**การบำบัดน้ำเสียจากกระบวนการหมักดองผักโดยสาหร่ายสไปรูลินา**

***(Spirulina platensis)***

**รอยพิมพ์ อินต๊ะยศ**

**ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการ**

**ทรัพยากรการเกษตรและสิ่งแวดล้อม**

**มหาวิทยาลัยแม่โจ้**

**พ.ศ. 2549**

**การบำบัดน้ำเสียจากกระบวนการหมักดองผักโดยสาหร่ายสไปรูลินา**

***(Spirulina platensis)***

**รอยพิมพ์ อินต๊ะยศ**

**วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของความสมบูรณ์ของการศึกษาตามหลักสูตร**

**ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการ**

**ทรัพยากรการเกษตรและสิ่งแวดล้อม**

**โครงการบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยแม่โจ้**

**พ.ศ. 2549**

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยแม่โจ้

**ใบรับรองวิทยานิพนธ์**

**โครงการบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยแม่โจ้**

**ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการทรัพยากรการเกษตรและสิ่งแวดล้อม**

---

ชื่อเรื่อง

**การบำบัดน้ำเสียจากกระบวนการหมักดองผักโดยสาหร่ายสไปรูลินา**

***(Spirulina platensis)***

โดย

**รอยพิมพ์ อินต๊ะยศ**

**พิจารณาเห็นชอบโดย**

ประธานกรรมการที่ปรึกษา ..........................................

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ฐปน ชื่นบาล)

วันที่ 25 เดือน ธันวาคม พ.ศ. 2549

กรรมการที่ปรึกษา ..........................................

(อาจารย์ ดร.ศิราภรณ์ ชื่นบาล)

วันที่ 25 เดือน ธันวาคม พ.ศ. 2549

กรรมการที่ปรึกษา ..........................................

(อาจารย์จงกล พรมยะ)

วันที่ 25 เดือน ธันวาคม พ.ศ. 2549

กรรมการที่ปรึกษา ..........................................

(อาจารย์น้ำเพ็ชร วินิจฉัยกุล)

วันที่ 25 เดือน ธ.ค. พ.ศ. 2549

ประธานกรรมการประจำหลักสูตร ..........................................

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นรินทร์ ทองวิทยา)

วันที่ 26 เดือน ธ.ค. พ.ศ. 2549

**โครงการบัณฑิตวิทยาลัยรับรองแล้ว** ..........................................

(รองศาสตราจารย์ ดร.เทพ พงษ์พานิช)

ประธานคณะกรรมการโครงการบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ 26 ธ.ค. 2549 เดือน........ พ.ศ........

| | |
|---|---|
| **ชื่อเรื่อง** | การบำบัดน้ำเสียจากกระบวนการหมักดองผักโดยสาหร่าย สไปรูลินา *(Spirulina platensis)* |
| **ชื่อผู้เขียน** | นางสาวรอยพิมพ์ อินต๊ะยศ |
| **ชื่อปริญญา** | วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการทรัพยากรการเกษตรและสิ่งแวดล้อม |
| **ประธานกรรมการที่ปรึกษา** | ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ฐูปน ชื่นบาล |

## บทคัดย่อ


การทำการวิจัยครั้งนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียของสาหร่าย *Spirulina platensis* ที่เพาะเลี้ยงในน้ำเสียจากกระบวนการหมักดองผักโดยได้ทำการศึกษาหาความเข้มข้นของน้ำเสียที่เหมาะสมต่อการบำบัดน้ำเสียโดยสาหร่าย *Spirulina platensis* โดยนำน้ำเสียพักไว้ให้ตกตะกอนแล้วกรองน้ำเพื่อแยกตะกอนออก แล้วนำมาใช้เพาะเลี้ยงสาหร่ายในการทดลอง ผลการทดลอง พบว่า ในสภาพการเพาะเลี้ยงในห้องปฏิบัติการ ระดับความเข้มข้นของน้ำเสียที่เหมาะสมต่อการบำบัดน้ำเสีย และการเจริญเติบโตของสาหร่าย คือ ที่ระดับความเข้มข้นของน้ำเสียร้อยละ 60 ซึ่งมีค่า BOD และ COD เริ่มต้น เท่ากับ 950 และ 1,260 มิลลิกรัมต่อลิตร หลังผ่านการเพาะเลี้ยงสาหร่ายแล้ว ลดลงเหลือ 207 และ 276 มิลลิกรัมต่อลิตร คิดเป็นเปอร์เซ็นต์เท่ากับ 78.21 และ 78.09 ตามลำดับ สำหรับการศึกษาปริมาณสารอาหาร ที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของสาหร่าย *Spirulina platensis* ในสภาพกลางแจ้ง พบว่า ระดับความเข้มข้นของสารอาหารที่เหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโตของสาหร่าย *Spirulina platensis* คือ $NaHCO_3$ 4.25 กรัมต่อลิตร, $NaNO_3$ 0.75 กรัมต่อลิตร, $K_2HPO_4$ 0.25 กรัมต่อลิตร และปุ๋ยสูตร 16-16-16 (N:P:K) 0.3 กรัมต่อลิตร แต่เมื่อเปรียบเทียบกับชุดการทดลองที่ไม่มีการเติมสารอาหาร สาหร่าย *Spirulina platensis* มีการเจริญเติบโตได้ดีกว่าการเติมสารอาหาร มีผลผลิตเซลล์สาหร่ายสูงสุด $1.59\times10^4$ เซลล์ต่อมิลลิลิตร และมีค่าการดูดกลืนแสงสูงสุด 1.25 ที่ความยาวคลื่น 560 นาโนเมตร

ในการเพาะเลี้ยงแบบกะ ในบ่อซีเมนต์กลมขนาด 200 ลิตร พบว่า การทดลองที่ไม่เติมสารอาหารสามารถบำบัดน้ำเสียได้ดีกว่า และสาหร่ายสามารถเจริญเติบโตสูงสุด ในวันที่ 12 ของการเพาะเลี้ยงที่ระยะเวลา 15 วัน โดยมีค่าเริ่มต้นของ BOD, COD, $PO_4$-P, $NH_3$-N, $NO_3$-N และ TDS เท่ากับ 975, 1,280, 83, 186, 39 และ 27,650 มิลลิกรัมต่อลิตร และลดลงเหลือเท่ากับ 171, 151, 28.31, 64.40, 22.60 และ 20,154 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ คิดเป็นเปอร์เซ็นต์เท่ากับ 82.46, 88.20, 65.81, 65.38, 42.05 และ 27.11% ตามลำดับ มีผลผลิตสาหร่ายสูงสุด $1.73\times10^5$ เซลล์ต่อมิลลิลิตร

และมีค่าการดูดกลืนแสงสูงสุด 1.36 ที่ความยาวคลื่น 560 นาโนเมตร เมื่อนำผลการทดลอง 2 ชุดการทดลอง มาวิเคราะห์หาความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ พบว่า ชุดการทดลองที่ไม่เติมสารอาหาร สาหร่ายเจริญเติบโตได้สูงสุด และมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ในการเพาะเลี้ยงแบบกึ่งต่อเนื่อง ในบ่อซีเมนต์วงรี ขนาด 1,500 ลิตร พบว่า การเพาะเลี้ยงที่ไม่เติมสารอาหารสามารถบำบัดน้ำเสียได้ดีกว่าการเพาะเลี้ยงที่เติมสารอาหาร มีค่าเริ่มต้นของ BOD, COD, $PO_4$-P, $NH_3$-N, $NO_3$-N และ TDS เท่ากับ 1,050, 1,900, 103.25, 9.78, 27.12 และ 26,000 มิลลิกรัมต่อลิตร และลดลงเหลือเท่ากับ 230, 254, 78.40, 7.42, 25.11 และ 20,250 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ คิดเป็นเปอร์เซ็นต์เท่ากับ 78.10, 86.63, 24.04, 24.13, 7.41 และ 22.12% ตามลำดับ มีผลผลิตสาหร่ายสูงสุด $2.41\times10^5$ เซลล์ต่อมิลลิลิตร และมีค่าการดูดกลืนแสงสูงสุด 1.904 ที่ความยาวคลื่น 560 นาโนเมตร เมื่อนำผลการทดลอง 2 ชุดการทดลอง มาวิเคราะห์หาความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ พบว่า ชุดการทดลองที่ไม่เติมสารอาหาร สาหร่ายเจริญเติบโตได้สูงสุด และมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

| | |
|---|---|
| **Title** | Vegetable Processing Wastewater Treatment by *Spirulina platensis* |
| **Author** | Miss Roypim Intayos |
| **Degree** | Master of Science in Agricultural Resources and Environmental Management |
| **Advisory Committee Chairperson** | Assistant Professor Dr.Tapana Cheunbarn |

## ABSTRACT

The main objective of this research was to study the efficiency in treating wastewater by using *Spirulina platensis* cultured in vegetable processing wastewater by determining the wastewater concentration appropriate for wastewater treatment. After separating and removing the sediment and culturing the *Spirulina platensis* in laboratory conditions, results showed that wastewater concentration level appropriate for treatment was at 60% with initial BOD and COD amounts of 950 and 1,260 mg/L, respectively, but which were later reduced to 207 and 276 mg/L at 78.21 and 78.09%, respectively. Meanwhile, under sunlight conditions, results indicated that concentration levels of nutrients necessary for the growth of *Spirulina platensis* consisted of 4.25 g/L $NaHCO_3$, 0.75 g/L $NaNO_3$, 0.25 g/L $K_2HPO_4$ and 0.3 g/L 16-16-16 NPK. However, when compared with treatment that had no additional nutrients, *Spirulina platensis* gave much better growth than with added nutrients, as indicated by a high cell production of $1.59 \times 10^4$ cells/ml and maximum absorbance of 1.25 at wavelength of 560 nanometer.

In this study where *Spirulina platensis* was cultured in a round 200-liter cemented pond, results showed that treatment with no additional nutrients was more efficient in treating wastewater and with *Spirulina platensis* reaching its optimum growth on the 12$^{th}$ day of the trial duration (15 days), as indicated by reduction of BOD, COD, $PO_4$-P, $NH_3$-N, $NO_3$-N and TDS from initial amounts of 975.00, 1280.00, 83.00, 186.00, 39.00, 27.00 and 650.00 mg/L, respectively, to amounts (percentage equivalent) of 171.00 (82.46%), 151.00 (88.20%), 28.31 (65.81%), 64.40 (65.38%), 22.60 (42.05%) and 20.154 (27.11%) mg/L, respectively. In addition,

cell production was higher at $1.73 \times 10^5$ cells/ml with maximum absorbance of 1.36 at wavelength of 560 nanometer. Statistical analysis showed that the efficiency of the treatment without additional nutrients was significantly much better than treatment with additional nutrients ($P<0.05$).

Likewise, under a semi-continuous culture conditions in a 1,500-litter oval cemented pond, the treatment without additional nutrients was more effective in treating wastewater than the treatment with additional nutrients as shown by reduction of initial values of BOD, COD, $PO_4$-P, $NH_3$-N, $NO_3$-N and TDS at 1050.00, 1900.00, 103.25, 9.78, 27.12 and 26,000.00 mg/L, respectively, to 230.00 (78.10%), 254.00 (86.63%), 78.40 (24.04%), 7.42 (24.13%), 25.11 (7.41%) and 20,250 (22.12%) mg/L, respectively. In addition, cell production was higher ($2.41 \times 10^5$ cells/ml) with maximum absorbance of 1.904 at wavelength of 560 nanometer. Results of statistical analysis indicated that *Spirulina platensis* had significantly much better growth in treatment without additional nutrients than in treatment with additional nutrients ($P<0.05$).

# กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จลงได้ด้วยความร่วมมือ และความอนุเคราะห์จากบุคคลหลายฝ่ายโดยเฉพาะอย่างยิ่ง ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ ผศ.ดร.ฐูปน ชื่นบาล ประธานกรรมการที่ปรึกษาที่ได้สละเวลาให้คำปรึกษา และคำแนะนำในการวางแผนการดำเนินงานทดลอง ตลอดจนช่วยสนับสนุนวัสดุอุปกรณ์สำหรับใช้ในการดำเนินงานทดลอง จนกระทั่งงานทดลองสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี รวมทั้ง ดร.ศิราภรณ์ ชื่นบาล ได้ตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนสำเร็จสมบูรณ์ และอาจารย์จงกล พรมยะ ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์สาหร่าย *Spirulina platensis* และคำแนะนำต่าง ๆ ในการเพาะเลี้ยงสาหร่าย และอาจารย์น้ำเพชร วินิจฉัยกุล กรรมการที่ปรึกษาที่กรุณาให้คำปรึกษา ในการทำวิจัยครั้งนี้

ขอขอบพระคุณ คุณสร้อยขวัญ และเจ้าหน้าที่ควบคุมบ่อบำบัดน้ำเสีย บริษัทสันติภาพ จำกัด ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์จัดเตรียม และให้ความสะดวกในการขนส่งน้ำเสีย เพื่อใช้ในการวิจัยครั้งนี้

ขอขอบคุณ คุณณัฐพงศ์ ชนะวงษา เจ้าหน้าที่ประจำเครื่องจักรกลโรงบำบัดน้ำเสีย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ที่ได้ให้ความช่วยเหลือในการขนส่งน้ำเสียจากโรงงาน เพื่อใช้ในการวิจัยครั้งนี้

ขอขอบคุณ คุณชาคริต วังคะออม, คุณสมัคร แคนทอง, คุณบัญชา ชวาลไชย, คุณกมลวรรณ คำแก้ว, คุณวาสนา จุ้ยเปี่ยม ที่ได้ให้คำปรึกษา และคำแนะนำช่วยเหลือในการทำงานวิจัย และคอยให้กำลังใจเสมอมา ตลอดจนเพื่อน ๆ และน้อง ๆ นักศึกษาปริญญาโท สาขาการจัดการทรัพยากรการเกษตรและสิ่งแวดล้อม ที่ช่วยเหลือ และให้กำลังใจมาโดยตลอด และขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการภาควิชาชีววิทยา และคณะเทคโนโลยีการประมง ที่ให้ความช่วยเหลือ และอำนวยความสะดวกต่าง ๆ ในการทำงานวิจัยให้สำเร็จลุล่วงได้

ท้ายที่สุดนี้ ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อบุญศรี คุณแม่พิมพา อินต๊ะยศ ซึ่งเป็นที่สุดของผู้ให้ เป็นผู้มีพระคุณหาที่เปรียบมิได้ ท่านเป็นทั้งพ่อแม่ ครู ที่คอยฟูมฟักทะนุถนอม คอยให้กำลังใจปลุกปลอบขวัญยามท้อแท้ ขอขอบพระคุณพี่สาวที่เคารพรัก ซึ่งคอยสนับสนุนให้คำปรึกษา และคำแนะนำให้กำลังใจในการศึกษาจนสำเร็จ ซึ่งข้าพเจ้าไม่สามารถลืมพระคุณของท่านดังที่กล่าวมาแล้วนี้ได้จนสุดท้ายของชีวิตข้าพเจ้า

รอยพิมพ์ อินต๊ะยศ

ธันวาคม 2549

# สารบัญ


| | หน้า |
|---|---|
| บทคัดย่อ | (3) |
| ABSTRACT | (5) |
| กิตติกรรมประกาศ | (7) |
| สารบัญ | (8) |
| สารบัญตาราง | (11) |
| สารบัญภาพ | (12) |
| บทที่ 1 บทนำ | 1 |
| ปัญหาของการวิจัย | 2 |
| วัตถุประสงค์ | 2 |
| ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ | 3 |
| ขอบเขตการวิจัย | 3 |
| บทที่ 2 การตรวจเอกสาร | 4 |
| การจัดลำดับทางด้านอนุกรมวิธานของสาหร่าย *Spirulina platensis* | 4 |
| ลักษณะทางชีววิทยาของสาหร่าย *Spirulina platensis* | 5 |
| คุณค่าทางอาหารของสาหร่าย *Spirulina* spp. | 6 |
| ปัจจัยบางประการที่มีผลต่อการเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina platensis* | 14 |
| การผลิตสาหร่าย *Spirulina platensis* | 18 |
| ประโยชน์ของสาหร่าย *Spirulina platensis* | 23 |
| การใช้สาหร่าย *Spirulina platensis* เป็นอาหารสัตว์ | 24 |
| สาหร่าย *Spirulina platensis* กับการบำบัดน้ำเสีย | 26 |
| น้ำเสียจากกระบวนการหมักดอง | 32 |
| บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการทดลอง | 37 |
| อุปกรณ์ | 37 |
| วิธีการทดลอง | 39 |
| สถานที่ และระยะเวลาทำการทดลอง | 45 |

หน้า

บทที่ 4 ผลการทดลอง 46

การศึกษาหาความเข้มข้นของน้ำเสียจากโรงงานหมักดองที่เหมาะสมต่อการบำบัดน้ำเสียโดยสาหร่าย *Spirulina platensis* 46

การศึกษาหาปริมาณสารอาหารที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของสาหร่าย *Spirulina platensis* ในน้ำเสียที่ระดับความเข้มข้นที่เหมาะสมในการเพาะเลี้ยง สภาพห้องปฏิบัติการ 56

การศึกษาหาปริมาณสารอาหารที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของสาหร่าย *Spirulina platensis* ในน้ำเสียที่ระดับความเข้มข้นที่เหมาะสมในการเพาะเลี้ยง สภาพกลางแจ้ง 60

การเพาะเลี้ยง แบบกะ 64

การเพาะเลี้ยง แบบกึ่งต่อเนื่อง 75

บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง 86

สรุป และอภิปรายผลการทดลอง 86

สรุป และข้อเสนอแนะ 91

บรรณานุกรม 93

ภาคผนวก 102

ภาคผนวก ก ผลการทดลอง 103

ภาคผนวก ข วิธีการตรวจวัดค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ตามวิธีมาตรฐาน 116

ภาคผนวก ค ประวัติผู้วิจัย 124

# สารบัญตาราง


| ตาราง | | หน้า |
|---|---|---|
| 1 | เปรียบเทียบปริมาณโปรตีนในสาหร่าย *Spirulina* spp. กับอาหารชนิดอื่นๆ | 8 |
| 2 | เปรียบเทียบกรดอะมิโนของสาหร่าย *Spirulina* spp. และอาหาร โปรตีนอื่น ๆ กับ ค่ามาตรฐาน FAO (กรัม/100 กรัมโปรตีน) | 9 |
| 3 | ปริมาณโปรตีนจากสาหร่ายสไปรูลินาที่เลี้ยงในน้ำทิ้ง จากโรงงานอุตสาหกรรมบางประเภท | 10 |
| 4 | ปริมาณรงควัตถุในสาหร่าย *Spirulina* spp. เปรียบเทียบกับสาหร่าย *Chlorella* spp. | 12 |
| 5 | ปริมาณวิตามินและแร่ธาตุของสาหร่าย *Spirulina platensis* แห้ง 1 กิโลกรัม | 13 |
| 6 | ค่าซีโอดี บีโอดี และพีเอช ของน้ำเสียจากโรงงานแปรรูปผักผลไม้ | 34 |
| 7 | พารามิเตอร์และวิธีวิเคราะห์คุณภาพน้ำ | 40 |
| 8 | ลักษณะของน้ำเสียโรงงานหมักดอง บริษัทสันติภาพ (ฮั่วเพ้ง 1958) จำกัด | 46 |
| 9 | ปริมาณ TDS ในน้ำเสียหมักดองผักที่ระดับความเข้มข้นแตกต่างกัน ที่ใช้เพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina platensis* | 47 |
| 10 | ปริมาณ BOD ในน้ำเสียหมักดองผักที่ระดับความเข้มข้นแตกต่างกัน ที่ใช้เพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina platensis* | 48 |
| 11 | ปริมาณ COD ในน้ำเสียหมักดองผักที่ระดับความเข้มข้นแตกต่างกัน ที่ใช้เพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina platensis* | 49 |
| 12 | ปริมาณไนเตรท - ไนโตรเจน ในน้ำเสียหมักดองผัก ที่ระดับความเข้มข้นแตกต่างกัน ที่ใช้เพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina platensis* | 51 |
| 13 | ปริมาณแอมโมเนีย - ไนโตรเจน ในน้ำเสียหมักดองผัก ที่ระดับความเข้มข้นแตกต่างกัน ที่ใช้เพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina platensis* | 52 |
| 14 | ปริมาณออร์โธฟอสเฟต - ฟอสฟอรัส ในน้ำเสียหมักดองผัก ที่ระดับความเข้มข้นแตกต่างกัน ที่ใช้เพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina* | 53 |
| 15 | การเจริญเติบโตของสาหร่าย *Spirulina platensis* ในการเพาะเลี้ยง ที่ความเข้มข้นของน้ำเสียจากโรงงานหมักดองผักที่แตกต่างกัน โดยวัด OD ที่ความยาวคลื่น 560 นาโนเมตร | 54 |

ตาราง หน้า


16 การเจริญเติบโตของสาหร่าย *Spirulina platensis* ในการเพาะเลี้ยงสภาพห้องปฏิบัติการ โดยวัด OD ที่ความยาวคลื่น 560 นาโนเมตร 57
17 การเจริญเติบโตของสาหร่าย *Spirulina platensis* ในการเพาะเลี้ยงสภาพกลางแจ้ง โดยวัด OD ที่ความยาวคลื่น 560 นาโนเมตร 61
18 ปริมาณ BOD ในน้ำเสียหมักดองผักความเข้มข้น 60% ที่ใช้เพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina platensis* แบบกะ 67
19 ปริมาณ COD ในน้ำเสียหมักดองผักความเข้มข้น 60% ที่ใช้เพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina platensis* แบบกะ 67
20 ปริมาณ TDS ในน้ำเสียหมักดองผักความเข้มข้น 60% ที่ใช้เพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina platensis* แบบกะ 68
21 ปริมาณ ออร์โธฟอสเฟต - ฟอสฟอรัส ในน้ำเสียหมักดองผักความเข้มข้น 60% ที่ใช้เพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina platensis* แบบกะ 68
22 ปริมาณ แอมโมเนีย - ไนโตรเจน ในน้ำเสียหมักดองผักความเข้มข้น 60% ที่ใช้เพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina platensis* แบบกะ 69
23 ปริมาณ ไนเตรท - ไนโตรเจน ในน้ำเสียหมักดองผักความเข้มข้น 60% ที่ใช้เพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina platensis* แบบกะ 69
24 การเจริญเติบโตของสาหร่าย *Spirulina platensis* ที่เพาะเลี้ยงในน้ำเสียความเข้มข้น 60% แบบกะโดยวัด OD ที่ความยาวคลื่น 560 นาโนเมตร 70
25 ปริมาณ TDS ในน้ำเสียหมักดองผักความเข้มข้น 60% ที่ใช้เพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina platensis* แบบกึ่งต่อเนื่อง 78
26 ปริมาณ BOD ในน้ำเสียหมักดองผักความเข้มข้น 60% ที่ใช้เพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina platensis* แบบกึ่งต่อเนื่อง 78
27 ปริมาณ COD ในน้ำเสียหมักดองผักความเข้มข้น 60% ที่ใช้เพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina platensis* แบบกึ่งต่อเนื่อง 79
28 ปริมาณ ออร์โธฟอสเฟต - ฟอสฟอรัส ในน้ำเสียหมักดองผักความเข้มข้น 60% ที่ใช้เพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina platensis* แบบกึ่งต่อเนื่อง 79
29 ปริมาณ แอมโมเนีย - ไนโตรเจน ในน้ำเสียหมักดองผักความเข้มข้น 60% ที่ใช้เพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina platensis* แบบกึ่งต่อเนื่อง 80

| ตาราง | | หน้า |
|---|---|---|
| 30 | ปริมาณ ไนเตรท - ไนโตรเจน ในน้ำเสียหมักดองผักความเข้มข้น 60% ที่ใช้เพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina platensis* แบบกึ่งต่อเนื่อง | 80 |
| 31 | การเจริญเติบโตของสาหร่าย *Spirulina platensis* ที่เพาะเลี้ยงในน้ำเสียความเข้มข้น 60% แบบกึ่งต่อเนื่องโดยวัด OD ที่ความยาวคลื่น 560 นาโนเมตร | 81 |
| 32 | การเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina platensis* ในน้ำเสียจากการหมักดองผักเพื่อทราบระดับความเข้มข้นของน้ำเสียที่เหมาะสม | 104 |
| 33 | การเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina platensis* ในน้ำเสียที่ระดับความเข้มข้นที่เหมาะสม ในการเพาะเลี้ยงสภาพห้องปฏิบัติการ โดยเติมสารอาหารเพื่อหาปริมาณสารอาหารที่เหมาะสม | 106 |
| 34 | การเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina platensis* ในน้ำเสียที่ระดับความเข้มข้นที่เหมาะสม ในการเพาะเลี้ยงสภาพกลางแจ้ง โดยเติมสารอาหารเพื่อหาปริมาณสารอาหารที่เหมาะสม | 108 |
| 35 | ผลการทดลองการเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina platensis* แบบกะ | 110 |
| 36 | ผลการทดลองการเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina platensis* แบบกึ่งต่อเนื่อง | 112 |
| 37 | ค่า OD ที่ความยาวคลื่น 560 นาโนเมตร และจำนวนเซลล์สาหร่าย (เซลล์ต่อมิลลิลิตร) | 114 |

# สารบัญภาพ


| ภาพ | | หน้า |
|---|---|---|
| 1 | ขั้นตอนการผลิตผักดองของโรงงานสันติภาพ (ฮั่วเพ้ง 1958) จำกัด และการเกิดของเสีย | 36 |
| 2 | จุดเก็บน้ำเสียหมักดองผักก่อนเข้าสู่บ่อบำบัดของโรงงานสันติภาพ (ฮั่วเพ้ง 1958) จำกัด | 39 |
| 3 | การเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina platensis* ในน้ำเสียจากการหมักดองผัก ที่ระดับความเข้มข้นของน้ำเสียที่ต่างกัน | 41 |
| 4 | การเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina platensis* ในน้ำเสียจากการหมักดองผัก ที่ระดับความเข้มข้นของสารอาหารที่ต่างกัน | 42 |
| 5 | การเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina platensis* แบบกะ | 43 |
| 6 | การเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina platensis* แบบกึ่งต่อเนื่อง | 44 |
| 7 | ปริมาณ TDS ในน้ำเสียหมักดองผักที่ระดับความเข้มข้นแตกต่างกัน ที่ใช้เพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina platensis* | 48 |
| 8 | ปริมาณ BOD ในน้ำเสียหมักดองผักที่ระดับความเข้มข้นแตกต่างกัน ที่ใช้เพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina platensis* | 49 |
| 9 | ปริมาณ COD ในน้ำเสียหมักดองผักที่ระดับความเข้มข้นแตกต่างกัน ที่ใช้เพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina platensis* | 50 |
| 10 | ปริมาณ ไนเตรท - ไนโตรเจน ในน้ำเสียหมักดองผักที่ระดับความเข้มข้น แตกต่างกัน ที่ใช้เพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina* | 51 |
| 11 | ปริมาณ แอมโมเนีย - ไนโตรเจน ในน้ำเสียหมักดองผักที่ระดับความเข้มข้น แตกต่างกัน ที่ใช้เพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina platensis* | 52 |
| 12 | ปริมาณ ออร์โธฟอสเฟต - ฟอสฟอรัส ในน้ำเสียหมักดองผักที่ระดับความเข้มข้น แตกต่างกัน ที่ใช้เพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina platensis* | 53 |
| 13 | การเจริญเติบโตของสาหร่าย *Spirulina platensis* ในการเพาะเลี้ยงที่ความเข้มข้น ของน้ำเสียจากโรงงานหมักดองผักที่แตกต่างกัน โดยวัด OD ที่ความยาวคลื่น 560 นาโนเมตร | 55 |

| ภาพ | | หน้า |
|---|---|---|
| 14 | การเจริญเติบโตของสาหร่าย *Spirulina platensis* ในการเพาะเลี้ยงสภาพห้องปฏิบัติการ ที่เติมสารอาหาร $NaHCO_3$ ในความเข้มข้นที่ต่างกัน โดยวัด OD ที่ความยาวคลื่น 560 นาโนเมตร | 58 |
| 15 | การเจริญเติบโตของสาหร่าย *Spirulina platensis* ในการเพาะเลี้ยงสภาพห้องปฏิบัติการที่เติมสารอาหาร $K_2HPO_3$ ในความเข้มข้นที่ต่างกัน โดยวัด OD ที่ความยาวคลื่น 560 นาโนเมตร | 58 |
| 16 | การเจริญเติบโตของสาหร่าย *Spirulina platensis* ในการเพาะเลี้ยงสภาพห้องปฏิบัติการที่เติมสารอาหาร $NaNO_3$ ในความเข้มข้นที่ต่างกัน โดยวัด OD ที่ความยาวคลื่น 560 นาโนเมตร | 59 |
| 17 | การเจริญเติบโตของสาหร่าย *Spirulina platensis* ในการเพาะเลี้ยงสภาพห้องปฏิบัติการที่เติมสารอาหาร ปุ๋ย N:P:K ในความเข้มข้นที่ต่างกัน โดยวัด OD ที่ความยาวคลื่น 560 นาโนเมตร | 59 |
| 18 | การเจริญเติบโตของสาหร่าย *Spirulina platensis* ในการเพาะเลี้ยงสภาพกลางแจ้งที่เติมสารอาหาร $NaHCO_3$ ในความเข้มข้นที่ต่างกัน โดยวัด OD ที่ความยาวคลื่น 560 นาโนเมตร | 62 |
| 19 | การเจริญเติบโตของสาหร่าย *Spirulina platensis* ในการเพาะเลี้ยงสภาพกลางแจ้งที่เติมสารอาหาร $K_2HPO_3$ ในความเข้มข้นที่ต่างกัน โดยวัด OD ที่ความยาวคลื่น 560 นาโนเมตร | 62 |
| 20 | การเจริญเติบโตของสาหร่าย *Spirulina platensis* ในการเพาะเลี้ยงสภาพห้องปฏิบัติการที่เติมสารอาหาร $NaNO_3$ ในความเข้มข้นที่ต่างกัน โดยวัด OD ที่ความยาวคลื่น 560 นาโนเมตร | 63 |
| 21 | การเจริญเติบโตของสาหร่าย *Spirulina platensis* ในการเพาะเลี้ยงสภาพกลางแจ้งที่เติมสารอาหาร ปุ๋ย N:P:K ในความเข้มข้นที่ต่างกัน โดยวัดค่า OD ที่ความยาวคลื่น 560 นาโนเมตร | 63 |
| 22 | ปริมาณ BOD ในน้ำเสียหมักดองผักความเข้มข้น 60% ที่ใช้เพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina platensis* แบบกะ | 71 |
| 23 | ปริมาณ COD ในน้ำเสียหมักดองผักความเข้มข้น 60% ที่ใช้เพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina platensis* แบบกะ | 71 |

| ภาพ | | หน้า |
|---|---|---|
| 24 | ปริมาณ TDS ในน้ำเสียหมักดองผักความเข้มข้น 60% ที่ใช้เพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina platensis* แบบกะ | 72 |
| 25 | ปริมาณ ออร์โธฟอสเฟต - ฟอสฟอรัส ในน้ำเสียหมักดองผักความเข้มข้น 60% ที่ใช้เพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina platensis* แบบกะ | 72 |
| 26 | ปริมาณ แอมโมเนีย - ไนโตรเจน ในน้ำเสียหมักดองผักความเข้มข้น 60% ที่ใช้เพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina platensis* แบบกะ | 73 |
| 27 | ปริมาณ ไนเตรท - ไนโตรเจน ในน้ำเสียหมักดองผักความเข้มข้น 60% ที่เพาะเลี้ยงโดยสาหร่าย *Spirulina platensis* แบบกะ | 73 |
| 28 | การเจริญเติบโตของสาหร่าย *Spirulina platensis* ในการเพาะเลี้ยง แบบกะ โดยวัด OD ที่ความยาวคลื่น 560 นาโนเมตร | 74 |
| 29 | ปริมาณ TDS ในน้ำเสียหมักดองผักความเข้มข้น 60% ที่ใช้เพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina platensis* แบบกึ่งต่อเนื่อง | 82 |
| 30 | ปริมาณ BOD ในน้ำเสียหมักดองผักความเข้มข้น 60% ที่ใช้เพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina platensis* แบบกึ่งต่อเนื่อง | 82 |
| 31 | ปริมาณ COD ในน้ำเสียหมักดองผักความเข้มข้น 60% ที่ใช้เพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina platensis* แบบกึ่งต่อเนื่อง | 83 |
| 32 | ปริมาณ ออร์โธฟอตเฟส - ฟอสฟอรัส ในน้ำเสียหมักดองผักความเข้มข้น 60% ที่ใช้เพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina platensis* แบบกึ่งต่อเนื่อง | 83 |
| 33 | ปริมาณ แอมโมเนีย - ไนโตรเจน ในน้ำเสียหมักดองผักความเข้มข้น 60% ที่ใช้เพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina platensis* แบบกึ่งต่อเนื่อง | 84 |
| 34 | ปริมาณ ไนเตรท - ไนโตรเจน ในน้ำเสียหมักดองผักความเข้มข้น 60% ที่ใช้เพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina platensis* แบบกึ่งต่อเนื่อง | 84 |
| 35 | การเจริญเติบโตของสาหร่าย *Spirulina platensis* ในการเพาะเลี้ยง แบบกึ่งต่อเนื่อง โดยวัด OD ที่ความยาวคลื่น 560 นาโนเมตร | 85 |
| 36 | กราฟมาตรฐานแสดงความสัมพันธ์ของจำนวนเซลล์สาหร่ายกับค่าดูดกลืนแสง | 114 |

# บทที่ 1
# บทนำ

สาหร่าย *Spirulina platensis* เป็นสิ่งมีชีวิตในกลุ่มโมเนอร่า ที่มีคุณค่าทางอาหารสูง เนื่องจากประกอบด้วย โปรตีนในปริมาณสูงถึง 60 - 70 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนักแห้ง และยังมีกรดอะมิโน สารสี เกลือแร่ กรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว และวิตามิน ในอัตราส่วนที่เหมาะสมต่อความต้องการของมนุษย์ และสัตว์ ปัจจุบันมีการผลิตในรูปของผลิตภัณฑ์อาหารเสริม เพื่อสุขภาพอย่างแพร่หลาย และยังมีการผลิตเป็นอาหารสัตว์ในรูปแบบที่แตกต่างกันด้วย มีการนำสาหร่าย *Spirulina platensis* มาใช้เป็นส่วนผสมของอาหารสัตว์ เพื่อให้สัตว์มีน้ำหนักเพิ่มขึ้น และในสัตว์ปีกจะช่วยให้ไข่แดงมีสีเข้ม น่ารับประทานรวมทั้งใช้เร่งสีในการเลี้ยงกุ้งอ่อน และปลาประเภทสวยงาม เนื่องจาก มีเบต้าแคโรทีน (ß - carotene) ที่อยู่ในกลุ่มแคโรทีนอยด์เป็นสารที่มีสีส้มเหลือง และมีการใช้สาหร่าย *Spirulina platensis* เพื่อเร่งสีปลาแฟนซีคาร์ฟ ในรูปแบบสาหร่ายแห้ง และในแบบสาหร่ายสด ซึ่งจะสามารถเพิ่มอัตราการเจริญเติบโตต่อวัน อัตราการรอดตาย อัตราน้ำหนักเพิ่มขึ้น และเกิดการสะสมของสารคาโรทีนอยด์ในเนื้อปลาได้ดีกว่าอาหารสำเร็จรูป แต่ถ้าใช้ในรูปสาหร่ายสดจะดีกว่าสาหร่ายแห้งในหลาย ๆ ด้าน รายงานวิจัยทางการแพทย์จำนวนมากระบุว่า *Spirulina platensis* มีสรรพคุณทางยาที่สำคัญซึ่งสามารถรักษาโรคบางชนิดได้อย่างมีประสิทธิภาพ เช่น โรคเบาหวาน อาการท้องอืดท้องเฟ้อ โรคตับอักเสบ โรคตับแข็ง ต้อหิน ต้อกระจก โรคเครียด และยังช่วยปรับสภาพกรดด่างของร่างกายให้อยู่ในสภาพที่สมดุล และเป็นปกติด้วย นอกจากการใช้เป็นอาหารแล้ว สาหร่าย *Spirulina platensis* ยังมีประโยชน์ในด้านการบำบัดน้ำเสีย อีกทางหนึ่งด้วย น้ำเสียที่มีสภาพความเค็มสูงจัดว่าเป็นปัญหาสำคัญของการบำบัดน้ำเสียแบบธรรมดา โดยเฉพาะอย่างยิ่ง การบำบัดขั้นที่สอง ที่ต้องอาศัยกิจกรรมของจุลินทรีย์ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่ปนเปื้อนมากับน้ำเสียทั้งนี้ เนื่องจากประสิทธิภาพในการย่อยสลายสารอินทรีย์ของจุลินทรีย์เหล่านั้นจะลดต่ำลง เมื่ออยู่ในสารละลายที่มีความเค็มสูง ซึ่งสภาวะดังกล่าวจะก่อให้เกิดแรงดันออสโมติกที่ค่อนข้างสูง และจุลินทรีย์ส่วนใหญ่ไม่สามารถทนต่อสภาพดังกล่าวได้ก่อให้เกิดปัญหาในระบบบำบัดน้ำเสียแบบธรรมดาทั่วไปในขณะที่สาหร่าย *Spirulina platensis* มีความสามารถทนทานต่อความเค็มได้ดีกว่าจุลินทรีย์ชนิดอื่น ๆ ดังเห็นได้จากที่มีการเติมอาหารในรูปของเกลือโซเดียมไนเตรทให้กับสาหร่ายในระหว่างการเพาะเลี้ยง รวมทั้งสาหร่ายดังกล่าวยังสามารถเจริญเติบโตได้ในน้ำที่มีสภาพความเค็มสูง แต่สาหร่าย *Spirulina platensis* ไม่สามารถนำเกลือ ที่เป็นสาเหตุทำให้เกิดความเค็มในน้ำเสียมาใช้ได้ ทั้งสาหร่าย และแบคทีเรียชนิดใช้อากาศในระบบบำบัดน้ำเสียทางชีววิทยาทั่วไป ไม่สามารถลดค่าความเค็มของน้ำเสียได้ หลังจากการเก็บ

เกี่ยวสาหร่ายที่เพาะเลี้ยง จึงควรมีการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีอื่น เพื่อลดค่าความเค็มให้เหมาะสมก่อนปล่อยสู่สิ่งแวดล้อม

ดังนั้น การบำบัดน้ำเสียโดยใช้สาหร่าย *Spirulina platensis* จึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจในการบำบัดน้ำเสียจากกระบวนการหมักดอง โดยสามารถอำนวยประโยชน์ทั้งในแง่ของการปรับปรุงคุณภาพน้ำ และการให้ผลผลิตในรูปของเซลล์สาหร่ายที่มีมูลค่าทางการค้า และคุณค่าทางโภชนาการสูง และสามารถนำไปใช้ประโยชน์ด้านอื่น ๆ ได้อีก เช่น การใช้เป็นอาหารสัตว์ เป็นต้น

## ปัญหาของการวิจัย

ปัจจุบันอุตสาหกรรมการแปรรูปผลผลิตทางการเกษตร มีการขยายตัวขึ้นอย่างมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่ง โรงงานที่ประกอบกิจการประเภทถนอมอาหารประเภทผักผลไม้ด้วยวิธีหมักดอง ซึ่งก่อให้เกิดปัญหาในการบำบัดน้ำเสียด้วยกระบวนการบำบัดแบบธรรมดา เนื่องจากน้ำเสียจากโรงงานผักดองจะมีลักษณะสมบัติที่ต่างจากน้ำเสียจากแหล่งอื่น เป็นน้ำเสียที่มีสารอินทรีย์ในรูป COD สูง มีค่า pH ต่ำ จำเป็นที่จะต้องได้รับการบำบัดความสกปรกก่อนที่จะปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อม ดังนั้นจึงต้องหาแนวทางในการแก้ไขปัญหา ในที่นี้เป็นการศึกษาความเป็นไปได้ในการนำสาหร่ายมาใช้ในการบำบัดน้ำเสีย โดยการหาปริมาณความเข้มข้นของน้ำเสียจากโรงงานหมักดองผักที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโต รวมถึงการบำบัดน้ำเสียของสาหร่าย *Spirulina platensis*

## วัตถุประสงค์

1. ศึกษาหาความเข้มข้นของน้ำเสียที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของการเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina platensis* เพื่อการบำบัดน้ำเสียจากการหมักดองผัก

2. ศึกษาระดับของสารอาหารที่เหมาะสมต่อการเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina platensis*

3. ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina platensis* แบบกะ และการบำบัดน้ำเสีย ด้วยน้ำเสียจากการหมักดอง

4. ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina platensis* แบบกึ่งต่อเนื่อง และการบำบัดน้ำเสีย ด้วยน้ำเสียจากการหมักดอง

## ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบความเข้มข้นของน้ำเสียจากโรงงานหมักดองผัก และสภาวะที่เหมาะสมในการเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina platensis* เพื่อนำไปประยุกต์ใช้สำหรับการบำบัดน้ำเสียจากการหมักดองผักได้

2. ทราบประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียจากการหมักดองผักของสาหร่าย *Spirulina platensis*

## ขอบเขตการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการศึกษาการบำบัดน้ำเสียจากกระบวนการหมักดองผักก่อนเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสียของ โรงงานสันติภาพ (ฮั่วเพ้ง 1958) จำกัด โดยใช้สาหร่าย *Spirulina platensis* จากการเพาะเลี้ยงในห้องปฏิบัติการ คณะเทคโนโลยีการประมง มหาวิทยาลัยแม่โจ้ โดยทำการศึกษาดังต่อไปนี้

1. ศึกษาการเจริญเติบโต และสารอาหารที่เหมาะสมสำหรับการเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina platensis* ในการบำบัดน้ำเสียจากการหมักดองผัก

2. การทดลองในสภาพห้องปฏิบัติการทำการทดลองที่ห้องปฏิบัติการ คณะเทคโนโลยีการประมง มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ส่วนการทดลองในสภาพกลางแจ้งทำการทดลอง ที่โรงเพาะเลี้ยงสาหร่าย ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้

# บทที่ 2

# การตรวจเอกสาร

สาหร่ายเกลียวทอง เป็นชื่อที่สถาบันประมงน้ำจืดแห่งชาติ กรมประมง ตั้งให้เป็นสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินที่มีชื่อสกุลในทางวิทยาศาสตร์ว่า Spirulina (สถาบันประมงน้ำจืดแห่งชาติ, 2530) ในปัจจุบันพบประมาณ 35 ชนิดที่มีการทดลองวิจัย และมีความเหมาะสมในการเพาะเลี้ยง เพื่อนำมาเป็นอาหารของมนุษย์ และสัตว์ คือ *Spirulina platensis* (เจียมจิตต์, 2532) สาหร่ายเกลียวทองถูกพัฒนาขึ้นมาเป็น "อาหารแห่งอนาคต" เพราะความสามารถที่น่าทึ่งในการสังเคราะห์อาหารที่มีคุณภาพได้อย่างมีประสิทธิภาพมากกว่าสาหร่ายชนิดอื่น ๆ ที่เด่นที่สุด คือ 65 - 71% ของสาหร่ายเกลียวทองเป็นโปรตีนสมบูรณ์ที่มีกรดอะมิโนที่จำเป็นในปริมาณที่สมดุลอย่างสมบูรณ์แบบ มีอัตราการสังเคราะห์แสงสูงถึง 8 - 10% และสาหร่ายเกลียวทองชอบน้ำที่มีความเค็มสูงอย่างเห็นได้ชัด ด้วยค่า pH ระหว่าง 8 - 11 มากกว่าในทะเลสาบธรรมดา และทำให้สิ่งมีชีวิตขนาดเล็กรูปแบบอื่น ๆ ไม่สามารถมีชีวิตอยู่ได้ ยิ่งไปกว่านั้นสาหร่ายเกลียวทองยังเจริญเติบโตได้ดีในน้ำอุ่นจัด ระหว่าง 32 - 45 องศาเซลเซียส (85 - 112 องศาฟาเรนไฮท์) (Beasley, 1981)

## การจัดลำดับทางด้านอนุกรมวิธานของสาหร่าย *Spirulina platensis*

สามารถจัดอนุกรมวิธานของสาหร่าย *Spirulina platensis* (Bold and Wynne, 1978 ; Venkataraman, 1983) ได้ดังนี้

Kingdom Monera
Divison Cyanophyta
Class Cyanophyceae
Ordea Oscillatoriales
Family Oscilltoriceae
Genus *Spirulina*
Species *Spirulina platensis*

**ลักษณะทางชีววิทยาของสาหร่าย *Spirulina platensis***

สาหร่าย *Spirulina platensis* จัดอยู่ในกลุ่มสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน เนื่องจากมีคลอโรฟิลล์ช่วยในการสังเคราะห์แสง หรืออาจเรียกได้ว่าเป็นแบคทีเรีย (cyanobacteria) เป็นสิ่งมีชีวิตประเภท โปรคารีโอต (procaryote) ลักษณะทั่วไปประกอบด้วยเซลล์หลาย ๆ เซลล์เรียงต่อกันเป็นสายบิดเป็นเกลียวคล้ายเกลียวของสปริงไม่แตกแขนง เรียกว่า ไตรโคม (trichomes) มีลักษณะรูปทรงกระบอก ตลอดสาย มีปลายทั้งสองข้างโค้งมน (วุฒิพร และสมบัติ, 2529) โดยทั่วไปความกว้างของเกลียว (helix) 4 ถึง 8 ไมโครเมตร ระยะห่างระหว่างเกลียว (pitch) 60 ไมโครเมตร มีความยาวของไตรโคมประมาณ 300 ถึง 500 ไมโครเมตร พบว่า เมื่อเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina platensis* ลักษณะเกลียวในสูตรอาหาร Zarrouk เป็นเวลา 4 สัปดาห์ขึ้นไป จะมีบางเซลล์ลายเปลี่ยนจากลักษณะเกลียวไปเป็นลักษณะตรง (Venkataraman, 1983)

ผนังเซลล์เป็นผนังหลายชั้นประกอบด้วย สารมิวโคโพลิเมอร์ (mucopolymer) เพคติค (pectic) โพลีแซคคาไรด์ (polysaccharide) ผนังชั้นนอกเป็นสารโพลีแซคคาไรด์ ไม่พบว่าสารประกอบของเซลลูโลส (cellulose) มีแซคแวคิวโอลขนาดใหญ่ทำให้ลอยตัวในน้ำได้ดี นิวเคลียสไม่มีเยื่อหุ้ม กรดนิวคลีอิกกระจายอยู่ทั่วไปในเซลล์ไม่มีเมือก (mucous) ห่อหุ้มเมมเบรน (membrane) ซึ่งเป็นข้อดีที่ทำให้ไม่มีจุลินทรีย์ชนิดอื่น ๆ มาเกาะ ไม่มีนิวเคลียส (nucleus) และพบว่าสารประกอบนิวเคลียส เช่น นิวคลีอิกแอซิค (Nucleic acid) มีกระจายอยู่มากมายในไซโตพลาสซึมจึงจัดเป็นพวกโปรคารีโอต (สุชาติ, 2529) ตัวเซลล์ไม่ได้ปกคลุมด้วยเยื่อเมือก (mucous membrane) เหมือนกับพวกสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินทั่ว ๆ ไป และผิวของเซลล์ไม่มีพวกจุลินทรีย์มาเกาะด้วย มีความสามารถในการต้านจุลินทรีย์ได้สูง ทั้งนี้ภายในเซลล์อาจสามารถผลิตสารปฏิชีวนะก็เป็นได้ นอกจากนี้ยังสามารถทนต่อรังสีอุลตราไวโอเลตได้สูง (เอกสารแผ่นพับ บริษัทสยามแอลจี) ไม่มีคลอโรพลาสต์ (chloroplast) มีแต่ไทลาคอยด์ (thylakoid) กระจายอยู่ทั่วไปในไซโตพลาสซึม และพบว่าสาหร่าย *Spirulina platensis* มีอัตราการสังเคราะห์แสงสูงมาก มีเม็ดอากาศ (gasvacuole) ทำให้การลอยตัวได้ดีมาก มีเม็ดสี (pigment) ที่สำคัญ คือ คลอโรฟิลล์เอ (chlorophyll a) เบต้าแคโรทีน (ß-carotene) เบต้าคริปโตแซนทิน (ß- cryptoxanthin) ซีเอแซนทิน (zeaxanthin) มิกโซแซนโทฟิลล์ (myxoxanthophyll) ซีไฟโคไซยานิน (c - phlycocyanin) ออลโลไฟโคไซยานิน (allophycocyanin) ซึ่งมีสีน้ำเงินในปริมาณสูงมีไฟโคเออริทริน (phycoerythirin) ซึ่งมีสีแดงนอกจากนี้ยังมีสารปฏิชีวนะ (antibiotics) บางชนิดที่ต่อต้านจุลินทรีย์พวกอื่น ๆ ได้ดี (สุมนทิพย์, 2529) สาหร่ายชนิดนี้ทนต่อความร้อนได้ดีประมาณ 35 ถึง 40 องศาเซลเซียส และทนต่อรังสีอัลตราไวโอเลตได้สูง (ฐิติ และนวลพรรณ, 2535)

