

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ปัญหาพิเศษ

เรื่อง

การกำจัดตะกั่วจากน้ำเสียสังเคราะห์โดยสาหร่ายสีเขียว *Ulva rigida*
Lead (Pb^{2+}) removal from synthetic wastewater by green alga, *Ulva rigida*



เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... 104633
วันเดือนปี..... 5 พ.ย. 2552



ภาควิชาวิทยาศาสตร์การประมง
คณะเทคโนโลยีการเกษตร
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
กรุงเทพมหานคร 10520
ปีการศึกษา 2551

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใบรับรองปัญหาพิเศษ
ภาควิชาวิทยาศาสตร์การประมง

เรื่อง

การกำจัดตะกั่วจากน้ำเสียสังเคราะห์โดยสาหร่ายสีเขียว *Ulva rigida*
Lead (Pb^{2+}) removal from synthetic wastewater by green alga, *Ulva rigida*

ชื่อนักศึกษา นางสาวสุธาร์ตน์ พุ่มเพียร

ชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร. สุนิรัตน์ เรืองสมบุญ

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุนิรัตน์ เรืองสมบุญ)

ภาควิชารับรองแล้ว

Prof. Dr. P. Sunitarn

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ปวีณา ทวีกิจการ)

หัวหน้าภาควิชาวิทยาศาสตร์การประมง

วันที่ ๑๕ เดือน พ.ค. พ.ศ. ๒๕๕๘

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทคัดย่อปัญหาพิเศษ

เรื่อง

การกำจัดตะกั่วจากน้ำเสียสังเคราะห์โดยสาหร่ายสีเขียว *Ulva rigida* Lead (Pb²⁺) removal from synthetic wastewater by green alga, *Ulva rigida*

การศึกษากำจัดตะกั่วโดยสาหร่าย *Ulva rigida* เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมและประสิทธิภาพของสาหร่าย *Ulva rigida* ในการกำจัดตะกั่วจากน้ำเสียสังเคราะห์ พบว่าพีเอชของสารละลายตะกั่วที่เหมาะสมต่อการดูดซับคือ 4 ซึ่งมีค่าการดูดซับตะกั่วเท่ากับ 19.98 ± 0.58 มิลลิกรัมต่อกรัม ขนาดของเซลล์สาหร่ายน้อยกว่า 0.1-2.0 มิลลิเมตรไม่มีผลต่อการดูดซับตะกั่ว จำนวนของสาหร่ายที่เหมาะสมคือ 0.04 กรัมต่อสารละลายตะกั่ว 20 มิลลิลิตร ซึ่งมีค่าการดูดซับตะกั่วเท่ากับ 9.37 ± 0.12 มิลลิกรัมต่อกรัม อุณหภูมิ 25- 45 องศาเซลเซียสไม่มีผลต่อการดูดซับตะกั่ว เวลาที่เข้าสู่สมดุลของการดูดซับตะกั่ว คือ 30 นาที การดูดซับตะกั่วโดยสาหร่าย *Ulva rigida* สอดคล้องกับสมการการดูดซับของ Langmuir โดยมีค่าการดูดซับสูงสุด (Q_{max}) เท่ากับ 41.84 มิลลิกรัมต่อกรัม สาร 0.1 M HNO₃ สามารถล้างตะกั่วออกจากสาหร่ายได้ดีที่สุดโดยล้างได้มากกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ และการดูดซับในรูปแบบของ column ที่มีสาหร่าย 1.97 กรัม สามารถดูดซับตะกั่วได้ดีจนถึงที่เวลา 335 นาที หลังจากนั้นมีการดูดซับได้น้อยลง ซึ่งจากการศึกษาครั้งนี้แสดงให้เห็นว่าสาหร่าย *Ulva rigida* มีความสามารถในการดูดซับตะกั่วได้ดี และสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการบำบัดน้ำเสียที่มีตะกั่วปนเปื้อนได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำนิยม

ในการทำปัญหาพิเศษเรื่องการกำจัดตะกั่วจากน้ำเสียสังเคราะห์โดยสาหร่ายสีเขียว *Ulva rigida* ครั้งนี้ ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ อาจารย์สุนีรัตน์ เรืองสมบุญ เป็นอย่างสูง ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาที่กรุณาให้คำแนะนำ และตรวจสอบข้อบกพร่องการทำปัญหาพิเศษในครั้งนี้จนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ตลอดจนความใส่ใจ ความห่วงใย ที่อาจารย์มีให้ตลอดในการทำปัญหาพิเศษ

ขอขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่านที่ได้ให้วิชาความรู้ตลอดระยะเวลา 4 ปี และให้ข้อคิดเตือนสติต่างๆ ทำให้ได้นำความรู้เหล่านี้มาใช้ให้เป็นประโยชน์ในระหว่างการทำปัญหาพิเศษ

ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ภาควิชาวิทยาศาสตร์การประมงทุกท่าน ทั้งคุณบุปผา จงพัฒน์ คุณนภาพล เผ่ามณัส ที่ให้ความสะดวกในเรื่องเครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆที่ใช้ในการทดลอง

ขอขอบคุณเพื่อนๆในภาควิชาวิทยาศาสตร์การประมงรุ่นที่ 12 ทุกคน ที่คอยให้ความช่วยเหลือ และให้กำลังใจมาโดยตลอด

สุดท้ายนี้ ขอขอบพระคุณ คุณพ่อและคุณแม่ที่คอยอบรมเลี้ยงดู สั่งสอน คอยให้กำลังใจ และเป็นที่ยึดเหนี่ยวจิตใจของข้าพเจ้าในยามที่ท้อแท้

นางสาวสุธาร์ดี พุ่มเพียร

มกราคม 2552

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	I
สารบัญตาราง	II
สารบัญตาราง	III
คำนำ	1
การตรวจเอกสาร	2
อุปกรณ์และวิธีการ	21
ผลการทดลองและวิจารณ์	26
สรุป	37
เอกสารอ้างอิง	38



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ปฏิกิริยาอันดับ 1 และ ปฏิกิริยาอันดับ 2 การดูดซับตะกั่วและแคดเมียมโดยสาหร่าย <i>Ulva Lactuca</i> ที่อุณหภูมิที่ต่างกัน	12
2	อัตราเร็วของการดูดซับของคอปเปอร์โดยสาหร่าย <i>Ulva fasciata</i>	13
3	การดูดซับโลหะหนักโดย <i>Ulva</i>	15
4	การดูดซับคอปเปอร์โดย <i>Ulva fasciata</i> ที่จุดสมดุล	16
5	การล้างตะกั่วจาก <i>G. gelatinosa</i> โดย EDTA	18
6	การดูดซับตะกั่วโดยสาหร่าย <i>U. rigida</i> ที่พีเอชที่แตกต่างกัน	27
7	การดูดซับตะกั่วโดยสาหร่าย <i>U. rigida</i> ที่มีขนาดของเซลล์ที่แตกต่างกัน	28
8	การดูดซับตะกั่วโดยสาหร่าย <i>U. rigida</i> ที่จำนวนเซลล์ของสาหร่ายที่แตกต่างกัน	29
9	การดูดซับตะกั่วโดยสาหร่าย <i>U. rigida</i> ที่อุณหภูมิที่แตกต่างกัน	30
10	Langmuir isotherm และ Freundlich isotherm ในการดูดซับตะกั่วโดยสาหร่าย <i>U. rigida</i>	31
11	การล้างตะกั่วโดยสารละลายที่แตกต่างกัน	35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	ผลของ pH ในการดูดซับ Pb (II) และ Cd (II) ions โดยใช้ <i>Ulva lactuca</i>	6
2	ผลของ pH ในการดูดซับ Cd โดย <i>Ulva fasciata</i>	7
3	ผล pH ในการดูดซับ Zn โดย <i>Ulva fasciata</i>	7
4	ผลของปริมาณสาหร่ายในการดูดซับ Pb (II) และ Cd (II) ions โดย <i>Ulva lactuca</i>	8
5	ผลของจำนวนสาหร่ายในการดูดซับคอปเปอร์โดยสาหร่ายโดย <i>Ulva fasciata</i>	9
6	ผลของขนาดเซลล์ของสาหร่ายต่อการดูดซับสังกะสีโดยสาหร่าย <i>Ulva fasciata</i>	10
7	ผลของระยะเวลาและอุณหภูมิของการดูดซับ Pb (II) และ Cd (II) ions โดย <i>Ulva Lactuca</i>	11
8	การดูดซับคอปเปอร์โดย <i>Ulva fasciata</i>	14
9	การดูดซับคอปเปอร์โดย <i>Ulva fasciata</i> ที่จุดสมดุล	16
10	อัตราการดูดซับของไลหะหนักโดย <i>Ulva fasciata</i>	17
11	เส้นกราฟที่เกิดขึ้นและ pH ของการดูดซับของ <i>Turbinria conoides</i>	19
12	การดูดซับคอปเปอร์, โคบอลต์ และนิกเกิล โดยสาหร่าย <i>Sargassum wightii</i> ที่มีความแตกต่างกันของความสูงของสาหร่าย	20
13	ไอโซเทอร์มการดูดซับตะกั่วโดยสาหร่าย <i>U. rigida</i>	32
14	ผลของเวลาในการดูดซับตะกั่วโดยสาหร่าย <i>U. rigida</i>	33
15	ผลของการดูดซับตะกั่วโดยสาหร่าย <i>U. rigida</i> ที่ใช้ในการดูดซับตะกั่วในรูปแบบ column	36

คำนำ

ตะกั่วเป็นโลหะหนักที่เป็นพิษและที่สำคัญตะกั่วยังก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อมและมนุษย์เป็นอย่างมาก ก่อให้เกิดความเป็นพิษและทำให้เกิดโรคตามมา เช่น การทำงานของไตที่ผิดปกติ ผลกระทบที่เกิดขึ้นกับตับ ความดันโลหิต การพัฒนาทางกายของทารกในครรภ์มีความบกพร่อง มีการปล่อยตะกั่วลงสู่แหล่งน้ำโดยมีแหล่งที่มาจากบ้านเรือนและโรงงานอุตสาหกรรมที่มีการผลิตและมีการผสมตะกั่วลงไป เช่น แบตเตอรี่, สี, ดินปืน, โลหะผสม, เหล็กกล้า และพลาสติก เป็นต้น การกำจัดตะกั่วมีวิธีทั้งทางเคมี ทางชีวภาพ และทางกายภาพ การบำบัดโดยชีวภาพเป็นขบวนการที่เกิดจากจุลินทรีย์ซึ่งมีอยู่ในธรรมชาติใช้สารอินทรีย์หรือสิ่งสกปรกที่เจือปนในน้ำเสียเป็นอาหาร ทำให้ปริมาณสารอินทรีย์หรือความสกปรกในน้ำลดลงหรือหมดไป ในขบวนการบำบัดโดยชีวภาพ จึงเป็นการควบคุมปริมาณน้ำเสียให้สัมพันธ์กับปริมาณจุลินทรีย์และเวลาที่ใช้ในการย่อยสลายให้เหมาะสม ในทางชีวภาพมีการกำจัดตะกั่วโดยการนำสาหร่ายทะเลมาเป็นตัวกำจัดตะกั่วซึ่งเป็นตัวดูดซับที่นิยมใช้ตัวหนึ่ง สาหร่ายสีเขียว *Ulva rigida* เป็นสาหร่ายทะเลที่มีการพบมากที่จังหวัดตราด มีการรายงานถึงความสามารถของสาหร่ายในการจับโลหะได้สูง เนื่องจากมีพอลิแซคคาไรด์ โปรตีน และไขมันบนผิวเซลล์ของสาหร่ายที่ประกอบด้วยหมู่ฟังก์ชันก์ เช่น อะมิโน, ไฮดรอกซิล, คาร์บอกซิล และซัลเฟต ที่มีตำแหน่งของการจับโลหะอยู่ที่ผิวเซลล์ของสาหร่าย สาหร่ายสีเขียว *Ulva rigida* มีประโยชน์ที่สามารถที่จะกำจัดตะกั่วได้

วัตถุประสงค์

ศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมและประสิทธิภาพของสาหร่าย *Ulva rigida* ในการดูดซับตะกั่ว

การตรวจเอกสาร

น้ำเป็นปัจจัยสำคัญในการดำรงชีวิตน้ำถูกนำมาใช้ในการอุปโภคบริโภค และน้ำเมื่อใช้แล้วก็จะถูกปล่อยทิ้งออกสู่แหล่งน้ำธรรมชาติได้ก่อให้เกิดปัญหาขึ้น น้ำทิ้งหรือน้ำเสีย (wastewater) คือ น้ำที่ผ่านการใช้ประโยชน์ต่างๆ ทำให้มีคุณลักษณะเปลี่ยนไปจากเดิมเนื่องจากมีสิ่งเจือปนทั้งสารอินทรีย์และอนินทรีย์ จำเป็นต้องผ่านกระบวนการบำบัดน้ำเสียก่อนที่จะปล่อยลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติเพื่อลดการเกิดมลภาวะ คำว่า "wastewater" นี้แตกต่างจาก "waste water" ที่หมายถึงน้ำทิ้งจากกระบวนการผลิต ซึ่งอาจจะไม่เป็นน้ำเสียก็ได้ ยกตัวอย่างเช่น การใช้กระบวนการ "ออสโมซิสผันกลับ" (reverse osmosis) เพื่อเพิ่มความเข้มข้นของน้ำผลไม้แทนการต้มระเหยน้ำออก โดยให้ความดัน (pressure) กับน้ำผลไม้ที่ไหลผ่านเยื่อกรองที่ยอมให้เฉพาะโมเลกุลของน้ำเท่านั้นผ่านออกมา น้ำที่ถูกดันผ่านเยื่อกรองออกมาจัดว่าเป็นของเสียจากกระบวนการผลิต (waste water) แต่มีความสะอาดสามารถที่จะนำไปหมุนเวียนใช้งานอย่างอื่นได้ เช่น ใช้ชำระล้างภายในโรงงานทำให้แหล่งน้ำมีคุณภาพเสื่อมลงและในที่สุดก็กลายเป็นน้ำเน่า สิ่งมีชีวิตที่เคยอาศัยอยู่ในน้ำก็มิอาจอาศัยอยู่ได้ (<http://www.aggie.kps.ku.ac.th>)

ตะกั่ว

1. ลักษณะของตะกั่ว ตะกั่วเป็นโลหะที่มีสีเงินแกมฟ้า ซึ่งสามารถพบได้ตามธรรมชาติ โดยปกติมักพบตะกั่วปะปนอยู่กับกำมะถัน ซึ่งก่อนที่จะนำตะกั่วมาใช้ในภาคอุตสาหกรรม จำเป็นต้องแยกโลหะทั้งสองชนิดนี้ออกจากกันเสียก่อน โดยการเผาด้วยความร้อนสูงแล้วจึงพ่นอากาศเข้าไป ออกซิเจนในอากาศจะทำปฏิกิริยากับตะกั่วและกำมะถัน เกิดเป็นตะกั่วออกไซด์และก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ซึ่งก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นจะนำไปใช้ในการผลิตกรดกำมะถัน สำหรับตะกั่วออกไซด์ที่เกิดขึ้นสามารถนำไปใช้ในอุตสาหกรรมได้ และหากนำตะกั่วออกไซด์ที่ได้ไปผ่านกระบวนการดูดซับออกซิเจนบริสุทธิ์ จะได้ตะกั่วบริสุทธิ์ที่สามารถนำไปใช้ในอุตสาหกรรมได้ (http://www.diw.go.th/diw_webhtml/versionthai/news.pdf)

2. แหล่งที่มาของตะกั่วที่ปนลงในแหล่งน้ำ

2.1 น้ำเสียจากชุมชน เป็นน้ำเสียที่เกิดขึ้นจากกิจกรรมต่างๆ ในชีวิตประจำวันของประชาชนในชุมชน โดยมีแหล่งกำเนิดมาจาก อาคารบ้านเรือน เช่น การชำระล้าง, การซักผ้า, การประกอบอาหาร เป็นต้น ร้านค้าพาณิชยกรรม ตลาดสด ร้านอาหาร สถาบันการศึกษา สถานที่ราชการ โรงแรม โรงเรียน ห้างสรรพสินค้า เป็นต้น สิ่งเจือปนในน้ำทิ้งประเภทนี้ส่วนมากเป็นสารอินทรีย์

