

ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับแมงกานีสโดยสาหร่าย *Cladophora* sp.



นางสาวกัญตสุดา นันทวรกุล
นางสาวดวงใจ มรุณพงษ์สาร
นางสาวนันทนา กำนารายณ์

โครงการนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาชีววิทยาประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2543

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 39895
วัน, เดือน, ปี 11 ก.ค. 2544

.b.....

ไว้สำหรับการใช้งานที่การศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Factor Affecting on Manganese Adsorption by *Cladophora* sp.



A Special Project Submitted in Partial Fulfillment of the
Requirement for the Degree of Bachelor of Science
Department of Applied Biology Faculty of Science
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

2000


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ บั๊จจัยที่มีผลต่อการดูดซับแมงกานีสโดยสาหร่าย *Cladophora* sp.
โดย นางสาวกัณฑสุดา นันทวรกุล
นางสาวดวงใจ มรุณพงษ์สาธร
นางสาวนันทนา ก้านารายณ์
ภาควิชา ชีววิทยาประยุกต์
อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์วีณา ชูโชติ
อาจารย์มงคล เพ็ญสายใจ

ภาควิชา ชีววิทยาประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้โครงการพิเศษฉบับนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต


..... หัวหน้าภาควิชาชีววิทยาประยุกต์
(ผศ. ดร. นวลพรรณ ณ ระนอง)

คณะกรรมการสอบโครงการพิเศษ


..... ประธานกรรมการ
(ผศ. ดร. นวลพรรณ ณ ระนอง)


..... กรรมการ
(อาจารย์วีณา ชูโชติ)


..... กรรมการ
(อาจารย์มงคล เพ็ญสายใจ)

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาชีววิทยาประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2543

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ	ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับแมงกานีสโดยสาหร่าย <i>Cladophora</i> sp.	
โดย	นางสาวกัณตสุดา	นันทวรรณกุล
	นางสาวดวงใจ	มรุพงษ์สาร
	นางสาวนันทนา	กัณารายณ์
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์วีณา	ชูโชติ
	อาจารย์มงคล	เพ็ญสายใจ
ภาควิชา	ชีววิทยาประยุกต์	
ปีการศึกษา	2543	

บทคัดย่อ

โครงการนี้ได้ศึกษาเกี่ยวกับปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับแมงกานีสโดยสาหร่าย *Cladophora* sp. จากผลการทดลองพบว่า ความเข้มข้นสาหร่ายที่ 0.25 กรัมน้ำหนักแห้ง, พีเอช 7.0 อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส สามารถดูดซับได้ดีที่สุดที่เวลา 24 ชั่วโมงและเมื่อใช้ความเข้มแสงต่างกัน คือ 1000, 1400 และ 1800 ลักซ์ ในการดูดซับ แมงกานีส พบว่า ความเข้มแสงที่ 1000 ลักซ์ สามารถดูดซับได้ดีที่สุด คือ 97.80 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งค่านี้ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับความเข้มแสง 1400 ลักซ์ แต่แตกต่างกันทางสถิติกับความเข้มแสง 1800 ลักซ์ เมื่อใช้ความเข้มข้นของแมงกานีสแตกต่างกันคือ 2.5, 4.0, 5.5 และ 7.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ในการดูดซับ แมงกานีสพบว่า ความเข้มข้นของแมงกานีสที่ 4.0 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถดูดซับได้ดีที่สุด คือ 99.02 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งค่านี้ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับความเข้มข้นของแมงกานีส 2.5 มิลลิกรัมต่อลิตร

Special Project Tittle	Factor Affecting on Manganese Adsorption by <i>Cladophora</i> sp.	
Name	Miss Kantasuda	Nundhavorakul
	Miss Duangjai	Maruthpongsathorn
	Miss Nuntana	Gamnarai
Special Project Adviser	Mrs.Weena	Choochote
	Mr.Mongkol	Phensajjai
Department	Applied Biology	
Academic Year	2000	

Abstract

This special project was studied about factors affecting on manganese adsorption by *Cladophora* sp.. From the experiment, it was found that initial concentration of manganese was adsorbed with 24 hr. when 0.25 gram cell dry weight was used at pH 7.0 and temperature of 28°C. When three light intensity of 1000, 1400 and 1800 Lux were used for manganese adsorption, the maximum of manganese removal was found at the light intensity 1000 Lux with 97.80% manganese removal. This value was non significantly different from 1400 Lux but significantly different from 1800 Lux. When four initial manganese concentration of 2.5, 4.0, 5.5 and 7.0 were used for manganese adsorption, the maximum of manganese removal was found at initial manganese concentration 4.0 milligram per liter with 99.02% manganese removal. This value was non significantly different from 2.5 milligram per liter.

กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษนี้ ได้จัดทำตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิตสาขาเทคโนโลยีชีวภาพ ซึ่งสำเร็จได้ด้วยความช่วยเหลือจากบุคคลหลายท่าน ทางคณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณอาจารย์ วจิณา ชูโชติ อาจารย์มงคล เพ็ญสายใจ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการพิเศษ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นवलพรรณ ณ ระนอง ประธานกรรมการสอบโครงการพิเศษ ซึ่งท่านได้ให้ความรู้ ข้อเสนอแนะ และคำแนะนำต่าง ๆ ในการทำโครงการพิเศษนี้อย่างดียิ่งตลอดมา ขอขอบพระคุณอาจารย์กลิ่น สุกคนธ์ สุวรรณรัตน์ อาจารย์ประจำภาควิชาเคมี เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการ ห้องธุรการ ภาควิชาชีววิทยาประยุกต์ รวมทั้งเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ฟิสิกส์คลินิก คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ทุก ๆ ท่านที่เอื้อเฟื้อสารเคมี และอุปกรณ์ต่าง ๆ ในการทำโครงการพิเศษนี้ สุดท้ายขอขอบคุณเพื่อน ๆ พี่ ๆ น้อง ๆ ทุกคนที่ได้ให้ความช่วยเหลือและเป็นกำลังใจจนโครงการพิเศษนี้สำเร็จลงได้ด้วยดี

คณะผู้จัดทำ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูป	ณ
บทที่ 1 บทนำ	1
วัตถุประสงค์	2
ขอบเขตการศึกษา	2
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ตรวจสอบเอกสาร	3
สันฐานวิทยาของสาหร่ายสีเขียว <i>Cladophora</i> sp.	3
คุณลักษณะทั่วไปของแมงกานีส	4
มาตรฐานของแมงกานีส	11
การกำจัดแมงกานีสในน้ำ	12
การดูดซับโลหะหนักโดยจุลินทรีย์	17
การศึกษาที่เกี่ยวข้องกับแมงกานีสในสาหร่าย	19
ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อ การดูดซับโลหะหนัก	21
บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการทดลอง	23
อุปกรณ์ และ สารเคมี	
วิธีการทดลอง	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์	33
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	42
เอกสารอ้างอิง	44
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก. อาหารเพาะเลี้ยงเชื้อจุลินทรีย์	50
ภาคผนวก ข. สารเคมีและวิธีการเตรียม	52
ภาคผนวก ค. ตารางแสดงข้อมูลการทดลอง	54
ภาคผนวก ง. การวิเคราะห์ทางสถิติ	65

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	ความเข้มข้นของแมงกานีสในสาหร่าย (มิลลิกรัมต่อกรัมเซลล์แห้ง)	6
2.2	แสดงค่ามาตรฐานของแมงกานีสในน้ำที่กำหนดโดยองค์กรต่าง ๆ	12
ค 1	ผลของพีเอชต่อการดูดซับแมงกานีส (เปอร์เซ็นต์) โดยสาหร่าย <i>Cladophora</i> sp. ภายใต้ความเข้มข้นของแมงกานีสเริ่มต้น 4 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณของสาหร่ายเริ่มต้น 0.25 กรัม น้ำหนักเซลล์แห้ง ที่อุณหภูมิ 32 องศาเซลเซียส ความเข้มแสง 1400 ลักซ์ บนเครื่องเขย่า ความเร็วรอบ 200 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 17 ชั่วโมง	55
ค 2	ผลของพีเอชต่อการดูดซับแมงกานีส (มิลลิกรัมต่อกรัม น้ำหนักเซลล์แห้ง) โดยสาหร่าย <i>Cladophora</i> sp. ภายใต้ความเข้มข้นของแมงกานีสเริ่มต้น 4 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณของสาหร่ายเริ่มต้น 0.25 กรัม น้ำหนักเซลล์แห้ง ที่อุณหภูมิ 32 องศาเซลเซียส ความเข้มแสง 1400 ลักซ์ บนเครื่องเขย่า ความเร็วรอบ 200 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 17 ชั่วโมง	56
ค 3	ผลของปริมาณสาหร่ายเริ่มต้นต่อการดูดซับแมงกานีส (เปอร์เซ็นต์) โดยสาหร่าย <i>Cladophora</i> sp. ภายใต้ความเข้มข้นของแมงกานีสเริ่มต้น 4 มิลลิกรัมต่อลิตร พีเอช 7.0 ที่อุณหภูมิ 32 องศาเซลเซียส ความเข้มแสง 1400 ลักซ์ บนเครื่องเขย่า ความเร็วรอบ 200 รอบต่อนาที เป็นเวลา 24 ชั่วโมง	57
ค 4	ผลของปริมาณสาหร่ายเริ่มต้นที่มีต่อการดูดซับแมงกานีส (มิลลิกรัมต่อกรัม น้ำหนักเซลล์แห้ง) โดยสาหร่าย <i>Cladophora</i> sp. ภายใต้ความเข้มข้นของแมงกานีสเริ่มต้น 4 มิลลิกรัมต่อลิตร พีเอช 7.0 ที่อุณหภูมิ 32 องศาเซลเซียส ความเข้มแสง 1400 ลักซ์ บนเครื่องเขย่า ความเร็วรอบ 200 รอบต่อนาที เป็นเวลา 24 ชั่วโมง	58
ค 5	ผลของอุณหภูมิที่มีต่อการดูดซับแมงกานีส (เปอร์เซ็นต์) โดยสาหร่าย <i>Cladophora</i> sp. ภายใต้ความเข้มข้นสาหร่ายเริ่มต้น 0.25 กรัม น้ำหนักแห้ง ความเข้มข้นของแมงกานีสเริ่มต้น 4 มิลลิกรัมต่อลิตร พีเอช 7.0 ที่ความเข้มแสง 1400 ลักซ์ บนเครื่องเขย่า ความเร็วรอบต่อนาทีเป็นเวลา 24 ชั่วโมง	59

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
ค 6	ผลของอุณหภูมิที่มีต่อการดูดซับแมงกานีส (มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักเซลล์แห้ง) โดยสาหร่าย <i>Cladophora</i> sp. ภายใต้ความเข้มข้นของแมงกานีสเริ่มต้น 0.25 กรัม/น้ำหนักแห้ง ความเข้มข้นของแมงกานีสเริ่มต้น 4 มิลลิกรัมต่อลิตร พีเอช 7.0 ที่ ความเข้มแสง 1400 ลักซ์ บนเครื่องเขย่าความเร็วรอบ 200 รอบต่อนาที เป็นเวลา 24 ชั่วโมง	60
ค 7	ผลของความเข้มแสงที่มีต่อการดูดซับแมงกานีส (เปอร์เซ็นต์) โดยสาหร่าย <i>Cladophora</i> sp. ภายใต้ความเข้มข้นสาหร่ายเริ่มต้น 0.25 กรัม/น้ำหนักแห้ง ความเข้มข้นของแมงกานีสเริ่มต้น 4 มิลลิกรัมต่อลิตร พีเอช 7.0 อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส บนเครื่องเขย่าความเร็วรอบ 200 รอบต่อนาที เป็นเวลา 24 ชั่วโมง	61
ค 8	ผลของความเข้มแสงที่มีต่อการดูดซับแมงกานีส (มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักเซลล์แห้ง) โดยสาหร่าย <i>Cladophora</i> sp. ภายใต้ความเข้มข้นสาหร่ายเริ่มต้น 0.25 กรัม/น้ำหนักแห้ง ความเข้มข้นของแมงกานีสเริ่มต้น 4.0 มิลลิกรัมต่อลิตร พีเอช 7.0 ที่ อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส บนเครื่องเขย่าความเร็วรอบ 200 รอบต่อนาที เป็นเวลา 24 ชั่วโมง	62
ค 9	ผลของความเข้มข้นของแมงกานีสเริ่มต้นที่มีการดูดซับแมงกานีส (เปอร์เซ็นต์) โดยสาหร่าย <i>Cladophora</i> sp. ภายใต้ความเข้มข้นสาหร่ายเริ่มต้น 0.25 กรัม/น้ำหนักแห้ง ความเข้มแสง 1000 ลักซ์พีเอช 7.0 อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียสบนเครื่องเขย่าความเร็วรอบ 200 รอบต่อนาที เป็นเวลา 24 ชั่วโมง	63
ค 10	ผลของความเข้มข้นของแมงกานีสเริ่มต้นที่มีต่อการดูดซับแมงกานีส (มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักเซลล์แห้ง) โดยสาหร่าย <i>Cladophora</i> sp. ภายใต้ความเข้มข้นสาหร่ายเริ่มต้น 0.25 กรัม/น้ำหนักแห้ง ความเข้มแสง 1000 ลักซ์พีเอช 7.0 ที่ อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส บนเครื่องเขย่าความเร็วรอบ 200 รอบต่อนาที เป็นเวลา 24 ชั่วโมง	64

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ง 1 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของพีเอชที่มีต่อการดูดซับแมงกานีส โดยสาหร่าย <i>Cladophora</i> sp.	66
ง 2 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของปริมาณสาหร่าย เริ่มต้นที่มีต่อการดูดซับแมงกานีส โดยสาหร่าย <i>Cladophora</i> sp.	68
ง 3 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของอุณหภูมิที่มีต่อการดูดซับแมงกานีส โดยสาหร่าย <i>Cladophora</i> sp.	69
ง 4 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของอุณหภูมิที่มีต่อการดูดซับแมงกานีสโดยสาหร่าย <i>Cladophora</i> sp.	70
ง 5 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของแมงกานีสเริ่มต้นที่มีต่อการดูดซับแมงกานีส โดยสาหร่าย <i>Cladophora</i> sp.	71

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 สาหร่าย <i>Cladophora aegagropila</i>	4
2.2 ระบบตกตะกอนในถังตกอนโดยใช้ต่างทับทิม	14
2.3 การกำจัดแมงกานีสแบบ (ก) โดยใช้กระบวนการปูน – โซดา (ข) ตกตะกอนโดยใช้ต่างทับทิม (ค) โดยใช้แรงโน้มถ่วงของโลก	16
3.1 สาหร่าย <i>Cladophora</i> sp. ในบ่อธรรมชาติบริเวณสโมสรมักศึกษา คณะวิทยาศาสตร์, สจล.	26
3.2 สาหร่าย <i>Cladophora</i> sp. ที่เก็บรวบรวมไว้ใช้ในการทดลอง	27
3.3 อาหารสาหร่ายสูตร Bristol Medium ที่เติมสารละลายแมงกานีสปริมาณ 350 มิลลิกรัม	27
3.4 สาหร่าย <i>Cladophora</i> sp. ปริมาณ 0.15, 0.20, 0.25 กรัม น้ำหนักเซลล์แห้ง ใน Bristol Medium และสารละลายแมงกานีส 4 มิลลิกรัมต่อลิตรก่อนนำไป เลี้ยงบนเครื่องเขย่าความเร็วรอบ 200 รอบต่อนาที พีเอช 7.0 ความเข้มแสง 1400 ลักซ์ อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมง	28
3.5 สาหร่าย <i>Cladophora</i> sp. ปริมาณ 0.15, 0.20, 0.25 กรัม น้ำหนักเซลล์แห้ง ใน Bristol Medium และสารละลายแมงกานีส 4 มิลลิกรัมต่อลิตรขณะนำไป เลี้ยง บนเครื่องเขย่าความเร็วรอบ 200 รอบต่อนาที พีเอช 7.0 ความเข้ม แสง 1400 ลักซ์ อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง	29
3.6 สารละลายตัวอย่างที่เก็บทุกๆ 1 ชั่วโมง ก่อนนำไปปั่นเหวี่ยง	30
3.7 การปั่นเหวี่ยงสารละลายตัวอย่างด้วยเครื่องปั่นเหวี่ยงแบบควบคุมอุณหภูมิ	30
3.8 สารละลายตัวอย่างที่เก็บทุกๆ 1 ชั่วโมง หลังนำไปปั่นเหวี่ยงเพื่อเตรียมไปวัด ปริมาณแมงกานีสด้วยเครื่อง AA	31
3.9 การวัดปริมาณแมงกานีสในสารละลายตัวอย่างด้วยเครื่อง AA	31
3.10 สาหร่าย <i>Cladophora</i> sp. ที่ดูด้วยกล้องจุลทรรศน์ ก่อนการดูดซับ แมงกานีส (40 X)	32

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.11 สาหร่าย <i>Cladophora</i> sp. หลังการดูดซับแมงกานีส (40 X)	32
4.1 ผลของพีเอชที่มีต่อการดูดซับแมงกานีสโดยสาหร่าย <i>Cladophora</i> sp.	34
4.2 ผลของปริมาณสาหร่าย เริ่มต้นที่มีต่อการดูดซับแมงกานีสโดยสาหร่าย <i>Cladophora</i> sp.	35
4.3 ผลของอุณหภูมิที่มีต่อการดูดซับแมงกานีส โดยสาหร่าย <i>Cladophora</i> sp.	36
4.4 ผลของความเข้มข้นที่มีต่อการดูดซับแมงกานีสโดยสาหร่าย <i>Cladophora</i> sp.	38
4.5 ผลของความเข้มข้นแมงกานีสเริ่มต้นที่มีต่อการดูดซับแมงกานีสโดยสาหร่าย <i>Cladophora</i> sp.	40



บทที่ 1

บทนำ

ปัจจุบันประเทศไทยมีการพัฒนาด้านอุตสาหกรรมอย่างมากซึ่งจากการพัฒนาทางด้านอุตสาหกรรมนี้เองก่อให้เกิดผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อมตามมาอย่างมากทำให้ระบบนิเวศตามธรรมชาติสูญเสียไป

โลหะหนักเป็นสารมลพิษที่ตกค้างอยู่ในสิ่งแวดล้อม โดยอยู่ในรูปของอนุภาคในอากาศ ละลายอยู่แหล่งน้ำหรือสะสมอยู่ในตะกอนดิน โลหะหนักที่รู้จักกันดีและเป็นพิษได้แก่ ปรอท ตะกั่ว แคดเมียม โครเมียม สังกะสี เหล็ก แมงกานีส เป็นต้น โลหะหนักสามารถสะสมอยู่ในเนื้อเยื่อของสิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่ในแหล่งน้ำที่มีการปนเปื้อนของโลหะหนักได้ โดยความเข้มข้นที่สะสมจะเพิ่มขึ้นตามลำดับชั้นของห่วงโซ่อาหาร ดังนั้นการปนเปื้อนของโลหะหนักในน้ำจึงไม่เพียงแต่มีผลกระทบต่อคุณภาพน้ำ สิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่ในแหล่งน้ำ แต่ยังเป็นอันตรายต่อคนและสัตว์ที่บริโภคสิ่งมีชีวิตดังกล่าวด้วย

แมงกานีสเป็นโลหะชนิดหนึ่งที่เป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิต ในปัจจุบันพบว่ามี การปล่อยแมงกานีสสู่สิ่งแวดล้อมเป็นจำนวนมาก โดยเฉพาะในเขตอุตสาหกรรมที่มีการใช้แมงกานีสในกระบวนการผลิต เช่น ในโรงงานทางโลหะกรรมมีการนำแมงกานีสมาผสมกับเหล็ก เช่น ทำรางรถไฟ และในงานโลหกรรม เช่น อุตสาหกรรมถ่านไฟฉาย อุตสาหกรรมฟอกหนัง ย้อมหนัง ทำปุ๋ย ผสมในอิฐ เป็นต้น แมงกานีสเมื่อเข้าสู่ร่างกายจะสะสมและทำให้เกิดความเป็นพิษตามปริมาณที่ได้รับ ถ้าได้รับในปริมาณน้อยจะทำให้เกิดอาการเวียนศีรษะ กล้ามเนื้อไม่มีแรง เบื่ออาหาร ถ้าสะสมเป็นปริมาณมาก ๆ จะทำให้เกิดอาการกล้ามเนื้อกระตุก อาการเกร็งที่ใบหน้า หรืออาการอัมพาตของร่างกายบางส่วน วิธีการกำจัดแมงกานีสในน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมก่อนปล่อยลงสู่แหล่งน้ำสามารถทำได้หลายวิธี ทั้งวิธีทางเคมี กายภาพ และชีวภาพ วิธีทางเคมีและกายภาพ สามารถกำจัดแมงกานีสได้ในปริมาณค่อนข้างสูง แต่มีความยุ่งยากเสียค่าใช้จ่ายสูง และมีผลต่อเนื่องกับสิ่งแวดล้อมได้

ดังนั้นจึงได้มีการพัฒนาการกำจัดโลหะหนักออกจากน้ำเสียโดยวิธีทางชีวภาพ ซึ่งก่อให้เกิดความสะดวกและลดค่าใช้จ่ายในการกำจัดแมงกานีสออกจากน้ำทิ้งของโรงงานอุตสาหกรรมต่าง ๆ ได้โดยใช้จุลินทรีย์หรือโครงสร้างบางส่วนของจุลินทรีย์ที่ตายแล้วหรือผลิตภัณฑ์ที่จุลินทรีย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลิตขึ้นซึ่งมีคุณสมบัติในการดูดซับโลหะหนัก โดยในรายงานนี้จะใช้สาหร่ายสีเขียว *Cladophora* sp. ซึ่งพบทั่วไปในแหล่งน้ำ และมีคุณสมบัติในการดูดซับโลหะหนักสูง

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาหาปริมาณสาหร่ายสีเขียว *Cladophora* sp. ที่เหมาะสมในการดูดซับแมงกานีส
2. เพื่อศึกษาเปรียบเทียบปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการดูดซับแมงกานีสของสาหร่ายสีเขียว *Cladophora* sp. เช่น ความเข้มของแสง พีเอช ปริมาณสาหร่าย ความเข้มข้นของแมงกานีส และ อุณหภูมิ เป็นต้น

ขอบเขต

1. หาปริมาณที่เหมาะสมของสาหร่ายสีเขียว *Cladophora* sp. ในการดูดซับแมงกานีส
2. หาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับแมงกานีสของสาหร่ายสีเขียว *Cladophora* sp.

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบปริมาณสาหร่ายสีเขียว *Cladophora* sp. ที่เหมาะสมในการดูดซับแมงกานีส
2. ทราบถึงปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อการดูดซับแมงกานีสของสาหร่ายสีเขียว *Cladophora* sp.
3. เป็นข้อมูลเบื้องต้นในการนำไปประยุกต์ใช้กับการบำบัดน้ำเสียในแหล่งน้ำต่าง ๆ และ ในระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรมต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

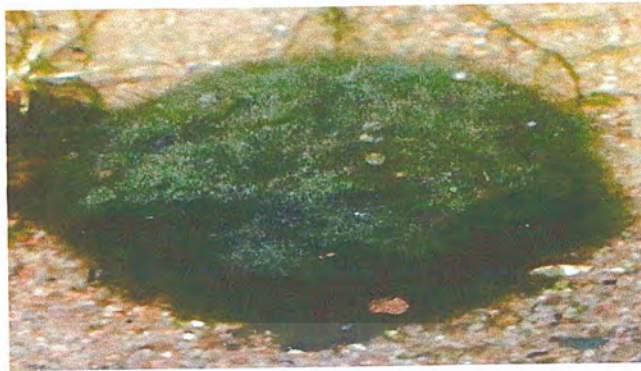
บทที่ 2

การตรวจเอกสาร

สัณฐานวิทยาของสาหร่ายสีเขียว, *Cladophora* sp.

