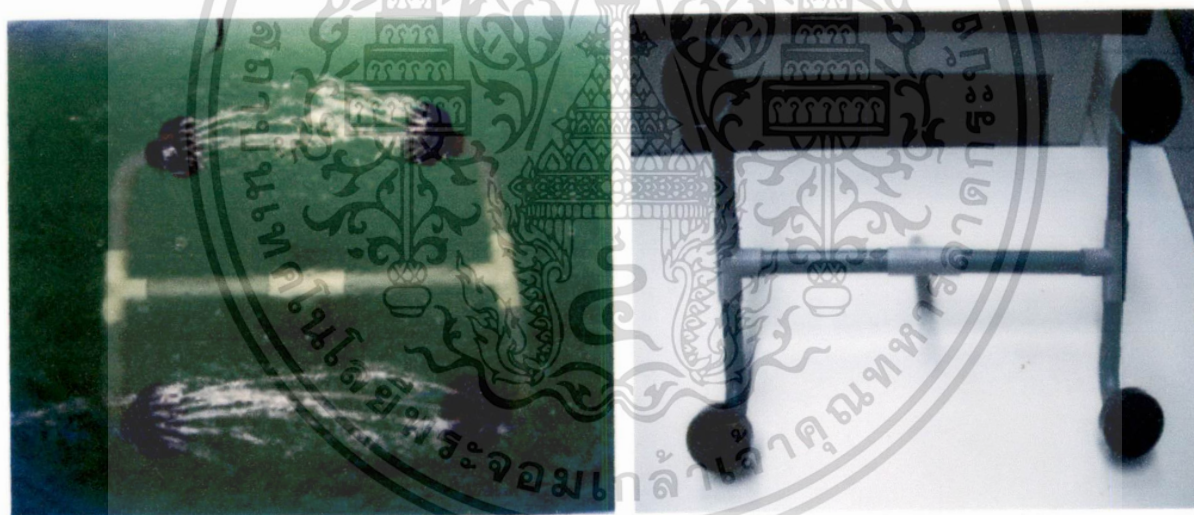


รายงานวิจัย

ผลของระบบหมุนเวียนน้ำต่อ ผลผลิตสาหร่ายขนาดเล็ก

Effect of water recirculating systems on microalgae production



สมชาย หวังวิบูลย์กิจ
Somchai Wangwibulkit

หลักสูตรวิทยาศาสตรการประมง
สาขาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์และประมง คณะเทคโนโลยีการเกษตร
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ได้รับทุนสนับสนุนจากเงินรายได้หลักสูตรวิทยาศาสตรการประมง ประจำปีงบประมาณ 2551

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	I
สารบัญตาราง	II
สารบัญภาพ	III
บทคัดย่อ	1
คำนำ	2
วัตถุประสงค์	2
การตรวจเอกสาร	3
วิธีการทดลอง	10
ผลการทดลองและวิจารณ์	15
สรุป	22
เอกสารอ้างอิง	22



RCH
SH
389
ศ 2416

สงขม.....
เลขทะเบียน..... 115257
ใน,เดือน,ปี..... 22 ก.พ. 2553

b. 122621321
i.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่

หน้า

1	แสดงปริมาณสูงสุดในระบบการเพาะเลี้ยงสาหร่ายเพื่อการดำน้ำในประเทศ ต่าง ๆ	10
---	---	----



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	ปริมาณผลผลิตสาหร่ายสไปรูลีนาเป็นการค้าในประเทศต่าง ๆ ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1975-1998	4
2	ปริมาณผลผลิตสาหร่ายสไปรูลีนาเป็นการค้าในประเทศต่าง ๆ ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1975-1998	7
3	ระบบหมุนเวียนน้ำที่ใช้ในการทำการทดลองระบบหัวฉีดใต้น้ำ(water injection)	11
4	ระบบหมุนเวียนน้ำที่ใช้ในการทำการทดลองระบบการกระจายน้ำขึ้นสู่อากาศ (water scatter)	11
5	ระบบหมุนเวียนน้ำที่ใช้ในการทำการทดลองระบบการหมุนเวียนใต้น้ำ (water circulation)	12
6	ลักษณะทิศทางการไหลของน้ำในระบบหัวฉีดใต้น้ำ	12
7	ลักษณะทิศทางการไหลของน้ำในระบบการกระจายน้ำขึ้นสู่อากาศ	13
8	ลักษณะทิศทางการไหลของน้ำในระบบการหมุนเวียนใต้น้ำ	13
9	หัวเชื้อสาหร่ายออกซิลาทอเรียสสำหรับใช้ทดลอง	14
10	ปริมาณคลอโรฟิลล์-เอ ในระบบการหมุนเวียนน้ำทั้ง 3 ระบบ	16
11	ลักษณะการหมุนเวียนน้ำที่มีความคล้ายกับระบบหมุนเวียนใต้น้ำ	16
12	ช่วงอุณหภูมิของระบบการหมุนเวียนน้ำทั้ง 3 ระบบ ระหว่างทำการทดลอง	17
13	ช่วงความเข้มแสงในระบบการหมุนเวียนน้ำทั้ง 3 ระบบ ระหว่างทำการทดลอง	18
14	ค่าความเป็นกรด-ด่าง ในระบบการหมุนเวียนน้ำทั้ง 3 ระบบ ระหว่างทำการทดลอง	18
15	ค่าความนำไฟฟ้า ในระบบการหมุนเวียนน้ำทั้ง 3 ระบบ ระหว่างทำการทดลอง	19
16	แอมโมเนีย-ไนโตรเจน ในระบบการหมุนเวียนน้ำทั้ง 3 ระบบ	20
17	ไนไตรท์-ไนโตรเจน ในระบบการหมุนเวียนน้ำทั้ง 3 ระบบ	20
18	ไนเตรท-ไนโตรเจน ในระบบการหมุนเวียนน้ำทั้ง 3 ระบบ	21
19	ฟอสฟอรัสที่ละลายในน้ำ ในระบบการหมุนเวียนน้ำทั้ง 3 ระบบ	21

ผลของระบบหมุนเวียนน้ำต่อผลผลิตสาหร่ายขนาดเล็ก
Effect of water recirculation system on microalgae production

บทคัดย่อ

การเลี้ยงสาหร่ายที่มีการออกแบบระบบที่มีระบบหมุนเวียนน้ำ เพื่อเพิ่มผลผลิตของสาหร่ายขนาดเล็กสกุล *Oscillatoria* sp. ซึ่งภายในระบบการเลี้ยงลักษณะการไหลของน้ำภายในระบบแตกต่างกันเพื่อศึกษารูปแบบระบบหมุนเวียนน้ำที่เหมาะสมต่อการผลิตสาหร่ายขนาดเล็ก โดยออกแบบการไหลเวียนของน้ำเป็น 3 ระบบ คือ ระบบหัวฉีดได้น้ำ (water injection) ระบบการกระจายน้ำขึ้นสู่อากาศ (water scatter) ระบบการหมุนเวียนได้น้ำ (water circulation) จากผลการทดลองพบว่าลักษณะการไหลเวียนน้ำมีผลต่อผลผลิตสาหร่ายขนาดเล็กอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) โดยทำให้ปริมาณคลอโรฟิลล์-เอในระบบการหมุนเวียนได้น้ำมีมากที่สุด $0.0016 \mu\text{g/L}$ เมื่อเทียบกับระบบหมุนเวียนน้ำอื่นๆ โดยระบบที่มีปริมาณคลอโรฟิลล์-เอรองลงมา คือ ระบบการกระจายน้ำขึ้นสู่อากาศ $0.0007 \mu\text{g/L}$ และระบบหัวฉีดได้น้ำ $0.0006 \mu\text{g/L}$ ดังนั้นการใช้ระบบการหมุนเวียนน้ำที่เหมาะสมในการเลี้ยงสาหร่ายขนาดเล็กจะทำให้ได้ผลผลิตเพิ่มขึ้น

คำสำคัญ: ระบบหมุนเวียนน้ำ, การผลิตสาหร่ายขนาดเล็ก, สาหร่ายขนาดเล็ก

Keywords: recirculating system, microalgae production, microalgae

คำนำ

สาหร่ายขนาดเล็กหลายชนิดมีประโยชน์ต่อการอนุบาลสัตว์น้ำวัยอ่อน เช่น สาหร่ายสกุลคลอเรลล่า (*Chlorella* sp.) คีโตซีรอส (*Chaetoceros* sp.) สเกลิโตนีมา (*Skeletonema* sp.) และเตตราเซลมิส (*Tetraselmis* sp.) เนื่องจากเป็นสาหร่ายที่มีขนาดเล็กและคุณค่าอาหารเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของสัตว์น้ำวัยอ่อน นอกจากนี้สาหร่ายขนาดเล็กบางชนิด เช่น สาหร่ายสกุลสไปรูลินา (*Spirulina* sp.) นอสท็อก (*Nostoc* sp.) และ คลอโรโคคัม (*Chlorococum* sp.) สามารถนำมาสกัดและนำไปใช้ประโยชน์ในงานด้านอื่นๆ การผลิตสาหร่ายขนาดเล็กเพื่อนำมาใช้ประโยชน์มีขั้นตอนและเทคนิคการเพาะเลี้ยงสาหร่ายเพื่อให้ได้ปริมาณมากเพียงพอกับความต้องการนำไปใช้ นอกจากนี้ยังมีปัจจัยหลายประการที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของสาหร่าย เช่น ธาตุอาหาร แสง อุณหภูมิ ความเป็นกรด-ด่าง ความเค็ม ระบบบ่อเลี้ยง ระบบให้อากาศ และระบบหมุนเวียนน้ำ ปัญหาสำคัญประการหนึ่งที่พบระหว่างการเลี้ยงสาหร่ายขนาดเล็ก คือ เซลล์สาหร่ายขนาดเล็กบางส่วนตกตะกอนในบ่อโดยเฉพาะในบ่อที่มีการเคลื่อนที่ของน้ำน้อยหรือนิ่ง การตกตะกอนของเซลล์สาหร่ายขนาดเล็กทำให้การเจริญเติบโตลดลงและส่งผลทำให้ผลผลิตลดลง การใช้ระบบหมุนเวียนน้ำในบ่อเลี้ยงสาหร่ายขนาดเล็กเป็นวิธีการหนึ่งที่สามารถแก้ปัญหาการตกตะกอนของเซลล์สาหร่ายขนาดเล็ก ระบบหมุนเวียนน้ำที่ใช้ในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำมีหลายรูปแบบ เช่น ระบบหมุนเวียนน้ำในแนวราบ หมุนเวียนน้ำในแนวตั้ง และหมุนเวียนน้ำโดยสเปรย์น้ำให้สัมผัสกับอากาศ ซึ่งการหมุนเวียนและการเคลื่อนที่ของน้ำมีความแตกต่างกัน ดังนั้น การวิจัยครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษารูปแบบระบบหมุนเวียนน้ำที่เหมาะสมต่อการผลิตสาหร่ายขนาดเล็กสำหรับเป็นแนวทางพัฒนาระบบการเลี้ยงสาหร่ายขนาดเล็กให้ได้ผลผลิตเพิ่มขึ้น

