การย่อยสลายสาร 2,4-D โดย *Nostoc hatei* และ *Anabaena lutea*

Biodegradation of 2,4-D by *Nostoc hatei* and *Anabaena lutea*

วารินาถ โขพิมาย (Warinat Kophimail)* **ดร.สุมนทิพย์ บุนนาค** (Dr. Sumontip Bunnag)**

บทคัดย่อ

2,4-dichlorophenoxyacetic acid (2,4-D) เป็นกำจัดวัชพืชที่นิยมใช้ควบคุมวัชพืชใบกว้างในนาข้าว การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินความสามารถของ *Nostoc hatei* และ *Anabaena lutea* ในการย่อยสลายสาร 2,4-D ที่ปนเปื้อนในน้ำจากนาข้าวโดยทดลองเลี้ยงสาหร่ายสองชนิดในน้ำตัวอย่างจากนาข้าวที่มีส่วนผสมของอาหารเพาะเลี้ยงสูตร N-free ในอัตราส่วนต่างๆ กันตั้งแต่ 0-100% แต่ละการทดลองได้เติม 2,4-D ความเข้มข้น 100 มก./ล. ทำการเพาะเลี้ยงเป็นเวลา 14 วัน พบว่าสาหร่ายสองชนิดสามารถย่อยสลาย 2,4-D ความเข้มข้น 100 มก./ล. ที่ปนเปื้อนในน้ำตัวอย่างความเข้มข้น 100 % ได้ดีที่สุด จากทำการศึกษาผลของ pH ต่อการย่อยสลายของสาร 2,4-Dพบว่าสาหร่ายสองชนิดสามารถย่อยสลาย 2,4-D ได้ดีที่สุดที่ pH 7 เมื่อตรวจสอบโดยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์พบว่ามีปริมาณ 2,4-D คงเหลือ 60.27 มก./ล.

ABSTRACT

2,4-diichlorophenoxyacetic acid (2,4-D) is one of the most commonly use as herbicide for broad-leaved weed control in rice paddy fields. The objective of this study was to evaluate the potential of mixed cultures of *Nostoc hatei* and *Anabaena lutea* in the biodegradation of 2,4-D in the contaminated water from rice paddy fields. Experiments were performed by incubating the mixed culture of *N. hatei* and *A. lutea* in water sample mixed with N-free medium at different ratios, ranging from 0-100%. The biodegradation experiments were added with 100 mg/l 2,4-D for 14 day. The results showed that the mixed cultures of *N. hatei* and *A. lutea* could survive and degrade 100 mg./l. 2,4-D in 100% contaminated water sample. The effect of pH on the biodegradation of the 2,4-D was also investigated. The results demonstrated that the mixed cultures of *N. hatei* and *A. lutea* performed the best biodegradation activity at pH 7.The 2,4-D residues of 60.27 mg/l were detected by spectrophotometer

คำสำคัญ : นอสตอก แอนาบินา สารกำจัดวัชพืช 2,4-ดี

Key Words : *Nostoc, Anabaena*, 2,4-D herbicide

**นักศึกษา หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.*

***รองศาสตราจารย์ ภาควิชาชีววิทยาคณะวิทยาศาสตร์มหาวิทยาลัยขอนแก่น.*

บทนำ

ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรมและเป็นแหล่งผลิตอาหารที่สำคัญแห่งหนึ่งของโลก ในปัจจุบันระบบเกษตรกรรมของไทยถูกผลักดันเข้าสู่ระบบเกษตรกรรมกระแสหลัก (Mainstream agriculture) หรือเกษตรกรรมเคมี เห็นได้จากปริมาณการนำเข้าปุ๋ยเคมีและสารป้องกันกำจัดศัตรูพืชที่เพิ่มขึ้นจาก 3.9 ล้านตัน ในปี 2551 เป็น 5.8 ล้านตัน ในปี 2555 สารป้องกันและกำจัดศัตรูพืชที่มีการนำเข้ามากที่สุด 5 อันดับในปี 2551-2555 ได้แก่ glyphosate, paraquat, 2,4-D, ametry และ atrazine (สำนักงานควบคุมพืชและวัสดุทางการเกษตร,2555) จากความนิยมในการใช้ปุ๋ยเคมีและสารป้องกันกำจัดศัตรูอย่างแพร่หลาย ทำให้เกิดการปนเปื้อนของสารเคมีต่างๆ ลงสู่ดินและแหล่งน้ำ ก่อให้เกิดปัญหาตามมา เช่น ปัญหาความเสื่อมโทรมของทรัพยากรดินและแหล่งน้ำ ปัญหาด้านอุปโภคบริโภค รวมทั้งส่งผลด้านสุขภาพของมนุษย์ เนื่องจากสารเคมีป้องกันและกำจัดศัตรูพืชประกอบด้วยสารต่างๆ ที่ส่งผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์ทั้งเฉียบพลันและเรื้อรัง (อุไรวรรณ,2545)

