

การกำจัดไตรวาเลนซ์โครเมียมโดยใช้ไซยาโนแบคทีเรีย *Rivularia* sp. และ *Stigonema minutum*

Removal of Cr^{+3} by *Rivularia* sp. and *Stigonema minutum*

ชนมสุข สุขุม (Chonmasuk Sukhum)* ดวงรัตน์ อินทร (Duangrat Inthorn)**

ไพทิพย์ ธีรเวชญาณ (Paitip Thiravetyan)***

บทคัดย่อ

คัดเลือกสายพันธุ์ไซยาโนแบคทีเรียที่สามารถกำจัดไตรวาเลนซ์โครเมียมจากไซยาโนแบคทีเรีย 5 ชนิด ได้แก่ *Rivularia* sp., *Stigonema* sp., *Anabaena* sp., *Stigonema minutum* และ *Hapalosiphon welwitschii* พบว่าสามารถกำจัดไตรวาเลนซ์โครเมียมได้ร้อยละ 90.81, 100, 83.71, 96.87 และ 93.40 ตามลำดับ การศึกษานี้ได้เลือกไซยาโนแบคทีเรีย *Rivularia* sp. และ *Stigonema minutum* เพราะมีอัตราการเจริญเติบโตสูง มีความสามารถในการกำจัดไตรวาเลนซ์โครเมียมสูง และมีรูปร่างของเซลล์เป็นเส้นสายทำให้สามารถแยกเซลล์ออกจากระบบบำบัดได้ง่ายด้วยการกรอง จากการศึกษาพบว่า สภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับไตรวาเลนซ์โครเมียมของไซยาโนแบคทีเรีย *Rivularia* sp. และ *Stigonema minutum* คือพีเอชเริ่มต้น 5 ปริมาณเซลล์เริ่มต้น 0.1 กรัม น้ำหนักเปียก (0.010 กรัม น้ำหนักแห้ง) สามารถดูดซับไตรวาเลนซ์โครเมียมสูงสุดเท่ากับ 38.27 และ 43.59 มิลลิกรัม ไตรวาเลนซ์โครเมียมต่อกรัม น้ำหนักแห้ง ตามลำดับ และการดูดซับเข้าสู่สมดุลภายในเวลา 120 นาที เมื่อความเข้มข้นเพิ่มขึ้นความสามารถในการดูดซับเพิ่มขึ้น ซึ่งกลไกการดูดซับและกลไกการระลอกของไตรวาเลนซ์โครเมียมจะทำการศึกษาต่อไป

ABSTRACT

Five strains of cyanobacteria were tested for Cr^{+3} in solution. There are *Rivularia* sp., *Stigonema* sp., *Anabaena* sp., *Stigonema minutum* and *Hapalosiphon welwitschii*. Results showed that the removal ability of Cr^{+3} was 90.81%, 100%, 83.71%, 96.87% and 93.40%, respectively. In this study, two cyanobacteria namely, *Rivularia* sp. and *Stigonema minutum* were selected for further experimental studies because of rapid growth, high Cr^{+3} removal ability and easy separation from synthetic solution because of filamentous characteristics. The results showed *Rivularia* sp. and *Stigonema minutum* had the highest Cr^{+3} adsorption at 38.27 and 43.59 mg Cr^{+3} /g dry wt., respectively at optimum initial pH of 5 and optimum cell concentration of 0.1 g wet wt. (0.010 g dry wt.). The adsorption reached equilibrium at 120 minutes. The adsorption of Cr^{+3} increased with increasing Cr^{+3} concentrations. Adsorption and desorption mechanism of Cr^{+3} by *Rivularia* sp. and *Stigonema minutum* will be studied for further.

คำสำคัญ : ไตรวาเลนซ์โครเมียม *Rivularia* sp. *Stigonema minutum*

Key Words : Cr^{+3} , *Rivularia* sp., *Stigonema minutum*

*บัณฑิตศึกษา หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาสุขภาพสิ่งแวดล้อม คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล

**รองศาสตราจารย์ สาขาสุขภาพสิ่งแวดล้อม คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล

***รองศาสตราจารย์ สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะทรัพยากรชีวภาพและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี วิทยาเขตบางขุนเทียน

