

ใบรับรองปัญหาพิเศษ
ภาควิชาวิทยาศาสตร์การประมง

เรื่อง การใช้ *Nostoc* กำจัดตะกั่วออกจากน้ำเสียสังเคราะห์
Lead (Pb^{2+}) removal from synthetic wastewater by *Nostoc*

ชื่อนักศึกษา นางสาวกรรินทร์ นาไชย

ชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา ผศ. สุวีรัตน์ เรืองสมบูรณ์

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษา.....
(ผศ. สุวีรัตน์ เรืองสมบูรณ์)

ภาควิชารับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์ ศักดิ์ชัย ชูโชติ)

หัวหน้าภาควิชาวิทยาศาสตร์การประมง

วันที่ ๒๒ เดือน ๕.๖ พ.ศ. ๕๖

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปัญหาพิเศษ

เรื่อง

การใช้ *Nostoc* กำจัดตะกั่วออกจากน้ำเสียสังเคราะห์
Lead (Pb^{2+}) removal from synthetic wastewater by *Nostoc*



โดย

นางสาวนกรินทร์ ไชย
รหัสนักศึกษา 46040705

2/11/2549

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....
ในเดือนปี.....

b. 1188.3.121
i.....

ภาควิชาวิทยาศาสตร์การประมง
คณะเทคโนโลยีการเกษตร
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
กรุงเทพมหานคร 10520
ปีการศึกษา 2549

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทความวิจัยพิเศษ
เรื่อง

การใช้ *Nostoc sp.* กำจัดตะกั่วออกจากน้ำเสียสังเคราะห์
Lead (Pb^{2+}) removal from synthetic wastewater by *Nostoc sp.*

การศึกษาความสามารถของ *Nostoc sp.* ในการบำบัดตะกั่วออกจากน้ำเสียสังเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ เพื่อปัจจัยที่เหมาะสมในการกำจัดโลหะหนัก พบว่าระดับพีเอชที่เหมาะสมในการดูดซับตะกั่วคือพีเอช 4 สามารถกำจัดตะกั่วได้ถึง 49.12 มิลลิกรัมต่อกรัม ปริมาณเซลล์ที่มีความเหมาะสมในการกำจัดตะกั่ว คือ 0.2 กรัมต่อน้ำ 1 ลิตร กำจัดได้ 80.10 มิลลิกรัมต่อกรัม และ อายุเซลล์สายที่ 1, 2, 3 และ 4 สัปดาห์ พบว่าประสิทธิภาพในการดูดซับตะกั่วที่อายุเซลล์ 3 สัปดาห์สูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ระยะเวลาที่เป็นจุดอิ่มตัวในการดูดซับตะกั่วคือ 60 ชั่วโมง ในการล้างตะกั่วออกจากตัวดูดซับ พบว่า EDTA และ nitric acid สามารถล้างตะกั่วออกจากตัวดูดซับได้ 82.98 และ 81.96 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ ($p < 0.05$)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำนิยม

การจัดทำปัญหาพิเศษในครั้งนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดีเนื่องจากการสนับสนุนและความช่วยเหลือจากผู้ที่เกี่ยวข้องหลายฝ่าย ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ ผศ. สุธีรัตน์ เรืองสมบุญรณ์ ที่ให้คำแนะนำตลอดจนแก้ไขปัญหาข้อบกพร่องต่างๆที่เกิดขึ้นในขณะทำงาน จนกระทั่งเสร็จเรียบร้อย

ขอขอบพระคุณ คุณบุปผา จงพัฒน์ และคุณนภาพล เผ่ามนัส ที่ได้อนุเคราะห์และให้ความดูแลในเรื่องการเบิกใช้อุปกรณ์และสารเคมี รวมถึงเจ้าหน้าที่ คณาจารย์ทุกท่าน และเพื่อนๆทุกคนในภาควิชาวิทยาศาสตร์การประมงที่คอยให้คำแนะนำและความช่วยเหลือระหว่างการทดลองที่เป็นประโยชน์ต่อการศึกษาในการทำปัญหาพิเศษครั้งนี้

ขอขอบพระคุณ คุณนารี พันธุ์จินดาวรรณ ภาควิชาปฐพีวิทยา สำหรับคำแนะนำและให้ความช่วยเหลือด้านสถานที่การใช้เครื่อง AAS รวมถึงการแก้ปัญหาต่างๆที่เกิดขึ้นในระหว่างการทำการทดลอง

สุดท้ายขอกราบขอบพระคุณบิดาและมารดาของข้าพเจ้าที่ได้ให้สิ่งดีๆในชีวิต ขอขอบพระคุณค่ะ

นางสาวนศิรินทร์ นาไชย
พฤษภาคม 2550

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	I
สารบัญตาราง	II
สารบัญภาพ	III
คำนำ	1
การตรวจเอกสาร	3
อุปกรณ์และวิธีการ	19
ผลการทดลองและวิจารณ์	22
สรุปและข้อเสนอแนะ	30
เอกสารอ้างอิง	31



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	การเปรียบเทียบข้อมูลไอโซเทอร์มการดูดซับ Cu^{2+} แบบฟรุนดิช (Freundlich) และแบบ แลงค์เมียร์ (Langmuir)	14
2	การเปรียบเทียบค่าคงที่ของฟรุนดิช และ R^2 ในการดูดซับตะกั่ว (Pb^{2+})	16
3	การล้างการดูดซับตะกั่ว (Pb^{2+}) ออกจากเซลล์ของสาหร่าย <i>G. gelatinosa</i> โดยใช้ EDTA (mean \pm SE ทดลอง 3 ซ้ำ)	17
4	ประสิทธิภาพในการล้าง (desorp) ตะกั่ว (Pb^{2+}) ด้วยสารต่างชนิดกัน ในสารละลายตะกั่ว (Pb^{2+}) เข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ; ปริมาณตัวดูดซับ 1 กรัมต่อลิตร ; ระยะเวลาของการดูดซับ 180 นาที ; ระยะเวลาการล้างตัวดูดซับ 60 นาที เมื่อ P เท่ากับ 0.05	17
5	การดูดซับตะกั่วของสาหร่าย <i>Nostoc</i> ที่ระดับ pH ต่างกัน	22
6	จำนวนเซลล์ของสาหร่าย <i>Nostoc</i> มีผลต่อประสิทธิภาพในการดูดซับ (q value) และ เปอร์เซ็นต์การดูดซับตะกั่ว (%remove) จำนวนกรัมสาหร่ายในปริมาณที่แตกต่างกัน ในสารละลายตะกั่วเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 20 มิลลิตร pH 4	23
7	การดูดซับตะกั่วของสาหร่าย <i>Nostoc</i> ที่ระดับ pH ต่างกัน	27
8	ประสิทธิภาพการดูดซับตะกั่วของสาหร่าย <i>nostoc</i> สภาวะสมดุลย์ที่ระยะเวลา 24 ชั่วโมงหลังจากการดูดซับ ที่ ระดับความเข้มข้น 10, 50, 100, 150, 200, 250 มิลลิกรัม ต่อลิตร, pH 5	28
9	แสดงค่า K_1 คือ ค่าคงที่การดูดซับแบบชั้นเดียว, K_2 คือ ความสามารถในการดูดซับสูงสุดจนอิ่มตัว (มิลลิกรัมต่อกรัม)	28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 10 desorption ของการดูดซับตะกั่วของสาหร่าย *Stigonema* โดย 0.1 M EDTA, nitric Acid และ DI water ระยะเวลาในการดูดซับนาน 3 ชั่วโมง และ desorption นาน 3 ชั่วโมง ในสารละลายตะกั่วเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร 25



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	การเจริญเติบโตของ <i>A. subcylindrica</i> ในน้ำที่มี synthetic medium กับน้ำทิ้งของ บริษัทผลิตโซดา El-Soda Company	7
2	การเจริญเติบโตของ <i>N. muscurum</i> ในน้ำที่มี synthetic medium กับน้ำทิ้งของ บริษัทผลิตโซดา El-Soda Company	7
3	พีเอชมีอิทธิพลต่อการดูดซับตะกั่วของสาหร่าย <i>S. maxima</i> (สารละลายตะกั่วเข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ; ตัวดูดซับทางชีวภาพ 1 กรัมต่อลิตร ; ระยะเวลา 180 นาที) คอลลิมนีสีขาวแทน intact biomass (สาหร่ายที่ไม่ได้พรีทรีตด้วย CaCl_2) ขณะที่ คอลลิมนี สีดำ แทน pretreated biomass (สาหร่ายที่ผ่านการพรีทรีตด้วยสารละลาย CaCl_2 0.2 โมลาร์ และเขย่าช้าๆ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และล้างออกด้วยน้ำ DI หลายๆ ครั้ง ซึ่งจะล้างแคลเซียมไอออนออกจากสาหร่าย)	8
4	อิทธิพลของปริมาณตัวดูดซับทางชีวภาพ (biosorbent dose) ในการดูดซับตะกั่วของสาหร่าย <i>S. maxima</i> (สารละลายตะกั่วเข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ระยะเวลาในการดูดซับ 180 นาที พีเอช 5.5)	9
5	ระยะเวลาในการดูดซับไอออนตะกั่วของสาหร่าย <i>G. gelatinosa</i> 0.1 กรัม น้ำหนักแห้งต่อลิตร, ความเข้มข้นเริ่มต้น 1 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่พีเอช 4 และอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส	10
6	ช่วงเวลาในกระบวนการดูดซับ Pb^{2+} , Cd^{2+} และ Hg^{2+} ของสาหร่าย <i>Microcystis aeruginosa</i>	12
7	การศึกษา kinetics ในการดูดซับ Pb^{2+} ของ สาหร่าย <i>Spirulina max</i> (ความเข้มข้นของ $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ; ปริมาณสาหร่าย 1 กรัมต่อลิตร ; pH 5.5)	12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 8 ไอโซเทอร์มของการดูดซับ Cu^{2+} แบบฟรุนดิช (Freundlich) ถูกดูดซับโดยสาหร่าย *Microcystis* ชนิด capsulated และ decapsulated ทั้งแบบที่เก็บจากธรรมชาติ และ เลี้ยงในห้องทดลอง 14
- 9 กลไกการดูดซับตะกั่ว (Pb^{2+}) แบบแลงค์เมียร์ของสาหร่าย *G. gelatinosa* ที่พีเอช 4,25 องศาเซลเซียส, ปริมาณตัวดูดซับชีวภาพ 0.1 กรัมน้ำหนักแห้งต่อลิตร, ความเข้มข้นของสารละลายตะกั่ว (Pb^{2+}) เริ่มต้น 1-120 มิลลิกรัมต่อลิตร, $n = 7$ 15
- 10 แสดงแนวโน้มการดูดซับตะกั่วต่อจำนวนเซลล์ของสาหร่าย *Nostoc* 23
- 11 แสดงแนวโน้มการดูดซับตะกั่วต่อจำนวนเซลล์ของสาหร่าย *Nostoc* Kinetics ของการดูดซับตะกั่วของสาหร่าย *nostoca* ที่ระดับความเข้มข้นต่างกัน 10, 50, 100, 150, 200 และ 250 มิลลิกรัมต่อลิตร (ppm) , pH 4 26
- 12 กลไกการดูดซับแบบแลงเมียร์ของการดูดซับตะกั่วโดยสาหร่าย *stigonema*K, เท่ากับ 0.11, $K_2 (q_{\max})$ เท่ากับ 909.09 มิลลิกรัมต่อกรัม 27
- 13 ภาพถ่ายของ *Nostoc* อบแห้งนาน 24 ชั่วโมง ถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน กำลังขยาย 10,000 เท่า (A คือ *Nostoc* ผ่านการดูดซับตะกั่ว, B คือ *Nostoc* ไม่ผ่านการดูดซับตะกั่ว นาน 24 ชั่วโมง) 29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำนำ

ปัญหาโลหะหนักที่มีปริมาณมากแปดเปื้อนในสิ่งแวดล้อม ซึ่งในปัจจุบันได้เป็นปัญหาในระดับโลก ซึ่งเป็นอันตรายต่อระบบนิเวศวิทยาและเกิดการสะสมในห่วงโซ่อาหาร

ปัจจุบันนักวิจัยได้ค้นหาวิธีการป้องกันมลพิษจากมลพิษจากโลหะหนักเหล่านี้ ซึ่งวิธีดั้งเดิมที่ใช้ในการบำบัดโลหะหนัก ได้แก่วิธีการบำบัดทางเคมี วิธีการตกตะกอนด้วยหินปูน อย่างไรก็ตามวิธีการเทคโนโลยีเหล่านี้ก็ไม่มีประสิทธิภาพพอและสิ้นเปลือง อย่างไรก็ตามวิธีการใหม่ในปัจจุบันซึ่งเป็นวิธีที่ลดความเข้มข้นของโลหะหนักลงได้น่าพอใจในระดับหนึ่ง คือการใช้จุลินทรีย์ในการบำบัด

แต่ไม่นานมานี้งานวิจัยได้ศึกษา โดยการใช้สาหร่ายทะเลในการบำบัดโลหะหนักเหล่านี้ โดยใช้สาหร่ายทะเลในการบำบัดโลหะหนักเหล่านี้โดยใช้สาหร่าย *Cyanobacterium* ในการบำบัดโลหะหนักเพื่อทำให้ระบบนิเวศวิทยาในสิ่งแวดล้อมดีขึ้น โดยสาหร่ายจะดูดซับโลหะหนัก ซึ่งทำให้จำนวนของสิ่งมีชีวิตต่อหน่วยพื้นที่มีอัตราการรอดมากขึ้น ทำให้ค่า BOD ในน้ำมีค่าน้อยลง ค่า COD มากขึ้น ซึ่งทำให้คุณภาพน้ำดีขึ้น

ดังนั้นจึงได้มีการศึกษาถึงการนำสาหร่าย *Cyanobacterium* ในการบำบัดโลหะหนัก ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการนำสาหร่าย *Cyanobacterium* ในการบำบัดโลหะหนัก เป็นวิธีการที่น่าสนใจ ทำให้ระบบนิเวศวิทยาในน้ำดีขึ้นในที่สุดจะกล่าวถึง *Nostoc* sp.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาถึงปัจจัยที่มีผลต่อความสามารถในการบำบัดตะกั่วจากน้ำเสีย สังกะหรณ์ของ *Nostoc sp.*
2. เพื่อเป็นแนวทางการศึกษา และพัฒนาสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินให้สามารถเป็นตัวดูดซับทางชีวภาพที่มีประสิทธิภาพต่อไป

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถนำไปใช้เป็นแนวทางในการบำบัดโลหะหนักในพื้นที่ ต่างๆ ที่เกิดปัญหาขึ้นได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การตรวจเอกสาร

