ปัญหาพิเศษ

เรื่อง

การกำจัดตะกั่วจากน้ำเสียสังเคราะห์โดยสาหร่ายสีเขียว *Caulerpa lentillifera*

Lead (Pb^{2+}) removal from synthetic wastewater by green alga, *Caulerpa lentillifera*

โดย

นางสาว วริยา ยินดี

ภาควิชาวิทยาศาสตร์การประมง

คณะเทคโนโลยีการเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

กรุงเทพมหานคร 10520

Department of Fisheries Science Faculty of Agricultural Technology

King Mongkut's Institute of Technology Lardkrabang

Bangkok 10520

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใบรับรองปัญหาพิเศษ
ภาควิชาวิทยาศาสตร์การประมง

เรื่อง

การกำจัดตะกั่วจากน้ำเสียสังเคราะห์โดยสาหร่ายสีเขียว *Caulerpa lentillifera*

Lead (Pb^{2+}) removal from synthetic wastewater by green alga, *Caulerpa lentillifera*

ชื่อนักศึกษา นางสาววริยา ยินดี

ชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร. สุนีรัตน์ เรืองสมบรูณ์

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษา .....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุนีรัตน์ เรืองสมบูรณ์)

ภาควิชารับรองแล้ว

.....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ปวีณา ทวีกิจการ)

หัวหน้าภาควิชาวิทยาศาสตร์การประมง

วันที่ 25 เดือน พ.ค. พ.ศ. 2552

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ปัญหาพิเศษ

เรื่อง

การกำจัดตะกั่วจากน้ำเสียสังเคราะห์โดยสาหร่ายสีเขียว *Caulerpa lentillifera*

Lead (Pb^{2+}) removal from synthetic wastewater by green alga, *Caulerpa lentillifera*

T104629

โดย

นางสาว วริยา ยินดี

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 104629
วัน,เดือน,ปี - 5 พ.ย. 2552

b.....
i.....

ภาควิชาวิทยาศาสตร์การประมง

คณะเทคโนโลยีการเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

กรุงเทพมหานคร 10520

ปีการศึกษา 2551

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทคัดย่อปัญหาพิเศษ

เรื่อง

การกำจัดตะกั่วจากน้ำเสียสังเคราะห์โดยสาหร่ายสีเขียว *Caulerpa lentillifera*

Lead (Pb^{2+}) removal from synthetic wastewater by green alga, *Caulerpa lentillifera*

การศึกษาการกำจัดตะกั่วโดยสาหร่าย *Caulerpa lentillifera* เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมและประสิทธิภาพของสาหร่าย *Caulerpa lentillifera* ในการกำจัดตะกั่วจากน้ำเสียสังเคราะห์ ศึกษาพีเอชที่มีความแตกต่างกันคือ 2.5-7.0 ผลของพีเอชของสารละลายตะกั่วที่เหมาะสมต่อการดูดซับคือ 5.5 ค่าการดูดซับเท่ากับ 13.44±0.21 มิลลิกรัมต่อกรัม, ขนาดของเซลล์สาหร่ายที่มีความแตกต่างกันคือ น้อยกว่า 0.1-2.0 มิลลิเมตร ไม่มีผลต่อการดูดซับตะกั่ว, ปริมาณของสาหร่ายที่มีความแตกต่างกันคือ 0.01-0.08 กรัมต่อสารละลายตะกั่ว 20 มิลลิลิตร ผลของจำนวนของสาหร่ายที่เหมาะสมคือ 0.01 กรัมต่อสารละลายตะกั่ว 20 มิลลิลิตร ค่าการดูดซับเท่ากับ 91.87±11.90 มิลลิกรัมต่อกรัม, อุณหภูมิที่มีความแตกต่างกันคือ 25-45 องศาเซลเซียส อุณหภูมิไม่มีผลต่อการดูดซับ, เวลาที่เข้าสู่สมดุลของการดูดซับคือ 30 นาที, การดูดซับสอดคล้องกับสมการการดูดซับของ Langmuir โดยมีค่าการดูดซับ (R^2) เท่ากับ 0.9804, สารละลายที่ต่างกันที่ใช้เป็นตัวล้างตะกั่วคือ0.1 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 32 เปอร์เซนต์ และการดูดซับในรูปแบบของ column ที่มีสาหร่าย 1.0028 กรัม สามารถดูดซับตะกั่วได้ดีจนถึงที่เวลา 190 นาที หลังจากนั้นมีการดูดซับได้น้อยลง การดูดซับในรูปแบบ column สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการบำบัดน้ำเสียได้อย่างดี

นางสาว วริยา ยินดี

รหัส 48040606

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำนิยม

ในการทำปัญหาพิเศษเรื่องการกำจัดตะกั่วจากน้ำเสียสังเคราะห์โดยสาหร่ายสีเขียว *Caulerpa lentillifera* ครั้งนี้ ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณอาจารย์สุนีรัตน์ เรืองสมบูรณ์ เป็นอย่างสูง ซึ่งท่านอาจารย์คอยให้คำปรึกษา แนะนำแนวทาง และตรวจสอบข้อบกพร่องในการทำปัญหาพิเศษครั้งนี้มาโดยตลอด จนสามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ตลอดจนความรัก ความเมตตา และความห่วงใย ที่ท่านอาจารย์มีให้ตลอดในการทำปัญหาพิเศษ

ขอขอบพระคุณคุณปู่ คุณตา คุณพ่อ คุณแม่ ครอบครัวยินดีและครอบครัวสยังกูล ที่เลี้ยงดู อบรม เป็นกำลังใจและสนับสนุนทางด้านการศึกษาเป็นอย่างดีมาโดยตลอด

ขอขอบพระคุณท่านอาจารย์ทุกท่านๆที่คอยอบรม สั่งสอน ทั้งทางด้านวิชาการและการใช้ชีวิตมาตลอด4ปี ทำให้สามารถนำมาใช้ในการทำปัญหาพิเศษได้อย่างดี

ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ภาควิชาวิทยาศาสตร์การประมงทุกท่าน ทั้งคุณบุปผา จงพัฒน์ คุณนภพล เผ่ามนัส และคุณชิดชนก สวัสดิ์ศรี ที่ให้ความสะดวกในเรื่องเครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆที่ใช้ในการทดลอง

และสุดท้ายขอขอบคุณกำลังใจและความช่วยเหลือจากคุณภัทราวรรณ ม่วงรัตน์ คุณชาคริสต์ ศิริวาทกานต์ คุณหทัยกานต์ ว่องไวกิจไพศาล คุณชัลมา เพ็ญพันธ์ คุณพิริยะ คำศิริรักษ์ เพื่อนๆเตรียมอุดมศึกษาพัฒนาการ 6/5 รุ่น22 และเพื่อนๆประมงรุ่น12 ทุกคนมา ณ ที่นี้ด้วย

นางสาว วริยา ยินดี

มีนาคม 2552

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำนำ

ในปัจจุบัน การขยายตัวของโรงงานอุตสาหกรรมที่มีการใช้โลหะหนักมีเพิ่มมากขึ้น ถึงแม้ว่าจะให้ความสนใจในการควบคุมมลภาวะ แต่โลหะหนักก็ยังคงสามารถพบได้ในสิ่งแวดล้อม โดยเฉพาะอย่างยิ่งน้ำเสียที่ถูกปล่อยออกมาจากโรงงาน แม้ว่าจะมีการสกัดโลหะหนักให้ลดน้อยลงโดยการผ่านเทคนิคการตกตะกอนและการระเหย แต่กระบวนการนี้สิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายและไม่ค่อยมีประสิทธิภาพในกรณีที่โลหะหนักมีปริมาณไม่สูงมาก แต่พบว่ามีทางเลือกอีกทางหนึ่ง คือการดูดซับทางชีวภาพ ได้มีการแนะนำให้ทราบ ซึ่งเป็นวิธีการบำบัดน้ำเสียที่ดีและราคาถูก เช่น 1) ใช้เปลือกกุ้ง หมึก หอยที่มีสารประกอบพวกไคติน 2) แบคทีเรีย รา ยีสต์ และ3) สาหร่ายสีเขียว เป็นต้น

น้ำเป็นปัจจัยสำคัญในการดำรงชีวิตน้ำถูกนำมาใช้ในการอุปโภคบริโภค และน้ำเมื่อใช้แล้วก็จะถูกปล่อยทิ้งออกสู่แหล่งน้ำธรรมชาติได้ก่อให้เกิดปัญหาขึ้น น้ำทิ้งหรือน้ำเสีย (wastewater) คือน้ำที่ผ่านการใช้ประโยชน์ต่างๆ ทำให้มีคุณลักษณะเปลี่ยนไปจากเดิมเนื่องจากมีสิ่งเจือปนทั้งสารอินทรีย์และอนินทรีย์ จำเป็นต้องผ่านกระบวนการบำบัดน้ำเสียก่อนที่จะปล่อยลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติเพื่อลดการเกิดมลภาวะ คำว่า “wastewater” นี้แตกต่างจาก “waste water” ที่หมายถึงน้ำทิ้งจากกระบวนการผลิต ซึ่งอาจจะไม่เป็นน้ำเสียก็ได้ ยกตัวอย่างเช่น การใช้กระบวนการ “ ออสโมซิสผันกลับ ” (reverse osmosis) เพื่อเพิ่มความเข้มข้นของน้ำผลไม้แทนการต้มระเหยน้ำออก โดยให้ความดัน (pressure) กับน้ำผลไม้ที่ไหลผ่านเยื่อกรองที่ยอมให้เฉพาะโมเลกุลของน้ำเท่านั้นผ่านออกมา น้ำที่ถูกดันผ่านเยื่อกรองออกมาจัดว่าเป็นของเสียจากกระบวนการผลิต (waste water) แต่มีความสะอาดสามารถที่จะนำไปหมุนเวียนใช้งานอย่างอื่นได้ เช่น ใช้ชำระล้างภายในโรงงานทำให้แหล่งน้ำมีคุณภาพเสื่อมลงและในที่สุดก็กลายเป็นน้ำเน่าสิ่งมีชีวิตที่เคยอาศัยอยู่ในน้ำก็มิอาจอาศัยอยู่ได้ (http://www.aggie.kps.ku.ac.th)

ตะกั่ว

1. ลักษณะของตะกั่ว ตะกั่วเป็นโลหะที่มีสีเงินแกมฟ้า ซึ่งสามารถพบได้ตามธรรมชาติโดยปกติมักพบตะกั่วปะปนอยู่กับกำมะถัน ซึ่งก่อนที่จะนำตะกั่วมาใช้ในภาคอุตสาหกรรมจำเป็นต้องแยกโลหะทั้งสองชนิดนี้ออกจากกันเสียก่อน โดยการเผาด้วยความร้อนสูงแล้วจึงพ่นอากาศเข้าไป ออกซิเจนในอากาศจะทำปฏิกิริยากับตะกั่วและกำมะถัน เกิดเป็นตะกั่วออกไซด์และก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ซึ่งก๊าซซัลเฟอร์-ไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นจะนำไปใช้ในการผลิตกรดกำมะถัน สำหรับตะกั่วออกไซด์ที่เกิดขึ้นสามารถนำไปใช้ในอุตสาหกรรมได้ และหากนำตะกั่วออกไซด์ที่ได้ไปผ่านกระบวนการดูดซับออกซิเจนบริสุทธิ์ จะได้ตะกั่วบริสุทธิ์ที่สามารถนำไปใช้ในอุตสาหกรรมได้ (ปราโมทย์ และรินทวัฒน์, 2551)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.แหล่งที่มาของตะกั่วที่ปนลงในแหล่งน้ำ