สาหร่าย *Cladophora* sp. เป็นสาหร่ายที่มีลักษณะเป็นเส้นสาย แบ่งเป็น 2 ส่วน คือส่วน Basal และส่วน Caudal Portion ในปี ค.ศ. 1824 ที่ประเทศ ออสเตรเลีย Dr. Anton E. Sauter ได้ค้นพบสาหร่าย *Cladophora* ที่มีลักษณะเป็นก้อนกลมๆเป็นครั้งแรก ที่ทะเลสาบเซลเลอร์ *Cladophora* ที่ถูกค้นพบคือ *Cladophora aegagropila* และจัดอยู่ในตระกูลเดียวกับ *Cladophora seuteri* ซึ่งความหมายของ *Cladophora* คือพืชที่มีกิ่งก้านสาขา *aegagropila* มีความหมายว่า ลูกบอลที่อยู่ในทะเลสาบและคำว่า *sauteri* นั้นมาจากชื่อของ Dr. Sauter ต่อมามีการพบ *Cladophora* ในประเทศอังกฤษ, รัสเซียสวีเดน และในอีกหลาย ๆ ประเทศ *Cladophora* มีความยาวประมาณ 30 เซนติเมตร เมื่อไม่นานมานี้มีการค้นพบว่า สาหร่าย *Cladophora* มีอัตราการเจริญเติบโตช้า เนื่องจาก สภาพของน้ำไม่ดี แก้ไขได้โดยนำน้ำจากทะเลสาบมาผสมกับน้ำทะเล เช่นเดียวกับพืชทั่ว ๆ ไป *C. aegagropila* ได้รับสารอาหารโดยกระบวนการสังเคราะห์แสงพืชหลายชนิดต้องการแสงมากมิมฉะนั้นพืชจะตาย ได้มีการรายงานว่า *C. aegagropila* สามารถที่จะเคลื่อนที่ให้ลอยหรือจมขึ้นกับความเข้มข้นของแสงอาทิตย์ *C. aegagropila* จะเจริญเติบโตเป็นกลุ่มใหญ่ ๆ บริเวณน้ำตื้นในทะเลสาบ ซึ่ง *C. aegagropila* สามารถเจริญจนเป็นกลุ่มที่มีความหนาแน่น ทำให้พืชมีชีวิตอื่น ๆ สามารถแอบซ่อนอยู่ภายในได้ ประโยชน์อื่น ๆ ของการมีรูปทรงในลักษณะทรงกลม คือเมื่อมีเศษโคลนหรือเศษตะกอนอื่น ๆ สะสมอยู่บนผิวหน้า แรงโน้มถ่วงจะทำให้ *Cladophora* เกิดการหมุนซึ่งเป็นไปตามธรรมชาติทำให้เศษตะกอนต่างๆ หลุดลอยไป "Cladophora aegagropila." 2001. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : <http://www.fihaholics.net/gallery/cladophora-aegagropila.html>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.1 สาหร่าย *Cladophora aegagropila*

คุณลักษณะทั่วไปของแมงกานีส

แมงกานีสเป็นโลหะชนิดหนึ่งมีสีเขียวคล้ายเงิน แฉ่ง และเปราะ พบได้ทั่วไปในธรรมชาติแต่ มักจะเกิดอยู่กับธาตุอื่นๆในหลายรูปแบบ (จิราภรณ์, 2540) แมงกานีสมีมากบนเปลือกโลก (ประมาณ 0.1%) แมงกานีสส่วนใหญ่จะอยู่ในหินไฟที่เป็นผลมาจากการแข็งตัวของแมกมา ซึ่งพบว่ามักเป็นหินประเภท Ultramafic หรือหินบะซอลต์ (Basaltic Rock) โดยที่ปริมาณแมงกานีสที่พบในที่ต่าง ๆ มีดังนี้ (Vymazal, 1995)

เปลือกโลก : 950 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

ธาตุปกติที่พบ : β - MnO_2 (Pyrolusite), MnO (Manganosite), $3 MnO_2O_3$ (Braunite), Mn_3O (Heusmanite), $Mn(OH)_2$ (Pyrochrosite), MnS (Alabandite), $MnFeO_4$ (Jacobsite), $MnCo_3$ (Rhodochrosite), $r-MnOOH$ (Manganite), $K(Mg, Fe^{2+})_3(AlSi_3)O_{10}(OH)_2$ (Biosite)

ในดิน : 7-10,000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม Bowen (1979, อ้างตาม Vymazal, 1995)

ตะกอน : 770 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

อากาศ : 0.004-900 นาโนกรัมต่อลูกบาศก์เมตร Bowen (1979, อ้างตาม Vymazal, 1995)

น้ำจืด : 0.02-4,800 ไมโครกรัมต่อลิตร Moore (1991, อ้างตาม Vymazal, 1995)

น้ำทะเล : 0.03-21 ไมโครกรัมต่อลิตร Bowen (1979, อ้างตาม Vymazal, 1995)

พืชบก : 1.3-1,840 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

Kabata and Pendias (1992, อ้างตาม Vymazal, 1995)

สาหร่ายน้ำจืด : 50-25,950 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- สารละลาย: 1-15, 473 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (Bowen 1979, อ้างตาม Vymazal, 1995)
- สัณฐาน: 2,000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
- สัณฐาน: 1 – 60 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
- แหล่งของน้ำ: น้ำเสียเทศบาล, การกลั่นแรม และทำให้บริสุทธิ์, โรงงานอุตสาหกรรม,
ไฟฟ้าพลังน้ำ, เหมืองแร่ จากธรรมชาติ
- เคมีของน้ำ: แอมกานีสจะมีสถานะ Oxidation State จาก -3 ถึง 7+ ซึ่ง Mn^{2+} , Mn^{4+}
เป็นสถานะที่อยู่ในระบบนิเวศของน้ำ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 ความเข้มข้นของแมงกานีสในสาหร่าย (มิลลิกรัมต่อกรัมเซลล์แห้ง) (Vymazal, 1995)

สปีชีส์	ความเข้มข้น (มิลลิกรัมต่อกรัมเซลล์แห้ง)	แหล่งที่พบ
สาหร่ายน้ำจืด		
<i>Cladophora glomerata</i>	50	Lake Balaton, Hungary
<i>C. glomerata</i>	235->410	Lake Michigan
<i>Cymbella</i> sp.	793	Upper Bee Fork, Missouri
<i>Spirogyra</i> sp.	2557	Upper Bee Fork, Missouri
<i>Cladophora glomerata</i>	122-10117	Roding river, England
<i>Mougeotia</i> sp.	13612	Strother Creek, Missouri
<i>Chlorella pyrenoidosa</i>	241-25950	Laboratory
สาหร่ายน้ำเค็ม		
<i>Dunaliella tertiolecta</i>	3.8	Laboratory
<i>Chlamydomonas</i> sp.	6.8	Laboratory
<i>Endarachne bringhamiae</i>	10.7	Hong Kong
<i>Dunaliella primolecta</i>	11.5	Laboratory
<i>Heteromastrix longifilllis</i>	14.5	Laboratory
<i>Laminaria digidata</i>	20	Nova Scotia, Canada
<i>Olisthodiscus luteus</i>	20	Nova Scotia, Canada
<i>Aschophyllum nodosum</i>	25	Hong Kong
<i>Laminaria longicruris</i>	25	Hong Kong
<i>Ishige foliacea</i>	Oct-26	Laboratory
<i>Porphyra suborbicurata</i>	14-26	Grate Britain
<i>Hemiselmis brunescens</i>	33	Laboratory
<i>Aschophyllum nodosum</i>	Sep-35	Nova Scotia, Canada
<i>Chlorella salina</i>	48	Hong Kong
<i>Fucus vesiculosus</i>	50	Laboratory

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 (ต่อ) ความเข้มข้นของแมงกานีสในสาหร่าย (มิลลิกรัมต่อกรัมเซลล์แห้ง) (Vymazal, 1995)

สปีชีส์	ความเข้มข้น (มิลลิกรัมต่อกรัมเซลล์แห้ง)	แหล่งที่พบ
<i>Chaetomorpha antenina</i>	16-51	Hong Kong
<i>Asterionella japonica</i>	54	Laboratory
<i>Sargassum hemiphyllum</i>	62	Hong Kong
<i>Tetraselmis tetrathele</i>	62	Laboratory
<i>Monochrysis lutheri</i>	69	Laboratory
<i>Phaeodactylum tricornutum</i>	73	Laboratory
<i>Phizoclonium riparium</i>	80-87	Hong Kong
<i>Porphyra</i> spp.	14-93	Irish sea
<i>Ectocarpus siliculosus</i>	109-112	Hong Kong
Blue-Green Algae	123	Penang Island, Malaysia
<i>Sargassum vachellianum</i>	129	Hong Kong
<i>Scytosiphon lomentaria</i>	16-129	Hong Kong
<i>Fucus vesiculosus</i>	52-130	Grate Britain
<i>Colpomenia sinausa</i>	52-136	Hong Kong
<i>Fucus</i> spp.	33-190	Irish sea
<i>Enteromorpha</i> sp.	92-221	Penang Island, Malaysia
<i>Gymnogongrus flabelliformis</i>	13-225	Hong Kong
<i>Fucus vesiculosus</i>	108-230	Grate Britain Estuaries
<i>Enteromorpha fluxuosa</i>	74-244	Hong Kong
<i>Enteromorpha compressa</i>	18-264	Hong Kong
<i>Fucus vesiculosus</i>	90-284	Penang Island, Malaysia
<i>Dermonema frappieri</i>	130-406	Hong Kong
<i>Fucus vesiculosus</i>	65-410	Coat, Sweden
<i>Fucus vesiculosus</i>	13-680	Iceland
<i>Caulacanthus okamurai</i>	913-1704	Hong Kong

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในน้ำบาดาลปกติจะมีแมงกานีสอยู่น้อยหรือไม่มีเลย ถ้ามีจะอยู่ในรูป Mn^{2+} ที่เป็นเกลือของโลหะหรือเป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่ละลายได้ในน้ำ ที่พบส่วนมากจะอยู่ในรูปคาร์บอเนตแมงกานีสในน้ำบาดาลส่วนมากจะมาจากชั้นหินแปรหรือหินชั้น ซึ่งจะพบในรูปของแมงกานีสออกไซด์ และไฮดรอกไซด์ เมื่อสภาพรีดิวซ์เกิดขึ้น แมงกานีสที่อยู่ในรูปไม่ละลายน้ำจะเปลี่ยนเป็นอยู่ในรูปละลายน้ำ โดยมีวาเลนซ์เท่ากับสอง การเปลี่ยนแปลงนี้เกิดขึ้นเองโดยธรรมชาติ เพราะสารอินทรีย์ต่างๆ ในดินสลายตัวจึงต้องการออกซิเจน และปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ ทำให้เกิดสภาพรีดิวซ์ได้ เมื่อน้ำซึมผ่านดินคาร์บอนไดออกไซด์จะละลายน้ำกลายเป็นกรดคาร์บอนิกทำให้พีเอชลดลง ซึ่งจะเพิ่มสภาพรีดิวซ์ยิ่งขึ้น (ณรงค์, 2540) สารอินทรีย์เชิงซ้อนของแมงกานีสเกิดขึ้นจากการรวมตัวของไอออนแมงกานีสกับประจุลบของสารอินทรีย์ โดยที่แมงกานีสจะอยู่ตรงกลางมีสารอินทรีย์ล้อมรอบอยู่จึงทำให้ถูกออกซิไดซ์ได้ยากกว่า เนื่องจากมีสารอินทรีย์เป็นเกราะป้องกันสรุปแล้วจะพบแมงกานีสได้ในรูปต่างๆ ดังนี้คือ

1. แมงกานีสที่ไม่ละลายน้ำ (Insoluble Manganese)
2. แมงกานีสที่เป็นสารละลาย (Soluble Manganese)
3. สารอินทรีย์แมงกานีส (Organic Manganese)
4. Combination คือมีทั้งสามแบบปนกัน

แมงกานีสในน้ำบาดาล

ตามปกติน้ำบาดาลมีการกักจัดแมงกานีสได้มากกว่าน้ำผิวดิน น้ำผิวดินที่ไหลแบบอิสระแทบไม่ต้องการกักจัดแมงกานีส โดยที่ความเข้มข้นของแมงกานีสที่พบในน้ำบาดาล ปกติจะมีไม่เกิน 2 มิลลิกรัมต่อลิตร แมงกานีสละลายในน้ำบาดาล เนื่องจากปฏิกิริยาคาร์บอนไดออกไซด์กับแร่ที่มีคาร์บอเนต คาร์บอนไดออกไซด์เกิดจากการย่อยสลายทางชีวภาพของสารอินทรีย์ที่ถูกชะล้างออกจากดิน ในสภาวะที่ขาดออกซิเจน สารอินทรีย์และไฮโดรเจนซัลไฟด์จะทำให้เกิดปฏิกิริยารีดักชัน ซึ่งแมงกานีสออกไซด์ที่กลายเป็นแมงกานีสคาร์บอเนตจะถูกละลายโดยคาร์บอนไดออกไซด์ (ยุวดี, 2538) ดังนี้



ลักษณะทางเคมีของแมงกานีสในน้ำ แมงกานีสจะอยู่ในน้ำได้หลายสถานะ ดังนี้ Mn^{2+} , Mn^{3+} , Mn^{4+} , Mn^{6+} , Mn^{7+} แต่ที่พบส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของ Mn^{2+} และ Mn^{4+} ซึ่งขึ้นอยู่กับสภาพของน้ำ เช่น สภาพความเป็นด่าง พีเอช ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ในน้ำ ปริมาณออกซิเจน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ละลายในน้ำ และปริมาณแร่ธาตุอื่นๆที่มีอยู่ในน้ำนั้น การละลายของแมงกานีสในน้ำจะคล้ายกับของเหล็ก แมงกานีสคาร์บอนเนตจะละลายน้ำที่พีเอชเป็นกลางหรือต่ำ ส่วนแมงกานีสออกไซด์จะละลายน้ำที่พีเอชสูง ดังนั้นในธรรมชาติแมงกานีสคาร์บอนเนตจึงเป็นสารประกอบที่มีบทบาทสำคัญที่สุดในการกำหนดความเข้มข้นของแมงกานีสในน้ำ (ธวัชชัย และ ทากาชิ, 2540)

แมงกานีสในน้ำผิวดิน

น้ำผิวดินที่ไหลอย่างอิสระแทบไม่ต้องการการกำจัดแมงกานีสเลย นอกจากน้ำที่มีของเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมและกรดจากเหมืองแร่ถูกปล่อยลงไป น้ำที่ไหลอย่างอิสระสามารถมีแมงกานีสในปริมาณมากได้ เมื่อน้ำเหล่านั้นถูกนำมาเก็บไว้ในอ่างเก็บน้ำ ซากพืชและเศษสิ่งของในอ่างเก็บน้ำหรือที่กักเก็บน้ำจะสลายตัวทำให้เกิดคาร์บอนไดออกไซด์มากและขาดออกซิเจนที่ละลายในน้ำ แมงกานีสที่อยู่ในดิน ในซากพืช และที่ตกตะกอนอยู่จะละลายและกระจายไปทั่วที่กักเก็บน้ำ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในฤดูหนาว เมื่อไอออนของแมงกานีสลอยขึ้นสู่วิวของอ่างเก็บน้ำ จะถูกออกซิไดซ์และตกตะกอน ดังนั้นน้ำที่อยู่บริเวณผิวของอ่างเก็บน้ำจะมีปริมาณของแมงกานีสต่ำ แมงกานีสในอ่างเก็บน้ำจะมีปริมาณ 2-20 มิลลิกรัมต่อลิตร หรือมากกว่า (ยุวดี, 2538)

ประโยชน์ของแมงกานีส

1. ในทางโลหกรรม โดยนำมาผสมกับเหล็ก เพื่อทำให้เหล็กมีความเหนียว ยืดหยุ่นและคงทนยิ่งขึ้น เช่น รางรถไฟ หัวชุด หัวเจาะ เหล็กทุบ ฯลฯ นอกจากนี้ยังใช้ในการทำให้เหล็กบริสุทธิ์ยิ่งขึ้น
2. ในทางอโลหะกรรม ได้แก่
 - 2.1 อุตสาหกรรมประกอบถ่านไฟฉาย
 - 2.2 อุตสาหกรรมเคมีบางประเภท เช่น การเตรียมต่างทัทิม ซึ่งใช้เป็นยาฆ่าเชื้อโรค ยารักษาเนื้อไม้ ให้คงทนถาวร การเตรียมสารที่ใช้ในอุตสาหกรรมฟอกหนัง ย้อมหนังและใช้ผสมเข้าไปในอาหารไก่
 - 2.3 การผลิตผลิตภัณฑ์เคมี จำต้องใช้แมงกานีสเป็นตัวสำคัญ เช่น การทำสี ทำปุ๋ยสังเคราะห์ การผสมในการทำอิฐ เพื่อให้อิฐทนความร้อนยิ่งขึ้น เป็นต้น

ผู้ที่เกี่ยวข้องกับแมงกานีส

ได้แก่ คนงานในเมืองแร่แมงกานีส คนงานในโรงงานถ่านไฟฉาย คนงานในโรงงานหลอมหล่อเหล็กเหนียว ซึ่งต้องผสมแมงกานีส คนงานทำภาชนะเคลือบ คนงานในอุตสาหกรรมยารักษาโรค เช่น ทำไฮโดรควิโนน และต่างทับทิม รวมทั้งประชาชนที่ใช้น้ำจากแหล่งที่มีการปนเปื้อนหรือบริโภคสัตว์น้ำจากแหล่งที่มีการปนเปื้อน

โรคจากพิษของแมงกานีส (Manganese Poisoning)

ในปี 2507 คนงานในโรงงานถ่านไฟฉายแห่งหนึ่งได้ป่วยเป็นโรคแพ้พิษแมงกานีสซึ่งทำให้ร่างกายพิการ เป็นอัมพาตไปตลอดชีวิต มีจำนวนถึง 41 คน นับเป็นเหตุการณ์ร้ายแรงแห่งแรก ที่แสดงให้เห็นถึงพิษภัยของอุตสาหกรรมในประเทศไทย (จิราภรณ์, 2540) ซึ่งแมงกานีสสามารถเข้าสู่ร่างกายได้ดังนี้

1. ทางจมูก โดยสูดหายใจเอาผงหรือไอระเหยของแมงกานีส เข้าสู่ปอดแล้วกระจายไปทั่วร่างกาย ซึ่งเป็นทางเข้าที่สำคัญที่สุด
2. ทางปาก โดยการรับประทานเข้าไป มักจะเกิดจากอุบัติเหตุปะปนกับอาหาร น้ำดื่ม
3. ทางผิวหนัง แมงกานีสบางส่วนสามารถดูดซึมผ่านทางผิวหนังได้

อาการแพ้พิษแมงกานีส

1. อาการที่เกี่ยวข้องกับระบบประสาท แมงกานีสจะทำลายระบบประสาทส่วนกลางได้แก่สมอง ทำให้เกิดอาการต่าง ๆ แบ่งเป็น 3 ระยะ ดังนี้ คือ
 - 1.1. ระยะแรกเริ่ม เริ่มด้วยอาการเป็นไข้ปวดศีรษะ กล้ามเนื้อไม่มีเรี่ยวแรง เบื่ออาหาร ไม่สนใจสิ่งรอบตัว นอนไม่หลับ พุดจ้าน้อย ความรู้สึกทางเพศเสื่อม
 - 1.2. ระยะกลาง อาการเป็นมากขึ้น เป็นตะคริว ปวดกล้ามเนื้อไม่ค่อยพุดจา หรือเวลาพุด พุดด้วยระดับเสียงเดียว หน้าตาไม่แสดงความยินดีร้าย เวลาหัวเราะกล้ามเนื้อเกร็งไปทั่วใบหน้า เวลาเดินเริ่มมีอาการกระตุก
 - 1.3. ระยะรุนแรง เวลาเดินมีอาการกระตุกมากขึ้น เดินแกว่งไปแกว่งมา ก้าวขาสั้น ๆ เดินหัวซุนไปข้างหน้า หกล้มบ่อย ๆ บางครั้งหัวเราะ บางครั้งร้องไห้ กลืนน้ำลายลำบาก หรืออาจมีอาการเป็นอัมพาตของร่างกายเป็นบางส่วน
2. อาการเกี่ยวกับปอด เกิดจากการหายใจเอาผงหรือไอระเหยของแมงกานีสเข้าไปอาจทำให้เกิดอาการปวดบวม โดยอาการเริ่มต้น เจ็บคอ เป็นไข้ ไอมีเสมหะ แน่นหน้าอก หายใจไม่ออก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อาการแบบเฉียบพลัน

ถ้าได้รับปริมาณมากในระยะสั้นๆ จะแสดงอาการแบบเฉียบพลัน เกิดอาการเป็นไข้ คลื่นไส้ อาเจียน ปวดเมื่อยลำตัว หลอดลมอักเสบ ปอดอักเสบ เป็นต้น

อาการแบบเรื้อรัง

เกิดจากการสะสม โดยผู้ป่วยได้รับแมงกานีสเข้าสู่ร่างกายตั้งแต่ 6 เดือนขึ้นไป แมงกานีสจะทำลายระบบประสาทส่วนกลางได้แก่ สมองทำให้เกิดอาการต่างๆ ดังต่อไปนี้ คือ ขาดความรู้สึกสนใจกับสิ่งแวดล้อม ไม่ได้ใจ ไม่โกรธ ไม่ยินดีในร้าย มีอาการเบื่ออาหาร อ่อนเพลีย หมดกำลัง ปวดศรีษะ นอกจากนี้ยังมีอาการปรากฏทางจิตประสาท เช่น ออยากหัวเราะหรือร้องไห้ เป็นพักๆ เนื่องจากอาการหดเกร็งของกล้ามเนื้อ มีความรู้สึกเคลิบเคลิ้มตาแข็ง นอนไม่หลับ และตามด้วยการง่วงเหงาหาวนอน ปวดศรีษะบ่อยๆ เป็นตะคริวที่ขา เกิดอาการตื่นเต้น สมรรถภาพทางเพศเสื่อม ไม่มีกำลัง ทั้งนี้เนื่องจากเกิดการตายด้าน พูดจาตะกุกตะกัก, ขาดเป็นห้วง ๆ พูดลำบาก ไม่ติดต่อกัน เป็นไข้เฉียบ, เติงง่วงง่าน การทรงตัวเสีย เติงหน้าดอยหลังลำบาก เติงคล้ายไก่อ้วชุนไปข้างหน้า มีเหงื่อออกมาก

แมงกานีสจะทำลายปมเซลล์ประสาททำให้ผิวหนัง หลอดโลหิต หลอดน้ำเหลืองเสื่อมลง แมงกานีสจะไปทำลายศูนย์กลางที่บังคับการยึดหดของโลหิต ซึ่งอยู่ในสมอง สำหรับคนที่มีโรคแทรก เช่น เป็นโรคพิษสุราเรื้อรัง ชิฟิลิส มาลาเรีย ตับอักเสบ ก็จะทำให้มีอาการทรุดลงอีก โรคแพ้พิษแมงกานีสโดยทั่วไปไม่ใช่โรคที่ทำให้ถึงตาย แต่เป็นโรคที่สร้างความพิการถาวร

มาตรฐานของแมงกานีส

เนื่องจากแมงกานีสเป็นโลหะชนิดหนึ่งที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพและก่อให้เกิดโรค ดังนั้นจึงต้องมีการกำหนดมาตรฐานแมงกานีสเพื่อป้องกันอันตรายดังกล่าว โดยตามประกาศกระทรวงมหาดไทย เรื่องความปลอดภัยในการทำงานเกี่ยวกับภาวะแวดล้อม(สารเคมี) กำหนดให้แมงกานีสมีความเข้มข้นสูงสุดไม่ว่าระยะเวลาของการทำงานตามปกติต้องไม่เกิน 5 มิลลิกรัมต่ออากาศ 1 ลูกบาศก์เมตร ส่วนตามมาตรฐานสากล (ACGIH-TLV) กำหนดให้มีปริมาณไอระเหยของแมงกานีสไม่เกิน 1 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตรของอากาศ ส่วนปริมาณฝุ่นของแมงกานีสไม่เกิน 5 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตรของอากาศ ตามข้อเสนอของกองอาชีวอนามัย กำหนดให้

1. แมงกานีสในเลือดไม่ควรเกิน 0.008 มิลลิกรัมต่อ 100 มิลลิลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. แอมงกานีสในปัสสาวะไม่ควรเกิน 0.025 มิลลิกรัมต่อลิตร

ตารางที่ 2.2 แสดงค่ามาตรฐานของแอมงกานีสในน้ำที่กำหนดโดยองค์กรต่าง ๆ (John, 1997)

หน่วยงาน	มาตรฐาน (มิลลิกรัมต่อลิตร)	หมายเหตุ
USEPA	0.05	United State Emergency Public Association
USPHS	0.05	United State Health Service
EC	0.02	European Community
WHO	0.05	World Health Organization

การกำจัดแอมงกานีสในน้ำ

การกำจัดแอมงกานีสในน้ำส่วนใหญ่นำมาทำได้ง่ายโดยทั่วไปใช้วิธีในการกำจัดแอมงกานีส 7 วิธีดังนี้คือ