สาหร่าย *Spirulina platensis* มีการสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศสืบพันธุ์โดยการขาดออกเป็นท่อน (fragmentation) ซึ่งแต่ละท่อนจะแบ่งเซลล์ใหม่ทำให้ไตรโคมยืดยาวออก (กาญจนภาชน์, 2527) การเคลื่อนที่ของสาหร่าย *Spirulina platensis* เป็นแบบบิดหมุนเป็นเกลียว (spiral) คล้ายควงสว่าน (rotation) และเป็นคลื่นซึ่งทำให้เส้นสายเลื่อนไถล (gliding) ไปได้ (Fogg, et al., 1973) สาเหตุที่ทำให้เส้นสายของสาหร่ายเลื่อนไถลไปยังไม่ทราบแน่ชัด แต่เข้าใจว่าเกิดจากสาหร่ายผลิตสารเมือกเหนียวออกมาทางรูเล็กของผนังเซลล์ ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของแรงดันน้ำที่อยู่รอบ ๆ จึงทำให้สาหร่ายเคลื่อนที่ไปข้างหน้า และถอยหลังในทิศทางตามความยาวของเส้นสาย หรืออาจเกิดจากการยืดตัวของเซลล์ภายในเส้นสายของสาหร่าย ทำให้เกิดเป็นคลื่นซึ่งสามารถทำให้เคลื่อนที่ได้ (Bold and Wynne, 1978)

เราสามารถพบสาหร่าย *Spirulina platensis* ได้ทั่วไป ในแหล่งน้ำจืด น้ำกร่อย น้ำเค็ม และน้ำเสีย โดยเฉพาะน้ำที่มีความเป็นกรดด่างค่อนข้างสูงจะเจริญเติบโตได้ดี เช่น ทะเลสาบที่มีสภาพความเป็นด่างค่อนข้างสูงในประเทศเม็กซิโก และประเทศในแถบอาฟริกา (เจียมจิตต์, 2532) และพบในแหล่งน้ำจืดเขตร้อนมากกว่าเขตอบอุ่นนอกจากนี้ยังพบในแหล่งน้ำตามภูเขา สำหรับในประเทศไทย พบว่า มีการแพร่กระจายในภาคตะวันออกเฉียงเหนือมากกว่าภาคอื่น ๆ (เจียมจิตต์, 2530) และพบว่าอยู่ปะปนกับสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินชนิดอื่น ๆ เช่น *Oscillatoria* spp. หรือ *Microcystis* spp. เป็นต้น (ยุวดี, 2542)

**คุณค่าทางอาหารของสาหร่าย *Spirulina* spp.**

คุณค่าทางอาหารของสาหร่ายเป็นปัจจัยสำคัญในการนำสาหร่ายไปใช้ประโยชน์ เช่น นำไปใช้เป็นอาหารสัตว์ อาหารมนุษย์ องค์ประกอบทางเคมีของสาหร่ายจะแตกต่างกันตามสภาพแวดล้อมที่มีผลต่อการเจริญ เช่น อุณหภูมิ ความเป็นกรดด่าง และสารอาหาร เป็นต้น (Venkatarman, 1983)

สำหรับประเทศไทยสถาบันค้นคว้า และพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ได้ทำการศึกษาสาหร่ายชนิดต่าง ๆ เพื่อนำมาผลิตเป็นอาหาร เช่น นำ Scenedesmus sp. ซึ่งมีปริมาณโปรตีนถึง 50% ของน้ำหนักแห้งมาทำอาหารปลา สถาบันประมงน้ำจืดแห่งชาติ ได้ทำการศึกษาสาหร่ายที่เป็นอาหารมนุษย์เช่นเดียวกัน นอกจากนี้ยังมีประเทศอื่น ๆ ที่ให้ความสนใจต่อสาหร่ายมาก เช่น ประเทศญี่ปุ่น และไต้หวัน ได้ตั้งโรงงานอุตสาหกรรมขนาดเล็ก เพื่อผลิตสาหร่ายที่มีโปรตีนสำหรับใช้เป็นอาหารมนุษย์ เป็นต้น (บุหลัน, 2527)

กล่าวถึงงานวิจัยเกี่ยวกับสาหร่ายสีเขียวว่า มีการวิจัยที่ประเทศเชคโกสโลวาเกีย ฝรั่งเศส เยอรมันนี และญี่ปุ่น มาประมาณ 20 ปี แล้วปัจจุบันมีการผลิตสาหร่ายสีเขียวในขั้นอุตสาหกรรม

ขนาดเล็ก 2 ประเทศ คือ ญี่ปุ่น และไต้หวัน ซึ่งสาหร่ายสีเขียวมีคุณสมบัติที่ดีดังต่อไปนี้ (Payer, 1971 อ้างใน บุหลัน, 2527)

1. สาหร่ายผงจะมีโปรตีน 50 - 60% และมีกรดอะมิโนอย่างครบถ้วน

2. สาหร่ายมีวิตามินหลายชนิด โดยเฉพาะวิตามิน เอ, บี และอี นอกจากนี้ยังมีแร่ธาตุต่าง ๆ และกรดไขมันด้วย

3. ในพื้นที่เท่ากัน การเพาะเลี้ยงสาหร่ายจะให้ผลผลิตโปรตีนได้ถึง 20 เท่าของถั่วเหลือง และประมาณ 500 - 1,000 เท่าของโปรตีนจากสัตว์

4. การเพาะเลี้ยงสาหร่ายจะสามารถเก็บผลได้ทุกวัน โดยใช้เครื่องมือช่วยแต่เพียงเล็กน้อย เมื่อเปรียบเทียบกับโปรตีนที่ได้รับ

5. ในการเพาะเลี้ยงสาหร่าย พื้นที่ ปุ๋ย และน้ำที่ใช้จะมีปริมาณน้อยกว่าการเพาะปลูกอย่างอื่น เมื่อเปรียบเทียบกับโปรตีนที่ได้รับ

6. สาหร่ายให้ผลผลิตได้ทั้งหมด ไม่มีกาก หรือส่วนที่จะต้องทิ้งไป

7. สาหร่ายที่ผ่านความร้อน หรือทำให้แห้งแล้วจะย่อยได้ถึง 80 % เมื่อผสมลงในอาหารจะเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการให้สูงขึ้น

8. สาหร่ายเป็นสิ่งมีชีวิตที่มีกรดนิวคลีอิกต่ำ ดังนั้น จึงไม่มีปัญหาในระบบขับถ่ายของมนุษย์

สถาบันประมงน้ำจืดแห่งชาติ (2530) ได้แสดงคุณค่าทางอาหารที่สำคัญของสาหร่าย *Spirulina platensis* ดังนี้

| | | |
|---|---|---|
| โปรตีน | 55 - 65 | เปอร์เซ็นต์ |
| คาร์โบไฮเดรต | 10 - 15 | เปอร์เซ็นต์ |
| ไขมัน | 2 - 6 | เปอร์เซ็นต์ |
| เถ้า | 5 - 12 | เปอร์เซ็นต์ |
| เส้นใยอาหาร | 1 - 4 | เปอร์เซ็นต์ |
| ความชื้น | 5 -10 | เปอร์เซ็นต์ |

**โปรตีน (Protein)**

โปรตีนจากพืชมักมีสารประกอบพวกลิกโนเซลลูโลส (lignocellulosic material) ซึ่งคนย่อยไม่ได้นอกจากนี้ยังอาจมีสารพิษ เช่น แทนนิน (tannin) ซึ่งอาจจะไปลดอัตราการย่อยลง แต่ในสาหร่าย *Spirulina* spp. มีผนังเซลล์ที่เป็นพวกมิวโคโปรตีน (mucoprotein) จึงไม่มีปัญหาในเรื่องนี้ และไม่พบว่ามีสารพิษอยู่ในเซลล์ (นฤมล และคณะ, 2529) คุณภาพของโปรตีนจะขึ้นอยู่กับความ

สมดุลในปริมาณของกรดอะมิโนจำเป็น (essential amino acid) และความยากง่ายในการย่อย (digestibility) (มนตรี และคณะ, 2530) การเปรียบเทียบปริมาณโปรตีนในสาหร่าย *Spirulina* spp. กับอาหารทั่วไปที่มีโปรตีนสูง ดังแสดงในตาราง 1

**ตาราง 1** เปรียบเทียบปริมาณโปรตีนในสาหร่าย *Spirulina* spp. กับอาหารชนิดอื่น ๆ

| ชนิดของอาหาร | ปริมาณโปรตีน (กรัม / 100 กรัมน้ำหนักแห้ง) |
|---|---|
| สาหร่าย *Spirulina* spp. | 69.5-71.0 |
| สาหร่าย *Chlorella* spp. | 40.0-56.0 |
| เนื้อวัว | 18.0-20.0 |
| ไข่ | 10.0-25.0 |
| ข้าวเจ้า | 7.0 |
| ถั่วเหลือง | 33.0-35.0 |
| ปลาทู ปลาอินทรีย์ | 20.0 |

**ที่มา :** เจียมจิตต์ (2532)

พัชรา (2525) กล่าวว่า สาหร่าย *Spirulina* spp. ดีกว่าจุลินทรีย์โปรตีนอื่น เพราะ

1. มีขนาดใหญ่พอที่จะแยกออกจากอาหารที่เพาะเลี้ยงได้โดยวิธีกรอง
2. ทำให้แห้งได้โดยไม่เสียคุณค่าทางอาหาร
3. เมื่อแห้งแล้วเก็บไว้ได้นาน
4. ถ้าจะสกัดสีออกโดยใช้ตัวทำละลายก็ไม่ทำให้เสียคุณค่าทางอาหารสีที่ได้ใช้ทำสีผสมอาหารได้
5. มีอัตราส่วนของกรดนิวคลีอิกต่อโปรตีนต่ำ ใช้เป็นอาหารของคนได้โดยตรง ไม่ต้องแยกเอากรดนิวคลีอิกออก
6. สามารถใช้ผสมในอาหารได้ถึง 10% โดยไม่ทำให้รสชาติ และกลิ่นของอาหารเปลี่ยนไป

ได้มีการนำคุณค่าด้านโภชนาการในส่วนของกรดอะมิโนของสาหร่าย *Spirulina* spp. เปรียบเทียบกับอาหารชนิดอื่น ๆ และค่ามาตรฐาน FAO ดังแสดงในตาราง 2 และปริมาณโปรตีนจากสาหร่ายสไปรูลินาที่เลี้ยงในน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมบางประเภท แสดงในตาราง 3

**ตาราง 2** เปรียบเทียบกรดอะมิโนของสาหร่าย *Spirulina* spp. และอาหารโปรตีนอื่น ๆ กับ ค่ามาตรฐาน FAO (กรัม/100 กรัมโปรตีน)

| กรดอะมิโน | *Spirulina* spp. | ไข่ | ถั่วเหลือง | ปลาป่น | ค่ามาตรฐาน FAO |
|---|---|---|---|---|---|
| Lsoleucine | 6 | 6.6 | 4.6 | 0.4 | 4.2 |
| Leucine | 8.5 | 8.8 | 7.3 | 7.3 | 4.8 |
| Phenylalanine | 5 | 5.8 | 4 | 4 | 2.8 |
| Tyrosine | 4 | - | 2.9 | 2.9 | - |
| Threonine | 4.6 | 5 | 4.2 | 4.2 | 3.3 |
| Tryptophan | 1.4 | 1.7 | 1.2 | 1.2 | 1.1 |
| Valine | 6.5 | 1.7 | 5.2 | 5 | 2.8 |
| Arginine | 6.5 | 7.4 | 5 | 7.7 | 2.0 |
| Histidine | 1.8 | 6.6 | 2 | 2.4 | 2.4 |
| Lysine | 4.6 | 2.4 | 7 | 6.5 | 4.0 |
| Cystine | 0.4 | - | 1 | 1.4 | - |
| Methionine | 1.4 | 3.1 | 2.6 | 1.4 | 1.7 |

**ที่มา :** สุชาติ (2529) ; มนตรี (2530)

**ตาราง 3** ปริมาณโปรตีนจากสาหร่ายสไปรูลินาที่เลี้ยงในน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมบางประเภท

| น้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมบางประเภท และน้ำหมักพืชผักบางชนิดที่ใช้เลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินา | ปริมาณโปรตีน (กรัม/100 กรัมน้ำหนักแห้ง) |
|---|---|
| น้ำกากส่าเหล้า | 68.63 |
| น้ำเวย์เต้าหู้ | 55.41 |
| น้ำเวย์นม | 54.54 |
| น้ำหมักผักตบชวา | 54.75 |
| น้ำหมักผักตบชวาที่ผสมน้ำกากส่าเหล้า | 56.65 |
| น้ำทิ้งจากโรงงานทำกระดาษสา | 54.00 |

**ที่มา** : ยุวดี (2544)

**รงควัตถุ (Pigment)**

สาหร่าย *Spirulina* spp. ประกอบด้วย รงควัตถุหลายชนิด ดังแสดง ในตาราง 4 รงควัตถุกลุ่มแคโรทีนนอยด์ส่วนใหญ่จะเป็นแคโรทีน และแซนโทฟิลล์ ซึ่งมีความสำคัญในแง่ของการเป็นสารให้สีตามธรรมชาติโดยให้สีส้มแดง สีแสด หรือสีชมพู ขึ้นอยู่กับว่าจะไปปรากฏในเนื้อเยื่อส่วนใดของสัตว์ที่เราให้กินสารชนิดนี้ เช่น ถ้าให้สาหร่ายชนิดนี้แก่ปลาที่มีสีสวยงามซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นปลาทอง ปลาคาร์ฟ หรือปลาแฟนซีคาร์ฟก็จะทำให้ปลามีสีสวยสดขึ้น สำหรับสัตว์ปีก เช่น เป็ดไก่ หรือนก จะมีผลทำให้เนื้อของสัตว์เหล่านี้เป็นสีชมพู และไข่แดงมีสีแดงสดขึ้นถ้าให้กับสุกรจะทำให้เนื้อของสุกรมีสีชมพู หรือแดงมากกว่าปกติ สาหร่ายชนิดนี้มีเบต้าแคโรทีน (โปรวิตามินเอ) สูงมากโดยเฉพาะถ้าเลี้ยงอาหาร Zarrouk's medium และมีปัจจัยที่เหมาะสม ซึ่งเบต้าแคโรทีน (โปรวิตามินเอ) นี้จะมีประโยชน์เมื่อเปลี่ยนเป็นวิตามินเอแล้ว

รงควัตถุอีกชนิดหนึ่ง คือ ไฟโคไซยานิน ซึ่งเป็นรงควัตถุที่ทำให้เกิดสีน้ำเงินม่วง หรือน้ำเงินเข้ม จึงสามารถนำมาผสมในแคปซูลยาที่ต้องการให้เกิดสีน้ำเงิน หรือฟ้าผสมในเครื่องสำอาง ไฟโคไซยานิน ที่มีความบริสุทธิ์สูงใช้เป็นสารเรืองแสง เพื่อติดตามในงานวิเคราะห์ภูมิคุ้มกันทางด้านเนื้อเยื่อ และจุลทรรศน์วิทยา (Tanticharoen and Ruengjitchatchawalya, 2001) ได้มีงานวิจัยของญี่ปุ่นศึกษาการสกัดสารไฟโคไซยานิน แล้วนำไปให้หนูทดลองที่เป็นโรคมะเร็งตับกิน พบว่ากลุ่มที่ได้รับสาหร่ายสไปรูลินามีอัตรารอดสูงกว่ากลุ่มควบคุมที่ไม่ได้รับสาหร่ายสไปรูลินา

แสดงให้เห็นว่าไฟโคไซยานินช่วยทำให้ความต้านทางของร่างกายดีขึ้นทำลายเซลล์มะเร็ง และป้องกันโรคเสื่อมโทรมของอวัยวะ โดยเพิ่มประสิทธิภาพของภูมิคุ้มกันทั่วไป (บริษัทกรีนไดมอนด์, 2544) มีรายงานว่า ไฟโคไซยานิน (phycocyanin) ในสไปรูลินา มีคุณสมบัติป้องกันข้อต่ออับเสบในหนู และเป็นตัวยับยั้งกิจกรรมของกรด Arachidonic และ Enzyme eyclooxygenase ในเซลล์ได้ (Madhava, et al., 2000) การเพิ่มขึ้นของปริมาณ ไฟโคไซยานิน (phycocyanin) ส่งผลให้กิจกรรมของ Antioxidant เพิ่มขึ้นมากขึ้น (Pinero, et al., 2001) เมื่อศึกษาความเป็นพิษของไฟโคไซนานินกับหนูเผือกทั้งสองเพศ ในความเข้มข้นสูง คือ 0.25 - 5.0 g/kg และความเข้มข้นต่ำ 0.5 - 4.0 g/kg พบว่าไม่มีอันตรายต่ออวัยวะส่วนใด ๆ ของหนูเผือก และไม่เป็นพิษต่อระบบใด ๆ ของหนูเลย (Naidu, et al., 1999)

สาหร่ายชนิดนี้ประกอบด้วยคาร์โรตีนอยด์ทั้งหมด 1.7 มิลลิกรัม/กรัมน้ำแห้ง ซึ่งแยกออกเป็นชนิดต่าง ๆ ไว้ดังนี้ คือ ß - carotene 26 เปอร์เซ็นต์ ß - carotene - 5, 6 - epoxide 5 เปอร์เซ็นต์ Echinenone 7 เปอร์เซ็นต์, Cryptoxanthin 23 เปอร์เซ็นต์, Myxoxanthophyll 27 เปอร์เซ็นต์ และ Xexanthin 9 เปอร์เซ็นต์ (Choubert, 1979)

องค์ประกอบ และปริมาณของคาโรทีนอยด์ใน *S. maxima* แตกต่างกันไปตามอุณหภูมิที่ใช้ทำสาหร่ายแห้ง กล่าวคือ ในการทำสาหร่ายแห้งที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส พบว่า *S. maxima* ประกอบด้วยคาร์โรทีนอยด์ทั้งหมด 6.48 มิลลิกรัม/กรัมสาหร่ายแห้ง และการทำแห้งอุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส พบว่า *S. maxima* ประกอบด้วยคาร์โรทีนอยด์ทั้งหมด 6.48 มิลลิกรัม/กรัมสาหร่ายแห้ง และการทำแห้งที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส พบว่า *S. maxima* ประกอบด้วย คาร์โรทีนอยด์ทั้งหมด 0.06 มิลลิกรัม/กรัมสาหร่ายแห้ง (Miki, et al., 1985 อ้างใน บานชื่น, 2532)

**ตาราง 4** ปริมาณรงควัตถุในสาหร่าย *Spirulina* spp. เปรียบเทียบกับสาหร่าย *Chlorella* spp.

| รงควัตถุ (แห้ง) มก./100กรัมน้ำหนัก | สาหร่าย *Spirulina* spp. | สาหร่าย *Chlorella* spp. |
|---|---|---|
| 1. คลอโรฟิลล์ | 1,600 | 1,400 |
| 2. แคโรทีนอยด์ | 400 | 200 |
| - แคโรทีนอยด์ | 170 | ไม่ได้ตรวจวัด |
| - แซนโทฟิลล์ | 100 | ไม่ได้ตรวจวัด |
| - คริฟโตแซนทิน | 55.6 | ไม่ได้ตรวจวัด |
| - อีคินีโนน | 43.9 | ไม่ได้ตรวจวัด |
| - ซีแซนทิน | 31.6 | ไม่ได้ตรวจวัด |
| 3. ไฟโคไซยานิน | 18,000 | ไม่มี |

**ที่มา :** เจียมจิตต์ (2532)

**ไขมัน (Lipid)**

ไขมันส่วนใหญ่ในสาหร่าย *Spirulina* spp. เป็นกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว (unsaturated fatty acids) ซึ่งมีประมาณร้อยละ 80 โดยเฉพาะอย่างยิ่งกรดไขมัน GLA หรือกรดแกมาไลโนลินิค (gamma - linolenic acid) เป็นกรดไขมันที่ประโยชน์ในทางเภสัชกรรม คือ จะช่วยลดปัญหาเรื่องโคเลสเตอรอล (low - density lipoprotien ; LDL) ลดอาการปวดประจำเดือน และลดผื่นแพ้จากกรรมพันธุ์ GLA พบมากในพืช โดยเฉพาะดอกอีฟนิ่งพริมโรส (evening primrose) เมล็ดทานตะวัน ถั่วเหลือง และราบางชนิด แต่การผลิต GLA จากเชื้อราเป็นอุตสาหกรรมที่ทำได้ยาก และปริมาณ GLA ในพืชก็มีน้อย ดังนั้น การผลิต GLA จากสาหร่าย *Spirulina* spp. จึงเป็นทางเลือกที่ดีซึ่งสาหร่าย *Spirulina* spp. สามารถผลิต GLA ได้สูงสุด คือ ผลิตได้ 8 ถึง 32 เปอร์เซ็นต์ของกรดไขมันทั้งหมด หรือคิดเป็น 0.3 ถึง 1.4 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักเซลล์แห้ง สภาวะการเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina* spp. ที่ทำให้ปริมาณกรดไขมัน และ GLA สูงขึ้น เช่น อุณหภูมิเพาะเลี้ยงควรอยู่ ในช่วง 30 ถึง 35 องศาเซลเซียส เลี้ยงในที่มีความเข้มแสงสูง ช่วงของการเลี้ยงในระยะ Exponential phase จะมีกรดไขมัน GLA สูงกว่า Stationary phase เป็นต้น (Tanticharoen, 2001 อ้างใน เจียมจิตต์, 2532) นอกจากการปรับสภาวะการเลี้ยง เพื่อเพิ่มปริมาณ GLA แล้วยังใช้วิธีการปรับปรุงสายพันธุ์ของสาหร่ายอีกด้วย

การศึกษาสภาวะแวดล้อมที่มีผลต่อการสร้างกรดไขมันในสาหร่ายเกลียวทอง สายพันธุ์ที่แยกได้จากบ่อบำบัดทิ้งโรงงานแป้งมันสำปะหลังบ้านโป่ง (Spirulina BP - 1) พบว่าปริมาณของแหล่งไนโตรเจน ความเข้มของเกลือโซเดียมคลอไรด์, ระยะเวลาที่ถูกแสงมีผลต่อปริมาณกรดไขมันทั้งหมด และกรดแกมม่า - ลิโนลินิก ลดลง (มารศรี และคณะ, 2532)

**วิตามิน และแร่ธาตุ (Vitamins and minerals)**

สาหร่าย *Spirulina platensis* เป็นแหล่งของวิตามินหลายชนิด โดยเฉพาะอย่างยิ่งวิตามินบีรวม (B - complex) ส่วนโคบาลามินมีปริมาณสูงกว่าสาหร่ายสีเขียวชนิดอื่น เช่น *Scenedesmus spp* . แร่ธาตุและวิตามินที่เป็นองค์ประกอบของสาหร่ายจะมีปริมาณแตกต่างกัน เช่น สาหร่ายสไปรูลินาเลี้ยงในน้ำกากส่าเหล้าเข้มข้น 0.5% มีโปรวิตามินเอ 40.27 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักแห้ง วิตามินบี1 0.20 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักแห้ง เป็นต้น (ยุวดี และคณะ, 2535) แร่ธาตุและวิตามินที่เป็นองค์ประกอบของสาหร่าย *Spirulina platensis* ดังแสดงในตาราง 5

**ตาราง 5** ปริมาณวิตามินและแร่ธาตุของสาหร่าย *Spirulina platensis* แห้ง 1 กิโลกรัม

| วิตามิน | มิลลิกรัม | แร่ธาตุ | มิลลิกรัม |
|---|---|---|---|
| Biotin | 0.4 | Ca | 1,315 |
| Vitamin B | 2.0 | P | 8,924 |
| Ca - panthotenat | 11.0 | Fe | 580 |
| Folic acid | 0.5 | Na | 412 |
| Inositol | 350.0 | Cl | 4,400 |
| Nicotinin | 118.0 | Mg | 1,915 |
| Pyridoxine | 3.0 | Mn | 25 |
| Riboflavine | 40.0 | Zn | 39 |
| Thiamine | 55.0 | K | 15,400 |
| Vitamin E | 190.0 | อื่นๆ | 57,000 |

**ที่มา** : Hill (1980)

**ปัจจัยบางประการที่มีผลต่อการเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina platensis***

การเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina platensis* มีปัจจัยบางประการที่มีอิทธิพลต่อผลผลิตของสาหร่าย (Venkatarman, 1983) ดังนี้

**ปริมาณสารอาหาร (nutrients)** สารอาหารที่มีความจำเป็นต่อการเจริญเติบโตของสาหร่าย คือ

- ไนโตรเจน (nitrogen) มีความสำคัญรองจากคาร์บอนในแง่ของปริมาณสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินมีความสามารถตรึงไนโตรเจนจากอากาศได้ไนโตรเจนในรูปสารอนินทรีย์ ได้แก่ เกลือ 3 ชนิด คือ ไนโตรเจน ไนไตรท์ และแอมโมเนีย หรือสารประกอบอินทรีย์ไนโตรเจน ได้แก่ ยูเรีย กลูตามิน แอสพาราจิน และกรดอะมิโน เป็นต้น ถ้าแหล่งไนโตรเจนอยู่ในรูปของเกลือแอมโมเนียเพียงอย่างเดียวจะทำให้ระดับของ pH ของอาหารลดต่ำลงอย่างรวดเร็ว ซึ่งเป็นอันตรายต่อสาหร่าย ถ้าสาหร่ายขาดไนโตรเจนจะมีผลต่อการสังเคราะห์แสง และปริมาณรงควัตถุ หรือสารสีของเซลล์รวมทั้งทำให้กิจกรรมของเอนไซม์บางชนิดลดลงด้วย
- ฟอสฟอรัส (phosphorus) จะพบอยู่ในรูปของออโธฟอสเฟต (orthophosphate) และ ATP ตามลำดับ และจะสะสมไว้ภายในเซลล์ ซึ่งหากความเข้มข้นของฟอสฟอรัสต่ำกว่า 0.5 มิลลิกรัม/ลิตร ทำให้สาหร่ายลดอัตราการเจริญเติบโตลงอย่างรวดเร็ว และเข้าสู่ระยะคงที่ (stationary phase) และระยะลดจำนวนลง (decleration phase) สาหร่ายเริ่มปล่อยฟอสฟอรัสออกจากเซลล์ เมื่อมีความหนาแน่นครึ่งหนึ่งของความหนาแน่นสูงสุด แต่จะปล่อยออกมาเพียงเล็กน้อยในขณะที่กำลังเจริญเติบโต และเริ่มปล่อยมากขึ้นหลังจากหยุดการเจริญเติบโตแล้ว อัตราส่วนระหว่างไนโตรเจน และฟอสฟอรัสที่ดีที่สุดในการเลี้ยงสาหร่ายสไปรูไลนา คือ 5.5 ต่อ 1 (สุมาลี, 2536) และในรูปสารอินทรีย์ส่วนสารละลายฟอสเฟตฟอสฟอรัสจะปรากฏในปริมาณน้อยมากในธรรมชาติ ยกเว้นในน้ำที่มีมลพิษสูง ๆ ซึ่งมีสารอินทรีย์มาก สาหร่ายบางสปีชีส์สามารถดูดซึมฟอสฟอรัสเข้าไปในเซลล์ในปริมาณมากเกินพอ และเซลล์ดังกล่าวสามารถดำรงชีวิตในน้ำที่มีไนโตรเจนต่ำ ๆ ได้ สำหรับสาหร่ายสีเขียวต้องการฟอสฟอรัส เพื่อใช้ในการเจริญเติบโตประมาณ 2 ถึง 3 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง ลัดดา (2541) กล่าวว่า ถ้าสาหร่ายขาดฟอสฟอรัสจะมีผลเสียต่อการเจริญเติบโต คือ ปริมาณโปรตีนรงควัตถุชนิดคลอโรฟิลล์ - เอ RNA และ DNA จะลดลงแต่แป้งหรือคาร์โบไฮเดรตเพิ่มขึ้น ทำให้รูปร่างเซลล์เปลี่ยนแปลงไปจากเดิม
- กำมะถัน สาหร่ายจะใช้กำมะถันในรูปซัลเฟต เป็นองค์ประกอบของอินทรีย์สารพวกโปรตีนหลายชนิด เซลล์จะนำไปใช้เป็นสารประกอบในกรดอะมิโนบางชนิดในโมเลกุลของเอนไซม์หลายชนิด กำมะถันเป็นส่วนประกอบของหมู่ซัลไฟล์ (จีระพรรณ และคณะ, 2540)

- แมกนีเซียม คลอโรฟิลล์มีแมกนีเซียมเป็นองค์ประกอบ Cao, et al. (1998) รายงานว่า แมกนีเซียม สามารถยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ DNase ในสาหร่ายสไปรูลินา ทำให้การเจริญเติบโตช้า อย่างไรก็ตามแมกนีเซียม ยังเป็นธาตุที่มีความจำเป็นต่อการเจริญเติบโตของสาหร่ายสไปรูลินา เพราะเป็นตัวกระตุ้นเอนไซม์บางชนิดในกระบวนการ DNA synthesis และการส่งถ่ายอิเล็กตรอน

- คาร์บอน ไฮโดรเจน ออกซิเจน สาหร่ายนำไปใช้ในการสร้างผนังเซลล์ และไซโตพลาสซึม แร่ธาตุที่ทำหน้าที่ควบคุมแรงดันออสโมติกของเซลล์ เปลี่ยนแปลงไปตามความเข้มข้นของไอออน ได้แก่ $Br^-$, $Cl^-$, $K^+$, $H^+$ (จีระพรรณ และคณะ, 2540)

แร่ธาตุที่สาหร่ายนำเข้าไปใช้ควบคุมการรักษาระดับ กรดเบส ไม่ให้เปลี่ยนแปลงรวดเร็ว ประกอบไปด้วย Organic ion and inorganic ion คือ $PO_4^{3-}$, $HCO_3^-$ , $CO_2^{2-}$, $H^+$, $Na^+$, $Ca^{2+}$, $Mg^{2+}$ (จีระพรรณ และคณะ, 2540) ซิลีเนียมมีหน้าที่เกี่ยวกับวิตามินอี และเบต้า - แคโรทีน ยับยั้งสารที่ก่อให้เกิดมะเร็ง ช่วยขจัดสารพิษพวก แคดเมียม สารหนู เป็นต้น จะพบซิลีเนียม และไอโอดีนในสาหร่ายสไปรูลินาในช่วงระยะสาหร่ายเจริญเติบโตอยู่ในรูปสารประกอบหลายชนิดในสารละลายที่ใช้เพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินา (Mosulishvili, et al., 2002) จุลธาตุมีบทบาท คือ มีผลต่อการเจริญเติบโตของสาหร่าย และมีผลโดยตรงต่อระบบสรีรวิทยาการเจริญเติบโตของสาหร่าย ไม่สามารถแทนที่ได้ด้วยธาตุอื่น ๆ ธาตุอาหารที่สำคัญ ได้แก่ แมงกานีส นิเกิล สังกะสี โบรอน สานาเดียม โคบอลท์ ทองแดง และโมลิดินัม (จีระพรรณ และคณะ, 2540) นอกจากนี้สาหร่ายยังต้องการสารอินทรีย์ชนิดต่าง ๆ ในการเจริญเติบโต เช่น วิตามินบี 12 วิตามินบี 1 และไบโอติน สาหร่ายแต่ละชนิดต้องการวิตามินแตกต่างกัน และยังมีสารอีกหลายชนิดที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของสาหร่ายแต่ละชนิด ซึ่งต้องการมากน้อยไม่เท่ากัน ได้แก่ ไนอาซิน กรดพาราแอมมิโนเบนโซอิค กรดโฟลิค กรดแพนโทธินิค ไพริดอกซิน กรดแอลคอร์บิค ไกลซีน และฮิสติดิน (ยุวดี, 2542)

- โพแทสเซียม (Potassium) เป็นแร่ธาตุที่สาหร่ายต้องการถ้าลดปริมาณโพแทสเซียมลง จะทำให้การสังเคราะห์แสงของสาหร่ายลดต่ำลงด้วย แต่การหายใจจะเพิ่มขึ้น

**ปริมาณแสง (Light)** สาหร่าย *Spirulina platensis* เจริญเติบโตด้วยการสังเคราะห์แสง จึงจำเป็นต้องใช้แสง ซึ่งแสงที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการเพาะเลี้ยงสาหร่ายในระบบอุตสาหกรรม คือ แสงแดด โดยปริมาณแสงแดดที่เหมาะสมกับการเจริญของสาหร่าย *Spirulina platensis* คือ 35 ถึง 45 กิโลลักซ์ ถ้าปริมาณแสงที่มากเกินไปก็มีส่วนทำให้กระบวนการสังเคราะห์แสงลดลง ในงานวิจัยบางเรื่องอาจต้องใช้แสงในห้องปฏิบัติการ โดยอาจจะให้แสงจากหลอดฟลูออเรสเซนต์ สำหรับการเพาะเลี้ยงในประเทศไทย ซึ่งเป็นการเพาะเลี้ยงระดับอุตสาหกรรมสามารถเพาะเลี้ยงในถังเพาะเลี้ยง

ขนาดใหญ่ และให้ได้รับแสงสว่างจากดวงอาทิตย์โดยตรง ปรากฏว่าให้ผลผลิตสูงเป็นที่น่าพอใจ (นฤมล และคณะ, 2529) พบว่า ความเข้มแสงที่มีผลต่อการเจริญเติบโตสาหร่าย *Spirulina plantensis* ในบริเวณกลางแจ้ง ซึ่งมีอุณหภูมิสูงสาหร่ายจะเจริญเติบโตได้ดี ในช่วงความเข้มแสง 20,000 - 30,000 ลักซ์ ส่วนการเลี้ยงในห้องปฏิบัติการใช้ความเข้มแสงเพียง 8,000 - 10,000 ลักซ์ มีผู้นำสาหร่าย *Spirulina plantensis* และสาหร่าย *Chlorella sorokiniana* ซึ่งเป็นสาหร่ายเขตร้อน เช่นเดียวกันมาเลี้ยงในบ่อกลางแจ้ง พบว่า สาหร่าย *Spirulina plantensis* เมื่อได้รับความเข้มแสง และอุณหภูมิที่สูงจะให้ผลผลิตที่สูงกว่าสาหร่าย *C. sorokiniana* และสาหร่าย *C. vulgais* จะให้ผลผลิตสูงสุดที่ 18 องศาเซลเซียส ดังนั้น สาหร่ายสไปรูไลนา จึงเหมาะสมกับประเทศในเขตร้อนมากกว่า (เพ็ญจันทร์, 2535)

**อุณหภูมิ (temperature)** อุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญของสาหร่าย *Spirulina platensis* ไม่ควรต่ำกว่า 20 องศาเซลเซียส และไม่สูงกว่า 37 องศาเซลเซียส โดยพบว่าอุณหภูมิที่เหมาะสม ต่อการเจริญจะอยู่ในช่วง 30 ถึง 35 องศาเซลเซียส แต่ถ้าอุณหภูมิสูงถึง 40 องศาเซลเซียส จะทำให้สาหร่ายไม่เจริญเติบโต

**แหล่งคาร์บอน (carbon source)** แหล่งคาร์บอนในกระบวนการสังเคราะห์แสงของสาหร่ายมาจากก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่มีอยู่ในอากาศเพียง 0.4 เปอร์เซ็นต์ อาจพอต่อความต้องการของสาหร่ายในสภาพที่เจริญตามปกติ แต่ในสภาพที่ต้องการผลผลิตปริมาณมากจะมีการเพิ่มก๊าซนี้ลงในอาหารที่เลี้ยงโดยทั่วไป คือ การเติมโซเดียมไบคาร์บอเนต เมื่อทำปฏิกิริยากับน้ำจะได้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งสาหร่ายสามารถนำไปใช้ในกระบวนการสังเคราะห์แสงโดยตรง ปริมาณโซเดียมไบคาร์บอเนตที่เหมาะสมต่อการเจริญของสาหร่ายควรอยู่ในช่วง 4.5 ถึง 8.5 กรัมต่อลิตร บางโรงงานใช้วิธีเติมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ลงในบ่อเพาะเลี้ยง โดยตรงแต่ก็เสียค่าใช้จ่ายสูง อีกวิธีหนึ่ง คือ ใช้การกวน ซึ่งก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศจะละลายลงสู่อาหาร และสาหร่ายนำไปใช้ได้เช่นกัน

**ค่าความเป็นกรดด่าง (pH)** pH ที่เหมาะสมควรอยู่ในช่วง 9 ถึง 11 และควรอยู่ในระดับ 9.5 จึงจะเหมาะสมที่สุด ถ้า pH ต่ำกว่านี้ ควรปรับด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ ค่าของ pH จะมีผลต่อการละลายของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และเกลือแร่อื่น ๆ และมีผลต่อกระบวนการเมตาบอลิซึมในเซลล์สาหร่าย โดยตรงมีการศึกษา พบว่า สาหร่าย *Spirulina platensis* เจริญเติบโตได้ดีในสภาพที่เป็นด่าง คือ มี pH ค่อนข้างสูงในช่วงระหว่าง 9 - 11 และจากรายละเอียดของสูตรอาหาร Zarrouk ระบุไว้ว่าให้ปรับ pH เป็น 8 - 10 แสดงว่าที่ pH ต่ำถึง 8 สาหร่ายก็สามารถเจริญอยู่ได้ ถ้า pH ต่ำกว่า 8 และสูงกว่า 11 การเจริญของสาหร่ายจะลดลง (Venkataraman, 1983) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ วิลาสินี (2532) พบว่า การเจริญของสาหร่าย *Spirulina platensis* จะเจริญได้ดีในช่วง pH 9 - 10

**ปริมาณฝนและการระเหยของน้ำ (rain and evaporation)** ฤดูฝนเป็นฤดูที่ไม่เหมาะสมต่อการเจริญของสาหร่าย *Spirulina platensis* ทำให้ได้ผลผลิตของสาหร่ายต่ำสุด (นฤมล และคณะ, 2532) เนื่องจากปริมาณแสงแดดลดลง และบางครั้งปริมาณฝนมากเกินไปจะทำให้สารอาหารในบ่อเพาะเลี้ยงเจือจาง ซึ่งนอกจากสาหร่ายจะไม่เจริญเติบโตแล้วอาจมีสาหร่ายชนิดอื่นเจริญปนเปื้อนอยู่ด้วยก็ได้ ส่วนการระเหยของน้ำมักเกิดในฤดูร้อน โดยทำให้สารอาหารเข้มข้นมากเกินไป หรือ pH อาจจะสูงไป สำหรับปัญหาเรื่องฝนพบว่าในฤดูมรสุมความเข้มของแสงสว่างลดลงจากภาวะมืดครึ้ม น้ำฝนจะทำให้ความเข้มข้นของอาหารเจือจางลง ผลผลิตของสาหร่ายลดต่ำลง จึงต้องพยายามให้สถานที่เพาะเลี้ยงได้รับผลกระทบจากอุปสรรคดังกล่าวน้อยที่สุด (Venkataraman, 1983)

**การกวนหรือการหมุนเวียนของน้ำ (agitation)** การหมุนเวียนของน้ำเป็นปัจจัยสำคัญอย่างหนึ่ง เพราะเป็นการช่วยให้สาหร่ายที่อยู่ในระดับต่าง ๆ ได้รับแสงสว่าง และสัมผัสกับธาตุอาหารอย่างทั่วถึง ซึ่งจะทำให้สาหร่ายใช้ธาตุอาหาร และมีกิจกรรมของเซลล์ดำเนินไปอย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้การหมุนเวียนของน้ำยังช่วยป้องกันไม่ให้เกิดความแตกต่างของอุณหภูมิที่ผิวน้ำ และระดับลึกลงไป และถ้าน้ำไม่มีการหมุนเวียนแล้วอุณหภูมิที่ผิวน้ำจะสูงถึงระดับหนึ่ง ซึ่งจะทำให้เกิด Photoinhibition ได้ (สุชาติ และคณะ, 2528) และมีผลทำให้เซลล์สาหร่ายที่อยู่ด้านล่างได้ขึ้นมารับแสง หรือทำให้สารอาหารซึ่งอาจมีการเติมลงไปใหม่ในระหว่างการเพาะเลี้ยงได้ละลายไป ทั่วบ่อหรือภาชนะที่ใช้เพาะเลี้ยง และทำให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศละลายลงในสารอาหารได้ ทั้งนี้เพราะเมื่อเครื่องปั๊มอากาศหยุด หรือไม่มีการหมุนเวียนของน้ำ สาหร่ายจะลอยขึ้นสู่ข้างบน (Chung, et al., 1978)

**ความเข้มข้นของสาหร่ายเริ่มต้น (initial concentration)** ควรอยู่ในช่วง 225 ถึง 250 มิลลิกรัมน้ำหนักแห้งต่อลิตร หรือทำการตรวจวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง Spectrophotometer ที่ช่วงคลื่น 560 นาโนเมตร เมื่อได้ค่าการดูดกลืนแสง (optical density or OD) เป็น 1.0 แล้วก็จะเหมาะสมต่อการนำมาใช้เพาะเลี้ยง และจะใช้เพียง 2 ถึง 5 เปอร์เซ็นต์ ของสารอาหารที่เตรียมไว้ ถ้าหากความเข้มข้นเริ่มต้นต่ำเกินไปจะทำให้เซลล์สาหร่ายได้รับแสงมากเกินไป ซึ่งอาจทำให้เซลล์สาหร่ายแตกได้ (สุมาลี, 2527) จากการศึกษามีการเพาะเลี้ยง โดยใช้น้ำทิ้งจากบ่อบำบัดที่ 5 ของโรงงานอุตสาหกรรมแป้งมันสำปะหลัง โดยเติมสารเคมีบางชนิด พบว่า ใช้เชื้อตั้งต้นที่มีค่า OD (optical density) ที่มีความยาวคลื่น 560 นาโนเมตร ประมาณ 1.8 เท่ากับ 2% (ปริมาตร/ปริมาตร) ซึ่งได้ผลผลิตสาหร่าย 12.25 กรัม/ตารางเมตร/วัน ที่ 10% ความชื้น (นฤมล และคณะ, 2528)

**การผลิตสาหร่าย *Spirulina platensis***

การผลิตสาหร่าย *Spirulina platensis* มีการใช้ต้นทุนการผลิตค่อนข้างสูง เนื่องจากอาหารที่ใช้ในการเพาะเลี้ยงมักใช้สารอนินทรีย์หลายชนิด ซึ่งสารบางชนิดมีราคาแพง และค่อนข้างหายาก จึงมีความพยายามที่จะหาสูตรอาหารที่ราคาถูก และหาง่ายในท้องถิ่นมาทดแทน มีการนำวัสดุเหลือใช้ประเภทน้ำทิ้งจากแหล่งต่าง ๆ มาทดแทนสารเคมีบางตัวที่ใช้ในการเพาะเลี้ยง เช่น น้ำทิ้งจากโรงงานแป้งมันสำปะหลัง น้ำทิ้งจากแหล่งชุมชน น้ำกากถั่วเหลือง น้ำกากส่าเหล้าจากโรงงานผลิตสุรา เป็นต้น โดยน้ำทิ้งเหล่านี้มีคุณสมบัติเหมาะสมสำหรับการเพาะเลี้ยงสาหร่าย เนื่องจากประกอบด้วยสารจำพวกแอมโมเนียไนเตรท และฟอสฟอรัสอยู่ในปริมาณสูง ซึ่งสาหร่ายสามารถนำไปใช้ในการเจริญเติบโตได้ดี ได้มีผู้คิดหาสูตรอาหารขึ้นเป็นจำนวนมาก เพื่อให้เหมาะสมกับการเจริญของสาหร่ายแต่ละชนิดก็คือ หาสูตรอาหารชนิดที่ทำให้ลดต้นทุนในการผลิตได้มากที่สุด และได้ผลผลิตสูงสุด โดยการนำของเสียจากโรงงานบางชนิด เช่น กากแป้ง กากน้ำตาล น้ำผลไม้ ซึ่งของเหลือที่ไม่ได้ประโยชน์แล้วนี้ยังมีสารอาหารพอเพียงสำหรับใช้ในการเพาะเลี้ยง และโดยปกติผลผลิตที่ได้จะมีปริมาณโปรตีนสูงพอสมควร นอกจากนี้ยังได้ประโยชน์ในด้านการกำจัดของเสียจากโรงงานอันเป็นการลดมลพิษได้ด้วย

จรูญ (2531) ได้ทำการทดลองเบื้องต้น โดยการนำน้ำกากส่าเหล้าที่ความเข้มข้นต่าง ๆ กัน คือ 0.5, 1, 1.5, 2, 3, 4, 5, 6.5, 8 และ 10 เปอร์เซ็นต์ มาเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina platensis* เป็นเวลา 16 วัน พบว่าทุกความเข้มข้นมีความเหมาะสมต่อการเพาะเลี้ยงสาหร่าย และผลพลอยได้จากการเพาะเลี้ยง คือ สาหร่ายสามารถฟอกสีของน้ำกากส่าเหล้าโดยลดความเข้มข้นของสีลง 65.90 ถึง 79.27 เปอร์เซ็นต์ ส่วนยุวดี และคณะ (2535) กล่าวว่า การเลี้ยงสาหร่ายในน้ำกากส่าเหล้าผสมสารเคมีบางชนิดจะมีคุณค่าทางโภชนาการ โดยคิดเป็นกรัมใน 100 กรัมของน้ำหนักแห้ง ดังนี้ โปรตีน 68.63 คาร์โบไฮเดรต 12.99 ไขมัน 6.57 เส้นใย 7.38 เกลือแร่ และกรดอะมิโน หลายชนิด รวมทั้งวิตามิน

Soong (1980) ได้นำของเสียจากการเน่าสลายของมูลสัตว์มาใช้เพาะเลี้ยง ของเสียดังกล่าว ยังเน่าสลายไม่สมบูรณ์จึงมีกรดอินทรีย์ เช่น กรดอะซิติกจะเป็นแหล่งคาร์บอนได้ และพบว่า สาหร่ายมีการเจริญเติบโตได้ดี (Wu and Pond, 1981 อ้างใน สุพัตรา, 2533) รายงานว่า การหมักมูลฝอย หรือปุ๋ย โดยไม่ใช้อากาศนั้น จุลินทรีย์จะช่วยย่อยสลายมูลสัตว์ได้ก๊าซมีเทน ซึ่งเป็นแหล่งพลังงานที่มีประโยชน์วัสดุที่เหลือจากบ่อหมักจะประกอบด้วยไนโตรเจน และสารอนินทรีย์อื่น ๆ สามารถทำให้สาหร่ายขนาดเล็ก เช่น สาหร่าย *Chlorella* spp. และสาหร่าย *Spirulina platensis* เจริญเติบโตได้ดี ส่วน Becker and Venkataraman (1984) รายงานว่า การเพาะเลี้ยงสาหร่ายด้วยน้ำ

เสียจากแหล่งชุมชน หรือมูลสัตว์ อาจมีความยากในการรักษาชนิดของสาหร่ายที่ต้องการเพาะเลี้ยง เพราะว่าอาจเกิดการปนเปื้อนของสาหร่ายชนิดอื่นในน้ำเสีย และในน้ำเสียมีการผันแปรคุณสมบัติได้มาก แต่อย่างไรก็ตามการเพาะเลี้ยงสาหร่ายในน้ำเสียก็ย่อมมีความเป็นไปได้สูง (Pantastio, 1991 อ้างใน ชื่นจิตต์, 2530) กล่าวว่า ในประเทศฟิลิปปินส์ได้มีการศึกษาการใช้ประโยชน์จากสาหร่าย *Spirulina platensis* โดยเพาะเลี้ยงสาหร่ายในน้ำหมักมูลวัวในถังขนาด 650 ลิตร ปรับค่าความเป็นกรดด่าง 9.5 ได้ผลผลิต 2.1 ถึง 7.45 กรัมต่อตารางเมตรต่อวัน มีปริมาณโปรตีน 42.63 เปอร์เซ็นต์ ขณะเดียวกัน (Nguyen, 1991 อ้างใน อรุโณทัย, 2546) กล่าวว่า ในแถบชานเมืองของประเทศเวียดนามได้ใช้น้ำที่ได้จากบ่อหมักก๊าซชีวภาพเพาะเลี้ยงสาหร่ายในถังซีเมนต์ และใช้กังหันลม เพื่อกวนให้สาหร่ายกระจายได้ทั่วถังเพาะเลี้ยง พบว่า สาหร่ายเจริญเติบโต ส่วนชื่นจิตต์ (2530) ได้ศึกษาเปรียบเทียบผลผลิตของสาหร่าย *Spirulina platensis* ที่เพาะเลี้ยงในสูตรอาหาร 10 สูตร ที่ระดับความเป็นกรด - เบส เริ่มต้นของสารอาหาร 4 ระดับ และระยะเวลาในการเพาะเลี้ยง 10 วัน ปรากฏว่าผลผลิตของสาหร่าย *Spirulina platensis* สูงที่สุดในสูตรอาหารมูลผสมปุ๋ยเคมี ระดับความเป็นกรด - เบส เท่ากับ 6 ใช้เวลาในการเพาะเลี้ยง 10 วัน

ณรงค์ (2535) ได้ทำการเพาะเลี้ยง และศึกษาปริมาณโปรตีนของ *Spirulina platensis* ในน้ำกากส่าเหล้าผสมน้ำหมักผักตบชวา พบว่า สาหร่ายเจริญได้เมื่อใช้ความเข้มข้นของน้ำหมักผักตบชวา 40 - 60 เปอร์เซ็นต์ ผสมน้ำกากส่าเหล้า 0.5 เปอร์เซ็นต์ โดยเติมสารเคมีบางชนิด Hong, et al. (1979) รายงานว่า *Spirulina platensis* ที่เพาะเลี้ยงในอาหารที่มีส่วนผสมของน้ำเสียจากบ่อหมักมูลสุกรมีอัตราการเจริญเติบโตดีกว่าที่เพาะเลี้ยงด้วยสูตรอาหาร Zarrouk's medium ส่วน Saxena et al. (1983) ได้ทดลองเพาะเลี้ยงสาหร่ายในน้ำเสียจากแหล่งชุมชน โดยทดลองในบ่อกลางแจ้งขนาด 10 เมตร ลึก 15 เมตร ในฤดูหนาว และเพิ่มขึ้นเป็น 25 เซนติเมตร ในฤดูร้อนใช้น้ำเสียในการเตรียมอาหารพบว่า ควรเติม $NaHCO_3$ อย่างน้อย 1 เปอร์เซ็นต์ $NaNO_3$ ทุก 15 วัน แสดงว่าธาตุไนโตรเจนเป็นปัจจัยจำกัดต่อการเจริญเติบโตของสาหร่ายชนิดนี้ การใส่ยูเรียในปริมาณ 0.01 เปอร์เซ็นต์ แทน $NaNO_3$ พบว่าผลผลิตสูงขึ้นเล็กน้อย