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

2.2 น้ำเสียจากอุตสาหกรรม เป็นน้ำเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตทางอุตสาหกรรม ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นน้ำล้างในกระบวนการผลิตต่างๆ ซึ่งมีสมบัติแตกต่างกันตามประเภทของอุตสาหกรรม โลหะตะกั่วเป็นวัตถุดิบสำคัญในอุตสาหกรรมแบตเตอรี่ อุตสาหกรรมโลหะบัดกรี ซึ่งเป็นโลหะผสมระหว่างดีบุกกับตะกั่วในอัตราส่วนต่างๆ กัน โลหะบัดกรีใช้ในอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ เครื่องใช้ไฟฟ้า หม้อน้ำรถยนต์ ส่วนประกอบของคอมพิวเตอร์และแผงวงจรไฟฟ้า นอกจากนี้ยังใช้โลหะตะกั่วในโรงชุบเคลือบเหล็กด้วยสังกะสี ลูกแหลูกอวนที่ใช้ในอุตสาหกรรมประมง ใช้ในการทำกระดาษตะกั่ว ท่อน้ำ แผ่นตะกั่ว ตัวพิมพ์ กระสุนปืน สะพานไฟฟ้า ทำผนังกั้นรังสีในเครื่องหรือห้องปฏิบัติการเกี่ยวกับปฏิกรณ์ปรมาณู ใช้ตะกั่วในการทำสีและทำผงตะกั่วแดง ตะกั่วเหลืองสำหรับเคลือบภาชนะต่างๆ

2.3 น้ำเสียจากการเกษตร เป็นน้ำเสียที่เกิดจากกิจกรรมทางการเกษตร เช่นน้ำเสียจากการล้างคอกสัตว์เลี้ยง เช่น คอกหมู คอกวัว เล้าไก่ น้ำเสียจากนาข้าว จากฟาร์มเลี้ยงกุ้ง เป็นต้น โดยน้ำเสียจากเกษตรกรรมส่วนใหญ่จะปนเปื้อนสารเคมี ยาฆ่าแมลง หรือปุ๋ย (http://www.skn.ac.th)

3. พิษของสารตะกั่ว

3.1 ความเป็นพิษเฉียบพลัน ผู้ได้รับตะกั่วจะรู้สึกฝืดคอ มีกลิ่นโลหะในปาก กระหายน้ำ คอแห้ง ปวดแสบหน้าท้อง คลื่นไส้ อาเจียน อาเจียนอาจมีลักษณะขาวขุ่นจากเลดคลอไรด์ ผู้ได้รับตะกั่วส่วนมากจะมีอาการท้องร่วง และส่วนน้อยท้องผูก อุจจาระมีเลือดหรือมีสีดำอันเนื่องมาจากเลดซัลไฟด์ ผู้ได้รับตะกั่วบางรายอาจเกิดอาการช็อค กล้ามเนื้อกระตุก อ่อนเพลีย เป็นตะคริว โดยเฉพาะที่ขาทั้งสองข้าง หรือมีอาการของระบบประสาทส่วนกลาง เช่น ปวดศีรษะ นอนไม่หลับ หรืออาจมีอาการผิดปกติที่ไร้สาเหตุ เช่น รู้สึกชา ซึมเศร้า ถึงขั้นโคม่าและเสียชีวิตในที่สุด อาการที่รองลงไป ได้แก่ ภาวะไตเสื่อม ทำให้ปัสสาวะน้อยลงกว่าปกติ มีอัลบูมิน และมีเมือกในปัสสาวะ เจ็บไต นอกจากนี้ จะมีการสลายตัวของเม็ดเลือดแดง อาจทำให้เสียชีวิตได้ภายใน 2-3 วัน (ปราโมทย์และรินทวัฒน์, 2551)

3.2 ความเป็นพิษเรื้อรัง ผู้ได้รับตะกั่วอาจมีอาการทางระบบทางเดินอาหารและทางระบบประสาท อาการทางระบบทางเดินอาหาร เช่น เบื่ออาหาร เหม็นเฝื่อนในลำคอ ท้องผูก เป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตะคริวที่หน้าท้อง อาการทางระบบประสาท เช่น ข้อมือตก เป็นอัมพาต ไม่มีแรง แต่ยังคงมีความรู้สึก อาการทางสมองหรือเยื่อหุ้มสมองอักเสบ อาการนี้พบน้อยในผู้ใหญ่ส่วนมากมักจะเกิดขึ้นกับเด็ก เช่น เด็กที่กำลังร่าเริงว่องไว อยู่ดีๆ ก็หมดสติ นานประมาณ 2-3 ชั่วโมงจากสถิติผู้ป่วยที่มีอาการทางสมอง บางรายเสียชีวิต ประมาณร้อยละ 25 ของผู้รอดชีวิตอาจมีอาการทางประสาทอย่างถาวร (ปราโมทย์ และรินทวัฒน์, 2551)

4. การบำบัดน้ำเสีย กรรมวิธีในการบำบัดน้ำเสีย

4.1 การบำบัดน้ำเสียขั้นเตรียมการ (Pretreatment) เป็นการกำจัดของแข็งขนาดใหญ่ออกเสียก่อนที่น้ำเสียจะถูกปล่อยเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสีย เพื่อป้องกันการอุดตันท่อน้ำเสีย และเพื่อไม่ทำความเสียหายให้แก่เครื่องสูบน้ำ การบำบัดน้ำเสียในขั้นนี้ได้แก่ การดักด้วยตะแกรง เป็นการกำจัดของแข็งขนาดใหญ่โดยใช้ตะแกรง ตะแกรงที่ใช้โดยทั่วไปมี 2 ประเภทคือ ตะแกรงหยาบและตะแกรงละเอียด การบดตัดขนาดหรือปริมาตรของแข็งให้เล็กลง ถ้ามีสิ่งสกปรกที่ลอยติดมากับน้ำเสียเป็นสิ่งที่เน่าเสียได้ต้องใช้เครื่องบดตัดละเอียด ก่อนแยกออกด้วยการตกตะกอน การดักกรวดทราย เป็นการกำจัดพวกกรวดทรายทำให้ตกตะกอนในรางดักทราย โดยการลดความเร็วของน้ำลง การกำจัดไขมันและน้ำมันเป็นการกำจัดไขมันน้ำมันซึ่งมักอยู่ในน้ำเสียที่มาจากครัว โรงอาหาร ห้องน้ำ ปั๊มน้ำมัน และโรงงานอุตสาหกรรมบางชนิด โดยการกักน้ำเสียไว้ในบ่อดักน้ำมันในช่วงเวลาหนึ่งเพื่อให้น้ำมันและไขมันลอยตัวขึ้นสู่ผิวน้ำแล้วใช้เครื่องตักหรือกวาดออกจากบ่อ

4.2 การบำบัดน้ำเสียขั้นที่สอง (Secondary Treatment) เป็นการกำจัดน้ำเสียที่เป็นพวกสารอินทรีย์อยู่ในรูปสารละลายหรือนภาคคอลลอยด์ โดยทั่วไปมักจะเรียกการบำบัดขั้นที่สองนี้ว่า การบำบัดน้ำเสียด้วยขบวนการทางชีวภาพ เนื่องจากเป็นขั้นตอนที่ต้องอาศัยจุลินทรีย์ที่ทำหน้าที่ย่อยสลาย หรือทำลายสิ่งสกปรกในน้ำเสีย การบำบัดน้ำเสียในปัจจุบันนี้อย่างน้อยจะต้องบำบัดถึงขั้นที่สองนี้ เพื่อให้น้ำเสียได้ผ่าน การบำบัดแล้วมีคุณภาพมาตรฐานน้ำทิ้งที่ทางราชการกำหนดไว้ การบำบัดน้ำเสียด้วยขบวนการทางชีวภาพแบ่งเป็น 2 ประเภท ได้แก่ ขบวนการใช้ออกซิเจน เช่น ระบบบ่อเติมอากาศ ระบบแคติเวตเตดสลัดจ์ ระบบแผ่นหมุนชีวภาพ เป็นต้น และขบวนการไม่ใช้ออกซิเจน เช่น ระบบถังกรองไร้อากาศระบบถังหมักตะกอน เป็นต้น ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของจุลินทรีย์ที่ทำหน้าที่ย่อยสลาย

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การดูดซับทางชีวภาพ (biosorption) หมายถึง การใช้เซลล์ของสิ่งมีชีวิตที่ตายแล้ว หรือเซลล์ที่กลไกต่างๆภายในเซลล์ไม่มีการทำงานแล้ว มาทำการดูดซับแยกหรือรวบรวมโลหะหนักออกมาไว้ที่เซลล์เพื่อกำจัดออกจาสารละลายที่มีโลหะหนักเหล่านั้นอยู่ โดยใช้การแลกเปลี่ยนไอออนเป็นหลัก

โลหะหนัก หมายถึง แร่ธาตุที่มีน้ำหนักอะตอมสูง ในชีวิตประจำวันมนุษย์มีความเสี่ยงต่อการนำโลหะหนักเข้าสู่ร่างกายผ่านทางการบริโภคน้ำและอาหารที่มีการปนเปื้อน โลหะหนักที่มีพิษามากและพบในน้ำเสียที่ปล่อยจากโรงงานอุตสาหกรรมได้แก่ ปรอท ตะกั่ว แคดเมียม โดยได้พบว่าตะกั่วเป็นธาตุที่มีปริมาณน้อยแต่มีการกระจายตัวไปทั่วโลก เพราะเนื่องจากมีการนำมาใช้ในอุตสาหกรรมกันมาก ตะกั่วมีพิษต่อร่างกายและสิ่งแวดล้อม ซึ่งตะกั่วจะไปทำลายสมอง กล้ามเนื้อ ระบบทางเดินอาหาร เลือด ฯลฯ

Caulerpa lentillifera มีชื่อไทยว่า สาหร่ายพวงองุ่น อยู่ในดิวิชั่นคลอโรไฟตาเป็นสาหร่ายสีเขียวขนาดใหญ่ที่มีการเจริญเติบโตอยู่ทั่วไปในเขตร้อนชื้น ในแถบเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ได้ใช้เป็นอาหารของสัตว์และมนุษย์ มีการนำมาทำเป็นยาแผนโบราณที่ช่วยในเรื่องของหลอดเลือด และไขข้อ ปวดกล้ามเนื้อ แถมยังสามารถใช้ในการต้านอนุมูลอิระได้ด้วยแต่โดยทั่วไปที่พบคือจะนำมาบำบัดน้ำเสียในบ่อกุ้ง (Prasert *et al.*,2006)

ดังนั้นจึงนำสาหร่าย *Caulerpa lentillifera* มาประยุกต์ใช้ในการดูดซับตะกั่วที่มีการปนเปื้อนในน้ำ เพื่อเป็นประโยชน์ในการบำบัดน้ำเสีย ช่วยในการลดปริมาณตะกั่วในน้ำเสียจากโรงงานด้วยวิธีทางชีวภาพซึ่งมีราคาประหยัดกว่าวิธีเดิมๆ

วัตถุประสงค์

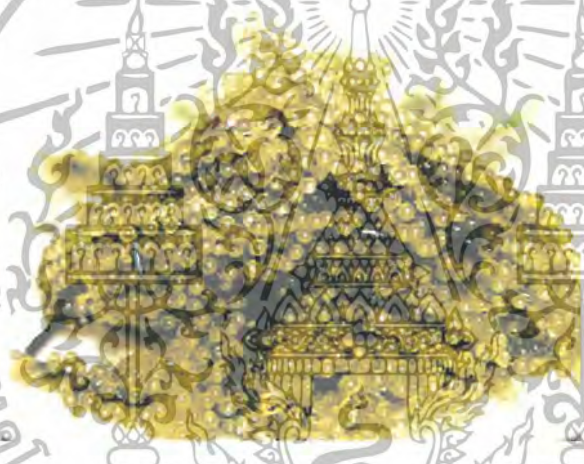
เพื่อศึกษาปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อการดูดซับทางชีวภาพของสาหร่ายพวงองุ่น (*Caulerpa lentillifera*) ได้แก่ ค่าพีเอช ระยะเวลา จำนวนเซลล์ ขนาดของเซลล์ อุณหภูมิ ความเข้มข้นของโลหะหนักและค่าพลังงานจลนพลศาสตร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การตรวจเอกสาร

ชีววิทยาของสาหร่ายพวงองุ่น (*Caulerpa lentillifera*)

