอาจจะไม่มีสีหรือมีสีเหลืองซีด บางครั้งจะพบที่เกิดเป็นชั้นๆไม่สม่ำเสมออยู่บริเวณขอบ พบกลุ่มเซลล์มีขนาดกว้าง 15 μm เซลล์มีรูปร่างกลม ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3-5.5 μm มีแอโรโทป [26]



รูปที่ 2.7 ลักษณะของสาหร่าย *Microcystis novacekii* (Komárek) Compère
ที่มา : Komárek และ Komáková [57]

2.4.8. *Microcystis viridis* (A.Braun in Rabenhorst) Lemmermann

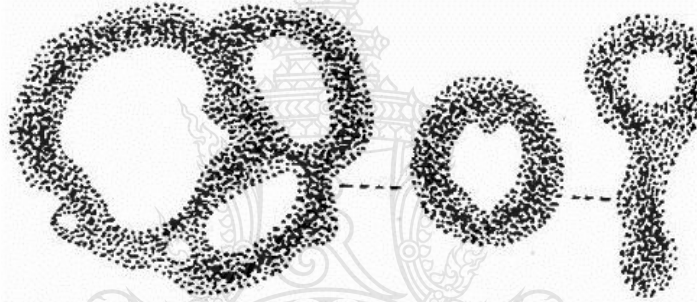
โคโลนีล่องลอย มีขนาดเล็กมาก ลักษณะรูปร่างมีตั้งแต่กลม จนถึงคล้ายลูกบาศก์ เห็นลักษณะเป็น 3 มิติได้ชัดเจน จนถึงเป็นโคโลนีขนาดใหญ่ ประกอบด้วยโคโลนีย่อยที่รูปร่างคล้ายท่อ รูปร่างทรงกลมหรือยาวรีไม่แน่นอน เซลล์อยู่รวมกันหนาแน่นเมื่อไม่มีสีอาจจะหนาหรือบาง มักมีความหนา 5-10 μm เมื่อที่หุ้มกลุ่มเซลล์ย่อยจะไม่หนา เซลล์มีลักษณะกลมสามารถสร้างสารพิษได้ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.5-7 μm และควรศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาควบคู่ไปกับส่วนประกอบของไอโซไซม์ (isozyme) [3]



รูปที่ 2.8 ลักษณะของสาหร่าย *Microcystis viridis* (A.Braun in Rabenhorst) Lemmermann
ที่มา : Komárek และ Komáková [57]

2.4.9. *Microcystis aeruginosa* (Kützing) Kützing

โคโลนีมีเมือกหุ้ม มีขนาดเล็ก อาจจะมีรูปร่างทรงกลม คล้ายเลนส์หรือค่อนข้างยาว จนถึงมีขนาดใหญ่ รูปร่างไม่แน่นอน มีลักษณะเป็นหยัก มีขนาดยาวประมาณ 600-900 μm บางครั้งอาจพบขนาด 800 μm มักจะมีการจัดเรียงตัวคล้ายตาข่ายที่มีช่องว่างที่ชัดเจน หรือประกอบไปด้วยโคโลนีย่อยที่มีโครงสร้างไม่แน่นอน มีการจัดเรียงตัวหลายแบบ เซลล์อาจจะอยู่เรียงตัวกันอย่างหนาแน่น เมือกที่หุ้มไม่มีสี บางครั้งอาจจะเห็นได้ชัดเจนแต่ขอบจะไม่หนา (ปกติประมาณ 5-8 μm) เซลล์มีรูปร่างกลม บางครั้งอาจจะยาวขึ้นเล็กน้อยเมื่อมีการแบ่งตัว มีสีเขียวอ่อนๆ มีแอโรโทปจำนวนมาก ตัวเซลล์มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4-6 μm มีรูปร่างหลายแบบ พบได้ในสภาวะต่างๆและหลายฤดูกาล ความหลากหลายของพันธุกรรมวิเคราะห์จากไอโซไซม์ [24]

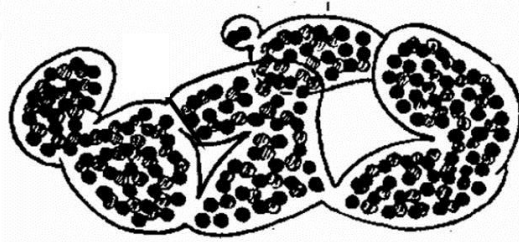


รูปที่ 2.9 ลักษณะของสาหร่าย *Microcystis aeruginosa* (Kützing) Kützing

ที่มา : Komárek และ Komáková [57]

2.4.10. *Microcystis wesenbergii* (Komárek) Komárek

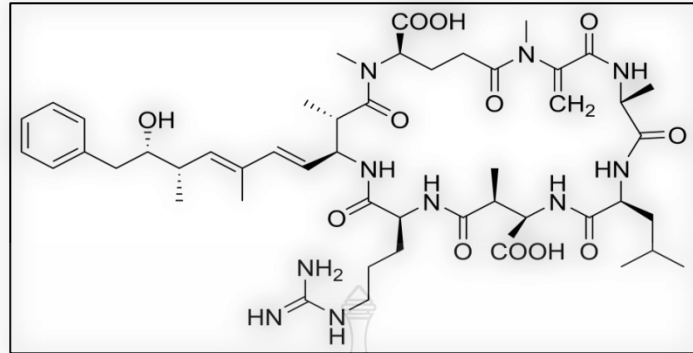
เมื่อยังอ่อน โคโลนีมีลักษณะกลม ต่อมาจะยาวขึ้นและมีลักษณะเป็นพูหลายๆพู เรียงตัวสม่ำเสมอมีช่องว่างชัดเจน บางครั้งจะประกอบด้วยโคโลนีย่อยจนมีขนาดใหญ่ เซลล์การเรียงตัวไม่แน่นอน ไม่ค่อยอยู่กันอย่างหนาแน่น แต่เห็นได้ชัดเจน มีความหนา 3-6 μm เซลล์มีลักษณะกลม บางครั้งจะยืดยาวเล็กน้อยก่อนการแบ่งตัว มีแอโรโทปเห็นได้อย่างชัดเจน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเซลล์ 4-7 μm มีหลายขนาดและมีลักษณะทางสัณฐานวิทยาที่แตกต่างต้องการใช้การอธิบายที่ชัดเจน อาจจะพบว่าไม่มีพิษ แต่สายพันธุ์ที่พบในประเทศไทยเป็นสายพันธุ์ที่ไม่มีพิษ [25]



รูปที่ 2.10 ลักษณะของสาหร่าย *Microcystis wesenbergii* (Komárek) Komárek
ที่มา : Komárek และ Komáková [57]

2.5 สารพิษไมโครซิสติน (microcystins)

สาหร่าย *Microcystis* spp. เป็นสาหร่ายที่สามารถผลิตสารพิษชนิดนี้ได้ ในโครงสร้างประกอบด้วยกรดอะมิโน 7 ชนิดต่อกันด้วยพันธะเคมี มีลักษณะต่อกันเป็นวง (cycle) ตำแหน่งของกรดอะมิโนที่ต่อกันในโครงสร้างทำให้สามารถแบ่งสารพิษออกเป็น 3 ชนิด ได้แก่ไมโครซิสตินชนิด YR, LR และ RR [5] สารพิษชนิดนี้ไม่ได้ออกฤทธิ์เป็นสารก่อมะเร็ง (carcinogen) แต่ออกฤทธิ์ในการส่งเสริมการเกิดมะเร็ง (tumor promotor) เมื่อเซลล์ได้รับสารพิษในปริมาณสูง จะทำให้ช่วยเร่งการเกิดตับอักเสบ รวมทั้งสามารถทำลายเส้นเลือดที่อยู่ภายในตับได้ ก่อให้เกิดภาวะเซลล์ตับตาย ความรุนแรงของการออกฤทธิ์จะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปริมาณสารพิษที่ร่างกายได้รับ [15] โดยกลไกการออกฤทธิ์จะมีอวัยวะเป้าหมายที่สำคัญคือ เซลล์ตับ ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ โปรตีนฟอสฟาเทส (protein phosphatase) ทั้งชนิด type 1 และ type 2A นอกจากนี้ยังสามารถเร่งการเกิดเนื้องอกได้อีกด้วย [14] ถ้าร่างกายได้รับสารพิษชนิดนี้ในปริมาณที่สูงเกินกำหนดจะแสดงอาการแบบเฉียบพลัน ได้แก่เลือดฝอยที่ตับถูกทำลาย เกิดอาการเลือดคั่งในตับและร่างกายเกิดอาการช็อคได้ [16] ดังนั้นองค์การอนามัยโลก (World Health Organization, WHO) จึงได้กำหนดปริมาณสารพิษ microcystins ที่ปนเปื้อนในแหล่งน้ำดิบสำหรับการผลิตน้ำประปา มีค่าไม่เกิน 1 ไมโครกรัมต่อลิตร และตามค่ามาตรฐานของเครือรัฐออสเตรเลีย ได้กำหนดค่ามาตรฐานในแหล่งน้ำดิบที่ใช้ในการผลิตน้ำประปาให้มีจำนวนเซลล์สาหร่าย *Microcystis aeruginosa* มีค่าไม่เกิน 15,000 เซลล์ต่อมิลลิลิตร และแหล่งน้ำตามธรรมชาติที่สามารถนำมาใช้โดยไม่ก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพ มีค่าไม่เกิน 12,000 เซลล์ต่อมิลลิลิตร [7]



รูปที่ 2.11 โครงสร้างสารพิษ microcystin

ที่มา : Oberholster *et al.* [52]

2.6 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับไคโตซาน

ไคโตซานหรืออนุพันธ์ของไคตินที่ได้จากการทำปฏิกิริยากำจัดหมู่อะซิทธิลของไคติน หรือที่เรียกว่าปฏิกิริยา deacetylation โดยแซ่ไคตินในสารละลายด่างเข้มข้น ซึ่งไคโตซานที่ได้นี้ มีชื่อทางเคมีว่า poly $[\beta\text{-(1,4)-2-amino-2-deoxy-D-glucopyranose}]$ เป็นโพลิเมอร์ที่ไม่สามารถละลายในตัวทำละลายอินทรีย์เกือบทั้งหมดและน้ำที่มีค่า pH เป็นกลางหรือด่าง แต่สามารถละลายในกรดอ่อน [1]โดยทั่วไปมักพบไคตินในผนังเซลล์ของเชื้อจุลินทรีย์ เช่น เห็ด รา รวมทั้งเปลือกของแมลงและสัตว์ที่ไม่มีกระดูกสันหลังประเภทมีข้อและปล้อง อาทิ กุ้ง ปูและแกนปลาหมึก [10] กรรมวิธีการผลิตไคตินและไคโตซานมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องทั้งวิธีทางเคมีและทางชีวภาพ ซึ่งในระดับอุตสาหกรรมมักจะใช้วิธีทางเคมี และวัตถุดิบส่วนใหญ่มาจากกากของเหลือในอุตสาหกรรมอาหารทะเลแช่แข็ง อาทิ เปลือก-หัวกุ้งกระดองปูและแกนปลาหมึก โดยสมบัติทางเคมีฟิสิกส์ของไคตินและไคโตซานที่ได้มีความหลากหลาย ขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ (species) ของสัตว์เหล่านี้ รวมถึงกรรมวิธีการผลิต ดังนั้นกระบวนการผลิตที่นำเอาเทคโนโลยีชีวภาพเข้ามาผสมผสานกับกระบวนการผลิตทางเคมี จึงมีการพัฒนาขึ้นเพื่อให้ได้สมบัติของผลิตภัณฑ์ไคตินและไคโตซานตามต้องการและเหมาะสมกับการนำไปใช้ [11]

2.7 การผลิตไคตินและไคโตซาน

กระบวนการผลิตไคตินจากเปลือกของสัตว์ที่ไม่มีกระดูกสันหลัง (crustacean shell waste) มีขั้นตอนพื้นฐานอยู่ 3 ขั้นตอน ดังนี้: ขั้นตอนที่ 1 การแยกโปรตีน (deproteinization); ขั้นตอนที่ 2 การ

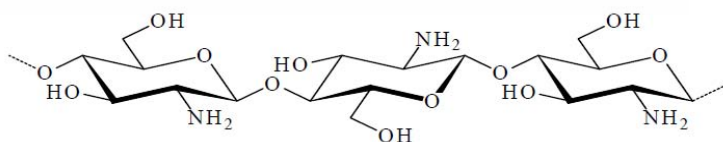
แยกแร่ธาตุ (demineralization) และขั้นตอนที่ 3 การแยกเม็ดสี (decoloration) ซึ่งขั้นตอนที่ 1 และ 2 สามารถสลับลำดับก่อนหลังได้ อย่างไรก็ตามกระบวนการผลิตไคตินที่ต้องการนำไปโปรตีนที่สกัดได้ กลับมาใช้ประโยชน์ จำเป็นจะต้องเริ่มจากขั้นตอนการแยกโปรตีนออกจากเปลือกของสัตว์เหล่านี้ ก่อนขั้นตอนการแยกแร่ธาตุ เนื่องจากโปรตีนที่ได้จะมีปริมาณและคุณภาพที่ดีกว่า [11]

การผลิตไคโตซานจากไคตินสามารถทำได้ทั้งวิธีทางเคมีและวิธีทางชีวภาพ แต่วิธีทางชีวภาพ โดยการใช้เอ็นไซม์ในการดึงหมู่อะซิทิลออกจากไคตินนั้นยังอยู่ในระดับห้องปฏิบัติการ[1] วิธีทางเคมี เป็นวิธีที่ใช้กันอย่างกว้างขวางในปัจจุบัน แต่ข้อเสียของวิธีทางเคมี ได้แก่ คุณภาพในการผลิตจะควบคุมยากเครื่องมือที่ใช้ถูกกัดกร่อนอันเนื่องมาจากสารเคมีที่เข้มข้นและประการสำคัญคือเรื่อง สิ่งแวดล้อม ดังนั้นนักวิจัยหลายท่านและผู้ประกอบการอุตสาหกรรมการผลิตไคโตซานพยายามที่จะ คิดค้นหาวิธีการผลิตที่ใช้สภาวะที่ไม่รุนแรงนัก แต่ให้คุณภาพผลิตภัณฑ์ไคโตซานตามต้องการ การ สกัดไคโตซานจากไคตินสามารถทำได้โดยการแช่ไคตินในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ หรือ โปแตสเซียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น (40-50%) ที่อุณหภูมิ 100°C หรือสูงกว่า ทำให้หมู่อะซิทิลบางส่วน หรือทั้งหมดจะถูกดึงออกจากโครงสร้างของโพลีเมอร์ [33] ปัจจัยที่มีผลต่อการผลิตไคโตซาน ได้แก่ อุณหภูมิ ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา ความเข้มข้นของต่าง สภาวะในการผลิตไคติน บรรยากาศและ อัตราส่วนของไคตินต่อสารละลายต่างเข้มข้น Aye *et al.* [31] ได้นำเปลือกกุ้งสด 100 กิโลกรัม มาผลิต ไคโตซานโดยผ่านกระบวนการต่างๆ ตามลำดับดังนี้

(1) กระบวนการแยกโปรตีน โดยนำเปลือกกุ้งแช่ลงในสารละลาย NaOH ความเข้มข้น 4% ปริมาตร 270 ลิตร ที่อุณหภูมิห้อง นาน 24 ชั่วโมง

(2) กระบวนการแยกแร่ธาตุในเปลือกกุ้งด้วยสารละลาย HCl ความเข้มข้น 4% ปริมาตร 270 ลิตร ที่อุณหภูมิห้อง นาน 18 ชั่วโมง ทิ้งให้แห้ง

(3) นำไคตินแห้งที่ได้จากกระบวนการที่ 2 มา 3 กิโลกรัม แช่ใน 50% NaOH ปริมาตร 30 ลิตร ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 48 ชั่วโมง หลังจากล้างน้ำจนมี pH เป็นกลาง นำไคโตซาน ที่ได้มาแช่ ใน 50% NaOH อีกครั้ง ปริมาตร 12 ลิตร ที่ 60°C นาน 48 ชั่วโมง โดยแต่ละขั้นตอนต้องมีการล้างน้ำ จนมี pH เป็นกลาง



รูปที่ 2.12 โครงสร้างไคโตซาน

ที่มา : เกตุสุดา [1]

2.8 การใช้สารโคโตซานในการกำจัดสาหร่ายพิษ

คุณสมบัติของโคโตซาน เนื่องจากโคโตซานมีโครงสร้างเป็นประจุบวก มีความหนาแน่นของประจุสูง สามารถใช้เป็นสารกระตุ้นให้เกิดการตกตะกอนได้ดี การดูดซับของโคโตซานขึ้นอยู่กับขนาดของช่องว่างในโครงสร้าง ซึ่งสามารถควบคุมขนาดของช่องว่างนี้ได้จากขั้นตอนการขึ้นรูปโคโตซาน เช่น การใส่สารเพิ่มความพรุนตัว หรือการควบคุมความพรุนตัวด้วยวิธี freeze dry เป็นต้น [46] จากคุณสมบัติดังกล่าวจึงได้มีการนำโคโตซานไปใช้กำจัดสาหร่าย *Microcystis* sp. โดยใช้กลไกที่สารโคโตซานมีโครงสร้างประกอบไปด้วยกลุ่มอะมิโนที่มีโปรตอน จึงทำให้สารโคโตซานมีอนุภาคเป็นประจุบวกสามารถที่จะดึงดูดเซลล์สาหร่ายที่มีประจุลบแล้วทำให้สาหร่ายตกลงสู่ก้นของแหล่งน้ำได้ [52]

2.9 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับฟางข้าว

ฟางข้าว คือ ส่วนของลำต้นข้าวที่ถูกตัดออกเมื่อเมล็ดข้าวแก่เต็มที่และมีการนำเมล็ดข้าวออกไปแล้ว ซึ่งเป็นผลพลอยได้อย่างหนึ่งที่ได้หลังการเก็บเกี่ยวข้าว ในประเทศไทยมีพื้นที่ปลูกข้าวประมาณ 65 ล้านไร่ หรือประมาณร้อยละ 20 ของพื้นที่ทั้งประเทศ ได้ผลผลิตข้าว 24 ล้านตัน มีฟางข้าวเฉลี่ยประมาณปีละ 25.45 ล้านตัน และมีปริมาณตอซังข้าวที่ตกค้างอยู่ในนาข้าว 16.9 ล้านตันต่อปี ดังนั้นจึงนับได้ว่ามีปริมาณฟางข้าวและตอซังข้าวมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับตอซังพืชชนิดอื่น โดยมีปริมาณฟางข้าวและตอซังมากที่สุดในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ คือจำนวน 13.7 และ 9.1 ล้านตันต่อปี รองลงมาคือภาคกลางและภาคตะวันออกมีจำนวนฟางข้าวและตอซัง 6.2 และ 4.1 ล้านตันต่อปี และในพื้นที่ปลูกข้าว 1 ไร่ มีปริมาณฟางข้าวและตอซัง โดยเฉลี่ยปีละ 650 กิโลกรัม [4]

ฟางข้าวเป็นวัสดุที่ย่อยสลายง่าย มีค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเฉลี่ย 99:1 มีปริมาณธาตุอาหารหลักของพืชได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโปแทสเซียมเฉลี่ย 0.51, 0.14 และ 1.55 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณธาตุอาหารรองของพืชได้แก่ แคลเซียม แมกนีเซียม และซัลเฟอร์เฉลี่ย 0.47, 0.25 และ 0.17 เปอร์เซ็นต์ เป็นต้น [12]

ตารางที่ 1 แสดงปริมาณตอซังและฟางข้าวในแต่ละภาคของประเทศไทย (ล้านตันต่อปี)

ภาค	ข้าวนปี		ข้าวนาปรัง		รวม
	ฟางข้าว	ตอซัง	ฟางข้าว	ตอซัง	
เหนือ	4.28	2.80	0.19	0.12	7.36
ตะวันออกเฉียงเหนือ	13.61	9.03	0.18	0.11	22.93
กลางและตะวันออกเฉียง	5.01	3.32	1.20	0.79	10.32
ใต้	0.95	0.63	0.07	0.04	1.69
ปริมาณรวม	23.81	15.80	1.64	1.08	42.33

ที่มา : วิจิตร [17]

2.10 ประโยชน์ของฟางข้าว

ฟางข้าวเป็นอินทรีย์วัตถุอย่างหนึ่งที่ได้มาหลังการเก็บเกี่ยวข้าว ซึ่งมีประโยชน์ต่อการปรับปรุงดินหลายประการ ดังนี้

2.10.1 การปรับปรุงคุณสมบัติทางกายภาพของดิน ฟางข้าวทำให้ดินโปร่ง ร่วนซุย เพราะอินทรีย์วัตถุที่ได้จากการย่อยสลายของฟางข้าวจะเข้าไปแทรกอยู่ตามช่องว่างของดิน ทำให้เกิดโครงสร้างของดินที่สามารถดูดซับน้ำได้ ซึ่งง่ายต่อการเตรียมดิน การปักดำ และทำให้รากพืชเจริญเติบโตแพร่กระจายในดินได้มากขึ้น ดินมีการระบายอากาศมากขึ้น การซึมผ่านของน้ำและการอุ้มน้ำของดินดีขึ้น [2]

2.10.2 การปรับปรุงสมบัติทางเคมีของดิน เมื่อฟางข้าวย่อยสลาย จะปลดปล่อยให้ธาตุอาหารพืชแก่ดินโดยตรง ถึงแม้จะมีปริมาณธาตุอาหารน้อยกว่าปุ๋ยเคมี แต่จะมีทั้งธาตุอาหารหลักและธาตุอาหารรอง ซึ่งจะค่อยๆ ปลดปล่อยให้เป็นประโยชน์ต่อพืชในระยะยาว ช่วยลดยี้ดธาตุอาหารจากการใส่ปุ๋ยเคมีไม่ให้สูญเสียไปจากดิน โดยง่าย ซึ่งพืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ เป็นการเพิ่มประสิทธิภาพและลดปริมาณการใช้ปุ๋ยเคมี [2]

2.10.3 การปรับปรุงสมบัติทางชีวภาพของดิน ฟางข้าวช่วยทำให้ดินมีปริมาณอินทรีย์วัตถุเพิ่มขึ้น อินทรีย์วัตถุที่เพิ่มขึ้นเป็นแหล่งอาหารและพลังงานของจุลินทรีย์ในดิน ทำให้ปริมาณและกิจกรรมของจุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนธาตุอาหารในดินให้อยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืชเพิ่มขึ้น [17]

Ahn *et al.* [28] รายงานว่าสารเคมีที่เป็นองค์ประกอบในฟางข้าว เมื่อศึกษาองค์ประกอบทางเคมีพบว่าส่วนใหญ่คือสารในกลุ่ม p-hydroxybenzoic acid, p-coumaric acid, ferulic acid, vanillic acid, salicylic acid, syringic acid และ benzoic acid ซึ่งสารดังกล่าวนี้มีคุณสมบัติสามารถยับยั้งการเจริญเติบโตและยับยั้งกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืชและสาหร่าย

2.11 กระบวนการจัดการฟางข้าวหลังการเก็บเกี่ยว

หลังจากเกษตรกรเก็บเกี่ยวข้าว สิ่งที่เหลือทิ้งไว้ในทุ่งนา คือ ฟางข้าว ซึ่งเกษตรกรส่วนใหญ่จะเลือกใช้วิธีการที่แตกต่างกันออกไป แล้วแต่ความถนัดและความเหมาะสม วิธีการต่างๆ ที่นิยมใช้กันมีดังต่อไปนี้

2.11.1 การปล่อยทิ้งฟางข้าวไว้ในทุ่งนา วิธีนี้เป็นวิธีดั้งเดิมที่เกษตรกรนิยมใช้กันทั่วไปในพื้นที่ปลูกข้าวนาปี โดยปล่อยฟางทิ้งไว้ในทุ่งนาให้เกิดการย่อยสลายตามธรรมชาติ ปัจจุบัน เกษตรกรประมาณ 50% เลือกใช้วิธีการดังกล่าว โดยเฉพาะในพื้นที่ทำนาปีที่มีการปลูกข้าวเพียงครั้งเดียวต่อปี เนื่องจากเป็นวิธีการที่ง่าย เสียค่าใช้จ่ายต่ำ ใช้แรงงานและเวลาในการจัดการน้อย แต่ว่าปริมาณธาตุอาหารที่จะสะสมในดินอาจมีน้อย เนื่องจากการทิ้งฟางข้าวไว้นานจนกว่าจะถึงฤดูทำนาอาจทำให้ปริมาณของฟางข้าวลดลง และธาตุอาหารเช่น ไนโตรเจน สูญเสียไป [2]

2.11.2 การนำฟางข้าวไปเลี้ยงสัตว์และขายให้คนอื่น การนำฟางข้าวไปเลี้ยงสัตว์เป็นวิธีการที่เกษตรกรใช้กันมานาน และในปัจจุบัน เกษตรกรจำนวนหนึ่งก็จะขายฟางข้าวให้กับเกษตรกรผู้เลี้ยงสัตว์ เพราะเกษตรกรเริ่มมีการนำเครื่องจักรนวดข้าวมาใช้ แล้วมีการอัดฟางเป็นก้อน ทำให้มีความสะดวกยิ่งขึ้นในการขนย้ายและเก็บรักษา พร้อมทั้งความต้องการใช้ประโยชน์ของฟางข้าวนับวันสูงขึ้น ซึ่งมีเกษตรกรประมาณ 30% เลือกใช้วิธีการทั้งสองนี้ วิธีการดังกล่าวทำให้เกษตรกรมีรายรับเพิ่มขึ้นจากการขายฟางข้าวและสัตว์เลี้ยง เป็นการเพิ่มมูลค่าของฟางข้าวให้เกษตรกร แต่วิธีนี้อาจทำให้ดินสูญเสียความอุดมสมบูรณ์ไปเรื่อยๆ ถ้ามีการขนย้ายฟางข้าวออกจากทุ่งนาอย่างต่อเนื่องกันในแต่ละปี [17]

2.11.3 การเผาฟางข้าวหลังการเก็บเกี่ยว วิธีนี้นิยมใช้กันเฉพาะในพื้นที่ทำนาเขตชลประทานที่มีการปลูกข้าวจำนวนสองครั้งต่อปี เกษตรกรประมาณ 15% จะเผาฟางข้าวหลังการเก็บเกี่ยวข้าวนาปีเพื่อเตรียมพื้นที่เพาะปลูกข้าวนาปีต่อไป เพราะการเผาฟางข้าวทำให้การเตรียมพื้นที่เพาะปลูกสะดวกขึ้น โดยมีค่าใช้จ่ายเพียงเล็กน้อยในการจัดการฟางข้าว นอกจากนั้น ยังช่วยทำลายวงจรชีวิตของแมลงศัตรูพืชและเชื้อโรคที่มีการระบาดในพื้นที่ได้ แต่ว่าการเผาฟางข้าวก็อาจทำลายสิ่งมีชีวิตที่เป็นประโยชน์ที่อยู่ในดิน โครงสร้างของดินถูกทำลาย ดินสูญเสียธาตุอาหาร เช่น คาร์บอนและ

ไนโตรเจนจะกลายเป็นก๊าซสูญเสียไปในบรรยากาศ และยังเป็นมลพิษอีกด้วย โดยเฉพาะก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ส่วนฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมจะแปรสภาพเป็นรูปจืดที่สูญเสียไปกับลมได้ง่าย [4]

2.11.4 การใช้ฟางข้าวเป็นพลังงานทดแทน ฟางข้าวมีศักยภาพเพียงพอที่จะนำไปใช้เป็นพลังงานทดแทนได้ด้วยการนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงของหม้อต้มน้ำในโรงงานอุตสาหกรรม นำไปผลิตเป็นกระแสไฟฟ้า เป็นต้น การจัดการฟางข้าวแบบนี้เป็นการเพิ่มมูลค่าเศรษฐกิจของฟางข้าวให้สูงขึ้น และนำไปใช้เป็นพลังงานทดแทนพลังงานฟอสซิลที่นับวันจะหมดไปทุกที แต่ฟางข้าวเป็นชีวมวลที่ให้ความร้อนต่ำ ยุ่งยากในการเก็บรวบรวม และมีค่าใช้จ่ายในการขนส่งสูง นอกจากนี้แล้ว การผลิตพลังงานทดแทนต้องใช้ฟางข้าวปริมาณมาก เมื่อนำฟางข้าวออกไปจากพื้นที่น่าจะทำให้ธาตุอาหารที่มีอยู่ถูกนำออกไปด้วย [2]

2.11.5 การทำปุ๋ยหมักจากฟางข้าว วิธีนี้เป็นการนำฟางข้าวหมักร่วมกับมูลสัตว์ ปุ๋ยเคมี หรือจุลินทรีย์ เมื่อหมักแล้วฟางข้าวจะเปลี่ยนสภาพจากเดิมเป็นผงเปื่อยยุ่ยสีน้ำตาลปนดำ สามารถนำไปใช้ได้เลย แต่วิธีการนี้เกษตรกรปฏิบัติกันน้อยมาก เพราะเกษตรกรเห็นว่ายุ่งยากในการปฏิบัติ ต้องใช้ทั้งค่าใช้จ่าย เวลา และแรงงานในการจัดการ นอกจากนี้ เกษตรกรยังขาดความรู้ความเข้าใจ อย่างไรก็ตาม การหมักจะทำให้ปริมาณธาตุอาหารพืชเพิ่มสูงขึ้น สามารถนำมาใช้ได้ง่าย เนื่องจากฟางข้าวจะมีขนาดเล็กลง และความเป็นประโยชน์ต่อพืชจะมากกว่าฟางข้าวที่ไม่ได้หมัก [12]

2.11.6 การไถกลบฟางข้าวหลังการเก็บเกี่ยว วิธีนี้เป็นการไถกลบฟางข้าวที่มีอยู่ในนาภายหลังการเก็บเกี่ยวผลผลิตแล้ว ลงไปในดิน ในขณะที่ดินยังมีความชื้น และปล่อยทิ้งไว้เพื่อให้เกิดการย่อยสลายในดิน ซึ่งจะกลายเป็นแหล่งอินทรีย์วัตถุและธาตุอาหารพืชให้กับดิน หลังจากนั้นจึงปลูกพืชผลตามที่ต้องการต่อไป วิธีการนี้เกษตรกรนิยมปฏิบัติกันในพื้นที่ทำนาปี กล่าวคือ หลังเก็บเกี่ยวข้าวแล้วจะมีเกษตรกรประมาณ 50% ที่ทิ้งฟางข้าวไว้ในทุ่งนา โดยเฉพาะต่อซังข้าว เมื่อเข้าสู่ต้นฤดูฝนประมาณปลายเดือนเมษายนหรือต้นเดือนพฤษภาคม เกษตรกรจะเตรียมดินครั้งที่หนึ่งเรียกว่า ไถสุด (ไถตะ) แล้วปล่อยน้ำเข้านาให้ท่วมวัสดุ หมักทิ้งไว้เพื่อให้ต่อซังและฟางข้าวเกิดการย่อยสลาย แล้วจึงไถครั้งที่สอง เรียกว่า ไถคัน (ไถแปร) หลังจากนั้นจึงปลูกพืชหลักต่อไป [17]

2.12 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับสาหร่าย *Microcystis* spp.

Barreiro *et al.* [32] ศึกษาแพลงก์ตอนพืชและพืชน้ำต่างๆเป็นอาหารสำหรับสัตว์น้ำในทะเลสาบลากูนา เดอ (Laguna de) ในสาธารณรัฐฟิลิปปินส์ แหล่งน้ำที่มีการเจริญเติบโตของสาหร่าย *M. aeruginosa* โดยได้ศึกษาการเจริญเติบโตของสาหร่ายชนิดนี้ในระหว่างเดือนพฤษภาคมถึงเดือน

กรกฏาคมและจากเดือนกันยายนถึงเดือนพฤศจิกายน เก็บตัวอย่างน้ำที่มีสาหร่าย *M. aeruginosa* ซึ่งเป็นสาหร่ายชนิดเด่นที่พบในทะเลสาบ นำมาแยกเอาสิ่งเจือปนต่างๆออกและวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของสาหร่าย พบว่าในแหล่งน้ำมีปริมาณไนเตรต-ไนโตรเจน (nitrate-nitrogen) 0.530 มิลลิกรัมต่อลิตร และปริมาณฟอสเฟต-ฟอสฟอรัส (phosphate-phosphorus) 0.024 มิลลิกรัมต่อลิตร อัตราการเจริญเติบโตของสาหร่ายชนิดนี้มีค่าสูงสุดเท่ากับ 0.671 ต่อวันในระหว่างเดือนพฤษภาคมถึงเดือนกรกฎาคม และ 0.668 ต่อวันในระหว่างเดือนกันยายนถึงเดือนพฤศจิกายน ผลผลิตจากเซลล์มีค่าสูงสุดเท่ากับ 6.54 เซลล์ต่อมิลลิลิตรในระหว่างเดือนพฤษภาคมถึงเดือนกรกฎาคม และ 6.54 เซลล์ต่อมิลลิลิตรในระหว่างเดือนกันยายนถึงเดือนพฤศจิกายน ตามลำดับ

Sigrud *et al.* [65] ศึกษาแหล่งน้ำในทวีปแอฟริกาที่พบการเจริญอย่างรวดเร็วของไซยาโนแบคทีเรียที่ผลิตสารพิษพบว่า พบว่าทะเลสาบในทวีปแอฟริกามีการเจริญอย่างรวดเร็วของไซยาโนแบคทีเรียที่ผลิตสารพิษอยู่น้อยมาก แต่พบว่าบางแหล่งน้ำในสาธารณรัฐเคนยาและสาธารณรัฐยูกันดา โดยเฉพาะแหล่งน้ำที่มีความสำคัญต่อประชากร พบสาหร่าย *Microcystis aeruginosa* จำนวน 24 สายพันธุ์ โดยความหลากหลายทางชีวภาพของสาหร่าย *Microcystis aeruginosa* ในระดับยีน ที่ได้จากการศึกษาลักษณะโครงสร้างของยีนทั้ง 10 จีโนไทป์ โดยการแยกลำดับของดีเอ็นเอ (DNA) ลักษณะของยีน PC-IGS และ I_{TS1} rDNA พร้อมทั้งการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีด้วยวิธี MALDI-TOF-MS พบว่ามี 4 สายพันธุ์ จาก 24 สายพันธุ์ที่แยกได้จากแหล่งน้ำต่างๆในแอฟริกาตะวันออกสามารถสารพิษไมโครซิสตินได้

Soumaya *et al.* [64] ศึกษาความเป็นพิษของสาหร่าย *Microcystis aeruginosa* และสาหร่าย *Oscillatoria tenuis* ในเขื่อนแลปนา (Labna) สาธารณรัฐตูนิเซีย โดยศึกษาคุณภาพน้ำในระหว่างเดือนมกราคมถึงเดือนธันวาคม ค.ศ. 2005 พบว่าคุณภาพน้ำของเขื่อนแลปนาจัดเป็นแหล่งน้ำที่มีสารอาหารปนเปื้อนในปริมาณที่สูง จัดอยู่ในกลุ่มคุณภาพน้ำไม่ดี เมื่อศึกษาชนิดสารพิษ microcystin ที่สาหร่ายทั้งสองชนิดผลิตในแหล่งน้ำ พบว่าสามารถสร้างสารพิษ microcystin ได้ทั้งชนิด LR และ YR

เนติ [5] ศึกษาสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน *Microcystis* spp. และตรวจสอบคุณภาพน้ำ ในอ่างเก็บน้ำหนองหาร จังหวัดสกลนคร ในปีพ.ศ. 2543 ถึง พ.ศ.2544 พบว่าปริมาณสาหร่าย *Microcystis aeruginosa* ในอ่างเก็บน้ำหนองหารมีจำนวนน้อย แต่กลับตรวจพบสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินชนิดอื่นที่มีความสามารถในการสร้างสารพิษได้ทั้งหมด 6 ชนิด 15 สปีชีส์ ได้แก่ *Anabaena catenula* (Kg.) Born *et. Flah*, *Anabaena* sp.1, *Anabaena* sp.2, *Lyngbya* sp.1, *Lyngbya* sp.2, *Microcystis aeruginosa* Kütz., *Microcystis incerta* Lemm., *Oscillatoria* sp.1, *Oscillatoria* sp.2., *Oscillatoria* sp.3, *Oscillatoria* sp.4, *Pseudanabaena catenata* Lauterb., *Pseudanabaena mucicola* Naum. & Hub.-

Pest, *Pseudanabaena* sp. และ *Phormidium* sp. และจากการตรวจสอบชนิดสารพิษไมโครซิสตินในอ่างเก็บน้ำ พบสารพิษไมโครซิสตินทั้งชนิด LR และชนิด RR นอกจากนี้ยังตรวจพบสารพิษไมโครซิสตินชนิด RR ตลอดเก็บตัวอย่างแต่ปริมาณสารพิษมีค่าไม่เกินค่ามาตรฐานองค์การอนามัยโลก (WHO) ที่กำหนดไว้

Wang *et al.* [50] ได้ศึกษาการยับยั้งการเจริญเติบโตของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินสองชนิด ได้แก่สาหร่าย *Microcystis aeruginosa* และสาหร่าย *Anabeana spiroides* เพิ่มความเป็นกรดโดยใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ โดยเติมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ลงไปในอาหารสูตร M 11 ที่ใช้เพาะเลี้ยงสาหร่าย *Microcystis aeruginosa* และสาหร่าย *Anabeana spiroides* ปริมาตร 10, 30 และ 50 มิลลิลิตร ต่อนาฬิกา โดยกำหนดชุดการทดลองออกเป็น 2 ชุดการทดลองคือชุดการทดลองที่ 1 เติมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 2 ครั้ง/วัน และชุดการทดลองที่ 2 เติมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 4 ครั้งต่อวัน เป็นเวลา 14 วันและทำการวิเคราะห์โดยการทดสอบหา ค่า pH, ค่าออกซิเจนที่ละลายในน้ำ, ค่าคลอโรฟิลล์ แสง และวิเคราะห์หาปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ พบว่าในการเติมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ปริมาตร 50 มิลลิลิตรต่อนาฬิกา สามารถยับยั้งการเจริญของสาหร่ายได้ดีที่สุด คือสามารถทำให้อาหารที่ใช้เพาะเลี้ยงสาหร่ายมีค่า pH ลดลงเหลือ 5.5 ซึ่งเป็นค่าความเป็นกรด-ด่างสูงสุด มีค่าคลอโรฟิลล์ เอ และค่าออกซิเจนที่ละลายน้ำลดลงมากที่สุด คือ 2.00 และ 5.00 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ รองลงมาคือการเติมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ปริมาตร 30 มิลลิลิตรต่อนาฬิกา ส่วนการเติมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ปริมาตร 10 มิลลิลิตรต่อนาฬิกา ทำให้ค่า pH ของน้ำลดลงแต่ไม่สามารถกำจัดสาหร่ายทั้งสองชนิดได้

Xi *et al.* [51] ได้ศึกษาผลของการใช้ต้นข้าวบาร์เลย์ยับยั้งการเจริญเติบโตของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน *Microcystis aeruginosa* โดยเลี้ยงสาหร่ายในอาหารสูตร BG-11 จากนั้นเติมน้ำฟางข้าวบาร์เลย์ที่ผ่านการตัดเป็นท่อนและแช่ในน้ำที่ผ่านการพ่นอากาศปริมาตร 5 ลิตรบ่มที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 50 วัน จากนั้นเติมสารละลายที่สกัดจากฟางข้าวบาร์เลย์ลงในอาหารเลี้ยงสาหร่ายปริมาตร 0.5-8 กรัมต่อลิตร ติดตามผลการทดลองในวันที่ 1, 5 และ 15 วันพบว่าน้ำสกัดจากฟางข้าวบาร์เลย์สามารถที่จะลดปริมาณสาหร่าย *Microcystis aeruginosa* ได้สูงสุดที่ระดับความเข้มข้น 8 กรัมต่อลิตร สามารถลดปริมาณสาหร่ายได้ร้อยละ 85

Jin *et al.* [40] ได้ศึกษาผลของแลนทานัม (III) และ EDTA ต่อการเจริญเติบโตและการแข่งขันของสาหร่าย *Microcystis aeruginosa* และสาหร่าย *Scenedesmus quadricauda* โดยการทดสอบสารละลายแลนทานัมที่ระดับความเข้มข้น 0, 0.72, 7.2 และ 72 ไมโครโมลต่อลิตร ผสมกับสารละลาย EDTA ที่ระดับความเข้มข้น 0.26, 2.6, 13.4 และ 26.9 ไมโครโมลต่อลิตรตามลำดับ พบว่าสารละลายแลนทานัมที่ระดับความเข้มข้น 72 ไมโครโมลต่อลิตรผสมกับสารละลาย EDTA ที่ระดับ

ความเข้มข้น 26.9 ไมโครโมลต่อลิตรจะสามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของสาหร่ายทั้งสองชนิดได้ แต่สารละลายแลนทานัมที่ระดับความเข้มข้น 0, 0.72 และ 7.2 ไมโครโมลต่อลิตรผสมกับสารละลาย EDTA ที่ระดับความเข้มข้น 2.6, 13.4 และ 26.9 ไมโครโมลต่อลิตรสามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของสาหร่าย *Microcystis aeruginosa* ได้ โดยไม่มีผลต่อการเจริญเติบโตของสาหร่าย *Scenedesmus quadricauda*

Yan *et al.* [52] ได้ศึกษาการยับยั้งการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน โดยใช้สาร Chitosan-Modified Soils ในระบบบ่อเทียม โดยสร้างบ่อเทียมขนาด 1x1x1 เมตร จำนวน 4 บ่อ จากนั้นเติมน้ำจากทะเลสาบได้สู ซึ่ง เป็นแหล่งน้ำที่มีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินทั้ง 4 บ่อ ให้บ่อที่ 1 เป็นบ่อควบคุม โดยไม่มีการเติมสาร Chitosan-Modified Soils บ่อที่ 2 เติมสาร Chitosan-Modified Soils ส่วนบ่อที่ 3 ใช้เมล็ดหญ้าทะเลและปลูกหญ้าทะเลในบ่อ และบ่อที่ 4 เติมสาร Chitosan-Modified Soils พร้อมกับปลูกหญ้าทะเล มีการให้แสง 12 ชั่วโมง สลับกับไม่ให้แสง 12 ชั่วโมง โดยศึกษาปริมาณสาหร่ายจากการวัดปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ พบว่าปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ลดลงมากที่สุดคือ 2.45 mg/l ในบ่อที่มีการใช้สาร Chitosan-Modified Soils ในการกำจัดสาหร่าย

Park *et al.* [44] ได้ศึกษาการใช้ฟางข้าวมายับยั้งการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน *Microcystis aeruginosa* โดยมีวิธีการทดลองคือ นำสาหร่าย *Microcystis aeruginosa* มาเลี้ยงในอาหารสูตร Allen medium จากนั้นนำฟางข้าวที่ผ่านหั่นเป็นท่อน ประมาณ 2 เซนติเมตร มาบดให้ละเอียดแล้วผสมกับเมทานอล จากนั้นจึงนำไป sonicated เป็นเวลา 10 นาทีที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส แล้วจึงนำมาทดสอบกับสาหร่าย *Microcystis aeruginosa* โดยการนำสาหร่ายปริมาตร 10 มิลลิลิตรใส่ในอาหาร 90 ml และเติมสารสกัดจากฟางข้าว 0.01, 0.1, 1.0 และ 10 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ แล้วนับจำนวนเซลล์ ด้วย Haemocytometer พบว่าสารสกัดจากฟางข้าวที่ระดับความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถลดจำนวนเซลล์ของสาหร่ายได้มากที่สุด รองลงมาคือ 1, 0.1 และ 0.01 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ เมื่อทดสอบสารสกัดจากฟางข้าวด้วยการนำไปฆ่าเชื้อเปรียบเทียบกับสารสกัดจากฟางข้าวที่ไม่ฆ่าเชื้อด้วยการกรองด้วยกระดาษกรองพบว่าสารสกัดที่ผ่านกระบวนการทั้งสองสามารถลดจำนวนสาหร่ายได้มากที่สุดที่ระดับความเข้มข้น 1 มิลลิกรัมต่อลิตรและเมื่อทดสอบกับตัวอย่างน้ำธรรมชาติพบว่าสารสกัดที่ผ่านกระบวนการทั้งสองสามารถลดจำนวนสาหร่ายได้ผลที่ใกล้เคียงกัน

Mulderij *et al.* [43] ได้ศึกษาฤทธิ์ของพืช *Stratiotes aloides* ในการยับยั้งการเจริญเติบโตของแพลงก์ตอนพืช โดยการนำ *Microcystis aeruginosa*, *Scenedesmus obliquus* และ *Nannochloropsis*

limnetica มาเลี้ยงในบ่อขนาด 60 ลิตร จำนวน 2 บ่อ โดยบ่อที่ 1 เป็นบ่อควบคุม และบ่อที่ 2 ปลูกพืช *Stratiotes aloides* ไว้ในบ่อพบว่าพืช *Stratiotes aloides* มีผลยับยั้งการเจริญเติบโตของสาหร่ายสองชนิดคือ *Microcystis aeruginosa* และ *Scenedesmus obliquus* โดยยับยั้งการเจริญเติบโตของสาหร่ายทั้งสองชนิดคิดเป็นร้อยละ 8-51%

Hullebusch *et al.* [39] ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับผลกระทบของสารคอปเปอร์ซัลเฟตในการบำบัดน้ำในแหล่งน้ำที่เกิดปรากฏการณ์ยูโทรฟิเคชัน ณ ทะเลสาบ Courtille เมือง Courtille สาธารณรัฐฝรั่งเศส โดยพบว่าแหล่งน้ำแห่งนี้เกิดการเจริญเป็นจำนวนมากของสาหร่ายพิษ *Microcystis* มากกว่า 10 โคลโลนีต่อมิลลิลิตร จึงได้มีการนำสารคอปเปอร์ซัลเฟต ($\text{CuSO}_4 \cdot 5 \text{H}_2\text{O}$) ในปริมาณ 63 กรัมต่อน้ำ 1 ลิตร มาใช้ในการกำจัดสาหร่ายดังกล่าว ผลการวิจัยพบว่า ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ในแหล่งน้ำแห่งนี้ลดลงภายใน 2 วัน ซึ่งหมายถึงสารคอปเปอร์ซัลเฟตสามารถกำจัดสาหร่ายพิษชนิดดังกล่าวได้ แต่พบว่าหลังจากนั้นประมาณ 2 เดือน กลับเกิดการเจริญเป็นจำนวนมากของสาหร่ายพิษชนิดดังกล่าวขึ้นมาอีกครั้ง

Ball *et al.* [55] ศึกษาการควบคุมการเจริญเติบโตของสาหร่ายด้วยสารสกัดจากฟางข้าวบาร์เลย์ โดยศึกษาฟางข้าวสดเปรียบเทียบกับฟางข้าวที่ผ่านการย่อยสลายแล้วจากนั้นนำฟางข้าวทั้งสองชุดการทดลองมาตัดให้เป็นท่อนยาว 2 เซนติเมตร นำฟางข้าวปริมาณ 10 กรัม ไปปั่นให้เป็นชิ้นเล็กๆเป็นเวลา 2 นาทีแล้วนำไปต้มในน้ำเดือดปริมาตร 200 มิลลิลิตร เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ทิ้งไว้ให้เย็น แล้วกรองด้วยกระดาษกรอง (Whatman GF/C) ปรับความเข้มข้นให้ได้ร้อยละ 1 ด้วยน้ำกลั่น แล้วนำไปทดสอบกับน้ำตัวอย่างที่มีการเจริญเติบโตของสาหร่ายปริมาตร 20 ลิตร ด้วยสารสกัดที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.005, 0.01, 0.5 และ 1 ตามลำดับ ทำการทดลองเป็นเวลา 28 วัน พบว่า ที่ระดับความเข้มข้นของสารสกัดจากฟางข้าวสด ร้อยละ 1 สามารถควบคุมการเจริญเติบโตของสาหร่ายได้ โดยสามารถลดปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ได้ 1,160 ไมโครกรัมต่อลิตร คิดเป็นร้อยละ 33 หลังการทดลองเป็นเวลา 28 วัน