1. การเติมอากาศ เป็นการกำจัดแอมงกานีส (Mn) โดยใช้ก๊าซออกซิเจน (O₂) ในอากาศไปออกซิไดส์แอมงกานีสที่อยู่ในน้ำที่อยู่ในรูปของแอมงกานีสไบคาร์บอเนตให้เปลี่ยนไปเป็นแอมงกานีสไฮดรอกไซด์ ซึ่งจะมีการตกตะกอนลงอย่างรวดเร็ว และจะเสร็จสิ้นเมื่อค่าพีเอช เท่ากับ 10 หรือมากกว่า ในทางปฏิบัติ ออกซิเจน 0.29 พีพีเอ็ม จะตกตะกอนแอมงกานีสได้ 1 พีพีเอ็ม (ณรงค์, 2540) โดยที่ปฏิกิริยาออกซิเดชันระหว่าง แอมงกานีสและออกซิเจน (ธวัชชัย และ ทากาชิ, 2540) ดังนี้



เมื่อค่า พีเอชมีค่าสูงขึ้น การเกิดปฏิกิริยาจะเกิดได้เร็วขึ้น (การเกิดการออกซิไดส์ได้ดีขึ้น) (ณรงค์, 2540) การเติมอากาศจะนิยมใช้แบบ Coke Tray Aerator คือ มีการปล่อยให้น้ำไหลออกลงมาจากชั้นตะแกรงซึ่งจะมีถ่านโค้กอยู่ ซึ่งแอมงกานีสที่ถูกออกซิไดส์จะตกตะกอนติดกับถ่านโค้ก การเติมอากาศจะให้ผล 2 ทาง คือ

1. ช่วยในการออกซิไดส์แอมงกานีส
2. ลดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ละลายในน้ำ ซึ่งจะช่วยให้เพิ่มพีเอช

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การออกซิไดส์ด้วยไฮโปคลอไรต์ คลอรีน หรือ คลอรีนไดออกไซด์ โอโซน และ กรอง

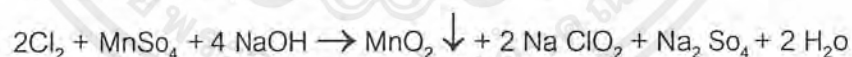
2.1 การใช้ไฮโปคลอไรต์, คลอรีน, คลอรีนไดออกไซด์ เป็นการออกซิไดส์ที่แรงกว่าการเติมอากาศอย่างมาก และปฏิกิริยาการออกซิไดส์จะเกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็วและสมบูรณ์ แต่ก็ไม่สามารถออกซิไดส์แมงกานีสที่อยู่ในรูปสารอินทรีย์ได้ ถ้ามีการเติมคลอรีนมากเกินไปจะทำให้ น้ำมีกลิ่น และรสชาติเปลี่ยนไป (ณรงค์, 2540) ซึ่งการเติมด้วยคลอรีนจะเกิดได้ดีที่พีเอชช่วง 8.5-10.0 แต่จะมีการเกิดสารจำพวกไตรฮาโลมีเทน (THM) ต้องใช้คลอรีน 1.29 มิลลิกรัมต่อลิตร เพื่อกำจัด Mn^{2+} 1 มิลลิกรัมต่อลิตรโดยที่ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น (ธวัชชัย และ ทากาชิ, 2540) ดังนี้



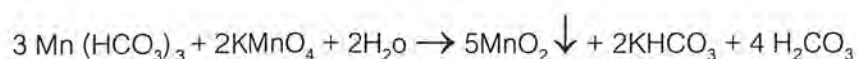
2.2 การใช้คลอรีนไดออกไซด์ (ClO_2) นอกจากจะกำจัดแมงกานีสได้อย่างมีประสิทธิภาพแล้วยังมีประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อโรคได้ดีกว่าคลอรีน และยังไม่ก่อให้เกิดไตรฮาโลมีเทน (THM) แต่มีข้อเสีย คือ มีราคาแพง จึงใช้กำจัดแมงกานีสที่เข้มข้นไม่เกิน 1 มิลลิกรัมต่อลิตรโดยที่ ต้องใช้คลอรีนไดออกไซด์ 2.5 มิลลิกรัมต่อลิตรเพื่อกำจัดแมงกานีส 1 มิลลิกรัมต่อลิตร (ยุวดี, 2538) โดยมีปฏิกิริยาการเติมคลอรีนออกไซด์ (ธวัชชัย และ ทากาชิ, 2540) ดังนี้



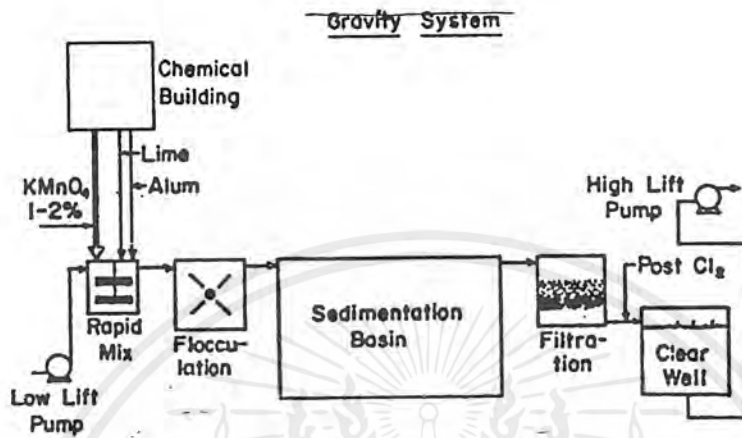
หรือ



2.3 การใช้โปแตสเซียมเปอร์แมงกาเนตโดยที่โปแตสเซียมเปอร์แมงกาเนตจะออกซิไดส์ไอออนแมงกานีสให้เป็นแมงกานีสออกไซด์อย่างรวดเร็วที่ระยะเวลาประมาณ 5 นาที (ยุวดี, 2538) แต่การใช้โปแตสเซียมเปอร์แมงกาเนตควรมีการควบคุมปริมาณให้เหมาะสม (ธวัชชัย และ ทากาชิ, 2540) ช่วงพีเอชที่เหมาะสมจะอยู่ในช่วง 6-9 และต้องใช้โปแตสเซียมเปอร์แมงกาเนต 1.92 มิลลิกรัมต่อลิตร เพื่อกำจัดแมงกานีส 1 มิลลิกรัมต่อลิตร (ณรงค์, 2540) โดยมีปฏิกิริยาการเติมโปแตสเซียมแมงกาเนต (ยุวดี, 2538) ดังนี้

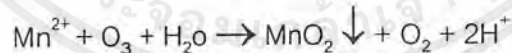


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

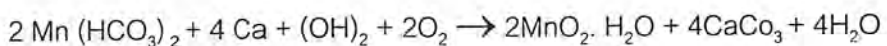


รูปที่ 2.2 ระบบตกตะกอนในถังตกตะกอนโดยใช้ต่างทับทิม

2.4 การใช้โอโซน มีข้อดี คือเป็นตัวที่เติมออกซิเจนที่แรง และมีประสิทธิภาพมากที่สุด และข้อเสีย คือมีราคาแพงและถ้าใส่มากเกินไปจะทำให้น้ำมีสีชมพู เพราะจะเกิดการเปลี่ยนแมงกานีสเป็นเปอร์แมงกานีส และต้องใช้ออกซิเจน 0.87 มิลลิกรัมต่อลิตร เพื่อกำจัดแมงกานีส 1 มิลลิกรัมต่อลิตร (ธวัชชัย และ ทากาชิ, 2540) โดยมีปฏิกิริยาการเติมโอโซน (ธวัชชัย และ ทากาชิ, 2540) ดังนี้



3. กระบวนการกำรปูน - โซดา ใช้การเติมปูนขาวและโซดาแอช เป็นการกำจัดความกระด้างซึ่งจะทำปฏิกิริยาใน Sludge Contact Clarifier โดยปรับค่า พีเอชให้ใกล้กับ Isoelectric point ที่ พีเอช 9.4 และแมงกานีสจะตกตะกอนในรูปของคาร์บอเนต ที่พีเอช 9.2 และไฮดรอกไซด์ที่พีเอช 11.5 (ณรงค์, 2540) โดยมีปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นดังนี้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. การใช้ Ion Exchange Resin ใช้เรซิน (Resin) ที่เป็นโซเดียมฟอร์ม (Na-form) ซึ่งจับแมงกานีสได้สำหรับน้ำบางชนิด (ณรงค์, 2540) และในน้ำจะต้องมีปริมาณแมงกานีสไม่มาก ประมาณ 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตรหรือน้อยกว่า (ยุวดี, 2538) นอกจากนี้เรซินในรูปของไฮโดรเจนฟอร์ม (H-form) สามารถจับแมงกานีสไบคาร์บอเนต คาร์บอเนต หรือ ซัลเฟตได้ (ณรงค์, 2540)

5. การทำให้ไม่ตกผลึก (Stabilization or Sequestering) การทำให้แมงกานีสอยู่ในสารละลายโดยไม่ทำให้เกิดตกผลึกโดยที่แมงกานีสต้องอยู่ในรูปของไอออน สารที่ทำให้ไม่ตกผลึก ได้แก่ โซเดียมเฮกซาเมทาฟอสเฟต, ไตรโซเดียมฟอสเฟต, โซเดียมซิลิเกต สารเหล่านี้จะถูกนำมาใช้เมื่อในน้ำมีค่าแมงกานีสน้อยกว่า 2.5 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งการใช้สารนี้ขึ้นอยู่กับระบบน้ำในชุมชน (ยุวดี, 2538)

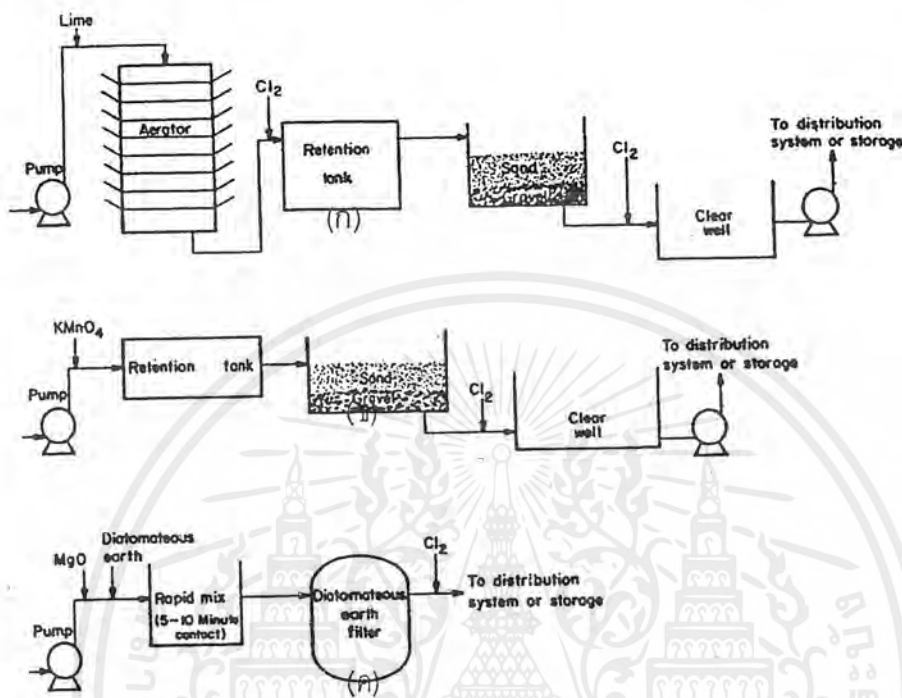
6. การใช้สารเคมี เป็นการใส่สารคีเลตจับกับแมงกานีส เป็นสารประกอบเชิงซ้อน ถ้ามีสารเคมีที่จับกับแมงกานีสได้ และเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนของแมงกานีสที่ละลายน้ำ ไอออนของแมงกานีสจะถูกจับไว้ในโมเลกุลของสารคีเลต จึงไม่ก่อให้เกิดปัญหาต่อไปอีก สารคีเลตที่นิยมใช้คือ

1. เกลือของโซเดียม EDTA
2. เกลือโซเดียมของ NTA
3. H-EDTA หรือ EDTA-OH
4. กรดไฮดรอกซีคาร์บอริก เช่น กรดกลูโคนิก กรดทาร์ทาริก กรดซิตริก
5. พวงโพลีฟอสเฟต เช่น เดตราโซเดียมไพโรฟอสเฟต โซเดียมไตรโพลีฟอสเฟต (STP) และโพลีฟอสเฟตอื่น ๆ

7. การใช้วิธีทางชีวภาพ

จุลินทรีย์ที่ใช้ในการดูดซับโลหะหนักในน้ำเสียมีหลายประเภท ทั้งแบคทีเรีย ยีสต์ รา และสาหร่าย มีลักษณะการให้ออก 2 แบบคือการใช้ในรูปของแอกทีฟเซลล์ และอินแอกทีฟเซลล์ (Volesky, 1987) ลักษณะการดูดซับโลหะหนักโดยจุลินทรีย์ จะแบ่งออกเป็น 2 ช่วง โดยช่วงแรกโลหะหนักจะถูกจับอยู่ที่ผิวเซลล์ และช่วงที่สองจะเป็นการนำโลหะหนักเข้าสู่เซลล์ เพื่อกำจัดหรือลดความเป็นพิษต่อไป (Rapoport และ Muter, 1995) โดยกลไกในการดูดซับในแอกทีฟเซลล์และอินแอกทีฟเซลล์มีความแตกต่างกันคือ ในแอกทีฟเซลล์ จะดูดซับโลหะหนักโดยอาศัยกลไกการนำ

สารเข้าสู่เซลล์และกระบวนการเมตาบอลิซึมภายในเซลล์ ในส่วนอินแอคทีฟเซลล์จะทำการดูดซับ โดยอาศัยปฏิกิริยาทางเคมีที่เกิดกับหมู่ฟังก์ชันขององค์ประกอบของผนังเซลล์ (Volesky, 1987)



รูปที่ 2.3 การกำจัดแมงกานีสแบบ (ก) โดยใช้กระบวนการปูน - โซดา (ข) ตกตะกอนโดยใช้ต่างทับทิม และ (ค) โดยใช้แรงโน้มถ่วงของโลก

หลักเกณฑ์ในการเลือกจุลินทรีย์ดูดซับโลหะหนัก (Volesky, 1987)

1. สามารถเพิ่มปริมาณชีวมวลได้ง่ายและรวดเร็วโดยใช้ค่าใช้จ่ายต่ำ
2. สามารถดูดซับโลหะหนักได้หลายชนิด ไม่เฉพาะเจาะจงต่อโลหะชนิดใดชนิดหนึ่งเท่านั้นเพราะโลหะหนักในน้ำทั้งส่วนใหญ่เป็นสารละลายโลหะผสม
3. สามารถดูดซับโลหะออกจากสารละลายได้อย่างรวดเร็ว และมีประสิทธิภาพสูง
4. การแยกจุลินทรีย์ดูดซับจากสารละลาย ควรแยกได้ง่าย รวดเร็วและมีประสิทธิภาพสูง ค่าใช้จ่ายต่ำ
5. วิธีการในการทำให้จุลินทรีย์ดูดซับปล่อยโลหะหนักออกมานั้นควรทำได้ง่าย รวดเร็ว และมีประสิทธิภาพสูง
6. สารเคมีที่ใช้ในการทำให้ปลดปล่อยโลหะออกมาควรมีราคาถูก หาได้ง่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. การทำให้จุลินทรีย์ดูดซับปลดปล่อยโลหะหนักออกมานั้นควรมีการสูญเสียจุลินทรีย์ดูดซับน้อยมาก

8. สามารถนำจุลินทรีย์ดูดซับกลับมาใช้ดูดซับโลหะหนักใหม่ได้
การดูดซับโลหะหนักโดยจุลินทรีย์

จุลินทรีย์จะดูดซับโลหะหนักจากสารละลายโดยการดูดซับโลหะหนักมาไว้ที่ผนังเซลล์ (การสะสมภายนอกเซลล์) โลหะหนักสามารถสะสมและตกตะกอนได้บริเวณผิวเซลล์ การดูดซับโลหะหนักโดยจุลินทรีย์หรือเซลล์ของสาหร่ายเกี่ยวข้องกับกลไกทางเคมีและโครงสร้างของเซลล์ซึ่งไม่เกี่ยวข้องกับกลไกการสร้างพลังงาน โดยมีการเชื่อมกันบางส่วนของโลหะกับบริเวณผิวที่ถูกดูดซับและสะสมตกตะกอนอยู่สามารถนำออกจากของเสียได้ กลไกต่างๆที่ผิวเซลล์มีการดูดซับซึ่งสามารถทำการวิเคราะห์และพบว่ามีกลไกต่าง ๆ คือ Cation exchange, Complexation (Co-ordination), Chelator และการตกตะกอน ขบวนการเหล่านี้อาจเกิดขึ้นขบวนการเดียวหรือหลายขบวนการขึ้นอยู่กับชนิดของโลหะ และชนิดของ จุลินทรีย์ ซึ่งจุลินทรีย์ต่าง ๆ นั้นมีโครงสร้างลักษณะของผนังเซลล์ต่างๆ กัน ผนังเซลล์ของแบคทีเรีย รา และสาหร่าย จะประกอบด้วยแมนแนนโพลีแซคคาไรด์ กาแลคโตซามีน ไคติน โปรตีน และไขมัน แต่ผนังเซลล์ของสาหร่ายจะประกอบด้วย เซลลูโลส และสารพวกเจลาติน ด้วยเหตุที่ส่วนประกอบภายในที่แตกต่างกันเนื่องมาจากการจัดเรียงตัวของหมู่ที่มีขั้วภายในเซลล์จะมีผลต่อการดูดซับโลหะและทำให้การกระจายของประจุภายในผนังเซลล์ต่างกันจะมีผลต่อการดูดซับโลหะซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของจุลินทรีย์ด้วย ดังนั้นจึงจะต้องควบคุมปริมาณโลหะหนักหรือสายพันธุ์ของจุลินทรีย์ให้มีความเหมาะสมที่จะดูดซับด้วยการควบคุมสภาวะการเจริญของจุลินทรีย์โดยเลือกชีวมวลที่เหมาะสม โดยการปรับปรุงชีวมวลโดยทางเคมี หรือทางกายภาพ ตลอดจนควบคุมพันธุกรรมของจุลินทรีย์ ที่ถูกเลือกในการปรับปรุงผิวเซลล์ให้สามารถจับกับโลหะหนักได้ดีขึ้นและทำให้ผิวเซลล์ของ จุลินทรีย์มีลักษณะตามที่ต้องการ ได้ด้วยวิธีทางเคมี เช่น การใช้แอลกอฮอล์หรือโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์หรือวิธีทางกายภาพ เช่น การให้ความร้อนซึ่งจะทำให้เกิดการเสียสภาพหรือเกิดการละลายได้ (Beveride, 1978)

กลไกที่โลหะหนักจะเกิดพันธะหรือการดูดซับกับผิวเซลล์ขึ้นกับชนิดของชีวมวล และปฏิกิริยาเคมีของการดูดซับที่ขึ้นกับโลหะ เช่น ปฏิกิริยาการดูดซับยูเรเนียมกับผิวเซลล์จุลินทรีย์อธิบายถึงความเหมาะสมของลักษณะ และความซับซ้อนของปฏิกิริยาที่เกี่ยวข้องได้ และยัง สามารถประยุกต์ใช้กับโลหะหนักชนิดอื่นได้อีกด้วย ความเกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาเคมี โดยบริเวณแอกทีฟต่างๆและหมู่ลิแกนด์จะเกี่ยวข้องกับไอออนของยูเรนิลบางบริเวณ เช่นหมู่คาร์บอกซิล และฟอสฟิเลจะสร้างพันธะปฐมภูมิกับยูเรเนียม ในขณะที่พันธะอย่างอ่อน (พันธะทุติยภูมิ) จะถูก

สร้างที่บริเวณผิวของหมู่ไฮดรอกซิล และเอมิลเป็นต้น ซึ่งจะทำให้เกิดลักษณะที่ซับซ้อนขึ้นกับบริเวณปฐมภูมิ ซึ่งความซับซ้อนของไอออนยูเรเนียม และระดับของการสะสมทำให้มีความเป็นไปได้ว่า บริเวณที่ไม่เป็นไอออนของผิวเซลล์ อาจเกี่ยวข้องกับการตกผลึกของโลหะที่เพิ่มขึ้นของบริเวณยูเรเนียมที่ซับซ้อนนั่นเองซึ่งโลหะที่มาเชื่อมก่อนหน้าจะทำหน้าที่เสมือนบริเวณ นิวคลีเอชัน (Nucleation) เพื่อลดจำนวนโลหะอื่นๆ กระบวนการนี้สามารถเกิดขึ้นเองโดยลำพังที่จุดเชื่อม ด้วยกลไกที่ผิวกลไกต่อไปของการดูดซับซึ่งเป็นเพียงปฏิกิริยาการตกตะกอน (Beveride, 1978) กระบวนการแลกเปลี่ยนไอออนบวก และปฏิกิริยาการตกตะกอน สามารถเกิดโดยลำพังหรือเกิดพร้อมกันหรืออาจเกิดร่วมกันแบบต่อเนื่อง ด้วยปฏิกิริยาการนิวคลีเอชันก็ได้ ความหลากหลายนี้เกิดกับสิ่งมีชีวิต และโลหะภายใต้สิ่งที่ควรพิจารณา เช่น *Rhizopus arrhizus* ประกอบด้วยกลไกการสะสมยูเรเนียมถึงสามกลไก ซึ่งกลไกทั้งสามเหล่านี้มีความสัมพันธ์กันอย่างใกล้ชิดในชั้นแรกยูเรเนียมไอออนจะรวมกับไนโตรเจนในหมู่อะมิโนของไคติน ภายในผนังเซลล์ และบริเวณที่เกิดปฏิกิริยาร่วมนี้ จะทำหน้าที่เสมือนบริเวณที่เกิดนิวคลีเอชันสำหรับการตกผลึกและการลดจำนวนยูเรเนียมในครั้งต่อไปด้วย ส่วนกระบวนการสุดท้ายจะเกี่ยวข้องกับกระบวนการตกตะกอนยูเรนิลไฮดรอกไซด์ภายในไคตินของผนังเซลล์ กระบวนการหลังนี้จะเกิดขึ้นช้า (Volesky, 1987) กลไกเหล่านี้จะเกิดขึ้นได้ในผนังเซลล์ของสาหร่ายด้วย ในผนังเซลล์ของสาหร่ายมีหมู่คาร์บอกซิล เอมิล ไฮดรอกซิล ฟอสฟิเลต เอไมด์ อิมิดาโซล ไธออล และไฮโดรไอเทอร์ สาหร่ายจำนวนมากมีความสำคัญในการดูดซับโลหะซึ่งรวมทั้ง *Chlorella* และ *Urothrix* (Geoffrey และคณะ, 1992; Beveride, 1978)

จุลินทรีย์ดูดซับโลหะหนักจากสารละลายโดยการดูดซับโลหะหนักเข้าไปสะสมไว้ในเซลล์ กลไกการขนส่งสารรวมทั้งโลหะที่ศึกษามีอยู่ 3 กระบวนการ เกิดเช่นเดียวกันทั้งในเซลล์โปรคาริโอต และยูคาริโอต กระบวนการที่เกิดขึ้นมีดังนี้คือการแพร่ (Diffusion) แบบธรรมดา การแพร่แบบ Facilitated Diffusion และกระบวนการขนส่งอิเลคตรอน (Active Transport) (Brierley และคณะ, 1989)

โลหะหนักสามารถสะสมในจุลินทรีย์ได้จากขบวนการแพร่และขบวนการแอกทีฟทรานสปอร์ต การแพร่แบบธรรมดาของไอออนเกิดจากการตอบสนองทางเคมีไฟฟ้าของเซลล์เมมเบรนหรือความแตกต่างของความเข้มข้นระหว่างเมมเบรน พบว่าระดับความแตกต่างของความเข้มข้นจะค่อย ๆ ลดลง เมื่อมีการแพร่จากความเข้มข้นสูงสู่ที่มีความเข้มข้นต่ำ โดยเฉพาะในระบบชั้นทุติยภูมิของแบคทีเรีย การสะสมภายในเซลล์เหล่านี้ค่อนข้างเป็นไปได้ยาก เพราะต้องขึ้นกับปัจจัยหลาย ๆ อย่าง เช่นสภาพแวดล้อมของจุลินทรีย์ ความจำเพาะของสารที่ส่งผ่านเมมเบรนของเซลล์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สภาพสรีระวิทยาของจุลินทรีย์ อัตราเมตาบอลิซึมของเซลล์ ซึ่งถ้าอัตราเมตาบอลิซึมของเซลล์อยู่ในระดับต่ำเซลล์จะมีพลังงานไม่พอที่จะใช้ขบวนการแอกทีฟ ทรานสปอร์ตนำสารเข้าสู่เซลล์ซึ่งขบวนการนี้เป็นกระบวนการหลักในการบำบัดของเสียโดยวิธีทางชีวภาพให้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ จุลินทรีย์จะดูดซับโลหะหนักจากสารละลายได้โดยการผลิตสารเมตาบอลิต์ แล้วขับออกมานอกเซลล์เพื่อสร้างสารประกอบเชิงซ้อนกับโลหะหนัก ซึ่งจะทำให้โลหะหนักในสารละลายลดปริมาณลงได้ (Danial, 1967)

