

ผลของเบนซีนต่อการเติบโตของสาหร่ายสไปรูลินา (*Spirulina platensis*)

Effect of Benzene on Growth of *Spirulina platensis*

อุทิศ เชื้อบัณฑิต (Authit Chueabandit)* ดร.สุมนทิพย์ บุนนาค (Dr.Sumontip Bunnag) **

บทคัดย่อ

เบนซีนเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนชนิดหนึ่งที่มีการปนเปื้อนในแหล่งน้ำธรรมชาติ งานวิจัยครั้งนี้ได้ศึกษาผลของเบนซีนต่อการเติบโตของสาหร่ายสไปรูลินา (*Spirulina platensis*) โดยเพาะเลี้ยงในอาหารสูตร Zarrouk ที่ระดับความเข้มข้นเบนซีนแตกต่างกัน (0.05-0.25 %) เป็นเวลา 14 วัน จากนั้นวัดการเติบโตโดยวัดค่าการดูดกลืนแสงโดยเครื่อง spectrophotometer และหาปริมาณ chlorophyll a ผลการศึกษาพบว่า *S. platensis* ที่เพาะเลี้ยงในอาหารที่มีความเข้มข้นของเบนซีน 0.25 % มีการเจริญเติบโตสูงสุด และเมื่อนำความเข้มข้นดังกล่าวไปศึกษาผลของความเค็มต่อการเจริญเติบโตของ *S. platensis* ที่เพาะเลี้ยงในอาหารที่มีเบนซีน โดยปรับค่าความเข้มข้นของ NaCl ให้เพิ่มขึ้น (1.0-3.0 ppt) เป็นเวลา 28 วัน พบว่า *S. platensis* ที่เพาะเลี้ยงในอาหารที่มีความเข้มข้นของเกลือ 2.5 ppt มีการเติบโตสูงสุด เมื่อเทียบกับระดับความเข้มข้นเกลืออื่นๆ

ABSTRACT

The objective of this research was to study the effect of benzene on the growth of *Spirulina platensis*. *S. platensis* was cultivated in Zarrouk liquid medium supplemented with different concentrations of benzene (0.05-2.5%) for 14 days. The growth of *S. platensis* was measured in terms of chlorophyll a content by spectrophotometry. The results showed that the highest growth of *S. platensis* was observed in culture media with 0.25 % benzene. This benzene concentration was later used for studying the effect of salinity on growth of *S. platensis*. The concentration of NaCl was progressively adjusted from 1.0 to 3.0 ppt for 28 days cultivation. It can be indicated that *S. platensis* cultivated in 2.5 ppt NaCl media met the highest growth, compared with other salt concentrations.

คำสำคัญ: สไปรูลินา เบนซีน โซเดียมคลอไรด์

Key Words: *Spirulina platensis*, Benzene, NaCl

*นักศึกษาลัทธิธรรมศาสตร์มหาวิทยาลัย สาขาวิชาชีววิทยาสำหรับครู คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