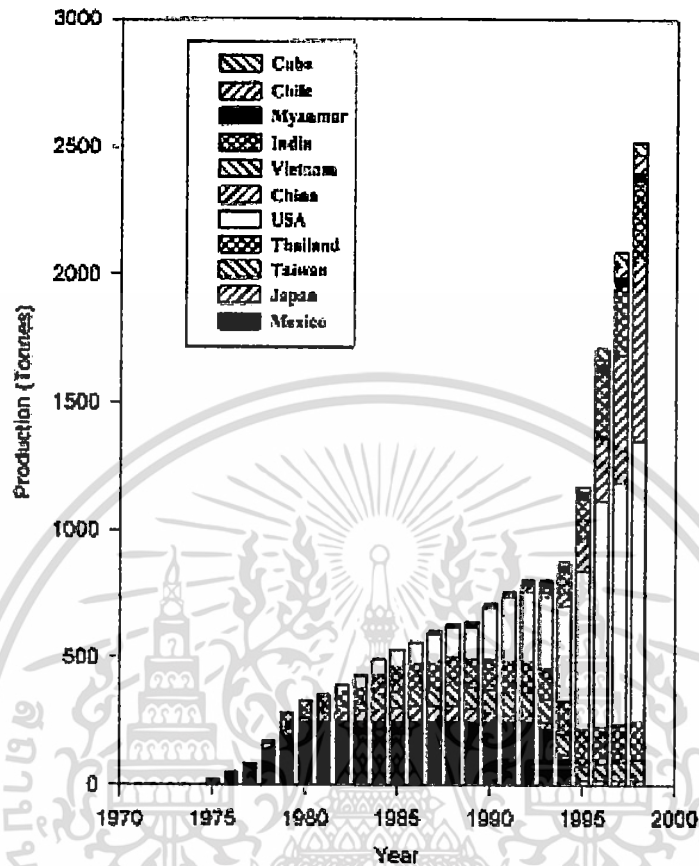
วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษารูปแบบระบบหมุนเวียนน้ำที่เหมาะสมต่อการผลิตสาหร่ายขนาดเล็ก

ตรวจเอกสาร

สาหร่ายขนาดเล็กหลายชนิดมีประโยชน์ต่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำวัยอ่อน เช่น คลอเรลล่า (*Chlorella* sp.) คีโตซีรอส (*Chaetoceros* sp.) สเกลิโตนีมา (*Skeletonema* sp.) และเตตราเซลมิส (*Tetraselmis* sp.) เนื่องจากมีขนาดและคุณค่าอาหารที่เหมาะสมต่อลูกสัตว์น้ำวัยอ่อน นอกจากนี้ยังมีสาหร่ายบางชนิดสามารถนำมาสกัดและใช้ประโยชน์กับงานทางด้านอื่นๆ ได้ เช่น สไปรูลิน่า (*Spirulina* sp.) นอสทีอ็อก (*Nostoc* sp.) และ คลอโรโคคัม (*Chlorococum* sp.) เป็นต้น การนำสาหร่ายขนาดเล็กมาใช้ประโยชน์จำเป็นต้องเลี้ยงสาหร่ายขนาดเล็กให้ได้ปริมาณมากพอต่อการนำไปใช้และต้นทุนต่ำ ซึ่งต้องใช้เทคนิคต่างๆ ในการเลี้ยง เนื่องจากมีปัจจัยหลายประการที่มีผลต่อการเติบโตของสาหร่าย เช่น ธาตุอาหาร แสง อุณหภูมิ ความเป็นกรด-ด่าง และความเค็ม (Smith, 1996; Shaw and Smith, 2000; Alam et al., 2001; Haider et al., 2003) นอกจากนี้ระบบการเลี้ยงสาหร่ายเป็นปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณการผลิต เช่น ระบบการเลี้ยงในอาคาร ซึ่งในการผลิตสาหร่ายจำเป็นต้องอาศัยแสงจากหลอดไฟ ทำให้ต้นทุนในการผลิตค่อนข้างสูงและไม่สามารถเลี้ยงเป็นธุรกิจได้ ส่วนการเลี้ยงสาหร่ายนอกอาคารจะอาศัยแสงอาทิตย์ (Moreno et al., 2003) ซึ่งสามารถประหยัดต้นทุนในการเลี้ยงเพื่อการค้าได้ การเลี้ยงสาหร่ายอาจเลี้ยงปริมาณตั้งแต่ 100-1,000 ลิตร (small-scale culture system) หรือเลี้ยงปริมาณที่มากกว่า 1,000 ลิตร (large-scale culture system) ซึ่งการเลี้ยงปริมาณมากนิยมเลี้ยงเพื่อเป็นการค้า (Borowitzka, 1999) และรูปแบบการเลี้ยงสาหร่ายเป็นการค้ามี 4 รูปแบบ (Ben-Amotz, 1995; Spoloare et al., 2006) ได้แก่ เลี้ยงในบ่อเปิด (open ponds) เลี้ยงในบ่อหมุนเวียนน้ำ (recircular ponds) เลี้ยงแบบผ่านน้ำในบ่อแบบต่อเนื่อง (raceway ponds) และเลี้ยงในถุงขนาดใหญ่ (large bages) ตัวอย่างปริมาณสาหร่ายสไปรูไลน่าที่เลี้ยงเป็นการค้าในประเทศต่างๆ รวมทั้งประเทศไทย ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1975-1998 ดังแสดงไว้ในภาพที่ 1 ซึ่งพบว่าผลผลิตสาหร่ายสไปรูไลน่าที่เลี้ยงเป็นการค้ามีปริมาณเพิ่มขึ้น

ปัญหาหนึ่งในการเลี้ยงสาหร่ายขนาดเล็ก คือ การตกตะกอนของเซลล์สาหร่ายซึ่งเป็นปัญหาที่ทำให้ผลผลิตลดลง (Borowitzka, 1999) การแก้ปัญหาคือการตกตะกอนโดยใช้ระบบหมุนเวียนน้ำจึงเป็นแนวทางหนึ่งในการแก้ปัญหา ซึ่งระบบหมุนเวียนน้ำมีหลายรูปแบบ เช่น หมุนเวียนน้ำในแนวราบ หมุนเวียนน้ำในแนวตั้ง และหมุนเวียนน้ำโดยสเปรย์สัมผัสกับอากาศ ดังนั้น การศึกษารูปแบบต่างๆ ของระบบหมุนเวียนน้ำ เพื่อให้ได้ระบบหมุนเวียนน้ำที่เหมาะสมต่อการเพิ่มผลผลิตสาหร่ายขนาดเล็ก จึงเป็นแนวทางการพัฒนาระบบการเลี้ยงสาหร่ายขนาดเล็กให้ได้ผลผลิตเพิ่มขึ้น



ภาพที่ 1 ปริมาณผลผลิตสาหร่ายสีไปรูลีน่าเป็นการค้าในประเทศต่างๆ ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1975-1998 ที่มา: Borowitzka (1999)

1. ชีวิตวิทยาของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน

สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน *Oscillatoria* sp. เป็นสาหร่ายที่จัดอยู่ใน Order Oscillatoriales สาหร่ายในกลุ่มนี้ลักษณะเป็นเส้นสายไม่แตกแขนง เป็นเส้นสายเดี่ยวๆ หรืออยู่เป็นกลุ่มเซลล์ที่หนาแน่น โดยมีลักษณะที่สำคัญดังนี้

1.1 โครงสร้างของเซลล์เป็นแบบเส้นสาย unbranched filament เส้นสายไม่แตกแขนง

1.2 ผนังเซลล์ผนังเซลล์ (cell wall) ซึ่งมี 2 ชั้นได้แก่ผนังเซลล์ชั้นนอกและผนังเซลล์ชั้นในเซลล์ที่มาเรียงต่อกันเป็นเส้นสาย trichome เป็นแบบไม่มี sheath หุ้ม heterocyst มักพบในสาหร่ายพวกเส้นสาย คือ ช่วยให้เซลล์ขาดก่อนเป็น hormogone เพื่อไปงอกเป็นเส้นสายใหม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 เซลล์สาหร่ายมีการเคลื่อนที่ (movement) แบบเดินหน้า ถอยหลังหรือแกว่งซ้ายขวา

1.4 การสืบพันธุ์ มีการแบ่งเซลล์ทำให้ trichome ยึดออกและจะขาดเป็นท่อนแต่ละท่อนจะเจริญเป็น trichome ใหม่

1.5 ลักษณะพิเศษของ *Oscillatoria* sp. สามารถสร้างสารประกอบบางชนิด เช่น สารจือออสมิน และสารพวก 2-methylisoborneol ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้เกิดกลิ่นเหม็นโคลนในเนื้อสัตว์น้ำ

1.6 การตรึงไนโตรเจน nitrogen fixation ของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินสามารถใช้ประโยชน์จากแก๊สไนโตรเจนได้โดยตรง ไม่ต้องอยู่ในรูปไนเตรท แอมโมเนีย หรือกรดอะมิโน

2. ออนุกรมวิธานของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน *Oscillatoria* sp.