การศึกษาที่เกี่ยวข้องกับแมงกานีสในสาหร่าย

ในพืชถ้าขาดแมงกานีสจะทำให้การเจริญเติบโตหยุดชะงักและไม่มีการผลิตเมล็็ด สำหรับการเจริญเติบโตของ *Chlorella* แมงกานีสจะไปเร่งปฏิกิริยาของเอนไซม์หลายชนิด และยังเป็นส่วนประกอบของเอนไซม์หลายชนิดอีกด้วย ในสาหร่ายแมงกานีสจะอยู่ร่วมกับธาตุอื่น ๆ เกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนของแมงกานีส และ Galactosyl Diglyceride ซึ่งพบในสาหร่ายสีเขียว และสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน อัตราการสังเคราะห์แสงจะลดลงเสมอเมื่อไม่มีแมงกานีส และอัตราการสังเคราะห์แสงจะกลับสู่สภาพเดิมได้ เมื่อเติมเกลือแมงกานีสลงในอาหาร (Vymazal, 1995)

Eyster (1958, อ้างตาม Vymazal, 1995) รายงานว่า การเจริญเติบโตแบบ Autotrophic ต้องการแมงกานีสมากกว่าการเจริญแบบ Heterotrophic

Brown (1958, อ้างตาม Vymazal, 1995) รายงานว่า การเจริญของ *Chlorella* ในที่ที่มีแสงจะต้องการแมงกานีสสูงกว่าการเจริญในที่มืด ถึง 100-1,000 เท่า สาหร่ายสีเขียวต้องการแมงกานีสมากกว่าสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน และพืชชั้นสูง

Arnon (1956, อ้างตาม Vymazal, 1995) ได้รายงานว่ ใน *Chlorella* แมงกานีสจะช่วยเพิ่มการสร้างคลอโรพลาสต์เพื่อใช้ตรึงก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และการสังเคราะห์ไกลโคเลท (Glycolate) ซึ่งจะขึ้นอยู่กับแมงกานีส และในที่ที่ไม่มีแสงและแมงกานีส *Chlorella* สามารถเจริญเติบโตได้โดยใช้กลูโคสเป็นแหล่งอาหารหลัก เมื่ออยู่ในสภาพที่มีแสง มีการนำแมงกานีสไปใช้สำหรับการเจริญเติบโต อธิบายโดยใช้สมการของ Michaelis – Menten Equation ซึ่ง Sunda and Huntsman (1986, อ้างตาม Vymazal, 1995) พบว่าค่าคงที่ของการเจริญเติบโต (Half-Saturation Constant; K_s) จะไม่แปรผันตามกับความเข้มข้นของแมงกานีส แต่ในทางตรงกันข้าม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าอัตราการเจริญสูงสุด (Maximum-Saturation Uptake rate; V_{max}) ของไดอะตอมและ *Pseudomonas* จะลดลงเป็น 7 เท่า เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของแมงกานีส ไอออนในอาหารเลี้ยงเชื้อในสาหร่าย *Anabaena cylindrica* ผลของ พอลิเปปไทด์ (Polypeptide) ที่อยู่ภายนอกเซลล์ ที่ใช้ในการรีดิวซ์สารพิษของโลหะหนัก เมื่อมีความเข้มข้นของสารประกอบอินทรีย์สูงจะสามารถรีดิวซ์พิษของโลหะหนักเป็น Hydroxamic Acid ซึ่งเป็นตัวอย่างของสารในการเกิดสารประกอบโลหะเชิงซ้อน (Complexing-Metal) ที่ถูกปล่อยโดยสาหร่ายตามธรรมชาติ

Francke and Hillebrandt (1980, อ้างตาม Vymazal, 1995) พบว่าผนังเซลล์ของสาหร่ายสีเขียวแบบเส้น (Filamentous Algal) สามารถทำให้เกิดการตกตะกอนของคอปเปอร์ได้ครึ่งหนึ่งของที่มีอยู่เดิม และในสาหร่ายบางชนิดจะเกิดการหลั่งสารพอลิเมอร์ (Polymer) ซึ่งมีขนาดใหญ่และไหลไปรวมกันภายนอกเซลล์ ซึ่งมักเป็น สารพวก Polysaccharide ที่มีสมบัติเป็น Anionic ซึ่งสามารถรวมกับโลหะหนักได้ คาร์จีแนนในสาหร่ายสีแดงสามารถรวมกับโลหะหนักได้ เพราะมีสมบัติในการแลกเปลี่ยนประจุบวกสูง พวกที่มีส่วนประกอบในผนังเซลล์เป็นพวกกรดอ่อนในจุลินทรีย์บางชนิด เช่นใน *Scenedesmus obliquus* สามารถสังเคราะห์พอลิเมอร์ออกมาจากเซลล์เมมเบรนได้ ซึ่งพอลิเมอร์ที่ได้ออกมานี้ จะสามารถรวมกับไอออนของสารละลาย และโปรตีนบนผิวของเซลล์ก็สามารถรวมตัวกันในลักษณะอื่น ๆ ได้อีก

การนำเอาพิษของไอออนของโลหะออก ในอาหารหรือที่ผิวหน้าเซลล์จะเกิดขึ้นด้วยกลไกที่เรียกว่า Exclusion Mechanism ซึ่งไอออนของโลหะจะไม่สามารถผ่านเซลล์เมมเบรนไปได้ Lobban และคณะ (1985, อ้างตาม Vymazal, 1995)

Irmer และคณะ (1985, อ้างตาม Vymazal, 1995) ในรายงานก่อนหน้ารายงานว่าโลหะหนักมักจะถูกนำไปใช้ในออร์กาเนลต่างๆของเซลล์ เช่น ไมโทคอนเดรีย, แวกคิวโอล, คลอโรพลาสต์, นิวคลีโอ, ผนังเซลล์ หรือในอายสปอต (eyespot) การที่โลหะหนักสามารถผ่านเข้าไปได้เกิดจากการทำลาย หรือการเปลี่ยนแปลงลักษณะของเมมเบรน

Rothstein (1959, อ้างตาม Vymazal, 1995) พบว่าโลหะหนักมีผลกับหมู่ซัลไฟดิลในเยื่อหุ้มเซลล์ทำให้เกิด - S - metal - S - bridges และ Simkiss (1979, อ้างตาม Vymazal, 1995) ได้อธิบายความสำคัญของโปรตีน และ ไลโปโปรตีน ที่เชื่อมพันธะกับโลหะแล้วจะทำให้ไม่เกิดการ

ทำงานภายในเซลล์ ซึ่งเป็นที่น่าสนใจว่า โลหะนั้นแยกเข้าไปอยู่ใน Polyphosphate bodies ได้อย่างไร

Widra (1959, อ้างตาม Vymazal, 1995) กล่าวว่า Polyphosphate bodies ในแบคทีเรียนั้นประกอบด้วย P, Mg, Lipoprotein และ RNA โดย Baxter and Jensen (1980, อ้างตาม Vymazal, 1995) ได้อธิบายว่า Polyphosphate bodies ประกอบด้วยส่วนประกอบ 3 ส่วน คือ ฟอสโฟสเฟตทำให้เกิดประจุลบที่ผิวของเมมเบรนและทำให้สามารถจับกับไอออนของโลหะได้ ลิพิดที่สามารถจับกับโลหะได้และสุดท้ายคือโปรตีนที่เป็นส่วนหลักที่ทำให้เกิดการจับกับโลหะหนัก

Watanabe และคณะ (1989, อ้างตาม Vymazal, 1995) สรุปว่า ความเข้มข้นภายในเซลล์ และผลที่เกิดขึ้นของโลหะจะขึ้นอยู่กับปริมาณของฟอสโฟสเฟตที่มีอยู่ภายในเซลล์ เซลล์ที่มีฟอสเฟตจะไวต่อการรับพิษของโลหะมากกว่าเซลล์ที่ไม่มีฟอสเฟต

ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการศึกษาโลหะหนัก

กระบวนการดูดซับโลหะหนักขึ้นอยู่กับลักษณะทางเคมีของไอออนโลหะ คุณลักษณะที่เฉพาะเจาะจงของผิวเซลล์จุลินทรีย์ ลักษณะทางกายภาพของเซลล์ และลักษณะทางเคมีกายภาพของสิ่งแวดล้อม เช่น พีเอช อุณหภูมิ สายพันธุ์ของจุลินทรีย์ และระดับความเข้มข้นของโลหะ (Sag and Kutsal, 1995)

ผลกระทบของพีเอช

การดูดซับโลหะโดยจุลินทรีย์ค่าของพีเอชที่ใช้ต้องมีค่าเหนือจุดสมดุลของความเข้มข้นของไอออนระหว่างสารละลายโลหะหนักกับผิวเซลล์จุลินทรีย์ (Isoelectric Point) ซึ่งมันจะมีผลทำให้ผิวเซลล์มีประจุเป็นลบ ทำให้เกิดการดูดซับตะกั่วได้ดียิ่งขึ้น แต่ในทางกลับกัน ถ้าพีเอชที่ใช้มีค่าต่ำกว่าจุดสมดุลดังกล่าวแล้ว จะทำให้ประจุสุทธิที่อยู่ผิวหน้าเซลล์เป็นบวก ทำให้เกิดการขัดขวางการจับกันระหว่างเซลล์จุลินทรีย์กับไอออนบวกของโลหะ การดูดซับโลหะหนักจึงเกิดขึ้นได้น้อยลง (Sag and Kutsal, 1995) และที่พีเอชที่ต่ำกว่า 4.5 มีผลให้การดูดซับโลหะลดลง เนื่องจากความเป็นกรดที่เกิดขึ้นจะไปสลายสาร โพลีแซคคาไรด์ที่อยู่ตรงบริเวณผนังเซลล์เกิดการสลายพันธะระหว่างไอออนบวกของกับผนังเซลล์ และความเป็นกรดที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออนสูง เข้าไปแย่งจับบริเวณผนังเซลล์ของ จุลินทรีย์ทำให้เกิดการดูดซับโลหะได้น้อยลงตามไปด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลกระทบของอุณหภูมิ

อุณหภูมิจะมีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพการดูดซับโลหะหนัก คือเมื่อเพิ่มอุณหภูมิพบว่าจะมี การดูดซับโลหะหนักได้มากขึ้น ในเชื้อจุลินทรีย์บางชนิดเช่น ยีสต์ ที่อุณหภูมิต่ำกว่า 25 องศาเซลเซียส จะทำให้ขบวนการเมตาบอลิซึมของเซลล์เกิดได้น้อยหรือไม่เกิดขึ้นเลย ซึ่งมีผลทำให้การดูดซับโลหะหนักลดน้อยลง โดยทั่วไปแล้วการทดลองส่วนใหญ่จะนิยมใช้อุณหภูมิในช่วง 25-35 องศาเซลเซียส ซึ่งถือว่าเป็นช่วงอุณหภูมิที่ทำให้เกิดการดูดซับโลหะหนักได้สูงสุด (Sag and Kutsal, 1995)

ผลกระทบของความเข้มข้นของโลหะหนัก

ความเข้มข้นของโลหะหนักเริ่มต้นในสารละลายมีผลกระทบต่อประสิทธิภาพการดูดซับโลหะหนัก พบว่าเมื่อเลี้ยงจุลินทรีย์ในสภาวะที่มีค่าพีเอช และอุณหภูมิที่เหมาะสม เมื่อทำการเพิ่มความเข้มข้นของโลหะหนักลงไปในสารละลาย จะทำให้การดูดซับโลหะหนักของจุลินทรีย์สูงขึ้นตามไปด้วย จนกระทั่งถึงจุดสมดุลของการดูดซับ หลังจากนั้นการเพิ่มความเข้มข้นของโลหะต่อไปอีก จะมีผลทำให้การดูดซับโลหะลดต่ำลง เนื่องจากพื้นที่ผิวของจุลินทรีย์บริเวณที่ใช้ในการดูดซับต่ำลง ทำให้การดูดซับลดต่ำด้วย ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ความเข้มข้นของโลหะหนักที่จุลินทรีย์สามารถดูดซับได้มีความสัมพันธ์กับความเข้มข้นของโลหะหนักในแหล่งน้ำเสียต่างๆ นั่นคือ ถ้าความเข้มข้นของโลหะหนักในแหล่งน้ำเสียมีค่าสูงกว่าความสามารถในการดูดซับโลหะหนักของเชื้อจุลินทรีย์แล้ว จำเป็นต้องเจือจางน้ำเสียด้วยน้ำประปาให้มีความเข้มข้นของโลหะหนักในระดับที่จุลินทรีย์จะสามารถทำการดูดซับได้ (Ayla Ozer และคณะ, 1997)

บทที่ 3

อุปกรณ์และสารเคมี

3.1 อุปกรณ์ในการทดลอง

1. เครื่องเขย่าแบบควบคุมอุณหภูมิ (Incubator Shaker) ยี่ห้อ GALLENKAMP model ORBITAL INCUBATOR
2. เครื่องวัดพีเอช (pH meter) ยี่ห้อ DENVER model 215
3. Atomic Absorption Spectroscopy ยี่ห้อ GBC model AVANTA N/S 4939
4. เครื่องวัดความเข้มแสง (Digital Lux Meter) ยี่ห้อ DIGICON model LX-50
5. เครื่องนึ่งฆ่าเชื้อความดัน (Autoclave) ยี่ห้อ HIRAYAMA model HA-300 MIV
6. เครื่องชั่งแบบละเอียด ยี่ห้อ SCP Model SARTORIUS ANALYTIC
7. ตู้อบความร้อน (Hot Air Oven)
8. เครื่องปั่นเหวี่ยงแบบควบคุมอุณหภูมิ ยี่ห้อ SANYO model FALCON 6/300
9. เครื่องแก้วต่างๆ

สารเคมีที่ใช้

1. อาหารเลี้ยงสาหร่ายสูตร Bristol Medium
2. สารละลายแมงกานีสมาตรฐาน ($MnNO_3$ in Nitric Acid)
3. น้ำ Deionize Water
4. กรดไนตริก (Nitric Acid)
5. โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH)

3.2 วิธีการทดลอง

3.2.1 การเตรียมสาหร่าย *Cladophora* sp.

นำสาหร่าย *Cladophora* sp. นำมารวมไว้ในบีกเกอร์ขนาดใหญ่ที่อยู่ในบรรจุภัณฑ์จากแหล่งที่เก็บสาหร่าย นำสาหร่ายมาแบ่งเป็นส่วน ๆ ในปริมาณที่พอเหมาะใส่ในพลาสติกที่บรรจุอาหารเลี้ยงเชื้อ Bristol Medium นำไปเลี้ยงบนเครื่องเขย่าความเร็วรอบ 200 รอบต่อนาที ความเข้มแสง 1400 ลักซ์ ที่อุณหภูมิ 32 องศาเซลเซียส นำสาหร่ายที่เพิ่มปริมาณได้มาล้างด้วยน้ำกลั่นและอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียสเพื่อเทียบมาตรฐานน้ำหนักสาหร่ายสดให้เป็นน้ำหนักสาหร่ายแห้ง

3.2.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับแมงกานีสของสาหร่าย *Cladophora* sp.

3.2.2.1 ค่าพีเอชที่มีผลต่อการดูดซับแมงกานีสของสาหร่าย *Cladophora* sp.

เตรียมสาหร่าย *Cladophora* sp. ปริมาณ 0.25 กรัม น้ำหนักแห้ง (5 กรัม น้ำหนักสด) เลี้ยงในอาหาร Bristol Medium ปริมาณ 350 มิลลิลิตร ในพลาสติกขนาด 500 มิลลิลิตร ที่มีความเข้มข้นแมงกานีส 4 มิลลิกรัมต่อลิตร ปรับพีเอชเป็น 2.5, 4.0, 5.5, 7.0 และ 8.5 ทำ 5 การทดลอง ๆ ละ 3 พลาสติก นำไปเลี้ยงบนเครื่องเขย่าความเร็วรอบ 200 รอบต่อนาที ความเข้มแสง 1400 ลักซ์ ที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส วัดค่าแมงกานีสทุก ๆ 1 ชั่วโมงเป็นเวลา 17 ชั่วโมง ด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectroscopy (AA)

3.2.2.2 ปริมาณของสาหร่ายที่มีผลต่อการดูดซับแมงกานีสของสาหร่าย *Cladophora* sp.

เตรียมสาหร่าย *Cladophora* sp. ปริมาณ 0.15, 0.20 และ 0.25 กรัม น้ำหนักแห้ง (3 กรัม, 4 กรัม และ 5 กรัม น้ำหนักสดตามลำดับ) ใส่ลงในอาหาร Bristol Medium ปริมาณ 350 มิลลิลิตร ในพลาสติกขนาด 500 มิลลิลิตร ที่มีความเข้มข้น แมงกานีส 4 มิลลิกรัมต่อลิตร ปรับพีเอชให้ได้พีเอชที่มีผลต่อการดูดซับแมงกานีสที่ดีที่สุดจากข้อ 3.2.2.1 แล้วนำไปเลี้ยงบนเครื่องเขย่าความเร็วรอบ 200 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส และความเข้มแสง 1400 ลักซ์ ทำ 3 การทดลอง ๆ ละ 3 พลาสติก วัดค่าแมงกานีสทุก ๆ 1 ชั่วโมงเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ด้วยเครื่อง AA

3.2.2.3. อุณหภูมิที่มีผลต่อการดูดซับแมงกานีสของสาหร่าย *Cladophora* sp.

เตรียมสาหร่าย *Cladophora* sp. ในปริมาณที่มีผลต่อการดูดซับแมงกานีสที่ดีที่สุดจากข้อ 3.2.2.2 ใส่ลงในอาหาร Bristol Medium ปริมาณ 350 มิลลิลิตร ใน

พลาสติกขนาด 500 มิลลิลิตร และมีความเข้มข้นแมงกานีส 4 มิลลิกรัมต่อลิตร ปรับพีเอชให้ได้พีเอช ที่มีผลต่อการดูดซับแมงกานีสที่ดีที่สุดจากข้อ 3.2.2.1 แล้วนำไปเลี้ยงบนเครื่องเขย่าความเร็วรอบ 200 รอบต่อนาที ความเข้มแสง 1400 ลักซ์ ที่อุณหภูมิ 24, 28 และ 32 องศาเซลเซียส ทำ 3 การทดลอง ๆ ละ 3 พลาสติก วัดค่าแมงกานีสทุก ๆ 1 ชั่วโมงเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ด้วยเครื่อง AA

3.2.2.4 ความเข้มของแสงที่มีผลต่อการดูดซับแมงกานีสของสาหร่าย *Cladophora* sp.

เตรียมสาหร่าย *Cladophora* sp. ในปริมาณที่มีผลต่อการดูดซับแมงกานีสที่ดีที่สุดจากข้อ 3.2.2.2 ใส่ในพลาสติก ที่มีอาหาร Bristol Medium และมีความเข้มข้นแมงกานีส 4 มิลลิกรัมต่อลิตร ปรับพีเอชให้ได้พีเอชที่มีผลต่อการดูดซับแมงกานีสที่ดีที่สุดจากข้อ 3.2.2.1 แล้วนำไปเลี้ยงบนเครื่องเขย่าความเร็วรอบ 200 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิที่มีผลต่อการดูดซับแมงกานีสที่ดีที่สุดจากข้อ 3.2.2.3 โดยใช้ความเข้มแสงที่ 1000, 1400 และ 1800 ลักซ์ ทำ 3 การทดลอง ๆ ละ 3 พลาสติก วัดค่าแมงกานีสทุก ๆ 1 ชั่วโมงเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ด้วยเครื่อง AA

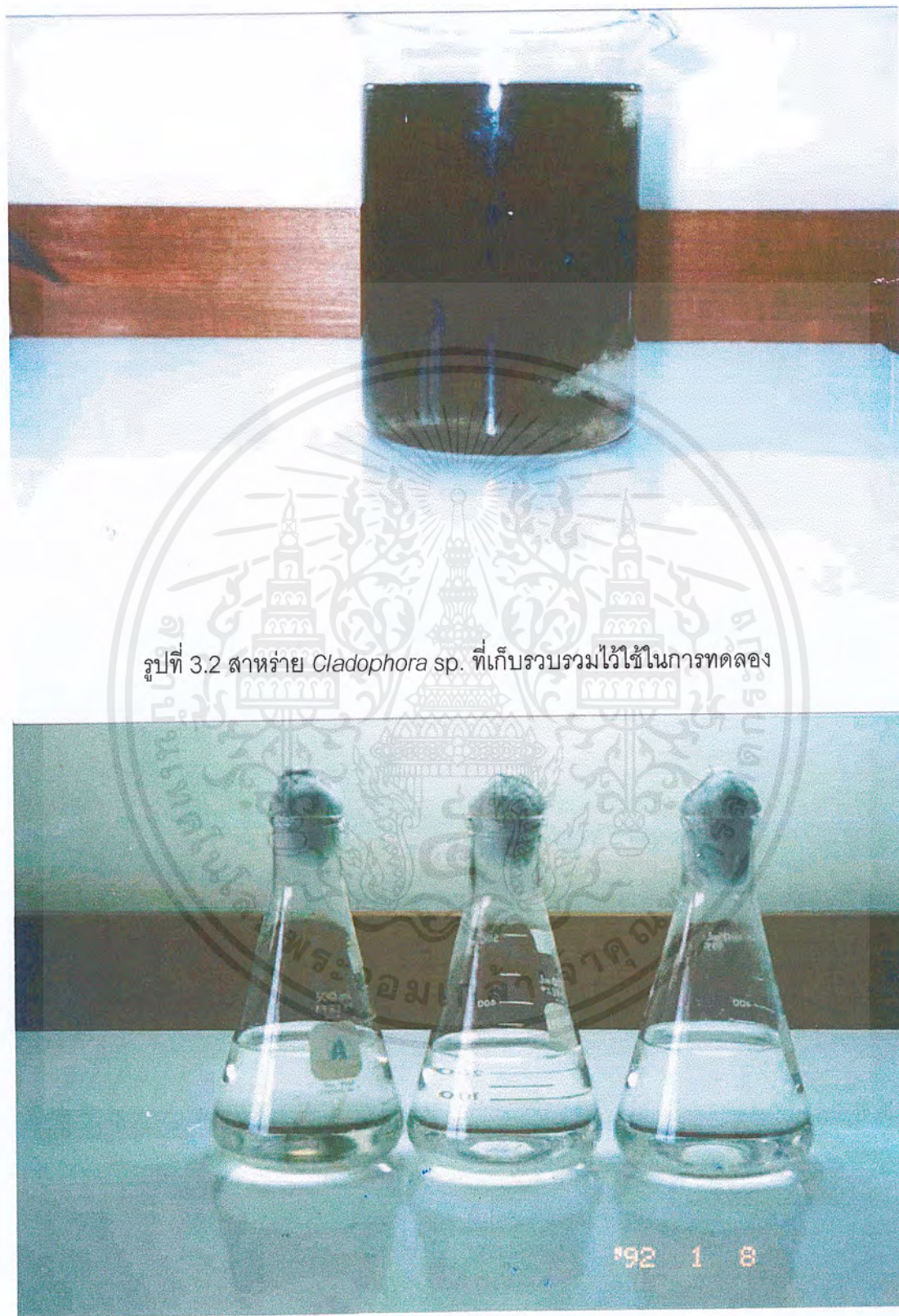
3.2.2.5 ปริมาณของแมงกานีสที่มีผลต่อการดูดซับแมงกานีสของสาหร่าย *Cladophora* sp.