1. พิษของโลหะหนัก

โลหะหนัก หมายถึง โลหะที่มีความหนาแน่นสูงกว่า 4 kg/dm^3 โลหะหนักในสิ่งแวดล้อมเป็นสารปนเปื้อนจากสิ่งแวดล้อมที่สัตว์น้ำอาศัยอยู่ ความเจริญของประเทศทำให้เกิดการพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานและการส่งเสริมอุตสาหกรรมเพื่อการส่งออกที่ขาดแผนรองรับเรื่องผลกระทบที่จะตามมา การพัฒนาทางด้านการเกษตร การปศุสัตว์และการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ น้ำทิ้งจากชุมชนเมือง เหล่านี้เป็นปัจจัยให้เกิดความเสื่อมโทรมของแหล่งน้ำซึ่งเป็นที่อยู่อาศัยของสัตว์น้ำ สิ่งที่เป็นภัยคุกคามไม่ได้คือการปนเปื้อนของโลหะหนักซึ่งถูกนำมาใช้ในอุตสาหกรรม เช่น อุปกรณ์ผลิตพลาสติก พีวีซี สี ถ่านไฟฉาย ทางด้านการเกษตร ใช้เป็นส่วนผสมของยาฆ่าแมลงและปุ๋ย ทางด้านการแพทย์ใช้เป็นส่วนผสมของยา อุปกรณ์ทางการแพทย์และเครื่องสำอาง โลหะหนักเป็นสารที่คงตัว ไม่สามารถสลายตัวได้ในกระบวนการธรรมชาติ จึงมีบางส่วนตกตะกอนสะสมอยู่ในดิน ดินตะกอนที่อยู่ในน้ำ ดังนั้น การปนเปื้อนของโลหะหนักในสิ่งแวดล้อมจึงเป็นสิ่งที่เป็นภัยคุกคามไม่ได้ ซึ่งโลหะหนักจัดนับเป็นสารพิษที่มีอันตราย สารพิษ หมายถึง สารประกอบทางเคมีที่ร่างกายได้รับเข้าไปเพียงเล็กน้อย แล้วทำให้เกิดอันตรายแก่ร่างกาย โดยจะไปยับยั้งการย่อย การดูดซึม และการเปลี่ยนแปลงของปฏิกิริยาทางเคมีต่างๆ ในกระบวนการเมแทบอลิซึมที่เกิดขึ้นภายในร่างกาย ทำให้เกิดสภาวะผิดปกติ มีอาการแพ้ เจ็บป่วยเป็นโรคต่างๆ หรืออาจถึงตายได้ แต่จะเป็นอันตรายมากหรือน้อยขึ้นกับระดับความเป็นพิษของสาร (<http://www.fisheries.go.th/industry/news/>)

1.1 สารพิษในอาหารจำแนกออกเป็นกลุ่มใหญ่ๆ ได้ 2 กลุ่ม

1.1.1 สารพิษในอาหารที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ พบได้ในพืชและสัตว์ต่างๆ ที่คนเรานำมาใช้บริโภคเป็นอาหาร จึงทำให้ได้รับสารพิษเหล่านี้ ได้แก่ สารต้านฤทธิ์สารอาหาร สารพิษที่เป็นส่วนประกอบของพืช สารพิษที่เป็นส่วนประกอบของสัตว์ สารพิษจากเชื้อจุลินทรีย์ในอาหาร

1.1.2 สารพิษในอาหารที่มนุษย์เป็นผู้เติมลงไป หมายถึง สารพิษที่มีอยู่ในอาหารเนื่องจากกรรมวิธีต่างๆ ที่มนุษย์ใช้ เช่น การใช้สารเคมีต่างๆ ในการป้องกันและกำจัดศัตรูพืช ใช้ในกระบวนการแปรรูปอาหาร ใช้ในการเก็บรักษาและถนอมอาหาร ใช้ในการปรุงแต่งกลิ่นรสและสีของอาหาร เช่น สารพิษตกค้างจากยาฆ่าแมลง สารพิษจากโลหะหนักต่างๆ สารพิษจากสีผสมอาหาร สารพิษจากสารให้รสหวาน พิษจากสารปรุงแต่งชูรสอาหาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แร่ธาตุที่เกิดขึ้นในธรรมชาติมีอยู่ประมาณ 106 ธาตุ เป็นแร่ธาตุที่จำเป็นต่อร่างกาย ประมาณ 22 ธาตุ ซึ่งจะอยู่ในรูปของไอออน อนุมูล หรือสารประกอบอินทรีย์ บางธาตุร่างกายต้องการมากบางธาตุต้องการน้อย เพื่อทำหน้าที่เฉพาะบางอย่าง ภายในเซลล์ หากร่างกายได้รับแร่ธาตุบางชนิดมากเกินไปก็อาจทำให้เกิดพิษได้ นอกจากนี้ยังมีแร่ธาตุกลุ่มโลหะหนัก ได้แก่ปรอท (mercury) แคดเมียม (cadmium) ตะกั่ว (lead) และสารหนู (arsenic) ซึ่งจัดเป็นสารพิษต่อร่างกาย

1.2 ความเป็นพิษของตะกั่ว

ตะกั่วจะไปยับยั้งการสังเคราะห์เฮม (heme) ในเม็ดเลือดแดง โดยยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์เฮม เช่น δ -aminotevulinic acid (ALA) รบกวนการสังเคราะห์โปรตีนไกลบิน โดยจะเข้าไปจับกับหมู่ไทออลในโมเลกุลของเอนไซม์ การวัดเอนไซม์ ALA dehydratase ในเลือดเพื่อตรวจหาปริมาณตะกั่ว พบว่า เมื่อมีระดับตะกั่วในร่างกายเพิ่มขึ้นจะทำให้เอนไซม์ลดน้อยลง ตะกั่วเป็นสารพิษที่ทำให้เกิดโรคเรื้อรัง เพราะการดูดซึมตะกั่วเป็นไปอย่างช้ามาก การขับถ่ายออกจากร่างกายก็ช้าด้วย ตะกั่วถูกดูดซึมเข้าที่ลำไส้เล็ก และระบบทางเดินหายใจจากการสูดดม โดยจะสะสมที่ตับสูงกว่าที่อื่นๆ และสะสมไว้ที่กระดูกมากที่สุด โดยเฉพาะบริเวณข้อต่อของกระดูก ปริมาณตะกั่วในเลือดของคนทั่วไปอยู่ในช่วง 0.001-0.09 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม ส่วนใหญ่จะอยู่ในเม็ดเลือดแดง และยังพบในน้ำนมคนอีกด้วย หากได้รับตะกั่วเพิ่มมากขึ้นจะพบตะกั่วได้ในน้ำดี อาการพิษของตะกั่วจะเกิดขึ้นเมื่อในเลือดมีระดับตะกั่วสูงประมาณ 0.06-0.10 มิลลิกรัมต่อ 100 มิลลิลิตร ในคนปกติจะมีตะกั่วถูกขับออกมาทางปัสสาวะประมาณ 0.01-0.076 มิลลิกรัมต่อลิตร และในอุจจาระประมาณ 0.22-0.27 มิลลิกรัมต่อ 24 ชั่วโมง ตะกั่วจะออกฤทธิ์ที่หมู่ไทออลที่เมมเบรน โดยเฉพาะที่ไต และระบบประสาทจะถูกทำลาย ยังมีผลทำให้การสังเคราะห์ ATP ที่ไมโทคอนเดรียลดลง การดูดซึ่มกลับของน้ำตาลที่ไตลดลง เม็ดเลือดแดงแตกมากขึ้น การสร้างฮีโมโกลบิน และเฮมาโตคริตลดลงเกิดภาวะโลหิตจางเนื่องจาก เหล็กไม่สามารถนำไปรวมกับ พอร์ไฟรินเพื่อนำไปสร้างเฮมได้ตามปกติ จึงมีเหล็กสะสมมากขึ้นเกิดภาวะการคั่งของเหล็กตามเนื้อเยื่อต่างๆ

อย่างไรก็ตามถึงแม้ว่าในสิ่งแวดล้อมจะมีการปนเปื้อนของตะกั่วอยู่มาก แต่ปริมาณตะกั่วที่พบในอาหารไม่ได้เพิ่มมากขึ้นตามไปด้วย เพราะตะกั่วที่อยู่ในดินเคลื่อนที่ไม่ได้ ดังนั้นปริมาณตะกั่วที่พบในพืชจะน้อยกว่าที่พบในดิน คนปกติที่มีน้ำหนักตัว 70 กิโลกรัม ไม่ควรได้รับตะกั่วเกินสัปดาห์ละ 3.5 มิลลิกรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาถึงปัจจัยที่มีผลต่อความสามารถในการบำบัดตะกั่วจากน้ำเสีย สังกะหรณ์ของ *Nostoc sp.*
2. เพื่อเป็นแนวทางการศึกษา และพัฒนาสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินให้สามารถเป็นตัวดูดซับทางชีวภาพที่มีประสิทธิภาพต่อไป

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถนำไปใช้เป็นแนวทางในการบำบัดโลหะหนักในพื้นที่ ต่างๆ ที่เกิดปัญหาขึ้นได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การตรวจเอกสาร

1. พิษของโลหะหนัก

โลหะหนัก หมายถึง โลหะที่มีความหนาแน่นสูงกว่า 4 kg/dm^3 โลหะหนักในสิ่งแวดล้อมเป็นสารปนเปื้อนจากสิ่งแวดล้อมที่สัตว์น้ำอาศัยอยู่ ความเจริญของประเทศทำให้เกิดการพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานและการส่งเสริมอุตสาหกรรมเพื่อการส่งออกที่ขาดแผนรองรับเรื่องผลกระทบที่จะตามมา การพัฒนาทางด้านเกษตร การปศุสัตว์และการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ น้ำทิ้งจากชุมชนเมือง เหล่านี้เป็นปัจจัยให้เกิดความเสื่อมโทรมของแหล่งน้ำซึ่งเป็นที่อยู่อาศัยของสัตว์น้ำ สิ่งที่เป็นภัยคุกคามไม่ได้คือการปนเปื้อนของโลหะหนักซึ่งถูกนำมาใช้ในอุตสาหกรรม เช่น อุปกรณ์ผลิตพลาสติก พีวีซี ซี ลานไฟฉาย ทางด้านการเกษตร ใช้เป็นส่วนผสมของยาฆ่าแมลงและปุ๋ย ทางด้านการแพทย์ใช้เป็นส่วนผสมของยา อุปกรณ์ทางการแพทย์และเครื่องสำอาง โลหะหนักเป็นสารที่คงตัว ไม่สามารถสลายตัวได้ในกระบวนการธรรมชาติ จึงมีบางส่วนตกตะกอนสะสมอยู่ในดิน ดินตะกอนที่อยู่ใต้น้ำ ดังนั้น การปนเปื้อนของโลหะหนักในสิ่งแวดล้อมจึงเป็นสิ่งหลีกเลี่ยงไม่ได้ ซึ่งโลหะหนักจัดนับเป็นสารพิษที่มีอันตราย สารพิษ หมายถึง สารประกอบทางเคมีที่ร่างกายได้รับเข้าไปเพียงเล็กน้อย แล้วทำให้เกิดอันตรายแก่ร่างกาย โดยจะไปยับยั้งการย่อย การดูดซึม และการเปลี่ยนแปลงของปฏิกิริยาทางเคมีต่างๆ ในกระบวนการเมแทบอลิซึมที่เกิดขึ้นภายในร่างกาย ทำให้เกิดสภาวะผิดปกติ มีอาการแพ้ เจ็บป่วยเป็นโรคต่างๆ หรืออาจถึงตายได้ แต่จะเป็นอันตรายมากหรือน้อยขึ้นกับระดับความเป็นพิษของสาร (<http://www.fisheries.go.th/industry/news/>)

1.1 สารพิษในอาหารจำแนกออกเป็นกลุ่มใหญ่ๆ ได้ 2 กลุ่ม

1.1.1 สารพิษในอาหารที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ พบได้ในพืชและสัตว์ต่างๆ ที่คนเรานำมาใช้บริโภคเป็นอาหาร จึงทำให้ได้รับสารพิษเหล่านี้ ได้แก่ สารต้านฤทธิ์สารอาหาร สารพิษที่เป็นส่วนประกอบของพืช สารพิษที่เป็นส่วนประกอบของสัตว์ สารพิษจากเชื้อจุลินทรีย์ในอาหาร

1.1.2 สารพิษในอาหารที่มนุษย์เป็นผู้เติมลงไป หมายถึง สารพิษที่มีอยู่ในอาหารเนื่องจากกรรมวิธีต่างๆ ที่มนุษย์ใช้ เช่น การใช้สารเคมีต่างๆ ในการป้องกันและกำจัดศัตรูพืช ใช้ในกระบวนการแปรรูปอาหาร ใช้ในการเก็บรักษาและถนอมอาหาร ใช้ในการปรุงแต่งกลิ่นรสและสีของอาหาร เช่น สารพิษตกค้างจากยาฆ่าแมลง สารพิษจากโลหะหนักต่างๆ สารพิษจากสียผสมอาหาร สารพิษจากสารให้รสหวาน พิษจากสารปรุงแต่งชูรสอาหาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แร่ธาตุที่เกิดขึ้นในธรรมชาติมีอยู่ประมาณ 106 ธาตุ เป็นแร่ธาตุที่จำเป็นต่อร่างกาย ประมาณ 22 ธาตุ ซึ่งจะอยู่ในรูปของไอออน อนุมูล หรือสารประกอบอินทรีย์ บางธาตุร่างกายต้องการมากบางธาตุต้องการน้อย เพื่อทำหน้าที่เฉพาะบางอย่าง ภายในเซลล์ หากร่างกายได้รับแร่ธาตุบางชนิดมากเกินไปก็อาจทำให้เกิดพิษได้ นอกจากนี้ยังมีแร่ธาตุกลุ่มโลหะหนัก ได้แก่ปรอท (mercury) แคดเมียม (cadmium) ตะกั่ว (lead) และสารหนู (arsenic) ซึ่งจัดเป็นสารพิษต่อร่างกาย