2.2 น้ำเสียจากอุตสาหกรรม เป็นน้ำเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตทางอุตสาหกรรม ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นน้ำล้างในกระบวนการผลิตต่าง ๆ ซึ่งมีสมบัติแตกต่างกันตามประเภทของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุตสาหกรรม โลหะตะกั่วเป็นวัตถุอันตรายในอุตสาหกรรมแบตเตอรี่ อุตสาหกรรมโลหะบัดกรี ซึ่งเป็นโลหะผสมระหว่างดีบุกกับตะกั่วในอัตราส่วนต่าง ๆ กัน โลหะบัดกรีใช้ในอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ เครื่องใช้ไฟฟ้า หม้อน้ำรถยนต์ ส่วนประกอบของคอมพิวเตอร์และแผงวงจรไฟฟ้า นอกจากนี้ยังใช้โลหะตะกั่วในโรงชุบเคลือบเหล็กด้วยสังกะสี ลูกเหล็กอวนที่ใช้ในอุตสาหกรรมประมง ใช้ในการทำกระดาษตะกั่ว ท่อน้ำ แผ่นตะกั่ว ตัวพิมพ์ กระสุนปืน สะพานไฟฟ้า ทำผนังกันรังสีในเครื่องหรือห้องปฏิบัติการเกี่ยวกับปฏิกิริยาปรมาณู ใช้ตะกั่วในการทำสีและทำผงตะกั่วแดง ตะกั่วเหลืองสำหรับเคลือบภาชนะต่างๆ

2.3 น้ำเสียจากการเกษตร เป็นน้ำเสียที่เกิดจากกิจกรรมทางการเกษตร เช่นน้ำเสียจากการล้างคอกสัตว์เลี้ยง เช่น คอกหมู คอกวัว เล้าไก่ น้ำเสียจากนาข้าว จากฟาร์มเลี้ยงกุ้ง เป็นต้น โดยน้ำเสียจากการเกษตรกรรมส่วนใหญ่จะปนเปื้อนสารเคมี ยาฆ่าแมลง หรือปุ๋ย

(<http://www.skn.ac.th>)

3. พิษของสารตะกั่ว

3.1 ความเป็นพิษเฉียบพลัน ผู้ได้รับตะกั่วจะรู้สึกปวดคอ มีกลิ่นโลหะในปาก กระจายน้ำคอกแห้ง ปวดแสบหน้าท้อง คลื่นไส้ อาเจียน อาเจียนอาจมีลักษณะขาวขุ่นจากเลือดคอกไรต์ ผู้ได้รับตะกั่วส่วนมากจะมีอาการท้องร่วง และส่วนน้อยท้องผูก อาจจะมีเลือดหรือมีสีดำอันเนื่องมาจากเลือดซัลไฟด์ ผู้ได้รับตะกั่วบางรายอาจเกิดอาการช็อค กล้ามเนื้อกระตุก อ่อนเพลีย เป็นตะคริว โดยเฉพาะที่ขาทั้งสองข้าง หรือมีอาการของระบบประสาทส่วนกลาง เช่น ปวดศีรษะ นอนไม่หลับ หรืออาจมีอาการผิดปกติที่ไร้สาเหตุ เช่น รู้สึกชา ซึมเศร้า ถึงขั้นโคม่าและเสียชีวิตในที่สุด อาการที่ร่วงลงไป ได้แก่ ภาวะไตเสื่อม ทำให้ปัสสาวะน้อยลงกว่าปกติ มีอัลบูมิน และมีเม็ดในปัสสาวะ เจ็บไต นอกจากนี้ จะมีการสลายตัวของเม็ดเลือดแดง อาจทำให้เสียชีวิตได้ภายใน 2-3 วัน (http://www.diw.go.th/diw_webhtml/versionthai/news.pdf)

3.2 ความเป็นพิษเรื้อรัง ผู้ได้รับตะกั่วอาจมีอาการทางระบบทางเดินอาหารและทางระบบประสาท อาการทางระบบทางเดินอาหาร เช่น เบื่ออาหาร เหนื่อยเฟื้อนในลำคอ ท้องผูก เป็นตะคริวที่หน้าท้อง อาการทางระบบประสาท เช่น ซ้อมือตก เป็นอัมพาต ไม่มีแรง แต่ยังคงมีความรู้สึก อาการทางสมองหรือเยื่อหุ้มสมองอักเสบ อาการนี้พบน้อยในผู้ใหญ่ส่วนมากมักเกิดขึ้นกับเด็ก เช่น เด็กที่กำลังรำเริงว่องไว อยู่ดีๆ ก็หมดสติ นานประมาณ 2-3 ชั่วโมงจากสถิติผู้ป่วยที่มีอาการทางสมอง บางรายเสียชีวิต ประมาณร้อยละ 25 ของผู้รอดชีวิตอาจมีอาการทางประสาทอย่างถาวร (http://www.diw.go.th/diw_webhtml/versionthai/news.pdf)

4. การบำบัดน้ำเสีย กรรมวิธีในการบำบัดน้ำเสีย

4.1 การบำบัดน้ำเสียขั้นเตรียมการ (Pretreatment) เป็นการกำจัดของแข็งขนาดใหญ่ ออกเสียก่อนที่น้ำเสียจะถูกปล่อยเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสีย เพื่อป้องกันการอุดตันท่อน้ำเสีย และเพื่อเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไม่ทำความเสียหายให้แก่เครื่องสูบน้ำ การบำบัดน้ำเสียในขั้นนี้ได้แก่ การดักด้วยตะแกรง เป็นการกำจัดของแข็งขนาดใหญ่โดยใช้ตะแกรง ตะแกรงที่ใช้โดยทั่วไปมี 2 ประเภทคือ ตะแกรงหยาบและตะแกรงละเอียด การบดตัดขนาดหรือปริมาตรของแข็งให้เล็กลง ถ้ามีสิ่งสกปรกที่ลอยติดมากับน้ำเสียเป็นสิ่งที่เน่าเสียได้ต้องให้เครื่องบดตัดละเอียด ก่อนแยกออกด้วยการตกตะกอน การดักกรวดทราย เป็นการกำจัดพวกกรวดทรายให้ตกตะกอนในรางดักทราย โดยการลดความเร็วของน้ำลง การกำจัดไขมันและน้ำมันเป็นการกำจัดไขมันน้ำมันซึ่งมักอยู่ในน้ำเสียที่มาจากครัว โรงอาหาร ห้องน้ำ บันนํ้ามัน และโรงงานอุตสาหกรรมบางชนิด โดยการกักน้ำเสียไว้ในบ่อดักน้ำมันในช่วงเวลาหนึ่งเพื่อให้ไขมันและไขมันลอยตัวขึ้นสู่ผิวน้ำแล้วใช้เครื่องดักหรือกวาดออกจากบ่อ

4.2 การบำบัดน้ำเสียขั้นที่สอง (Secondary Treatment) เป็นการกำจัดน้ำเสียที่เป็นพวกสารอินทรีย์อยู่ในรูปสารละลายหรืออนุภาคคอลลอยด์ โดยทั่วไปมักจะเรียกการบำบัดขั้นที่สองนี้ว่าการบำบัดน้ำเสียด้วยขบวนการทางชีวภาพ เนื่องจากเป็นขั้นตอนที่ต้องอาศัยจุลินทรีย์ที่ทำหน้าที่ย่อยสลาย หรือทำลายสิ่งสกปรกในน้ำเสีย การบำบัดน้ำเสียในปัจจุบันน้อยอย่างน้อยจะต้องบำบัดถึงขั้นที่สองนี้ เพื่อให้น้ำเสียได้ผ่าน การบำบัดแล้วมีคุณภาพมาตรฐานน้ำทิ้งที่ทางราชการกำหนดไว้ การบำบัดน้ำเสียด้วยขบวนการทางชีวภาพแบ่งเป็น 2 ประเภท ได้แก่ ขบวนการใช้ออกซิเจน เช่น ระบบบ่อเติมอากาศ ระบบแคทีเวตเตดสลัดจ์ ระบบแผ่นหมุนชีวภาพ เป็นต้น และขบวนการไม่ใช้ออกซิเจน เช่น ระบบถังกรองไร้อากาศระบบถังหมักตะกอน เป็นต้น ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของจุลินทรีย์ที่ทำหน้าที่ย่อยสลาย

4.3 การบำบัดน้ำเสียขั้นสูง (Advanced Treatment) เป็นการบำบัดน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดขั้นที่สองมาแล้ว เพื่อกำจัดสิ่งสกปรกบางอย่างที่ยังเหลืออยู่ เช่น โลหะหนัก หรือเชื้อโรคบางชนิดก่อนระบายน้ำทิ้งลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะ การบำบัดน้ำเสียขั้นสูงนี้ไม่นิยมทำกัน เนื่องจากมีขั้นตอนที่ยุ่งยากและเสียค่าใช้จ่ายสูง นอกจากผู้บำบัดจะมีจุดประสงค์ในการบำบัดแล้วกลับคืนมาใช้อีกครั้ง (<http://www.panyathai.or.th/wiki/index.php>)

สาหร่าย *Ulva rigida*

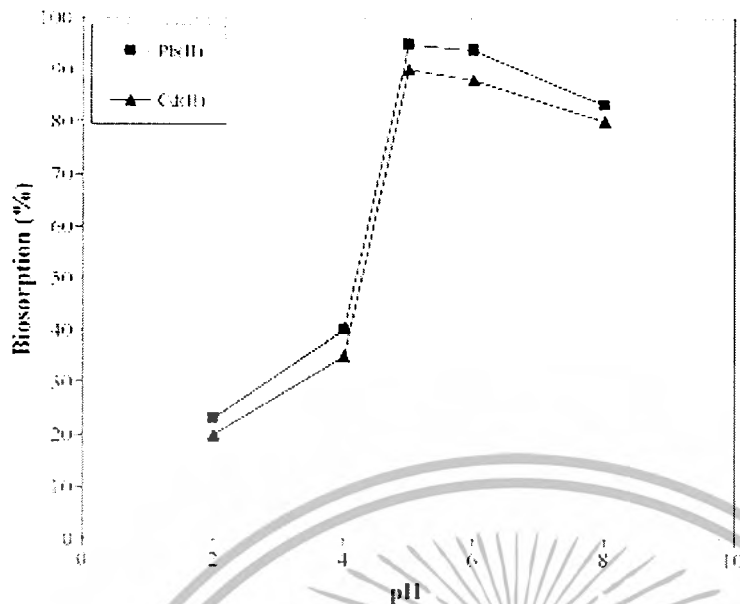
ลักษณะทั่วไปของสาหร่ายเป็นสาหร่ายทะเลชนิดหนึ่งที่มีสีเขียว มีลักษณะแผ่นใบแผ่กว้าง ใบหยักคล้ายใบผักกาดจึงเรียกว่าสาหร่ายผักกาดทะเล ซึ่งมีขนาดตั้งแต่ขนาดเล็กมากต้องส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์จนถึงขนาด 65 เซนติเมตร มีชื่อสามัญเรียกว่า sea lettuce มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Ulva rigida* Order Ulvales Class Chlorophyceae Division Chlorophyta (C. Agardh, 1823) มีรายงานว่าสาหร่ายทะเลมีความสามารถในการจับโลหะได้สูงเนื่องจากที่เซลล์ผิวของสาหร่ายมีหมู่ฟังก์ชันที่เป็นพอลิแซคคาไรด์, โปรตีน หรือไขมัน เช่น กรดอะมิโน, hydroxyl, carboxyl และ sulphate ซึ่งเป็นตำแหน่งที่ใช้จับโลหะ (Sari and Tuzen, 2008) ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Kumar et al. (2006a) รายงานว่าสาหร่าย *Ulva fasciata* ที่มีคุณสมบัติที่สามารถกำจัดโลหะหนักได้ โดยที่ผนังเซลล์ของสาหร่ายมีส่วนประกอบของพอลิแซคคาไรด์, โปรตีน และไขมัน ที่เป็นกลุ่มของ hydroxyl, carboxyl และ sulphate เป็นต้นซึ่งเป็นหมู่ฟังก์ชันที่สามารถกำจัดโลหะได้ ในประเทศไทยสามารถพบได้ที่จังหวัดตราดและมีจำนวนมาก ในสถานีเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่งจังหวัดตราดได้มีการนำสาหร่าย *Ulva rigida* มาทำการบำบัดน้ำเสียในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำสาหร่ายที่มีการเจริญเติบโตได้อย่างรวดเร็ว โดยมีการแบ่งเซลล์ทั้งในแนวกว้างและแนวนอน ซึ่งจะมีการแผ่ออกเป็นแผ่นและมีรอยจีบอยู่ตรงขอบถือเป็นการเพิ่มพื้นที่ในการขยายการเจริญของเซลล์ และพื้นที่ผิวของสาหร่ายที่แผ่กว้างนั้นทำให้สามารถดูดซับธาตุอาหารได้มากจึงเหมาะแก่การนำมาปรับปรุงคุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำ (<http://www.fisheries.go.th/cs-trat/Index/ulva.html>)

ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับตะกั่ว

1. ผลของพีเอชที่มีต่อการดูดซับตะกั่ว

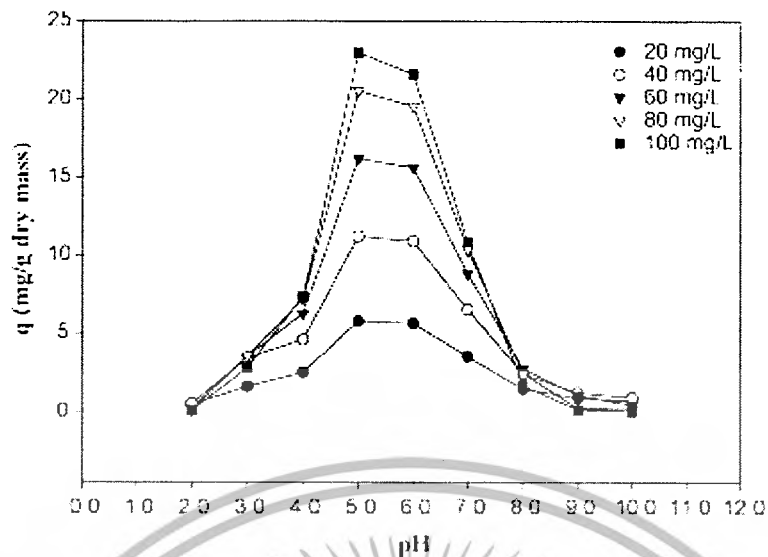
Sari and Tuzen (2008) มีการศึกษาการดูดซับ Pb (II) และ Cd (II) ions ในสารละลายที่มีพีเอชต่างกัน 2-8 โดยมีความเข้มข้นของ Pb (II) เท่ากับ 10 มิลลิกรัมต่อลิตรและความเข้มข้นของ Cd (II) เท่ากับ 10 มิลลิกรัมต่อลิตรโดยใช้สาหร่าย *Ulva lactuca* (สาหร่ายแห้ง) จำนวน 20 กรัมต่อลิตร พบว่า *Ulva lactuca* สามารถดูดซับ Pb (II) สูงที่สุดที่ระดับพีเอช 5 โดยดูดซับได้ 95 เปอร์เซ็นต์ และสามารถดูดซับ Cd (II) สูงที่สุดที่ระดับพีเอช 5 โดยดูดซับได้ 90 เปอร์เซ็นต์ (ภาพที่ 1) เพราะที่พีเอชต่ำกว่า 5 มีการดูดซับได้น้อยเนื่องจากสารละลายมีไฮโดรเจนไอออนมากเกินไปทำให้เกิดการแย่งกันจับกับไอออนของโลหะที่ตำแหน่งการจับของสาหร่ายทำให้มีการดูดซับน้อยลง และที่พีเอชมากเกินไปมีการดูดซับลดลงเนื่องจากการตกตะกอนของตะกั่วทำให้ไม่สามารถจับกับที่ตำแหน่งการจับที่ผิวเซลล์ของสาหร่ายจึงมีการดูดซับลดลง



ภาพที่ 1 ผลของ pH ในการดูดซับ Pb (II) และ Cd (II) ions โดยใช้ *Ulva lactuca*
(ความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อกรัม และอุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส)

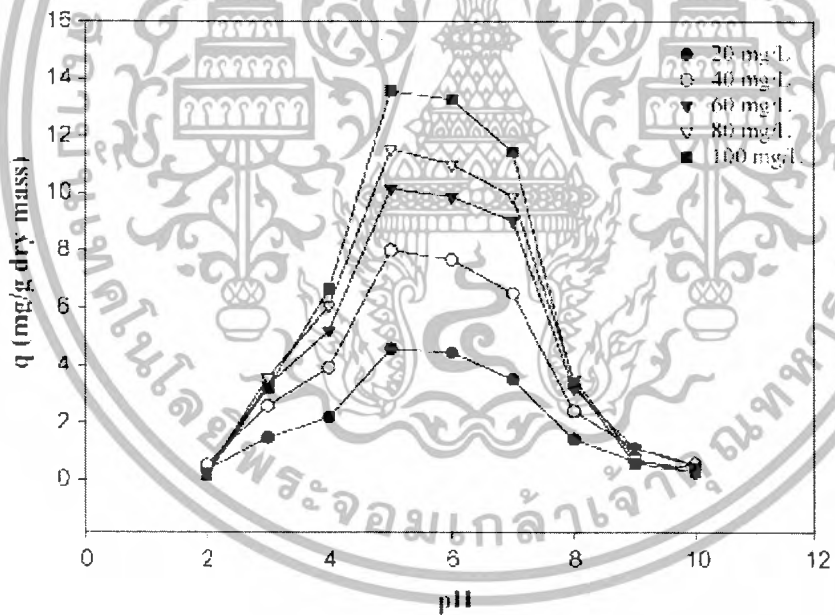
ที่มา: Sari and Tuzen (2008)