ปัจจุบันมีงานวิจัยมากมายเกี่ยวกับการนำสาหร่ายหลายชนิดมาใช้ย่อยสลายสารกำจัดวัชพืชที่ปนเปื้อนในแหล่งน้ำในหลายๆ พื้นที่ เช่น Megharaj *et al*. (1987) พบว่าสาหร่ายสีเขียว 2 ชนิด คือ *Chlorella vulgaris* และ*Scenedesmus bijugatus* และไซยาโนแบคทีเรียอีก 3 ชนิด ได้แก่ *Synechococcus elongatus, Phormidium tenue* และ*Nostoc linckia* สามารถย่อยสลายสารกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตได้ และ Lei *et al*. (2002) พบว่าไซยาโนแบคทีเรีย 2 ชนิด คือ *Anabaena sp*. และ*Aulosira fertilissima* มีความ สามารถย่อยสลายสารในกลุ่มออร์กาโนคลอรีน กลุ่มออร์กาโนฟอสเฟสและกลุ่มคลอโรฟีนอกซีอะซิติกแอซิด เช่น ดีดีที เฟนไนโตรไธออน และ 2,4-D และพบว่าสาหร่ายหลายชนิดมีประสิทธิภาพดีในการย่อยสลายสารกำจัดวัชพืช 2,4-D (Galhano *et al*.,2010) การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมต่อการย่อยสลายสาร 2,4-D โดยใช้สาหร่ายสีเขียมแกมน้ำเงิน *Nostoc hatei* และ *Anabaena lutea*ร่วมกันเพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานในการนำไปประยุกต์ใช้ในการบำบัดน้ำเสียที่เกิดจากภาคการเกษตรต่อไป

วัตถุประสงค์การวิจัย

ศึกษาปัจจัยที่เหมาะสมต่อการย่อยสลาย 2,4-D โดยใช้สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน *Nostoc hatei* ร่วมกับ *Anabaena lutea*

วิธีการวิจัย

ทำการเก็บน้ำตัวอย่างจากนาข้าวในเขตอำเภอน้ำพอง ในช่วงเดือนตุลาคม จากการสอบถามพบว่าเกษตรกรมีการใช้ปุ๋ยเคมีและสารกำจัดวัชพืช เช่น สารกลุ่มไกลโฟเซต (Glyphosate) เช่น สปาร์ค, ทัชดาวน์ และสาร 2,4-ดี เช่น ไบทองนัล95, ฟลูอิด เป็นต้น

การทดลองที่ 1 ศึกษาความเข้มข้นของน้ำตัวอย่างที่เหมาะสมต่อการย่อยสลายสารกำจัดวัชพืช 2,4-D โดยสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน *Nostoc hatei* และ *Anabaena lutea*

ทำการเพาะเลี้ยงสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน *N. hatei* ร่วมกับ *A. lutea* ชนิดละ 0.25 กรัม ในน้ำตัวอย่างจากนาข้าวที่มีส่วนผสมอาหารเพาะเลี้ยงสูตร N-free (Allen and Arnon, 1955) ในอัตราส่วน 0, 25, 50,75 และ 100% ร่วมกับ2,4-D ความเข้มข้น 100 มก/ล. นำไปเพาะเลี้ยงเป็นเวลา 14 วันในห้องเพาะเลี้ยงที่อุณหภูมิ 28±1 องศาเซลเซียส ให้แสง 3,000 ลักซ์ 16 ชั่วโมงต่อวัน ทำการวิเคราะห์ปริมาณ2,4-Dคงเหลือ วิเคราะห์มวลชีวภาพและวิเคราะห์ปริมาณคลอโรฟิลด์เอ

การทดลองที่ 2 ศึกษาสภาวะความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสมต่อการย่อยสลายสารกำจัดวัชพืช 2,4-D โดยสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน *N. hatei* และ *A. lutea*

เพาะเลี้ยงสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน *N. hatei* ร่วมกับ *A. lutea* ชนิดละ 0.25 กรัม ในน้ำตัวอย่างจากนาข้าวที่มีความเข้มข้นร้อยละ 100 ร่วมกับสารกำจัด