**รองศาสตราจารย์ ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

บทนำ

เบนซีน (Benzene: C_6H_6) เป็นสารในกลุ่มอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (Aromatic hydrocarbon) โดยมีโครงสร้างแบบวงแหวน ที่อุณหภูมิปกติเป็นของเหลวใส ละลายน้ำได้น้อย มีการนำมาใช้ในการผลิตสารเคมีต่างๆ เช่น เอทิลเบนซีน (Ethylbenzene) ไสโคลเฮกเซน (Cyclohexane) สารประกอบโพลีเมอร์ต่าง ๆ หมึกพิมพ์ สารกำจัดศัตรูพืช (คณะกรรมการวิชาการ ศูนย์การแพทย์นครราชสีมา, 2550) เบนซีนจัดเป็นสารเคมีที่ก่อมะเร็ง (Fischer et al., 2008) สามารถพบได้ในชีวิตประจำวัน เช่น บุหรี่ซึ่งมีประมาณ 68 ± 11 ไมโครกรัมต่อกรัมของบุหรี่หนึ่งมวน ในไอเสียที่ปล่อยจากรถยนต์ที่ใช้น้ำมันอาจมากถึง 12.11 ส่วนในล้านส่วน (ทวิสิน, 2553) เบนซีนสามารถตกค้างในดินและปนเปื้อนในแหล่งน้ำได้ เนื่องจากเบนซีนมีความสามารถในการละลายน้ำต่ำ คราบเบนซีนที่ไม่ละลายน้ำจึงบดบังแสงและลดความสามารถในการละลายน้ำของแก๊สออกซิเจน ส่งผลกระทบต่อคุณภาพน้ำและสิ่งมีชีวิตใต้น้ำ จากการศึกษาแหล่งน้ำที่มีการปนเปื้อนสารประกอบในกลุ่มปิโตรเลียม พบการเจริญเติบโตของไซยาโนแบคทีเรีย (Cyanobacteria) เป็นจำนวนมาก นอกจากนี้การปนเปื้อนในพื้นที่ดังกล่าวยังมีการลดลงได้เร็วกว่าบริเวณที่ไม่มีไซยาโนแบคทีเรีย (Hoffmann, 1996; Höpner et al., 1996) ปัจจุบันมีรายงานการศึกษาการย่อยสลายสารประกอบไฮโดรคาร์บอนโดยอาศัยพืชแบคทีเรีย ไดอะตอม สาหร่ายสีเขียว สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน เพื่อใช้บำบัดแหล่งน้ำที่มีการปนเปื้อนสารประกอบไฮโดรคาร์บอน สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินหรือไซยาโนแบคทีเรียสามารถเจริญเติบโตได้ในแหล่งน้ำเสียและมีการรายงานว่าสาหร่ายบางชนิด เช่น *Nostoc sp.*, *Oscillatoria sp.*, *Anabaena sp.* *Spirulina platensis* สามารถย่อยสลายสารเคมีในกลุ่มอนุพันธ์ของเบนซีนได้ (Juhász & Naidu, 2000)

สาหร่ายสไปรูลินา (*Spirulina platensis*) เป็นสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน (Blue - green algae) ที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง (ขจรเกียรติ, 2550 และ

Venkataraman, 1983 อ้างถึงใน ศิริพร และคณะ, 2553) สามารถเจริญเติบโตได้ดีในสภาพแวดล้อมที่หลากหลาย แต่ยังมีรายงานการศึกษาที่เกี่ยวกับการเจริญเติบโตของสาหร่ายสไปรูลินาในสภาพแวดล้อมที่มีการปนเปื้อนของสารประกอบเบนซีนไม่มากนัก

ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีความสนใจศึกษาศักยภาพการเติบโตของสาหร่ายสไปรูลินาในสารละลายอาหารที่มีการปนเปื้อนเบนซีน เพื่อนำองค์ความรู้ที่ได้ไปประยุกต์ใช้ในการกำจัดเบนซีนที่ปนเปื้อนในแหล่งน้ำธรรมชาติต่อไป

วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อศึกษาผลของเบนซีนต่อการเติบโตของสาหร่ายสไปรูลินา
2. เพื่อศึกษาผลของความเค็มต่อการเติบโตของสาหร่ายสไปรูลินาที่เพาะเลี้ยงในสารละลายอาหารที่มีเบนซีน

วิธีการวิจัย

การเตรียมอาหารเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินา

เตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อ Zarrouk ที่มี pH 9.0 ± 0.2 (Zarrouk, 1966 อ้างถึงใน Pandey et al, 2010) ปริมาตร 100 ml เก็บไว้ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร ควบคุมอุณหภูมิประมาณ 25 ± 2 องศาเซลเซียส ให้แสงด้วยหลอดฟลูออเรสเซนต์สีขาว ที่ความเข้มแสง 3,000 ลักซ์

การศึกษการเติบโตของสาหร่ายสไปรูลินา

การทดลองตอนที่ 1 ศึกษาการเติบโตของสาหร่ายสไปรูลินาในอาหารเลี้ยงเชื้อ Zarrouk ที่มีความเข้มข้นของเบนซีนแตกต่างกัน โดยปรับระดับความเข้มข้น (ร้อยละโดยปริมาตร) ของเบนซีน เท่ากับ ร้อยละ 0, 0.05, 0.10, 0.15, 0.20, 0.25

เพาะเลี้ยงในขวดแก้วขนาด 25 ml ชุดการทดลองละ 3 ชุด ควบคุมอุณหภูมิประมาณ 25 ± 2 องศาเซลเซียส ให้แสงด้วยหลอดฟลูออเรสเซนต์สีขาว ที่ความเข้มแสง 3,000 ลักซ์ ทำการเก็บตัวอย่างเพื่อวัดการเติบโตทุกๆ 2 วัน เป็นระยะเวลา 14 วัน