Kumar *et al.* (2006a) การศึกษาการใช้สาหร่าย *Ulva fasciata* (สาหร่ายแห้ง) จำนวน 0.1 กรัม ดูดซับคอปเปอร์และสังกะสีที่ความเข้มข้น 20-100 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่พีเอช 2-10 มีการเขย่า 24 ชั่วโมง ผลของการดูดซับคอปเปอร์และสังกะสี (ภาพที่ 2 และ 3) สามารถดูดซับได้สูงสุดที่พีเอช 5 ในพีเอช 2-5 มีการแย่งกันจับที่ตำแหน่งการจับโลหะที่ผิวเซลล์ของไอออนของโลหะและไอออนของไฮโดรเจนจึงทำให้มีการดูดซับได้น้อย และที่พีเอช 6-10 มีการดูดซับได้น้อยเนื่องจากมีการตกตะกอนของโลหะทำให้ไม่สามารถจับที่ตำแหน่งการจับโลหะได้ทำให้มีการดูดซับที่น้อยลง พีเอชที่เหมาะสมในการดูดซับ Cu และ Zn คือ 5



ภาพที่ 2 ผลของ pH ในการดูดซับ Cd โดย *Ulva fasciata*

ที่มา: Kumar et al. (2006a)



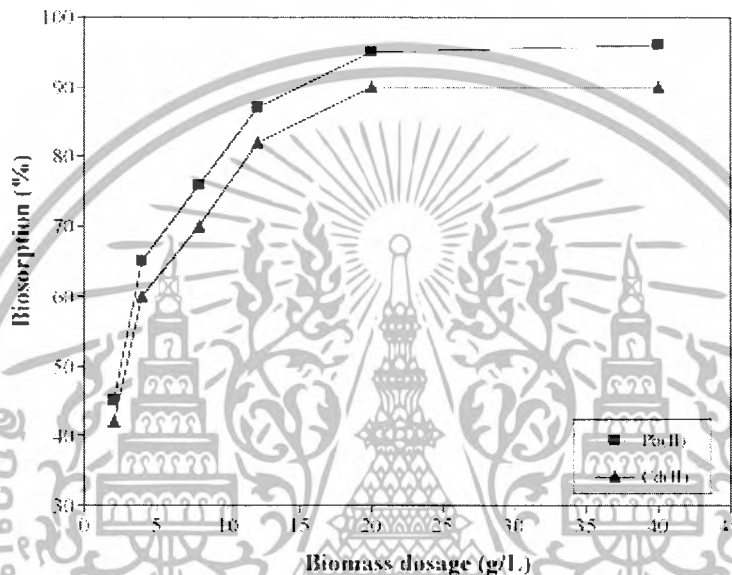
ภาพที่ 3 ผล pH ในการดูดซับ Zn โดย *Ulva fasciata*

ที่มา: Kumar et al. (2006a)

2. ผลของปริมาณสาหร่ายต่อการดูดซับโลหะหนัก

Sari and Tuzen (2008) รายงานว่าผลของปริมาณสาหร่าย *Ulva lactuca* ต่อการดูดซับของ Pb (II) และ Cd (II) ions ที่ความเข้มข้นของ Pb (II) เท่ากับ 10 มิลลิกรัมต่อลิตรและความเข้มข้นของ Cd (II) เท่ากับ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยใช้ปริมาณสาหร่ายที่เป็นสาหร่ายแห้งที่มีความเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แตกต่างกันคือ 2-40 กรัมต่อลิตร (ภาพที่ 4) การแสดงผลของการดูดซับที่สูงขึ้นเนื่องจากการเพิ่มขึ้นในปริมาณของสาหร่ายในสารละลาย เปอร์เซ็นต์การดูดซับโลหะได้สูงสุดที่ปริมาณสาหร่ายเท่ากับ 20 กรัมต่อลิตร ซึ่งมีเปอร์เซ็นต์การดูดซับที่ไม่ต่างกันเมื่อปริมาณสาหร่ายเพิ่มขึ้น สามารถอธิบายถึงแนวโน้มของปริมาณสาหร่ายที่สูงขึ้นมีผลทำให้ประสิทธิภาพของบริเวณผิวของสาหร่ายที่มีการดูดซับโลหะมีประสิทธิภาพลดลงจึงทำให้มีเปอร์เซ็นต์การดูดซับโลหะคงที่หรือลดลง ดังนั้นจุดที่เหมาะสมที่สุดของปริมาณสาหร่ายคือ 20 กรัมต่อลิตร

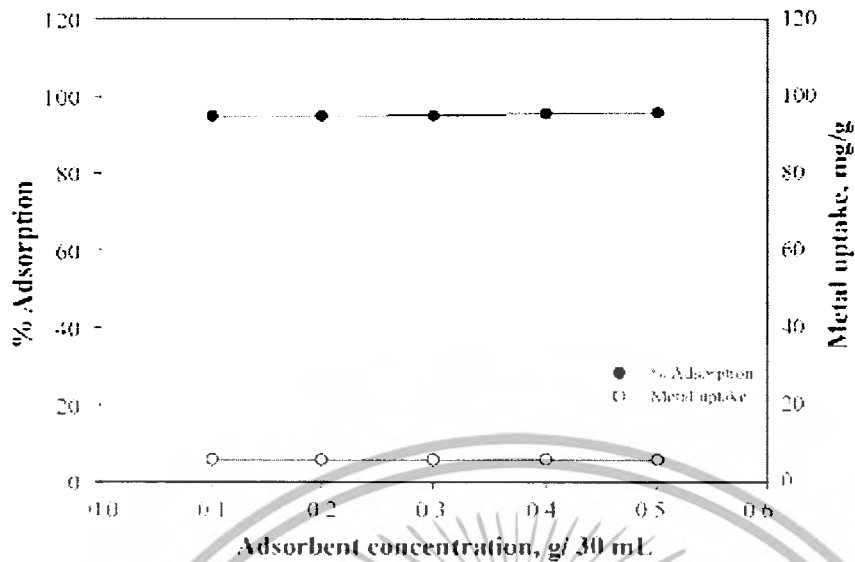


ภาพที่ 4 ผลของปริมาณสาหร่ายในการดูดซับ Pb (II) และ Cd (II) ions โดย *Ulva lactuca* (ความเข้มข้นของโลหะ 10 มิลลิกรัมต่อกรัม, pH 5 และอุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส)

ที่มา: Sari and Tuzen (2008)

Kumar *et al.* (2006b) รายงานผลของจำนวนสาหร่าย *Ulva fasciata* ต่อการดูดซับคอปเปอร์ (ภาพที่ 5) แสดงผลของจำนวนสาหร่ายต่อการดูดซับคอปเปอร์ ปริมาณของคอปเปอร์ที่มีการดูดซับมีการเปลี่ยนแปลงเมื่อจำนวนของสาหร่ายมีการเปลี่ยนแปลง ปริมาณการดูดซับคอปเปอร์เพิ่มขึ้นเมื่อมีการเพิ่มขึ้นของสาหร่ายจาก 0.1 - 0.5 กรัม (สาหร่ายแห้ง) เปอร์เซ็นต์การกำจัดคอปเปอร์เพิ่มจาก 94.88 เป็น 95.86 เปอร์เซ็นต์ จากการที่มีการเพิ่มของสาหร่าย เนื่องจากมีพื้นที่ผิวของการดูดซับเพิ่มมากขึ้นจึงทำให้มีการดูดซับได้เพิ่มขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



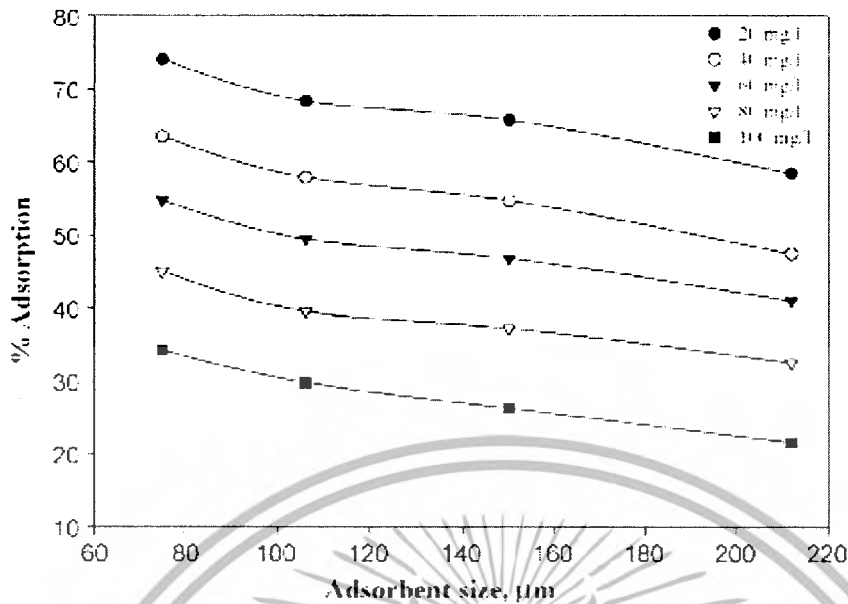
ภาพที่ 5 ผลของจำนวนสาหร่ายในการดูดซับคอปเปอร์โดยสาหร่ายโดย *Ulva fasciata* (พีเอช 5, ความเข้มข้นของสารละลายคอปเปอร์ 20 มิลลิกรัมต่อลิตร, ขนาดของเซลล์สาหร่าย 75 ไมโครเมตร)

ที่มา : Kumar *et al.* (2006b)

3.ขนาดของเซลล์สาหร่ายต่อการดูดซับโลหะหนัก

Kumar *et al.* (2007) รายงานถึงผลของความแตกต่างของขนาดเซลล์สาหร่าย (75-212 ไมโครเมตร) ต่อเปอร์เซ็นต์การดูดซับสังกะสี (ภาพที่6) การดูดซับสังกะสีโดย *Ulva fasciata* มีการลดลงจาก 74.1 เป็น 58.5 เปอร์เซ็นต์กับการเพิ่มของขนาดของเซลล์สาหร่ายจาก 75-212 ไมโครเมตร ที่ความเข้มข้นของดูดซับสังกะสี 20 มิลลิกรัมต่อลิตร การลดลงของขนาดเซลล์สาหร่ายเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวของการดูดซับทำให้มีการเพิ่มของปริมาณการดูดซับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

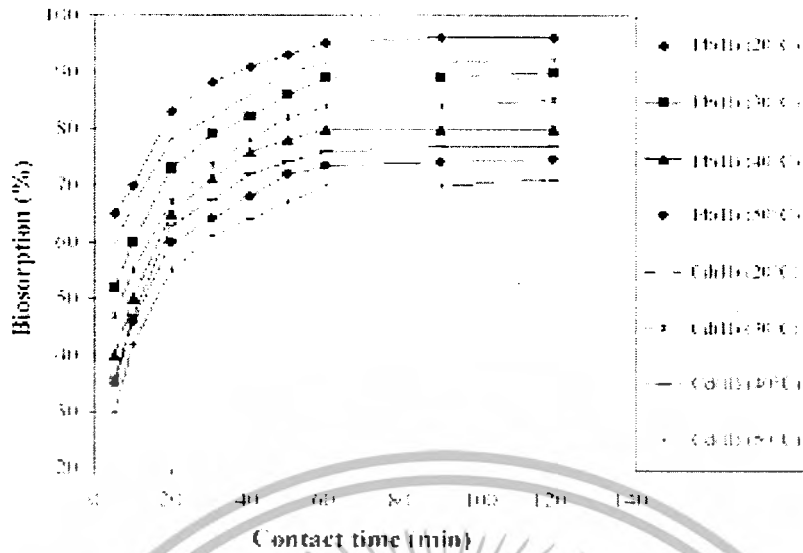


ภาพที่ 6 ผลของขนาดเซลล์ของสาหร่ายต่อการดูดซับสังกะสีโดยสาหร่าย *Ulva fasciata* (น้ำหนักของสาหร่าย 0.1 กรัมต่อ 30 มิลลิลิตร, ปริมาตรของสารละลายสังกะสี 30 มิลลิลิตร และ pH 5)

ที่มา: Kumar et al. (2007)

4. ผลอุณหภูมิต่อการดูดซับโลหะหนัก

Sari and Tuzen (2008) กล่าวว่า อุณหภูมิมีผลต่อการดูดซับ Pb (II) และ Cd (II) ions โดยสาหร่าย *Ulva lactuca* โดยใช้ปริมาณสาหร่าย 20 กรัมต่อลิตร (สาหร่ายแห้ง) ที่ความเข้มข้นของ Pb (II) เท่ากับ 10 มิลลิกรัมต่อลิตรและความเข้มข้นของ Cd (II) เท่ากับ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร (ภาพที่ 7) ที่อุณหภูมิ 20-50 องศาเซลเซียส ผลของการดูดซับที่ลดลงจาก 95% เป็น 73% ใน Pb (II) และ 91% เป็น 70% ใน Cd (II) ions ที่มีการเพิ่มจากอุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส จนถึง 50 องศาเซลเซียส การลดลงของการดูดซับ Pb (II) และ Cd (II) ions เนื่องจากเกิดความเสียหายของตำแหน่งการจับโลหะของสาหร่ายหรือการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิที่ทำให้ไม่สามารถดูดซับโลหะได้ อุณหภูมิที่เหมาะสมในการดูดซับ Pb (II) และ Cd (II) ions โดยสาหร่าย *Ulva lactuca* คือ 20 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 7 ผลของระยะเวลาและอุณหภูมิของการดูดซับ Pb (II) และ Cd (II) ions โดย *Ulva lactuca* (ความเข้มข้นของโลหะ 10 มิลลิกรัมต่อกรัม และปริมาณสาหร่าย 20 กรัมต่อลิตร)

ที่มา: Sari and Tuzen (2008)

5. จลนพลศาสตร์การดูดซับ

Sari and Tuzen (2008) รายงานจลนพลศาสตร์การดูดซับที่นำมาตรวจสอบกระบวนการทำงานของสาหร่าย *Ulva lactuca* ในการดูดซับตะกั่วและแคดเมียม โดยการใส่กลไกการดูดซับมาอธิบาย มีปฏิกิริยาอันดับ 1 และ ปฏิกิริยาอันดับ 2 การเขียนกราฟของปฏิกิริยาอันดับ 1 โดย Lagergren

$$\ln (q_e - q_t) = \ln q_e - k_1 t$$

q_t และ q_e (mg/g) คือปริมาณของตัวถูกละลายที่ถูกดูดซับที่จุดสมดุล และ k_1 เป็นค่าคงที่ของอัตราเร็วของการดูดซับ สามารถเขียนกราฟของ $\ln (q_e - q_t)$ กับเวลา จากการเขียนกราฟของ $\ln (q_e - q_t)$ กับเวลา ปฏิกิริยาอันดับ 1 แสดงค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R^2) ในการดูดซับตะกั่วเท่ากับ 0.962-0.982 และในการดูดซับแคดเมียมเท่ากับ 0.970-0.980 (ตารางที่ 2) ปฏิกิริยาอันดับ 2 แสดงสมการ

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{k_2 q_e^2} + \left(\frac{1}{q_e} \right) t$$

k_2 (g/mg min) เป็นค่าคงที่ของอัตราเร็วของการดูดซับปฏิกิริยาอันดับ 2 q_t (mg/g) เป็นปริมาณการดูดซับ t คือเวลา (นาที) และ q_e คือปริมาณการดูดซับที่จุดสมดุล (mg/g) เป็นการเขียนกราฟระหว่าง t/q_t กับ t ในปฏิกิริยาอันดับ 2 ในตารางที่ 1 ผลของค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์มีค่าที่สูง ($R^2 = 0.995-0.999$ ในการดูดซับตะกั่ว และ $R^2 = 0.998-0.999$ ในการดูดซับแคดเมียม) การดูดซับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เหมือนญาติเห็นไป เข็มประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตะกั่วและแคดเมียมโดยสาหร่าย *Ulva lactuca* กลไกในการดูดซับเป็นแบบปฏิกิริยาอันดับ 2 เนื่องจากมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ที่สูง

ตารางที่ 1 ปฏิกิริยาอันดับ 1 และ ปฏิกิริยาอันดับ 2 การดูดซับตะกั่วและแคดเมียมโดยสาหร่าย *Ulva lactuca* ที่อุณหภูมิที่ต่างกัน

Temperature (°C)	Pseudo-first-order			Pseudo-second-order		
	k_1 (1/min)	q_e (mg/g)	R^2	k_2 (g/mg min)	q_e (mg/g)	R^2
Pb(II)						
30	8.4×10^{-2}	0.56	0.977	0.29	1.01	0.999
30	7.5×10^{-2}	0.54	0.974	0.24	0.98	0.998
40	7.3×10^{-2}	0.44	0.982	0.22	0.88	0.999
50	4.1×10^{-2}	0.45	0.962	0.16	0.86	0.995
Cd(II)						
30	8.4×10^{-2}	0.63	0.970	0.25	0.99	0.999
30	8.0×10^{-2}	0.53	0.972	0.19	0.95	0.999
40	7.3×10^{-2}	0.44	0.971	0.17	0.90	0.998
50	5.0×10^{-2}	0.45	0.980	0.16	0.81	0.998