วัชพืช 2,4-D ความเข้มข้น 100 มก./ล. โดยปรับให้มีค่า pH ต่างๆ ได้แก่ pH 4, 5, 6 , 7, 8, และ 9 จากนั้นนำไปเพาะเลี้ยงเป็นเวลา 14 วันในห้องเพาะเลี้ยงที่อุณหภูมิ 28±1 องศาเซลเซียสให้แสง 3,000 ลักซ์ 16 ชั่วโมงต่อวันทำการวิเคราะห์ปริมาณ 2,4-Dคงเหลือ วิเคราะห์มวลชีวภาพและวิเคราะห์ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ

การทดลองที่ 3 ศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสมต่อการย่อยสลายสารกำจัดวัชพืช 2,4-D โดยสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน *N. hatei* ร่วมกับ *A. lutea*

เพาะเลี้ยงสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน *N. hatei* ร่วมกับ *A. lutea* ชนิดละ 0.25 กรัม ในตัวอย่างน้ำจากนาข้าวที่มีความเข้มข้นร้อยละ 100 ร่วมกับสารกำจัดวัชพืช 2,4-D ความเข้มข้น 100 มก./ล.จากนั้นปรับค่า pH ที่เหมาะสมจากการทดลองที่ 2 เพาะเลี้ยงเป็นเวลา 5 สัปดาห์ ภายใต้ความเข้มแสง 3,000 ลักซ์ อุณหภูมิ 28 ± 1 °C ทำการเก็บผลทดลองทุกสัปดาห์ โดยทำการวิเคราะห์ปริมาณ 2,4-D คงเหลือ วิเคราะห์มวลชีวภาพ วิเคราะห์ปริมาณคลอโรฟิลล์เอและวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน

การวิเคราะห์ปริมาณสารกำจัดวัชพืช2,4-D ที่คงเหลือ

ทำการวัดปริมาณสารกำจัดวัชพืช 2,4-D ที่ปนเปื้อนในน้ำตัวอย่างจากนาข้าวด้วยวิธี Spectrophotometry ด้วยเครื่อง Spectrophotometer รุ่น UV752 บริษัทไทยจุลทรรศน์ ที่ความยาวคลื่น 285 นาโนเมตร โดยวิธีของ González *et. al.*(2012)

การวิเคราะห์มวลชีวภาพ

เมื่อครบระยะเวลาเก็บผล นำตัวอย่างมากรองด้วยกระดาษกรอง Whatman No.1 จากนั้นนำตัวอย่างที่ได้อบแห้งที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง (Mona *et al*., 2011) จากนั้นนำไปชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง ยี่ห้อ Mettler รุ่น AE200

การวิเคราะห์ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ

ทำการวัดปริมาณคลอโรฟิลล์ด้วยวิธี Spectrophotometry ด้วยเครื่อง Spectrophotometer รุ่น UV752 บริษัทไทยจุลทรรศน์ ตามวิธีของ Meeks and Castenholtz (1971) โดยทำการสกัดคลอโรฟิลล์ด้วยเอทานอลร้อยละ 95 และวัดการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 665 นาโนเมตร

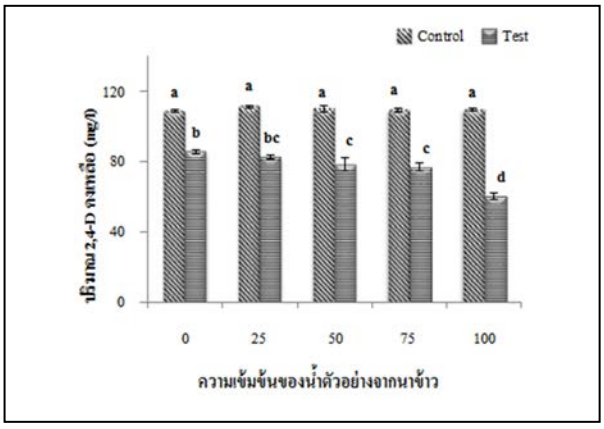
การวิเคราะห์ปริมาณโปรตีนรวม

ทำการวิเคราะห์ปริมาณโปรตีนรวมตามวิธีการของ Bradford (1976)

ผลการทดลอง

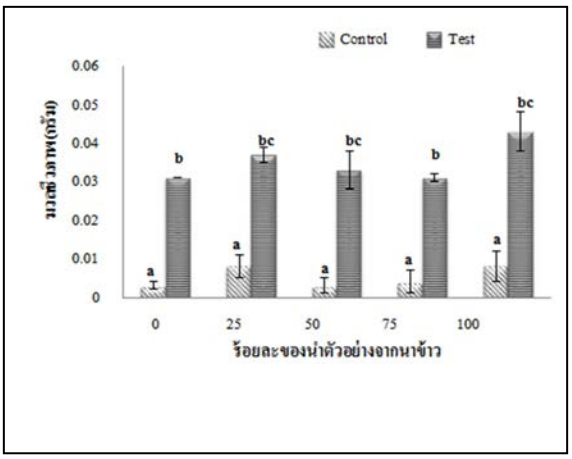
ผลการทดลองที่ 1 ศึกษาความเข้มข้นของน้ำตัวอย่างที่เหมาะสมต่อการย่อยสลายสารกำจัดวัชพืช 2,4-D โดยสาหร่ายสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน *N. hatei* ร่วมกับ *A. lutea*