การทดลองตอนที่ 2 ศึกษาการเติบโตของสาหร่ายสไปรูลีนาในอาหารเลี้ยงเชื้อ Zarrouk ที่มี Benzene 0.25 เปอร์เซ็นต์เท่ากันและมีความเข้มข้นของเกลือ (NaCl) แตกต่างกัน ซึ่งจะใช้ Zarrouk สูตรมาตรฐานที่มีเกลืออยู่แล้ว 1.0 ppt เป็นชุดควบคุม และปรับความเข้มข้นของเกลือในชุดทดลองให้มีความเข้มข้นเท่ากับ 1.5, 2.0, 2.5, 3.0 ppt

เพาะเลี้ยงในขวดแก้ว ขนาด 25 ml ชุดการทดลองละ 3 ขั้ว ควบคุมอุณหภูมิประมาณ 25 ± 2 องศาเซลเซียส ให้แสงด้วยหลอดฟลูออเรสเซนต์สีขาว ที่ความเข้มแสง 3,000 ลักซ์ เก็บตัวอย่างเพื่อวัดผลการเติบโตทุกๆ 7 วัน เป็นระยะเวลา 28 วัน

การวัดการเติบโตของสาหร่าย

วัดค่าความหนาแน่นของเซลล์สาหร่าย โดยวัดค่าการดูดกลืนแสง (Optical Density ; OD) ด้วยเครื่อง spectrophotometer (รุ่น uv 725 ของบริษัทไทยจุลทรรศน์) ที่ความยาวคลื่นแสง 560 นาโนเมตร (Leduy & Therien, 1977) จำนวนประสิทธิภาพการเจริญเติบโตของสาหร่าย สไปรูลีนา (สิริวรรณ, 2555) ดังนี้

อัตราการเติบโตจำเพาะ (Specific growth rate: μ)

$$\mu = \ln(N_t/N_0)/t$$

μ = อัตราการเติบโตจำเพาะ (วัน⁻¹)

N_t = ความหนาแน่นของเซลล์สาหร่ายวันเก็บตัวอย่าง

N_0 = ความหนาแน่นของเซลล์สาหร่ายวันแรก

t = เวลา (วัน)

วัดปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ โดยเตรียมตัวอย่างสาหร่าย 1 มิลลิกรัม บดด้วยอัตรารวด 12,000 rpm 10 นาที ดูด่วนที่เป็นของเหลวทิ้ง เดิม 90 % methanol เพื่อสกัดคลอโรฟิลล์ เอ เขย่าให้เข้ากันเก็บไว้ในที่มืดเป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นทำการปั่นเหวี่ยงด้วยอัตรารวด 12,000 rpm เป็นเวลา 10 นาที แล้วนำส่วนที่สกัดได้นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 663 นาโนเมตร คำนวณหาปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ตามสมการ ดังนี้

$$\text{ปริมาณ คลอโรฟิลล์ เอ } (\mu\text{g/ml}) = \text{OD}_{663} \times$$

12.7

(Meeks & Castenholz, 1971 อ้างถึงใน Fiore et al., 2000)

การวิเคราะห์ข้อมูล

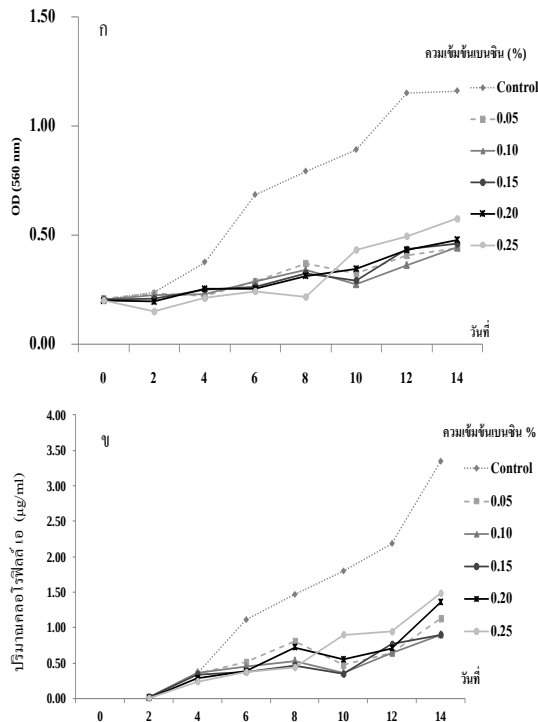
เปรียบเทียบความแตกต่างของการเจริญเติบโตในแต่ละชุดการทดลองโดยทำการวิเคราะห์ One - way ANOVA โดยใช้ Duncan's Multiple Range Test (DMRT) เพื่อทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยในแต่ละชุดการทดลอง ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ($p < 0.05$) ด้วยโปรแกรม SPSS for Windows 17.0