สาหร่ายพวงองุ่น (*Caulerpa lentillifera*) เป็นสาหร่ายสีเขียวที่พบในทะเล ทัลลัสเป็นท่อต่อติดกันตลอดมีส่วนคล้ายรากฝอยทำหน้าที่ยึดเกาะ และทอดแขนงออกเป็นระยะๆ ส่วนที่ทำหน้าที่สังเคราะห์แสงมีลักษณะคล้ายใบเรียกว่า ramulus ซึ่งมีรูปร่างลักษณะแตกต่างกันไป บางชนิดกลมหรือแบน หรือเป็นแส้นเหมือนขนนก ทัลลัสมีขนาดเล็กและใหญ่ บางชนิดอาจยาวถึง 1 เมตร ขึ้นตามพื้นทรายปนโคลน หรือเกาะบนซากปะการัง รับประทานได้ ใน *Caulerpa lentillifera* จะมีสาร caulerpin หรือ caulerpicin ซึ่งเป็นสารที่มีพิษ ในรายที่แพ้อาจมีอาการคัน ชาบริเวณริมฝีปาก แต่จะเป็นเพียงแค่ช่วงสั้นๆแล้วจะหายไป (สุนีรัตน์,2551)



ภาพที่ 1 สาหร่าย*Caulerpa lentillifera*
ที่มา : www.reefthailand.com/step3/p-2-n-1.gif

การดูดซับทางชีวภาพ

การดูดซับทางชีวภาพ(biosorption) เป็นวิธีการบำบัดน้ำเสียที่ดีและราคาถูก คือ 1) ใช้เปลือกกุ้ง หมึก หอยที่มีสารประกอบพวกไคติน 2) แบคทีเรีย รา ยีสต์ 3) สาหร่ายสีเขียว ซึ่งการใช้ดูดซับทางชีวภาพโดยใช้สาหร่ายนั้นหมายถึง การใช้เซลล์ของสิ่งมีชีวิตที่ตายแล้วหรือเซลล์ที่กลไกต่างๆภายในเซลล์ไม่มีการทำงานแล้ว มาทำการดูดซับแยกหรือรวบรวมโลหะหนักออกมาไว้ที่เซลล์เพื่อกำจัดออกจากสารละลายที่มีโลหะหนักเหล่านั้นอยู่ โดยใช้การแลกเปลี่ยนไอออนเป็นหลัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับโลหะหนักโดยสาหร่าย

ตัวถูกดูดซับจะสามารถเกาะ หรือกระจายที่ผิวของตัวดูดซับได้มากน้อยเพียงใด ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของ ตัวดูดซับ ตัวถูกดูดซับและสภาวะในการดูดซับ โดยมีปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับได้แก่

1. คุณสมบัติของตัวดูดซับ

1.1 **พื้นที่ผิวและโครงสร้างของรูพรุน** พื้นที่ผิวและโครงสร้างของรูพรุนมีความสัมพันธ์กันโดยตรงกับประสิทธิภาพของการดูดซับ โดยเมื่อพื้นที่ผิวในการดูดซับมีมากขึ้น ประกอบกับมีโครงสร้างรูพรุนมาก จะช่วยเพิ่มพื้นที่ในการดูดซับและทำให้ประสิทธิภาพในการดูดซับมากขึ้น เพราะขบวนการดูดซับเกิดขึ้นที่พื้นที่ผิวเป็นส่วนใหญ่

1.2 ขนาดของตัวดูดซับ ในกรณีที่สารดูดซับไม่มีรูพรุน เมื่อขนาดของตัวดูดซับลดลง พื้นที่ผิวในการดูดซับจะเพิ่มขึ้น ทำให้ประสิทธิภาพในการดูดซับสูงขึ้นตามไปด้วย แต่ถ้าสารดูดซับมีรูพรุนมาก พื้นที่ผิวที่ใช้ในการดูดซับจะอยู่ในรูพรุน เพราะฉะนั้นในกรณีนี้ความสามารถในการดูดซับจะไม่ขึ้นอยู่กับขนาดของวัตถุ

1.3 หมู่ฟังก์ชันทางเคมีที่ผิวตัวดูดซับ หมู่ฟังก์ชันทางเคมีที่อยู่บนผิวของตัวดูดซับ จะมีผลต่อประสิทธิภาพการดูดซับ เนื่องจากสามารถยึดเหนี่ยวตัวถูกดูดซับ แล้วเกิดเป็นการดูดซับทางเคมีได้ เช่นหมู่ฟังก์ชันที่ประกอบด้วยหมู่คาร์บอกซิล , หมู่เอมีน และหมู่ซัลเฟต ซึ่งจะเป็นประจุลบในสารละลาย สามารถดูดซับไอออนของโลหะหนักที่เป็นประจุบวกได้ (สุนีรัตน์,2551)

ตารางที่1 หมู่ฟังก์ชั่นต่างๆของสาหร่าย*Caulerpa lentillifera*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	Pure alga	Alga with Cu^{2+}	Alga with Cd^{2+}	Alga with Pb^{2+}	Alga with Zn^{2+}
Carboxylic acid					
O-H stretching	2922	2922	2924	2922	2924
C=O stretching	–	–	–	–	–
C-O stretching	1244	1244	1242	1242	1244
O-H bending	1414	–	–	–	–
Amine					
N-H stretching	3408	3440	3398	3412	3408
N-H bending	1650	1650	1648	1648	1648
C-N stretching	1324	1076	–	–	1078
Amide					
N-H stretching	3408	3414	3398	3412	3408
		3440			
C-O stretching				3330	
	1650	1650	1648	1648	1648
Amino					
N-H stretching			–	–	
	2922	2922	2924	2922	2924
C-O	1544	1542	1536	1536	1534
	1414	1458	–	–	–
N-H bending	1544	1542	1536	1536	1534
Sulfonyl					
S=O stretching	–	1384	1384	1384	1384
Sulfonate					
S=O stretching	1366	–	–	–	–
S-O stretching	908	908	908	906	908
					800

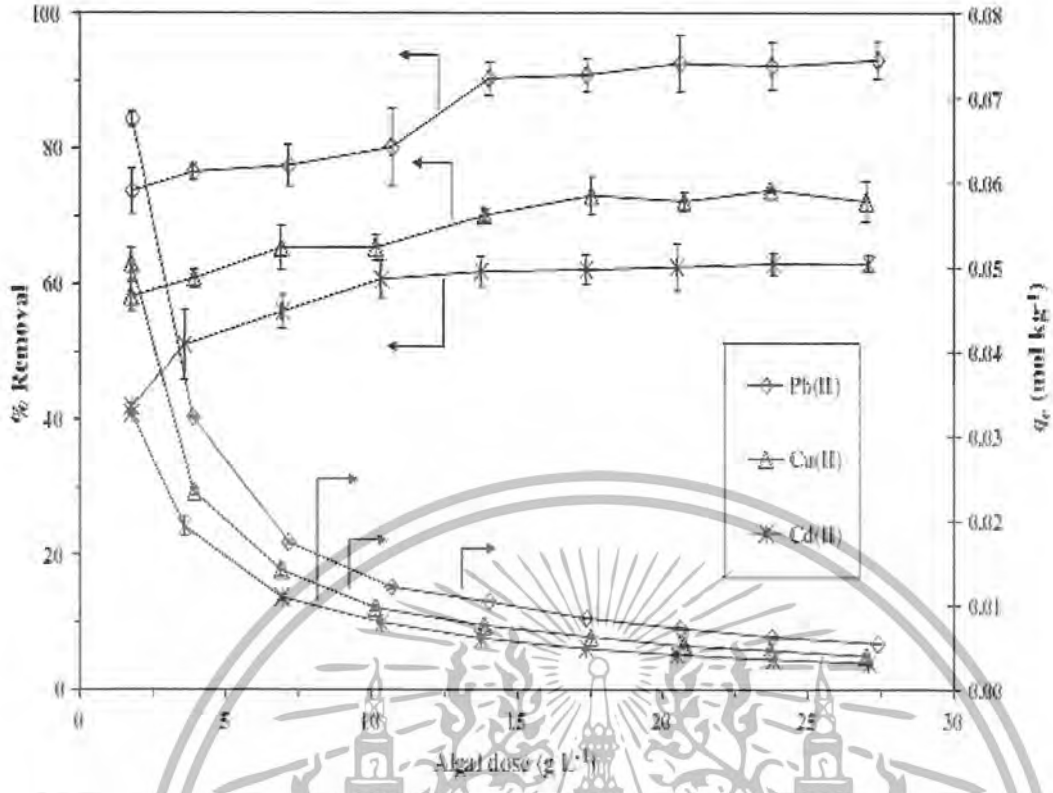
ที่มา : Prasert *et al.*(2006)

2. คุณสมบัติของตัวถูกดูดซับ

2.1 ความสามารถในการละลาย ความสามารถในการดูดซับโมเลกุลของตัวถูกละลายมีความสัมพันธ์กับการละลาย คือถ้าตัวถูกละลายมีความสามารถในการละลายสูง แรงยึดเหนี่ยวระหว่างตัวถูกละลายกับตัวทำละลายมีค่ามากโมเลกุลของตัวถูกละลายจะถูกแยกออกจากสารละลายไปเกาะติดบนผิวของตัวดูดซับได้ยาก ทำให้ประสิทธิภาพการดูดซับไม่สูง ส่วนสารที่ไม่ละลายหรือละลายได้น้อย จะสามารถเกาะติดบนผิวตัวดูดซับได้ดีกว่า

2.2 น้ำหนักและขนาดของโมเลกุล เมื่อน้ำหนักและขนาดของตัวถูกดูดซับเพิ่มขึ้น ความสามารถในการดูดซับจะเพิ่มขึ้น เพราะการเพิ่มน้ำหนักโมเลกุล ทำให้ความสามารถในการละลายของตัวถูกดูดซับที่เป็นสารอินทรีย์ลดลง แต่การดูดซับในรูพรุน จะเกิดได้ดีเมื่อตัวถูกดูดซับมีขนาดเล็กกว่ารูพรุนเล็กน้อยเพราะตัวถูกดูดซับ สามารถเข้าไปในรูพรุน เป็นการเพิ่มประสิทธิภาพการดูดซับ (สุนีรัตน์.2551)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



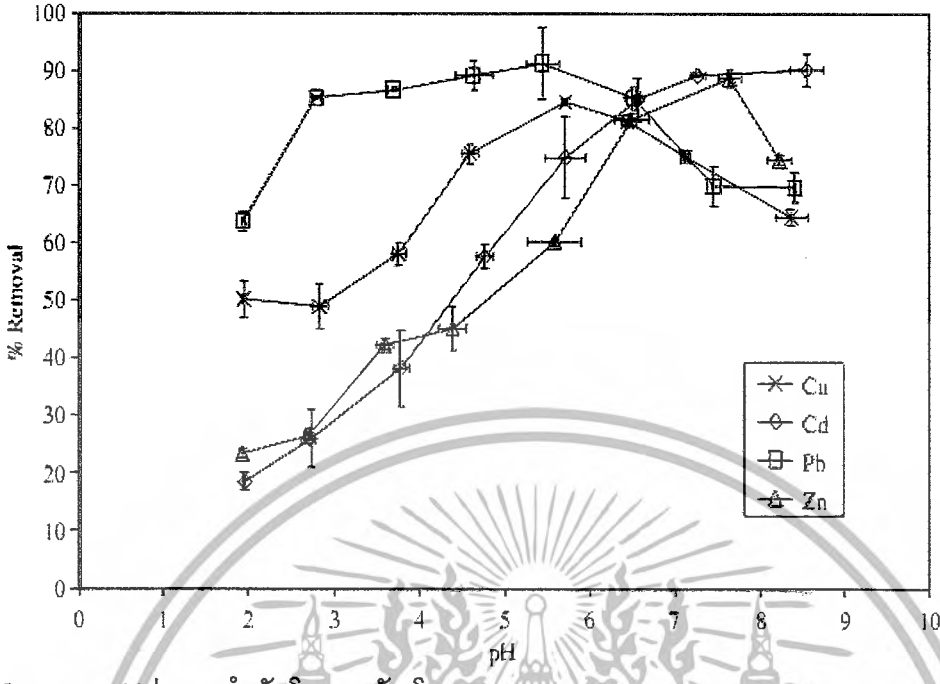
ภาพที่ 2 ผลของปริมาณสาหร่าย *Caulerpa lentillfera* ต่อการดูดซับทองแดง แคดเมียมและตะกั่ว(ความเข้มข้นของสารละลายที่ 0.1mol m^{-3} pH 5 ใช้เวลาในการทดลอง 30นาที)