บทนำ

การพัฒนากิจกรรมทางอุตสาหกรรมและเทคโนโลยีเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง ก่อให้เกิดมลพิษที่มีการปนเปื้อนลงสู่แหล่งน้ำเกินขีดจำกัด โดยเฉพาะอย่างยิ่งมลพิษโลหะหนักสามารถตกค้างได้ในทุกส่วนของสิ่งแวดล้อม และสามารถถ่ายทอดเข้าสู่สิ่งมีชีวิตผ่านทางห่วงโซ่อาหาร ประกอบกับความเป็นพิษของโลหะหนักหลายชนิดร้ายแรง เมื่อมีการสะสมในร่างกายของมนุษย์สามารถทำให้เกิดอันตรายร้ายแรงต่อสุขภาพได้ (King et. al., 2008) โลหะหนักบางชนิด เช่น ไตรวาเลนซ์โครเมียม มักปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อมอันเนื่องมาจากอุตสาหกรรมฟอกหนัง สีย้อม รักษาเนื้อไม้ เป็นต้น สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (The National Research Council, NRC) ได้กำหนดปริมาณโครเมียมที่บริโภคเข้าไปในปริมาณที่เพียงพอและปลอดภัยในแต่ละวัน มีค่าเท่ากับ 50-200 ไมโครกรัมต่อวัน ถึงแม้ว่าไตรวาเลนซ์โครเมียม จะมีความจำเป็นสำหรับการเผาผลาญของไขมันและโปรตีนในสิ่งมีชีวิต แต่ถ้าได้รับเข้าไปเกินกว่าที่กำหนดก็มีความเป็นไปได้ที่จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางพันธุกรรม (U.S. EPA, 1998) โดยทั่วไปการกำจัดโลหะหนักในน้ำเสียสามารถทำได้หลายวิธี ได้แก่ การออกซิเดชัน การกรอง การดูดซับ การแลกเปลี่ยนประจุ การตกตะกอนทางเคมี และการใช้ไฟฟ้า เป็นต้น ซึ่งวิธีการเหล่านี้มีประสิทธิภาพแต่มีค่าใช้จ่ายสูงในการดำเนินการ ใช้สารเคมีในปริมาณสูงและเหมาะสมในการกำจัดโลหะหนักที่มีความเข้มข้นสูง (Veglio & Beolchin, 1997) กระบวนการดูดซับโลหะหนักด้วยวิธีการทางชีวภาพเป็นวิธีที่มีค่าใช้จ่ายไม่สูง สามารถกำจัดโลหะหนักที่มีความเข้มข้นต่ำ สามารถนำโลหะหนักกลับมาใช้ใหม่ได้ และวัสดุดูดซับทางธรรมชาติที่นำมาใช้สามารถกำจัดได้ง่ายและไม่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม ปัจจุบันนี้สิ่งมีชีวิตที่นำมาใช้ในการศึกษาการดูดซับทางชีวภาพมีหลายชนิด เช่น สาหร่าย (Mata et al., 2008) แบคทีเรีย (Ansari & Malic, 2007) ยีสต์ (Goksungur et al., 2005)

และเชื้อรา (Fan et al., 2008) เป็นต้น ไชยาโนแบคทีเรียเป็นสิ่งมีชีวิตที่น่าสนใจในการนำมาเป็นตัวดูดซับทางชีวภาพเนื่องจากมีพื้นผิวสัมผัสปริมาณมาก พบทั่วไปในธรรมชาติ และมีประสิทธิภาพในการกำจัดโลหะหนักที่ปนเปื้อนอยู่ในน้ำเสียในปริมาณที่สูง (Dungkokkruad, 2002) นอกจากนั้น ไชยาโนแบคทีเรียสามารถเจริญเติบโตได้ภายในสภาวะที่มีสารอาหารต่ำเนื่องจากสามารถสังเคราะห์แสงและตรึงไนโตรเจนได้เอง และยังสามารถเพาะเลี้ยงได้ง่าย เนื่องจากประเทศไทยมีภูมิอากาศที่เหมาะสมและมีแสงแดดตลอดทั้งปี (Inthorn et al., 1996) งานวิจัยนี้ได้ทำการคัดเลือกสายพันธุ์ไชยาโนแบคทีเรียที่มีประสิทธิภาพสูงในการกำจัดไตรวาเลนซ์โครเมียม และศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการกำจัด เช่น ผลของระยะเวลาที่ใช้ในการสัมผัส ความเป็นกรด-ด่าง ปริมาณเซลล์เริ่มต้น และความเข้มข้นเริ่มต้นที่มีต่อประสิทธิภาพในการกำจัดไตรวาเลนซ์โครเมียม เป็นต้น