ผลการวิจัย

จากการศึกษาการเติบโตของสาหร่ายสไปรูลีนาที่เพาะเลี้ยงในสารละลายอาหารที่มีเบนซีนความเข้มข้น 0, 0.05, 0.10, 0.15, 0.20, 0.25 เปอร์เซ็นต์ พบว่าความหนาแน่นของสไปรูลีนาที่วัดได้จากการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 560 นาโนเมตร (OD_{560}) มีความหนาแน่นเพิ่มขึ้นในทุกความเข้มข้น โดยชุดที่มีความหนาแน่นมากที่สุดหลังจากทำการเพาะเลี้ยงเป็นระยะเวลา 14 วัน คือ ชุดควบคุม (Benzene 0 %) ซึ่งมีค่า OD_{560} เท่ากับ 1.161 ± 0.02 ซึ่งแตกต่างจากชุดการทดลองอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) โดยในช่วงเริ่มต้นจนถึงวันที่ 8 ของการทดลอง สามารถเรียงลำดับความหนาแน่นของสาหร่ายสไปรูลีนาจากค่าสูงสุดไปยังต่ำสุดตามความเข้มข้นของเบนซีนในอาหาร คือ 0 %, 0.05%, 0.10%, 0.15 %, 0.20 % และ 0.25% ตามลำดับ เมื่อทำการวัดค่าความหนาแน่นของสาหร่ายสไปรูลีนาต่อเนื่องจนถึงวันที่ 14 ของการทดลอง พบว่าความหนาแน่นของสาหร่ายสไปรูลีนาเรียงลำดับจากสูงสุดไปยังต่ำสุด คือ 0.25 %, 0.20 %, 0.15 %, 0.10 % และ 0.05% ตามลำดับ (ภาพที่ 1ก)

ในการวัดปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ พบว่าในวันที่ 14 ชุดการทดลองควบคุมมีปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ สูงสุดเท่ากับ $3.342 \pm 0.13 \mu\text{g/ml}$ ซึ่งมีความแตกต่างจากชุดการทดลองอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$)

โดยสามารถเรียงลำดับปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ จากสูงสุดไปยังต่ำสุด ตามความเข้มข้นของเบนซินในอาหาร ได้ดังนี้ 0 %, 0.25 %, 0.20 %, 0.05 %, 0.10 % และ 0.15 % ตามลำดับ (ภาพที่ 1ข)



ภาพที่ 1 ค่า OD (ก) และปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ (ข) ที่วัดได้จากสาหร่ายสไปรูลินาที่เพาะเลี้ยงในอาหารที่มีความเข้มข้นของเบนซินแตกต่างกัน

การศึกษาการเติบโตของสาหร่าย สไปรูลินา ในอาหารเลี้ยงเชื้อ Zarrouk ที่มีความเข้มข้นของเบนซินแตกต่างกัน เป็นระยะเวลา 14 วัน เมื่อหาค่าอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะปรากฏผลการศึกษาดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลของเบนซินที่มีผลต่อค่าอัตราการเติบโตจำเพาะของสาหร่าย สไปรูลินา

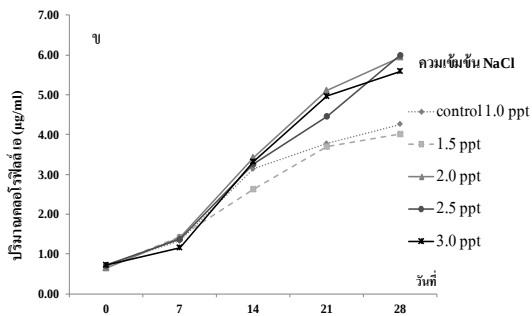
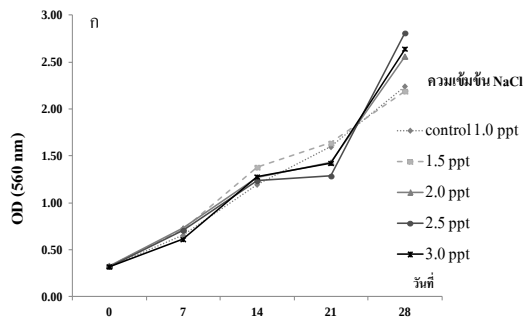
ชุดการทดลอง	อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (วัน-1) μ	
	เฉลี่ย	สูงสุด
Control 0 % Benzene	0.124 ± 0.002^c	0.128
0.05% Benzene	0.053 ± 0.003^a	0.059