1.2 ความเป็นพิษของตะกั่ว

ตะกั่วจะไปยับยั้งการสังเคราะห์เฮม (heme) ในเม็ดเลือดแดง โดยยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์เฮม เช่น δ -aminolevulinic acid (ALA) ควบคุมการสังเคราะห์โปรตีนโกลบิน โดยจะเข้าไปจับกับหมู่ไทออลในโมเลกุลของเอนไซม์ การวัดเอนไซม์ ALA dehydratase ในเลือดเพื่อตรวจหาปริมาณตะกั่ว พบว่า เมื่อมีระดับตะกั่วในร่างกายเพิ่มขึ้นจะทำให้เอนไซม์ลดน้อยลง ตะกั่วเป็นสารพิษที่ทำให้เกิดโรคเรื้อรัง เพราะการดูดซึมตะกั่วเป็นไปอย่างช้ามาก การขับถ่ายออกจากร่างกายก็ช้าด้วย ตะกั่วถูกดูดซึมเข้าที่ลำไส้เล็ก และระบบทางเดินหายใจจากการสูดดม โดยจะสะสมที่ตับสูงกว่าที่อื่นๆ และสะสมไว้ที่กระดูกมากที่สุด โดยเฉพาะบริเวณข้อต่อของกระดูก ปริมาณตะกั่วในเลือดของคนทั่วไปอยู่ในช่วง 0.001-0.09 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม ส่วนใหญ่จะอยู่ในเม็ดเลือดแดง และยังพบในน้ำนมคนอีกด้วย หากได้รับตะกั่วเพิ่มมากขึ้นจะพบตะกั่วได้ในน้ำดี อาการพิษของตะกั่วจะเกิดขึ้นเมื่อในเลือดมีระดับตะกั่วสูงประมาณ 0.06-0.10 มิลลิกรัมต่อ 100 มิลลิลิตร ในคนปกติจะมีตะกั่วถูกขับออกมาทางปัสสาวะประมาณ 0.01-0.076 มิลลิกรัมต่อลิตร และในอุจจาระประมาณ 0.22-0.27 มิลลิกรัมต่อ 24 ชั่วโมง ตะกั่วจะออกฤทธิ์ที่หมู่ไทออลที่เมมเบรน โดยเฉพาะที่ไต และระบบประสาทจะถูกทำลาย ยังมีผลทำให้การสังเคราะห์ ATP ที่ไมโทคอนเดรียลดลง การดูดซึมน้ำตาลที่ไตลดลง เม็ดเลือดแดงแตกมากขึ้น การสร้างฮีโมโกลบิน และเฮมาโตคริตลดลงเกิดภาวะโลหิตจางเนื่องจาก เหล็กไม่สามารถนำไปรวมกับ พอร์ไฟรินเพื่อนำไปสร้างเฮมได้ตามปกติ จึงมีเหล็กสะสมมากขึ้นเกิดภาวะการคั่งของเหล็กตามเนื้อเยื่อต่างๆ

อย่างไรก็ตามถึงแม้ว่าในสิ่งแวดล้อมจะมีการปนเปื้อนของตะกั่วอยู่มาก แต่ปริมาณตะกั่วที่พบในอาหารไม่ได้เพิ่มมากขึ้นตามไปด้วย เพราะตะกั่วที่อยู่ในดินเคลื่อนที่ไม่ได้ ดังนั้นปริมาณตะกั่วที่พบในพืชจะน้อยกว่าที่พบในดิน คนปกติที่มีน้ำหนักตัว 70 กิโลกรัม ไม่ควรได้รับตะกั่วเกินสัปดาห์ละ 3.5 มิลลิกรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2.1 การปนเปื้อนของตะกั่วในอาหาร

ผลการวิเคราะห์ปลาทะเลในบริเวณที่ไม่มีปัญหาสิ่งแวดล้อมพบว่ามีตะกั่วประมาณ 0.3 ส่วนต่อพันล้านส่วน (ppb) ผักบริเวณที่ปลูกอยู่ใกล้แหล่งอุตสาหกรรมและถนนมีตะกั่วประมาณ 0.2-0.25 ส่วนต่อล้านส่วน (ppm) ซึ่งพืชผักที่อยู่ใกล้ถนนจะมีปริมาณตะกั่วมากกว่าพืชผักในชนบทประมาณ 100 เท่า สารตะกั่วที่สะสมอยู่ในร่างกายแบ่งออกเป็น 3 ส่วนอยู่ในกระแสเลือดและเนื้อเยื่อบางชนิด อยู่ในเนื้อเยื่อและจับกันอย่างหลวมๆ กับกระดูก และอยู่อย่างถาวรที่กระดูกโครงร่าง ซึ่งสามารถสะสมได้ 60-90% ของปริมาณทั้งหมดในร่างกาย

1.2.2 การดูดซึมตะกั่ว

- รูปของสารประกอบตะกั่ว สารประกอบตะกั่วที่เป็นสารอินทรีย์จะดูดซึมได้ดี ในรูปสารอินทรีย์ดูดซึมได้เพียง 5-10% เท่านั้น ร่างกายจะขับออกทางปัสสาวะ 75% และทางอุจจาระ 15%
- ปัจจัยของอาหาร อาหารที่มีแคลเซียมต่ำจะเพิ่มการดูดซึมตะกั่ว หากร่างกายได้รับสังกะสีน้อยจะเพิ่มการดูดซึมตะกั่วเช่นเดียวกัน (<http://techno.msu.ac.th/>)

2. ลักษณะทั่วไปของสาหร่าย Cyanobacterium

สารสีสำหรับการสังเคราะห์แสง (photosynthetic pigments) ประกอบด้วย chlorophyll a ส่วน carotenoids ประกอบด้วย β -carotene และ แซนโทฟิลล์ ได้แก่ myxoxanthin, myxoxanthophyll, phycobilloproteins ประกอบด้วย c-phycoerythrin, c-allophycoerythrin และ c-phycoerythrin ผนังเซลล์ (cell wall) มี 2 ชั้น องค์ประกอบคล้าย bacteria gram negative รอบนอก เซลล์มีเยื่อใสๆ หุ้มโดยรอบเรียกว่า sheath อาจมีหรือไม่มีสี และอาจแบ่งเป็นชั้นๆ หนวด (flagella) ไม่มีหนวดทั้งเซลล์ปกติและเซลล์สืบพันธุ์เคลื่อนที่แบบเลื่อนไหล (gliding movement) ผลผลิตจากการสังเคราะห์แสง (photosynthetic product) ได้แก่ แป้ง cyanophycean starch เป็นเม็ดเล็กๆ กระจายอยู่ เรียกว่า cyanophycin granule ลักษณะพิเศษประจำตัวชั้นคือ เป็นพืชชั้นต่ำ prokaryote สารสีไม่อยู่ในพลาสติด กระจายอยู่ในไซโตพลาซึม ไม่มีนิวเคลียสที่แท้จริงและสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. สารพัดวิธีในการบำบัดตะกั่ว

การบำบัดด้วยวิธีทางเคมี โดยการเติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 5 โมลต่อลิตรและสะเทินด้วยกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 5 โมลต่อลิตร ระบบบำบัดนี้สามารถบำบัดน้ำทิ้งได้ครั้งละ 1.5 ลูกบาศก์เมตรใช้เวลาบำบัด คราวละ 5 ชั่วโมง โครงการพิเศษนี้ได้ทำการศึกษาและติดตามประสิทธิภาพการบำบัดและการวิเคราะห์น้ำทิ้งทั้งก่อนและหลังการบำบัดด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrometer (AAS) การวิเคราะห์อุณหภูมิ ปริมาณของแข็งทั้งหมด (TS) ปริมาณของแข็งแขวนลอย (SS) ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (DS) ค่า pH ค่า COD ปริมาณอิออนโลหะหนักซึ่งได้แก่ ตะกั่ว (Pb^{2+}) แคดเมียม (Cd^{2+}) สังกะสี (Zn^{2+}) นิกเกิล (Ni^{2+}) ทองแดง (Cu^{2+}) และ แมงกานีส (Mn^{2+}) พบว่าระบบบำบัดดังกล่าวสามารถบำบัดได้ด้วยดี โดยน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัด มีคุณภาพเป็นไปตามมาตรฐานกระทรวงอุตสาหกรรม (<http://library.kmitnb.ac.th/projects/sci/1C/ic00531.html>)

การใช้สารสกัดจากเมล็ดมะรุมบำบัดน้ำเสีย สารสกัดจากเมล็ดมะรุมในน้ำเย็นสามารถกำจัดโลหะหนักบางชนิดคือ ตะกั่วและเหล็กในน้ำได้โดยสารสกัดจากเมล็ดมะรุม 300 g/น้ำเย็น 1500 cm³ จำนวน 3 cm³ สารกำจัดตะกั่วในสารละลายเลดทูลูเรต 0.1% โดยมวล/ปริมาตร 5cm³ ได้หมดเมื่อเปรียบเทียบกับตัวควบคุมนอกจากนี้สารสกัดจากเมล็ดมะรุมในน้ำเย็นสามารถลดปริมาณ E coli ในน้ำได้ 20.76% เมื่อเปรียบเทียบกับตัวควบคุมและมีประสิทธิภาพภายในการกำจัดสารแขวนลอยในน้ำได้เท่ากับสารส้ม ดังนั้นสารสกัดจากเมล็ดมะรุมจึงเป็นสารที่น่าสนใจที่จะนำมาศึกษาเพิ่มเติมเพื่อใช้บำบัดน้ำเสียให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น (<http://elib.ipst.ac.th/elib>)

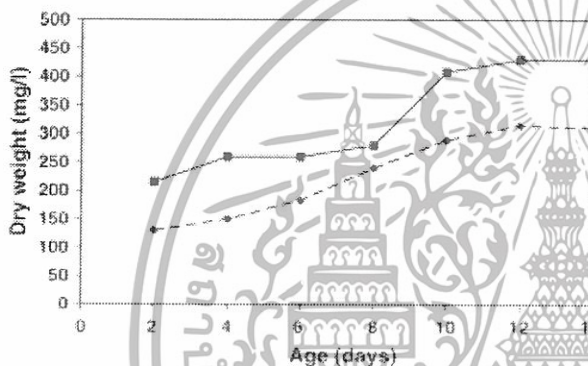
การใช้ palm shell activated carbon บำบัดตะกั่ว ถ่านกัมมันต์ที่ทำมาจากกะลาปาล์มนำมาบดและร่อนผ่านรูลขนาด 0.8-1.0 mm มีลักษณะเป็นผง โดยจะสามารถดูดซับไอออนตะกั่วได้ และนับว่าเป็นตัวดูดซับทางชีวภาพที่มีประสิทธิภาพสูง ที่พีเอช 5 ดูดซับ 95.2 mg/g และ ราคายังต่ำอีกด้วย (Issabayeva *et al.*, 2005)

นอกจากนี้ แบคทีเรีย ยีสต์ รา และสาหร่าย สามารถเป็นตัวดูดซับโลหะหนักออกจากสารละลายได้ ไอออนโลหะหนักจะถูกเก็บไว้ ที่บริเวณผิวและภายในเซลล์ ซึ่งคุณสมบัติดังกล่าวสามารถนำไปใช้ ในการบำบัดน้ำทิ้งที่มีโลหะหนักปนเปื้อนได้ (วัลภา อาชีวะปริสุทธิ์ และคณะ 2543) *Sargassum sp.*, *Padina sp.*, *Ulva sp.* และ *Gracillaria sp.* ซึ่งเป็นสาหร่ายทะเลที่นำมาใช้เป็น biosorbent เช่นกัน (Sheng *et al.*, 2004)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

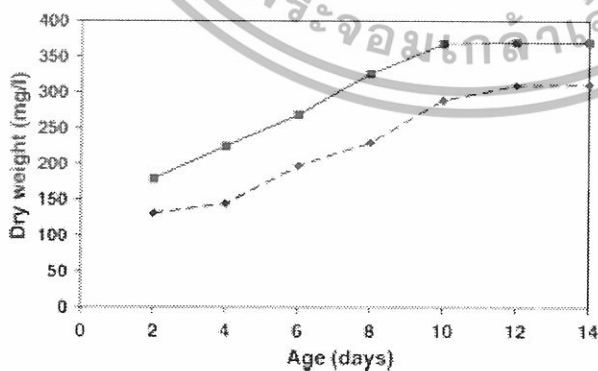
4. ทำไมจึงเลือกใช้ไซยาโนแบคทีเรียในการบำบัด

ประเด็นที่เป็นปัญหาในไทย คือ ภาวะอุตสาหกรรม การที่น้ำเสียจากโรงงานมีสารตะกั่วหรือ โลหะหนักชนิดอื่นปนเปื้อนลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติซึ่งจะสะสมในห่วงโซ่อาหาร และเป็นอันตรายต่อมนุษย์เรื้อรัง แหล่งน้ำจืดมักเป็นแหล่งที่ได้รับผลกระทบก่อน (Chen *et al.*, 2005) ดังนั้นจึงเป็นสาเหตุในการเลือกไซยาโนแบคทีเรีย จากการศึกษาของ El-Sheekh *et al.*, 2004 *N. muscurum* และ *A. subcylindrica* ซึ่งจัดอยู่ในกลุ่มไซยาโนแบคทีเรีย สามารถเจริญเติบโตได้ในแหล่งน้ำเสียจากโรงงานผลิตโซดา น่าจะเป็นแนวทางที่สามารถนำมาใช้จริงได้ ผนวกกับสภาพภูมิการในประเทศไทยนั้นจัดอยู่ในเขตร้อนและสาหร่ายจำพวกไซยาโนสามารถเติบโตได้ดี มีราคาถูกเมื่อเทียบกับการบำบัดด้วยสารเคมี นอกจากนี้มีประสิทธิภาพในการดูดซับโลหะหนักที่สูงแล้ว ยังเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมอีกด้วย (Inthorn *et al.*, 2001)



ภาพที่ 1 : การเจริญเติบโตของ *A. subcylindrica* ในน้ำที่มี synthetic medium (---) กับน้ำทิ้งของบริษัทผลิตโซดา El-Soda Company (—)

ที่มา : El-Sheekh *et al.* (2004)



ภาพ

ที่ 2 : การเจริญเติบโตของ *N.*

muscurum ในน้ำที่มี synthetic medium (---)

กับน้ำทิ้งของบริษัทผลิตโซดา El-Soda Company (—)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่มา : El-Sheekh *et al.* (2004)

5. ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการดูดซับตะกั่ว และโลหะหนัก ชนิดอื่นๆ