เตรียมสาหร่าย *Cladophora* sp. ในปริมาณที่มีผลต่อการดูดซับแมงกานีสที่ดีที่สุดจากข้อ 3.2.2.2 ใส่ลงในอาหารสูตร Bristol Medium ปริมาณ 350 มิลลิลิตร ในพลาสติกขนาด 500 มิลลิลิตร ที่มีความเข้มข้นแมงกานีส 2.5, 4.0, 5.5 และ 7.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ปรับพีเอชให้ได้พีเอชที่มีผลต่อการดูดซับแมงกานีสที่ดีที่สุดจากข้อ 3.2.2.1 แล้วนำไปเลี้ยงบนเครื่องเขย่าความเร็วรอบ 200 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิที่มีผลต่อการดูดซับแมงกานีสที่ดีที่สุดจากข้อ 3.2.2.3 และความเข้มแสงที่ดีที่สุดจากข้อ 3.2.2.4 ทำ 4 การทดลอง ๆ ละ 3 พลาสติก วัดค่าแมงกานีสทุก ๆ 1 ชั่วโมงเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ด้วยเครื่อง AA



รูปที่ 3.1 สาหร่าย *Cladophora* sp. ในบ่อน้ำธรรมชาติ
(สระบัวข้างสโมสรนักศึกษาคณะวิทยาศาสตร์, สจล.)

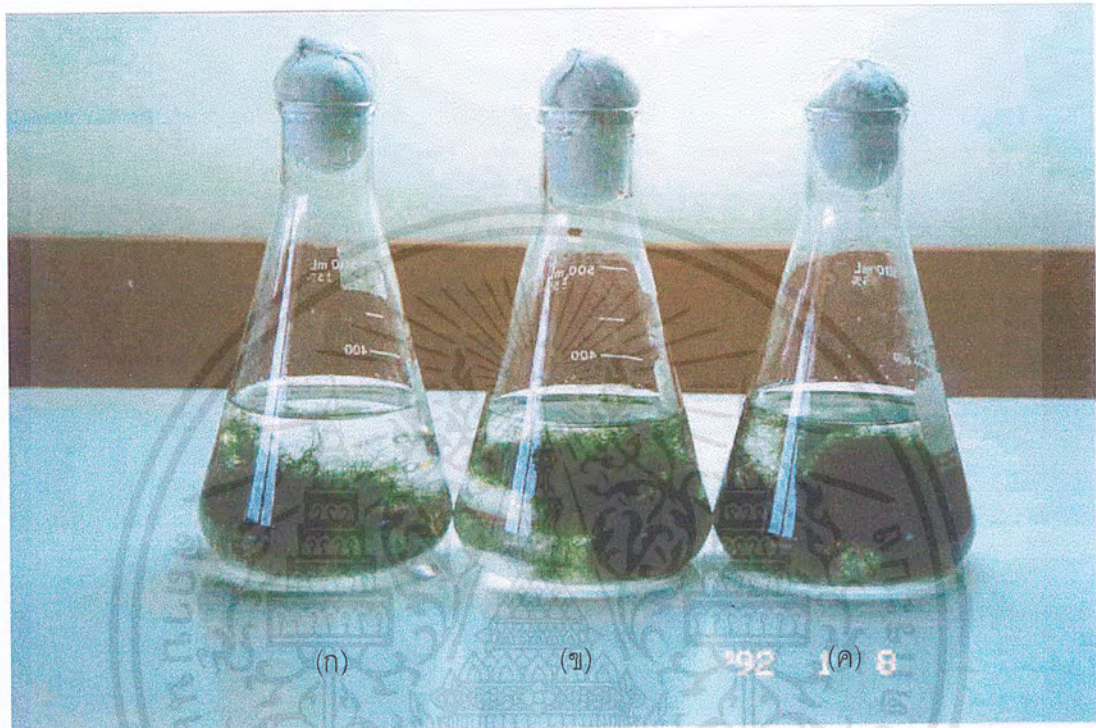
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 สาหร่าย *Cladophora* sp. ที่เก็บรวบรวมไว้ใช้ในการทดลอง

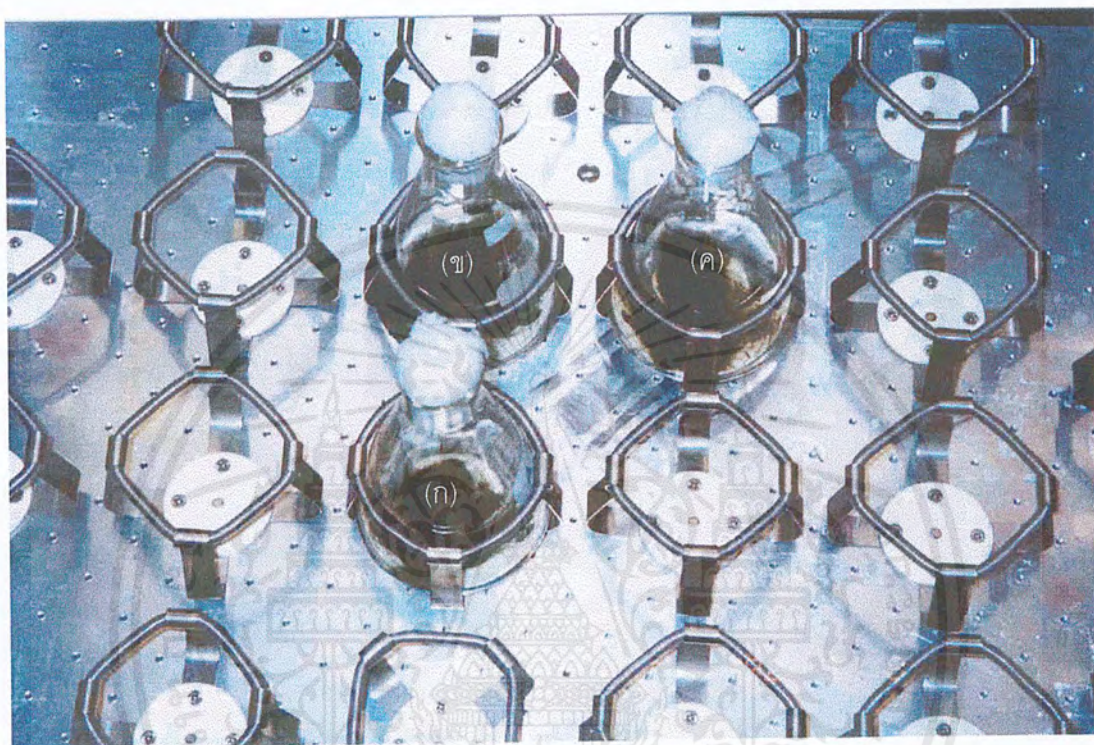
รูปที่ 3.3 อาหารเลี้ยงสาหร่ายสูตร Bristol ที่เติมสารละลายแมงกานีสปริมาณ 350 มิลลิลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



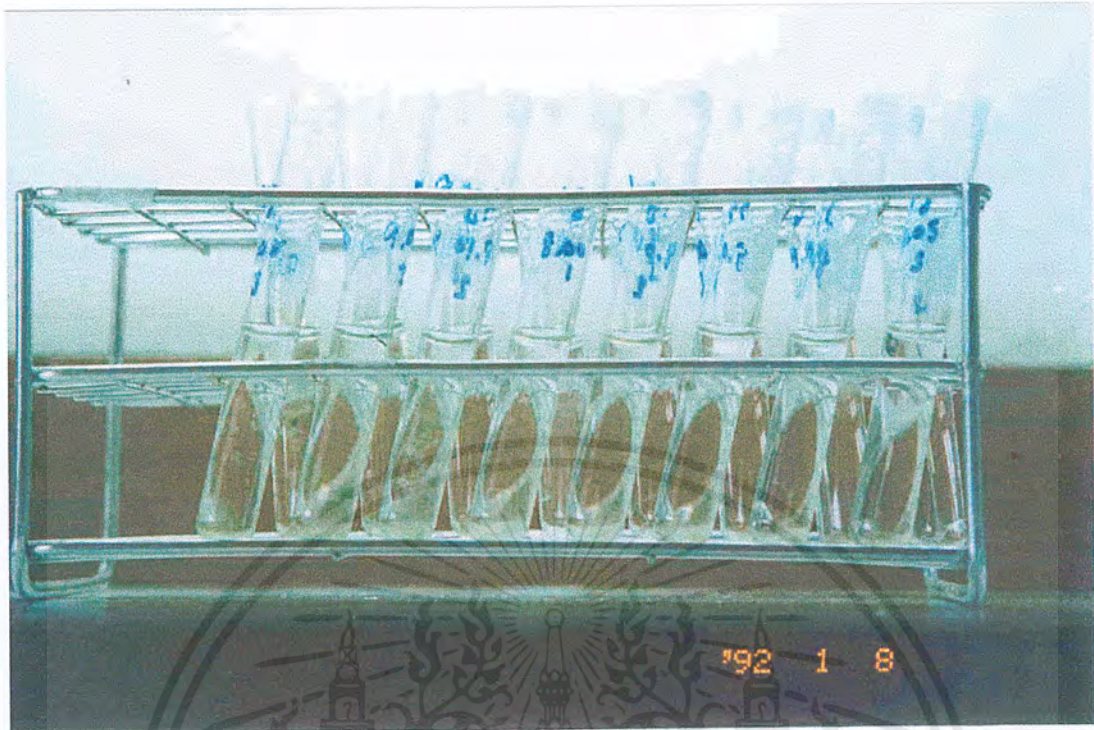
รูปที่ 3.4 สาหร่าย *Cladophora* sp. ปริมาณ 0.15 (ก), 0.20 (ข), 0.25 (ค) กรัมน้ำหนัก เซลล์แห้งใน Bristol medium และสารละลายแมงกานีส 4 มิลลิกรัมต่อลิตร ก่อนนำไปเลี้ยงบน เครื่องเขย่าความเร็วรอบ 200 รอบต่อนาที พีเอช 7.0 ความเข้มแสง 1400 ลักซ์ อุณหภูมิ 28 องศา เซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.5 สาหร่าย *Cladophora* sp. ปริมาณ 0.15 (ก), 0.20 (ข), 0.25 (ค) กรัมน้ำหนัก เซลล์แห้งใน Bristol medium และสารละลายแมงกานีส 4 มิลลิกรัมต่อลิตร ขณะนำไปเลี้ยงบน เครื่องเขย่าความเร็วรอบ 200 รอบต่อนาที พีเอช 7.0 ความเข้มแสง 1400 ลักซ์ อุณหภูมิ 28 องศา เซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

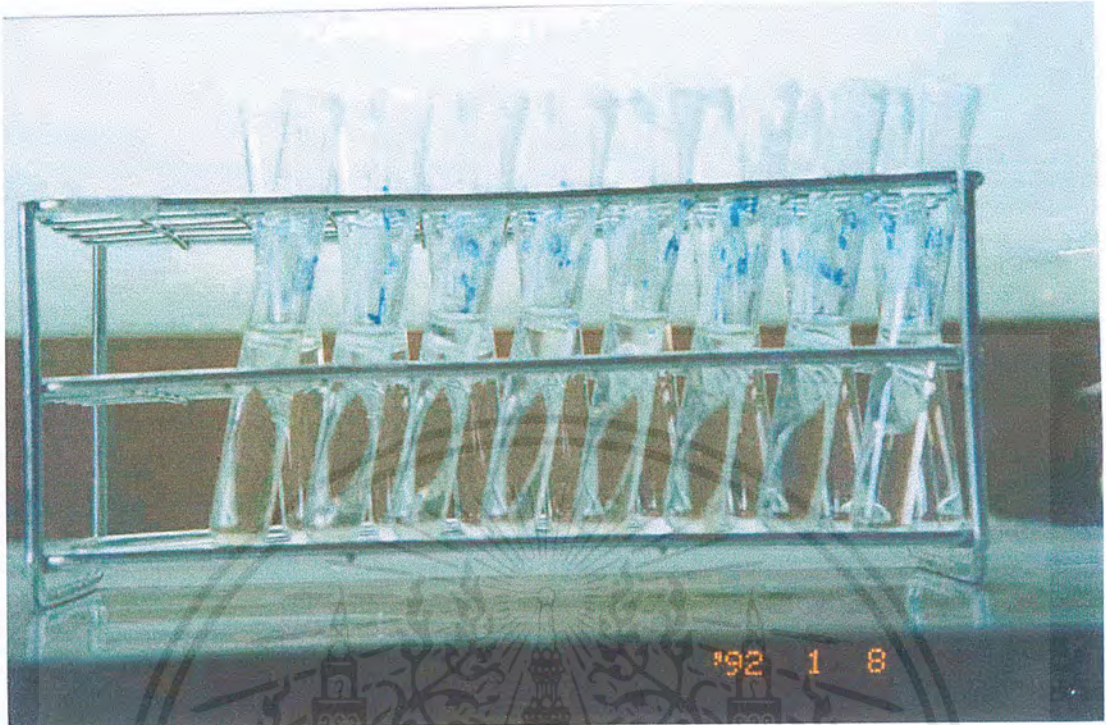


รูปที่ 3.6 สารละลายตัวอย่างที่เก็บทุก ๆ 1 ชั่วโมง ก่อนนำไปปั่นเหวี่ยง



รูปที่ 3.7 การปั่นเหวี่ยงสารละลายตัวอย่างด้วยเครื่องปั่นเหวี่ยงแบบควบคุมอุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

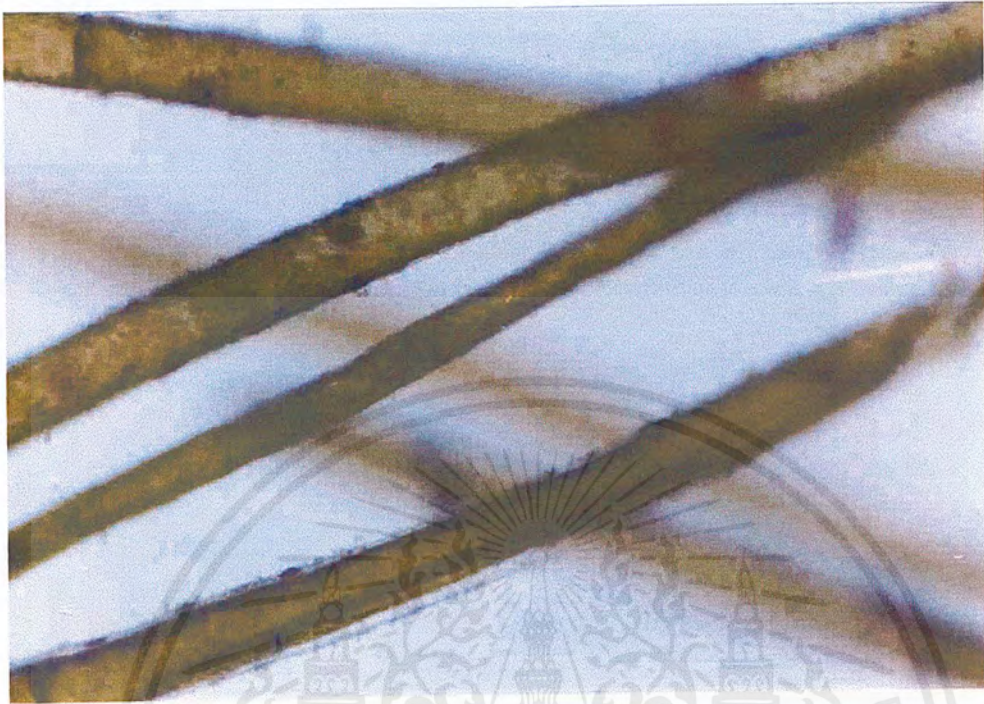


รูปที่ 3.8 สารละลายตัวอย่างที่เก็บทุก ๆ 1 ชั่วโมง หลังจากการปั่นเหวี่ยง เพื่อเตรียมไปวัดปริมาณแมงกานีสด้วยเครื่อง AA



รูปที่ 3.9 การวัดปริมาณแมงกานีสในสารละลายตัวอย่างด้วยเครื่อง AA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.10 สาหร่าย *Cladophora* sp. ก่อนการดูดซับแมงกานีส (40X)



รูปที่ 3.11 สาหร่าย *Cladophora* sp. หลังการดูดซับแมงกานีส (40X)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์

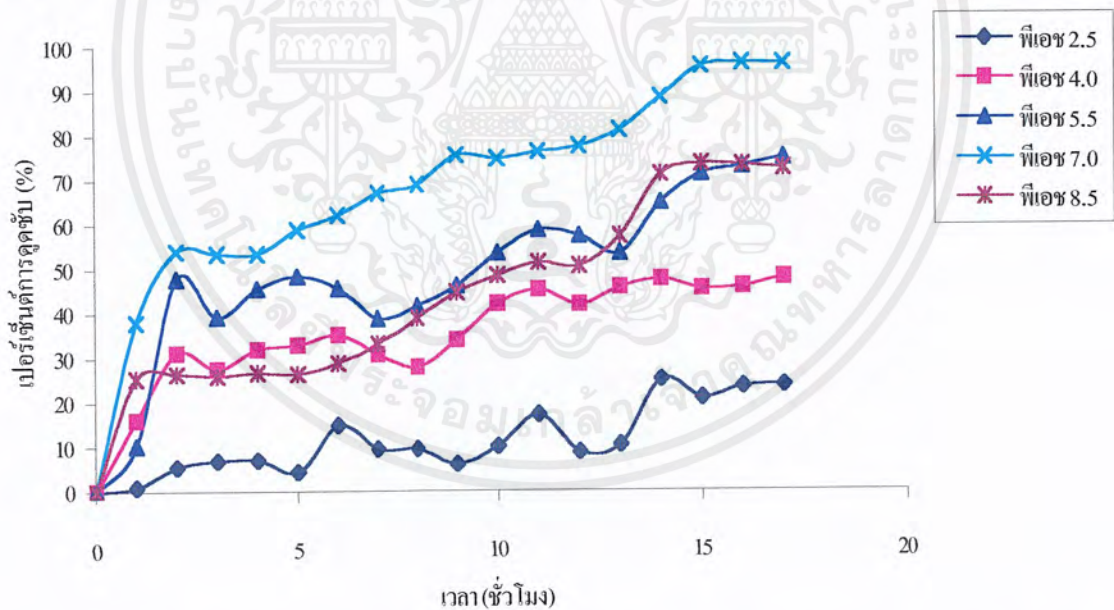
การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับแมงกานีสโดยสาหร่าย *Cladophora* sp.

1. ผลของพีเอชที่มีต่อการดูดซับแมงกานีสโดยสาหร่าย *Cladophora* sp.

จากการทดลองเปรียบเทียบการดูดซับสารละลายแมงกานีส ที่พีเอช 2.5 4.0 5.5 7.0 และ 8.5 ความเข้มข้นเริ่มต้นของแมงกานีส 4 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณของสาหร่ายเริ่มต้นเท่ากับ 0.25 กรัมน้ำหนักแห้ง (5 กรัม น้ำหนักสด) ความเข้มแสง 1400 ลักซ์ อุณหภูมิ 32 องศาเซลเซียส บนเครื่องเขย่าความเร็วรอบ 200 รอบต่อนาที เป็นเวลา 17 ชั่วโมง พบว่าสาหร่าย *Cladophora* sp. สามารถดูดซับแมงกานีสได้ดีที่สุดที่พีเอช 7.0 (รูปที่ 4.1) ซึ่งดูดซับได้ 96.13 เปอร์เซ็นต์ หรือ 15.16 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักเซลล์แห้งที่ชั่วโมงที่ 16 ซึ่งสูงกว่าค่าที่ได้จากพีเอช 2.5 4.0 5.5 และ 8.5 คือดูดซับได้ 23.34, 45.76, 72.82 และ 73.15 เปอร์เซ็นต์ หรือ ปริมาณ 3.84, 7.71, 11.76 และ 12.04 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักเซลล์แห้ง ตามลำดับ ซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) เช่นเดียวกับการทดลองของ รัชยาภรณ์และพูนสุข (2540) ที่พบว่าค่าการดูดซับโลหะหนักโดยแบคทีเรียที่พีเอชต่ำกว่า 2 จะน้อยมากหรือไม่เกิดการดูดซับเลย เนื่องจากไฮโดรเจนไอออนจะแข่งขันกับโลหะหนักในการจับกับเซลล์ ส่วนค่าพีเอชที่สูงเกินไป จะมีผลทำให้เกิดการตกตะกอนของโลหะหนักในรูปสารประกอบไฮดรอกไซด์หรือออกไซด์และค่าพีเอช ระหว่าง 4 ถึง 8 เป็นช่วงพีเอชที่เหมาะสมต่อการดูดซับโลหะหนักโดยแบคทีเรียแทบทุกสายพันธุ์ Zhou (1999) รายงานว่าการดูดซับสังกะสี และทองแดงของเชื้อ *Rhizopus arrhizae* จะเพิ่มขึ้นเมื่อพีเอชเปลี่ยนจาก 4.0 เป็น 5.0 โดย Zhou อธิบายว่าที่พีเอชต่ำ ๆ ที่ผนังเซลล์จะมีลักษณะเป็นไฮโดรเนียมไอออนซึ่งทำให้เกิดการยับยั้งการจับกันของโลหะและลิแกนด์ ทำให้เกิดแรงผลักรวมทั้งแรงผลักรวมนี้จะแข็งแรงขึ้นเมื่อพีเอชต่ำลง และเมื่อพีเอชเพิ่มขึ้นลิแกนด์จะเปลี่ยนเป็นประจุลบประกอบกับแรงดึงไอออนของโลหะที่เป็นประจุบวกทำให้เกิดการดูดซับขึ้นที่ผิวเซลล์ Bengtsson และคณะ (1995) รายงานว่า พีเอชมีอิทธิพลต่อการดูดซับโลหะชีวมวลของเชื้อราโดยที่การดูดซับจะต่ำลงที่พีเอช 3.0 Geoffrey และคณะ (1993) รายงานว่าการดูดซับเซอร์โคเนียม (*Zirconium*) ของสาหร่ายขนาดใหญ่ (*Scenedesmus obliquus*, *Chlorella emersonii* และ *Chlorella reinhardtii*) และสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน (*Plectonema boryanum*, *Synechococcus* PCC 6301 และ *Synechosystis*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

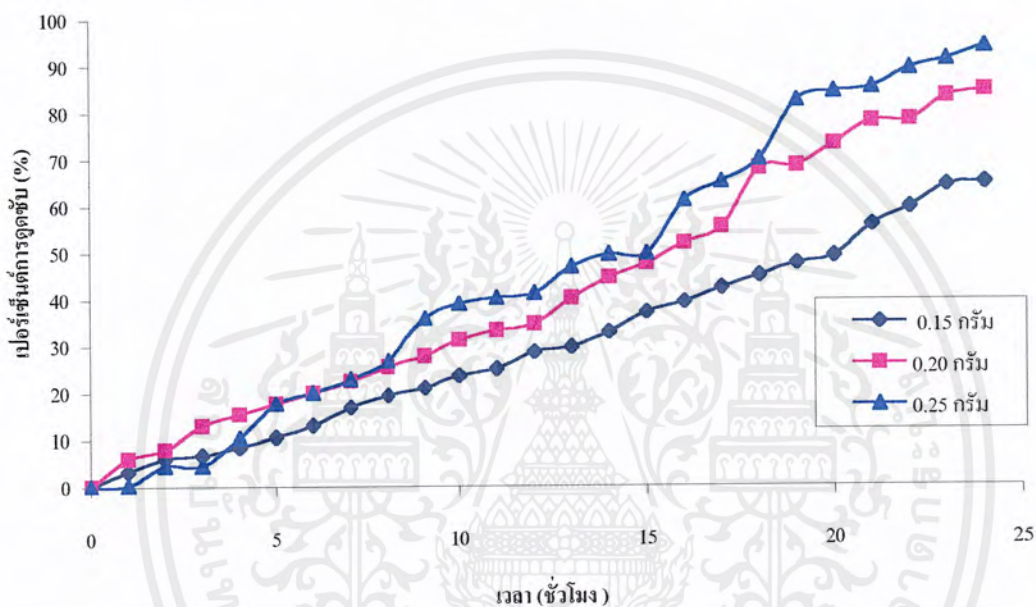
PCC 6803) พบว่า พีเอชที่ลดลงจาก 6.0 เป็น 2.0 จะทำให้การดูดซับเซอโคเนียมลดลงด้วย Pilar และ Garmen (1993) ศึกษาการดูดซับยูเรเนียมของเซลล์ซึ่งตรึงด้วย polyacrylamide gel ของเชื้อ *Pseudomonas strain EPS 5028* ที่ค่าพีเอชเพิ่มขึ้นจาก 2.0 เป็น 10.0 ค่าพีเอชที่ทำให้การดูดซับเกิดได้ดีที่สุดคือ พีเอช 6.0 Vankateswerlu และ Stotzky (1989) รายงานว่า การจับกันของทองแดงและโคบอลต์กับผนังเซลล์ของเชื้อรา *Cunninghamella blakesleeana* จะเพิ่มขึ้นเมื่อพีเอชเพิ่มขึ้นและพีเอชที่เหมาะสมที่สุดในการจับกันของเชื้อรากับทองแดง คือพีเอช 5.5 และโคบอลต์ คือพีเอช 8.0 Geoffrey และคณะ (1992) ศึกษาการดูดซับโคบอลต์ สังกะสี และแมงกานีสของ สาหร่าย *Chlorella salina* ที่ถูกตรึงด้วยอัลจินเตพบว่า การดูดซับจะเพิ่มขึ้นเมื่อพีเอชเพิ่มขึ้น รินดา และคณะ (2541) พบว่าการดูดซับโครเมียมของสาหร่าย *Chlorella vulgaris* ที่ตรึงด้วยไคโตแซนจะมีค่าสูงสุดที่พีเอช 7.0 โดยมีการดูดซับได้ 28.16 มิลลิกรัมต่อลิตรหรือ 93.89 เปอร์เซ็นต์ เช่นเดียวกับการทดลองของ Vandenabeele และคณะ(1995) ที่พบว่าเชื้อแบคทีเรีย *Nitromonas europaea* และ *Nitrobacter winogradskyie* มีการดูดซับแมงกานีสที่พีเอชที่เป็นกรด (6.8) ได้น้อยกว่าพีเอชที่เป็นเบส (7.7)