0.10% Benzene	0.054 ± 0.006^a	0.064
0.15% Benzene	0.058 ± 0.003^a	0.063
0.20% Benzene	0.063 ± 0.002^a	0.065
0.25% Benzene	0.075 ± 0.004^b	0.082

สาหร่ายสไปรูลินาที่มีอัตราการเติบโตมากที่สุดได้แก่ สาหร่ายสไปรูลินาที่เพาะเลี้ยงในเบนซินความเข้มข้น 0.25 % คือ มีอัตราการเติบโตจำเพาะเฉลี่ยเท่ากับ 0.075 ± 0.004 เมื่อวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าค่าอัตราการเติบโตจำเพาะเฉลี่ยความแตกต่างจากความเข้มข้นอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

ดังนั้นในการทดลองครั้งนี้จึงสรุปได้ว่า เมื่อเปรียบเทียบเฉพาะสาหร่ายสไปรูลินาที่เพาะเลี้ยงในอาหารที่มีเบนซินเป็นองค์ประกอบ สาหร่ายสไปรูลินาเจริญเติบโตได้ดีที่สุดในเบนซินความเข้มข้น 0.25%

จากศึกษาการเติบโตของสาหร่ายสไปรูลินา ในอาหารเลี้ยง Zarrouk ที่ประกอบด้วยเบนซิน 0.25% ร่วมกับการให้เกลือที่มีความเข้มข้น 1.0 (ชุดควบคุม), 1.5, 2.0, 2.5 และ 3.0 ppt พบว่าในวันที่ 28 ของการทดลอง สาหร่ายที่มีค่า OD_{560} มากที่สุดคือ สาหร่ายสไปรูลินาที่เลี้ยงในอาหารเลี้ยง ที่มีเกลือ 2.5 ppt โดยมีค่า OD_{560} เท่ากับ 2.810 ± 0.13 (ภาพที่ 2ก)



ภาพที่ 2 ค่า OD (ก) และปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ (ข)

ที่วัดได้จากสาหร่ายสไปรูลินาซึ่งเพาะเลี้ยงในอาหารที่มีความเข้มข้นเกลือแตกต่างกัน เช่นเดียวกันกับปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ที่มีค่าสูงสุดในชุดการทดลองที่เลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินาในอาหารเลี้ยง Zarrouk ที่มีเกลือ 2.5 ppt โดยมีปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ เท่ากับ $5.994 \pm 0.36 \mu\text{g/ml}$ (ภาพที่ 2ข) ทั้งนี้ค่า OD_{560} และปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ของสาหร่ายสไปรูลินาในอาหารเลี้ยง Zarrouk ที่มีเกลือ 2.5 ppt นั้นมีความแตกต่างจากชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$)

ศึกษาการเจริญเติบโตของสาหร่ายสไปรูลินาในอาหารเลี้ยงเชื้อ Zarrouk ที่มีเบนซิน 0.25 % ร่วมกับการให้เกลือที่ความเข้มข้น 1.0, 1.5, 2.0, 2.5 และ 3.0 ppt พบว่าในวันที่ 28 ของการศึกษา มีอัตราการเติบโตจำเพาะ ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ค่าอัตราการเติบโตจำเพาะของสาหร่าย

สไปรูลินาที่ได้รับความเข้มข้นของเกลือแตกต่างกัน	
ชุดการทดลอง	อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (วัน-1) μ
Control NaCl 1.0 ppt	0.069 ± 0.002^{ab}
NaCl 1.5 ppt	0.068 ± 0.002^a
NaCl 2.0 ppt	0.073 ± 0.0004^{bc}
NaCl 2.5 ppt	0.077 ± 0.002^c
NaCl 3.0 ppt	0.075 ± 0.001^c