ที่มา : Ronbanchob and Prasert (2008)

3. สภาวะในการดูดซับ

3.1 ค่าพีเอชหรือความเป็นกรด-ด่าง(pH) ค่าพีเอชของสารละลายมีผลต่อการเปลี่ยนรูป (species) ของโลหะหนัก เช่น การเปลี่ยนรูปของโลหะหนักกลุ่มประจุบวกสอง(divalency ion) ได้แก่ ตะกั่ว,นิกเกิล,สังกะสี และแคดเมียม และค่าพีเอชของสารละลายยังมีผลต่อการแตกตัวของหมู่ฟังก์ชั่นบนผิวเซลล์ตัวดูดซับด้วย ค่าpHที่ทำการดูดซับตะกั่วได้ดีที่สุดคือ 5.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

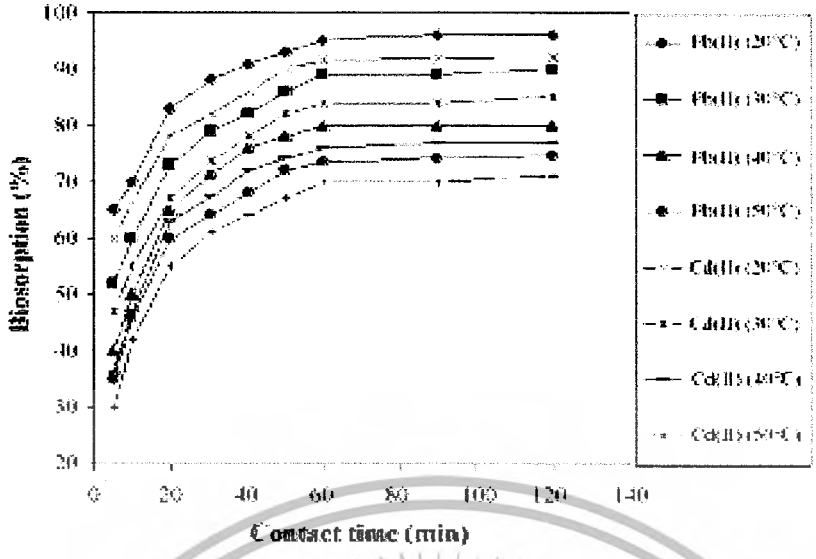


ภาพที่ 3 ผลของpHต่อการกำจัดโลหะหนัก โดย *Caulerpa lentilifera*
ที่มา : Prasert *et al.*(2006)

3.2 อุณหภูมิ อุณหภูมิมีผลต่อประสิทธิภาพและอัตราเร็วของการดูดซับ เนื่องจากการยึดเกาะระหว่างตัวดูดซับกับตัวถูกดูดซับเกี่ยวข้องกับชนิดของพันธะที่ยึดเหนี่ยวกัน ถ้าปฏิกิริยาการดูดซับเป็นชนิดคายความร้อน การดูดซับจะมากขึ้นเมื่ออุณหภูมิลดลง แต่ถ้าเป็นชนิดดูดความร้อน การดูดซับจะมากขึ้นตามอุณหภูมิที่สูงขึ้น และอัตราเร็วของการดูดซับจะแปรผันตามอุณหภูมิ เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น อัตราเร็วจะเพิ่มขึ้นตามไปด้วย แต่อย่างไรก็ตามการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ เพียงเล็กน้อยนั้นไม่มีผลต่อการดูดซับ

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4 ผลของระยะเวลาและอุณหภูมิของการดูดซับ Pb (II) และ Cd (II) ions โดย *Ulva lactuca* (ความเข้มข้นของโลหะ 10 มิลลิกรัมต่อกรัม และปริมาณสาหร่าย 20 กรัมต่อลิตร)

ที่มา: Sari and Tuzen (2008)

8. Desorption

Raungsomboon *et al.* (2008) มีรายงานถึงผลของการกำจัดตะกั่วของ *Gloeocapsa gelatinosa* มีการดูดซับที่ผิวเซลล์มีการยืนยันโดยการใช้ ethylenediamine tetraacetic acid (EDTA) ในการล้างตะกั่วที่มีการดูดซับที่ผิวเซลล์ EDTA ที่ใช้ในการศึกษาโลหะไอออนที่เป็นตัวล้างและคาดว่า EDTA จะเป็นตัวล้างตะกั่วที่มีสะสมไว้ที่ผิวเซลล์ได้ 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 % ของการดูดซับตะกั่วทั้งหมดจากที่ผิวเซลล์ ที่ผิวเซลล์ของไซยาโนแบคทีเรียมีกลุ่มของหมู่ฟังก์ชันจับกับตะกั่วเป็นสารประกอบเชิงซ้อนการล้างด้วยน้ำจึงไม่สามารถล้างตะกั่วออกได้ ในตารางที่ 5 การล้างที่เกิดขึ้นในช่วงที่ 3 จำนวนของตะกั่วที่ถูกล้างยังคงสูงเมื่อเปรียบเทียบกับการล้างครั้งที่ 1 และ 2 ดังนั้นมีความเป็นไปได้ถึงความแข็งแรงของตำแหน่งการจับของตะกั่ว ระยะเวลาในการล้างที่มากขึ้นมีผลถึงการล้างตะกั่วที่มากขึ้นเช่นกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

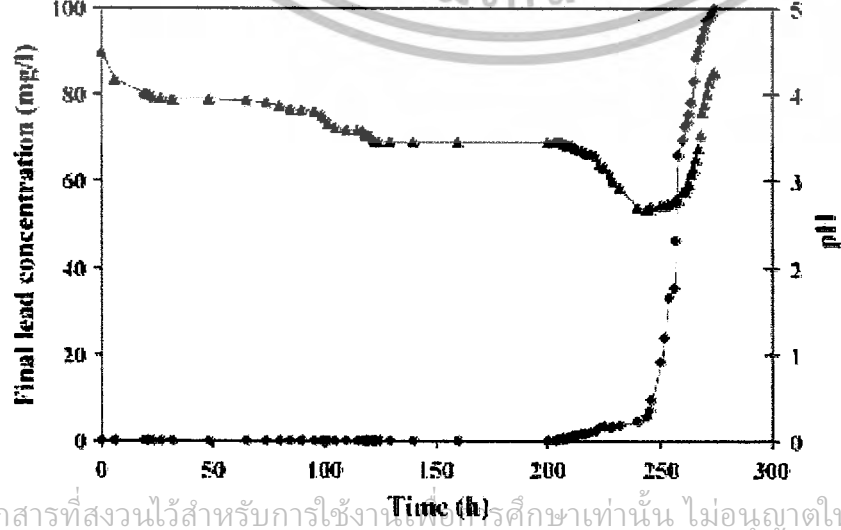
ตารางที่ 2 การล้างตะกั่วจาก *G. gelatinosa* โดย EDTA

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	
60 min	367.0 - 6.2	EDTA	93.2 - 6.0	43.0 - 1.4	35.5 - 1.5	161.7 - 6.6
	369.0 - 0.3	Milli-Q	2.7 - 0.5	1.6 - 0.1	1.0 - 0.2	5.3 - 0.5
24 h	434.1 - 6.0	EDTA	132.3 - 1.1	58.1 - 2.6	43.6 - 0.6	201.0 - 3.8
	401.6 - 0.7	Milli-Q	1.0 - 0.1	0.3 - 0.1	0.3 - 0.2	1.6 - 0.3

ที่มา: Raungsomboon *et al.* (2008)

9. column ในรูปแบบการดูดซับตะกั่ว

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



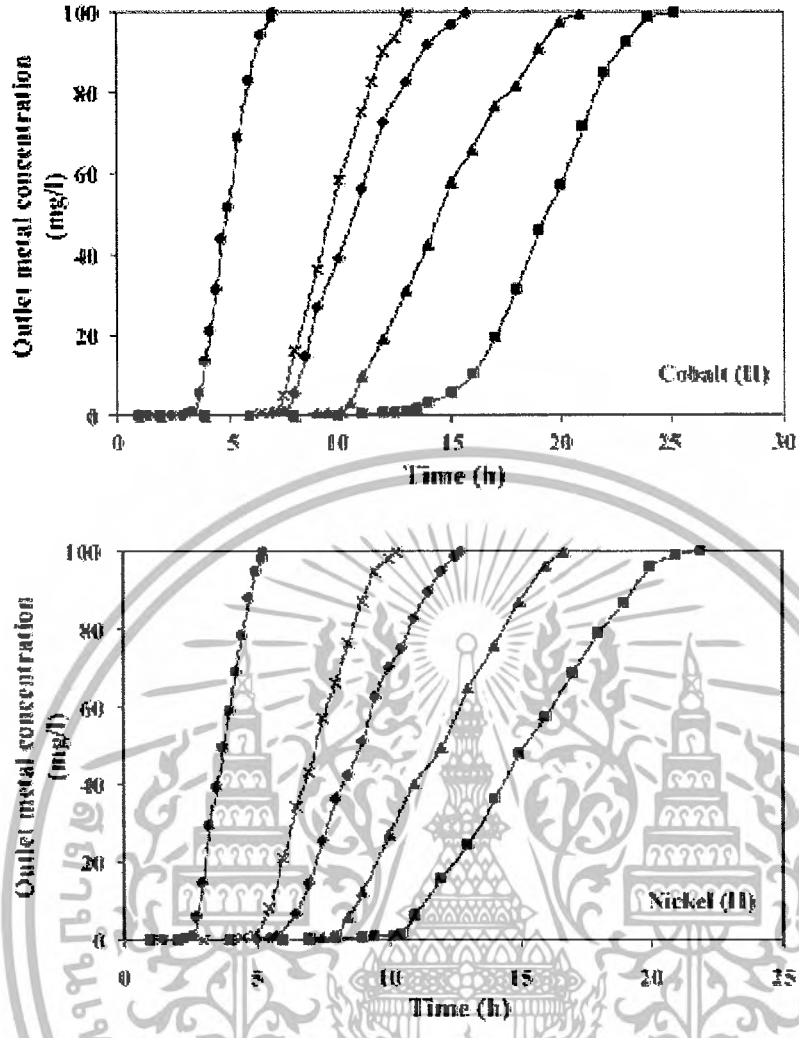
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 5 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, โคบอลล์ และนิกเกิลที่มีความเข้มข้นของสารละลายเท่ากับ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยสาหร่าย *Sargassum wightii* (สาหร่ายแห้ง) มีความสูงของสาหร่ายที่แตกต่างกัน 15-25 เซนติเมตร อัตราการไหล 5 มิลลิลิตรต่อนาที (ภาพที่ 12) ที่อิทธิพลของความสูงของสาหร่ายมีการเห็นได้ชัดในเส้นกราฟที่เกิดขึ้นที่มีการเพิ่มขึ้นของการดูดซับ ที่เวลาเพิ่มขึ้นที่มีความเป็นไปได้ของตำแหน่งการจับโลหะสามารถจับโลหะได้มากขึ้นจึงมีการดูดซับเพิ่มขึ้น การดูดซับโลหะของ *Sargassum wightii* มีการดูดซับที่มากขึ้นเมื่อความสูงของสาหร่ายเพิ่มขึ้น เนื่องจากมีความเป็นไปได้ของตำแหน่งการจับของโลหะของสาหร่ายในการดูดซับ เปอร์เซ็นต์การดูดซับโคบอลล์มีความแตกต่างจาก 68.97 เป็น 78.65 เปอร์เซ็นต์ เมื่อความสูงของสาหร่ายเพิ่มจาก 15 เซนติเมตร เป็น 25 เซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 6 การดูดซับ โคบอลล์ และนิกเกิล โดยสาหร่าย *Sargassum wightii* ที่มีความแตกต่างกันของความสูงของสาหร่าย (อัตราการไหล 5 มิลลิลิตรต่อนาที ความเข้มข้นของสารละลาย 100 มิลลิกรัมต่อลิตร, โคบอลล์ที่พีเอช 4.5, นิกเกิลที่พีเอช 4) ที่ความสูง 15 เซนติเมตรและ 5 มิลลิลิตรต่อนาที (◆), 20 เซนติเมตรและ 5 มิลลิลิตรต่อนาที (▲), 25 เซนติเมตรและ 5 มิลลิลิตรต่อนาที (■), 25 เซนติเมตรและ 10 มิลลิลิตรต่อนาที (X) และ 25 เซนติเมตรและ 20 มิลลิลิตรต่อนาที (●)