วิรัตน์ (2533) ได้ทดลองเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินาในอาหารมูลสัตว์ต่างชนิดกัน โดยเติม $NaHCO_3$ 8.4 กรัมต่อลิตร $NaNO_3$ 2.5 กรัมต่อลิตร สารละลาย $A_5$ ($A_5$ solution), สารละลาย $B_6$ ($B_6$ solution) อย่างละ 1 มิลลิตรต่อลิตร ระยะเวลาในการเพาะเลี้ยง 10 วัน ปรากฏว่าสาหร่ายสไปรูลินาเจริญได้ดีที่สุดในสูตรอาหารน้ำสกัดจากมูลสุกร ผสมมูลไก่อัตราส่วน 1 : 1 ระดับความเข้มข้น 12 กรัมต่อลิตร ต่อมา อำนาจ และคณะ (2531) ทำการเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินาในอาหารที่เตรียมจากดิน พบว่า อาหารที่เตรียมจากดินที่มีความเข้มข้นร้อยละ 80 สาหร่ายสไปรูลินามีการเจริญเติบโตดีที่สุด $NaHCO_3$ เติม 0.0168 กรัมต่อลิตร การวัดค่าการดูดกลืนคลื่นแสง (OD)

เฉลี่ยต่อวันเท่ากับ 1.092 (505 มิลลิกรัมต่อลิตร) และสุวิมล (2536) ทำการเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินาในน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตขนมจีน พบว่า สาหร่ายสไปรูลินาที่เพาะเลี้ยงในอาหารต่างชนิดกันมีการเจริญเติบโตแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 95% ($P<0.05$) โดยสูตรอาหาร Zarrouk ผสมกับน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตขนมจีนในอัตราส่วน 1 : 0 สาหร่ายมีการเจริญเติบโตมากที่สุด สูตรอาหาร Zarrouk ผสมกับน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตขนมจีนในอัตราส่วน 1 : 1 สาหร่ายมีปริมาณโปรตีนสูงสุด ร้อยละ 67.15 พิมพรรณ และอารักษ์ (2531) เพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินาจากน้ำทิ้งโรงงานยางพารา พบว่า น้ำทิ้งจากโรงงานยางพาราที่ไม่เจือจางจะทำให้สาหร่ายสไปรูลินาเจริญเติบโตดีที่สุด การเพิ่ม $K_2HPO_4$ และ $K_2SO_4$ พบว่า ไม่จำเป็น และอัตราการเจริญเติบโตของสาหร่ายสไปรูลินาลดลง เมื่อความเข้มของสารเพิ่มขึ้น

นฤมล และคณะ (2529) ได้ศึกษาการผลิตสาหร่ายสไปรูลินาจากน้ำทิ้งโรงงานแป้งมันสำปะหลัง โดยเติมสารประกอบของ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และคาร์บอเนตลงไป ค่าความเป็นกรด - เบส 10 พบว่าสาหร่ายสไปรูลินาสามารถเจริญเติบโตได้ดี เมื่อเพาะเลี้ยงในน้ำทิ้งจากโรงงานแป้งมันสำปะหลังที่มีความเข้มข้นของ $NaNO_3$ เท่ากับ 8.5 กรัมต่อลิตร และปุ๋ยเคมี 16-16-16 เท่ากับ 0.6 กรัมต่อลิตร เสกสรร (2536) ทำการเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินาในน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตขนมจีนผสมกับสูตรอาหาร Zarrouk ดัดแปลง พบว่า สาหร่ายสไปรูลินาที่เพาะเลี้ยงในอาหารต่างชนิดกัน มีการเจริญเติบโตแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 95% ($P<0.05$) โดยสูตรอาหาร Zarrouk มีการเจริญเติบโต และปริมาณโปรตีนสูงสุดร้อยละ 61.53 และปิยสิทธิ์ (2536) ทดลองเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินา โดยใช้น้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมการผลิตแป้งขนมจีนในระดับความเข้มข้นต่าง ๆ กัน พบว่า เมื่อเพาะเลี้ยงได้ 10 วัน สาหร่ายสไปรูลินาที่เพาะเลี้ยงในน้ำทิ้งชนิดที่ 2 ความเข้มข้น 20 เปอร์เซ็นต์ มีการเจริญเติบโตมากกว่าอาหารชนิดอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 99% ($P<0.01$) โดยมีน้ำหนักแห้งเท่ากับ 1098.85 มิลลิกรัมต่อลิตร

อณุฤทธิ์ (2537) ได้ทำการทดลองเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินาในน้ำทิ้งจากกระบวนการผลิตขนมจีนแป้งหมัก พบว่า สาหร่ายสไปรูลินาที่เลี้ยงในน้ำทิ้งจากบ่อพักรวมน้ำทิ้งความเข้มข้นร้อยละ 50 มีการเจริญเติบโต และปริมาณโปรตีนสูงสุด และในปีเดียวกัน จบเจน (2537) ทดลองเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินาในน้ำกากถั่วเหลืองผสมกับสูตรอาหาร Zarrouk ในอัตราส่วนต่าง ๆ กัน พบว่า เมื่อเพาะเลี้ยงได้ 12 วัน สาหร่ายสไปรูลินาที่เพาะเลี้ยงในอาหารชนิดที่ 3 (น้ำกากถั่วเหลืองผสมสูตรอาหาร Zarrouk 1 : 2 ) และอาหารชนิดที่ 4 (น้ำกากถั่วเหลืองผสมสูตรอาหาร Zarrouk 1 : 3) มีการเจริญเติบโตมากกว่าสูตรอาหารอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 95% ($P<0.05$) โดยน้ำหนักแห้งเท่ากับ 1,564.42 มิลลิกรัมต่อลิตร และ 1,572.61 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ และ

สาหร่ายสไปรูลินามีปริมาณโปรตีนมากที่สุดร้อยละ 31.1185 ในสูตรอาหารชนิดที่ 3 ในช่วงระยะเพาะเลี้ยง 2 วัน

**การวัดการเจริญเติบโต**

การวัดการเจริญของสาหร่ายสไปรูลินามีหลายวิธี การนับเซลล์ของสาหร่ายโดยตรง คือ การนับทั้งหมด โดยการใช้ไมโครปิเปตที่สามารถปรับปริมาตรได้ ดูดสาหร่ายหยดลงนับสไลด์ ปิดด้วยคอบเวร์สลิป ศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์เลนส์ประกอบนับจำนวนเส้นสายของสาหร่ายที่ปรากฏบนคอปเวอร์สลิป และการนับสุ่ม ในกรณีนี้สาหร่ายมีจำนวนมาก และไม่สามารถนับทั้งหมดได้ก็ให้ใช้วิธีนับแบบสุ่ม โดยการใช้สไลด์นับจำนวนที่มีอยู่หลายชนิด เช่น ใช้สไลด์จำนวนแบบ Haemacytometer, Lund's slide or Sedgewick Rafter Counting Cell เป็นต้น ซึ่งแต่ละชนิดมีวิธีแตกต่างกันไป อีกวิธีหนึ่ง คือ การวัดค่าดูดกลืนแสงอาศัยหลักเกณฑ์ที่ว่าถ้าสาหร่ายมีปริมาณมาก แสงส่องผ่านไปได้น้อย ค่าที่วัดได้คือ ค่าการดูดกลืนแสง โดยใช้เครื่องมือที่เรียกว่า spectrophotometer หรือจะใช้ที่เรียกว่า spectronic ก็ได้ โดยตั้งความยาวคลื่นสำหรับวัดค่าการดูดกลืนแสง หรือ optical density (OD) ของสาหร่ายสไปรูลินาไว้ที่ 560 นาโนเมตร (ยุวดี, 2544) (Venkatarama, 1983) เก็บเกี่ยวเมื่อค่าดูดกลืนแสงเท่ากับ 1.5 หรือมากกว่าเล็กน้อยจะมีความเหมาะสมมากที่สุด เพราะเซลล์โตเต็มที่ และให้ผลผลิตที่ดี ถ้าเก็บเกี่ยวเมื่อค่าดูดกลืนแสงมากกว่านี้ เซลล์บางเซลล์อาจตายแล้ว ผลผลิตไม่มีคุณภาพนอกจากนั้นยังสามารถใช้การปริมาณคลอโรฟิลล์เอ เป็นวิธีวัดการเจริญของสาหร่ายทางอ้อมมักจะใช้กับงานวิจัยมากกว่าการเพาะเลี้ยงในภาคอุตสาหกรรม โดยมีหลักเกณฑ์ว่า ถ้ามีการเจริญเติบโตของสาหร่ายมากจะมีคลอโรฟิลล์เอมากตามไปด้วย วิธีการวัดปริมาณคลอโรฟิลล์เอไม่ยาก แต่มีความซับซ้อนขึ้นอีกระดับหนึ่ง สารสกัดคลอโรฟิลล์เอมีหลายชนิด เช่น เมทธิลแอลกฮอล์ เอทธิลแอลกฮอล์ เป็นต้น วิธีการวัดปริมาณคลอโรฟิลล์เอ ศึกษาได้จาก American Pubic Heath Association (1992) ยุวดี และฉมาภรณ์ (2542) กล่าวว่า การวัดน้ำหนักแห้ง เป็นวิธีวัดการเจริญของสาหร่ายทางตรงอีกวิธีหนึ่ง และเป็นวิธีที่ดีที่สุด ส่วนใหญ่ใช้ในงานวิจัยที่ต้องความละเอียดของผลงานวิจัย ในการเลี้ยงสาหร่ายระดับชุมชน หรือระดับอุตสาหกรรมไม่จำเป็นต้องใช้วิธีดังกล่าว

**การเก็บเกี่ยว (harvest)**

การเก็บเกี่ยวสาหร่ายต้องคำนึงถึงค่าใช้จ่ายเป็นหลักซึ่งได้แก่วิธีการดังนี้

**1. Gravity filtration** คือ การกรองโดยใช้ผ้ากรองธรรมดา วิธีนี้ยังทำได้อีกหลายวิธี ได้แก่ การกรองโดยใช้ผ้ากรอง 2 ชั้น เป็นผ้าไนลอนขนาดตา 0.6 ตารางเมตร ขึงไว้กับกรอบเหล็ก

ผ้าแผ่นบนมีความถี่ 25 ช่องตารางนิ้ว แผ่นล่างมีความถี่ 60 ช่องตารางนิ้ว สามารถกรองได้ด้วยอัตราการกรอง 200 ลิตรต่อตารางเมตรต่อชั่วโมง การกรองได้พัฒนาขึ้นโดยใช้ผ้ากรอง 2 ผืน โดยใช้ผ้าผืนบน และล่างมีขนาด 0.5 และ 1.5 ตารางเมตร ตามลำดับ แผ่นบนจะมีเครื่องกวนติดอยู่ และแผ่นล่างจะมีเหล็กขูดเซลล์ที่ติดอยู่ กระบวนการกรองนี้ทำให้กรองได้ด้วยอัตรา 670 ลิตรต่อตารางเมตรต่อชั่วโมง การเก็บเกี่ยววิธีนี้นิยมปฏิบัติในอุตสาหกรรมการผลิตขนาดเล็ก เพราะการเก็บเกี่ยวได้ค่อนข้างช้า และพยายามหลีกเลี่ยงการใช้พลังงานไฟฟ้า

**2. Plate and frame filter pressing** เครื่องมือนี้ประกอบด้วย โลหะซึ่งเจาะรูเล็ก ๆ ตลอดแผ่นวางขนานกันในโครงเหล็ก และมีแผ่นผ้าปิดทับแผ่นโลหะแต่ละแผ่น วิธีการ คือ ใช้แรงดันอัดสาหร่ายผ่านแผ่นโลหะนี้ สาหร่ายก็จะติดค้างบนแผ่นโลหะ ซึ่งสามารถเก็บได้ในภายหลัง วิธีนี้สามารถเก็บเกี่ยวสาหร่ายได้อย่างรวดเร็ว และมีประสิทธิภาพ แต่ต้องเสียค่าใช้จ่ายสูงขึ้นเมื่อใช้ Filter press ที่มีพื้นที่ 0.3 ตารางเมตร จะได้ผลผลิตมากกว่าวิธีแรกถึง 10 เปอร์เซ็นต์ และยังลดเวลาที่ใช้ในการกรองได้อีกด้วย

**3. การใช้เครื่องเหวี่ยง (centifuge)** วิธีการนี้ ใช้หลักการให้สาหร่ายตกตะกอน โดยใช้แรงเหวี่ยง และจะแยกน้ำไว้ชั้นบน ในการผลิตแบบต่อเนื่อง เพื่อให้อัตราการไหลข้าวของสาหร่ายเป็น 125 ลิตรต่อนาที พบว่า ให้ผลผลิตมากกว่าวิธีที่ 2 เพียง 1 เปอร์เซ็นต์เท่านั้น วิธีนี้จึงไม่นิยมใช้

**การทำแห้ง (drying)**

การทำสาหร่ายให้แห้งหากใช้อุณหภูมิสูงเกินไปอาจทำให้คุณภาพทางโภชนาการของสาหร่ายลดลง จึงมีผู้เสนอวิธีการทำแห้งไว้หลายวิธี เช่น

**1. วิธี Solar drying** โดยการใช้กล่องที่ภายในทาสีดำ และปิดด้วยกระจกหนา 2 มิลลิเมตร จะทำให้ได้อุณหภูมิภายในเท่ากับ 60 - 70 องศาเซลเซียส วิธีนี้ใช้ได้ดี เมื่อใช้กับสาหร่ายที่แผ่ให้หนาประมาณ 2 - 3 มิลลิเมตร ใช้เวลา 5 - 6 ชั่วโมง

**2. วิธี Sun drying** เป็นวิธีที่ง่าย และเสียค่าใช้จ่ายน้อยมาก แต่มีข้อเสียหลายอย่าง เช่น ต้องขึ้นกับสภาพอากาศ และเกิดการเสียหายจากแสงแดดที่มากเกินไปวิธีนี้มักใช้กับสาหร่ายที่นำมาเป็นอาหารสัตว์ โดยการแผ่สาหร่ายบนแผ่นพลาสติกในถาดแล้วนำไปตากแดด

**3. วิธี Drum drying** เป็นการทำแห้ง โดยใช้สาหร่ายมาสัมผัสกับแผ่นโลหะร้อนโดยตรง ทำให้ความชื้นในสาหร่ายระเหยไป เครื่องมือนี้ประกอบด้วย ลูกกลิ้งโลหะกลวง และมีไอร้อนไหลเวียนอยู่ ลูกกลิ้งจะถูกตรึงให้หมุนรอบแกนในแนวนอนด้วยความเร็วที่สามารถปรับได้ตามต้องการ มีเครื่องป้อนสาหร่ายให้เป็นชั้นบาง ๆ และมีใบมีดตอดอยู่ตำแหน่งหนึ่ง เพื่อคอยขูด

แผ่นสาหร่ายที่แห้งออก จัดเป็นเครื่องทำแห้งที่มีอัตราการทำแห้งสูงมาก มักใช้อุณหภูมิสูงกว่า 121 องศาเซลเซียส ใช้เวลาราว 8 ถึง 14 วินาที

**4. วิธี Spray drying** เครื่องทำแห้งระบบนี้สาหร่ายเหลวจะถูกพ่นเข้าไปในกระแสลมร้อนด้วยหยดของเหลวขนาดเล็ก 10 ถึง 200 ไมครอน ทำให้มีพื้นผิวสัมผัสกับลมร้อนสูงอัตราการทำแห้งจะเร็วมาก ความชื้นในสาหร่ายจะระเหยอย่างรวดเร็ว ระบบนี้ใช้อุณหภูมิภายในเครื่องไม่เกิน 74 องศาเซลเซียส และสาหร่ายจะแขวนลอยอยู่ในช่วง 1 ถึง 10 วินาที เท่านั้น จึงไม่ทำให้สาหร่ายเกิดความเสียหาย เนื่องจากความร้อน ความชื้น ในสาหร่ายจะถูกลดต่ำลงเหลือเพียง 5 เปอร์เซ็นต์ เท่านั้น (สุมาลี, 2527)

**ประโยชน์ของสาหร่าย *Spirulina platensis***

ประเทศไทยมีการทดลองเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina platensis* มาหลายปีแล้ว โดยหน่วยราชการ คือ สถาบันประมงน้ำจืดแห่งชาติได้ริเริ่มโครงการวิจัยตั้งแต่ พ.ศ. 2525 โดยตระหนักถึงความสำคัญของการเสาะแสวงหาแหล่งโปรตีนใหม่ ๆ ปัจจุบันทางสถาบันผลิตสาหร่ายได้อาทิตย์ละประมาณ 3 กิโลกรัมแห้ง และมีแผนการที่จะใช้ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ซึ่งมีปัญหาเรื่องดินเค็มให้เกิดประโยชน์อย่างมีประสิทธิภาพด้วยการเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina platensis* โดยศึกษาหาทางลดต้นทุนการผลิต เช่น การใช้ปุ๋ยหมัก ซึ่งหาได้ตามพื้นบ้าน ตลอดจนคัดเลือกสายพันธุ์พื้นเมืองที่มีอยู่มาใช้ให้ได้ผลดียิ่งขึ้น ทั้งนี้ได้รับเงินทุนสนับสนุนจากองค์การสหประชาชาติจำนวนหนึ่ง เพื่อจัดซื้อเครื่องมือ และสร้างบุคลากรด้านนี้ เมื่อ พ.ศ. 2526 (สถาบันประมงน้ำจืดแห่งชาติ, 2530)

ใช้เป็นอาหารสำหรับมนุษย์โดยตรง เช่น ชาวแอสเทคส์ (Aztecs) ซึ่งอาศัยอยู่ในประเทศเม็กซิโก นำมาดัดแปลงเป็นอาหาร ที่เรียกว่า คุยเทลส์ (tecukttatl) ต่อมาชนเผ่าคาเนบู (kanembou) ซึ่งอยู่ทางตอนเหนือของทะเลสาบในประเทศชาด ทวีปอาฟริกา นำสาหร่ายชนิดนี้มาทำเป็นซอสสำหรับใช้ในการปรุงอาหาร เรียกว่า ไดเฮ (dihe) (Venkataraman, 1983) ต่อมานิยมบริโภคกันอย่างกว้างขวางยิ่งขึ้น ในประเทศญี่ปุ่นนำสาหร่าย *Spirulina platensis* มาทำเป็นอาหารบำรุงสุขภาพ (health food) โดยทำในอุตสาหกรรมกระบวนการทำนั้นจะผ่านกรรมวิธีตากแห้งแล้วอันเป็นเม็ดขนาดเท่าเม็ดยาเอพีซี (APC) ทั่ว ๆ ไป ซึ่งมีราคาแพงมาก (ศิริรัตน์, 2527)

การใช้ประโยชน์ทางด้านการแพทย์ สุชาติ (2529) อ้างถึง การทดลองในประเทศเม็กซิโกว่ามีการนำสาหร่าย *Spirulina platensis* แห้งให้นักกีฬารับประทาน 25 - 40 กรัมต่อวัน เป็นเวลา 30 - 40 วัน พบว่าจะช่วยให้กล้ามเนื้อยืดหดตัวดี และการทดลองในทารกที่ขาดอาหาร โดยใช้

สาหร่าย *Spirulina platensis* ชนิด *S. maxima* ที่มีโปรตีน 50% ทำให้ทารกมีน้ำหนักตัวเพิ่มขึ้น นอกจากนี้สาหร่าย *Spirulina platensis* ยังมีผนังเซลล์ที่ไม่ใช่เซลลูโลส ทำให้ย่อยง่ายจึงเหมาะสำหรับผู้ป่วยที่เพิ่งฟื้นไข้ และคนชรา

ปัจจุบันทั่วโลกได้ให้ความสนใจต่อสาหร่าย *Spirulina platensis* กันมาก โดยประเทศญี่ปุ่น เม็กซิโก สหรัฐอเมริกา ชาด ไต้หวัน เยอรมัน ได้ผลิตเป็นสินค้าออกในรูปผง หรือเม็ดคล้ายยา และผสมในอาหารต่าง ๆ เช่น เส้นสปาเก็ตตี้ ขนมเค้ก พวกเวฟเฟิล (สถาบันประมงน้ำจืดแห่งชาติ, 2530) สำหรับในประเทศชาดนั้น พบว่า *Spirulina platensis* ที่มีมากเจริญแพร่กระจายในทะเลสาบทางตอนเหนือประเทศ นำมาวิเคราะห์ปริมาณโปรตีนได้ถึงร้อยละ 45 - 49 ของน้ำหนักแห้ง นิยมนำมาเป็นส่วนผสมในการทำในการทำขนมเค้ก (Bold and Wynne, 1978)

**การใช้สาหร่าย *Spirulina platensis* เป็นอาหารสัตว์**

ใช้เป็นอาหารสำหรับเลี้ยงสัตว์ เพราะนอกจากจะเป็นแหล่งโปรตีนที่สำคัญ สำหรับเลี้ยงสัตว์ ทำให้สัตว์มีอัตราการเจริญเติบโตสูงแล้ว ยังประกอบด้วยคาร์โรทีน ซึ่งจะถูกเปลี่ยนไปเป็นวิตามินเอ เมื่อนำไปทดลองเลี้ยงไก่จะทำให้สีของไข่แดงเข้มขึ้น และใช้เป็นส่วนผสมในอาหารของสารประเภทสวยงาม เบต้า - แคโรทีน จากสาหร่ายจะช่วยเร่งสีผิวของปลาให้สวยเข้มขึ้น เป็นการเพิ่มคุณค่า และราคาให้กับตัวปลาด้วย (Venkataraman, 1983) ได้มีผู้ทดลองนำ *Spirulina platensis* ไปเป็นส่วนผสมของอาหารเลี้ยงปลา Bigmouth buffalo (*Ictiobus cyprinellus*) และปลา Blue tilapia (*Tilapia aurea*) พบว่าปลาทั้งสองชนิดเจริญเติบโตดีมาก แต่เมื่อลดปริมาณของสาหร่ายลงอัตราการเจริญเติบโตจะลดลงด้วย (Stanly and Jones, 1976)

สถาบันประมงน้ำจืดแห่งชาติ (2530) ได้ศึกษา โดยการนำสาหร่ายไปทดลองเลี้ยงลูกไก่ พบว่าอัตราการตายมีน้อยลง และทำให้สีของไข่แดงเพิ่มขึ้นเนื่องจากแคโรทีนจะถูกเปลี่ยนเป็นวิตามินเอ ทางด้านประมงพบว่าสามารถนำไปใช้ในการเพาะเลี้ยงปลา และกุ้งได้เป็นอย่างดี ทำให้ปลาเพิ่มน้ำหนักตัวได้มากขึ้น นอกจากนี้ยังมีสารบางตัวที่ทำให้ปลามีสีสดสวยขึ้นอีกด้วย

ดวงจันทร์ และคณะ (2539) ได้ศึกษา ความปลอดภัยของการบริโภคสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน *Spirulina platensis* ซึ่งเลี้ยงจากน้ำดีเกลือเข้มข้น 3 ระดับ คือ 10, 20 และ 30% ตามลำดับ นำมาผสมอาหาร เพื่อเลี้ยงสัตว์ทดลอง โดยเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม ซึ่งเลี้ยงด้วยอาหารมาตรฐานเป็นเวลา 12 สัปดาห์ ผลการศึกษาพบว่า สาหร่าย *Spirulina platensis* ไม่ก่อให้เกิดอันตรายใด ๆ เหมาะแก่การนำไปบริโภค และไม่ก่อให้เกิดอันตรายใด ๆ ต่อสุขภาพ อีกทั้งการเลี้ยงด้วยน้ำ

ทิ้งจากนาเกลือสามารถช่วยลดต้นทุนการผลิตได้ถึง 30% โดยที่ศักยภาพการผลิต และคุณภาพของสาหร่ายใกล้เคียงกับการเลี้ยงด้วยอาหารหัวเชื้อน้ำเกลือเข้มข้น

โอภาส (2533) ได้ศึกษา การทดลองผสมสาหร่ายในอาหารเลี้ยงนกกระทาตั้งแต่อายุ 1 วัน จนถึง 11 สัปดาห์ พบว่า สีของไข่แดงที่ได้รับสาหร่ายจะมีสีเข้มขึ้นตามปริมาณของสาหร่ายที่ผสมในอาหาร

สมเกียรติ (2542) ได้ทำการทดลอง โดยใช้สาหร่าย *Spirulina platensis* ที่ได้จากการเพาะเลี้ยงสาหร่ายด้วยน้ำเสีย หรือน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมต่าง ๆ ผสมลงในอาหารสำเร็จรูปสำหรับเลี้ยงสัตว์จะช่วยเพิ่มคุณค่าสารอาหาร และเป็นการลดต้นทุนการผลิต

Nakamura (1982) ได้นำสาหร่าย *Spirulina platensis* ในรูปแช่แข็ง และเป็นผงมีคุณสมบัติที่เหมาะสมในการอนุบาลลูกปลามาก เนื่องจากมีขนาดเล็ก และย่อยง่ายยังทำให้อัตราการเจริญเติบโตสูงขึ้น ปลาเจริญถึงระยะเจริญพันธุ์เร็วขึ้น

Hirano and Suyama (1986 อ้างใน อรุโณทัย, 2546) ใช้สาหร่ายสไปรูลินาผสมอาหารเม็ดเลี้ยงกุ้ง *Peacus japonicus* ระยะ juveniles อาหารที่มีส่วนผสมของสาหร่าย *Spirulina platensis* ร้อยละ 8 ให้การเจริญเติบโตดี อัตราการอยู่รอดสูง และมีสีเข้มที่สุด เมื่อนำไปเลี้ยงปลา *Plecoglossus altivelis* พบว่า อาหารที่มีสาหร่าย *Spirulina platensis* ร้อยละ 50 จะทำให้ปลามีการเจริญเติบโตดี และยังช่วยให้กลิ่น รส ความละเอียดอ่อนของเนื้อปลาดีขึ้น

สรวิศ (2543) ได้ทำการศึกษาโดยผสมสาหร่าย *Spirulina platensis* ในอาหารปลาไน หรือปลาคาร์ฟจะช่วยเร่งสีแดงเร็วขึ้น และการผสมสาหร่าย *Spirulina platensis* 10% ในอาหารปลานิลสีแดง พบว่า ผลต่อความเข้มข้นสีของลายบนลำตัว หัว และครีบ เมื่อเลี้ยงในระยะเวลา 6 สัปดาห์

ธนาคารกสิกรไทย (2533) กล่าวว่า สาหร่าย *Spirulina platensis* มีเบต้าแคโรทีน ซึ่งประกอบไปด้วยโปรวิตามินเอ ซึ่งเป็นสารเร่งสี และจะทำให้ปลาที่กินสาหร่ายชนิดนี้มีสีสันสดใสสวยงามขึ้น ซึ่งในประเทศญี่ปุ่นใช้ผสมในอาหาร สำหรับเลี้ยงปลาแฟนซีคาร์ฟ

วิพัฒน์ (2523) ได้ทำการศึกษา โดยใช้ *Spirulina platensis* และ *Oscillatoria* sp. เป็นส่วนผสมในอาหารสำหรับเลี้ยงลูกปลาไน ปรากฏว่า ปลามีการเจริญเติบโตดี โดยอาหารที่ใช้ *Spirulina platensis* เป็นส่วนผสมของอาหารให้ผลดีที่สุด และพบว่าลูกปลาไนที่เลี้ยงด้วยสาหร่าย *Spirulina platensis* จะมีลำตัวสีเหลืองมากกว่าปกติจนสังเกตเห็นได้ชัดเจน

วุฒิพร (2527) ได้ศึกษาผลของรงควัตถุคาร์โรทีนนอยด์ที่เหมาะสม และมีราคาถูก ได้แก่ สาหร่าย *Spirulina platensis* กุ้งป่น แคโรฟิลเรด หอยแมลงภู่ กลีบดอกดาวเรืองแห้งพันธุ์ทอริดอร์ พันธุ์โซเวอร์เรียน และฟักทอง โดยผสมรงควัตถุเหล่านี้ลงในอาหารสูตรพื้นฐาน แล้วศึกษาถึงความเข้มของสีแฟนซีคาร์ฟ (Cyrrinus carpio Linn.) ที่เพิ่มขึ้น พบว่า ปลาที่ได้รับสาหร่าย

*Spirulina platensis* ผสมลงในอาหารสูตรพื้นฐานร้อยละ 15 มีสีเข้มที่สุด เมื่อเลี้ยงเป็นเวลา 2 สัปดาห์ บริเวณลำตัวปลาจะมีสีส้ม และในสัปดาห์ที่ 8 จะมีสีแดงเข้มอย่างชัดเจนทั้งนี้ เนื่องจากปลาแฟนซีคาร์ฟ สามารถสะสมคาร์โรทีนนอยด์จากอาหารได้โดยตรง

Venkataraman (1983) กล่าวว่า *Spirulina platensis* ใช้เป็นอาหารสำหรับเลี้ยงสัตว์ เพราะนอกจากจะเป็นแหล่งโปรตีนที่สำคัญสำหรับเลี้ยงสัตว์ ทำให้สัตว์มีอัตราการเจริญเติบโตสูงแล้ว ยังประกอบไปด้วยคาร์โรทีน ซึ่งจะถูกเปลี่ยนไปเป็นวิตามินเอ เมื่อนำไปทดลองเลี้ยงไก่จะทำให้สีของไข่แดงเข้มขึ้น และใช้เป็นส่วนผสมในอาหารของปลาประเภทสวยงาม เบต้า - คาร์โรทีน จากสาหร่ายจะช่วยเร่งสีผิวของปลาให้สวยขึ้น เป็นการเพิ่มคุณค่า และราคาให้กับตัวปลาด้วย

สุรีย์วรรณ (2536) ได้นำสาหร่ายมาเพาะเลี้ยงในแหล่งน้ำต่าง ๆ รวมถึงน้ำเสียมาใช้เป็นอาหารแกะแทนกากถั่วเหลือง พบว่าแกะที่เลี้ยงด้วยสาหร่ายสไปรูลินาจะสามารถใช้ทดแทนกากถั่วเหลืองได้อย่างดี และสามารถใช้เป็นอาหารสัตว์ได้อีกหลายประเภท เช่น สุกร ไก่ไข่ ไก่เนื้อ หรือแม้กระทั่งสัตว์น้ำ เช่น ปลาไน ปลากระพง หรือกุ้งกุลาดำได้อีกด้วย

Grinstead, et al. (1999) ได้ทำการศึกษาวิจัย โดยนำสาหร่ายสไปรูลินาเป็นอาหารแก่ลูกหมูหลังหย่านมให้สาหร่ายสไปรูลินาทดแทนถั่วเหลืองใช้ร่วมกับอาหารพื้นฐานหลายชนิด เช่น Zinc oxide, Salt เป็นต้น พบว่า ลูกหมูหลังหย่านมอายุ 14 - 28 วัน เมื่อให้สาหร่ายสไปรูลินา 2 g $kg^{-1}$ ค่า ADG (average daily gain) เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับ control และยังพบว่า การให้สาหร่ายสไปรูลินา 2 g $kg^{-1}$ ในสัปดาห์ที่ 2 กับลูกหมูหลังหย่านมอายุ 14 - 28 วัน และ 0 - 28 วัน ทำให้ค่า ADFI (average daily food in take) สูงกว่า control และยังพบว่า การให้สาหร่ายสไปรูลินาในอาหารไม่มีผลต่อการเจริญเติบโตของลูกหมูทุกช่วงอายุ โดยสังเกตจากค่า ADG, ADFI และ F/G (food efficiency) ที่ไม่พบความแตกต่างทางสถิติ อย่างไรก็ตามการให้สาหร่ายสไปรูลินาในรูปเม็ดให้กับลูกหมูดีกว่าการให้สาหร่ายสไปรูลินาในรูปผง

บานชื่น (2532) ได้ทำการศึกษา ใช้สาหร่ายสไปรูไลนาผสมกับอาหารเลี้ยงปลาดุกอุย พบว่า หากสาหร่ายสดผสมในปริมาณมากกว่าร้อยละ 5 ขึ้นไป จะมีผลทำให้เนื้อปลามีสีเข้มขึ้นตามปริมาณของสาหร่ายที่ใส่ และระยะเวลาที่เลี้ยง

**สาหร่าย *Spirulina platensis* กับการบำบัดน้ำเสีย**

วิลาสินี (2532) ได้ศึกษา การเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina platensis* ในกากส่าเหล้าที่ความเข้มข้นต่าง ๆ และมีการเติมปุ๋ยสูตร 16-16-16 (N:P:K), $NaHCO_3$, $NaNO_3$, $K_2HPO_4$ ในสภาพห้องปฏิบัติการ และสภาพกลางแจ้ง พบว่า สาหร่าย *Spirulina platensis* สามารถลดค่า BOD ได้

44.00 เปอร์เซ็นต์ และ 43.43 เปอร์เซ็นต์ ความเข้มข้นของสีน้ำกากส่าเหล้าลดลง 51.13 เปอร์เซ็นต์ และ 58.69 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

สุขใจ และนวลพรรณ (2530) ได้ทำการทดลองเพาะเลี้ยงสาหร่ายโดยใช้น้ำทิ้งจากโรงงานฆ่าไก่ พบว่า หลังการเพาะเลี้ยงสาหร่ายจะทำให้ค่า BOD ลดลงในช่วง 15 ถึง 25 เปอร์เซ็นต์ และให้ผลผลิตสูงสุด 197 ถึง 268 มิลลิกรัมต่อ 100 มิลลิลิตร ต่อมาได้ทดลองเลี้ยงสาหร่ายนี้โดยใช้น้ำทิ้งจากโรงงานปลาป่น พบว่า สามารถใช้น้ำทิ้งได้มากที่สุด 15 เปอร์เซ็นต์ ได้ผลผลิต 6.87 กรัมต่อตารางเมตรต่อวัน

จิตรลดา และวรวรรณ (2538) ได้ทำการทดลองนำสาหร่ายนี้มาบำบัดน้ำเสียจากการต้มเปลือกปอสา เพื่อหาประสิทธิภาพในการบำบัดนี้ในน้ำเสีย โดยใช้พารามิเตอร์ คือ สี COD pH และคลอโรฟิลล์ และเพื่อหาปริมาณการเจริญเติบโตของสาหร่าย และสภาวะที่เหมาะสมในการเพาะเลี้ยง โดยทำการทดลองที่ค่าสีของน้ำเสียต่าง ๆ โดยใช้ระบบบำบัดน้ำเสียแบบ Algae pond ใช้เวลาทดลอง 20 ถึง 30 วัน พบว่า เมื่อใช้เวลาในการทดลองประมาณ 20 วันประสิทธิภาพในการบำบัดสีประมาณ 60 ถึง 70 เปอร์เซ็นต์ ประสิทธิภาพในการบำบัด COD อยู่ในช่วง 80 ถึง 95 เปอร์เซ็นต์ พบว่า ปริมาณการเจริญเติบโตของสาหร่ายจะสูงสุดเมื่อใช้ค่าความเข้มสี 300 หน่วยสี ในการทดลองประมาณ 30วัน และพบว่า ประสิทธิภาพในการบำบัดสีจะมีค่าสูงสุด คือ 72 เปอร์เซ็นต์ ประสิทธิภาพในการบำบัด COD จะมีค่าสูงสุด คือ 92 เปอร์เซ็นต์ เมื่อใช้ค่าความเข้มข้นสีเท่ากับ 300 หน่วยสี

ปฏิพันธ์ (2543) ได้ศึกษาการเพาะเลี้ยงสาหร่ายโดยใช้อาหารจากน้ำทิ้งบ่อหมักก๊าซชีวภาพมูลสุกรที่ได้จากบ่อบำบัดน้ำเสียของฟาร์มเลี้ยงสุกร พบว่า ค่า BOD ของน้ำทิ้งลดลง 61.38 เปอร์เซ็นต์

Becker and Venkatarman (1982) กล่าวว่า การเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina platensis* ด้วยน้ำเสียจากแหล่งชุมชน หรือมูลสัตว์ น้ำทิ้งที่ผ่านการเลี้ยงสาหร่าย และได้กรองเอาสาหร่ายออกแล้วมีคุณภาพดีขึ้น

ใจทิพย์ (2532) ได้มีศึกษาการเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina platensis* โดยใช้น้ำเค็มจากภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย เลี้ยงสาหร่าย *Spirulina platensis* สายพันธุ์น้ำจืด TH-S-02 ในอาหารที่มีความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์ 10.00, 20.00 และ 30.00 กรัมต่อลิตร และเพิ่มระดับโซเดียมคลอไรด์ขึ้น 10.00 กรัมต่อลิตร ทุก ๆ 4 วัน พบว่าสาหร่าย *Spirulina platensis* ที่เลี้ยงในอาหารที่มีโซเดียมคลอไรด์ จะมีอัตราการเจริญเติบโตสูงสุดต่อวัน ไม่แตกต่างกับสาหร่ายที่เลี้ยงในอาหารสูตรควบคุม ซึ่งมีความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์ เพียง 1.00 กรัมต่อลิตร อย่างมีนัยสำคัญ แต่หากเลี้ยงในระยะเวลาที่นานยิ่งขึ้น พบว่า ค่าเฉลี่ยอัตราการเจริญเติบโตสูงสุดต่อวันของสาหร่าย

ที่เลี้ยงในโซเดียมคลอไรด์ 20.00 และ 30.00 มิลลิกรัม/ลิตร ซึ่งต่ำกว่าสาหร่ายที่เลี้ยงในอาหารสูตรควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ พบว่า เซลล์ของสาหร่ายจะมีขนาดใหญ่ และมีความยาวเพิ่มขึ้นตามระดับโซเดียมคลอไรด์ที่เพิ่มขึ้น

Lyon and Elkins (1985) ได้นำสาหร่ายสไปรูไลนามาทดลองบำบัดน้ำเสียชุมชนที่ผ่านการบำบัดขั้นที่สามจากระบบบำบัด มาเพาะเลี้ยงในบ่อกลางแจ้ง ขนาด 5,600 ลิตร ติดตั้งเครื่องกวนขนาด 0.5 แรงม้า วิเคราะห์ค่าความขุ่น ของแข็งแขวนลอย บีโอดี ทีเคเอ็น ออโธฟอสเฟต และฟอสฟอรัสทั้งหมดได้เท่ากับ 79.00, 186.00, 159.00, 33.18, 7.27 และ 8.76 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ จากการทดลอง พบว่า สาหร่าย *Spirulina platensis* มีประสิทธิภาพการบำบัดค่าความขุ่น ของแข็งแขวนลอย บีโอดี ทีเคเอ็น ออโธฟอสเฟต และฟอสฟอรัสทั้งหมด เท่ากับร้อยละ 82.00, 85.00, 82.00, 46.00, 98.00 และ 89.00 ตามลำดับ

ทศพร (2529) ได้ศึกษา การทดลองเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina platensis* SP - 1 และสาหร่ายชนิดอื่น ๆ ที่ความหนาแน่นเริ่มต้นของสาหร่าย ในรูป O.D. ที่ความยาวคลื่น 560 นาโนเมตร เท่ากับ 0.10 มาใช้กำจัดไนโตรเจน และฟอสฟอรัสในน้ำเสียชุมชนที่ผ่านการบำบัดขั้นที่สองของโรงงานกำจัดน้ำเสียห้วยขวาง ซึ่งมีพีเอชประมาณ 7.0 - 8.0 ใช้ระยะเวลาเก็บกัก 6 วัน ผลการทดลองพบว่า สาหร่าย *Spirulina platensis* สามารถลดค่าซีโอดี แอมโมเนียไนโตรเจน ไนไตรท์ ไนเตรทไนโตรเจนทั้งหมด และฟอสฟอรัส ได้ร้อยละ 27.59, 19.09, 0.30, 8.94, 10.38. 10.38 และ 26.61 ตามลำดับ

หยกแก้ว และคณะ (2533) ได้ศึกษาวิจัยการนำสาหร่าย *Spirulina platensis* 6 สายพันธุ์ ที่ความหนาแน่นเริ่มต้นในรูปน้ำหนักแห้ง เท่ากับ 250 มิลลิกรัม/ลิตร มาเลี้ยงในน้ำเสียที่ผ่านระบบบำบัดขั้นที่ 1 (Primary effluent) และขั้นที่ 2 (Secondary effluent) จากโรงงานกำจัดน้ำเสียห้วยขวางเช่นกัน พบว่าสาหร่าย *Spirulina platensis* ทั้ง 6 สายพันธุ์ สามารถเจริญเติบโตได้ดีในน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดขั้นที่ 2 แต่สามารถดำรงชีวิตได้เพียง 2 - 3 วันเท่านั้น และจะลดจำนวนลงอย่างรวดเร็ว เนื่องจากสารอาหารไม่เพียงพอ จึงต้องเติมสารเคมี เพื่อเพิ่มธาตุอาหารให้สาหร่ายสำหรับน้ำเสียที่ผ่านระบบบำบัดขั้นที่ 1 ในระยะแรกสาหร่ายจะเจริญเติบโตได้ไม่ดี เนื่องจากน้ำสกปรก และมีความขุ่นมากเกินไป จึงต้องรอให้แบคทีเรียทำการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียก่อน

นฤมล และคณะ (2529) ได้ศึกษาการเพาะเลี้ยง สาหร่าย *Spirulina platensis* สภาพกลางแจ้งในน้ำทิ้งสุดท้ายจากระบบน้ำเสียของเสียของโรงงานแป้งมันสำปะหลัง โดยปรับสภาพและเติมปุ๋ยในน้ำเสียก่อน พบว่า สาหร่ายสามารถเจริญเติบโตได้ดีได้ผลผลิตสาหร่ายปริมาณ 12.25 กรัมต่อตารางเมตรต่อวัน วิเคราะห์ปริมาณโปรตีนได้ร้อยละ 57 ของน้ำหนักแห้ง และประกอบด้วยวิตามินต่าง ๆ ไนอาซินามายด์ และกรดโฟลิคในปริมาณใกล้เคียงกับสาหร่าย *Spirulina maxima*

Pi (1980 อ้างใน วิไลรัตน์, 2541) ได้ทำการทดลองใช้น้ำเสียจากขี้หมูที่ผ่านการหมักก๊าซชีวภาพ มาเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina platensis* ในสภาพบ่อกลางแจ้งขนาด 250 ลูกบาศก์เมตร ให้ความหนาแน่นเริ่มต้นในรูป OD ที่ความยาวคลื่น 560 นาโนเมตร เท่ากับ 0.16 พบว่า น้ำเสียที่มีแอมโมเนียไนโตรเจน 3.00 - 6.00 มิลลิกรัม/ลิตร จะช่วยให้สาหร่ายเจริญเติบโตได้ดี และมีอัตราการผลิตสาหร่ายเท่ากับ 9.5 $\pm$ 0.72 กรัมต่อตารางเมตรต่อวัน เมื่อนำสาหร่ายที่ได้มาใช้เป็นอาหารเลี้ยงกุ้ง พบว่า สามารถใช้แทนแหล่งโปรตีนจากเนื้อปลาได้ทั้งหมด และเมื่อนำไปเลี้ยงปลากีสามารถเร่งสีในเนื้อปลาได้

Chiu (1980 อ้างใน วิไลรัตน์, 2541) ได้ศึกษา สภาวะการเจริญเติบโตของ *Spirulina platensis* ในน้ำเสียจากฟาร์มสุกร โดยทดลองเลี้ยงในบ่อกลางแจ้งตรวจวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำเสียเริ่มต้น พบว่า มีค่าพีเอช เท่ากับ 7.9 ปริมาณความหนาแน่นของสาหร่าย เมื่อตรวจวัดในรูปค่า OD ที่ความยาวคลื่น 560 นาโนเมตร ได้ค่าเท่ากับ 0.46 และพบว่า น้ำเสียมีค่าแอมโนเนีย ไนโตรเจน ทีเคเอ็น ซีโอดี และกรดโวลาไทล์ เท่ากับ 95, 120, 220 และ144 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ เก็บตัวอย่างทุกวันเป็นเวลา 4 วัน ในวันสุดท้าย พบว่า ค่าพีเอชเป็น 10.2 ค่า $OD_{560}$ ของสาหร่ายเพิ่มสูงขึ้นเป็น 0.09 แอมโมเนียไนโตรเจน ทีเคเอ็น ซีโอดี และกรดโวลาไทล์ ลดลงเหลือเท่ากับ 5, 16, 145 และ 18 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ นำสาหร่ายสไปรูไลนาที่ได้ วิเคราะห์ค่าโปรตีนได้ร้อยละ 75.40 ของน้ำหนักแห้ง ในขณะที่กลุ่มควบคุมที่เลี้ยงด้วยปุ๋ยเคมี พบว่า มีปริมาณโปรตีนร้อยละ 70.80

สุชาติ และคณะ (2531) ได้ศึกษาวิจัย โดยทดลองใช้น้ำจากกองปลาสดในโรงงานผลิตปลาป่น มาใช้เป็นแหล่งไนโตรเจนแทนสูตรอาหารของ Zarrouk เพื่อใช้น้ำเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina platensis* พบว่า สามารถทดแทนธาตุไนโตรเจนได้ทั้งหมด และยังทดแทนธาตุคาร์บอนได้บางส่วน ทำให้ช่วยประหยัดต้นทุนในการเพาะเลี้ยงในสูตรอาหารนี้ถึงร้อยละ 50.00 และสามารถลดค่าบีโอดี แอมโมเนีย ลงร้อยละ 81.50 และ 96.42 ตามลำดับ

สถิตย์ (2533) ได้ทดลองนำสาหร่าย *Spirulina platensis* มาเพาะเลี้ยงในน้ำเวย์เต้าหู้ความเข้มข้นตั้งแต่ร้อยละ 0.00, 2.00, 3.00, 4.00, 5.00, 6.00, 7.00, 8.00, 9.00, 10.00, 11.00, 12.00 13.00, 14.00 และ 15.00 ปรับสภาพน้ำเสียด้วยปุ๋ย และเคมี และปรับพีเอชให้อยู่ช่วง 10 $\pm$ 0.4 เป็นเวลา 30 วัน โดยการเพาะเลี้ยงในห้องปฏิบัติการ และกลางแจ้ง มีความหนาแน่นเริ่มต้นของสาหร่ายเท่ากับ $24.1 \times 10^4$ และ $2.04 \times 10^4$ เซลล์/มิลลิลิตร ตามลำดับ พบว่า ความเข้มข้นของน้ำเสียร้อยละ 10 ได้ผลผลิตสาหร่ายสูงสุดในห้องปฏิบัติการ และกลางแจ้ง เท่ากับ $32.1 \times 10^4$ และ $11.2 \times 10^4$ เซลล์/มิลลิลิตร ตามลำดับ โดยมีปริมาณโปรตีนที่ได้จากเซลล์ร้อยละ 55.41 ของน้ำหนักแห้ง ซึ่งได้

จรูญ (2531) ได้ทำการทดลองใช้น้ำกากส่าเหล้าที่เตรียมขึ้น ด้วยความเข้มข้นร้อยละ 0.00 0.50, 1.00, 1.50, 2.00, 3.00, 4.00, 5.00, 6.50, 8.00 และ 10.00 เพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina platensis* ที่ความหนาแน่นเริ่มต้นของสาหร่ายในรูปน้ำหนักแห้ง เท่ากับ 80 มิลลิลิตร/ลิตร เป็นเวลา 10 วัน พบว่า ทุกความเข้มข้นของน้ำกากส่าเหล้าเหมาะสมต่อการเลี้ยงสาหร่าย และช่วงเวลาที่เหมาะสมในการเก็บเกี่ยว เท่ากับ 6 วัน เมื่อนำ *Spirulina platensis* ที่เลี้ยงในน้ำกากส่าเหล้า และที่เลี้ยงในอาหารสังเคราะห์หาโปรตีน พบว่า มีปริมาณโปรตีนร้อยละ 51.63 และ 45.39 ตามลำดับ และ *Spirulina platensis* ยังสามารถฟอกสีของน้ำกากส่าเหล้า โดยลดความเข้มข้นของสีลงได้ร้อยละ 65.91 - 79.27

วิลาสินี (2532) ได้ศึกษาการเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina platensis* ที่ความเริ่มต้นในรูปน้ำหนักแห้ง เท่ากับ 30,000 มิลลิกรัม/ลิตร ในน้ำกากส่าเหล้า โดยเปรียบสภาพภายในห้องปฏิบัติการ และสภาพกลางแจ้ง ที่ความเข้มข้นของน้ำกากส่าเหล้าร้อยละ 0, 0.50, 1.00, 1.50 2.00, 3.00, 4.00, 5.00, 6.00, 8.00 และ 10.00 โดยการเติมปุ๋ย N:P:K สูตร 16-16-16 ความเข้มข้น 0.60 กรัมต่อลิตร $NaHCO_3$ 8.50 กรัมต่อลิตร $NaNO_3$ 1.50 กรัมต่อลิตร และ $K_2HPO_4$ 0.50 กรัมต่อลิตร ปรับค่าพีเอชให้อยู่ในช่วง $10 \pm 1$ สภาพภายในห้องปฏิบัติการกับสภาพกลางแจ้ง พบว่า ทั้งสองนี้สาหร่าย *Spirulina platensis* สามารถเจริญเติบโตได้ดีที่สุดในน้ำกากส่าเหล้าความเข้มข้นร้อยละ 0.50 สามารถลดค่าบีโอดีได้ร้อยละ 44.00 และ 46.43 และลดความเข้มข้นของสีน้ำกากส่าเหล้าร้อยละ 51.13 และ 58.69 ตามลำดับ

สุพัตรา (2533) ได้ศึกษาคุณค่าทางโภชนาการของสาหร่าย *Spirulina platensis* ที่เลี้ยงในน้ำกากส่าเหล้าปรับสภาพ ในสภาพกลางแจ้ง ระยะเวลาเพาะเลี้ยงประมาณ 17 - 19 วัน พีเอชอยู่ในช่วง 9.7 - 10.1 ผลการวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการ คิดเป็นร้อยละของน้ำหนักแห้งดังต่อไปนี้ โปรตีน $68.63 \pm 0.75$ คาร์โบไฮเดรต $12.99 \pm 0.52$ สนใย $7.38 \pm 0.02$ ไขมัน $6.57 \pm 0.28$ เถ้า $6.03 \pm 0.30$ ความชื้น $5.60 \pm 0.58$ ให้พลังงาน $5.31 \pm 0.20$ กิโลแคลลอรี่ต่อกรัม

Chung (1978) รายงานว่า การเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina platensis* ในอาหารที่มีการใส่น้ำหมักมูลสุกร (fermented liquor from swine waste) เป็นแหล่งแร่ธาตุอาหารส่วนหนึ่ง สาหร่ายมีการเจริญเติบโตดี แม้จะมีการลดปริมาณ $NaHCO_3$ จาก 16.8 กรัม/ลิตร เป็น 1.7 กรัม/ลิตร ก็ตาม ซึ่งสาหร่ายใช้น้ำเสียมูลสุกรเป็นแหล่งคาร์บอนได้ โดยแบคทีเรียย่อยสลายสารอินทรีย์ได้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ให้แก่สาหร่าย ปริมาณแอมโมเนียที่มากเกินไปจะทำให้เซลล์สาหร่ายแตกได้ ดังนั้น จึงควรใส่น้ำหมักมูลสุกรครั้งละปริมาณน้อย

Wu and Pond (1981 อ้างใน สุพัตรา, 2533) ได้ทำการศึกษาต่อ พบว่า การหมักมูลสุกรหรือปุ๋ยโดยไม่ใช้อากาศนั้น จุลินทรีย์จะย่อยสลายมูลสัตว์ได้ก๊าซมีเทน ซึ่งเป็นแหล่งที่มีประโยชน์

Wu and Pond (1981 อ้างใน สุพัตรา, 2533) ได้ทำการศึกษาต่อ พบว่า การหมักมูลสุกรหรือปุ๋ยโดยไม่ใช้อากาศนั้น จุลินทรีย์จะย่อยสลายมูลสัตว์ได้ก๊าซมีเทน ซึ่งเป็นแหล่งที่มีประโยชน์ วัสดุที่เหลือใช้จากการหมักจะประกอบด้วย ธาตุไนโตรเจน และสารอนินทรีย์อื่น ๆ สามารถนำของเหลือจากก๊าซมีเทนมาใช้ประโยชน์ โดยเป็นแหล่งแร่ธาตุสำหรับการเจริญของสาหร่ายขนาดเล็ก เช่น *Chlorella* spp., *Spirulina* spp.