	เฉลี่ย	สูงสุด
Control NaCl 1.0 ppt	0.069 ± 0.002^{ab}	0.071
NaCl 1.5 ppt	0.068 ± 0.002^a	0.071
NaCl 2.0 ppt	0.073 ± 0.0004^{bc}	0.074
NaCl 2.5 ppt	0.077 ± 0.002^c	0.081
NaCl 3.0 ppt	0.075 ± 0.001^c	0.077

สาหร่ายสไปรูลินาที่มีอัตราการเติบโตมากที่สุดได้แก่ สาหร่ายสไปรูลินาที่เพาะเลี้ยงในในชุดการทดลองที่เลี้ยงในอาหาร Zarrouk ที่มีเกลือ 2.5 ppt คือมีอัตราการเติบโตจำเพาะเฉลี่ย เท่ากับ 0.077 ± 0.002 เมื่อวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าอัตราการเติบโตจำเพาะเฉลี่ยความแตกต่างจากชุดควบคุม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

อภิปรายและสรุปผลการวิจัย

การเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินาในอาหารที่มีระดับความเข้มข้นเบนซินแตกต่างกัน พบว่าในช่วงสัปดาห์แรกของการทดลองสาหร่ายที่เพาะเลี้ยงในอาหารที่มีเบนซินความเข้มข้นสูง สาหร่ายสไปรูลินามีการเติบโตลดลง ซึ่งมีความสอดคล้องกับรายงานของ Sundaram and Soumya (2011) ที่ศึกษาพบว่าสาหร่ายสไปรูลินาที่ได้รับเบนซินจะทำให้มีปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ ลดลง ในเวลา 168 ชั่วโมง และหากสาหร่ายสไปรูลินาได้รับเบนซินที่ความเข้มข้น 200 μM จะมีอัตราการเติบโตลดลง 63.64 % และที่ความเข้มข้น 300 μM มีอัตราการเติบโตลดลง 85.46 % อาจกล่าวได้ว่าในช่วงแรกของการได้รับเบนซินนั้น เป็นช่วงที่เบนซินสร้างความเสียหายให้แก่สาหร่าย ดังในการศึกษาของ Altamirano et al. (2000) ที่ระบุว่าเบนซิน หรือสารที่เป็นอนุพันธ์ของเบนซินสามารถสร้างความเสียหายให้กับเซลล์สาหร่าย *Ulva rigida* โดยไปยับยั้งการดูดซึมธาตุอาหาร ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ รวมทั้งยับยั้งกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง สำหรับช่วงสัปดาห์ที่สองของการเพาะเลี้ยง พบว่าสาหร่ายสไปรูลินา ที่เพาะเลี้ยงในอาหารที่มีเบนซิน ความเข้มข้นสูง (0.25 %)

กลับมีการเติบโตที่สูงกว่าในอาหารที่มีเบนซินความเข้มข้นต่ำ จึงเป็นไปได้ว่าในช่วงนี้สาหร่ายสไปรูลินาสามารถปรับตัวให้เข้ากับสภาพการมีเบนซินในอาหารหรือในอีกกรณีหนึ่งคือสามารถย่อยสลายเบนซินและนำมาใช้ในการเติบโตของสาหร่ายเอง เนื่องจากมีรายงานการศึกษาที่พบว่าสารประกอบไฮโดรคาร์บอนหลายตัวด้วยกันที่เป็น อนุพันธ์ของเบนซินสามารถถูกเปลี่ยนมาใช้ในการเจริญเติบโต ดังในรายงานของ Semple and Cane (1996) ที่พบว่ามีการ์บอนจากสารประกอบไฮโดรคาร์บอน (ฟีนอล) ถูกนำไปสะสมเป็นส่วนหนึ่งของสารประกอบโปรตีน กรดนิวคลีอิก รวมถึงลิพิด ภายในเซลล์ของสาหร่าย *Ochromonas danica* โดยสามารถเปลี่ยนฟีนอลให้เป็นไพรูเวท (pyruvate) โดยที่ไพรูเวทสามารถเปลี่ยนเป็นสารตั้งต้นในหลายวิถีเมแทบอลิซึม เช่น เปลี่ยนแปลงเป็นคาร์โบไฮเดรต กรดไขมัน หรือกรดอะมิโน (Taiz & Zeiger, 2010)