Division Cyanophyta

Class Cyanophyceae

Order Oscillatoriales

Genus *Oscillatoria*

3. ปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของสาหร่ายแบ่งออกเป็น 2 ประเภท

Lavens and Sorgeloos (1996) กล่าวว่าปัจจัยที่มีความสำคัญเป็นอย่างมากในการเจริญเติบโตของสาหร่ายมีดังต่อไปนี้

3.1 ปัจจัยทางฟิสิกส์

3.1.1 แสงสว่าง (illumination) เป็นปัจจัยที่ช่วยให้สาหร่ายสามารถเจริญเติบโตได้ดีสาหร่ายในแต่ละกลุ่มแต่ละชนิดมีความต้องการของแสงในปริมาณที่ไม่เท่ากัน

3.1.2 อุณหภูมิ (temperature) การเลี้ยงสาหร่ายนั้นอุณหภูมิ เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่เกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโตของสาหร่าย ซึ่งสาหร่ายแต่ละชนิดก็มีช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมในการเจริญเติบโตที่แตกต่างกัน

3.1.3 ความเป็นกรด-ด่าง (pH) โดยทั่วไปสาหร่ายในกลุ่มสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินมักพบในแหล่งน้ำที่มีค่า pH เป็นกลาง (6.5-7.5)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.4 ความเค็ม (salinity) ความเค็มที่เหมาะสมในการเลี้ยงสาหร่ายทะเล คือ 28-30 ppt

3.1.5 ปัจจัย อื่นๆ เช่น แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เป็นปัจจัยโดยตรงต่อการสังเคราะห์แสง
ค่าออกซิเจน ความกระต้างของน้ำเป็นปัจจัยทางอ้อมของสาหร่ายในการนำอาหารไปใช้

3.2 ปัจจัยทางเคมี

ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับโภชนาการของสาหร่าย การเติบโตของสาหร่ายขึ้นกับอาหารธาตุ อาหารที่จำเป็นต่อการเติบโตของสาหร่ายแบ่งเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มธาตุอาหารหลักเป็นส่วนประกอบหลักของโครงสร้างของสาหร่ายจำเป็นต้องใช้ในปริมาณมาก และกลุ่มธาตุอาหารรองเป็นส่วนประกอบของโมเลกุลที่จำเป็น เช่น เอนไซม์ สาหร่ายมีความต้องการใช้ธาตุอาหารรองในปริมาณน้อย

3.2.1 ธาตุอาหารหลัก (macronutrients)

คาร์บอน อยู่ในรูปอินทรีย์ คาร์บอน อยู่ในรูป CO_2 ที่ ละลายน้ำ และคาร์บอนในรูปอินทรีย์คาร์บอนจะ
ช่วยในการเจริญเติบโต เช่น น้ำตาลกลูโคส ซูโตส กาแลกโตสในโตรเจน หน้าที่หลักช่วยในการ
สังเคราะห์แสง การใช้ไนโตรเจนในอาหารเลี้ยงสาหร่ายอยู่ในรูปอินทรีย์ไนโตรเจน เช่น กรดอะมิโน กร
ดกลูตามิก และในรูปอินทรีย์ไนโตรเจน เช่น เกลือไนเตรท ไนไตรท์ และในรูปแก๊สไนโตรเจน มีเฉพาะ
ในกลุ่มสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินที่ใช้ได้ฟอสฟอรัส เกี่ยวข้องกับการขบวนการถ่ายทอดพลังงานถ้าขาด
ฟอสฟอรัสจะทำให้ปริมาณโปรตีน คลอโรฟิลล์ DNA RNA ของสาหร่ายลดลงซัลเฟอร์ มีความจำเป็นต่อ
สาหร่ายทุกชนิด ส่วนใหญ่จะใช้ซัลเฟอร์ในรูปอินทรีย์ คือ เกลือของซัลเฟต ซัลไฟท์ ซัลไฟด์ แคลเซียม
มีความจำเป็นต่อสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินโดยใช้แคลเซียมในการสร้างโครงสร้างของสาหร่าย โซเดียม
สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินมี ความต้องการโซเดียมมากกว่าสาหร่ายชนิดอื่นๆ โดยใช้เกี่ยวกับกิจกรรม
ของเอนไซม์เป็นส่วนประกอบของเอนไซม์ แมกนีเซียม มีความสำคัญต่อกระบวนการเมตาบอลิซึมของ
เซลล์

3.2.2 ธาตุอาหารรอง (micronutrients)

เหล็กช่วยในการดูดซึมไนโตรเจนและกระบวนการสังเคราะห์แสง โดยช่วยสร้างคลอโรฟิลล์-เอ
ถ้าสาหร่ายขาดธาตุเหล็กจะมีผลต่อการเติบโตและสรีรวิทยา โบรอน ไม่ทราบหน้าที่ที่ชัดเจนแต่มี
ความสำคัญกับสาหร่ายในกลุ่มสีเขียวแกมน้ำเงินและไดอะตอม แมงกานีส ทองแดง สังกะสี เป็นองค์

ประกอบที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์แสง ถ้าขาดไปจะทำให้การสังเคราะห์แสงของสาหร่ายลดลง โมลิบดีนัม วานาเดียม โคบอลท์ นิกเกิล ในสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินมีหน้าที่ตรึงไนโตรเจนเป็นส่วนประกอบเอนไซม์ในการสังเคราะห์แสง ซิลิกา เป็นธาตุอาหารที่จำเป็นในกลุ่มพวกไดอะตอมเพื่อสร้างผนังเซลล์เซลเลเนียม ถ้าในแหล่งน้ำมีปริมาณเซลเลเนียมที่สูงจะพบว่าสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินเพิ่มขึ้น

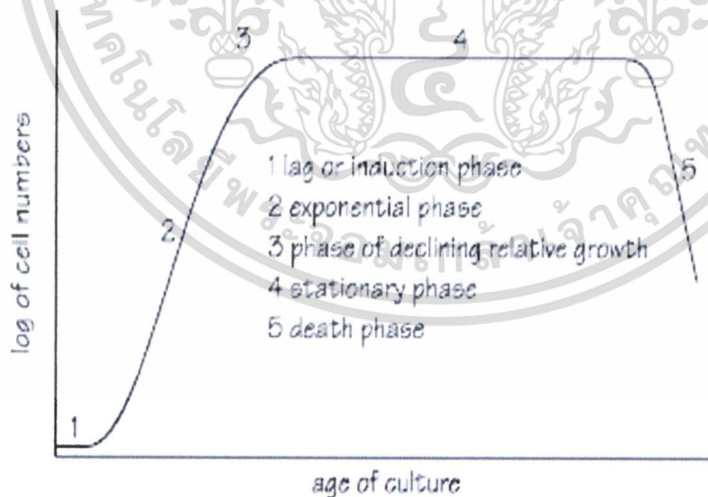
4. ระยะต่าง ๆ ของการเจริญเติบโตของสาหร่ายขนาดเล็ก

การศึกษาระยะเวลาการเจริญเติบโตของสาหร่ายขนาดเล็กนั้นมีประโยชน์ในการตรวจสอบประสิทธิภาพของการเพาะเลี้ยงทั้งนี้ในการทำการเพาะเลี้ยงสาหร่าย

ลักษณะการเจริญเติบโตของสาหร่ายขนาดเล็ก (ภาพที่ 2) ซึ่งแบ่งออกได้ 5 ระยะ คือ

ลักษณะการเจริญเติบโตของสาหร่ายขนาดเล็ก (ภาพที่ 2) ซึ่งแบ่งออกได้ 5 ระยะ คือ

1. ระยะปรับตัว (lag phase or induction phase)
2. ระยะทวีคูณ (exponential phase)
3. ระยะเฉื่อย (retardation phase or phase of declining relative growth)
4. ระยะคงที่ (stationary phase)
5. ระยะตาย (death phase)



ภาพที่ 2 กราฟระยะการเจริญเติบโตของสาหร่าย

ที่มา: Lavens and Sorgeloos (1996)

จากกราฟสามารถอธิบายระยะการเจริญเติบโตของสาหร่ายได้ดังนี้ Lavens and Sorgeloos (1996) กล่าวไว้ว่าใน

ระยะปรับตัว (lag phase) เป็นระยะที่เซลล์มีการปรับตัวให้เข้ากับอาหารและสภาพแวดล้อมใหม่ ทำให้ไม่มีการเพิ่มจำนวนเซลล์ขึ้นแต่เซลล์จะมีขนาดใหญ่ขึ้น

ระยะทวีคูณ (exponential phase) เป็นระยะที่สาหร่ายมีการเติบโตขึ้นอย่างรวดเร็วพร้อมทั้งความเข้มข้นของสารอาหารจะลดลงอย่างรวดเร็วเนื่องจากสาหร่ายมีการนำไปใช้ในการเจริญเติบโต

ระยะเฉื่อย (phase of declining growth rate) เป็นระยะที่เซลล์เริ่มมีการเติบโตช้าลงเนื่องจากปัจจัยในการเจริญเติบโตของสาหร่ายเริ่มลดน้อยลง

ระยะคงที่ (stationary phase) เป็นระยะที่ความหนาแน่นของเซลล์สูงสุดและเข้าสู่สภาวะคงที่ ทำให้อัตราการแบ่งเซลล์และอัตราการตายเท่ากัน

ระยะตาย (death phase) เป็นระยะที่เซลล์ของสาหร่ายจะตายอย่างรวดเร็วเนื่องจากขาดสารอาหารและมีปริมาณของเสียเพิ่มสูงขึ้น

5. เทคนิคในการเพาะเลี้ยงสาหร่าย

เทคนิคที่นิยมใช้ในการเพาะเลี้ยงสาหร่ายมีลักษณะและระบบที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับความเหมาะสมในการเพาะเลี้ยงสาหร่าย เช่น ชนิดของสาหร่ายและวัตถุประสงค์ในการเพาะเลี้ยง การเลี้ยงมีการเลี้ยงทั้งในอาคาร (indoor) และนอกอาคาร (outdoor) ซึ่งการเพาะเลี้ยงแบบ indoor จะเป็นการเพาะเลี้ยงที่มีการควบคุมปริมาณของแสง อุณหภูมิ สารอาหาร รวมทั้งการปนเปื้อนของสาหร่ายชนิดอื่นๆ ส่วน outdoor นั้นเป็นเรื่องยากที่จะสามารถควบคุมสภาพแวดล้อมได้โดยเฉพาะในช่วงเวลาที่มีการเพาะเลี้ยงเป็นระยะยาวนาน การเพาะเลี้ยงแบบระบบเปิดเป็นการเลี้ยงที่ไม่มีการปิดบ่อหรือถังไว้ซึ่งในระบบเปิดซึ่งอาจจะมีการปนเปื้อนมากกว่าการเลี้ยงในระบบปิด เช่น การเลี้ยงในหลอดทดลองหรือถุงเพาะเลี้ยงเป็นการเพาะเลี้ยงที่อยู่ในสภาพปลอดเชื้อ มีขั้นตอนในการผ่านการฆ่าเชื้อ (sterile) ก่อนเพื่อป้องกันการเจือปนของสิ่งที่ไม่ต้องการ batch, continuous and semi-continuous ทั้งหมดนี้เป็นรูปแบบเบื้องต้นของการเพาะเลี้ยงสาหร่ายขนาดเล็ก