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. คัดเลือกสายพันธุ์ไชยาโนแบคทีเรียที่มีประสิทธิภาพสูงในการกำจัดโลหะหนักไตรวาเลนซ์โครเมียม
2. ศึกษาผลของระยะเวลาในการกำจัดโลหะหนักไตรวาเลนซ์โครเมียมโครเมียมโดยไชยาโนแบคทีเรีย *Rivularia* sp. และ *Stigonema minutum*
3. ศึกษาผลของความเป็นกรด-ด่างในการกำจัดโลหะหนักไตรวาเลนซ์โครเมียมโดยไชยาโนแบคทีเรีย *Rivularia* sp. และ *Stigonema minutum*
4. ศึกษาผลของปริมาณเซลล์เริ่มต้นในการกำจัดโลหะหนักไตรวาเลนซ์โครเมียมโดยไชยาโนแบคทีเรีย *Rivularia* sp. และ *Stigonema minutum*
5. ศึกษาผลของความเข้มข้นเริ่มต้นในการกำจัดโลหะหนักไตรวาเลนซ์โครเมียมโดยไชยาโนแบคทีเรีย *Rivularia* sp. และ *Stigonema minutum*

ระเบียบวิธีการวิจัย

1. การเพาะเลี้ยงไซยาโนแบคทีเรีย ไซยาโนแบคทีเรียที่ใช้ในการทดลองทั้งหมด 5 สายพันธุ์นำมาจากหน่วยปฏิบัติการเก็บรักษาสายพันธุ์จุลินทรีย์ ศูนย์พันธุวิศวกรรมและเทคโนโลยีชีวภาพแห่งชาติ (BIOTEC Culture Collection) สำนักงานวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (NSTDA) นำมาเพาะเลี้ยงใน Medium 18 ที่อุณหภูมิห้อง (28-30 องศาเซลเซียส) เชื้อเข้าด้วยเครื่องเขย่าความเร็วรอบ 100 รอบต่อนาที ความเข้มแสง 1,500 ลักซ์ ปรับให้มืด 12 ชม. สว่าง 12 ชม. ทำการเพาะเลี้ยงเป็นระยะเวลา 10 วัน จึงนำมาทดลอง (Inthorn et al., 1996)

2. การเตรียมสารละลายไดรวาเลนซ์โครเมียม เตรียมจากสารละลายมาตรฐาน $\text{Cr}(\text{NO}_3)_3$ และปรับพีเอชด้วยกรดไนตริกและโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.03 โมล

3. การวิเคราะห์ไดรวาเลนซ์โครเมียมด้วยเครื่อง Inductively Coupled Plasma Spectroscopy (ICPs) ที่ความยาวคลื่น 283.563 นาโนเมตร โดยเครื่อง Inductively Coupled Plasma Spectrometer, Jobin Yvon model JY124, France

วิธีการวิจัย

1. การคัดเลือกสายพันธุ์ไซยาโนแบคทีเรียที่มีประสิทธิภาพสูงในการกำจัดไดรวาเลนซ์โครเมียม แยกไซยาโนแบคทีเรียทั้ง 5 สายพันธุ์ออกจากอาหารเลี้ยงเชื้อด้วยการกรองด้วยผ้ากรองไนลอน ขนาด 50 ไมครอน หลังจากนั้นล้างเซลล์ด้วยน้ำกลั่น 2 ครั้ง ซึ่งน้ำหนักเปียกของไซยาโนแบคทีเรียแต่ละสายพันธุ์ 0.3 กรัม น้ำหนักเปียก (0.022 กรัม น้ำหนักแห้ง) ใส่ในสารละลายไดรวาเลนซ์โครเมียม ที่ความเข้มข้น 5 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 30 มิลลิลิตร พีเอช 7 เขย่าเป็นเวลา 120 นาที (ทำ 3 ซ้ำทุกสภาวะการทดลอง) เก็บตัวอย่างสารละลายที่แยกเซลล์ออกไปแล้วมาตรวจวิเคราะห์โลหะหนักด้วยเครื่อง Inductively Coupled Plasma Spectrometer (ICPs)

2. การศึกษาระยะเวลาในการกำจัดไดรวาเลนซ์โครเมียม ซึ่งน้ำหนักเปียกของไซยาโนแบคทีเรีย *Rivularia* sp. และ *Stigonema minutum* ทั้ง 2 สายพันธุ์ สายพันธุ์ละ 0.3 กรัม น้ำหนักเปียก (0.022 กรัม น้ำหนักแห้ง) ใส่ในสารละลายไดรวาเลนซ์โครเมียม ที่ 5 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 30 มิลลิลิตร พีเอช 7 เขย่าเป็นเวลา 360 นาที ทำการเก็บตัวอย่างสารละลายไดรวาเลนซ์โครเมียมที่เวลา 0, 30, 60, 120 และ 360 นาที (ทำ 3 ซ้ำทุกสภาวะการทดลอง) นำสารละลายไปตรวจวัดความเข้มข้นด้วยเครื่อง Inductively Coupled Plasma Spectrometer (ICPs)