Everall *et al.* [56] ศึกษาการใช้ฟางข้าวบาร์เลย์ในการควบคุมสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินที่เจริญเติบโตในทะเลสาบเคอร์บีเชอร์ ในสหราชอาณาจักร โดยการใช้ฟางข้าวน้ำหนัก 2.5 ตัน นำมาห่อด้วยตาข่ายพลาสติกนำไปวางบนผิวน้ำทั้งหมด 5 จุดที่มีสาหร่ายเจริญเติบโต เป็นระยะเวลา 34 สัปดาห์ และตรวจติดตามเป็นระยะเวลา 3 ปี และเก็บตัวอย่างน้ำนำมาวิเคราะห์ผลจำนวนเซลล์และสารอาหาร พบว่าการใช้ฟางข้าวบาร์เลย์สามารถลดได้ทั้งจำนวนเซลล์ของแพลงก์ตอนพืชและสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน รวมถึงปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ได้ถึงร้อยละ 90 และสามารถลดสารอาหารทั้งสามชนิดได้แก่ แอมโมเนีย ไนเตรต และ ออร์โทฟอสเฟต ได้มากกว่าร้อยละ 90 เช่นเดียวกัน เมื่อนำ

ฟางข้าวมาวิเคราะห์สารประกอบพบ สาร Hydrocinnamic acid, Hexadecanoic acid, 9-Eicosene และ Benzoic acid เป็นองค์ประกอบที่พบมากที่สุด

สุบิน [21] ได้ศึกษาการควบคุมสาหร่าย *Microcystis aeruginosa* ที่ผลิตสารพิษโดยใช้หอยมุกน้ำจืด (*Chamberlainia hainesiana*) ในสภาพแหล่งน้ำตามธรรมชาติ ซึ่งได้ศึกษาในแหล่งน้ำที่มีการเจริญของสาหร่ายพิษ 2 แหล่งคือสระน้ำในศูนย์พัฒนาฝีมือแรงงาน ตำบลคลองห้า อำเภอลองหลวง จังหวัดปทุมธานี และบ่อเลี้ยงปลาดุก ตำบลคลองห้า อำเภอลองหลวง จังหวัดปทุมธานี จากนั้นนำหอยมุกน้ำจืดขนาดใหญ่และขนาดเล็กมาเลี้ยงในท่อนลอยขนาด 1x1 เมตรท่อนละ 30 ตัว แขนงท่อนให้อยู่ต่ำกว่าระดับผิวน้ำ 50 เซนติเมตร พบว่าหอยขนาดใหญ่และหอยขนาดเล็ก มีประสิทธิภาพในการลดจำนวนสาหร่าย *Microcystis aeruginosa* ได้มากถึงร้อยละ 97.26 และ 82.71 ตามลำดับ และจากการตรวจวิเคราะห์ปริมาณสารพิษไมโครซิสติสซินคอรอาร์ที่สะสมในเนื้อหอยพบว่าหอยมุกน้ำจืดขนาดเล็กมีการสะสมสารพิษไมโครซิสติสซินคอรอาร์สูงกว่าหอยขนาดใหญ่

เพ็ญประภา [9] ได้ศึกษาสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพจากสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินเพื่อควบคุมสาหร่ายที่ผลิตสารพิษ *Microcystis aeruginosa* โดยนำสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินจำนวน 29 สายพันธุ์ มาคัดเลือกสายพันธุ์ที่สามารถผลิตสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพในการยับยั้งการเจริญเติบโตของสาหร่าย *Microcystis aeruginosa* TISTR 8305 วิธีการคือนำสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินทั้ง 29 สายพันธุ์มาเพาะเลี้ยงร่วมกันกับสาหร่าย *Microcystis aeruginosa* TISTR 8305 ในอาหารสูตร BGA+N เพาะเลี้ยงเป็นเวลา 14 วัน จากนั้นนำสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินที่มีประสิทธิภาพยับยั้งการเจริญเติบโตดีที่สุดมาสกัดหยาบด้วย คลอโรฟอร์มต่อเมทานอล ต่อ น้ำ ในอัตราส่วน 6 ต่อ 4 ต่อ 1 ที่ความเข้มข้น 1,000 ไมโครกรัมต่อแผ่น จากนั้นจึงนำมาทดสอบประสิทธิภาพการยับยั้งการเจริญเติบโตของสาหร่าย *Microcystis aeruginosa* TISTR 8305 และแยกสารสกัดหยาบให้บริสุทธิ์ด้วยวิธีทินเลเซอร์โครมาโตกราฟีด้วยตัวทำละลายที่เหมาะสม พบว่าจากสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินทั้งหมด 29 สายพันธุ์ มีสาหร่ายเพียง 16 สายพันธุ์ที่สามารถผลิตสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ และมี 3 สายพันธุ์ที่สามารถสร้างสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของสาหร่าย *Microcystis aeruginosa* TISTR 8305 ได้ดีที่สุดคือ *Anabaena* sp. TISTR 8077, *Hapalosiphon fontinalis* TISTR 8225 และ *Anabaena variabilis* TISTR 8404 จากนั้นนำสาหร่ายทั้ง 3 สายพันธุ์มาสกัดหยาบด้วยตัวทำละลายพบว่าปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่ผลิตได้จากสาหร่ายทั้ง 3 สายพันธุ์มีปริมาณ 0.07 มิลลิกรัมต่อลิตรหรือ 0.35 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้งของสาหร่าย สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่สกัดได้มีความคงตัวที่อุณหภูมิ 25-30 องศาเซลเซียสและมีค่ากรด-เบสคือ 6-7

แสงดาว [22] ได้ศึกษาศักยภาพของสารสกัดจากเสม็ด (Cajuput tree) ในการยับยั้งการเจริญเติบโตของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน *Microcystis aeruginosa* และ *Anabaena simensis* (Antarikanonda) โดยนำสาหร่าย *Microcystis aeruginosa* และ *Anabaena simensis* (Antarikanonda) มาเลี้ยงในอาหารสูตร BG 11 เป็นระยะเวลา 30 วัน จากนั้นสกัดสารจาก เมล็ดมะรุม ต้นหูเสือ ต้นผักเสี้ยนผี เมล็ดเสม็ด และต้นรางจืด โดยนำพืชทั้งหมด ไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส แล้วบดให้ละเอียดด้วยเครื่องบดไฟฟ้า ชั่งน้ำหนักพืชทุกชนิด ชนิดละ 150 กรัม นำไปสกัดด้วยเมทานอล ปริมาตร 1 ลิตรจำนวน 3-4 ครั้ง จากนั้นกรองด้วยกระดาษกรองและนำตัวอย่างไประเหยด้วยเครื่องระเหยสูญญากาศจนแห้งจากนั้นจึงนำสารสกัดจากพืชทั้ง 4 ชนิดไปทดสอบกับสาหร่าย *Microcystis aeruginosa* และ *Anabaena simensis* (Antarikanonda) ซึ่งมีการนำสาหร่ายทั้ง 2 ชนิดมาเลี้ยงในหลอดทดลอง และเติมสารสกัดจากพืชทั้ง 4 ชนิดที่ระดับความเข้มข้น 100, 1,000, 5,000, 7,500 และ 10,000 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ ตรวจสอบโดยการวัดปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ และนำผลการทดลองที่ดีที่สุดไปทดสอบในบ่อทดลองพบว่าในสารสกัดจากทั้ง 4 ชนิดสารสกัดที่มีประสิทธิภาพสูงสุดคือสารสกัดจากเมล็ดเสม็ด จากนั้นนำสารสกัดจากเมล็ดเสม็ดมาทดสอบในบ่อทดลองพบว่าที่ระดับความเข้มข้น 5,000 และ 7,500 มิลลิกรัมต่อลิตรสามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินได้ และที่ระดับความเข้มข้น 5,000 มิลลิกรัมต่อลิตรสามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินได้เท่ากับระดับความเข้มข้น 7,500 มิลลิกรัมต่อลิตร นอกจากนี้ยังพบว่าสารสกัดจากเมล็ดเสม็ดสามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน โดยสามารถลดปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ จาก 188.8 มิลลิกรัมต่อลิตร เหลือ 109.9 มิลลิกรัมต่อลิตร ได้หลังจากเติมสารสกัดเพียง 7 วัน

อาภารัตน์ และคณะ [23] ศึกษาความสามารถของแบคทีเรียคัดเลือก *Anabaena siamensis* TISTR 8012 ในการยับยั้งการเจริญเติบโตของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน *Microcystis aeruginosa* ในการนำตัวอย่างดินและน้ำ จากแหล่งต่างๆ มาทำการคัดเลือกสายพันธุ์แบคทีเรียที่สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน *Microcystis aeruginosa* TISTR 8325 ที่ผลิตสารพิษ จากการศึกษาถึงวิธีการทดสอบจุลินทรีย์ที่มีความสามารถในการยับยั้งการเจริญเติบโตของสาหร่าย โดยทั่วไปจะใช้วิธีทดสอบบนอาหารวุ้น ซึ่งมีการเจริญเติบโตของสาหร่ายอย่างสม่ำเสมอบนผิวหน้า ในการศึกษาครั้งนี้เนื่องจาก *Microcystis aeruginosa* TISTR 8325 ไม่สามารถเจริญเติบโตได้บนอาหารวุ้นแต่มีลักษณะการเจริญเติบโตแบบแพลงก์ตอนโดยลอยเป็นฟ้านบนผิวน้ำ ในการทดลองนี้จึงใช้ *Anabaena siamensis* TISTR 8012 ซึ่งเป็นสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินชนิดที่เป็นเส้นสาย มีผนังเซลล์บางและถูกทำลายได้ง่าย มีลักษณะเจริญเติบโตเป็นเนื้อเดียวกัน ในอาหารเหลวรวมทั้งสามารถเจริญเติบโตได้ดีบนอาหารสูตร BG 11 เป็นตัวแทนในการทดสอบคัดเลือกเบื้องต้น โดยบ่ม

ตัวอย่างดินและน้ำแต่ละตัวอย่างร่วมกับ *Anabaena siamensis* TISTR 8012 เพื่อเป็นการเพิ่มจำนวนแบคทีเรียที่มีคุณสมบัติในการยับยั้งการเจริญของสาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียวเป็นเวลา 14 วัน สังเกตลักษณะการเจริญโดยรวมและสีของ *Anabaena siamensis* TISTR 8012 เปรียบเทียบกับชุดควบคุมรวมทั้งตรวจดูลักษณะเซลล์ของ *Anabaena siamensis* TISTR 8012 ที่ถูกทำลายโดยแบคทีเรียภายใต้กล้องจุลทรรศน์ จากการศึกษาปริมาณสารพิษไมโครซิสตินในชุดทดสอบที่มีการเติมแบคทีเรียคัดเลือก พบว่ามีปริมาณสารพิษไมโครซิสตินในอาหารมีค่าลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณสารพิษไมโครซิสตินรวมในชุดควบคุม คิดเป็น 90.78 % ในการเปรียบเทียบความสามารถในยับยั้งการเจริญเติบโตของ *Microcystis aeruginosa* โดยแบคทีเรียคัดเลือก พบว่าเมื่อสิ้นสุดการทดลองในวันที่ 7 ปริมาณสารพิษรวมมีการลดลงเมื่อเทียบกับชุดควบคุมคิดเป็น 90.78 %

อรพิน และคณะ [26] ศึกษาการดูดซับปริมาณสารพิษจากสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน (Cyanobacteria) โดยใช้เปลือกไข่ โดยนำเปลือกไข่ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20–40, 40–60 และมากกว่า 60 มิลลิเมตร บรรจุไว้ในคอลัมน์ เรียงลำดับของเปลือกไข่ตามขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางจากมากไปหาน้อยเป็นชั้นๆแบบเพ็คเกจ บีช (packed – bed) จากนั้นผ่านสารพิษไมโครซิสตินที่ความเข้มข้น 200 ไมโครกรัมต่อลิตร อัตราเร็วของการไหลผ่านคอลัมน์ตั้งแต่ 0.5-1.5 มิลลิตรต่อนาที พบว่าการใช้เปลือกไข่สามารถลดปริมาณสารพิษไมโครซิสตินในตัวอย่างได้คิดเป็นร้อยละ 93 เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของแต่ละอัตราเร็วของการไหล พบว่าอัตราเร็วของการไหลในแต่ละระดับสามารถลดปริมาณสารพิษไมโครซิสตินได้ไม่แตกต่างกัน

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 อุปกรณ์ สารเคมี และเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

3.1.1 อุปกรณ์

- 3.1.1.1 กระดาษกรอง GF/C
- 3.1.1.2 กระจกเก็บน้ำตัวอย่าง ขนาด 1 ลิตร
- 3.1.1.3 กระจกตวง ขนาด 100 มิลลิลิตร
- 3.1.1.4 ก่อ้งโฟมสำหรับเก็บรักษาน้ำตัวอย่าง
- 3.1.1.5 ขวดบี้ออดี
- 3.1.1.6 ขวดรูปชมพู่ ขนาด 125 มิลลิลิตร
- 3.1.1.7 ขวดสีชา ขนาด 150 มิลลิลิตร
- 3.1.1.8 ไมโครปิเปต ขนาด 10-100 ไมโครลิตร
- 3.1.1.9 หลอดแก้วหยดสาร
- 3.1.1.10 หลอดทดลอง
- 3.1.1.11 บ่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 เมตร
- 3.1.1.12 บิวเรต
- 3.1.1.13 ปีกเกอร์
- 3.1.1.14 ปิเปตขนาด 0.1, 1, 5 และ 10 มิลลิลิตร
- 3.1.1.15 โหลแก้ว ขนาด เส้นผ่านศูนย์กลาง 25 เซนติเมตร
- 3.1.1.16 เทอร์โมมิเตอร์
- 3.1.1.17 ซีมาไซโตมิเตอร์

3.1.2 สารเคมี

- 3.1.2.1 น้ำกลั่น
- 3.1.2.2 น้ำรีเวิร์สออสโมซิส (R.O)
- 3.1.2.3 สารโคโคซาน
- 3.1.2.4 สารสกัดฟางข้าว
- 3.1.2.5 สารละลายกรดซัลฟูริกเข้มข้น

- 3.1.2.6 สารละลายกรดไนตริกเข้มข้นหรือสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น
- 3.1.2.7 สารละลายมาตรฐานกรดซัลฟูริก ความเข้มข้น 0.02 นอร์มัล
- 3.1.2.8 สารละลายมาตรฐาน โซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 0.025 นอร์มัล
- 3.1.2.9 สารละลายเมทานอล ความเข้มข้น 90%
- 3.1.2.10 สารละลายเมงกานีสซัลเฟต
- 3.1.2.11 สารละลายลูกบอลกรดไฮโดรคลอริก ความเข้มข้น 1 %
- 3.1.2.12 สารละลายอัคราไลน์ไอโอไดด์ไฮดรอกไซด์
- 3.1.2.13 อินดิเคเตอร์ ได้แก่ น้ำแป้ง ฟีนอล์ฟธาไลน์ เมธิลอร์เรนจ์
- 3.1.3 เครื่องมือ
 - 3.1.3.1 กล้องจุลทรรศน์แบบเลนส์ประกอบ
 - 3.1.3.2 เครื่องอัดตราโซนิค
 - 3.1.3.3 เครื่องชั่งน้ำหนัก 4 ตำแหน่ง
 - 3.1.3.4 เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง
 - 3.1.3.5 เครื่องวัดค่าการนำไฟฟ้าและปริมาณของแข็งที่ละลายในน้ำ
 - 3.1.3.6 เครื่องวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง
 - 3.1.3.7 เครื่องปั่นเหวี่ยงความเร็วสูง
 - 3.1.3.8 เครื่องวัดความขุ่น
 - 3.1.3.9 ชุดกรองสุญญากาศ
 - 3.1.3.10 ชุดทดสอบสารพิษไมโครซิสติน
 - 3.1.3.11 ตู้บ่มบีโอดี
 - 3.1.3.12 ตู้ดูดควัน
 - 3.1.3.13 อ่างควบคุมอุณหภูมิ

3.2 วิธีการทดลอง

3.2.1 การทดลองที่ 1 ศึกษาปริมาณของสารโคโตซานที่เหมาะสมในการยับยั้งการเจริญเติบโตของสาหร่าย *Microcystis* spp

3.2.1.1 เตรียมสารโคโตซานเกรดอุตสาหกรรม จากบริษัท มาริน ไบโอดีเอสเซส โดยชั่งสารโคโตซาน 100 มิลลิกรัม ละลายด้วยกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 1% ปริมาตร 10 มิลลิลิตร คนด้วยแท่งแก้วจนเป็นสารละลายเนื้อเดียวกันแล้วปรับปริมาตรให้ได้ 1 ลิตร ด้วยน้ำกลั่น

3.2.1.2 เตรียมตัวอย่างสาหร่าย โดยเก็บตัวอย่างจากแหล่งน้ำธรรมชาติที่มีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วของสาหร่ายพิษ *Microcystis* spp. ใส่ในโหลแก้ว และเติมสารโคโตซานเพื่อใช้บำบัดให้ได้ปริมาตรรวมทั้งหมด 6,000 มิลลิลิตร ตามชุดการทดลองที่กำหนด โดยแบ่งชุดการทดลองออกเป็น 6 ชุดการทดลอง ชุดการทดลองละ 3 ซ้ำดังนี้

ชุดการทดลองที่ 1 ชุดควบคุมชุดที่ไม่ได้เติมสารโคโตซาน

ชุดการทดลองที่ 2 สารโคโตซานความเข้มข้นร้อยละ 2

ชุดการทดลองที่ 3 สารโคโตซานความเข้มข้นร้อยละ 4

ชุดการทดลองที่ 4 สารโคโตซานความเข้มข้นร้อยละ 6

ชุดการทดลองที่ 5 สารโคโตซานความเข้มข้นร้อยละ 8

ชุดการทดลองที่ 6 สารโคโตซานความเข้มข้นร้อยละ 10

ชุดการทดลองทั้งหมดให้รับแสงธรรมชาติเป็นเวลา 30 วันทำการวิเคราะห์ตัวอย่างทุกๆ 3 วันดังนี้

3.2.1.3 ศึกษาจำนวนเซลล์ของสาหร่าย *Microcystis* spp. โดยนำมาแยกเซลล์ให้ออกจากกันเป็นเซลล์เดี่ยวๆ ด้วยเครื่องอัลตราโซนิก แล้วนำมานับจำนวนเซลล์โดยใช้ Haemocytometer

3.2.1.4 ศึกษาปริมาณสาหร่าย *Microcystis* spp. โดยการนำตัวอย่างมาวัดค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 665 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง Spectrophotometer Model UV-1800

3.2.1.5 วิเคราะห์ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ โดยวิธี Nusch, 1975 ดัดแปลงโดย ยุวดีและฉมาภรณ์ [14]

3.2.1.6 วัดความเป็นกรด-ด่าง (pH) โดยใช้เครื่องวัดความเป็นกรด-ด่าง (pH meter) ของ WTW Model pH 330

3.2.2 การทดลองที่ 2 ศึกษาปริมาณสารสกัดฟางข้าวที่เหมาะสมในการยับยั้งการเจริญเติบโตของสาหร่าย *Microcystis* spp.

3.2.2.1 เตรียมน้ำสกัดจากฟางข้าวโดยการนำฟางข้าวมาตัดเป็นท่อนความยาวประมาณ 2 เซนติเมตร ฟางข้าวที่หั่นแล้วไปตากแห้งที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 7 วัน หลังจากนั้นจึงนำ

ฟางข้าวหนัก 20 กรัมผสมกับน้ำรีเวอร์-ออสโมซิส (reverse osmosis) ปริมาตร 400 มิลลิลิตร บ่มที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 5 วัน กรองเอาเฉพาะสารละลายจากน้ำฟางข้าวด้วยกระดาษกรอง GF/C แล้วปรับความเข้มข้นให้ได้ 50 กรัมต่อลิตร

3.2.2.2 เตรียมตัวอย่างสาหร่าย โดยเก็บตัวอย่างจากแหล่งน้ำธรรมชาติที่มีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วของสาหร่ายพิษ *Microcystis* spp. ใส่ในโหลแก้ว เดิมสารสกัดจากฟางข้าวเพื่อใช้บำบัดให้ได้ปริมาตรรวมทั้งหมด 6,000 มิลลิลิตรตามชุดการทดลอง แบ่งชุดการทดลองออกเป็น 6 ชุด ชุดการทดลองละ 3 ซ้ำ ดังนี้

ชุดการทดลองที่ 1 ชุดควบคุมชุดที่ไม่ได้เติมสารสกัดฟางข้าว

ชุดการทดลองที่ 2 สารสกัดฟางข้าวร้อยละ 2

ชุดการทดลองที่ 3 สารสกัดฟางข้าวร้อยละ 4

ชุดการทดลองที่ 4 สารสกัดฟางข้าวร้อยละ 6

ชุดการทดลองที่ 5 สารสกัดฟางข้าวร้อยละ 8

ชุดการทดลองที่ 6 สารสกัดฟางข้าวร้อยละ 10

ชุดการทดลองทั้งหมดให้รับแสงธรรมชาติเป็นเวลา 30 วัน ทำการวิเคราะห์ตัวอย่างทุกๆ 3 วันดังนี้

3.2.2.3 ศึกษาจำนวนเซลล์ของสาหร่าย *Microcystis* spp. โดยนำมาแยกเซลล์ให้ออกจากกันเป็นเซลล์เดี่ยวๆ ด้วยเครื่องอัลตราโซนิค แล้วนำมานับจำนวนเซลล์โดยใช้ Haemocytometer

3.2.2.4 ศึกษาปริมาณสาหร่าย *Microcystis* spp. โดยการนำตัวอย่างมาวัดค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 665 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง Spectrophotometer Model UV-1800

3.2.2.5 วิเคราะห์ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ โดยวิธี Nusch 1975 ดัดแปลงโดยยูวดีและฉมารณ์ [15]

3.2.2.6 วัดความเป็นกรด-ด่าง (pH) โดยใช้เครื่องวัดความเป็นกรด-ด่าง (pH meter) ของ WTW Model pH 330

3.2.3 การทดลองที่ 3 ศึกษาอัตราส่วนของสารไคโตซานและสารสกัดฟางข้าวที่เหมาะสมในการยับยั้งการเจริญเติบโตของสาหร่าย *Microcystis* spp.

3.2.3.1 เตรียมสารไคโตซานเกรดอุตสาหกรรม จากบริษัท มารีนไบโอริชอสเซส โดยชั่งสารไคโตซาน 100 มิลลิกรัมละลายด้วย กรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 1% ปริมาตร 10 มิลลิลิตร คนด้วยแท่งแก้วจนเป็นสารละลายเนื้อเดียวกันแล้วปรับปริมาตรให้ได้ 1 ลิตรด้วยน้ำกลั่น

3.2.3.2 เตรียมน้ำสกัดจากฟางข้าวโดยการนำฟางข้าวมาตัดเป็นท่อนความยาวประมาณ 2 เซนติเมตร ฟางข้าวที่หั่นแล้วไปตากแห้งที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 7 วัน หลังจากนั้นจึงนำ

ฟางข้าวหนัก 20 กรัมไปผสมกับน้ำรีเวอร์ออสโมซิส ปริมาตร 400 มิลลิลิตร บ่มที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 5 วัน กรองเอาเฉพาะสารละลายจากน้ำฟางข้าวด้วยกระดาษกรอง GF/C แล้วปรับความเข้มข้นให้ได้ 10 กรัมต่อลิตร

3.2.3.3 เตรียมตัวอย่างสาหร่าย โดยเก็บตัวอย่างจากแหล่งน้ำธรรมชาติที่มีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วของสาหร่าย *Microcystis* spp. ใส่ในโหลแก้วปริมาตร 5,400 มิลลิลิตร เติมน้ำสารโคโคซานและสารสกัดจากฟางข้าวที่มีความเหมาะสมในการยับยั้งการเจริญเติบโตของสาหร่าย *Microcystis* spp. จากการทดลองที่ 1 และ 2 ปริมาตร 10% ให้ได้ปริมาตรรวมทั้งหมด 6,000 มิลลิลิตร แบ่งชุดการทดลอง ออกเป็น 6 ชุดการทดลอง ชุดการทดลองละ 3 ซ้ำ ดังนี้

ชุดการทดลองที่ 1 ชุดควบคุมชุดที่ไม่เติมน้ำสารโคโคซานและสารสกัดฟางข้าว

ชุดการทดลองที่ 2 เติมน้ำสารโคโคซานปริมาตร 450 มิลลิลิตรผสมกับสารสกัดฟางข้าวปริมาตร 150 มิลลิลิตร (อัตราส่วน 3:1)

ชุดการทดลองที่ 3 เติมน้ำสารโคโคซานปริมาตร 400 มิลลิลิตรผสมกับสารสกัดฟางข้าวปริมาตร 200 มิลลิลิตร (อัตราส่วน 2:1)

ชุดการทดลองที่ 4 เติมน้ำสารโคโคซานปริมาตร 300 มิลลิลิตรผสมกับสารสกัดฟางข้าวปริมาตร 300 มิลลิลิตร (อัตราส่วน 1:1)

ชุดการทดลองที่ 5 เติมน้ำสารโคโคซานปริมาตร 200 มิลลิลิตรผสมกับสารสกัดฟางข้าวปริมาตร 400 มิลลิลิตร (อัตราส่วน 1:2)

ชุดการทดลองที่ 6 เติมน้ำสารโคโคซานปริมาตร 150 มิลลิลิตรผสมกับสารสกัดฟางข้าวปริมาตร 450 มิลลิลิตร (อัตราส่วน 1:3)

ชุดการทดลองทั้งหมดทุกชุดการทดลองนำไปปรับแสงธรรมชาติเป็นเวลา 30 วันทำการวิเคราะห์ตัวอย่างทุกๆ 3 วันดังนี้

3.2.3.4 ศึกษาจำนวนเซลล์ของสาหร่าย *Microcystis* spp. โดยนำมาแยกเซลล์ให้ออกจากกันเป็นเซลล์เดี่ยวๆ ด้วยเครื่องอัลตราโซนิค แล้วนำมานับจำนวนเซลล์โดยใช้ Haemocytometer

3.2.3.5 ศึกษาปริมาณสาหร่าย *Microcystis* spp. โดยการนำตัวอย่างมาวัดค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 665 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง Spectrophotometer Model UV-1800

3.2.3.6 วิเคราะห์ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ โดยวิธี Nusch 1975 ดัดแปลงโดย ชูชาติและ นมาภรณ์ [14]

3.2.3.7 วัดความเป็นกรด-ด่าง (pH) โดยใช้เครื่องวัดความเป็นกรด-ด่าง (pH meter) ของ WTW Model pH 330

3.2.4 การทดลองที่ 4 ศึกษาประสิทธิภาพของสารไคโตซานและสารสกัดฟางข้าวในการยับยั้งการเจริญเติบโตของสาหร่าย *Microcystis* spp. ในบ่อทดลอง ในภาคสนาม

3.2.4.1 นำตัวอย่างน้ำจากแหล่งน้ำธรรมชาติที่มีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว ปริมาตร 450 ลิตร ใส่ในอ่างน้ำขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 เมตร แบ่งชุดการทดลองออกเป็น 2 ชุด ชุดการทดลองละ 3 ซ้ำ ดังนี้

ชุดการทดลองที่ 1 อ่างควบคุมไม่ได้เติมสารไคโตซานและสารสกัดฟางข้าว ปริมาตร 500 ลิตร

ชุดการทดลองที่ 2 เติมสัดส่วนที่สารไคโตซานและสารสกัดฟางข้าวให้ผลการทดลองดีที่สุดจากการทดลองที่ 3 (เติมสารไคโตซานและสารสกัดจากฟางข้าว) ปริมาณ 10% คือ ปริมาตรสารที่ใช้บำบัด 50 ลิตรและตัวอย่างน้ำจากแหล่งน้ำธรรมชาติ 450 ลิตร

3.2.4.2 ศึกษาประสิทธิภาพการยับยั้งการเจริญเติบโตของสาหร่าย *Microcystis* spp. โดยทำการตรวจสอบคุณภาพน้ำรวมทั้งนับจำนวนสาหร่ายพิษดังนี้

ด้านกายภาพ

- (1) ลักษณะของสีและกลิ่นของน้ำ
- (2) วัดอุณหภูมิน้ำ โดยใช้เครื่องวัดค่าการนำไฟฟ้าและปริมาณของแข็งที่ละลายในน้ำ (Conductivity/TDS meter) ของ HACH Model Senlon 5
- (3) วัดค่าการนำไฟฟ้า โดยใช้เครื่องวัดค่าการนำไฟฟ้าและปริมาณของแข็งที่ละลายในน้ำ (Conductivity/TDS meter) ของ HACH Model Senlon 5
- (4) ความเข้มข้นของของแข็งที่ละลายในน้ำ (TDS) โดยใช้เครื่องวัดค่าการนำไฟฟ้าและปริมาณของแข็งที่ละลายในน้ำ (Conductivity/TDS meter) ของ HACH Model Senlon 5

ด้านเคมี

- (1) วัดความเป็นกรด-ด่าง (pH) โดยใช้เครื่องวัดความเป็นกรด-ด่าง (pH meter) ของ WTW Model pH 330
- (2) ค่าความเป็นด่าง (Alkalinity) [29] วิเคราะห์โดยวิธี Indicator method
- (3) ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (Dissolved Oxygen) [29] วิเคราะห์โดยวิธี Azide Modification of the Winkler Method

(4) ปริมาณความต้องการออกซิเจนในการย่อยสลายสารอินทรีย์ (Biochemical Oxygen Demand) [29] วิเคราะห์โดยวิธี 5 Day Incubation and Azide Modification of the Winkler Method

(5) ปริมาณออร์โทฟอสเฟต (Orthophosphate) [29] วิเคราะห์โดยวิธี Ascorbic acid Method โดยใช้เครื่องวัดค่าดูดกลืนแสง (Spectrophotometer) ของ HACH Model DR/2400

(6) ปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจน (Ammonia-Nitrogen) [29] วิเคราะห์โดยวิธี Nesslerization Method โดยใช้เครื่องวัดค่าดูดกลืนแสง (Spectrophotometer) ของ HACH Model DR/2400

(7) ปริมาณไนเตรต-ไนโตรเจน (Nitrate-Nitrogen) [29] วิเคราะห์โดยวิธี Cadmium reduction Method โดยใช้เครื่องวัดค่าดูดกลืนแสง (Spectrophotometer) ของ HACH Model DR/2400

(8) ปริมาณสารไมโครซิสติน วิเคราะห์โดยวิธี Protein Phosphatase Inhibition Assay โดยใช้เครื่อง Microplatereader ของ BIOCHROM Model EZ Read 2000

ด้านชีวภาพ

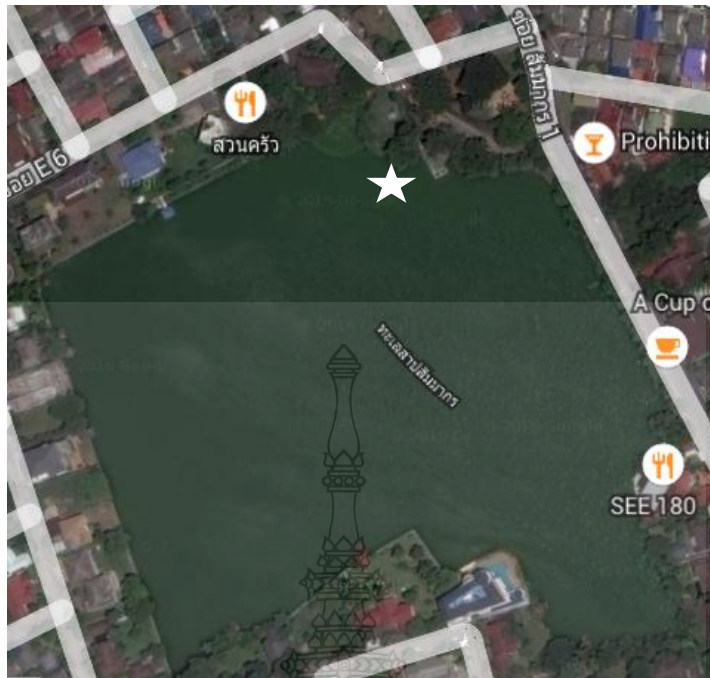
(1) วิเคราะห์คลอโรฟิลล์ เอ โดยวิธี Nusch 1975 คัดแปลงโดย ชูวดีและฉมาภรณ์, [14]

(2) ศึกษาปริมาณเซลล์ของสาหร่ายพิษ *Microcystis* spp. โดยนำมาแยกเซลล์ให้ออกจากกันเป็นเซลล์เดี่ยวๆด้วยเครื่องอัลตราโซนิก แล้วนำมานับจำนวนเซลล์โดยใช้ Haemocytometer

(3) ศึกษาปริมาณสาหร่าย *Microcystis* spp. และวัดปริมาณ ด้วยการวัดค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 665 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง Spectrophotometer Model UV-1800

3.3 การวิเคราะห์ข้อมูล

หาความสัมพันธ์ของคุณภาพน้ำทางด้านกายภาพ เคมีและชีวภาพโดยใช้โปรแกรม SPSS วิเคราะห์ One Way Analysis of Variance และ Duncan's Multiple Range Test เพื่อวิเคราะห์หาประสิทธิภาพที่แตกต่างกันของสารโคโคซานและสารสกัดจากฟางข้าวเปรียบเทียบกับสารโคโคซานที่สกัดจากเปลือกกุ้งและสารสกัดจากฟางข้าวในการยับยั้งการเจริญเติบโตของสาหร่าย *Microcystis* spp.



รูปที่ 3.1 รูปถ่ายดาวเทียมจุดเก็บตัวอย่างด้านข้างโรงสูบน้ำ ซึ่งมีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วของสาหร่าย *Microcystis* spp. ภายในหมู่บ้านสัมมากร รามคำแหง 112



รูปที่ 3.2 รูปถ่ายจุดเก็บตัวอย่างน้ำด้านข้างโรงสูบน้ำ



ชูดควบคุม



สารโคโตซานและสารสกัดฟางข้าว อัตราส่วน 3:1

- รูปที่ 3.3 ประสิทธิภาพของสารโคโตซานและสารสกัดจากฟางข้าวในการยับยั้ง
 การเจริญเติบโตของสาหร่าย *Microcystis* spp. ในบ่อดทดลอง ในภาคสนาม
- (ก) ชูดการทดลองที่ 1 ชูดควบคุม
 - (ข) ชูดการทดลองที่ 2 สารโคโตซานและสารสกัดฟางข้าว อัตราส่วน 3:1

3.4 สถานที่ทำการทดลอง

3.3.1 ห้องปฏิบัติการสาขาวิชา สาขาวิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี อำเภอธัญบุรี จังหวัดปทุมธานี

3.3.2 ห้องปฏิบัติการสิ่งแวดล้อม สาขาวิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรีอำเภอธัญบุรี จังหวัดปทุมธานี

3.3.3 พิพิธภัณฑ์บัว มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี อำเภอธัญบุรี จังหวัดปทุมธานี

3.5 ระยะเวลาที่ใช้

เดือนมิถุนายน พ.ศ. 2557 ถึง เดือนมีนาคม พ.ศ. 2559



บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 ผลของปริมาณสารโคโคซานที่เหมาะสมในการยับยั้งการเจริญเติบโตของสาหร่าย

Microcystis spp.

4.1.1 จำนวนเซลล์ (cell number)

จากการศึกษาผลการเปลี่ยนแปลงจำนวนเซลล์ เมื่อได้รับการยับยั้งการเจริญเติบโตของสาหร่าย *Microcystis* spp. ด้วยสารโคโคซานในอัตราส่วนที่แตกต่างกันตั้งแต่วันที่ 24 มิถุนายน พ.ศ. 2557 ถึง 7 สิงหาคม พ.ศ. 2557 พบว่า

ชุดควบคุม จำนวนเซลล์มีค่าต่ำสุดเท่ากับ 2.09×10^6 เซลล์ต่อมิลลิลิตร ในวันที่ 44 ของการทดลอง และค่าสูงสุดเท่ากับ 5.79×10^6 เซลล์ต่อมิลลิลิตร ในวันที่ 3 ของการทดลองและมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.84×10^6 เซลล์ต่อมิลลิลิตร

ชุดการทดลองที่ 1 จำนวนเซลล์มีค่าต่ำสุดเท่ากับ 1.57×10^6 เซลล์ต่อมิลลิลิตร ในวันที่ 44 ของการทดลอง และค่าสูงสุดเท่ากับ 6.19×10^6 เซลล์ต่อมิลลิลิตร ในวันที่ 1 ของการทดลองและมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.81×10^6 เซลล์ต่อมิลลิลิตร

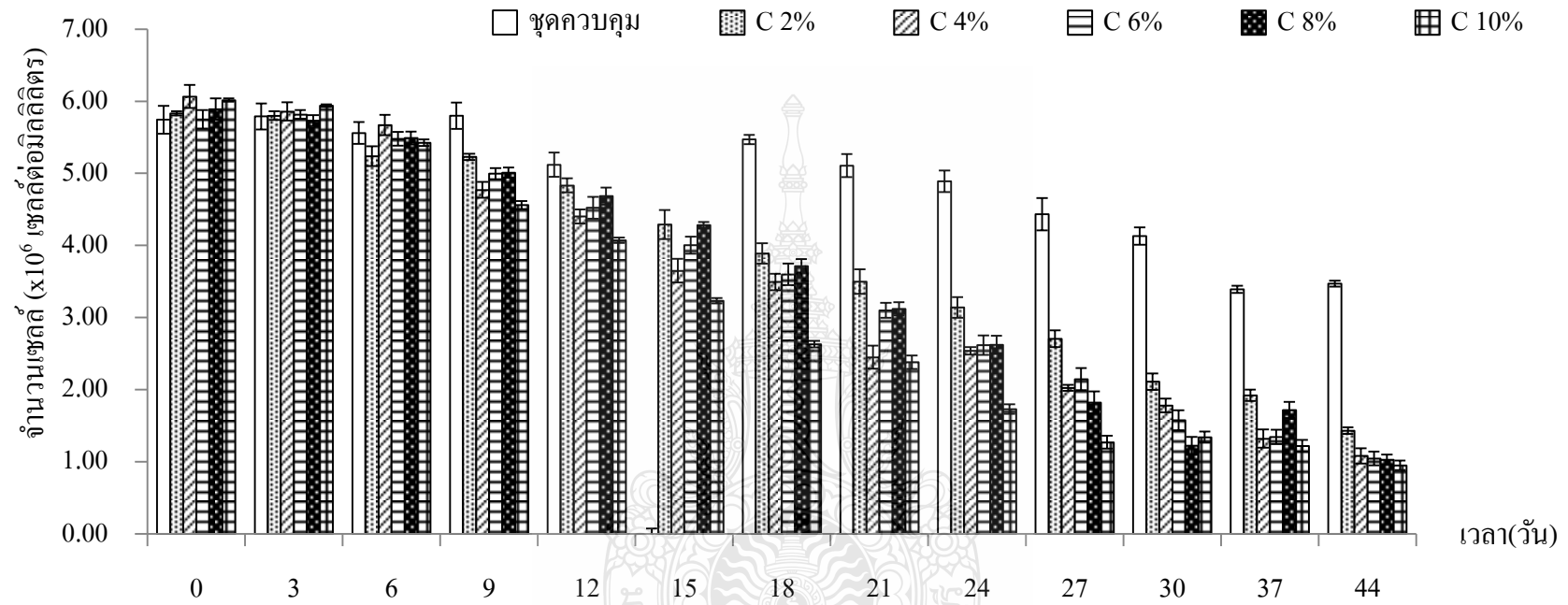
ชุดการทดลองที่ 2 จำนวนเซลล์มีค่าต่ำสุดเท่ากับ 2.29×10^6 เซลล์ต่อมิลลิลิตร ในวันที่ 44 ของการทดลอง และค่าสูงสุดเท่ากับ 6.21×10^6 เซลล์ต่อมิลลิลิตร ในวันที่ 3 ของการทดลองและมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.76×10^6 เซลล์ต่อมิลลิลิตร

ชุดการทดลองที่ 3 จำนวนเซลล์มีค่าต่ำสุดเท่ากับ 2.09×10^6 เซลล์ต่อมิลลิลิตร ในวันที่ 44 ของการทดลอง และค่าสูงสุดเท่ากับ 5.79×10^6 เซลล์ต่อมิลลิลิตร ในวันที่ 3 ของการทดลองและมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.84×10^6 เซลล์ต่อมิลลิลิตร

ชุดการทดลองที่ 4 จำนวนเซลล์มีค่าต่ำสุดเท่ากับ 2.67×10^6 เซลล์ต่อมิลลิลิตร ในวันที่ 44 ของการทดลอง และค่าสูงสุดเท่ากับ 5.31×10^6 เซลล์ต่อมิลลิลิตร ในวันที่ 3 ของการทดลองและมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.84×10^6 เซลล์ต่อมิลลิลิตร

ชุดการทดลองที่ 5 จำนวนเซลล์มีค่าต่ำสุดเท่ากับ 1.09×10^6 เซลล์ต่อมิลลิลิตร ในวันที่ 44 ของการทดลอง และค่าสูงสุดเท่ากับ 5.79×10^6 เซลล์ต่อมิลลิลิตร ในวันที่ 0 ของการทดลองและมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.31×10^6 เซลล์ต่อมิลลิลิตร

จากการศึกษาจำนวนเซลล์สาหร่าย *Microcystis* spp. ในแต่ละชุดการทดลอง พบว่า ก่อนทำการทดลอง จำนวนเซลล์สาหร่าย *Microcystis* spp. เฉลี่ยเท่ากับ 6.01×10^6 เซลล์ต่อมิลลิลิตร และหลังจากการทดสอบสารไคโตซานที่ความเข้มข้นต่างกัน ตั้งแต่วันที่ 3 ถึงวันที่ 44 ของการทดลอง จำนวนเซลล์สาหร่ายในแต่ละชุดการทดลองมีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่อง โดยชุดการทดลองที่ 5 สารไคโตซานความเข้มข้นร้อยละ 10 จำนวนเซลล์ลดลงต่ำที่สุด เท่ากับ 3.5×10^5 เซลล์ต่อมิลลิลิตร มีประสิทธิภาพสูงที่สุดในการยับยั้งจำนวนเซลล์สาหร่าย *Microcystis* spp. คิดเป็นร้อยละ 84.52 เมื่อเทียบกับชุดควบคุม รองลงมาคือชุดการทดลองที่ 4, 3, 2 และ 1 ซึ่งมีจำนวนเซลล์เท่ากับ 5.23×10^5 , 5.23×10^5 , 5.23×10^5 และ 5.23×10^5 เซลล์ต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ (รูปที่ 4.1) ในวันที่ 44 ของการทดลอง สามารถยับยั้งจำนวนเซลล์สาหร่าย *Microcystis* spp. ได้เท่ากับร้อยละ 72.45, 63.82, 54.11 และ 35.29 นอกจากนี้เมื่อวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนของจำนวนเซลล์ *Microcystis* spp. ในแต่ละชุดการทดลอง ตลอดระยะเวลาที่ทำการวิจัยพบว่ามีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 การใช้สารไคโตซานในปริมาณที่สูงสามารถลดจำนวนเซลล์ได้ดีกว่าการใช้สารไคโตซานในปริมาณน้อยๆ ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Hhuo *et al.* [58] ซึ่งกำจัดสาหร่าย *Microcystis aeruginosa* โดยใช้ Chitosan Modified Kaolinite (CMC) การประยุกต์ใช้สารไคโตซานร่วมกับสารคาร์โบลิไนต์ (Chitosan Modified Kaolinite) ที่ระดับความเข้มข้น 160 mg/l มีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญของสาหร่ายได้ดีที่สุด สามารถลดจำนวนเซลล์สาหร่าย *Microcystis aeruginosa* ได้ร้อยละ 85 ภายในระยะเวลาเพียง 8 วันของการทดลอง จากการดูดซับเซลล์สาหร่ายของสารไคโตซานส่งผลให้เซลล์สาหร่ายที่ตกตะกอนลงสู่ก้นโหลไม่สามารถสังเคราะห์ด้วยแสงได้ และตายไปในที่สุด [36]



รูปที่ 4.1 จำนวนเซลล์ ($\times 10^6$ เซลล์ต่อมิลลิลิตร) วันที่ 24 มิถุนายน ถึง 7 สิงหาคม พ.ศ. 2557 (C = ไคโตซาน)

4.1.2 ค่าดูดกลืนแสง (absorbance)

จากการศึกษาผลการเปลี่ยนแปลงค่าดูดกลืนแสง เมื่อได้รับการบำบัดด้วยสารไคโตซานในอัตราส่วนที่แตกต่างกันตั้งแต่วันที่ 24 มิถุนายน พ.ศ. 2557 ถึง 7 สิงหาคม พ.ศ. 2557 พบว่า

ชุดควบคุม ค่าดูดกลืนแสงมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 0.283 ณ วันที่ 44 ของการทดลอง และค่าสูงสุดเท่ากับ 0.459 ณ วันที่ 3 ของการทดลองและมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.325

ชุดการทดลองที่ 1 ค่าดูดกลืนแสงมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 0.247 ในวันที่ 44 ของการทดลอง และค่าสูงสุดเท่ากับ 0.445 ในวันที่ 0 ของการทดลองและมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.313

ชุดการทดลองที่ 2 ค่าดูดกลืนแสงมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 0.254 ในวันที่ 44 ของการทดลอง และค่าสูงสุดเท่ากับ 0.461 ในวันที่ 3 ของการทดลองและมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.378

ชุดการทดลองที่ 3 ค่าดูดกลืนแสงมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 0.203 ในวันที่ 44 ของการทดลอง และค่าสูงสุดเท่ากับ 0.460 ในวันที่ 3 ของการทดลองและมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.315

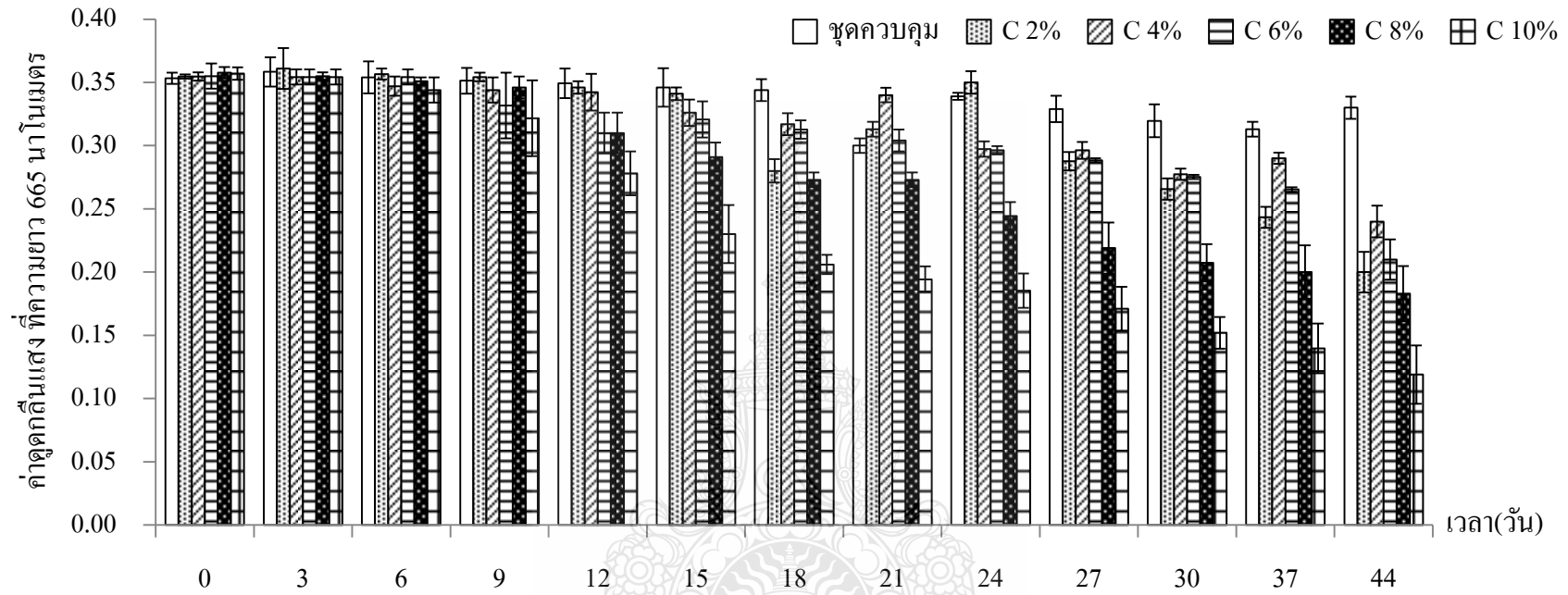
ชุดการทดลองที่ 4 ค่าดูดกลืนแสงมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 0.198 ในวันที่ 44 ของการทดลอง และค่าสูงสุดเท่ากับ 0.445 ในวันที่ 0 ของการทดลองและมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.301