6. ประโยชน์ของสาหร่ายในเชิงการค้าและอุตสาหกรรม

การพัฒนากระบวนการเพาะเลี้ยง *microalgae* ในทางการค้าเป็นหนึ่งในเทคโนโลยีชีวภาพสมัยใหม่ และกำลังเติบโตเพิ่มขึ้นเป็นจำนวนมาก เนื่องจาก *microalgae* มีส่วนประกอบที่สำคัญหลายอย่าง เช่น โปรตีน วิตามิน A, C, B1, B2, B12, E และ D ซึ่งวิตามินและแร่ธาตุเหล่านี้มีคุณสมบัติในการต่อต้านอนุมูลอิสระช่วยล้างพิษในตับ ไต กระแสเลือด ลำไส้ ช่วยย่อยอาหาร ช่วยดูดซึมธาตุเหล็ก และช่วยควบคุมปริมาณแคลเซียมในร่างกายด้วยจึงทำให้มีความต้องการผลผลิตที่มาก อีกทั้งในด้านการอุตสาหกรรมทางด้านพลังงานทดแทนก็ได้มีการนำสาหร่ายขนาดเล็กมาผลิตเพื่อทำ **biodiesel** จากสาหร่ายขนาดเล็ก Yusuf (2007) กล่าวว่าภายในส่วนประกอบของเซลล์สาหร่ายมีองค์ประกอบที่เป็นส่วนของน้ำมันอยู่ เช่นเดียวกับพืชน้ำมัน ดังนั้นน้ำมันที่ได้จากสาหร่ายขนาดเล็กสามารถที่จะนำมาทำ **biodiesel** ได้ การพัฒนากระบวนการเพาะเลี้ยงสาหร่ายขนาดเล็กให้มีความสอดคล้องกับการพัฒนาระบบ (HISTAR) Kelly and Michael (2003) ได้พัฒนาระบบในการเพาะเลี้ยงสาหร่ายขนาดเล็ก เพื่อให้ได้ผลผลิตที่เพิ่มขึ้น และได้คุณภาพตามความต้องการ โดยคำนึงถึงปัจจัยต่างๆ ที่สาหร่ายขนาดเล็กต้องการ เนื่องจากสาหร่ายขนาดเล็กแต่ละชนิดมีความต้องการไม่เหมือนกัน โดยผลการทดลองนี้มีความสอดคล้องกับ Michael (1999) ที่ศึกษาและรวบรวมวิธีการเพาะเลี้ยงที่แตกต่างกันในแต่ละชนิดของสาหร่ายและปริมาณสูงสุดที่เหมาะสมเลี้ยงเป็นการค้าในประเทศต่างๆ (ตารางที่ 1)

ตารางที่ 1 แสดงปริมาณสูงสุดในระบบการเพาะเลี้ยงสาหร่ายเพื่อการค้าในประเทศต่างๆ

Culture system	Algae	Approximate maximum volume (l) ^a	Location
Tanks	Many species (for aquaculture)	1×10^4	World Wide
Extensive open ponds	<i>Dunaliella salina</i>	1×10^9	Australia
Circular ponds with rotating arm	<i>Chlorella</i> spp.	1.5×10^4	Taiwan, Japan
Raceway ponds	<i>Chlorella</i> spp., <i>Spirulina</i> spp. <i>Dunaliella salina</i>	3×10^4	Japan, Taiwan, USA, Thailand, China, India, Vietnam, Chile, USA, Israel, China
Cascade system with baffles	<i>Chlorella</i> spp.	3×10^4	Czech Republic, Bulgaria
Large bags	Many species (used for aquaculture)	1×10^3	World wide
Fermenters (heterotrophic)	<i>Chlorella</i> spp., <i>Cryptocodinium cohnii</i>	$>10^3$	Japan, Taiwan, Indonesia, USA
Two-stage system (indoors in closed reactor and then outdoors in paddlewheel ponds)	<i>Haematococcus pluvialis</i>	?	USA

^a These are order of magnitude estimates only.

ที่มา : Michael (1999)

วิธีการทดลอง

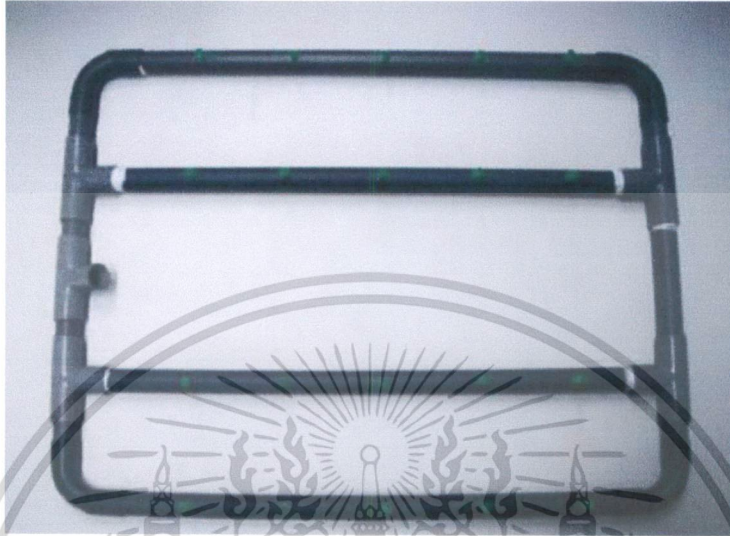
การทดลองแบ่งเป็น 2 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนในการออกแบบระบบก่อนทำการเพาะเลี้ยงกับขั้นตอนในการทำการเพาะเลี้ยงที่ทำควบคู่ไปกับการตรวจสอบผลการทดลอง

ขั้นตอนที่ 1 ออกแบบระบบการเพาะเลี้ยงโดยให้การไหลของน้ำในระบบมีทิศทางที่แตกต่างกันเพื่อให้ส่งผลต่อการเพาะเลี้ยงสาหร่ายโดยมีผลต่ออัตราการเจริญเติบโตของสาหร่ายในระบบ โดยแบ่งออกเป็น 3 ระบบ คือ ระบบหัวฉีดใต้น้ำ (water injection) ดังภาพที่ 3 ระบบการกระจายน้ำขึ้นสู่อากาศ (water scatter) ดังภาพที่ 4 ระบบการหมุนเวียนใต้น้ำ (water circulation) ดังภาพที่ 5 โดยในแต่ละระบบมีส่วนประกอบหลักๆ ดังต่อไปนี้ระบบส่งน้ำ ได้แก่ บัมขนาด 15 วัตต์ ช่องทางในการกระจายน้ำเพื่อให้เกิดการหมุนเวียน

1. หลักการทำงานภายในระบบหัวฉีดใต้น้ำ (water injection) ทำการติดตั้งบัม ขนาด 15 วัตต์ ที่มีแรงดันแนวตั้งสูง 10 เมตร ผ่านท่อที่ได้ทำการออกแบบไว้ไปสู่หัวฉีดแต่ละหัวฉีดที่มีทั้งหมด 20 หัว

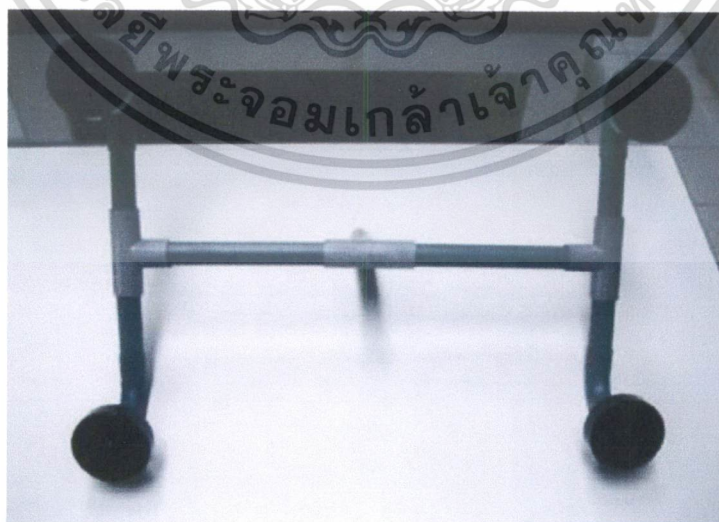
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพื่อให้สามารถหมุนเวียนน้ำโดยผ่านหัวฉีดในแต่ละหัว จากใต้พื้นถึงชั้นสูบน้ำใน แบบลักษณะหัวฉีดได้น้ำ (ภาพที่ 6)



ภาพที่ 3 ระบบหมุนเวียนน้ำที่ใช้ในการทำการทดลองระบบหัวฉีดได้น้ำ (water injection)

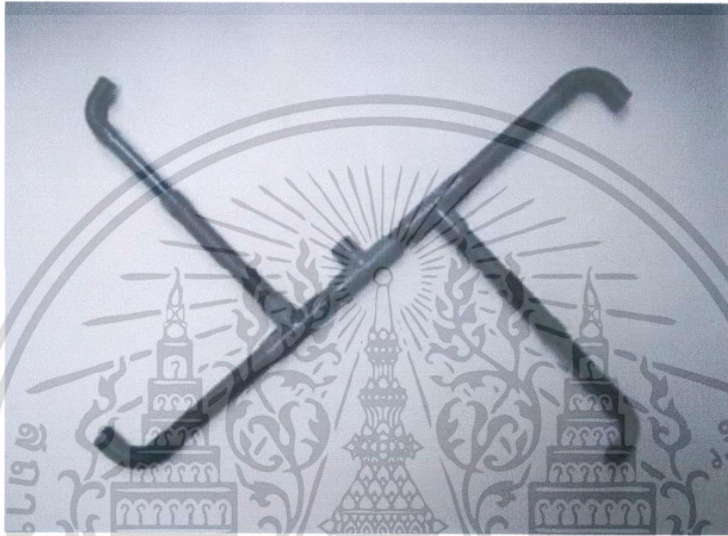
2. หลักการทำงานภายในระบบการกระจายน้ำขึ้นสู่อากาศ (water scatter) ทำการติดตั้งปั๊มขนาด 15 วัตต์ ตามแนวตั้งแล้วติดตั้งอุปกรณ์กระจายน้ำต่อกับปั๊มจะทำให้น้ำที่อยู่ในถังถูกดูดส่งผ่านไปยังฝักบัวทั้ง 4 หัว ซึ่งการหมุนเวียนน้ำภายในระบบนี้ จำทำให้น้ำสัมผัสกับอากาศ เนื่องจากน้ำจะถูกพ่นออกมาให้เห็นผิวน้ำแล้วน้ำจะตกลงสู่บ่อ (ภาพที่ 7)