5.1 พีเอช

พีเอชของสารละลายมีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อการดูดซับไอออนโลหะหนักจากการศึกษาสำหรับสายพันธุ์ *S. maxima* ที่พีเอช ต่ำกว่า 2 การดูดซับไอออนตะกั่วลดลง เมื่อระดับพีเอชสูงขึ้นช่วง 2-5.5 การดูดซับสูงขึ้นตาม และมีการดูดซับไอออนตะกั่วสูงที่สุดที่ระดับพีเอช 5.5 (ภาพที่ 3) เพราะสารละลายที่มีพีเอชต่ำ พื้นที่ผิวของเซลล์ที่ทำหน้าจะยึดติดกับไอออนของโลหะหนักจะยึดกับไฮโดรเจนไอออนแทน จึงไม่สามารถยึดกับไอออนที่มีประจุบวกอื่นๆ ได้ เมื่อพีเอชสูงขึ้น ลิแกนด์ (ส่วนที่ยึดกับไอออนของโลหะแล้วเกิดเป็นสารเชิงซ้อน) มีสภาพเป็นประจุลบเพิ่มขึ้น เป็นผลให้การยึดจับกับไอออนบวกได้เพิ่มขึ้น (Gong *et al.*, 2004) ผลการทดลองนี้สอดคล้องกับ Raungsomboon *et al.* (2006) ซึ่งทดลองกับสำหรับ *G. gelatinosa* กลไกที่ทำหน้าที่ในการดูดซับโลหะหนักของสายพันธุ์ในกลุ่มไซยาโนแบคทีเรีย ขึ้นอยู่กับส่วนประกอบของ CPS เมื่อพีเอชของสารละลายมีค่ามากกว่า ค่า pKa (pKa ของ carboxyl group คือ 2.9-3.4) จะทำให้ carboxyl group อยู่ในรูป (COO⁻) ทำให้สามารถจับ Pb²⁺ ได้



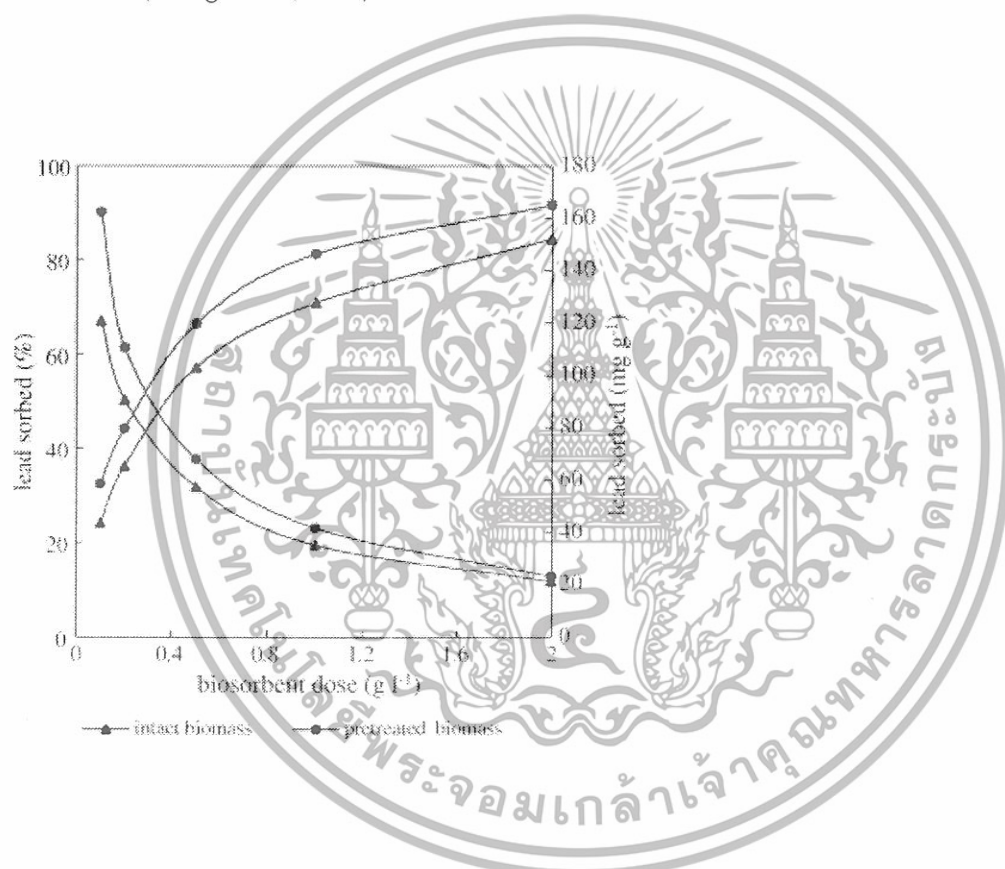
ภาพที่ 3 : พีเอชที่มีอิทธิพลต่อการดูดซับตะกั่วของสายพันธุ์ *S. maxima* (สารละลายตะกั่วเข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ; ตัวดูดซับทางชีวภาพ 1 กรัมต่อลิตร ; ระยะเวลา 180 นาที) คอลัมน์สีขาวแทน intact biomass (สายพันธุ์ที่ไม่ได้ทรีตด้วย CaCl₂) ขณะที่ คอลัมน์สีดำ แทน pretreated biomass (สายพันธุ์ที่ผ่านการทรีตด้วย สารละลาย CaCl₂ 0.2 โมลาร์ และเขย่าซ้ำๆ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และล้างออกด้วยน้ำ DI หลายๆ ครั้ง ซึ่งจะล้างแคลเซียมไอออนออกจากสายพันธุ์)

ที่มา : Gong *et al.* (2004)

5.2 Biosorbent dose

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อิทธิพลของปริมาณตัวดูดซับทางชีวภาพ ในการดูดซับตะกั่วของสาหร่าย *S. maxima* พบว่า เมื่อปริมาณของตัวดูดซับทางชีวภาพเพิ่มขึ้น เปอร์เซ็นต์การดูดซับตะกั่วจะเพิ่มขึ้น ในทางตรงกันข้ามประสิทธิภาพในการดูดซับกลับลดลง เมื่อปริมาณของตัวดูดซับทางชีวภาพเพิ่มขึ้น ภาพที่ 4 เมื่อปริมาณของตัวดูดซับทางชีวภาพเพิ่มขึ้น ช่วง 0.1 - 2.0 กรัมต่อลิตร เปอร์เซ็นต์การดูดซับตะกั่วเพิ่มขึ้น 24 - 84 เปอร์เซ็นต์ เป็น intact biomass และจาก 32 - 92 เปอร์เซ็นต์ เป็น pretreated biomass แต่ประสิทธิภาพการดูดซับกลับลดลง 121 - 21 มิลลิกรัมต่อกรัม และ 162 - 23 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ สาเหตุดังกล่าวอาจเป็นเพราะเมื่อความหนาแน่นของปริมาณเซลล์เพิ่มขึ้นจะทำให้รบกวนการยึดเกาะของไอออน เนื่องจากพื้นที่ ที่มีโอกาสที่ไอออนจะเข้ายึดเกาะลดลง (Gong et al.,2004)



ภาพที่ 4 : อิทธิพลของปริมาณตัวดูดซับทางชีวภาพ (biosorbent dose) ในการดูดซับตะกั่วของสาหร่าย *S. maxima* (สลายตะกั่วเข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ระยะเวลาในการดูดซับ 180 นาที พีเอช 5.5

ที่มา : Gong et al. (2004)

5.3.ระยะเวลา

เมื่อตัวดูดซับทางชีวภาพอยู่ในน้ำเสียที่มีไอออนของโลหะหนักระยะเวลาที่อยู่ในน้ำนั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่งผลต่อปริมาณการลดต่ำลงของไอออนโลหะนั้นๆ ซึ่งกล่าวได้ว่าเป็นการเพิ่มโอกาสให้การยึดเกาะระหว่าง ลิแกนด์ กับ ไอออนโลหะ ระยะเวลาเป็นปัจจัยที่ใช้ในการศึกษา kinetic (Singh et al., 1997)

Raungsomboon et al. (2006) พบว่า สาหร่าย *G. gelatinosa* ในน้ำเสียสังเคราะห์ ที่ สารละลายตะกั่วเข้มข้น 1 มิลลิกรัมต่อลิตร พีเอช 4 สามารถดูดซับไอออนตะกั่วมากกว่า 95.3 เปอร์เซ็นต์ในระยะเวลาเพียง 5 นาที หลังจากนั้นเข้าสู่สภาวะสมดุล หลังจาก 120 นาที มีไอออน ตะกั่วที่ตกค้างอยู่ในสารละลาย 2.26 ไมโครกรัมต่อลิตร และ ในกลุ่มควบคุมตกค้างอยู่ใน สารละลาย 998.10 ไมโครกรัมต่อลิตร (ภาพที่ 5)



ภาพที่ 5 : ระยะเวลาในการดูดซับไอออนตะกั่วของสาหร่าย *G. gelatinosa* 0.1 กรัม/น้ำหนักแห้ง ต่อลิตร, ความเข้มข้นเริ่มต้น 1 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่พีเอช 4 และอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

ที่มา : Raungsomboon et al. (2006)

5.3.1 kinetics

การศึกษา kinetic ของสาหร่าย *M. aeruginosa* ในการดูดซับตะกั่ว, แคดเมียม และปรอท (ภาพที่ 6) มีการดูดซับ Cd^{2+} อย่างรวดเร็วภายใน 10 นาทีแรก และ ค่อยๆเข้าสู่สภาวะคงที่

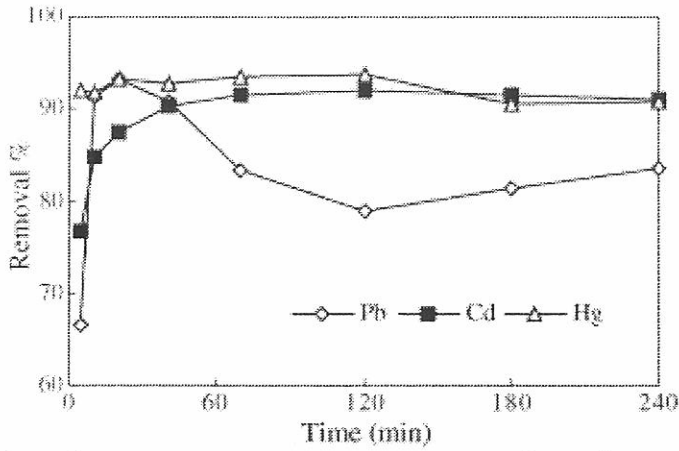
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลังจาก 40 นาที ของการดูดซับ การดูดซับ Hg^{2+} เกิดขึ้นรวดเร็วกว่า Cd^{2+} มีประสิทธิภาพในการดูดซับ Hg^{2+} สูง หลังจาก 5 นาที แรกของการดูดซับ การดูดซับก็ค่อยๆ เข้าสู่สภาวะคงที่ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการดูดซับ Hg^{2+} จนถึงสภาพอิ่มตัวเป็นช่วงสั้นเพียง 5 นาที

ในการดูดซับ Pb^{2+} มีการดูดซับเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว จนกระทั่งสูงสุดภายใน 20 นาทีแรก หลังจากนั้น กลับพบว่า การดูดซับลดลงจนกระทั่งนาทีที่ 120 และค่อยๆ เพิ่มขึ้น การเปลี่ยนแปลงในการดูดซับ Pb^{2+} ที่ไม่แน่นอนนี้อธิบายได้ว่า viscous nature ซึ่งเป็นคุณสมบัติความหนืดอย่างหนึ่งของแคปซูลของสาหร่าย *Microcystis* เมื่อความเข้มข้นของไอออนโลหะต่ำ ความหนืดของแคปซูลจะเพิ่มขึ้น และตรงกันข้าม เมื่อไอออนชนิดเดียวกันมีความเข้มข้นสูงขึ้น จะเหนี่ยวนำให้ความหนืดของแคปซูลลดลง อย่างไรก็ตามเหตุผลดังกล่าวไม่สามารถใช้อธิบายในการทดลองการดูดซับ Cd^{2+} และ Hg^{2+} ของ *M. aeruginosa* ในครั้งนี้ได้ (Chen *et al.*, 2005)

นอกจากนี้ Gong *et al.* (2004) ได้ศึกษาพบว่า อัตราการดูดซับตะกั่ว (Pb^{2+}) ระหว่าง intact biomass กับ pretreated biomass (ภาพที่ 6) ในการศึกษา kinetics ของสาหร่าย *S. maxima* การดูดซับจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงเริ่มต้นของกระบวนการดูดซับ (0 – 30 นาที) หลังจากเกิดการดูดซับอย่างรวดเร็วความสามารถในการดูดซับจะเพิ่มขึ้นจนกระทั่งเข้าสู่สภาวะสมดุลประมาณ 60 นาที และจะไม่เพิ่มระดับการดูดซับขึ้นอีก ส่วนการดูดซับโลหะอื่นๆ (ภาพที่ 7) Singh *et al.* (1997) ศึกษาการดูดซับ Fe^{3+} และ Cu^{2+} ของสาหร่าย *Microcystis* พบว่า การดูดซับทองแดง (Cu^{2+}) เกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว และสูงสุดจนกระทั่งอิ่มตัว หลังจาก 60 นาทีแรกของการดูดซับเข้าสู่สภาพสมดุล อย่างไรก็ตามการดูดซับเหล็ก (Fe^{3+}) แตกต่างจากการดูดซับทองแดง (Cu^{2+}) เนื่องจาก curve ของการดูดซับเหล็ก (Fe^{3+}) นั้นไม่ต่อเนื่องแต่มีลักษณะเพิ่มเป็นขั้นๆ การดูดซับเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วก่อน 20 นาที มีลักษณะอิ่มตัวในช่วงสั้นเพียง 10 นาที เกิดการดูดซับต่อจนกระทั่งนาทีที่ 180 จึงอิ่มตัวอีกครั้ง

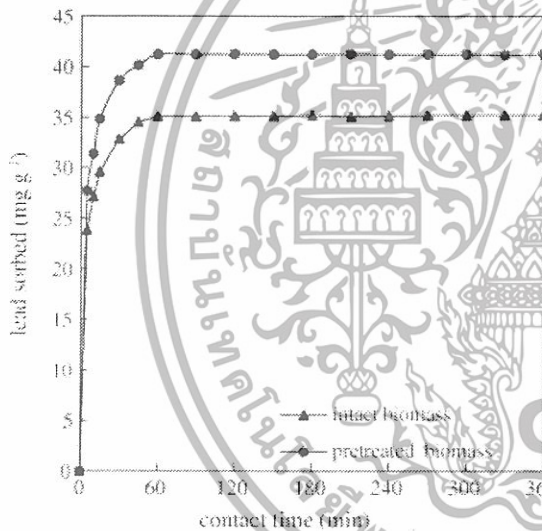
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 6 : ช่วงเวลาในกระบวนการดูดซับ Pb²⁺, Cd²⁺ และ Hg²⁺ ของสาหร่าย

Microcystis aeruginosa

ที่มา : Chen et al. (2005)