จากการศึกษาความเข้มข้นของน้ำตัวอย่างที่เหมาะสมต่อการย่อยสลายสารกำจัดวัชพืช 2,4-D พบว่า *N. hatei* ที่เพาะเลี้ยงร่วมกับ *A. lutea* สามารถย่อยสลายสารกำจัดวัชพืช 2,4-D ความเข้มข้น 100 มก./ล. ที่ปนเปื้อนในน้ำตัวอย่างที่มีส่วนผสมของอาหารเพาะเลี้ยงสูตร N-free ได้ดีที่สุดที่ความเข้มข้นของน้ำตัวอย่าง 100 % รองลงมาคือ ความเข้มข้น 75, 50, 25 และ 0 % ตามลำดับ โดยมีปริมาณความเข้มข้นของสารกำจัดวัชพืช 2,4-D คงเหลือคิดเป็น 60.39, 76.942, 78.609, 82.72 และ 85.83 มก./ล. ตามลำดับ(ภาพที่ 1) และผลการทดสอบทางสถิติพบว่าแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p< 0.05$)

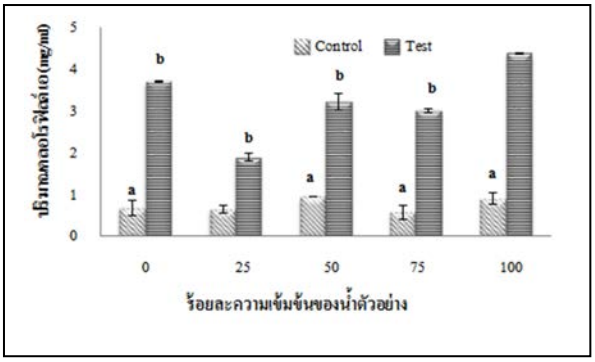


ภาพที่ 1 ปริมาณความเข้มข้นของ 2,4-D ที่คงเหลือหลังจากเพาะเลี้ยงสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน *N. hatei* ที่เพาะเลี้ยงร่วมกับ *A. lutea* ในน้ำตัวอย่างจากนาข้าวความเข้มข้นร้อยละ 25, 50, 75 และ 100 เป็นระยะเวลา 14 วัน

การวิเคราะห์มวลชีวภาพของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน *N. hatei* และ *A. lutea* ที่เพาะเลี้ยงร่วมกันในน้ำตัวอย่างจากนาข้าวที่ความเข้มข้น 0, 25, 50, 75 และ 100% พบว่าที่ความเข้มข้นของน้ำตัวอย่างที่เหมาะสมที่สุดที่ความเข้มข้น 100 % รองลงมาคือความเข้มข้น 75, 50, 25 และ 0 % ตามลำดับมีมวลชีวภาพเท่ากับ 0.043, 0.031, 0.033, 0.037 และ 0.031 กรัม (ภาพที่ 2) และมีปริมาณปริมาณคลอโรฟิลด์เอเท่ากับ 4.38, 3.01, 3.23, 1.904, และ 3.71 มก./มล. (ภาพที่ 3) ตามลำดับ และจากวิเคราะห์ผลทางสถิตพบว่ามวลชีวภาพและปริมาณคลอโรฟิลด์ แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$)



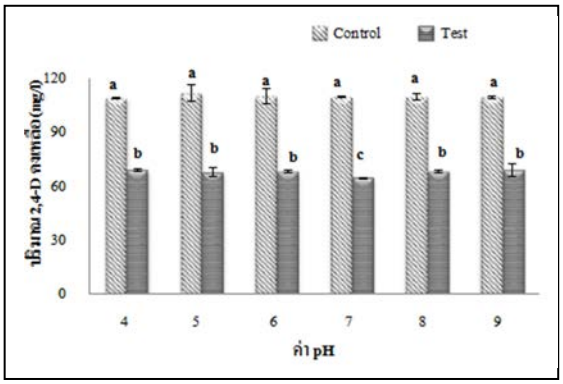
ภาพที่ 2 ปริมาณมวลชีวภาพของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน *N. hatei* ที่เพาะเลี้ยงร่วมกับ *A. lutea* ในน้ำตัวอย่างจากนาข้าวความเข้มข้นร้อยละ 25, 50, 75 และ 100 ระยะเวลา 14 วัน