ที่มา : Sari and Tuzen (2008)

Kumar *et al.* (2006b) รายงานจลนพลศาสตร์การดูดซับคอปเปอร์โดยสาหร่าย *Ulva fasciata* (สาหร่ายแห้ง) (ภาพที่ 8) แสดงการเขียนกราฟระหว่างปริมาณการดูดซับ q_t (mg/g) กับเวลา (นาท) ที่ความเข้มข้นของสารละลายที่ความแตกต่างกัน จากภาพค่า q_t มีการเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นเพิ่มขึ้น มีการดูดซับอย่างรวดเร็วที่ 5 นาที และถึงจุดสมดุลที่ 20 นาที การวิเคราะห์การดูดซับด้วยกลไกการดูดซับโดยการหาอันดับของปฏิกิริยาคือปฏิกิริยาอันดับ 1 และ ปฏิกิริยาอันดับ 2 ปฏิกิริยาอันดับ 1 มีความเป็นไปได้ของปฏิกิริยาอันดับ 1 โดย Lagergren โดยสมการ

$$\frac{dq}{dt} = K_1(q_e - q)$$

จากสมการข้างต้นมีการแก้สมการเมื่อ $q = 0$ ถึง $q = q_t$ ที่ $t = 0$ แสดงดังนี้

$$\log(q_e - q) = \log q_e - \frac{K_1}{2.303} t$$

K_1 คือค่าคงที่ของอัตราเร็วของการดูดซับได้จากความชันของกราฟระหว่าง $\log(q_e - q_t)$ กับเวลา การคำนวณค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.923-0.975 (ตารางที่ 2) ปฏิกิริยาอันดับ 2 โดยการเขียนของ Mc kay อธิบายสมการดังนี้

$$\frac{dq}{dt} = K_2(q_e - q)^2$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แก้สมการเป็น

$$\frac{dq}{(q_c - q)^2} = K_{II} dt$$

จากสมการข้างต้นเมื่อ $q = 0$ ถึง $q = q$ ที่ $t = 0$ ถึง $t = t$ จะได้

$$\frac{t}{q} = \frac{1}{K_{II} q_c^2} + \frac{1}{q_c} t$$

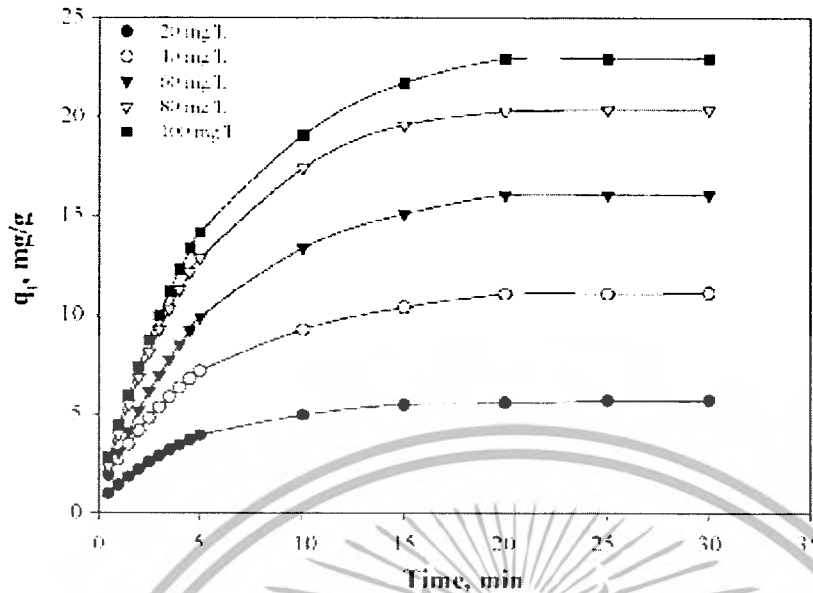
เมื่อ t คือ เวลา (นาที), q_c (mg/g) และ q_t (mg/g) คือ ปริมาณของตัวถูกละลายที่จุดสมดุลและที่เวลาหนึ่งๆ เขียนกราฟระหว่าง t/q_t กับ t จะให้ค่าของ K_2 (g/mg min) และ q_c (mg/g) สามารถคำนวณค่า K_2 คือค่าคงที่ของอัตราเร็วของการดูดซับของปฏิกิริยาอันดับ 2 มีการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แสดงในตารางที่ 2 ที่มีค่าเท่ากับ 0.997-0.998 สามารถยืนยันในการดูดซับในการรายงานว่าเป็นปฏิกิริยาอันดับ 2

ตารางที่ 2 อัตราเร็วของการดูดซับของคอปเปอร์โดยสาหร่าย *Ulva fasciata*

Initial concentration (mg/L)	Pseudo-first order constants (K_1)			Pseudo-second order constants (K_{II})		
	Rate constant (K_1)	Amount of copper adsorbed on adsorbent, q_c (mg/g)	Correlation coefficient (R_1^2)	Rate constant (K_{II})	Amount of copper adsorbed on adsorbent, q_c (mg/g)	Correlation coefficient (R_{II}^2)
20	0.2554	2.228	0.9377	0.0451	6.46	0.9982
40	0.2142	2.853	0.9749	0.0204	12.76	0.9979
60	0.3061	3.977	0.9416	0.0101	19.42	0.9968
80	0.3362	4.593	0.9226	0.0087	24.33	0.9966
100	0.3726	5.1269	0.9248	0.0072	27.62	0.9965

ที่มา: Kumar *et al.* (2006b)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 8 การดูดซับคอปเปอร์โดย *Ulva fasciata* (พีเอช 5, ความเข้มข้นของสารละลายคอปเปอร์ = 20 มิลลิกรัมต่อลิตร จำนวนสาหร่าย = 0.1 กรัมต่อ 30 มิลลิลิตร, ขนาดเซลล์สาหร่าย = 75 ไมโครเมตร)

ที่มา: Kumar *et al.* (2006b)

6. ไอโซเทอร์มของการดูดซับ

Suzuki *et al.* (2005) รายงานว่าไอโซเทอร์มของการดูดซับของ Cd ก่อนการทดสอบนำสาหร่ายไปทดสอบการแช่ในกรดและในด่างที่ pH 7.8 ไอโซเทอร์มที่รายงานโดยใช้ของ Langmuir ปัจจุบันที่ชี้แสดงในตารางที่ 3 เมื่อพิจารณาการทดสอบแช่สาหร่าย *Ulva* ในด่างก่อนการดูดซับมีค่าการดูดซับของ Cd สูงสุดเท่ากับ 90.7 mg/g เหตุผลที่การทดสอบแช่สาหร่ายในด่างก่อนการดูดซับแสดงการดูดซับที่สูงเพราะว่าบริเวณที่ผิวของสาหร่าย *Ulva* มีขนาดใหญ่กว่าสาหร่ายชนิดอื่น ปริมาณการดูดซับ (q_m) ในที่ไม่มีกรทดสอบสาหร่ายที่นำไปแช่ในกรดและในด่างเท่ากับ 61.9 มิลลิกรัมต่อกรัม ในทางตรงกันข้ามที่การทดสอบการแช่สาหร่ายในกรดก่อนการดูดซับปริมาณการดูดซับเท่ากับ 43.0 มิลลิกรัมต่อกรัม ไอโซเทอร์มของการดูดซับของ Cd, Zn และ Cu โดยใช้สาหร่าย *Ulva* ปริมาณการกำจัดของสาหร่ายเรียงลำดับได้คือ $Cd > Zn > Cu$ ซึ่งคล้ายการใช้สาหร่ายสีน้ำตาล (Aderhold *et al.*, 1996) อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบปัจจัยของ Langmuir เช่น q_m และ b ค่าที่ได้ของ Cd, Zn และ Cu ส่วนใหญ่คล้ายกัน ในการเปรียบเทียบที่บรรยายในรูปเกี่ยวกับการคำนวณการดูดซับของสาหร่าย *Ulva* และสาหร่ายชนิดอื่น (Volesky and Holan, 1995) จากการศึกษาสามารถใช้สาหร่าย *Ulva* ทดสอบการดูดซับได้ดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3 การดูดซับโลหะหนักโดย *Ulva*

Biomass	Target metal	qm		b		R ²
		(mg/g)	(mmol/g)	(L/mg)	(L/mmol)	
Nontreated	Cd	61.9	0.551	0.0208	2.34	0.984
Acid-pretreated	Cd	43.0	0.383	0.0508	5.17	0.989
Alkali-pretreated	Cd	90.7	0.807	0.0391	4.39	0.996
Alkali-pretreated	Zn	74.6	1.14	0.0380	2.48	0.992
Alkali-pretreated	Zn	57.3	0.902	0.0282	1.79	0.973

ที่มา: Suzuki *et al.* (2005)

Kumar *et al.* (2006b) รายงานการดูดซับคอปเปอร์โดยสาหร่าย *Ulva fasciata* สามารถอธิบายการดูดซับโดยใช้ไอโซเทอร์ม ที่ซึ่งอธิบายโดยแบบของ Langmuir isotherm และ Freundlich isotherm ในตารางที่ 4 การอธิบายด้วย Langmuir isotherm ใช้สำหรับการดูดซับชั้นเดียวที่บริเวณผิวเซลล์ของสาหร่าย โดยมีสมการดังนี้

$$q_e = \frac{Q_{\max} b C_{eq}}{1 + b C_{eq}}$$

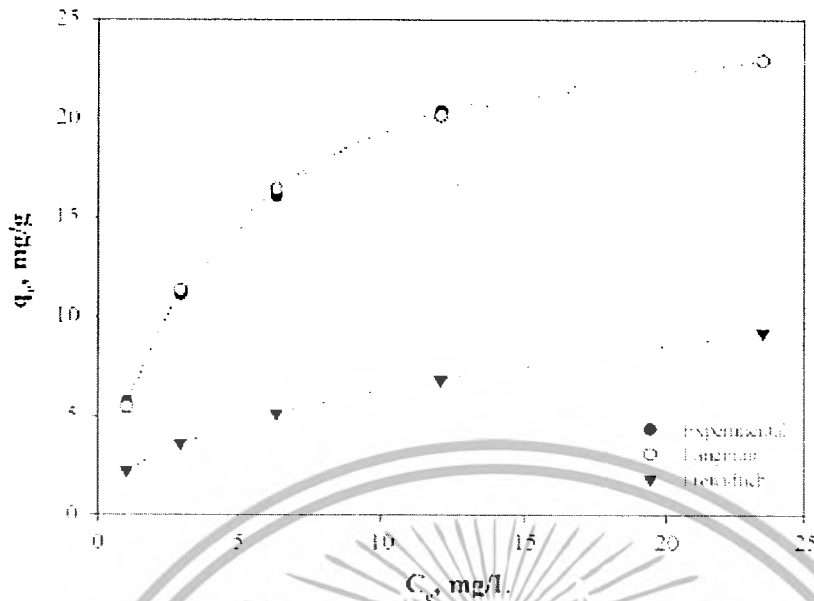
เมื่อ Q_{\max} (mg/g) คือปริมาณโลหะหนักสูงสุดที่สาหร่ายสามารถดูดซับได้ (มิลลิกรัมต่อกรัม น้ำหนักแห้งของสาหร่าย) C_{eq} (mg/g) และ b (L/mg) ความสัมพันธ์ของตำแหน่งการจับ Q_{\max} และ b สามารถกำหนดจากลักษณะเส้นตรงของการเขียนกราฟของ C_{eq}/q_{eq} กับ C_{eq}

Freundlich isotherm ใช้ในกรณีการถ่ายพลังงานผ่านพื้นผิวแบบไม่เป็นเนื้อเดียว บนตำแหน่งยึดจับที่ต่างชนิดกันโดยสมการดังนี้

$$q_{eq} = K_f C_{eq}^n$$

เมื่อ K_f (mg/g) แสดงปริมาณการดูดซับ (มิลลิกรัมต่อกรัม) และ n แสดงความแรงในการดูดซับ แสดงการเขียนกราฟของ $\ln q_{eq}$ กับ $\ln C_{eq}$ การรายงานโดยไอโซเทอร์มทั้งสองแบบ (ภาพที่ 9) ในตารางที่ 4 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของ Langmuir isotherm มีค่าสูงกว่าคือเท่ากับ 0.9995 ปริมาณการดูดซับ q_e (mg/g) มีการเท่ากับ 26.88 และค่าการดูดซับที่จุดสมดุล b (l/mg) เท่ากับ 0.2483 Freundlich isotherm มีค่า K_f แสดงปริมาณการดูดซับของตัวดูดซับมีค่าเท่ากับ 2.223 mg/g n ที่จุดสมดุลเท่ากับ 0.4512 n มีค่าน้อยกว่า 1 แสดงว่าอัตราการดูดซับต่ำหรือสูงไม่แตกต่างกันมากนัก หรือการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นไม่มีผลต่ออัตราการดูดซับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 9 การดูดซับคอปเปอร์โดย *Ulva fasciata* ที่จุดสมดุล (พีเอช 5, ความเข้มข้นของสารละลายคอปเปอร์ = 20 มิลลิกรัมต่อลิตร จำนวนสาหร่าย = 0.1 กรัมต่อ 30 มิลลิลิตร, ขนาดเซลล์สาหร่าย = 75 ไมโครเมตร)

ที่มา: Kumar *et al.* (2006b)

ตารางที่ 4 การดูดซับคอปเปอร์โดย *Ulva fasciata* ที่จุดสมดุล

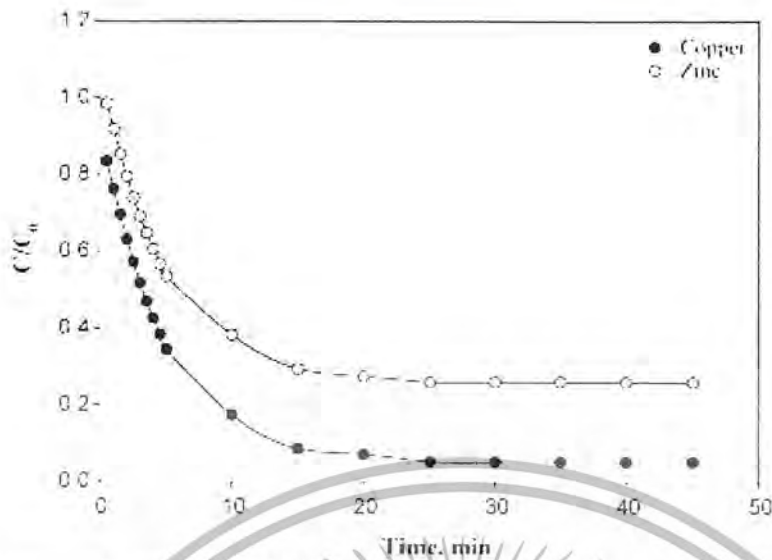
Freundlich isotherm			Langmuir isotherm		
Adsorption capacity (K_F (mg/g ^{1/n}))	Adsorption intensity (n (g/L))	Correlation coefficient (R^2)	Adsorption equilibrium constant (b) (L/mg)	Adsorption capacity (q_m (mg/g))	Correlation coefficient (R^2)
2.2230	0.4512	0.9606	0.2483	26.88	0.9995

ที่มา: Kumar *et al.* (2006b)

7. เวลาในการดูดซับ

Kumar *et al.* (2006a) รายงานว่ามีการดูดซับคอปเปอร์และสังกะสีโดยสาหร่าย *Ulva fasciata* ที่ความเข้มข้นของคอปเปอร์และสังกะสีเท่ากับ 20 มิลลิกรัมต่อลิตร (ภาพที่ 10) แสดงการดูดซับคอปเปอร์และสังกะสีที่มากกว่า 75% ภายใน 10 นาทีเมื่อถึงจุดสมดุลของการดูดซับที่ 20 นาทีจะไม่มีการเปลี่ยนแปลงการดูดซับเมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้น ในเซลล์ของสิ่งมีชีวิตที่ตายแล้วการดูดซับโลหะไม่ขึ้นอยู่กับกระบวนการเมแทบอลิซึมในเซลล์ แต่จะเป็นการจับโลหะที่ผิวเซลล์สาหร่ายเท่านั้นและกระบวนการจับโลหะจะเกิดอย่างรวดเร็วในเวลาอันสั้นก็สามารถดูดซับโลหะได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 10 อัตราการดูดซับของโลหะหนักโดย *Ulva fasciata* (pH 5 และความเข้มข้นของโลหะ 20 มิลลิกรัมต่อกรัม)

ที่มา: Kumar *et al.* (2006a)