รูปที่ 4.1 ผลของพีเอชที่มีต่อการดูดซับแมงกานีสโดยสาหร่าย *Cladophora* sp.ภายใต้ความเข้มข้นของแมงกานีสเริ่มต้น 4 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณสาหร่ายเริ่มต้น 0.25 กรัม น้ำหนักแห้ง ที่อุณหภูมิ 32 องศาเซลเซียส ความเข้มแสง 1400 ลักซ์ บนเครื่องเขย่าความเร็วรอบ 200 รอบต่ออนาทีเป็นเวลา 17 ชั่วโมง

2. ผลของปริมาณสาหร่าย *Cladophora* sp. เริ่มต้นที่มีต่อการดูดซับแมงกานีส

จากการทดลองเปรียบเทียบการดูดซับสารละลายแมงกานีส ที่มีปริมาณสาหร่ายเริ่มต้น 0.15 0.20 และ 0.25 กรัม น้ำหนักแห้ง (3 กรัม, 4 กรัม และ 5 กรัม น้ำหนักสดตามลำดับ) ความเข้มข้นเริ่มต้นของแมงกานีสเท่ากับ 4 มิลลิกรัมต่อลิตร พีเอช 7.0 บนเครื่องเขย่าความเร็วรอบ 200 รอบต่อนาที ความเข้มแสง 1400 ลักซ์ อุณหภูมิ 32 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง พบว่าสาหร่าย *Cladophora* sp. สามารถดูดซับแมงกานีสได้ดีที่สุด (รูปที่ 4.2)



รูปที่ 4.2 ผลของปริมาณสาหร่ายเริ่มต้นที่มีต่อการดูดซับแมงกานีสโดยสาหร่าย *Cladophora* sp. ภายใต้ความเข้มข้นของแมงกานีสเริ่มต้น 4 มิลลิกรัมต่อลิตร พีเอช 7.0 ที่อุณหภูมิ 32 องศาเซลเซียส ความเข้มแสง 1400 ลักซ์ บนเครื่องเขย่าความเร็วรอบ 200 รอบต่อ นาที เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

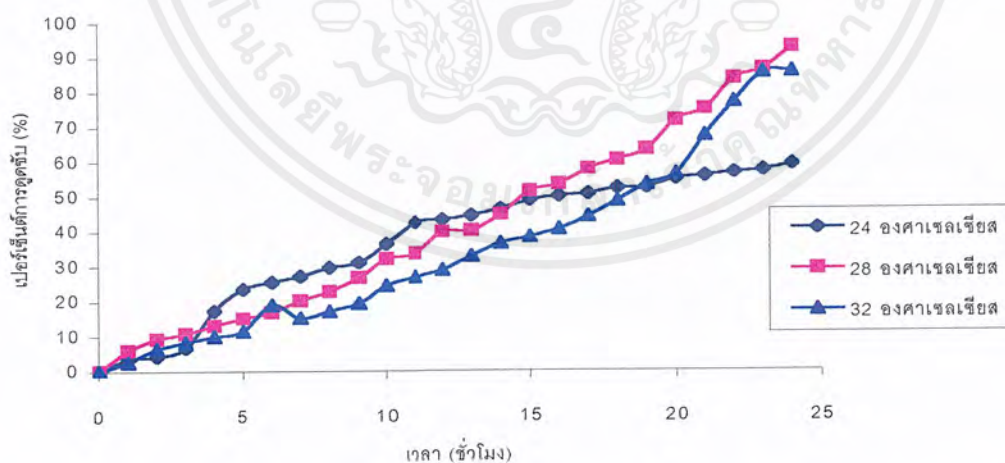
ที่ปริมาณสาหร่ายเริ่มต้น 0.25 กรัม น้ำหนักแห้ง คือดูดซับได้ 93.78 เปอร์เซ็นต์ หรือ 18.30 มิลลิกรัมต่อกรัม น้ำหนักเซลล์แห้ง ซึ่งสูงกว่าค่าที่ได้จากปริมาณสาหร่ายเริ่มต้น 0.15 และ 0.20 กรัม น้ำหนักแห้ง คือดูดซับได้ 64.76 และ 84.48 เปอร์เซ็นต์ หรือ ปริมาณ 16.12 และ 18.01 มิลลิกรัมต่อกรัม น้ำหนักเซลล์แห้ง ตามลำดับ ซึ่งปริมาณสาหร่ายเริ่มต้น 0.15 และ 0.25 กรัม น้ำหนักแห้งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) แต่ปริมาณสาหร่ายเริ่มต้น 0.15 และ 0.25 กรัม น้ำหนักแห้งไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) กับปริมาณสาหร่ายเริ่มต้น 0.20 กรัม น้ำหนักแห้งเช่นเดียวกับการทดลองของ Malick และ Rai (1993) ทดลองดูดซับ $Cr_2O_7^{2-}$ โดย *Chlorella vulgaris* โครงสร้างกับ Sodium alginate ที่มีปริมาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

C. vulgaris 0.05, 0.1, 0.25, 0.49 และ 1.22 กรัม น้ำหนักเซลล์แห้งพบว่าถ้าปริมาณเซลล์มากจะดูดซับ $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ ได้ดีกว่าปริมาณเซลล์น้อย Geoffrey และคณะ (1992) พบว่าการดูดซับโคบอลต์สังกะสีและแมงกานีส โดย สาหร่าย *Chlorella salina* ที่ถูกตรึงด้วยอัลจิเนตมีค่าการดูดซับสูงที่สุดเมื่อความเข้มข้นของเซลล์สูงที่สุด (1×10^8 เซลล์ต่อโอมลของเมดิอัลจิเนต) รินดา และคณะ (2541) ศึกษาการดูดซับโครเมียมของสาหร่าย *Chlorella vulgaris* ที่ตรึงด้วยโคโตแซน ที่ความเข้มข้นเซลล์เริ่มต้น 2.0, 4.80 และ 6.28 กรัมพบว่าสามารถดูดซับได้ดีที่สุดที่ความเข้มข้นเซลล์สูงที่สุดคือ 6.28 กรัม สามารถดูดซับได้ 13.32 มิลลิกรัมต่อลิตร หรือ 100 เปอร์เซ็นต์ในเวลา 16 ชั่วโมง Pilar และ Garmen (1993) พบว่าการดูดซับยูเรเนียมของเซลล์ตรึงของเชื้อ *Pseudomonas strain EPS 5028* ที่มีความเข้มข้นเซลล์ต่าง ๆ กันจาก 155-1054 มิลลิกรัมของแบคทีเรีย น้ำหนักแห้งนั้นเมื่อความเข้มข้นเซลล์เพิ่มขึ้นจะมีค่าการดูดซับยูเรเนียมเพิ่มขึ้นตามไปด้วย

3. ผลของอุณหภูมิที่มีต่อการดูดซับแมงกานีสโดยสาหร่าย *Cladophora* sp.

จากการทดลองเปรียบเทียบการดูดซับสารละลายแมงกานีส ที่อุณหภูมิ 24 28 และ 32 องศาเซลเซียส ปริมาณสาหร่ายเริ่มต้น 0.25 กรัม น้ำหนักแห้ง ความเข้มข้นเริ่มต้นของแมงกานีส 4 มิลลิกรัมต่อลิตร พีเอช 7.0 ความเข้มแสง 1400 ลักซ์ บนเครื่องเขย่าความเร็วรอบ 200 รอบต่อนาที เป็นเวลา 24 ชั่วโมง พบว่าสาหร่าย *Cladophora* sp. สามารถดูดซับแมงกานีสได้ดีที่สุดที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส (รูปที่ 4.3)

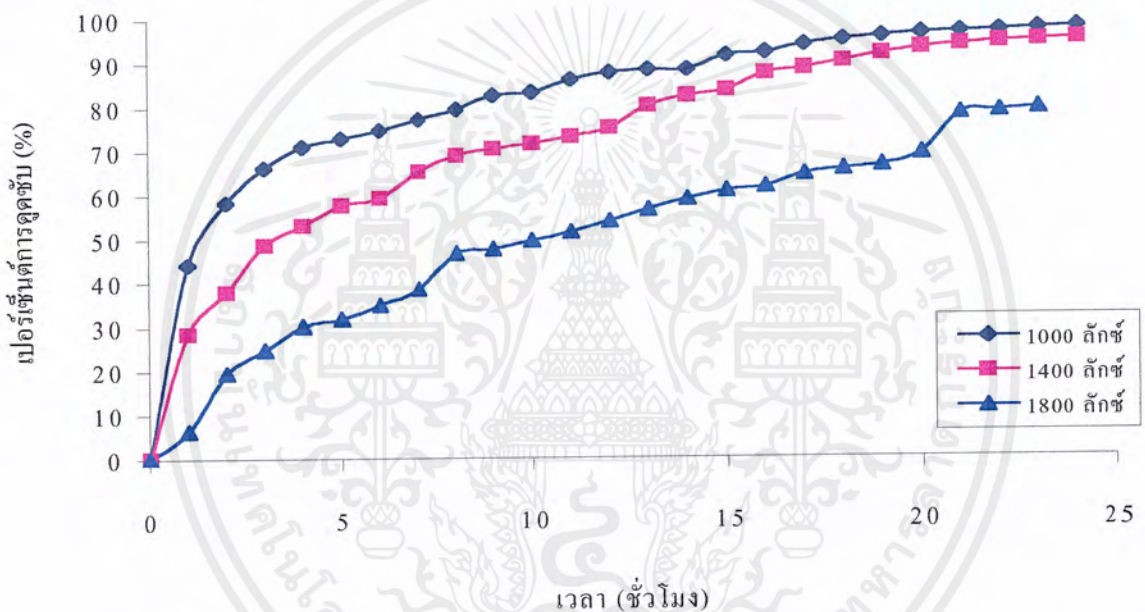


รูปที่ 4.3 ผลของอุณหภูมิที่มีต่อการดูดซับแมงกานีสโดยสาหร่าย *Cladophora* sp. ภายใต้ความเข้มข้นสาหร่ายเริ่มต้น 0.25 กรัม น้ำหนักแห้ง ความเข้มข้นของแมงกานีสเริ่มต้น 4 มิลลิกรัมต่อลิตร พีเอช 7.0 ที่ความเข้มแสง 1400 ลักซ์ บนเครื่องเขย่าความเร็วรอบ 200 รอบต่อนาที เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

คือดูดซับได้ 92.51 เปอร์เซ็นต์ หรือ 15.48 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักเซลล์แห้ง ซึ่งสูงกว่าค่าที่ได้จากอุณหภูมิตั้ง 24 และ 32 องศาเซลเซียส คือดูดซับได้ 59.01 และ 85.72 เปอร์เซ็นต์ หรือ ปริมาณ 10.00 และ 14.09 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักเซลล์แห้ง ตามลำดับซึ่งแตกต่างจากอย่างไม่มีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) เช่นเดียวกับการทดลองของ Ting และคณะ (1989) ที่ได้ทดลองการดูดซับแคดเมียม และ สังกะสี โดยใช้สาหร่ายสีเขียว *Chlorella vulgaris* ทดลองที่อุณหภูมิต่างกันคือ 25 และ 6 องศาเซลเซียสพบว่าการดูดซับแคดเมียมของ *Chlorella vulgaris* ที่อุณหภูมิตั้ง 25 องศาเซลเซียสจะมีค่าสูงกว่าที่อุณหภูมิตั้ง 6 องศาเซลเซียส และการดูดซับสังกะสีที่อุณหภูมิตั้ง 25 องศาเซลเซียส จะมีค่าสูงกว่าที่อุณหภูมิตั้ง 6 องศาเซลเซียส เช่นกัน Bengtsson และคณะ (1995) รายงานว่าอุณหภูมิตั้งที่มีผลต่อความสามารถในการดูดซับยูเรเนียมของเชื้อรา *Taralomyces emersonii* CBS 814.70 โดยอุณหภูมิตั้ง 20-60 องศาเซลเซียสไม่มีความต่างกัน แต่ที่อุณหภูมิตั้ง 5 องศาเซลเซียส การดูดซับจะลดลง จาก 50 มิลลิกรัมต่อลิตรเป็น 30 มิลลิกรัมต่อลิตร Rapoport และ Muter (1995) รายงานว่า ที่อุณหภูมิตั้ง 45 องศาเซลเซียสจะทำให้ยีสต์มีความสามารถในการดูดซับสูงกว่าที่อุณหภูมิตั้ง 15 องศาเซลเซียส จาก 0.3 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตรเป็น 0.8 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร Vankateswerlu และ Stolzky (1989) รายงานว่าการจับกันของทองแดงและโคบอลต์กับผนังเซลล์ของเชื้อรา *Cunninghamella blakesleenna* นั้น จะมีการดูดซับสูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิตั้งสูงขึ้น เช่นอุณหภูมิตั้ง 4 องศาเซลเซียสจะดูดซับทองแดงได้ 0.31 ไมโครโมลต่อมิลลิกรัม เมื่ออุณหภูมิตั้งเพิ่มขึ้นเป็น 37 และ 50 องศาเซลเซียสพบว่า เชื้อราจะมีการดูดซับทองแดงเพิ่มขึ้นเป็น 0.62 และ 0.94 ไมโครโมลต่อมิลลิกรัม ตามลำดับ เช่นเดียวกันกับการดูดซับโคบอลต์ที่อุณหภูมิตั้งเดียวกันกับการดูดซับทองแดงพบว่ามีค่าการดูดซับเป็น 0.20, 0.21 และ 0.23 ไมโครโมลต่อมิลลิกรัมตามลำดับ Geoffrey และคณะ (1992) พบว่าการดูดซับการดูดซับโคบอลต์ สังกะสี และแมงกานีส โดยสาหร่าย *Chlorella salina* ที่ถูกตรึงด้วย เม็ดอัลจิเนต ที่อุณหภูมิตั้ง 4 องศาเซลเซียสจะมีค่าการดูดซับต่ำกว่าที่อุณหภูมิตั้ง 23 องศาเซลเซียส เช่นการดูดซับแมงกานีสที่ 4 องศาเซลเซียสสามารถดูดซับได้ 6 นาโนโมล และที่อุณหภูมิตั้ง 23 องศาเซลเซียส สามารถดูดซับได้ 8 นาโนโมล เช่นเดียวกันกับการดูดซับโคบอลต์ และสังกะสีที่อุณหภูมิตั้งเดียวกันกับการดูดซับแมงกานีสพบว่าการดูดซับเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิตั้งสูงขึ้น เช่น การดูดซับโคบอลต์และสังกะสีจาก 6 นาโนโมลเปลี่ยนเป็น 10 นาโนโมลและจาก 8 นาโนโมลเปลี่ยนเป็น 9.6 นาโนโมลตามลำดับ

4. ผลของความเข้มแสงที่มีต่อการดูดซับแมงกานีสโดยสาหร่าย *Cladophora* sp.

จากการทดลองเปรียบเทียบการดูดซับสารละลายแมงกานีส ที่ความเข้มแสง 1000, 1400 และ 1800 ลักซ์ ปริมาณสาหร่ายเริ่มต้น 0.25 กรัม น้ำหนักแห้ง ความเข้มข้นเริ่มต้นของแมงกานีส 4 มิลลิกรัมต่อลิตร พีเอช 7.0 อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส บนเครื่องเขย่าความเร็วรอบ 200 รอบ ต่อนาที เป็นเวลา 24 ชั่วโมง พบว่าสาหร่าย *Cladophora* sp. สามารถดูดซับแมงกานีสได้ดีที่สุดที่ ความเข้มแสง 1000 ลักซ์ (รูปที่ 4.4)



รูปที่ 4.4 ผลของความเข้มแสงที่มีต่อการดูดซับแมงกานีสโดยสาหร่าย *Cladophora* sp. ภายใต้ความเข้มข้นสาหร่ายเริ่มต้น 0.25 กรัม น้ำหนักแห้ง ความเข้มข้นของแมงกานีสเริ่มต้น 4 มิลลิกรัมต่อลิตร พีเอช 7.0 อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส บนเครื่องเขย่าความเร็วรอบ 200 รอบต่อ นาที เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

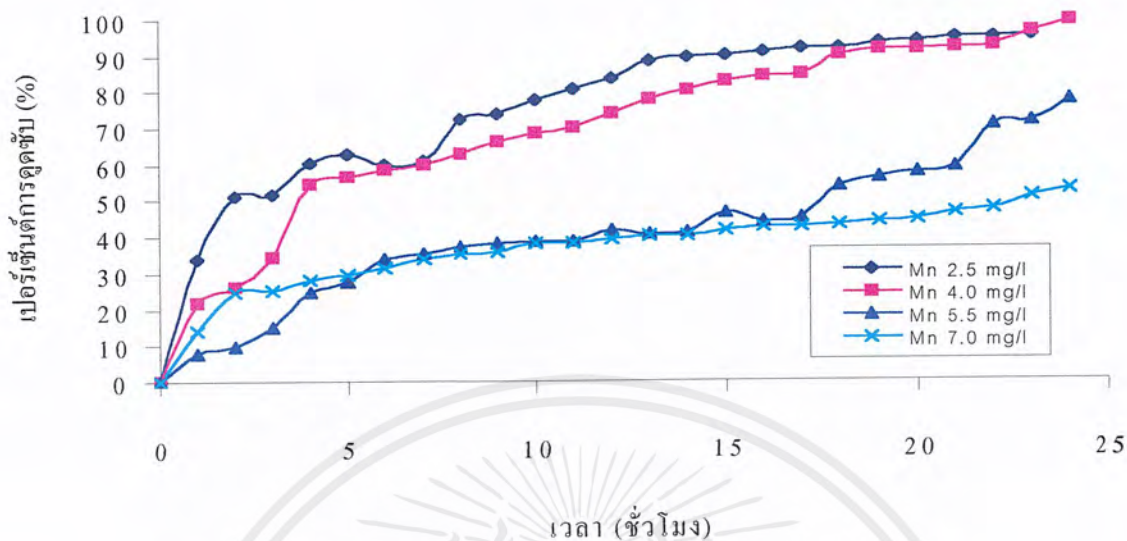
คือดูดซับได้ 97.80 เปอร์เซ็นต์ หรือปริมาณ 16.55 มิลลิกรัมต่อกรัม น้ำหนักเซลล์แห้ง ซึ่งสูงกว่าค่าที่ได้จากความเข้มแสง 1400 และ 1800 ลักซ์ คือดูดซับได้ 94.96 และ 84.42 เปอร์เซ็นต์ หรือปริมาณ 17.02 และ 14.79 มิลลิกรัมต่อกรัม น้ำหนักเซลล์แห้ง ซึ่งเป็นค่าที่ไม่แตกต่างจาก อย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) กับความเข้มแสง 1400 ลักซ์ แต่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเข้มแสง 1800 ลักซ์ เช่นเดียวกับการทดลองของ Ting และคณะ (1989) ได้ทดลองดูดซับแคดเมียมและสังกะสีโดยใช้สาหร่ายสีเขียว *Chlorella vulgaris* ในที่มีแสงและไม่มีแสง พบว่าการดูดซับแคดเมียมของ *Chlorella vulgaris* ในที่มีแสงจะมีค่าสูงกว่าที่ไม่มีแสง (10 มิลลิกรัมต่อลิตร) และการดูดซับสังกะสีในที่มีแสง จะมีค่าสูงกว่าที่ไม่มีแสง Geoffrey และคณะ (1992) พบว่าการดูดซับโคบอลต์ สังกะสี และแมงกานีสโดยสาหร่าย *Chlorella salina* ที่ถูกตรึงด้วยอัลจิเนตเลี้ยงในที่มีแสงจะมีค่าการดูดซับมากกว่าการเลี้ยงในที่ไม่มีแสง โดยพบว่าในที่มีแสงดูดซับโคบอลต์ได้ 16 นาโนโมลต่อ 10^6 เซลล์ แมงกานีส 12 นาโนโมล ต่อ 10^6 เซลล์ และสังกะสีได้ 17 นาโนโมล ต่อ 10^6 เซลล์ ขณะที่ในที่ไม่มีแสงสามารถดูดซับโคบอลต์ได้ 11 นาโนโมลต่อ 10^6 เซลล์ แมงกานีสได้ 6 นาโนโมลต่อ 10^6 เซลล์ และสังกะสี ได้ 11 นาโนโมลต่อ 10^6 เซลล์ Geoffrey และคณะ (1993) พบว่าการดูดซับเซอโคเนียม (Zirconium) โดยของสาหร่ายสีเขียว (*Scenedesmus obliquus*, *Chlorella emersonii* และ *Chlorella reinherdtii*) และสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน (*Plectonema boryanum*, *Synechococcus* PCC 6301 และ *Synechosystis* PCC 6803) พบว่าการดูดซับในที่มีแสงจะมีค่าสูงกว่าที่ไม่มีแสงโดยในที่มีแสงจะดูดซับได้ 18.2 ± 8.0 ไมโครโมลต่อกรัมน้ำหนักเซลล์แห้งและในที่ไม่มีแสงดูดซับได้ 18.7 ± 5.0 ไมโครโมลต่อกรัมน้ำหนักเซลล์แห้ง

5. ผลของความเข้มข้นเริ่มต้นของแมงกานีสที่มีต่อการดูดซับแมงกานีสโดยสาหร่าย *Cladophora* sp.