ภาพที่ 4 ระบบหมุนเวียนน้ำที่ใช้ในการทำการทดลองระบบการกระจายน้ำขึ้นสู่อากาศ (water scatter)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. หลักการทำงานภายในระบบการหมุนเวียนไต้้น้ำ (water circulation) ทำการติดตั้งปั้ม ขนาด 15 วัตต์ ตามแนวนอนแล้วนำชุดอุปกรณ์ติดตั้งตรงปลายทางออกของปั้ม ซึ่งน้ำที่ส่งผ่านไปนั้นจะถูกแบ่งออกเป็น 4 ทิศทาง โดยแต่ละทิศทางทำมุมเท่ากับ 90° โดจะสามารถทำให้เกิดการหมุนวนของน้ำที่พื้นถึงได้ และสามารถทำให้มีการเวียนของตะกอนที่อยู่ภายใต้ถังด้วย (ภาพที่ 8)

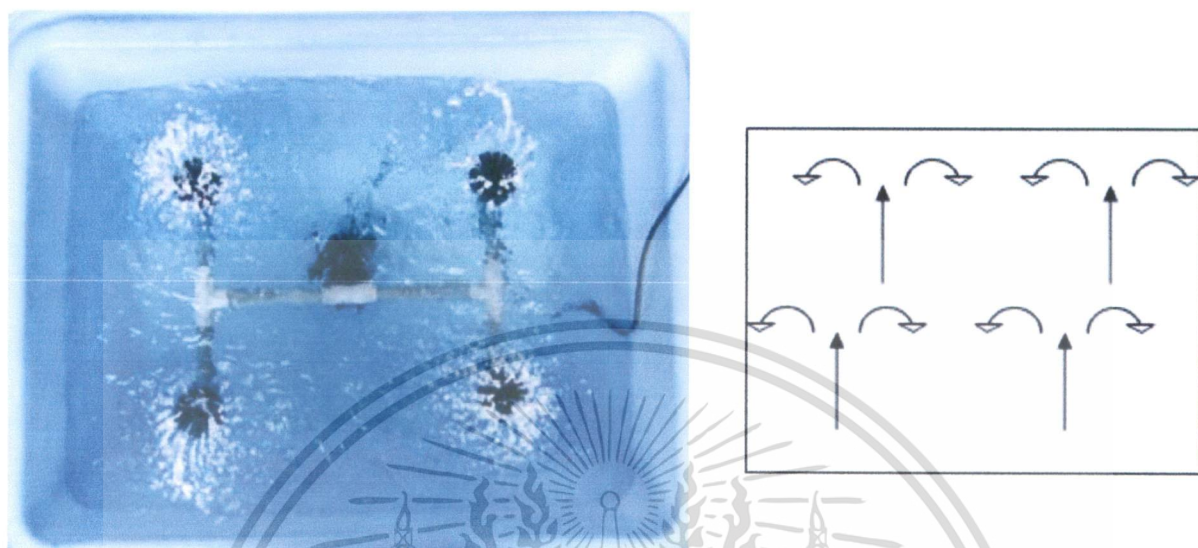


ภาพที่ 5 ระบบหมุนเวียนน้ำที่ใช้ในการทำการทดลองระบบการหมุนเวียนไต้้น้ำ (water circulation)

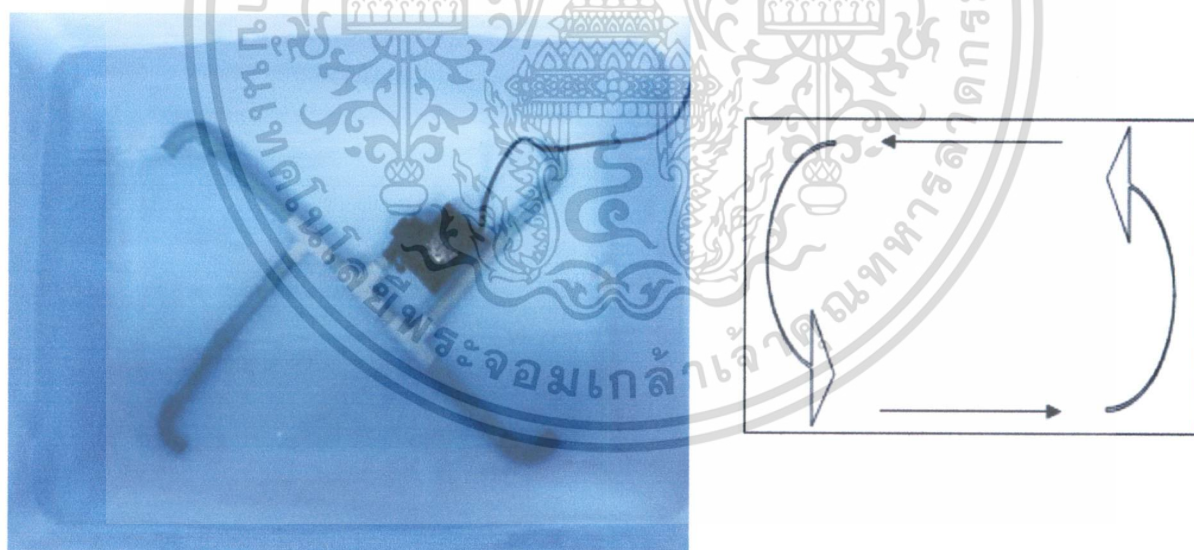


ภาพที่ 6 ลักษณะทิศทางการไหลของน้ำในระบบหัวฉีดไต้้น้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 7 ลักษณะทิศทางการไหลของน้ำในระบบการกระจายน้ำขึ้นสู่อากาศ



ภาพที่ 8 ลักษณะทิศทางการไหลของน้ำในระบบการหมุนเวียนใต้หน้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนที่ 2 การเลี้ยงสาหร่ายขนาดเล็กสกุล *Oscillatoria* sp.

1. เตรียมหัวเชื้อสาหร่าย *Oscillatoria* sp. ทำการเพาะเลี้ยงหัวเชื้อสาหร่ายภายในขวดรูปชมพูนขนาด 1 ลิตร (ภาพที่ 9) โดยใช้สูตรอาหารเหลว BG11 และทำการขยายหัวเชื้อเพิ่มในตู้แกว่งขนาด 30 ลิตร เพื่อนำไปใช้ในการทดลอง



ภาพที่ 9 หัวเชื้อสาหร่ายออสซิลลาทอเรียสำหรับใช้ทดลอง

2. เตรียมความพร้อมของระบบในการเพาะเลี้ยง หลังจากเตรียมหัวเชื้อไว้แล้ว ทำการติดตั้งระบบทั้ง 3 ระบบลงในถังขนาด 100 ลิตร จำนวน 9 ใบ โดยหนึ่งระบบจะติดตั้ง 3 ซ้ำ เมื่อทำการติดตั้งระบบเสร็จก็ทำการเติมน้ำโดยผ่านตุ้กรองลงในถังแต่ละถังจนครบทุกระบบ และทำการทรีตคลอรีนภายในถังทิ้งไว้เป็นเวลา 1 วัน พร้อมทั้งเปิดระบบทิ้งไว้

3. ทำการเพาะเลี้ยงสาหร่ายลงในระบบ หลังจากทรีตน้ำไว้ 1 วันแล้ว วันถัดมาก็ทำการเตรียมอาหารที่จะใช้เพาะเลี้ยง โดยจะใช้อาหารเหลว BG11 จำนวน 100 ml และปุ๋ยสูตร 15/15/15 จำนวน 5 กรัม ละลายลงในแต่ละถังจนครบทั้ง 9 ถัง หลังจากใส่อาหารแล้วก็ทำการใส่หัวเชื้อที่เตรียมไว้ลงในถัง โดยใส่หัวเชื้อแต่ละถัง 2 ลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การบันทึกข้อมูล

ทำการตรวจเช็คคุณภาพน้ำแอมโมเนีย-ไนโตรเจน (ammonia-nitrogen) ไนไตรท์-ไนโตรเจน (nitrite-nitrogen) ไนเตรท-ไนโตรเจน (nitrate-nitrogen) ฟอสเฟตที่ละลายในน้ำ (soluble reactive phosphate) ออกซิเจน (dissolved oxygen) อุณหภูมิ (temperature) แสง (light) ความเป็นกรด-ด่าง (pH) การนำไฟฟ้า (conductivity) คลอโรฟิลล์-เอ (chlorophyll-a) ทุกๆ 3 วัน

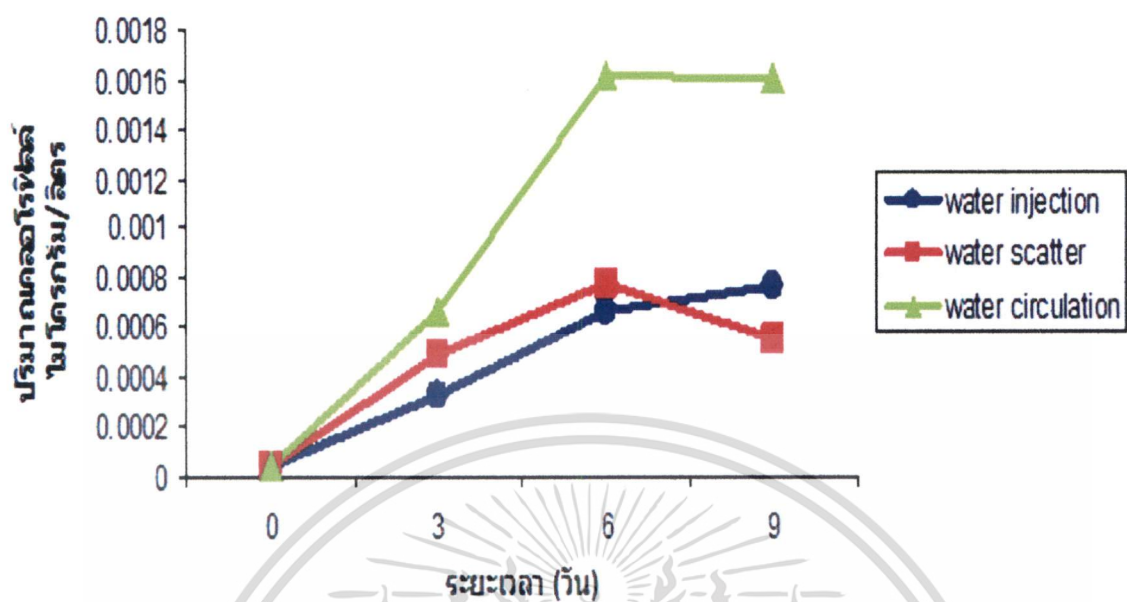
การวิเคราะห์ข้อมูล

นำข้อมูลที่ได้อาวิเคราะห์สถิติความแปรปรวน โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และเปรียบเทียบความแตกต่างด้วยวิธีการของ Duncan's multiple range test