8. Desorption

Raungsomboon *et al.* (2008) มีรายงานถึงผลของการกำจัดตะกั่วของ *Gloeocapsa gelatinosa* มีการดูดซับที่ผิวเซลล์มีการยึดยึดโดยการใช ethylenediamine tetraacetic acid (EDTA) ในการล้างตะกั่วที่มีการดูดซับที่ผิวเซลล์ EDTA ที่ใช้ในการศึกษาโลหะไอออนที่เป็นตัวล้างและคาดว่า EDTA จะเป็นตัวล้างตะกั่วที่มีประสิทธิภาพที่ผิวเซลล์ได้ หลังจาก *G. gelatinosa* มีการดูดซับตะกั่วเป็นเวลา 60 นาที และที่ 24 ชั่วโมง มีการล้างตะกั่วด้วย EDTA (ตารางที่ 4) การเปรียบเทียบระหว่าง Milli-Q water (control) และ EDTA Milli-Q water สามารถล้างตะกั่วได้น้อยกว่าประมาณ 1.5 % และ EDTA สามารถล้างได้ 50 % ของการดูดซับตะกั่วทั้งหมดจากที่ผิวเซลล์ที่ผิวเซลล์ของไซยาโนแบคทีเรียมีกลุ่มของหมู่ฟังก์ชันจับกับตะกั่วเป็นสารประกอบเชิงซ้อนการล้างด้วยน้ำจึงไม่สามารถล้างตะกั่วออกได้ ในตารางที่ 5 การล้างที่เกิดขึ้นในช่วงที่ 3 จำนวนของตะกั่วที่ถูกล้างยังคงสูงเมื่อเปรียบเทียบกับครั้งที่ 1 และ 2 ดังนั้นมีความเป็นไปได้ถึงความแข็งแรงของตำแหน่งการจับของตะกั่ว ระยะเวลาในการล้างที่มากขึ้นมีผลถึงการล้างตะกั่วที่มากขึ้นเช่นกัน

ตารางที่ 5 การล้างตะกั่วจาก *G. gelatinosa* โดย EDTA

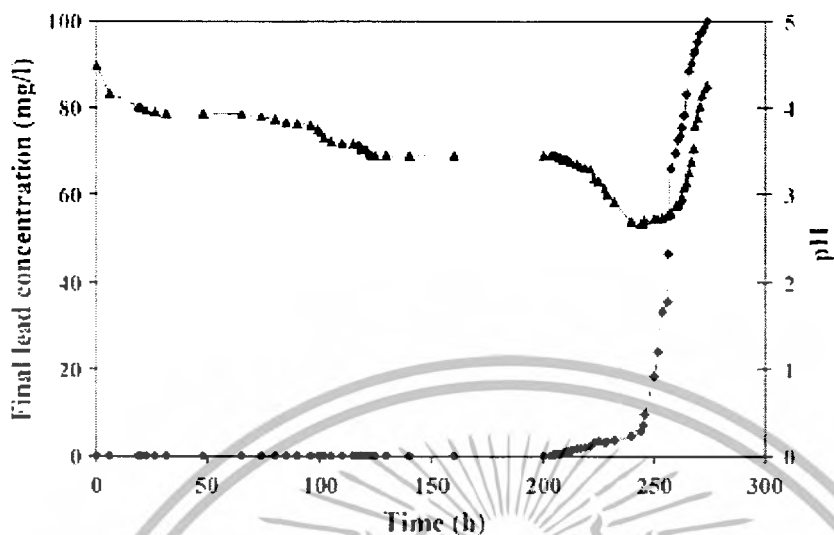
Exposure time of loaded biomass	Pb on loaded biomass (μg)	Desorbing agent	Pb desorbed (μg)			Total Pb desorbed (μg)
			First desorption	Second desorption	Third desorption	
60min	367.0 \pm 6.2	EDTA	83.2 \pm 6.0	43.0 \pm 1.4	35.5 \pm 1.5	161.7 \pm 8.6
	369.0 \pm 0.3	Milli-Q	2.7 \pm 0.5	1.6 \pm 0.1	1.0 \pm 0.2	5.3 \pm 0.5
24h	404.1 \pm 6.0	EDTA	102.3 \pm 1.1	58.1 \pm 2.6	40.6 \pm 0.8	201.0 \pm 3.8
	401.6 \pm 0.7	Milli-Q	1.0 \pm 0.1	0.3 \pm 0.1	0.3 \pm 0.2	1.6 \pm 0.3

ที่มา: Raungsomboon *et al.* (2008)

9. column ในรูปแบบการดูดซับตะกั่ว

Senthilkumar *et al.* (2007) ศึกษาการทดลองการดูดซับโดยใช้ column เส้นผ่าศูนย์กลาง 2 เซนติเมตร และความสูง 35 เซนติเมตร มีการใส่สาหร่าย *Turbinaria conoides* จำนวน 35.1 กรัม ที่มีความสูงของสาหร่าย 25 เซนติเมตร เส้นกราฟของการดูดซับเป็นรูปตัวเอส (ภาพที่ 11) สารละลายตะกั่วที่มีความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร มีการใช้ปั๊มที่มีอัตราการไหลที่ 5 มิลลิลิตรต่อนาที มีการบันทึกข้อมูลการดูดซับเป็นเวลา 274 ชั่วโมง มีการดูดซับได้ 94 เปอร์เซ็นต์ กลไกหลักในการจับโลหะของสาหร่ายสีน้ำตาลเป็นการแลกเปลี่ยนไอออนของตะกั่วกับไฮโดรเจน ไอออนของสาหร่ายที่ตำแหน่งยึดจับโลหะและทำให้ไอออนของตะกั่วไปจับที่ตำแหน่งการจับแทนจึงมีการดูดซับได้มากขึ้น

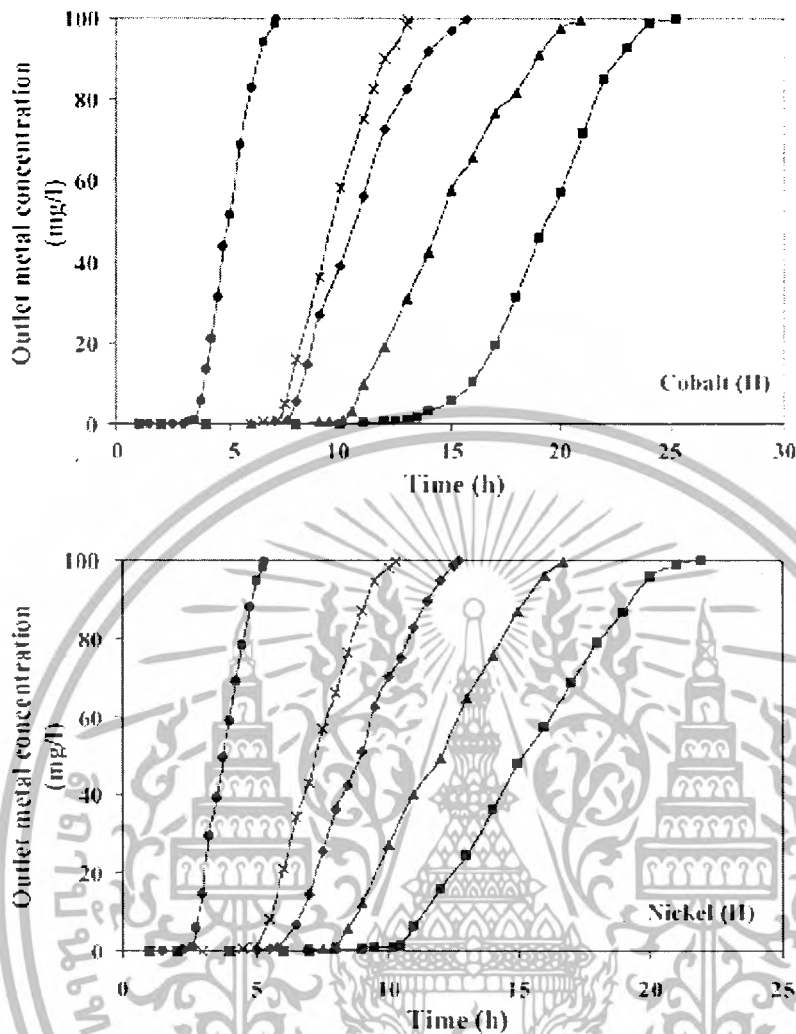
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 11 เส้นกราฟที่เกิดขึ้นและ pH ของการดูดซับของ *Turbinria conoides* (ความสูง 25 เซนติเมตร, อัตราการไหลที่ 5 มิลลิลิตรต่อนาที และความเข้มข้นตะกั่ว 100 มิลลิกรัมต่อลิตร) ◆ เส้นกราฟที่เกิดขึ้น ▲ pH

ที่มา : Senthilkumar *et al.* (2007)

Vijayaraghavan *et al.* (2005) รายงานการศึกษา column (เส้นผ่าศูนย์กลาง 2 เซนติเมตร และความสูง 35 เซนติเมตร) ในการดูดซับของคอปเปอร์, โคบอลต์ และนิกเกิลที่มีความเข้มข้นของสารละลายเท่ากับ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยสาหร่าย *Sargassum wightii* (สาหร่ายแห้ง) มีความสูงของสาหร่ายที่แตกต่างกัน 15-25 เซนติเมตร อัตราการไหล 5 มิลลิลิตรต่อนาที (ภาพที่ 12) ที่อิทธิพลของความสูงของสาหร่ายมีการเห็นได้ชัดในเส้นกราฟที่เกิดขึ้นที่มีการเพิ่มขึ้นของการดูดซับ ที่เวลาเพิ่มขึ้นที่มีความเป็นไปได้ของตำแหน่งการจับโลหะสามารถจับโลหะได้มากขึ้น จึงมีการดูดซับเพิ่มขึ้น การดูดซับโลหะของ *Sargassum wightii* มีการดูดซับที่มากขึ้นเมื่อความสูงของสาหร่ายเพิ่มขึ้น เนื่องจากมีความเป็นไปได้ของตำแหน่งการจับของโลหะของสาหร่ายในการดูดซับ เปอร์เซ็นต์การดูดซับโคบอลต์มีความแตกต่างจาก 68.97 เป็น 78.65 เปอร์เซ็นต์ เมื่อความสูงของสาหร่ายเพิ่มจาก 15 เซนติเมตร เป็น 25 เซนติเมตร



ภาพที่ 12 การดูดซับ โคบอลต์ และนิกเกิล โดยสาหร่าย *Sargassum wightii* ที่มีความแตกต่างกันของความสูงของสาหร่าย (อัตราการไหล 5 มิลลิลิตรต่อนาที ความเข้มข้นของสารละลาย 100 มิลลิกรัมต่อลิตร, โคบอลต์ที่พีเอช 4.5, นิกเกิลที่พีเอช 4) ที่ความสูง 15 เซนติเมตรและ 5 มิลลิลิตรต่อนาที (◆), 20 เซนติเมตร และ 5 มิลลิลิตรต่อนาที (▲), 25 เซนติเมตรและ 5 มิลลิลิตรต่อนาที (■), 25 เซนติเมตร และ 10 มิลลิลิตรต่อนาที (X) และ 25 เซนติเมตร และ 20 มิลลิลิตรต่อนาที (●)

ที่มา: Vijayaraghavan et al. (2005)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. ขวดรูปชมพู่ขนาด 125 มิลลิลิตร
2. ปีกเกอร์ขนาด 250 มิลลิลิตร
3. magnetic bar
4. volumetric flask
5. หลอดทดลองพลาสติก
6. ฝาครอบขนาด 15 ไมครอน
7. บีเปตขนาด 10 มิลลิลิตร
8. ไมโครบีเปต
9. เครื่องวัดพีเอช
10. เครื่องกวน
11. Atomic absorption Spectrophotometer (AAS)
12. $Pb(NO_3)_2$ ความเข้มข้น 2000 มิลลิกรัมต่อลิตร
13. 0.1 M EDTA
14. 0.1 M HNO_3
15. DI
16. 0.1 M $NaHCO_3$
17. 0.1 M Na_2CO_3
18. 0.1 M H_2SO_4

วิธีการ

แผนการทดลอง

การทดลองเป็นการทดลองการดูดซับตะกั่วโดยสาหร่าย *Ulva rigida* ทำการทดลองเรื่องพีเอช, จำนวนเซลล์ของสาหร่ายต่อการดูดซับ, ขนาดของเซลล์สาหร่ายต่อการดูดซับ, อุณหภูมิต่อการดูดซับ, จลศาสตร์การดูดซับ, Isotherm, desorption และ column ทุกเรื่องมีการใช้แผนการทดลองแบบ CRD มีการทำการทดลองอย่างละ 3 ซ้ำ และทำการวัดค่าความเข้มข้นของตะกั่วหลังการดูดซับด้วยเครื่อง AAS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีการทดลอง

สำหรับ *Ulva rigida* ที่ตากแห้งแล้วนำไปทำการบั่นด้วยเครื่องบั่นจนเป็นชิ้นเล็กๆ จากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 ชั่วโมง และนำไปใส่โถดูดความชื้นเป็นเวลา 30 นาที แล้วนำไปทำการทดลองที่ปัจจัยต่างๆ

1. การทดสอบพีเอชมีความเหมาะสมในการดูดซับตะกั่วที่ระดับพีเอชที่ต่างกัน 10 ระดับ คือ 2.5, 3, 3.5, 4, 4.5, 5, 5.5, 6, 6.5 และ 7 ปรับความเหมาะสมของพีเอชด้วยสารละลาย 0.1 M HCl และ 0.1 M NaOH วัดพีเอชด้วยเครื่องวัดพีเอช

1.1 เตรียมสารละลายตะกั่วที่มีความเข้มข้น 20 มิลลิกรัมต่อลิตรจากสารละลายตะกั่วที่มีความเข้มข้น 2000 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่แต่ละระดับของพีเอชที่ปริมาตร 20 มิลลิลิตร

1.2 ใส่สาหร่ายจำนวน 0.0200 กรัมในสารละลายตะกั่วที่เตรียมไว้ในแต่ละระดับของพีเอช ทำการเขย่าด้วย shaker นาน 48 ชั่วโมง

1.3 เมื่อครบ 48 ชั่วโมงวัดพีเอช และทำการกรองสารละลายด้วยผ้ากรองขนาด 15 ไมครอน นำสารละลายที่ได้ไปวัดเครื่องวัด AAS

2. ทำการทดสอบเรื่องจำนวนเซลล์ของสาหร่ายต่อการดูดซับตะกั่ว ที่ระดับของจำนวนสาหร่ายเป็น 0.01, 0.02, 0.03, 0.04, 0.06 และ 0.08 กรัมต่อปริมาตรสารละลายตะกั่ว 20 มิลลิลิตร

2.1 เตรียมสารละลายตะกั่วที่มีความเข้มข้น 20 มิลลิกรัมต่อลิตรที่ระดับพีเอช 4 ขนาดของสาหร่าย 0.25 มิลลิเมตร ที่ปริมาตรน้ำเท่ากับ 20 มิลลิลิตร

2.2 ใส่สาหร่ายที่ระดับจำนวนเซลล์ที่ต่างกัน คือ 0.01, 0.02, 0.03, 0.04, 0.06 และ 0.08 กรัมต่อปริมาตรสารละลายตะกั่ว 20 มิลลิลิตร ทำการเขย่าด้วย shaker นาน 48 ชั่วโมง

2.3 เมื่อครบ 48 ชั่วโมงวัดพีเอช และทำการกรองสารละลายด้วยผ้ากรองขนาด 15 ไมครอน นำสารละลายที่ได้ไปวัดเครื่องวัด AAS

3. การทดสอบเรื่องขนาดของเซลล์สาหร่ายต่อการดูดซับตะกั่ว ที่ระดับของเซลล์สาหร่ายที่แตกต่างกันคือ 0.1, 0.25, 0.5, 1.0 และ 2 มิลลิเมตร

3.1 นำสาหร่ายที่ทำการบั่นแล้วมาผ่านด้วยตะแกรงที่มีขนาด 0.1, 0.25, 0.5, 1.0 และ 2 มิลลิเมตร

3.2 เตรียมสารละลายตะกั่วที่มีความเข้มข้น 20 มิลลิกรัมต่อลิตรที่ระดับพีเอช 4 ขนาดของสาหร่าย 0.25 มิลลิเมตร ที่ปริมาตรน้ำเท่ากับ 20 มิลลิลิตร

3.3 ใส่สาหร่ายจำนวน 0.0200 กรัมในสารละลายตะกั่วที่เตรียมไว้ในแต่ละระดับของพีเอช ทำการเขย่าด้วย shaker นาน 48 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 เมื่อครบ 48 ชั่วโมงวัดพีเอช และทำการกรองสารละลายด้วยผ้ากรองขนาด 15 ไมครอน นำสารละลายที่ได้ไปวัดเครื่องวัด AAS

4. การทดสอบเรื่องอุณหภูมิต่อการดูดซับตะกั่ว ที่ระดับของอุณหภูมิ 25, 30, 35, 40 และ 45 องศาเซลเซียส

4.1 เตรียมสารละลายตะกั่วที่มีความเข้มข้น 20 มิลลิกรัมต่อลิตรที่ระดับพีเอช 4 ขนาดของสารละลาย 0.25 มิลลิเมตร ที่ปริมาตรน้ำเท่ากับ 15 มิลลิลิตร