3. การศึกษาพีเอชเริ่มต้นในการกำจัดไดรวาเลนซ์โครเมียม ซึ่งน้ำหนักเปียกของไซยาโนแบคทีเรีย *Rivularia* sp. และ *Stigonema minutum* ทั้ง 2 สายพันธุ์ สายพันธุ์ละ 0.3 กรัม น้ำหนักเปียก (0.022 กรัม น้ำหนักแห้ง) ใส่ในสารละลายไดรวาเลนซ์โครเมียม ที่ 5 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 30 มิลลิลิตร โดยปรับพีเอชเริ่มต้นเป็น 3, 5, 7 และ 9 ด้วยกรดไนตริกและโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.03 โมล เขย่าเป็นระยะเวลาที่เหมาะสมตามข้อ 2 (ทำ 3 ซ้ำทุกสภาวะการทดลอง) เก็บตัวอย่างสารละลายไดรวาเลนซ์โครเมียมไปตรวจวัดความเข้มข้นด้วยเครื่อง Inductively Coupled Plasma Spectrometer (ICPs)

4. การศึกษาปริมาณเซลล์เริ่มต้นในการกำจัดไดรวาเลนซ์โครเมียม ซึ่งน้ำหนักเปียกของไซยาโนแบคทีเรีย *Rivularia* sp. และ *Stigonema minutum* ทั้ง 2 สายพันธุ์ สายพันธุ์ละ 0.1, 0.3, 0.6 และ 0.9 กรัม น้ำหนักเปียก (0.010 ± 1 , 0.020 ± 1 , 0.035 ± 1 และ 0.050 ± 1 กรัม น้ำหนักแห้ง ตามลำดับ) ใส่ในสารละลายไดรวาเลนซ์โครเมียมที่ความเข้มข้น 5 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 30 มิลลิลิตร ระยะเวลาและพีเอชที่เหมาะสมตามข้อ 2 และ 3 ตามลำดับ (ทำ 3 ซ้ำทุกสภาวะการทดลอง) จากนั้นเก็บตัวอย่างสารละลายที่แยกเซลล์ออกไปแล้วมาตรวจวิเคราะห์ความเข้มข้นด้วยเครื่อง Inductively Coupled Plasma Spectrometer (ICPs)

5. การศึกษาความเข้มข้นเริ่มต้นในการกำจัดไทรวาเลนซ์โครเมียม ซึ่งน้ำหนักเซลล์ไซยาโนแบคทีเรีย *Rivularia* sp. และ *Stigonema minutum* ที่เหมาะสมตามข้อ 4 ใส่ในสารละลายโลหะหนักไทรวาเลนซ์โครเมียมที่มีความเข้มข้นต่างๆ คือ 10, 50, 100 และ 500 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 30 มิลลิลิตร ระยะเวลาและพีเอชที่เหมาะสมตามข้อ 2 และ 3 ตามลำดับ (ทำ 3 ซ้ำทุกสภาวะการทดลอง) จากนั้นเก็บตัวอย่างสารละลายที่แยกเซลล์ออกไปแล้วมาตรวจวิเคราะห์ความเข้มข้นด้วยเครื่อง Inductively Coupled Plasma Spectrometer (ICPs)

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

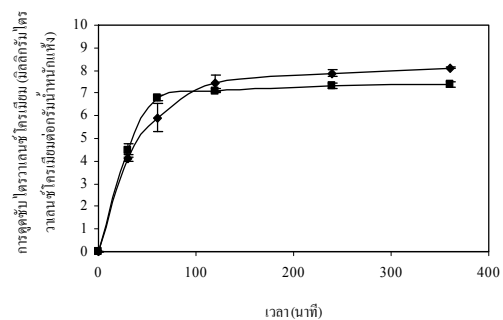
1. การคัดเลือกสายพันธุ์ไซยาโนแบคทีเรียที่มีประสิทธิภาพสูงในการกำจัดไทรวาเลนซ์โครเมียม

จากผลการคัดเลือกพบว่าไซยาโนแบคทีเรียทั้ง 5 ชนิด ได้แก่ *Rivularia* sp., *Stigonema* sp., *Anabaena* sp., *Stigonema minutum* และ *Hapalosiphon welwitschii* สามารถกำจัดไทรวาเลนซ์โครเมียมได้สูงที่ร้อยละ 90.81, 100, 83.71, 96.87 และ 93.40 ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Bishnoi et al. (2007) พบว่าสาหร่าย *Spirogyra* spp. สามารถกำจัดไทรวาเลนซ์โครเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์ได้มากกว่าร้อยละ 70 จึงได้เลือกไซยาโนแบคทีเรีย *Rivularia* sp. และ *Stigonema minutum* ทั้ง 2 สายพันธุ์เพื่อทำการศึกษาต่อไป เนื่องจาก มีอัตราการเจริญเติบโตสูง มีความสามารถในการกำจัดไทรวาเลนซ์โครเมียมสูง และมีรูปร่างของเซลล์เป็นเส้นสายทำให้สามารถแยกเซลล์ออกจากระบบบำบัดได้ง่ายด้วยการกรอง