ชุดการทดลองที่ 5 ค่าดูดกลืนแสงมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 0.167 ในวันที่ 44 ของการทดลอง และค่าสูงสุดเท่ากับ 0.452 ในวันที่ 0 ของการทดลองและมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.298

จากการศึกษาค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 665 นาโนเมตรในแต่ละชุดการทดลอง พบว่าก่อนบำบัด มีค่าดูดกลืนแสงเท่ากับ 0.551 และหลังจากการทดสอบสารไคโตซานที่ความเข้มข้นต่างกัน ตั้งแต่วันที่ 3 ถึงวันที่ 44 ของการทดลอง ค่าดูดกลืนแสงในแต่ละชุดการทดลองมีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่อง โดยชุดการทดลองที่ 5 สารไคโตซานความเข้มข้นร้อยละ 10 มีค่าดูดกลืนแสงลดลงต่ำที่สุด เท่ากับ 0.467 รองลงมาคือชุดการทดลองที่ 4, 3, 2 และ 1 ซึ่งมีค่าดูดกลืนแสงเท่ากับ 0.327, 0.315, 0.278 และ 0.251 ตามลำดับ (รูปที่ 4.2) ในวันที่ 44 ของการทดลอง นอกจากนี้เมื่อวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าดูดกลืนแสงในแต่ละชุดการทดลองตลอดระยะเวลาที่ทำการวิจัย พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 การใช้สารไคโตซานในปริมาณที่สูงสามารถลดค่าดูดกลืนแสงได้ดีกว่าการใช้สารไคโตซานในปริมาณน้อยๆ สอดคล้องกับรายงานของ Pan *et al.* [45] การกำจัดสาหร่าย *Microcystis aeruginosa* โดยใช้สารไคโตซานร่วมกับดิน (Chitosan modified soils) พบว่าสามารถลดค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 665 นาโนเมตรได้ร้อยละ 85.79 นอกจากนี้ Mulderij *et al.* [43] ซึ่งศึกษาการกำจัดสาหร่าย *Microcystis aeruginosa* โดยใช้สารไคโตซานร่วมกับต้นสับปะรดน้ำ (*Stratiotes aloides*, water pineapple) ในระบบบ่อเทียมสามารถลดค่าดูดกลืนแสงของน้ำตัวอย่างที่นำมาทดลองในระบบได้ร้อยละ 81 ในระยะเวลาทำการทดลอง 30 วัน

ขจรเกียรติ [67] กล่าวว่า การวัดจำนวนเซลล์ของสาหร่ายโดยใช้การดูดกลืนแสงของเซลล์สามารถวัด
ได้ปริมาณและการเจริญเติบโตของสาหร่ายมีความสะดวก รวดเร็ว ให้ผลการทดลองเทียบเคียงกับมวล
ชีวภาพของสาหร่ายได้ใกล้เคียงและถูกต้อง





รูปที่ 4.2 ค่าดูดกลืนแสง ที่ความยาว 665 นาโนเมตร วันที่ 24 มิถุนายน ถึง 7 สิงหาคม พ.ศ. 2557 (C = ไคโตซาน)

4.1.3 ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ (chlorophyll a)

จากการศึกษาผลการเปลี่ยนแปลงปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ เมื่อได้รับการบำบัดด้วยสารไคโตซานในอัตราส่วนที่แตกต่างกันตั้งแต่วันที่ 24 มิถุนายน พ.ศ. 2557 ถึง 7 สิงหาคม พ.ศ. 2557 พบว่า

ชุดควบคุม ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ มีค่าต่ำสุดเท่ากับ 1,686.6 ไมโครกรัมต่อลิตร ในวันที่ 44 ของการทดลอง และค่าสูงสุดเท่ากับ 1,902.7 ไมโครกรัมต่อลิตร ในวันที่ 0 ของการทดลอง และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1,873.9 ไมโครกรัมต่อลิตร

ชุดการทดลองที่ 1 ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ มีค่าต่ำสุดเท่ากับ 1,589.3 ไมโครกรัมต่อลิตร ในวันที่ 44 ของการทดลอง และค่าสูงสุดเท่ากับ 1,882.7 ไมโครกรัมต่อลิตร ในวันที่ 0 ของการทดลองและมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1,775.9 ไมโครกรัมต่อลิตร

ชุดการทดลองที่ 2 ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ มีค่าต่ำสุดเท่ากับ 1,504.6 ไมโครกรัมต่อลิตร ในวันที่ 44 ของการทดลอง และค่าสูงสุดเท่ากับ 1,856.9 ไมโครกรัมต่อลิตร ในวันที่ 0 ของการทดลองและมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1,749.2 ไมโครกรัมต่อลิตร

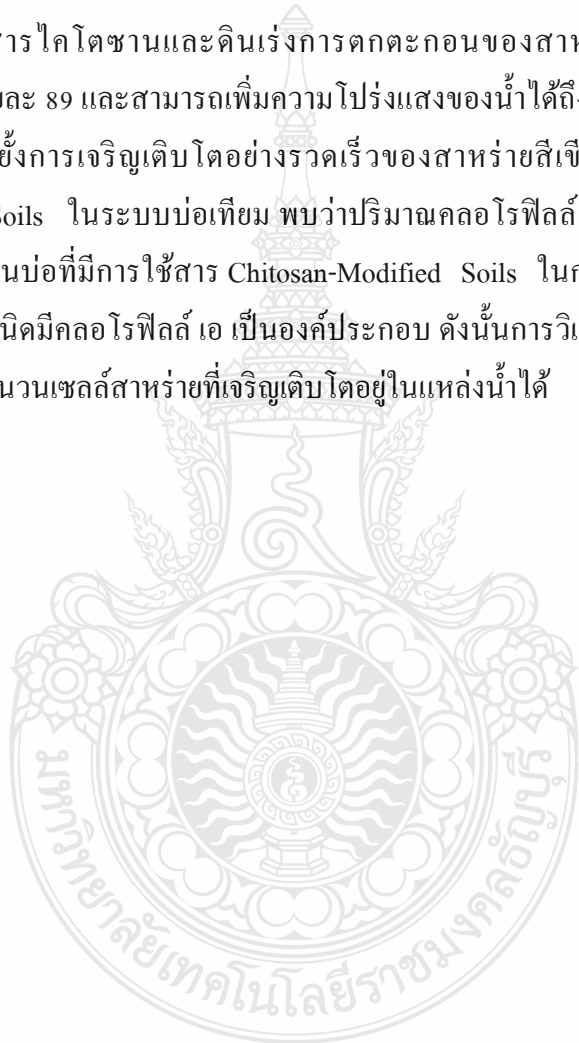
ชุดการทดลองที่ 3 ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ มีค่าต่ำสุดเท่ากับ 1,468.8 ไมโครกรัมต่อลิตร ในวันที่ 44 ของการทดลอง และค่าสูงสุดเท่ากับ 1,883.4 ไมโครกรัมต่อลิตร ในวันที่ 0 ของการทดลองและมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1,667.4 ไมโครกรัมต่อลิตร

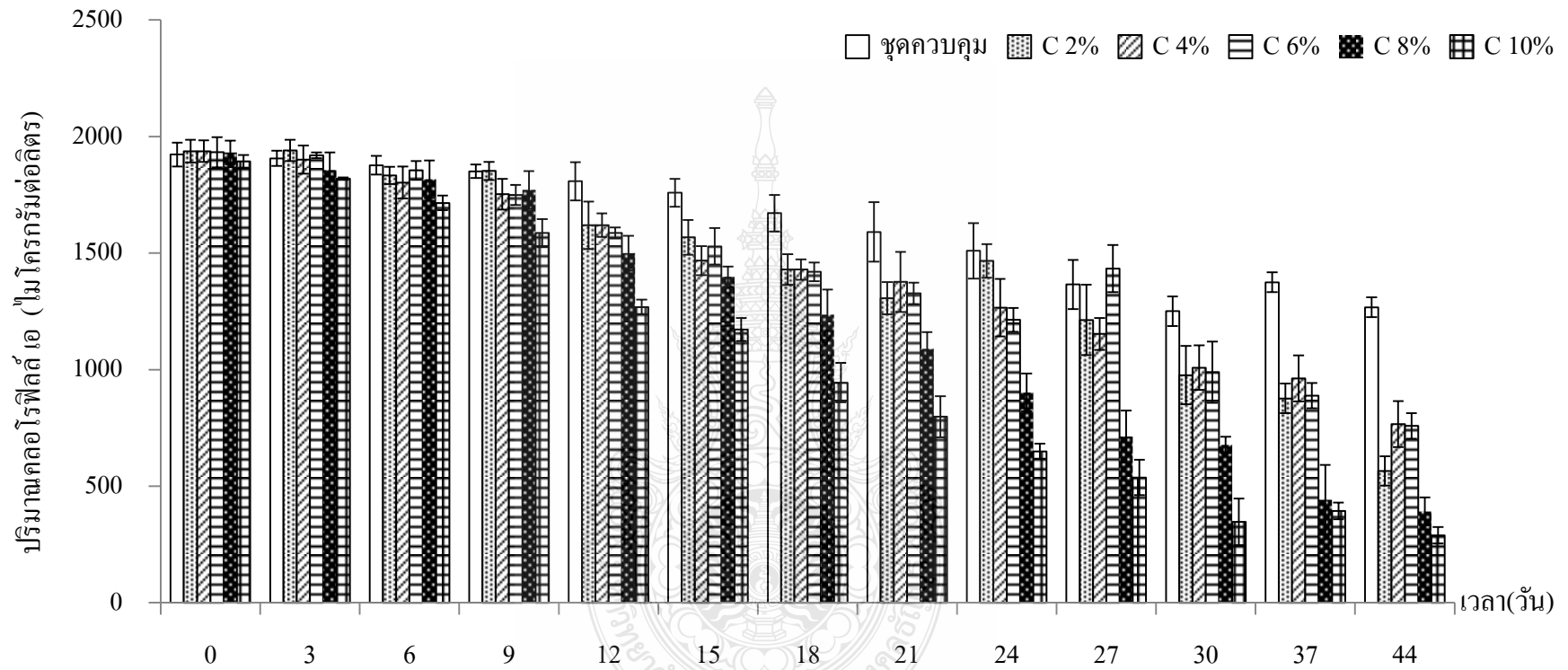
ชุดการทดลองที่ 4 ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ มีค่าต่ำสุดเท่ากับ 1,367.1 ไมโครกรัมต่อลิตร ในวันที่ 44 ของการทดลอง และค่าสูงสุดเท่ากับ 1,873.4 ไมโครกรัมต่อลิตร ในวันที่ 0 ของการทดลองและมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1,595.5 ไมโครกรัมต่อลิตร

ชุดการทดลองที่ 5 ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ มีค่าต่ำสุดเท่ากับ 1,229.3 ไมโครกรัมต่อลิตร ในวันที่ 44 ของการทดลอง และค่าสูงสุดเท่ากับ 1,884.6 ไมโครกรัมต่อลิตร ในวันที่ 0 ของการทดลองและมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1,459.1 ไมโครกรัมต่อลิตร

จากการศึกษาปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ในแต่ละชุดการทดลอง พบว่าก่อนบำบัด มีปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ เท่ากับ 1,879.5 ไมโครกรัมต่อลิตรและหลังจากการทดสอบสารไคโตซานที่ความเข้มข้นต่างกัน ตั้งแต่วันที่ 3 ถึงวันที่ 44 ของการทดลอง ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ในแต่ละชุดการทดลองมีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่อง โดยชุดการทดลองที่ 5 สารไคโตซานความเข้มข้นร้อยละ 10 มีปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ลดลงต่ำที่สุด เท่ากับ 1,229.3 ไมโครกรัมต่อลิตร ในวันที่ 44 ของการทดลอง ซึ่งมีประสิทธิภาพสูงสุดในการลดปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ คิดเป็นร้อยละ 36.67 เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม รองลงมาคือชุดการทดลองที่ 4, 3, 2 และ 1 ซึ่งมีปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ เท่ากับ 1,367.1,

1,468.8, 1,504.6 และ 1,589.3 ไมโครกรัมต่อลิตร ตามลำดับ (รูปที่ 4.3) ในวันที่ 44 ของการทดลอง สามารถลดปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ คิดเป็นร้อยละ 32.51, 31.67, 24.11 และ 23.25 นอกจากนี้เมื่อวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนของปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ในแต่ละชุดการทดลองตลอดระยะเวลาที่ทำการวิจัยพบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 การใช้สารไคซานในปริมาณที่สูงสามารถลดปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ได้ดีกว่าการใช้สารไคโตซานในปริมาณน้อยๆ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Pan *at el.* [45] พบว่าหลังจากการบำบัดตัวอย่างน้ำด้วยใช้เทคนิค Modified Local Soils ซึ่งเป็นเทคนิคที่ใช้สารไคโตซานและดินเร่งการตกตะกอนของสาหร่าย สามารถลดปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ได้ร้อยละ 89 และสามารถเพิ่มความโปร่งแสงของน้ำได้ถึง 30 เซนติเมตร Yan *at al.* [52] ได้ศึกษาการยับยั้งการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินโดยใช้สาร Chitosan-Modified Soils ในระบบบ่อเทียม พบว่าปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ลดลงมากที่สุดคือ 2.45 ไมโครกรัมต่อลิตร ในบ่อที่มีการใช้สาร Chitosan-Modified Soils ในการกำจัดสาหร่าย ยิวดี [15] กล่าวว่า สาหร่ายทุกชนิดมีคลอโรฟิลล์ เอ เป็นองค์ประกอบ ดังนั้นการวิเคราะห์ปริมาณคลอโรฟิลล์ จะสามารถทราบถึงจำนวนเซลล์สาหร่ายที่เจริญเติบโตอยู่ในแหล่งน้ำได้





รูปที่ 4.3 ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ (ไมโครกรัมต่อลิตร) วันที่ 24 มิถุนายน ถึง 7 สิงหาคม พ.ศ. 2557 (C = ไลโคซาน)

4.1.4 ความเป็นกรด-ด่าง (pH)

จากการศึกษาผลการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด-ด่างเมื่อได้รับการบำบัดด้วยสารไคโตซานในอัตราส่วนที่แตกต่างกันตั้งแต่วันที่ 24 มิถุนายน พ.ศ. 2557 ถึง 7 สิงหาคม พ.ศ. 2557 พบว่า ชุดควบคุม ค่าความเป็นกรด-ด่างมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 8.57 ในวันที่ 44 ของการทดลอง และค่าสูงสุดเท่ากับ 9.66 ในวันที่ 0 ของการทดลองและมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 8.98

ชุดการทดลองที่ 1 อัตราส่วนสารสกัดฟางข้าวร้อยละ 2 มีค่าต่ำสุดเท่ากับ 7.53 ในวันที่ 44 ของการทดลองและค่าสูงสุดเท่ากับ 8.47 ในวันที่ 3 ของการทดลองและมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 7.64

ชุดการทดลองที่ 2 อัตราส่วนสารสกัดฟางข้าวร้อยละ 4 มีค่าต่ำสุดเท่ากับ 7.49 ในวันที่ 44 ของการทดลองและค่าสูงสุดเท่ากับ 8.42 ในวันที่ 3 ของการทดลองและมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 7.78

ชุดการทดลองที่ 3 อัตราส่วนสารสกัดฟางข้าวร้อยละ 6 มีค่าต่ำสุดเท่ากับ 7.43 ในวันที่ 44 ของการทดลองและค่าสูงสุดเท่ากับ 8.58 ในวันที่ 3 ของการทดลองและมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 7.65

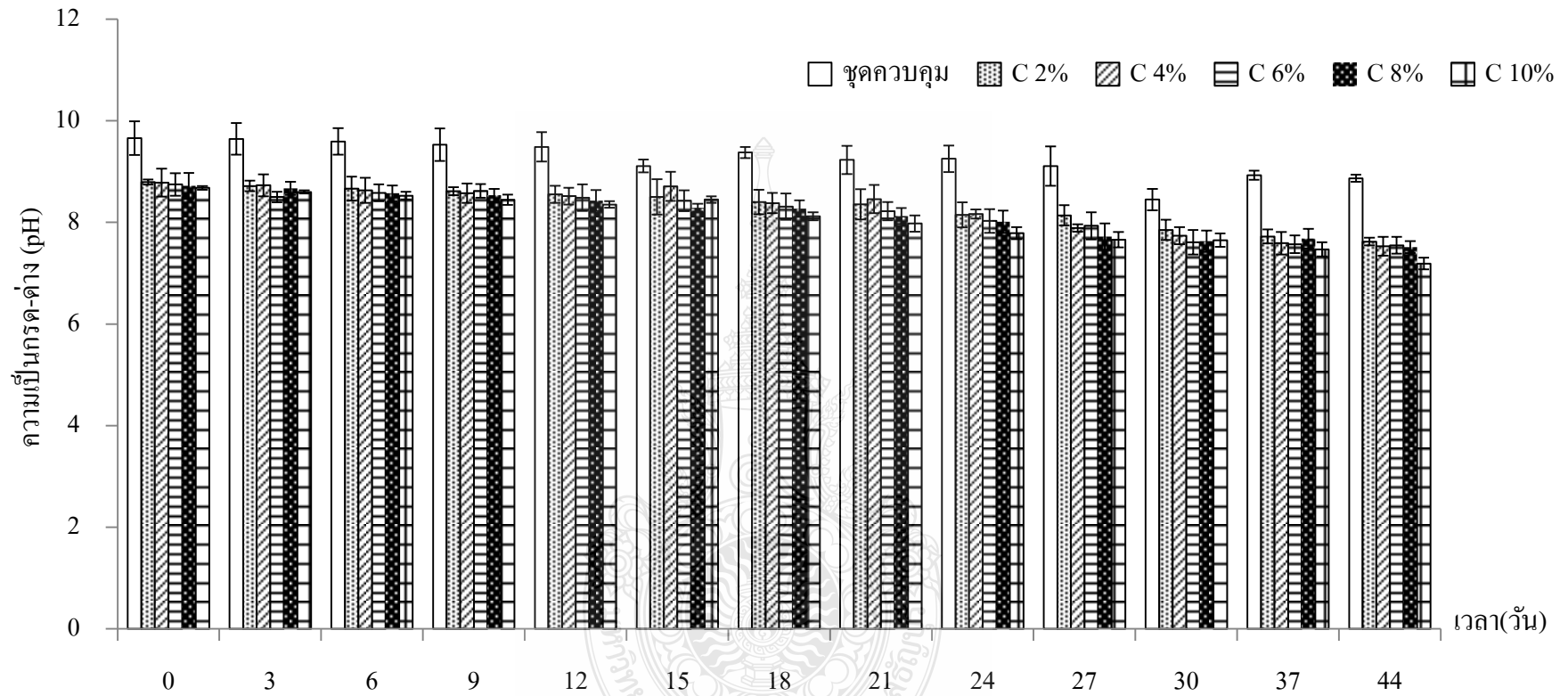
ชุดการทดลองที่ 4 อัตราส่วนสารสกัดฟางข้าวร้อยละ 8 มีค่าต่ำสุดเท่ากับ 7.37 ในวันที่ 44 ของการทดลอง และค่าสูงสุดเท่ากับ 8.43 ในวันที่ 3 ของการทดลองและมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 7.49

ชุดการทดลองที่ 5 อัตราส่วนสารสกัดฟางข้าวร้อยละ 10 มีค่าต่ำสุดเท่ากับ 7.32 ในวันที่ 44 ของการทดลองและค่าสูงสุดเท่ากับ 8.41 ในวันที่ 3 ของการทดลองและมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 7.38

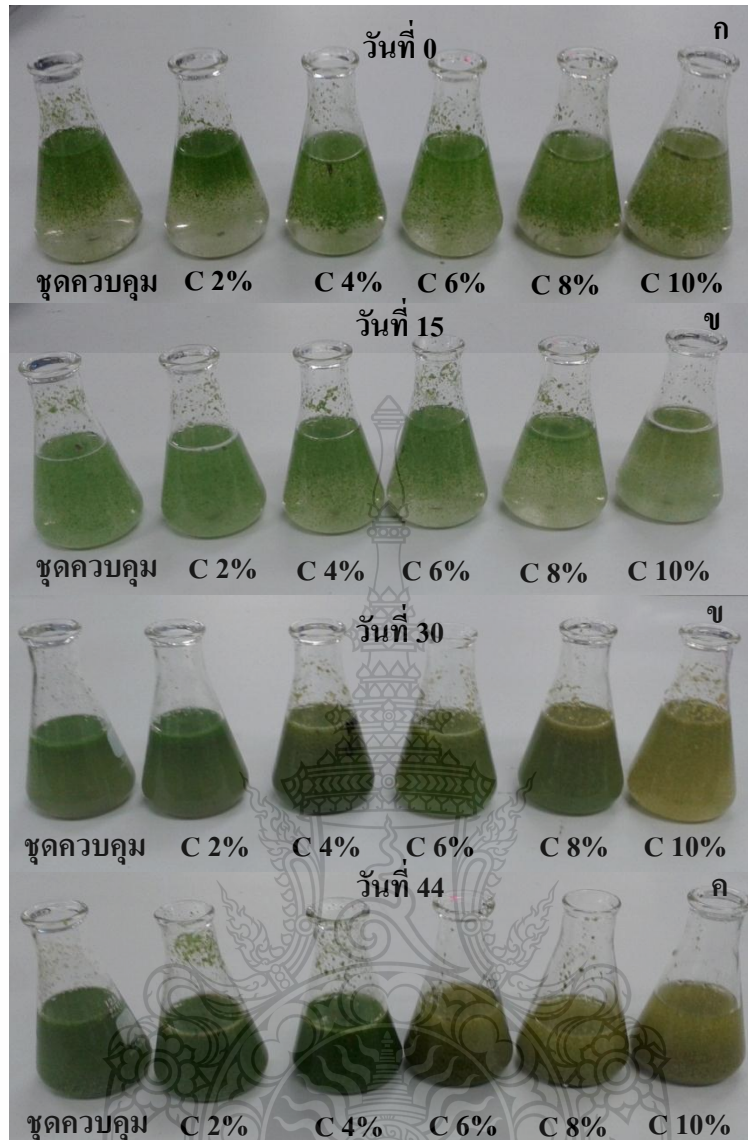
จากการศึกษาความเป็นกรด-ด่างจากการบำบัดด้วยสารไคโตซาน พบว่าก่อนทำการทดลอง ความเป็นกรด-ด่างอยู่ในช่วง 8.41 ถึง 9.66 และหลังจากการทดสอบสารไคโตซานที่ความเข้มข้นต่างกัน ตั้งแต่วันที่ 3 ถึงวันที่ 44 ของการทดลอง ความเป็นกรด-ด่างในชุดการทดลองมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 7.64, 7.78, 7.65, 7.49 และ 7.38 ตามลำดับ (รูปที่ 4.4) สำหรับค่าความเป็นกรด-ด่างในชุดควบคุมมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 8.98 ซึ่งจากการวิเคราะห์ค่าทางสถิติ พบว่าค่าความเป็นกรด-ด่างในแต่ละชุดการทดลองไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 การใช้สารไคโตซานในปริมาณที่สูงสามารถลดค่าความเป็นกรด-ด่าง ได้ดีกว่าการใช้สารไคโตซานในปริมาณน้อยๆ สอดคล้องกับรายงานของ Pan *et al.* [53] พบว่าการละลายสารไคโตซานด้วยกรดอ่อนจะทำให้สารละลายมีความเป็นกรดซึ่งสามารถลดค่าความเป็นกรด-ด่างในแหล่งน้ำที่มีสภาพเป็นด่างสูงได้ แต่ถ้าใช้ในปริมาณมากเกินไปหรือตัวทำละลายมีความเข้มข้นสูงจะส่งผลให้แหล่งน้ำมีความเป็นกรดได้เช่นเดียวกัน นันทนา [59] กล่าวว่าค่าความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสมต่อการดำรงชีวิตอยู่ในช่วง 5-9 Yan *et al.* [52] กล่าวว่า การใช้สาร Chitosan-Modified Soils ในระบบบ่อเทียม ทำให้มีผลต่อค่าความเป็นกรด-ด่างในระบบบ่อเทียม โดยน้ำตัวอย่างในบ่อที่เติมสารไคโตซานมีความเป็นกลางมากขึ้น เนื่องจากไคโตซาน

ช่วยในการปรับสภาพความเป็นกรด-ด่างของน้ำตัวอย่าง ซึ่งค่าความเป็นกรด-ด่างที่วัดได้หลังการบำบัดเป็นค่าที่วัดได้ในแหล่งน้ำตามธรรมชาติโดยจะอยู่ในช่วง 4-9 [60]





รูปที่ 4.4 ความเป็นกรด-ด่าง (pH) วันที่ 24 มิถุนายน ถึง 7 สิงหาคม พ.ศ. 2557 (C = ๑โคโตซาน)



รูปที่ 4.5 น้ำตัวอย่างหลังผ่านการยับยั้งด้วยสารไคโตซาน (C = สารไคโตซาน)

(ก) แสดงน้ำตัวอย่างหลังผ่านการยับยั้งด้วยสารไคโตซาน ร้อยละ 2, 4, 6, 8, 10 และ ชดควบคุม ในวันที่ 0 ของการทดลอง

(ข) แสดงน้ำตัวอย่างหลังผ่านการยับยั้งด้วยสารไคโตซาน ร้อยละ 2, 4, 6, 8, 10 และ ชดควบคุม ในวันที่ 15 ของการทดลอง

(ค) แสดงน้ำตัวอย่างหลังผ่านการยับยั้งด้วยสารไคโตซาน ร้อยละ 2, 4, 6, 8, 10 และ ชดควบคุม ในวันที่ 30 ของการทดลอง

(ง) แสดงน้ำตัวอย่างหลังผ่านการยับยั้งด้วยสารไคโตซาน ร้อยละ 2, 4, 6, 8, 10 และ ชดควบคุม ในวันที่ 44 ของการทดลอง

4.2 ผลของปริมาณสารสกัดฟางข้าวที่เหมาะสมในการยับยั้งการเจริญเติบโตของสาหร่าย

Microcystis spp.

4.2.1 จำนวนเซลล์ (cell number)

จากการศึกษาผลการเปลี่ยนแปลงจำนวนเซลล์ เมื่อได้รับการบำบัดด้วยสารสกัดฟางข้าวในอัตราส่วนที่แตกต่างกันตั้งแต่วันที่ 24 มิถุนายน พ.ศ. 2557 ถึง 7 สิงหาคม พ.ศ. 2557 พบว่า

ชุดควบคุม จำนวนเซลล์มีค่าต่ำสุดเท่ากับ 2.17×10^6 เซลล์ต่อมิลลิลิตร ในวันที่ 44 ของการทดลอง และค่าสูงสุดเท่ากับ 5.56×10^6 เซลล์ต่อมิลลิลิตร ในวันที่ 3 ของการทดลองและมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.42×10^6 เซลล์ต่อมิลลิลิตร

ชุดการทดลองที่ 1 จำนวนเซลล์มีค่าต่ำสุดเท่ากับ 2.57×10^6 เซลล์ต่อมิลลิลิตร ในวันที่ 44 ของการทดลอง และค่าสูงสุดเท่ากับ 6.39×10^6 เซลล์ต่อมิลลิลิตร ในวันที่ 0 ของการทดลองและมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.71×10^6 เซลล์ต่อมิลลิลิตร

ชุดการทดลองที่ 2 จำนวนเซลล์มีค่าต่ำสุดเท่ากับ 2.24×10^6 เซลล์ต่อมิลลิลิตร ในวันที่ 44 ของการทดลอง และค่าสูงสุดเท่ากับ 6.01×10^6 เซลล์ต่อมิลลิลิตร ในวันที่ 0 ของการทดลองและมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.73×10^6 เซลล์ต่อมิลลิลิตร

ชุดการทดลองที่ 3 จำนวนเซลล์มีค่าต่ำสุดเท่ากับ 2.29×10^6 เซลล์ต่อมิลลิลิตร ในวันที่ 44 ของการทดลอง และค่าสูงสุดเท่ากับ 5.98×10^6 เซลล์ต่อมิลลิลิตร ในวันที่ 3 ของการทดลองและมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.93×10^6 เซลล์ต่อมิลลิลิตร

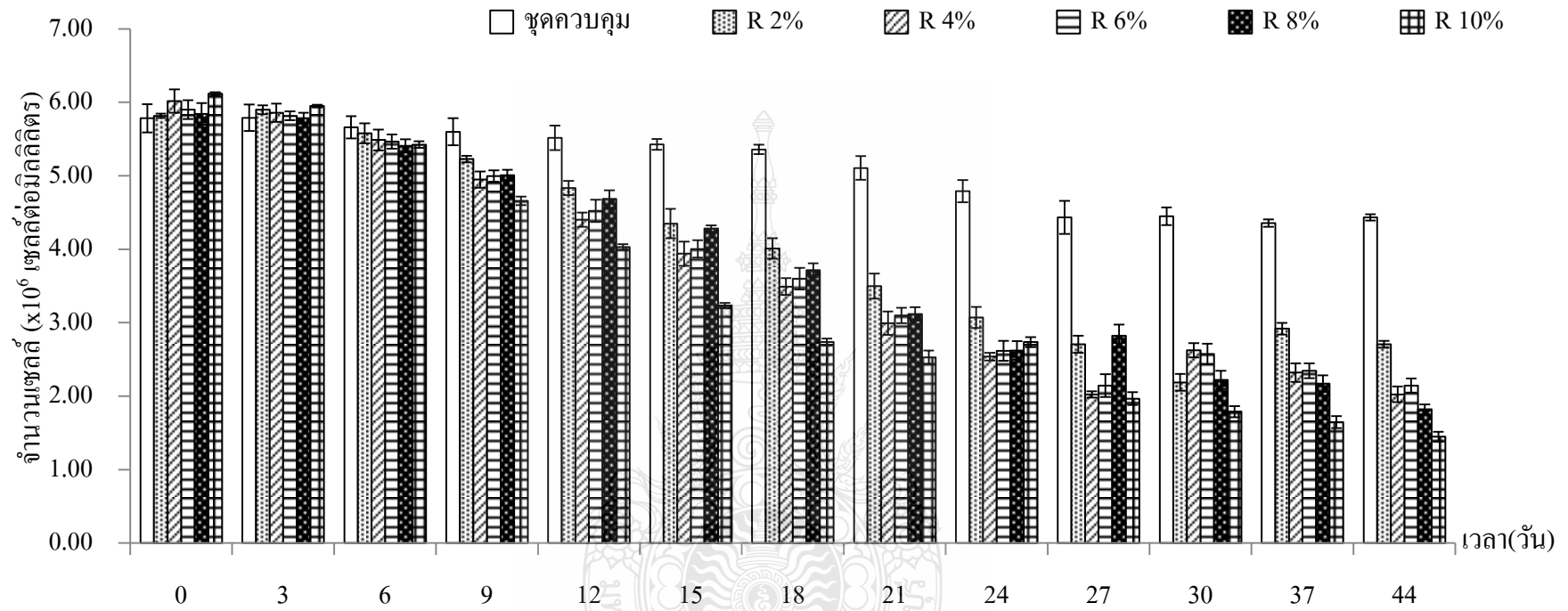
ชุดการทดลองที่ 4 จำนวนเซลล์มีค่าต่ำสุดเท่ากับ 2.47×10^6 เซลล์ต่อมิลลิลิตร ในวันที่ 44 ของการทดลอง และค่าสูงสุดเท่ากับ 5.65×10^6 เซลล์ต่อมิลลิลิตร ในวันที่ 3 ของการทดลองและมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.51×10^6 เซลล์ต่อมิลลิลิตร

ชุดการทดลองที่ 5 จำนวนเซลล์มีค่าต่ำสุดเท่ากับ 2.12×10^6 เซลล์ต่อมิลลิลิตร ในวันที่ 44 ของการทดลอง และค่าสูงสุดเท่ากับ 5.83×10^6 เซลล์ต่อมิลลิลิตร ในวันที่ 0 ของการทดลองและมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.45×10^6 เซลล์ต่อมิลลิลิตร

จากการศึกษาจำนวนเซลล์สาหร่าย *Microcystis* spp. ในแต่ละชุดการทดลอง พบว่า ก่อนทำการทดลอง จำนวนเซลล์สาหร่าย *Microcystis* spp. เฉลี่ยเท่ากับ 6.12×10^6 เซลล์ต่อมิลลิลิตร และหลังจากการทดสอบสารสกัดฟางข้าวที่ความเข้มข้นต่างกัน ตั้งแต่วันที่ 3 ถึงวันที่ 44 ของการทดลอง จำนวนเซลล์สาหร่ายในแต่ละชุดการทดลองมีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่อง โดยชุดการทดลองที่ 5 สารสกัดจากฟางข้าวความเข้มข้นร้อยละ 10 พบว่า จำนวนเซลล์ลดลงต่ำที่สุด เท่ากับ 2.21×10^6 เซลล์ต่อมิลลิลิตร ซึ่งประสิทธิภาพสูงที่สุดในการยับยั้งจำนวนเซลล์สาหร่าย *Microcystis* spp. เท่ากับ

ร้อยละ 79.83 เมื่อเทียบกับชุดควบคุม รองลงมาคือชุดการทดลองที่ 3, 4, 2 และ 1 ซึ่งมีจำนวนเซลล์เท่ากับ 2.24×10^5 , 2.29×10^5 , 2.47×10^5 และ 2.57×10^5 เซลล์ต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ (รูปที่ 4.6) ในวันที่ 44 ของการทดลองสามารถยับยั้งจำนวนเซลล์สาหร่าย *Microcystis* spp. ได้เท่ากับร้อยละ 70.38, 65.42, 59.32 และ 45.67 ตามลำดับ นอกจากนี้เมื่อมีการวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนของจำนวนเซลล์ *Microcystis* spp. ในแต่ละชุดการทดลองตลอดระยะเวลาที่ทำการวิจัยพบว่ามีค่าความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 สอดคล้องกับงานวิจัยของ Weng *et al.* [50] ศึกษาผลกระทบของฟางข้าวต่อเซลล์ที่มีชีวิต การสังเคราะห์ด้วยแสงและการเจริญเติบโตของสาหร่าย *Microcystis aeruginosa* พบว่าฟางข้าวสามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของสาหร่าย *Microcystis aeruginosa* ได้ทุกระดับความเข้มข้น โดยที่ระดับความเข้มข้น 10 กรัมต่อลิตรสามารถยับยั้งการเจริญเติบโตได้ดีที่สุด คือร้อยละ 82 สอดคล้องกับ Ferrier *et al.* [61] ได้รายงานการใช้สารสกัดจากฟางข้าวที่ระดับความเข้มข้น 10 กรัมต่อลิตร มีประสิทธิภาพสูงสุดในการยับยั้งการเจริญเติบโตของสาหร่าย *Microcystis aeruginosa* โดยสารสกัดจากฟางข้าวที่สามารถสกัดได้มีหลายชนิดแต่ชนิดที่สำคัญได้แก่ p-hydroxybenzoic acid, p-coumaric acid, ferulic acid, vanillic acid, salicylic acid, syringic acid และ benzoic acid ซึ่งสารเหล่านี้ส่งผลต่อการทำงานของเอนไซม์ภายในเซลล์และยับยั้งกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงของสาหร่าย และจากความเข้มข้นของสารสกัดที่มีความเข้มข้นสูงมีผลต่อสีของแหล่งน้ำ ทำให้น้ำมีสีที่เข้มข้นส่งผลให้แสงที่ส่องลงมาในแหล่งน้ำนั้นลดลง [28]





รูปที่ 4.6 จำนวนเซลล์ ($\times 10^6$ เซลล์ต่อมิลลิลิตร) วันที่ 24 มิถุนายน ถึง 7 สิงหาคม พ.ศ. 2557 (R = สารสกัดฟางข้าว)

4.2.2 ค่าดูดกลืนแสง (absorbance)

จากการศึกษาผลการเปลี่ยนแปลงค่าดูดกลืนแสง เมื่อได้รับการบำบัดด้วยสารสกัดฟางข้าวในอัตราส่วนที่แตกต่างกันตั้งแต่วันที่ 24 มิถุนายน พ.ศ. 2557 ถึง 7 สิงหาคม พ.ศ. 2557 พบว่า

ชุดควบคุม ค่าดูดกลืนแสงมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 0.287 ณ วันที่ 44 ของการทดลอง และค่าสูงสุดเท่ากับ 0.467 ณ วันที่ 3 ของการทดลองและมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.331

ชุดการทดลองที่ 1 ค่าดูดกลืนแสงมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 0.259 ในวันที่ 44 ของการทดลอง และค่าสูงสุดเท่ากับ 0.478 ในวันที่ 0 ของการทดลองและมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.349

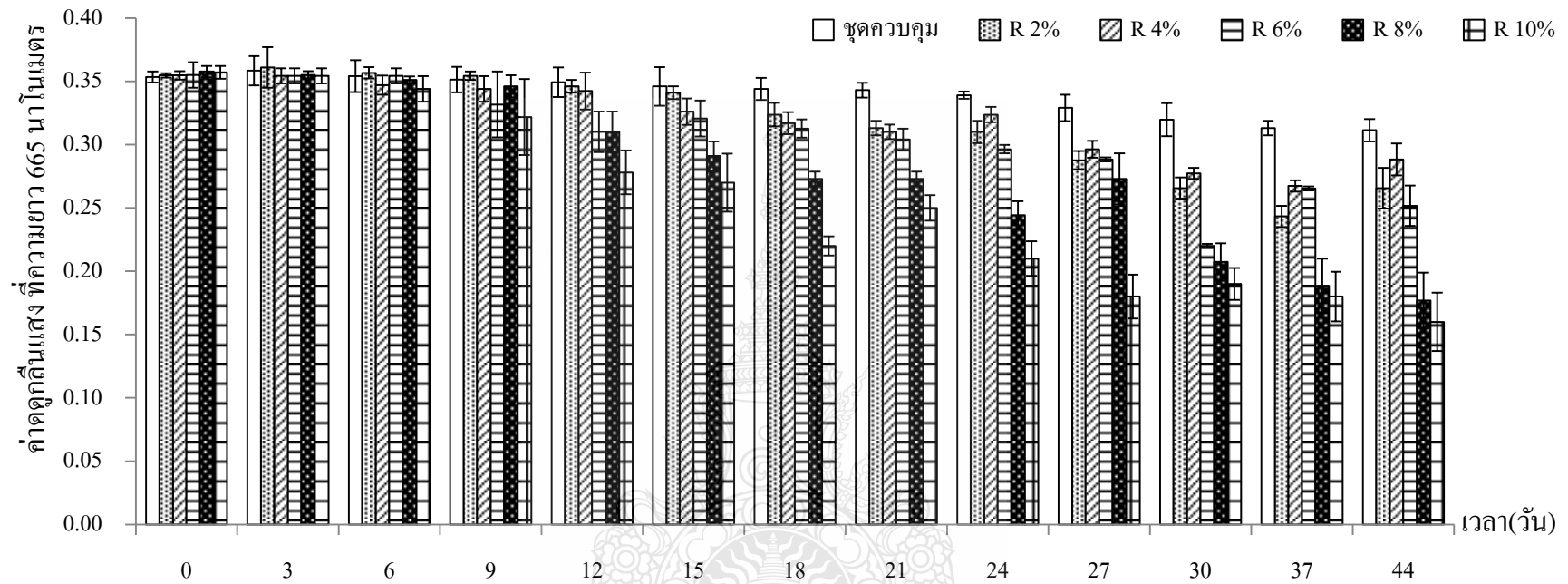
ชุดการทดลองที่ 2 ค่าดูดกลืนแสงมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 0.253 ในวันที่ 44 ของการทดลอง และค่าสูงสุดเท่ากับ 0.465 ในวันที่ 3 ของการทดลองและมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.338

ชุดการทดลองที่ 3 ค่าดูดกลืนแสงมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 0.233 ในวันที่ 44 ของการทดลอง และค่าสูงสุดเท่ากับ 0.467 ในวันที่ 3 ของการทดลองและมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.331

ชุดการทดลองที่ 4 ค่าดูดกลืนแสงมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 0.215 ในวันที่ 44 ของการทดลอง และค่าสูงสุดเท่ากับ 0.445 ในวันที่ 0 ของการทดลองและมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.312

ชุดการทดลองที่ 5 ค่าดูดกลืนแสงมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 0.184 ในวันที่ 44 ของการทดลอง และค่าสูงสุดเท่ากับ 0.459 ในวันที่ 0 ของการทดลองและมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.302

จากการศึกษาค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 665 นาโนเมตรในแต่ละชุดการทดลอง พบว่าก่อนบำบัด มีค่าดูดกลืนแสงเท่ากับ 0.452 และหลังจากการทดสอบสารสกัดฟางข้าวที่ความเข้มข้นต่างกัน ตั้งแต่วันที่ 3 ถึงวันที่ 44 ของการทดลอง ค่าดูดกลืนแสงในแต่ละชุดการทดลองมีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่อง โดยชุดการทดลองที่ 5 สารสกัดฟางข้าวความเข้มข้นร้อยละ 2 มีค่าดูดกลืนแสงลดลงต่ำที่สุด เท่ากับ 0.184 รองลงมาคือชุดการทดลองที่ 4, 3, 2 และ 1 ซึ่งมีค่าดูดกลืนแสงเท่ากับ 0.215, 0.233, 0.253 และ 0.259 ตามลำดับ (รูปที่ 4.7) ในวันที่ 44 ของการทดลอง นอกจากนี้เมื่อวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนของค่าดูดกลืนแสง ในแต่ละชุดการทดลองตลอดระยะเวลาที่ทำการวิจัยพบที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 สอดคล้องกับงานวิจัยของ Everall *et al.* [56] ศึกษาการใช้ข้าวบาร์เลย์ในการควบคุมการเจริญเติบโตของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินในทะเลสาบเดอร์บีเชียร์ (Derbyshire lake) ประเทศสหราชอาณาจักร โดยเก็บน้ำตัวอย่างมาวัดค่าดูดกลืนแสง พบว่าสามารถลดค่าดูดกลืนแสงได้ร้อยละ 98 หลังการทดสอบเป็นเวลา 34 สัปดาห์ และเมื่อวิเคราะห์สารประกอบในฟางข้าวพบว่ามี benzoic acid เป็นองค์ประกอบถึง 10 ไมโครกรัมต่อลิตร ซึ่งสูงกว่าสารอื่นๆ Wen *et al.* [41] ได้รายงานว่าการใช้ฟางข้าวในการควบคุมสาหร่ายได้ดีเนื่องจากมีธาตุฟอสฟอรัสที่เป็นองค์ประกอบในปริมาณที่ต่ำคือมีเพียงร้อยละ 0.09 ทำให้การใช้สารสกัดจากฟางข้าวมีประสิทธิภาพต่อการนำมาใช้ควบคุมการเจริญเติบโตของสาหร่ายได้ [38]



รูปที่ 4.7 ค่าดูดกลืนแสง ที่ความยาว 665 นาโนเมตร วันที่ 24 มิถุนายน ถึง 7 สิงหาคม พ.ศ. 2557 (R = สารสกัดฟางข้าว)

4.2.3 ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ (chlorophyll a)

จากการศึกษาผลการเปลี่ยนแปลงปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ เมื่อได้รับการบำบัดด้วยสารสกัดฟางข้าวในอัตราส่วนที่ต่างกันตั้งแต่วันที่ 24 มิถุนายน พ.ศ. 2557 ถึง 7 สิงหาคม พ.ศ. 2557 พบว่า

ชุดควบคุม ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ มีค่าต่ำสุดเท่ากับ 1695.8 ไมโครกรัมต่อลิตร ในวันที่ 44 ของการทดลอง และค่าสูงสุดเท่ากับ 1,872.4 ไมโครกรัมต่อลิตร ในวันที่ 0 ของการทดลอง และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1,1779.3 ไมโครกรัมต่อลิตร

ชุดการทดลองที่ 1 ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ มีค่าต่ำสุดเท่ากับ 1,589.3 ไมโครกรัมต่อลิตร ในวันที่ 44 ของการทดลอง และค่าสูงสุดเท่ากับ 1,882.7 ไมโครกรัมต่อลิตร ในวันที่ 0 ของการทดลองและมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1,775.9 ไมโครกรัมต่อลิตร

ชุดการทดลองที่ 2 ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ มีค่าต่ำสุดเท่ากับ 1,504.6 ไมโครกรัมต่อลิตร ในวันที่ 44 ของการทดลอง และค่าสูงสุดเท่ากับ 1,856.9 ไมโครกรัมต่อลิตร ในวันที่ 0 ของการทดลองและมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1749.2

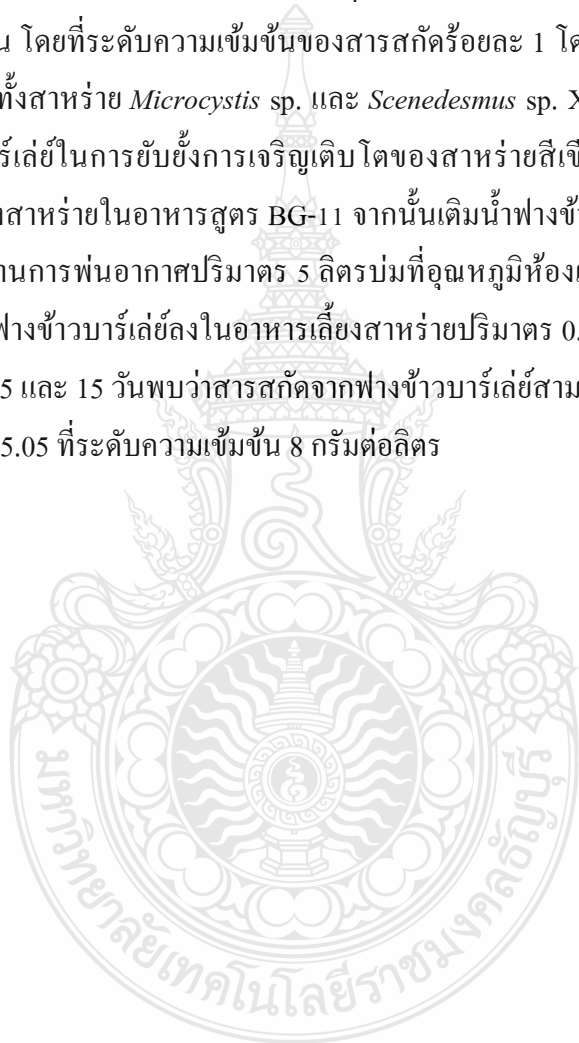
ชุดการทดลองที่ 3 ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ มีค่าต่ำสุดเท่ากับ 1,498.7 ไมโครกรัมต่อลิตร ในวันที่ 44 ของการทดลอง และค่าสูงสุดเท่ากับ 1,843.4 ไมโครกรัมต่อลิตร ในวันที่ 0 ของการทดลองและมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1,721.5 ไมโครกรัมต่อลิตร