4.2 ใส่สารละลายจำนวน 0.0150 กรัมในสารละลายตะกั่วที่เตรียมไว้ วัดค่าพีเอช และนำไปแช่ใน water bath ที่ระดับของอุณหภูมิที่แตกต่างกันนาน 2 ชั่วโมง

4.3 วัดพีเอชและกรองสารละลายและนำสารละลายที่ได้ไปวัดเครื่องวัด AAS

5. การทดสอบเรื่องจลศาสตร์การดูดซับที่ระดับความเข้มข้นของตะกั่ว 10, 50, 100, 150, 200 และ 250 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นเวลานาน 78 ชั่วโมง

5.1 เตรียมสารละลายตะกั่วที่มีความเข้มข้น 10, 50, 100, 150, 200 และ 250 มิลลิกรัมต่อลิตรที่ระดับพีเอช 4 ขนาดของสารละลาย 0.25 มิลลิเมตร ที่ปริมาตรน้ำเท่ากับ 100 มิลลิลิตร ใส่ปิ๊กเกอร์ขนาด 250 มิลลิลิตร

5.2 ปิ๊กเกอร์ ที่มีสารละลายตะกั่วที่เตรียมไว้วัดค่าพีเอช และนำไปตั้งบนเครื่องปั่นใส่สารละลายจำนวน 0.1000 กรัมในสารละลายตะกั่วที่เตรียมไว้

5.3 เก็บสารละลายที่เวลา 0, 1, 2, 3, 4, 5, 10, 15, 20, 30, 60, 120 และ 180 นาที และ 6, 12, 24, 36, 48 และ 78 ชั่วโมง พร้อมทั้งอ่านค่าพีเอชขณะที่มีการเก็บสารละลายด้วยไมโครปิเปต เก็บสารละลายปริมาณ 5 มิลลิลิตรต่อการเก็บสารละลายในแต่ละช่วงเวลา

5.4 นำสารละลายที่เก็บไปวัดเครื่องวัด AAS

6. การทดสอบเรื่องไอโซเทอร์มต่อการดูดซับ ที่ระดับของความเข้มข้นของตะกั่ว 1, 10, 50, 100, 200, 400, 800 และ 1000 มิลลิกรัมต่อลิตร

6.1 เตรียมสารละลายตะกั่วที่มีความเข้มข้น 1, 10, 50, 100, 200, 400, 800 และ 1000 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ระดับของพีเอช 4 ขนาดของสารละลาย 0.25 มิลลิเมตร ที่ปริมาตรน้ำเท่ากับ 15 มิลลิลิตร

6.2 ใส่สารละลายจำนวน 0.0150 กรัม ในสารละลายตะกั่วที่เตรียมไว้ในแต่ละระดับของพีเอช ทำการเขย่าด้วย shaker นาน 48 ชั่วโมง

6.3 เมื่อครบ 48 ชั่วโมงวัดพีเอช และทำการกรองสารละลายด้วยผ้ากรองขนาด 15 ไมครอน นำสารละลายที่ได้ไปวัดเครื่องวัด AAS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. การทดสอบเรื่องเวลาที่มีการดูดซับที่เวลาต่างกัน 0, 1, 2, 3, 4, 5, 10, 15, 20, 30, 60, 120 และ 180 นาที และ 6, 12, 24, 36, 48 และ 78 ชั่วโมง

7.1 เตรียมสารละลายตะกั่วที่มีความเข้มข้น 20 มิลลิกรัมต่อลิตรที่ระดับพีเอช 4 ขนาดของสารห่วย 0.25 มิลลิเมตร ที่ปริมาตรน้ำเท่ากับ 100 มิลลิลิตร ใส่บีกเกอร์ขนาด 250 มิลลิลิตร

7.2 บีกเกอร์ ที่มีสารละลายตะกั่วที่เตรียมไว้วัดค่าพีเอช และนำไปตั้งบนเครื่องกวน ใส่สารห่วยจำนวน 0.1000 กรัมในสารละลายตะกั่วที่เตรียมไว้

7.3 เก็บสารละลายที่เวลา 0, 1, 2, 3, 4, 5, 10, 15, 20, 30, 60, 120 และ 180 นาที และ 6, 12, 24, 36, 48 และ 78 ชั่วโมง พร้อมทั้งอ่านค่าพีเอชขณะที่มีการเก็บสารละลายด้วยไมโครปิเปต เก็บสารละลายปริมาณ 5 มิลลิลิตรต่อการเก็บสารละลายในแต่ละช่วงเวลา

7.4 นำสารละลายที่เก็บไปวัดเครื่องวัด AAS

8. การทดสอบเรื่อง desorption ต่อการดูดซับ โดยใช้ 0.1 M EDTA, 0.1 M HNO₃, DI, 0.1 M NaHCH₃, 0.1 M Na₂CO₃ และ 0.1 M H₂SO₄ เป็นตัวล้างตะกั่ว

8.1 เตรียมสารละลายตะกั่วที่มีความเข้มข้น 20 มิลลิกรัมต่อลิตรที่ระดับพีเอช 4 ขนาดของสารห่วย 0.25 มิลลิเมตร ที่ปริมาตรน้ำเท่ากับ 10 มิลลิลิตร

8.2 ใส่สารห่วยจำนวน 0.0100 กรัม ในสารละลายตะกั่วที่เตรียมไว้ในแต่ละระดับของพีเอช ทำการเขย่าด้วย shaker นาน 2 ชั่วโมง กรองสารละลายเก็บ

8.3 สารห่วยที่กรองแล้วทิ้งให้แห้ง และใส่กลับไปในช่วงรูปขมพูเหมือนเดิม และใส่สารละลาย 0.1 M EDTA, 0.1 M HNO₃, DI, 0.1 M NaHCH₃, 0.1 M Na₂CO₃ และ 0.1 M H₂SO₄ ปริมาตรน้ำเท่ากับ 10 มิลลิลิตร ทำการเขย่าด้วย shaker นาน 2 ชั่วโมง กรองสารละลายเก็บ ครบ 1 รอบ

8.4 สารห่วยที่กรองแล้วทิ้งให้แห้ง ใส่สารละลายที่มีความเข้มข้นตะกั่วลงไป ทำเหมือนข้อ 8.1-8.3 จนครบ 6 รอบ แล้วนำไปวัดค่าความเข้มข้นด้วยเครื่อง AAS

9. การทดสอบเรื่อง column

9.1 เตรียม column โดยใช้ปิเปตขนาด 10 มิลลิลิตร ใส่ใยแก้วสังเคราะห์ลงไปมีความสูง 2 เซนติเมตร นำสารห่วยที่มีขนาด 1 มิลลิเมตร ลงไปมีความสูง 16 เซนติเมตร ลงไป มีการใช้เครื่อง peristaltic pump โดยปรับให้มีอัตราการไหลของสารละลายเป็น 2 มิลลิลิตรต่อนาที

9.2 เมื่อปรับอัตราการไหลได้แล้วใส่สารละลายตะกั่วลงไปที่มีความเข้มข้น 20 มิลลิกรัมต่อลิตรใน column และเก็บสารละลายทุก 2 นาที และเมื่อครบ 3 ชั่วโมง เปลี่ยนเป็นเก็บสารละลายทุก 5 นาที จนครบ 8 ชั่วโมง

9.3 นำสารละลายที่เก็บไปวัดเครื่องวัด AAS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวิเคราะห์ข้อมูล

วิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Microsoft Excel และวิเคราะห์ค่าทางสถิติด้วยโปรแกรม SPSS V.16

สถานที่ทำการทดลอง

ภาควิชาวิทยาศาสตร์การประมง คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ระยะเวลาในการทดลอง

เดือนตุลาคม - เดือนธันวาคม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลองและวิจารณ์

1. ผลของพีเอชต่อการดูดซับตะกั่ว

ผลของพีเอช ต่อการดูดซับตะกั่วโดยสาหร่าย *Ulva rigida* มีการศึกษาที่ระดับของพีเอชที่มีความแตกต่างกันที่ 2.5-7 มีการแสดงผลของการดูดซับตะกั่วที่สูงสุด 19.98 ± 0.58 มิลลิกรัมต่อกรัม (95.85 ± 0.86 %) (ตารางที่ 6) ที่ pH 4 ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับที่พีเอช 3.5 (17.79 ± 1.41 มิลลิกรัมต่อกรัม), 4.5 (19.14 ± 1.37 มิลลิกรัมต่อกรัม), 5 (15.92 ± 2.36 มิลลิกรัมต่อกรัม) และ 5.5 (15.85 ± 2.61 มิลลิกรัมต่อกรัม) ตามลำดับ ที่พีเอชต่ำกว่า 3 เป็นระดับที่ในสารละลายมีไฮโดรเจนไอออน (H^+) มากเกินไป ทำให้ไฮโดรเจนไอออนมีการแย่งกับไอออนของตะกั่วจับกับหมู่ฟังก์ชันที่ผิวเซลล์ของสาหร่ายทำให้สาหร่ายจับกับไอออนตะกั่วได้น้อยลง และที่พีเอชสูงกว่า 6.5 มีการดูดซับน้อยลง เนื่องจากตะกั่วมีการตกตะกอน ทำให้ตำแหน่งการยึดจับที่ผิวเซลล์ของสาหร่ายไม่สามารถแลกเปลี่ยนไอออนกับตะกั่วได้จึงทำให้ดูดซับน้อยลง (สุนิรัตน์, 2551) ในตัวอย่างของ Sari and Tuzen (2008) การดูดซับตะกั่วและแคดเมียมที่มีความเข้มข้นเท่ากับ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยสาหร่าย *U. lactuca* สาหร่ายที่ใช้เป็นสาหร่ายแห้งที่พีเอช 2-8 สามารถดูดซับ Pb (II) สูงที่สุดที่ระดับพีเอช 5 โดยดูดซับได้ 95 เปอร์เซ็นต์ และสามารถดูดซับ Cd (II) สูงที่สุดที่ระดับพีเอช 5 โดยดูดซับได้ 90 เปอร์เซ็นต์ มีการดูดซับมากที่สุดได้ 95 เปอร์เซ็นต์ ที่พีเอช 5 และในรายงานของ Kumar *et al.* (2006a) การดูดซับคอปเปอร์และสังกะสีโดยสาหร่าย *U. fasciata* ที่พีเอช 2-10 มีการดูดซับสูงสุดที่พีเอช 5 การดูดซับตะกั่วโดยสาหร่าย *U. rigida* พีเอชที่เหมาะสมจากการศึกษาครั้งนี้คือ 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6 การดูดซับตะกั่วโดยสาหร่าย *U. rigida* ที่พีเอชที่แตกต่างกัน

ระดับ pH	pH0	pHeq	การดูดซับ (เปอร์เซ็นต์)	q (มิลลิกรัมต่อกรัม)
2.5	2.5±0	2.71± 0.01 ^a	29.92±3.14 ^a	7.23±0.78 ^b
3.0	3.0±0	3.72±0.02 ^b	68.94±1.75 ^b	14.78±1.04 ^{cd}
3.5	3.5±0	5.24±0.06 ^c	93.84±0.84 ^{de}	17.79±1.41 ^{cde}
4.0	4.0±0	5.76±0.01 ^d	95.85±0.86 ^e	19.98±0.58 ^e
4.5	4.5±0	6.06±0.06 ^e	95.85±0.89 ^e	19.14±1.37 ^{de}
5.0	5.0±0	6.31±0.04 ^f	94.34±0.46 ^{de}	15.92±2.36 ^{cde}
5.5	5.5±0	6.44±0.01 ^g	93.31±1.29 ^{de}	15.85±2.61 ^{cde}
6.0	6.0±0	6.49±0.01 ^g	78.81±2.54 ^{bc}	13.07±0.94 ^c
6.5	6.5±0	6.59±0.01 ^h	82.71±0.09 ^{cd}	15.02±1.62 ^{cd}
7.0	7.0±0	6.60±0.01 ^h	31.571±0.72 ^a	0.93±1.62 ^a

* หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษในแถวแนวดิ่งเดียวกันที่แตกต่างคือมีความแตกต่างกันทาง สถิติ อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

2. ขนาดเซลล์ต่อการดูดซับตะกั่ว

ผลของขนาดของเซลล์สาหร่ายต่อการดูดซับตะกั่วโดยสาหร่าย *U. rigida* ที่มีขนาดแตกต่างกันตั้งแต่น้อยกว่า 0.1 - 2.0 มิลลิเมตร แสดงเปอร์เซ็นต์การดูดซับที่สูงสุด 85.54±2.25 ที่ขนาดของเซลล์สาหร่าย 1.0 - 2.0 มิลลิเมตร (ตารางที่ 7) แต่ไม่มีความต่างกันทางสถิติกับกลุ่มอื่นๆ ขนาดเซลล์ของสาหร่ายที่มีเพิ่มขึ้นจะมีตำแหน่งการยึดจับโลหะที่ผิวเซลล์สาหร่ายเพิ่มมากขึ้น ในรายงานของ Kumar et al. (2007) มีการรายงานถึงผลของความแตกต่างของขนาดเซลล์ของสาหร่าย (75-212 ไมโครเมตร) ต่อการดูดซับของสังกะสี โดยสาหร่าย *U. fasciata* มีการดูดซับที่ลดลงจาก 74.1 เป็น 58.5 เปอร์เซ็นต์ เมื่อขนาดเซลล์ของสาหร่ายที่เพิ่มขึ้นจาก 75 เป็น 212 ไมโครเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 7 การดูดซับตะกั่วโดยสาหร่าย *U. rigida* ที่มีขนาดของเซลล์ที่แตกต่างกัน

ระดับขนาด (มิลลิเมตร)	pH0	pH eq	การดูดซับ (เปอร์เซ็นต์)	q (มิลลิกรัมต่อกรัม)
น้อยกว่า 0.1	3.90±0.03 ^a	6.94±0.02 ^c	78.68±5.53 ^a	10.34±1.81 ^a
0.1-0.24	3.99±0.01 ^b	5.81±0.32 ^b	83.57±2.24 ^a	13.62±0.51 ^a
0.25-0.49	3.98±0.01 ^b	5.58±0.02 ^{ab}	84.41±1.24 ^a	12.56±1.50 ^a
0.5-0.99	4.00±0.01 ^b	5.20±0.17 ^a	82.41±1.39 ^a	12.86±0.32 ^a
1.0 - 2.0	4.01±0.01 ^b	5.73±0.04 ^{ab}	85.84±2.45 ^a	12.15±1.43 ^a

* หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษในแถวแนวตั้งเดียวกันที่แตกต่างคือมีความแตกต่างกันทาง สถิติ อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

3. จำนวนเซลล์สาหร่ายต่อการดูดซับตะกั่ว

ผลของจำนวนเซลล์สาหร่าย *U. rigida* ต่อการดูดซับตะกั่วที่ระดับจำนวนเซลล์สาหร่าย ที่ 0.01-0.08 กรัมต่อสารละลายตะกั่ว 20 มิลลิลิตร แสดงเปอร์เซ็นต์การดูดซับสูงสุด 96.23±0.42 ที่ 0.04 กรัมต่อสารละลายตะกั่ว 20 มิลลิลิตร แต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับจำนวนเซลล์สาหร่ายที่ 0.03 กรัมต่อสารละลายตะกั่ว 20 มิลลิลิตร เปอร์เซ็นต์การดูดซับเท่ากับ 95.99±0.60 และที่จำนวนเซลล์สาหร่ายที่ 0.06 กรัมต่อสารละลายตะกั่ว 20 มิลลิลิตร เปอร์เซ็นต์การดูดซับสูงสุด 94.95±0.38 (ตารางที่ 8) เมื่อปริมาณเซลล์เพิ่มขึ้นค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับคงที่หรือมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อยแต่ปริมาณโลหะหนักที่ถูกดูดซับต่อกรัมของสาหร่ายแห้ง (q) มีค่าลดลง เนื่องจากที่น้ำหนักสูงๆ เซลล์มีการอยู่ชิดกันมากจนมีการรวมกันเป็นกลุ่มทำให้พื้นที่ผิวเซลล์บางส่วนไม่สามารถสัมผัสกับโลหะได้และเนื่องจากที่เซลล์สาหร่ายปริมาณมากทำให้มีค่าสัดส่วนระหว่างโลหะหนักต่อเซลล์สาหร่ายลดลง (สุนีรัตน์, 2551) ในรายงานของ Sari and Tuzen (2008) การดูดซับตะกั่วและแคดเมียมโดยสาหร่าย *U. lactuca* มีการศึกษาการใช้จำนวนเซลล์สาหร่ายที่มีความแตกต่างกัน 2-40 กรัมต่อลิตร ผลที่จำนวนเซลล์สาหร่ายเพิ่มมากขึ้นจะมีเปอร์เซ็นต์การดูดซับที่เพิ่มมากขึ้นด้วย มีเปอร์เซ็นต์การดูดซับสูงสุดที่ 20 กรัมต่อลิตร ซึ่งมีเปอร์เซ็นต์การดูดซับที่ไม่ต่างกันเมื่อปริมาณสาหร่ายเพิ่มขึ้น ที่การดูดซับตะกั่วโดยสาหร่าย *U. rigida* จำนวนเซลล์ที่เหมาะสมต่อการดูดซับคือ 0.01 กรัมต่อสารละลายตะกั่ว 20 มิลลิลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 8 การดูดซับตะกั่วโดยสาหร่าย *U. rigida* ที่จำนวนเซลล์ของสาหร่ายที่แตกต่างกัน