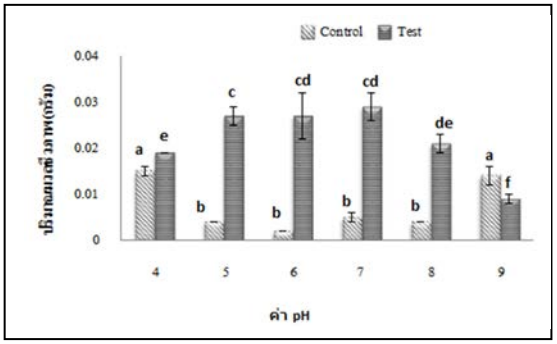
ภาพที่ 3 ปริมาณคลอโรฟิลด์เอ ของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน *N. hatei* ที่เพาะเลี้ยงร่วมกับ *A. lutea* ในน้ำตัวอย่างจากนาข้าวความเข้มข้นร้อยละ 25, 50, 75 และ 100 ระยะเวลา 14 วัน

ผลการทดลองที่ 2 ศึกษาสภาวะความเป็นกรด-ด่าง (pH) ที่เหมาะสมต่อการย่อยสลายสารกำจัดวัชพืช 2,4-D โดยสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน *N. hatei* ร่วมกับ *A. lutea*

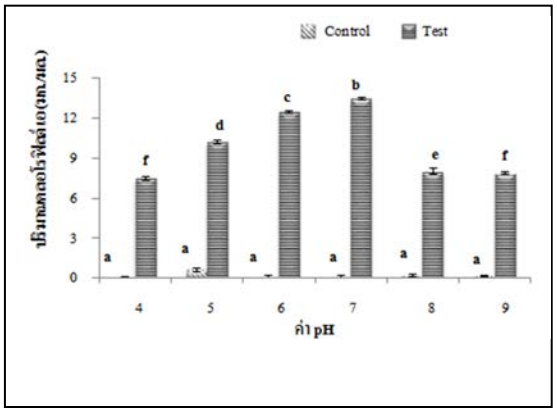
จากการศึกษาค่า pH ของน้ำตัวอย่างเหมาะสมต่อการย่อยสลายสารกำจัดวัชพืช 2,4-D โดยสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน *N. hatei* ที่เพาะเลี้ยงร่วมกับ *A. lutea* พบว่า *N. hatei* และ *A. lutea* สามารถย่อยสลายสารกำจัดวัชพืช 2,4-D ความเข้มข้น 100 มก./ล. ที่ปนเปื้อนในน้ำตัวอย่างได้ดีที่สุดที่ pH 7, 6, 5, 8, 9 และ 4 ตามลำดับ โดยมีปริมาณความเข้มข้นของสารกำจัดวัชพืช 2,4-D คงเหลือคิดเป็น 64.44, 67.778, 67.944, 68.167, 68.667 และ 68.778 มก./ล. (ภาพที่4.) ตามลำดับเมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุมและกราฟมาตรฐาน โดยมีมวลชีวภาพ เท่ากับ 0.019,0.027, 0.027, 0.029, 0.021 และ 0.009 กรัม (ภาพที่5) ตามลำดับ มีปริมาณคลอโรฟิลล์เอ 10.207, 7.89, 12.45, 13.469, 8.002 และ 7.501 มก./มล. (ภาพที่6) ตามลำดับจากการวิเคราะห์ผลทางสถิติ พบว่าแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$)



ภาพที่ 4 ปริมาณ 2,4-D คงเหลือหลังจากเพาะเลี้ยงสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน *N. hatei* ที่เพาะเลี้ยงร่วมกับ*A. lutea* ในน้ำตัวอย่างจากนาข้าวที่ค่า pH 4, 5, 6, 7, 8 และ 9



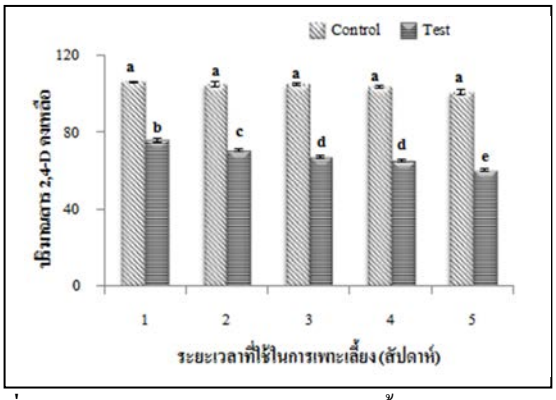
ภาพที่ 5 ปริมาณมวลชีวภาพของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน *N. hatei* ที่เพาะเลี้ยงร่วมกับ *A. lutea* ในน้ำตัวอย่างจากนาข้าวที่ pH 4, 5, 6, 7, 8 และ 9 เป็นเวลา 14 วัน