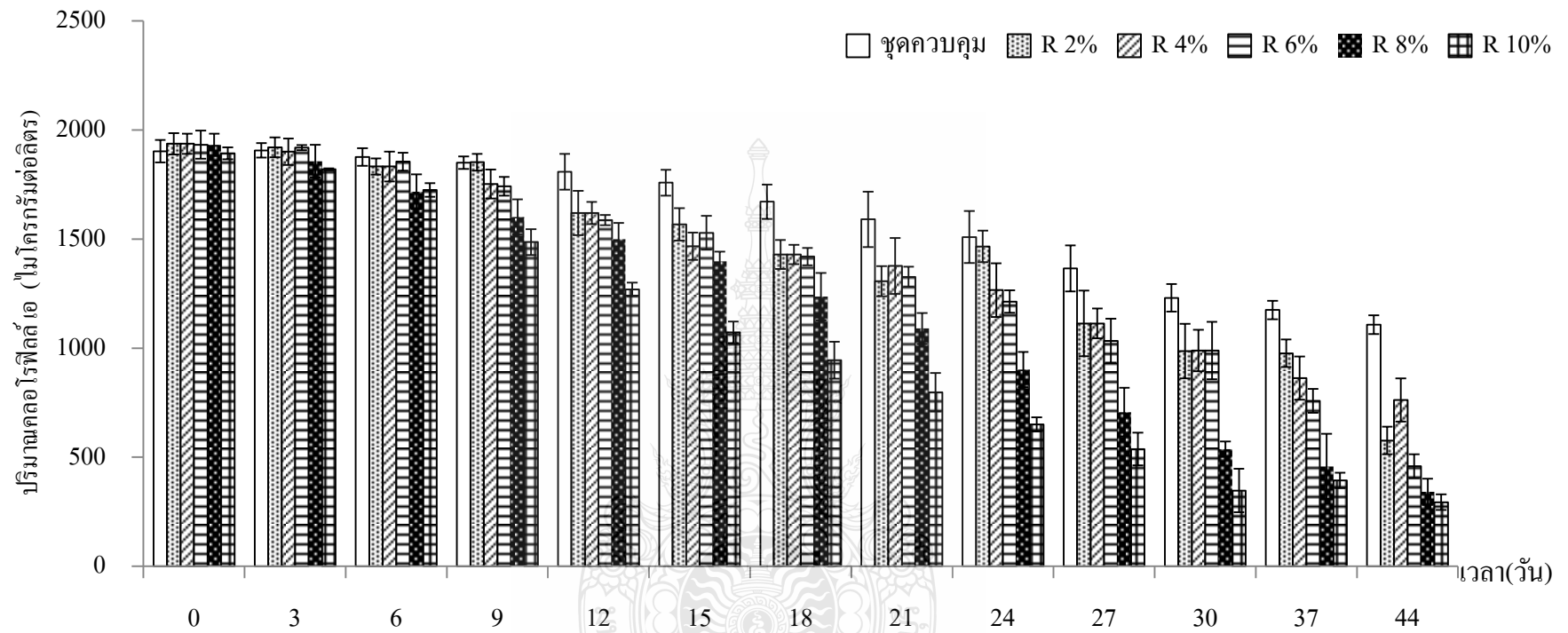
ชุดการทดลองที่ 4 ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ มีค่าต่ำสุดเท่ากับ 1,389.4 ไมโครกรัมต่อลิตร ในวันที่ 44 ของการทดลอง และค่าสูงสุดเท่ากับ 1,874.2 ในวันที่ 0 ของการทดลองและมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1,667.7

ชุดการทดลองที่ 5 ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ มีค่าต่ำสุดเท่ากับ 1,341.9 ไมโครกรัมต่อลิตร ในวันที่ 44 ของการทดลอง และค่าสูงสุดเท่ากับ 1,897.5 ในวันที่ 0 ของการทดลองและมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1,565.6

จากการศึกษาปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ในแต่ละชุดการทดลอง พบว่าก่อนบำบัด มีปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ เท่ากับ 1,872.3 และหลังจากการทดสอบสารสกัดฟางข้าวที่ความเข้มข้นต่างกัน ตั้งแต่วันที่ 3 ถึงวันที่ 44 ของการทดลอง ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ในแต่ละชุดการทดลองมีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่อง โดยชุดการทดลองที่ 5 สารสกัดฟางข้าวความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร มีปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ลดลงต่ำที่สุด เท่ากับ 1,341.9 ไมโครกรัมต่อลิตร ในวันที่ 44 ของการทดลอง ซึ่งมีประสิทธิภาพสูงสุดในการลดปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ เท่ากับร้อยละ 52.31 เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม รองลงมาคือชุดการทดลองที่ 4, 3, 2 และ 1 ซึ่งมีปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ เท่ากับ 1,389.4,

1,498.7, 1,504.6 และ 1,589.3 ไมโครกรัมต่อลิตร ตามลำดับ (รูปที่ 4.8) ในวันที่ 44 ของการทดลอง สามารถลดปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ได้เท่ากับร้อยละ 30.56, 28.71, 23.33 และ 23.25 นอกจากนี้เมื่อวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนของปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ในแต่ละชุดการทดลองตลอดระยะเวลาที่ทำการวิจัยพบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 สอดคล้องกับงานวิจัยของ Ball *et al.*[55] ศึกษาการควบคุมการเจริญเติบโตของสาหร่ายโดยใช้สารสกัดจากฟางข้าวบาร์เลย์ พบว่าการใช้ฟางข้าวบาร์เลย์สามารถลดปริมาณคลอโรฟิลล์ได้ทุกระดับความเข้มข้น โดยสามารถลดได้ร้อยละ 10-33 ในระยะเวลา 28 วัน โดยที่ระดับความเข้มข้นของสารสกัดร้อยละ 1 โดยมวลต่อปริมาตร สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตทั้งสาหร่าย *Microcystis* sp. และ *Scenedesmus* sp. Xi *et al.* [51] ได้รายงานผลของการใช้ต้นข้าวบาร์เลย์ในการยับยั้งการเจริญเติบโตของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน *Microcystis aeruginosa* โดยเลี้ยงสาหร่ายในอาหารสูตร BG-11 จากนั้นเติมน้ำฟางข้าวบาร์เลย์ที่ผ่านการตัดเป็นท่อนและแช่น้ำที่ผ่านการพ่นอากาศปริมาตร 5 ลิตรบ่มที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 50 วันจากนั้นเติมสารละลายที่สกัดจากฟางข้าวบาร์เลย์ลงในอาหารเลี้ยงสาหร่ายปริมาตร 0.5-8 กรัมต่อลิตร ติดตามผลการทดลองในวันที่ 1, 5 และ 15 วันพบว่าสารสกัดจากฟางข้าวบาร์เลย์สามารถลดปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ได้ คิดเป็นร้อยละ 85.05 ที่ระดับความเข้มข้น 8 กรัมต่อลิตร





รูปที่ 4.8 ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ (ไมโครกรัมต่อลิตร) วันที่ 24 มิถุนายน ถึง 7 สิงหาคม พ.ศ. 2557 (R = สารสกัดฟางข้าว)

4.2.4 ความเป็นกรด-ด่าง (pH)

จากการศึกษาผลการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด-ด่างเมื่อได้รับการบำบัดด้วยสารสกัดฟางข้าวในอัตราส่วนที่แตกต่างกันตั้งแต่วันที่ 24 มิถุนายน พ.ศ. 2557 ถึง 7 สิงหาคม พ.ศ. 2557 พบว่า

ชุดควบคุม ค่าความเป็นกรด-ด่างมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 8.57 ในวันที่ 15 ของการทดลอง และค่าสูงสุดเท่ากับ 9.66 ในวันที่ 1 ของการทดลองและมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 8.83

ชุดการทดลองที่ 1 อัตราส่วนสารสกัดฟางข้าวร้อยละ 2 มีค่าต่ำสุดเท่ากับ 7.89 ในวันที่ 15 ของการทดลองและค่าสูงสุดเท่ากับ 8.47 ในวันที่ 3 ของการทดลองและมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 8.08

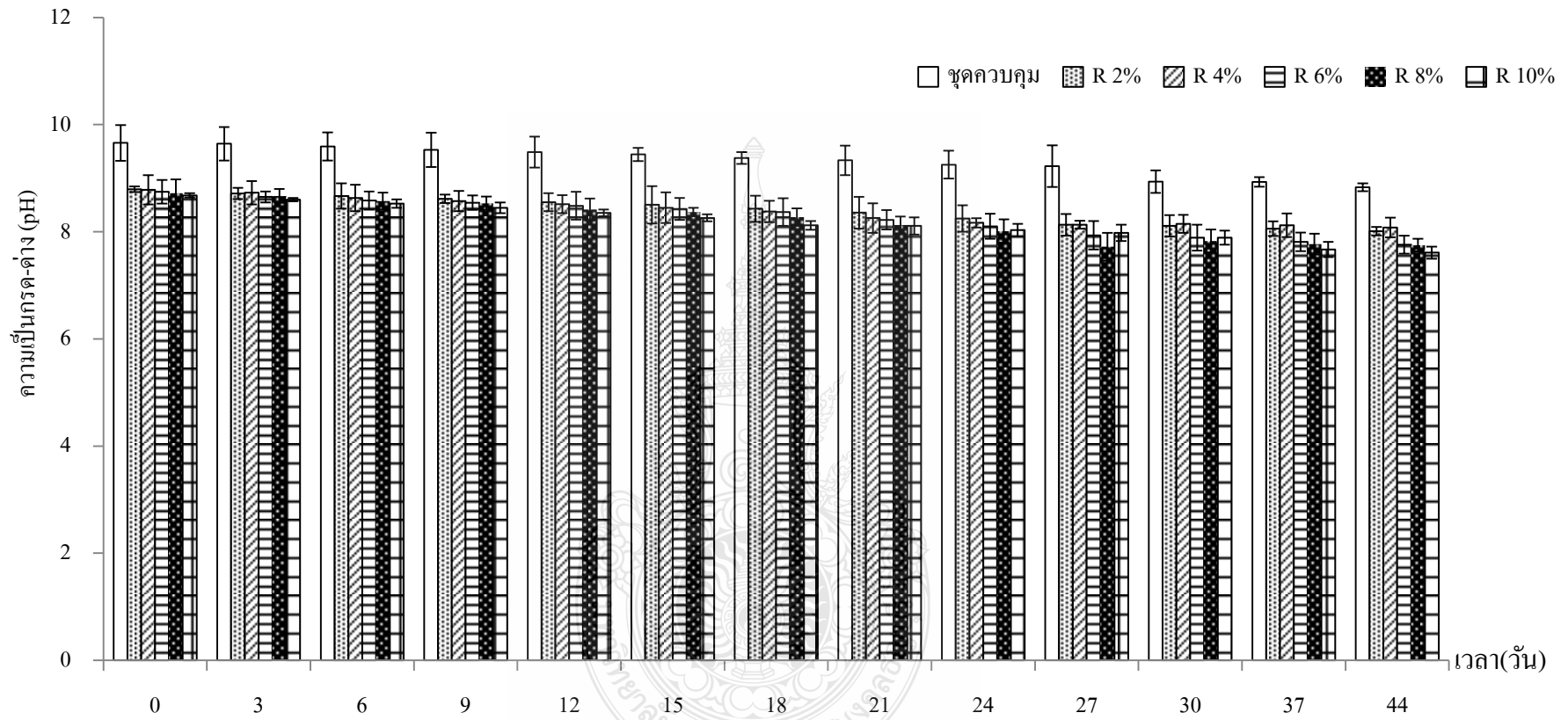
ชุดการทดลองที่ 2 อัตราส่วนสารสกัดฟางข้าวร้อยละ 4 มีค่าต่ำสุดเท่ากับ 7.62 ในวันที่ 15 ของการทดลองและค่าสูงสุดเท่ากับ 8.68 ในวันที่ 3 ของการทดลองและมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 7.8

ชุดการทดลองที่ 3 อัตราส่วนสารสกัดฟางข้าวร้อยละ 6 มีค่าต่ำสุดเท่ากับ 7.58 ในวันที่ 15 ของการทดลองและค่าสูงสุดเท่ากับ 8.55 ในวันที่ 3 ของการทดลองและมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 7.9

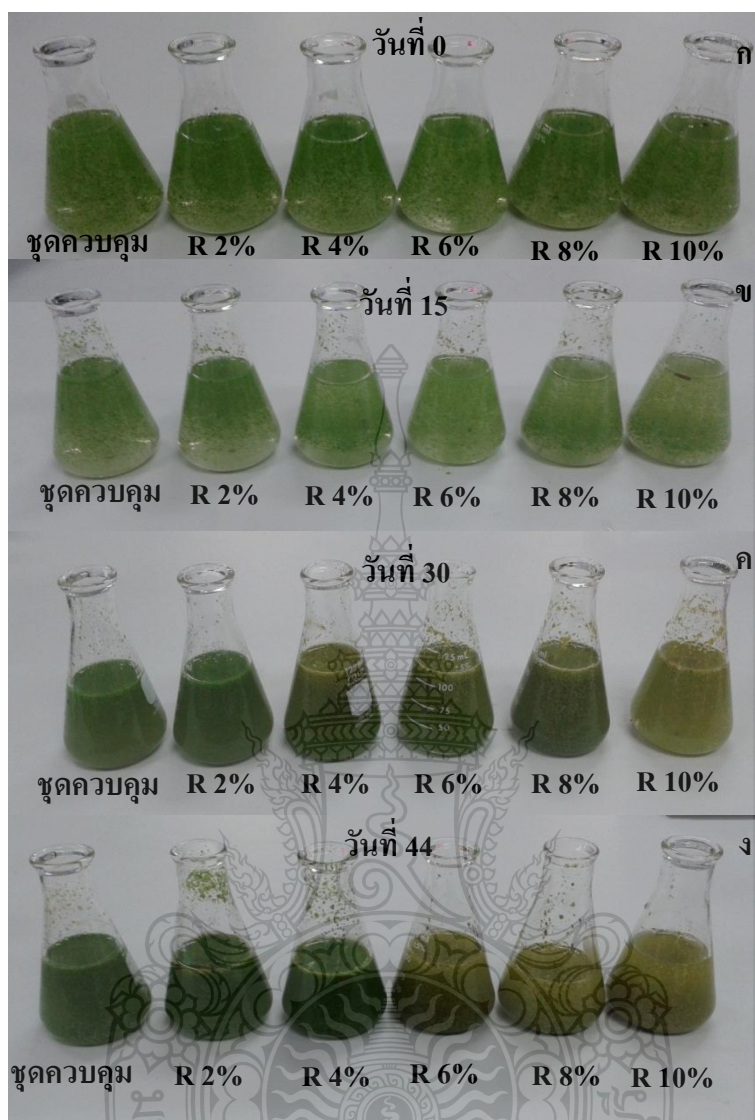
ชุดการทดลองที่ 4 อัตราส่วนสารสกัดฟางข้าวร้อยละ 8 มีค่าต่ำสุดเท่ากับ 7.47 ในวันที่ 15 ของการทดลอง และค่าสูงสุดเท่ากับ 8.41 ในวันที่ 3 ของการทดลองและมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 7.52

ชุดการทดลองที่ 5 อัตราส่วนสารสกัดฟางข้าวร้อยละ 10 มีค่าต่ำสุดเท่ากับ 7.45 ในวันที่ 15 ของการทดลองและค่าสูงสุดเท่ากับ 8.53 ในวันที่ 3 ของการทดลองและมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 7.4

จากการศึกษาความเป็นกรด-ด่างจากการบำบัดด้วยสารไคโตซาน พบว่าก่อนทำการทดลอง ความเป็นกรด-ด่างอยู่ในช่วง 8.41 ถึง 9.66 และหลังจากการทดสอบสารไคโตซานที่ความเข้มข้นต่างกัน ตั้งแต่วันที่ 3 ถึงวันที่ 44 ของการทดลอง ความเป็นกรด-ด่างในชุดการทดลองมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 7.89, 7.62, 7.58, 7.47 และ 7.45 ในชุดการทดลองที่ 1, 2, 3, 4 และ 5 ตามลำดับ (รูปที่ 4.9) สำหรับค่าความเป็นกรด-ด่างในชุดควบคุมมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 8.83 ซึ่งจากการวิเคราะห์ค่าทางสถิติพบว่าค่าความเป็นกรด-ด่างในแต่ละชุดการทดลองไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ในแหล่งน้ำผิวดินส่วนใหญ่มีค่าความเป็นกรด-ด่างสูงกว่า 7 ซึ่งมีสาเหตุมาจากสารประกอบจำพวกไบคาร์บอเนตและคาร์บอเนตที่ละลายอยู่ตามแหล่งน้ำ [35] ดังนั้นค่าความเป็นกรด-ด่างในผลการทดลองจึงมีค่าสูงกว่า 7 แต่ค่าความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสมต่อการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่ในแหล่งน้ำจะอยู่ในช่วง 6.5-8.3 [19] ซึ่งจากผลการทดลองพบว่าน้ำตัวอย่างที่ผ่านการกำจัดสาหร่าย *Microcystis* spp. โดยใช้สารสกัดจากฟางข้าวสามารถลดค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำตัวอย่างให้มีความเหมาะสมต่อการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำได้ [44]



รูปที่ 4.9 ความเป็นกรด-ด่าง (pH) วันที่ 24 มิถุนายน ถึง 7 สิงหาคม พ.ศ. 2557 (R = สารสกัดฟางข้าว)



รูปที่ 4.10 น้ำตัวอย่างหลังผ่านการยับยั้งด้วยสารสกัดจากฟางข้าว (R = สารสกัดฟางข้าว)

(ก) แสดงน้ำตัวอย่างหลังผ่านการยับยั้งด้วยสารสกัดฟางข้าว ร้อยละ 2, 4, 6, 8, 10 และชดควบคุม ในวันที่ 0 ของการทดลอง

(ข) แสดงน้ำตัวอย่างหลังผ่านการยับยั้งด้วยสารสกัดฟางข้าว ร้อยละ 2, 4, 6, 8, 10 และชดควบคุม ในวันที่ 15 ของการทดลอง

(ค) แสดงน้ำตัวอย่างหลังผ่านการยับยั้งด้วยสารสกัดฟางข้าว ร้อยละ 2, 4, 6, 8, 10 และชดควบคุม ในวันที่ 30 ของการทดลอง

(ง) แสดงน้ำตัวอย่างหลังผ่านการยับยั้งด้วยสารสกัดฟางข้าว ร้อยละ 2, 4, 6, 8, 10 และชดควบคุม ในวันที่ 44 ของการทดลอง

4.3 ผลของปริมาณสารโคโตซานและสารสกัดฟางข้าวที่เหมาะสมในการยับยั้ง

การเจริญเติบโตของสาหร่าย *Microcystis* spp.

4.3.1 จำนวนเซลล์ (cell number)

จากการศึกษาผลการเปลี่ยนแปลงจำนวนเซลล์ เมื่อได้รับการบำบัดด้วยสารละลายโคโตซานและสารสกัดฟางข้าวในอัตราส่วนที่แตกต่างกันตั้งแต่วันที่ 25 กันยายน พ.ศ. 2558 ถึง 8 พฤศจิกายน พ.ศ. 2558 พบว่า

ชุดควบคุม จำนวนเซลล์มีค่าต่ำสุดเท่ากับ 2.61×10^5 เซลล์ต่อมิลลิลิตร ในวันที่ 37 ของการทดลอง และค่าสูงสุดเท่ากับ 2.90×10^5 เซลล์ต่อมิลลิลิตร ณ วันที่ 3 ของการทดลองและมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.75×10^5 เซลล์ต่อมิลลิลิตร

ชุดการทดลองที่ 1 อัตราส่วนสารละลายโคโตซาน : สารสกัดฟางข้าว เท่ากับ 1:3 จำนวนเซลล์มีค่าต่ำสุดเท่ากับ 1.58×10^4 เซลล์ต่อมิลลิลิตร ในวันที่ 44 ของการทดลอง และค่าสูงสุดเท่ากับ 2.93×10^5 เซลล์ต่อมิลลิลิตร ในวันที่ 1 ของการทดลองและมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.81×10^5 เซลล์ต่อมิลลิลิตร

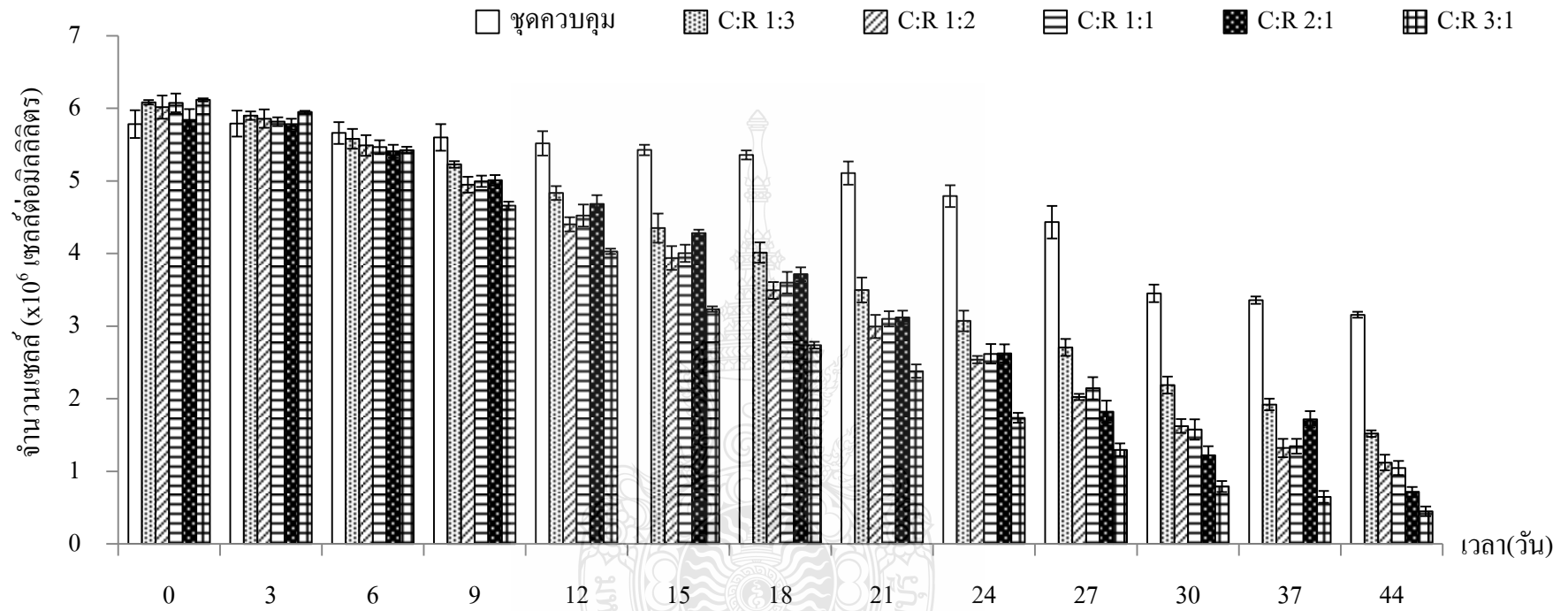
ชุดการทดลองที่ 2 อัตราส่วนสารละลายโคโตซาน : สารสกัดฟางข้าว เท่ากับ 1:2 จำนวนเซลล์มีค่าต่ำสุดเท่ากับ 1.55×10^4 เซลล์ต่อมิลลิลิตร ในวันที่ 44 ของการทดลอง และค่าสูงสุดเท่ากับ 2.93×10^5 เซลล์ต่อมิลลิลิตร ในวันที่ 3 ของการทดลองและมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.76×10^5 เซลล์ต่อมิลลิลิตร

ชุดการทดลองที่ 3 อัตราส่วนสารละลายโคโตซาน : สารสกัดฟางข้าว เท่ากับ 1:1 จำนวนเซลล์มีค่าต่ำสุดเท่ากับ 1.38×10^4 เซลล์ต่อมิลลิลิตร ในวันที่ 44 ของการทดลอง และค่าสูงสุดเท่ากับ 2.93×10^5 เซลล์ต่อมิลลิลิตร ในวันที่ 3 ของการทดลองและมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.84×10^5 เซลล์ต่อมิลลิลิตร

ชุดการทดลองที่ 4 อัตราส่วนสารละลายโคโตซาน : สารสกัดฟางข้าว เท่ากับ 2:1 จำนวนเซลล์มีค่าต่ำสุดเท่ากับ 1.24×10^4 เซลล์ต่อมิลลิลิตร ในวันที่ 44 ของการทดลอง และค่าสูงสุดเท่ากับ 2.93×10^5 เซลล์ต่อมิลลิลิตร ในวันที่ 3 ของการทดลองและมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.78×10^5 เซลล์ต่อมิลลิลิตร

ชุดการทดลองที่ 5 อัตราส่วนสารละลายโคโตซาน : สารสกัดฟางข้าว เท่ากับ 3:1 จำนวนเซลล์มีค่าต่ำสุดเท่ากับ 0.82×10^4 เซลล์ต่อมิลลิลิตร ในวันที่ 44 ของการทดลอง และค่าสูงสุดเท่ากับ 2.89×10^5 เซลล์ต่อมิลลิลิตร ในวันที่ 0 ของการทดลองและมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.31×10^5 เซลล์ต่อมิลลิลิตร

จากการศึกษาจำนวนเซลล์สาหร่าย *Microcystis* spp. ในแต่ละชุดการทดลอง พบว่า ก่อนทำการทดลอง จำนวนเซลล์สาหร่าย *Microcystis* spp. เฉลี่ยเท่ากับ 2.91×10^5 เซลล์ต่อมิลลิลิตร และหลังจากการทดสอบสาร ไคโตซานและสารสกัดฟางข้าว ในอัตราส่วนที่ต่างกัน ตั้งแต่วันที่ 3 ถึง วันที่ 44 ของการทดลอง จำนวนเซลล์สาหร่ายในแต่ละชุดการทดลองมีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่อง โดยชุดการทดลองที่ 5 อัตราส่วนสารละลายไคโตซาน : สารสกัดฟางข้าว เท่ากับ 1:3 จำนวนเซลล์ลดลงต่ำที่สุด เท่ากับ 0.82×10^4 เซลล์ต่อมิลลิลิตร มีประสิทธิภาพสูงที่สุดในการยับยั้งจำนวนเซลล์สาหร่าย *Microcystis* spp. คิดเป็นร้อยละ 88.73 เมื่อเทียบกับชุดควบคุม รองลงมาคือชุดการทดลองที่ 4, 3, 2 และ 1 ซึ่งมีจำนวนเซลล์เท่ากับ 1.24×10^4 , 1.38×10^4 , 1.38×10^4 และ 1.58×10^4 เซลล์ต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ (รูปที่ 4.11) ภายในวันที่ 44 ของการทดลองสามารถยับยั้งจำนวนเซลล์สาหร่าย *Microcystis* spp. คิดเป็นร้อยละ 79.45, 64.58, 59.23 และ 45.72 ตามลำดับ นอกจากนี้เมื่อวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนของจำนวนเซลล์ *Microcystis* spp. ในแต่ละชุดการทดลองตลอดระยะเวลาที่ทำการวิจัย พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 สอดคล้องกับงานวิจัยของ Park *et al.* [44] ที่ศึกษาการยับยั้งการเจริญเติบโตของสาหร่าย *Microcystis* sp. ด้วยสารประกอบที่แยกได้จาก แกลบข้าวเจ้าพบว่าสารสกัดจากแกลบข้าวเจ้าความเข้มข้น 1,000 ไมโครกรัมต่อลิตรสามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของสาหร่าย *Microcystis* sp. ได้มากที่สุดโดยสามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของสาหร่ายที่เลี้ยงแบบเซลล์เดี่ยวได้ร้อยละ 81 และสามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของสาหร่ายที่เจริญเป็นโคโลนีได้ ร้อยละ 80 ตามลำดับ ภายในระยะเวลาเพียง 8 วันและงานวิจัยของ Pan *et al.* [45] ศึกษาการกำจัด *Microcystis* spp. โดยใช้สารไคโตซานร่วมกับดินในสาธารณรัฐประชาชนจีน พบว่าสามารถลดเซลล์สาหร่ายได้ร้อยละ 99 ภายในระยะเวลาเพียง 16 ชั่วโมง สารไคโตซานมีประสิทธิภาพการกำจัดแพลงก์ตอนพืชรวมทั้งตะกอนชีวภาพที่เกิดจากแพลงก์ตอนพืช [36] สามารถใช้เป็นสารกระตุ้นให้เกิดการตกตะกอนได้ดี [30] โดยโครงสร้างประกอบไปด้วยอนุภาคที่เป็นประจุบวกสามารถที่จะดึงดูดเซลล์ของสาหร่ายแล้วทำให้สาหร่ายตกลงสู่ก้นแหล่งน้ำได้ [34]



รูปที่ 4.11 จำนวนเซลล์ ($\times 10^6$ เซลล์ต่อมิลลิลิตร) 25 กันยายน ถึง 8 พฤศจิกายน พ.ศ. 2558 (C = ไคโตซาน, R = สารสกัดฟางข้าว)

4.3.2 ค่าดูดกลืนแสง (absorbance)

ผลการเปลี่ยนแปลงค่าดูดกลืนแสง เมื่อได้รับการบำบัดด้วยสารละลายไคโตซานและสารสกัดฟางข้าวในอัตราส่วนที่แตกต่างกันตั้งแต่วันที่ 25 กันยายน พ.ศ. 2558 ถึง 8 พฤศจิกายน พ.ศ. 2558 พบว่า

ชุดควบคุม ค่าดูดกลืนแสงมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 0.287 ในวันที่ 44 ของการทดลอง และค่าสูงสุดเท่ากับ 0.359 ในวันที่ 3 ของการทดลองและมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.315

ชุดการทดลองที่ 1 อัตราส่วนสารละลายไคโตซาน : สารสกัดฟางข้าว เท่ากับ 1:3 ค่าดูดกลืนแสงมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 0.232 ในวันที่ 44 ของการทดลอง และค่าสูงสุดเท่ากับ 0.345 ในวันที่ 0 ของการทดลองและมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.313

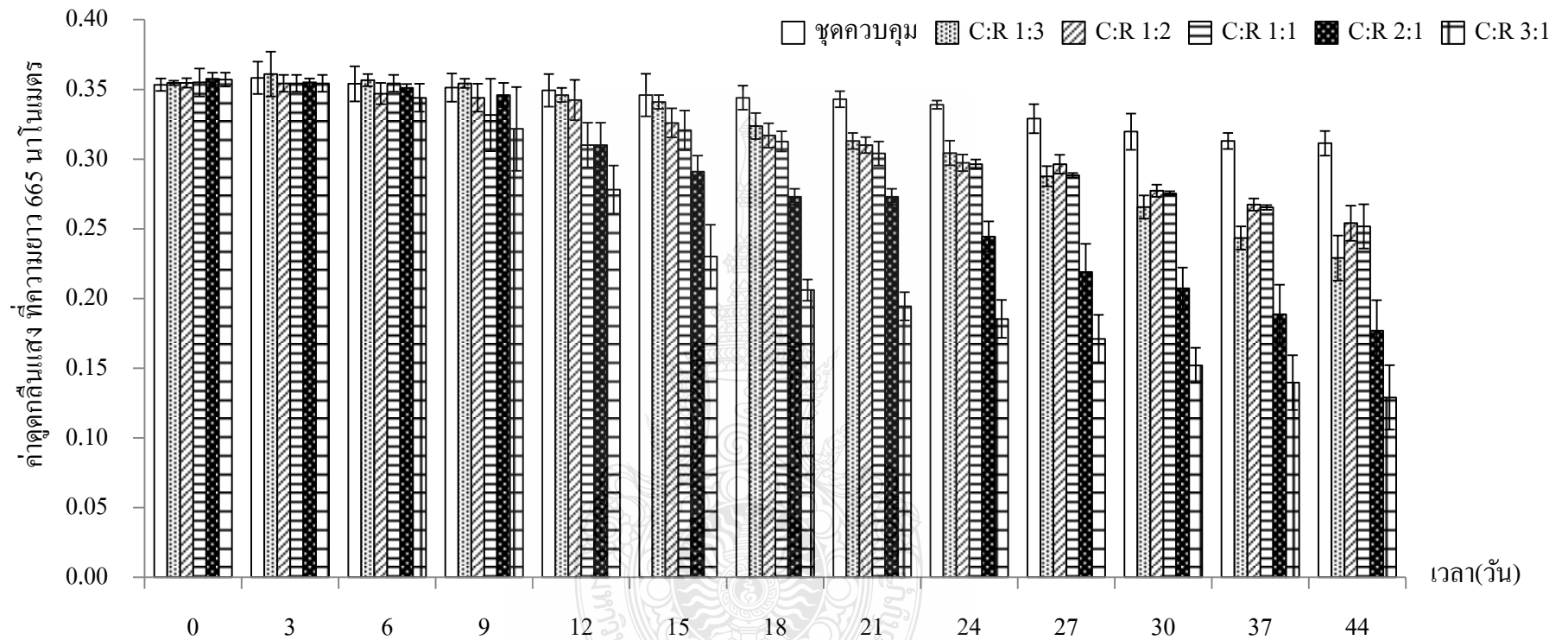
ชุดการทดลองที่ 2 อัตราส่วนสารละลายไคโตซาน : สารสกัดฟางข้าว เท่ากับ 1:2 ค่าดูดกลืนแสงมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 0.229 ในวันที่ 44 ของการทดลอง และค่าสูงสุดเท่ากับ 0.361 ในวันที่ 3 ของการทดลองและมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.323

ชุดการทดลองที่ 3 อัตราส่วนสารละลายไคโตซาน : สารสกัดฟางข้าว เท่ากับ 1:1 ค่าดูดกลืนแสงมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 0.221 ในวันที่ 44 ของการทดลอง และค่าสูงสุดเท่ากับ 0.360 ในวันที่ 3 ของการทดลองและมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.321

ชุดการทดลองที่ 4 อัตราส่วนสารละลายไคโตซาน : สารสกัดฟางข้าว เท่ากับ 2:1 ค่าดูดกลืนแสงมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 0.183 ในวันที่ 44 ของการทดลอง และค่าสูงสุดเท่ากับ 0.345 ในวันที่ 0 ของการทดลองและมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.311

ชุดการทดลองที่ 5 อัตราส่วนสารละลายไคโตซาน : สารสกัดฟางข้าว เท่ากับ 3:1 ค่าดูดกลืนแสงมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 0.154 ในวันที่ 44 ของการทดลอง และค่าสูงสุดเท่ากับ 0.352 ในวันที่ 0 ของการทดลองและมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.281

จากการศึกษาค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 665 นาโนเมตรในแต่ละชุดการทดลอง พบว่าก่อนบำบัด มีค่าดูดกลืนแสงเท่ากับ 0.351 และหลังจากการทดสอบสารไคโตซานที่ความเข้มข้นต่างกัน พบว่าตั้งแต่วันที่ 3 ถึงวันที่ 44 ของการทดลอง ค่าดูดกลืนแสงในแต่ละชุดการทดลองมีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่อง โดยชุดการทดลองที่ 5 อัตราส่วนสารละลายไคโตซาน : สารสกัดฟางข้าว เท่ากับ 3:1 มีค่าดูดกลืนแสงลดลงต่ำที่สุด เท่ากับ 0.154 รองลงมาคือชุดการทดลองที่ 4, 3, 2 และ 1 ซึ่งมีค่าดูดกลืนแสงเท่ากับ 0.183, 0.221, 0.229 และ 0.232 ตามลำดับ (รูปที่ 4.12) ในวันที่ 44 ของการทดลอง นอกจากนี้เมื่อวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนของค่าดูดกลืนแสง ในแต่ละชุดการทดลองตลอดระยะเวลาที่ทำการวิจัยพบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05



รูปที่ 4.12 ค่าดูดกลืนแสง ที่ความยาว 665 นาโนเมตร 25 กันยายน ถึง 8 พฤศจิกายน พ.ศ. 2558 (C = ไคโตซาน, R = สารสกัดฟางข้าว)

4.3.3 ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ (chlorophyll a)

ผลการเปลี่ยนแปลงปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ เมื่อได้รับการบำบัดด้วยสารละลายไคโตซานและสารสกัดฟางข้าวในอัตราส่วนที่แตกต่างกันตั้งแต่วันที่ 25 กันยายน พ.ศ. 2558 ถึง 8 พฤศจิกายน พ.ศ. 2558 พบว่า

ชุดควบคุม ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ มีค่าต่ำสุดเท่ากับ 1,686.6 ไมโครกรัมต่อลิตร ในวันที่ 44 ของการทดลอง และค่าสูงสุดเท่ากับ 1,902.7 ไมโครกรัมต่อลิตร ในวันที่ 0 ของการทดลอง และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1,873.9 ไมโครกรัมต่อลิตร

ชุดการทดลองที่ 1 อัตราส่วนสารละลายไคโตซาน : สารสกัดฟางข้าว เท่ากับ 1:3 ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ มีค่าต่ำสุดเท่ากับ 1,589.3 ไมโครกรัมต่อลิตร ในวันที่ 44 ของการทดลอง และค่าสูงสุดเท่ากับ 1,882.7 ไมโครกรัมต่อลิตร ในวันที่ 0 ของการทดลองและมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1,775.9 ไมโครกรัมต่อลิตร

ชุดการทดลองที่ 2 อัตราส่วนสารละลายไคโตซาน : สารสกัดฟางข้าว เท่ากับ 1:2 ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ มีค่าต่ำสุดเท่ากับ 1,504.6 ไมโครกรัมต่อลิตร ในวันที่ 44 ของการทดลอง และค่าสูงสุดเท่ากับ 1,856.9 ไมโครกรัมต่อลิตร ในวันที่ 0 ของการทดลองและมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1,749.2 ไมโครกรัมต่อลิตร

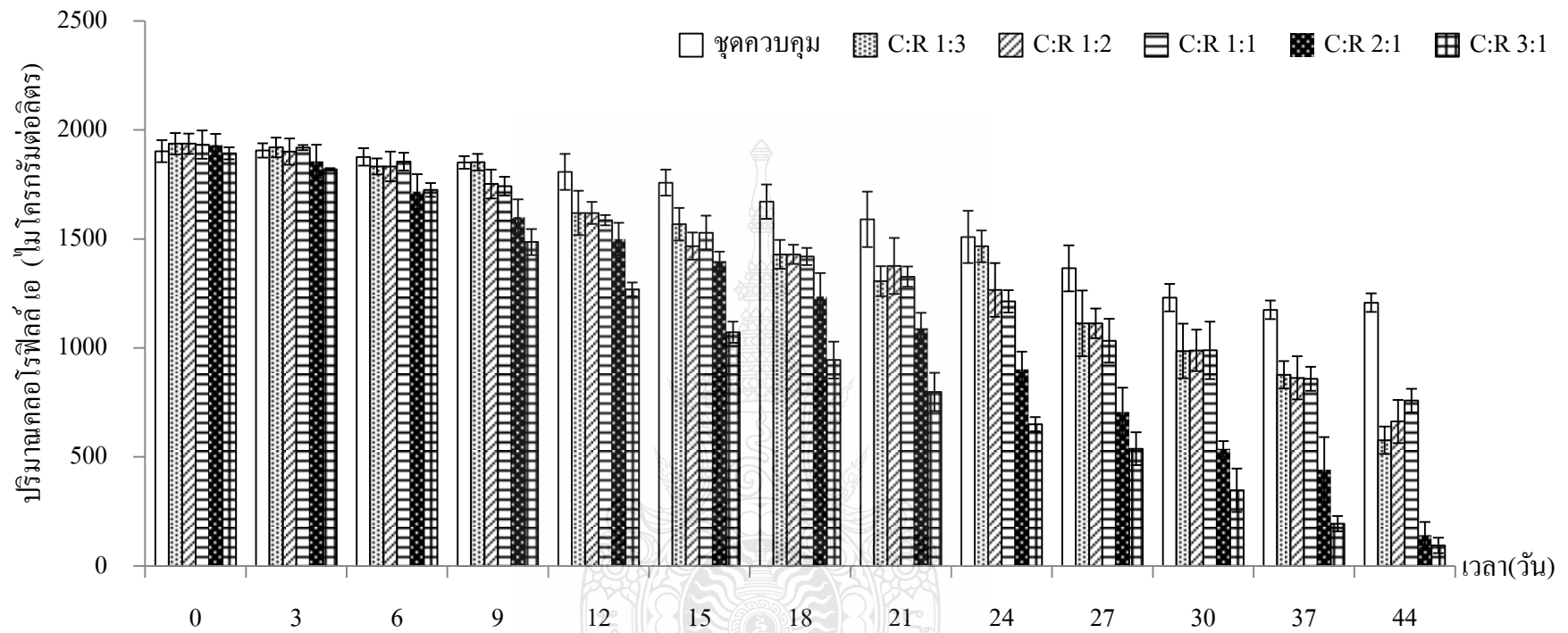
ชุดการทดลองที่ 3 อัตราส่วนสารละลายไคโตซาน : สารสกัดฟางข้าว เท่ากับ 1:1 ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ มีค่าต่ำสุดเท่ากับ 1,468.8 ไมโครกรัมต่อลิตร ในวันที่ 44 ของการทดลอง และค่าสูงสุดเท่ากับ 1,883.4 ไมโครกรัมต่อลิตร ในวันที่ 0 ของการทดลองและมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1,667.4 ไมโครกรัมต่อลิตร

ชุดการทดลองที่ 4 อัตราส่วนสารละลายไคโตซาน : สารสกัดฟางข้าว เท่ากับ 2:1 ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ มีค่าต่ำสุดเท่ากับ 1,367.1 ไมโครกรัมต่อลิตร ในวันที่ 44 ของการทดลอง และค่าสูงสุดเท่ากับ 1,873.4 ไมโครกรัมต่อลิตร ในวันที่ 0 ของการทดลองและมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1,595.5 ไมโครกรัมต่อลิตร

ชุดการทดลองที่ 5 อัตราส่วนสารละลายไคโตซาน : สารสกัดฟางข้าว เท่ากับ 3:1 ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ มีค่าต่ำสุดเท่ากับ 1,229.3 ไมโครกรัมต่อลิตร ในวันที่ 44 ของการทดลอง และค่าสูงสุดเท่ากับ 1,884.6 ไมโครกรัมต่อลิตร ในวันที่ 0 ของการทดลองและมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1,459.1 ไมโครกรัมต่อลิตร

จากการศึกษาปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ในแต่ละชุดการทดลอง พบว่าก่อนบำบัด มีปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ เท่ากับ 1,879.5 ไมโครกรัมต่อลิตร และหลังจากการทดสอบสารไคโตซานที่ความเข้มข้นต่างกัน พบว่าตั้งแต่วันที่ 3 ถึงวันที่ 44 ของการทดลอง ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ในแต่ละ

ชุดการทดลองมีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่อง โดยชุดการทดลองที่ 5 อัตราส่วนสารละลายไคโตซาน : สารสกัดฟางข้าว เท่ากับ 3:1 มีปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ลดลงต่ำที่สุด เท่ากับ 1229.3 ไมโครกรัมต่อลิตร ในวันที่ 44 ของการทดลอง ซึ่งมีประสิทธิภาพสูงสุดในการลดปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ เท่ากับร้อยละ 36.67 เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม รองลงมาคือชุดการทดลองที่ 4, 3, 2 และ 1 ซึ่งสามารถวัดค่าปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ เท่ากับ 1,367.1, 1,468.8, 1,504.6 และ 1,589.3 ไมโครกรัมต่อลิตร ตามลำดับ (รูปที่ 4.13) ในวันที่ 44 ของการทดลองสามารถลดปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ได้เท่ากับร้อยละ 32.51, 31.67, 24.11 และ 23.25 ตามลำดับ นอกจากนี้เมื่อวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนของปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ในแต่ละชุดการทดลองตลอดระยะเวลาที่ทำการวิจัยพบที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 สอดคล้องกับงานวิจัยของ Yan *et al.* [52] ศึกษาการยับยั้งการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน โดยใช้สารไคโตซานร่วมกับการปลูกหญ้าทะเลในระบบบ่อ เทียมพบว่าปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ลดลงมากที่สุดในบ่อที่มีการใช้ไคโตซานในการกำจัดสาหร่ายซึ่งสามารถลดปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ได้ร้อยละ 84.26 รองลงมาคือบ่อที่มีการเติมสารไคโตซานร่วมกับปลูกหญ้าทะเลสามารถลดปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ได้ร้อยละ 74.7 ส่วนบ่อที่ปลูกหญ้าทะเลสามารถลดปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ได้ร้อยละ 83.3 หลังทำการทดลองเป็นระยะเวลา 12 สัปดาห์ Wen *et al.* [41] ได้รายงานว่ สารสกัดจากฟางข้าวที่ระดับความเข้มข้น 8 กรัมต่อลิตร สามารถลดปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ได้เท่ากับร้อยละ 98.92 ภายในระยะเวลา 7 วัน และหลังจากการทดลองเป็นเวลา 15 วันสามารถลดปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ได้เท่ากับร้อยละ 98.97



รูปที่ 4.13 ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ (ไมโครกรัมต่อลิตร) 25 กันยายน ถึง 8 พฤศจิกายน พ.ศ. 2558 (C = ปุ๋ยคอก, R = สารสกัดฟางข้าว)

4.3.4 ความเป็นกรด-ด่าง (pH)

ผลการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด-ด่างเมื่อได้รับการบำบัดด้วยสารละลายไคโตซาน และสารสกัดฟางข้าวในอัตราส่วนที่แตกต่างกันตั้งแต่วันที่ 25 กันยายน พ.ศ. 2558 ถึง 8 พฤศจิกายน พ.ศ. 2558 พบว่า

ชุดควบคุม ค่าความเป็นกรด-ด่างมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 8.57 ในวันที่ 15 ของการทดลอง และค่าสูงสุดเท่ากับ 9.66 ในวันที่ 1 ของการทดลองและมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 8.98

ชุดการทดลองที่ 1 อัตราส่วนสารละลายไคโตซาน : สารสกัดฟางข้าว เท่ากับ 1:3 มีค่าต่ำสุดเท่ากับ 7.53 ในวันที่ 15 ของการทดลองและค่าสูงสุดเท่ากับ 8.47 ในวันที่ 3 ของการทดลองและมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 7.64

ชุดการทดลองที่ 2 อัตราส่วนสารละลายไคโตซาน : สารสกัดฟางข้าว เท่ากับ 1:2 มีค่าต่ำสุดเท่ากับ 7.49 ในวันที่ 15 ของการทดลองและค่าสูงสุดเท่ากับ 8.42 ในวันที่ 3 ของการทดลองและมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 7.78

ชุดการทดลองที่ 3 อัตราส่วนสารละลายไคโตซาน : สารสกัดฟางข้าว เท่ากับ 1:1 มีค่าต่ำสุดเท่ากับ 7.43 ในวันที่ 15 ของการทดลองและค่าสูงสุดเท่ากับ 8.58 ในวันที่ 3 ของการทดลองและมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 7.65