จากการทดลองเปรียบเทียบการดูดซับสารละลายแมงกานีส ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของแมงกานีส 2.5 4.0 5.5 และ 7.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณสาหร่ายเริ่มต้น 0.25 กรัมน้ำหนักแห้ง พีเอช 7.0 อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส ความเข้มแสง 1000 ลักซ์ บนเครื่องเขย่าความเร็วรอบ 200 รอบต่อนาที เป็นเวลา 24 ชั่วโมง พบว่าสาหร่าย *Cladophora* sp. สามารถดูดซับแมงกานีสได้ดีที่สุดที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของแมงกานีส 4 มิลลิกรัมต่อลิตร (รูปที่ 4.5)



รูปที่ 4.5 ผลของความเข้มข้นแมงกานีสเริ่มต้นที่มีต่อการดูดซับแมงกานีสโดยสาหร่าย *Cladophora* sp. ภายใต้ความเข้มข้นสาหร่ายเริ่มต้น 0.25 กรัม/น้ำหนักแห้ง ความเข้มแสง 1000 ลักซ์ พีเอช 7.0 อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส บนเครื่องเขย่าความเร็วรอบ 200 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 24 ชั่วโมง

คือดูดซับได้ 99.02 เปอร์เซ็นต์ หรือปริมาณ 16.75 มิลลิกรัมต่อกรัม น้ำหนักเซลล์แห้ง ซึ่งสูงกว่าค่าที่ได้จากความเข้มข้นเริ่มต้นของแมงกานีส 2.5, 5.5 และ 7.0 มิลลิกรัมต่อลิตรคือดูดซับได้ 97.31, 77.51 และ 52.45 เปอร์เซ็นต์ หรือปริมาณ 9.57, 17.35 และ 15.02 มิลลิกรัมต่อกรัม น้ำหนักเซลล์แห้ง ซึ่งความเข้มข้นเริ่มต้นของแมงกานีส 4.0 มิลลิกรัมต่อลิตรแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) กับความเข้มข้นเริ่มต้นของแมงกานีส 5.5 และ 7.0 มิลลิกรัมต่อลิตรแต่ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) กับความเข้มข้นเริ่มต้นของแมงกานีส 2.5 มิลลิกรัมต่อลิตร เช่นเดียวกับการทดลองของ สุภาณี และคณะ (2531) ได้ศึกษาการดูดซับสังกะสีโดยใช้ *Chlorella* sp. พบว่าเมื่อปริมาณสังกะสีในอาหารเพิ่มขึ้นความสามารถในการดูดซับก็จะเพิ่มขึ้น และถ้าความเข้มข้นของสังกะสีสูงขึ้นมากๆ ความสามารถในการดูดซับของ *Chlorella* sp. จะมีค่าเกือบคงที่ ซึ่งขัดแย้งกับการทดลองของ Rapoport และ Muter (1995) ที่ได้ศึกษาการดูดซับโครเมียมของยีสต์ ซึ่งพบว่าเมื่อความเข้มข้นเริ่มต้นของโครเมียมเพิ่มขึ้นจะมีค่าการดูดซับลดลง โดยที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของโครเมียม 50 มิลลิกรัมต่อลิตร จะมีค่าการดูดซับเป็น 50 มิลลิกรัมต่อ 1 กรัม น้ำหนักเซลล์แห้งมากกว่าความเข้มข้นเริ่มต้นของโครเมียม 100 มิลลิกรัมต่อลิตรที่มีการดูดซับคือ 3.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มิลลิกรัมต่อ 1 กรัม น้ำหนักเซลล์แห้ง Pilar และ Garmen (1993) ศึกษาการดูดซับยูเรเนียมของ เซลล์ตรึงของเชื้อ *Pseudomonas* strain EPS 5028 พบว่าที่ความเข้มข้นยูเรเนียม 5-875 ไมโครกรัมยูนิตต่อมิลลิลิตร การดูดซับจะมีค่าสูงขึ้นเมื่อความเข้มข้นของโครเมียมต่ำ (5,10 และ 21 ไมโครกรัมยูนิตต่อมิลลิลิตร) โดยดูดซับได้ 120 เปอร์เซ็นต์, 119 เปอร์เซ็นต์ และ 116 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ และจะลดลงเมื่อความเข้มข้นของโครเมียมเพิ่มเป็น 51, 104, 211, 293, 430, 463, 655 และ 815 ไมโครกรัมยูนิตต่อมิลลิลิตร โดยดูดซับได้ 62 เปอร์เซ็นต์, 58 เปอร์เซ็นต์, 42 เปอร์เซ็นต์, 30 เปอร์เซ็นต์ 28 เปอร์เซ็นต์, 30 เปอร์เซ็นต์, 38 เปอร์เซ็นต์ และ 28 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ Vankateswerlu และ Stotzky (1989) รายงานว่าการจับกันของทองแดง และโคบอลต์กับผนังเซลล์ของเชื้อรา *Cunninghamella blankesleeana* นั้น การดูดซับจะเพิ่มขึ้น เมื่อมีการเพิ่มความเข้มข้นเริ่มต้นของโครเมียม โดยที่ความเข้มข้นโครเมียม 1.30 ไมโครโมล ดูดซับได้ 0.34 ไมโครโมลต่อมิลลิกรัมผนังเซลล์ซึ่งต่ำกว่าที่ความเข้มข้นโครเมียม 6.3 ไมโครโมล ที่ดูดซับได้ 6.8 ไมโครโมลต่อมิลลิกรัมผนังเซลล์ รินดา และคณะ (2541) พบว่าการดูดซับโครเมียมของสาหร่าย *Chlorella vulgaris* ที่ตรึงด้วยไคโตแซน พบว่าความเข้มข้นเริ่มต้นของโครเมียมที่ 30 มิลลิกรัมต่อลิตร การดูดซับสูงกว่าความเข้มข้นเริ่มต้น 18 และ 60 มิลลิกรัมต่อลิตร คือที่ความเข้มข้น 30 มิลลิกรัมต่อลิตร ดูดซับได้ 98.52 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสูงกว่าที่ความเข้มข้น 18 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ดูดซับได้ 95.83 เปอร์เซ็นต์ และที่ความเข้มข้น 60 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ดูดซับได้ 65.80 เปอร์เซ็นต์

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอนะ

สรุปผลการทดลอง

1. ผลของพีเอชที่มีต่อการดูดซับแมงกานีสโดยสาหร่าย *Cladophora* sp. ที่มีปริมาณสาหร่ายเริ่มต้น 0.25 กรัมน้ำหนักแห้ง ความเข้มข้นแมงกานีส 4 มิลลิกรัมต่อลิตร อุณหภูมิ 32 องศาเซลเซียส ความเข้มแสง 1400 ลักซ์ พบว่าสารละลายแมงกานีสที่พีเอช 7.0 สาหร่าย *Cladophora* sp. มีประสิทธิภาพการดูดซับแมงกานีสที่ดีที่สุด คือ 96.13 เปอร์เซ็นต์หรือ 15.16 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักเซลล์แห้ง ที่เวลา 16 ชั่วโมง

2. ผลของปริมาณสาหร่ายเริ่มต้นที่มีต่อการดูดซับแมงกานีสโดยสาหร่าย *Cladophora* sp. ที่มีความเข้มข้นแมงกานีสเริ่มต้น 4 มิลลิกรัมต่อลิตร พีเอช 7.0 อุณหภูมิ 32 องศาเซลเซียส ความเข้มแสง 1400 ลักซ์ พบว่าปริมาณสาหร่ายเริ่มต้นที่ 0.25 กรัมน้ำหนักเซลล์แห้ง สาหร่าย *Cladophora* sp. มีประสิทธิภาพการดูดซับแมงกานีสที่ดีที่สุด คือ 93.78 เปอร์เซ็นต์หรือ 18.30 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักเซลล์แห้ง ที่เวลา 24 ชั่วโมง

3. ผลของอุณหภูมิที่มีต่อการดูดซับแมงกานีสโดยสาหร่าย *Cladophora* sp. ที่มีปริมาณสาหร่ายเริ่มต้น 0.25 กรัมน้ำหนักแห้ง ความเข้มข้นแมงกานีสเริ่มต้น 4 มิลลิกรัมต่อลิตร พีเอช 7.0 ความเข้มแสง 1400 ลักซ์ พบว่าอุณหภูมิที่ 28 องศาเซลเซียส สาหร่าย *Cladophora* sp. มีประสิทธิภาพการดูดซับแมงกานีสที่ดีที่สุด คือ 92.51 เปอร์เซ็นต์ หรือ 15.48 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักเซลล์แห้ง ที่เวลา 24 ชั่วโมง

4. ผลของความเข้มแสงที่มีต่อการดูดซับแมงกานีสโดยสาหร่าย *Cladophora* sp. ที่มีปริมาณสาหร่ายเริ่มต้น 0.25 กรัมน้ำหนักแห้ง ความเข้มข้นแมงกานีสเริ่มต้น 4 มิลลิกรัมต่อลิตร พีเอช 7.0 อุณหภูมิที่ 28 องศาเซลเซียส พบว่า ความเข้มแสง 1000 ลักซ์ สาหร่าย *Cladophora* sp. มีประสิทธิภาพการดูดซับแมงกานีสที่ดีที่สุด คือ 97.80 เปอร์เซ็นต์หรือ 17.02 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักเซลล์แห้ง ที่เวลา 24 ชั่วโมง

5. ผลของความเข้มข้นแมงกานีสเริ่มต้น ที่มีต่อการดูดซับแมงกานีสโดยสาหร่าย *Cladophora* sp. ที่มีปริมาณสาหร่ายเริ่มต้น 0.25 กรัม/น้ำหนักแห้ง พีเอช 7.0 อุณหภูมิที่ 28 องศาเซลเซียส ความเข้มแสง 1000 ลักซ์ พบว่าความเข้มข้นแมงกานีสเริ่มต้น 4 มิลลิกรัมต่อลิตร สาหร่าย *Cladophora* sp. มีประสิทธิภาพการดูดซับแมงกานีสที่ดีที่สุด คือ 99.02 เปอร์เซ็นต์ หรือ 16.75 มิลลิกรัมต่อกรัม/น้ำหนักเซลล์แห้ง ที่เวลา 24 ชั่วโมง

ข้อเสนอแนะ

1. มีความเป็นไปได้ที่จะสามารถนำไปใช้กับระบบบำบัดน้ำเสียเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการบำบัดให้สูงขึ้นได้ โดยอาจจะมีการบำบัดในขั้นแรกด้วยสารเคมีก่อน เมื่อเหลือแมงกานีสในปริมาณน้อย จึงนำสาหร่าย *Cladophora* sp. มาใช้ร่วมในการบำบัดเป็นต้น
2. ในการศึกษาครั้งต่อไปควรควบคุมพีเอชแบบต่อเนื่อง โดยใช้ระบบควบคุมแบบอัตโนมัติ ตลอดระยะเวลาการดูดซับเพื่อทำให้มวลชีวภาพสามารถดูดซับแมงกานีสได้ในปริมาณที่สูงสุด
3. เนื่องจากสาหร่าย *Cladophora* sp. มีความสามารถในการดูดซับแมงกานีสซึ่งเป็นโลหะชนิดหนึ่ง จึงน่าจะทำการศึกษาดูการใช้ดูดซับโลหะชนิดอื่นๆ เช่น เหล็ก ตะกั่ว แคดเมียม ปรอท เป็นต้น

เอกสารอ้างอิง

จิรากรณ์ ศษเสนีย์. 2540. อันตรายจากแมงกานีส: มนุษย์กับสิ่งแวดล้อม. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. กรุงเทพมหานคร. 276 หน้า.

ณรงค์ วุทธเสถียร. 2540. การกำจัดเหล็กและแมงกานีส: การปรับสภาพน้ำสำหรับอุตสาหกรรม. โครงการสนับสนุนเทคนิคอุตสาหกรรม (ไทย-ญี่ปุ่น). กรุงเทพมหานคร. 360 หน้า.

ธวัชชัย ลิจุติภูมิ และ ทากาชิ โฮชิโน. 2540. โครงการพิเศษเรื่องปัญหาเหล็กและแมงกานีสในน้ำดื่มและการกำจัด. การประปาส่วนภูมิภาค. กรุงเทพมหานคร. 68 หน้า.

จินดา คันธวร อัมภา เริงปรีดามณต์ และ อุดมฤทธิ์ วิฑูรชวลิตวงษ์. 2541. โครงการพิเศษเรื่องการใช้โคโคแซนตรังรูปสาหร่ายสีเขียว *Chlorella vulgaris* เพื่อดูดซับโครเมียม (+6). ภาควิชาชีววิทยาประยุกต์. คณะวิทยาศาสตร์. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. กรุงเทพมหานคร.

รัชยาภรณ์ ผลมั่ง และพูนสุข ประเสริฐสรพ์. 2540. การดูดซับแมงกานีสโดยแบคทีเรีย. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. ปีที่19. หน้า 395-404.

ยุวดี พีรพรพิศาล. 2538. สาหร่าย. สำนักพิมพ์มูลกิจ. กรุงเทพมหานคร. 556 หน้า.

สุภาณี เลิศไตรรักษ์ สุเทพ มงคลเลิศพล บุษยา บุนนาค และ ดำรง ชุมมมงคล. 2531. โครงการพิเศษเรื่องการสะสมสังกะสีโดยสาหร่ายสีเขียวเซลล์เดียว *Chlorella* sp. ภาควิชาวิศวกรรมเคมี. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. กรุงเทพมหานคร.

- Arnon, D. I., M. B. Allen and F. R. Whatley. 1956. Photosynthesis by Isolate Chloroplasts. IV. General Concept and Comparisons of Tree Photochemical Reaction. Biochem. Biophys. Acta. 20. In Vymazal J. 1995. Algae and Element Cyclic in Wetland. CRC Press. Florida. U.S.A.. 689 pp.
- Ayla Ozer, H. Ibrahim Ekiz and O. Durham. 1997. A Staged Purification Process to Remove Heavy Metal Ions from Wastewater using *Rhizopus arrhizus*. Process Biochem. 32 (4) : 319 – 326.
- Baxter, M. and T. E. Jensen. 1980. Uptake of Magnesium, Strontium, Barium and Manganese by *Plectonyma boryanum* (Cyanophyceae) with Special Reference to Polyphosphate Bodies, *Protoplasma*. 104. In Vymazal J. 1995. Algae and Element Cyclic in Wetland. CRC Press. Florida. U.S.A.. 689 pp.
- Bengtsson, L., B. Johnnason and T. J. Hackett. 1995. Studies on the Biosorption of Uranium by the *Tararomyces emersonii* CBS 814.70. Biomass. Appl. Microbiol. Biotechnol. 42: 807 - 811.
- Beveride, T. J. 1978. The Response of Cell Walls of *Bacillus subtilis* to Metal and to Electron Microscope Strain. Can. J. Microbiol. 24: 89 – 104.
- Bowen, H. J. M. 1979. Environmental Chemistry of The Elements. In Vymazal J. 1995. Algae and Element Cyclic in Wetland. CRC Press. Florida. U.S.A.. 689 pp.
- Brierley, C. L., J. A. Brierley and M. S. Davidson. 1989. Applied Microbial Process for Metal Recovery and Removal from Wastewater: Metal Ions and Bacteria. Academic. London. 548 pp.

Brown, T. E., H. C. Eyster and H. A. Tanner. 1958. Physiological Effect of Manganese Deficiency. In Vymazal J. 1995. Algae and Element Cyclic in Wetland. CRC Press. Florida. U.S.A.. 689 pp.

"*Cladophora aegagropila*." 2001. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก
: <http://www.fihaholics.net/gallery/Cladophora-aegagropila.html>

Danial, F. Jacson. 1967. Algae Man and the Environment. Department of Civil Engineering Syracuse University. California. U.S.A.. 1048 pp.

Eyster, C. 1952. Necessity of Boron for *Nostoc muscorum*. Nature. 170. In Vymazal J. 1995. Algae and Element Cyclic in Wetland. CRC Press. Florida. U.S.A.. 689 pp.

Francke, J. A. and H. Hillebrandt. 1980. Effect of Copper on Some Filamentous Chlorophyta. Aquat. Biotechnol. 8. In Vymazal J. 1995. Algae and Element Cyclic in Wetland. CRC Press. Florida. U.S.A.. 689 pp.

Geoffrey, W. Garnham, G. A. Codd and G. M. Gadd. 1992. Accumulation of Cobalt, Zinc and Manganese by the Estuarine Green Microalgae *Chlorella salina* Immobilized in Alginate Microbeads. Env. Sci. Technol. 26: 1764 - 1770.

Geoffrey, W. Garnham, G. A. Codd and G. M. Gadd. 1993. Accumulation of Zirconium by Microalgae and Cyanobacteria. Appl. Microbiol. Biotechnol. 39: 667 - 672.

Irmer, U. 1985. Die Wirkung von Bleiauf die Grunalze *Chlamidomonas reintradii* Dang. In Vymazal J. 1995. Algae and Element Cyclic in Wetland. CRC Press. Florida. U.S.A.. 689 pp.

John de Zuane, 1997. Handbook of Drinking Water Quality. 2nd edi. CRC Press. New York. U.S.A.. 1013 pp.

Kabata – Pendias, A. and H. Pendias. 1992. Trace Elements in Soils and Plants. 2nd edi. In Vymazal J. 1995. Algae and Element Cyclic in Wetland. CRC Press. Florida. U.S.A.. 689 pp.

Lobban, C. S., P.J. Harrison and M. J. Duncan. 1985. The Physiological Ecology of Seaweeds. In Vymazal J. 1995. Algae and Element Cyclic in Wetland. CRC Press. Florida. U.S.A.. 689 pp.

Malick, N. and L. C. Rai. 1993. Influence of Culture Density, pH, Organic Acids and Divalent Cations on the Removal of Nutrients and Metal by Immobilized *Anabaena doiolum* and *Chlorella vulgaris*. World J. Microbiol. Biotechnol. 9: 196 -203.

Moore, J. W. 1991. Inorganic Contaminants of Surface Water. In Vymazal J. 1995. Algae and Element Cyclic in Wetland. CRC Press. Florida. U.S.A.. 689 pp.

Pilar, M. Pons and M. Garmen Fute'. 1993. Uranium Uptake by Immobilized Cell of *Pseudomonas* Strain EPS 5028. Appl. Microbiol. Biotechnol. 39: 661-665.

Rapoport, A. I. and O. A. Muter. 1995. Biosorption of Hexavalent Chromium by Yeast. Process. Biochem. 30 (2): 145 – 149.

- Rothstein, A. 1959. Cell Membrane as A Site of Action of Heavy Metals. Fed. Am. Soc. Exp. Biol. 18. *In* Vymazal J. 1995. Algae and Element Cyclic in Wetland. CRC Press. Florida. U.S.A.. 689 pp.
- Sag, Y. and T. Kutsal. 1995. A Comparative Study of the Biosorption of Lead (2+) Ions to *Zoogloea ramigera* and *Rhizopus arrhizus*. Process Biochem. 30 (2):169 –174.
- Simkiss, K. 1979. Metal Ions in Cells. Endeavour. 3. *In* Vymazal J. 1995. Algae and Element Cyclic in Wetland. CRC Press. Florida. U.S.A.. 689 pp.
- Sunda, W. G. and S. A. Huntman. 1986. Relationship among Growth Rate: Cellular Manganese Concentration and Manganese Transport Kinetics in Estuarine and Oceanic Species of the Diatom *Thalassiosira*. J. Phycol. 22. *In* Vymazal J. 1995. Algae and Element Cyclic in Wetland. CRC Press. Florida. U.S.A.. 689 pp.
- Ting, Y. P., F. Lawson and J. G. Prince. 1989. Uptake of Cadmium and Zinc by the Algae *Chlorella vulgaris*: Part 1 Individual Ion Species. Biotechnol. Bioeng. 34: 990 – 999.
- Vandenabeele, J., M. Vandewoestyne, F. Houwen, R. Germonpre, D. Vandesabde and W. Verstraete. 1995. Role of Autotrophic Nitrifier in Biotechnological Manganese Removal from Groundwater Containing Manganese and Ammonium. Microbiol. Ecol. 29: 83 - 98.
- Vankateswerlu, G. and G. Stotzky. 1989. Binding of Metal by Cell Wall of *Cunninghamella blankesleeana* Grown in the Presence of Copper or Cobalt. Appl. Microbiol. Biotechnol. 31: 619 -625.
- Volesky, B. 1987. Biosorbents in Metal Recovery. Trends Biotechnol. 5: 95 -101.

Vymazal, J. 1995. Algae and Element Cyclic in Wetland. CRC Press. Florida. U.S.A.. 689 pp.

Watanabe, M., T. Takamatsu, K. Kohata, M. Kunugi, M. Kawashima and M. Koyama. 1989. Luxury Phosphate Uptake and Variation of Intracellular Metals Concentrations in *Heterosigma akashiwo* (Raphidophyceae). J. Phycol. 25. In Vymazal J. 1995. Algae and Element Cyclic in Wetland. CRC Press. Florida. U.S.A.. 689 pp.

Widra, A. 1959. Metachromatic Granule of Microorganism. J. Bact. 78. In Vymazal J. 1995. Algae and Element Cyclic in Wetland. CRC Press. Florida. U.S.A.. 689 pp.

Zhou, J. L. 1999. Biosorption by *Rhizopus arrhizus* and other Fungi. Appl. Microbiol. Biotechnol. 51: 686 - 693.



ภาคผนวก ก

อาหารเพาะเลี้ยงเชื้อจุลินทรีย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อาหารเลี้ยงสาหร่าย บลิสตอล มีเดียม (Bristol medium)

สูตรอาหารเหลว

โซเดียมไนเตรต (NaNO_3)	10 กรัม
แคลเซียมคลอไรด์-2-ไฮเดรต ($\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)	1 กรัม
แมกนีเซียมซัลเฟต-7-ไฮเดรต ($\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$)	2 กรัม
ไดโปแตสเซียมไฮโดรเจนฟอสเฟต (K_2HPO_4)	4 กรัม
โมโนโปแตสเซียมไดไฮโดรเจนออร์โทฟอสเฟต (KH_2PO_4)	6 กรัม
โซเดียมคลอไรด์ (NaCl)	1 กรัม

นำเกลือแต่ละชนิดละลายในน้ำกลั่น 400 มิลลิลิตร ให้นำสารละลายเกลือ 6 ชนิด ๆ ละ 10 มิลลิลิตร ผสมกับน้ำใส ๆ จากสารละลายดิน เติมน้ำกลั่นจนครบ 1000 มิลลิลิตร

วิธีการเตรียมน้ำใส ๆ จากสารละลายดิน

ใช้ดินปลูกต้นไม้ที่มีความชื้นเล็กน้อยและไม่มีสารเคมีใส่ดินลงในขวดแก้วก้นกลมให้สูงประมาณครึ่งนิ้ว เติมน้ำปูนขาว (CaCO_3) เพื่อปรับพีเอชของดิน ใช้เล็กน้อย เติมน้ำลงในขวดประมาณสามในสี่ของความจุของขวด ปิดจุก นำไปต้มประมาณ 2 ชั่วโมง ตั้งทิ้งไว้ให้เย็น นำไปต้มอีกครั้ง นาน 2 ชั่วโมงแล้วตั้งทิ้งไว้ให้เย็น วันรุ่งขึ้นทำซ้ำอีกครั้ง ทิ้งไว้จนตกตะกอนแล้วจึงรินแต่น้ำใส ๆ ตอนบนมาใช้



ภาคผนวก ข

สารเคมีและวิธีการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารเคมีและวิธีการ

การเตรียมสารละลายแมงกานีสมาตรฐาน

นำโลหะแมงกานีสปริมาณ 1,000 กรัม มาทำให้ละลายในกรดไนตริก (HNO_3) ปริมาตร 10 มิลลิลิตร ทำให้เจือจาง จนมีปริมาตร 1,000 มิลลิลิตร ด้วยกรดไฮโดรคลอริก (HCL) ที่ 1 % (โดยปริมาตรต่อปริมาตร) โดยกำหนดว่า 1 มิลลิลิตร เท่ากับ 1,000 มิลลิกรัมแมงกานีส ทำการเจือจางแมงกานีสจาก 10 มิลลิลิตร ไปจนถึง 200 มิลลิลิตร โดยใช้ น้ำกลั่น โดยกำหนดว่า 1 มิลลิลิตร เท่ากับ 0.05 มิลลิกรัมแมงกานีส สารละลายเจือจางเหล่านี้ทำการเตรียมในแต่ละวัน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ค

ตารางแสดงข้อมูลการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค 1 ผลของพีเอชต่อการดูดซับแมงกานีสโดย (เปอร์เซ็นต์) สาหร่าย *Cladophora* sp. ภายใต้ความเข้มข้นของแมงกานีสเริ่มต้น 4 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณของสาหร่ายเริ่มต้น 0.25 กรัมน้ำหนักเซลล์แห้ง ที่อุณหภูมิ 32 องศาเซลเซียส ความเข้มแสง 1400 ลักซ์ บนเครื่องเขย่าความเร็วรอบ 200 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 17 ชั่วโมง

เวลา (ชม.)	ปริมาณการดูดซับแมงกานีส (เปอร์เซ็นต์)				
	พีเอช 2.5	พีเอช 4.0	พีเอช 5.5	พีเอช 7.0	พีเอช 8.5
0	0	0	0	0	0
1	0.91	16.02	10.22	38.05	25.43
2	5.47	31.10	47.80	53.96	26.43
3	6.87	27.48	39.26	53.46	25.94
4	7.05	31.93	45.52	53.46	26.73
5	4.38	32.88	48.36	58.85	26.43
6	14.83	35.19	45.63	62.08	28.86
7	9.48	30.74	38.82	67.03	33.11
8	9.42	27.78	41.61	68.93	38.94
9	6.02	34.01	46.19	75.52	44.65
10	8.69	42.02	53.50	74.76	48.42
11	9.97	45.22	58.64	76.28	51.34
12	17.08	45.34	57.34	77.49	50.55
13	10.33	45.70	53.44	81.10	57.29
14	24.99	47.48	64.77	88.46	71.08
15	20.85	45.34	71.20	95.37	73.45
16	23.34	45.76	72.82	96.13	73.15
17	23.65	47.78	74.80	96.01	72.36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค 2 ผลของพีเอชต่อการดูดซับแมงกานีสโดยสาหร่าย *Cladophora* sp. ภายใต้ความเข้มข้นของแมงกานีสเริ่มต้น 4 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณของสาหร่ายเริ่มต้น 0.25 กรัม น้ำหนักเซลล์แห้ง ที่อุณหภูมิ 32 องศาเซลเซียส ความเข้มแสง 1400 ลักซ์ บนเครื่องเขย่าความเร็วรอบ 200 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 17 ชั่วโมง