2. ผลของระยะเวลาในการกำจัดไทรวาเลนซ์โครเมียม

จากรูปที่ 1 พบว่าไซยาโนแบคทีเรีย *Rivularia* sp. และ *Stigonema minutum* มีรูปแบบในการกำจัดที่คล้ายกัน โดยมีการดูดซับไทรวาเลนซ์โครเมียมเท่ากับ 7.44 และ 7.11 มิลลิกรัมไทรวาเลนซ์โครเมียมต่อกรัมน้ำหนักแห้งตามลำดับ พบว่าการดูดซับจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วภายใน

60 นาที เนื่องจากเป็นการดูดซับทางกายภาพหรือเป็นการแลกเปลี่ยนไอออนที่ผิวเซลล์ของไซยาโนแบคทีเรีย และเข้าสู่สมดุลในระยะเวลา 120 นาที หลังจากนั้น การดูดซับจะค่อนข้างคงที่ เนื่องจากการดูดซับโลหะหนักเข้าไปภายในเซลล์ของไซยาโนแบคทีเรียอย่างช้าๆ ซึ่งเกี่ยวข้องกับกลไกต่างๆ เช่น คอมเพล็กซ์เชน ไมโครพลิซิทเพชัน หรือการอิมมูบิไลซ์ผิวเซลล์ของไซยาโนแบคทีเรีย (Onyancha et al., 2008) ดังนั้น ระยะเวลาที่เหมาะสมที่ใช้ในการทดลองต่อไปคือ 120 นาที

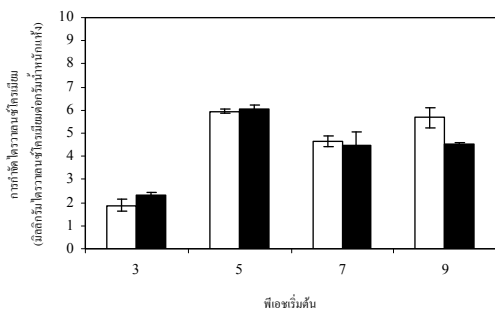


รูปที่ 1 กราฟแสดงความสามารถในการดูดซับไทรวาเลนซ์โครเมียมของไซยาโนแบคทีเรีย *Rivularia* sp. (●) และ *Stigonema minutum* (■) ที่ระยะเวลาต่างๆ ความเข้มข้น 5 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณเซลล์เริ่มต้น 0.3 กรัม น้ำหนักเปียก พีเอช 7

3. ผลของพีเอชเริ่มต้นในการกำจัดไทรวาเลนซ์โครเมียม

พีเอชเป็นพารามิเตอร์หนึ่งที่มีผลต่อการดูดซับโลหะหนัก พีเอชของสารละลายมีอิทธิพลต่อทั้งพื้นผิวเซลล์ที่เกาะติดกับโลหะหนักและคุณสมบัติของโลหะหนักในน้ำ (Lia et al., 2006) จากการศึกษาพบว่าพีเอชเริ่มต้นเท่ากับ 3 ไซยาโนแบคทีเรีย *Rivularia* sp. และ *Stigonema minutum* สามารถดูดซับไทรวาเลนซ์โครเมียมได้น้อย เนื่องจากเกิดการแข่งขันกันระหว่างไฮโดรเจนไอออนและไทรวาเลนซ์โครเมียมในการเข้าเกาะจับที่ตำแหน่ง binding site เดียวกันจึงทำให้การดูดซับไทรวาเลนซ์โครเมียมโดยไซยาโนแบคทีเรียลดลง (Mor et al., 2006) เพราะแรงผลักกันทางไฟฟ้า และการดูดซับที่มากที่สุดของไทรวาเลนซ์โครเมียมโดยไซยาโน