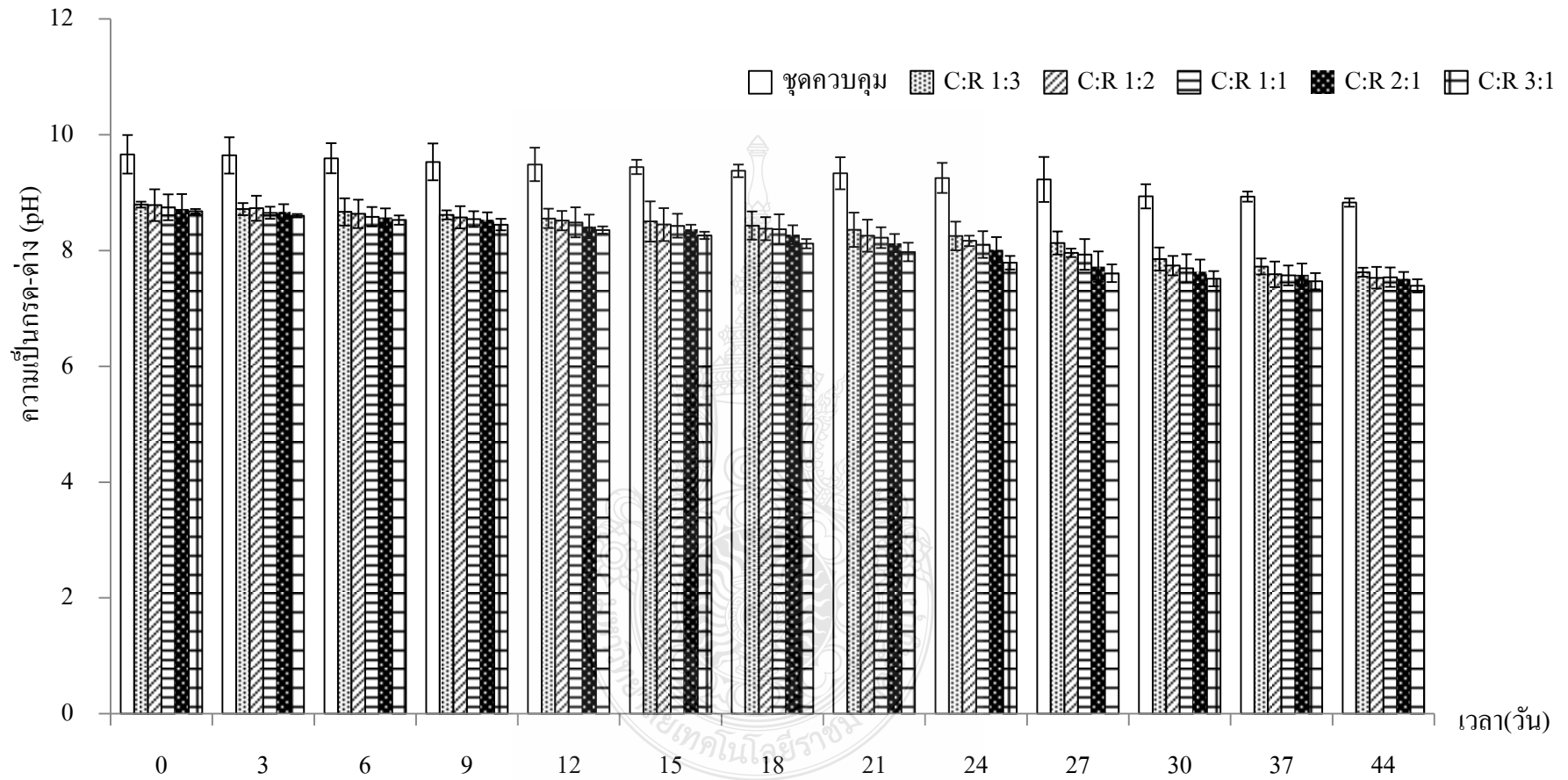
ชุดการทดลองที่ 4 อัตราส่วนสารละลายไคโตซาน : สารสกัดฟางข้าว เท่ากับ 2:1 มีค่าต่ำสุดเท่ากับ 7.37 ในวันที่ 15 ของการทดลอง และค่าสูงสุดเท่ากับ 8.43 ในวันที่ 3 ของการทดลอง และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 7.49

ชุดการทดลองที่ 5 อัตราส่วนสารละลายไคโตซาน : สารสกัดฟางข้าว เท่ากับ 3:1 มีค่าต่ำสุดเท่ากับ 7.32 ในวันที่ 15 ของการทดลองและค่าสูงสุดเท่ากับ 8.41 ในวันที่ 3 ของการทดลองและมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 7.38

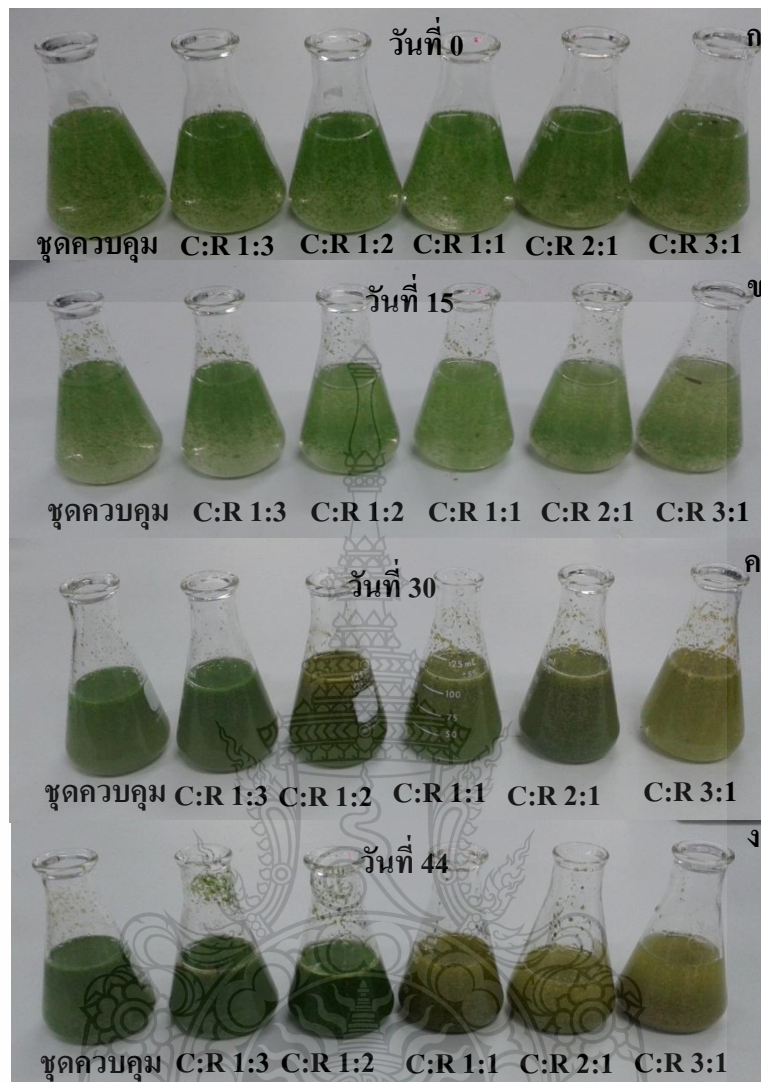
จากการศึกษาความเป็นกรด-ด่างจากการบำบัดด้วยสารไคโตซาน พบว่าก่อนทำการทดลอง ความเป็นกรด-ด่างอยู่ในช่วง 8.41 ถึง 9.66 และหลังจากการทดสอบสารไคโตซานที่ความเข้มข้นต่างกัน ตั้งแต่วันที่ 3 ถึงวันที่ 44 ของการทดลอง ความเป็นกรด-ด่างในชุดการทดลองมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 7.64, 7.78, 7.65, 7.49 และ 7.38 ในชุดการทดลองที่ 1, 2, 3, 4 และ 5 ตามลำดับ (รูปที่ 4.14) สำหรับค่าความเป็นกรด-ด่างในชุดควบคุมมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 8.98 ซึ่งจากการวิเคราะห์ค่าทางสถิติพบว่าค่าความเป็นกรด-ด่างในแต่ละชุดการทดลองไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 เนื่องจากสารไคโตซานเป็นสารที่สามารถละลายได้ดีในกรดอ่อน มีผลต่อความเป็นกรด-ด่างของแหล่งน้ำ [33] และสารประกอบที่พบในฟางข้าวเป็นสารประกอบอินทรีย์มีหมู่ฟังก์ชันเป็นกรดคาร์บอกซิลิก ดังนั้นการใช้สารชนิดนี้จะช่วยลดความเป็นกรด-ด่างของน้ำได้ [35] สอดคล้องกับ

งานวิจัยของ Wang *et al.* [50] ศึกษาการยับยั้งการเจริญเติบโตของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินสองชนิด คือ *Microcystis aeruginosa* และ *Anabaena spiroides* ด้วยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ พบว่าการเติมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ปริมาตร 50 มิลลิลิตรต่อนาฬิกาทำให้อาหารที่ใช้เพาะเลี้ยงสาหร่ายมีค่าความเป็นกรดมากขึ้นคือ pH ลดลงเหลือ 5.5 ซึ่งสามารถยับยั้งการเจริญของสาหร่ายได้ดีที่สุด คือสามารถลดปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ได้ถึง 125 มิลลิกรัมต่อลิตรและสามารถลดปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำมากที่สุด คือ 5 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนการเติมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ปริมาตร 10 มิลลิลิตรต่อนาฬิกาสามารถทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ในอาหารลดลงเหลือ 6.5 แต่ในระดับค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) 6.5 นี้ไม่สามารถกำจัดสาหร่ายทั้งสองชนิดได้





รูปที่ 4.14 ความเป็นกรด-ด่าง (pH) 25 กันยายน ถึง 8 พฤศจิกายน พ.ศ. 2558 (C = ไคโตซาน, R = สารสกัดฟางข้าว)



รูปที่ 4.15 น้ำตัวอย่างหลังผ่านการยับยั้งด้วยสารโคโตซานและสารสกัดจากฟางข้าว (C = โคโตซาน, R = สารสกัดฟางข้าว)

(ก) แสดงน้ำตัวอย่างหลังผ่านการยับยั้งด้วยสารโคโตซานและสารสกัดฟางข้าว อัตราส่วน 1:3, 1:2, 1:1, 2:1, 3:1 และชุดควบคุม ในวันที่ 0 ของการทดลอง

(ข) แสดงน้ำตัวอย่างหลังผ่านการยับยั้งด้วยสารโคโตซานและสารสกัดฟางข้าว อัตราส่วน 1:3, 1:2, 1:1, 2:1, 3:1 และชุดควบคุม ในวันที่ 15 ของการทดลอง

(ค) แสดงน้ำตัวอย่างหลังผ่านการยับยั้งด้วยสารโคโตซานและสารสกัดฟางข้าว อัตราส่วน 1:3, 1:2, 1:1, 2:1, 3:1 และชุดควบคุม ในวันที่ 30 ของการทดลอง

(ง) แสดงน้ำตัวอย่างหลังผ่านการยับยั้งด้วยสารโคโตซานและสารสกัดฟางข้าว อัตราส่วน 1:3, 1:2, 1:1, 2:1, 3:1 และชุดควบคุม ในวันที่ 44 ของการทดลอง

4.4 ผลของปริมาณสารโคโตซานและสารสกัดฟางข้าวที่เหมาะสมในการยับยั้ง

การเจริญเติบโตของสาหร่าย *Microcystis* spp. ในบ่อกทดลอง

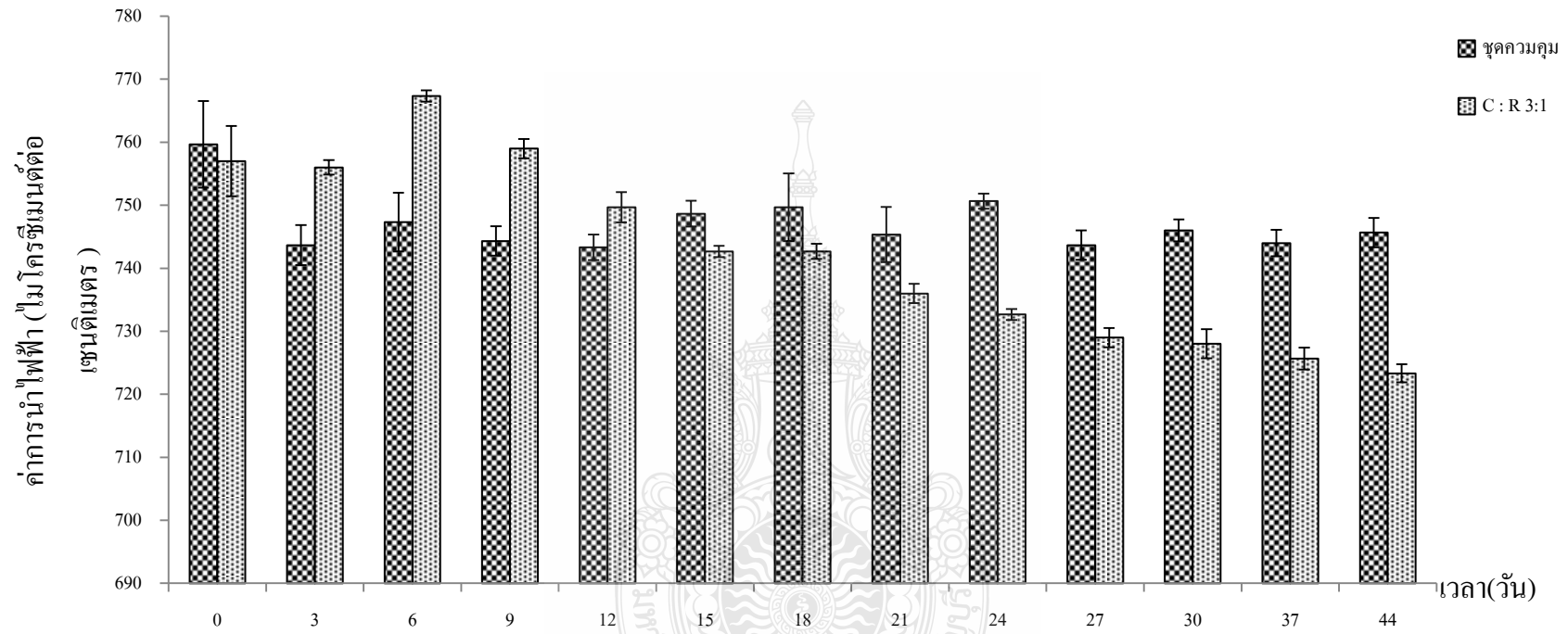
4.4.1 ค่าการนำไฟฟ้า (conductivity)

ผลการเปลี่ยนแปลงค่าการนำไฟฟ้า เมื่อได้รับการบำบัดด้วยสารละลายโคโตซานและสารสกัดฟางข้าวในบ่อกทดลอง ตั้งแต่วันที่ 7 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2559 ถึง 8 เมษายน พ.ศ. 2559 พบว่า

บ่อกควบคุม ค่าการนำไฟฟ้ามีค่าต่ำสุดเท่ากับ 744 ไมโครซีเมนต์ต่อเซนติเมตร ในวันที่ 37 ของการทดลอง และค่าสูงสุดเท่ากับ 759 ไมโครซีเมนต์ต่อเซนติเมตร ในวันที่ 0 ของการทดลอง และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 747 ไมโครซีเมนต์ต่อเซนติเมตร

บ่อกทดลองอัตราส่วนสารละลายโคโตซาน : สารสกัดฟางข้าว เท่ากับ 3:1 ค่าการนำไฟฟ้ามีค่าต่ำสุดเท่ากับ 723 ไมโครซีเมนต์ต่อเซนติเมตร ในวันที่ 44 ของการทดลอง และค่าสูงสุดเท่ากับ 757 ไมโครซีเมนต์ต่อเซนติเมตร ในวันที่ 0 ของการทดลองและมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 742 ไมโครซีเมนต์ต่อเซนติเมตร

จากการศึกษาค่าการนำไฟฟ้าในแต่ละบ่อกทดลอง พบว่าก่อนทำการทดลอง ค่าการนำไฟฟ้าเฉลี่ยเท่ากับ 758 ไมโครซีเมนต์ต่อเซนติเมตร และหลังจากการทดสอบสารโคโตซานและสารสกัดฟางข้าวในอัตราส่วนเท่ากับ 3:1 ตั้งแต่วันที่ 3 ถึงวันที่ 44 ของการทดลอง ค่าการนำไฟฟ้าในบ่อกทดลองมีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่อง โดย ค่าการนำไฟฟ้าลดลงต่ำที่สุด เท่ากับ 723 ไมโครซีเมนต์ต่อเซนติเมตร (รูปที่ 4.16) ในวันที่ 44 ของการทดลอง แต่ยังมีค่าเกินค่ามาตรฐานการนำไฟฟ้าในแหล่งน้ำผิวดินประเภทที่ 4 นอกจากนี้เมื่อวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนของค่าการนำไฟฟ้าในแต่ละบ่อกทดลองตลอดระยะเวลาที่ทำการวิจัยพบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ถ้าน้ำมีค่าการนำไฟฟ้าสูงแสดงว่ามีปริมาณสารที่ละลายในน้ำมาก แต่ถ้าน้ำมีค่าการนำไฟฟ้าต่ำก็แสดงว่าในน้ำมีปริมาณสารที่ละลายในน้ำน้อย [42] ชาญณรงค์ [62] กล่าวว่าในแหล่งน้ำธรรมชาติที่มีคุณภาพน้ำดีจะมีค่าการนำไฟฟ้าอยู่ระหว่าง 150-300 ไมโครซีเมนต์ต่อเซนติเมตร ถ้ามียค่าสูงเกิน 300 ไมโครซีเมนต์ต่อเซนติเมตร แสดงว่าแหล่งน้ำมีสารปนเปื้อนจากสารต่างๆ อยู่เป็นจำนวนมาก



รูปที่ 4.16 ค่าการนำไฟฟ้า (ไมโครซีเมนต์ต่อเซนติเมตร) ในบ่อทดลองระหว่างวันที่ 7 กุมภาพันธ์ ถึง 22 มีนาคม พ.ศ. 2559
(C = สารโคโคซาน, R = สารสกัดฟางข้าว)

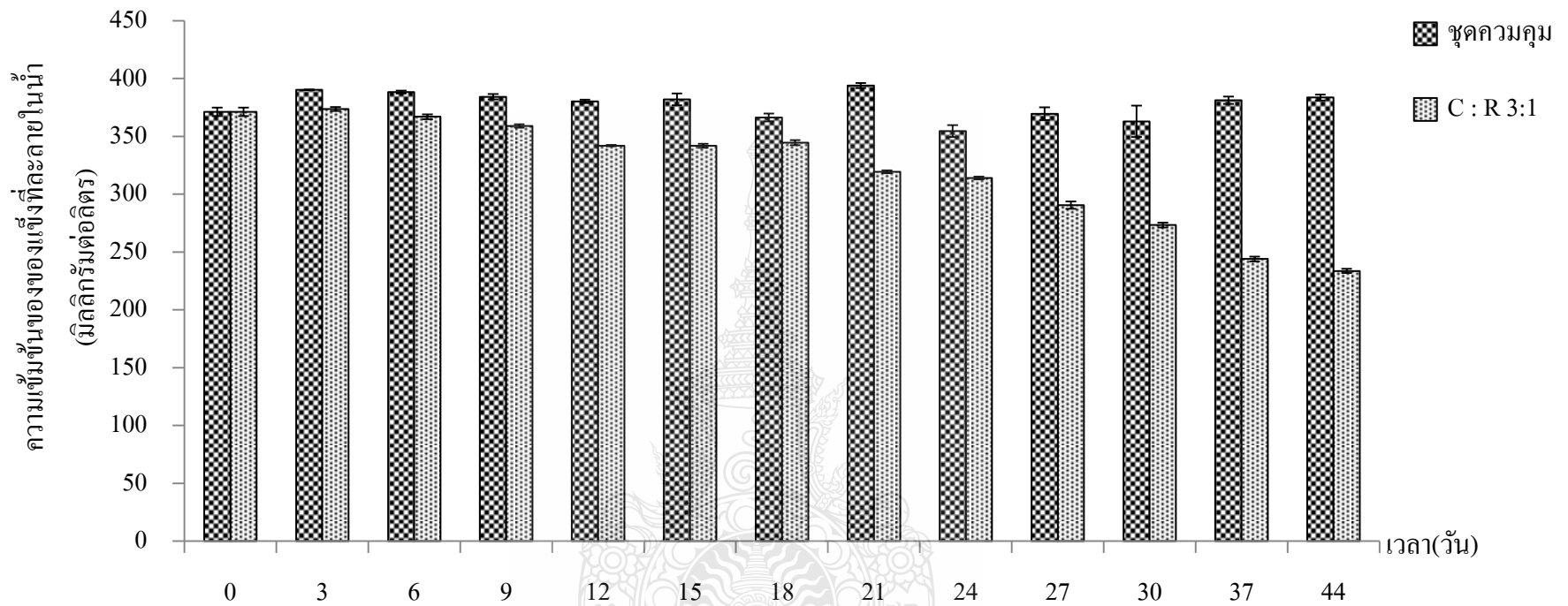
4.4.2 ความเข้มข้นของของแข็งที่ละลายในน้ำ (total dissolved solids)

ผลการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของของแข็งที่ละลายในน้ำเมื่อได้รับการบำบัดด้วยสารละลายไคโตซานและสารสกัดฟางข้าวในบ่อกทดลอง ตั้งแต่วันที่ 7 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2559 ถึง 8 เมษายน พ.ศ. 2559 พบว่า

บ่อกควบคุม ความเข้มข้นของของแข็งที่ละลายในน้ำมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 354 มิลลิกรัมต่อลิตร ในวันที่ 34 ของการทดลอง และค่าสูงสุดเท่ากับ 390 มิลลิกรัมต่อลิตร ในวันที่ 9 ของการทดลอง และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 377 ไมโครซีเมนต์ต่อเซนติเมตร

บ่อกทดลองอัตราส่วนสารละลายไคโตซาน : สารสกัดฟางข้าว เท่ากับ 3:1 ความเข้มข้นของของแข็งที่ละลายในน้ำมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 233 มิลลิกรัมต่อลิตร ในวันที่ 44 ของการทดลอง และค่าสูงสุดเท่ากับ 371 มิลลิกรัมต่อลิตร ในวันที่ 0 ของการทดลองและมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 321 ไมโครซีเมนต์ต่อเซนติเมตร

จากการศึกษาความเข้มข้นของของแข็งที่ละลายในน้ำในแต่ละบ่อกทดลอง พบว่าก่อนทำการทดลอง ความเข้มข้นของของแข็งที่ละลายในน้ำเฉลี่ยเท่ากับ 371 มิลลิกรัมต่อลิตร และหลังจากการทดสอบสารไคโตซานและสารสกัดฟางข้าวในอัตราส่วนเท่ากับ 3:1 ตั้งแต่วันที่ 3 ถึงวันที่ 44 ของการทดลอง ความเข้มข้นของของแข็งที่ละลายในน้ำในบ่อกทดลองมีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่อง โดยความเข้มข้นของของแข็งที่ละลายในน้ำลดลงต่ำที่สุด เท่ากับ 233 มิลลิกรัมต่อลิตร (รูปที่ 4.17) ในวันที่ 44 ของการทดลอง นอกจากนี้เมื่อวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนของความเข้มข้นของของแข็งที่ละลายในน้ำในแต่ละบ่อกทดลองตลอดระยะเวลาที่ทำการวิจัยพบว่ามีค่าความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05



รูปที่ 4.17 ความเข้มข้นของของแข็งที่ละลายในน้ำ (มิลลิกรัมต่อลิตร) ในบ่อทดลองระหว่างวันที่ 7 กุมภาพันธ์ ถึง 22 มีนาคม พ.ศ. 2559

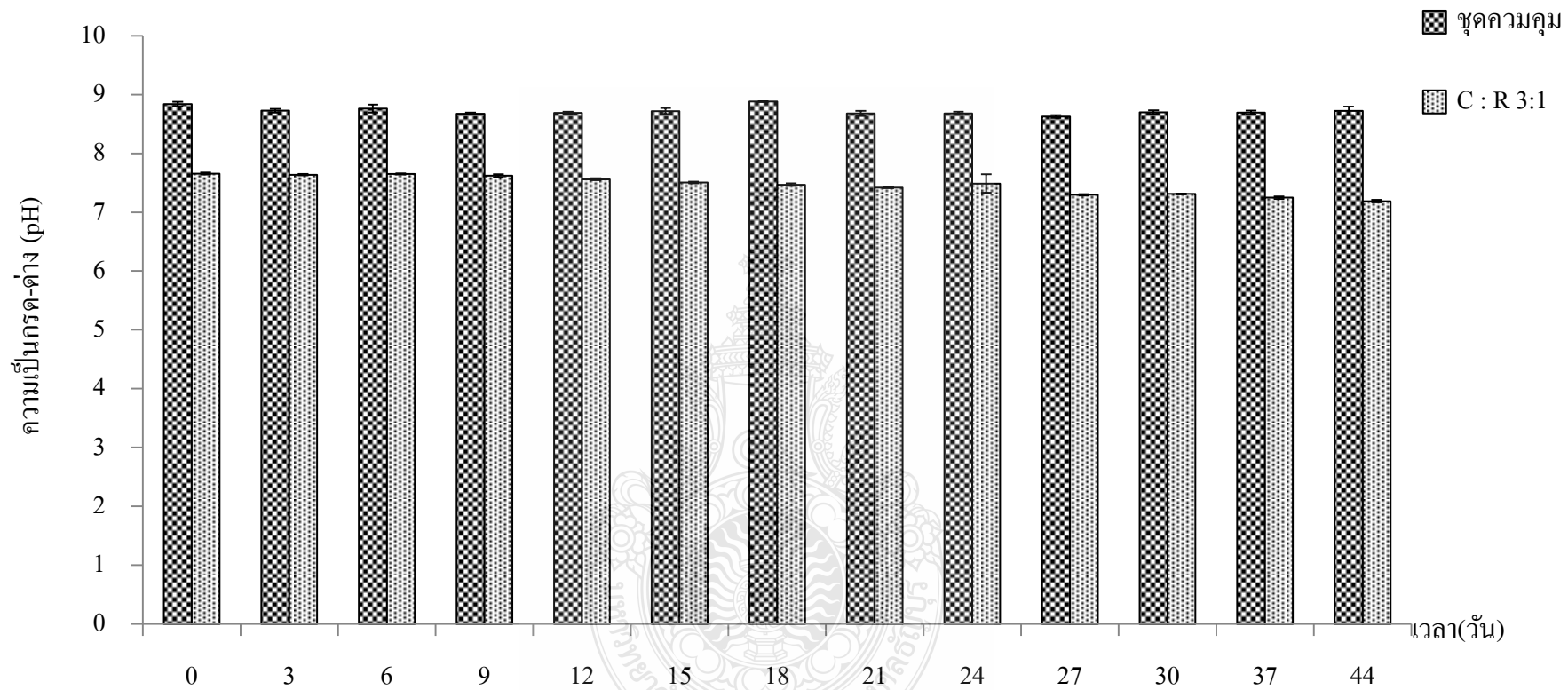
(C = สารโคโคซาน, R = สารสกัดฟางข้าว)

4.4.3 ความเป็นกรด-ด่าง (pH)

ผลการเปลี่ยนแปลงความเป็นกรด-ด่าง เมื่อได้รับการบำบัดด้วยสารละลายไคโตซาน และสารสกัดฟางข้าวในบ่อกทดลอง ตั้งแต่วันที่ 7 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2559 ถึง 8 เมษายน พ.ศ. 2559 พบว่า บ่อกควบคุม ความเป็นกรด-ด่าง มีค่าต่ำสุดเท่ากับ 8.62 ในวันที่ 27 ของการทดลอง และค่าสูงสุดเท่ากับ 8.88 ในวันที่ 3 ของการทดลองและมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 8.09

บ่อกทดลองอัตราส่วนสารละลายไคโตซาน : สารสกัดฟางข้าว เท่ากับ 3:1 ความเป็นกรด-ด่าง มีค่าต่ำสุดเท่ากับ 7.18 ไมโครซีเมนต์ต่อเซนติเมตร ในวันที่ 44 ของการทดลอง และค่าสูงสุดเท่ากับ 7.65 ไมโครซีเมนต์ต่อเซนติเมตร ในวันที่ 0 ของการทดลองและมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 7.46 ไมโครซีเมนต์ต่อเซนติเมตร

จากการศึกษาความเป็นกรด-ด่างในแต่ละบ่อกทดลอง พบว่าก่อนทำการทดลอง ความเป็นกรด-ด่าง ในน้ำเฉลี่ยเท่ากับ 8.24 และหลังจากการทดสอบสารไคโตซานและสารสกัดฟางข้าวในอัตราส่วนเท่ากับ 3:1 ตั้งแต่วันที่ 3 ถึงวันที่ 44 ของการทดลอง ความเป็นกรด-ด่าง ในบ่อกทดลองมีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่อง โดยความเป็นกรด-ด่างลดลงต่ำที่สุด เท่ากับ 7.18 (รูปที่ 4.18) ในวันที่ 44 ของการทดลอง นอกจากนี้เมื่อวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนของความเป็นกรด-ด่าง ในแต่ละบ่อกทดลอง ตลอดระยะเวลาที่ทำการวิจัยพบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 สอดคล้องกับงานวิจัยของ Pan *et al.* [45] ที่ศึกษาการกำจัดสาหร่ายที่เจริญเติบโตอย่างรวดเร็วในทะเลสาบไต้สู ประเทศสาธารณรัฐประชาชนจีน โดยใช้สารไคโตซานร่วมกับดินและสาหร่ายฉัตร พบว่า สามารถปรับค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำในทะเลสาบให้มีค่าอยู่ในช่วง 6-8 ได้ ซึ่งเป็นค่าที่ไม่ส่งผลกระทบต่อการดำรงชีวิตของสัตว์น้ำ ความเป็นกรด-ด่างเป็นค่าที่บอกถึงความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออนในน้ำ ขณะที่ทำการวัดคุณสมบัติทางเคมีของน้ำที่มีความสำคัญมาก สามารถใช้หาค่าความเป็นด่าง ค่าคาร์บอนไดออกไซด์และสมมูลกรด-เบสอื่นๆ ในแหล่งน้ำได้อีกด้วย [32]



รูปที่ 4.18 ความเป็นกรด-ด่าง (pH) ในป๋อตลอด ระหว่างวันที่ 7 กุมภาพันธ์ ถึง 22 มีนาคม พ.ศ. 2559 (C = สารโคโตซาน, R = สารสกัดฟางข้าว)

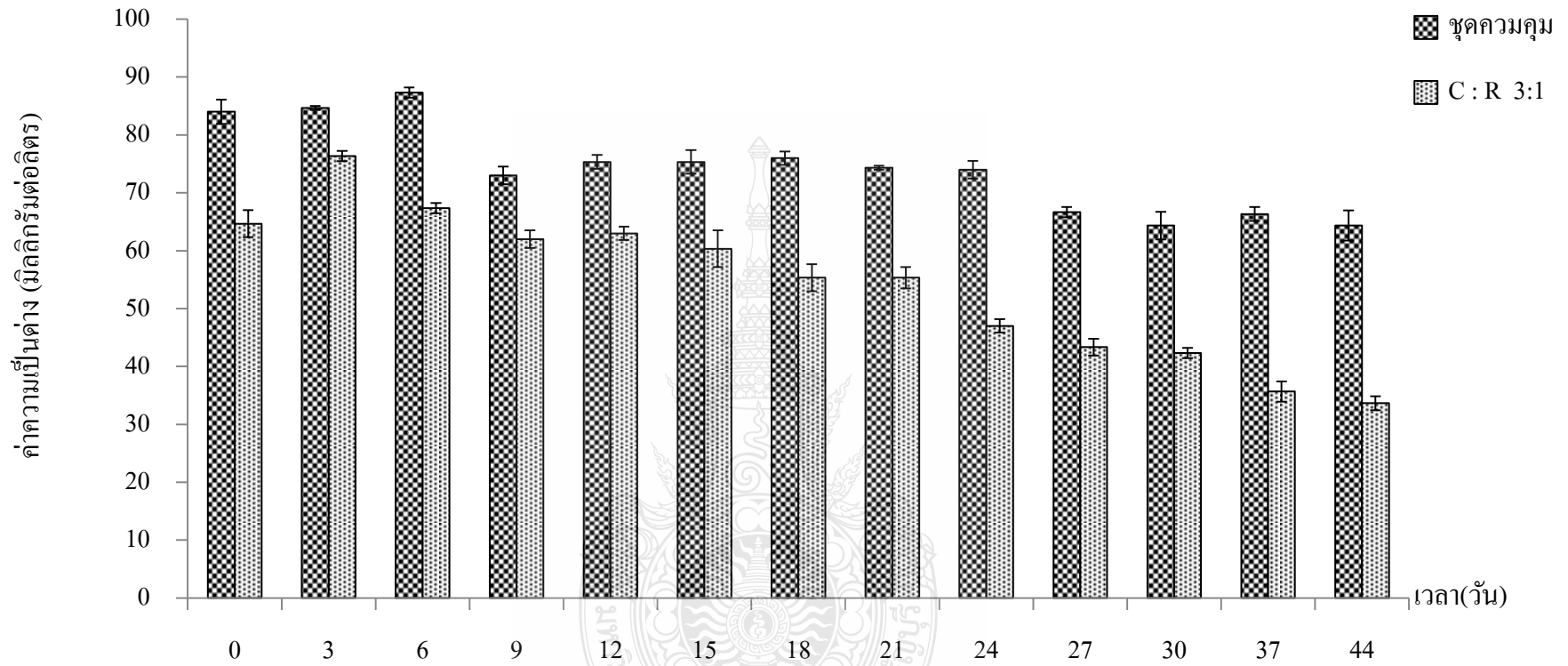
4.4.4 ค่าความเป็นด่าง (alkalinity)

ผลการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นด่าง เมื่อได้รับการบำบัดด้วยสารละลายโคโคซานและสารสกัดฟางข้าวในบ่อกดลอง ตั้งแต่วันที่ 7 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2559 ถึง 8 เมษายน พ.ศ. 2559 พบว่า

บ่อกววม ค่าความเป็นด่าง มีค่าต่ำสุดเท่ากับ 33 มิลลิกรัมต่อลิตร ในวันที่ 27 ของการทดลอง และค่าสูงสุดเท่ากับ 64 มิลลิกรัมต่อลิตร ในวันที่ 3 ของการทดลองและมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 74 มิลลิกรัมต่อลิตร

บ่อกดลองอัตราส่วนสารละลายโคโคซาน : สารสกัดฟางข้าว เท่ากับ 3:1 ค่าความเป็นด่าง มีค่าต่ำสุดเท่ากับ 33 มิลลิกรัมต่อลิตร ในวันที่ 44 ของการทดลอง และค่าสูงสุดเท่ากับ 76 มิลลิกรัมต่อลิตร ในวันที่ 3 ของการทดลองและมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 54 มิลลิกรัมต่อลิตร

จากการศึกษาค่าความเป็นด่าง ในแต่ละบ่อกดลอง พบว่าก่อนทำการทดลองค่าความเป็นด่างในน้ำเฉลี่ยเท่ากับ 74 มิลลิกรัมต่อลิตร และหลังจากการทดสอบสารโคโคซานและสารสกัดฟางข้าวในอัตราส่วนเท่ากับ 3:1 ตั้งแต่วันที่ 3 ถึงวันที่ 44 ของการทดลอง ค่าความเป็นด่างในบ่อกดลองมีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่อง โดยค่าความเป็นด่างมีค่าลดลงต่ำที่สุดเท่ากับ 33 มิลลิกรัมต่อลิตร (รูปที่ 4.19) ในวันที่ 44 ของการทดลอง นอกจากนี้เมื่อวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนของค่าความเป็นด่าง ในแต่ละบ่อกดลองตลอดระยะเวลาที่ทำการวิจัยพบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 สอดคล้องกับรายงานของนันทนา [59] พบว่าค่าความเป็นด่างในแหล่งน้ำตามธรรมชาติควรมีค่าความเป็นด่างโดยเฉลี่ยอยู่ในช่วง 10 ถึง 200 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่งผลทำให้ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่ละลายในแหล่งน้ำมีปริมาณที่น้อย และถูกใช้ในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงจนหมด จึงทำให้ไม่มีกรดคาร์บอนิกมาสะเทินคาร์บอเนตและไบคาร์บอเนตเกิดการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบความเป็นด่าง ทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่างในน้ำตัวอย่างมีค่าสูงขึ้น [20]



รูปที่ 4.19 ค่าความเป็นต่าง (มีลิกรัมต่อลิตร) ในบ่อทดลองระหว่างวันที่ 7 กุมภาพันธ์ ถึง 22 มีนาคม พ.ศ. 2559
(C = สารไคโตซาน, R = สารสกัดฟางข้าว)

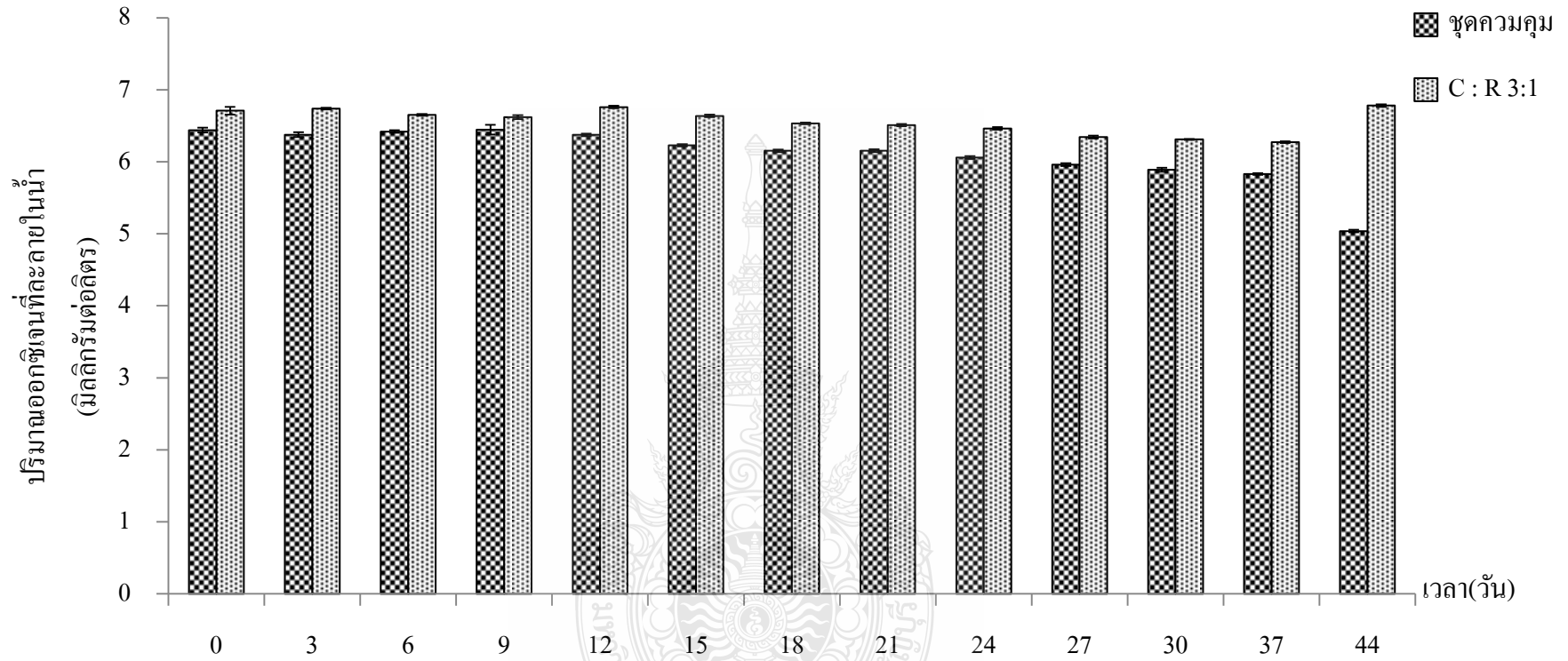
4.4.5 ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (dissolved oxygen)

ผลการเปลี่ยนแปลงปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ เมื่อได้รับการบำบัดด้วยสารละลายไคโตซานและสารสกัดฟางข้าวในบ่อดูดอง ตั้งแต่วันที่ 7 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2559 ถึง 8 เมษายน พ.ศ. 2559 พบว่า

บ่อดูดอง ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ มีค่าต่ำสุดเท่ากับ 5.03 มิลลิกรัมต่อลิตร ในวันที่ 27 ของการทดลอง และค่าสูงสุดเท่ากับ 6.44 มิลลิกรัมต่อลิตร ในวันที่ 3 ของการทดลองและมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 6.10 มิลลิกรัมต่อลิตร

บ่อดูดองอัตราส่วนสารละลายไคโตซาน : สารสกัดฟางข้าว เท่ากับ 3:1 ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ มีค่าต่ำสุดเท่ากับ 6.31 มิลลิกรัมต่อลิตร ในวันที่ 44 ของการทดลอง และค่าสูงสุดเท่ากับ 6.78 มิลลิกรัมต่อลิตร ในวันที่ 3 ของการทดลองและมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 6.56 มิลลิกรัมต่อลิตร

จากการศึกษาปริมาณออกซิเจนละลายน้ำในแต่ละบ่อดูดอง พบว่าก่อนทำการทดลอง ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำเฉลี่ยเท่ากับ 6.57 มิลลิกรัมต่อลิตร และหลังจากการทดสอบสารไคโตซานและสารสกัดฟางข้าวในอัตราส่วนเท่ากับ 3:1 ตั้งแต่วันที่ 3 ถึงวันที่ 44 ของการทดลอง ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำในบ่อดูดองมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยปริมาณออกซิเจนละลายน้ำเพิ่มขึ้นสูงที่สุด เท่ากับ 6.78 มิลลิกรัมต่อลิตร (รูปที่ 4.20) ในวันที่ 44 ของการทดลอง นอกจากนี้เมื่อวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนของปริมาณออกซิเจนละลายน้ำในแต่ละบ่อดูดองตลอดระยะเวลาที่ทำการวิจัยพบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ซึ่งนั่นหมายความว่า โดยทั่วไปความเข้มข้นของออกซิเจนในน้ำที่เหมาะสมต่อการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิตในน้ำคือ 5.0 มิลลิกรัมต่อลิตรและถ้าออกซิเจนมีค่าต่ำกว่า 3.0 มิลลิกรัมต่อลิตร จะเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณออกซิเจนละลายน้ำในแต่ละบ่อดูดองหลังผ่านการกำจัดพบว่า มีค่าที่เหมาะสมต่อการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำ [6]



รูปที่ 4.20 ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (มิลลิกรัมต่อลิตร) ในบ่อทดลองระหว่างวันที่ 7 กุมภาพันธ์ ถึง 22 มีนาคม พ.ศ. 2559

(C = สารไคโตซาน, R = สารสกัดฟางข้าว)

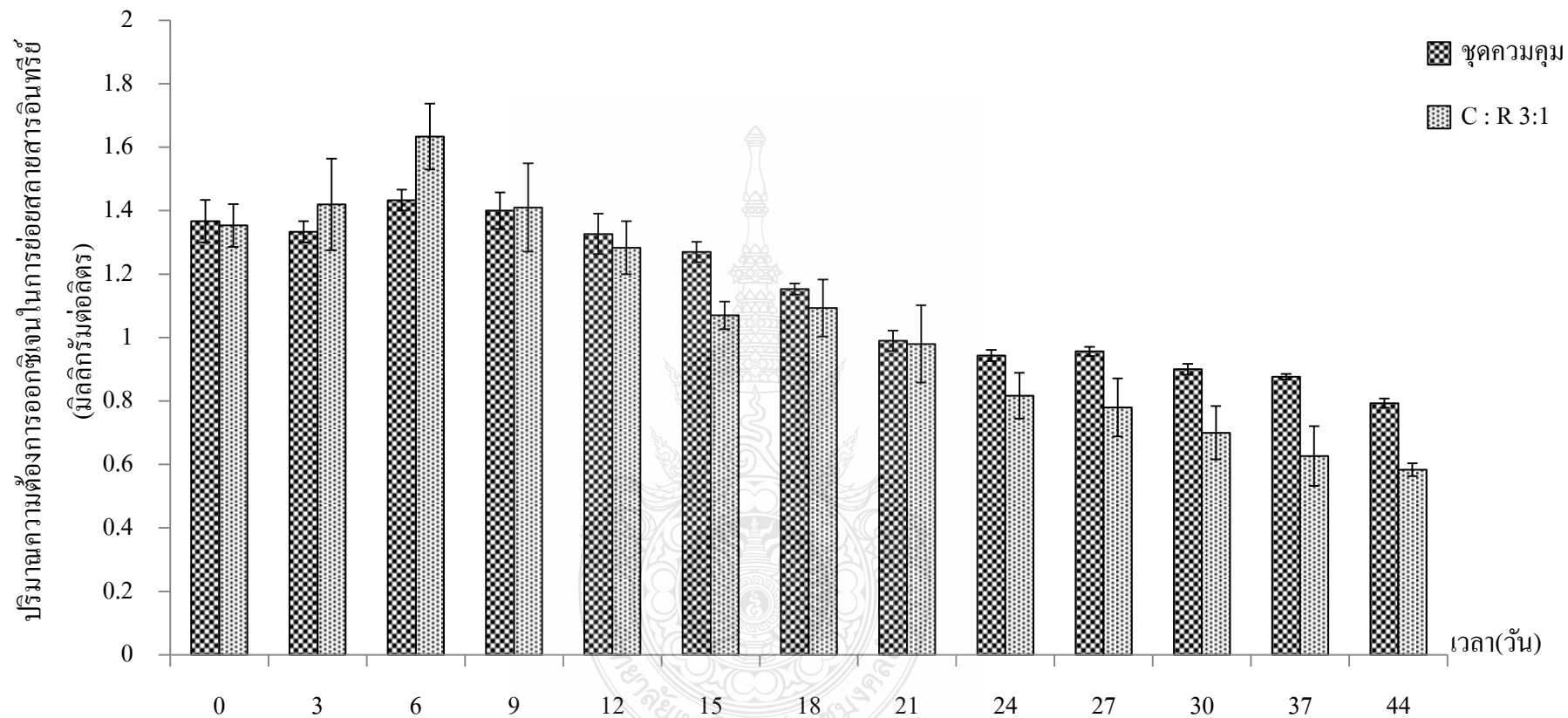
4.4.6 ปริมาณความต้องการออกซิเจนในการย่อยสลายสารอินทรีย์ (biochemical oxygen demand)

ผลการเปลี่ยนแปลงปริมาณความต้องการออกซิเจนในการย่อยสลายสารอินทรีย์ เมื่อได้รับการบำบัดด้วยสารละลายโคโคซานและสารสกัดฟางข้าวในบ่อกดลอง ตั้งแต่วันที่ 7 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2559 ถึง 8 เมษายน พ.ศ. 2559 พบว่า

บ่อกดควบคุม ปริมาณความต้องการออกซิเจนในการย่อยสลายสารอินทรีย์ มีค่าต่ำสุดเท่ากับ 0.79 มิลลิกรัมต่อลิตร ในวันที่ 27 ของการทดลอง และค่าสูงสุดเท่ากับ 1.36 มิลลิกรัมต่อลิตร ในวันที่ 3 ของการทดลองและมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.13 มิลลิกรัมต่อลิตร

บ่อกดลองอัตราส่วนสารละลายโคโคซาน : สารสกัดฟางข้าว เท่ากับ 3:1 ปริมาณความต้องการออกซิเจนในการย่อยสลายสารอินทรีย์ มีค่าต่ำสุดเท่ากับ 0.58 มิลลิกรัมต่อลิตร ในวันที่ 44 ของการทดลอง และค่าสูงสุดเท่ากับ 1.35 มิลลิกรัมต่อลิตร ในวันที่ 3 ของการทดลองและมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.05 มิลลิกรัมต่อลิตร