ที่มา: Vijayaraghavan *et al*. (2005)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. ขวดรูปชมพู่ขนาด 125 มิลลิลิตร
2. บีกเกอร์ขนาด 250 มิลลิลิตร
3. macnetic bar
4. volumemetic flask
5. หลอดทดลองพลาสติก
6. ผ้ากรองขนาด 15 ไมครอน
7. ปิเปตนาด 10 มิลลิลิตร
8. ไมโครปิเปต
9. เครื่องวัดพีเอช
10. เครื่องกวน
11. Atomic absorption Spectrophotometer (AAS)
12. $Pb(NO_3)$ ความเข้มข้น 2000 มิลลิกรัมต่อลิตร
13. 0.1 M EDTA
14. 0.1 M HNO_3
15. DI
16. 0.1 M $NaHCH_3$
17. 0.1 M Na_2CO_3
18. 0.1 M H_2SO_4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีการ

แผนการทดลอง

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

วิธีการทดลอง

สาหร่าย *Caulerpa lentillifera* ที่ตากแห้งแล้วนำไปทำการปั่นด้วยเครื่องปั่นจนเป็นชิ้นเล็กๆจากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ 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 ปรับความเหมาะสมของพีเอชด้วยสาละลาย 0.1 M HCl และ 0.1 M NaOH วัดพีเอชด้วยเครื่องวัดพีเอช

1.1 เตรียมสารลายตะกั่วที่มีความเข้มข้น 20 มิลลิกรัมต่อลิตรจากสารสละลายตะกั่วที่มีความเข้มข้น 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 ที่ระดับของจำนนสาหร่ายเป็น 0.01, 0.02, 0.03, 0.04, 0.06 และ 0.08 กรัมต่อปริมาตรสารละลายตะกั่ว 20 มิลลิลิตร

2.1 เตรียมสารลายตะกั่วที่มีความเข้มข้น 20 มิลลิกรัมต่อลิตรที่ระดับพีเอช 5.5ขนาดของสาหร่าย 0.25 มิลลิเมตร ที่ปริมาตรน้ำเทากับ 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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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 5.5 ขนาดของสาหร่าย 0.25 มิลลิเมตร ที่ปริมาตรน้ำเทากับ 15 มิลลิลิตร

6.2 ใส่สาหร่ายจำนวน 0.0150 กรัม ในสารละลายตะกั่วที่เตรียมไว้ในแต่ละระดับของพีเอช ทำการเขย่าด้วย shaker นาน 48 ชั่วโมง

6.3 เมื่อครบ 48 ชั่วโมงวัดพีเอช และทำการกรองสารละลายด้วยผ้ากรองขนาด 15 ไมครอน นำสารละลายที่ได้ไปวัดเครื่องวัด AAS

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 เตรียมสารลายตะกั่วที่มีความเข้มข้น 20 มิลลิกรัมต่อลิตรที่ระดับพีเอช 5.5 ขนาดของสาหร่าย 0.25 มิลลิเมตร ที่ปริมาตรน้ำเทากับ 100 มิลลิลิตร ใส่บีกเกอร์ขนาด 250 มิลลิลิตร

7.2 บีกเกอร์ ที่มีสารละลายตะกั่วที่เตรียมไว้วัดค่าพีเอช และนำไปตั้งบนเครางกวน ใส่สาหร่ายจำนวน 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 เก็บสาละลายปริมาณ 5 มิลลิลิตรต่อการเก็บสารละลายในแต่ละช่วงเวลา

7.4 นำสารละลายที่เก็บไปวัดเครื่องวัด AAS

8. การทดสอบเรื่อง desorption ต่อการดูดซับ โดยใช้ 0.1 M EDTA, 0.1 M HNO_3, DI, 0.1 M $NaHCH_3$, 0.1 M Na_2CO_3 และ 0.1 M H_2SO_4 เป็นตัวล้างตะกั่ว

8.1 เตรียมสารลายตะกั่วที่มีความเข้มข้น 20 มิลลิกรัมต่อลิตรที่ระดับพีเอช 5.5 ขนาดของสาหร่าย 0.25 มิลลิเมตร ที่ปริมาตรน้ำเท่ากับ 10 มิลลิลิตร

8.2 ใส่สาหร่ายจำนวน 0.0100 กรัม ในสารละลายตะกั่วที่เตรียมไว้ในแต่ละระดับของพีเอช ทำการเขย่าด้วย shaker นาน 2 ชั่วโมง กรองสารละลายเก็บ

8.3 สาหร่ายที่กรองแล้วทิ้งให้แห้ง และใส่กลับไปในขวดรูปชมพู่เหมือนเดิม และใส่สารละลาย0.1 M EDTA, 0.1 M HNO_3, DI, 0.1 M $NaHCH_3$, 0.1 M Na_2CO_3 และ 0.1 M H_2SO_4 ปริมาตรน้ำเท่ากับ 10 มิลลิลิตร ทำการเขย่าด้วย shaker นาน 2 ชั่วโมง กรองสารละลายเก็บครบ 1 รอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

9. การทดสอบเรื่อง column

9.1 เตรียม column โดยใช้ปิเปตขนาด 10 มิลลิลิตร ใส่ใยแก้วสังเคราะห์ลงไปมีความสูง 2 เซนติเมตร นำสาหร่ายที่มีขนาด 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 10 นาที จนครบ 8 ชั่วโมงและ เก็บทุกๆ15นาที จนครบ12ชั่วโมง

9.3 นำสารละลายที่เก็บไปวัดเครื่องวัด AAS

การวิเคราะห์ข้อมูล

วิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Microsoft Excel และวิเคราะห์ค่าทางสถิติด้วยโปรแกรม SPSS V.16

สถานที่ทำการทดลอง

ภาควิชาวิทยาศาสตร์การประมง คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ระยะเวลาในการทดลอง

เดือนตุลาคม - เดือนมีนาคม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลอง

1. ผลของพีเอชต่อการดูดซับตะกั่ว

ผลของพีเอช ต่อการดูดซับตะกั่วโดยสาหร่าย *Caulerpa lentillifera* มีการศึกษาที่ระดับของพีเอชที่มีความแตกต่างกันที่ 2.5-7 มีการแสดงผลของการดูดซับตะกั่วที่สูงสุด 13.44±0.21 มิลลิกรัมต่อกรัม (97.42±0.42 %) (ตารางที่3) ที่ pH 5.5 ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับที่พีเอช 2.5 (11.38±0.33 มิลลิกรัมต่อกรัม), 5 (12.54±0.71 มิลลิกรัมต่อกรัม)และ 7 (11.95±0.58 มิลลิกรัมต่อกรัม)ตามลำดับ ที่พีเอชต่ำกว่า 3 เป็นระดับที่ในสารละลายมีไฮโดรเจนไอออน (H^+)มากเกินไป ทำให้ไฮโดรเจนไอออนมีการแย่งกับไอออนของตะกั่วจับกับหมู่ฟังก์ชันที่ผิวเซลล์ของสาหร่ายทำให้สาหร่ายจับกับไอออนตะกั่วได้น้อยลง และที่พีเอชสูงกว่า 6.5 มีการดูดซับน้อยลง เนื่องจากตะกั่วมีการตกตะกอน ทำให้ตำแหน่งการยึดจับที่ผิวเซลล์ของสาหร่ายไม่สามารถแลกเปลี่ยนไอออนกับตะกั่วได้จึงทำให้ดูดซับน้อยลง (สุนีรัตน์, 2551) ในตัวอย่างรายงานของ Sevilay and Levent (2008) ได้นำสาหร่าย*Caulerpa racemosa var.cylindracea* มาทดสอบการดูดซับเมทาลีนบลู ผลปรากฏว่าค่าพีเอชที่สามารถดูดซับได้ดีขึ้นอยู่กับค่าพีเอชที่เพิ่มขึ้น โดยค่าที่ดีที่สุดอยู่ระหว่างพีเอช7-11 และในรายงานของ Prasert et al.(2006) ค่าpHที่ทำการดูดซับทองแดงได้ดีที่สุดคือ 6.5 ค่าpHที่ทำการดูดซับแคดเมียมได้ดีที่สุดคือ 8.5 ค่าpHที่ทำการดูดซับตะกั่วได้ดีที่สุดคือ 5.5 และค่าpHที่ทำการดูดซับสังกะสีที่ดีที่สุดคือpH 7.5 โดยได้ค่าพีเอชที่เหมาะสมในการใช้สาหร่าย *Caulerpa lentillifera* นี้คือ 5.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ตารางที่ 3 การดูดซับตะกั่วโดยใช้สาหร่าย *Caulerpa lentilifera* ที่ค่าพีเอชต่างกัน

ระดับ pH	pH0	pHeq	การดูดซับ (เปอร์เซนต์)	q (มิลลิกรัมต่อกรัม)
2.5	2.5±0	2.30± 0.04^{a}	55.82±1.27^{a}	11.83±0.33^{bc}
3.0	3.0±0	2.85±0.02^{b}	56.70±1.25^{a}	10.20±0.40^{ab}
3.5	3.5±0	3.02±0.01^{bc}	54.33±2.07^{a}	9.06±0.50^{a}
4.0	4.0±0	3.04±0.19^{bcd}	58.62±3.03^{a}	9.74±0.25^{a}
4.5	4.5±0	2.96±0.35^{cde}	60.58±7.65^{ab}	9.79±1.29^{a}
5.0	5.0±0	3.91±0.18^{e}	69.91±4.13^{b}	12.54±0.71^{c}
5.5	5.5±0	5.55±0.10^{f}	97.42±0.42^{c}	13.44±0.21^{c}
6.0	6.0±0	3.10±0.07^{bcd}	55.98±1.33^{a}	9.60±0.15^{a}
6.5	6.5±0	3.22±0.04^{bcd}	54.83±0.89^{a}	9.69±0.25^{a}
7.0	7.0±0	3.61±0.06^{de}	65.10±2.93^{ab}	11.95±0.58^{bc}

* หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษในแถวแนวตั้งเดียวกันที่แตกต่างคือมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์

2.ขนาดของสาหร่ายต่อการดูดซับตะกั่ว

ผลของขนาดของสาหร่ายต่อการดูดซับตะกั่วโดยสาหร่าย Caulerpa lentillifera ที่มีขนาดแตกต่างกันตั้งแต่น้อยกว่า 0.1 -2.0 มิลลิเมตร แสดงเปอร์เซนต์การดูดซับที่สูงสุด 94.71±10.80^{a} % ที่ขนาดของเซลล์สาหร่าย 0.1-0.24 มิลลิเมตร (ตารางที่ 4) แต่ไม่มีความต่างกันทางสถิติกับกลุ่มอื่นๆ ขนาดเซลล์ของสาหร่ายที่มีเพิ่มขึ้นจะมีตำแหน่งการยึดจับโลหะที่ผิวเซลล์สาหร่ายเพิ่มมากขึ้น ในรายงานของ Prasert *et al.*(2006) ใช้ทัสลัสของสาหร่ายทั้งต้นและสาหร่ายที่บดแล้วมาหาค่าการดูดซับทองแดง แคดเมียม ตะกั่ว และสังกะสี ที่pH5 ความเข้มข้นของสารละลายที่มีไอออนโลหะหนัก 10mgL^{-1} ที่เวลาเท่ากัน ซึ่งจะแสดงผลของการดูดซับ เวลาในการดูดซับ ไอออนทั้งหมดได้ถูกดูดซับไปในระยะเวลา 10-20นาทีจึงถึงจุดสมดุลย์ ที่เป็นเช่นนี้เนื่องมาจากขนาด โดยขนาดที่เล็กกว่ามีผิวสัมผัสระหว่างไอออนของโลหะหนักกับตำแหน่งจับยึดมากกว่าและรวดเร็วกกว่า ในการทดลองของนักวิทยาศาสตร์ท่านอื่นได้ระบุไว้ว่าไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของขนาดที่ใช้ในการดูดซับ แต่ได้แสดงให้เห็นว่าการบดจะทำให้ลดคุณภาพการดูดซับลง (Prasert *et al.*,2006)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