Albeliovich (1986) ได้มีศึกษา การบำบัดน้ำเสีย โดยการเลี้ยงสาหร่ายขนาดเล็กในน้ำเสียชุมชน หรือจากมูลสุกรสาหร่ายที่ผลิตได้ คือ *Scenedesmus* spp. และ *Spirulina* spp. ซึ่งมีองค์ประกอบของกรดไขมัน และกรดอะมิโนที่ต้องการในปีเดียวกัน

Noue, et al. (1986) ทำการเลี้ยงสาหร่ายในน้ำเสีย เพื่อผลิตมวลสาหร่าย และบำบัดสภาพน้ำเสีย พบว่า การรักษาระดับ BOD ที่เหมาะสมเป็นสิ่งสำคัญ เนื่องจากปริมาณของสารอินทรีย์จะเป็นปัจจัยเบื้องต้นในการกำหนดชนิดของสาหร่าย เช่น *Euglena* spp. *Chlamydomonas* spp. มักจะเจริญในน้ำที่มีสารอินทรีย์เป็นปริมาณมาก ในขณะที่พวกไดอะตอม หรือสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินมักจะเจริญในน้ำที่มีปริมาณ BOD น้อย ซึ่งคุณสมบัติของน้ำเสีย ยังมีลักษณะที่แตกต่างกันไปตามระยะเวลา การหมัก และตามแต่ละท้องถิ่น

ณรงค์ (2535) ได้ทำการเพาะเลี้ยง และศึกษาปริมาณโปรตีนของ *Spirulina platensis* ในน้ำกากส่าเหล้าผสมน้ำหมักผักตบชวา พบว่า สาหร่ายเจริญได้ เมื่อใช้ความเข้มข้นของน้ำหมักผักตบชวา 40 - 60 เปอร์เซ็นต์ ผสมน้ำกากส่าเหล้า 0.5 เปอร์เซ็นต์ โดยเติมสารเคมีบางชนิด

สมเกียรติ (2542) ได้ทำศึกษาการเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina platensis* ในระดับอุตสาหกรรมขนาดย่อม การเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina platensis* ในระดับห้องปฏิบัติการ ในน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตกระดาษสาความเข้มข้น 0.5, 1, 2, 4, 6, 8 และ 10 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเติม $NaHCO_3$ 8.5 กรัม $NaNO_3$ 1.5 กรัม ปุ๋ย N:P:K สูตร 16-16-16 0.6 กรัมต่อลิตร ใส่สาหร่ายลงไป 10 เปอร์เซ็นต์ เลี้ยงเป็นเวลา 9 วัน ในสภาพห้องปฏิบัติการ และในสภาพกลางแจ้ง พบว่า สาหร่ายมีแนวโน้มเจริญเติบโตได้ดี ในสภาพห้องปฏิบัติการที่ความเข้มข้น 4 เปอร์เซ็นต์ มีผลผลิตเซลล์สาหร่ายสูงสุด $2,618.33\times10^2$ เซลล์/มิลลิลิตร และสภาพกลางแจ้งที่ 6 เปอร์เซ็นต์ มีผลผลิตเซลล์สาหร่ายสูงสุด $3,718.33\times10^2$ เซลล์/มิลลิลิตร และได้ทำการเพาะเลี้ยงแบบ batch culture และ semicontinous culture ในสภาพกลางแจ้ง พบว่า การเพาะเลี้ยงแบบ semicontinous culture ได้ผลดีกว่าแบบ batch culture เก็บเกี่ยวน้ำหนักสดเท่ากับ 881.3 กรัม น้ำหนักแห้งเท่ากับ 82.3 กรัม ผลผลิตสาหร่ายสูงสุดเท่ากับ $1,083\times10^2$ เซลล์/มิลลิลิตร ปริมาณโปรตีนของสาหร่าย จากอาหารสูตรน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตกระดาษสา และจากอาหารสูตร Zarrouk เท่ากับ 54 และ 49.85 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

เซลล์/มิลลิลิตร เมื่อเพาะเลี้ยงแบบ batch culture พบว่า 1 เปอร์เซ็นต์ สาหร่ายเจริญได้ดีที่สุด $1.61\times10^5$ เซลล์/มิลลิลิตร และเลี้ยงในสภาพกลางแจ้ง 4 เปอร์เซ็นต์เจริญได้ดีที่สุด $1.74\times10^5$ เซลล์/มิลลิลิตร

## น้ำเสียจากกระบวนการหมักดอง

### กระบวนการหมักดอง

การดอง (pickling) หมายถึง การเก็บรักษาอาหารในน้ำเกลือ หรือ น้ำส้มโดยมีจุลินทรีย์หรือไม่ก็ได้ การเก็บรักษาผัก โดยการดองเป็นวิธีการถนอมอาหารอย่างหนึ่ง เชื่อว่าเกิดขึ้นในเอเชียมานานแล้ว เช่น ในประเทศฟิลิปปินส์ ถือว่าอาหารประเภทดอง เป็นอาหารที่มีคุณค่า และเป็นอุตสาหกรรมที่สำคัญ ตัวอย่างผักดองที่รู้จักดี ได้แก่ กะหล่ำปลีดอง (sauerkraut) ของประเทศในแถบยุโรป และคิมจิ (kimchi) ของประเทศเกาหลี สำหรับประเทศไทย ซึ่งมีผักผลไม้หลากหลายชนิด ทุกฤดูกาลตลอดทั้งปี และผักที่นิยมนำมาดอง ได้แก่ หน่อไม้ดอง ผักเสี้ยนดอง ผักกาดเขียวดอง เป็นต้น

กระบวนการดองผักนั้น เกิดจากจุลินทรีย์ประเภทสร้างกรดแลคติค (lactic acid bacteria) ซึ่งจะติดมากับผัก การใส่เกลือปริมาณที่พอเหมาะจะเป็นการยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ชนิดที่ก่อให้เกิดการเน่าเสียของผัก ส่วนแบคทีเรียประเภทที่สร้างกรดแลคติกเจริญเติบโตได้ดี โดยเกลือจะทำให้น้ำในเนื้อเยื่อของผัก น้ำตาล สารประเภทคาร์โบไฮเดรต และแร่ธาตุต่าง ๆ ละลายออกมาในน้ำ จุลินทรีย์ประเภทสร้างกรดแลคติกนี้จะใช้สารอาหารต่าง ๆ เหล่านี้เป็นแหล่งพลังงานในการดำรงชีวิต และสร้างกรดแลคติก (lactic acid) กรดอะซิติก (acetic acid) คาร์บอนไดออกไซด์ และแอลกอฮอล์ ซึ่งสารเหล่านี้ โดยเฉพาะกรดแลคติกจะทำหน้าที่ถนอมอาหาร และเพิ่มกลิ่น - รส ให้แก่ผักดอง (มิ่งขวัญ, 2515)

กรรมวิธีดองผักจะเริ่มจาก การนำผักสดมาล้างทำความสะอาด ตัดแต่งให้ได้ขนาดตามต้องการ เติมเกลือ และน้ำ เพื่อให้สารละลายมีความเข้มข้นของเกลือประมาณร้อยละ 2.25 - 2.50 โดยน้ำหนัก เมื่อคลุกเคล้าให้เข้ากันดีแล้ว จึงนำไปใส่ภาชนะปิดมิดชิด น้ำเกลือจะดึงน้ำที่อยู่ในเซลล์ผักออกมา โดยอุณหภูมิที่เหมาะสมกับการหมักจะอยู่ที่ 21 - 29 องศาเซลเซียส ใช้ระยะเวลานานประมาณ 2 - 3 สัปดาห์ ระหว่างการหมักจะไม่มียีสต์ หรือราเจริญเติบโต เนื่องจากผักถูกกดให้อยู่ในน้ำตลอดเวลา ส่วนประกอบน้ำตาลในผัก ส่วนใหญ่ประกอบด้วยน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวประมาณร้อยละ 85 และน้ำตาลโมเลกุลคู่ประมาณร้อยละ 15 ซึ่งน้ำตาลเหล่านี้มีผลต่อปริมาณกรดที่ได้ ถ้ามีปริมาณน้ำตาลสูง จุลินทรีย์จะสามารถผลิตกรดได้มาก

เมื่อเริ่มการหมักจะพบว่าสภาพไร้ออกซิเจนจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วเนื่องจาก การหายใจของเซลล์ผัก และจุลินทรีย์ น้ำในผักจะถูกสารละลายเกลือดึงออกมาจะประกอบด้วย น้ำตาล และสารอาหารบางอย่างซึ่งช่วยให้จุลินทรีย์เจริญเติบโต และไม่เกาะกลุ่มกัน การเติมเกลือ ในความเข้มข้นดังกล่าว ทำให้จุลินทรีย์ประเภทผลิตกรดแลกติคเจริญเติบโตได้ดีกว่าจุลินทรีย์ชนิดอื่น และทำให้ผักกาดดองมีคุณภาพดี แบคทีเรียที่เจริญในระยะแรกของการหมัก ได้แก่ โคลิฟอร์มแบคทีเรีย เช่น *Enterobacter cloacae* ซึ่งทำหน้าที่ผลิตกรดแลคติก ในขณะที่ *Erwinia herbicola* จะผลิตสารให้กลิ่น และรสออกมา แต่พบว่า *Leuconostoc mesenteroides* จะเจริญได้ช้ากว่าชนิดอื่น และผลิตกรดแลคติกเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ จนมีปริมาณกรดแลคติกสูงถึงร้อยละ 0.7 - 1.0 แบคทีเรียเหล่านี้จะสลายน้ำตาลให้เป็นกรดแลคติก กรดอะซิติก เอทานอล แมนนิทอล เด็กซ์แทรน เอสเทอร์ และคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งจะเป็นสิ่งที่ช่วยให้ผักดองมีกลิ่นรสที่ดี และยับยั้งการเจริญของยีสต์ได้ สำหรับเด็กซ์แทรน และแมนนิทอล อาจถูกย่อยสลายต่อไปโดยแบคทีเรียชนิด *Leuconostoc* และ *Lactobacillus plantarum* สำหรับ *Streptococcus faecalis* จะผลิตกรดแลคติกเพียงอย่างเดียว โดยเฉพาะอย่างยิ่งหากมีความเข้มข้นของเกลือสูงเกินไป ในระยะหลังของการหมัก แบคทีเรียชนิดสร้างกรดแต่ไม่ผลิตก๊าซ ซึ่งได้แก่ *Lactobacillus plantarum* จะผลิตกรดต่อไปอีก จนมีความเป็นกรดสูงถึงร้อยละ 1.5 - 2.0 โดยผลิตกรดจากน้ำตาล และยังสามารถย่อยสลายแมนนิทอลที่ได้จากการหมักของ *Lactobacillus* sp. ทำให้รสขมหมดไป อย่างไรก็ตาม หากยังคงมีน้ำตาล และแมนนิทอลเหลือจากการเจริญเติบโตของ *Lactobacillus plantarum* ทำให้แบคทีเรียชนิด *Lactobacillus brevis* เจริญขึ้นแทน และจะสร้างกรดขึ้นไปจนถึงร้อยละ 2.5 เป็นสาเหตุให้เกิดกลิ่นและรสของผักดองไม่เป็นที่ต้องการ (ลัดดาวัลย์, 2536)

ลักษณะผักดองที่ดีจะต้องมีสีสันที่ยังสดใส (light - colored) และมีความกรอบสะอาด และมีรสชาติที่เป็นกรดประมาณร้อยละ 1.7 พบว่า ผักดองทั่วไปมีค่าพีเอชอยู่ในช่วง 3.6 ปริมาณกรดแลคติกร้อยละ 1.25 กรดอะซิติกร้อยละ 0.3 และเอทิลแอลกอฮอล์ร้อยละ 0.58 (วรวุฒิ, 2538)

**ลักษณะน้ำเสียจากโรงงานหมักดอง**

ในกระบวนการผลิตผักกาดดองบรรจุกระป๋อง จำเป็นที่จะต้องมีการใช้เกลือเป็นจำนวนมากในขั้นตอนแรก เพื่อดึงเอาน้ำบางส่วนประมาณ 35% ออกจากเนื้อเยื่อผัก ในขั้นตอนนี้จะมีการใช้เกลือในปริมาณสูงถึงปีละ 3,640 ตัน ต่อน้ำหนักผัก 15,000 ตัน จากปริมาณเกลือทั้งหมดที่ใช้จะมีเกลือเพียงเล็กน้อยเท่านั้นที่ต้องการให้มีเหลืออยู่ในผัก คือ มีปริมาณสูงกว่า 7% เพื่อป้องกันไม่ให้ผักเน่าเสียก่อนนำไปทำการแปรรูปในขั้นตอนต่อ ๆ ไป เกลือที่ใช้ทั้งหมดในขั้นตอนดังกล่าวจะมีค่าประมาณ 22 - 24% ของน้ำหนักผักที่เข้ากระบวนการ ดังนั้นภายหลังจากการดองด้วยเกลือนาน

90 - 100 ชั่วโมง จะมีของเสียที่เป็นน้ำเกลือที่มีความเข้มสูงถึง 20 - 21% ซึ่งจะถูกกำจัดโดยการนำไปตากผึ่งในบ่อดินที่บุด้วยแผ่นพลาสติก ภายใต้หลังคาปกคลุม และยังคงต้องหาสถานที่สำหรับทิ้งเกลือจำนวนมหาศาลที่เกิดจากการตกผลึก และแห้งภายในบ่อในแต่ละปี เพื่อเตรียมบ่อสำหรับน้ำเสียในปีถัดไป นอกจากขั้นตอนการดองผักดังกล่าวที่ก่อให้เกิดปัญหาของเสียจำนวนมากแล้ว ยังมีขั้นตอนของการปรับจืด ซึ่งเป็นขั้นตอนดังกล่าวจะมีปริมาณสูงถึง 15 คิวบิกเมตร/วัน และจะต้องทำการเจือจางด้วยการเติมน้ำเปล่าลงไปอีกเท่าตัว เพื่อนำเข้าสู่บำบัดให้อากาศลำดับต่อไป น้ำเสียที่เกิดจากกระบวนการหมักดองของผักผลไม้แต่ละประเภทจะมีค่าซีโอดี บีโอดี และพีเอช (ตาราง 6)

**ตาราง 6** ค่าซีโอดี บีโอดี และพีเอช ของน้ำเสียจากโรงงานแปรรูปผักผลไม้

| Product | COD (mg/l) | BOD (m/l) | Mean (BOD/COD) | pH |
|---|---|---|---|---|
| Apple | 395 - 37,000 | 240 - 19,000 | 0.55 | 4.1 - 8.2 |
| Beets | 445 - 13,240 | 530 - 6,400 | 0.57 | 5.6 - 11.9 |
| Carrots | 1,750 - 2,910 | 817 - 1,927 | 0.52 | 7.4 - 10.6 |
| Cheries | 1,200 - 3,795 | 660 - 1,900 | 0.53 | 5.0 - 7.9 |
| Corn | 3,400 - 10,100 | 1,587 - 5,341 | 0.50 | 4.8 - 7.6 |
| Green beans | 78 - 2,200 | 43 - 1,400 | 0.55 | 6.3 - 8.3 |
| Peas | 723 - 2,284 | 337 - 1,350 | 0.61 | 4.9 - 9.2 |
| Sauerkraut | 470 - 65,000 | 300 - 41,000 | 0.66 | 3.6 - 6.8 |
| Tomato | 652 - 2,305 | 454 - 1,575 | 0.72 | 5.6 - 10.8 |
| Wax beans | 193 - 597 | 55 - 323 | 0.58 | 6.5 - 8.2 |
| Wine | 495 - 12,200 | 363 - 7,645 | 0.60 | 3.1 - 9.2 |

**ที่มา** : Green and Kramer (1979)

วิธีการดึงน้ำออกจากผักที่ได้ผลดี และนิยมปฏิบัติกันมาช้านาน ได้แก่ การใช้เกลือปริมาณไม่ต่ำกว่า 20% คลุกเคล้ากับผัก แล้วปล่อยทิ้งไว้ช่วงระยะเวลาหนึ่ง เพื่อให้ผักสูญเสียน้ำออกมาด้วยกระบวนการออสโมซิส (osmosis) ปริมาณเกลือที่สูงเช่นนี้ นอกจากจะช่วยเร่งกลไกการดึงน้ำออกมาจากผักแล้ว ยังมีผลต่อการป้องกันการเน่าเสียของผักด้วย เมื่อสิ้นสุดกระบวนการดังกล่าว เกลือจำนวนหนึ่งจะซึมเข้าสู่เนื้อเยื่อของผัก ทำให้ผักที่ได้สามารถเก็บรักษาได้ยาวนานขึ้น ผลลัพธ์ข้างเคียงที่เกิดขึ้น คือ น้ำเสียที่มีความเข้มข้นของเกลือที่มีปริมาณสูงมากไม่สามารถนำมาบริโภคได้

ข้างเคียงที่เกิดขึ้น คือ น้ำเสียที่มีความเข้มข้นของเกลือที่มีปริมาณสูงมากไม่สามารถนำมาบริโภคได้โดยตรง ดังนั้น จึงจำเป็นต้องทำการดึงเอาเกลือบางส่วนออกจากเนื้อผักก่อนบรรจุลงกระป๋อง การดึงเอาเกลือออกสามารถกระทำได้ โดยการแช่ผักในน้ำที่มีความเข้มข้นของเกลือต่ำกว่า และตามระยะเวลาที่กำหนด ส่งผลให้น้ำที่ใช้แช่ผักมีความเข้มข้นของเกลือสูงขึ้นมาก และกลายเป็นน้ำเสียที่ก่อให้เกิดปัญหาในการบำบัด

ในต่างประเทศ พบว่า น้ำเสียจากโรงงานกะหล่ำปลีดองจะประกอบด้วย กรดแลคติกที่เกิดจากการหมักไม่เกินร้อยละ 1.5 น้ำเกลือความเข้มข้นไม่ต่ำกว่าร้อยละ 2 แต่ไม่เกินร้อยละ 3 เพื่อให้การหมักที่สมบูรณ์ และน้ำเสียจากการล้างอุปกรณ์การหมักต่าง ๆ โดยมีค่า BOD ประมาณ 420 - 1,250 มิลลิกรัมต่อลิตร ฟอสฟอรัสทั้งหมดประมาณ 70 - 264 มิลลิกรัมต่อลิตร และค่าของแข็งทั้งหมดประมาณ 42,000 - 75,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งจะเห็นว่าน้ำเสียเหล่านี้มีค่า BOD สูง มีความเป็นกรด และความเค็มสูง จึงไม่เหมาะหากจะบำบัดด้วยระบบบำบัดน้ำเสียทั่วไป (Hang, 1977 อ้างใน วิไลรัตน์, 2541)

สำหรับประเทศไทย มีข้อมูลจากการศึกษาของคณะวิจัยเทคโนโลยีก๊าซชีวภาพของสถาบันพระจอมเกล้าธนบุรี ถึงลักษณะสมบัติน้ำเสียจากโรงงานแปรรูปผักผลไม้ ในจังหวัดเชียงราย คือ ค่าซีโอดี เท่ากับ 293 - 1,448 มิลลิกรัม/ลิตร ค่าไนโตรเจนทั้งหมด เท่ากับ 8 - 59.05 มิลลิกรัม/ลิตร ค่าฟอสฟอรัสทั้งหมด เท่ากับ 32 - 151 มิลลิกรัม/ลิตร ค่าพีเอช เท่ากับ 3.5 - 8.5 ค่าอัลคาไลนิตี้ เท่ากับ 38.6 - 376.86 มิลลิกรัม/ลิตร ค่าของแข็งแขวนลอย เท่ากับ 34.5 - 622.5 มิลลิกรัม/ลิตร และค่าของแข็งทั้งหมด เท่ากับ 273.33 - 8,246.67 มิลลิกรัม/ลิตร (เฉลิมราช, 2535)

**ภาพ 1** ขั้นตอนการผลิตผักดองของโรงงานสันติภาพ (ฮั้วเพ้ง 1958) จำกัด และการเกิดของเสีย

# บทที่ 3
# อุปกรณ์ และวิธีการ

## อุปกรณ์

1. สารเคมี และการเตรียมสารเคมี (ภาคผนวก ข)

    1.1 ammonia molybdate solution

    1.2 stannous choride solution

    1.3 standrad phosphate solution

    1.4 diazotizing reagent

    1.5 sulfanilamine

    1.6 coupling reagent

    1.7 N - (1- napthyl) - ethtlenediamine - dihtdrochloride

    1.8 $NH_4Cl$-EDTA solution

    1.9 stock nitrate solution

    1.10 standrad nitrate solution

    1.11 copper sulfate 2 %

    1.12 กรดเกลือ (HCL) เข้มข้น 6 N

    1.13 ผง cadmium

    1.14 oxidizing solution

    1.15 rochelle solution

    1.16 manganous sulphate

    1.17 phenate solution

    1.18 standard ammonium chloride solution

    1.19 sufuric acid reagent

    1.20 forrous ammonium sulfate

    1.21 digesion solution

    1.22 mercuric sulfate

    1.23 alkali - lodide - azide reagent

    1.24 sodium sulfite solution

1.25 standard sodium thiosulfate titrant

2. เครื่องมือ

2.1 เครื่อง spectrophotometer

2.2 ความเป็นกรด - ด่าง (pH meter)

2.3 เครื่องวัดออกซิเจนที่ละลายน้ำ (DO meter)

2.4 เครื่องชั่งละเอียดทศนิยม 3 ตำแหน่ง (electrical balance)

2.5 เครื่องปั๊มอากาศ (air pump)

2.6 เครื่องกรองสุญญากาศ (suction pump)

2.7 เครื่องดูดความชื้น (desiccator)

2.8 ตู้อบแห้งอุณหภูมิสูง (hot air oven)

2.9 ตู้อบ (incubator)

2.10 hot plate ที่อุณหภูมิ 50 - 100 องศาเซลเซียส

2.11 เทอร์โมมิเตอร์ (thermometer)

2.12 กล้องจุลทรรศน์ (microscope)

3. เครื่องแก้ว

3.1 ขวดรูปชมพู่ (erlenmeyer flask)

3.2 หลอดทดลอง (test tube)

3.3 บิกเกอร์ (beaker)

3.4 ปิเปต (pipette)

3.5 ขวดบีโอดี (BOD bottle)

3.6 บิวเรต (burette)

3.7 หลอดหยด (dropper)

3.8 กระบอกตวงขนาดต่าง ๆ

3.9 กระดาษกรอง whatman เบอร์ 1

4. อุปกรณ์อื่น ๆ

4.1 stock culture ของ *Spirulina platensis* จาก คณะเทคโนโลยีการประมง

4.2 น้ำเสียจากโรงงานหมักดองผัก จากบริษัทสันติภาพจำกัด

4.3 น้ำประปา

4.4 ขวดโหลแก้วขนาดความจุ 12 ลิตร

4.5 บ่อซีเมนต์เลี้ยง *Spirulina platensis* ขนาดความจุ 200 ลิตร

4.6 ผ้ากรองไนลอนขนาด 100 μm

**วิธีการทดลอง**

ในการศึกษาปัจจัย และสภาวะแวดล้อมที่เหมาะสม ในการเจริญเติบโต และประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียจากกระบวนการหมักดองด้วยสาหร่าย *Spirulina platensis* โดยมีขั้นตอนการทดลองดังนี้

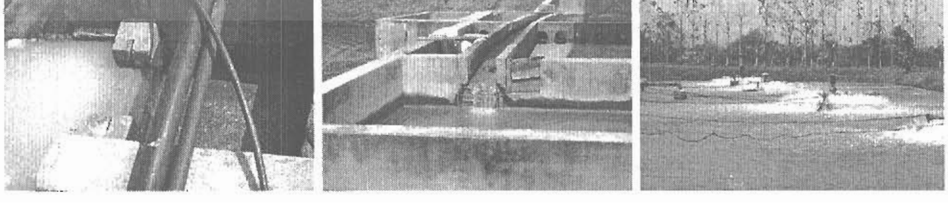
**1. เตรียมเชื้อสาหร่ายตั้งต้น**

1.1 นำสาหร่าย *Spirulina platensis* จากคณะเทคโนโลยีการประมง ที่มีค่า OD เท่ากับ 1.0 เพาะเลี้ยงในขวดโหลแก้วขนาด 12 ลิตร ปริมาตรการเพาะเลี้ยง 10 ลิตรโดยใช้อาหารเพาะเลี้ยงตามสูตร Zarrouk's

1.2 ขยายหัวเชื้อในโหลแก้วให้มีค่า OD เริ่มต้น 0.3 ภายใต้แสงไฟฟ้าจากหลอดฟลูออเรสเซนต์ และมีการเติมอากาศตลอดเวลาเพื่อให้เกิดการหมุนเวียนของน้ำ และป้องกันไม่ให้สาหร่ายตกตะกอน ปล่อยให้สาหร่ายเจริญเติบโตจนกระทั่งวัดค่าการดูดกลืนแสง (optical density or OD) จากเครื่อง spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 560 นาโนเมตร ได้เท่ากับ 1.0 จึงนำไปใช้เป็นเชื้อตั้งต้นสำหรับการเพาะเลี้ยง 20% โดยปริมาตรการเพาะเลี้ยง

**2. การเตรียมน้ำเสียสำหรับการเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina platensis* เพื่อใช้ในการทดลอง**

2.1 เก็บตัวอย่างน้ำเสียจากโรงงานสันติภาพ (ฮั่วเพ้ง 1958) จำกัด จากกระบวนการหมักดองผักที่ออกจากกระบวนการผลิตโดยตรง ดังแสดงในภาพ 2



**ภาพ 2** จุดเก็บน้ำเสียหมักดองผักก่อนเข้าสู่บ่อบำบัดของโรงงานสันติภาพ (ฮั่วเพ้ง 1958) จำกัด

2.2 วิเคราะห์คุณภาพน้ำก่อนทำการทดลองด้านกายภาพ เคมี และชีวภาพ ดังนี้ ดังแสดงในตาราง 7

**ตาราง 7** พารามิเตอร์ และวิธีวิเคราะห์คุณภาพน้ำ

| พารามิเตอร์ | วิธีการวิเคราะห์ |
|---|---|
| อุณหภูมิ (temperature) | เทอร์โมมิเตอร์ สเกลละเอียดถึง 0.1°C |
| ค่าของแข็งที่ละลายน้ำ | วิธีทำให้แห้งที่ 103 - 105 °C |
| ค่าการนำไฟฟ้า | เครื่องวัดความนำไฟฟ้า |
| ความเป็นกรด - ด่าง (pH) | pH meter |
| ความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมี (BOD) | วิธี Azide Modification |
| ความต้องการออกซิเจนทางเคมี (COD) | วิธี Closed Reflux Titrimetic |
| แอมโมเนีย - ไนโตรเจน ($NH_3$-N) | วิธี Direct nesslerization |
| ไนเตรท - ไนโตรเจน ($NO_3$-N) | วิธี Phenoldisulfonic acid |
| ออร์โธฟอสเฟต - ฟอสฟอรัส ($PO_4$-P) | วิธี Stannous chloride |

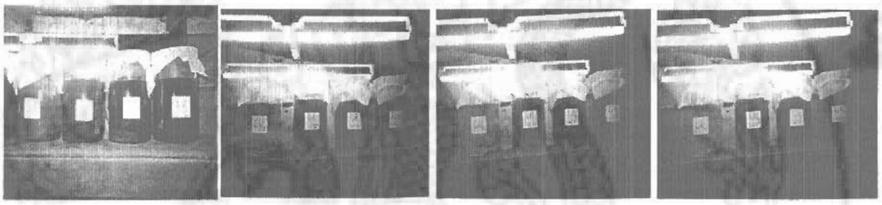
2.3 เตรียมน้ำสำหรับเพาะเลี้ยง นำน้ำเสียจากโรงงานสันติภาพมาพักในถังไฟเบอร์ ขนาด 1 ตัน ประมาณ 2 สัปดาห์ หรือใส่สารโซเดียมเมตตะไบซัลไฟด์ 0.20 กรัมต่อลิตร ทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง หลังจากนั้นใช้ผ้าไนลอนขนาดตาข่าย 100 µm กรองตะกอนทิ้ง น้ำที่ได้นำไปเติมในบ่อเพาะเลี้ยง

**3. การเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina platensis* ในน้ำเสียจากการหมักดองผัก เพื่อศึกษาระดับความเข้มข้นของน้ำเสียที่เหมาะสม**

3.1 นำหัวเชื้อสาหร่าย (inoculum) จากข้อ 1.2 ที่มีค่า OD เท่ากับ 1 เติมลงขวดโหลแก้ว ปริมาตรการเพาะเลี้ยง 10 ลิตร ทำการเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina platensis* แต่ละ Treatments โดยเติมขวดโหลละ 20% โดยปริมาตร ทำการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) จำนวน 6 Treatments จำนวน 3 Replications ดังนี้ คือ

- Treatment 1 : ใช้น้ำเสีย : น้ำประปาเท่ากับ 0:100 ใช้สัญลักษณ์ $T_1$
- Treatment 2 : ใช้น้ำเสีย : น้ำประปาเท่ากับ 20:80 ใช้สัญลักษณ์ $T_2$
- Treatment 3 : ใช้น้ำเสีย : น้ำประปาเท่ากับ 40:60 ใช้สัญลักษณ์ $T_3$
- Treatment 4 : ใช้น้ำเสีย : น้ำประปาเท่ากับ 60:40 ใช้สัญลักษณ์ $T_4$
- Treatment 5 : ใช้น้ำเสีย : น้ำประปาเท่ากับ 80:20 ใช้สัญลักษณ์ $T_5$
- Treatment 6 : ใช้น้ำเสีย : น้ำประปาเท่ากับ 100:0 ใช้สัญลักษณ์ $T_6$

โดยมีการควบคุมสภาพการเพาะเลี้ยง ปรับค่าความเป็นกรด - ด่าง (pH) ให้อยู่ในช่วง 9.5 - 10.5 ด้วย NaOH 6 N พร้อมติดตั้งอุปกรณ์ให้อากาศ และแสงตลอดการทดลอง ดังแสดงในภาพ 3



**ภาพ 3** การเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina platensis* ในน้ำเสียจากการหมักดองผักที่ระดับความเข้มข้นของน้ำเสียที่ต่างกัน

3.2 ศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียจากข้อ 3.1 เพื่อศึกษาความเข้มข้นของน้ำเสียในระดับต่าง ๆ ที่สาหร่าย *Spirulina platensis* สามารถบำบัดได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทำการทดลอง 15 วัน ตรวจวัดคุณภาพน้ำทุก 3 วัน ดังนี้

3.2.1 การตรวจวัดด้านกายภาพ อุณหภูมิ, TDS, Conductivity

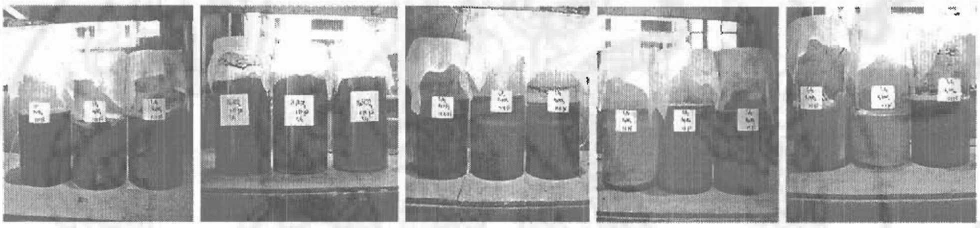
3.2.2 การตรวจวัดด้านเคมี pH, COD, $BOD_5$, $NH_3$-N, $NO_3$-N, $PO_4$-P

3.2.3 การตรวจวัดการเจริญเติบโตของสาหร่าย ดังนี้

- วัดค่าการดูดกลืนแสง ด้วยเครื่อง spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 560 นาโนเมตร โดยทำการตรวจวัดทุก ๆ 3 วัน

**4. การเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina platensis* ในน้ำเสียที่ระดับความเข้มข้นที่เหมาะสม โดยเติมสารอาหาร เพื่อหาความเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของสาหร่าย**

4.1 ศึกษาวิเคราะห์ปริมาณสารอาหารที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของน้ำเสีย โดยใช้ความเข้มข้นของน้ำเสียที่เหมาะสม และเติมหัวเชื้อสาหร่าย *Spirulina platensis* 20 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร และใส่สารอาหารตามระดับความเข้มข้นที่แตกต่างกัน โดยทำการทดลองในขวดโหลแก้ว ขนาดปริมาตรการเพาะเลี้ยง 10 ลิตร จำนวน 13 Treatments 3 Replications ดังแสดงในภาพ 4 ทำการเพาะเลี้ยง 15 วัน ในสภาพห้องปฏิบัติการ โดยทำการตรวจวัดการเจริญเติบโตของสาหร่ายโดยการวัดค่า OD ทุก 3 วัน



**ภาพ 4** การเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina platensis* ในน้ำเสียจากการหมักดองผักที่ระดับความเข้มข้นของสารอาหารที่ต่างกัน

4.1.1 การศึกษาอิทธิพลของสารอาหารในกลุ่มโซเดียมต่อการเจริญเติบโตของสาหร่ายโดยการเติม $NaHCO_3$ = 4.25, 8.5 และ 12.75 กรัมต่อลิตร, $NaNO_3$ = 0.75, 1.5 และ 2.25 กรัมต่อลิตร

4.1.2 การศึกษาอิทธิพลของสารอาหารในกลุ่มโพแทสเซียมต่อการเจริญเติบโตของสาหร่ายโดยการเติม $K_2HPO_4$ = 0.25, 0.5 และ 0.75 กรัมต่อลิตร

4.1.3 การศึกษาอิทธิพลของธาตุอาหารเคมีการเจริญเติบโตของสาหร่ายโดยการเติมปุ๋ยสูตร (16-16-16) N:P:K = 0.3, 0.6 และ 0.9 กรัมต่อลิตร

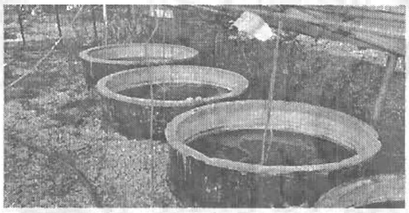
4.2 ศึกษาวิเคราะห์ปริมาณสารอาหารที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของน้ำเสียโดยเปลี่ยนสภาพที่ทำการทดลองเป็นในสภาพกลางแจ้ง สถานที่ทำการทดลอง ณ โรงเพาะเลี้ยงสาหร่ายในสภาพกลางแจ้ง คณะเทคโนโลยีการประมง

**5. การเพาะเลี้ยงแบบกะ**

การเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina platensis* ใช้ความเข้มข้นน้ำเสียที่เหมาะสมในบ่อกลางแจ้ง ขนาดปริมาตร 200 ลิตร ดังแสดงในภาพ 5 โดยทำการทดลอง 2 Treatments 3 Replications คือ ชุดการทดลอง ที่ 1 ไม่เติมสารอาหาร ชุดการทดลองที่ 2 เติมสารอาหาร เพื่อศึกษา

5.1 ระยะเวลาเก็บกักที่เหมาะสม โดยเก็บตัวอย่างน้ำมาวิเคราะห์คุณภาพน้ำทุกวันเป็นระยะเวลา 15 วัน ณ โรงเพาะเลี้ยงสาหร่าย ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้

5.2 ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสีย



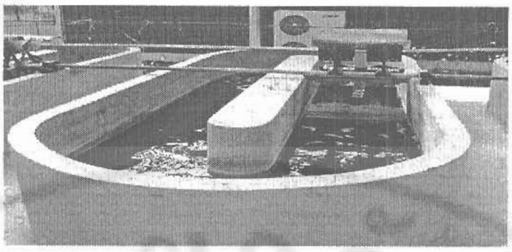
**ภาพ 5** การเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina platensis* ในน้ำเสียจากการหมักดองผัก แบบกะ

**6. การเพาะเลี้ยงแบบกึ่งต่อเนื่อง**

การเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina platensis* ในบ่อวงรี (diversion dicth) สภาพกลางแจ้ง ขนาดปริมาตร 1,500 ลูกบาศก์เมตร ดังแสดงในภาพ 6 ใช้ระยะเวลาเก็บกักที่เหมาะสมจากการทดลองแบบกะ คำนวณหาปริมาณน้ำเสียที่ใช้เติมในบ่อเพาะเลี้ยง เก็บน้ำเสียจากโรงงานสันติภาพทุกวัน เพื่อใช้ในการทดลองโดยเติมน้ำเสีย และถ่ายน้ำออกระบบ และกรองเซลล์สาหร่ายกลับไว้ในบ่อเพาะเลี้ยงตามเดิม เพื่อเป็นการทดสอบการบำบัดน้ำเสียของสาหร่าย *Spirulina platensis* ให้มีประสิทธิภาพสูงสุด ระยะเวลาการเพาะเลี้ยง 30 วัน ตรวจคุณภาพน้ำ โดยเก็บตัวอย่างน้ำมาวิเคราะห์ทุก 3 วัน และตรวจวัดการเจริญเติบโตของสาหร่ายโดยการวัดค่าการดูดกลื่นแสง ที่ความยาวคลื่น 560 นาโนเมตร โดยแบ่งการทดลอง 2 Treatments คือ ชุดการทดลองที่ 1 ไม่เติมสารอาหาร และชุดการทดลองที่ 2 เติมสารอาหาร เพื่อศึกษา

6.1 ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสีย

6.2 การเจริญเติบโตของสาหร่าย



**ภาพ 6** การเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina platensis* ในน้ำเสียจากการหมักดองผัก แบบกึ่งต่อเนื่อง

**7. การวิเคราะห์ข้อมูล**

นำข้อมูลคุณภาพน้ำมาวิเคราะห์ทางสถิติ เพื่อให้ทราบถึงความเปลี่ยนแปลงในแต่ละชุดการทดลอง และการบำบัดน้ำเสียโดยสาหร่าย *Spirulina platensis* โดยวิธี One Way ANOVA แบบ CRD ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

## สถานที่และระยะเวลาทำการทดลอง

**สถานที่ทำการทดลอง**

ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้
คณะเทคโนโลยีการประมง มหาวิทยาลัยแม่โจ้

**ระยะเวลาทำการทดลอง**

เริ่มทำการทดลอง เดือนตุลาคม 2546
สิ้นสุดการทดลอง เดือน พฤษภาคม 2549
รวมระยะเวลาการศึกษา 31 เดือน

# บทที่ 4
## ผลการทดลอง

**1. การศึกษาหาความเข้มข้นของน้ำเสียจากโรงงานหมักดองที่เหมาะสมต่อการบำบัดน้ำเสียโดยสาหร่าย *Spirulina platensis***

การศึกษาระดับความเข้มข้นของน้ำเสียจากโรงงานหมักดองที่เหมาะสมต่อการบำบัดน้ำเสียโดยใช้สาหร่าย *Spirulina platensis* ซึ่งสาหร่ายดังกล่าวได้จากคณะเทคโนโลยีการประมง มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จากการศึกษาลักษณะน้ำเสียจากกระบวนดองผักกาดของ บริษัทสันติภาพ (ฮั่วเพ้ง 1958) จำกัด อำเภอสันทราย จังหวัดเชียงใหม่ ซึ่งแสดงในตาราง 8

**ตาราง 8** ลักษณะของน้ำเสียโรงงานหมักดอง บริษัทสันติภาพ (ฮั่วเพ้ง 1958) จำกัด

| พารามิเตอร์ | ค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ |
|---|---|
| อุณหภูมิ | 24.10 - 26.20 องศาเซลเซียส |
| TDS | 26,000 - 45,300 มิลลิกรัมต่อลิตร |
| Conductivity | 13,000 - 23,667 ไมโครซีเมนต์ต่อเซนติเมตร |
| pH | 6.7 - 7.0 |
| BOD | 975 - 1,750 มิลลิกรัมต่อลิตร |
| COD | 1,280 - 2,100 มิลลิกรัมต่อลิตร |
| แอมโมเนีย - ไนโตรเจน | 186 - 302 มิลลิกรัมต่อลิตร |
| ไนเตรท - ไนโตรเจน | 27 - 62 มิลลิกรัมต่อลิตร |
| ออร์โธฟอสเฟต - ฟอสฟอรัส | 83 - 133 มิลลิกรัมต่อลิตร |

การทดลองนี้ต้องการศึกษาหาระดับความเข้มข้นที่เหมาะสมของน้ำเสียจากโรงงานหมักดองผักที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของสาหร่าย โดยนำน้ำเสียที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 6 ระดับ คือ 0, 20, 40, 60, 80 และ 100% นำมาใส่ในโหลแก้วที่ปริมาตรการเพาะเลี้ยง 10 ลิตร แล้วเติมเชื้อตั้งต้นของสาหร่าย *Spirulina platensis* 20% ของปริมาตรการเพาะเลี้ยง และเติมน้ำประปาตามอัตราส่วนของปริมาตรที่เหลือในการเพาะเลี้ยง โดยทำการเก็บตัวอย่างน้ำทุก 3 วัน เป็นระยะเวลา 15 วัน เพื่อวิเคราะห์หา อุณหภูมิ, TDS, Conductivity, pH, BOD, COD, แอมโมเนีย - ไนโตรเจน,

ไนเตรท - ไนโตรเจน, ออร์โธฟอสเฟต - ฟอสฟอรัส และวัดค่า OD เพื่อวัดการเจริญเติบโตของสาหร่าย ได้ผลการทดลองดังนี้

1.1 คุณภาพน้ำ ผลการตรวจวัดคุณภาพน้ำ และอุณหภูมิของน้ำในระหว่างการเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina platensis* ในน้ำเสียจากโรงงานหมักดองที่ทุกระดับความเข้มข้น พบว่า มีการเปลี่ยนของอุณหภูมิอยู่ในช่วง 24 - 25 องศาเซลเซียส

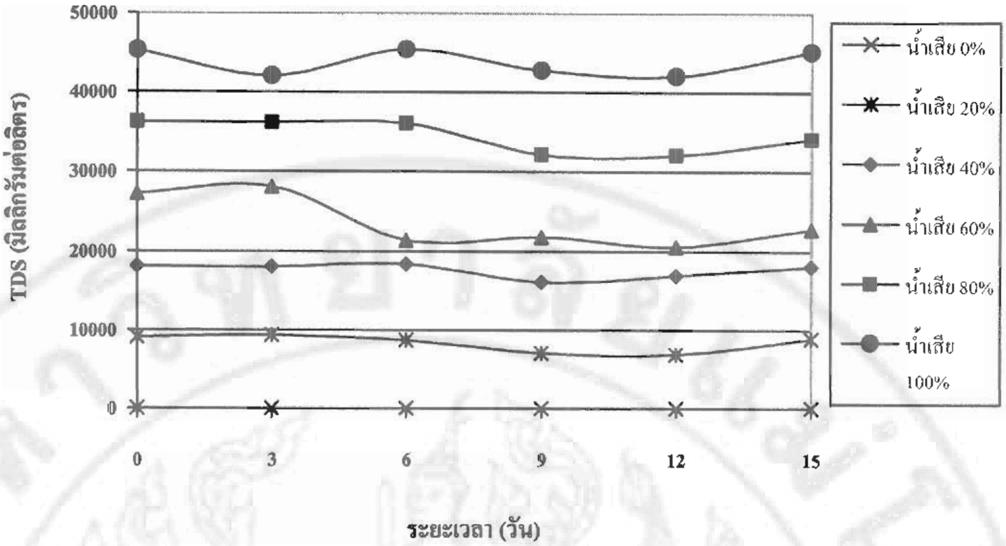
ผลการตรวจวัดค่า pH ของน้ำเสียในการทดลอง พบว่า ที่ทุกระดับความเข้มข้นของน้ำเสีย มีค่า pH อยู่ในช่วง 9.5 - 10.2

ผลการตรวจวัดค่า Conductivity ในน้ำเสียจากโรงงานหมักดอง ที่ระยะเวลาการเพาะเลี้ยง 15 วัน พบว่า ที่ทุกระดับความเข้มข้นของน้ำเสีย มีค่า Conductivity อยู่ในช่วง 27.50 - 23,667 ไมโครซีเมนต์ต่อเซนติเมตร

ผลการศึกษาการลดค่า TDS ในน้ำเสียจากโรงงานหมักดอง ที่ระยะเวลาการเพาะเลี้ยง 15 วัน ดังแสดงในตาราง 9 และภาพ 7 พบว่า ชุดการทดลองที่ระดับความเข้มข้นของน้ำเสีย 60% สาหร่ายสามารถลดค่า TDS ได้มากที่สุด คือ ค่า TDS เริ่มต้น 27,180 มิลลิกรัมต่อลิตร ลดลงเหลือ 20,502 มิลลิกรัมต่อลิตร ในวันที่ 12 รองลงมาชุดการทดลองที่ระดับความเข้มข้นของน้ำเสีย 80% ค่า TDS เริ่มต้น 36,240 มิลลิกรัมต่อลิตร ลดลงเหลือ 32,067 มิลลิกรัมต่อลิตร ในวันที่ 12 และรองลงมาชุดการทดลองที่ระดับความเข้มข้นของน้ำเสีย 100% ค่า TDS เริ่มต้น 45,300 มิลลิกรัมต่อลิตร ลดลงเหลือ 42,036 มิลลิกรัมต่อลิตร ในวันที่ 12 ตามลำดับ

**ตาราง 9** ปริมาณ TDS ในน้ำเสียหมักดองผักที่ระดับความเข้มข้นแตกต่างกัน ที่ใช้เพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina platensis*

| ระดับความเข้มข้น | TDS (มิลลิกรัมต่อลิตร) | | | | | | TDS ลดลง |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| น้ำเสีย (เปอร์เซ็นต์) | วันที่ 0 | วันที่ 3 | วันที่ 6 | วันที่ 9 | วันที่ 12 | วันที่ 15 | (มิลลิกรัมต่อลิตร) |
| 0 | 1.20 | 1.28 | 1.47 | 1.26 | 1.18 | 1.00 | 0.20 |
| 20 | 9060 | 9360 | 8670 | 7038 | 6910 | 8848 | 2150 |
| 40 | 18120 | 18017 | 18370 | 16081 | 16910 | 18000 | 2039 |
| 60 | 27180 | 28093 | 21360 | 21740 | 20502 | 22725 | 6678 |
| 80 | 36240 | 36105 | 36017 | 32150 | 32067 | 34120 | 4173 |
| 100 | 45300 | 42010 | 45410 | 42741 | 42036 | 45169 | 3264 |