จากการศึกษาปริมาณความต้องการออกซิเจนในการย่อยสลายสารอินทรีย์ ในแต่ละบ่อกดลอง พบว่าก่อนทำการทดลองปริมาณความต้องการออกซิเจนในการย่อยสลายสารอินทรีย์ เฉลี่ยเท่ากับ 1.36 มิลลิกรัมต่อลิตร และหลังจากการทดสอบสารโคโคซานและสารสกัดฟางข้าวในอัตราส่วนเท่ากับ 3:1 ตั้งแต่วันที่ 3 ถึงวันที่ 44 ของการทดลอง ปริมาณความต้องการออกซิเจนในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในบ่อกดลองมีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่อง โดยปริมาณความต้องการออกซิเจนในการย่อยสลายสารอินทรีย์ ลดลงสูงสุด เท่ากับ 0.58 มิลลิกรัมต่อลิตร (รูปที่ 4.21) ในวันที่ 44 ของการทดลอง นอกจากนี้เมื่อวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนของปริมาณความต้องการออกซิเจนในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในแต่ละบ่อกดลองตลอดระยะเวลาที่ทำการวิจัยพบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 เมื่อเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานคุณภาพแหล่งน้ำพบว่า น้ำตัวอย่างที่ผ่านการกำจัดมีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพแหล่งน้ำผิวดินประเภท 4 ที่กำหนดไว้คือปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ ไม่ควรต่ำกว่า 2.0 มิลลิกรัมต่อลิตรและปริมาณออกซิเจนที่จุลินทรีย์ใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ไม่ควรเกิน 4.0 มิลลิกรัมต่อลิตร [37]



รูปที่ 4.21 ปริมาณความต้องการออกซิเจนในการย่อยสลายสารอินทรีย์ (มิลลิกรัมต่อลิตร) ในบ่อทดลองระหว่างวันที่ 7 กุมภาพันธ์ ถึง 22 มีนาคม พ.ศ. 2559 (C = สารโคโคซาน, R = สารสกัดฟางข้าว)

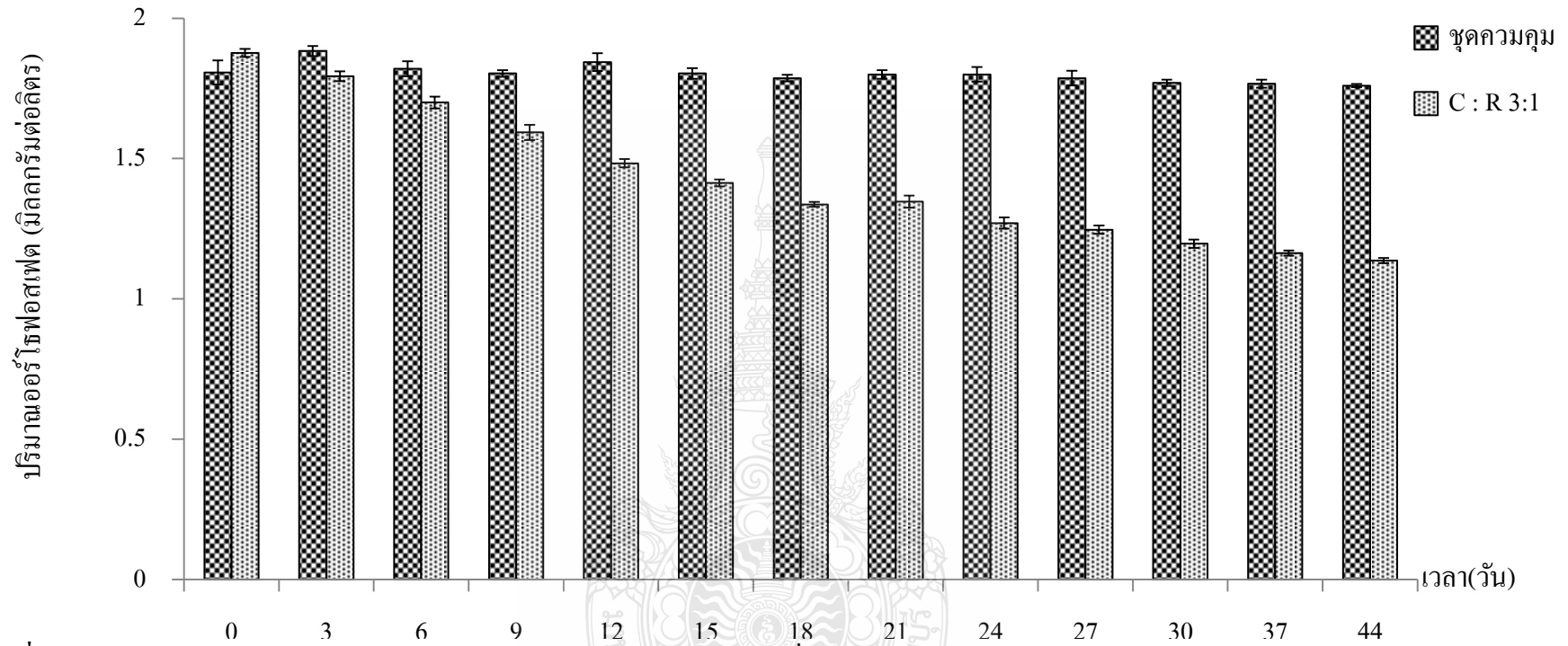
4.4.7 ปริมาณออร์โธฟอสเฟต (orthophosphate)

ผลการเปลี่ยนแปลงปริมาณออร์โธฟอสเฟต เมื่อได้รับการบำบัดด้วยสารละลายไคโตซานและสารสกัดฟางข้าวในบ่อทดลอง ตั้งแต่วันที่ 7 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2559 ถึง 8 เมษายน พ.ศ. 2559 พบว่า

บ่อควบคุม ปริมาณออร์โธฟอสเฟต มีค่าต่ำสุดเท่ากับ 1.76 มิลลิกรัมต่อลิตร ในวันที่ 44 ของการทดลอง และค่าสูงสุดเท่ากับ 1.88 มิลลิกรัมต่อลิตร ในวันที่ 3 ของการทดลองและมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.80 มิลลิกรัมต่อลิตร

บ่อทดลองอัตราส่วนสารละลายไคโตซาน : สารสกัดฟางข้าว เท่ากับ 3:1 ปริมาณออร์โธฟอสเฟต มีค่าต่ำสุดเท่ากับ 1.13 มิลลิกรัมต่อลิตร ในวันที่ 44 ของการทดลอง และค่าสูงสุดเท่ากับ 1.87 มิลลิกรัมต่อลิตร ในวันที่ 3 ของการทดลองและมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.43 มิลลิกรัมต่อลิตร

จากการศึกษาปริมาณออร์โธฟอสเฟต ในแต่ละบ่อทดลอง พบว่าก่อนทำการทดลอง ปริมาณออร์โธฟอสเฟต เฉลี่ยเท่ากับ 1.84 มิลลิกรัมต่อลิตร และหลังจากการทดสอบสารไคโตซานและสารสกัดฟางข้าวในอัตราส่วนเท่ากับ 3:1 ตั้งแต่วันที่ 3 ถึงวันที่ 44 ของการทดลอง ปริมาณออร์โธฟอสเฟต ในบ่อทดลองมีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่อง โดยปริมาณออร์โธฟอสเฟต ลดลงสูงสุด เท่ากับ 1.13 มิลลิกรัมต่อลิตร (รูปที่ 4.22) ในวันที่ 44 ของการทดลอง นอกจากนี้เมื่อวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนของปริมาณออร์โธฟอสเฟตในแต่ละบ่อทดลองตลอดระยะเวลาที่ทำการวิจัยพบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 สอดคล้องกับงานวิจัยของ Everall *et al.* [56] ศึกษาการควบคุมสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินโดยใช้ฟางข้าวบาร์เลย์ ในทะเลสาบเคอร์บีเชียร์ ประเทศสหราชอาณาจักร พบว่า ปริมาณออร์โธฟอสเฟตลดลงมากกว่าร้อยละ 90 หลังการทดลองเป็นเวลา 34 สัปดาห์ Yan *et al.* [52] ที่ศึกษาการกำจัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในสาหร่ายรัฐประชาชนจีน รายงานว่าการใช้สารไคโตซานสามารถลดออร์โธฟอสเฟตได้ร้อยละ 53.9 ในระยะเวลา 40 วัน



รูปที่ 4.22 ปริมาณออร์โธฟอสเฟต (มิลลิกรัมต่อลิตร) ในบ่อทดลองระหว่างวันที่ 7 กุมภาพันธ์ ถึง 22 มีนาคม พ.ศ. 2559

(C = สารโคโคซาน, R = สารสกัดฟางข้าว)

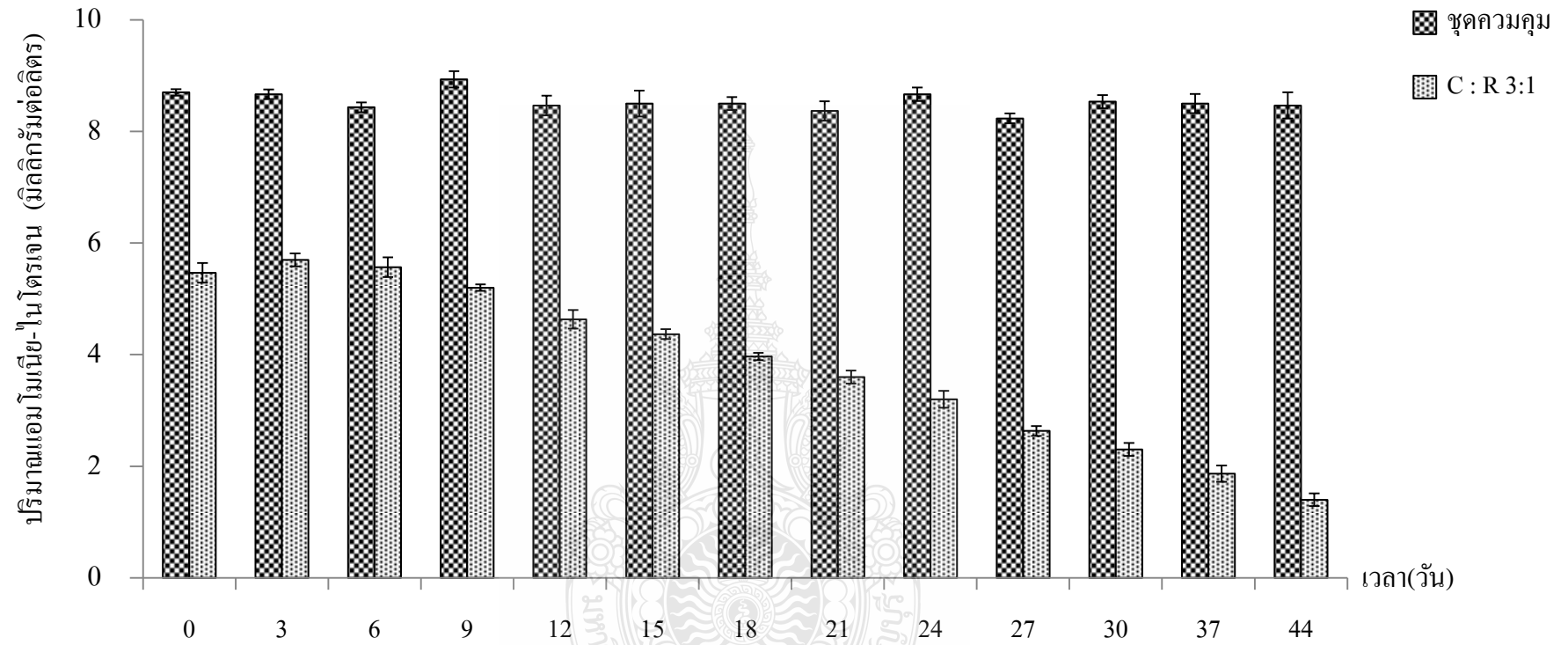
4.4.8 ปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจน (ammonia-nitrogen)

ผลการเปลี่ยนแปลงปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจน เมื่อได้รับการบำบัดด้วยสารละลายไคโตซานและสารสกัดฟางข้าวในบ่อกทดลอง ตั้งแต่วันที่ 7 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2559 ถึง 8 เมษายน พ.ศ. 2559 พบว่า

บ่อกควบคุม ปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจน มีค่าต่ำสุดเท่ากับ 8.26 มิลลิกรัมต่อลิตร ในวันที่ 27 ของการทดลอง ค่าสูงสุดเท่ากับ 8.93 มิลลิกรัมต่อลิตร ในวันที่ 9 ของการทดลองและมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 8.53 มิลลิกรัมต่อลิตร

บ่อกทดลองอัตราส่วนสารละลายไคโตซาน : สารสกัดฟางข้าว เท่ากับ 3:1 ปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจน มีค่าต่ำสุดเท่ากับ 1.40 มิลลิกรัมต่อลิตร ในวันที่ 44 ของการทดลอง มีค่าสูงสุดเท่ากับ 5.46 มิลลิกรัมต่อลิตร ในวันที่ 3 ของการทดลองและมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.83 มิลลิกรัมต่อลิตร

จากการศึกษาปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนในแต่ละบ่อกทดลอง พบว่าก่อนทำการทดลองปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนเฉลี่ยเท่ากับ 7.08 มิลลิกรัมต่อลิตร และหลังจากการทดสอบสารไคโตซานและสารสกัดฟางข้าวในอัตราส่วนเท่ากับ 3:1 ตั้งแต่วันที่ 3 ถึงวันที่ 44 ของการทดลอง ปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนในบ่อกทดลองมีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่อง โดยปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนลดลงสูงที่สุด เท่ากับ 4.49 มิลลิกรัมต่อลิตร (รูปที่ 4.23) ในวันที่ 44 ของการทดลอง นอกจากนี้เมื่อวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนของปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนในแต่ละบ่อกทดลองตลอดระยะเวลาที่ทำการวิจัยพบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 สอดคล้องกับงานวิจัยของ Everall *et al.* [56] ศึกษาการควบคุมสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินโดยใช้ฟางข้าวบาร์เลย์ ในทะเลสาบเคอร์บีเซีย ประเทศสหราชอาณาจักร พบว่า ปริมาณแอมโมเนียลดลงมากกว่าร้อยละ 90 หลังการทดลองเป็นเวลา 34 สัปดาห์ นันทนา [59] กล่าวว่าแอมโมเนียสามารถละลายน้ำได้ดีและมักจะถูกเปลี่ยนไปเป็นไนไตรต์และไนเตรตในที่สุด ถ้าแหล่งน้ำธรรมชาติมี แอมโมเนียมไนโตรเจนมาก แสดงว่าเป็นแหล่งน้ำที่มีการปนเปื้อน ไม่ปลอดภัยต่อการบริโภค



รูปที่ 4.23 ปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจน (มิลลิกรัมต่อลิตร) ในบ่อทดลองระหว่างวันที่ 7 กุมภาพันธ์ ถึง 22 มีนาคม พ.ศ. 2559
(C = สารไลโคซาน, R = สารสกัดฟางข้าว)

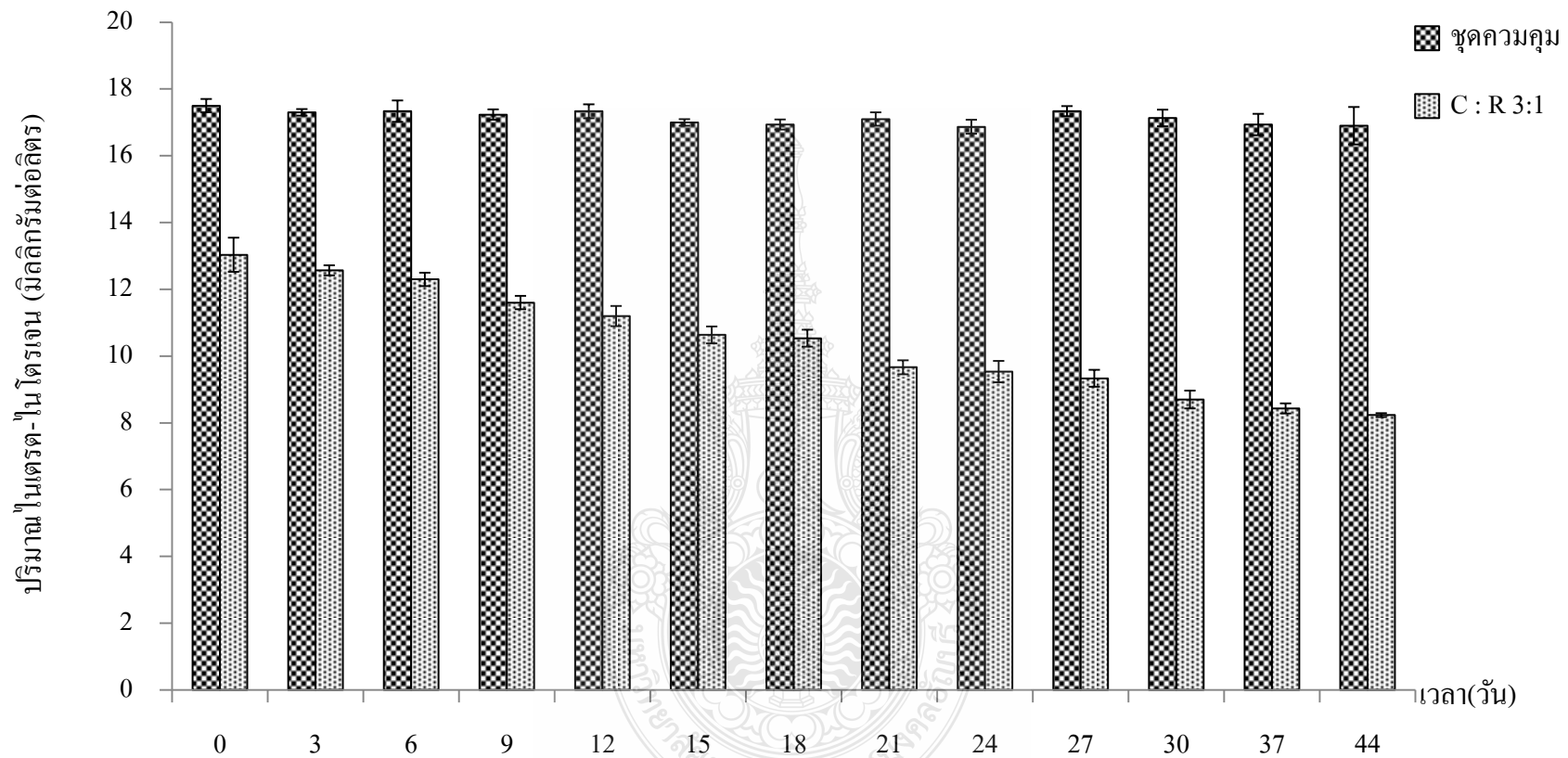
4.4.9 ปริมาณไนเตรต-ไนโตรเจน (nitrate-nitrogen)

ผลการเปลี่ยนแปลงปริมาณไนเตรต-ไนโตรเจน เมื่อได้รับการบำบัดด้วยสารละลายไคโตซาน และสารสกัดฟางข้าวในบ่อทดลอง ตั้งแต่วันที่ 7 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2559 ถึง 8 เมษายน พ.ศ. 2559 ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

บ่อควบคุม ปริมาณไนเตรต-ไนโตรเจนมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 16.9 มิลลิกรัมต่อลิตร ในวันที่ 27 ของการทดลอง และค่าสูงสุดเท่ากับ 17.5 มิลลิกรัมต่อลิตร ในวันที่ 0 ของการทดลองและมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 17.1 มิลลิกรัมต่อลิตร

บ่อทดลองอัตราส่วนสารละลายไคโตซาน : สารสกัดฟางข้าว เท่ากับ 3:1 ปริมาณไนเตรต-ไนโตรเจนมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 8.2 มิลลิกรัมต่อลิตร ในวันที่ 44 ของการทดลอง และค่าสูงสุดเท่ากับ 13.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ในวันที่ 3 ของการทดลองและมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 10.4 มิลลิกรัมต่อลิตร

จากการศึกษาปริมาณไนเตรต-ไนโตรเจนในแต่ละบ่อทดลอง พบว่าก่อนทำการทดลอง ปริมาณไนเตรต-ไนโตรเจน เฉลี่ยเท่ากับ 15.2 มิลลิกรัมต่อลิตร และหลังจากการทดสอบสารไคโตซานและสารสกัดฟางข้าวในอัตราส่วนเท่ากับ 3:1 ตั้งแต่วันที่ 3 ถึงวันที่ 44 ของการทดลอง ปริมาณไนเตรต-ไนโตรเจนในบ่อทดลองมีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่อง โดยปริมาณไนเตรต-ไนโตรเจนลดลงสูงที่สุด เท่ากับ 8.2 มิลลิกรัมต่อลิตร (รูปที่ 4.24) ในวันที่ 44 ของการทดลอง นอกจากนี้เมื่อวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนของปริมาณไนเตรต-ไนโตรเจนในแต่ละบ่อทดลองตลอดระยะเวลาที่ทำการวิจัยพบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 สอดคล้องกับงานวิจัยของ Yan *et al.* [52] ที่ใช้สารไคโตซานในการลดปริมาณสาหร่ายในแหล่งน้ำที่เกิดการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วสามารถลดไนเตรตไนโตรเจนได้ ร้อยละ 39.4 ชนพล [63] กล่าวว่าไนเตรตเป็นรูปที่มีความสำคัญต่อความสมบูรณ์ของแหล่งน้ำ เพราะพืชน้ำและสาหร่ายสามารถนำไนเตรตไปใช้ในกระบวนการสร้างอาหารได้ ถ้าแหล่งน้ำธรรมชาติมีไนโตรเจนอินทรีย์แอมโมเนียมไนโตรเจนมากส่วนไนเตรต-ไนโตรเจนและไนเตรต-ไนโตรเจนพบในปริมาณที่น้อย แสดงว่าเป็นน้ำที่มีการปนเปื้อนจัดเป็นน้ำที่ไม่ปลอดภัยต่อการบริโภค แต่ถ้ามีไนเตรต-ไนโตรเจนเพียงเล็กน้อยและไม่มีไนโตรเจนอินทรีย์และแอมโมเนียมไนโตรเจนจัดเป็นน้ำคุณภาพดี



รูปที่ 4.24 ปริมาณไนเตรต-ไนโตรเจน (มิลลิกรัมต่อลิตร) ในบ่อทดลองระหว่างวันที่ 7 กุมภาพันธ์ ถึง 22 มีนาคม พ.ศ. 2559
(C = สารโคโคซาน, R = สารสกัดฟางข้าว)

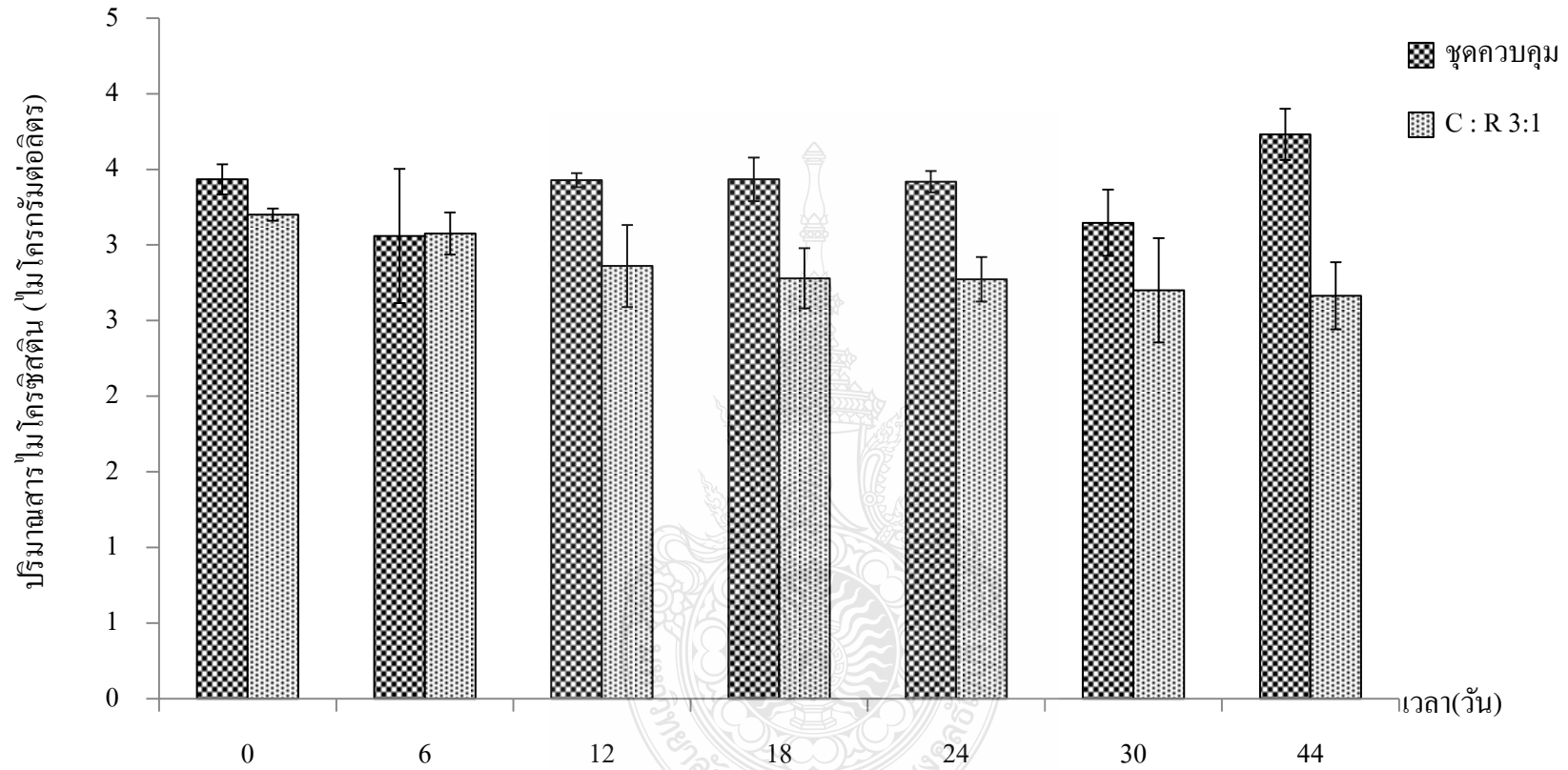
4.4.10 ปริมาณสารไมโครซิสติน (microcystins)

ผลการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารไมโครซิสตินเมื่อได้รับการบำบัดด้วยสารละลายไคโตซานและสารสกัดฟางข้าวในบ่อดทดลอง ตั้งแต่วันที่ 7 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2559 ถึง 8 เมษายน พ.ศ. 2559 พบว่า

บ่อควบคุม ปริมาณสารไมโครซิสตินมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 33.5 ไมโครกรัมต่อลิตร ในวันที่ 27 ของการทดลอง และค่าสูงสุดเท่ากับ 41.3 ไมโครกรัมต่อลิตร ในวันที่ 6 ของการทดลองและมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 37.5 ไมโครกรัมต่อลิตร

บ่อดทดลองอัตราส่วนสารละลายไคโตซาน : สารสกัดฟางข้าว เท่ากับ 3:1 ปริมาณสารไมโครซิสตินมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 3.84 ไมโครกรัมต่อลิตร ในวันที่ 44 ของการทดลอง มีค่าสูงสุดเท่ากับ 46.7 ไมโครกรัมต่อลิตร ในวันที่ 0 ของการทดลองและมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 40.9 ไมโครกรัมต่อลิตร

จากการศึกษาปริมาณสารไมโครซิสตินในแต่ละบ่อดทดลอง พบว่าก่อนทำการทดลอง ปริมาณสารไมโครซิสตินเฉลี่ยเท่ากับ 34.9 ไมโครกรัมต่อลิตร และหลังจากการทดสอบสารไคโตซานและสารสกัดฟางข้าวในอัตราส่วนเท่ากับ 3:1 ตั้งแต่วันที่ 3 ถึงวันที่ 44 ของการทดลอง ปริมาณสารไมโครซิสตินในบ่อดทดลองมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยปริมาณสารไมโครซิสตินเพิ่มขึ้นสูงสุด เท่ากับ 46.7 ไมโครกรัมต่อลิตร (รูปที่ 4.25) ในวันที่ 44 ของการทดลอง นอกจากนี้เมื่อวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนของปริมาณสารไมโครซิสตินในแต่ละบ่อดทดลองตลอดระยะเวลาที่ทำการวิจัยพบที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 สอดคล้องกับงานวิจัยของ สิริพงษ์ [20] ศึกษาความหลากหลายของสาหร่ายพิษสีเขียวแกมน้ำเงินและคุณภาพน้ำในอ่างเก็บน้ำบางพระ จังหวัดชลบุรี ระหว่างเดือนเมษายน 2543 ถึงมีนาคม 2544 พบปริมาณสารพิษ microcystin-RR ซึ่งมีค่าสูงสุดเท่ากับ 31.6 มิลลิกรัมต่อลิตร ถือว่ามีปริมาณน้อยกว่าค่ามาตรฐานแหล่งน้ำผิวดิน ประเภท 4 Oberholster *et al.* [54] ได้รายงานว่ามีสาหร่ายที่เพาะเลี้ยงในแหล่งน้ำที่มีเกลือปนเปื้อนสามารถผลิตสารพิษได้มากกว่าชุดควบคุมคิดเป็นร้อยละ 40 หลังการเพาะเลี้ยงเป็นเวลา 20 วัน นอกจากนี้ยังพบว่า *Microcystis aeruginosa* สามารถผลิตสารพิษได้ในน้ำเค็มเช่นเดียวกับการเพาะเลี้ยงด้วยน้ำจืดอย่างมีนัยสำคัญ [49]



รูปที่ 4.25 ปริมาณสารไมโครซิสทีน (ไมโครกรัมต่อลิตร) ในบ่อทดลองระหว่างวันที่ 7 กุมภาพันธ์ ถึง 22 มีนาคม พ.ศ. 2559

(C = สารไลโดซาน, R = สารสกัดฟางข้าว)

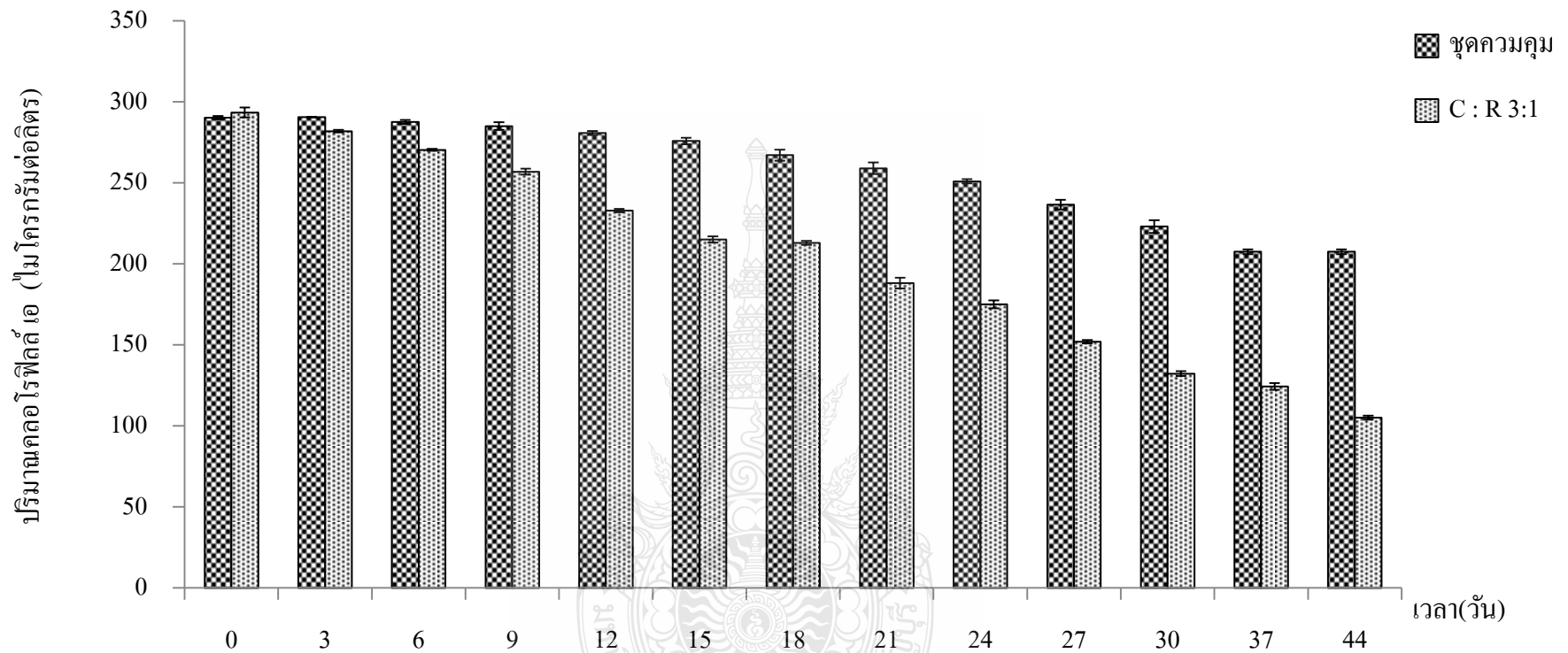
4.4.11 ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ (chlorophyll *a*)

ผลการเปลี่ยนแปลงปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ เมื่อได้รับการบำบัดด้วยสารละลายไคโตซานและสารสกัดฟางข้าวในบ่อทดลอง ตั้งแต่วันที่ 7 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2559 ถึง 8 เมษายน พ.ศ. 2559 พบว่า

บ่อควบคุม ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 1,647 ไมโครกรัมต่อลิตร ในวันที่ 27 ของการทดลอง และค่าสูงสุดเท่ากับ 1,980 ไมโครกรัมต่อลิตร ในวันที่ 6 ของการทดลองและมีค่าเฉลี่ย 1,549 ไมโครกรัมต่อลิตร

บ่อทดลองอัตราส่วนสารละลายไคโตซาน : สารสกัดฟางข้าว เท่ากับ 3:1 ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 1,226 ไมโครกรัมต่อลิตร ในวันที่ 3 ของการทดลอง มีค่าสูงสุดเท่ากับ 1,975 ไมโครกรัมต่อลิตร ในวันที่ 44 ของการทดลองและมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1,368 ไมโครกรัมต่อลิตร

จากการศึกษาปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ในแต่ละบ่อทดลอง พบว่าก่อนทำการทดลอง ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอเฉลี่ยเท่ากับ 1,973 ไมโครกรัมต่อลิตร และหลังจากการทดสอบสารไคโตซานและสารสกัดฟางข้าวในอัตราส่วนเท่ากับ 3:1 ตั้งแต่วันที่ 3 ถึงวันที่ 44 ของการทดลอง ปริมาณสารไมโครซิสตินในบ่อทดลองมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยปริมาณสารไมโครซิสตินเพิ่มขึ้นสูงที่สุดเท่ากับ 1647 ไมโครกรัมต่อลิตร (รูปที่ 4.26) ในวันที่ 44 ของการทดลอง นอกจากนี้เมื่อวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนของปริมาณสารไมโครซิสตินในแต่ละบ่อทดลองตลอดระยะเวลาที่ทำการวิจัยพบว่ามี ความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05



รูปที่ 4.26 ปริมาณโคลิฟอร์มทั้งหมด (ไมโครกรัมต่อลิตร) ในบ่อทดลองระหว่างวันที่ 7 กุมภาพันธ์ ถึง 22 มีนาคม พ.ศ. 2559
(C = สารโคโคซาน, R = สารสกัดฟางข้าว)

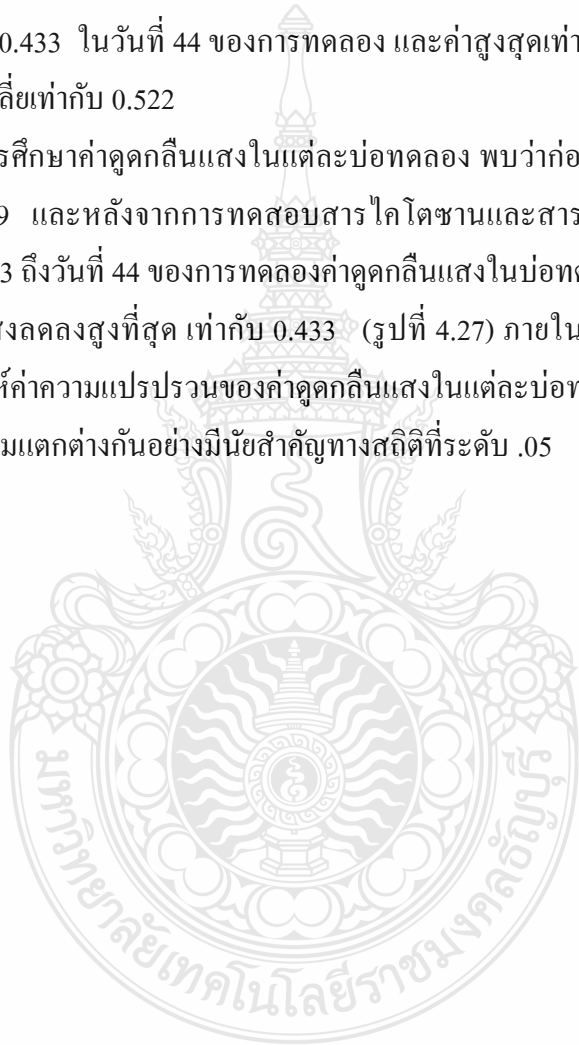
4.4.12 ค่าดูดกลืนแสง (absorbance)

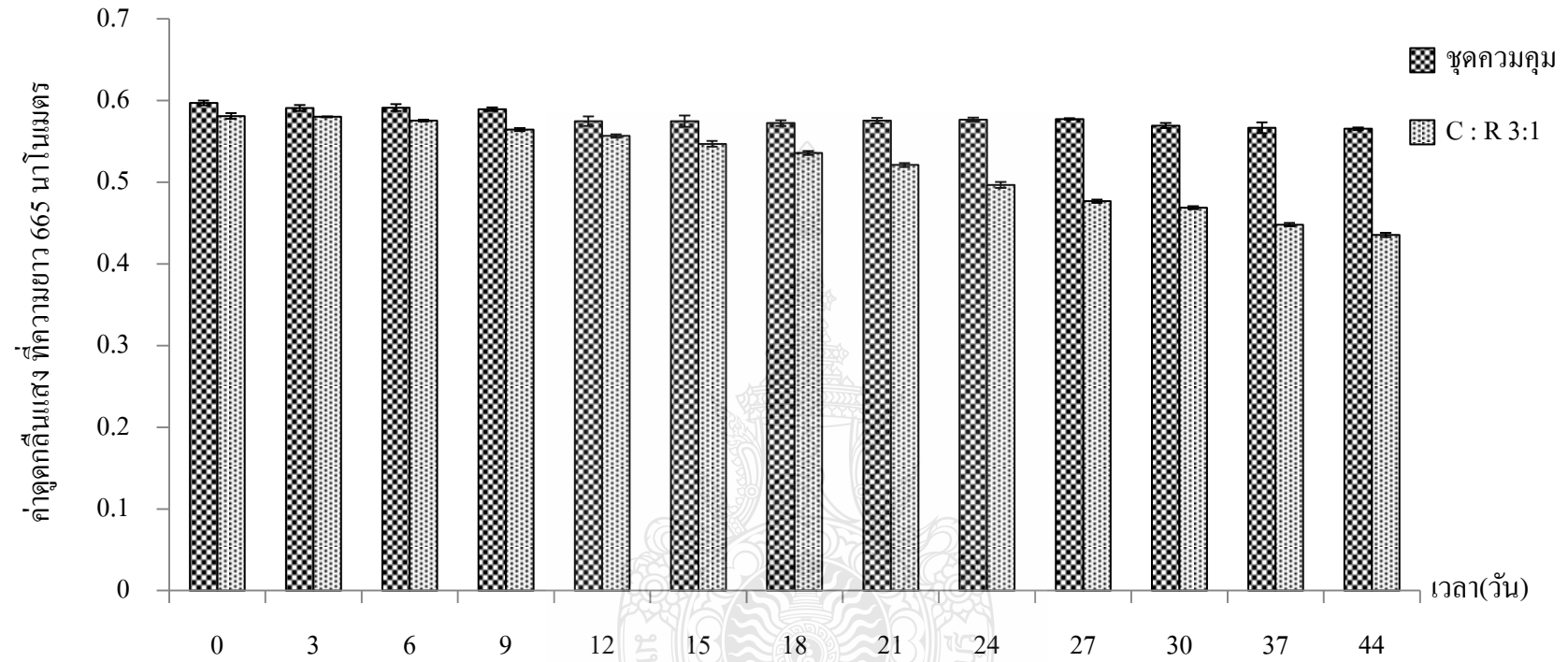
ผลการเปลี่ยนแปลงค่าดูดกลืนแสงเมื่อได้รับการบำบัดด้วยสารละลายโคโตซานและสารสกัดฟางข้าวในบ่อกดลอง ตั้งแต่วันที่ 7 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2559 ถึง 8 เมษายน พ.ศ. 2559 พบว่า

บ่อกควบคุม ค่าดูดกลืนแสงมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 0.565 ในวันที่ 44 ของการทดลอง และค่าสูงสุดเท่ากับ 0.597 ในวันที่ 6 ของการทดลองและมีค่าเฉลี่ย 0.578

บ่อกทดลองอัตราส่วนสารละลายโคโตซาน : สารสกัดฟางข้าว เท่ากับ 3:1 ค่าดูดกลืนแสงมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 0.433 ในวันที่ 44 ของการทดลอง และค่าสูงสุดเท่ากับ 0.581 ในวันที่ 44 ของการทดลองและมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.522

จากการศึกษาค่าดูดกลืนแสงในแต่ละบ่อกดลอง พบว่าก่อนทำการทดลองค่าดูดกลืนแสงเฉลี่ยเท่ากับ 0.589 และหลังจากการทดสอบสารโคโตซานและสารสกัดฟางข้าวในอัตราส่วนเท่ากับ 3:1 ตั้งแต่วันที่ 3 ถึงวันที่ 44 ของการทดลองค่าดูดกลืนแสงในบ่อกดลองมีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่องค่าดูดกลืนแสงลดลงสูงที่สุด เท่ากับ 0.433 (รูปที่ 4.27) ภายในวันที่ 44 ของการทดลอง นอกจากนี้เมื่อวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนของค่าดูดกลืนแสงในแต่ละบ่อกดลองตลอดระยะเวลาที่ทำการวิจัยพบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05





รูปที่ 4.27 ค่าดูดกลืนแสง ที่ความยาว 665 นาโนเมตรในบ่อทดลองระหว่างวันที่ 7 กุมภาพันธ์ ถึง 22 มีนาคม พ.ศ. 2559

(C = สารโคโคซาน, R = สารสกัดฟางข้าว)

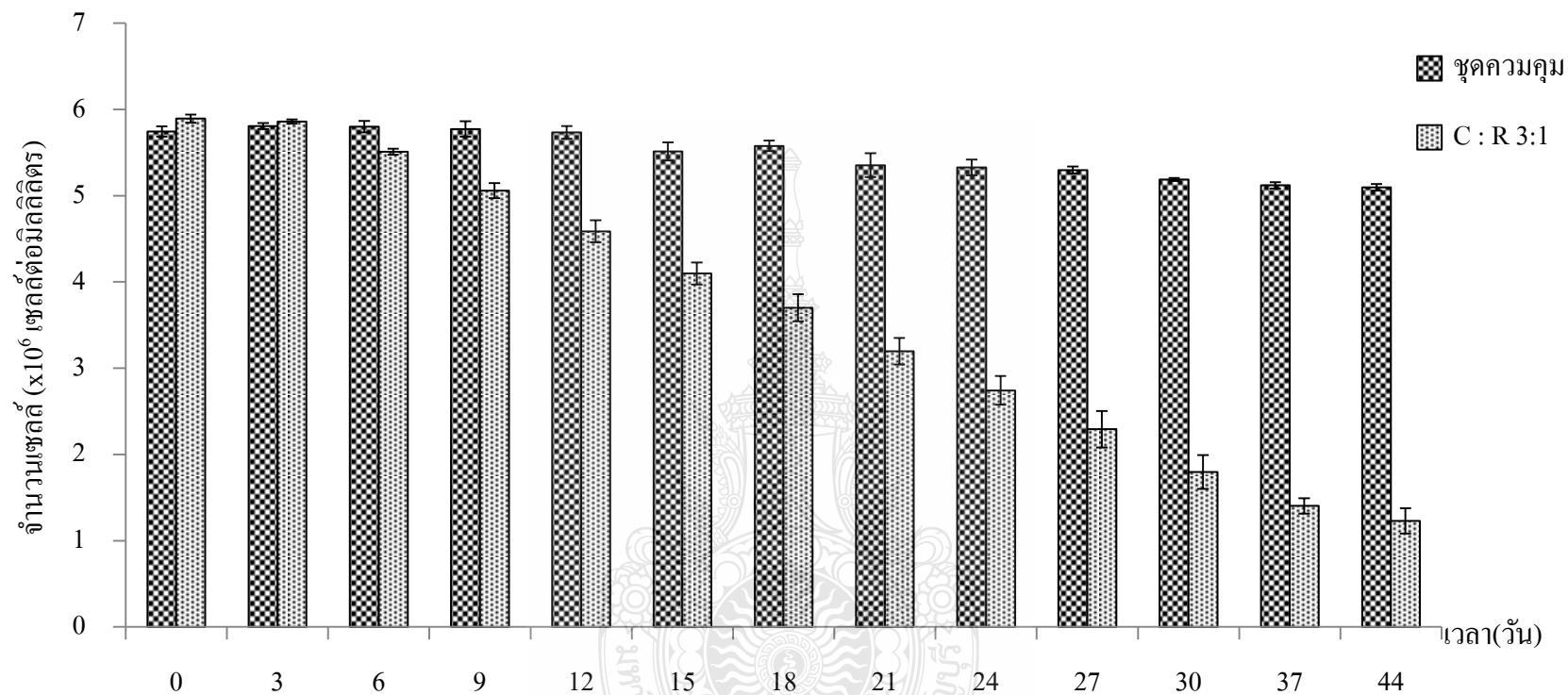
4.4.13 จำนวนเซลล์ (cell number)

ผลการเปลี่ยนแปลงจำนวนเซลล์เมื่อได้รับการบำบัดด้วยสารละลายโคโคซานและสารสกัดฟางข้าวในบ่อทดลอง ตั้งแต่วันที่ 7 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2559 ถึง 8 เมษายน พ.ศ. 2559 พบว่า