ระดับจำนวนเซลล์ (กรัมต่อสารละลายตะกั่ว 20 มิลลิลิตร มิลลิลิตร)	pH0	pHeq	การดูดซับ (เปอร์เซ็นต์)	q (มิลลิกรัมต่อกรัม)
0.01	4.08±0.01 ^b	5.28±0.06 ^a	83.58±0.39 ^a	32.28±0.66 ^f
0.02	4.08±0.01 ^b	5.79±0.03 ^b	91.94±0.38 ^b	18.11±0.17 ^e
0.03	4.09±0.01 ^b	6.10±0.09 ^c	95.99±0.60 ^c	12.35±0.10 ^d
0.04	4.07±0.00 ^b	6.37±0.01 ^d	96.23±0.42 ^c	9.37±0.12 ^c
0.06	4.02±0.01 ^a	6.62±0.08 ^c	94.95±0.38 ^c	6.13±0.08 ^b
0.08	4.01±0.01 ^a	6.56±0.04 ^c	92.36±1.01 ^b	4.52±0.09 ^a

* หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษในแถวแนวตั้งเดียวกันที่แตกต่างคือมีความแตกต่างกันทาง สถิติ อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

4. อุณหภูมิต่อการดูดซับตะกั่ว

ผลของอุณหภูมิต่อการดูดซับตะกั่วโดยสาหร่าย *U. rigida* ที่ระดับของอุณหภูมิที่แตกต่างกัน 25-45 องศาเซลเซียส แสดงเปอร์เซ็นต์การดูดซับเท่ากับ 83.57±7.59 ที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส (ตารางที่ 9) แต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับที่อุณหภูมิอื่นๆ ที่อุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นทำให้มีการทำลายของโครงสร้างของเยื่อหุ้มเซลล์ของสาหร่ายทำให้ไอออนของโลหะหนักสามารถเข้าไปภายในเซลล์และจับกับตำแหน่งการยึดจับที่อยู่ภายในเซลล์สาหร่ายทำให้ดูดซับได้มากขึ้น รายงานของ Sari and Tozen (2008) มีการรายงานการดูดซับตะกั่วและแคดเมียมโดยสาหร่าย *U. lactuca* (สาหร่ายแห้ง) ที่อุณหภูมิ 20-50 องศาเซลเซียส ผลของการดูดซับมีการดูดซับที่ลดลงจาก 95 เปอร์เซ็นต์ เป็น 73 เปอร์เซ็นต์ ในตะกั่ว และ 91 เปอร์เซ็นต์ เป็น 70 เปอร์เซ็นต์ ในแคดเมียม ที่มีการเพิ่มจากอุณหภูมิ 20-50 องศาเซลเซียส การแสดงการดูดซับตะกั่วและแคดเมียมลดลงเนื่องจากอุณหภูมิที่สูงขึ้นจะทำให้เซลล์สาหร่ายถูกทำลายทำให้เกิดความเสียหายในการทำงานของเซลล์สาหร่ายที่ทำหน้าที่กำจัดโลหะหนักทำให้มีการดูดซับที่น้อยลง อุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการดูดซับโดยสาหร่าย *U. rigida* คือ 35 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 9 การดูดซับตะกั่วโดยสาหร่าย *U. rigida* ที่อุณหภูมิที่แตกต่างกัน

ระดับอุณหภูมิ (°C)	pH0	pHeq	การดูดซับ (เปอร์เซ็นต์)	q (มิลลิกรัมต่อกรัม)
25	4.09±0.03 ^a	5.74±0.44 ^a	78.87±6.06 ^a	18.73±1.20 ^a
30	4.11±0.01 ^a	6.26±0.91 ^b	78.40±6.98 ^a	17.18±1.37 ^a
35	4.12±0.04 ^a	6.11±0.93 ^{ab}	83.57±7.59 ^a	17.61±1.59 ^a
40	4.10±0.01 ^a	6.26±0.44 ^b	77.05±6.57 ^a	18.71±1.36 ^a
45	4.12±0.01 ^a	6.14±0.25 ^{ab}	76.59±7.32 ^a	17.86±0.98 ^a

* หมายถึง ตัวอักษรภาษาอังกฤษในแถวแนวนอนเดียวกันที่แตกต่างกันคือมีความแตกต่างกันทาง สถิติ อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

5. ไอโซเทอร์มการดูดซับ

การดูดซับตะกั่วโดยสาหร่าย *U. rigida* สามารถอธิบายการดูดซับโดยใช้ไอโซเทอร์ม ที่อธิบายโดยแบบของ Langmuir isotherm และ Freundlich isotherm ในตารางที่ 10 การอธิบาย ด้วย Langmuir isotherm ใช้สำหรับการดูดซับชั้นเดียวที่บริเวณผิวเซลล์ของสาหร่าย โดยมีสมการ ดังนี้

$$q_e = \frac{Q_{\max} b C_{eq}}{1 + b C_{eq}}$$

เมื่อ Q_{\max} (mg/g) คือปริมาณโลหะหนักสูงสุดที่สาหร่ายสามารถดูดซับได้ (มิลลิกรัมต่อกรัม น้ำหนักแห้งของสาหร่าย) C_{eq} (mg/g) และ b (L/mg) ความสัมพันธ์ของตำแหน่งการจับ Q_{\max}

และ b สามารถกำหนดจากลักษณะเส้นตรงของการเขียนกราฟของ C_{eq}/q_{eq} กับ C_{eq} (ภาพที่ 13)

Freundlich isotherm ใช้ในกรณีการถ่ายพลังงานผ่านพื้นผิวแบบไม่เป็นเนื้อเดียว บนตำแหน่งยึดจับที่ต่างชนิดกันโดยสมการดังนี้

$$q_{eq} = K_f C_{eq}^n$$

เมื่อ K_f (mg/g) แสดงปริมาณการดูดซับ (มิลลิกรัมต่อกรัม) และ n แสดงความแรงในการดูดซับ แสดงการเขียนกราฟของ $\ln q_{eq}$ กับ $\ln C_{eq}$ (ภาพที่ 13)

จากตารางที่ 9 การดูดซับค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของ Freundlich isotherm ที่ได้จากการดูดซับตะกั่วโดยสาหร่าย *U. rigida* มีค่าเท่ากับ 0.9864 ค่า K_f (mg/g) แสดงปริมาณการดูดซับ มีค่าเท่ากับ 0.1480 ค่า n มีค่าเท่ากับ 0.8767 ซึ่งค่า n มีค่าน้อยกว่า 1 แสดงว่าอัตราการดูดซับต่ำหรือสูงไม่แตกต่างกันมากนัก หรือการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นไม่มีผลต่ออัตราการดูดซับ

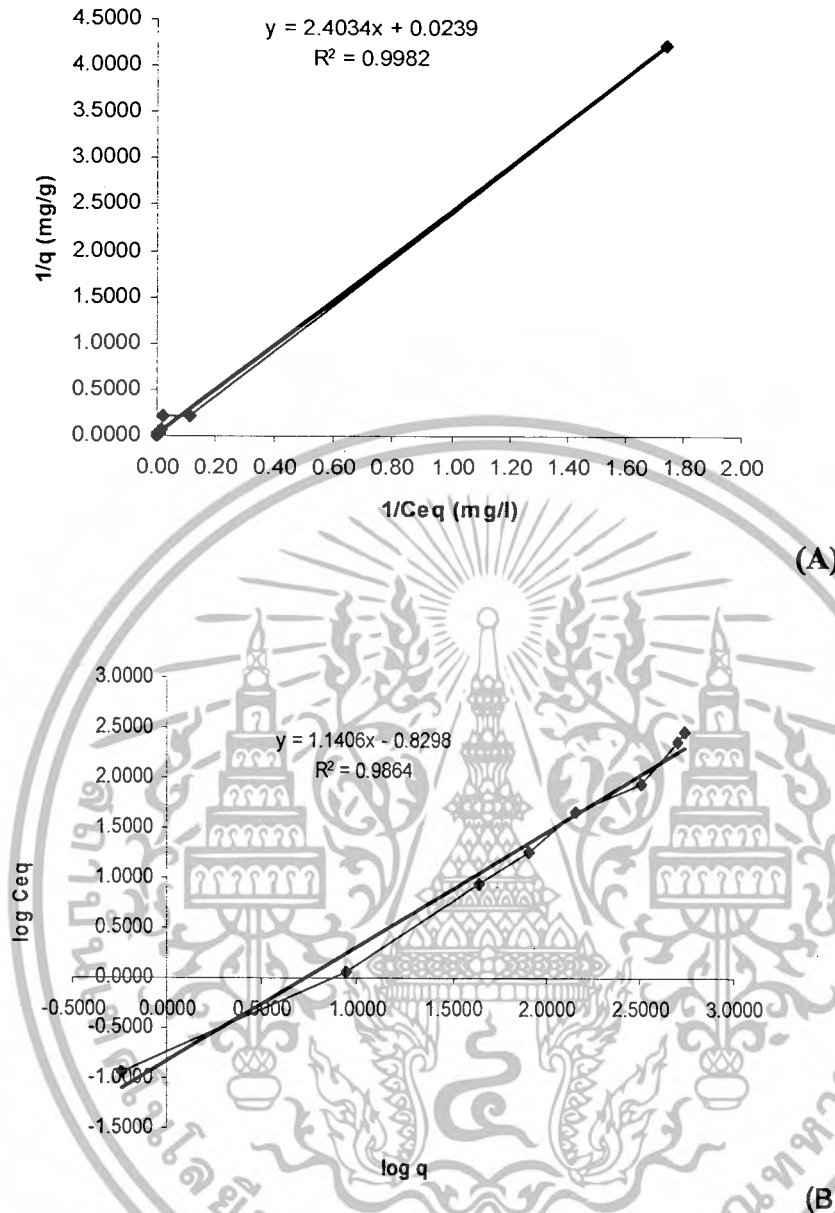
Langmuir isotherm แสดงค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ในการดูดซับตะกั่วโดยสาหร่าย *U. rigida* เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เท่ากับ 0.9982 ปริมาณการดูดซับสูงสุด Q_{\max} (mg/g) ของตะกั่วเท่ากับ 41.841 และ b (L/mg) เท่ากับ 0.0239 การดูดซับของ *U. rigida* มีหมู่ฟังก์ชันหรือตำแหน่งของการจับโลหะมีวเซลล์ของสารละลายที่ซึ่งการจับแบบชั้นเดียว ผลของไอโซเทอรัมสามารถใช้อธิบายการดูดซับที่เหมาะสมจากการเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของ Langmuir isotherm และ Freundlich isotherm ของ Langmuir isotherm มีค่าที่สูงกว่าดังนั้นการดูดซับตะกั่วโดย *U. rigida* ไอโซเทอรัมที่สามารถอธิบายการดูดซับได้ดีกว่าคือ Langmuir isotherm

ตารางที่ 10 Langmuir isotherm และ Freundlich isotherm ในการดูดซับตะกั่วโดยสาหร่าย *U.*

<i>rigida</i>						
โลหะ	Freundlich isotherm			Langmuir isotherm		
	K_f (mg/g)	n	R^2	b (L/mg)	Q_{\max} (mg/g)	R^2
ตะกั่ว	0.1480	0.8767	0.9864	0.239	41.841	0.9982

และจากรายงานของ Kumar *et al.* (2006b) ศึกษาการใช้สาหร่าย *Ulva fasciata* (สาหร่ายแห้ง) จำนวน 0.1 กรัมต่อ 30 มิลลิลิตร ดูดซับคอปเปอร์ที่มีความเข้มข้น 20 มิลลิกรัมต่อลิตร รายงานไอโซเทอรัมของ Langmuir ค่า Q_{\max} (mg/g) เท่ากับ 26.88 และค่า b (L/mg) เท่ากับ 0.2483 ไอโซเทอรัมของ Langmuir สามารถอธิบายการดูดซับคอปเปอร์โดยสาหร่าย *Ulva fasciata* ได้

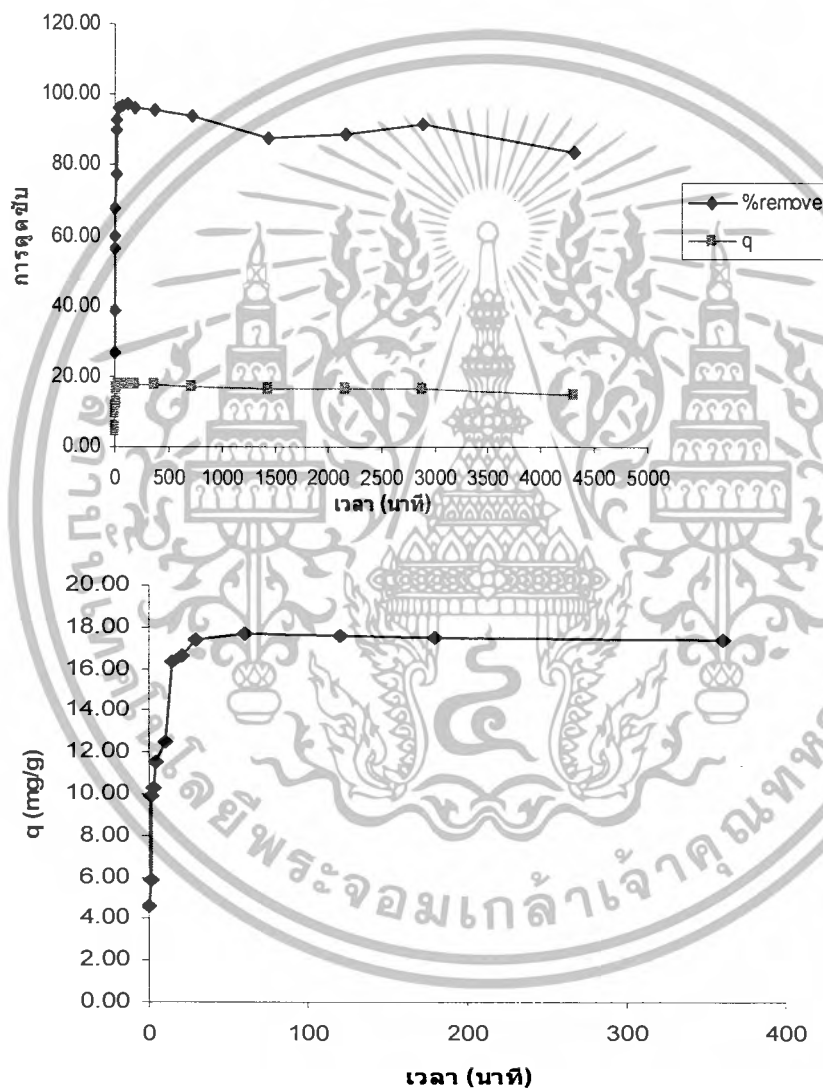


ภาพที่ 13 ไอโซเทอร์มการดูดซับตะกั่วโดยสาหร่าย *U. rigida*. (พีเอช 4) (A) Langmuir isotherm แสดงการเขียนกราฟระหว่าง $1/C_{eq}$ กับ $1/q$ และ (B) Freundlich isotherm แสดงการเขียนกราฟระหว่าง $\log q$ กับ $\log C_{eq}$