104629

ตารางที่ 4 การดูดซับตะกั่วโดยสาหร่าย *Caulerpa lentillifera* ที่มีขนาดของเซลล์ที่แตกต่างกัน

ระดับขนาด (มิลลิเมตร)	pH0	pH eq	การดูดซับ (เปอร์เซนต์)	q (มิลลิกรัมต่อกรัม)
น้อยกว่า 0.1	5.50±0	4.11±0.84[a]	86.88±20.73[a]	18.08±2.30[ab]
0.1-0.24	5.50±0	2.64±0.30[a]	94.71±10.80[a]	20.38±0.17[b]
0.25-0.49	5.50±0	2.79±0.25[a]	67.96±12.49[a]	14.55±1.33[a]
0.5-0.99	5.50±0	4.55±0.20[a]	68.41±8.03[a]	14.68±0.73[a]
1.0 - 2.0	5.50±0	2.85±0.62[a]	70.48±16.53[a]	14.49±2.49[a]

* หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษในแถวแนวตั้งเดียวกันที่แตกต่างคือมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์

3. ปริมาณสาหร่ายต่อการดูดซับตะกั่ว

ผลของปริมาณสาหร่าย *Caulerpa lentillifera* ต่อการดูดซับตะกั่วที่ระดับปริมาณสาหร่ายที่ 0.01-0.08 กรัมต่อสารละลายตะกั่ว 20 มิลลิลิตร แสดงเปอร์เซนต์การดูดซับสูงสุด 91.87±11.90 ที่ 0.01 กรัมต่อสารละลายตะกั่ว 20 มิลลิลิตร แต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับจำนวนเซลล์สาหร่ายที่ 0.02 กรัมต่อสารละลายตะกั่ว 20 มิลลิลิตร เปอร์เซนต์การดูดซับเท่ากับ 86.36±13.09 ที่จำนวนเซลล์สาหร่ายที่ 0.03 กรัมต่อสารละลายตะกั่ว 20 มิลลิลิตร เปอร์เซนต์การดูดซับสูงสุด73.88±8.78 ที่ปริมาณสาหร่าย 0.04 กรัมต่อสารละลายตะกั่ว 20 มิลลิลิตร เปอร์เซนต์การดูดซับสูงสุด74.61±9.00 ที่ปริมาณสาหร่าย 0.06กรัมต่อสารละลายตะกั่ว 20 มิลลิลิตร เปอร์เซนต์การดูดซับสูงสุด74.11±11.16 และที่ปริมาณสาหร่าย 0.08กรัมต่อสารละลายตะกั่ว 20 มิลลิลิตร เปอร์เซนต์การดูดซับสูงสุด77.18±10.67 ตามลำดับ(ตารางที่ 5) เมื่อปริมาณเซลล์เพิ่มขึ้นค่าเปอร์เซนต์การดูดซับคงที่หรือมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อยแต่ปริมาณโลหะหนักที่ถูกดูดซับต่อกรัมของสาหร่ายแห้ง (q) มีค่าลดลง เนื่องจากที่น้ำหนักสูงๆ เซลล์มีการอยู่ชิดกันมากจนมีการรวมกันเป็นกลุ่มทำให้พื้นที่ผิวเซลล์บางส่วนไม่สามารถสัมผัสกับโลหะได้และเนื่องจากที่เซลล์สาหร่ายปริมาณมากทำให้มีค่าสัดส่วนระหว่างโลหะหนักต่อเซลล์สาหร่ายลดลง (สุนีรัตน์, 2551) ในรายงานของ Ronbanchob and Prasert (2008) นำสาหร่าย *Caulerpa* มาทดสอบการดูดซับทองแดง แคดเมียมและตะกั่วที่ความเข้มข้นของสารละลายที่ 0.1mol m^{-3} pH 5 ใช้เวลาในการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทดลอง 30 นาที จะได้ผลว่าเมื่อยิ่งเพิ่มปริมาณของสาหร่ายยิ่งจะทำให้ปริมาณการดูดซับเพิ่มขึ้นไปด้วย และได้แสดงถึงค่าความจุการดูดซับที่จุดสมดุลย์ ยิ่งปริมาณของสาหร่ายเพิ่มขึ้นค่าความจุการดูดซับที่จุดสมดุลย์ยิ่งลดลง โดยปริมาณของสาหร่ายที่เหมาะสมต่อการดูดซับทองแดงได้ที่ดีสุดคือ 17.5 g L^{-1} โดส

ตารางที่ 5 การดูดซับตะกั่วโดยสาหร่าย *Caulerpa lentillifera* ที่ปริมาณที่แตกต่างกัน

ปริมาณสาหร่าย (กรัมต่อสารละลายตะกั่ว 20 มิลลิลิตร)	pH0	pHeq	การดูดซับ (เปอร์เซนต์)	q (มิลลิกรัมต่อกรัม)
0.01	5.50±0	2.23±0.01[a]	91.87±11.90[a]	40.22±0.04[e]
0.02	5.50±0	2.46±0.35[b]	86.36±13.09[a]	31.80±2.02[d]
0.03	5.50±0	2.47±0.07[a]	73.88±8.78[a]	22.78±0.23[c]
0.04	5.50±0	2.89±0.09[a]	74.61±9.00[a]	16.35±0.21[bc]
0.06	5.50±0	2.73±0.02[a]	74.11±11.16[a]	14.53±0.12[ab]
0.08	5.50±0	2.76±0.03[a]	77.18±10.67[a]	13.42±0.03[a]

* หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษในแถวแนวตั้งเดียวกันที่แตกต่างคือมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์

4.อุณหภูมิต่อการดูดซับตะกั่ว

ผลของอุณหภูมิต่อการดูดซับตะกั่วโดยสาหร่าย *Caulerpa lentillifera* ที่ระดับของอุณหภูมิที่แตกต่างกัน 25-45 องศาเซลเซียส แสดงเปอร์เซนต์การดูดซับเท่ากับ 83.57±7.59 ที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส (ตารางที่ 6) แต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับที่อุณหภูมิอื่นๆ ที่อุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นทำให้มีการทำลายของโครงสร้างของเยื่อหุ้มเซลล์ของสาหร่ายทำให้ไอออนของโลหะหนักสามารถเข้าไปภายในเซลล์และจับกับตำแหน่งการยึดจับที่อยู่ภายในเซลล์สาหร่ายทำให้ดูดซับได้มากขึ้น รายงานของSari 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 การแสดงการดูดซับตะกั่วและแคดเมียมลดลงเนื่องจากอุณหภูมิที่สูงขึ้นจะทำให้เซลล์สาหร่ายถูกทำลายทำให้เกิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเสียหายในการทำงานของเซลล์สาหร่ายที่ทำหน้าที่กำจัดโลหะหนักทำให้มีการดูดซับที่น้อยลง อุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการดูดซับโดยสาหร่าย *Caulerpa lentillifera* คือ 25 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 6 การดูดซับตะกั่วโดยสาหร่าย *Caulerpa lentillifera* ที่อุณหภูมิที่แตกต่างกัน

ระดับอุณหภูมิ (°c)	pH0	pHeq	การดูดซับ (เปอร์เซนต์)	q (มิลลิกรัมต่อกรัม)
25	5.52±0	5.82±0.33^{a}	58.47±3.34^{ab}	8.32±0.53^{abc}
30	5.52±0	5.75±0.30^{a}	57.28±4.30^{a}	8.13±0.68^{a}
35	5.52±0	5.73±0.28^{a}	51.89±6.95^{a}	7.34±1.08^{ab}
40	5.52±0	5.92±0.09^{a}	48.41±3.94^{ab}	6.79±0.06^{bc}
45	5.52±0	6.55±0.65^{a}	46.15±4.16^{b}	6.47±0.63^{c}

* หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษในแถวแนวตั้งเดียวกันที่แตกต่างคือมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

5.ไอโซเทอร์มการดูดซับ

การดูดซับตะกั่วโดยสาหร่าย *Caulerpa lentillifera* สามารถอธิบายการดูดซับโดยใช้ไอโซเทอร์ม ที่ซึ่งอธิบายโดยแบบของ Langmuir isotherm และ Freundlich isotherm ในตารางที่ 7 การอธิบายด้วย Langmuir isotherm ใช้สำหรับการดูดซับชั้นเดียวที่บริเวณผิวเซลล์ของสาหร่าย โดยมีสมการดังนี้

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

เมื่อ Q_{max} (mg/g) คือปริมาณโลหะหนักสูงสุดที่สาหร่ายสามารถดูดซับได้ (มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้งของสาหร่าย) C_{eq} (mg/g) และ b (L/mg) ความสัมพันธ์ของตำแหน่งการจับ Q_{max} และ b สามารถกำหนดจากสักษณะเส้นตรงของการเขียนกราฟของ C_{eq}/q_{eq} กับ C_{eq} (ภาพที่ 7)

Freundlich isotherm ใช้ในกรณีการถ่ายพลังงานผ่านพื้นผิวแบบไม่เป็นเนื้อเดียว บนตำแหน่งยึดจับที่ต่างชนิดกันโดยสมการดังนี้

$$q_{eq} = K_f C^{n}_{eq}$$

เมื่อ K_f (mg/g) แสดงปริมาณการดูดซับ (มิลลิกรัมต่อกรัม) และ n แสดงความแรงในการดูดซับ แสดงการเขียนกราฟของ lnq_{eq} กับ lnC_{eq} (ภาพที่ 7)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