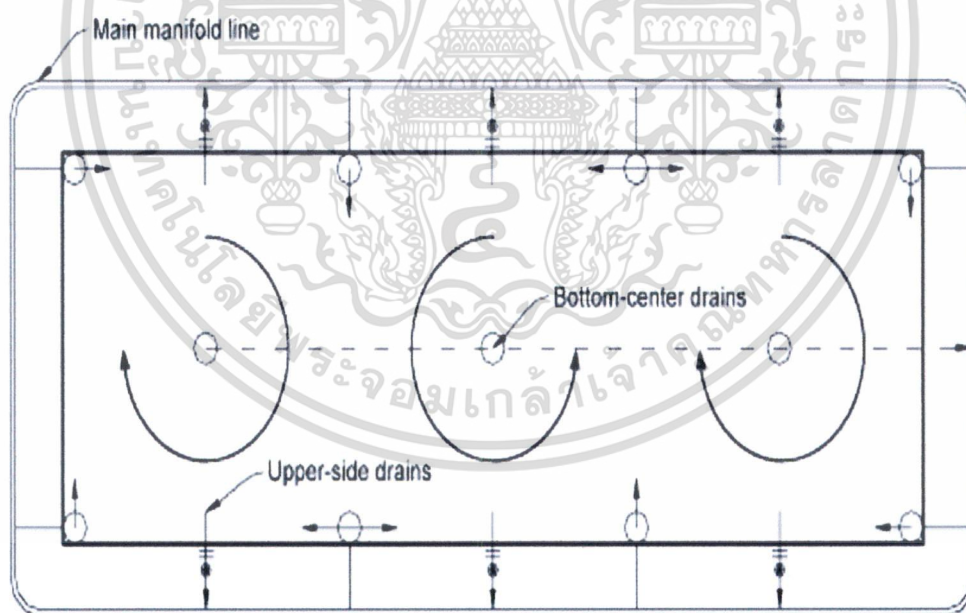
ผลการทดลองและวิจารณ์

การศึกษาการเจริญเติบโตของสาหร่าย *Oscillatoria* sp. ในระบบหมุนเวียนน้ำแบบระบบ หัวฉีดได้น้ำ ระบบการกระจายน้ำขึ้นสู่อากาศ ระบบการหมุนเวียนได้น้ำ การทดลองเลี้ยง สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน *Oscillatoria* sp. ในระบบการหมุนเวียนน้ำทั้ง 3 ระบบ (ภาพที่ 10) พบว่าสาหร่าย *Oscillatoria* sp. มีการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้น จนมีความหนาแน่นสูงสุดในระบบหมุนเวียนน้ำแบบ ระบบการหมุนเวียนได้น้ำโดยดูจากปริมาณคลอโรฟิลล์ 0.0016 µg/L ในวันที่ 6 ของการทดลอง หลังจากนั้นสาหร่ายจะมีการเจริญเติบโตในระยะคงที่ และเริ่มมี ปริมาณคลอโรฟิลล์ลดลงในวันที่ 9 ของ การทดลอง ผลของระบบหมุนเวียนน้ำของ Acien et al. (2001) สอดคล้องกับผลการทดลองในระบบ การหมุนเวียนได้น้ำในการเพาะเลี้ยงสาหร่ายแบบ outdoors ที่น้ำสามารถไหลหมุนเวียนน้ำช่วยทำให้ การผสมของน้ำในแต่ละชั้นไม่ให้เกิดการตกตะกอนทำให้มีการให้รูปแบบการหมุนส่งผลต่อลักษณะการ ผสมของเซลล์สาหร่าย (Rodrigo et al., 2007) ดังภาพที่ 11

Kelly and Michael (2003) ได้กล่าวอีกว่าการไหลในรูปแบบ turbulence เป็นตัวแปรหลักที่จะ ควบคุมการเติบโตของสาหร่าย โดยเมื่อการไหลทำให้เกิดฟองอากาศเพื่อช่วยให้สารอาหารสัมผัสกับผิว ของเซลล์เป็นที่ทราบกันดีอยู่แล้วว่าฟองอากาศเป็นต้นเหตุของการเกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂)



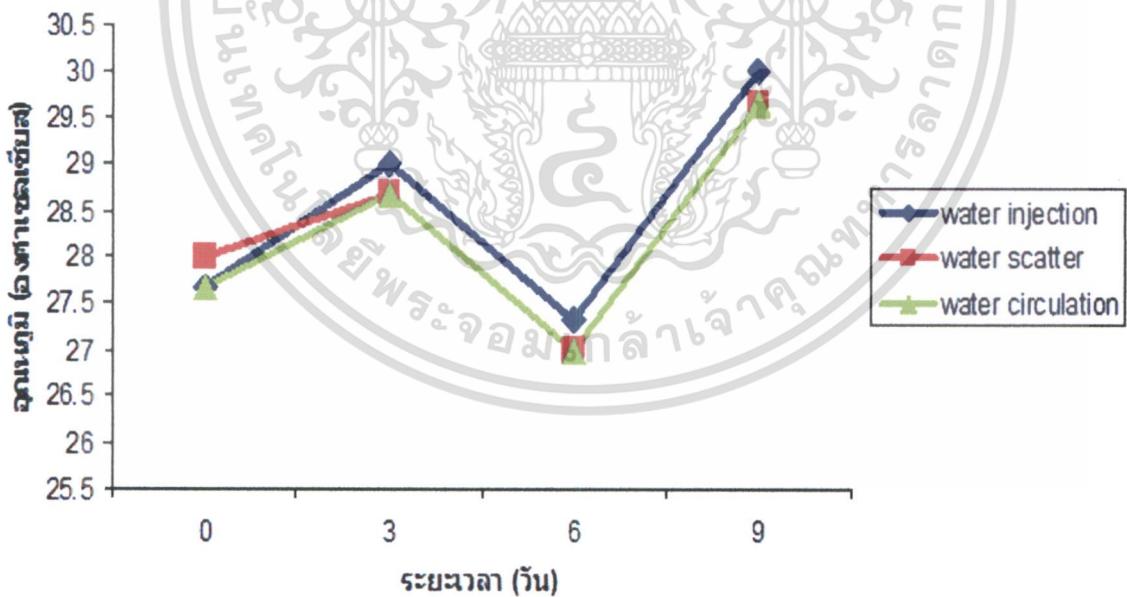
ภาพที่ 10 ปริมาณคลอโรฟิลล์-เอ ในระบบการหมุนเวียนน้ำทั้ง 3 ระบบ



ภาพที่ 11 ลักษณะการหมุนเวียนน้ำที่มีความคล้ายกับระบบหมุนเวียนได้น้ำ
ที่มา : Rodrigo et al. (2007)

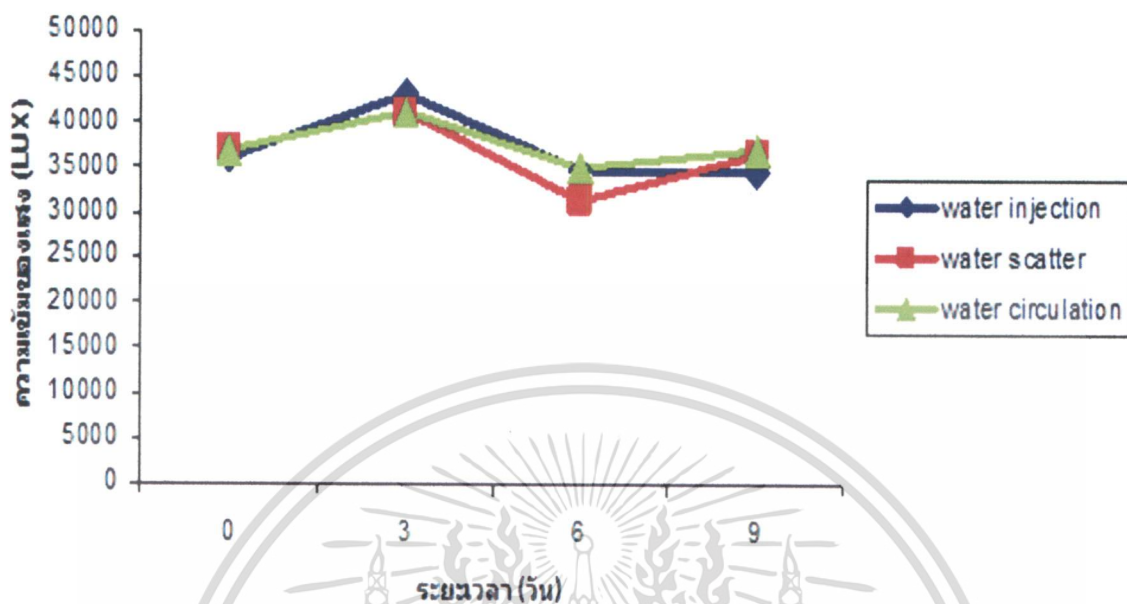
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พืชสามารถนำไปสร้างอาหารได้แล้วส่งผลทำให้การพัฒนาของจำนวนเซลล์เพิ่มขึ้น ผลของ อุณหภูมิและแสง ในการทดลองระบบการเพาะเลี้ยงในครั้งเป็นการเลี้ยงที่อยู่ในรูปแบบ outdoors ซึ่ง อุณหภูมิและแสงที่วัดได้ในขณะทำการเพาะเลี้ยงมีค่าอยู่ที่ 27-30°C (ภาพที่ 12) และแสงมีค่า 34,000-36,000 LUX (ภาพที่ 13) ซึ่งผลการทดลองนี้ มีความสอดคล้องกับระบบการเพาะเลี้ยงสาหร่ายแบบ outdoors ในการค้าทางตอนเหนือของประเทศแม็กซิกัน López et al. (2003) ผลของค่าความเป็นกรด-ด่าง และค่าการนำไฟฟ้า Carlos et al. (2003) กล่าวว่าในการเพาะเลี้ยงสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน แบบบ่อเปิดที่มีลักษณะการหมุนเวียนน้ำแบบ raceway pond นั้นควรที่จะรักษาค่าความเป็นกรด-ด่าง ของน้ำที่ใช้ในการเพาะเลี้ยงให้อยู่ในช่วง 8.0-9.5 ส่วนในค่า Conductivity ไม่สามารถบอกความ แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญได้ จากที่ Carlos ได้กล่าวมามีความสอดคล้องกับผลของค่าความเป็นกรด-ด่าง ในทุกระบบของการเพาะเลี้ยง โดยที่ค่าความเป็นกรด-ด่างอยู่ที่ 7.34-8.97 (ภาพที่ 14) และค่าการนำ ไฟฟ้าอยู่ที่ 555-645 $\mu\text{s}/\text{cm}$ (ภาพที่ 15)