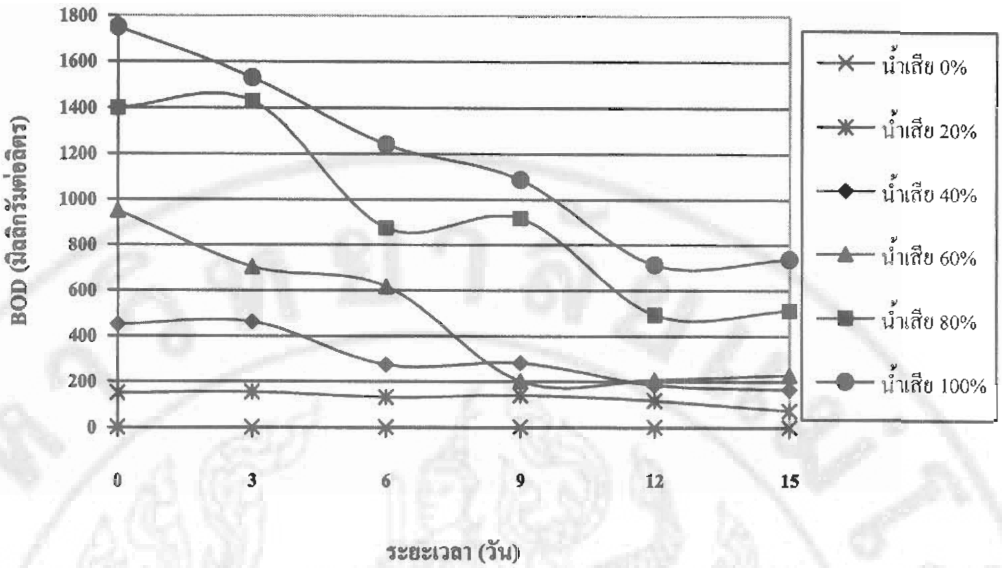



**ภาพ 7** ปริมาณ TDS ในน้ำเสียหมักดองผักที่ระดับความเข้มข้นแตกต่างกัน ที่ใช้เพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina platensis*

ผลการวิเคราะห์หาการลดลงของค่า BOD ในการทดลองที่ระยะเวลาเพาะเลี้ยง 15 วัน ดังแสดงในตาราง 10 และภาพ 8 พบว่า ชุดการทดลองที่ระดับความเข้มข้นของน้ำเสีย 60% สาหร่ายสามารถลดค่า BOD ได้มากที่สุด คือ ค่า BOD เริ่มต้น 950 มิลลิกรัมต่อลิตร ลดลงเหลือ 202 มิลลิกรัมต่อลิตร ในวันที่ 12 รองลงมาชุดการทดลองที่ระดับความเข้มข้นของน้ำเสีย 80% ค่า BOD เริ่มต้น 1,400 มิลลิกรัมต่อลิตร ลดลงเหลือ 493 มิลลิกรัมต่อลิตร ในวันที่ 12 ตามลำดับ

**ตาราง 10** ปริมาณ BOD ในน้ำเสียหมักดองผักที่ระดับความเข้มข้นแตกต่างกัน ที่ใช้เพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina platensis*

| ระดับความเข้มข้นน้ำเสีย (เปอร์เซ็นต์) | BOD (มิลลิกรัมต่อลิตร) | | | | | | BOD ลดลง (มิลลิกรัมต่อลิตร) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | วันที่ 0 | วันที่ 3 | วันที่ 6 | วันที่ 9 | วันที่12 | วันที่15 | |
| 0 | 1.8 | 1.6 | 1.4 | 2.3 | 2.1 | 1.9 | 0.4 |
| 20 | 150 | 154 | 131 | 140 | 118 | 74 | 76 |
| 40 | 450 | 461 | 274 | 281 | 184 | 165 | 285 |
| 60 | 950 | 704 | 617 | 402 | 207 | 228 | 743 |
| 80 | 1400 | 1430 | 874 | 916 | 493 | 510 | 907 |
| 100 | 1750 | 1530 | 1240 | 1087 | 712 | 763 | 1038 |

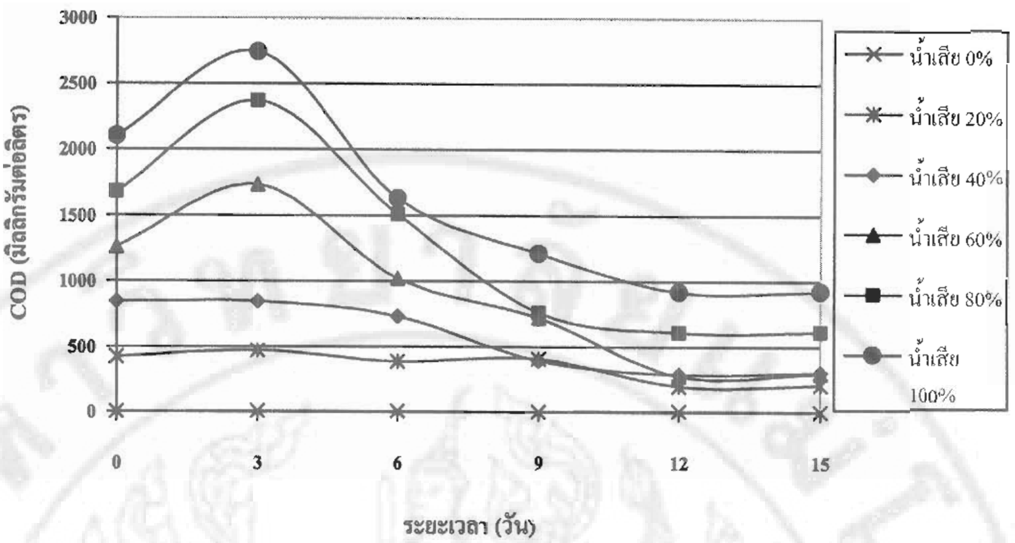



**ภาพ 8** ปริมาณ BOD ในน้ำเสียหมักดองผักที่ระดับความเข้มข้นแตกต่างกัน ที่ใช้เพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina platensis*

การศึกษาการลดค่า COD ที่ระยะเวลาการเพาะเลี้ยง 15 วัน ดังแสดงในตาราง 11 และภาพ 9 พบว่า ชุดการทดลองที่ระดับความเข้มข้นของน้ำเสีย 60% สาหร่ายสามารถลดค่า COD ได้มากที่สุด คือ ค่าเริ่มต้น 1260 มิลลิกรัมต่อลิตร ลดลงเหลือ 276 มิลลิกรัมต่อลิตร ในวันที่ 12 รองลงมาชุดการทดลองที่ระดับความเข้มข้นของน้ำเสีย 80% ค่า COD เริ่มต้น 1680 มิลลิกรัมต่อลิตร ลดลงเหลือ 608 มิลลิกรัมต่อลิตร ในวันที่ 12 ตามลำดับ

**ตาราง 11** ปริมาณ COD ในน้ำเสียหมักดองผักที่ระดับความเข้มข้นแตกต่างกัน ที่ใช้เพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina platensis*

| ระดับความเข้มข้น | COD (มิลลิกรัมต่อลิตร) | | | | | | COD ลดลง |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| น้ำเสีย (เปอร์เซ็นต์) | วันที่ 0 | วันที่ 3 | วันที่ 6 | วันที่ 9 | วันที่ 12 | วันที่ 15 | (มิลลิกรัมต่อลิตร) |
| 0 | 2.3 | 3.2 | 3.6 | 2.1 | 3.2 | 1.3 | 1.0 |
| 20 | 420 | 471 | 386 | 404 | 194 | 206 | 226 |
| 40 | 840 | 840 | 728 | 391 | 287 | 303 | 553 |
| 60 | 1260 | 1732 | 1020 | 718 | 276 | 295 | 984 |
| 80 | 1680 | 2370 | 1508 | 760 | 608 | 618 | 1072 |

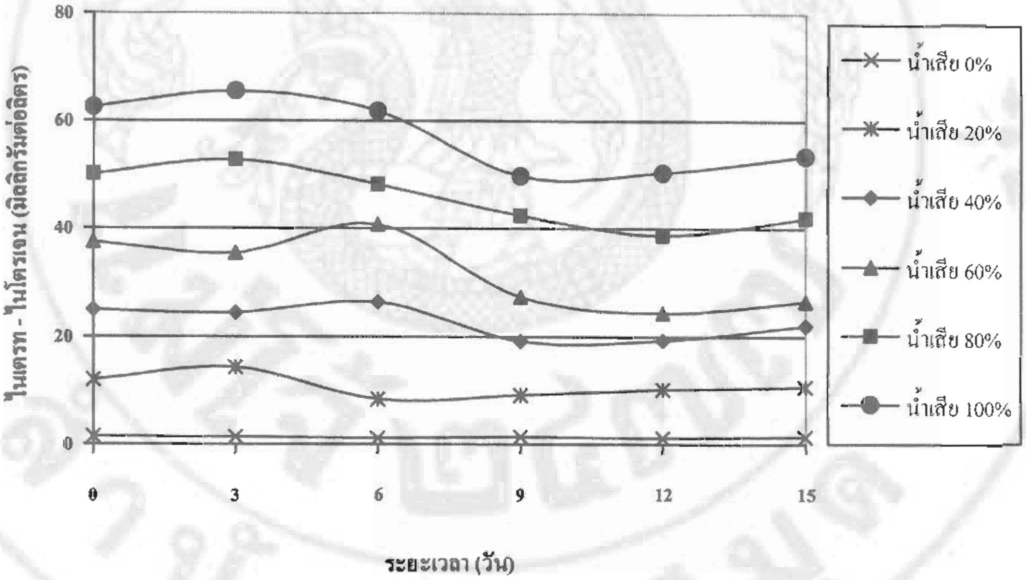



**ภาพ 9** ปริมาณ COD ในน้ำเสียหมักดองผักที่ระดับความเข้มข้นแตกต่างกัน ที่ใช้เพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina platensis*

การลดค่าไนเตรท - ไนโตรเจน ที่ระยะเวลาการเพาะเลี้ยง 15 วัน ดังแสดงในตาราง 12 และภาพ 10 พบว่า ชุดการทดลองที่ระดับความเข้มข้นของน้ำเสีย 60% สาหร่ายสามารถลดค่าไนเตรท - ไนโตรเจน ได้มากที่สุด คือ ค่าไนเตรท - ไนโตรเจนเริ่มต้น 37.50 มิลลิกรัมต่อลิตร ลดลงเหลือ 24.31 มิลลิกรัมต่อลิตร ในวันที่ 12 รองลงมาชุดการทดลองที่ระดับความเข้มข้นของน้ำเสีย 100% ค่าไนเตรท - ไนโตรเจน เริ่มต้น 62.50 มิลลิกรัมต่อลิตร ลดลงเหลือ 49.67 มิลลิกรัมต่อลิตร ในวันที่ 9 ตามลำดับ

**ตาราง 12** ปริมาณ ไนเตรท - ไนโตรเจน ในน้ำเสียหมักดองผักที่ระดับความเข้มข้นแตกต่างกัน ที่ใช้เพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina platensis*

| ระดับความเข้มข้นน้ำเสีย (เปอร์เซ็นต์) | ไนเตรท - ไนโตรเจน (มิลลิกรัมต่อลิตร) | | | | | | ไนเตรท - ไนโตรเจน ลดลง (มิลลิกรัมต่อลิตร) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | วันที่ 0 | วันที่ 3 | วันที่ 6 | วันที่ 9 | วันที่ 12 | วันที่ 15 | |
| 0 | 1.45 | 1.36 | 1.07 | 1.32 | 1.13 | 1.27 | 0.38 |
| 20 | 12 | 14.18 | 8.31 | 9.10 | 10.17 | 10.60 | 3.69 |
| 40 | 25 | 24.32 | 26.40 | 19.15 | 19.12 | 21.97 | 5.88 |
| 60 | 37.50 | 35.41 | 40.67 | 27.36 | 24.31 | 26.50 | 11.00 |
| 80 | 50 | 52.65 | 48.10 | 42.34 | 38.67 | 41.87 | 11.33 |
| 100 | 62.50 | 65.38 | 61.70 | 49.67 | 50.23 | 53.41 | 12.83 |



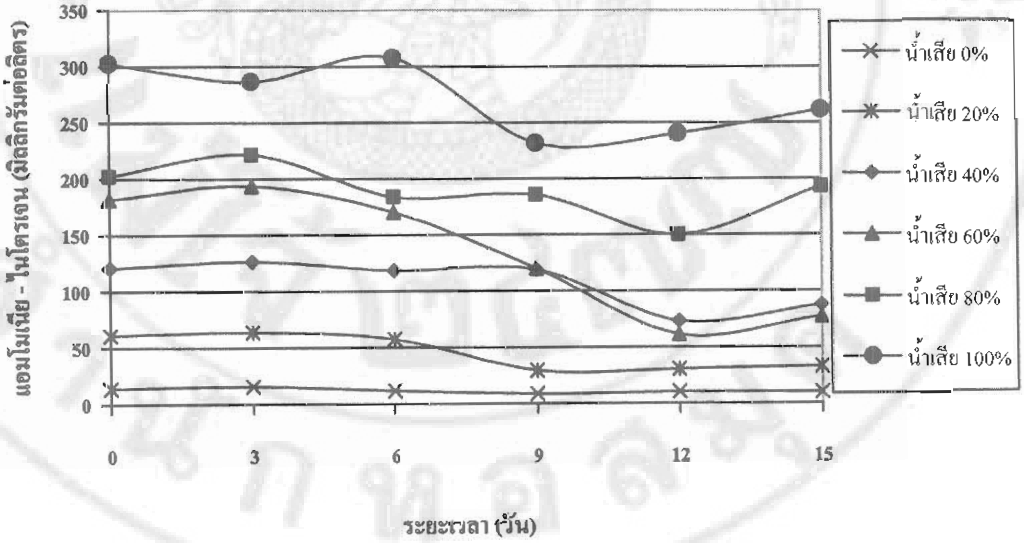

**ภาพ 10** ปริมาณ ไนเตรท - ไนโตรเจน ในน้ำเสียหมักดองผักที่ระดับความเข้มข้นแตกต่างกัน ที่ใช้เพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina platensis*

ผลการวิเคราะห์การลดค่าแอมโมเนีย - ไนโตรเจน ของน้ำเสียในการทดลองที่ระยะเวลาการเพาะเลี้ยง 15 วัน ดังแสดงในตาราง 13 และภาพ 11 พบว่า ชุดการทดลองที่ระดับความเข้มข้นของน้ำเสีย 60% สาหร่ายสามารถลดค่าแอมโมเนีย - ไนโตรเจน ได้มากที่สุด คือ ค่าเริ่มต้น 182 มิลลิกรัม

ต่อลิตร ลดลงเหลือ 61 มิลลิกรัมต่อลิตร ในวันที่ 12 รองลงมาชุดการทดลองที่ระดับความเข้มข้นของน้ำเสีย 100% ค่าเริ่มต้น 303 มิลลิกรัมต่อลิตร ลดลงเหลือ 231 มิลลิกรัมต่อลิตร ในวันที่ 9 ตามลำดับ

**ตาราง 13** ปริมาณ แอมโมเนีย - ไนโตรเจน ในน้ำเสียหมักดองผักที่ระดับความเข้มข้นแตกต่างกัน ที่ใช้เพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina platensis*

| ระดับความเข้มข้น | แอมโมเนีย - ไนโตรเจน (มิลลิกรัมต่อลิตร) | | | | | | แอมโมเนีย - ไนโตรเจน |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| น้ำเสีย (เปอร์เซ็นต์) | วันที่ 0 | วันที่ 3 | วันที่ 6 | วันที่ 9 | วันที่ 12 | วันที่ 15 | ลดลง (มิลลิกรัมต่อลิตร) |
| 0 | 14 | 15 | 11 | 4 | 4 | 6 | 10 |
| 20 | 60 | 64 | 57 | 29 | 30 | 36 | 31 |
| 40 | 121 | 127 | 118 | 119 | 73 | 88 | 48 |
| 60 | 182 | 194 | 170 | 120 | 61 | 78 | 121 |
| 80 | 202 | 221 | 184 | 186 | 150 | 193 | 52 |
| 100 | 303 | 286 | 308 | 231 | 240 | 261 | 71 |



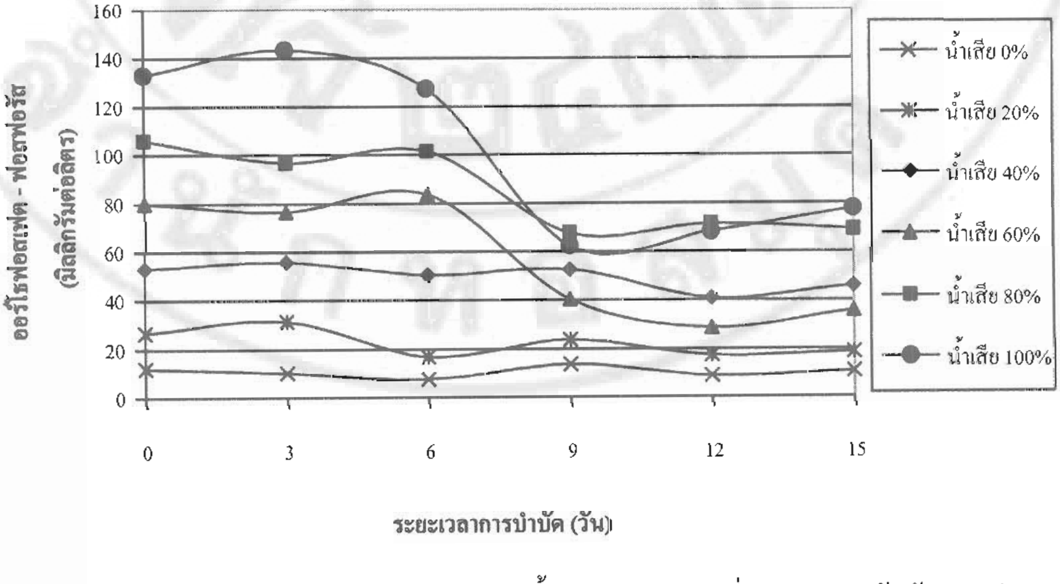

**ภาพ 11** ปริมาณแอมโมเนีย - ไนโตรเจน ในน้ำเสียหมักดองผักที่ระดับความเข้มข้นแตกต่างกัน ที่ใช้เพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina platensis*

ผลการศึกษาการลดค่าออร์โธฟอสเฟต - ฟอสฟอรัส สาหร่าย *Spirulina platensis* ที่ระยะเวลาการเพาะเลี้ยง 15 วัน ดังแสดงในตาราง 14 และภาพ 12 พบว่า ชุดการทดลองที่ระดับ

ความเข้มข้นของน้ำเสีย 60% สาหร่ายสามารถลดค่าออร์โธฟอสเฟต - ฟอสฟอรัส ได้มากที่สุดคือ ค่าเริ่มต้น 80 มิลลิกรัมต่อลิตร ลดลงเหลือ 29 มิลลิกรัมต่อลิตร ในวันที่ 12 รองลงมาชุดการทดลองที่ระดับความเข้มข้นของน้ำเสีย 100% ค่าออร์โธฟอสเฟต - ฟอสฟอรัส เริ่มต้น 113 มิลลิกรัมต่อลิตร ลดลงเหลือ 62 มิลลิกรัมต่อลิตร ในวันที่ 9 ตามลำดับ

**ตาราง 14** ปริมาณ ออร์โธฟอสเฟต - ฟอสฟอรัส ในน้ำเสียหมักดองผักที่ระดับความเข้มข้นแตกต่างกันที่ใช้เพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina platensis*

| ระดับความเข้มข้นน้ำเสีย (เปอร์เซ็นต์) | ออร์โธฟอสเฟต - ฟอสฟอรัส (มิลลิกรัมต่อลิตร) | | | | | | ออร์โธฟอสเฟต - ฟอสฟอรัส ลดลง (มิลลิกรัมต่อลิตร) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | วันที่ 0 | วันที่ 3 | วันที่ 6 | วันที่ 9 | วันที่ 12 | วันที่ 15 | |
| 0 | 12 | 10 | 7 | 13 | 9 | 11 | 3 |
| 20 | 27 | 31 | 17 | 24 | 17 | 19 | 10 |
| 40 | 53 | 56 | 50 | 53 | 41 | 46 | 12 |
| 60 | 80 | 76 | 84 | 40 | 29 | 36 | 51 |
| 80 | 106 | 96 | 101 | 68 | 71 | 69 | 38 |
| 100 | 133 | 143 | 127 | 62 | 68 | 77 | 71 |

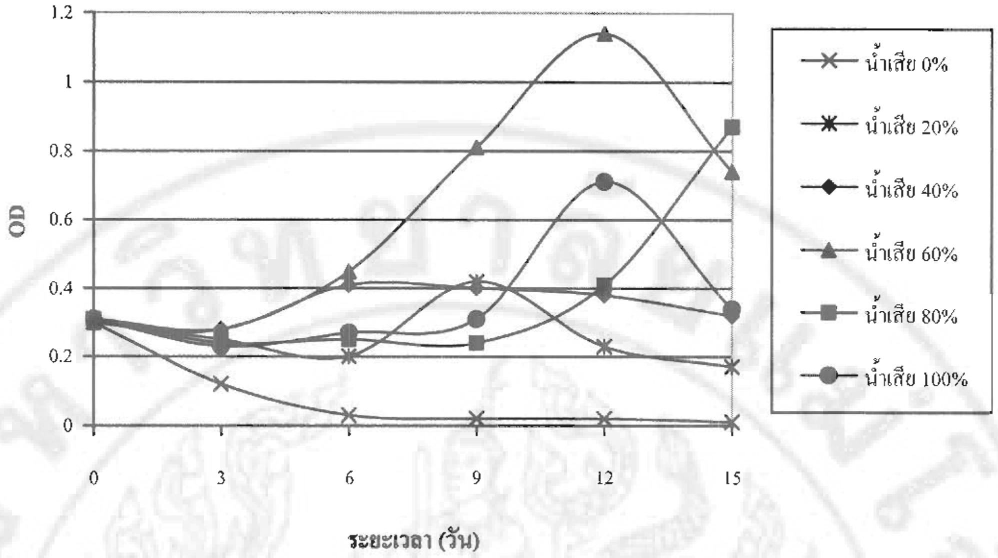



**ภาพ 12** ปริมาณ ออร์โธฟอสเฟต - ฟอสฟอรัส ในน้ำเสียหมักดองผักที่ระดับความเข้มข้นแตกต่างกันที่ใช้เพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina platensis*

1.2 การเจริญเติบโต ผลการศึกษาอัตราการเจริญเติบโตของสาหร่าย *Spirulina platensis* โดยการวัดค่า OD ของสาหร่าย *Spirulina platensis* ที่เพาะเลี้ยงในระยะเวลา 15 วัน ดังแสดงในตาราง 15 และ ภาพ 13 พบว่า ชุดการทดลองที่ระดับความเข้มข้น 60% สาหร่ายสามารถเจริญเติบโตได้ดีที่สุด คือ มีค่า OD เท่ากับ 1.14 ชุดการทดลอง และรองลงมาชุดการทดลองที่ระดับความเข้มข้น 80% มีค่า OD เท่ากับ 0.87 ชุดการทดลอง ตามลำดับ

**ตาราง 15** การเจริญเติบโตของสาหร่าย *Spirulina platensis* ในการเพาะเลี้ยงที่ความเข้มข้นของน้ำเสียจากโรงงานหมักดองผักที่แตกต่างกัน โดยวัด OD ที่ความยาวคลื่น 560 นาโนเมตร

| ระดับความเข้มข้น | OD | | | | | | OD สูงสุด |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| น้ำเสีย (เปอร์เซ็นต์) | วันที่ 0 | วันที่ 3 | วันที่ 6 | วันที่ 9 | วันที่ 12 | วันที่ 15 | |
| 0 | 0.30 | 0.12 | 0.03 | 0.02 | 0.02 | 0.01 | 0.30 |
| 20 | 0.30 | 0.25 | 0.20 | 0.42 | 0.23 | 0.17 | 0.42 |
| 40 | 0.31 | 0.28 | 0.41 | 0.40 | 0.38 | 0.32 | 0.41 |
| 60 | 0.30 | 0.28 | 0.45 | 0.81 | 1.14 | 0.74 | 1.14 |
| 80 | 0.31 | 0.24 | 0.25 | 0.24 | 0.41 | 0.87 | 0.87 |
| 100 | 0.31 | 0.23 | 0.27 | 0.31 | 0.71 | 0.34 | 0.71 |




**ภาพ 13** การเจริญเติบโตของสาหร่าย *Spirulina platensis* ในการเพาะเลี้ยงที่ความเข้มข้นของน้ำเสียจากโรงงานหมักดองผักที่แตกต่างกัน โดยวัด OD ที่ความยาวคลื่น 560 นาโนเมตร

เนื่องจากการบำบัดน้ำเสียในการศึกษานี้มีเป้าหมายสำคัญประการดังนี้ คือ การปรับปรุงคุณภาพน้ำให้มีค่าความสกปรก หรือ ค่า COD ต่ำสุด หลังการสิ้นสุดการบำบัด อย่างไรก็ตาม ความสามารถในการลดค่าความสกปรกของน้ำเสียก็เป็นปัจจัยสำคัญอีกประการหนึ่งที่ควรคำนึงถึง ดังนั้น ในการทดสอบบำบัดน้ำเสียโดยใช้สาหร่าย *Spirulina platensis* ในขั้นตอนต่อไปจึงเลือกใช้ความเข้มข้นของน้ำเสียเท่ากับ 60% เป็นความเข้มข้นเริ่มต้นสำหรับการบำบัด ทั้งนี้ เพราะจากผลการทดลองข้างต้น แสดงให้เห็นว่า การทดลองที่ใช้น้ำเสียความเข้มข้น 60% มีปริมาณ COD ของน้ำเสียหลังการทดลองเท่ากับ 276 มิลลิกรัมต่อลิตร จึงไม่แตกต่างกับค่า COD ของน้ำเสียหลังการบำบัดของการทดลองที่ใช้น้ำเสียความเข้มข้น 20% ที่มีค่าต่ำสุด คือ 194 มิลลิกรัมต่อลิตร ขณะเดียวกันการทดลองที่ใช้น้ำเสียความเข้มข้น 40% ก็สามารถลดค่า COD ของน้ำเสียได้เท่ากับ 287 มิลลิกรัมต่อลิตร ต่อไปอันดับสองรองจากการทดลองนี้ใช้น้ำเสียความเข้มข้น 80% และ 100% ที่มีค่า COD ที่ลดได้ สูงสุด และไม่แตกต่างกันคือ 608 และ 913 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ

นอกจากนี้ การทดลองที่ความเข้มข้นน้ำเสีย 60% มีการเจริญเติบโตของสาหร่ายได้ดีที่สุด โดยพิจารณาจาก ค่า OD ที่วัดได้ 1.14 มีจำนวนเซลล์เท่ากับ $1.45\times10^{5}$ เซลล์ต่อมิลลิลิตร เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับการทดลองใช้ความเข้มข้นน้ำเสีย 80% และ 100% มีค่า OD 0.87 และ 0.73 จำนวนเซลล์ $1.10\times10^{5}$ เซลล์ต่อมิลลิลิตร และ $9.26\times10^{4}$ เซลล์ต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ ดังนั้น การทดลองความเข้มข้นน้ำเสีย 60% จึงเหมาะสมที่นำมาใช้ในการบำบัดน้ำเสียในการทดลองต่อไป

## 2. การศึกษาหาปริมาณสารอาหารที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของสาหร่าย *Spirulina platensis* ในน้ำเสียที่ระดับความเข้มข้นที่เหมาะสม ในการเพาะเลี้ยงสภาพห้องปฏิบัติการ

จากผลการศึกษาคุณสมบัติของการบำบัดน้ำเสียหมักดองผักโดยใช้สาหร่าย *Spirulina platensis* พบว่า ระดับความเข้มข้นของน้ำเสียที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของสาหร่ายจากค่า OD และสามารถบำบัดน้ำเสียได้ดีที่สุด คือ 60% โดยพิจารณาจากการลดลงของค่า BOD และ COD เนื่องจากน้ำเสียหมักดองมีสารอาหารที่จำเป็น และสาหร่ายสามารถเปลี่ยนสารอาหารที่อยู่ในรูปสารอินทรีย์ไปเป็นสารอนินทรีย์ จึงทำให้ ค่า BOD และ COD ลดลง และสาหร่ายเจริญเติบโตได้ในน้ำเสียหมักดอง

ผลการศึกษาปริมาณสารอาหารที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของสาหร่าย *Spirulina platensis* ในช่วงระยะเวลาการเพาะเลี้ยง 15 วัน ที่ระดับความเข้มข้นของน้ำเสีย 60% ที่เพาะเลี้ยงในโหลแก้วทรงกระบอกปริมาตรการเพาะเลี้ยง 10 ลิตร ในสภาพห้องปฏิบัติการ โดยเติมสารอาหาร 4 ชนิด ในปริมาณที่ต่างกัน 3 ระดับ ดังนี้

- $NaHCO_3$ 4.25, 8.5 และ 12.75 กรัมต่อลิตร
- $K_2HPO_3$ 0.25, 0.5 และ 0.75 กรัมต่อลิตร
- $NaNO_3$ 0.75, 1.5 และ 2.25 กรัมต่อลิตร
- ปุ๋ย N:P:K 0.3, 0.6 และ 0.9 กรัมต่อลิตร

จากผลการทดลอง พบว่า การเจริญเติบโตของสาหร่ายได้ดีที่สุด ดังแสดงในตาราง 16, 33 และภาพ 14, 15, 16 และ 17 คือ ชุดการทดลองที่ไม่เติมสารอาหาร มีค่า OD สูงสุด เท่ากับ 0.87 ในวันที่ 12 มีจำนวนเซลล์สาหร่าย คือ $1.10\times10^5$ เซลล์ต่อมิลลิลิตร รองลงมาชุดการทดลองที่เติม $NaHCO_3$ 4.25 กรัมต่อลิตร มีค่า OD สูงสุดในกลุ่มนี้ เท่ากับ 0.83 ในวันที่ 12 จำนวนเซลล์ $1.05\times10^5$ เซลล์ต่อมิลลิลิตร และรองลงมาชุดการทดลองที่เติม $K_2HPO_3$ 0.25 กรัมต่อลิตร มีค่า OD สูงสุดในกลุ่มนี้ เท่ากับ 0.67 ในวันที่ 9 จำนวนเซลล์ $8.49\times10^4$ เซลล์ต่อมิลลิลิตร และรองลงมาชุดการทดลองที่เติม $NaNO_3$ 0.75 กรัมต่อลิตร มีค่า OD สูงสุดของกลุ่มนี้ เท่ากับ 0.48 ในวันที่ 12 จำนวนเซลล์ $6.08\times10^4$ เซลล์ต่อมิลลิลิตร และรองลงมาชุดการทดลองที่เติม N:P:K 0.3 กรัมต่อลิตร มีค่า OD สูงสุดของกลุ่มนี้ คือ 0.32 จำนวนเซลล์ $4.06\times10^4$ เซลล์ต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ เมื่อทำการวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติพบว่า ค่า OD ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

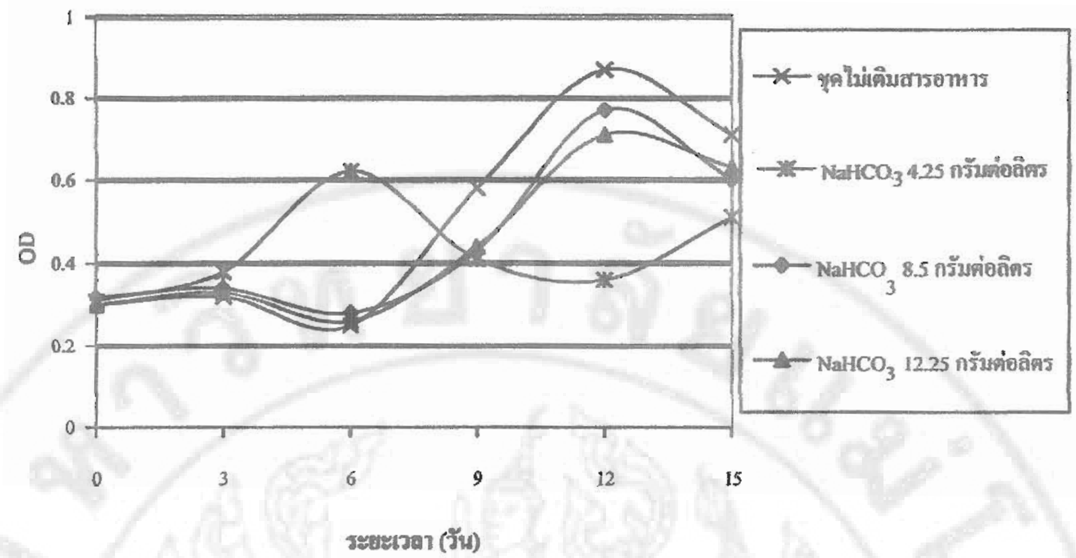
เมื่อพิจารณาจากการเจริญเติบโตของสาหร่าย *Spirulina platensis* ในการทดลองนี้ สรุปได้ว่า ปริมาณสารอาหารที่เหมาะสม คือ $NaHCO_3$ 4.25 กรัมต่อลิตร, $NaNO_3$ 0.75 กรัมต่อลิตร,

$K_2HPO_3$ 0.25 กรัมต่อลิตร และปุ๋ย N:P:K 0.3 กรัมต่อลิตร จึงเลือกเป็นปริมาณสารอาหารที่เหมาะสมในการเจริญเติบโตของสาหร่าย *Spirulina platensis* เพื่อทำการทดลองในชุดต่อไป

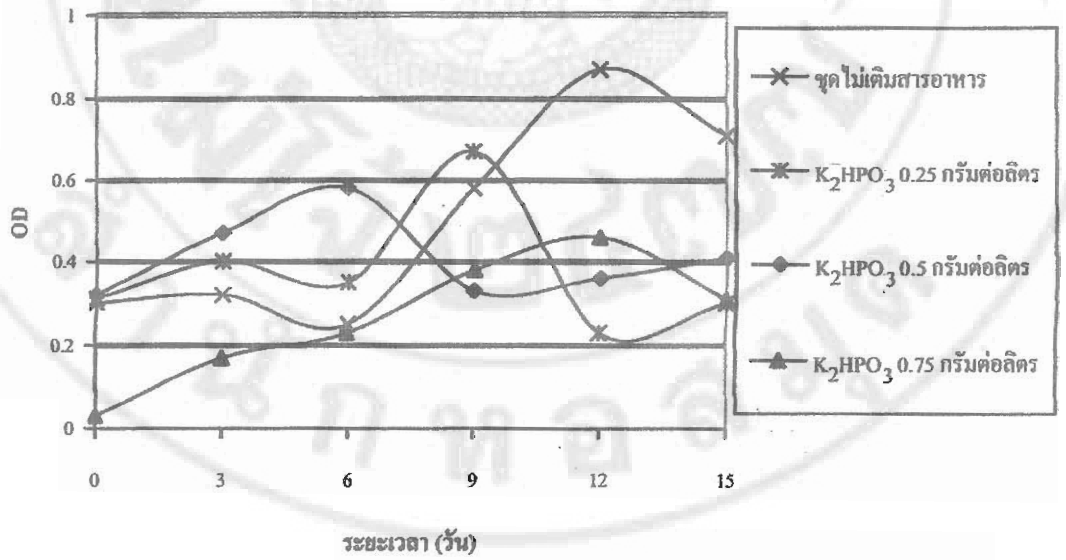
**ตาราง 16** การเจริญเติบโตของสาหร่าย *Spirulina platensis* ในการเพาะเลี้ยงสภาพห้องปฏิบัติการ โดยวัด OD ที่ความยาวคลื่น 560 นาโนเมตร

| ระดับปริมาณอาหาร (กรัมต่อลิตร) | OD | | | | | | OD สูงสุด |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | วันที่ 0 | วันที่ 3 | วันที่ 6 | วันที่ 9 | วันที่ 12 | วันที่15 | |
| ชุดไม่เติมสารอาหาร | 0.30 | 0.32 | 0.25 | 0.58 | 0.87 | 0.71 | $0.87^A$ |
| $NaHCO_3$ 4.25 | 0.31 | 0.38 | 0.62 | 0.41 | 0.83 | 0.51 | $0.83^A$ |
| $NaHCO_3$ 8.5 | 0.32 | 0.34 | 0.28 | 0.43 | 0.77 | 0.60 | $0.77^A$ |
| $NaHCO_3$ 12.25 | 0.30 | 0.33 | 0.26 | 0.44 | 0.71 | 0.63 | $0.71^A$ |
| $K_2HPO_4$ 0.25 | 0.31 | 0.40 | 0.35 | 0.67 | 0.23 | 0.3 | $0.67^A$ |
| $K_2HPO_4$ 0.5 | 0.32 | 0.47 | 0.58 | 0.33 | 0.36 | 0.41 | $0.58^A$ |
| $K_2HPO_4$ 0.75 | 0.30 | 0.37 | 0.23 | 0.38 | 0.46 | 0.31 | $0.46^A$ |
| $NaNO_3$ 0.75 | 0.30 | 0.23 | 0.38 | 0.45 | 0.48 | 0.32 | $0.48^A$ |
| $NaNO_3$ 1.5 | 0.31 | 0.26 | 0.31 | 0.35 | 0.42 | 0.31 | $0.42^A$ |
| $NaNO_3$ 2.25 | 0.30 | 0.25 | 0.28 | 0.27 | 0.30 | 0.25 | $0.30^A$ |
| N:P:K 0.3 | 0.32 | 0.26 | 0.31 | 0.21 | 0.32 | 0.22 | $0.32^A$ |
| N:P:K 0.6 | 0.31 | 0.24 | 0.26 | 0.25 | 0.35 | 0.28 | $0.35^A$ |
| N:P:K 0.9 | 0.30 | 0.26 | 0.24 | 0.28 | 0.31 | 0.30 | $0.31^A$ |

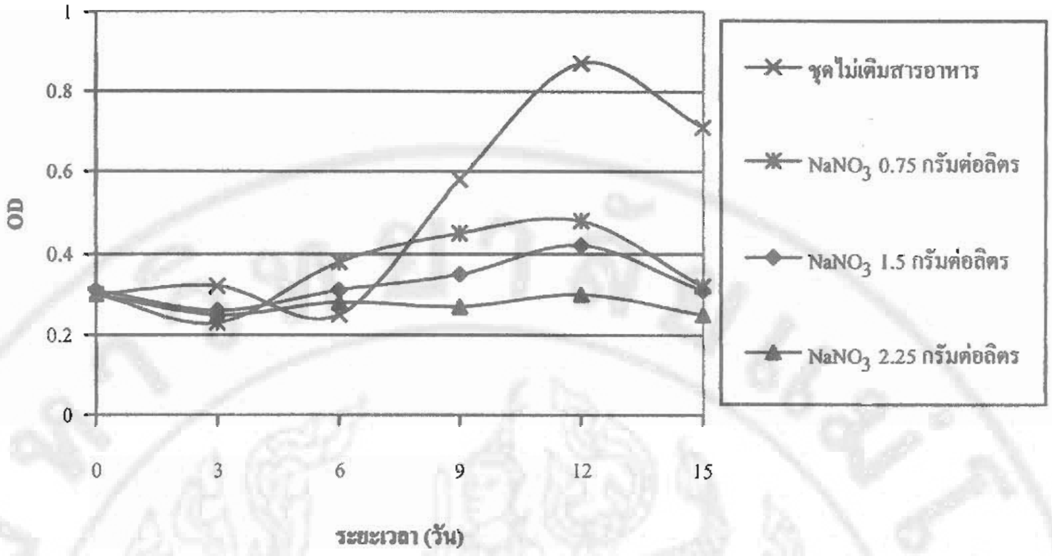
**หมายเหตุ:** อักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกัน แสดงถึงข้อมูลมีความแตกต่างกันทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95



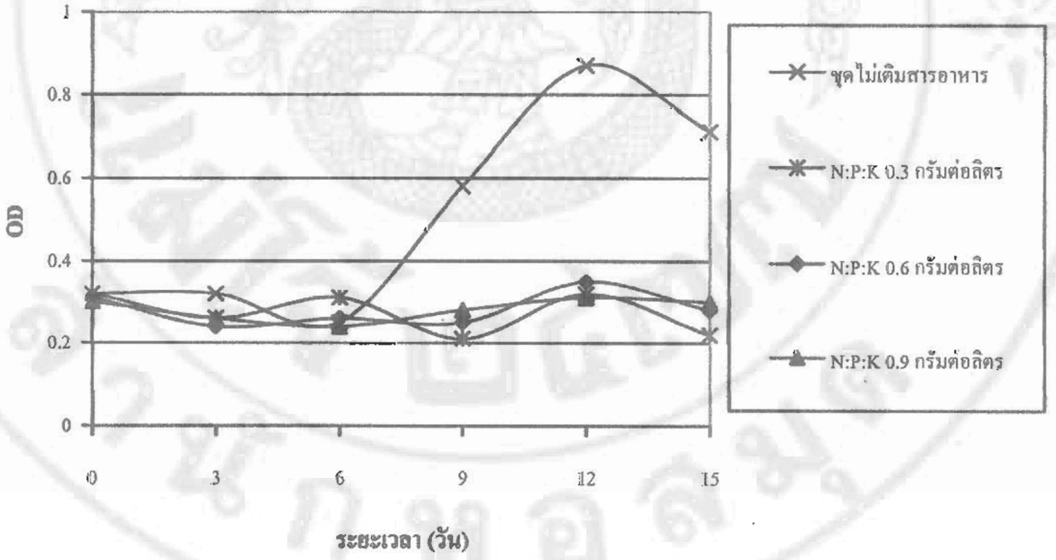

**ภาพ 14** การเจริญเติบโตของสาหร่าย *Spirulina platensis* ในการเพาะเลี้ยงสภาพห้องปฏิบัติการที่เติมสารอาหาร $NaHCO_3$ ในความเข้มข้นที่ต่างกัน โดยวัด OD ที่ความยาวคลื่น 560 นาโนเมตร




**ภาพ 15** การเจริญเติบโตของสาหร่าย *Spirulina platensis* ในการเพาะเลี้ยงสภาพห้องปฏิบัติการที่เติมสารอาหาร $K_2HPO_3$ ในความเข้มข้นที่ต่างกัน โดยวัด OD ที่ความยาวคลื่น 560 นาโนเมตร




**ภาพ 16** การเจริญเติบโตของสาหร่าย *Spirulina platensis* ในการเพาะเลี้ยงสภาพห้องปฏิบัติการ ที่เติมสารอาหาร $NaNO_3$ ในความเข้มข้นที่ต่างกัน โดยวัด OD ที่ความยาวคลื่น 560 นาโนเมตร




**ภาพ 17** การเจริญเติบโตของสาหร่าย *Spirulina platensis* ในการเพาะเลี้ยงสภาพห้องปฏิบัติการ ที่เติมสารอาหาร ปุ๋ย N:P:K ในความเข้มข้นที่ต่างกัน โดยวัด OD ที่ความยาวคลื่น 560 นาโนเมตร

**3. การศึกษาหาปริมาณสารอาหารที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของสาหร่าย *Spirulina platensis* ในน้ำเสียที่ระดับความเข้มข้นที่เหมาะสม ในการเพาะเลี้ยงสภาพกลางแจ้ง**

ผลการศึกษาปริมาณสารอาหารที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของสาหร่าย *Spirulina platensis* ในระยะเวลาการเพาะเลี้ยง 15 วัน ที่ระดับความเข้มข้นของน้ำเสีย 60% เพาะเลี้ยงในโหลแก้วทรงกระบอกปริมาตรการเพาะเลี้ยง 10 ลิตร ในสภาพกลางแจ้ง โดยเติมสารอาหาร 4 ชนิด ในปริมาณที่ต่างกัน 3 ระดับ คือ

- $NaHCO_3$ 4.25, 8.5 และ 12.75 กรัมต่อลิตร
- $K_2HPO_3$ 0.25, 0.5 และ 0.75 กรัมต่อลิตร
- $NaNO_3$ 0.75, 1.5 และ 2.25 กรัมต่อลิตร
- ปุ๋ย N:P:K 0.3, 0.6 และ 0.9 กรัมต่อลิตร

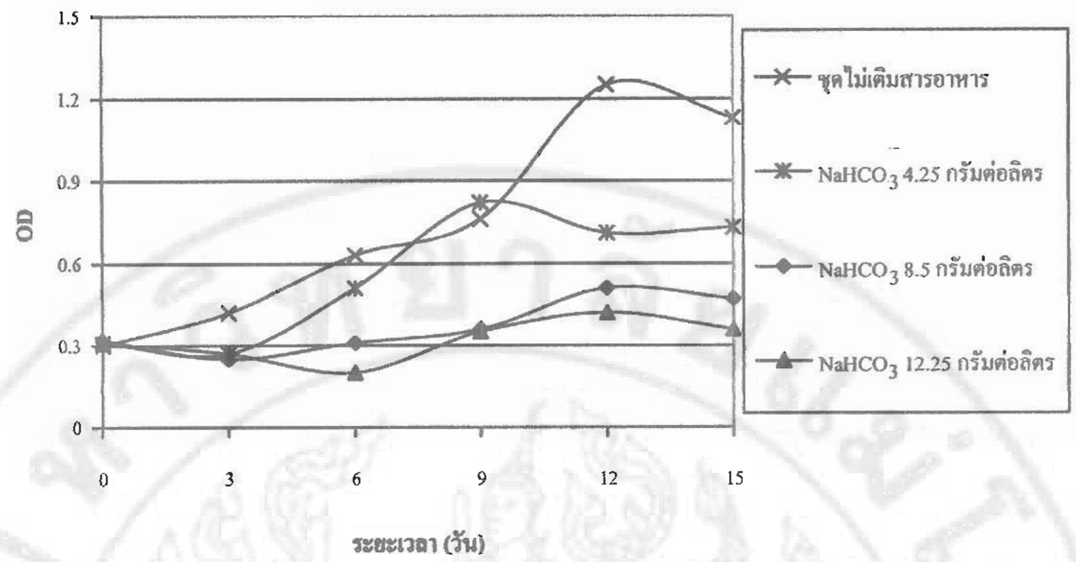
จากผลการทดลอง พบว่า การเจริญเติบโตของสาหร่ายได้ดีที่สุด ดังแสดงในตาราง 17, 34 และภาพ 18, 19, 20 และ 21 คือ ชุดการทดลองที่ไม่เติมสารอาหาร มีการเจริญเติบโตของสาหร่ายได้ดีที่สุด คือ มีค่า OD สูงสุด เท่ากับ 1.25 ในวันที่ 12 มีจำนวนเซลล์สาหร่าย คือ $1.58\times10^5$ เซลล์ต่อมิลลิลิตร รองลงมาชุดการทดลองที่เติม $NaHCO_3$ 4.25 กรัมต่อลิตร มีค่า OD สูงสุดของกลุ่มนี้ เท่ากับ 0.82 ในวันที่ 12 มีจำนวนเซลล์ $1.04\times10^5$ เซลล์ต่อมิลลิลิตร รองลงมาชุดการทดลองที่เติม $K_2HPO_3$ 0.25 กรัมต่อลิตร มีค่า OD สูงสุดของกลุ่มนี้ เท่ากับ 0.95 ในวันที่ 9 มีจำนวนเซลล์ $1.21\times10^5$ เซลล์ต่อมิลลิลิตร รองลงมาชุดการทดลองที่เติม N:P:K 0.3 กรัมต่อลิตร มีค่า OD สูงสุดของกลุ่มนี้ เท่ากับ 0.83 ในวันที่ 9 จำนวนเซลล์ $1.05\times10^5$ เซลล์ต่อมิลลิลิตร และรองลงมาชุดการทดลองที่เติม $NaNO_3$ 0.75 กรัมต่อลิตร มีค่า OD สูงสุดของกลุ่มนี้ เท่ากับ 0.78 ในวันที่ 12 จำนวนเซลล์ $9.89\times10^4$ เซลล์ต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ เมื่อทำการวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติพบว่าค่า OD ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

เมื่อพิจารณาจากการเจริญเติบโตของสาหร่าย *Spirulina platensis* สรุปว่า การเพาะเลี้ยงในสภาพกลางแจ้งมีการเจริญเติบโตของสาหร่าย *Spirulina platensis* ได้ดีกว่าในการเพาะเลี้ยงสภาพห้องปฏิบัติการ คือ มีค่า OD และจำนวนเซลล์สูงกว่า ทั้งนี้เนื่องมาจาก การเพาะเลี้ยงในสภาพกลางแจ้ง ทำให้ได้รับแสงแดดเพียงพอ จึงสังเคราะห์แสงได้ดีกว่าการเพาะเลี้ยงในสภาพห้องปฏิบัติการ และปริมาณสารอาหารที่เหมาะสมในการทดลองนี้ คือ $NaHCO_3$ 4.25 กรัมต่อลิตร, $NaNO_3$ 0.75 กรัมต่อลิตร, $K_2HPO_3$ 0.25 กรัมต่อลิตร และปุ๋ย N:P:K 0.3 กรัมต่อลิตร ดังนั้น จึงเลือกเป็นปริมาณสารอาหารที่เหมาะสมในการเจริญเติบโตของสาหร่าย *Spirulina platensis* เพื่อทำการทดลองในชุดต่อไป