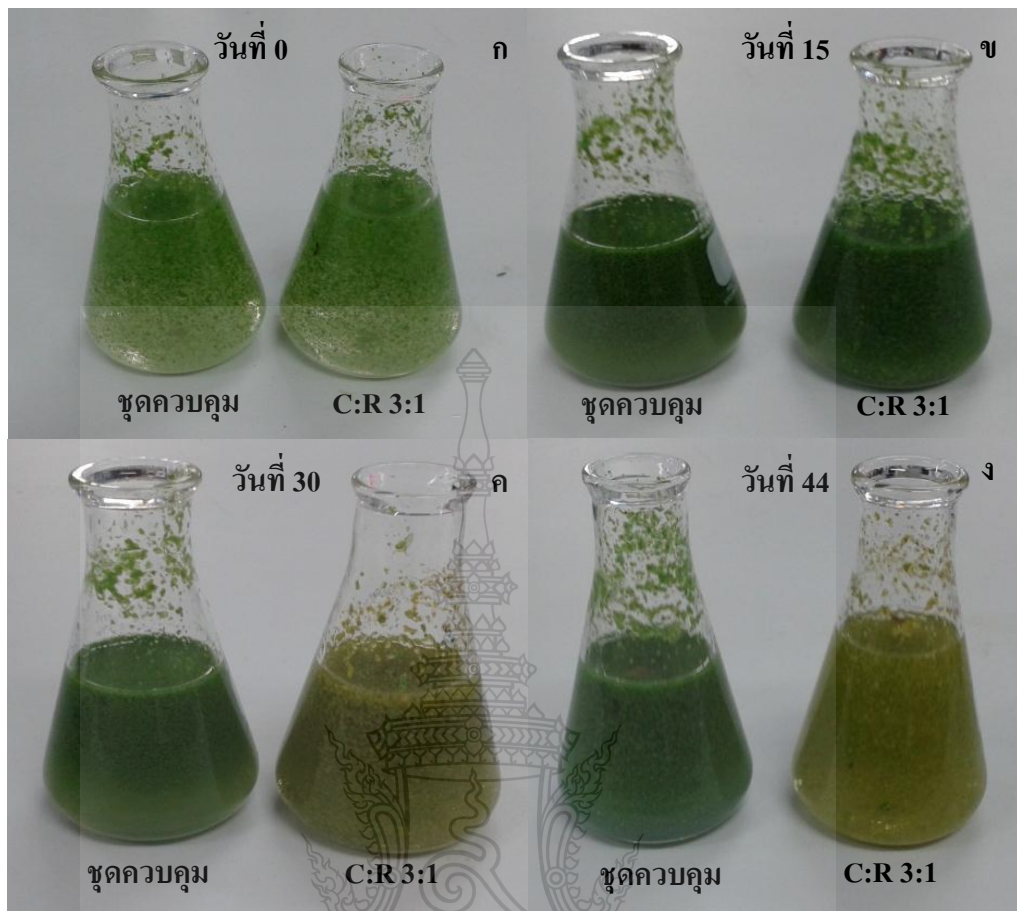
บ่อควบคุม จำนวนเซลล์มีค่าต่ำสุดเท่ากับ 5.09×10^5 เซลล์ต่อมิลลิลิตร ในวันที่ 44 ของการทดลอง และค่าสูงสุดเท่ากับ 5.80×10^5 เซลล์ต่อมิลลิลิตร ในวันที่ 3 ของการทดลองและมีค่าเฉลี่ย 5.48×10^5 เซลล์ต่อมิลลิลิตร

บ่อทดลองอัตราส่วนสารละลายโคโคซาน : สารสกัดฟางข้าว เท่ากับ 3:1 จำนวนเซลล์มีค่าต่ำสุดเท่ากับ 1.22×10^4 เซลล์ต่อมิลลิลิตร ในวันที่ 44 ของการทดลอง และค่าสูงสุดเท่ากับ 5.89×10^5 เซลล์ต่อมิลลิลิตร ในวันที่ 0 ของการทดลองและมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.64×10^5 เซลล์ต่อมิลลิลิตร

จากการศึกษาจำนวนเซลล์ในแต่ละบ่อทดลอง พบว่าก่อนทำการทดลองจำนวนเซลล์เฉลี่ยเท่ากับ 5.81×10^5 เซลล์ต่อมิลลิลิตร และหลังจากการทดสอบสารโคโคซานและสารสกัดฟางข้าว ในอัตราส่วนเท่ากับ 3:1 ตั้งแต่วันที่ 3 ถึงวันที่ 44 ของการทดลองจำนวนเซลล์ในบ่อทดลองมีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่องจำนวนเซลล์ลดลงสูงที่สุด เท่ากับ 1.22×10^4 เซลล์ต่อมิลลิลิตร (รูปที่ 4.28) ในวันที่ 44 ของการทดลอง นอกจากนี้เมื่อวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนของจำนวนเซลล์ในแต่ละบ่อทดลองตลอดระยะเวลาที่ทำการวิจัยพบที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 เซลล์สาหร่ายในบ่อทดลองหลังจากใช้สารโคโคซานและสารสกัดจากฟางข้าว ซึ่งหุ้มอะซิติกที่เป็นองค์ประกอบของสารโคโคซานเข้าไปจับกับเซลล์สาหร่ายตรงที่หุ้มฟอตเฟตที่ผิวเยื่อหุ้มเซลล์ทำให้เซลล์ถูกทำลายและตกตะกอนลงสู่ก้นแหล่งน้ำ [53] พร้อมกับการสารสกัดจากฟางข้าวที่มีคุณสมบัติในการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ เนื่องจากสารประกอบที่มีคุณสมบัติเป็นกรดจะทำลายโครงสร้างที่เป็นโปรตีนของเอนไซม์ ส่งผลให้เอนไซม์เกิดการเสียสภาพ สาหร่ายจึงไม่สามารถสังเคราะห์สารต่างๆ เพื่อใช้ในการดำรงชีวิตรวมถึงไม่สามารถนำเอนไซม์มาใช้ในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงได้ เนื่องจากเอนไซม์ถูกทำลายไป [51]



รูปที่ 4.28 จำนวนเซลล์ ($\times 10^6$ เซลล์ต่อมิลลิลิตร) ในบ่อทดลองระหว่างวันที่ 7 กุมภาพันธ์ ถึง 22 มีนาคม พ.ศ. 2559
(C = สารไคโตซาน, R = สารสกัดฟางข้าว)



รูปที่ 4.29 น้ำตัวอย่างหลังผ่านการยับยั้งด้วยสารโคโตซานและสารสกัดฟางข้าวในบ่อทดลอง (C = สารโคโตซาน, R = สารสกัดฟางข้าว)
 (ก) แสดงน้ำตัวอย่างหลังผ่านการยับยั้งด้วยสารโคโตซานและสารสกัดฟางข้าว อัตราส่วน 3:1 และชดควบคุม ในวันที่ 0 ของการทดลอง
 (ข) แสดงน้ำตัวอย่างหลังผ่านการยับยั้งด้วยสารโคโตซานและสารสกัดฟางข้าว อัตราส่วน 3:1 และชดควบคุม ในวันที่ 15 ของการทดลอง
 (ค) แสดงน้ำตัวอย่างหลังผ่านการยับยั้งด้วยสารโคโตซานและสารสกัดฟางข้าว อัตราส่วน 3:1 และชดควบคุม ในวันที่ 30 ของการทดลอง
 (ง) แสดงน้ำตัวอย่างหลังผ่านการยับยั้งด้วยสารโคโตซานและสารสกัดฟางข้าว อัตราส่วน 3:1 และชดควบคุม ในวันที่ 44 ของการทดลอง

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาประสิทธิภาพของสารโคโตซานและสารสกัดฟางข้าวในการยับยั้งการเจริญเติบโตของสาหร่าย *Microcystis* spp. โดยศึกษาปริมาณสารโคโตซาน ปริมาณสารสกัดฟางข้าว และอัตราส่วนระหว่างสารโคโตซานและสารสกัดฟางข้าว พบว่าการทดลองที่ 1 สารโคโตซาน ความเข้มข้นร้อยละ 10 มีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญเติบโตของสาหร่ายพิษ *Microcystis* spp. ได้ดีที่สุด ร้อยละ 82.76 ในการทดลองที่ 2 ปริมาณสารสกัดฟางข้าว ความเข้มข้นร้อยละ 10 มีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญเติบโตของสาหร่าย *Microcystis* spp. ได้ดีที่สุด ร้อยละ 79.46 และเมื่อศึกษาอัตราส่วนระหว่างสารโคโตซานและสารสกัดฟางข้าวที่เหมาะสมคือ 3:1 ซึ่งเป็นชุดการทดลองที่สามารถลดจำนวนเซลล์สาหร่ายให้ลดลงได้ร้อยละ 84.90 นอกจากนี้เมื่อศึกษาประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญเติบโตของสาหร่าย *Microcystis* spp. ในบ่อทดลองในภาคสนามพบว่า ความเป็นกรด-ด่างลดลง 1.27 ค่าคลอโรฟิลล์แอสลดลงร้อยละ 67.8 จำนวนเซลล์สาหร่ายลดลงร้อยละ 75.89 และคลอโรฟิลล์ เอลดลงร้อยละ 88.24

จากการศึกษาคุณภาพน้ำพบว่าปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำสอดคล้องกับปริมาณออกซิเจนที่จุลินทรีย์ใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์มีค่าลดลงในวันสุดท้ายของการทดลองแต่ยังอยู่ในระดับไม่เกินค่ามาตรฐานคุณภาพแหล่งน้ำผิวดินประเภท 4 ส่วนค่าการนำไฟฟ้ามีค่าลดลงจาก 757 ไมโครซีเมนต์ต่อเซนติเมตรเหลือ 72 ไมโครซีเมนต์ต่อเซนติเมตรและความเข้มข้นของของแข็งที่ละลายในน้ำ มีปริมาณลดลงจาก 371 มิลลิกรัมต่อลิตรเหลือ 233.6 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งไม่เกินค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำผิวดินประเภท 4 เช่นเดียวกัน ส่วนปริมาณสารอาหารทั้งสามชนิดมีค่าลดลงในวันสุดท้ายของการทดลอง แต่ยังมีปริมาณสูงเกินค่ามาตรฐานคุณภาพแหล่งน้ำผิวดินประเภทที่ 4

ข้อเสนอแนะ

1. กระบวนการยับยั้งสาหร่าย *Microcystis* spp. ควรมีการปลูกพืชน้ำชนิดอื่นๆ เช่น สาหร่ายฉัตร เป็นต้น ในแหล่งน้ำที่เกิดปรากฏการณ์ยูโทรฟิเคชันควบคู่กันเพื่อให้พืชน้ำช่วยในการดูดซับสารอาหารต่างๆที่เกิดจากการย่อยสลายเซลล์สาหร่ายที่ตายแล้วรวมทั้งช่วยป้องกันไม่ให้สาหร่ายกลับมาเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วได้อีก

2. ควรมีการตรวจวิเคราะห์ผลกระทบจากการใช้สารไคโตซานและสารสกัดฟางข้าวต่อการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิตชนิดอื่นในแหล่งน้ำ ก่อนการนำไปใช้งานจริง เพื่อทราบถึงผลของสารทั้งสองต่อสิ่งมีชีวิตชนิดอื่นที่อาศัยอยู่ในแหล่งน้ำ

3. เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัดสารพิษไมโครซิสตินควรมีการใช้วิธีอื่นร่วมกับการใช้สารไคโตซานและสารสกัดจากฟางข้าว เช่น การใช้แบคทีเรีย เป็นต้น เพื่อช่วยในการลดปริมาณสารที่เกิดขึ้นในแหล่งน้ำ ภายหลังจากการบำบัดแล้ว รวมทั้งทำให้น้ำมีลักษณะใสขึ้น

4. เนื่องจากในแหล่งน้ำมีปริมาณสารพิษไมโครซิสตินเกินกว่าค่ามาตรฐานองค์การอนามัยโลก จึงควรมีการเตือนไม่ให้ประชาชนบริโภคสัตว์น้ำในแหล่งน้ำ และก่อนนำน้ำไปใช้ในการอุปโภคบริโภค ควรมีการกำจัดสารพิษให้มีปริมาณไม่เกินค่ามาตรฐานที่องค์การอนามัยโลก (World Health Organization, WHO) ได้กำหนดไว้ในแหล่งน้ำดิบสำหรับการผลิตน้ำประปาให้มีปริมาณสารพิษ microcystins ปนเปื้อนไม่เกิน 1 ไมโครกรัมต่อลิตร

5. มาตรการในการป้องกันไม่ให้เกิดสาหร่ายเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วในแหล่งน้ำ ควรมีการบำบัดน้ำที่ถูกปล่อยออกมาจากชุมชนก่อนปล่อยน้ำลงสู่แหล่งน้ำ เพื่อลดปริมาณสารอาหารที่ปนเปื้อนให้มีค่าไม่เกินค่ามาตรฐานแหล่งน้ำผิวดินที่กำหนดไว้ ได้แก่ ปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนไม่ควรเกิน 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตรและปริมาณไนเตรต-ไนโตรเจนไม่ควรเกิน 5.0 มิลลิกรัมต่อลิตร แต่ถ้ามีการปนเปื้อนในปริมาณที่สูงสารอาหารเหล่านี้จะไปกระตุ้นการเจริญเติบโตของสาหร่ายทำให้เกิดปรากฏการณ์ยูโทรฟิเคชันขึ้นได้

บรรณานุกรม

- [1] เกศสุดา เหลืองธีรภาพ. (2545). การเตรียมและสมบัติไคโตซานชนิดเม็ดจากเปลือกกุ้งกุลาดำ. (วิทยานิพนธ์วิทยาศาตรมหาบัณฑิต, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย).
- [2] คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา. (2548). ปฐพีวิทยา. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- [3] เฉลิมเดช บุญสิน, ณรงค์ฤทธิ์ ศรีแก้ว, พัชรี กาณจนพิมาย และ ศศิวิมล เกตุมาลา. (2553). การศึกษาชนิดและปริมาณสาหร่ายพิษ *Microcystis* sp. ในคลองรังสิตระหว่างเดือน ธันวาคม พ.ศ. 2550 ถึงเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2552. (โครงการวิทยาศาตรบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี).
- [4] นรินาม วรรณจักร. (2554). การเฝ้าติดตามเพื่อปรับปรุงดินและเพิ่มผลผลิตข้าว. รายงานการวิจัย. กลุ่มระบบงานวิจัย กองแผนงาน ร่วมกับกลุ่มวิจัยและพัฒนาอินทรีย์วัตถุเพื่อการเกษตร สำนักวิจัยและพัฒนาการจัดการที่ดิน.
- [5] เนติ เงินแพทย. (2546). การติดตามตรวจสอบสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน *Microcystis* spp. และคุณภาพน้ำในอ่างเก็บน้ำหนองหาร จังหวัดสกลนคร ปี 2543-2544. (วิทยานิพนธ์วิทยาศาตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่).
- [6] บัญญัติ สุขศรีงาม. (2532). จุลชีววิทยา. ชลบุรี : สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ บางแสน.
- [7] ปภานต์นภัต ฟ้าประทานชัย. (2549). การทดสอบความเป็นพิษของสาหร่าย *Microcystis aeruginosa* ต่อปลาไนล์ (*Oreochromis niloticus*). (วิทยานิพนธ์วิทยาศาตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่).
- [8] พงษ์พันธุ์ ลิพทเกรียงไกร. (2550). ความหลากหลายและการใช้สาหร่ายขนาดใหญ่และไดอะตอมพื้นท้องน้ำเพื่อติดตามตรวจสอบคุณภาพน้ำของแม่น้ำปิง ปี 2547-2548. (วิทยานิพนธ์วิทยาศาตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่).
- [9] เพ็ญประภา หวานสนิท. (2549). สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพจากสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินเพื่อควบคุมสาหร่ายที่ผลิตสารพิษ *Microcystis aeruginosa*. (วิทยานิพนธ์วิทยาศาตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์).
- [10] ภาวดี เมฆะคานนท์, อสิรา เฟื่องฟูชาติ และ ก้องเกียรติ คงสุวรรณ. (2543). ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับ ไคติน-ไคโตซาน. เอ็มเทค เทคโนโลยีวิสต์, 19, 69-75.

บรรณานุกรม (ต่อ)

- [11] ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ. (2546). **เรื่อนำรู้ไคติน-ไคโตซาน**. กรุงเทพฯ : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- [12] ยงยุทธ โอสดสภา, อรรถศิษฐ์ วงศ์มณีโรจน์ และ ชาลิต ฮงประยูร. (2551). **ปุ๋ยเพื่อการเกษตรยั่งยืน**. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- [13] ยูดี พีรพรพิศาล. (2542). **สาหร่าย (ALGAE) ตอน 1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับสาหร่าย สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน สาหร่ายสีเขียว**. ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- [14] ยูดี พีรพรพิศาล และ ฉมาภรณ์ นิवासบุตร. (2546). **คู่มือปฏิบัติการสาหร่ายวิทยา**. เชียงใหม่ : ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- [15] ยูดี พีรพรพิศาล. (2549). **สาหร่ายวิทยา (Phycology)**. ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัย เชียงใหม่.
- [16] สิริแข พงษ์สวัสดิ์ และ สุทธวรรณ สุพรรณ. (2553). **การศึกษาประสิทธิภาพของเครื่องอัลตราโซนิคในการกำจัดสาหร่ายพิษ บริเวณสวนสาธารณะท่าดินแดง กองทัพอากาศ** (รายงานการวิจัย). ปทุมธานี : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.
- [17] วิจิตรา ยงยุทธอำไพ. (2554). **ลดการเผาฟางข้าวและตอซัง ลดภาวะโลกร้อน**. *มูลนิธิรักษ์ไทย*, 11, 25-34.
- [18] ระวีวรรณ พัวณาโชค และ ไมตรี สุทธจิตต์. (2541). **ไมโครซิสติส**. *พืชวิทยาสาร*, 15, 11-12.
- [19] ลัดดา วงศ์รัตน์. (2544). **แพลงก์ตอนพืช**. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- [20] ศิริพงษ์ เกียรติประดับ. (2546). **ความหลากหลายของสาหร่ายพิษสีเขียวแกมน้ำเงินและคุณภาพน้ำในอ่างเก็บน้ำบางพระ จังหวัดชลบุรี ปี 2543-2544**. (วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์ มหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่).
- [21] สุบิน โพธิ์ใจพระ. (2549). **การควบคุมสาหร่ายที่ผลิตสารพิษ *Microcystis aeruginosa* โดยหอยมูกน้ำจืด (*Chamberlainia hainesiana*) ในสภาพแหล่งน้ำตามธรรมชาติ**. (วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์).

บรรณานุกรม (ต่อ)

- [22] แสงดาว วงศ์ปิ่น. (2548). ศักยภาพของสารสกัดจากเสม็ด (*Cajuput tree*) ในการยับยั้งการเจริญเติบโตของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน *Microcystis aeruginosa* และ *Anabaena siamensis* (Antarikanonda). (วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร).
- [23] อภารัตน์ มหาจันทร์, ประไพภัทร คลังทรัพย์, พรรณรัตน์ รัตนโชติ, วัลลภา อรุณไพโรจน์, โทโมฮารุ ซาโน และมาโกโตะ เอ็มวาทานาเบ. (2541). ความเป็นพิษของสาหร่ายที่ผลิตสารพิษในประเทศไทย. เอกสารประกอบการประชุมเรื่อง สาหร่ายผลิตสารพิษในแหล่งน้ำจืด: ปัญหาและแนวทางแก้ไข. กรุงเทพมหานคร: โรงแรมรามารักษ์เด็นนท์.
- [24] อุดมลักษณ์ สมพงษ์. (2544). ความหลากหลายทางชีวภาพของสาหร่ายในน้ำพุร้อนบางแห่งในเขตภาคเหนือตอนบนของประเทศ. (วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเชียงใหม่).
- [25] อุไร เฟ่งพิศ, แสงดาว วงศ์ปิ่น, ธัญลักษณ์ แต่บรรพกุล, นิสานาถ ละอองพันธ์ และ อำพร คล้ายแก้ว. (2551). ศักยภาพของสารกำจัดสาหร่ายต่อสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (รายงานการวิจัย). นนทบุรี : กรมชลประทาน.
- [26] อรพิน เกิดชูชื่น และ ณีฎฐา เลหากุลจิตต์. (2544). การลดปริมาณสารพิษจากสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน (*Cyanobacteria*) โดยใช้เปลือกไข่ (รายงานการวิจัย). กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- [27] Ahmed ,M.S., Hiller, S., & Luckas, B. (2007). *Microcystis aeruginosa* bloom and the Occurrence of Microcystins (Heptapeptide Hepatotoxins) from an Aquaculture Pond in Gazipur. (Doctor' thesis, University of Dhaka, Bangladesh).
- [28] Ahn J.K., & Chung, I.M. (2000). Allelopathic Potential of Rice Hulls on Germination and Seedling Growth of Barnyard Grass. *Agron*, 79(3), 1162–1167.
- [29] APHA, AWWA., & WPCF. (1992). **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. (18th ed.). Washington D.C. : American Public Health Association.
- [30] Ashford N.A., Hattis D., & Murray A.E. (1997). Industrial Prospects for Chitin and Protein from Shellfish Water. **MIT sea Grant Report**, 2, 77-83.

บรรณานุกรม (ต่อ)

- [31] Aye K.N., Renuka K., Tangir A., & Stevens W.F. (2006). Peripheral enzymatic deacetylation of chitin and reprecipitated chitin particles. **Biotechnol**, 97, 577-582.
- [32] Barreiro, A., Guisande, C., Maneiro, I., Vergara, A.R., Rveiro, I., & Iglesias, P. (2007). **Zooplankton in Teraction with Toxic Phytoplankton : Some Implications for Foodwed Studies and Algal Defence Strategies of Feeding Selectivity Behavior, Toxin Dilution and Phytoplankton Population Diversity.** (Doctor' thesis, Universidad de Vigo, Lagoas-Marcosende, Spain).
- [33] Bernkop-Schnürch, A., & Dünnhaupt, S. (2012). Chitosan-based Drug Delivery Systems. **Pharmaceutics and Biopharmaceutics**, 47, 463-469.
- [34] Pongswat, S. (2005). Water quality and Diversity of Phytoplankton in a Hard - Water Lake, Thailand. **Suranaree J. Sci. Technol**, 13(1), 55-70.
- [35] Carmicheal, W.W. (1995). **Cyanobacterial Toxins in Manual on Harmful Marine Microalgae.** In Hallegraeff. G.M. (Ed.), Manual and guides 33, Intergovernmental Oceanographic Commission of UNESCO.
- [36] Dawson, R.M. (1998). The Toxicology of Microcystins. **Toxincon**, 36(7), 953-963.
- [37] Pei, H., Ma, C.X., Hu, W.R., & Sun, F. (2014). The behaviors of *Microcystis aeruginosa* cells and extracellular microcystins during chitosan flocculation and flocs storage processes. **Bio Technol**, 151, 314–322.
- [38] Harada K., Camichael W.W., & Fujiki H. (1996). **Chemistry and Detection of Microcystins in Watanabe Toxic *Microcystis*.** Florida, FL : CRC Press, Boca Raton,
- [39] Hullebusch, E.V., Philippe, C., Deluchat, V., Philippe, M., Froissard, D., Botineau, Ghestem, M., & Baudu, A. (2002). A. Copper Accumulation in a Reservoir Ecosystem Following Copper Sulfate Treatment (St. Germain Les Belles, France). **Water, Air, and Soil Pollution** 150, 3–22.

บรรณานุกรม (ต่อ)

- [40] Jin X., Chu Z. S., Yan F., & Zeng Q. (2009). Effects of Lanthanum (III) and EDTA on the Growth and Competition of *Microcystis aeruginosa* and *Scenedesmus quadricauda*. **Limnologica**, **39**, 86-93.
- [41] Wen S., Johannes A. H., Yuhong J., Yaping L., & Fanxiang K. (2014). Effects of Rice Straw on the Cell Viability, Photosynthesis, and Growth of *Microcystis aeruginosa*. **Chinese Journal of Oceanology and Limnology**, **32**(1), 120-129.
- [42] Liu Y., Tan W., Wu X., Wu Z., Yu G., & Li R. (2011). First Report of Microcystin Production in *Microcystis smithii* Kom'arek and Anagnostidis (Cyanobacteria) from a Water Bloom in Eastern China. **Environmental Sciences**, **23**(1), 102-107.
- [43] Mulderij G., Mooij W.M., Smolder A.J.P., & Van Donk E. (2005). Allelopathic inhibition of phytoplankton by exudates from Stratiotes aloides. **Aquatic botany**, **82**, 284-296.
- [44] Park M.H., Han M.S., Ahn C.Y., Kim H.S., Yoon B.D., & Ho H.M. (2006). Growth Inhibition of Bloom-forming Cyanobacterium *Microcystis aeruginosa* by Rice Straw Extract. **Applied Microbiology**, **43**, 307-312.
- [45] Pan G., Zou H., Chen H., & Yuan X. (2006). Removal of Harmful Cyanobacterial Blooms in Taihu Lake Using Local Soils. III. Factors Affecting the Removal Efficiency and in situ Field Experiment Using Chitosan-Modified Local Soils. **Environmental Pollution**, **141**, 206-212.
- [46] Pillai C.K.S., Paul W., & Sharma C.P. (2009). Chitin and Chitosan Polymers: Chemistry, Solubility and Fiber Formation. **Progress in Polymer Science**, **4**(2), 641-678.
- [47] Carmicheal, W.W., Yu, M.J., He, Z.R., He, J.W., & Yu, J.L. (1988). Occurrence of the toxic cyanobacteriul (blue-green algae) *Microcystis aeruginosa* In central china. **Arch. Hydrobiol**, **114**, 21-30.
- [48] Martins, J., Saker,L.M., Moreira, C., Welker,M., Fastner, J., & Vasconcelos, M.V. (2009). Peptide diversity in strains of the cyanobacterium *Microcystis aeruginosa* isolated from Portuguese water supplies. **Apply Microbiol Biotechnol**, **82**, 951-961.
- [49] Tsuji, K., Setsuda, S., & Watanuki T. (1996). Microcystins levels During 1992-95 for Lakes Sagami and Tsukui Japan. **Natural toxins**, **58**(1), 189-194.

บรรณานุกรม (ต่อ)

- [50] Wang X., Hao C., Zhang F., Feng C., & Yang Y. (2011). Inhibition of the Growth of Two Blue-green Algae Species (*Microcystis aeruginosa* and *Anabaena spiroides*) by Acidification Treatments Using Carbondioxide. **Bioresource Technology**, **37**, 742-748.
- [51] Xi X., Ying-xu C., Xin-qiang L., Li-ping L., & Xian-jin T. (2010). Effects of Tibetan Hullless Barley on Bloom-forming Cyanobacterium (*Microcystis aeruginosa*) Measured by Different Physiological and Morphologic Parameters. **Chemosphere**, **81**, 1118-1123.
- [52] Yan Q., Yu Y., Feng W., & Pan G. (2009). Plankton Community Succesion in Artificial Systems Subjected to Cyanobacterial Blooms Removal using Chitosan-Modified Soils. **Environmental Microbiology**, **58**, 47-55.
- [53] Pan G., Zou H., Mulan Z., Tian B., Chen H., & Yuan X,Z. (2011). In-lake algal bloom removal and submerged vegetation restoration using modified local soils. **Ecological Engineering**, **37**, 302–308.
- [54] Oberholster P.J., Botha A.M., & Grobbelaar J. (2004). *Microcystis aeruginosa* : source of toxic microcystins in drinking water. **African Journal of Biotechnology**, **3**(3), 159-168.
- [55] Ball A. S., Williams M., Vincent D., & Robinson J. (2001). Algal Growth Control by a Barley Straw Extract. **Bioresource Technology**, **77**, 177-181.
- [56] Evarall N. C., & Lee D. R. (1996). The Use of Barley Straw to Control General and Blue-Green Algal Growth in a Derbyshire Reservoir. **Water Resource**, **31**(3), 269-276.
- [57] Komárek J., & Komáková J. (2002). Review of the European Microcystis Morphospecies (Cyanoprokaryotes) from Nature. **Czech Phycology**, **2**, 1-24.
- [58] Hhua Z., Gang P., Hao C., & Xianzheng Y. (2006). Removal of *Microcystis aeruginosa* using Kaolinite and sediments modified by chitosan. **Environ Pollut**, **141**, 201-205.
- [59] นันทนา คชเสนี. (2544). คู่มือปฏิบัติการนิเวศวิทยาน้ำจืด. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ : จุฬาลงกรณ์ราชวิทยาลัย.
- [60] เปี่ยมศักดิ์ เมณะเสวต. (2538). แหล่งน้ำกับปัญหามลพิษ. กรุงเทพฯ : จุฬาลงกรณ์ราชวิทยาลัย.

บรรณานุกรม (ต่อ)

- [61] Ferrier M.D., Butler B.R., Terlizzi D.E., & Lacouture R.V. (2005). The effects of barley straw (*Hordeum vulgare*) on the growth of freshwater algae. **Bioresource Technology**, **96**, 1778-1795.
- [62] ชาญณรงค์ แก้วเล็ก. (2532). สหสัมพันธ์ของสารอาหารบางชนิดและการกระจายตัวของแพลงก์ตอนพืชในอ่างเก็บน้ำเขื่อนแม่กวงอุดมธารา. (วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่).
- [63] ธนพล ทนคำดี. (2550). คุณภาพน้ำในแหล่งน้ำบางแหล่งของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคเหนือ และภาคกลางโดยใช้แพลงก์ตอนเป็นดัชนีบ่งชี้. (ปัญหาพิเศษวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่).
- [64] Soumaya, T. A. & Shaulo, S. P. (2005). Phytoplankton of the Karasuk River (West Siberia) as an Indicator of Water Quality. **Contemporary of Ecology**, **50**, 570 – 575.
- [65] Sigrid, K. & Jones, G. (1999). **Cyanobacterial toxins. In chorus i. sdnbartram J. (Eds.), toxic cyanobacteria in water.** London and new York : E&Fnspon.
- [67] ขจรเกียรติ มูลสิน. (2550). ความหลากหลายทางพันธุกรรมของสาหร่ายและคุณภาพน้ำในแม่น้ำโขงในจังหวัดอุบลราชธานี. (วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยราชภัฏ-อุบลราชธานี).



ภาคเหนือ



ตารางที่ 1 ค่าดูดกลืนแสง ที่ความยาว 665 นาโนเมตรหลังทดสอบด้วยสารโคโคซาน ระหว่างวันที่ 24 มิถุนายน ถึง 7 สิงหาคม พ.ศ. 2557 (C = โคโคซาน)

ชุดทดลอง	วันที่												
	0	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	37	44
ชุดควบคุม	0.35	0.36	0.35	0.35	0.35	0.35	0.34	0.30	0.34	0.33	0.32	0.31	0.33
C 2%	0.35	0.36	0.36	0.35	0.35	0.34	0.28	0.31	0.35	0.29	0.27	0.24	0.20
C 4%	0.35	0.35	0.35	0.34	0.34	0.33	0.32	0.34	0.30	0.30	0.28	0.29	0.24
C 6%	0.36	0.35	0.35	0.33	0.31	0.32	0.31	0.30	0.30	0.29	0.28	0.27	0.21
C 8%	0.36	0.36	0.35	0.35	0.31	0.29	0.27	0.27	0.24	0.22	0.21	0.20	0.18
C 10%	0.36	0.35	0.34	0.32	0.28	0.23	0.21	0.19	0.19	0.17	0.15	0.14	0.119

ตารางที่ 2 ความเป็นกรด-ด่าง (pH) หลังทดสอบด้วยสารโคโคซาน ระหว่างวันที่ 24 มิถุนายน ถึง 7 สิงหาคม พ.ศ. 2557 (C = โคโคซาน)

ชุดทดลอง	วันที่												
	0	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	37	44
ชุดควบคุม	9.66	9.64	9.59	9.53	9.49	9.11	9.38	9.23	9.25	9.11	8.45	8.93	8.87
C 2%	8.79	8.72	8.67	8.62	8.55	8.50	8.40	8.36	8.15	8.14	7.85	7.72	7.62
C 4%	8.78	8.73	8.63	8.57	8.52	8.71	8.38	8.46	8.17	7.89	7.74	7.59	7.53
C 6%	8.75	8.50	8.58	8.62	8.49	8.43	8.31	8.22	8.03	7.93	7.61	7.57	7.55
C 8%	8.72	8.67	8.57	8.53	8.43	8.29	8.27	8.13	8.01	7.72	7.63	7.68	7.51
C 10%	8.68	8.60	8.53	8.45	8.35	8.45	8.12	7.98	7.79	7.66	7.65	7.47	7.19

ตารางที่ 3 จำนวนเซลล์ ($\times 10^6$ เซลล์ต่อมิลลิลิตร) หลังทดสอบด้วยสารไอโคซาน ระหว่างวันที่ 24 มิถุนายน ถึง 7 สิงหาคม พ.ศ. 2557 (C = ไอโคซาน)

ชุดทดลอง	วันที่												
	0	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	37	44
ชุดควบคุม	5.74	5.79	5.56	5.80	5.12	5.34	5.47	5.11	4.89	4.43	4.13	3.39	3.47
C 2%	5.83	5.80	5.24	5.23	4.83	4.29	3.89	3.50	3.14	2.71	2.11	1.92	1.43
C 4%	6.07	5.86	5.67	4.77	4.40	3.65	3.49	2.45	2.54	2.03	1.78	1.32	1.08
C 6%	5.75	5.82	5.48	5.00	4.52	4.00	3.60	3.10	2.62	2.14	1.58	1.35	1.05
C 8%	5.89	5.73	5.49	5.01	4.69	4.28	3.72	3.12	2.62	1.82	1.22	1.72	1.03
C 10%	6.02	5.94	5.43	4.56	4.07	3.23	2.63	2.38	1.73	1.27	1.34	1.22	0.95

ตารางที่ 4 ปริมาณคอโรฟิลล์ เอ (ไมโครกรัมต่อลิตร) หลังทดสอบด้วยสารไอโคซาน ระหว่างวันที่ 24 มิถุนายน ถึง 7 สิงหาคม พ.ศ. 2557 (C = ไอโคซาน)

ชุดทดลอง	วันที่												
	0	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	37	44
ชุดควบคุม	1922.73	1906.30	1876.37	1850.43	1808.00	1758.47	1670.97	1590.20	1509.37	1365.37	1250.57	1374.80	1267.48
C 2%	1936.97	1940.40	1832.57	1852.33	1619.40	1567.40	1429.20	1306.57	1466.20	1213.17	976.23	876.53	565.53
C 4%	1936.97	1900.40	1802.57	1752.33	1619.40	1467.40	1429.20	1376.57	1266.20	1153.17	1008.62	962.53	766.53
C 6%	1932.67	1919.27	1854.60	1749.00	1586.70	1528.87	1419.53	1326.87	1213.43	1433.40	989.09	888.35	758.35
C 8%	1931.57	1856.80	1817.17	1771.07	1499.73	1398.50	1235.83	1089.97	901.77	713.77	677.30	441.58	391.58
C 10%	1893.33	1819.53	1715.20	1586.03	1268.80	1172.27	944.30	798.07	649.67	537.50	347.33	393.63	289.63

ตารางที่ 5 ค่าดูดกลืนแสง ที่ความยาว 665 นาโนเมตรหลังทดสอบด้วยสารสกัดจากฟางข้าว ระหว่างวันที่ 24 มิถุนายน ถึง 7 สิงหาคม พ.ศ. 2557 (R = ฟางข้าว)

ชุดทดลอง	วันที่												
	0	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	37	44
ชุดควบคุม	0.35	0.36	0.35	0.35	0.35	0.35	0.34	0.34	0.34	0.33	0.32	0.31	0.31
R 2%	0.35	0.36	0.36	0.35	0.35	0.34	0.32	0.31	0.31	0.29	0.27	0.24	0.27
R 4%	0.35	0.35	0.35	0.34	0.34	0.33	0.32	0.31	0.32	0.30	0.28	0.27	0.29
R 6%	0.36	0.35	0.35	0.33	0.31	0.32	0.31	0.30	0.30	0.29	0.22	0.27	0.25
R 8%	0.36	0.36	0.35	0.35	0.31	0.29	0.27	0.27	0.24	0.27	0.21	0.19	0.18
R 10%	0.36	0.35	0.34	0.32	0.28	0.27	0.22	0.25	0.21	0.18	0.19	0.18	0.16

ตารางที่ 6 ความเป็นกรด-ด่าง (pH) หลังทดสอบด้วยสารสกัดจากฟางข้าว ระหว่างวันที่ 24 มิถุนายน ถึง 7 สิงหาคม พ.ศ. 2557 (R = ฟางข้าว)

ชุดทดลอง	วันที่												
	0	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	37	44
ชุดควบคุม	9.66	9.64	9.59	9.53	9.49	9.44	9.38	9.33	9.25	9.23	8.94	8.93	8.83
R 2%	8.79	8.72	8.67	8.62	8.55	8.50	8.43	8.36	8.25	8.13	8.11	8.06	8.01
R 4%	8.78	8.73	8.63	8.57	8.52	8.45	8.38	8.26	8.17	8.13	8.15	8.12	8.08
R 6%	8.75	8.65	8.58	8.54	8.49	8.43	8.37	8.22	8.10	7.93	7.89	7.81	7.76
R 8%	8.72	8.67	8.57	8.53	8.42	8.37	8.27	8.13	8.01	7.72	7.83	7.77	7.75
R 10%	8.68	8.60	8.53	8.45	8.35	8.26	8.12	8.11	8.03	7.98	7.89	7.67	7.61

ตารางที่ 7 จำนวนเซลล์ ($\times 10^6$ เซลล์ต่อมิลลิลิตร) หลังทดสอบด้วยสารสกัดจากฟางข้าว ระหว่างวันที่ 24 มิถุนายน ถึง 7 สิงหาคม พ.ศ. 2557 (R = ฟางข้าว)

ชุดทดลอง	วันที่												
	0	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	37	44
ชุดควบคุม	5.78	5.79	5.66	5.60	5.52	5.43	5.36	5.11	4.79	4.43	4.45	4.36	4.43
R 2%	5.82	5.90	5.58	5.23	4.83	4.35	4.01	3.50	3.07	2.71	2.19	2.92	2.71
R 4%	6.02	5.86	5.49	4.95	4.40	3.94	3.49	2.99	2.54	2.03	2.62	2.32	2.03
R 6%	5.90	5.82	5.47	5.00	4.52	4.00	3.60	3.10	2.62	2.14	2.58	2.35	2.14
R 8%	5.84	5.78	5.41	5.01	4.69	4.28	3.72	3.12	2.62	2.82	2.22	2.17	1.82
R 10%	6.12	5.95	5.43	4.66	4.03	3.23	2.74	2.53	2.74	1.97	1.79	1.65	1.45

ตารางที่ 8 ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ (ไมโครกรัมต่อลิตร) หลังทดสอบด้วยสารสกัดจากฟางข้าว ระหว่างวันที่ 24 มิถุนายน ถึง 7 สิงหาคม พ.ศ. 2557 (R = ฟางข้าว)

ชุดทดลอง	วันที่												
	0	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	37	44
ชุดควบคุม	1902.73	1906.30	1876.37	1850.43	1808.00	1758.47	1670.97	1590.20	1509.37	1365.37	1230.57	1174.80	1107.48
R 2%	1936.97	1920.40	1832.57	1852.33	1619.40	1567.40	1429.20	1306.57	1466.20	1113.17	986.23	976.53	576.53
R 4%	1936.97	1900.40	1832.57	1752.33	1619.40	1467.40	1429.20	1376.57	1266.20	1113.17	988.62	862.53	762.53
R 6%	1932.67	1919.27	1854.60	1741.90	1586.70	1528.87	1419.53	1326.87	1213.43	1033.40	989.09	758.35	458.35
R 8%	1931.57	1856.80	1717.17	1601.07	1499.73	1398.50	1235.83	1089.97	901.77	706.77	537.30	458.00	341.58
R 10%	1893.33	1819.53	1725.20	1486.03	1268.80	1072.27	944.30	798.07	649.67	537.50	347.33	393.63	293.63

ตารางที่ 9 ค่าดูดกลืนแสง ที่ความยาว 665 นาโนเมตรหลังทดสอบด้วยสาร ไคโตซานและสารสกัดจากฟางข้าว ระหว่างวันที่ 25 กันยายน ถึง 8 พฤศจิกายน พ.ศ. 2558
(C = ไคโตซาน, R = สารสกัดจากฟางข้าว)

ชุดทดลอง	วันที่												
	0	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	37	44
ชุดควบคุม	0.35	0.36	0.35	0.35	0.35	0.35	0.34	0.34	0.34	0.33	0.32	0.31	0.31
C:R 1:3	0.35	0.36	0.36	0.35	0.35	0.34	0.32	0.31	0.30	0.29	0.27	0.24	0.23
C:R 1:2	0.35	0.35	0.35	0.34	0.34	0.33	0.32	0.31	0.30	0.30	0.28	0.27	0.25
C:R 1:1	0.36	0.35	0.35	0.33	0.31	0.32	0.31	0.30	0.30	0.29	0.28	0.27	0.25
C:R 2:1	0.36	0.36	0.35	0.35	0.31	0.29	0.27	0.27	0.24	0.22	0.21	0.19	0.18
C:R 3:1	0.36	0.35	0.34	0.32	0.28	0.23	0.21	0.19	0.19	0.17	0.15	0.14	0.129

135

ตารางที่ 10 ความเป็นกรด-ด่าง (pH) หลังทดสอบด้วยสาร ไคโตซานและสารสกัดจากฟางข้าว ระหว่างวันที่ 25 กันยายน ถึง 8 พฤศจิกายน พ.ศ. 2558
(C = ไคโตซาน, R = สารสกัดจากฟางข้าว)

ชุดทดลอง	วันที่												
	0	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	37	44
ชุดควบคุม	9.66	9.64	9.59	9.53	9.49	9.44	9.38	9.33	9.25	9.23	8.94	8.93	8.83
C:R 1:3	8.79	8.72	8.67	8.62	8.55	8.50	8.43	8.36	8.25	8.13	7.85	7.72	7.62
C:R 1:2	8.78	8.73	8.63	8.57	8.52	8.45	8.38	8.26	8.17	7.96	7.74	7.59	7.53
C:R 1:1	8.75	8.65	8.58	8.54	8.49	8.43	8.37	8.22	8.10	7.93	7.69	7.57	7.54
C:R 2:1	8.72	8.67	8.57	8.53	8.42	8.37	8.27	8.13	8.01	7.72	7.63	7.58	7.51
C:R 3:1	8.68	8.60	8.53	8.45	8.35	8.26	8.12	7.98	7.79	7.61	7.51	7.47	7.39

ตารางที่ 11 จำนวนเซลล์ ($\times 10^6$ เซลล์ต่อมิลลิลิตร) หลังทดสอบด้วยสารโคโตซานและสารสกัดจากฟางข้าว ระหว่างวันที่ 25 กันยายน ถึง 8 พฤศจิกายน พ.ศ. 2558
(C = โคโตซาน, R = สารสกัดจากฟางข้าว)

ชุดทดลอง	วันที่												
	0	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	37	44
ชุดควบคุม	5.78	5.79	5.66	5.60	5.52	5.43	5.36	5.11	4.79	4.43	3.45	3.36	3.16
C:R 1:3	6.08	5.90	5.58	5.23	4.83	4.35	4.01	3.50	3.07	2.71	2.19	1.92	1.52
C:R 1:2	6.02	5.86	5.49	4.95	4.40	3.94	3.49	2.99	2.54	2.03	1.62	1.32	1.12
C:R 1:1	6.08	5.82	5.47	5.00	4.52	4.00	3.60	3.10	2.62	2.14	1.58	1.35	1.05
C:R 2:1	5.84	5.78	5.41	5.01	4.69	4.28	3.72	3.12	2.62	1.82	1.22	1.72	0.72
C:R 3:1	6.12	5.95	5.43	4.66	4.03	3.23	2.74	2.38	1.74	1.30	0.79	0.65	0.45

136

ตารางที่ 12 ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ (ไมโครกรัมต่อลิตร) หลังทดสอบด้วยสารโคโตซานและสารสกัดจากฟางข้าว ระหว่างวันที่ 25 กันยายน ถึง 8 พฤศจิกายน พ.ศ. 2558
(C = โคโตซาน, R = สารสกัดจากฟางข้าว)

ชุดทดลอง	วันที่												
	0	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	37	44
ชุดควบคุม	1902.73	1906.30	1876.37	1850.43	1808.00	1758.47	1670.97	1590.20	1509.37	1365.37	1230.57	1174.80	1207.48
C:R 1:3	1936.97	1920.40	1832.57	1852.33	1619.40	1567.40	1429.20	1306.57	1466.20	1113.17	986.23	876.53	576.53
C:R 1:2	1936.97	1900.40	1832.57	1752.33	1619.40	1467.40	1429.20	1376.57	1266.20	1113.17	988.62	862.53	662.53
C:R 1:1	1932.67	1919.27	1854.60	1741.90	1586.70	1528.87	1419.53	1326.87	1213.43	1033.40	989.09	858.35	758.35
C:R 2:1	1931.57	1856.80	1717.17	1601.07	1499.73	1398.50	1235.83	1089.97	901.77	706.77	537.30	441.58	141.58
C:R 3:1	1893.33	1819.53	1725.20	1486.03	1268.80	1072.27	944.30	798.07	649.67	537.50	347.33	193.63	93.63

ตารางที่ 13 ค่าการนำไฟฟ้า (ไมโครซีเมนต์ต่อเซนติเมตร) หลังทดสอบด้วยสารไคโตซานและสารสกัดจากฟางข้าวในบ่อทดลอง (C = ไคโตซาน, R = สารสกัดจากฟางข้าว)

ชุดทดลอง	วันที่													
	0	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	37	44	
ชุดควบคุม	760	744	747	744	743	749	750	745	751	744	746	744	746	
C : R 3:1	757	756	767	759	750	743	743	736	733	729	728	726	723	

ตารางที่ 14 ความเข้มข้นของของแข็งที่ละลายในน้ำ (มิลลิกรัมต่อลิตร) หลังทดสอบด้วยสารไคโตซานและสารสกัดจากฟางข้าวในบ่อทดลอง (C = ไคโตซาน, R = สารสกัดจากฟางข้าว)

ชุดทดลอง	วันที่													
	0	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	37	44	
ชุดควบคุม	371	390	388	384	380	382	366	394	355	370	363	381	384	
C : R 3:1	371	374	367	359	342	342	345	319	314	291	273	244	234	

ตารางที่ 15 ความเป็นกรด-ด่าง (pH) หลังทดสอบด้วยสารไคโตซานและสารสกัดจากฟางข้าวในบ่อทดลอง (C = ไคโตซาน, R = สารสกัดจากฟางข้าว)

ชุดทดลอง	วันที่													
	0	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	37	44	
ชุดควบคุม	8.84	8.73	8.76	8.68	8.69	8.72	8.88	8.68	8.68	8.63	8.70	8.69	8.72	
C : R 3:1	7.66	7.64	7.65	7.62	7.56	7.50	7.47	7.42	7.49	7.30	7.31	7.25	7.19	

ตารางที่ 16 ค่าความเป็นด่าง (มิลลิกรัมต่อลิตร) หลังทดสอบด้วยสาร ไคโตซานและสารสกัดจากฟางข้าวในบ่อทดลอง (C = ไคโตซาน, R = สารสกัดจากฟางข้าว)

ชุดทดลอง	วันที่												
	0	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	37	44
ชุดควบคุม	84.0	84.7	87.3	73.0	75.3	75.3	76.0	74.3	74.0	66.7	64.3	66.3	64.3
C : R 3:1	64.7	76.3	67.3	62.0	63.0	60.3	55.3	55.3	47.0	43.3	42.3	35.7	33.7

ตารางที่ 17 ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (มิลลิกรัมต่อลิตร) หลังทดสอบด้วยสาร ไคโตซานและสารสกัดจากฟางข้าวในบ่อทดลอง (C = ไคโตซาน, R = สารสกัดจากฟางข้าว)

ชุดทดลอง	วันที่												
	0	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	37	44
ชุดควบคุม	6.4	6.4	6.4	6.4	6.4	6.2	6.2	6.2	6.1	6.0	5.9	5.8	5.0
C : R 3:1	6.7	6.7	6.7	6.6	6.8	6.6	6.5	6.5	6.5	6.3	6.3	6.3	6.8

ตารางที่ 18 ปริมาณความต้องการออกซิเจนในการย่อยสลายสารอินทรีย์ (มิลลิกรัมต่อลิตร) หลังทดสอบด้วยสาร ไคโตซานและสารสกัดจากฟางข้าวในบ่อทดลอง (C = ไคโตซาน, R = สารสกัดจากฟางข้าว)

ชุดทดลอง	วันที่												
	0	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	37	44
ชุดควบคุม	1.4	1.3	1.4	1.4	1.3	1.3	1.2	1.0	0.9	1.0	0.9	0.9	0.8
C : R 3:1	1.4	1.4	1.6	1.4	1.3	1.1	1.1	1.0	0.8	0.8	0.7	0.6	0.6

ตารางที่ 19 ปริมาณออร์โทฟอสเฟต (มิลลิกรัมต่อลิตร) หลังทดสอบด้วยสารโคโตซานและสารสกัดจากฟางข้าวในบ่อทดลอง (C = โคโตซาน, R = สารสกัดจากฟางข้าว)