แบคทีเรีย *Rivularia* sp. และ *Stigonema minutum* มีค่ามากที่สุดที่พีเอช 5 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 5.96 และ 6.07 มิลลิกรัมไตรวาเลนซ์โครเมียมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ แสดงดังรูปที่ 2 ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Bishnoi et al. (2007) พบว่าการดูดซับที่มากที่สุดของไตรวาเลนซ์โครเมียมโดยมวลชีวภาพ *Spirogyra* spp. จะเกิดขึ้นที่พีเอช 5 เนื่องจากปริมาณไฮดรอกไซด์ไอออนเพิ่มขึ้นทำให้ไตรวาเลนซ์โครเมียมซึ่งมีประจุบวกสามารถจับกับหมู่ไฮดรอกซิลที่ผิวเซลล์ของไซยาโนแบคทีเรียได้มากขึ้น ความสามารถในการดูดซับจึงมีค่ามาก และเมื่อพีเอชมีค่าสูงกว่า 5 ความสามารถในการดูดซับลดลง เนื่องจากการตกตะกอนทางเคมีของ $\text{Cr}(\text{OH})_3$ และปริมาณไอออนอิสระที่มีอยู่ในสารละลายลดลง (Bai et al., 2001) ดังนั้นการกำจัดไตรวาเลนซ์โครเมียมที่พีเอช 5 นี้จึงนำไปใช้ในการทดลองต่อไป

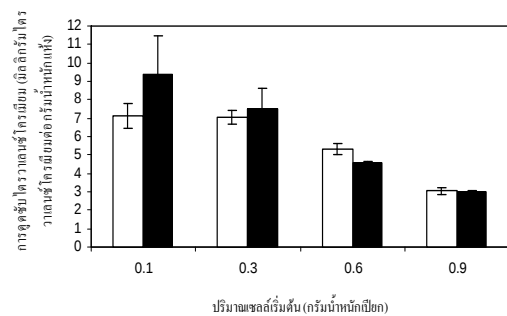


รูปที่ 2 กราฟแสดงความสามารถในการดูดซับไตรวาเลนซ์โครเมียมของไซยาโนแบคทีเรีย *Rivularia* sp. (□) และ *Stigonema minutum* (■) ที่พีเอชเริ่มต้นต่างๆ ความเข้มข้น 5 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณเซลล์เริ่มต้น 0.3 กรัมน้ำหนักเปียก ระยะเวลาสัมผัส 120 นาที

4. ผลของปริมาณเซลล์เริ่มต้นในการกำจัดไตรวาเลนซ์โครเมียม

จากการศึกษาพบว่าปริมาณเซลล์เริ่มต้น 0.1 กรัม น้ำหนักเปียก (0.010 กรัม น้ำหนักแห้ง) ของไซยาโนแบคทีเรีย *Rivularia* sp. และ *Stigonema minutum* มีความสามารถในการดูดซับไตรวาเลนซ์โครเมียมได้สูงสุด รองลงมาคือ 0.3, 0.6 และ 0.9 กรัม น้ำหนักเปียก (0.020, 0.035 และ 0.050 กรัม น้ำหนักแห้ง) ตามลำดับ

ดังรูปที่ 3 ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Romera et al. (2007) พบว่าความสามารถในการดูดซับแคดเมียม นิกเกิล สังกะสี ทองแดงและตะกั่วโดยใช้สาหร่ายที่ต่างชนิดกัน เมื่อปริมาณเซลล์เริ่มต้นน้อยจะมีความสามารถในการดูดซับดีกว่าที่ปริมาณเซลล์เริ่มต้นมาก เนื่องจากที่ปริมาณเซลล์เริ่มต้นมากนั้นเซลล์จะรวมตัวกันยุ่งเหยิงหนาแน่นจะทำให้พื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างผิวเซลล์ของไซยาโนแบคทีเรียและโลหะหนักลดลง (Ahuja et al., 1999)

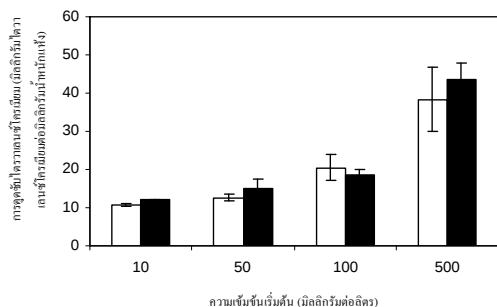


รูปที่ 3 กราฟแสดงความสามารถในการดูดซับไตรวาเลนซ์โครเมียมของไซยาโนแบคทีเรีย *Rivularia* sp. (□) และ *Stigonema minutum* (■) ที่ปริมาณเซลล์เริ่มต้นต่างๆ ความเข้มข้น 5 มิลลิกรัมต่อลิตร พีเอช 5 ระยะเวลาสัมผัส 120 นาที