ภาพที่ 7 : การศึกษา kinetics ในการดูดซับ Pb²⁺ ของ สาหร่าย *Spirulina maxima* (ความเข้มข้นของ Pb(NO₃)₂ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ; ปริมาณสาหร่าย 1 กรัมต่อลิตร ; pH 5.5)

ที่มา : Gong et al. (2004)

Microcystis สามารถนำมาศึกษาไอโซเทอร์มของการดูดซับแบบแลงก์เมียร์ (Langmuir) และ ฟรุนดิช (Freundlich) ได้

แบบจำลองของแลงก์เมียร์ (Langmuir)

$$C/Q = 1/K_1 K_2 + C/K_2$$

C = ความเข้มข้นที่สภาวะสมดุล (ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร)

Q = ความสามารถในการดูดซับ (ไมโครกรัมต่อมิลลิกรัม)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

K_1 = ค่าคงที่การดูดซับแบบชั้นเดียว

K_2 = ความสามารถในการดูดซับสูงสุด (ไมโครกรัมต่อมิลลิกรัม)

แบบจำลองของฟรอนด์ลิช (Freundlich)

$$\log x/m = \log K_f + 1/n \log C$$

K_f = ค่าคงที่ที่แสดงความสามารถในการดูดซับแบบหลายชั้น (ไมโครกรัมต่อมิลลิกรัม)

n = ค่าคงที่ที่แสดงการขึ้นตรงกับความเข้มข้นของสารละลาย

x/m = ความสามารถในการดูดซับ (ไมโครกรัมต่อมิลลิกรัม)

โดยศึกษาการดูดซับ Fe^{3+} และ Cu^{2+} ของสาหร่าย *Microcystis* ชนิด capsulated และ decapsulated ซึ่งเก็บจากธรรมชาติและเลี้ยงในห้องทดลอง จากการศึกษาดูดซับ Fe^{3+} พบว่า *Microcystis* ชนิด capsulated ที่เก็บจากธรรมชาติและเลี้ยงในห้องทดลอง มีค่า C เท่ากับ 4.36, 5.33 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ และชนิด decapsulated ที่เก็บจากธรรมชาติและเลี้ยงในห้องทดลอง มีค่า C เท่ากับ 9.42, 12.64 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ ความสามารถในการดูดซับของทั้ง 4 ชนิด 265.77, 239.65, 188.50 และ 148.21 ไมโครกรัมต่อมิลลิกรัม ตามลำดับ (ภาพที่ 8a) ซึ่งทดลองในความเข้มข้นที่แตกต่างกัน 2-30 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร มีการเปรียบเทียบพบว่าชนิด capsulated ที่เก็บจากธรรมชาติและเลี้ยงในห้องทดลอง สามารถดูดซับได้สูงกว่าชนิด decapsulated 29 และ 38 เปอร์เซ็นต์ ชนิด capsulated แบบที่เก็บจากธรรมชาติสามารถดูดซับได้ดีกว่าแบบเลี้ยงในห้องทดลอง 10 เปอร์เซ็นต์

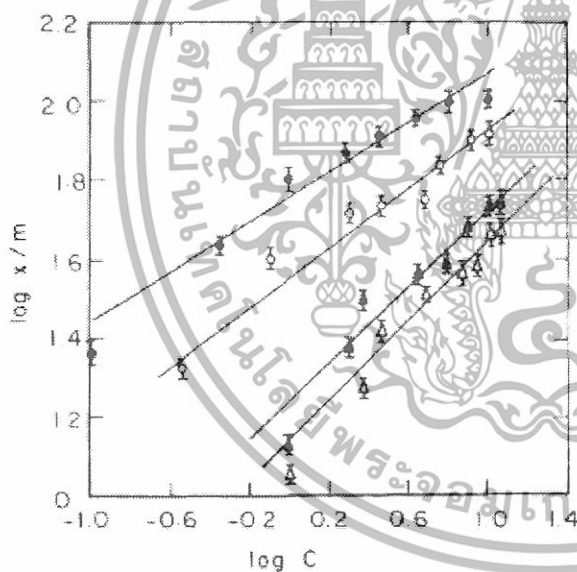
จากการศึกษาดูดซับ Cu^{2+} พบว่า *Microcystis* ชนิด capsulated ที่เก็บจากธรรมชาติและเลี้ยงในห้องทดลอง มีค่า C เท่ากับ 6.508, 8.412 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ และชนิด decapsulated ที่เก็บจากธรรมชาติและเลี้ยงในห้องทดลอง มีค่า C เท่ากับ 10.930, 11.340 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ ความสามารถในการดูดซับสูงสุดของทั้ง 4 ชนิด เท่ากับ 106.68, 82.85, 53.78 และ 48.66 ไมโครกรัมต่อมิลลิกรัม ตามลำดับ (ภาพที่ 8b) ซึ่งทดลองในความเข้มข้นที่แตกต่างกัน 2-20 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ไม่สามารถประเมินความแตกต่างได้สำหรับ ชนิด decapsulated ส่วนชนิด ชนิด capsulated ที่เลี้ยงในห้องทดลอง สามารถดูดซับ Cu^{2+} น้อยกว่าแบบที่เก็บจากธรรมชาติ 22 เปอร์เซ็นต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1: การเปรียบเทียบข้อมูลไอโซเทอร์มการดูดซับ Cu^{2+} แบบฟรอนด์ลิช (Freundlich) และแบบแลงคีมัวร์ (Langmuir)

condition	Freundlich			Langmuir		
	K_1	n	R^2	K_1	K_2	R^2
capsulated (field)	1.761	3.164	0.977	1.333	125.000	0.203
capsulated (lab)	1.569	2.940	0.943	0.454	100.000	0.012
decapsulated (field)	1.236	2.136	0.928	0.280	71.428	0.111
decapsulated (lab)	1.106	1.897	0.947	0.197	66.666	0.018

ที่มา : Singh et al. (1997)

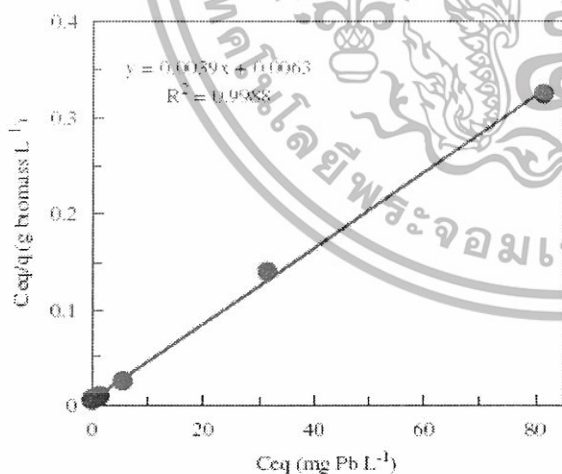


ภาพที่ 8 : ไอโซเทอร์มของการดูดซับ Cu^{2+} แบบฟรอนด์ลิช (Freundlich) ถูกดูดซับโดยสาหร่าย *Microcystis* ชนิด capsulated และ decapsulated ทั้งแบบที่เก็บจากธรรมชาติ และเลี้ยงในห้องทดลอง ซึ่งเหมือนกับภาพที่ 8

ที่มา : Singh et al. (1997)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการศึกษาไอโซเทอร์มในการดูดซับตะกั่ว (Pb^{2+}) Raungsomboon *et al.* (2006) ได้ศึกษาในสาหร่าย *G. gelatinosa* พบว่าเป็นกลไกการดูดซับแบบแลงค์เมียร์ ดังเกิดจากค่า R^2 ซึ่งมีค่ามากกว่าแบบฟรุนดิช 0.9988 และ 0.8551 ตามลำดับ ดังนั้นลักษณะการดูดซับ Pb^{2+} โดยไซยาโนแบคทีเรียเป็นแบบชั้นเดียวของแลงค์เมียร์ ซึ่งมีความสามารถในการดูดซับสูงสุดเท่ากับ 256.41 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง ในเซลล์ของสาหร่าย *G. gelatinosa* ปกคลุมด้วย Mucilage sheets (CPS) ที่หนา ซึ่งคาดว่าน่าจะเป็นกลไกในการดูดซับ Pb^{2+} ของพวกไซยาโนแบคทีเรีย มีการเปรียบเทียบกันระหว่างเซลล์ที่มี CPS กับ ไม่มี พบว่า ความสามารถในการดูดซับเท่ากับ 8.59 ± 0.15 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง หรือ 92.06 เปอร์เซ็นต์ และ 1.50 ± 0.08 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง หรือ 16.3 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งการดูดซับ Pb^{2+} ของเซลล์ที่มี CPS มีประสิทธิภาพเหนือกว่าไม่มี CPS มากถึง 5.7 เท่า นอกจากนี้เมื่อนำสารสกัด CPS มาบำบัด Pb^{2+} พบว่ามีความสามารถในการดูดซับเท่ากับ 82.22 ± 4.82 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่า CPS ในสาหร่าย *G. gelatinosa* เพียงอย่างเดียวที่มีผลในการบำบัด Pb^{2+} ออกจากน้ำเสียสังเคราะห์ที่ปราศจากกระบวนการเมแทบอลิซึมของไซยาโนแบคทีเรีย ซึ่งเป็นสมมุติฐานหนึ่งที่ว่า CPS ในสาหร่าย *G. gelatinosa* มีบทบาทถึงสำคัญในการบำบัดตะกั่วในการดูดซับตะกั่ว (Pb^{2+}) โดยใช้สาหร่าย *Spirulina maxima* ตารางที่ 3 พบว่าเป็นแบบฟรุนดิช และมีค่า K ซึ่งเป็นค่าคงที่แสดงความสามารถในการดูดซับพบว่า Pretreated biomass มีสูงที่สุด 8.11 (Gong *et al.*, 2004)



ภาพที่ 9: กลไกการดูดซับตะกั่ว (Pb^{2+}) แบบแลงค์เมียร์ของสาหร่าย *G. gelatinosa* ที่พีเอช 4, 25 องศาเซลเซียส, ปริมาณตัวดูดซับชีวภาพ 0.1 กรัมน้ำหนักแห้งต่อลิตร, ความเข้มข้นของสารละลายตะกั่ว (Pb^{2+}) เริ่มต้น 1-120 มิลลิกรัมต่อลิตร, $n = 7$

ที่มา : Raungsomboon *et al.* (2006)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2: การเปรียบเทียบค่าคงที่ของฟรุนดิช และ R^2 ในการดูดซับตะกั่ว (Pb^{2+})

Type of biomass	Freundlich constant and coefficient			Reference
	K	1/n	R^2	
Intact biomass	4.97	0.72	0.9852	This work
Pretreated biomass	8.11	0.76	0.9928	This work
<i>Aspergillus niger</i>	1.69	0.39	0.93	Wang et al., 2001
<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	1.072	0.33	0.9479	Ferraz and Teixeira, 1999

ที่มา : Gong et al. (2004)

6. Desorption

Raungsomboon et al. (2006) ได้ศึกษาการล้างการดูดซับ (desorp) ตะกั่ว (Pb^{2+}) ออกจากเซลล์ของสาหร่าย *G. gelatinosa* โดยใช้ EDTA ซึ่งเป็นตัวล้างที่ได้ผลดี แบ่งระยะเวลาที่ทดลองล้างเซลล์ด้วย EDTA เป็น 60 นาที และ 24 ชั่วโมง ซึ่งเปรียบเทียบกับการล้างด้วย Milli-Q water ซึ่งสามารถล้าง Pb^{2+} ได้เล็กน้อย น้อยกว่า 1.5 เปอร์เซ็นต์ของที่ถูกดูดซับไว้ ตรงกันข้ามกับการล้างด้วย EDTA สามารถล้างได้ประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ในเบื้องต้นที่เพิ่มเซลล์ลงไปใน Pb^{2+} สามารถสรุปได้ว่า Pb^{2+} จะจับกับหมู่ฟังก์ชันของเซลล์ไซยาโนแบคทีเรียซึ่งมีความซับซ้อนไม่สามารถล้างออกด้วยน้ำได้ และจากการทดลองในช่วงระยะเวลาที่กำหนด (60 นาที และ 24 ชั่วโมง) ไม่สามารถล้าง Pb^{2+} ออกจากเซลล์ได้ทั้งหมดโดยใช้ EDTA สาเหตุที่ไม่สามารถล้างออกได้ทั้งหมดอาจจะเป็นเพราะมีการดูดซับเข้าสู่ภายในเซลล์ หรือยึดจับด้วยพันธะที่แข็งแรงบริเวณผิวเซลล์ การดูดซับนั้นเกิดอย่างรวดเร็วในและเข้าสู่สภาวะสมดุลช่วง 30 นาที ดังนั้นการดูดซับทางกายภาพอาจเกิดขึ้นก่อนนาที่ที่ 30 หลังจากนั้นมีการดูดซับ Pb^{2+} ผ่านเซลล์เมมเบรนเข้าสู่ด้านใน นอกจากนี้อาจเป็นเพราะระยะเวลาในการล้างที่อาจจะสั้นไปจึงทำให้ไม่สามารถล้าง Pb^{2+} ออกจากเซลล์ได้ทั้งหมด และเมื่อสังเกตการณ์ล้างครั้งที่ 3 พบว่าตัวเลขยังคงค่อนข้างสูงเมื่อเทียบกับครั้งที่ 1 และ 2 เป็นไปได้ว่า Pb^{2+} ยึดกับบริเวณผิวเซลล์ด้วยพันธะที่แข็งแรง ถ้าหากเพิ่มระยะเวลาจะทำให้สามารถล้างตะกั่ว (Pb^{2+}) ออกจากเซลล์ได้เพิ่มขึ้น (ตารางที่ 4)

นอกจากการล้างการดูดซับ (desorp) ตะกั่ว (Pb^{2+}) ด้วย EDTA แล้วยังมีการล้างด้วยสารชนิดอื่นอีก Gong et al. (2004) ได้ศึกษา การล้าง Pb^{2+} เข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ด้วย HCl, HNO_3 , EDTA และ Citric acid ซึ่งมีระยะเวลาในการดูดซับ 180 นาที และระยะเวลาในการล้าง 60 นาที พบว่ามีประสิทธิภาพในการล้างประมาณ 90 เปอร์เซ็นต์ของ HNO_3 และ EDTA แต่เมื่อทดสอบทางสถิติกลับพบว่า HCl, HNO_3 และ EDTA สามารถล้าง Pb^{2+} ได้อย่างไม่แตกต่างทางสถิติ และล้าง Pb^{2+} ได้ดีกว่า Citric acid อย่างมีนัยสำคัญ (ตารางที่ 5)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3 : การล้างการดูดซับตะกั่ว (Pb^{2+}) ออกจากเซลล์ของสาหร่าย *G. gelatinosa* โดยใช้ EDTA (mean \pm SE ทดลอง 3 ซ้ำ)