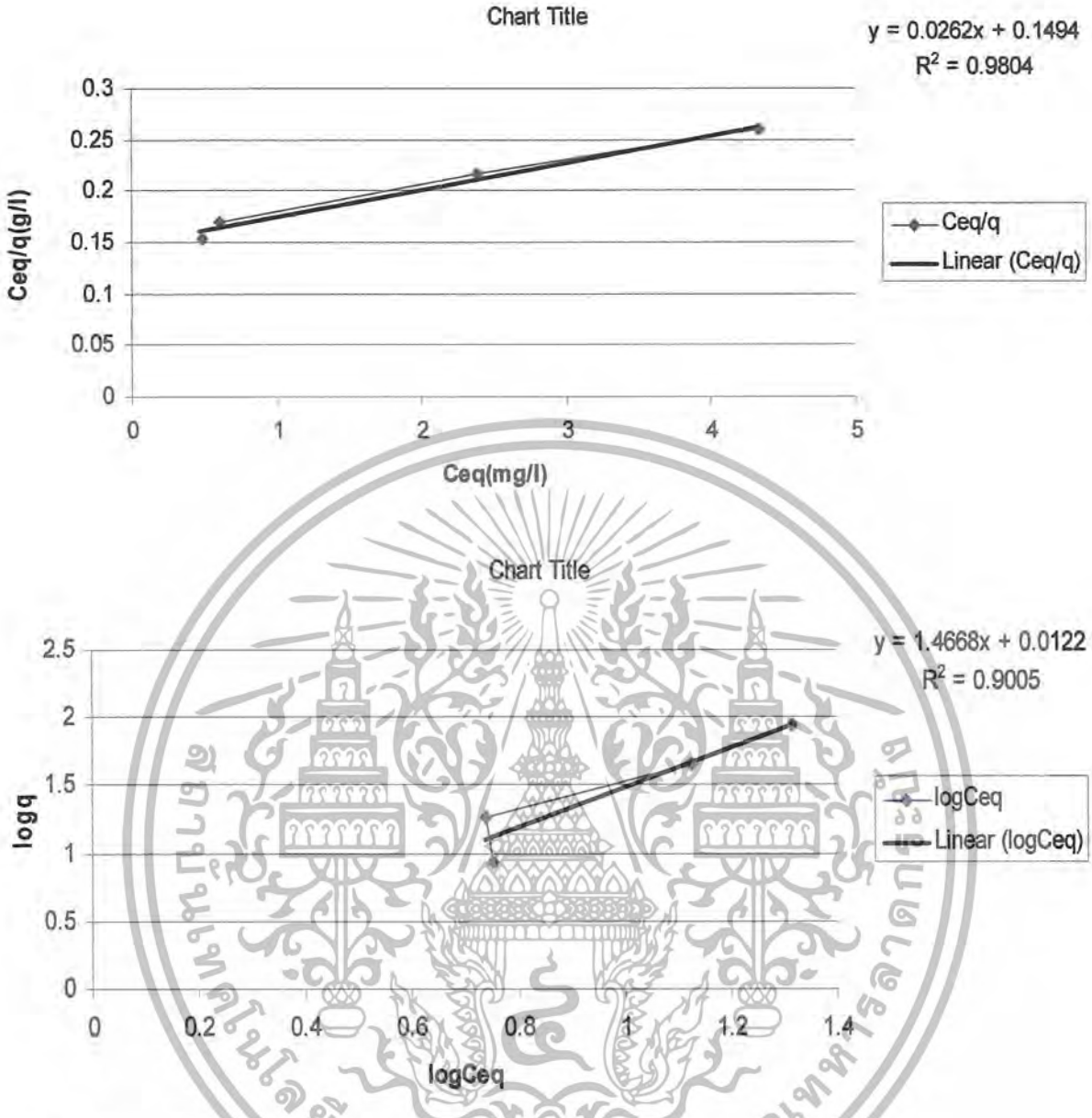
จากตารางที่ 6 การดูดซับค่าสัมประสิทธ์สหสัมพันธ์ของ Freundlich isotherm ที่ได้จากการดูดซับตะกั่วโดยสาหร่าย *Caulerpa lentillifera* มีค่าเท่ากับ 0.9005 ค่า K_f (mg/g) แสดงปริมาณการดูดซับ มีค่าเท่ากับ 1.0284 ค่า n มีค่าเท่ากับ 0.6817 ซึ่งค่า n มีค่าน้อยกว่า 1 แสดงว่าอัตราการดูดซับต่ำหรือสูงไม่แตกต่างกันมากนัก หรือการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นไม่มีผลต่ออัตราการดูดซับ Langmuir isotherm แสดงค่าสัมประสิทธ์สหสัมพันธ์ในการดูดซับตะกั่วโดยสาหร่าย *Caulerpa lentillifera* เท่ากับ 0.9804 ปริมาณการดูดซับสูงสุด Q_{max} (mg/g) ของตะกั่วเท่ากับ 38.1679และ b (L/mg) เท่ากับ 0.1494 การดูดซับของ *Caulerpa lentillifera* มีหมู่ฟังก์ชันหรือตำแหน่งของการจับโลหะผิวเซลล์ของสาหร่ายที่ซึ่งการจับแบบชั้นเดียว ผลของไอโซเทอร์มสามารถใช้อธิบายการดูดซับที่เหมาะสมจากการเปรียบเทียบค่า ค่าสัมประสิทธ์สหสัมพันธ์ของ Langmuir isotherm และ Freundlich isotherm ของ Langmuir isotherm มีค่าที่สูงกว่า ดังนั้นการดูดซับตะกั่วโดย *Caulerpa lentillifera* ไอโซเทอร์มที่สามารถอธิบายการดูดซับได้ดีกว่าคือ Langmuir isotherm

ตารางที่ 7 Langmuir isotherm และ Freundlich isotherm ในการดูดซับตะกั่วโดยสาหร่าย *Caulerpa lentillifera*

โลหะ	Freundlich isotherm			Langmuir isotherm		
	K_f (mg/g)	N	R^2	b (L/mg)	Q_{max} (mg/g)	R^2
ตะกั่ว	1.0284	0.6817	0.9005	0.1494	38.1679	0.9804

และจากรายงานของ Ronbanchob and Prasert (2006) รายงานว่าการหาค่าความถูกต้องจากตัวแปรทางสถิติด้วยไอโซเทอร์มของ Langmuir ที่ค่า pH ระดับต่างๆกัน จะให้ค่าความถูกต้องที่ต่างกัน โดยการดูดซับตะกั่วที่pH5 จะทำการดูดซับได้มากที่สุดคือ 0.14 mol kg^{-1} การดูดซับทองแดงที่ pH5 จะทำการดูดซับได้มากที่สุดคือ 0.13 mol kg^{-1} และการดูดซับแคดเมียมที่ pH5 จะทำการดูดซับได้มากที่สุดคือ0.042 mol kg^{-1}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่7 ไอโซเทอร์มการดูดซับตะกั่วโดยสาหร่าย *Caulerpa lentillifera* (พีเอช 5.5) (A) Langmuir isotherm แสดงการเขียนกราฟระหว่าง C_{eq} กับ C_{eq}/qและ (B) Freundlich isotherm แสดงการเขียนกราฟระหว่าง $\log_q$ กับ $\log C_{eq}$

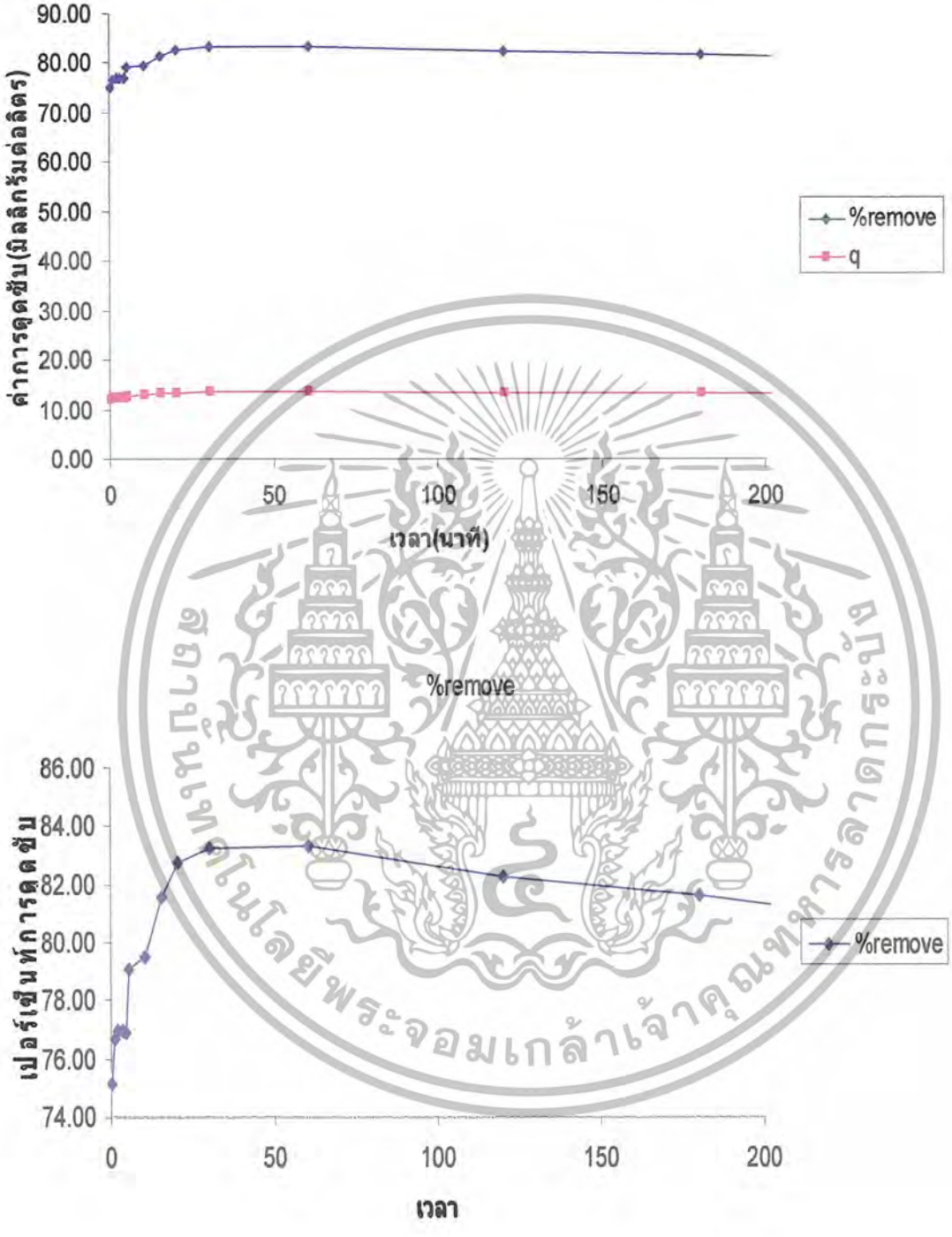
6 .เวลาที่มีผลต่อการดูดซับ

จากภาพที่ 8 เป็นผลของเวลาในการดูดซับตะกั่วโดยสาหร่าย *Caulerpa lentillifera* อัตราการดูดซับตะกั่วโดยสาหร่าย *Caulerpa lentillifera* เป็นไปอย่างรวดเร็วที่ภายใน 30 นาทีจึงเข้าสู่สมดุล และไม่มีการเปลี่ยนแปลงการดูดซับหรือมีการเปลี่ยนแปลงการดูดซับได้เล็กน้อย เมื่อเวลาครบที่ 72 ชั่วโมง ที่เวลาที่เพิ่มขึ้นนั้นไม่สามารถจะดูดซับโลหะได้อีกเนื่องจากสาหร่ายที่

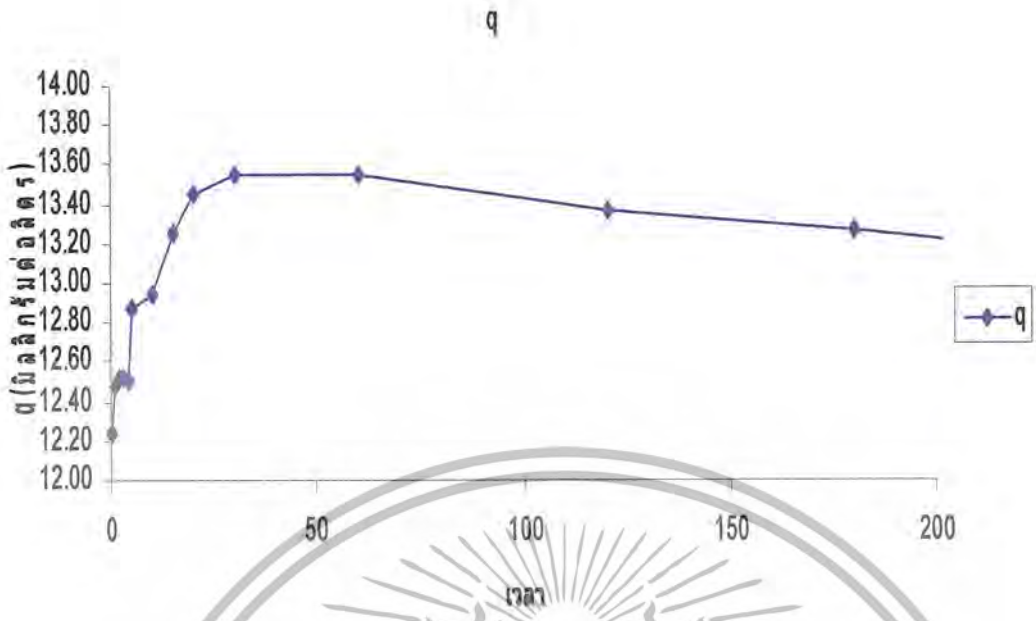
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 8 ผลของเวลาในการดูดซับตะกั่วโดยสาหร่าย *Caulerpa lentillifera* (ปริมาณสาหร่าย 1.0 กรัม ความเข้มข้นของสารละลายตะกั่ว 20 มิลลิกรัมต่อลิตร, พีเอช 5.5)