5. ผลของความเข้มข้นเริ่มต้นในการกำจัดไตรวาเลนซ์โครเมียม

จากการศึกษาพบว่า เมื่อความเข้มข้นไตรวาเลนซ์โครเมียมเพิ่มขึ้นจาก 10 เป็น 500 มิลลิกรัมต่อลิตร ความสามารถในการดูดซับโลหะหนักก็เพิ่มขึ้นจาก 10.56 เป็น 38.27 มิลลิกรัมไตรวาเลนซ์โครเมียมต่อกรัม น้ำหนักแห้ง และ 11.97 เป็น 43.59 มิลลิกรัมไตรวาเลนซ์โครเมียมต่อกรัม น้ำหนักแห้ง ของไซยาโนแบคทีเรีย *Rivularia* sp. และ *Stigonema minutum* ตามลำดับ เนื่องจากที่ความเข้มข้นสูงจะมีปริมาณไอออนโลหะหนักเป็นจำนวนมากในสารละลายและเกิดปฏิกิริยาทางไฟฟ้าระหว่างไอออนโลหะหนักกับพื้นผิวของไซยาโนแบคทีเรีย ดังรูปที่ 4 ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Yao et al. (2009) พบว่าเมื่อความ

เข้มข้นไตรวาเลนซ์โครเมียมเพิ่มขึ้นจาก 20 เป็น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ความสามารถในการดูดซับไตรวาเลนซ์โครเมียมด้วยแอรบิกกรานูลจะเพิ่มขึ้นจาก 18.6 เป็น 56.5 มิลลิกรัมไตรวาเลนซ์โครเมียมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง



รูปที่ 4 กราฟแสดงความสามารถในการดูดซับไตรวาเลนซ์โครเมียมของไซยาโนแบคทีเรีย *Rivularia* sp. (□) และ *Stigonema minutum* (■) ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นต่างๆ ระยะเวลาสัมผัส 120 นาที พีเอช 5 ปริมาณเซลล์เริ่มต้นที่ 0.1 กรัมน้ำหนักเปียก

สรุปผลการวิจัย

ไซยาโนแบคทีเรีย *Rivularia* sp. และ *Stigonema minutum* มีความสามารถในการดูดซับไตรวาเลนซ์โครเมียมได้ดี จากการศึกษพบว่าระยะเวลาสัมผัส พีเอชเริ่มต้น ปริมาณเซลล์เริ่มต้น และความเข้มข้นเริ่มต้นมีผลอย่างมากในกระบวนการดูดซับทางชีวภาพ ซึ่งสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับไตรวาเลนซ์โครเมียมคือพีเอชเริ่มต้น 5 ปริมาณเซลล์เริ่มต้น 0.1 กรัมน้ำหนักเปียก (0.010 กรัมน้ำหนักแห้ง) ความเข้มข้นไตรวาเลนซ์โครเมียม 500 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งมีการดูดซับไตรวาเลนซ์โครเมียมสูงสุดเท่ากับ 38.27 และ 43.59 มิลลิกรัมไตรวาเลนซ์โครเมียมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง ในไซยาโนแบคทีเรีย *Rivularia* sp. และ *Stigonema minutum* ตามลำดับ และจากการศึกษาพบว่า เมื่อความเข้มข้นไตรวาเลนซ์โครเมียมเพิ่มขึ้นจาก 10 เป็น 500 มิลลิกรัมต่อลิตรความสามารถในการดูดซับโลหะหนักก็เพิ่มขึ้นจาก 10.56 เป็น 38.27 มิลลิกรัมไตรวาเลนซ์

โครเมียมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง และ 11.97 เป็น 43.59 มิลลิกรัมไตรวาเลนซ์โครเมียมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง ของไซยาโนแบคทีเรีย *Rivularia* sp. และ *Stigonema minutum* ตามลำดับ แสดงให้เห็นถึงความสามารถในการกำจัดไตรวาเลนซ์โครเมียมของไซยาโนแบคทีเรีย *Rivularia* sp. และ *Stigonema minutum* ถือได้ว่าเป็นวัสดุดูดซับทางชีวภาพชนิดหนึ่งที่มีความเป็นไปได้ในการกำจัดไตรวาเลนซ์โครเมียมในสิ่งแวดล้อม นอกจากนี้ยังมีการลงทุนต่ำ (Trivedy, 1998) หรือเป็นอีกแนวทางในการแก้ไขปัญหาการปนเปื้อนไตรวาเลนซ์โครเมียมในแหล่งน้ำ

ข้อเสนอแนะ

1. จากผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าไซยาโนแบคทีเรีย *Rivularia* sp. และ *Stigonema minutum* มีประสิทธิภาพค่อนข้างสูงในการกำจัดไตรวาเลนซ์โครเมียม ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการกำจัดไตรวาเลนซ์โครเมียมในน้ำเสียที่มีความเข้มข้นในช่วงกว้างได้
2. ในการศึกษาต่อไปควรศึกษาวิธีการปรับปรุงประสิทธิภาพไซยาโนแบคทีเรียด้วยวิธีการใหม่ๆ เพื่อเป็นทางเลือกหนึ่งในการกำจัดโลหะหนักในน้ำ