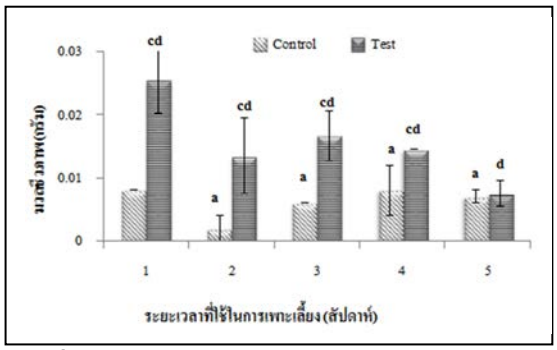
ภาพที่ 6 ปริมาณคลอโรฟิลด์เอ ของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน *N. hatei* ที่เพาะเลี้ยงร่วมกับ *A. lutea* ในน้ำตัวอย่างจากนาข้าวที่ pH 4, 5, 6, 7, 8 และ 9 เป็นเวลา 14 วัน

ผลการทดลองที่ 3 ศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสมต่อการย่อยสลายสารกำจัดวัชพืช 2,4-D โดยสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน *N. hatei* ร่วมกับ *A. lutea*

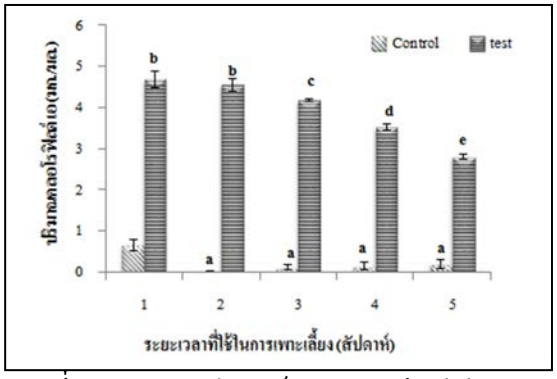
จากการศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสมต่อการย่อยสลายสารกำจัดวัชพืช 2,4-D ในน้ำตัวอย่างจากนาข้าว พบว่าสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน *N. hatei* ที่เพาะเลี้ยงร่วมกับ *A. lutea* สามารถย่อยสลายสารกำจัดวัชพืช 2,4-D ความเข้มข้น 100 มก./ล. ที่ปนเปื้อนในน้ำตัวอย่างได้ดีที่สุดในระยะเวลา 35 , 28, 21, 14 และ 7 วัน โดยมีปริมาณความเข้มข้นของสารกำจัดวัชพืช 2,4-D คงเหลือคิดเป็น 60.27, 65.22, 67.72, 70.22 และ 75.89 มก./ล. (ภาพที่7) ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุมและกราฟมาตรฐาน โดยมีมวลชีวภาพ เท่ากับ 0.075, 0.0145, 0.0167, 0.0153 และ 0.0293 (ภาพที่8) ตามลำดับ มีปริมาณคลอโรฟิลล์เอ 2.808, 3.531, 4.179, 4.545 และ 4.684 มก./มล. (ภาพที่9)ตามลำดับ และมีปริมาณโปรตีนคิดเป็น 15.47, 13.028, 8.006, 7.88 และ 15.467มก./มล. (ภาพที่ 10) ตามลำดับซึ่งจากการวิเคราะห์ผลทางสถิติพบว่าแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ($p< 0.05$)



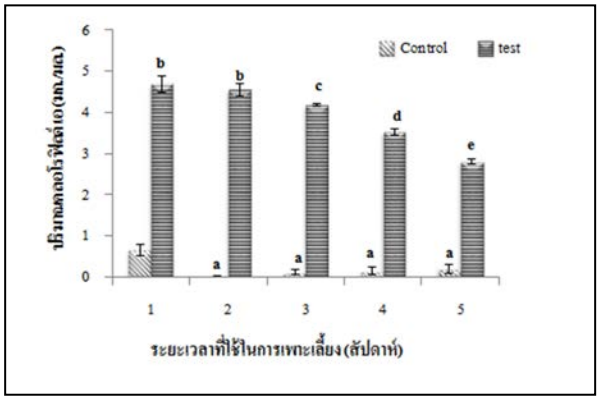
ภาพที่ 7 ปริมาณ 2,4-D คงเหลือหลังจากเพาะเลี้ยง สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน *N. hatei* ที่เพาะเลี้ยงร่วมกับ *A.lutea* ในน้ำตัวอย่างจากนาข้าวเป็นเวลา 5 สัปดาห์