Table 1 - Description of Pb from the loaded *G. gelatinosa* biomass by EDTA (mean \pm SE of three replicates)

Exposure time of loaded biomass	Pb on loaded biomass (μ g)	Desorbing agent	Pb desorbed (μ g)			Total Pb desorbed (μ g)
			First desorption	Second desorption	Third desorption	
60 min	357.0 \pm 6.2	EDTA	23.2 \pm 6.0	43.0 \pm 1.4	35.5 \pm 1.5	161.7 \pm 8.6
	369.0 \pm 0.3	Mili-Q	2.7 \pm 0.5	1.6 \pm 0.1	1.0 \pm 0.2	5.3 \pm 0.5
24 h	404.1 \pm 6.0	EDTA	102.3 \pm 1.1	58.1 \pm 2.6	40.8 \pm 0.8	201.0 \pm 3.8
	401.6 \pm 0.7	Mili-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. (2006)

ตารางที่ 4 : ประสิทธิภาพในการล้าง (desorb) ตะกั่ว (Pb^{2+}) ด้วยสารต่างชนิดกัน ในสารละลายตะกั่ว (Pb^{2+}) เข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ; ปริมาณตัวดูดซับ 1 กรัมต่อลิตร ; ระยะเวลาของการดูดซับ 180 นาที ; ระยะเวลาการล้างตัวดูดซับ 60 นาที เมื่อ P เท่ากับ 0.05

Type of biomass	Lead desorbed (%)			
	HCl (1.00%)	HNO ₃ (1.00%)	EDTA (4.5%)	Citric acid (1.84%)
Intact biomass	85	92	91	76*
Pretreated biomass	89	93	91	81*

ที่มา : Gong et al. (2004)

7. การดูดซับธาตุ Pb^{2+} , Cd^{2+} และ Hg^{2+} ของเซลล์ จากสารละลายโลหะแบบ binary- และ ternary- โดย สาหร่ายชนิด *M. aeruginosa* ที่ถูกตรึงเป็นเม็ด (Biosorption of Pb^{2+} , Cd^{2+} and Hg^{2+} from binary- and ternary-metal solutions by immobilized *M. aeruginosa*)

ในอุตสาหกรรมการบำบัดน้ำเสียจะมีการปนเปื้อนของสารต่าง ๆ ที่เป็นโลหะออกมาด้วย ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้เราจะทำการศึกษารูปแบบที่ *M. aeruginosa* ดูดซับโลหะจากสารผสมโมเลกุลเดียว (equimolar mixtures) โดยได้มีการศึกษาท่อนำหน้าแสดงให้เห็นว่าการดูดซับโลหะจากสารละลายจำกัดอยู่ที่ขอบเขตของปริมาณการอิ่มตัวเท่านั้น สำหรับผลที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้ เราพบว่าความสามารถในการดูดซับ แคดเมียม จะมีผลกระทบจากธาตุ Hg^{2+} และ Pb^{2+} เล็กน้อย โดยในช่วง 10 นาทีแรก การดูดซับ Cd^{2+} จะได้รับผลกระทบร่วมกันของ Pb^{2+} และ Hg^{2+} อย่างชัดเจน หลังจากนั้นอีก 70 นาที ประสิทธิภาพในการกำจัดแคดเมียมจะค่อย ๆ ลดลงมากกว่าการเติม Cd^{2+} หรือ Pb^{2+} กับ Hg^{2+} อย่างเดียว ซึ่งผลที่ได้แสดงว่าการดูดซับ Cd^{2+} ส่วนใหญ่จะมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตำแหน่งที่เฉพาะเจาะจง ในขณะที่ตำแหน่งการยึดจับ (Binding sites) บางตำแหน่งที่สามารถจะ ให้ Pb^{2+} และ Hg^{2+} มายึดจับได้

ในทางกลับกัน ประสิทธิภาพในการกำจัดธาตุตะกั่วในระบบ binary และ ternary จะมีสูงกว่าการเติม Pb^{2+} อย่างเดียวตลอดช่วงการทดลอง ถึงแม้ว่าเวลาในการดูดซับจะมีแนวโน้มที่ คล้ายคลึงกันก็ตาม ซึ่งหมายความว่า การดูดซับธาตุตะกั่วโดย *M. aeruginosa* นั้น จะถูกกระตุ้นโดย อิทธิพลของ Cd^{2+} และ Hg^{2+} ซึ่งก็ได้มีการศึกษาการดูดซับตะกั่วที่คล้ายคลึงกันโดย Parker และคณะ ซึ่งรายงานว่ Cu^{2+} จะช่วยการดูดซับธาตุตะกั่วโดยใช้สาร capsular polysaccharide บริสุทธิ์ที่ได้ จาก *M. aeruginosa f. flos-aquae* strain C3-40 วิธีการที่จะสามารถอธิบายปรากฏการณ์ดังกล่าวคือ การตั้งสมมติฐานว่าการดูดซับธาตุแคดเมียม และปรอทจะเปลี่ยนการตำแหน่งของการ ยึดจับ (Binding sites) ของตะกั่ว และเป็นการเพิ่มการดึงดูดกัน (Affinity) ของตำแหน่งที่ใช้เพื่อ การดูดซับ Pb^{2+} ซึ่งการยึดจับดังกล่าวของไอออนโลหะหนักอาจจะส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของการดูด ซึบตะกั่วจากสารผสมโมเลกุลเดี่ยว โดย (Haug and Smidsrod) แสดงให้เห็นว่าไอออนขนาดใหญ่ อาจจะมีความสามารถในการจับยึดได้ดีกว่าเนื่องจากมีการมีสอง functional groups ที่คล้ายกัน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. เครื่อง Atomic Absorption Spectrometer (AAS)
2. Magnetic stirrer
3. pH meter
4. ขวดน้ำเกลือ
5. Volumetric pipette
6. หลอดทดลอง
7. กระจกทรงกลมสำหรับฉาย
8. ผ้ากรอง
9. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน
10. นาฬิกาจับเวลา
11. ส้อม
12. กระดาษฟอยล์
13. Rack
14. Shaker
15. dropper
16. สายออกซิเจน
17. Syringe
18. Hot air oven
19. เครื่องชั่งสาร
20. ช้อนตักสาร
21. Erlenmeyer flask
22. Volumetric flask
23. Pipette
24. Micropipette
25. Beaker
26. Cylinder
27. แท่งแก้วคนสาร
28. Vortex mixer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

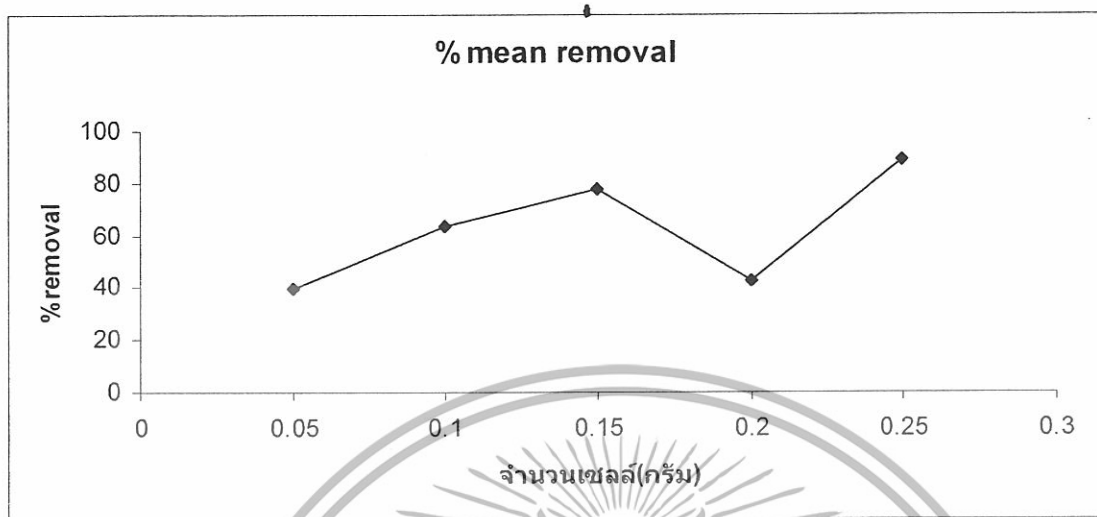
สารเคมี

1. $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$
2. 0.1 M HNO_3
3. 0.1 M EDTA
4. DI water
5. 10% NaOH
6. ปรุยสูตร Blue green 11 medium



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เกาะของไอออน เนื่องจากพื้นที่ที่มีโอกาสที่ไอออนจะเข้ายึดเกาะลดลง จากการทดลองนี้ เราจึงเลือกปริมาณเซลล์ที่ 0.2 กรัม



ภาพที่ 6: แสดงแนวโน้มการดูดซับตะกั่วต่อจำนวนเซลล์ของสาหร่าย *Nostoc*

จากการทดลองเรื่อง ระยะเวลาที่มีผลต่อการดูดซับตะกั่วของสาหร่าย *Nostoc* ซึ่งใช้เซลล์อัตรา 0.2 กรัมต่อน้ำ 20 มิลลิลิตร พีเอช 4 จะทดลองที่ระดับความเข้มข้นต่างกัน คือ 10, 50, 100, 150, 200 และ 250 มิลลิกรัมต่อลิตร และระยะเวลาในการดูดซับที่ต่างกันเริ่มตั้งแต่หลังการดูดซับ 0.02 ชั่วโมง หรือ 1 นาที เป็นต้นไป (ตารางที่ 4) ในการทดลองนี้สามารถนำ q value ไปแปรผล kinetic และ Isotherm ได้ซึ่งจะกล่าวต่อไป

ตารางที่ 10 จำนวนเซลล์ของสาหร่าย *Nostoc* มีผลต่อประสิทธิภาพในการดูดซับ (q value)

และ เปอร์เซ็นต์การดูดซับตะกั่ว (%remove) จำนวนกรัมสาหร่ายในปริมาณที่แตกต่างกันในสารละลายตะกั่วเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 20 มิลลิลิตร pH 4 แสดงค่าเป็น (Mean \pm S.E.)

จำนวนเซลล์ (กรัม)	% remove	q value (mg/g)
0.05	12.94 + 0.58	40.88 + 2.51 ab
0.10	49.49 + 3.12	69.92 + 3.05 c
0.15	56.28 + 0.43	64.24 + 1.43 c
0.20	85.70 + 0.74	80.10 + 3.18 b
0.25	50.31 + 1.80	48.54 + 0.57 a

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีการทดลอง

1. ทดลองเรื่อง pH ที่ระดับ 3, 4, 5, 6, 7 ใช้สาหร่าย 2 ชนิด คือ *Nostoc* การทดลองนี้ทำ treatment ละ 3 ครั้ง โดยทำทีละชนิด

1.1 *Nostoc*

1.1.1 เตรียมน้ำ DI ปรับ pH ด้วย 10% NaOH และ 0.1 M HNO₃ ให้เป็น 3, 4, 5, 6 และ 7 โดยที่ระดับ pH ละ 200 ml ตรวจวัดด้วยเครื่อง pH meter

1.1.2 นำน้ำที่ปรับ pH แล้ว นำมาผสมตะกั่วให้มีความเข้มข้น 10 mg/l

1.1.3 ชั่งสาหร่าย 0.3 g ใส่ flask ขนาด 125 ml ทั้งหมด 15 ขวด

เลเบลให้เรียบร้อย และ เพิ่ม flask 1 ขวดในแต่ละ treatment ทำชุดควบคุมโดยไม่ใส่เซลล์สาหร่าย

1.1.4 เทสารละลายตะกั่วเข้มข้น 10 mg/l ใส่ flask ละ 30 ml ทำ treatment ละ 3 ซ้ำ เริ่มจับเวลา

1.1.5 นำสำลีสูดที่ปากขวดและปิดฟอย นำไปไว้บน Shaker 2 ชม.

1.1.6 เมื่อครบ 2 ชม. นำขวดออกจาก Shaker และ กรองสารละลายใส่หลอดทดลอง เก็บสารละลายที่ปริมาตร 10 มิลลิลิตร ปิดฟอย เข้าตู้เย็นเพื่อนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง AAS ต่อไป

1.1.7 นำสาหร่ายของแต่ละขวดที่อยู่บนผ้ากรองใส่กระถางฟอยเข้าตู้ Oven เพื่ออบแห้ง 24 ชม.

1.1.8 นำสาหร่ายมาชั่งน้ำหนัก และบันทึกผล

2. ทดลองเรื่องจำนวนเซลล์ ปริมาณ 0.05, 0.10, 0.15, 0.20 และ 0.25 กรัมในสารละลาย 30 ml

2.1 เตรียมสารละลายตะกั่วเข้มข้น 10mg/l ปริมาตร 600 ml ที่ pH 5

2.2 ชั่งสาหร่าย 0.05, 0.10, 0.15, 0.20 และ 0.25 กรัม ใส่ flask ขนาด 125 ml treatment ละ 3 ซ้ำ ทั้งหมด 15 ขวด เลเบลที่ขวด และ เพิ่ม flask อีก 3 flask ทำชุดควบคุมโดยไม่ใส่เซลล์สาหร่าย

2.3 เทสารละลายตะกั่วเข้มข้น 10mg/l ใส่ flask 30 ml เริ่มจับเวลา

2.4 นำสำลีสูดที่ปากขวดและปิดฟอย นำไปไว้บน Shaker 2 ชม.

2.5 เมื่อครบ 2 ชม. นำขวดออกจาก Shaker และ กรองสารละลายใส่หลอดทดลอง เก็บสารละลายปริมาตร 10 ml ปิดฟอย เก็บเข้าตู้เย็นเพื่อนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง AAS ต่อไป

2.6 นำสาหร่ายที่กรองเข้าตู้ Oven เพื่ออบแห้ง 24 ชม.