ชุดทดลอง	วันที่												
	0	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	37	44
ชุดควบคุม	1.81	1.88	1.82	1.80	1.84	1.80	1.79	1.80	1.80	1.79	1.77	1.77	1.76
C : R 3:1	1.88	1.79	1.70	1.59	1.48	1.41	1.34	1.35	1.27	1.25	1.20	1.16	1.14

ตารางที่ 20 ปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจน (มิลลิกรัมต่อลิตร) หลังทดสอบด้วยสารโคโตซานและสารสกัดจากฟางข้าวในบ่อทดลอง (C = โคโตซาน, R = สารสกัดจากฟางข้าว)

ชุดทดลอง	วันที่												
	0	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	37	44
ชุดควบคุม	8.7	8.7	8.4	8.9	8.5	8.5	8.5	8.4	8.7	8.2	8.5	8.5	8.5
C : R 3:1	5.5	5.7	5.6	5.2	4.6	4.4	4.0	3.6	3.2	2.6	2.3	1.9	1.4

ตารางที่ 21 ปริมาณไนเตรต-ไนโตรเจน (มิลลิกรัมต่อลิตร) หลังทดสอบด้วยสารโคโตซานและสารสกัดจากฟางข้าวในบ่อทดลอง (C = โคโตซาน, R = สารสกัดจากฟางข้าว)

ชุดทดลอง	วันที่												
	0	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	37	44
ชุดควบคุม	17.5	17.3	17.3	17.2	17.3	17.0	16.9	17.1	16.9	17.3	17.1	16.9	16.9
C : R 3:1	13.0	12.6	12.3	11.6	11.2	10.6	10.5	9.7	9.5	9.3	8.7	8.4	8.2

ตารางที่ 22 ปริมาณสารไมโครซิस्टิน (ไมโครกรัมต่อลิตร) หลังทดสอบด้วยสารโคโตซานและสารสกัดจากฟางข้าวในบ่อดทดลอง (C = โคโตซาน, R = สารสกัดจากฟางข้าว)

ชุดทดลอง	วันที่						
	0	6	12	18	24	30	44
ชุดควบคุม	3.43	3.06	3.43	3.43	3.42	3.15	3.73
C : R 3:1	3.200	3.075	2.861	2.780	2.773	2.701	2.664

ตารางที่ 23 ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ (ไมโครกรัมต่อลิตร) หลังทดสอบด้วยสารโคโตซานและสารสกัดจากฟางข้าวในบ่อดทดลอง (C = โคโตซาน, R = สารสกัดจากฟางข้าว)

ชุดทดลอง	วันที่												
	0	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	37	44
ชุดควบคุม	290.3	290.6	287.6	285.0	280.8	275.8	267.1	259.0	250.9	236.5	223.1	207.5	207.5
C : R 3:1	293.4	281.9	270.4	256.9	232.9	215.1	212.9	188.2	175.0	152.0	132.3	124.4	105.1

ตารางที่ 24 ค่าดูดกลืนแสง ที่ความยาว 665 นาโนเมตรหลังทดสอบด้วยสารโคโตซานและสารสกัดจากฟางข้าวในบ่อดทดลอง (C = โคโตซาน, R = สารสกัดจากฟางข้าว)

ชุดทดลอง	วันที่												
	0	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	37	44
ชุดควบคุม	0.597	0.591	0.591	0.589	0.575	0.575	0.572	0.575	0.577	0.577	0.569	0.567	0.565
C : R 3:1	0.581	0.580	0.575	0.564	0.557	0.547	0.536	0.521	0.497	0.477	0.469	0.448	0.435

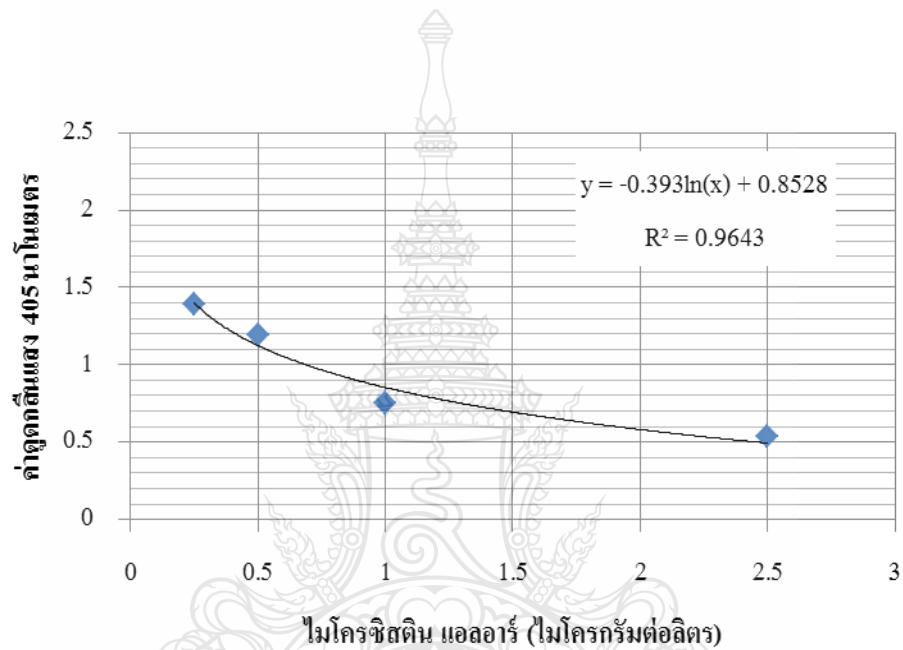
ตารางที่ 25 จำนวนเซลล์ ($\times 10^6$ เซลล์ต่อมิลลิลิตร) หลังทดสอบด้วยสารโคโตซานและสารสกัดจากฟางข้าวในบ่อทดลอง (C = โคโตซาน, R = สารสกัดจากฟางข้าว)

ชุดทดลอง	วันที่													
	0	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	37	44	
ชุดควบคุม	5.7	5.8	5.8	5.8	5.7	5.5	5.6	5.4	5.3	5.3	5.2	5.1	5.1	
C : R 3:1	5.9	5.9	5.5	5.1	4.6	4.1	3.7	3.2	2.7	2.3	1.8	1.4	1.2	



ตารางที่ 26 การวัดปริมาณสารพิษไมโครซิสตินมาตรฐานด้วยไมโครซิสเทส (Microcystest)

ค่ามาตรฐาน (ไมโครกรัมต่อลิตร)	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ค่าเฉลี่ย
0.25	1.429	1.353	1.391
0.5	1.296	1.088	1.192
1	0.757	0.745	0.751
2.5	0.541	0.527	0.534



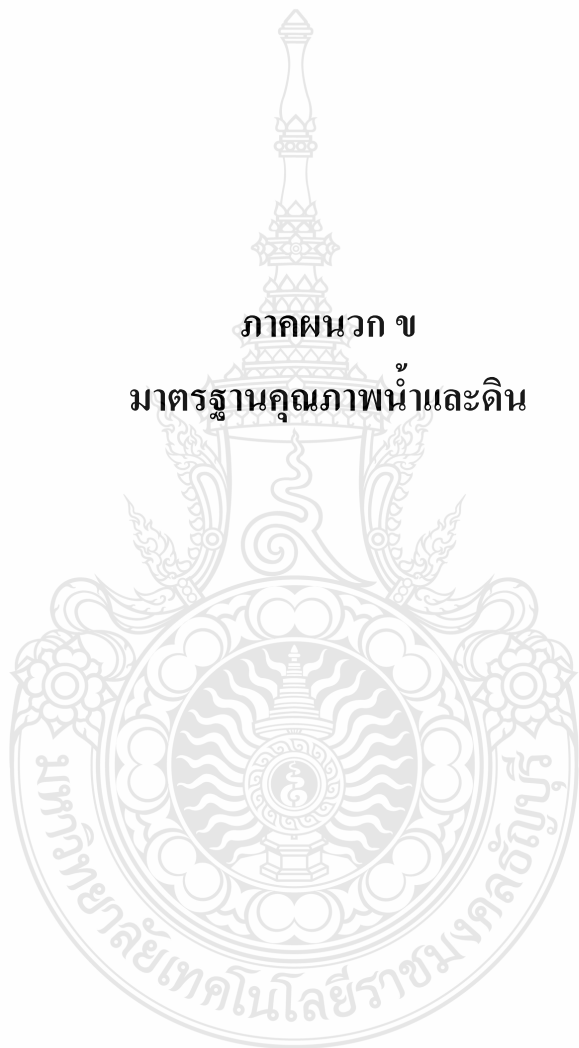
รูปที่ 1 กราฟมาตรฐานของไมโครซิสติน แอลอาร์ (กราฟแบบกระจาย)

จากสมการลอการิทึม $y = a \ln(x) + b$ (ก.1)

จากสมการของกราฟมาตรฐานของ $y = -0.393 \ln(x) + 0.8528$ (ก.2)

เมื่อแก้สมการเพื่อหาค่า x จะได้ $x = \text{EXP} [(y-0.8528) / (0.393)]$ (ก.3)

ภาคผนวก ข
มาตรฐานคุณภาพน้ำและดิน



ตารางที่ 27 ค่ามาตรฐานคุณภาพในแหล่งน้ำผิวดิน

ลำดับ	ดัชนีคุณภาพน้ำ	ค่าทางสถิติ	หน่วย	การแบ่งประเภทคุณภาพน้ำตามการใช้ประโยชน์				
				1	2	3	4	5
1	สี กลิ่น และรส		-	๒	๒	๒	๒	-
2	อุณหภูมิ		องศาเซลเซียส	๒	๒'	๒'	๒'	-
3	ความเป็นกรด - ด่าง (pH)		-	๒	5.0-9.0	5.0-9.1	5.0-9.2	-
4	ออกซิเจนละลายน้ำ (DO)	P 20	มิลลิกรัมต่อลิตร	๒	≥6.0	≥4.0	≥2.0	-
5	บีโอดี (BOD)	P 80	"	๒	1.5	2.0	4.0	-
6	แบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์มทั้งหมด (Total Coliform bacteria)	P 80	เอ็ม.พี.เอ็น.ต่อ 100 มิลลิลิตร	๒	≥5,000	≥20,000	-	-
7	แบคทีเรียกลุ่มฟีคัล โคลิฟอร์ม (Fecal Coliform bacteria)	P 80	"	๒	1,000	4,000	-	-
8	ไนเตรต (NO ₃) ในหน่วยไนโตรเจน		มิลลิกรัมต่อลิตร	๒	มีค่าไม่เกิน	5.0	-	-
9	แอมโมเนีย (NH ₃) ในหน่วยไนโตรเจน		"	๒	"	0.5	-	-
10	ฟีนอล (Phenol)		"	๒	"	0.005	-	-
11	ทองแดง (Cu)		"	๒	"	0.1	-	-
12	นิกเกิล (Ni)		"	๒	"	0.1	-	-
13	แมงกานีส (Mn)		"	๒	"	1.0	-	-
14	สังกะสี (Zn)		"	๒	"	1.0	-	-
15	แคดเมียม (Cd)		"	๒	"	0.005*	-	-
						0.05**	-	-
16	โครเมียมชนิดเฮกซะวาเลนต์ (Cr.Hexavalant)		"	๒	"	0.05	-	-
17	ตะกั่ว (Pb)		"	๒	"	0.05	-	-
18	ปรอททั้งหมด (Total Hg)		"	๒	"	0.05	-	-
19	สารหนู (As)		"	๒	"	0.05	-	-

ตารางที่ 8 (ต่อ)

ลำดับ	ดัชนีคุณภาพน้ำ	ค่าทางสถิติ	หน่วย	การแบ่งประเภทคุณภาพน้ำตามการใช้ประโยชน์				
				ประเภท				
				1	2	3	4	5
20	ไซยาไนด์ (Cyanide)		มิลลิกรัมต่อลิตร	๒	มีค่าไม่เกิน	0.005		-
21	กัมมันตภาพรังสี (Radioactivity)							-
	ค่ารังสีแอลฟา (Alpha)			๒	"	0.1		
	ค่ารังสีเบตา (Beta)			๒	"	1.0		
22	สารฆ่าศัตรูพืชและสัตว์ชนิดที่มีคลอรีนทั้งหมด (Total Organochlorine Pesticides)		มิลลิกรัมต่อลิตร	๒	"	0.05		-
23	ดีดีที (DDT)		มิลลิกรัมต่อลิตร	๒	"	1.0		-
24	บีเอชซีชนิดแอลฟา (Alpha BHC)			๒	"	0.02		-
25	ดิลดริน (Dieldrin)			๒	"	0.1		-
26	อัลดริน (Aldrin)			๒	"	0.1		-
27	เฮปตาคลออร์และเฮปตาคลออีพอกไซด์ (Heptachlor & Heptachlorepoxyde)			๒	"	0.2		-
28	เอนดริน (Endrin)			๒	ไม่สามารถตรวจสอบได้ตามวิธีการตรวจสอบที่กำหนด			-

ที่มา : ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 8 (พ.ศ. 2537) ออกตามความในพระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2535 เรื่องกำหนดมาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน ตีพิมพ์ ในราชกิจจานุเบกษา เล่มที่ 111 ตอนที่ 16 ลงวันที่ 24 กุมภาพันธ์ 2537

หมายเหตุ (สำหรับค่ามาตรฐานคุณภาพในแหล่งน้ำผิวดิน)

- 1/ กำหนดค่ามาตรฐานเฉพาะในแหล่งน้ำประเภทที่ 2-4 สำหรับแหล่งน้ำประเภทที่ 1 ให้เป็นไปตามธรรมชาติและแหล่งน้ำประเภทที่ 5 ไม่กำหนดค่า
- ๒ เป็นไปตามธรรมชาติ
- ๓ อุณหภูมิของน้ำจะต้องไม่สูงกว่าอุณหภูมิตามธรรมชาติเกิน 3 °C

- * น้ำที่มีความกระด้างในรูปของ CaCO_3 ไม่เกินกว่า 100 mg/l
 - ** น้ำที่มีความกระด้างในรูปของ CaCO_3 เกินกว่า 100 mg/l
 - ✂ ไม่มากกว่า
 - ✂ ไม่น้อยกว่า
 - ไม่ได้กำหนด
 - $^{\circ}\text{C}$ องศาเซลเซียส
 - P20 ค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 20 จากจำนวนตัวอย่างน้ำทั้งหมดที่เก็บมาตรวจสอบอย่างต่อเนื่อง
 - P80 ค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 80 จากจำนวนตัวอย่างน้ำทั้งหมดที่เก็บมาตรวจสอบอย่างต่อเนื่อง
- MPN เอ็ม. พี. เอ็น. หรือ Most Probable Number

มาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน

มาตรา 32 (1) แห่งพระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2537 ให้คณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ มีอำนาจประกาศในราชกิจจานุเบกษา กำหนดมาตรฐานคุณภาพน้ำในแม่น้ำ ลำคลอง หนองบึง ทะเลสาบ อ่างเก็บน้ำและแหล่งน้ำสาธารณะอื่นๆที่อยู่ในพื้นแผ่นดินมาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดินได้แบ่งประเภทของแหล่งน้ำผิวดิน

เป็น 5 ประเภทดังนี้

ประเภทที่ 1 ได้แก่ แหล่งน้ำที่มีคุณภาพน้ำมีสภาพตามธรรมชาติโดยปราศจากน้ำทิ้งจากกิจกรรมทุก

ประเภทและสามารถเป็นประโยชน์เพื่อ

1. การอุปโภคและบริโภค โดยต้องผ่านการฆ่าเชื้อโรคตามปกติก่อน
2. การขยายพันธุ์ตามธรรมชาติของสิ่งมีชีวิตระดับพื้นฐาน
3. การอนุรักษ์ระบบนิเวศน์ของแหล่งน้ำ

ประเภทที่ 2 ได้แก่ แหล่งน้ำที่ได้รับน้ำทิ้งจากกิจกรรมบางประเภทและสามารถเป็นประโยชน์เพื่อ

1. การอุปโภคและบริโภค โดยต้องผ่านการฆ่าเชื้อโรคตามปกติและผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำทั่วไปก่อน
2. การอนุรักษ์สัตว์น้ำ
3. การประมง
4. การว่ายน้ำและกีฬาทางน้ำ

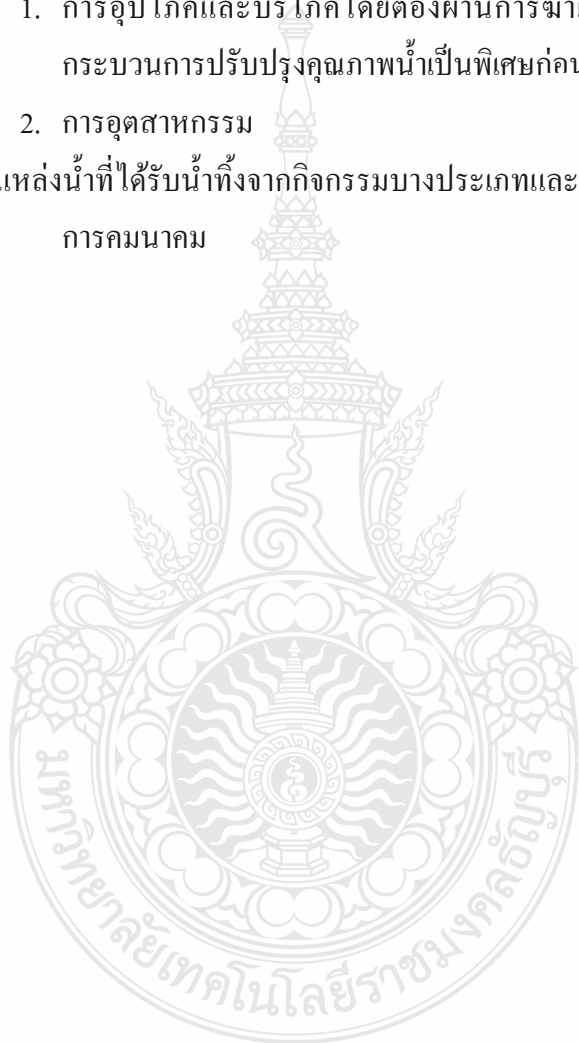
ประเภทที่ 3 ได้แก่ แหล่งน้ำที่ได้รับน้ำทิ้งจากกิจกรรมบางประเภทและสามารถเป็นประโยชน์เพื่อ

1. การอุปโภคและบริโภคโดยต้องผ่านการฆ่าเชื้อโรคตามปกติและผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำทั่วไปก่อน
2. การเกษตร

ประเภทที่ 4 ได้แก่ แหล่งน้ำที่ได้รับน้ำทิ้งจากกิจกรรมบางประเภทและสามารถเป็นประโยชน์เพื่อ

1. การอุปโภคและบริโภคโดยต้องผ่านการฆ่าเชื้อโรคตามปกติและผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำเป็นพิเศษก่อน
2. การอุตสาหกรรม

ประเภทที่ 5 ได้แก่ แหล่งน้ำที่ได้รับน้ำทิ้งจากกิจกรรมบางประเภทและสามารถเป็นประโยชน์เพื่อ
การคมนาคม





ภาคผนวก ค

การวิเคราะห์คุณภาพน้ำทางกายภาพและเคมี

1. การวิเคราะห์คุณภาพน้ำทางกายภาพ

1.1 การวิเคราะห์ค่าการนำไฟฟ้า (Electrical conductivity)

1.1.1 การเก็บและการรักษาตัวอย่าง

1.1.1.1 ในการวัดค่าการนำไฟฟ้า โดยวิธีไฟฟ้าควรจะรีบวัดทันที ในภาคสนาม

1.1.2 วิธีวิเคราะห์

1.1.2.1 เปิดเครื่องวัดค่าการนำไฟฟ้าและปริมาณของแข็งที่ละลายในน้ำ (conductivity/ TDS meter) เพื่ออุ่นเครื่องอย่างน้อย 30 นาที ก่อนใช้งาน

1.1.2.2 เลือก conductivity measurement mode

1.1.2.3 Calibration เครื่องวัดค่าการนำไฟฟ้าโดยการเทียบกับสารละลายมาตรฐาน โปแทสเซียมคลอไรด์

1.1.2.4 ล้าง probe ด้วยน้ำกลั่นและเช็ดให้แห้ง

1.1.2.5 จุ่ม probe ลงในตัวอย่างน้ำ วัดอุณหภูมิของตัวอย่างน้ำ

1.1.2.6 ขณะวัดควรจะมีการกวบเบาๆ บนที่กค่าการนำไฟฟ้า เมื่อตัวเลขแสดงค่าหยุดนิ่ง หรือเมื่อเครื่องแสดง READY

1.1.2.7 ล้าง probe ด้วยน้ำกลั่น และเช็ดให้แห้ง แล้วจึงวัดค่าการนำไฟฟ้าของตัวอย่างถัดไป

1.2 การวิเคราะห์ความเข้มข้นของของแข็งที่ละลายในน้ำ (TDS)

1.2.1 การเก็บและการรักษาตัวอย่าง

1.2.1.1 ในการวัดค่าการนำไฟฟ้า โดยวิธีไฟฟ้าควรจะรีบวัดทันที ในภาคสนาม

1.2.2 วิธีวิเคราะห์

1.2.2.1 เปิดเครื่องวัดค่าการนำไฟฟ้าและปริมาณของแข็งที่ละลายในน้ำ (conductivity/ TDS meter) เพื่ออุ่นเครื่องอย่างน้อย 30 นาที ก่อนใช้งาน

1.2.2.2 เลือก TDS measurement mode

1.2.2.3 Calibration เครื่องวัดค่าการนำไฟฟ้าโดยการเทียบกับสารละลายมาตรฐาน โปแทสเซียมคลอไรด์

1.2.2.4 ล้าง probe ด้วยน้ำกลั่นและเช็ดให้แห้ง

1.2.2.5 จุ่ม probe ลงในตัวอย่างน้ำ วัดอุณหภูมิของตัวอย่างน้ำ

1.2.2.6 ขณะวัดควรจะมีการกววนเบาๆ บันทึกค่าการนำไฟฟ้า เมื่อตัวเลขแสดงค่าหยุดนิ่ง หรือเมื่อเครื่องแสดง READY

1.2.2.7 ล้าง probe ด้วยน้ำกลั่น และเช็ดให้แห้ง แล้วจึงวัดค่าการนำไฟฟ้าของตัวอย่างถัดไป

2. การวิเคราะห์คุณภาพน้ำทางด้านเคมี

2.1 การวิเคราะห์ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) โดยวิธีไฟฟ้า (electrometric method)

2.1.1 การเก็บและรักษาตัวอย่าง

2.1.1.1 ในการวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) โดยวิธีไฟฟ้าควรจะรีบวัดทันที ในภาคสนาม

2.1.2 วิธีวิเคราะห์

2.1.2.1 เปิดเครื่องวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH meter) เพื่ออุ่นเครื่องอย่างน้อย 30 นาที ก่อนใช้งาน

2.1.2.2 Calibration เครื่องวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง โดยการเทียบมาตรฐานความเป็นกรด-ด่างแบบ 2 จุด

2.1.2.3 ปรับอุณหภูมิของตัวอย่างน้ำให้คงที่ ก่อนวัดค่าความเป็นกรด - ด่าง

2.1.2.4 ขณะวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง ควรจะกววนตัวอย่างน้ำเบาๆ บันทึกค่าความเป็นกรด-ด่าง เมื่อตัวเลขแสดงค่าความเป็นกรด-ด่างหยุดนิ่ง หรือเมื่อเครื่องแสดง READY

2.1.2.5 ล้าง electrode ด้วยน้ำกลั่น และเช็ดให้แห้ง แล้วจึงวัด pH ของตัวอย่างถัดไป

2.2 ค่าความเป็นด่าง (Alkalinity) (APHA, AWWA and WPCF, 1992) โดยวิธีอินดิเคเตอร์ (Indicator method)

2.2.1 การเก็บและรักษาตัวอย่าง

2.2.1.1 เก็บตัวอย่างน้ำใส่ในขวดโพลีเอทิลีน หรือขวดแก้วโบโรซิลิเกต โดยเก็บตัวอย่างให้เต็มขวดปิดฝาจุกให้แน่น เก็บรักษาในที่อุณหภูมิต่ำ และควรวิเคราะห์ให้เสร็จภายใน 24 ชั่วโมง

2.2.2 สารเคมี

2.2.2.1 ฟีนอล์ฟธาเลิน : ละลายฟีนอล์ฟธาเลิน 500 มิลลิกรัม ใน 95% เอซิด แอลกอฮอล์ 50 มิลลิลิตรและเติมน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร

2.2.2.2 เมธิลอร์เรนจ์ : ละลายเมธิลอร์เรนจ์ 500 มิลลิกรัม ในน้ำกลั่นและปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตร

2.2.2.3 สารละลายโซเดียมคาร์บอเนต ความเข้มข้น 0.02 นอร์มัล : ละลายโซเดียมคาร์บอเนตที่ปราศจากน้ำ 1.060 กรัม ในน้ำกลั่น และปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตร

2.2.2.4 สารละลายกรดซัลฟูริก ความเข้มข้น 1.0 นอร์มัล : เจือจางกรดซัลฟูริกเข้มข้น 30 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่นและปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตร

2.2.2.5 สารละลายมาตรฐานกรดซัลฟูริก ความเข้มข้น 0.02 นอร์มัล : เจือจางกรดซัลฟูริก ความเข้มข้น 1 นอร์มัล ปริมาตร 20 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่นและปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตร ปรับมาตรฐาน ด้วยสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต ความเข้มข้น 0.02 นอร์มัล

2.2.3 วิธีวิเคราะห์

2.2.3.1 ปิเปตตัวอย่างน้ำ 100 มิลลิลิตร ใส่ขวดรูปชมพู่ เติมฟีนอล์ฟธาเลิน 2 หยด

2.2.3.2 ถ้ามีสีชมพูเกิดขึ้น ไตเตรตด้วยกรดซัลฟูริก ความเข้มข้น 0.02 นอร์มัล จนกระทั่งสีชมพูหายไป บันทึกปริมาตรของกรดซัลฟูริกที่ใช้

2.2.3.3 จากนั้นหยดเมธิลอร์เรนจ์ 2 หยดจะเกิดสีเหลือง ไตเตรตด้วยกรดซัลฟูริก ความเข้มข้น 0.02 นอร์มัล จนกระทั่งสีเหลืองของสารละลายเปลี่ยนเป็นสีส้ม

2.2.3.4 บันทึกปริมาตรของกรดซัลฟูริกที่ใช้

2.2.4 การคำนวณ

$$\text{alkalinity} = (A+B)N(50000)/V$$

A = ปริมาตรของกรดซัลฟูริกที่ใช้ไตเตรตจนถึง phenolphthalein end point

B = ปริมาตรของกรดซัลฟูริกที่ใช้ไตเตรตจนถึง methylorange end point

N = ความเข้มข้นของกรดที่ใช้

2.3 ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำ (Dissolved Oxygen) (APHA, AWWA and WPCF, 1992) โดยใช้วิธี Azide modification of the Winkler method

2.3.1 การเก็บและรักษาตัวอย่าง

2.3.1.1 ในการวัดปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำควรจะรีบทำทันที ในภาคสนาม

2.3.2 สารเคมี

2.3.2.1 สารละลายแมงกานีสซัลเฟต : ละลายแมงกานีสซัลเฟต 480 กรัม หรือแมงกานีสซัลเฟต 400 กรัม หรือแมงกานีสซัลเฟต 364 กรัม ในน้ำกลั่น กรองและเจือจางเป็น 1 ลิตร

2.3.2.2 สารละลายอัลคาไลไอโอไดค์ไฮดรอกไซด์ : ละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 500 กรัม หรือโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 700 กรัม และโซเดียมไอโอไดค์ 135 กรัม หรือโพแทสเซียมไอโอไดค์ 150 กรัม ในน้ำกลั่นเจือจางเป็น 1 ลิตร และละลายโซเดียมไนเตรต 10 กรัม ในน้ำกลั่น 40 มิลลิลิตร แล้วเติมลงในสารละลายข้างต้น

2.3.2.3 กรดซัลฟูริก ความเข้มข้น 36 นอร์มัล

2.3.2.4 น้ำแปร่ง : ละลายแปร่ง 5 กรัม ในน้ำกลั่น 1 ลิตร ต้มให้เดือด 2-3 นาที ตั้งค้ำงคืน ใช้แต่น้ำใส เติมกรดซัลฟูริก 1.25 กรัม ต่อน้ำแปร่ง 1 ลิตร

2.3.2.5 สารละลายโซเดียมไฮโอซัลเฟตความเข้มข้นความเข้มข้น 0.1 นอร์มัล : ละลายโซเดียมไฮโอซัลเฟต 24.82 กรัม ในน้ำต้มที่เย็นแล้วจนได้ปริมาตร 1 ลิตร เก็บรักษาโดยการเติมคลอโรฟอร์ม 5 มิลลิลิตรหรือโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1 กรัม ต่อสารละลาย 1 ลิตร

2.3.2.6 สารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮโอซัลเฟต 0.025 นอร์มัล : เจือจางโซเดียมไฮโอซัลเฟต ความเข้มข้น 0.1 นอร์มัล ปริมาตร 250 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 1 ลิตร เก็บรักษาโดยการเติมคลอโรฟอร์ม 5 มิลลิลิตร หรือโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.4 กรัม ต่อสารละลาย 1 ลิตร

2.3.2.7 สารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไดโครเมต 0.025 นอร์มัล : ละลายโพแทสเซียมไดโครเมต 1.226 กรัม ที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 103 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมงในน้ำกลั่น และปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตร

2.3.2.8 ปรับมาตรฐานของสารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮโอซัลเฟต 0.025 นอร์มัล : ละลายโพแทสเซียมไอโอไดค์ 2 กรัม ในน้ำกลั่น 150 มิลลิลิตร ในขวดรูปชมพู่ เติมกรดซัลฟูริก 10 มิลลิลิตร เติมสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไดโครเมต ความเข้มข้น 0.025 นอร์มัล ปริมาตร 20 มิลลิลิตร ตั้งในที่มืด 5 นาที ไตเตรตด้วยสารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮโอซัลเฟตเข้มข้น 0.025 นอร์มัล

2.3.3 วิธีวิเคราะห์

2.3.3.1 เติมตัวอย่างน้ำลงในขวดบีโอดีให้เต็ม ถ้าเป็นบริเวณผิวน้ำให้คว่ำขวดบีโอดี แล้วกดให้จมลงใต้น้ำ ค่อยๆ เอียงขวดขึ้นให้น้ำไหลเข้าแทนที่จนเต็มขวด ปิดจุกแล้วยกขึ้นเหนือน้ำ ถ้าเก็บบริเวณใต้น้ำลึกๆ จะต้องใช้เครื่องเก็บตัวอย่างน้ำพิเศษโดยเฉพาะ แล้วปิดจุก

2.3.3.2 เทน้ำที่หล่อจุกขวดตัวอย่างออก

2.3.3.3 เปิดจุกเติมสารละลายแมงกานีสซัลเฟต 1 มิลลิลิตร ขณะเติมให้ปลายปิเปตอยู่ใต้ผิวน้ำ

2.3.3.4 เติมสารละลายอัลคาไลโอไอโดคเอนไซค์ 1 มิลลิลิตร ขณะเติมให้ปลายปิเปตอยู่ใต้ผิวน้ำ

2.3.3.5 ปิดจุกขวด โดยระวังอย่าให้มีฟองอากาศ เขย่าขวดอย่างแรงโดยกลับขวดไปมาประมาณ 15 ครั้ง เพื่อให้สารผสมกัน

2.3.3.6 ตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอนจนได้ปริมาณน้ำใสเกินครึ่งหนึ่งของขวด

2.3.3.7 เติมกรดซัลฟูริกเข้มข้น 1 มิลลิลิตร โดยให้กรดค่อยๆ ไหลลงไปข้างๆ กอขวด ปิดจุกแล้วเขย่าขวดขึ้นลง จนกระทั่งตะกอนละลายหมด ตั้งทิ้งไว้ 5 นาที

2.3.3.8 ตวงปริมาตร 100 มิลลิลิตรใส่ขวดรูปชมพู่ ไตเตรตกับสารละลายมาตรฐาน โซเดียมไครโอซัลเฟต ความเข้มข้น 0.025 นอร์มัล จนได้สีเหลืองอ่อน

2.3.3.9 เติมน้ำแข็ง 2-3 หยด จะได้สีน้ำเงินเข้ม ไตเตรตต่อไปจนกระทั่งสีน้ำเงินหายไป ปริมาตรของสารละลายมาตรฐานซัลเฟตโซเดียมไครโอซัลเฟตที่ใช้ จะเทียบเท่ากับปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำของตัวอย่างน้ำ โดยมีหน่วยเป็น มิลลิกรัมต่อลิตร

2.4 ปริมาณออกซิเจนที่จุลินทรีย์ใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ (Biochemical Oxygen Demand) (APHA, AWWA and WPCF, 1992) วิเคราะห์โดย 5 Days incubation and azide modification of the Winkler method

2.4.1 การเก็บและรักษาตัวอย่าง

2.4.1.1 การวิเคราะห์ค่าปริมาณความต้องการออกซิเจนในการย่อยสลายสารอินทรีย์ ควรจะทำการวิเคราะห์ทันทีหลังจากเก็บตัวอย่าง ถ้าไม่สามารถที่จะวิเคราะห์ได้ภายใน 2 ชั่วโมง ให้เก็บรักษาตัวอย่าง โดยการแช่เย็นที่ 4 องศาเซลเซียส และวิเคราะห์ตัวอย่างภายใน 24 ชั่วโมง

2.4.2 สารเคมี

2.4.2.1 เช่นเดียวกับการวิเคราะห์ค่าปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำ

2.4.2.2 สารละลายฟอสเฟต : ละลายโพแทสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต 8.5 กรัม ไดโพแทสเซียมไฮโดรเจนฟอสเฟต 21.75 กรัม ไดโซเดียมไฮโดรเจนฟอสเฟต 33.4 กรัม และแอมโมเนียมคลอไรด์ 1.7 กรัม ในน้ำกลั่น 500 มิลลิลิตร และเจือจางเป็น 1 ลิตร ค่าความเป็นกรด-ด่างของสารละลายนี้ควรประมาณ 7.2 โดยไม่ต้องปรับ

2.4.2.3 สารละลายแมกนีเซียมซัลเฟต : ละลายแมกนีเซียมซัลเฟต 22.5 กรัม ในน้ำกลั่น และเจือจางเป็น 1 ลิตร

2.4.2.4 สารละลายแคลเซียมคลอไรด์ : ละลายแคลเซียมคลอไรด์ที่ปราศจากน้ำ 27.5 กรัม ในน้ำกลั่นและเจือจางเป็น 1 ลิตร

2.4.2.5 สารละลายเฟอร์ริกคลอไรด์ : ละลายเฟอร์ริกคลอไรด์ 0.25 กรัม ในน้ำกลั่นและเจือจางเป็น 1000 มิลลิลิตร

2.4.3 วิธีวิเคราะห์

2.4.3.1 ปรับอุณหภูมิตัวอย่างให้ได้ประมาณ 20 องศาเซลเซียส

2.4.3.2 เติมอากาศให้ตัวอย่างมีปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำใกล้จุดอิ่มตัว

2.4.3.3 เติมตัวอย่างในขวด บีโอดี จำนวน 3 ขวด

2.4.3.4 วิเคราะห์หาปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำในขวดที่ 1 ทันที

2.4.3.5 นำขวดที่ 2, 3 เข้าเก็บในตู้บ่มที่ 20 ± 1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 วัน

2.4.3.6 หลังจาก 5 วัน นำมาวิเคราะห์ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำที่เหลืออยู่

2.4.4.7 การคำนวณ โดยสูตร

$$BOD \text{ (มิลลิกรัมต่อลิตร)} = DO_0 - DO_5$$

DO_0 = ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำในวันแรก

DO_5 = ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำในวันที่ 5

2.5 วิธีวิเคราะห์ความเป็นด่างของน้ำโดยวิธี phenolphthalein methyl orange indicator

2.5.1 ตวงน้ำตัวอย่าง 100 มิลลิลิตร ใส่ใน flask ขนาด 250 มิลลิลิตร

2.5.2 เติม phenolphthalein indicator 3 หยด ลงใน flask เขย่าให้เข้ากัน

2.5.3 เติม methyl orange indicator 3 หยดลงใน flask เขย่าให้เข้ากันไตเตรทด้วย 0.02 นอร์มัล H_2SO_4 จนได้จุดยุติเป็นสีส้มแดง จดปริมาตร H_2SO_4 ที่ใช้

2.5.4 คำนวณตามสูตร

$$\text{total alkalinity} = \frac{A \times N \times 50 \times 1000}{B}$$

A = ปริมาตรของสารละลายมาตรฐานกรดซัลฟริกที่ใช้ในการไตเตรท (มิลลิลิตร)

N = ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานกรด H_2SO_4 (นอร์มัล)

B = ปริมาตรของน้ำตัวอย่าง (มิลลิลิตร)

2.6 วิเคราะห์ปริมาณสารอาหาร โดยเลือกใช้เครื่องมือ อุปกรณ์ และสารเคมีที่มีความจำเพาะกับ spectrophotometer ของ Hach company รุ่น DR 2010 ตามวิธีของ APHA, AWWA and WEF (2005)

2.6.1 วิธีวิเคราะห์ปริมาณแอมโมเนียมไนโตรเจน (ammonium- nitrogen)

2.6.1.1 กรองน้ำตัวอย่างด้วยกระดาษกรอง GF/C ตวงน้ำตัวอย่างที่กรองแล้วแต่ละจุดปริมาตร 25 มิลลิลิตร ลงในขวดรูปชมพู่ที่สะอาดขนาด 150 มิลลิลิตร และใช้น้ำกลั่นเป็น Blank

2.6.1.2 เปิดเครื่อง spectrophotometer DR/2010 กด Hach Programs และเลือกโปรแกรม 380 N, Ammonia, Ness และกด Start ตวงน้ำตัวอย่างที่กรองแล้วแต่ละจุดปริมาตร 25 มิลลิลิตร ลงในขวดรูปชมพู่จากนั้นเติม Mineral stabilizer จำนวน 3 หยดลงในขวดรูปชมพู่ที่มีน้ำตัวอย่างและเขย่า

2.6.1.3 เติม 3 หยดของ Polyvinyl Alcohol Dispersing และเขย่าทำการปิเปต 1.0 มิลลิลิตร ของ Nessler Reagent ลงในขวดรูปชมพู่และเขย่า

2.6.1.4 กดที่ Timer และกด OK รอเวลาให้สารทำปฏิกิริยาเป็นเวลา 1 นาทีเมื่อเครื่องร้องเตือน เทสารละลายที่ทำปฏิกิริยาเสร็จแล้วลงใน cell และวัดค่าโดยใช้น้ำกลั่นเป็น Blank กดที่ zero เครื่องจะแสดงที่ 0.00 มิลลิกรัมต่อลิตร NH_3-N จากนั้นใส่น้ำตัวอย่างแต่ละจุดที่ทำปฏิกิริยาแล้ววัดค่าโดยใส่ลงใน cell และกด Read บันทึกผลค่าที่ได้

2.6.2 วิธีวิเคราะห์ปริมาณไนเตรทไนโตรเจน (nitrate-nitrogen)

2.6.2.1 กรองน้ำตัวอย่างด้วย GF/C แล้วตวงน้ำตัวอย่างปริมาตร 10 มิลลิลิตร ใส่ใน flask 50 มิลลิลิตร

2.6.2.2 เปิด spectrophotometer DR/2010 กด Hach Programs และเลือกโปรแกรม 351 N, Nitrate LR. กดที่ Start

2.6.2.3 เติมผงสาร Pillow ของ Nitra Ver 6 ลงในขวดรูปชมพู่แต่ละจุด

2.6.2.4 กดที่ Timer และกด OK บนเครื่อง Spectrophotometer และเขย่าเป็นเวลา 1 นาที

เมื่อหมดเวลาเครื่องจะร้องเตือน จากนั้นกดที่รูปนาฬิกาอีกครั้ง และกด OK เพื่อให้สารทำปฏิกิริยากับน้ำตัวอย่างเป็นเวลา 5 นาที

2.6.2.5 เมื่อเครื่องเตือนทำการวัด Blank โดยเติมน้ำกรอง 10 มิลลิลิตร ลงใน cell และกดที่ zero เครื่องจะแสดงที่ 0.00 มิลลิลิตร NO_3^- -N ทำการวัด Blank ของแหล่งน้ำแต่ละจุดทุกครั้ง

2.6.2.6 นำน้ำตัวอย่างที่ผสมด้วยผงสาร Pillow ของ Nitra Ver 6 มาวัดค่าโดยเทลงใน cell และกด Read บันทึกค่าที่ได้

2.6.3 วิธีวิเคราะห์ปริมาณ Soluble reactive phosphorus (SRP)

2.6.3.1 ก่อนทำการวิเคราะห์ phosphorus ทุกครั้ง ควรล้างเครื่องแก้วด้วย 10% HCl

2.6.3.2 กรองน้ำตัวอย่างด้วย GF/C แล้วตวงน้ำตัวอย่างปริมาตร 10 มิลลิลิตร ใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 50 มิลลิลิตร

2.6.3.3 เปิด spectrophotometer DR/2010 กด Hach Programs และเลือกโปรแกรม 490 P React.PV และกด Start

2.6.3.4 นำน้ำตัวอย่างแต่ละจุดที่กรองแล้วปริมาตร 10 มิลลิลิตร ใส่ลงไปขวดรูปชมพู่ที่สะอาดเติมผงสาร Pillow ของ PhosVer 3 Phosphate ลงในขวดรูปชมพู่แต่ละจุดโดยใช้น้ำตัวอย่างเป็น Blank กด และ OK

2.6.3.5 เขย่าขวดรูปชมพู่ จากนั้นกด Time รอให้สารทำปฏิกิริยาเป็นเวลา 2 นาที จนกว่าเครื่องจะร้องเตือน

2.6.3.6 ใช้น้ำตัวอย่างเป็น Blank ใส่ลงไป cell กด zero โดยเครื่องจะแสดงหน้าจอเป็น 0.00 มิลลิกรัมต่อลิตร PO_4^{3-}

2.6.3.7 จากนั้นวัดค่าสารอาหารแต่ละจุดโดยใส่ลงใน cell กด Read และบันทึกผล

2.7 การวิเคราะห์สารพิษไมโครซิสติน-แอลอาร์ (Protein Phosphatase Inhibition) โดยใช้เครื่อง Microplatereader ของ BIOCHROM Model EZ Read 2000

2.7.1 การเตรียมตัวอย่าง

2.7.1.1 กรองน้ำตัวอย่างด้วยกระดาษกรอง GF/C แล้วตวงน้ำตัวอย่างปริมาตร 5 มิลลิลิตร เก็บในขวดสีชา ถ้ายังไม่ได้ใช้ให้เก็บในตู้ -20 องศาเซลเซียส

2.7.2 การเตรียมสารละลายฟอสฟาเตส (Phosphatase solution)

2.7.2.1 เติมสารละลายฟอสฟาเตส ปริมาตร 3 มิลลิลิตร ลงในหลอดฟอสฟาเตส เขย่าให้เข้ากัน

2.7.2.2 นำตัวอย่างไปไว้ที่อุณหภูมิห้อง 23 ± 3 องศาเซลเซียส เวลา 60 นาที สารละลายชนิดนี้ควรเตรียมใหม่ทุกครั้งก่อนใช้

2.7.3 การวิเคราะห์ตัวอย่าง

2.7.3.1 เติมสารละลายมาตรฐานไมโครซิสตินลงในช่องๆละ 50 ไมโครลิตร โดยช่อง A1 และ A2 เติมสารละลายมาตรฐานไมโครซิสติน ความเข้มข้น 0.25 ไมโครกรัมต่อลิตร ช่อง B1 และ B2 เติมสารละลายมาตรฐานไมโครซิสติน ความเข้มข้น 0.50 ไมโครกรัมต่อลิตร ช่อง C1 และ C2 เติมสารละลายมาตรฐานไมโครซิสติน ความเข้มข้น 1.00 ไมโครกรัมต่อลิตร และช่อง D1 และ D2 เติมสารละลายมาตรฐานไมโครซิสติน ความเข้มข้น 2.50 ไมโครกรัมต่อลิตร

2.7.3.2 เติมน้ำตัวอย่างที่ผ่านการกรองลงในช่องๆละ 50 ไมโครลิตร

2.7.3.3 เติมสารละลายฟอสฟาเตส ลงในช่องๆละ 70 ไมโครลิตร

2.7.3.4 เติมสารละลายโครโมจีนิก ซับเซสตรท ลงในช่องๆละ 90 ไมโครลิตร ผสมสารทั้งหมดด้วยการเขย่าเป็นทิศทางสี่ทิศทาง

2.7.3.5 ปิดด้วยแผ่นฟิล์ม นำไปบ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เวลา 60 นาที

2.7.3.6 เติมสารละลายหยุดปฏิกิริยาลงในแต่ละช่องๆละ 70 ไมโครลิตร ผสมสารทั้งหมดด้วยการเขย่าเป็นทิศทางสี่ทิศทาง นำไปวัดค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 405 นาโนเมตร

3. การวิเคราะห์คุณภาพน้ำทางด้านชีวภาพ

3.1 การวิเคราะห์คลอโรฟิลล์ เอ (Nusch, 1975 ดัดแปลงโดย ยูวดีและภมาภรณ์, 2538)

วิธีการวิเคราะห์

3.1.1 วัดปริมาตรน้ำตัวอย่าง 1 ลิตร นำไปกรองด้วยกระดาษ GF/C เมื่อกรองเรียบร้อยแล้ว
กระดาษกรองที่ได้ ไปใส่ในหลอดปั่นเหวี่ยง

3.1.2 เติมนเมทานอล 90% ปริมาตร 10 มิลลิลิตร ลงในหลอดปั่นเหวี่ยงที่มีกระดาษกรอง
ตัวอย่างอยู่

3.1.3 นำตัวอย่างไป water bath ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที

3.1.4 ทิ้งตัวอย่างที่ผ่านการ water bath ให้เย็นในที่มืด

3.1.5 เมื่อตัวอย่างเย็นแล้วนำไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 3,000 อาร์.พี.เอ็ม เป็นเวลา 10 นาที
รินเอาส่วนที่เป็นของเหลวไปวัดค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 630, 645, 665 และ 750 ตามลำดับ
โดยใช้

เมทานอล 90% เป็น Blank

3.1.6 นำค่าดูดกลืนแสงที่ได้ไปคำนวณหาค่า คลอโรฟิลล์ เอตามสูตร

ปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ (ไมโครกรัมต่อลิตร) = $(11.6 D_{665} - 1.31 D_{645} - 0.14 D_{630}) \times F$

D_{665} = ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 665 - ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 750

D_{645} = ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 645 - ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 750

D_{630} = ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 630 - ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 750

$F = \frac{\text{ปริมาตรของสารสกัด}}{\text{ปริมาตรของน้ำตัวอย่าง (ลิตร)} \times 1 / \text{ความกว้างของ cuvette (เซนติเมตร)}}$

ประวัติผู้ดำเนินการทดลอง

ชื่อ	นายณัฐพล ชาวสวน
วัน เดือน ปีเกิด	7 เมษายน 2531
สถานที่ที่สามารถติดต่อได้	184 หมู่ 12 ต. แก้งสนามนาง อ. แก้งสนามนาง จ. นครราชสีมา 30440
ประวัติการศึกษา	วิทยาศาสตรบัณฑิต (ชีววิทยา) วท.บ. (ชีววิทยา) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ปีการศึกษา 2553
ประวัติการทำงาน	ตำแหน่งนักวิชาการศึกษา สาขาวิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี พ.ศ. 2557-ปัจจุบัน
เบอร์โทรศัพท์	08-4704-5772
อีเมล	natthaphon_not@hotmail.com