7. desorption

ผลของการดูดซับตะกั่วโดยสาหร่าย *Caulerpa lentillifera* และมีการล้างตะกั่วที่สาหร่ายดูดซับโดยสารละลาย 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 (ตารางที่ 8) ผลของการล้างตะกั่วด้วยน้ำ HNO_3สามารถล้างตะกั่วได้มากกว่า 32 เปอร์เซ็นต์ของการดูดซับตะกั่วทั้งหมดจากที่ผิวเซลล์ของสาหร่าย และล้างได้มากกว่าสารละลายชนิดอื่น ในการล้างตะกั่วแต่ละรอบของ HNO_3 มีแนวโน้มของการล้างที่ลดลงแต่ยังคงล้างได้เกิน 32 เปอร์เซนต์ ในรายงานของ Raungsomboon *et al.* (2008) มีรายงานถึงผลของการกำจัดตะกั่วของ *Gloeocapsa gelatinosa* มีการดูดซับที่ผิวเซลล์โดยการใช้ ethylenediamine tetraacetic acid (EDTA) ในการล้างตะกั่วที่มีการดูดซับที่ผิวเซลล์ EDTA สามารถล้างได้ 50 % ของการดูดซับตะกั่วทั้งหมดจากที่ผิวเซลล์ ที่ผิวเซลล์ของไซยาโนแบคทีเรียมีกลุ่มของหมู่ฟังก์ชันจับกับตะกั่วเป็นสารประกอบเชิงซ้อนการล้างด้วยน้ำจึงไม่สามารถล้างตะกั่วออกได้ ในตารางที่ 5 การล้างที่เกิดขึ้นในช่วงที่ 3 จำนวนของตะกั่วที่ถูกล้างยังคงสูงเมื่อเปรียบเทียบกับการล้างครั้งที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และ 2 ดังนั้นมีความเป็นไปได้ถึงความแข็งแรงของตำแหน่งการจับของตะกั่ว ระยะเวลาในการล้างที่มากขึ้นมีผลถึงการล้างตะกั่วที่มากขึ้นเช่นกัน

ตารางที่ 8 การล้างตะกั่วด้วยสารละลายที่ต่างกัน

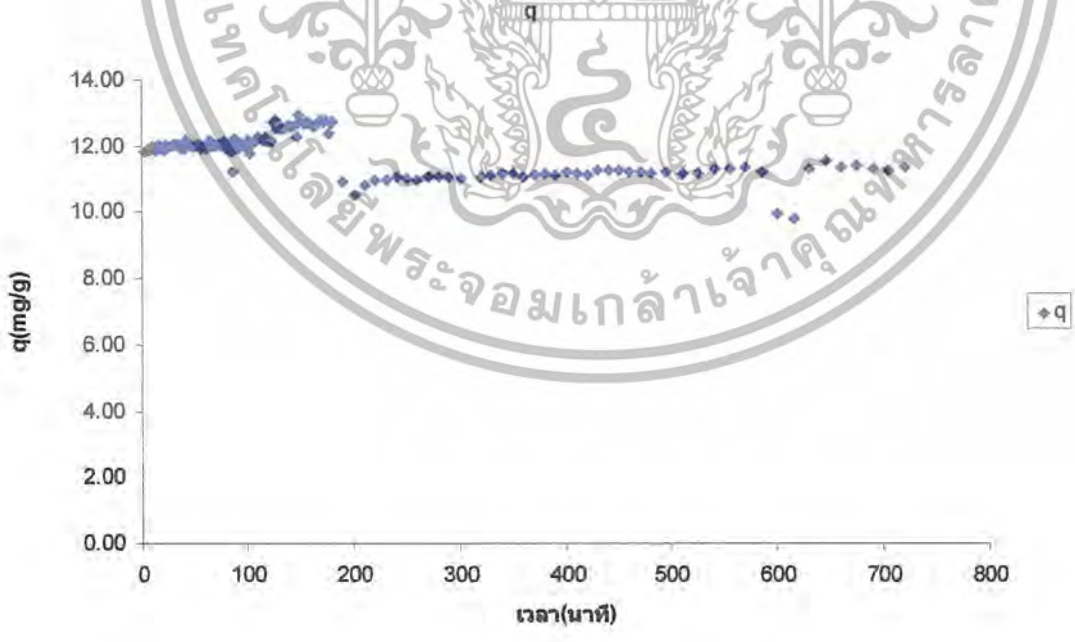
สารละลาย	จำนวนรอบ	% adsorption	%desorption
EDTA	1	51.23±76.84^{a}	11.13±16.91^{a}
	2	60.10±88.82^{a}	97.46±7.63^{b}
	3	63.13±11.93^{a}	89.21±7.15^{b}
	4	68.11±10.88^{a}	86.19±10.37^{b}
	5	70.31±12.31^{a}	87.63±7.73^{b}
	6	76.87±4.81^{a}	23.14±7.59^{b}
HNO_3	1	72.16±37.27^{a}	42.20±8.38^{ab}
	2	73.44±57.03^{a}	79.62±54.05^{c}
	3	80.96±3.39^{a}	32.92±25.70^{a}
	4	82.92±1.19^{a}	44.40±15.33^{ab}
	5	79.76±6.65^{a}	63.88±2.23^{bc}
	6	80.14±3.20^{a}	62.34±8.91^{c}
H_2SO_4	1	83.02±39.31^{b}	90.99±1.39^{b}
	2	46.39±29.52^{a}	70.82±20.08^{a}
	3	75.15±1.07^{b}	84.54±2.17^{b}
	4	75.98±0.82^{b}	85.74±2.44^{b}
	5	77.73±0.31^{b}	91.00±3.21^{b}
	6	77.70±5.18^{b}	0.00±3.52^{b}
$NaHCO_3$	1	81.13±15.64^{b}	68.96±7.31^{a}
	2	47.70±19.24^{a}	73.78±18.22^{a}
	3	92.82±5.27^{c}	72.20±6.70^{a}
	4	99.69±0.37^{c}	74.33±4.14^{a}
	5	95.22±1.89^{c}	84.67±5.03^{b}
	6	99.35±0.98^{c}	0.62±2.15^{ab}
Na_2CO_3	1	71.99±26.66^{a}	99.31±2.06^{c}
	2	80.17±24.38^{a}	74.43±7.76^{ab}
	3	87.25±10.80^{ab}	82.82±4.87^{b}
	4	97.32±2.54^{b}	74.60±13.88^{ab}
	5	97.63±0.18^{b}	80.24±11.01^{b}
	6	98.69±0.63^{b}	22.58±4.90^{a}
DI	1	74.05±29.57^{a}	67.90±96.29^{a}
	2	90.52±2.64^{b}	94.60±14.50^{a}
	3	94.36±1.62^{b}	98.90±0.82^{a}
	4	87.22±5.75^{ab}	99.21±1.43^{a}
	5	93.92±4.95^{b}	98.83±1.80^{a}
	6	88.90±7.27^{b}	12.37±32.70^{a}

* หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาอังกฤษในแถวแนวตั้งเดียวกันที่แตกต่างคือมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8. การดูดซับตะกั่วในรูปแบบ column

การทดลองเรื่องคอลัมน์สูง 36.4 เซนติเมตร เส้นผ่านศูนย์กลาง 0.8 เซนติเมตร ใส่สาหร่าย *Caulerpa lentillifera* 1.0028 กรัม คอลัมน์มีความสูง16 เซนติเมตรและจากสัมผัสสารละลายตะกั่วความสูงเพิ่มขึ้นเป็น 18 เซนติเมตร ความเข้มข้นของตะกั่ว 20 มิลลิกรัมต่อลิตร ใช้ peristaltic pump มีอัตราการไหลที่ 2 มิลลิลิตรต่อนาที เวลาที่ใช้ทั้งหมด 720 นาที หรือ 12 ชั่วโมงโดยกราฟของการดูดซับตะกั่วโดยสาหร่าย *Caulerpa lentillifera* แสดงดังภาพที่ 8 สาหร่าย *Caulerpa lentillifera* มีการดูดซับได้หมดตั้งแต่ที่เวลาที่ 2 นาที จนถึง 190 นาที จึงมีการดูดซับตะกั่วได้ลดลงเมื่อเวลาเพิ่มขึ้น กลไกหลักในการจับโลหะในสาหร่ายสีน้ำเขียวเป็นการแลกเปลี่ยนไอออนของตะกั่วกับไฮโดรเจนไอออนและทำให้ไอออนของตะกั่วไปจับที่ตำแหน่งการจับแทนจึงมีการดูดซับได้มากขึ้น จากรายงานการทดลองของ Senthilkumar *et al.* (2007) ศึกษาการทดลองการดูดซับโดยการใช้ column เส้นผ่าศูนย์กลาง 2 เซนติเมตร และความสูง 35 เซนติเมตร มีการใส่สาหร่าย *Turbinria conoides* จำนวน 35.1 กรัม ที่มีความสูง 25 เซนติเมตร การดูดซับตะกั่วที่มีความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร มีการใช้ปั๊มที่มีอัตราการไหลที่ 5 มิลลิลิตรต่อนาที มีการบันทึกข้อมูลการดูดซับเป็นเวลา 274 ชั่วโมง มีการดูดซับได้ 94 เปอร์เซ็นต์ ที่เวลา 214 ชั่วโมง กลไกหลักในการจับโลหะในสาหร่ายสีน้ำตาลเป็นการแลกเปลี่ยนไอออนของตะกั่วกับไฮโดรเจนไอออนและเป็นการเกิดที่ตำแหน่งการจับ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 9 ผลของการดูดซับตะกั่วโดยสาหร่าย *Caulerpa lentillifera* ที่ ใช้ การดูดซับตะกั่วใน รูปแบบ Column (ความเข้มข้นของสารละลายตะกั่วเท่ากับ 20 มิลลิกรัมต่อลิตร, pH 5.5)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุป

การศึกษาการกำจัดตะกั่วโดยสาหร่าย *Caulerpa lentillifera* เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมและประสิทธิภาพของสาหร่าย *Caulerpa lentillifera* ในการกำจัดตะกั่วจากน้ำเสียสังเคราะห์ ศึกษาพีเอชที่มีความแตกต่างกันคือ 2.5-7.0 ผลของพีเอชของสารละลายตะกั่วที่เหมาะสมต่อการดูดซับคือ 5.5 ค่าการดูดซับเท่ากับ 13.44±0.21 มิลลิกรัมต่อกรัม, ขนาดของเซลล์สาหร่ายที่มีความแตกต่างกันคือ น้อยกว่า 0.1-2.0 มิลลิเมตร ไม่มีผลต่อการดูดซับตะกั่ว, ปริมาณของสาหร่ายที่มีความแตกต่างกันคือ 0.01-0.08 กรัมต่อสารละลายตะกั่ว 20 มิลลิลิตร ผลของจำนวนของสาหร่ายที่เหมาะสมคือ 0.01 กรัมต่อสารละลายตะกั่ว 20 มิลลิลิตร ค่าการดูดซับเท่ากับ 91.87±11.90 มิลลิกรัมต่อกรัม, อุณหภูมิที่มีความแตกต่างกันคือ 25-45 องศาเซลเซียส อุณหภูมิไม่มีผลต่อการดูดซับ, เวลาที่เข้าสู่สมดุลของการดูดซับคือ 30 นาที, การดูดซับสอดคล้องกับสมการการดูดซับของ Langmuir โดยมีค่าการดูดซับ (R^2) เท่ากับ 0.9804, สารละลายที่ต่างกันที่ใช้เป็นตัวล้างตะกั่วคือ0.1 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 32 เปอร์เซนต์ และการดูดซับในรูปแบบของ column ที่มีสาหร่าย 1.0028 กรัม สามารถดูดซับตะกั่วได้ดีจนถึงที่เวลา 190 นาที หลังจากนั้นมีการดูดซับได้น้อยลง การดูดซับในรูปแบบ column สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการบำบัดน้ำเสียได้อย่างดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

Apiratikul , R .and P. Pavasant. 2008. Batch and column studie of biosorption of heavy metals by *Caulerpa lentilifera*. Bioresource Technology 99:2766-2777.

Cengiz , S. and L. Cavas. 2008 Removal of methylene blue by invasive marine seaweed *Caulerpa racemosa var. Cylindracea*. Biosource technology 99 :2357-2363.

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.

Prasert ,P., R. Apiratikul , V. SungKhum , P. Suthiparinyanont , S. Wattanachira and T. F. Marhaba. 2006 . Biosorption of Cu^{2+} ,Cd^{2+},Pb^{2+}, andZn^{2+} using dried marine green marcroalga *Caulerpa lentilifera*.Bioresource Technology 97:2321-2329.

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.

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 อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้