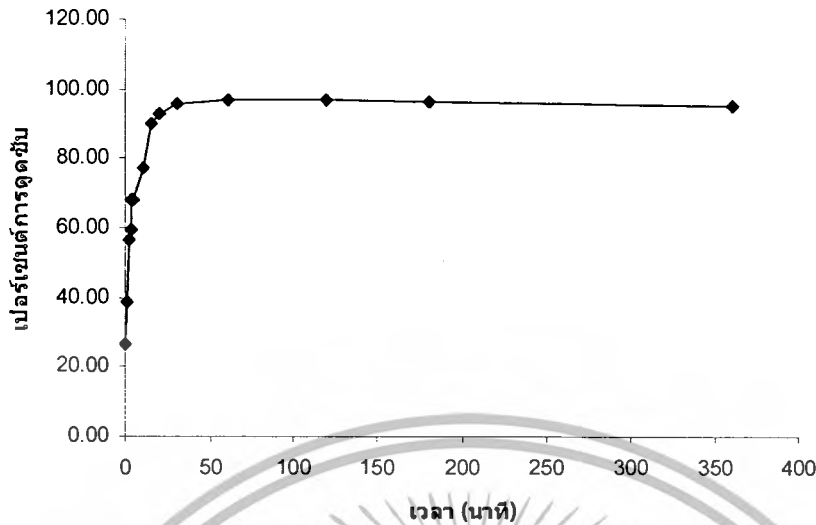
6. เวลาที่มีผลต่อการดูดซับ

จากภาพที่ 14 เป็นผลของเวลาในการดูดซับตะกั่วโดยสาหร่าย *U. rigida* อัตราการดูดซับตะกั่วโดยสาหร่าย *U. rigida* เป็นไปอย่างรวดเร็วที่ภายใน 30 นาทีจึงเข้าสู่สมดุล และไม่มีการเปลี่ยนแปลงการดูดซับหรือมีการเปลี่ยนแปลงการดูดซับได้เล็กน้อย เมื่อเวลาครบที่ 72 ชั่วโมง ที่เวลาที่เพิ่มขึ้นนั้นไม่สามารถจะดูดซับโลหะได้อีกเนื่องจากสาหร่ายที่นำมาใช้เป็นสาหร่ายที่แห้งและตายแล้วในเซลล์ของสิ่งมีชีวิตที่ตายแล้วจะไม่มีกระบวนการเมแทบอลิซึมในเซลล์ ภายในเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เซลล์ไม่สามารถที่จะดูดซับโลหะได้จึงมีการดูดซับโลหะได้แค่ที่ผิวเซลล์เท่านั้นและสามารถดูดซับได้ดีในระยะอันสั้น Kumar *et al.* (2007) รายงานว่าการดูดซับของโลหะ 2 ชนิด คือ Cu และ Zn โดย *Ulva fasciata* แสดงการดูดซับที่มากกว่า 75% ของการดูดซับโลหะไอออนทั้งหมดภายใน 10 นาที เมื่อถึงจุดสมดุลหลังจาก 20 นาที ไม่มีการเปลี่ยนแปลงการดูดซับที่หลังจากระยะเวลาเพิ่มขึ้น เวลาที่มีการดูดซับตะกั่วโดยสาร่าย *U. rigida* ได้เข้าสู่สมดุลที่ 30 นาที



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 14 ผลของเวลาในการดูดซับตะกั่วโดยสาหร่าย *U. rigida* (ปริมาณสาหร่าย 1.0 กรัม ความเข้มข้นของสารละลายตะกั่ว 20 มิลลิกรัมต่อลิตร, พีเอช 4)

7. desorption

ผลของการดูดซับตะกั่วโดยสาหร่าย *Ulva rigida* และมีการล้างตะกั่วที่สาหร่ายดูดซับ โดยสารละลาย 0.1 M EDTA, 0.1 M HNO₃, DI, 0.1 M NaHCO₃, 0.1 M Na₂CO₃ และ 0.1 M H₂SO₄ (ตารางที่ 11) ผลของการล้างตะกั่วด้วยสารละลาย 0.1 M EDTA สามารถล้างตะกั่วได้มากกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ของการดูดซับตะกั่วทั้งหมดจากที่ผิวเซลล์ของสาหร่ายในรอบที่ 1 และไม่สามารถล้างตะกั่วได้อีกในรอบต่อไป และเปอร์เซ็นต์การดูดซับเมื่อมีการล้างสามารถดูดซับตะกั่วได้ลดลง สารละลาย 0.1 M HNO₃ สามารถล้างตะกั่วได้และล้างได้มากกว่ามากกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ของการดูดซับตะกั่วทั้งหมดจากที่ผิวเซลล์ของสาหร่าย และเปอร์เซ็นต์การดูดซับเมื่อมีการล้างสามารถดูดซับตะกั่วได้เพิ่มขึ้น สารละลาย DI ไม่สามารถล้างตะกั่วได้ และเปอร์เซ็นต์การดูดซับเมื่อมีการล้างสามารถดูดซับตะกั่วได้เพิ่มขึ้น สารละลาย 0.1 M NaHCO₃ และ 0.1 M Na₂CO₃ ในการล้างตะกั่วแต่ละรอบมีล้างตะกั่วได้ลดลงและเปอร์เซ็นต์การดูดซับคงที่ สารละลาย 0.1 M H₂SO₄ สามารถล้างตะกั่วได้ลดลงและของ 0.1 M HNO₃ มีแนวโน้มของการล้างที่ลดลงและเปอร์เซ็นต์การดูดซับในแต่ละรอบลดลงเช่นกัน ในรายงานของ Raungsomboon *et al.* (2008) มีรายงานถึงผลของการกำจัดตะกั่วของ *Gloeocapsa gelatinosa* มีการดูดซับที่ผิวเซลล์โดยใช้ ethylenediamine tetraacetic acid (EDTA) ในการล้างตะกั่วที่มีการดูดซับที่ผิวเซลล์ EDTA สามารถล้างได้ 50 % ของการดูดซับตะกั่วทั้งหมดจากที่ผิวเซลล์ ที่ผิวเซลล์ของไซยาโนแบคทีเรียมีกลุ่มของหมู่ฟังก์ชันจับกับตะกั่วเป็นสารประกอบเชิงซ้อนการล้างด้วยน้ำจึงไม่สามารถล้างตะกั่วออกได้ ในตารางที่ 5 การล้างที่เกิดขึ้นในช่วงที่ 3 จำนวนของตะกั่วที่ถูกล้างยังคงสูงเมื่อเปรียบเทียบเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กับการล้างครั้งที่ 1 และ 2 ดังนั้นมีความเป็นไปได้ถึงความแข็งแรงของตำแหน่งการจับของตะกั่ว ระยะเวลาในการล้างที่มากขึ้นมีผลถึงการล้างตะกั่วที่มากขึ้นเช่นกัน

ตารางที่ 11 การล้างตะกั่วโดยสารละลายที่แตกต่างกัน

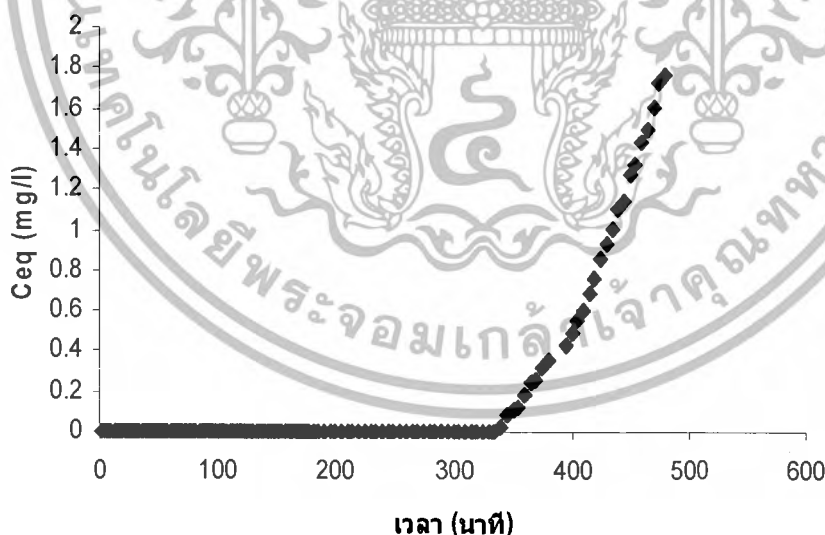
สารละลาย	จำนวนรอบ	% adsorption	%desorption
EDTA	1	97.9±11.15 ^e	81.04±6.71 ^c
	2	23.05±5.57 ^a	0.00±0.00 ^a
	3	40.62±12.28 ^{bc}	0.00±0.00 ^a
	4	35.00±4.18 ^b	0.00±0.00 ^a
	5	45.46±1.05 ^c	0.00±0.00 ^a
	6	53.00±10.71 ^d	23.14±3.36 ^b
HNO ₃	1	83.64±6.85 ^a	89.93±6.13 ^c
	2	100.00±0.00 ^c	79.91±8.48 ^b
	3	100.00±0.00 ^c	83.17±6.77 ^{bc}
	4	89.57±3.27 ^b	67.53±0.00 ^a
	5	99.18±0.28 ^c	64.86±6.48 ^a
	6	99.18±1.38 ^c	62.34±12.35 ^a
DI	1	96.20±4.18 ^a	0.00±0.00 ^a
	2	10.00±0.00 ^b	0.00±0.00 ^a
	3	100.00±0.00 ^b	0.00±0.00 ^a
	4	100.00±0.00 ^b	0.00±0.00 ^a
	5	100.00±0.00 ^b	0.00±0.00 ^a
	6	98.75±2.14 ^b	0.00±0.00 ^a
NaHCO ₃	1	97.64±0.98 ^d	10.40±3.21 ^d
	2	91.55±1.05 ^b	8.07±0.90 ^c
	3	94.78±2.94 ^c	2.57±1.08 ^b
	4	96.54±8.55 ^d	3.27±0.89 ^b
	5	87.00±4.11 ^a	0.84±0.64 ^a
	6	99.47±12.09 ^e	0.62±1.46 ^a
Na ₂ CO ₃	1	96.18±2.43 ^b	63.84±6.15 ^b
	2	89.35±11.2 ^{ab}	23.68±4.54 ^a
	3	85.98±14.79 ^{ab}	25.81±10.00 ^a
	4	83.77±7.81 ^a	21.28±12.11 ^a
	5	92.34±6.83 ^{ab}	18.58±7.22 ^a
	6	85.04±12.34 ^{ab}	19.69±5.27 ^a
H ₂ SO ₄	1	90.05±9.65 ^b	17.80±2.49 ^b
	2	99.74±0.78 ^c	18.08±0.20 ^b
	3	93.87±2.32 ^{bc}	11.34±2.25 ^a
	4	86.53±10.87 ^b	12.79±5.08 ^a
	5	72.67±5.47 ^a	11.54±4.82 ^a
	6	72.67±10.43 ^a	12.37±4.24 ^a

* หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษในแถวแนวตั้งเดียวกันที่แตกต่างคือมีความแตกต่างกันทาง สถิติ อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8. การดูดซับตะกั่วในรูปแบบ column

การทดลองเรื่องคอลัมน์สูง 36.4 เซนติเมตร เส้นผ่านศูนย์กลาง 0.8 เซนติเมตร ใส่สาหร่าย *U. rigida* 1.97 กรัม คอลัมน์มีความสูง 16 เซนติเมตรและจากสัสมัสารละลายตะกั่ว ความสูงเพิ่มขึ้นเป็น 17 เซนติเมตร ความเข้มข้นของตะกั่ว 20 มิลลิกรัมต่อลิตร ใช้ peristaltic pump มีอัตราการไหลที่ 2 มิลลิเมตรต่อนาที เวลาที่ใช้ทั้งหมด 480 นาที หรือ 8 ชั่วโมงโดยกราฟของการดูดซับตะกั่วโดยสาหร่าย *U. rigida* แสดงดังภาพที่ 15 สาหร่าย *U. rigida* มีการดูดซับได้หมดตั้งแต่เวลาที่ 2 นาที จนถึง 335 นาที จึงมีการดูดซับตะกั่วได้ลดลงเมื่อเวลาเพิ่มขึ้น กลไกหลักในการจับโลหะในสาหร่ายสีน้ำเขียวเป็นการแลกเปลี่ยนไอออนของตะกั่วกับไฮโดรเจนไอออน และทำให้ไอออนของตะกั่วไปจับที่ตำแหน่งการจับแทนจึงมีการดูดซับได้มากขึ้น จากรายงานการทดลองของ Senthilkumar *et al.* (2007) ศึกษาการทดลองการดูดซับโดยการใส่ column เส้นผ่านศูนย์กลาง 2 เซนติเมตร และความสูง 35 เซนติเมตร มีการใส่สาหร่าย *Turbinria conoides* จำนวน 35.1 กรัม ที่มีความสูง 25 เซนติเมตร การดูดซับตะกั่วที่มีความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร มีการใช้ปั๊มที่มีอัตราการไหลที่ 5 มิลลิเมตรต่อนาที มีการบันทึกข้อมูลการดูดซับเป็นเวลา 274 ชั่วโมง มีการดูดซับได้ 94 เปอร์เซ็นต์ ที่เวลา 214 ชั่วโมง กลไกหลักในการจับโลหะในสาหร่ายสีน้ำตาลเป็นการแลกเปลี่ยนไอออนของตะกั่วกับไฮโดรเจนไอออนและเป็นการเกิดที่ตำแหน่งการจับ



ภาพที่ 15 ผลของการดูดซับตะกั่วโดยสาหร่าย *U. rigida* ที่ใช้ การดูดซับตะกั่วในรูปแบบ Column (ความเข้มข้นของสารละลายตะกั่วเท่ากับ 20 มิลลิกรัมต่อลิตร, pH 4)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุป

การศึกษากำจัดตะกั่วโดยสาหร่าย *Ulva rigida* เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมและประสิทธิภาพของสาหร่าย *Ulva rigida* ในการกำจัดตะกั่วจากน้ำเสียสังเคราะห์ ศึกษาพีเอชที่มีความแตกต่างกันคือ 2.5-7.0 ผลของพีเอชของสารละลายตะกั่วที่เหมาะสมต่อการดูดซับคือ 4 ค่าการดูดซับเท่ากับ 19.98 ± 0.58 มิลลิกรัมต่อกรัม, ขนาดของเซลล์สาหร่ายที่มีความแตกต่างกันคือน้อยกว่า 0.1-2.0 มิลลิเมตร ไม่มีผลต่อการดูดซับตะกั่ว, จำนวนของสาหร่ายที่มีความแตกต่างกันคือ 0.01-0.08 กรัมต่อสารละลายตะกั่ว 20 มิลลิลิตร ผลของจำนวนของสาหร่ายที่เหมาะสมคือ 0.04 กรัมต่อสารละลายตะกั่ว 20 มิลลิลิตร ค่าการดูดซับเท่ากับ 9.37 ± 0.12 มิลลิกรัมต่อกรัม, อุณหภูมิที่มีความแตกต่างกันคือ 25-45 องศาเซลเซียส อุณหภูมิไม่มีผลต่อการดูดซับ, เวลาที่เข้าสู่สมดุลของการดูดซับคือ 30 นาที, การดูดซับสอดคล้องกับสมการการดูดซับของ Langmuir โดยมีค่าการดูดซับ (Q_{max}) เท่ากับ 41.841 มิลลิกรัมต่อกรัม, สารละลายที่ต่างกันที่ใช้เป็นตัวล้างตะกั่วคือ 0.1 M EDTA, 0.1 M HNO_3 , DI, 0.1 M $NaHCO_3$, 0.1 M Na_2CO_3 และ 0.1 M H_2SO_4 สารละลายที่สามารถล้างตะกั่วออกจากสาหร่ายได้ดีที่สุดคือ 0.1 M HNO_3 โดยล้างได้มากกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ และการดูดซับในรูปแบบของ column ที่มีสาหร่าย 1.97 กรัม สามารถดูดซับตะกั่วได้ดีจนถึงที่เวลา 335 นาที หลังจากนั้นมีการดูดซับได้น้อยลง การดูดซับในรูปแบบ column สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการบำบัดน้ำเสียได้อย่างดี

เอกสารอ้างอิง

<http://www.aggie.kps.ku.ac.th>

http://www.diw.go.th/diw_webhtml/versionthai/news.pdf

<http://www.fisheries.go.th/cs-trat/Index/ulva.htm>

<http://www.panyathai.or.th/wiki/index.php>

<http://www.skn.ac.th>

Kumar, Y.P., P. King and V.S.R.K. Prasad. 2006. Comparison for adsorption modelling of copper and zinc from aqueous solution by *Ulva fasciata* sp.. Journal of HarZardous Material. B137:1246-1251.

Kumar, Y.P., P. King and V.S.R.K. Prasad. 2006. Removal of copper from aqueous solution using *Ulva fasciata* sp.—A marine green algae. Journal of HarZardous Material. B137:367-373.

Kumar, Y.P., P. King and V.S.R.K. Prasad. 2007. Adsorption of zinc from aqueous solution using marine green algae—*Ulva fasciata* sp.. Chemical Engineering Journal. 129:161-166.

Raungsomboon, S., A. Chidthaisong, B. Bunnagb., D. Inthorn, and N. W. Harvey. 2008. Removal of lead (Pb²⁺) by the Cyanobacterium *Gloeocapsa* sp.. Bioresource Technology 99:5650-5658.

Sari, A. and M. Tuzen. 2008. Biosorption of Pb(II) and Cd(II) from aqueous solution using green alga (*Ulva lactuca*) biomass. Journal of HarZardous Material. 152:302-308.

Suzuki, Y., T. Kametani and T. Maruyama. 2005. Removal of heavy metals from aqueous solution by nonliving *Ulva* seaweed as biosorbent. Water Research. 39:1803-1808.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Senthilkumar, R., K. Vijayaraghavan, M. Thilakavathi, P.V.R. Iyer and M. Velan .2007.

Application of seaweeds for the removal of lead

from aqueous solution. Biochemical Engineering Journal 33:211-216.

Vijayaraghavan, K., J. Jegan, K. Palanivelu and M. Velan.2005. Biosorption of cobalt(II)

and nickel(II) by seaweeds: batch and column studies. Separation and

Purification Technology 44:53-59.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้