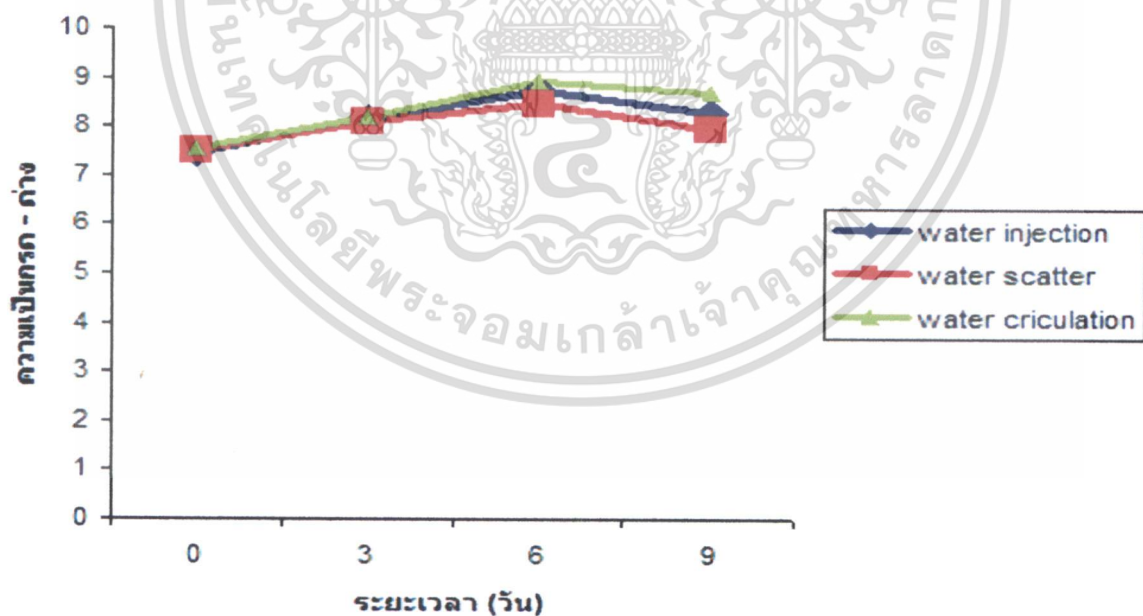


ภาพที่ 12 ช่วงอุณหภูมิของระบบการหมุนเวียนน้ำทั้ง 3 ระบบ ระหว่างทำการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

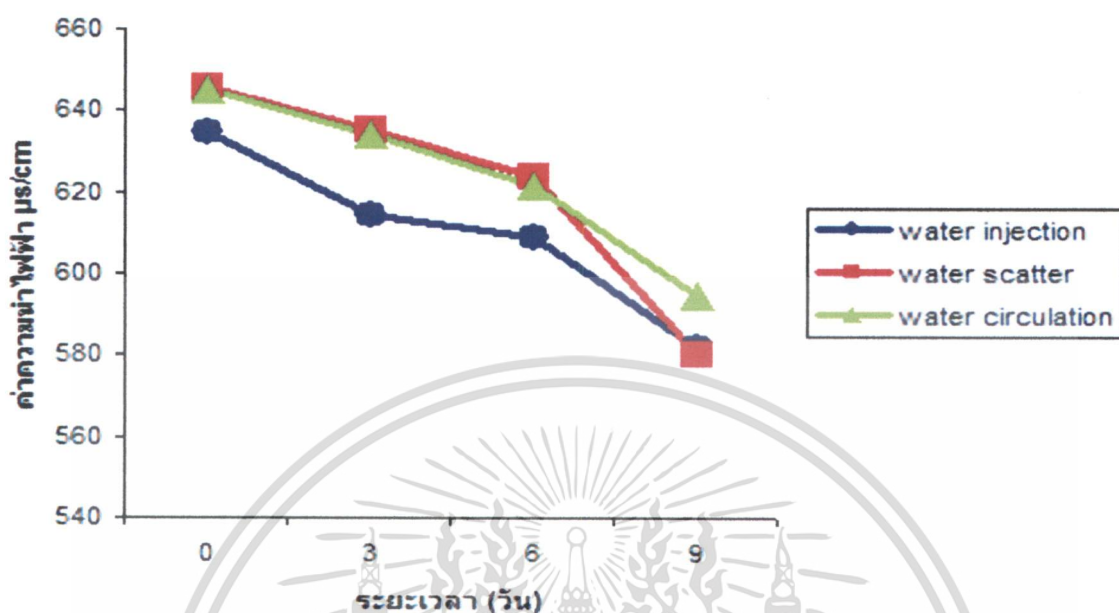


ภาพที่ 13 ช่วงความเข้มแสงในระบบการหมุนเวียนน้ำทั้ง 3 ระบบ ระหว่างทำการทดลอง



ภาพที่ 14 ค่าความเป็นกรด-ด่าง ในระบบการหมุนเวียนน้ำทั้ง 3 ระบบ ระหว่างทำการทดลอง

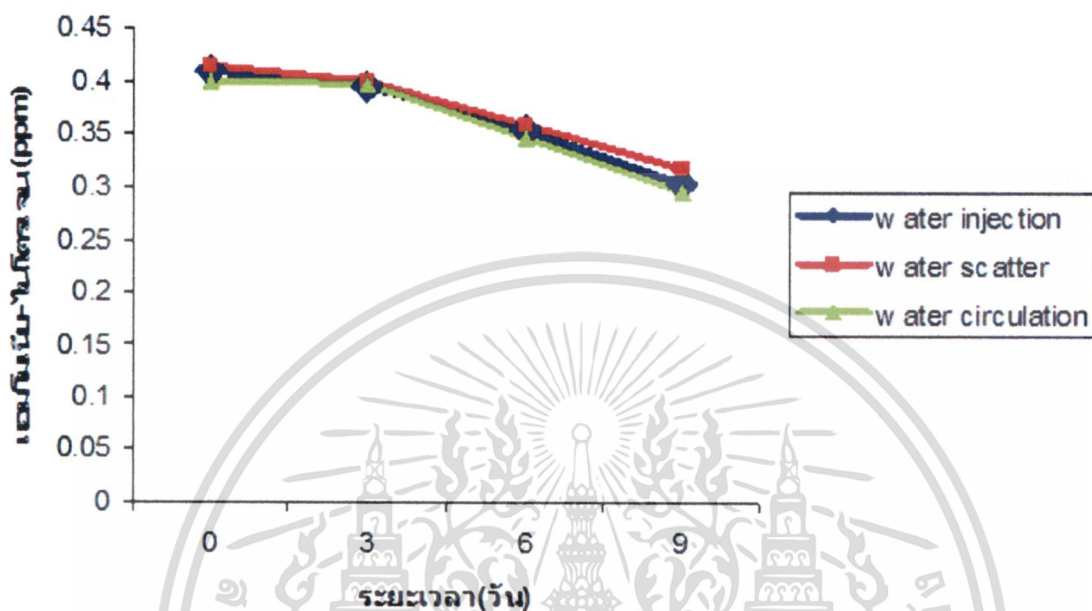
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



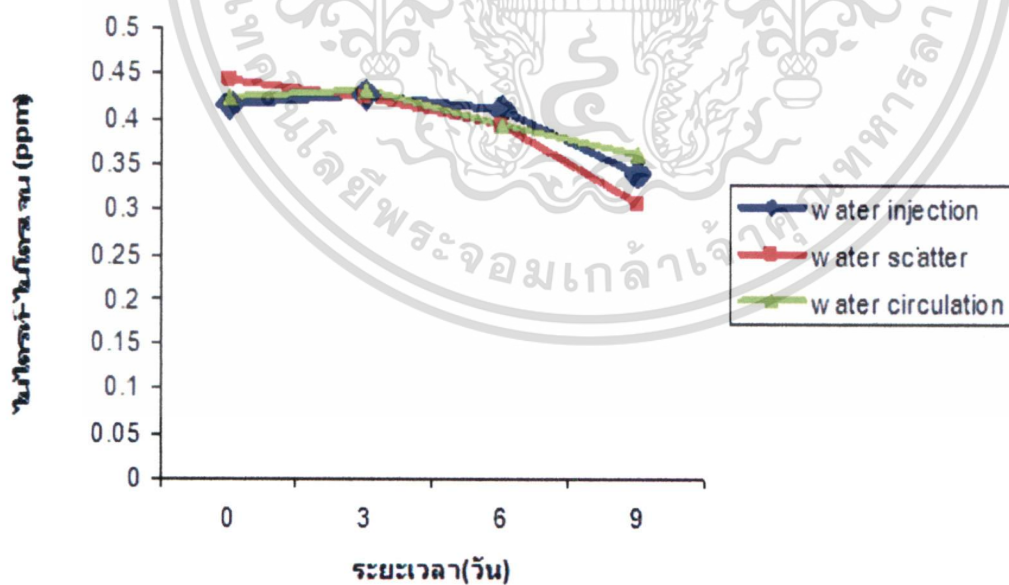
ภาพที่ 15 ค่าความนำไฟฟ้า ในระบบการหมุนเวียนน้ำทั้ง 3 ระบบ ระหว่างทำการทดลอง

ผลของการเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำในระบบการเลี้ยงจากการวิเคราะห์คุณภาพน้ำในระหว่างทำการเพาะเลี้ยงสาหร่าย พบว่าค่าแอมโมเนีย-ไนโตรเจน (ภาพที่ 16) ไนโตรท-ไนโตรเจน (ภาพที่ 17) ไนเตรท-ไนโตรเจน (ภาพที่ 18) ฟอสเฟตที่ละลายน้ำ (ภาพที่ 19) มีแนวโน้มลดลงในทุกๆระบบการหมุนเวียนน้ำเนื่องมาจาก สาหร่ายในสกุล *Oscillatoria* sp. ได้มีการนำธาตุอาหารไปใช้ในการเจริญเติบโตของสาหร่ายทำให้ค่าแอมโมเนีย-ไนโตรเจน ไนโตรท-ไนโตรเจน ไนเตรท-ไนโตรเจน ฟอสเฟตที่ละลายในน้ำมีค่าลดลงตลอดช่วงการทดลอง และในทุกๆระบบการหมุนเวียนน้ำไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) ในทุกระบบการหมุนเวียนน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

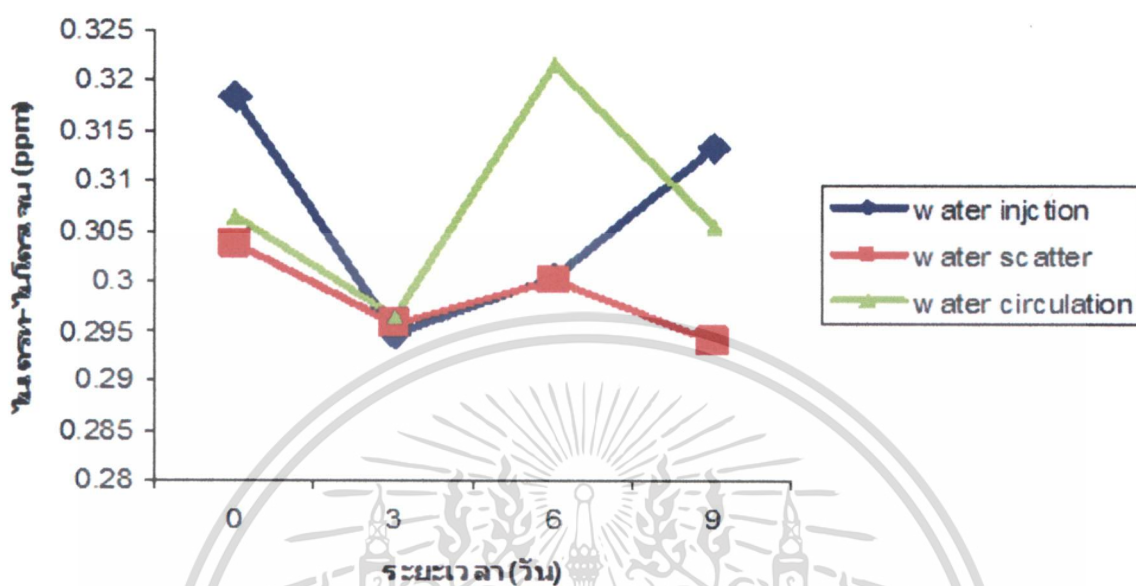


ภาพที่ 16 แอมโมเนีย-ไนโตรเจน ในระบบการหมุนเวียนน้ำทั้ง 3 ระบบ

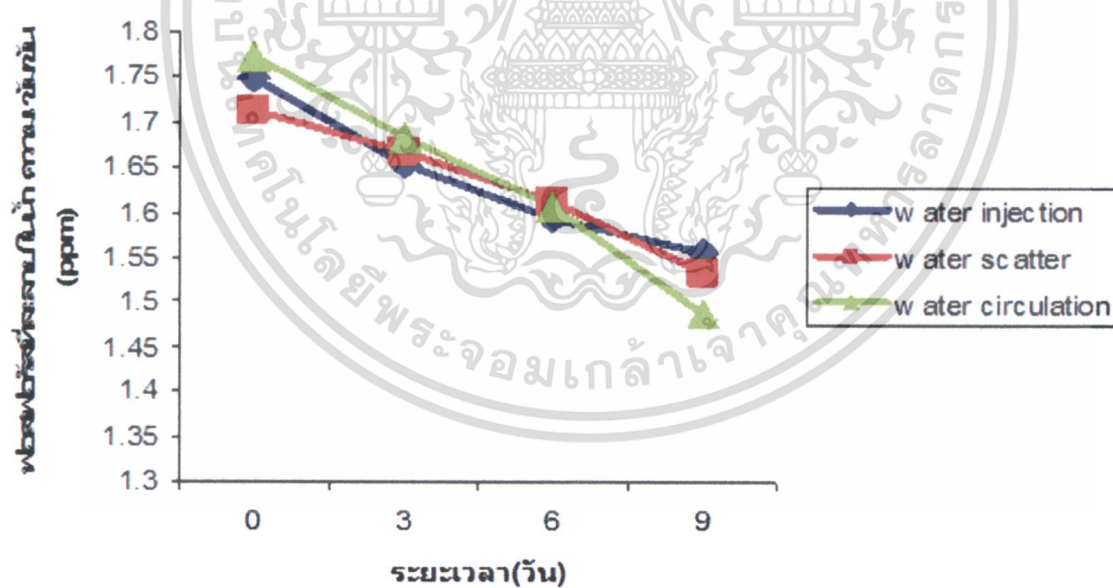


ภาพที่ 17 ไนไตรท์-ไนโตรเจน ในระบบการหมุนเวียนน้ำทั้ง 3 ระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 18 ไนเตรท-ไนโตรเจน ในระบบการหมุนเวียนน้ำทั้ง 3 ระบบ



ภาพที่ 19 ฟอสฟอรัสที่ละลายในน้ำ ในระบบการหมุนเวียนน้ำทั้ง 3 ระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุป

ระบบหมუნเวียนน้ำมีผลต่อผลผลิตสาหร่ายขนาดเล็กสกุล *Oscillatoria* sp. โดยระบบหมუნเวียนได้น้ำส่งผลทำให้ปริมาณผลผลิตของสาหร่ายขนาดเล็กเพิ่มขึ้นดีที่สุดในช่วงที่มีปริมาณคลอโรฟิลล์-เอ มากที่สุด 0.0016 ไมโครกรัม/ลิตร ลักษณะการหมუნเวียนของน้ำที่มีลักษณะการไหลเวียนได้น้ำ เป็นแบบที่ช่วยให้เซลล์มีการกระจายตัวมากขึ้นทำให้เซลล์สาหร่ายไม่ตกตะกอนและสามารถสังเคราะห์แสงได้ดี จึงทำให้เซลล์สาหร่ายมีการเจริญเติบโตที่ดีกว่าระบบหัวฉีดได้น้ำ และระบบการกระจายน้ำขึ้นสู่อากาศ

เอกสารอ้างอิง

- Acien, F.G., J.M. Ferna, H. Sevilla, E.M.Grima and Y. Chisti. 2001. Airlift-driven external-loop tubular photobioreactors for outdoor production of microalgae: assessment of design and erformance. *Chemical Engineering Science* 56:2,721-2,732.
- Alam, M.G.M., N. Jahan, L.Thalib, B. Wei and T. Maekawa. 2001. Effects of Environmental Factors on the Seasonally Change of Phytoplankton Populations in a Closed Freshwater Pond. *Environment International* 27:363-371.
- Ben-Amotz, A. 1995. New mode of Duneliella biotechnology: two-phase growth for B-carotene production. *Jornal Apply Phycology* 7:65-68.
- Borowitzka, M.A. 1999. Commercial production of microalgae: ponds, tanks, tubes and fermenters. *Jornal of Biotechnology* 70:313-321.
- Carlos, J.N., B.R. Cosslo, F.X. Niella, Relationship between physicochemical variables and productivity in open ponds for the production of Spirulina: a predictive model of algal yield. *Aquaculture* 221:331-345.
- Haider, S., V. Naithani, P.N. Viswanathan and P. Kakkar. 2003. Cyanobacterial Toxins: a Growing Environment Concern. *Chemosphere* 52:1-21.
- Kelly, A.R., J.M. Christensen. 2003. The hydraulically integrated serial turbidostat algal reactor (HISTAR) for microalgal production. *Aquacultural Engineering* 27:249-264.
- Lavens, P., P. Sorgeloos. 1996. Manual on the production and use of life food for aquaculture. *FAO Fisheries Technical Paper. NO.361. Rome, FAO. 295 p.*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- López, J.A., D. Voltolina, C.O. Chavira, B.B. Rodriguez, L.M. Gaxiola, B.C. Esquivel and M. Nieves. 2003. Mass production of microalgae in six commercial shrimp hatcheries of the Mexican northwest. *Aquacultural Engineering* 29:155-164.
- Michael, A.B. 1999. Commercial production of microalgae: ponds, tanks, tubes, and fermenters. *Biotechnology* 70:313-321.
- Moreno, J., M.A. Vargas, H. Rodrigues, J. Rivas and M.G. Guerrero. 2003. Outdoor cultivation of a nitrogen-fixing marine cyanobacterium, *Anabena* sp. ATCC 33047. *Biomolecular Engineering* 20:191-197.
- Rodrigo, A.L., J.M. Ebeling, R. Bhaskaran, and M.B. Timmons. 2007. Effects of inlet and outlet flow characteristics on mixed-cell raceway (MCR) hydrodynamics. *Aquacultural Engineering* 37:158-170.
- Shaw, H. and M. Smith. 2000. Algal Analysis-Organisms and Toxins. p. 143-167. In Norellet, L.M.L. (ed.) 2000. *Handbook of Water Analysis*. Marcell Dekker, Inc.
- Smith, P.T. 1996. Toxic Effects of Blooms of Marine Species of Oscillatorials on Farmed Prawns (*Penaeus monodon*, *P. japonicus*) and Brine Shrimp (*Artemia salina*). *Toxicon* 34(8):857-869.
- Spoloare, P., C. Joannis-Cassass, E. Duran and A. Isambert. 2006. Commercial applications of microalgae. *Jornal of Bioscience and Bioengineering* 101(2):87-96.
- Yusuf, C. 2007. Biodiesel from microalgae. *Biotechnology Advances* 25:294-306.