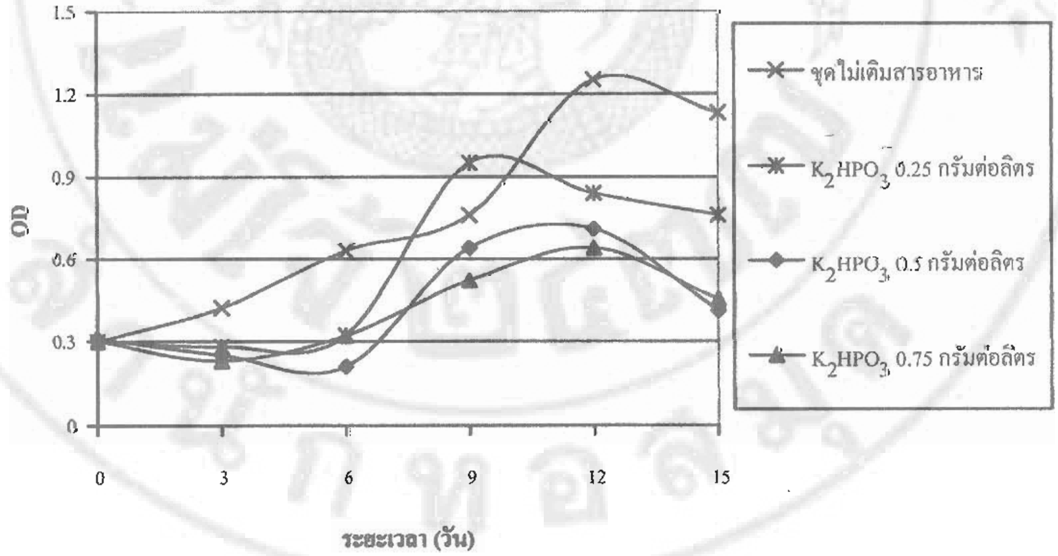
**ตาราง 17** การเจริญเติบโตของสาหร่าย *Spirulina platensis* ในการเพาะเลี้ยงสภาพกลางแจ้ง โดยวัด OD ที่ความยาวคลื่น 560 นาโนเมตร

| ระดับปริมาณอาหาร (กรัมต่อลิตร) | OD | | | | | | OD สูงสุด |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | วันที่ 0 | วันที่ 3 | วันที่ 6 | วันที่ 9 | วันที่ 12 | วันที่15 | |
| ชุดไม่เติมสารอาหาร | 0.30 | 0.42 | 0.63 | 0.76 | 1.25 | 1.13 | $1.25^{A}$ |
| $NaHCO_3$ 4.25 | 0.31 | 0.27 | 0.51 | 0.82 | 0.71 | 0.73 | $0.82^{A}$ |
| $NaHCO_3$ 8.5 | 0.32 | 0.25 | 0.31 | 0.36 | 0.51 | 0.47 | $0.51^{A}$ |
| $NaHCO_3$ 12.25 | 0.31 | 0.27 | 0.20 | 0.35 | 0.42 | 0.36 | $0.42^{A}$ |
| $K_2HPO_4$ 0.25 | 0.30 | 0.28 | 0.32 | 0.95 | 0.84 | 0.76 | $0.95^{A}$ |
| $K_2HPO_4$ 0.5 | 0.31 | 0.25 | 0.21 | 0.64 | 0.71 | 0.41 | $0.71^{A}$ |
| $K_2HPO_4$ 0.75 | 0.30 | 0.23 | 0.32 | 0.52 | 0.64 | 0.45 | $0.64^{A}$ |
| $NaNO_3$ 0.75 | 0.31 | 0.27 | 0.37 | 0.58 | 0.78 | 0.41 | $0.78^{A}$ |
| $NaNO_3$ 1.5 | 0.32 | 0.27 | 0.34 | 0.58 | 0.65 | 0.52 | $0.65^{A}$ |
| $NaNO_3$ 2.25 | 0.30 | 0.23 | 0.45 | 0.57 | 0.66 | 0.54 | $0.66^{A}$ |
| N:P:K 0.3 | 0.31 | 0.26 | 0.41 | 0.83 | 0.74 | 0.61 | $0.83^{A}$ |
| N:P:K 0.6 | 0.30 | 0.31 | 0.48 | 0.56 | 0.64 | 0.55 | $0.64^{A}$ |
| N:P:K 0.9 | 0.30 | 0.30 | 0.41 | 0.57 | 0.70 | 0.61 | $0.70^{A}$ |

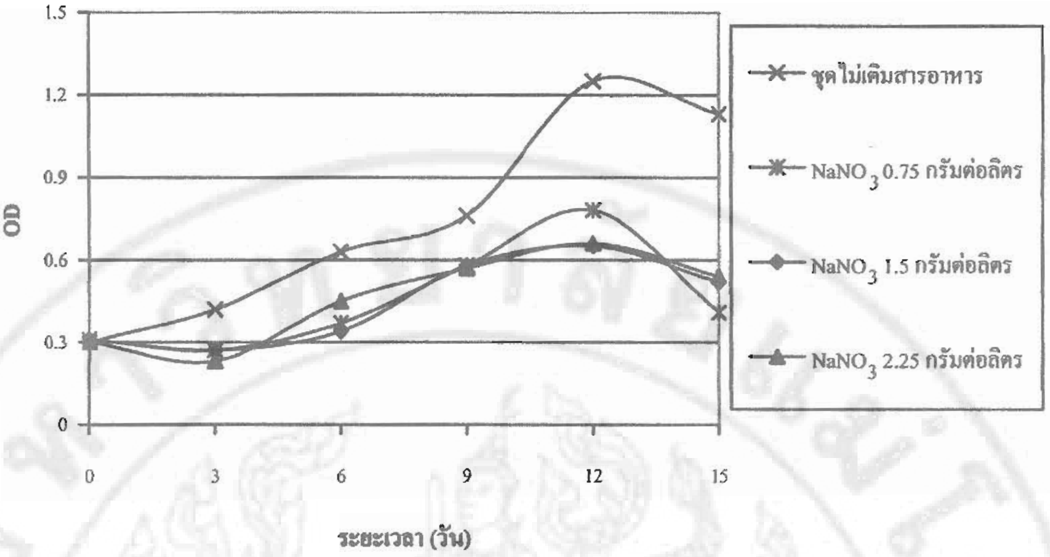
**หมายเหตุ**: อักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกัน แสดงถึงข้อมูลมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95



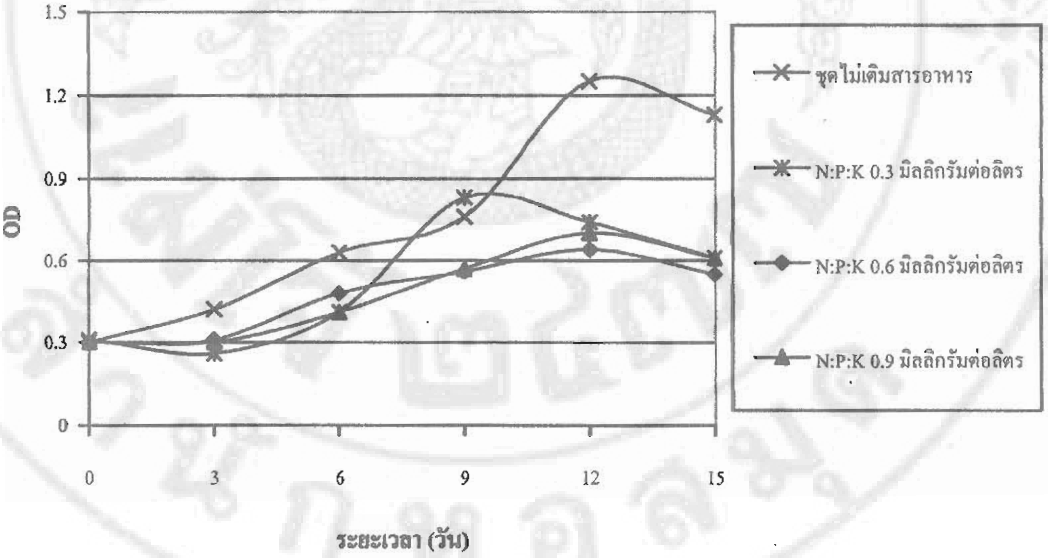

**ภาพ 18** การเจริญเติบโตของสาหร่าย *Spirulina platensis* ในการเพาะเลี้ยงสภาพกลางแจ้ง ที่เติมสารอาหาร $NaHCO_3$ ในความเข้มข้นที่ต่างกัน โดยวัด OD ที่ความยาวคลื่น 560 นาโนเมตร




**ภาพ 19** การเจริญเติบโตของสาหร่าย *Spirulina platensis* ในการเพาะเลี้ยงสภาพกลางแจ้ง ที่เติมสารอาหาร $K_2HPO_3$ ในความเข้มข้นที่ต่างกัน โดยวัด OD ที่ความยาวคลื่น 560 นาโนเมตร




**ภาพ 20** การเจริญเติบโตของสาหร่าย *Spirulina platensis* ในการเพาะเลี้ยงสภาพกลางแจ้ง ที่เติมสารอาหาร $NaNO_3$ ในความเข้มข้นที่ต่างกัน โดยวัด OD ที่ความยาวคลื่น 560 นาโนเมตร




**ภาพ 21** การเจริญเติบโตของสาหร่าย *Spirulina platensis* ในการเพาะเลี้ยงสภาพกลางแจ้ง ที่เติมสารอาหาร ปุ๋ย N:P:K ในความเข้มข้นที่ต่างกัน โดยวัด OD ที่ความยาวคลื่น 560 นาโนเมตร

**4. การเพาะเลี้ยงแบบกะ**

จากผลการทดลองการศึกษาหาปริมาณสารอาหารที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของสาหร่าย *Spirulina platensis* ที่เพาะเลี้ยงจากน้ำเสียหมักดองผักความเข้มข้น 60% โดยเติมสารอาหาร 4 ชนิด คือ $NaHCO_3$, $K_2HPO_3$, $NaNO_3$ และปุ๋ย N:P:K ที่ปริมาณสารอาหารต่างกัน 3 ระดับ พบว่า ระดับสารอาหารที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของ *Spirulina platensis* คือ $NaHCO_3$ 4.25 กรัมต่อลิตร, $K_2HPO_3$ 0.25 กรัมต่อลิตร, $NaNO_3$ 0.75 กรัมต่อลิตร และปุ๋ย N:P:K 0.3 กรัมต่อลิตร ในสภาพกลางแจ้ง โดยพิจารณาจากการเจริญเติบโตของสาหร่าย *Spirulina platensis* ที่มีจำนวนเซลล์สูงสุด ดังนั้น การเพาะเลี้ยงแบบกะ เป็นการศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสีย และระยะการเพาะเลี้ยงที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของสาหร่าย *Spirulina platensis* โดยทำการทดลองในบ่อซีเมนต์ทรงกลมปริมาตรการเพาะเลี้ยง 200 ลิตร ทำการเพาะเลี้ยงในสภาพกลางแจ้ง ระยะเวลา 15 วัน มีการตรวจวัดคุณภาพน้ำ และวัดการเจริญเติบโต ทุก ๆ วัน มี 2 ชุดการทดลอง ดังนี้

ชุดการทดลองที่ 1 การเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina platensis* ในน้ำเสียความเข้มข้น 60% ไม่เติมสารอาหาร

ชุดการทดลองที่ 2 การเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina platensis* ในน้ำเสีย 60% เติมสารอาหารที่ปริมาณเหมาะสม คือ $NaHCO_3$ 4.25 กรัมต่อลิตร, $K_2HPO_3$ 0.25 กรัมต่อลิตร, $NaNO_3$ 0.75 กรัมต่อลิตร และปุ๋ย N:P:K 0.3 กรัมต่อลิตร

**4.1 คุณภาพน้ำ** การตรวจวัดคุณภาพน้ำ ในการทดลอง พบว่า ระดับอุณหภูมิตลอดระยะเวลาการทดลอง อยู่ในช่วง 24.10 - 26.20 องศาเซลเซียส ส่วนระดับ pH หลังจากการเพาะเลี้ยงค่า pH มีแนวโน้มลดลงเล็กน้อย ค่า Conductivity อยู่ในช่วง 14,000 - 19,500 ไมโครซีเมนต์ต่อเซนติเมตร ผลการศึกษาการลดค่า BOD โดยสาหร่าย *Spirulina platensis* พบว่า วันที่ 12 ของการเพาะเลี้ยงสาหร่ายสามารถลดค่า BOD ได้ดีทั้ง 2 ชุดการทดลอง คือ ชุดการทดลองที่ 1 ค่า BOD เริ่มต้น 975 มิลลิกรัมต่อลิตร ลดลงเหลือ 171 มิลลิกรัมต่อลิตร ในวันที่ 12 และชุดการทดลองที่ 2 ค่า BOD เริ่มต้น 1,200 มิลลิกรัมต่อลิตร ลดลงเหลือ 311 มิลลิกรัมต่อลิตร ในวันที่ 12 ตามลำดับ ดังแสดงในตาราง 18 และภาพ 22 จากผลการทดลอง เมื่อทำการวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติพบว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ในวันที่ 15 ค่า BOD มีจำนวนเพิ่มขึ้น เนื่องจากเซลล์สาหร่ายบางส่วนที่ตายแล้วย่อยสลาย

ผลการศึกษาดังกล่าว พบว่า สาหร่าย *Spirulina platensis* สามารถลดค่า COD ได้มากที่สุดในวันที่ 12 ของการเพาะเลี้ยง ทั้ง 2 ชุดการทดลอง ดังแสดงในตาราง 19 และภาพ 23 คือ ชุดการ

ทดลองที่ 1 ค่า COD เริ่มต้น 1,280 มิลลิกรัมต่อลิตร ลดลงเหลือ 151 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนชุดการทดลองที่ 2 ค่า COD เริ่มต้น 2,350 มิลลิกรัมต่อลิตร ลดลงเหลือ 401 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ เมื่อทำการวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติพบว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

การลดลงของค่า TDS ดังแสดงในตาราง 20 และภาพ 24 พบว่า ชุดการทดลองที่ 1 ค่า TDS เริ่มต้น 27,650 มิลลิกรัมต่อลิตร ลดลงเหลือ 20,154 มิลลิกรัมต่อลิตร ในวันที่ 12 และชุดการทดลองที่ 2 ค่า TDS เริ่มต้น 29,690 มิลลิกรัมต่อลิตร ลดลงเหลือ 24,710 มิลลิกรัมต่อลิตร ในวันที่ 12 ตามลำดับ เมื่อทำการวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติพบว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

การเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina platensis* สามารถลดค่าออร์โธฟอสเฟต - ฟอสฟอรัส ได้มากที่สุดวันที่ 12 ของการเพาะเลี้ยง ดังแสดงในตาราง 21 และภาพ 25 ในชุดการทดลองที่ 1 ค่าออร์โธฟอสเฟต - ฟอสฟอรัส เริ่มต้น 83 มิลลิกรัมต่อลิตร ลดลงเหลือ 55 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนชุดการทดลองที่ 2 ค่าออร์โธฟอสเฟต - ฟอสฟอรัส เริ่มต้น 115 มิลลิกรัมต่อลิตร ลดลงเหลือ 48.56 ตามลำดับ เมื่อทำการวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติพบว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

จากผลการศึกษาความสามารถของสาหร่าย *Spirulina platensis* ในการลดค่าแอมโมเนีย - ไนโตรเจน ดังแสดงในตาราง 22 และภาพ 26 พบว่า ชุดการทดลองที่ 1 ค่าแอมโมเนีย - ไนโตรเจน เริ่มต้น 186 มิลลิกรัมต่อลิตร ลดลงเหลือ 64.40 มิลลิกรัมต่อลิตร ในวันที่ 12 และชุดการทดลองที่ 2 ค่าแอมโมเนีย - ไนโตรเจน เริ่มต้น 287 มิลลิกรัมต่อลิตร ลดลงเหลือ 126.71 มิลลิกรัมต่อลิตร ในวันที่ 12 ตามลำดับ เมื่อทำการวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติพบว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

ผลการศึกษาการลดค่าไนเตรท - ไนโตรเจน ดังแสดงในตาราง 23 และภาพ 27 พบว่า ชุดการทดลองที่ 1 ค่าไนเตรท - ไนโตรเจน เริ่มต้น 39 มิลลิกรัมต่อลิตร ลดลงเหลือ 22.60 มิลลิกรัมต่อลิตร ในวันที่ 12 และชุดการทดลองที่ 2 ค่าไนเตรท - ไนโตรเจน เริ่มต้น 665 มิลลิกรัมต่อลิตร ลดลงเหลือ 406.71 มิลลิกรัมต่อลิตร ในวันที่ 12 ตามลำดับ เมื่อทำการวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติพบว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

**4.2 การเจริญเติบโต** ผลการศึกษาอัตราการเจริญเติบโตของสาหร่าย *Spirulina platensis* โดยการวัดค่า OD ที่ความยาวคลื่น 560 นาโนเมตร ดังแสดงในตาราง 35 (ภาคผนวก ก) พบว่า ชุดการทดลองที่ 1 ค่า OD เท่ากับ 1.36 จำนวนเซลล์ $1.73\times10^5$ เซลล์ต่อมิลลิลิตร ส่วนชุดการทดลองที่ 2 ค่า OD เท่ากับ 1.08 จำนวนเซลล์ $1.36\times10^5$ เซลล์ต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ เมื่อทำการวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติพบว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

การทดลองแบบกะ เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียของสาหร่าย *Spirulina platensis* และระยะเวลาการเพาะเลี้ยงที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของสาหร่าย จากผลการ

ทดลอง พบว่า ระยะเวลาการเก็บกักที่เหมาะสม คือ วันที่ 12 ของการเพาะเลี้ยงระยะเวลา 15 วัน สาหร่ายมีการเจริญเติบโต และบำบัดน้ำเสียได้ดีที่สุด และในชุดการทดลองที่ไม่เติมสารอาหาร สามารถลดค่า BOD ได้ดีที่สุด ค่า BOD เริ่มต้น 975 มิลลิกรัมต่อลิตร ลดลงเหลือ 171 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนชุดการทดลองที่เติมสารอาหาร ค่า BOD เริ่มต้น 1,200 มิลลิกรัมต่อลิตร ลดลงเหลือ 311 มิลลิกรัมต่อลิตร แสดงให้เห็นว่า ชุดการทดลองที่ไม่เติมสารอาหาร มีค่า BOD ต่ำกว่า ดังนั้น การพิจารณาในการบำบัดคุณภาพน้ำให้ดีขึ้น ควรคำนึงถึงค่าเริ่มต้นความสกปรกของน้ำเสียด้วย เพราะค่าความสกปรกของน้ำสูง ทำให้ยากต่อการบำบัดคุณภาพน้ำให้ดีขึ้น และในชุดการทดลองไม่เติมสารอาหารมีการเจริญเติบโตของสาหร่ายได้ดีกว่าในชุดการทดลองเติมสารอาหาร โดยมีค่า OD สูงกว่า คือ 1.36 จำนวนเซลล์สาหร่าย $1.73 \times 10^5$ เซลล์ต่อมิลลิลิตร เนื่องจาก สาหร่าย *Spirulina platensis* ทนต่อความเค็มในน้ำเสีย จะมีการกลไกการตอบสนองความเค็มของเกลือในน้ำเสียหมักดองผัก ซึ่งทำให้มีการปรับตัวจนสามารถเจริญเติบโตในอาหารที่มีความเค็มสูงได้ และมีอัตราการสังเคราะห์แสงสูง เนื่องจาก สาหร่ายต้องการพลังงานในการปรับสมดุลอิออนมากขึ้น จึงมีการสังเคราะห์คลอโรฟิลล์ เพื่อเพิ่มอัตราการสังเคราะห์แสงมากขึ้น ดังนั้น น้ำเสียจากโรงงานหมักดองผักมีคุณลักษณะที่สาหร่าย *Spirulina platensis* สามารถเติบโตได้ดี โดยที่ไม่ต้องเติมสารอาหาร

**ตาราง 18** ปริมาณ BOD ในน้ำเสียหมักดองผักความเข้มข้น 60% ที่ใช้เพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina platensis* แบบกะ

| ชุดการทดลอง | BOD (มิลลิกรัมต่อลิตร) | | | | | | | | | | | | | | | | BOD ลดลง (มิลลิกรัมต่อลิตร) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | วันที่ 0 | วันที่ 1 | วันที่ 2 | วันที่ 3 | วันที่ 4 | วันที่ 5 | วันที่ 6 | วันที่ 7 | วันที่ 8 | วันที่ 9 | วันที่ 10 | วันที่ 11 | วันที่ 12 | วันที่ 13 | วันที่ 14 | วันที่ 15 | |
| ชุดการทดลอง ที่ 1 (ไม่เติมสารอาหาร) | 975 | 940 | 961 | 981 | 812 | 730 | 637 | 680 | 526 | 421 | 430 | 264 | 171 | 194 | 178 | 209 | 804[A] |
| ชุดการทดลอง ที่ 2 (เติมสารอาหาร) | 1200 | 1143 | 1180 | 1237 | 1138 | 1039 | 934 | 637 | 617 | 683 | 702 | 526 | 311 | 402 | 371 | 402 | 889[B] |

**หมายเหตุ:** อักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกัน แสดงถึงข้อมูลมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

**ตาราง 19** ปริมาณ COD ในน้ำเสียหมักดองผักความเข้มข้น 60% ที่ใช้เพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina platensis* แบบกะ

| ชุดการทดลอง | COD (มิลลิกรัมต่อลิตร) | | | | | | | | | | | | | | | | COD ลดลง (มิลลิกรัมต่อลิตร) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | วันที่ 0 | วันที่ 1 | วันที่ 2 | วันที่ 3 | วันที่ 4 | วันที่ 5 | วันที่ 6 | วันที่ 7 | วันที่ 8 | วันที่ 9 | วันที่ 10 | วันที่ 11 | วันที่ 12 | วันที่ 13 | วันที่ 14 | วันที่ 15 | |
| ชุดการทดลอง ที่ 1 (ไม่เติมสารอาหาร) | 1280 | 1240 | 1290 | 1310 | 1230 | 940 | 732 | 840 | 652 | 417 | 512 | 307 | 151 | 184 | 153 | 160 | 1,429[B] |
| ชุดการทดลอง ที่ 2 (เติมสารอาหาร) | 2350 | 2210 | 2370 | 2420 | 2041 | 1580 | 980 | 750 | 642 | 675 | 602 | 618 | 401 | 425 | 412 | 439 | 1,919[A] |

**หมายเหตุ:** อักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกัน แสดงถึงข้อมูลมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

**ตาราง 20** ปริมาณ TDS ในน้ำเสียหมักดองผักความเข้มข้น 60% ที่ใช้เพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina platensis* แบบกะ

| ชุดการทดลอง | TDS (มิลลิกรัมต่อลิตร) | | | | | | | | | | | | | | | | TDS ลดลง (มิลลิกรัมต่อลิตร) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | วันที่ 0 | วันที่ 1 | วันที่ 2 | วันที่ 3 | วันที่ 4 | วันที่ 5 | วันที่ 6 | วันที่ 7 | วันที่ 8 | วันที่ 9 | วันที่ 10 | วันที่ 11 | วันที่ 12 | วันที่ 13 | วันที่ 14 | วันที่ 15 | |
| ชุดการทดลอง ที่ 1 (ไม่เติมสารอาหาร) | 27650 | 27524 | 24671 | 27810 | 25031 | 25412 | 22023 | 22315 | 22128 | 22036 | 22174 | 22405 | 20397 | 20154 | 20406 | 22524 | 7253$^{A}$ |
| ชุดการทดลอง ที่ 2 (เติมสารอาหาร) | 29690 | 29320 | 29521 | 29730 | 26451 | 26320 | 25267 | 25341 | 26001 | 25618 | 25845 | 25320 | 24710 | 25131 | 25360 | 26786 | 1980$^{B}$ |

**หมายเหตุ:** อักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกัน แสดงถึงข้อมูลมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

**ตาราง 21** ปริมาณ ออร์โธฟอสเฟต - ฟอสฟอรัส ในน้ำเสียหมักดองผักความเข้มข้น 60% ที่ใช้เพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina platensis* แบบกะ

| ชุดการทดลอง | ออร์โธฟอตเฟส - ฟอสฟอรัส (มิลลิกรัมต่อลิตร) | | | | | | | | | | | | | | | | ออร์โธฟอตเฟส - ฟอสฟอรัส ลดลง (มิลลิกรัมต่อลิตร) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | วันที่ 0 | วันที่ 1 | วันที่ 2 | วันที่ 3 | วันที่ 4 | วันที่ 5 | วันที่ 6 | วันที่ 7 | วันที่ 8 | วันที่ 9 | วันที่ 10 | วันที่ 11 | วันที่ 12 | วันที่ 13 | วันที่ 14 | วันที่ 15 | |
| ชุดการทดลอง ที่ 1 (ไม่เติมสารอาหาร) | 83 | 62.70 | 65.12 | 71.26 | 65.21 | 43.02 | 37.48 | 41.32 | 45.06 | 46.70 | 41 | 38.41 | 28.31 | 30.05 | 31.52 | 37.55 | 54.69$^{B}$ |
| ชุดการทดลอง ที่ 2 (เติมสารอาหาร) | 115 | 118 | 102 | 108 | 112 | 96.21 | 63.51 | 58.62 | 61.74 | 71.38 | 68.02 | 69.45 | 52.45 | 48.56 | 57.04 | 67.51 | 62.55$^{A}$ |

**หมายเหตุ:** อักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกัน แสดงถึงข้อมูลมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

**ตาราง 22** ปริมาณ แอมโมเนีย - ไนโตรเจน ในน้ำเสียหมักดองผักความเข้มข้น 60% ที่ใช้เพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina platensis* แบบกะ

| ชุดการทดลอง | แอมโมเนีย - ไนโตรเจน (มิลลิกรัมต่อลิตร) | | | | | | | | | | | | | | | | แอมโมเนีย - ไนโตรเจน ลดลง (มิลลิกรัมต่อลิตร) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | วันที่ 0 | วันที่ 1 | วันที่ 2 | วันที่ 3 | วันที่ 4 | วันที่ 5 | วันที่ 6 | วันที่ 7 | วันที่ 8 | วันที่ 9 | วันที่ 10 | วันที่ 11 | วันที่ 12 | วันที่ 13 | วันที่ 14 | วันที่ 15 | |
| ชุดการทดลอง ที่ 1 (ไม่เติมสารอาหาร) | 186 | 184 | 175 | 171 | 153 | 155 | 127 | 114 | 101 | 86.32 | 74.12 | 68.50 | 64.40 | 71.02 | 69.45 | 77.69 | 121.60$^{B}$ |
| ชุดการทดลอง ที่ 2 (เติมสารอาหาร) | 287 | 270.36 | 245.21 | 260.56 | 230.45 | 207.15 | 134.20 | 125.30 | 130.80 | 150.70 | 136.61 | 145.12 | 126.71 | 130.50 | 127.06 | 176.10 | 160.30$^{A}$ |

**หมายเหตุ:** อักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกัน แสดงถึงข้อมูลมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

**ตาราง 23** ปริมาณ ไนเตรท - ไนโตรเจน ในน้ำเสียหมักดองผักความเข้มข้น 60% ที่ใช้เพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina platensis* แบบกะ

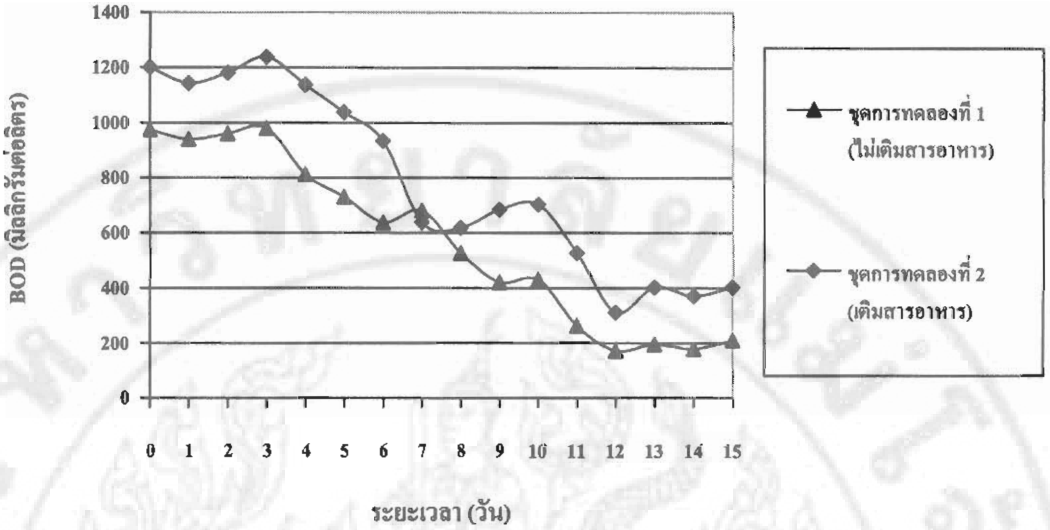
| ชุดการทดลอง | ไนเตรท - ไนโตรเจน (มิลลิกรัมต่อลิตร) | | | | | | | | | | | | | | | | ไนเตรท - ไนโตรเจน ลดลง (มิลลิกรัมต่อลิตร) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | วันที่ 0 | วันที่ 1 | วันที่ 2 | วันที่ 3 | วันที่ 4 | วันที่ 5 | วันที่ 6 | วันที่ 7 | วันที่ 8 | วันที่ 9 | วันที่ 10 | วันที่ 11 | วันที่ 12 | วันที่ | วันที่ 14 | วันที่ 15 | |
| ชุดการทดลอง ที่ 1 (ไม่เติมสารอาหาร) | 39 | 33.42 | 37.06 | 44.30 | 38.17 | 45.13 | 40.68 | 36.02 | 38.46 | 28.34 | 26.10 | 28.09 | 22.60 | 24.1 | 26 | 27.79 | 16.40$^{B}$ |
| ชุดการทดลอง ที่ 2 (เติมสารอาหาร) | 665 | 640 | 651 | 681 | 645 | 659 | 580 | 540 | 560 | 567 | 520 | 508 | 407 | 421 | 437 | 521 | 258$^{A}$ |

**หมายเหตุ:** อักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกัน แสดงถึงข้อมูลมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

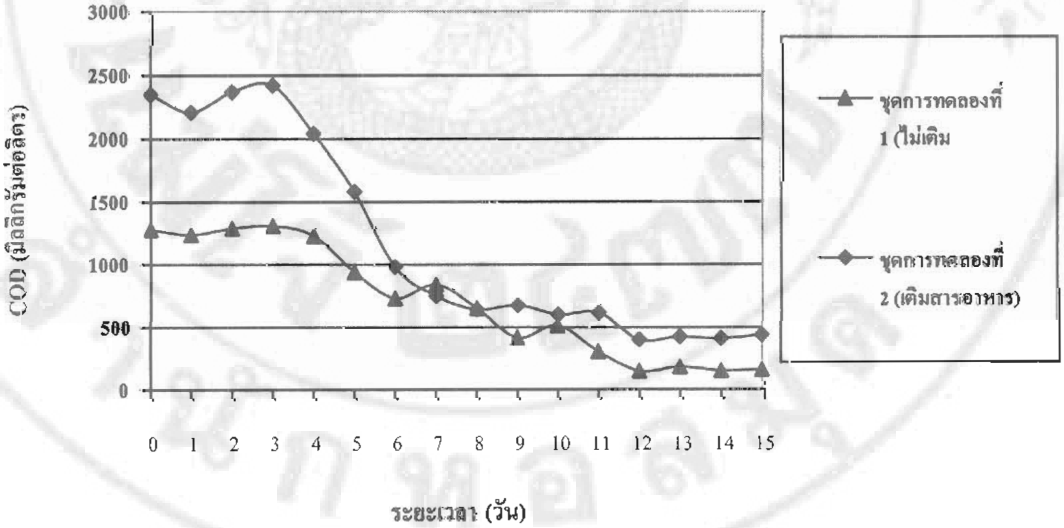
**ตาราง 24** การเจริญเติบโตของสาหร่าย *Spirulina platensis* ที่เพาะเลี้ยงในน้ำเสียความเข้มข้น 60% แบบกะ โดยวัด OD ที่ความยาวคลื่น 560 นาโนเมตร

| ชุดการทดลอง | OD | | | | | | | | | | | | | | | | OD สูงสุด |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | วันที่ 0 | วันที่ 1 | วันที่ 2 | วันที่ 3 | วันที่ 4 | วันที่ 5 | วันที่ 6 | วันที่ 7 | วันที่ 8 | วันที่ 9 | วันที่ 10 | วันที่ 11 | วันที่ 12 | วันที่ 13 | วันที่ 14 | วันที่ 15 | |
| ชุดการทดลอง ที่ 1 (ไม่เติมสารอาหาร) | 0.37 | 0.29 | 0.12 | 0.45 | 0.47 | 0.35 | 0.71 | 0.41 | 0.84 | 1.24 | 1.17 | 1.08 | 1.36 | 1.04 | 1.13 | 1.10 | 1.36^A^ |
| ชุดการทดลอง ที่ 2 (เติมสารอาหาร) | 0.26 | 0.28 | 0.33 | 0.31 | 0.51 | 0.37 | 0.48 | 0.35 | 0.62 | 1.03 | 1.05 | 0.87 | 1.08 | 0.67 | 0.74 | 0.74 | 1.08^A^ |

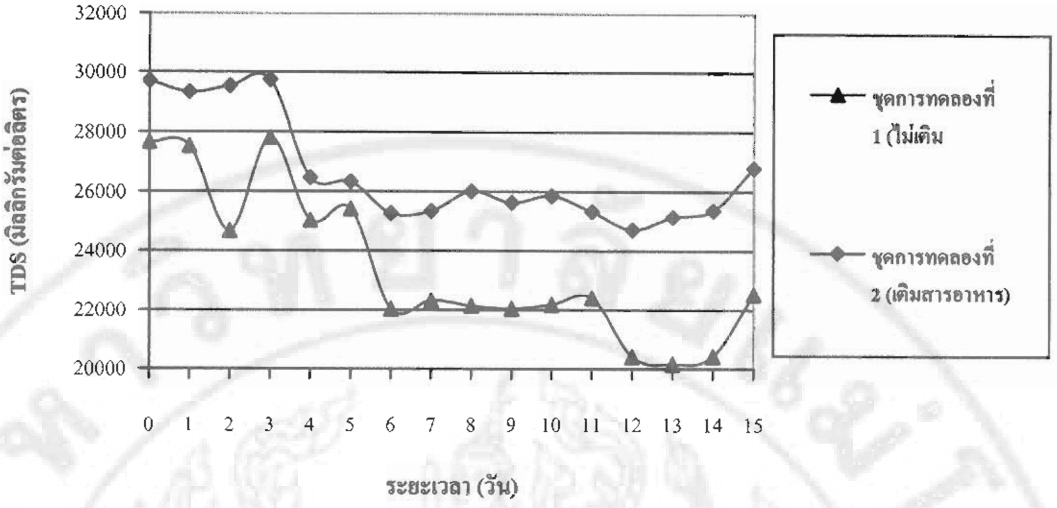
**หมายเหตุ:** อักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกัน แสดงถึงข้อมูลมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95



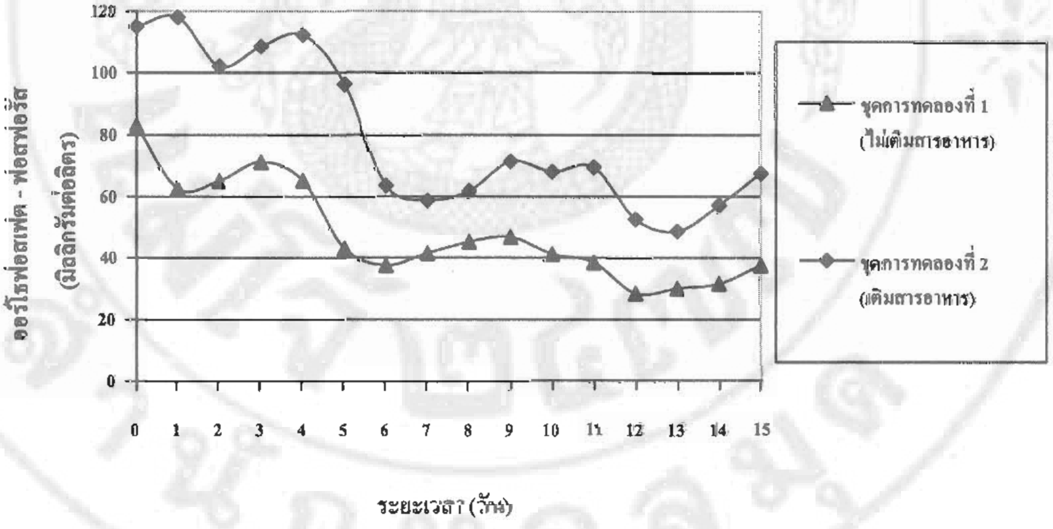

**ภาพ 22** ปริมาณ BOD ในน้ำเสียหมักดองผักความเข้มข้น 60% ที่ใช้เพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina platensis* แบบกะ



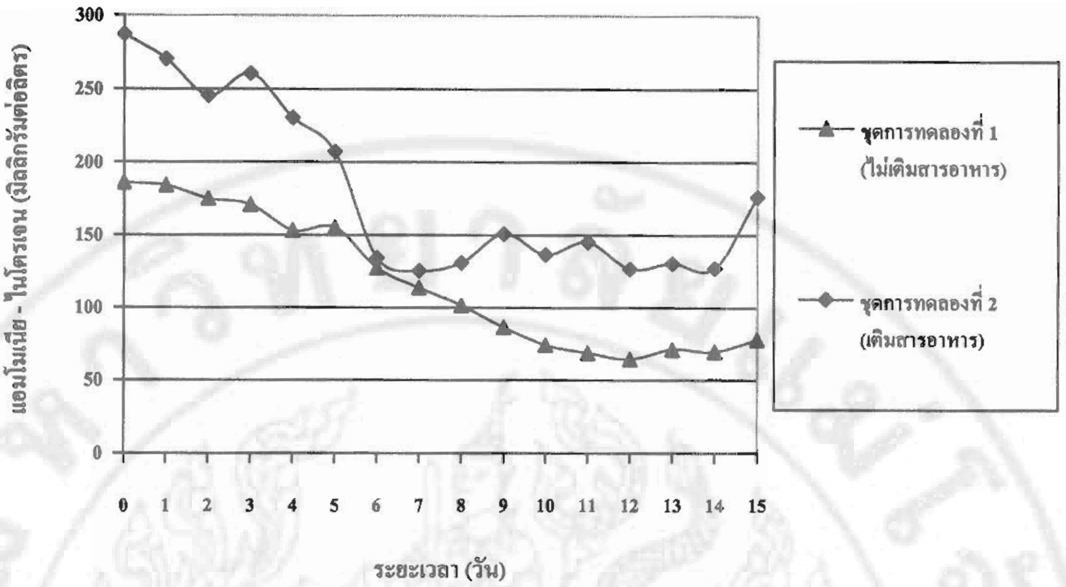

**ภาพ 23** ปริมาณ COD ในน้ำเสียหมักดองผักความเข้มข้น 60% ที่ใช้เพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina platensis* แบบกะ



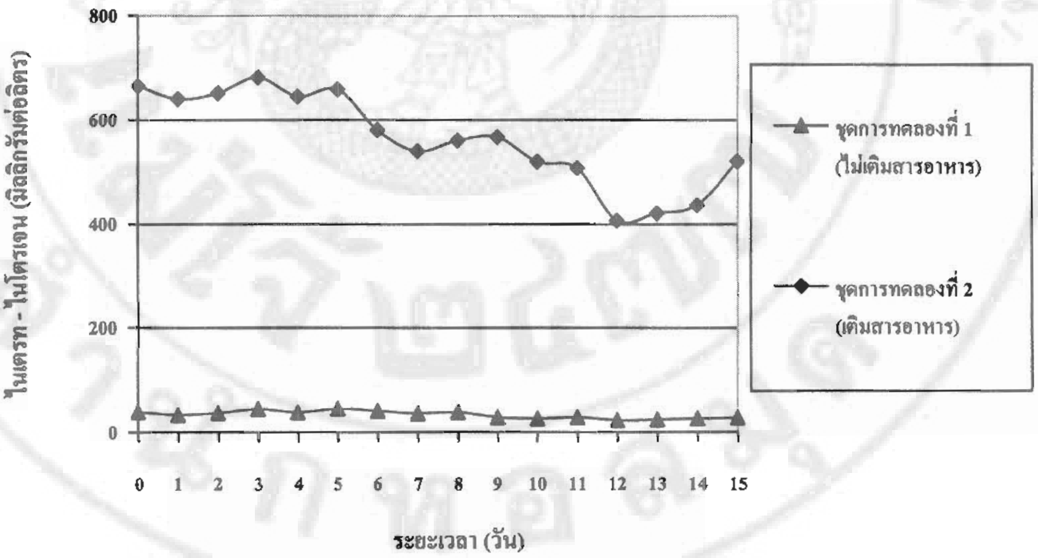

**ภาพ 24** ปริมาณ TDS ในน้ำเสียหมักดองผักความเข้มข้น 60% ที่ใช้เพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina platensis* แบบกะ



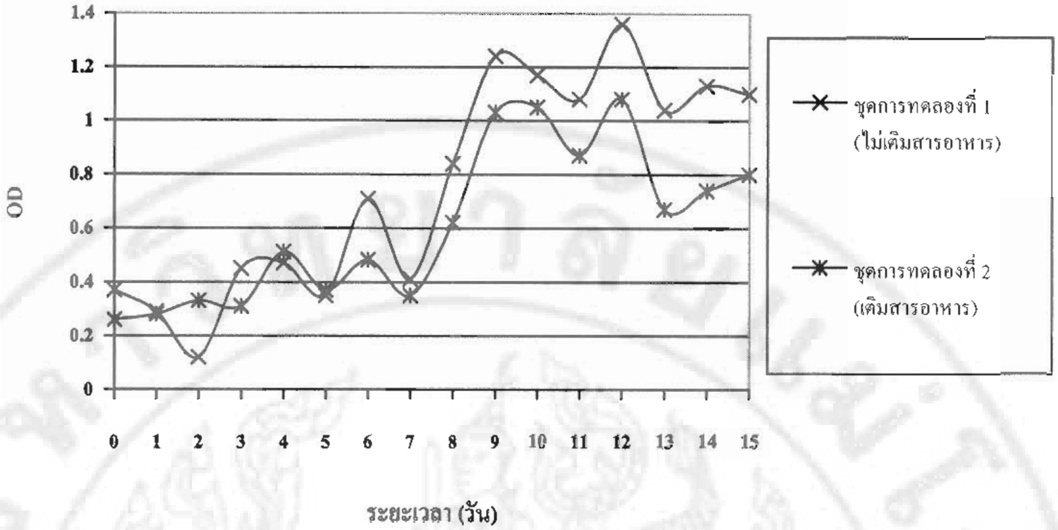

**ภาพ 25** ปริมาณ ออร์โธฟอสเฟต - ฟอสฟอรัส ในน้ำเสียหมักดองผักความเข้มข้น 60% ที่ใช้เพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina platensis* แบบกะ




**ภาพ 26** ปริมาณ แอมโมเนีย - ไนโตรเจน ในน้ำเสียหมักดองผักความเข้มข้น 60% ที่ใช้เพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina platensis* แบบกะ




**ภาพ 27** ปริมาณ ไนเตรท - ไนโตรเจน ในน้ำเสียหมักดองผักความเข้มข้น 60% ที่ใช้เพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina platensis* แบบกะ




**ภาพ 28** การเจริญเติบโตของสาหร่าย *Spirulina platensis* ในการเพาะเลี้ยง แบบกะ โดยวัด OD ที่ความยาวคลื่น 560 นาโนเมตร

## 5. การเพาะเลี้ยง แบบกึ่งต่อเนื่อง

จากผลการทดลองที่ 4 พบว่า การเจริญเติบโตของสาหร่าย *Spirulina platensis* ดีที่สุด และบำบัดน้ำเสียได้ดี คือ ชุดการทดลองไม่เติมสารอาหาร และระยะเวลาการกักเก็บที่ดีที่สุด คือ วันที่ 12 ของการเพาะเลี้ยง จึงทำทดลองขั้นตอนต่อไป เพื่อนำไปประยุกต์ในการบำบัดน้ำเสียได้จริง โดยทำการเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina platensis* แบบกึ่งต่อเนื่อง ในบ่อวงรี (diversion dicth) ขนาดปริมาตร 1,500 ลูกบาศก์เมตร มีชุดการทดลองดังนี้

ชุดการทดลองที่ 1 การเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina platensis* ในน้ำเสียหมักดองผักความเข้มข้น 60% ไม่เติมสารอาหาร

ชุดการทดลองที่ 2 การเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina platensis* ในน้ำเสียหมักดองผักความเข้มข้น 60% เติมสารอาหารที่เหมาะสม คือ $NaHCO_3$ 4.25 กรัมต่อลิตร, $K_2HPO_3$ 0.25 กรัมต่อลิตร, $NaNO_3$ 0.75 กรัมต่อลิตร และปุ๋ย N:P:K 0.3 กรัมต่อลิตร

ในการเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina platensis* ในบ่อเวียนแบบกึ่งต่อเนื่อง ตลอดระยะเวลาในการทำการทดลองมีถ่ายน้ำออกจากระบบทุกวัน และการเติมน้ำเสียความเข้มข้น 60% เข้าไปตามจำนวนเท่าเดิมในบ่อการเพาะเลี้ยง โดยกรองเซลล์สาหร่ายกลับไว้ในบ่อเพาะเลี้ยงตามเดิม และทำการตรวจวัดคุณภาพน้ำ และวัดการเจริญเติบโตทุก ๆ 3 วัน ตลอดระยะเวลาการเพาะเลี้ยง ได้ผลการทดลองดังนี้

**5.1 คุณภาพน้ำ** ผลการตรวจวัดคุณภาพน้ำ และอุณหภูมิของน้ำในระหว่างการเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina platensis* ในน้ำเสียจากโรงงานหมักดอง พบว่า ชุดการทดลองที่ 1 มีการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิของน้ำเข้า และน้ำออก อยู่ในช่วง 23.80 - 24.00 องศาเซลเซียล ชุดการทดลองที่ 2 น้ำเข้า และน้ำออก อยู่ในช่วง 23.80 - 24.30 องศาเซลเซียล

ผลการตรวจวัดค่า pH ของน้ำเสียในการทดลอง พบว่า ชุดการทดลองที่ 1 และชุดการทดลองที่ 2 น้ำเข้า - น้ำออก มีค่า pH อยู่ในช่วง 9.5 - 9.8 และ 9.5 - 9.6 ตามลำดับ ในการทดลองมีการปรับค่า pH ให้อยู่ในช่วง 9.5 - 10.5 หลังการทดลอง พบว่า pH มีแนวโน้มลดลง และค่า Conductivity อยู่ในช่วง 13,300 - 20,250 ไมโครซีเมนต์ต่อเซนติเมตร

ผลการศึกษา *Spirulina platensis* ในการลดค่า TDS ได้ในน้ำเสียจากโรงงานหมักดอง เมื่อระยะเวลาการเพาะเลี้ยงผ่านไป 30 วัน ดังแสดงในตาราง 25 และภาพ 29 พบว่า ชุดการทดลองที่ 1 ค่า TDS เริ่มต้น 26,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ลดลงเหลือ 20,250 มิลลิกรัมต่อลิตร ในวันที่ 27 ชุดการทดลองที่ 2 ค่า TDS เริ่มต้น 31,500 มิลลิกรัมต่อลิตร ลดลงเหลือ 26,600 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ เมื่อทำการวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติพบว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

ผลการวิเคราะห์หาการลดค่า BOD ดังแสดงในตาราง 26 และภาพ 30 พบว่า ชุดการทดลองที่ 1 ค่า BOD เริ่มต้น 1,050 มิลลิกรัมต่อลิตร ลดลงเหลือ 230 มิลลิกรัมต่อลิตร ในวันที่ 12 ชุดการทดลองที่ 2 ค่า BOD เริ่มต้น 1,350 มิลลิกรัมต่อลิตร ลดลงเหลือ 410 มิลลิกรัมต่อลิตร ในวันที่ 12 ตามลำดับ เมื่อทำการวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติพบว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

การศึกษาการลดค่า COD ดังแสดงในตาราง 27 และ ภาพ 31 พบว่า ชุดการทดลองที่ 1 ค่า COD เริ่มต้น 1,900 มิลลิกรัมต่อลิตร ลดลงเหลือ 254 มิลลิกรัมต่อลิตร ในวันที่ 12 ชุดการทดลองที่ 2 ค่า COD เริ่มต้น 2,450 มิลลิกรัมต่อลิตร ลดลงเหลือ 457 มิลลิกรัมต่อลิตร ในวันที่ 12 ตามลำดับ เมื่อทำการวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติพบว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

การเพาะเลี้ยง *Spirulina platensis* สามารถลดค่าออร์โธฟอสเฟต - ฟอสฟอรัส ดังแสดงในตาราง 28 และภาพ 32 พบว่า ชุดการทดลองที่ 1 ค่าออร์โธฟอสเฟต - ฟอสฟอรัส เริ่มต้น 103 มิลลิกรัมต่อลิตร ลดลงเหลือ 78 มิลลิกรัมต่อลิตร ในวันที่ 18 ชุดการทดลองที่ 2 ค่าออร์โธฟอสเฟต - ฟอสฟอรัส เริ่มต้น 348 มิลลิกรัมต่อลิตร ลดลงเหลือ 261 มิลลิกรัมต่อลิตร ในวันที่ 15 ตามลำดับ เมื่อทำการวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติพบว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

การเพาะเลี้ยง *Spirulina platensis* สามารถลดค่าแอมโมเนีย - ไนโตรเจน ดังแสดงในตาราง 29 และภาพ 33 พบว่า ชุดการทดลองที่ 1 ค่าแอมโมเนีย - ไนโตรเจน เริ่มต้น 9.78 มิลลิกรัมต่อลิตร ลดลงเหลือ 7.42 มิลลิกรัมต่อลิตร ในวันที่ 27 ชุดการทดลองที่ 2 ค่าแอมโมเนีย - ไนโตรเจน เริ่มต้น 58 มิลลิกรัมต่อลิตร ลดลงเหลือ 7.45 มิลลิกรัมต่อลิตร ในวันที่ 24 ตามลำดับ เมื่อทำการวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติพบว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