ภาพที่ 8 ปริมาณมวลชีวภาพของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน *N. hatei* ที่เพาะเลี้ยงร่วมกับ *A. lutea* ในน้ำตัวอย่างจากนาข้าวเป็นเวลา 5 สัปดาห์



ภาพที่ 9 ปริมาณคลอโรฟิลด์เอ ของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน *N. hatei* ที่เพาะเลี้ยงร่วมกับ *A. lutea* ในน้ำตัวอย่างจากนาข้าวเป็นเวลา 5 สัปดาห์



ภาพที่ 10 ปริมาณโปรตีนของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน *N. hatei* เพาะเลี้ยงร่วมกับ *A. lutea* ที่เพาะเลี้ยงร่วมในน้ำตัวอย่างจากนาข้าวเป็นเวลา 5 สัปดาห์

อภิปรายและสรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาความเข้มข้นของน้ำตัวอย่างที่เหมาะสมต่อการย่อยสลายสารกำจัดวัชพืช 2,4-D ในน้ำตัวอย่างจากนาข้าวโดยใช้สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน*Nostoc hetai* และ *Anabena lutea* ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ พบว่า สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินสามารถเจริญได้ดีในน้ำตัวอย่างจากนาข้าว ในทุกระดับความเข้มข้น โดยพบว่าในน้ำตัวอย่างจากนาข้าวความเข้มข้น 100 % มีการเจริญเติบโตดีที่สุด โดยมีปริมาณสารกำจัดวัชพืช 2,4-D คงเหลือ เท่ากับ 60.39 มก./ล.ปริมาณชีวภาพ 0.043 กรัม และปริมาณคลอโรฟิลด์เอ 4.38 มก./ล. เมื่อทำการวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่าค่าที่ได้ความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% แสดงให้เห็นว่า *N. hetai* และ *A. lutea* สามารถกำจัดวัชพืช 2,4-D ได้ดี

จากการศึกษาสภาวะกรด-ด่าง (pH) ที่เหมาะสมต่อการย่อยสลายสารกำจัดวัชพืช 2,4-D ในน้ำตัวอย่างจากนาข้าวความเข้มข้น 100 % ได้ดีที่สุดที่ pH 7 โดยมีปริมาณสารกำจัดวัชพืช 2,4-D คงเหลือ 64.4 มก./ล. มีมวลชีวภาพเท่ากับ 0.029 กรัม และมีปริมาณคลอโรฟิลด์เอ 13.47 มก./มล. แสดงให้เห็นว่า *N. hetai* ที่เพาะเลี้ยงร่วมกับ *A. lutea* สามารถเจริญเติบโตได้ดีในทุกสภาวะที่ใช้ในการทดสอบ โดยค่า pH ที่เหมาะสมที่ที่สุดในการบำบัดน้ำเสียคือ pH 7 ซึ่งสอดคล้องกับสันทัด (2552) และใกล้เคียงกับการศึกษาของ Gonzalez *et. al* (2012) พบว่า *Delfitia sp.* สามารถย่อยสลายสารกำจัดวัชพืช 2,4-D ที่ความเข้มข้น 100-200 มก./ล. ได้ดี เมื่อทำการเพาะเลี้ยงที่ ค่า pH 7.4 และ Grotzschel *et. al* (2004) รายงานว่าไซยาโนแบคทีเรียหรือสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินหลายชนิดมีความสามารถในการย่อยสลายสารกำจัดวัชพืช 2,4-D และอนุพันธ์ได้ดี

จากการศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสมต่อการย่อยสลายสารกำจัดวัชพืช 2,4-D ในน้ำตัวอย่างความเข้มข้น 100 % พบว่า ระยะเวลาที่เหมาะสมต่อการย่อยสลายสารกำจัดวัชพืช 2,4-D คือ 5 สัปดาห์ เมื่อพิจารณา

จากปริมาณสารกำจัดวัชพืชคงเหลือน้อยที่สุด คือ 60.27 มก./ล. มีปริมาณมวลชีวภาพ 0.0075 กรัม และปริมาณคลอโรฟิลด์เอ 2.808 มก./มล. แต่เมื่อเปรียบเทียบกับระยะเวลาอื่น พบว่าปริมาณมวลชีวภาพปริมาณคลอโรฟิลด์ลดลง แต่ปริมาณโปรตีนเพิ่มขึ้น ซึ่งเกิดจากความเป็นพิษของสารกำจัดวัชพืช 2,4-D ที่มีต่อเซลล์ของสาหร่ายทั้งสองชนิดในสภาวะที่มีความเป็นพิษต่อเซลล์สูง สาหร่ายจะมีการเปลี่ยนแปลงกระบวนการต่างๆ ภายในเซลล์เพื่อให้สามารถทนความเป็นพิษที่เกิดขึ้นได้ เช่น การเปลี่ยนแปลงปริมาณโปรตีนภายในเซลล์ สอดคล้องกับการศึกษาของ Dowindar *et. al* (2010) และ Kumar *et. al* (2010) พบว่าปริมาณความเข้มข้นของสารกำจัดวัชพืชมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณโปรตีนภายในเซลล์ของไซยาโนแบคทีเรีย