เวลา (ชม.)	การดูดซับแมงกานีส (มิลลิกรัมต่อกรัม น้ำหนักเซลล์แห้ง)				
	พีเอช 2.5	พีเอช 4.0	พีเอช 5.5	พีเอช 7.0	พีเอช 8.5
0	0	0	0	0	0
1	0.15	2.70	2.00	6.00	4.19
2	0.90	5.24	7.72	8.51	4.35
3	1.13	4.63	6.34	8.43	4.27
4	1.16	5.38	7.67	9.28	4.40
5	0.72	5.54	7.81	9.79	4.35
6	2.44	5.93	6.27	10.57	4.75
7	1.56	5.18	6.27	10.87	5.45
8	1.55	4.68	6.72	11.91	6.41
9	0.81	5.73	7.46	11.78	7.35
10	1.64	7.08	8.64	12.03	7.97
11	2.81	7.62	9.47	12.22	8.45
12	1.43	7.05	9.26	12.79	8.32
13	1.70	7.70	8.63	13.96	9.43
14	4.11	8.00	10.46	15.04	11.70
15	3.43	7.64	11.50	15.12	12.07
16	3.84	7.71	11.76	15.16	12.04
17	3.89	8.05	12.08	15.14	11.91

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค 3 ผลของปริมาณสาหร่ายเริ่มต้น ต่อการดูดซับแมงกานีส (เปอร์เซ็นต์) โดยสาหร่าย *Cladophora* sp. ภายใต้ความเข้มข้นของแมงกานีสเริ่มต้น 4 มิลลิกรัมต่อลิตร พีเอช 7.0 ที่อุณหภูมิ 32 องศาเซลเซียส ความเข้มแสง 1400 ลักซ์ บนเครื่องเขย่า ความเร็วรอบ 200 รอบ ต่อนาที เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

เวลา (ชม.)	ปริมาณการดูดซับแมงกานีส (เปอร์เซ็นต์)		
	ปริมาณสาหร่ายเริ่มต้น 0.15 กรัม	ปริมาณสาหร่ายเริ่มต้น 0.20 กรัม	ปริมาณสาหร่ายเริ่มต้น 0.25 กรัม
0	0.00	0.00	0.00
1	3.26	5.96	0.29
2	5.98	7.93	4.48
3	6.76	12.95	4.48
4	8.39	15.39	10.36
5	10.51	17.68	17.69
6	13.09	19.93	20.01
7	16.88	22.47	22.86
8	19.39	25.56	26.82
9	21.00	27.77	35.89
10	23.57	31.29	39.03
11	25.09	33.26	40.31
12	28.70	34.66	41.25
13	29.72	40.10	46.89
14	32.87	44.56	49.56
15	37.16	47.51	49.68
16	39.28	51.88	61.02
17	42.32	55.35	64.98
18	44.90	67.82	69.81
19	47.52	68.39	82.37
20	49.08	72.98	84.24
21	55.73	77.86	85.22
22	59.48	78.12	89.18
23	64.23	83.16	91.16
24	64.76	84.48	93.78

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค 4 ผลของปริมาณสาหร่ายเริ่มต้นที่มีต่อการดูดซับแมงกานีส (มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักเซลล์แห้ง) โดยสาหร่าย *Cladophora* sp. ภายใต้ความเข้มข้นของแมงกานีสเริ่มต้น 4 มิลลิกรัมต่อลิตร พีเอช 7.0 ที่อุณหภูมิ 32 องศาเซลเซียส ความเข้มแสง 1400 ลักซ์ บนเครื่องเขย่าความเร็วรอบ 200 รอบต่อนาที เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

เวลา (ชม.)	การดูดซับแมงกานีส (มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักเซลล์แห้ง)		
	ปริมาณสาหร่ายเริ่มต้น	ปริมาณสาหร่ายเริ่มต้น	ปริมาณสาหร่ายเริ่มต้น
	0.15 กรัม	0.20 กรัม	0.25 กรัม
0	0.00	0.00	0.00
1	0.05	1.27	0.92
2	0.77	1.69	1.69
3	0.77	2.76	1.91
4	1.78	3.28	2.37
5	3.04	3.77	2.97
6	3.44	4.25	3.70
7	3.93	4.79	4.77
8	4.01	5.49	5.48
9	6.17	5.92	5.95
10	6.71	6.67	6.66
11	6.93	7.09	7.09
12	7.09	7.39	8.11
13	8.06	8.55	8.40
14	8.52	9.50	9.29
15	8.54	10.13	10.50
16	10.49	11.06	11.10
17	11.17	11.80	11.96
18	12.00	14.46	12.69
19	14.16	14.58	13.43
20	14.48	15.56	13.87
21	14.65	16.60	15.75
22	15.33	15.75	16.81
23	15.67	17.73	18.15
24	16.12	18.01	18.30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค 5 ผลของอุณหภูมิที่มีต่อการดูดซับแมงกานีส (เปอร์เซ็นต์) โดยสาหร่าย *Cladophora* sp. ภายใต้ความเข้มข้นสาหร่ายเริ่มต้น 0.25 กรัม/น้ำหนักแห้ง ความเข้มข้นของแมงกานีสเริ่มต้น 4 มิลลิกรัมต่อลิตร พีเอช 7.0 ที่ความเข้มแสง 1400 ลักซ์ บนเครื่องเขย่าความเร็วรอบต่อนาทีเป็นเวลา 24 ชั่วโมง

เวลา (ชม.)	ปริมาณการดูดซับแมงกานีส (เปอร์เซ็นต์)		
	อุณหภูมิ 24 องศาเซลเซียส	อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส	อุณหภูมิ 32 องศาเซลเซียส
0	0.00	0.00	0.00
1	3.51	5.97	2.65
2	4.26	9.26	6.41
3	6.70	10.78	8.32
4	17.33	13.03	9.95
5	23.60	15.07	11.53
6	25.56	16.82	18.99
7	27.18	20.20	15.20
8	29.70	22.83	17.18
9	31.11	26.72	19.37
10	36.42	32.12	24.46
11	42.51	33.64	26.90
12	43.31	39.87	28.89
13	44.57	40.26	32.89
14	46.35	44.79	36.59
15	48.83	51.45	38.36
16	50.09	53.37	40.50
17	50.68	57.69	44.17
18	52.25	60.32	48.54
19	52.45	63.29	53.06
20	54.89	71.61	56.28
21	55.71	74.82	67.36
22	56.65	83.48	76.92
23	57.37	86.28	85.31
24	59.01	92.51	85.72

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค 6 ผลของอุณหภูมิที่มีต่อการดูดซับแมงกานีส (มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักเซลล์แห้ง) โดยสาหร่าย *Cladophora* sp. ภายใต้ความเข้มข้นของแมงกานีสเริ่มต้น 0.25 กรัม/น้ำหนักแห้ง ความเข้มข้นของแมงกานีสเริ่มต้น 4 มิลลิกรัมต่อลิตร พีเอช 7.0 ที่ ความเข้มแสง 1400 ลักซ์ บนเครื่องเขย่าความเร็วรอบ 200 รอบต่อนาที เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

เวลา (ชม.)	การดูดซับแมงกานีส (มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักเซลล์แห้ง)		
	อุณหภูมิ 24 องศา เซลเซียส	อุณหภูมิ 28 องศา เซลเซียส	อุณหภูมิ 32 องศา เซลเซียส
0	0.00	0.00	0.00
1	0.60	1.00	0.44
2	0.72	1.55	1.06
3	1.14	1.80	1.37
4	3.00	2.18	1.64
5	4.00	2.52	1.90
6	4.33	2.82	3.12
7	4.60	3.38	2.50
8	5.04	3.82	2.83
9	5.27	4.47	3.22
10	6.17	5.38	4.02
11	7.21	5.63	4.43
12	7.34	6.67	4.75
13	7.56	6.74	5.41
14	7.86	7.49	6.02
15	8.28	8.61	6.31
16	8.49	8.93	6.66
17	8.59	9.65	7.27
18	8.86	10.09	7.98
19	8.89	10.59	8.78
20	9.31	11.98	9.26
21	9.44	12.52	11.08
22	9.60	13.97	12.65
23	9.73	14.44	14.03
24	10.00	15.48	14.09

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค 7 ผลของความเข้มแสงที่มีต่อการดูดซับแมงกานีส (เปอร์เซ็นต์) โดยสาหร่าย *Cladophora sp.* ภายใต้ความเข้มข้นสาหร่ายเริ่มต้น 0.25 กรัมน้ำหนักแห้ง ความเข้มข้นของแมงกานีสเริ่มต้น 4 มิลลิกรัมต่อลิตร พีเอช 7.0 อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส บนเครื่องเขย่าความเร็วรอบ 200 รอบต่อนาที เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

เวลา (ชม.)	ปริมาณการดูดซับแมงกานีส (เปอร์เซ็นต์)		
	ความเข้มแสง 1000 ลักซ์	ความเข้มแสง 1400 ลักซ์	ความเข้มแสง 1800 ลักซ์
0	0	0	0
1	44.19	28.54	6.32
2	58.26	37.94	19.51
3	66.28	48.64	24.79
4	71.01	53.09	30.17
5	72.84	57.68	31.80
6	74.82	59.25	35.06
7	77.13	65.25	38.50
8	79.41	68.92	46.60
9	82.60	70.48	47.60
10	83.32	71.63	49.39
11	86.14	73.11	51.38
12	87.76	75.11	53.86
13	88.32	79.03	56.48
14	90.10	82.28	58.80
15	91.51	83.57	60.65
16	92.15	87.35	61.61
17	93.97	88.50	64.41
18	95.01	90.05	65.55
19	95.80	91.70	66.36
20	96.46	93.05	69.08
21	96.76	93.73	78.13
22	96.95	94.37	78.56
23	97.38	94.64	79.28
24	97.80	94.96	84.42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค 8 ผลของความเข้มแสงที่มีต่อการดูดซับแมงกานีส (มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักเซลล์แห้ง) โดยสาหร่าย *Cladophora* sp. ภายใต้ ความเข้มข้นสาหร่ายเริ่มต้น 0.25 กรัม/น้ำหนักแห้ง ความเข้มข้นของแมงกานีสเริ่มต้น 4.0 มิลลิกรัมต่อลิตร พีเอช 7.0 ที่ อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส บนเครื่องเขย่าความเร็วรอบ 200 รอบต่อนาที เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

เวลา (ชม.)	การดูดซับแมงกานีส (มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักเซลล์แห้ง)		
	ความเข้มแสง 1000 ลักซ์	ความเข้มแสง 1400 ลักซ์	ความเข้มแสง 1800 ลักซ์
1	0.00	0.00	0.00
2	5.12	7.48	1.10
3	6.80	9.86	3.41
4	8.72	11.22	4.34
5	9.51	12.02	5.28
6	10.34	12.33	5.56
7	10.62	12.64	6.14
8	11.70	13.05	6.74
9	12.35	13.44	8.16
10	12.63	13.98	8.33
11	12.83	14.10	8.65
12	13.10	14.58	8.99
13	13.46	14.85	9.43
14	14.16	14.95	9.89
15	14.74	15.25	10.30
16	14.97	15.48	10.62
17	15.65	15.59	10.79
18	15.85	15.90	11.29
19	16.14	16.08	11.48
20	16.43	16.21	11.62
21	16.67	16.32	12.09
22	16.80	16.37	13.68
23	16.90	16.41	13.75
24	16.95	16.48	13.88
25	17.02	16.55	14.79

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค 9 ผลของความเข้มข้นของแมงกานีสเริ่มต้นที่มีการดูดซับแมงกานีส (เปอร์เซ็นต์) โดยสาหร่าย *Cladophora* sp. ภายใต้ความเข้มข้นสาหร่ายเริ่มต้น 0.25 กรัม/น้ำหนักแห้ง ความเข้มแสง 1000 ลักซ์ พีเอช 7.0 อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส บนเครื่องเขย่า ความเร็วรอบ 200 รอบต่อนาที เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

เวลา (ชม.)	ปริมาณการดูดซับแมงกานีส (เปอร์เซ็นต์)			
	ความเข้มข้น 2.5 มิลลิกรัมต่อลิตร	ความเข้มข้น 4.0 มิลลิกรัมต่อลิตร	ความเข้มข้น 5.5 มิลลิกรัมต่อลิตร	ความเข้มข้น 7.0 มิลลิกรัมต่อลิตร
0	0.00	0.00	0.00	0.00
1	34.00	21.91	7.82	13.93
2	51.15	25.97	9.82	24.59
3	51.53	34.43	14.77	25.35
4	60.38	54.44	24.44	28.24
5	62.86	56.33	27.45	29.59
6	60.05	58.31	33.70	31.60
7	60.69	59.93	35.06	33.65
8	72.41	62.75	37.26	35.08
9	74.07	66.26	37.99	35.84
10	77.75	68.80	38.41	38.22
11	80.73	70.09	38.82	38.36
12	83.34	73.71	41.41	38.94
13	88.46	77.65	40.81	39.91
14	89.41	80.27	40.95	40.19
15	90.04	82.58	46.23	41.31
16	90.99	84.10	43.87	42.29
17	91.76	84.71	44.73	42.53
18	91.84	90.10	53.86	42.98
19	93.29	91.27	56.02	44.00
20	93.54	91.44	57.58	44.53
21	94.55	91.73	58.96	46.61
22	94.85	92.43	70.74	47.55
23	95.13	96.33	71.73	50.75
24	97.31	99.02	77.51	52.45

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค 10 ผลของความเข้มข้นแมงกานีสเริ่มต้นที่มีต่อการดูดซับแมงกานีส (มิลลิกรัมต่อกรัม น้ำหนักเซลล์แห้ง) โดยสาหร่าย *Cladophora* sp. ภายใต้ความเข้มข้นสาหร่าย เริ่มต้น 0.25 กรัม/น้ำหนักแห้ง ความเข้มแสง 1000 ลักซ์ พีเอช 7.0 ที่ อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส บนเครื่องเขย่าความเร็วรอบ 200 รอบต่อนาที เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

เวลา (ชม.)	การดูดซับแมงกานีส (มิลลิกรัมต่อกรัม น้ำหนักเซลล์แห้ง)			
	ความเข้มข้น 2.5 มิลลิกรัมต่อลิตร	ความเข้มข้น 4.0 มิลลิกรัมต่อลิตร	ความเข้มข้น 5.5 มิลลิกรัมต่อลิตร	ความเข้มข้น 7.0 มิลลิกรัมต่อลิตร
0	0.00	0.00	0.00	0.00
1	3.26	3.65	1.75	3.95
2	4.91	4.34	2.20	5.02
3	5.52	5.78	3.30	7.26
4	5.80	9.18	5.47	8.09
5	6.03	9.50	6.14	8.47
6	6.51	9.84	7.54	9.05
7	6.69	10.83	7.85	9.64
8	6.95	10.60	8.34	10.04
9	7.11	11.18	8.50	10.26
10	7.46	11.62	8.60	10.94
11	7.46	11.84	8.69	10.99
12	7.99	12.45	9.27	11.51
13	8.48	13.12	9.14	11.42
14	8.58	13.56	9.17	11.50
15	8.64	13.96	10.35	11.83
16	8.73	14.22	9.82	12.11
17	9.40	14.32	10.01	12.18
18	9.51	15.18	12.05	12.30
19	9.55	15.24	12.54	12.60
20	9.57	15.44	12.89	12.75
21	ND	15.52	13.20	13.34
22	ND	15.63	15.83	13.62
23	ND	16.30	17.14	14.53
24	ND	16.75	17.35	15.02

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ก

การวิเคราะห์ทางสถิติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของพีเอชที่มีต่อการดูดซับแมงกานีสโดยสาหร่าย
Cladophora sp.

ANOVA

เปอร์เซ็นต์การดูดซับ

	Sum of Squares	Df	Mean Square	F	Sig.,
Between Groups	29976.294	4	7494.073	23.806	.000
Within Groups	26757.745	85	314.797		
Total	56734.038	89			

Multiple Comparisons

Dependent Variable: เปอร์เซ็นต์การดูดซับ

LSD

(I) พีเอช	(J) พีเอช	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
พีเอช 2.5	พีเอช 4.0	-23.27268	5.914	.000	-35.03164	-11.51372
	พีเอช 5.5	-36.69846	5.914	.000	-48.45742	-24.93949
	พีเอช 7.0	-55.97701	5.914	.000	-67.73597	-44.21805
	พีเอช 8.5	-31.36473	5.914	.000	-43.12369	-19.60577
พีเอช 4.0	พีเอช 2.5	23.27268	5.914	.000	11.51372	35.03164
	พีเอช 5.5	-13.42578	5.914	.026	-25.18474	-1.66682
	พีเอช 7.0	-32.70433	5.914	.000	-44.46329	-20.94537
	พีเอช 8.5	-8.9206	5.914	.175	-19.85102	3.66691
พีเอช 5.5	พีเอช 2.5	36.69846	5.914	.000	24.93949	48.45742
	พีเอช 4.0	13.42578	5.914	.026	1.66682	25.18474
	พีเอช 7.0	-19.27856	5.914	.002	-31.03752	-7.51959
	พีเอช 8.5	5.33372	5.914	.370	-6.42524	17.09268

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ง 1 (ต่อ)

		Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
พื้เอช 7.0	พื้เอช 2.5	55.97701	5.914	.000	44.21805	67.73597
	พื้เอช 4.0	32.70433	5.914	.000	20.94537	44.46329
	พื้เอช 5.5	19.27856	5.914	.002	7.51959	31.03752
	พื้เอช 8.5	24.61228	5.914	.000	12.85332	36.37124
พื้เอช 8.5	พื้เอช 2.5	31.36473	5.914	.000	19.60577	43.12369
	พื้เอช 4.0	8.09206	5.914	.175	-3.66691	19.85102
	พื้เอช 5.5	-5.33372	5.914	.370	-17.09268	6.42524
	พื้เอช 7.0	-24.61228	5.914	.000	-36.37124	-12.85332

* The mean difference is significant at the .05 levels.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของปริมาณสาหร่ายเริ่มต้นที่มีต่อการดูดซับแมงกานีส
โดยสาหร่าย *Cladophora* sp.

ANOVA

เปอร์เซ็นต์การดูดซับ

	Sum of Squares	Df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	3110.769	2	1555.385	2.272	.110
Within Groups	49286.370	72	684.533		
Total	52397.139	74			

Multiple Comparisons

Dependent Variable: เปอร์เซ็นต์การดูดซับ

LSD

		Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
(I) สาหร่าย เริ่มต้น	(J) สาหร่าย เริ่มต้น				Lower Bound	Upper Bound
สาหร่าย เริ่มต้น 0.15 กรัม	สาหร่าย เริ่มต้น 0.20 กรัม	-11.06784	7.400	.139	-25.81983	3.68415
	สาหร่าย เริ่มต้น 0.25 กรัม	-15.26908	7.400	.043	-30.02107	-5.1709
สาหร่าย เริ่มต้น 0.20 กรัม	สาหร่าย เริ่มต้น 0.15 กรัม	11.06784	7.400	.139	-3.68415	25.81983
	สาหร่าย เริ่มต้น 0.25 กรัม	-4.20124	7.400	.572	-18.95323	10.55075
สาหร่าย เริ่มต้น 0.25 กรัม	สาหร่าย เริ่มต้น 0.15 กรัม	15.26908	7.400	.043	.51709	30.02107
	สาหร่าย เริ่มต้น 0.20 กรัม	4.20124	7.400	.572	-10.55075	18.95323

* The mean difference is significant at the .05 levels.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของอุณหภูมิที่มีต่อการดูดซับแมงกานีสโดยสาหร่าย *Cladophora sp.*

ANOVA

เปอร์เซ็นต์การดูดซับ

	Sum of Squares	Df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	591.938	2	295.969	.509	.603
Within Groups	41888.301	72	581.782		
Total	42480.239	74			

Multiple Comparisons

Dependent Variable: เปอร์เซ็นต์การดูดซับ

LSD

		Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
(I) อุณหภูมิ	(J) อุณหภูมิ				Lower Bound	Upper Bound
อุณหภูมิ 24 องศาเซลเซียส	อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส	-4.24572	6.822	.536	-17.84555	9.35411
	อุณหภูมิ 32 องศาเซลเซียส	2.56720	6.822	.708	-11.03263	16.19703
อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส	อุณหภูมิ 24 องศาเซลเซียส	4.24572	6.822	.536	-9.35411	17.84555
	อุณหภูมิ 32 องศาเซลเซียส	6.81292	6.822	.321	-6.78691	20.41275
อุณหภูมิ 32 องศาเซลเซียส	อุณหภูมิ 24 องศาเซลเซียส	-2.56720	6.822	.708	-16.16703	11.03263
	อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส	-6.81292	6.822	.321	-20.41275	6.78691

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของความเข้มแสงที่มีต่อการดูดซับแมงกานีสโดย
สาหร่าย *Cladophora* sp.

ANOVA

เปอร์เซ็นต์การดูดซับ

	Sum of Squares	Df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	12037.028	2	6018.514	11.745	.000
Within Groups	36894.373	72	512.422		
Total	48931.401	74			

Multiple Comparisons

Dependent Variable: เปอร์เซ็นต์การดูดซับ

LSD

		Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
(I) แสง	(J) แสง				Lower Bound	Upper Bound
แสง 1000 ลิกซ์	แสง 1400 ลิกซ์	9.23172	6.403	.154	-3.53170	21.99514
	แสง 1800 ลิกซ์	30.27328	6.403	.000	17.50986	43.03670
แสง 1400 ลิกซ์	แสง 1000 ลิกซ์	-9.23172	6.403	.154	-21.99514	3.53170
	แสง 1800 ลิกซ์	21.04156	6.403	.002	8.27814	33.80498
แสง 1800 ลิกซ์	แสง 1000 ลิกซ์	-30.27328	6.403	.000	-43.03670	-17.50986
	แสง 1400 ลิกซ์	-21.04156	6.403	.002	-33.80498	-8.27814

* The mean difference is significant at the .05 levels.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของแมงกานีสเริ่มต้นที่มีต่อการดูดซับแมงกานีสโดยสาหร่าย *Cladophora* sp.

ANOVA

เปอร์เซ็นต์การดูดซับ

	Sum of Squares	Df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	28847.733	3	9615.911	22.380	.000
Within Groups	41247.864	96	429.665		
Total	70095.597	99			

Multiple Comparisons

Dependent Variable: เปอร์เซ็นต์การดูดซับ

LSD

		Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
(I) แมงกานีสเริ่มต้น	(J) แมงกานีสเริ่มต้น				Lower Bound	Upper Bound
แมงกานีสเริ่มต้น 2.5 มิลลิกรัมต่อลิตร	แมงกานีสเริ่มต้น 4.0 มิลลิกรัมต่อลิตร	6.63108	5.863	.261	-5.00662	18.2687
	แมงกานีสเริ่มต้น 5.5 มิลลิกรัมต่อลิตร	34.80760	5.863	.000	23.16990	46.4453
	แมงกานีสเริ่มต้น 7.0 มิลลิกรัมต่อลิตร	38.86636	5.863	.000	27.22866	50.5040
แมงกานีสเริ่มต้น 4.0 มิลลิกรัมต่อลิตร	แมงกานีสเริ่มต้น 2.5 มิลลิกรัมต่อลิตร	-6.63108	5.863	.261	-18.26878	5.00662
	แมงกานีสเริ่มต้น 5.5 มิลลิกรัมต่อลิตร	28.17652	5.863	.000	16.53882	39.8142
	แมงกานีสเริ่มต้น 7.0 มิลลิกรัมต่อลิตร	32.23528	5.863	.000	20.59758	43.8729

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ง 5 (ต่อ)

		Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
(I) แมงกานีสเริ่มต้น	(J) แมงกานีสเริ่มต้น				Lower Bound	Upper Bound
แอมกานีสเริ่มต้น 5.5 มิลลิกรัมต่อลิตร	แอมกานีสเริ่มต้น 2.5 มิลลิกรัมต่อลิตร	-34.80760	5.863	.000	-46.44530	-23.1966
	แอมกานีสเริ่มต้น 4.0 มิลลิกรัมต่อลิตร	-28.17652	5.863	.000	-39.81422	-16.5388
	แอมกานีสเริ่มต้น 7.0 มิลลิกรัมต่อลิตร	4.05876	5.863	.490	-7.57894	15.6964
แอมกานีสเริ่มต้น 7.0 มิลลิกรัมต่อลิตร	แอมกานีสเริ่มต้น 2.5 มิลลิกรัมต่อลิตร	-38.86636	5.863	.000	-50.50406	-27.2286
	แอมกานีสเริ่มต้น 4.0 มิลลิกรัมต่อลิตร	-32.23528	5.863	.000	-43.87298	-20.5975
	แอมกานีสเริ่มต้น 5.5 มิลลิกรัมต่อลิตร	-4.05876	5.863	.490	-15.69646	7.5789

*The mean difference is significant at the .05 level.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้