ผลการศึกษาการลดค่าไนเตรท - ไนโตรเจน ดังแสดงในตาราง 30 และภาพ 34 พบว่า ค่าไนเตรท - ไนโตรเจน พบว่า ชุดการทดลองที่ 1 ค่าไนเตรท - ไนโตรเจน เริ่มต้น 27.12 มิลลิกรัมต่อลิตร ลดลงเหลือ 24.99 มิลลิกรัมต่อลิตร ในวันที่ 30 ชุดการทดลองที่ 2 ค่าไนเตรท - ไนโตรเจน เริ่มต้น 45.30 มิลลิกรัมต่อลิตร ลดลงเหลือ 20.58 มิลลิกรัมต่อลิตร ในวันที่ 24 ตามลำดับ เมื่อทำการวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติพบว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

**5.2 การเจริญเติบโต** ผลการศึกษาอัตราการเจริญเติบโตของสาหร่าย *Spirulina platensis* ดังแสดงในตาราง 31 และภาพ 35 พบว่า ชุดการทดลองที่ 1 มีค่า OD เท่ากับ 1.904 จำนวนเซลล์ $2.42\times10^5$ เซลล์ต่อมิลลิลิตร ดังแสดงในตาราง 36 (ภาคผนวก ก) ส่วนชุดการทดลองที่ 2 ดังแสดงในตาราง 31 และภาพ 35 มีค่า OD เท่ากับ 1.270 และจำนวนเซลล์ เท่ากับ $1.59\times10^5$ เซลล์ต่อมิลลิลิตร ดังแสดงในตาราง 36 (ภาคผนวก ก) เมื่อทำการวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติพบว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

การเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina platensis* แบบกึ่งต่อเนื่อง เป็นการเพาะเลี้ยงในระบบที่ใหญ่ขึ้น และเป็นระบบการบำบัดน้ำเสียได้จริง โดยเก็บน้ำเสียจากโรงงานหมักดองผักทุกวัน ตลอดระยะเวลาการเพาะเลี้ยง มีการเติมน้ำเข้า และถ่ายน้ำออกระบบทุกวัน และตรวจวัดคุณภาพน้ำทุก 3 วัน เพื่อทดสอบการบำบัดคุณภาพน้ำของสาหร่าย *Spirulina platensis* มีประสิทธิภาพในการลดค่าความสกปรกของน้ำได้ดีเพียงใด จากผลการทดลอง สรุปได้ว่า สาหร่ายสามารถลดค่าความสกปรกของน้ำเสียจากโรงงานหมักดองได้ดี คือ ในชุดการทดลองไม่เติมสารอาหาร สามารถลดค่า COD ของน้ำเสียได้ 1,646 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่า COD ลดลงได้ดีที่สุดในวันที่ 15 ของการเพาะเลี้ยง จากค่าเริ่มต้น 1,900 มิลลิกรัมต่อลิตร ลดลงเหลือ 254 มิลลิกรัมต่อลิตร และชุดการทดลองเติมสารอาหาร ค่า COD ลดลงได้ 1,993 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่า COD ลดลงได้ดีที่สุดในวันที่ 15 ของการเพาะเลี้ยง จากค่าเริ่มต้น 2,450 มิลลิกรัมต่อลิตร ลดลงเหลือ 457 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อพิจารณาจากการลดลงของค่า COD ให้มีค่าต่ำที่สุด เพื่อเป็นการบำบัดที่มีประสิทธิภาพก่อนจะปล่อยน้ำลงสู่แหล่งธรรมชาติ การทดลองในชุดไม่เติมสารอาหารสามารถลดค่า COD ให้มีค่าความสกปรกต่ำที่สุด คือ ค่า COD 254 มิลลิกรัมต่อลิตร ในชุดการทดลองไม่เติมสารอาหาร ดังนั้น สาหร่าย *Spirulina platensis* มีประสิทธิภาพในการบำบัดคุณภาพได้ดีที่สุด ในชุดการทดลองไม่เติมสารอาหาร และสามารถเจริญเติบโตได้ดีด้วยเช่นกัน มีค่า OD 1.904 จำนวนเซลล์ เท่ากับ $2.42\times10^5$ เซลล์ต่อมิลลิลิตร

**ตาราง 25** ปริมาณ TDS ในน้ำเสียหมักดองผักความเข้มข้น 60% ที่ใช้เพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina platensis* แบบกึ่งต่อเนื่อง

| ชุดการทดลอง | TDS (มิลลิกรัมต่อลิตร) | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | วันที่ 1 | วันที่ 3 | วันที่ 6 | วันที่ 9 | วันที่ 12 | วันที่ 15 | วันที่ 18 | วันที่ 21 | วันที่ 24 | วันที่ 27 | วันที่ 30 | TDS ลดลง (มิลลิกรัมต่อลิตร) |
| ชุดการทดลอง ที่ 1 (ไม่เติมสารอาหาร) | 26000 | 24244 | 22023 | 21100 | 20256 | 20428 | 20428 | 21010 | 20418 | 20300 | 21410 | 5,744[A] |
| ชุดการทดลอง ที่ 2 (เติมสารอาหาร) | 31500 | 28950 | 27020 | 26900 | 26600 | 26687 | 26780 | 26915 | 26610 | 26780 | 26716 | 4,900[B] |

**หมายเหตุ:** อักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกัน แสดงถึงข้อมูลมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

**ตาราง 26** ปริมาณ BOD ในน้ำเสียหมักดองผักความเข้มข้น 60% ที่ใช้เพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina platensis* แบบกึ่งต่อเนื่อง

| ชุดการทดลอง | BOD (มิลลิกรัมต่อลิตร) | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | วันที่ 1 | วันที่ 3 | วันที่ 6 | วันที่ 9 | วันที่ 12 | วันที่ 15 | วันที่ 18 | วันที่ 21 | วันที่ 24 | วันที่ 27 | วันที่ 30 | BOD ลดลง (มิลลิกรัมต่อลิตร) |
| ชุดการทดลอง ที่ 1 (ไม่เติมสารอาหาร) | 1050 | 1000 | 700 | 455 | 230 | 246 | 410 | 395 | 400 | 430 | 420 | 820[B] |
| ชุดการทดลอง ที่ 2 (เติมสารอาหาร) | 1350 | 1260 | 886 | 623 | 410 | 475 | 520 | 502 | 590 | 595 | 589 | 940[A] |

**หมายเหตุ:** อักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกัน แสดงถึงข้อมูลมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

**ตาราง 27** ปริมาณ COD ในน้ำเสียหมักดองผักความเข้มข้น 60% ที่ใช้เพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina platensis* แบบกึ่งต่อเนื่อง

| ชุดการทดลอง | COD (มิลลิกรัมต่อลิตร) | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | วันที่ 1 | วันที่ 3 | วันที่ 6 | วันที่ 9 | วันที่ 12 | วันที่ 15 | วันที่ 18 | วันที่ 21 | วันที่ 24 | วันที่ 27 | วันที่ 30 | COD ลดลง (มิลลิกรัมต่อลิตร) |
| ชุดการทดลอง ที่ 1 (ไม่เติมสารอาหาร) | 1900 | 1655 | 980 | 508 | 254 | 271 | 301 | 345 | 338 | 290 | 271 | 1,646$^{B}$ |
| ชุดการทดลอง ที่ 2 (เติมสารอาหาร) | 2450 | 2420 | 1766 | 787 | 457 | 501 | 519 | 542 | 558 | 520 | 530 | 1,993$^{A}$ |

**หมายเหตุ:** อักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกัน แสดงถึงข้อมูลมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

**ตาราง 28** ปริมาณ ออร์โธฟอสเฟต - ฟอสฟอรัส ในน้ำเสียหมักดองผักความเข้มข้น 60% ที่ใช้เพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina platensis* แบบกึ่งต่อเนื่อง

| ชุดการทดลอง | ออร์โธฟอสเฟต - ฟอสฟอรัส (มิลลิกรัมต่อลิตร) | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | วันที่ 1 | วันที่ 3 | วันที่ 6 | วันที่ 9 | วันที่ 12 | วันที่ 15 | วันที่ 18 | วันที่ 21 | วันที่ 24 | วันที่ 27 | วันที่ 30 | ออร์โธฟอสเฟต - ฟอสฟอรัส ลดลง (มิลลิกรัมต่อลิตร) |
| ชุดการทดลอง ที่ 1 (ไม่เติมสารอาหาร) | 103.25 | 90.03 | 82.15 | 79.62 | 78.8 | 78.54 | 78.45 | 78.43 | 78.44 | 78.43 | 78.40 | 24.85$^{B}$ |
| ชุดการทดลอง ที่ 2 (เติมสารอาหาร) | 348 | 299 | 275 | 265 | 262.5 | 261.4 | 261.2 | 261.4 | 261 | 261.2 | 261.2 | 87.00$^{A}$ |

**หมายเหตุ:** อักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกัน แสดงถึงข้อมูลมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

**ตาราง 29** ปริมาณ แอมโมเนีย - ไนโตรเจน ในน้ำเสียหมักดองผักความเข้มข้น 60% ที่ใช้เพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina platensis* แบบกึ่งต่อเนื่อง

| ชุดการทดลอง | แอมโมเนีย - ไนโตรเจน (มิลลิกรัมต่อลิตร) | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | วันที่ 1 | วันที่ 3 | วันที่ 6 | วันที่ 9 | วันที่ 12 | วันที่ 15 | วันที่ 18 | วันที่ 21 | วันที่ 24 | วันที่ 27 | วันที่ 30 | แอมโมเนีย - ไนโตรเจน ลดลง (มิลลิกรัมต่อลิตร) |
| ชุดการทดลอง ที่ 1 (ไม่เติมสารอาหาร) | 9.78 | 8.54 | 7.79 | 7.55 | 7.47 | 7.44 | 7.48 | 7.51 | 7.44 | 7.42 | 7.44 | $2.34^B$ |
| ชุดการทดลอง ที่ 2 (เติมสารอาหาร) | 58 | 31.09 | 15 | 9.85 | 8.21 | 7.68 | 7.52 | 7.46 | 7.45 | 7.47 | 7.47 | $50.55^A$ |

**หมายเหตุ:** อักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกัน แสดงถึงข้อมูลมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

**ตาราง 30** ปริมาณ ไนเตรท - ไนโตรเจน ในน้ำเสียหมักดองผักความเข้มข้น 60% ที่ใช้เพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina platensis* แบบกึ่งต่อเนื่อง

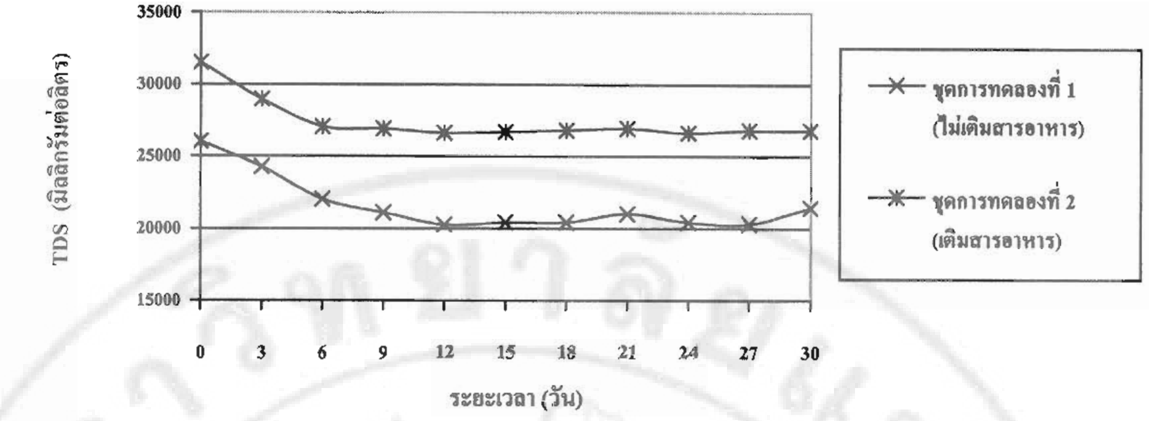
| ชุดการทดลอง | ไนเตรท - ไนโตรเจน (มิลลิกรัมต่อลิตร) | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | วันที่ 1 | วันที่ 3 | วันที่ 6 | วันที่ 9 | วันที่ 12 | วันที่ 15 | วันที่ 18 | วันที่ 21 | วันที่ 24 | วันที่ 27 | วันที่ 30 | ไนเตรท - ไนโตรเจน ลดลง (มิลลิกรัมต่อลิตร) |
| ชุดการทดลอง ที่ 1 (ไม่เติมสารอาหาร) | 26.12 | 25.06 | 25.10 | 25.03 | 25.11 | 25.17 | 25.09 | 25.00 | 25.04 | 25.13 | 24.99 | $1.13^B$ |
| ชุดการทดลอง ที่ 2 (เติมสารอาหาร) | 45.30 | 32.15 | 24.30 | 21.78 | 20.98 | 27.20 | 20.64 | 26.04 | 20.58 | 20.67 | 20.78 | $24.72^A$ |

**หมายเหตุ:** อักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกัน แสดงถึงข้อมูลมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

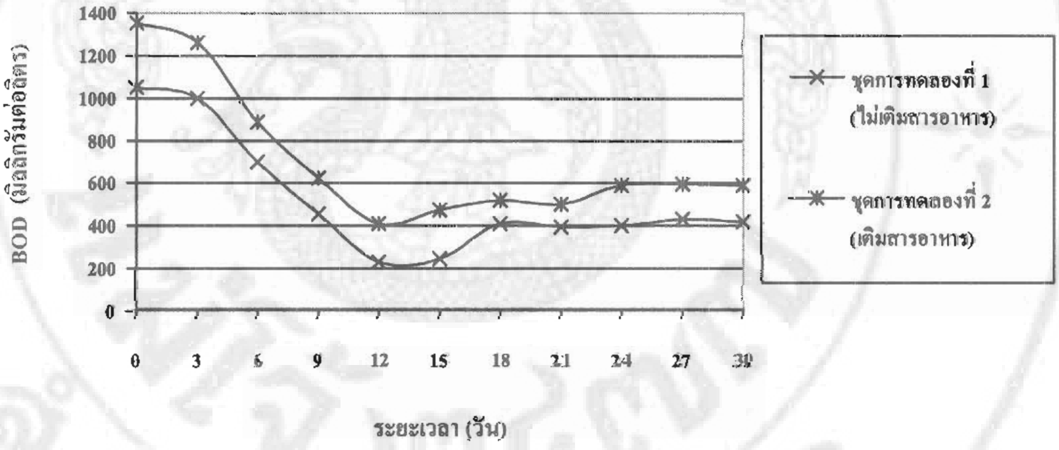
**ตาราง 31** การเจริญเติบโตของสาหร่าย *Spirulina platensis* ที่เพาะเลี้ยงในน้ำเสียความเข้มข้น 60% แบบกึ่งต่อเนื่อง โดยวัด OD ที่ความยาวคลื่น 560 นาโนเมตร

| ชุดการทดลอง | OD | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | วันที่ 1 | วันที่ 3 | วันที่ 6 | วันที่ 9 | วันที่ 12 | วันที่ 15 | วันที่ 18 | วันที่ 21 | วันที่ 24 | วันที่ 27 | วันที่ 30 | OD สูงสุด |
| ชุดการทดลอง ที่ 1 (ไม่เติมสารอาหาร) | 0.274 | 0.482 | 0.896 | 1.492 | 1.835 | 1.904 | 1.720 | 1.350 | 1.016 | 0.837 | 0.710 | 1.904[A] |
| ชุดการทดลอง ที่ 2 (เติมสารอาหาร) | 0.231 | 0.427 | 0.830 | 1.074 | 1.256 | 1.270 | 1.204 | 0.564 | 0.673 | 0.592 | 0.541 | 1.270[A] |

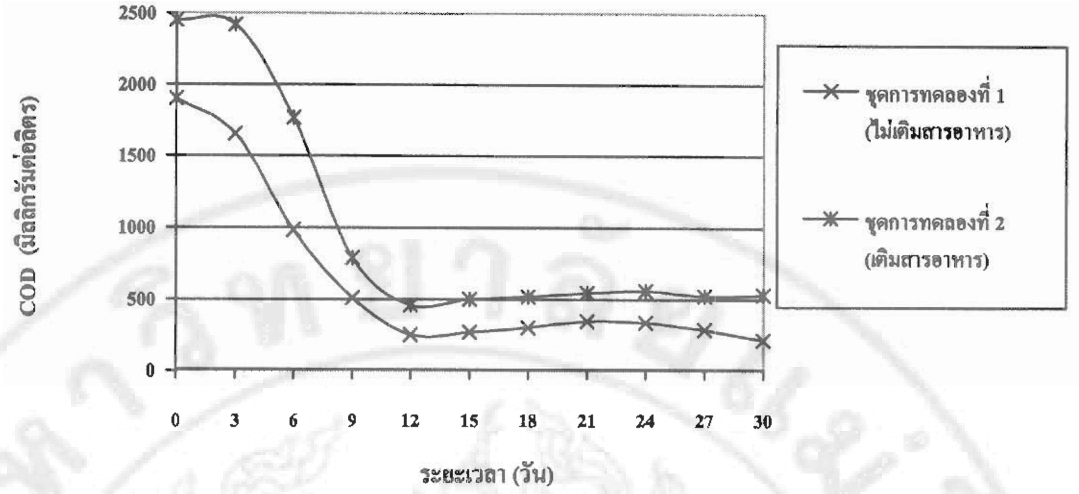
**หมายเหตุ:** อักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกัน แสดงถึงข้อมูลมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95



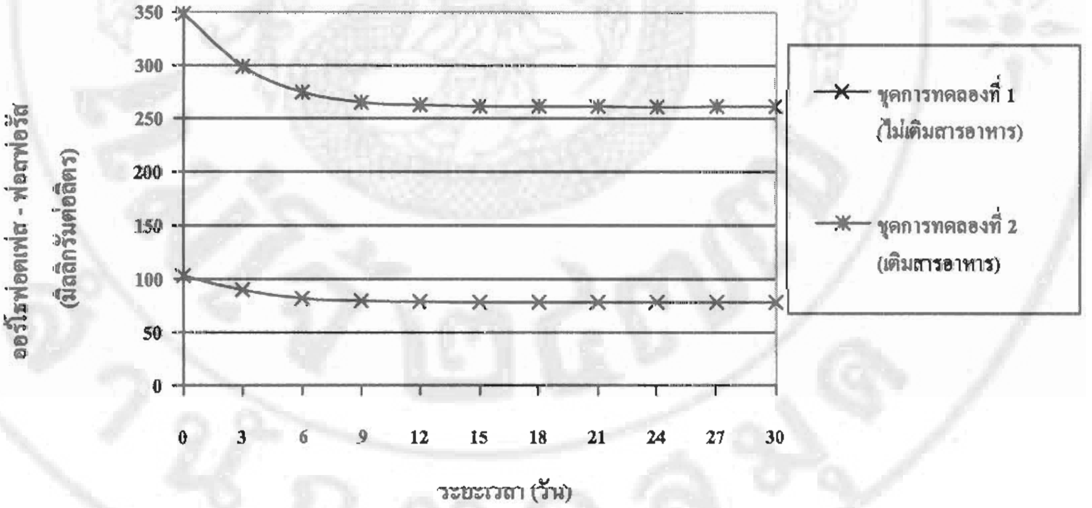

**ภาพ 29** ปริมาณ TDS ในน้ำเสียหมักดองผักความเข้มข้น 60% ที่ใช้เพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina platensis* แบบกึ่งต่อเนื่อง



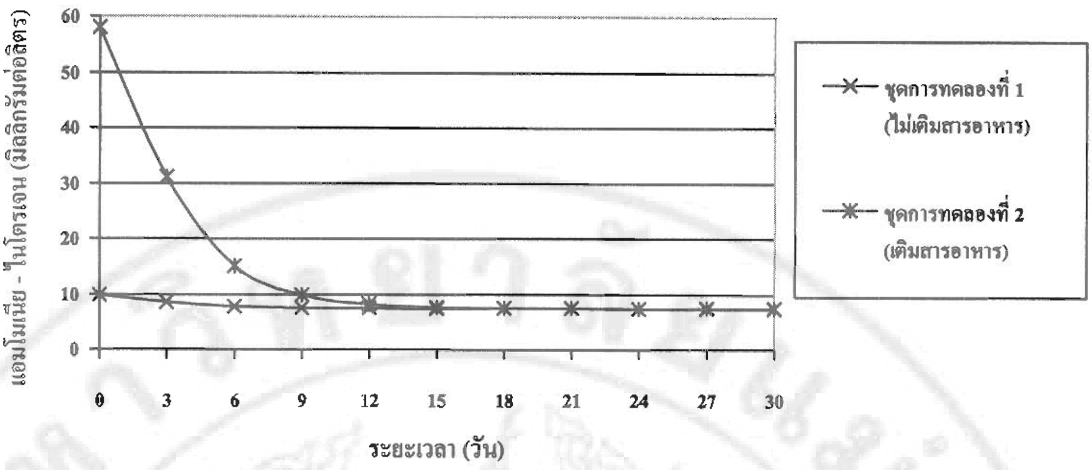

**ภาพ 30** ปริมาณ BOD ในน้ำเสียหมักดองผักความเข้มข้น 60% ที่ใช้เพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina platensis* แบบกึ่งต่อเนื่อง



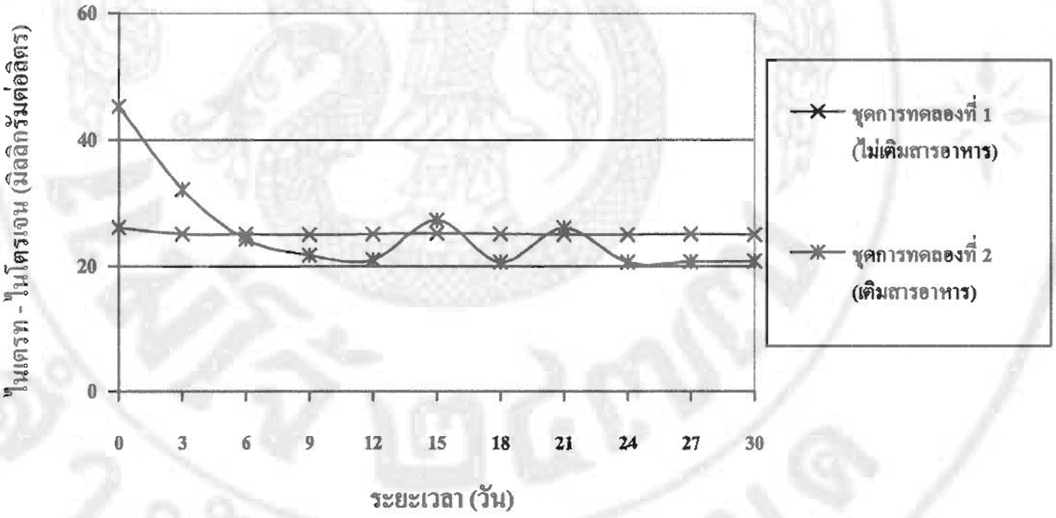

**ภาพ 31** ปริมาณ COD ในน้ำเสียหมักดองผักความเข้มข้น 60% ที่ใช้เพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina platensis* แบบกึ่งต่อเนื่อง



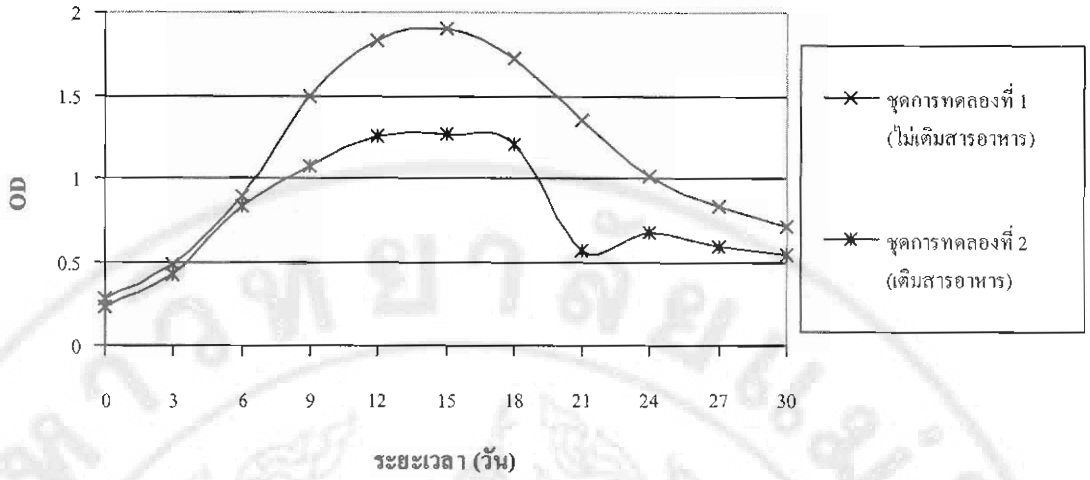

**ภาพ 32** ปริมาณ ออร์โธฟอตเฟส - ฟอสฟอรัส ในน้ำเสียหมักดองผักความเข้มข้น 60% ที่ใช้เพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina platensis* แบบกึ่งต่อเนื่อง




**ภาพ 33** ปริมาณ แอมโมเนีย - ไนโตรเจน ในน้ำเสียหมักดองผักความเข้มข้น 60% ที่ใช้เพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina platensis* แบบกึ่งต่อเนื่อง




**ภาพ 34** ปริมาณ ไนเตรท - ไนโตรเจน ในน้ำเสียหมักดองผักความเข้มข้น 60% ที่ใช้เพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina platensis* แบบกึ่งต่อเนื่อง




**ภาพ 35** การเจริญเติบโตของสาหร่าย *Spirulina platensis* ในการเพาะเลี้ยง แบบกึ่งต่อเนื่อง โดยวัด OD ที่ความยาวคลื่น 560 นาโนเมตร

# บทที่ 5
# สรุปผลการทดลอง

การวิจัย เรื่อง การบำบัดน้ำเสียจากกระบวนการหมักดองผักโดยสาหร่ายสไปรูลินา *(Spirulina platensis)* มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) ศึกษาหาความเข้มข้นของน้ำเสียที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของการเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina platensis* เพื่อการบำบัดน้ำเสียจากการหมักดองผัก 2) ศึกษาระดับของสารอาหารที่เหมาะสมต่อการเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina platensis* 3) ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina platensis* แบบกะ และการบำบัดน้ำเสียด้วยน้ำเสียจากการหมักดอง 4) ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina platensis* แบบกึ่งต่อเนื่อง และการบำบัดน้ำเสีย ด้วยน้ำเสียจากการหมักดอง

การวิจัยครั้งนี้มีขั้นตอนวิธีการทดลองดังนี้ 1) เตรียมเชื้อสาหร่ายตั้งต้น 2) การเตรียมน้ำเสียสำหรับการเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina platensis* เพื่อใช้ในการทดลอง 3) การเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina platensis* ในน้ำเสียจากการหมักดองผัก เพื่อศึกษาระดับความเข้มข้นของน้ำเสียที่เหมาะสม 4) การเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina platensis* ในน้ำเสียที่ระดับความเข้มข้นที่เหมาะสมโดยเติมสารอาหาร เพื่อหาความเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของสาหร่าย 5) การเพาะเลี้ยงแบบกะ 6) การเพาะเลี้ยงแบบกึ่งต่อเนื่อง ซึ่งสามารถสรุป และอภิปรายผลการทดลองได้ดังนี้

## สรุป และอภิปรายผลการทดลอง

### 1. การศึกษาความเข้มข้นของน้ำเสียหมักดองผักที่เหมาะสมต่อการบำบัดน้ำเสียของสาหร่าย *Spirulina platensis*

จากการเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina platensis* ด้วยน้ำเสียจากโรงงานหมักดองผักของบริษัทสันติภาพ จำกัด ทำการทดลองหาระดับความเข้มข้นที่เหมาะสมต่อการบำบัดน้ำเสียของสาหร่าย *Spirulina platensis* เป็นระยะเวลา 15 วัน ซึ่งจากผลการทดลอง Treatment ที่ 4 แสดงให้เห็นว่า สาหร่าย *Spirulina platensis* ที่เพาะเลี้ยงในระดับความเข้มข้นของน้ำเสียหมักดองผักที่ 60% มีความเหมาะสมที่ทำให้สาหร่ายเจริญเติบโตได้ดี และมีการบำบัดคุณภาพน้ำได้ที่ดีที่สุด นอกจากนี้ยังพบว่า ที่ระดับความเข้มข้นของน้ำเสีย 60% มีการลดค่า BOD และ COD ได้มากที่สุด คือ ค่า BOD เริ่มต้น 950 มิลลิกรัมต่อลิตร ลดลงเหลือ 202 มิลลิกรัมต่อลิตร และ ค่า COD เริ่มต้น 1,260 มิลลิกรัมต่อลิตร ลดลงเหลือ 276 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ และมีการเจริญเติบโตของสาหร่ายได้ดีที่สุด โดยพิจารณาจากค่า OD ที่วัดได้เท่ากับ 1.14 และมีจำนวนเซลล์เท่ากับ $1.45\times10^4$

เซลล์ต่อมิลลิลิตร ซึ่งมีค่า OD สูงกว่า ที่ระดับความเข้มข้นของน้ำเสีย 100% โดยมีค่า OD เท่ากับ 0.73 และ จำนวนเซลล์เท่ากับ $9.26\times10^{3}$ เซลล์ต่อมิลลิลิตร แสดงให้เห็นว่า ความเข้มข้นของน้ำเสียมีผลต่อการเจริญเติบโตของสาหร่าย เพราะน้ำเสียหมักดองที่มีความเข้มข้นสูงจะมีสีเข้ม เนื่องจากประกอบไปด้วยอินทรีย์สารเป็นจำนวนมากยากต่อการส่องผ่านของแสง เมื่อแสงส่องผ่านได้ยากก็จะมีผลทำให้สาหร่ายไม่สามารถสังเคราะห์แสงได้ หรือสังเคราะห์แสงได้น้อย เมื่อสาหร่ายตายเซลล์ก็จะสลายก็ และปล่อยสารประกอบภายในเซลล์ออกมาสู่ภายนอกเป็นอาหารของแบคทีเรีย ทำให้แบคทีเรียต้องใช้ก๊าซออกซิเจนเพิ่มมากขึ้นจึงทำให้ ค่า BOD เพิ่มมากขึ้น สภาวะดังกล่าวไม่เหมาะสมต่อการเจริญของสาหร่าย *Spirulina platensis* ดังนั้น ที่ระดับความเข้มข้นของเสียหมักดองผัก 60% จึงมีความเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของสาหร่าย และบำบัดคุณภาพได้ดีที่สุด ซึ่งใกล้เคียงกับงานวิจัยของ อุดมลักษณ์ (2543) พบว่า ความเข้มข้นของน้ำเสียจากบ่อหมักก๊าซชีวภาพมูลสุกร 30, 40 และ 50% ทำให้สาหร่ายเจริญเติบโตได้ดี สามารถลดค่า BOD ได้ 39.41, 48.57 และ 40% ตามลำดับ โดยมีค่า BOD เริ่มต้น 35 มิลลิกรัมต่อลิตร ลดลงเหลือ 18 มิลลิกรัมต่อลิตร ในความเข้มข้นของน้ำเสียที่ 40%

**2. การศึกษาปริมาณสารอาหารที่เหมาะสมในการเจริญเติบโตของสาหร่าย *Spirulina platensis* ที่เพาะเลี้ยงในสภาพห้องปฏิบัติการ และสภาพกลางแจ้ง**

ผลการศึกษาปริมาณสารอาหารที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของสาหร่าย *Spirulina platensis* ในช่วงระยะเวลาการเพาะเลี้ยง 15 วัน ที่ระดับความเข้มข้นของน้ำเสียที่เหมาะสม 60% ในโหลแก้วทรงกระบอกปริมาตรการเพาะเลี้ยง 10 ลิตร สภาพการเพาะเลี้ยงในห้องปฏิบัติการ โดยเติมสารอาหาร 4 ชนิด ในปริมาณสารอาหารที่ต่างกัน 3 ระดับ คือ $NaHCO_3$ 4.25, 8.50 และ 12.75 กรัมต่อลิตร $K_2HPO_3$ 0.25, 0.5 และ 1.5 กรัมต่อลิตร $NaNO_3$ 0.75, 1.5 และ 2.25 กรัมต่อลิตร และปุ๋ย N:P:K 0.3, 0.6 และ 0.9 กรัมต่อลิตร

ผลการศึกษา พบว่า สารอาหารสูตร $NaHCO_3$, $K_2HPO_3$, $NaNO_3$ และปุ๋ย N:P:K ปริมาณเท่ากับ 4.25, 0.25, 0.75 และ 0.3 กรัมต่อลิตรตามลำดับ มีผลทำให้สาหร่ายมีการเจริญเติบโตได้ดีกว่าที่ความเข้มข้นสูงขึ้น เมื่อเปรียบเทียบการเจริญเติบโตของสาหร่ายระหว่างชุดที่ไม่เติมสารอาหารกับชุดที่เติมสารอาหาร ที่เพาะเลี้ยงในสภาพห้องปฏิบัติการและในสภาพกลางแจ้ง พบว่าการเพาะเลี้ยงในสภาพกลางแจ้งมีการเจริญเติบโตของสาหร่ายได้ดีกว่าสังเกตได้จากค่า OD มีค่าสูงสุด ในชุดที่ไม่เติมสารอาหารมีค่า OD เท่ากับ 1.25 และจำนวนเซลล์เท่ากับ $1.59\times10^{5}$ เซลล์ต่อต่อมิลลิลิตร แสดงว่า น้ำเสียจากโรงงานหมักดองผักที่ความเข้มข้น 60% มีปริมาณสารอาหารที่เป็นประโยชน์ต่อการเจริญเติบโตของสาหร่ายสูง ในตาราง 12, 13 และ 14 พบว่า

ปริมาณของ ไนเตรท - ไนโตรเจน, แอมโมเนีย - ไนโตรเจน และออร์โธฟอตเฟส - ฟอสฟอรัส ที่นำมาเลี้ยงสาหร่าย ค่าเริ่มต้นเท่ากับ 37.50, 181.50 และ 80 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ แต่เมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยของ ชื่นจิตต์ (2530) พบว่า การเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina platensis* ในสูตรอาหารที่มีทั้งสารอินทรีย์ และอนินทรีย์เป็นส่วนประกอบจะเจริญได้ดี และให้ผลผลิตสูงกว่าการเพาะเลี้ยงในสูตรอาหารที่มีสารอนินทรีย์เพียงอย่างเดียว ซึ่งขัดแย้งกับผลการศึกษาที่ทำการทดลองใช้น้ำเสียหมักดองผัก มาเพาะเลี้ยงสาหร่าย โดยน้ำเสียมีสารอินทรีย์สาร และอนินทรีย์ในปริมาณที่สูง ซึ่งไม่จำเป็นต้องเติมสารอาหาร และในทางกลับกันถ้าเติมสารอาหารอาจมีผลทำให้เกิดการยับยั้งการเจริญเติบโตของสาหร่ายได้ ดังในชุดการทดลองที่เติมสารอาหาร นอกจากนี้การเจริญเติบโตของสาหร่ายยังขึ้นอยู่กับความเป็นกรด - เบส ก็เหมาะสมในอาหารแต่ละสูตร ความเข้มของแสง และช่วงเวลาที่เพาะเลี้ยงสาหร่ายที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโต และการสังเคราะห์สารต่าง ๆ ภายในเซลล์ได้ดี

สาเหตุที่การเจริญของสาหร่ายในสภาพกลางแจ้งได้ดีกว่าในสภาพห้องปฏิบัติการ ทั้งนี้ เพราะในสภาพกลางแจ้ง สาหร่ายสามารถสังเคราะห์แสงได้ดีกว่า เพราะได้รับแสงอาทิตย์ที่เพียงพอ นอกจากนี้ ช่วงเวลา และอุณหภูมิ ในการเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina platensis* มีผลต่อการเจริญเติบโตของสาหร่าย กล่าวคือ การทดลองเพาะเลี้ยงในห้องปฏิบัติการ เริ่มวันที่ 7 กุมภาพันธ์ ถึง 21 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2547 ซึ่งเป็นช่วงฤดูหนาว อุณหภูมิค่อนข้างต่ำ จึงทำให้การเจริญเติบโตของเซลล์สาหร่ายมีจำนวนน้อยกว่า การเพาะเลี้ยงในสภาพกลางแจ้ง โดยเริ่มทำการทดลองเพาะเลี้ยงวันที่ 22 มีนาคม ถึง 21 เมษายน 2547 ซึ่งเป็นช่วงเริ่มต้นฤดูร้อน อุณหภูมิจะสูงกว่าในสภาพห้องปฏิบัติการ สภาวะดังกล่าว ทำให้สาหร่ายเจริญเติบโตได้ดีกว่า จะเห็นได้ว่าช่วงเวลาการเพาะเลี้ยงที่แตกต่างกัน มีผลต่อการเจริญเติบโตของสาหร่าย อย่างไรก็ตามการเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina platensis* ในน้ำเสียหมักดองที่มีความเข้มข้น 60% สาหร่าย *Spirulina platensis* สามารถเจริญเติบโตได้ดีทั้งในสภาพห้องปฏิบัติการ และในสภาพกลางแจ้ง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของสมเกียรติ (2542) ทำการเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina platensis* ในน้ำทิ้งจากโรงงานกระดาษสา ในสภาพกลางแจ้ง พบว่า จำนวนเซลล์สาหร่ายสูงสุดเท่ากับ $3,718.33\times10^2$ เซลล์ต่อมิลลิลิตร ส่วนในสภาพห้องปฏิบัติการ มีจำนวนเซลล์สาหร่ายสูงสุดเท่ากับ $2,618\times10^2$ เซลล์ต่อมิลลิลิตร จะเห็นได้ว่าสภาพการทดลองที่แตกต่างกัน มีผลต่อการเจริญเติบโตของสาหร่าย *Spirulina platensis*

### 3. การศึกษาการเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina platensis* แบบกะ

จากการเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina platensis* แบบกะ พบว่า ในวันที่ 12 ของการเพาะเลี้ยงสาหร่าย ค่า BOD และ COD ของทั้งสองชุดการทดลองลดลงสูงสุด โดยการเปรียบเทียบค่า BOD และ COD ของชุดการทดลองที่ไม่เติมสารอาหารกับชุดที่เติมสารอาหาร พบว่า ค่า BOD และ COD ของชุดที่ไม่เติมสารอาหาร มีค่าต่ำกว่าชุดที่เติมสารอาหาร โดยมีค่า BOD เริ่มต้นเท่ากับ 975 มิลลิกรัมต่อลิตร ลดลงเหลือ 171 มิลลิกรัมต่อลิตร และค่า COD เริ่มต้นเท่ากับ 1,280 มิลลิกรัมต่อลิตร ลดลงเหลือ 151 มิลลิกรัมต่อลิตร และในชุดการทดลองที่เติมสารอาหาร ค่า BOD เริ่มต้นเท่ากับ 1,200 มิลลิกรัมต่อลิตร ลดลงเหลือ 311 มิลลิกรัมต่อลิตร และค่า COD เริ่มต้นเท่ากับ 2,350 มิลลิกรัมต่อลิตร ลดลงเหลือ 401 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ดังแสดงในตาราง 18 และ 19 นอกจากนี้ยัง พบว่า วันที่ 12 ของการเพาะเลี้ยงเป็นช่วงเวลาที่สาหร่ายเจริญเติบโตสูงสุด เนื่องจากค่า BOD ในน้ำเสียหมักดองผักที่ความเข้มข้น 60% มีค่า BOD ต่ำสุด ซึ่งค่า BOD เป็นปริมาณออกซิเจนที่จุลินทรีย์ต้องการใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ ถ้าน้ำมีค่า BOD สูง ย่อมหมายถึงว่าน้ำนั้นมีสารอินทรีย์อยู่ในปริมาณมาก ดังนั้น การเพาะเลี้ยงด้วยสาหร่าย *Spirulina platensis* ในน้ำเสียหมักดองผัก มีผลทำให้ ค่า BOD ลดลง อธิบายได้ว่า ในน้ำเสียหมักดองผักมีสารอินทรีย์ต่าง ๆ อยู่มาก ทำให้แบคทีเรียต้องใช้ก๊าซออกซิเจนในการย่อยสลายสารอินทรีย์ต่าง ๆ เหล่านั้นมาก ค่า BOD ของน้ำเสียหมักดองผักก่อนการเพาะเลี้ยงจึงมีค่าสูง แต่เมื่อทำการทดลองเพาะเลี้ยงสาหร่าย ในน้ำเสียหมักดองผัก ค่า BOD ของน้ำมีค่าลดลงจากเดิม แสดงให้เห็นว่า สาหร่าย *Spirulina platensis* สามารถช่วยบำบัดน้ำเสียหมักดองผักจากโรงงานให้ดีขึ้น และน้ำเสียหมักดองดังกล่าว ยังสามารถทดแทนสารเคมีในสูตรอาหารเพาะเลี้ยงสาหร่ายได้อีกด้วย อย่างไรก็ตาม การทดลอง พบว่า ค่า BOD และ COD ในทั้ง 2 ชุดการทดลองมีค่าเพิ่มขึ้นในวันที่ 15 ของการเพาะเลี้ยง อาจมีสาเหตุมาจากเซลล์สาหร่ายบางส่วนตาย และย่อยสลาย ทำให้สารอินทรีย์ในน้ำเพิ่มมากขึ้น ซึ่งแบคทีเรียทำการย่อยสลายสารอินทรีย์ในแหล่งน้ำได้มากขึ้น ปริมาณสารต่าง ๆ จึงมีแนวโน้มสูงขึ้นเช่นกัน (อุดมลักษณ์, 2543)

### 4. การศึกษาการเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina platensis* แบบกึ่งต่อเนื่อง

จากการเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina platensis* ในการทดลองแบบกะ พบว่า วันที่ 12 ของการเพาะเลี้ยง ทั้งหมด 15 วัน สาหร่าย *Spirulina platensis* มีการเจริญเติบโต และบำบัดน้ำเสียได้ดีที่สุด

ดังนั้น จึงเลือกวันที่ 12 ของการเพาะเลี้ยงมาคำนวณอัตราน้ำเสียที่ใช้เติม และถ่ายเทออกตลอดการเพาะเลี้ยง แบบกึ่งต่อเนื่อง ซึ่งการเพาะเลี้ยงแบบดังกล่าว สาหร่ายจะได้รับแสงสว่างจาก

ดวงอาทิตย์เฉพาะกลางวัน และมีระบบหมุนเวียนน้ำตลอดเวลา เป็นเวลา 30 วัน หลังสิ้นสุดการทดลอง พบว่า ในชุดการทดลองที่ไม่เติมสารอาหาร สาหร่ายสามารถลดค่า BOD และค่า COD ได้ดีกว่า ชุดการทดลองที่เติมสารอาหาร โดยในชุดการทดลองที่เติมสารอาหาร ค่า BOD ลดลงจาก 1,350 มิลลิกรัมต่อลิตร เหลือ 410 มิลลิกรัมต่อลิตร และค่า COD ลดลงจาก 2,450 มิลลิกรัมต่อลิตร เหลือ 457 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ส่วนในชุดการทดลองที่ไม่เติมสารอาหาร ค่า BOD ลดลงจาก 1,030 มิลลิกรัมต่อลิตร เหลือ 230 มิลลิกรัมต่อลิตร ในวันที่ 12 และค่า COD ลดลงจาก 1,900 มิลลิกรัมต่อลิตร เหลือ 254 มิลลิกรัมต่อลิตร (ตาราง 26 และ 27) คิดเป็นร้อยละของการลดลงได้เท่ากับ 78.09 และ 86.63 ตามลำดับ ซึ่งการนำสาหร่าย *Spirulina platensis* มาบำบัดน้ำเสียจากโรงงานหมักดองผัก ในงานวิจัยครั้งนี้เป็นระบบการบำบัดน้ำเสียที่มีหลักการเดียวกับระบบการบำบัดน้ำเสียแบบ High rate aeration pumping ซึ่งระบบดังกล่าวมีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียประมาณ 80 - 95 เปอร์เซ็นต์ (ธีระ, 2538) และปาริฉัตร (2546) นำ *Bacillus megaterium* มาบำบัดน้ำเสียจากกระบวนการหมักดองผัก โดยระบบเติมอากาศ พบว่า สามารถกำจัดค่า TCOD และ BOD ในน้ำเสียได้เท่ากับ 90.50 และ 82.86 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

เมื่อเปรียบเทียบการเจริญเติบโตของสาหร่ายระหว่างการเพาะเลี้ยงแบบกะ กับการเพาะเลี้ยงแบบกึ่งต่อเนื่อง พบว่า การเพาะเลี้ยงแบบกึ่งต่อเนื่อง สาหร่าย *Spirulina platensis* มีการเจริญเติบโตได้ดีกว่า แบบกะ โดยพิจารณาจากค่าสูงสุดของ OD ซึ่งการทดลองแบบกึ่งต่อเนื่อง ค่า OD สูงสุดเท่ากับ 1.904 แต่การทดลองแบบกะ ค่า OD สูงสุดเท่ากับ 1.36 และเมื่อพิจารณาจำนวนเซลล์สาหร่าย พบว่า การเพาะเลี้ยงแบบกึ่งต่อเนื่อง มีจำนวนเซลล์สาหร่ายเท่ากับ $2.42\times10^{5}$ เซลล์ต่อมิลลิลิตร แต่ในการเพาะเลี้ยงแบบกะ มีจำนวนเซลล์สาหร่ายเพียง $1.73\times10^{5}$ เซลล์ต่อมิลลิลิตร การเพาะเลี้ยงแบบกึ่งต่อเนื่อง ทำให้สาหร่ายมีการเจริญเติบโตได้ดีกว่า แบบกะ เนื่องจาก ในการเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina platensis* แบบกึ่งต่อเนื่อง มีการหมุนเวียนของน้ำ ซึ่งช่วยให้สาหร่ายที่อยู่ในระดับต่าง ๆ มีโอกาสได้รับแสงอย่างสม่ำเสมอ เซลล์ของสาหร่ายจึงได้สัมผัสกับธาตุอาหารอย่างทั่วถึง และสามารถดูดซึมธาตุอาหารต่าง ๆ ไปใช้อย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้ การหมุนเวียนของน้ำยังช่วยปกป้องไม่ให้เกิดความแตกต่างของอุณหภูมิที่ผิวน้ำและระดับที่ลึกลงไป ถ้าหากไม่มีการหมุนเวียนของน้ำแล้ว เมื่ออุณหภูมิสูงถึงระดับหนึ่งจะทำให้เกิดขบวนการยับยั้งการสังเคราะห์แสง (photoinhibition) ขึ้นได้ (ชื่นจิตร์, 2530)

**สรุป**

จากการเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina platensis* ในน้ำเสียจากโรงงานหมักดองผักที่มีความเข้มข้นต่างกัน ในห้องปฏิบัติการ พบว่า สาหร่ายมีอัตราการเจริญเติบโตได้ดีในน้ำเสียหมักดองผักที่มีความเข้มข้น 60% และสาหร่ายมีอัตราการเจริญเติบโตสูงสุดในวันที่ 12 ของการเพาะเลี้ยง และสามารถลดค่า BOD และ COD เหลือต่ำสุด 207 และ 276 มิลลิกรัมต่อลิตร คิดเป็น 78.21 และ 78.09 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

การเพาะเลี้ยง เพื่อศึกษาปริมาณสารอาหารที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของสาหร่าย *Spirulina platensis* ระดับสารอาหารที่เหมาะสม คือ $NaHCO_3$ 4.25 กรัมต่อลิตร $K_2HPO_3$ 0.25 กรัมต่อลิตร $NaNO_3$ 0.75 กรัมต่อลิตร และปุ๋ย N:P:K 0.3 กรัมต่อลิตร เมื่อเปรียบเทียบการเจริญเติบโตของสาหร่ายที่เพาะเลี้ยงในห้องปฏิบัติการกับที่เพาะเลี้ยงกลางแจ้ง พบว่า ในสภาพกลางแจ้งสาหร่ายมีอัตราการเจริญเติบโตได้ดีกว่าในห้องปฏิบัติการ เซลล์ของสาหร่ายเพิ่มขึ้นจากการวัดค่าการดูดกลืนแสง 1.25 และ 0.87 และมีจำนวนเซลล์สาหร่าย $1.59\times10^4$ เซลล์ต่อมิลลิลิตร และ $1.10\times10^4$ เซลล์ต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ

การศึกษาการเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina platensis* แบบกะ สาหร่ายสามารถเจริญเติบโตได้ดีที่สุดในวันที่ 12 ของการเพาะเลี้ยงในชุดการทดลองไม่เติมสารอาหาร มีจำนวนเซลล์สาหร่ายเพิ่มขึ้นวัดจากค่าการดูดกลืนแสง เท่ากับ 1.36 และมีจำนวนเซลล์เท่ากับ $1.73\times10^5$ เซลล์ต่อมิลลิลิตร และสามารถบำบัดคุณภาพน้ำให้ดีขึ้น สามารถลดค่า BOD และ COD เหลือต่ำสุด 171 และ 311 มิลลิกรัมต่อลิตร คิดเป็น 82.46 และ 88.20 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

การศึกษาการเพาะเลี้ยงแบบกึ่งต่อเนื่อง สาหร่ายสามารถเจริญเติบโตดี มีจำนวนเซลล์สาหร่ายเพิ่มขึ้นวัดจากค่าการดูดกลืนแสง เท่ากับ 1.904 ในชุดการทดลองไม่เติมสารอาหาร และมีจำนวนเซลล์เท่ากับ $2.42\times10^5$ เซลล์ต่อมิลลิลิตร และสามารถบำบัดคุณภาพน้ำโดยลดค่า BOD และ COD เหลือต่ำสุด คือ 230 และ 254 มิลลิกรัมต่อลิตร คิดเป็น 78.09 และ 88.63 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

**ข้อเสนอแนะ**

1. การศึกษาครั้งนี้อยู่ในขั้นการทดลอง เป็นชุดการทดลองขนาดเล็ก ซึ่งข้อมูลที่ได้เมื่อนำไปประยุกต์ใช้กับระบบอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ผลที่ได้อาจจะไม่แน่นอน ค่าที่ได้อาจจะแตกต่างกับการศึกษาในครั้งนี้ เนื่องจากระบบใหญ่ขึ้น

2. เมื่อถึงระยะเวลาที่เหมาะสมที่สาหร่ายเจริญมาก ๆ ซึ่งทำให้ปัจจัยทางกายภาพ และเคมีต่าง ๆ ลดลงแล้ว และจะมีการปล่อยน้ำทิ้งลงสู่แม่น้ำ ควรต้องกรองสาหร่ายออกก่อน เนื่องจากเมื่อสาหร่ายเจริญมาก ๆ อาจจะส่งผลให้แหล่งน้ำที่รับน้ำทิ้งเกิดภาวะน้ำเสียได้

3. ตามมาตรฐานน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมกำหนดว่า ค่า BOD ไม่เกิน 20 - 60 มิลลิกรัมต่อลิตร pH 5 - 9 ซึ่งผลที่ได้จากการทดลองมีค่าสูงกว่ามาตรฐานที่กำหนดไว้ ดังนั้น น้ำเสียจากกระบวนหมักดองผักที่ผ่านการบำบัดโดย *Spirulina platensis* ในการทดลองครั้งนี้ จึงต้องมีการเพิ่มขั้นตอนการบำบัดอื่น เพื่อให้ได้ตามเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมก่อนปล่อยสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ

4. สำหรับผู้ที่จะทำการเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina platensis* ในครั้งต่อ ๆ ไป ที่ทราบแล้วว่าสาหร่ายสามารถเจริญได้ดีในน้ำเสียหมักดองที่มีความเข้มข้น 60 เปอร์เซ็นต์ การตรวจวัดการเจริญเติบโตของสาหร่ายควรจะหาคลอโรฟิลล์เอ หรือการหาน้ำหนักแห้ง (dry weight) แต่ตัวอย่างจะต้องมีปริมาณมากพอ อย่างน้อยตัวอย่างละ 50 มิลลิลิตร ซึ่งจะทำให้ได้ค่าที่แท้จริงมากกว่า

5. การทำวิจัยครั้งต่อไปควรจะมีการศึกษาความเป็นไปได้ของการลดค่าความเค็มของน้ำเสียจากกระบวนการหมักดอง เพื่อเป็นข้อมูลสำหรับการดำเนินการบำบัดน้ำเสียให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด ก่อนปล่อยน้ำทิ้งสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ

## บรรณานุกรม


กาญจนภาชน์ ลิ่วมโนมนต์. 2527. **สาหร่าย.** กรุงเทพฯ: คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

จงกล พรมยะ. 2543. การเพาะเลี้ยงสาหร่าย ***Spirulina platensis* ในน้ำทิ้งจากบ่อหมักก๊าซชีวภาพมูลสุกร.** เชียงใหม่: วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิชาวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

จบเจน ทาสีลา. 2537. **การเพาะเลี้ยงสาหร่ายเกลียวทอง *(Spirulina platensis)* ในน้ำกากถั่วเหลือง.** มหาสารคาม: วิทยานิพนธ์เกษตรศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ มหาสารคาม.