2.7 นำสาหร่ายมาชั่งน้ำหนัก และบันทึกผล

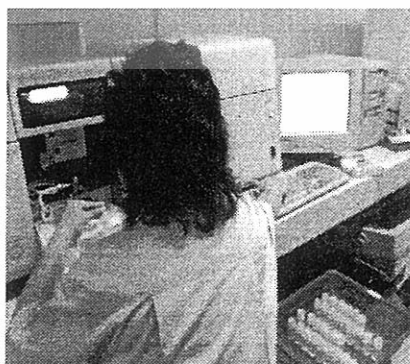
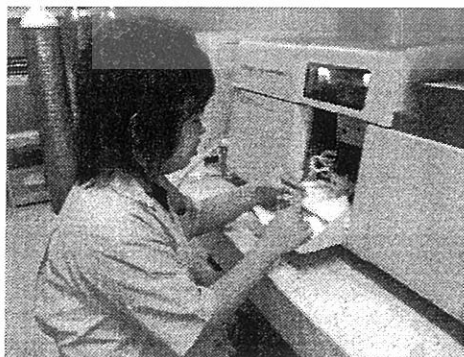
3. ทดลองเรื่องอายุเซลล์ ที่ 1, 2, 3 และ 4 สัปดาห์ ในสารละลาย 30 ml

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 3.1 เตรียมสารละลายตะกั่วเข้มข้น 10mg/l ปริมาตร 600 ml ที่ pH 5
- 3.2 ชั่งสารห่วย 0.15 กรัม ที่อายุเซลล์ 1, 2, 3 และ 4 สัปดาห์ ใส่ flask ขนาด 125 ml treatment ละ 3 ซ้ำ ทั้งหมด 12 ขวด เลเบลที่ขวด และ เพิ่ม flask อีก 3 ขวด ทำชุดควบคุมโดยไม่ใส่เซลล์สารห่วย
- 3.3 เติสารละลายตะกั่วเข้มข้น 10mg/l ใส่ flask 30 ml เริ่มจับเวลา
- 3.4 นำสำลีสูดที่ปากขวดและปิดฟอย นำไปไว้บน Shaker 2 ชม.
- 3.5 เมื่อครบ 2 ชม. นำขวดออกจาก Shaker และ กรองสารละลายใส่หลอดทดลองเก็บสารละลายปริมาตร 10 ml ปิดฟอย เก็บเข้าตู้เย็นเพื่อนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง AAS ต่อไป
- 3.6 นำสารห่วยที่กรองเข้าตู้ Oven เพื่ออบแห้ง 24 ชม.
- 3.7 นำสารห่วยมาชั่งน้ำหนัก และบันทึกผล

4. ทดลองเรื่องความเข้มข้นสารละลายตะกั่วที่ 10, 50, 100, 150, 200 และ 250 mg/l ในช่วงระยะเวลา 1, 2, 3, 4, 5, 7, 10, 15, 30 นาที, 1, 3, 6, 24, 36, 48, 60 และ 72 ชั่วโมง หลังจากเริ่มดูดซับ

- 4.1 สารละลายตะกั่วเข้มข้น 10 mg/l
 - 4.1.1 เตรียมสารละลายตะกั่วเข้มข้น 10 mg/l ที่ pH 5 ปริมาตร 600 ml
 - 4.1.2 ใช้ Syringe ดูดสารละลายตะกั่วเข้มข้น 10 mg/l ประมาณ 10 ml ฉีดผ่านผ้ากรองใส่ในหลอดทดลอง เป็นชุดควบคุม ปิดฟอย
 - 4.1.3 ชั่งสารห่วย 3 กรัม ใส่ในสารละลายที่เหลือ วางบน Magnetic stirrer ปรับความเร็วปานกลาง พร้อมจับเวลา
 - 4.1.4 ใช้ Syringe ดูดสารละลายขึ้น 30 ml แล้วฉีดผ่านผ้ากรอง ใส่ในหลอดทดลองเก็บที่ปริมาตร 10 ml ทุกๆ 1, 2, 3, 4, 5, 7, 10, 15, 30 นาที, 1, 3, 6, 24, 36, 48, 60 และ 72 ชั่วโมง ปิดฟอยให้เรียบร้อย เข้าตู้เย็นเพื่อนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง AAS



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวิเคราะห์ผล

ในเบื้องต้นนำสารละลายที่ได้จากการทดลองไป วิเคราะห์โดยเครื่อง AAS ต่อจากนั้นนำ ข้อมูลต่างๆที่บันทึก จะถูกนำมาวิเคราะห์เบื้องต้นโดยใช้โปรแกรม Microsoft Excel 1 และใช้ โปรแกรม DSAASTAT version 1.017 เป็นโปรแกรมในการวิเคราะห์ผล ซึ่งการทดลองนี้ใช้การ วิเคราะห์แบบ CRD โดยอธิบายผลเป็น LSD- Multiple comparison tests เพื่อเปรียบเทียบความ แตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพในการดูดซับตะกั่ว ในแต่ละการทดลอง

สถานที่การทดลอง

ภาควิชาวิทยาศาสตร์การประมง คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร

ระยะเวลาในการทดลอง

เดือนกันยายน พ.ศ. 2549 ถึงเดือนมีนาคม พ.ศ. 2550



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลองและวิจารณ์

จากการทดลองโดยใช้สาหร่าย *Nostoc* 0.2 กรัมต่อสารละลาย 20 มิลลิลิตร ในการบำบัดสารละลายตะกั่ว ($Pb(NO_3)_2$) เข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร นาน 2 ชั่วโมง ที่ระดับ pH 3, 4, 5, 6 และ 7 พบว่า *Nostoc* มีความสามารถในการดูดซับตะกั่วสูงสุดที่ระดับ pH 4 เท่ากับ 49.12 มิลลิกรัมต่อลิตร หรือ 99.65 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสังเกตได้จาก q value และ %remove ในตารางที่ 1 และ ตารางที่ 2 ซึ่ง % remove ไม่สามารถบ่งชี้ถึงความสามารถในการดูดซับตะกั่วได้อย่างชัดเจนเท่ากับ q value ดังนั้นจึงเลือกที่ระดับ pH 4 ใช้ในการศึกษาถึงปัจจัยอื่นๆ ที่มีผลต่อความสามารถในการดูดซับตะกั่ว

ตารางที่ 5 การดูดซับตะกั่วของสาหร่าย *Nostoc* ที่ระดับ pH ต่างกัน (Mean \pm S.E.)

pH	pH _i	pH _f	% remove	q value
3	3.02 \pm 0.00	3.32 \pm 0.05	3.15 \pm 0.56	1.49 \pm 0.30 ^a
4	4.00 \pm 0.00	5.21 \pm 0.57	89.95 \pm 6.28	29.32 \pm 2.82 ^b
5	5.08 \pm 0.00	6.91 \pm 0.06	98.76 \pm 0.63	57.27 \pm 0.06 ^c
6	6.02 \pm 0.00	6.97 \pm 0.07	97.34 \pm 0.82	29.25 \pm 0.48 ^b
7	7.00 \pm 0.00	7.07 \pm 0.13	96.06 \pm 1.56	28.45 \pm 1.42 ^b

อักษรที่ต่างกันในแนวตั้งแสดงว่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$), LSD

จากการทดลองเรื่องจำนวนเซลล์มีผลต่อการดูดซับตะกั่วของสาหร่าย *Nostoc* โดยใช้เซลล์ น้ำหนัก 0.05, 0.10, 0.15, 0.20 และ 0.25 กรัม ในสารละลาย 20 มิลลิลิตร ดูดซับสารละลายตัวเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร เขย่านานเวลา 2 ชั่วโมง พบว่าเมื่อปริมาณของตัวดูดซับทางชีวภาพเพิ่มขึ้น เปอร์เซ็นต์การดูดซับตะกั่วจะเพิ่มขึ้น ในทางตรงกันข้ามประสิทธิภาพในการดูดซับตะกั่วกลับไม่มีความสัมพันธ์ในลักษณะเดียวกันสังเกตแนวโน้ม (ภาพที่ 1) จากการทดลองพบว่าปริมาณสาหร่าย 0.2 ต่อสารละลายตะกั่วเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 20 มิลลิลิตร มีประสิทธิภาพในการดูดซับตะกั่ว (q value) สูงสุดอย่างมีนัยสำคัญ 80.10 มิลลิกรัมต่อกรัม ซึ่งห้มีค่า q สูงสุดอย่างมีนัยสำคัญ สอดคล้องกับ Gong *et al.* (2004) ได้ทดลอง อิทธิพลของปริมาณตัวดูดซับทางชีวภาพ (biosorbent dose) ในการดูดซับตะกั่วของสาหร่าย *S. maxima* ซึ่งได้ให้เหตุผลดังกล่าวว่าอาจเป็นเพราะเมื่อความหนาแน่นของปริมาณเซลล์เพิ่มขึ้นจะทำให้รอบกวนการยึด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อักษรที่ต่างกันในแนวตั้งแสดงว่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

ที่ระดับความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร จากการทดลองพบว่า ที่ระยะเวลา 24 ชั่วโมง หลังจากการดูดซับมี q value สูงที่สุด 80.1 มิลลิกรัมต่อกรัม และมีค่า %remove เท่ากับ 85.70 ส่วนที่ระยะเวลา 72 ชั่วโมงหลังจากการดูดซับมีค่า %remove เท่ากับ 99.64 แต่มี q value เท่ากับ 98.92 มิลลิกรัมต่อกรัม และพบว่าในช่วงเริ่มต้นมีการดูดซับอย่างรวดเร็วจนกระทั่งช่วงชั่วโมงที่ 24 ปริมาณการดูดซับตะกั่วของสาหร่าย สูงที่สุดและเข้าสู่สภาวะสมดุลซึ่งสังเกตจาก q value เป็นหลัก (ภาพที่ 2) ซึ่งจะกล่าวถึงการเข้าสู่สภาวะสมดุลอีกครั้งในส่วนของ kinetics

จากข้อมูลข้างต้นสามารถนำมาศึกษา kinetics การเกิดปฏิกิริยาจนกระทั่งเข้าสู่สภาวะสมดุลของการดูดซับตะกั่วโดยสาหร่าย *Nostoc* พบว่า แบ่งได้เป็น 2 ช่วง ช่วงแรกเกิดการดูดซับขึ้นอย่างรวดเร็ว ช่วงที่สองการดูดซับลดลงหรือเกิดขึ้นไม่รวดเร็วซึ่งสังเกตได้จากกราฟ และพบว่า ช่วงก่อน 24 ชั่วโมงเกิดการดูดซับอย่างรวดเร็ว เป็น Rapid stage และหลังจากช่วง 24 ชั่วโมง เป็น Lag stage ซึ่งพบว่าที่ 24 ชั่วโมง ปฏิกิริยาเข้าสู่สภาวะสมดุล ระยะเวลาที่ 24 ชั่วโมงหลังจากการดูดซับน่าจะเป็นช่วงอิมิตัวของการดูดซับทำให้เข้าสู่สภาวะสมดุลสังเกตจาก q value จากข้อมูลการศึกษา kinetics สามารถนำไปวิเคราะห์หา Isotherm กลไกการดูดซับได้ ซึ่งโดยทั่วไปสาหร่ายในกลุ่มไซยาโนแบคทีเรียจะเป็นกลไกการดูดซับแบบแลงเมียร์ ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของ Raungsomboon *et al.* (2006)

แบบจำลองของแลงเมียร์ (Langmuir)

$$C/q = K/Q_{max} + C/Q_{max}$$

C = ความเข้มข้นที่สภาวะสมดุล (มิลลิกรัมต่อลิตร)

q = ความสามารถในการดูดซับ (มิลลิกรัมต่อกรัม)

K = ค่าคงที่การดูดซับแบบชั้นเดียว

Q_{max} = ความสามารถในการดูดซับสูงสุด (มิลลิกรัมต่อกรัม)

สามารถคำนวณหา % absorption และ % desorption ได้อาศัยข้อมูล (ตารางที่ 13)

โดย % absorption หาจากสูตร $(C_i - C_{eq}) \times 100 / C_i$

และ % desorption หาจากสูตร $C_{eq} \times 100 / (C_i - C_{eq})$

โดยที่ C_i คือ ความเข้มข้นควบคุมไม่ได้ใส่สาหร่าย

C_{eq} คือ ความเข้มข้นตะกั่วที่อยู่ในสารละลายหลังจากผ่านการดูดซับ

C_{eq_0} คือ ความเข้มข้นตะกั่วที่อยู่ในสารละลายหลังจากผ่านการล้างตะกั่ว

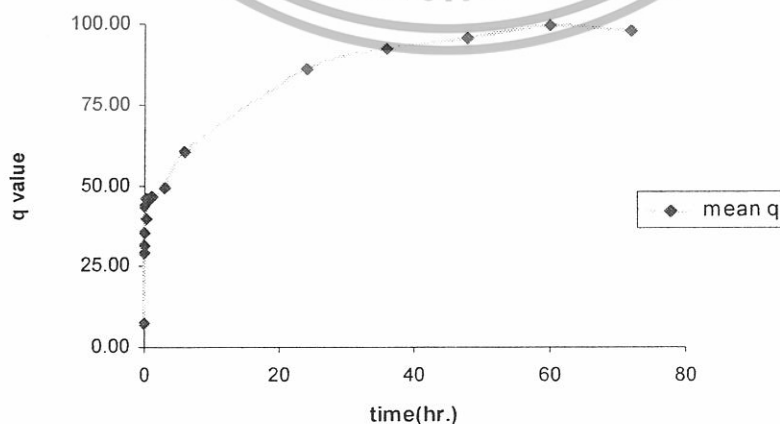
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการที่ได้จากกราฟ(ภาพที่ 7) $y = 0.0011x + 0.01$ พบว่า K_1 เท่ากับ 0.11, K_2 เท่ากับ 909.09 , R^2 เท่ากับ 0.7099 (ตารางที่ 11)