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสำนักงานการอุดมศึกษา (สกอ) ที่ให้ทุนสนับสนุนการวิจัยนี้และขอบคุณศูนย์พันธุวิศวกรรมและเทคโนโลยีชีวภาพแห่งชาติ (BIOTEC Culture Collection) สำนักงานวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (NSTDA) สำหรับสายพันธุ์ไซยาโนแบคทีเรียที่ใช้ในการทดลอง

เอกสารอ้างอิง

- Ahuja, P., Gupta, R., and Saxena, RK. 1999. Zn²⁺ biosorption by *Oscillatoria angustissima*. Process Biochemistry. 34: 77-85.

- Ansari, MI., and Malik, A. 2007. Biosorption of nickel and cadmium by metal resistant bacterial isolates from agricultural soil irrigated with industrial wastewater. *Biores Technol.* 98: 3149-3153.
- Bai, RS., and Abraham, TE. 2001. Biosorption of Cr(VI) from aqueous solution by *Rhizopus nigricans*. *Bioresour. Technol.* 79: 73-81.
- Bishnoi, NR., Kumar, R., Kumar, S., and Rani, S. 2007. Biosorption of Cr(III) from aqueous solution using algal biomass *spirogyra* spp. *J. Hazard Mater.* 145: 142-147.
- Dungkokkruad, N. 2002. Removal of cadmium and lead in aqueous solution by *Nostoc Paludosum* and *Phormidium angustissimum*. M.S. Thesis, Department of Environmental Health Science, Mahidol University, Thailand.
- Fan, T., Liu, Y., Feng, B., Zeng, G., Yang, C., Zhou, M., Zhou, H., Tan, Z., and Wang, X. 2008. Biosorption of cadmium (II), zinc (II) and lead (II) by *Penicillium simplicissimum*: Isotherms, kinetics and thermodynamics. *J. Hazard Mater.* 160: 655-661.
- Goksungur, Y., Uren, S., and Guven, U. 2005. Biosorption of cadmium and lead ions by ethanol treated waste baker's yeast biomass. *Biores Technol.* 96(1): 103-109.
- Inthorn, D., Nagase, H., Isaji, Y., Hirata, K. and Miyamoto, K. 1996. Removal of cadmium from aqueous solution by the filamentous cyanobacterium *Tolypothrix tenuis*. *Journal of Fermentation AND Bioengineering.* 82: 580-584.
- King, P., Anuradha, K., Lahari, SB., Kumar, YP., and Prasad, VSRK. 2008. Biosorption of zinc from aqueous solution using *Azadirachta indica* bark: Equilibrium and kinetic studies. *J. Hazard Mater.* 152: 324-329.
- Lia, ZY., Guo, SY., and Li, L. 2006. Study on the process, thermodynamical isotherm and mechanism of Cr(III) uptake by *Spirulina platensis*. *J. Food Eng.* 75: 129-136.
- Mata, YN., Blazquez, ML., Ballester, A., Gonzalez, F., and Munoz, JA. 2008. Characterization of the biosorption of cadmium, lead and copper with the brown alga *Fucus vesiculosus*. *J. Hazard Mater.* 158: 316-23.
- Mor, S., Khaiwal, R., and Bishnoi, NR. 2006. Adsorption of chromium from aqueous solution by activated alumina and activated charcoal. *Bioresour. Technol.* in press.
- Onyancha, D., Mavura, W., Ngila, J., Ongoma, P., and Chacha, J. 2008. Studies of chromium removal from tannery wastewaters by algae biosorbents, *Spyrogyra condensata* and *Rhizochlonium hieroglyphicum*. *J. Hazard Mater.* 158: 605-614.
- Romara, E., Gonzalez, F., Ballester, A., Blazquez, ML., and Munoz, JA. 2007. Comparative study of biosorption of heavy metals using different types of algae. *Bioresour. Technol.* 98: 3344-3353.
- Trivedy, RK. 1998. *Advances in wastewater treatment technologies*. India: Grobal Science.
- U.S. Environmental Protection Agency. 1998. *Toxicological Review of Trivalent Chromium*. Washington, DC.

- Veglio, F., and Beolchin, F. 1997. Removal of metals by biosorption: a review. *Hydrometallurgy*. 44: 301-16.
- Yao, L., Ye, Zheng-fang., Tong, Mei-ping., Lai, P., and Ni, Jin-ren. 2009. Removal of Cr^{+3} from aqueous solution by biosorption with aerobic granules. *J. Hazard Mater.* 165: 250-255.