การศึกษาครั้งนี้สามารถใช้เป็นความรู้พื้นฐานในการทดลองต่อไปเพื่อที่ในอนาคตจะสามารถนำปริมาณสารกำจัดวัชพืช 2,4-D และสารกำจัดวัชพืชชนิดอื่นๆ เพื่อลดการปนเปื้อนของสารกำจัดวัชพืชในอนาคตต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ดร. สุมนทิพย์บุนนาค ผู้ให้คำปรึกษาและคำแนะนำในการทำวิจัยขอขอบพระคุณภาควิชาชีววิทยาคณะวิทยาศาสตร์มหาวิทยาลัยขอนแก่นที่ช่วยสนับสนุนเครื่องมืออุปกรณ์และสถานที่ทำวิจัยจนสำเร็จลุล่วงตามวัตถุประสงค์

เอกสารอ้างอิง

สันทัด ศิริอนันต์ไพบูลย์. 2552. ระบบบำบัดน้ำเสีย (Waste water Treatment System). บริษัทสำนักพิมพ์ท็อปจำกัด, กรุงเทพมหานคร. สำนักควบคุมพืชและวัสดุการเกษตร. 2555.

อุไรวรรณ อินทร์ม่วง. 2545. มลพิษทางน้ำ. ภาควิชาวิทยาศาสตร์อนามัยสิ่งแวดล้อมคณะสาธารณสุขศาสตร์มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ขอนแก่น.

Allen MB and Arnon DI. 1995. Studies on nitrogen-fixing blue-green algae. I. Growth and nitrogen fixation by *Anabaena cylindrical* Lemm. Plant Physiology 30: 366-72.

Bradford, M. M. 1976. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. Analytical Biochemistry. 72:248-254.

Dowider, S.M.A., Osman, M.E.H., El-Naggar, A.H. and Khalefa, A.E. 2010. Effect of butachlor and thiobencarb herbicides on protein content and profileand some enzyme activities of *Nostoc muscorum*. Journal of Genetic Engineering and Biotechnology, 8(1): 89-95

Galhano, V., Peixoto, F., Gomes-Laranjo, J. and Fernandez-Valiente, E. 2010. Comparative toxicity of bentazon andmolinate on growth, photosynthetic pigments, photosynthesis, and respiration of the Portuguese rice field cyanobacterium *Nostoc muscorum*. Environmental Toxicology. 25: 147–156.

Gonzalez, A.J., Gallego A., Gemini, V.L., Papalia, M., Radica, M., Gutkind, G., Planes, E. and . Korol, S.E.2012.Degradation ane detoxification of theherbicide 2,4-dichlorophenoxyaceticacid (2,4-D) by an indigenous *Deftia sp.* strain in in batch and continuous system. International Biodeterioration & Biodagradation 66:8-13

Grötzschel, S., Köster, J. and de Beer, D. 2004. Degradation of 2,4-dichlorophenoxyacetic acid (2,4-D) by a hypersaline microbial mat and related functional changes in the mat community. Microbial Ecology 48(2): 254-262.

Kumar, Nirmal., Kumar, Rita., Boro, Anubhauti. Kaur, Manmeet. 2010. An Evaluation of pesticide stress induced proteins in three cyanobacterial species : *Anabaena fertilissima, Aulosira - fertilissima* and *Westiellopsis prolifica* using SDS-PAGE. World Academy of Science, Engineering and Technology. 51:03-25

Lei, A., Wong Y, and Tam, N. 2002. Removal of pyrene by different microalgal species. Water Science and Technology. 46:195–201.

Meeks, J. and Castenholtz, R. 1971. Growth and photosynthesis in an extreme thermophile, *Synechococcus lividus* (Cyanophyta). Archives of Microbiology. 78: 25-41.

Megharaj, M., Venkateswarlu, K. and Rao, AS. 1987. Metabolismof monocrotophos and quinalphos by algae isolated from soil. Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology. 39:251–256

Mona, S., Kaushik, A. and Kaushik, CP. 2011. Hydrogen Production and metal-dye bioremoval by a *Nostoc linckia* strain isolated from textile mill oxidation pond. Bioresource Technology. 102: 3200-3205.