การที่สาหร่ายสไปรูลินาเติบโตได้ดีในอาหารที่มีเบนซินเข้มข้น 0.25 % ร่วมกับเกลือ 2.5 ppt ผลศึกษาครั้งนี้มีความใกล้เคียงกับการศึกษาของ สุนนทิพย์และปิยะดา (2532) ที่พบว่าระดับความเข้มข้นของ NaCl ที่มีความเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของสไปรูลินา คือ 2 ppt นอกจากนี้ยังสอดคล้องกับรายงานของ Dhiab et al. (2007) ที่ระบุว่าความเค็มที่เพิ่มขึ้นสามารถเพิ่มการเติบโตและปริมาณคลอโรฟิลล์ของสไปรูลินาได้ แต่ขัดแย้งกับบางงานวิจัย ได้แก่ Rosales et al. (2005) Zeng and Vonshak (1998) และ Kebede (1997) ที่ระบุว่าความเค็มที่เพิ่มขึ้นจะส่งผลให้การเติบโตของสาหร่ายสไปรูลินาลดลง หรือถ้ามีปริมาณ NaCl มากเกินไป (0.2- 0.4 M) จะมีผลยับยั้งการเจริญเติบโตได้และส่งผลทำให้น้ำหนักแห้งของสไปรูลินาลดลง (Shalaby et al., 2010) การที่ผลการศึกษาเป็นเช่นนี้อาจเนื่องจากลักษณะพันธุกรรมและปัจจัยด้านสภาพแวดล้อมที่มีความแตกต่างกันของสาหร่ายสไปรูลินาที่ใช้นามาศึกษาในแต่ละงานวิจัย

นั้นมีความต่างกัน ทำให้สาหร่ายสไปรูลินาสามารถปรับตัวต่อความเค็มได้แตกต่างกัน

จากผลการศึกษาจึงสรุปได้ว่าสไปรูลินาสามารถเติบโตได้ในอาหารที่มีเบนซินในระดับความเข้มข้นหนึ่ง ซึ่งเป็นความรู้ที่สามารถนำไปใช้ในการเพาะเลี้ยงไซยาโนแบคทีเรียหรือการประยุกต์ใช้ในการย่อยสลายเบนซินที่ปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อมเพื่อลดปัญหาด้านมลพิษได้

กิตติกรรมประกาศ

ขอบคุณศูนย์วิจัยอนุกรมวิธานประยุกต์ ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่นที่สนับสนุนการดำเนินงานวิจัย และขอบคุณภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ที่สนับสนุนอุปกรณ์ และสถานที่ในการดำเนินการวิจัย

ขอขอบคุณสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.) ผู้ให้ทุนโครงการส่งเสริมครูที่มีความรู้ความสามารถพิเศษทางวิทยาศาสตร์ และคณิตศาสตร์ (สกว.)

เอกสารอ้างอิง

- คณะกรรมการวิชาการ ศูนย์วิทยาศาสตร์การแพทย์ นครราชสีมา. 2550. ข่าวศูนย์วิทยาศาสตร์การแพทย์นครราชสีมา กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์.
- ทวีสิน นาวาร์ตน์. 2553. เบนซิน : มหันตภัยร้ายที่คุณอาจคาดไม่ถึง. วารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ. 13(1): 59-67.
- ศิริพร ชูเชิด, ขจรเกียรติ ศรีนวลสม, สิทธิชัย พัฒนเกียรติชีวิน, จงกล พรหมยะ, บัญญัติ มนเทียรอาสน์ และ ศิริเพ็ญ ตรีไชยาพร. 2553. การเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินา (*Spirulina platensis*) ในสูตรอาหารน้ำหมักคั้นทุ่นต่ำ. วารสารวิจัยเทคโนโลยีการประมง. 4(2): 26-33.
- ศิริวรรณ ศรีสรณ์ศรี. 2555. การศึกษาสภาวะการเลี้ยงจุลสาหร่ายที่มีผลต่อปริมาณโปรตีนและไขมัน.

- วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. 7(2):62-71.
- สุนนทิพย์ บุญนาค และปิยะดา ชีระกุลพิศุทธิ์. 2533. การเปรียบเทียบความสามารถในการทนเค็มของออสซิลลาทอเรีย (*Oscillatoria* sp.) และสไปรูลีนา (*Spirulina* sp.). วิทยาศาสตร์ มข 18(1) : 45-55.
- Altamirano, M., Flores-Moya A. and Figueroa, F.L. 2000. Long-term effects of natural sunlight under various ultraviolet radiation conditions on growth and photosynthesis of intertidal *Ulva rigida* cultivated in situ. Bot. Mar. 43: 119-126.
- Dhiab, R.B., Ouada, H.B., Boussetta, H., Franck, F., Elabed, A. and Brouers, M. 2007, Growth, fluorescence, photosynthetic O₂ production and pigment content of salt adapted cultures of *Arthrospira* (*Spirulina*) *platensis*. J. Appl. Phycol. 19: 293–301.
- Fiore M. F., Moon D. H., Tsai S. M., Lee H., Trevors J. T. 2000. Miniprep DNA isolation from unicellular and filamentous cyanobacteria. J. Microbiol. Methods 39: 159-169.
- Fischer, A., Herklotz, I., Herrmann, S., Thullner, M., Weelink, S.A. B., Stams, A.J.M., Schlomann, M., Richnow, H.H. Vogt, C. 2008. Combined carbon and hydrogen isotope fractionation investigations and elucidating benzene biodegradation pathways. Environ. Sci. Technol. 42(12): 4356–4363.
- Hoffmann, L. 1996. Recolonization of the intertidal flats by microbial mats after the Gulf War oil spill. In: A marine wildlife sanctuary for the Arabian Gulf: environmental research and conservation following the 1991 Gulf War oil spill. F. Krupp, A. H. Abuzinada and I. A. Nader (Eds.), pp. 96-115. NCWCD, Riyadh, Saudi Arabia, and Senckenberg Research Institute, Frankfurt, Germany.
- Höpner, T., Yousef, M., Berthe-Corti, L., Felzmann, H., Struck, H. and Al-Thukair, A. 1996. Cyanobacterial mats on oil-polluted sediments-start of a promising self-remediation process. In: A marine wildlife sanctuary for the Arabian Gulf: environmental research and conservation following the 1991 Gulf War oil spill. F. Krupp, A. H. Abuzinada and I. A. Nader (Eds.), pp. 85-95. NCWCD, Riyadh, Saudi Arabia, and Senckenberg Research Institute, Frankfurt, Germany.
- Juhasz, A. L., and Naidu, R. 2000. Bioremediation of high-molecular - weight polycyclic aromatic hydrocarbons: a review of the microbial degradation of benzo[a]pyrene. Int. Biodet. Biodeg. 45:57-88.
- Kebede, E., 1997, Response of *Spirulina platensis* (*Arthrospira fusiformis*) from Lake Chitu, Ethiopia, to salinity stress from sodium salts. J. Appl. Phycol. 9: 551–558.
- Leduy, A. and Therien, N. 1977. An improved method for optical density measurement of the semimicroscopic blue alga *Spirulina maxima*. Biotechnol Bioeng. 19:1219- 1224
- Meeks, J.C. and Castenholz, R.W. 1971. Growth and photosynthesis in an extreme thermophile *Synechococcus lividus* (Cyanophyta). Arch. Mikrobiol. 78: 25 – 41.
- Pandey, P.J., AMIT Tiwari, A. and Mishra, M. R. 2010. Evaluation of Biomass Production of *Spirulina maxima* on Different Reported

- Media. J. Algal Biomass Utln .1(3): 70 – 81.
- Rosales, N., Ortega, J., Mora, R. and Morales, E., 2005, Influence of salinity on the growth and biochemical composition of the cyanobacterium *Synechococcus* sp. Cienc. 31: 349–355.
- Semple, K.T. and Cain, R.B. (1996) Biodegradation of phenolics by *Ochromonas danica*. Appl. Environ. Microbiol. 62: 1265-1273.
- Shalaby, EA. Shanab, SMM and Singh, V. 2010. Salt stress enhancement of antioxidant and antiviral efficiency of *Spirulina platensis*. J Med plants Res. 4(24): 2622-2632.
- Sundaram, S. and Soumya, K.K, 2011. Study of physiological and biochemical alterations in cyanobacterium under organic stress. Am. J. Physiol. 6(1):1-16.
- Taiz, L. and Zeiger, E. 2010. Plant Physiology. 5th ed. The Benjamin Cummings Publishing Co., California.
- Zeng, M.T. and Vonshak, A., 1998, Adaptation of *Spirulina platensis* to salinity-stress. Comp. Biochem. Physiol. A. 120: 113–118.