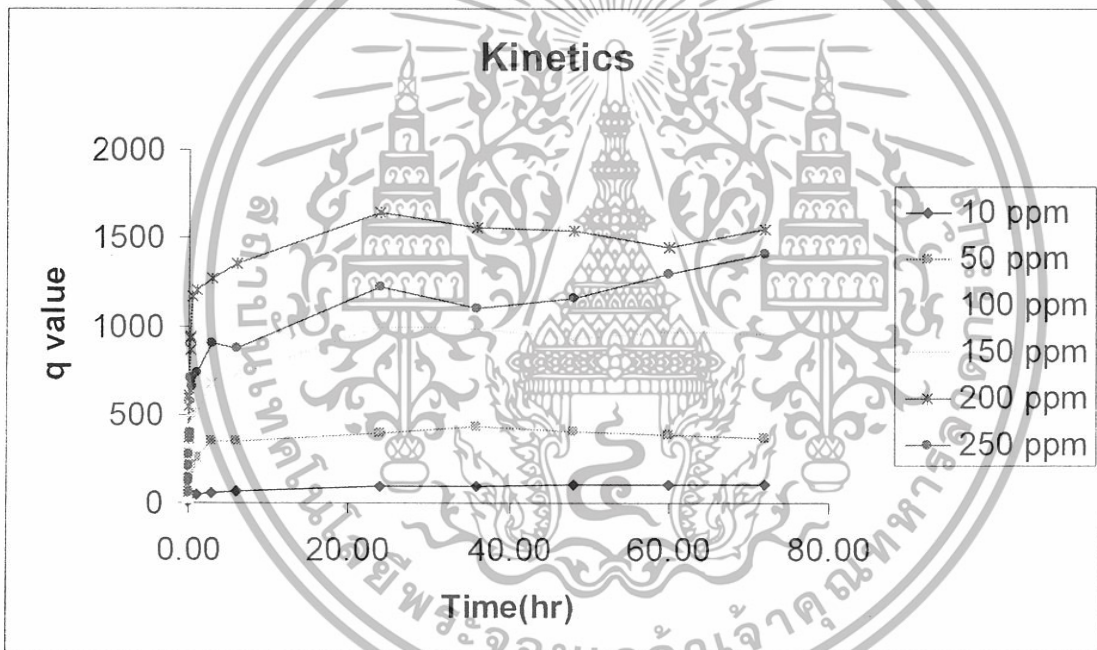
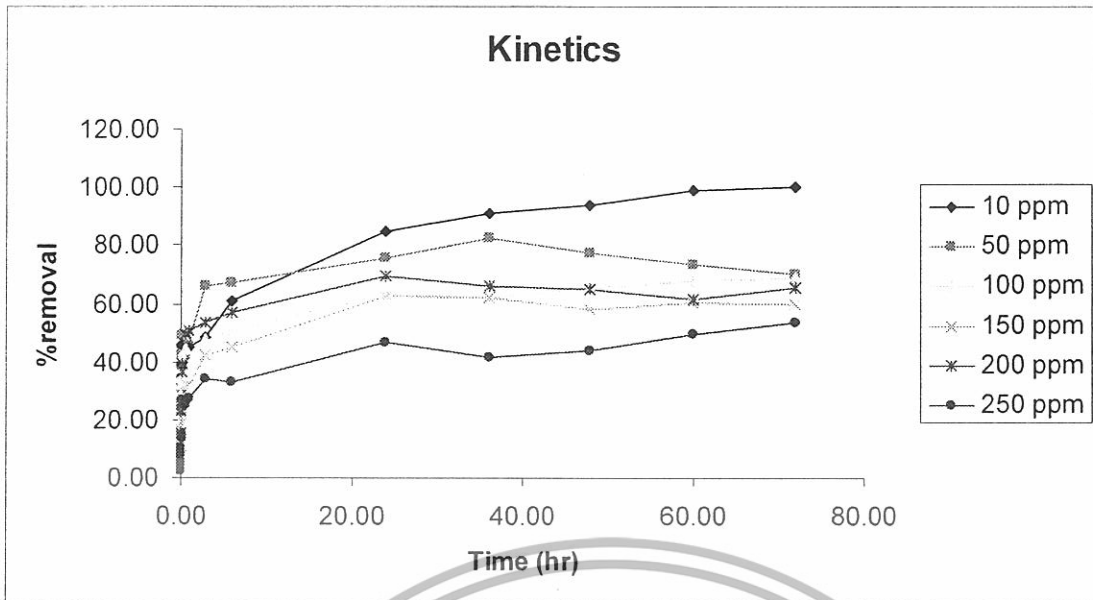
จากผลการทดลองการล้างการดูดซับตะกั่ว หรือ desorption ของสาหร่าย *Nostoc* พบว่า ในการดูดซับที่แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ เมื่อถูก desorb ด้วยสารละลายต่างชนิดกัน จะให้ %desorb ที่ต่างกัน พบว่า DI water สามารถล้างตะกั่วออกจากตัวดูดซับได้น้อยที่สุดอย่างมีนัยสำคัญ เท่ากับ 36.22 เปอร์เซ็นต์ ตรงกันข้าม EDTA และ nitric acid สามารถล้างตะกั่วออกจากตัวดูดซับได้สูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญ 82.89 และ 81.96 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับเมื่อเทียบกับ DI water ซึ่งค่า %desorb ระหว่าง EDTA และ nitric acid แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ ซึ่งผลการทดลองนี้สอดคล้องกับ Gong et al. (2004) ซึ่งทดลองโดยใช้สาหร่าย *S. maxima*



กราฟแสดงระยะเวลาในการดูดซับตะกั่ว



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



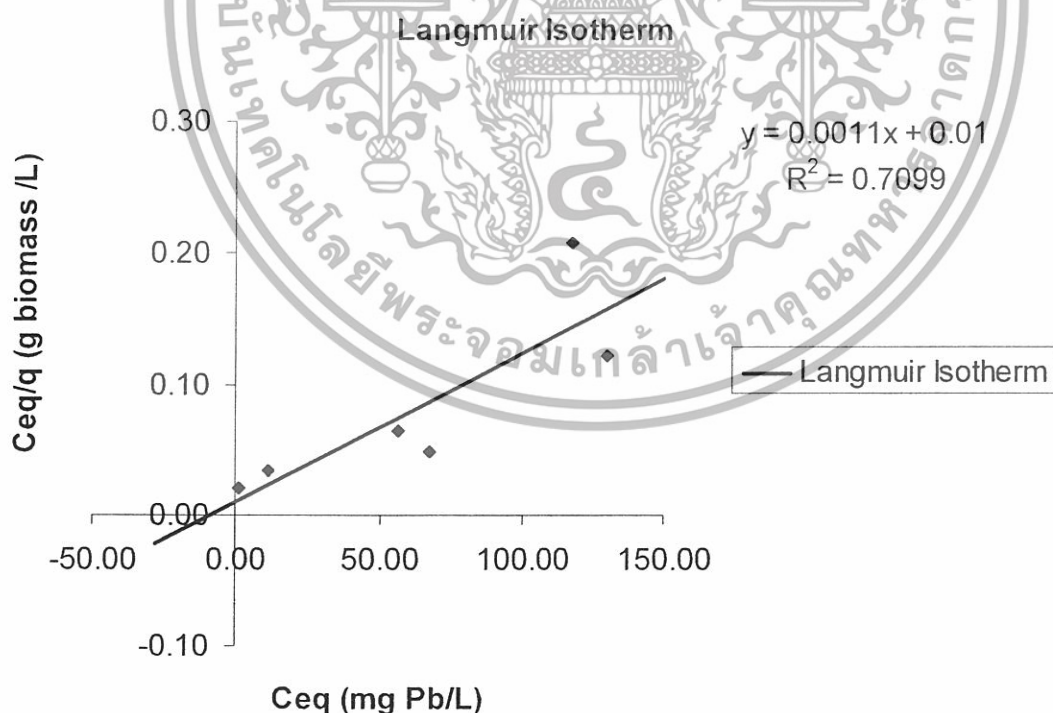
ภาพที่ 7 : Kinetics ของการดูดซับตะกั่วของสาหร่าย *nostoca* ที่ระดับความเข้มข้นต่างกัน 10, 50, 100, 150, 200 และ 250 มิลลิกรัมต่อลิตร (ppm) , pH 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 11 ประสิทธิภาพการดูดซับตะกั่วของสาหร่าย *Stigonema* สภาวะสมดุลย์ที่ระยะเวลา 24 ชั่วโมงหลังจากการดูดซับ ที่ ระดับความเข้มข้น 10, 50, 100, 150, 200, 250 มิลลิกรัมต่อลิตร, pH 5

24 ชั่วโมง				
มิลลิกรัมต่อลิตร	%remove	q value		
10	84.94 ± 2.68	77.30 ±	3.16 ^a	
50	75.52 ± 1.86	348.14 ±	15.23 ^b	
100	63.28 ± 1.93	565.85 ±	21.35 ^c	
150	62.47 ± 0.03	884.67 ±	25.19 ^d	
200	69.39 ± 2.19	1396.61 ±	36.73 ^e	
250	46.48 ± 2.48	1079.46 ±	86.52 ^f	

อักษรที่ต่างกันแสดงว่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)



ภาพที่ 8 : กราฟการดูดซับแบบแลงเมียร์ของการดูดซับตะกั่วโดยสาหร่าย *stigonema*

K_1 เท่ากับ 0.11, K_2 (q_{max}) เท่ากับ 909.09 มิลลิกรัมต่อกรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 12 แสดงค่า K_1 คือ ค่าคงที่การดูดซับแบบชั้นเดียว, K_2 คือ ความสามารถในการดูดซับสูงสุดจนวนิมิตัว (มิลลิกรัมต่อกรัม)

Langmuir Isotherm			
biosorbent	K_1	K_2	R^2
<i>stigonema</i>	0.11	909.09	0.7099

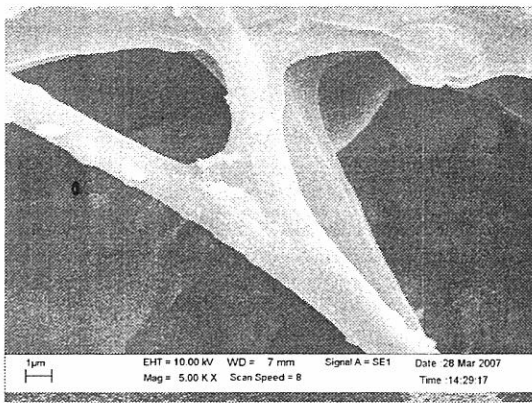
ตารางที่ 12 desorption ของการดูดซับตะกั่วของสาหร่าย *Stigonema* โดย 0.1 M EDTA, nitric Acid และ DI water ระยะเวลาในการดูดซับนาน 3 ชั่วโมง และ desorb นาน 3 ชั่วโมง ในสารละลายตะกั่วเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร (Mean \pm S.E.)

incubation	%adsorb		
	EDTA	nitric acid	DI water
	55.55 \pm 0.35 *	56.66 \pm 0.40 *	56.86 \pm 0.53 *
3 ชม.	% desorb		
	EDTA	nitric acid	DI water
	82.98 \pm 0.90 ^a	81.96 \pm 0.87 ^a	36.22 \pm 1.15 ^b

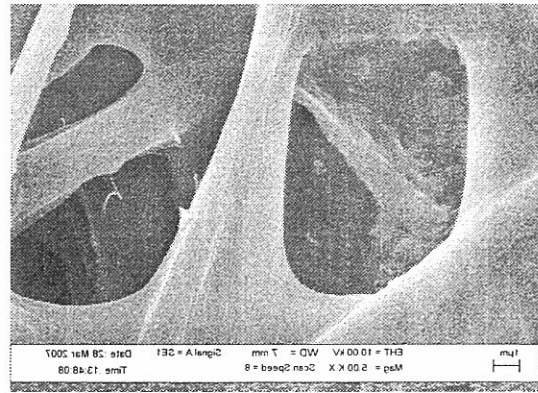
สัญลักษณ์ที่ต่างกันในแนวนอนแสดงว่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

อักษรที่ต่างกันในแนวนอนแสดงว่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



A



B

ภาพที่ 9: ภาพถ่ายของ *Nostoc* อบแห้งนาน 24 ชั่วโมง ถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน กำลังขยาย 10,000 เท่า (A คือ *Nostoc* ผ่านการดูดซับตะกั่ว, B คือ *Nostoc* ไม่ผ่านการดูดซับตะกั่ว นาน 24 ชั่วโมง)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุป

จากการศึกษาครั้งนี้สรุปได้ว่า *Nostoc sp.* ในการบำบัดตะกั่วออกจากน้ำเสียสังเคราะห์ พบว่าระดับพีเอชที่เหมาะสมในการดูดซับตะกั่วคือ พีเอช 4 ปริมาณเซลล์ที่มีความเหมาะสมในกำจัดตะกั่วคือ 0.2 กรัม และ พบว่าประสิทธิภาพในการดูดซับตะกั่วที่อายุเซลล์ 3 สัปดาห์มีการเจริญเติบโตที่ดีที่สุด ระยะเวลาที่เป็นจุดอิ่มตัวในการดูดซับตะกั่วคือ 60 ชั่วโมง ในการล้างตะกั่วออกจากตัวดูดซับ พบว่า EDTA และ nitric acid สามารถล้างตะกั่วออกจากตัวดูดซับได้ ซึ่งแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ ($p < 0.05$)

ข้อเสนอแนะ

Nostoc sp. มีความสามารถในการดูดซับสารละลายโลหะหนัก ออกจากน้ำที่ถูกปนเปื้อนได้ และการไหลห่วยเป็นตัวดูดซับน้ำที่ปนเปื้อน ในกรณีที่น้ำมีการปนเปื้อนของโลหะหนักมากกว่า 1 ชนิด จะทำให้สำหรับดูดซับสารพิษได้ยาก ไม่มีประสิทธิภาพ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- Chen, J.Z., X.C. Tao, J. Xu, T. Zhang and Z.L. Liu. 2005. Biosorption of lead, Cadmium and mercury by immobilized *Microcystis aeruginosa* in a column. *Process Biochemistry*. 40 : 3675-3679.
- Chojnacka, K., A. Chojnacki, H. Gorecka. 2003. Biosorption of Cr^{3+} , Cd^{2+} and Cu^{2+} ion by blue-green algae *Spirulina sp.* : kinetics, equilibrium and the mechanism of process. *Chemosphere*. 59 : 75-84.
- Gong, R., Yi D, Huijun L, Qiuyi C, Zhili L. 2003. Lead biosorption and desorption by intact and pretreated *spirulina maxima* biomass. *Chemosphere*. 58 : 125-130.
- Mohapatra, H., R. Gupta. 2004. concurrent sorption of Zn(II), Cu(II) and Co(II) by *Oscillatoria angustissima* as function of pH in binary metal solutions. *Bioresour. technology*. 96 : 1387-1398.
- Singh, S., S. Pradhan and L.C. Rai. Comparative assessment of Fe and Cu biosorption by field and laboratory-grown *Microcystis*.
- วัลภา อาชีวะบริสุทธิ์, วิโรจน์ บุญอ้วนวิทยา, สมนึก จารุติลกกุล, ละเอียด เพ็งโสภา และ สุรชิต ฮวดสาขา. 2543. การพัฒนาตัวดูดซับไอออนโลหะหนักจากวัสดุชีวมวลที่ไม่มีชีวิต. เอกสารการประชุมวิชาการทางวิศวกรรมเคมีและเคมีประยุกต์ ครั้งที่ 10. ไบเทค กรุงเทพฯ, หน้า 377-388.
- Nagase, H., D. Inthron, A. Oda, J. Nishimura, Y. Kajiwara, M. Park, K. Hirata and K. Miyamoto. 2005. Improvement of Selective Removal of Heavy Metals in Cyanobacteria by NaOH Treatment, *Bioscience and Bioengineering* 99 : 372-377.

<http://www.elib.ipst.ac.th/elib>

<http://www.fisheries.go.th/industry/news/>

<http://www.library.kmitnb.ac.th/projects/sci/IC/ic0053t.html>

<http://www.techno.msu.ac.th/>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้