จรูญ ลีไตรรงค์. 2531. **การนำ *Chlorella* sp. (K3) ที่ได้จากการเลี้ยงในน้ำกากส่าเหล้าเพื่อเป็นอาหารของ *Moina macrocopa* Straus.** เชียงใหม่: วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาชีววิทยา บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

จิตรลดา โกสินทรานนท์ และ วรววรณ ขาวสบาย. 2538. **การศึกษาการบำบัดสีในน้ำเสียจากการต้มเปลือกปอสาในบ่อสาหร่าย.** เชียงใหม่: ปัญหาพิเศษวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

จีระพรรณ สุขศรีงาม, สนอง จอมเกาะ และ เสน่ห์จิต กิตตินานนท์. 2540. **แนวทางการเพิ่มผลผลิตสาหร่ายเกลียวทองที่เพาะเลี้ยงในน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตเส้นขนมจีน.** มหาสารคาม: คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม.

เจียมจิตร บุญสม. 2530. การสำรวจสาหร่ายเกลียวทอง (Spirulina). หน้า 21-24. ใน **รายงานการประชุมทางวิชาการกรมประมง.** กรุงเทพฯ: กรมประมง

________________ . 2532. **ความลับของสาหร่ายเกลียวทอง: ผลการรักษาที่แพทย์ญี่ปุ่นค้นพบ.** กรุงเทพฯ: สำนักงานคณะการวิจัยแห่งชาติ.

ใจทิพย์ พินิจค้า. 2532. **การเพาะเลี้ยงสาหร่ายเกลียวทอง *(Spirulina sp.)* โดยใช้น้ำเค็มจากภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย.** กรุงเทพฯ: วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาสภาวะแวดล้อม. บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

เฉลิมราช วันทวัน. 2535. **การพัฒนากระบวนการบำบัดน้ำทิ้งทางชีววิทยาแบบมีตัวกรองสำหรับโรงงานแปรรูปผักผลไม้ขนาดย่อม.** กรุงเทพฯ: สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

ชื่นจิตต์ ชื่นกระมล. 2530. **การเปรียบเทียบผลผลิตของสาหร่ายสไปรูไลนา *(Spirulina platensis)* ในอาหารสูตรต่าง ๆ.** ชลบุรี: วิทยานิพนธ์เกษตรศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ บางแสน.

ณรงค์ สุนิลหงส์. 2535. **การเพาะเลี้ยง และปริมาณโปรตีนของสาหร่าย *Spirulina platensis* ที่เลี้ยงในน้ำกากส่าเหล้าผสมน้ำหมักผักตบชวา.** เชียงใหม่: การค้นคว้าอิสระ วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

ดวงจันทร์ เฮงสวัสดิ์, ผ่องศรี จิตตนนท์, เยาวดี คุปตะพันธ์, สมบูรณ์ ผู้พัฒน์, จรรยา พุกกะเวส, จักรพงษ์ ลิมปนุสสรณ์ และ ประไพภัทร คลังทรัพย์. 2539. **การศึกษาความปลอดภัยของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน Spirulina ตากแห้งซึ่งเลี้ยงจากน้ำดีเกลือเข้มข้น (น้ำทิ้งจากเกลือ).** กรุงเทพฯ: สถาบันค้นคว้า และพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ทศพร ธงทอง. 2529. **การกำจัดไนโตรเจน และฟอสฟอรัสในน้ำทิ้งจากแหล่งชุมชน.** กรุงเทพฯ: วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ธนาคารกสิกรไทย. 2533. สาหร่ายเกลียวทองอาหารเสริมสุขภาพ. หน้า 11-12 ใน **รายงานการประชุมทางวิชาการส่วนวิจัยเกษตรกรรมธนาคารกสิกรไทย.** กรุงเทพฯ: ธนาคารกสิกรไทย.

ธีระ เกรอต. 2538. **ระบบบ่อบำบัดน้ำเสียกลางแจ้ง: การควบคุมดูแลระบบบำบัดน้ำเสีย.** กรุงเทพฯ: ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมสาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

นฤมล จียโชค, บุษบา บุนนาค และ มรกต ตันติเจริญ. 2532. **การผลิตสาหร่ายเกลียวทองจากน้ำทิ้งโรงงานแป้งมันสำปะหลังในระดับโรงงานต้นแบบ.** กรุงเทพฯ: คณะพลังงานและวัสดุ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

นฤมล ศุภจรรยา, บุษยา บุนนาค และพิสมัย ภูวิสินสิทธิ์. 2528. การสำรวจสาหร่ายเกลียวทอง (สไปรูลินา) ในบ่อน้ำทิ้งโรงงานแป้งมันสำปะหลัง. **วารสารวิจัย และพัฒนา สจ.ธ.** 8(2) : 20 - 23.

นฤมล ศุภจรรยา, บุษยา บุนนาค และ พิสมัย ภูริสินสิทธิ์. 2529. การผลิตสาหร่ายเกลียวทองจากน้ำทิ้งจากโรงงานแป้งมันสำปะหลังในระดับห้องปฏิบัติการสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. หน้า 34 - 37. ใน **รายงานการวิจัย และพัฒนาเทคโนโลยีศูนย์พันธุกรรมและเทคโนโลยีชีวภาพแห่งชาติ.** กรุงเทพฯ: ศูนย์พันธุกรรมและเทคโนโลยีชีวภาพแห่งชาติ.

บริษัทกรีนไดมอนด์. 2544. **สาหร่ายเกลียวทอง.** กรุงเทพฯ: บริษัท.

บริษัทสยามแอลจี. 2529. **สาหร่ายเกลียวทอง.** สมุทรปราการ: บริษัท.

บัญชา ทองมี. 2533. **การเปรียบเทียบความหนาแน่นของสาหร่ายเกลียวทองในอาหารสูตรเดียวกันที่มีความเป็นกรดเบสเริ่มต้นต่างกัน.** เชียงใหม่: ปัญหาพิเศษปริญญาตรี มหาวิทยาลัยแม่โจ้.

บานชื่น ชลสวัสดิ์. 2532. **การใช้สาหร่ายเกลียวทองเป็นส่วนประกอบของอาหารผสมสำหรับเลี้ยงปลาตะเพียนขาว.** กรุงเทพฯ: วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการประมง บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

บุหลัน พิทักษ์ผล. 2527. **สาหร่ายสีเขียว.** กรุงเทพฯ: สถาบันค้นคว้า และพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. (อัดสำเนา).

ปาริฉัตร อยู่คำ. 2546. **การคัดเลือกเชื้อแบคทีเรียทนเค็มที่สามารถบำบัดน้ำเสียจากกระบวนการหมักดองผัก.** เชียงใหม่: วิทยานิพนธ์ ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการทรัพยากรการเกษตรและสิ่งแวดล้อม คณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้.

ปฏิพันธ์ นันทขว้าง. 2543. **การเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina platensis* ในบ่อเลี้ยงจำลองด้วยน้ำทิ้งจากบ่อหมักก๊าซชีวภาพมูลสุกร.** เชียงใหม่: ปัญหาพิเศษวิทยาศาสตรบัณฑิต ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

ปิยสิทธิ์ ศาสตร์พันธุ์. 2536. **การเจริญเติบโตของสาหร่ายเกลียวทอง *(Spirulina platensis)* ในน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมการผลิตแป้งทำขนมจีน.** มหาสารคาม: วิทยานิพนธ์เกษตรศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยศรีนครินวิโรฒ มหาสารคาม.

พัชรา กันตารัติ. 2525. สไปรูไลนา. **ทักษะฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี.** 42 (ตุลาคม): 71 - 72.

พิมพรรณ ตันสกุล และ อารักษ์ จันทศิลป์. 2531. การเพาะเลี้ยง *(spirulina sp.)* ในน้ำทิ้งจากโรงงานยางพารา. **วารสารสงขลานครินทร์.** 10(2): 149 - 155.

พัชรา กันตารัติ. 2525. สไปรูไลนา. **ทักษะฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี** 42 (ตุลาคม): 71 - 72.

เพ็ญจันทร์ วงศ์ทวีสุข. 2535. **การใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นแหล่งคาร์บอนในการเลี้ยงสาหร่ายเกลียวทอง.** กรุงเทพฯ: วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

มนตรี จุฬาวัฒนทล. 2530. **ชีวเคมี.** กรุงเทพฯ: ภาควิชาชีวเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล.

มารศรี เรืองจิตชัชวาลย์, โศภิษฐ์ เวทยสุภรณ์, เพ็ญจิตร จิตรนำทรัพย์ และ มรกต ตันติเจริญ. 2532. ผลของสภาวะแวดล้อมต่อองค์ประกอบกรดไขมันในสาหร่าย spirulina BP-1. ใน **รายงานการประชุมทางวิชาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย** เชียงใหม่: มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

มิ่งขวัญ มิ่งเมือง. 2515. **การศึกษาจุลินทรีย์ที่เกิดขึ้นในขณะหมักดองผักกาดเขียว.** กรุงเทพฯ: วิทยานิพนธ์ ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาชีววิทยา บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ยุวดี พีรพรพิศาล. 2542. **สาหร่ายตอนที่ 1: ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับสาหร่าย สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินและสาหร่ายสีเขียว.** เชียงใหม่: ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

______________ . 2544. **การเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินา.** เชียงใหม่: ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

ยุวดี พีรพรพิศาล และ ฉมาภรณ์ นิวาศบุตร. 2542. **คู่มือปฏิบัติการสาหร่ายวิทยา.** เชียงใหม่: ภาคชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

ยุวดี พีรพรพิศาล, สุพัตรา จันทร์ศิริโพธา และ สุนทรีย์ เปลื้องการ. 2535. **คุณค่าทางโภชนาการของสาหร่ายเกลียวทอง (*Spirulina platensis*) ที่เลี้ยงในน้ำจากส่าเหล้า.** เชียงใหม่: ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

รพีพรรณ พงษ์เชื้อชิดไทย. 2541. **การเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina platensis* ในน้ำเวย์นม.** เชียงใหม่: ปัญหาพิเศษวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาจุลชีววิทยา ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

ลัดดา วงศ์รัตน์. 2541. **คู่มือเลี้ยงแพลงก์ตอน.** กรุงเทพฯ: ภาควิชาชีววิทยาประมง คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ลัดดาวัลย์ รัศมิทัต. 2536. **จุลชีววิทยาทางอาหาร.** ชลบุรี: มหาวิทยาลัยบูรพา.

วราวุฒิ ครูส่ง. 2538. **จุลินทรีย์ในกระบวนการแปรรูปอาหาร**. กรุงเทพฯ: โอเดียนสโตร์.

วิพัฒน์ ถาวโรฤทธิ์. 2523. **การใช้ *Spirulina sp.* และ *Oscillatoria sp.* เป็นอาหารและส่วนประกอบของอาหารผสมสำหรับเลี้ยงลูกปลาไน.** กรุงเทพฯ: วิทยานิพนธ์การศึกษามหาบัณฑิต บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒประสานมิตร.

วิรัตน์ พลศรี. 2533. **การศึกษาการเจริญเติบโตของสาหร่ายสไปรูไลนา (*Spirulina platensis*) ที่เพาะเลี้ยงในอาหารจากมูลสัตว์ต่างชนิดกัน.** มหาสารคาม: วิทยานิพนธ์เกษตรศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ มหาสารคาม.

วิลาสินี เหล่าพงพิชญ์. 2532. **การเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina platensis* ในกากส่าเหล้า.** เชียงใหม่: วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

วิไลรัตน์ เจริญใหม่รุ่งเรือง. 2541. **ประสิทธิภาพของสาหร่ายสไปรูไลนา (Spirulina spp.) ในการลดค่าบีโอดี ไนโตรเจน และฟอสฟอรัส ของน้ำเสียโรงงานหมักดอง.** กรุงเทพฯ: วิทยานิพนธ์ ปริญญาโท มหาวิทยาลัยมหิดล.

วุฒิพร พรหมขุนทอง. 2527. **ผลของรงควัตถุคาโรทีนนอยด์ที่ได้จากแหล่งต่าง ๆ ต่อการเปลี่ยนสีของปลาคาร์ฟ *Cyprinus carpio Linn.*** กรุงเทพฯ: วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

วุฒิพร พรหมขุนทอง และ สมบัติ สิริพันธ์วราภรณ์. 2529. สไปรูลินาโปรตีนแหล่งใหม่ของมนุษย์. **วารสารสงขลานครินทร์.** 8(1): 99 - 103.

ศิริรัตน์ สังสะโอกาส. 2527. สาหร่ายอาหารของมนุษย์ในอนาคต. **วิทยาศาสตร์.** 15,2 (มกราคม): 11 - 20.

สถาบันประมงน้ำจืดแห่งชาติ. 2530. **สาหร่ายเกลียวทอง.** กรุงเทพฯ: กรมประมง.

สถิตย์ วงศ์สว่าง. 2533. **การเพาะเลี้ยงและปริมาณโปรตีนของสาหร่าย *Spirulina platensis* ที่เลี้ยงในน้ำเวย์เต้าหู้.** เชียงใหม่: วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

สมเกียรติ สุวรรณคีรี. 2542. **การเพาะเลี้ยงสาหร่ายเกลียวทอง (*Spirulina platensis*) ในระดับอุตสาหกรรมขนาดย่อมด้วยน้ำทิ้งจากโรงงานกระดาษสา.** เชียงใหม่: วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

สรวิศ เผ่าทองสุข. 2543. **ศักยภาพการวิจัย และพัฒนาเพื่อการใช้ประโยชน์จากสาหร่ายในประเทศไทย: เอกสารเผยแพร่ชุดโครงการ "อุตสาหกรรมสัตว์น้ำ" สกว. ชุดที่2.** กรุงเทพฯ: สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ.

สุขใจ โสมะฐิติ และ นวลพรรณ ณ ระนอง. 2530. การผลิต และการใช้สาหร่าย *Spirulina platensis* เพื่อการกำจัดน้ำทิ้งจากโรงงานฆ่าไก่ และการนำน้ำทิ้งโรงงานปลาป่นมาใช้ในการผลิตสาหร่าย *Spirulina platensis*. หน้า 606 - 607. ใน **รายงานการประชุมทางวิชาการมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่.** สงขลา: มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่

สุชาติ อิงคธรรมจิตร์. 2529. สาหร่ายเกลียวทอง (สไปรูลินา). **วารสารการประมง.** 39,2 (พฤศจิกายน): 615 - 621.

สุชาติ อิงคธรรมจิตร์, สุมาลี ดุลยอนุกิจ และ วราวุธ จอกเงิน. 2528. การทดลองเปรียบเทียบอัตราการเจริญเติบโตของสาหร่ายเกลียวทอง *(Spirulina)* ในถังที่มีน้ำหมุนเวียนตลอดเวลาและหมุนเวียนเป็นครั้งคราว. หน้า 71-74. ใน **รายงานการประชุมทางวิชาการสถาบันประมงน้ำจืดแห่งชาติ บางเขน.** กรุงเทพฯ: กรมประมง.

สุชาติ อิงธรรมจิตต์, เจียมจิตต์ บุญสม, เฉลิมวรรณ คงสงวนชัย, บรรจง โคกกระเทียม และชัยประดิษฐ์ แก้วประคำ. 2531. **การทดลองเบื้องต้นในการใช้น้ำจากกองปลาสดเลี้ยงสาหร่ายเกลียวทอง *(Spirulina sp.)*.** กรุงเทพฯ: สถาบันประมงน้ำจืดแห่งชาติ.

สุพัตรา จันทร์ศิริโพธา. 2533. **คุณค่าทางโภชนาการบางประการของสาหร่าย *spirulina platensis* ที่เลี้ยงในน้ำกากส่าเหล้า.** กรุงเทพฯ: วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการประมง บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สุมนทิพย์ บุญนาค. 2529. สาหร่ายเกลียวทอง. **วารสารการประมง มหาวิทยาลัยขอนแก่น** 14 (13) : 153 - 159.

สุมาลี ดุลยอนุกิจ. 2536. **ผลของระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ของไนโตรเจน และฟอสฟอรัสในสูตรอาหาร Zarrouk ต่อการเลี้ยงสาหร่ายเกลียวทอง.** กรุงเทพฯ: วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาประมง บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สุมาลี ว่องไว. 2527. *Spirulina* sp. กับการผลิต Single Cell Protein. **วารสารวิทยาศาสตร์การอาหาร.** 15(2): 1 - 10.

สุรียวรรณ เบญรงค์. 2536. **การใช้สาหร่ายเกลียวทองเป็นอาหารแกะ.** กรุงเทพฯ: วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิตสาขาสัตวบาล บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สุวิมล จิรอำไพรัตน์. 2536. **การเพาะเลี้ยงสาหร่ายเกลียวทองในน้ำทิ้งจากโรงงานขนมจีน.** มหาสารคาม: วิทยานิพนธ์เกษตรศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ มหาสารคาม.

เสกสรร ถารัตน์. 2536. **การเพาะเลี้ยงสาหร่ายเกลียวทองในน้ำทิ้งจากโรงงานขนมจีนผสมกับสูตรอาหาร Zarrouk.** มหาสารคาม: วิทยานิพนธ์เกษตรศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยศรีนครินรวิโรฒ มหาสารคาม.

หยกแก้ว ยามาลี, สมบูรณ์ ผู้พัฒน์ และ อรุณวรรณ บุญก่อสร้าง. 2533. **การเลี้ยงสาหร่าย *spirulina* จากน้ำทิ้งแหล่งชุมชนเพื่อใช้เป็นอาหารสัตว์.** กรุงเทพฯ: สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ.

อนุฤทธิ์ ตอพอ. 2537. **การเพาะเลี้ยงสาหร่ายเกลียวทองในน้ำทิ้งจากโรงงานขนมจีนความเข้มข้นต่างกัน.** มหาสารคาม: วิทยานิพนธ์เกษตรศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ มหาสารคาม.

อรุโณทัย โยธสิงห์. 2546. **การเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินา (*Spirulina platensis*) ในระดับนำร่องด้วยผลิตภัณฑ์ถั่วเหลือง.** เชียงใหม่: วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยแม่โจ้.

อำนาจ ศิริเพชร, พิมพรรณ ตันสกุล และ ดวงรัตน์ เทศประสิทธิ์. 2531. การเพาะเลี้ยงสาหร่าย *spirulina sp.* ในอาหารที่เตรียมจากดิน. **วารสารสงขลานครินทร์.** 10(2): 157 - 168.

อุดมลักษณ์ สมพงษ์. 2543. **การใช้สาหร่ายบำบัดน้ำทิ้งจากบ่อหมักก๊าซชีวภาพมูลสุกร จังหวัดราชบุรี.** เชียงใหม่: วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

โอภาส วิชชุไตรภพ. 2533. **ผลของสาหร่าย *spirulina platensis* ที่มีต่อการเติบโตและการเกิดสีของไข่นกกระทาพันธุ์ญี่ปุ่น (Coturnix coturnix japonica).** เชียงใหม่: การค้นคว้าอิสระเชิงวิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตรบัณฑิต (การสอนชีววิทยา) บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

Albeliovich, A. 1986. Algae in wastewater oxidation ponds. pp. 331 - 338 In Richmond, A. (ed.). **Handbook of Microalgal Mass Culture.** Florida : CRC Press.

American Pubic Heath Association. 1992. **Standard Method for Examination of Water and Waste Water.** 18 th ed. Washington D.C.: American Pubic Heath Association.

Beasley, Sonia. 1981. **The Spirulina Cookbook.** Boulder Creek, California: University of the Trees Press.

Becker, E.W. and L.V. Venkataraman. 1982. **Biotechnology and Expoitation of Algae: The Indian Approach.** Germany : German Agency for Technical Cooperation (GTZ).

__________. 1984. **Production and Utillzation of Blue - green Alga Spirulina in India Biomass 4.** India.

Blod, H.C. and M.J. Wynne. 1978. **Introduction to the Algae Structure and Reproduction.** Englewood Cliff., New Jersey: Prentice - Hall.

Cao, Z. Xu, G. Qiu, and B. Li. 1998. **Effects of $Mg^{2+}$ on the growth and DNase activity of *Spirulina platensis*, a cyanobacterium.** [online]. Available http://www.sciencedirect.com (17 May 2005).

Choubert, G.C. 1979. Tentative utilization of Spirulina algae as a source of carotenoid pigments for rainbow trout. **Aquaculture.** 18: 135 - 143.

Chung, P. 1978. Production and nutritive value of *arthrospira platensis*: a spiral blue - green alga grown on swine waste. **Journal of Animal Science**. 47(2) : 319 - 330.

Fogg, G.E., W.D.P. Stewart, P. Fay and A.E. Walsby. 1973. **The Blue - green Algae.** London: Academic Press.

Green H. and J.A. Kramer. 1979. **Food Processing Waste Management.** Westport, CT : AVI.

Grinstead, G.S., M.D. Tokach, S.S. Dritz, R.D. Goodband and J.L. Nessen. 1999. **Effects of *Spirulina platensis* on growth performance of weanling pigs.** [online]. Available http://www.sciencedirect.com (16 May 2005).

Hill, E.G. 1980. **The Secreats of Spirulina.** California: University of the Trees Press.

Hong, C.M. 1979. **Utilization of Hog Wastes in Taiwan through Anaerobic Fermentation** : **Extension Bulletin No.131 of ASPAC.** Taiwan : Food and Fertilization Technology Centre.

Lyon, S.R. and V.B. Elkins. 1985. Tertiary wastewater treatment using the blue green alga, Spirulina. pp. 753 - 761 In Harlin C. (editor). **Water Reuse Symposium; 1981 August 26 - 31**. San Dieago, C.L. AWWA Research Foundation.

Mosulishvili, L.M., E.I. Kirkesali, A.I. Belokobylsky, A.I. khizanishvili, M.V. Frontaryeva, S.S. Pavlov and S.F. Gundorina. 2002. **Experimental substantiation of the possibility of developing selenium - and lodine - containing pharmaceuticals based on blue - green algae spirulina platensis.** [online]. Available http://www.sciencedirect.com (16 May 2005).

Naidu, K.A., R. Sarada, G. Manoj, M.Y. Khan, M.M. Swamy, S. Viswanatha, K.N. Murthy, G.A. Ravishankar, and L. Srinivas 1999. Toxicity assessment of phycocyanin a blue colorant from blue green alga *spirulina platensis* **Food - biotechnology**. 13(1) : 51- 66.

Nakamura, H. 1982. **Spirulina Food for a Hungry World a Pioneer's Story in Aquaculture.** Boulder Cruk, California: University of the Trees Press.

Noue, J. de la, D. Proulx, R. Gray and Y. Turcotte. 1986. Algae biomass production from wasteswaters and swine manure. nutritional and safety aspects. pp. 141- 167. In Yong M.M. and K.F. Gregory (eds.). **Microbial Biomass Protein**. New York: Elsevier Applied Science.

Saxena, P.N., M. R. Ahmad, M. R. Shyam and D. V. Amla. 1983. Cultivated of spirulina in sewage for poultry feed. **Experientia**. 39: 1077 - 1083.

Soong, P. 1980. Production and development of chlorella and spirulina in Taiwan. pp. 97 - 113. In G. Shelef and C.J. Soeder (eds.). **Algae Biomass**. New York: Elsevier North - Holland Biomedical Press.

Stanley, J.G. and J.B. Jones 1976. Feeding algae of fish. **Aquaculture.** 7 (March): 219 - 228.

Venkataraman, G. S. 1983. **Blue Green Alga Spirulina**. Mysore, India: Central Food Technology Research Institute.

Venkataraman, L.V. 1983. **A Monograph on *Spirulina platensis***. India: Department of Science and Technology.

# ภาคผนวก

มหาวิทยาลัยแม่โจ้ แม่โจ้ ๒๔๓๗ สำนักหอสมุด

ภาคผนวก ก

ผลการทดลอง

**ตาราง 32** การเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina platensis* ในน้ำเสียจากการหมักดองผักเพื่อทราบระดับความเข้มข้นของน้ำเสียที่เหมาะสม

| Parameter | ความเข้มข้น 0% | | | | | | ความเข้มข้น 20% | | | | | | ความเข้มข้น 40% | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | วันที่ 0 | วันที่ 3 | วันที่ 6 | วันที่ 9 | วันที่12 | วันที่ 15 | วันที่ 0 | วันที่ 3 | วันที่ 6 | วันที่ 9 | วันที่ 12 | วันที่ 15 | วันที่ 0 | วันที่ 3 | วันที่ 6 | วันที่ 9 | วันที่ 12 | วันที่ 15 |
| Water temperature (°c) | 25.63 | 25.20 | 25.10 | 25.60 | 24.10 | 22.43 | 25.60 | 25.07 | 25.10 | 26.40 | 24.00 | 22.50 | 25.70 | 25.13 | 25.00 | 26 40 | 24.10 | 22.43 |
| pH | 9.50 | 9.70 | 9.70 | 9.80 | 9.60 | 9.70 | 9 50 | 9.50 | 9.70 | 9.90 | 10.00 | 10.00 | 9.50 | 9 70 | 9.87 | 9.87 | 9.83 | 9.50 |
| $BOD_5$ | 1.8 | 1.6 | 1.4 | 2.3 | 2.1 | 1.9 | 150 | 154 | 131 | 140 | 118 | 74 | 450 | 461 | 274 | 281 | 184 | 165 |
| COD | 2.3 | 3.2 | 3.6 | 2.1 | 3.2 | 1.3 | 420 | 471 | 386 | 404 | 194 | 206 | 840 | 840 | 728 | 391 | 287 | 303 |
| Conductivity | 27.50 | 32.48 | 26.45 | 28.64 | 27.4 | 31.00 | 4733 | 4632 | 4860 | 4268 | 4310 | 4622 | 9467 | 8150 | 9481 | 8763 | 9120 | 9405 |
| TDS | 1.20 | 1.28 | 1.47 | 1 26 | 1.18 | 1 00 | 9060 | 9360 | 8670 | 7038 | 6710 | 8848 | 18120 | 18017 | 18370 | 16081 | 16910 | 18000 |
| $NO_3$- N | 1.45 | 1.36 | 1.07 | 1.32 | 1.13 | 1.27 | 12.00 | 14.18 | 5.31 | 8.10 | 6.17 | 8.06 | 25.00 | 24.32 | 26.40 | 19.15 | 19.21 | 21.97 |
| $NH_3$- N | 13.50 | 15.14 | 11.32 | 3 71 | 4 32 | 5 60 | 60.50 | 63.85 | 57.40 | 29.13 | 30 17 | 32.57 | 121.00 | 126.68 | 118.32 | 119 10 | 73.23 | 87 56 |
| $PO_4$- P | 12.00 | 10.00 | 7.32 | 13.46 | 8.73 | 10.55 | 26.60 | 31.40 | 16.84 | 23.71 | 17.24 | 18.65 | 53.00 | 55.76 | 50.34 | 52.62 | 40 82 | 45.90 |
| OD | 0 30 | 0.12 | 0.03 | 0.02 | 0.02 | 0.01 | 0.30 | 0.25 | 0.20 | 0.42 | 0.23 | 0.17 | 0.30 | 0.28 | 0.41 | 0.40 | 0.38 | 0.32 |
| จำนวนเซลล์ (×$10^4$เซลล์มิลลิลิตร) | 0 126 | 0.253 | 0.926 | 0.258 | 0.258 | 0.127 | 0.634 | 3.425 | 1.522 | 5.328 | 2.918 | 2.157 | 1.395 | 1.903 | 9.066 | 10.148 | 11.163 | 4.059 |

* Air Temperature วันที่ 0 = 25.48 °c วันที่ 3 = 25.63 °c วันที่ 6 = 25.60 °c วันที่ 9 = 25.54 °c วันที่ 12 = 25.77 °c วันที่ 15 = 25.61 °c

**ตาราง 32** (ต่อ)

| Parameter | ความเข้มข้น 60% | | | | | | ความเข้มข้น 80% | | | | | | ความเข้มข้น 100% | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | วันที่ 0 | วันที่ 3 | วันที่ 6 | วันที่ 9 | วันที่ 12 | วันที่ 15 | วันที่ 0 | วันที่ 3 | วันที่ 6 | วันที่ 9 | วันที่ 12 | วันที่ 15 | วันที่ 0 | วันที่ 3 | วันที่ 6 | วันที่ 9 | วันที่ 12 | วันที่ 15 |
| Water temperature (°c) | 25.60 | 25.70 | 24.60 | 26.00 | 24.00 | 22.30 | 25.60 | 24.53 | 24.57 | 26.00 | 24.00 | 22.37 | 24.00 | 25 00 | 25.10 | 26.00 | 24.00 | 22.37 |
| pH | 9.50 | 9.72 | 9.88 | 10.10 | 10.20 | 10.00 | 9.80 | 9.60 | 10.03 | 9.85 | 9.90 | 9.83 | 9.50 | 10.10 | 10.03 | 9.85 | 9.83 | 9.70 |
| $BOD_5$ (mg/l) | 950 | 704 | 617 | 202 | 207 | 228 | 1400 | 1430 | 874 | 916 | 493 | 510 | 1750 | 1530 | 1240 | 1087 | 712 | 736 |
| COD (mg/l) | 1260 | 1732 | 1020 | 718 | 276 | 295 | 1680 | 2370 | 1508 | 760 | 608 | 613 | 2100 | 2740 | 1630 | 1210 | 913 | 918 |
| Conductivity | 14200 | 14563 | 14317 | 10260 | 10374 | 11873 | 18934 | 18970 | 18395 | 16051 | 15370 | 17826 | 23667 | 23561 | 23762 | 21160 | 22781 | 23598 |
| TDS | 27180 | 28093 | 21360 | 21740 | 20502 | 22725 | 36240 | 36105 | 36017 | 32150 | 32067 | 34120 | 45300 | 42010 | 45410 | 42741 | 42036 | 45169 |
| $NO_3$ - N | 37.50 | 35.41 | 40.67 | 27.36 | 24.31 | 26.50 | 50.00 | 52.65 | 48.10 | 42.34 | 38.67 | 41.87 | 62.50 | 65.38 | 61.70 | 49.67 | 50.23 | 53.41 |
| $NH_3$ - N | 181.50 | 193.59 | 170.16 | 120.34 | 61.49 | 77.54 | 202.00 | 221.15 | 183.71 | 185.65 | 150.30 | 192.81 | 302.50 | 286.36 | 307.59 | 231.19 | 240 | 261 |
| $PO_4$ - P | 80.00 | 76.32 | 83.71 | 40.39 | 28.56 | 35.87 | 106 | 96.47 | 101.35 | 67.71 | 71.46 | 68.93 | 133.00 | 143.16 | 127.42 | 62.39 | 68.30 | 77.43 |
| OD | 0.30 | 0.28 | 0.45 | 0.81 | 1.14 | 0.74 | 0.31 | 0.24 | 0.25 | 0.24 | 0.81 | 0.87 | 0.31 | 0.23 | 0.27 | 0.31 | 0 71 | 0.34 |
| จำนวนเซลล์ ($\times 10^4$ เซลล์มิลลิลิตร) | 1.903 | 2.283 | 5.708 | 10.275 | 14.461 | 9.387 | 1.776 | 2.918 | 1.923 | 3.044 | 10.275 | 11.036 | 2.156 | 2.663 | 2.156 | 9.066 | 9260 | 4.313 |

**ตาราง 33** การเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina platensis* ในน้ำเสียที่ระดับความเข้มข้นที่เหมาะสม ในการเพาะเลี้ยงสภาพห้องปฏิบัติการ โดยเติมสารอาหารเพื่อหาปริมาณสารอาหารที่เหมาะสม ระยะเวลาการเพาะเลี้ยง 15 วัน

| Parameter | ชุดการทดลองที่ 1 (ไม่เติมสารอาหาร) | | | | | | $NaHCO_3$ 4.25 g/l | | | | | | $NaHCO_3$ 8.5 g/l | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | วันที่ 0 | วันที่ 3 | วันที่ 6 | วันที่ 9 | วันที่ 12 | วันที่ 15 | วันที่ 0 | วันที่ 3 | วันที่ 6 | วันที่ 9 | วันที่ 12 | วันที่ 15 | วันที่ 0 | วันที่ 3 | วันที่ 6 | วันที่ 9 | วันที่ 12 | วันที่ 15 |
| Water temperature (°c) | 24.60 | 24.30 | 24.50 | 24.00 | 24.60 | 24.50 | 25.10 | 25.00 | 25.20 | 24.70 | 24.60 | 24.50 | 25.00 | 25.20 | 25.30 | 24.80 | 25.00 | 25.00 |
| pH | 9.50 | 9.60 | 9.80 | 10.00 | 10.10 | 10.00 | 9.60 | 9.60 | 9.50 | 9.80 | 10.00 | 9.80 | 9.60 | 9.70 | 9.60 | 9.80 | 9.80 | 9.60 |
| OD | 0.30 | 0.32 | 0.25 | 0.58 | 0.87 | 0.71 | 0.31 | 0.38 | 0.62 | 0.41 | 0.83 | 0.51 | 0.32 | 0.34 | 0.28 | 0.43 | 0.77 | 0.60 |
| จำนวนเซลล์ ($\times 10^4$ เซลล์มิลลิลิตร) | 1.268 | 1522 | 3.171 | 7.357 | 11.036 | 9.066 | 1.649 | 2.283 | 7.864 | 5.201 | 10.528 | 6.469 | 1.522 | 1.775 | 3.552 | 5.454 | 9.767 | 7.612 |

| Parameter | $NaHCO_3$ 12.75 g/l | | | | | | $K_2HPO_4$ 0.25 g/l | | | | | | $K_2HPO_4$ 0.5 g/l | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | วันที่ 0 | วันที่ 3 | วันที่ 6 | วันที่ 9 | วันที่ 12 | วันที่ 15 | วันที่ 0 | วันที่ 3 | วันที่ 6 | วันที่ 9 | วันที่ 12 | วันที่ 15 | วันที่ 0 | วันที่ 3 | วันที่ 6 | วันที่ 9 | วันที่ 12 | วันที่ 15 |
| Water temperature (°c) | 25.10 | 25.12 | 25.10 | 25.00 | 25.20 | 25.00 | 25.00 | 25.20 | 25.00 | 25.30 | 24.60 | 25.00 | 24.90 | 25.00 | 24.80 | 25.10 | 25.20 | 25.10 |
| pH | 9.60 | 9.70 | 9.95 | 9.98 | 9.98 | 9.50 | 9.50 | 9.60 | 9.80 | 10.00 | 10.10 | 10.00 | 9.60 | 9.80 | 9.70 | 10.00 | 9.90 | 9.70 |
| OD | 0.30 | 0.33 | 0.26 | 0.44 | 0.71 | 0.63 | 0.31 | 0.40 | 0.35 | 0.67 | 0.23 | 0.3 | 0.32 | 0.47 | 0.58 | 0.33 | 0.36 | 0.41 |
| จำนวนเซลล์ ($\times 10^4$ เซลล์มิลลิลิตร) | 0.634 | 1.649 | 3.298 | 5.581 | 9.066 | 7.918 | 2.283 | 3.044 | 4.439 | 8.499 | 2.917 | 3.805 | 1.775 | 2.156 | 3.552 | 4.186 | 4.566 | 5.201 |

* Air Temperature วันที่ 0 = 26.30 °c วันที่ 3 = 26.34 °c วันที่ 6 = 26.40 °c วันที่ 9 = 26.34 °c วันที่ 12 = 26.47 °c วันที่ 15 = 26.31 °c

**ตาราง 33 (ต่อ)**

| Parameter | $K_2HPO_4$ 0.75 g/l | | | | | | $NaNO_3$ 0.75g/l | | | | | | $NaNO_3$ 1.5 g/l | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | วันที่ 0 | วันที่ 3 | วันที่ 6 | วันที่ 9 | วันที่ 12 | วันที่ 15 | วันที่ 0 | วันที่ 3 | วันที่ 6 | วันที่ 9 | วันที่ 12 | วันที่ 15 | วันที่ 0 | วันที่ 3 | วันที่ 6 | วันที่ 9 | วันที่ 12 | วันที่ 15 |
| Water temperature (°c) | 24.60 | 24.50 | 24.70 | 25.00 | 25.10 | 25.00 | 25.10 | 25.20 | 25.00 | 24.80 | 24.90 | 24.20 | 25.00 | 25.20 | .2480 | 25.10 | 25.00 | 25.00 |
| pH | 9.50 | 9.60 | 9.80 | 9.70 | 9.95 | 9.80 | 9.60 | 9.70 | 9.90 | 10.10 | 10.10 | 10.10 | 9.60 | 9.70 | 9.80 | 9.60 | 9.98 | 9.70 |
| OD | 0.30 | 0.37 | 0.23 | 0.38 | 0.46 | 0.31 | 0.30 | 0.23 | 0.38 | 0.45 | 0.48 | 0.32 | 0.31 | 0.26 | 0.31 | 0.35 | 0.42 | 0.31 |
| จำนวนเซลล์ ($\times10^4$ เซลล์มิลลิลิตร) | 0.381 | 2.156 | 2.917 | 4.820 | 5.835 | 3.933 | 1.268 | 2.917 | 4.820 | 5.708 | 6.089 | 4.059 | 1.141 | 2.023 | 3.932 | 4.439 | 5.327 | 3.932 |

| Parameter | $NaNO_3$ 2.25 g/l | | | | | | (N:P:K) 0.3 g/l | | | | | | (N:P:K) 0.6 g/l | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | วันที่ 0 | วันที่ 3 | วันที่ 6 | วันที่ 9 | วันที่ 12 | วันที่ 15 | วันที่ 0 | วันที่ 3 | วันที่ 6 | วันที่ 9 | วันที่ 12 | วันที่ 15 | วันที่ 0 | วันที่ 3 | วันที่ 6 | วันที่ 9 | วันที่ 12 | วันที่ 15 |
| Water temperature (°c) | 24.30 | 25.00 | 24.70 | 25.00 | 24.90 | 25.00 | 24.60 | 24.70 | 24.30 | 24.00 | 24.60 | 24.70 | 24.60 | 24.80 | 25.00 | 24.30 | 24.80 | 24.60 |
| pH | 9.60 | 9.70 | 9.80 | 10.00 | 9.98 | 9.95 | 9.50 | 9.70 | 9.90 | 10.10 | 10.20 | 10.00 | 9.70 | 9.60 | 9.80 | 9 60 | 9.80 | 9.60 |
| OD | 0.30 | 0.25 | 0.28 | 0.27 | 0.30 | 0.25 | 0.32 | 0.26 | 0.31 | 0.21 | 0.32 | 0.22 | 0.31 | 0.24 | 0.26 | 0.25 | 0.35 | 0.28 |
| จำนวนเซลล์ ($\times10^4$ เซลล์มิลลิลิตร) | 1.014 | 1.902 | 3.552 | 3.425 | 3.805 | 3.171 | 1.522 | 3.298 | 3.932 | 2.663 | 4.059 | 2.790 | 0.507 | 1.395 | 3.298 | 3.171 | 4.439 | 3.551 |

| Parameter | (N:P:K) 0.9 g/l | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | วันที่ 0 | วันที่ 3 | วันที่ 6 | วันที่ 9 | วันที่ 12 | วันที่ 15 |
| Water temperature (°c) | 25.00 | 25.10 | 25.20 | 25.00 | 25.10 | 25.00 |
| pH | 9.60 | 9.50 | 9.80 | 9.70 | 9.95 | 9.70 |
| OD | 0.30 | 0.26 | 0.24 | 0.28 | 0.31 | 0.30 |
| จำนวนเซลล์ ($\times10^4$ เซลล์มิลลิลิตร) | 0.253 | 1.522 | 3.044 | 3.552 | 3.932 | 3.805 |

**ตาราง 34** การเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina platensis* ในน้ำเสียที่ระดับความเข้มข้นที่เหมาะสม ในการเพาะเลี้ยงสภาพกลางแจ้ง โดยเติมสารอาหารเพื่อหาปริมาณสารอาหารที่เหมาะสม ระยะเวลาการเพาะเลี้ยง 15 วัน

| Parameter | ชุดการทดลองที่ 1 (ไม่เติมสารอาหาร) | | | | | | $NaHCO_3$ 4.25 g/l | | | | | | $NaHCO_3$ 8.5 g/l | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | วันที่ 0 | วันที่ 3 | วันที่ 6 | วันที่ 9 | วันที่ 12 | วันที่ 15 | วันที่ 0 | วันที่ 3 | วันที่ 6 | วันที่ 9 | วันที่ 12 | วันที่ 15 | วันที่ 0 | วันที่ 3 | วันที่ 6 | วันที่ 9 | วันที่ 12 | วันที่ 15 |
| Water temperature (°c) | 27 90 | 25.00 | 26.20 | 26.16 | 25.17 | 27.12 | 27.87 | 25.00 | 26.31 | 25.18 | 25.16 | 27.14 | 25.90 | 25.30 | 25.70 | 26.10 | 26.12 | 26.00 |
| pH | 10.15 | 10.10 | 10.03 | 9.87 | 10 10 | 10.00 | 10.08 | 10.00 | 10.06 | 9.98 | 9.97 | 9.87 | 9.50 | 9.80 | 10.02 | 10.00 | 10.00 | 9.80 |
| OD | 0.30 | 0 42 | 0.63 | 0.76 | 1.25 | 1.13 | 0.31 | 0.27 | 0.51 | 0.82 | 0.71 | 0.73 | 0.32 | 0.25 | 0.31 | 0.36 | 0.51 | 0.47 |
| จำนวนเซลล์ ($\times10^4$ เซลล์/มิลลิลิตร) | 2.283 | 2.790 | 7.991 | 9.640 | 15.856 | 14.334 | 2.663 | 3.425 | 6.469 | 10.402 | 9.066 | 9.260 | 0.761 | 1.902 | 3.932 | 4.566 | 6.469 | 5.962 |

| Parameter | $NaHCO_3$ 12.75 g/l | | | | | | $K_2HPO_4$ 0.25 g/l | | | | | | $K_2HPO_4$ 0.5 g/l | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | วันที่ 0 | วันที่ 3 | วันที่ 6 | วันที่ 9 | วันที่ 12 | วันที่ 15 | วันที่ 0 | วันที่ 3 | วันที่ 6 | วันที่ 9 | วันที่ 12 | วันที่ 15 | วันที่ 0 | วันที่ 3 | วันที่ 6 | วันที่ 9 | วันที่ 12 | วันที่ 15 |
| Water temperature (°c) | 26.00 | 26.10 | 25.80 | 25.50 | 25.40 | 25.20 | 26.21 | 26.13 | 26.72 | 27.02 | 26.13 | 26.10 | 26.18 | 26.12 | 26.70 | 26.20 | 26.00 | 26.10 |
| pH | 9.70 | 9.60 | 9.50 | 10.00 | 10.10 | 9.87 | 10.01 | 9.98 | 10.00 | 9.95 | 9.98 | 9.97 | 9.60 | 9.50 | 9.93 | 9.95 | 10.00 | 9.80 |
| OD | 0.31 | 0.27 | 0.20 | 0.35 | 0.42 | 0.36 | 0.30 | 0.28 | 0.32 | 0.95 | 0.84 | 0.76 | 0.31 | 0.25 | 0.21 | 0.64 | 0.71 | 0.41 |
| จำนวนเซลล์ ($\times10^4$ เซลล์/มิลลิลิตร) | 1.522 | 2.156 | 2.537 | 4 439 | 5.327 | 4.566 | 2.029 | 2.283 | 4.059 | 12.051 | 10.655 | 9.640 | 1.395 | 1.902 | 2.663 | 8.118 | 9.066 | 5.201 |

* Air Temperature วันที่ 0 = 26.51 °c วันที่ 3 = 26.73 °c วันที่ 6 = 26.40 °c วันที่ 9 = 26.54 °c วันที่ 12 = 26.74 °c วันที่ 15 = 26.50 °c

**ตาราง 34** (ต่อ)

| Parameter | $K_2HPO_4$ 0.75 g/l | | | | | | $NaNO_3$ 0.75g/l | | | | | | $NaNO_3$ 1.5 g/l | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | วันที่ 0 | วันที่ 3 | วันที่ 6 | วันที่ 9 | วันที่ 12 | วันที่15 | วันที่ 0 | วันที่ 3 | วันที่ 6 | วันที่ 9 | วันที่ 12 | วันที่ 15 | วันที่ 0 | วันที่ 3 | วันที่ 6 | วันที่ 9 | วันที่ 12 | วันที่ 15 |
| Water temperature (°c) | 26.20 | 26.17 | 27.12 | 26.10 | 26.00 | 26.12 | 26.20 | 26.17 | 27.00 | 27.12 | 26.10 | 26.00 | 26.31 | 26.42 | 27.10 | 27.23 | 26.23 | 26.23 |
| pH | 9.50 | 9.70 | 9.60 | 9.95 | 9.98 | 9.60 | 10.03 | 10.00 | 9.95 | 9.98 | 9.96 | 9.96 | 9.80 | 9.70 | 9.50 | 9.80 | 9.95 | 9.70 |
| OD | 0.30 | 0.23 | 0.32 | 0.52 | 0.64 | 0.45 | 0.31 | 0.27 | 0.37 | 0.58 | 0.78 | 0.41 | 0.32 | 0.27 | 0.34 | 0.58 | 0.65 | 0.52 |
| จำนวนเซลล์ (×$10^4$ เซลล์ต่อมิลลิลิตร ) | 1.141 | 1.649 | 4 059 | 6.596 | 8.118 | 5.708 | 2.663 | 3.425 | 4.693 | 7.357 | 9.894 | 5.201 | 1.522 | 3.425 | 4.313 | 7.357 | 8.245 | 6.596 |

| Parameter | $NaNO_3$ 2.25 g/l | | | | | | (N:P:K) 0.3 g/l | | | | | | (N:P:K) 0.6 g/l | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | วันที่ 0 | วันที่ 3 | วันที่ 6 | วันที่ 9 | วันที่ 12 | วันที่ 15 | วันที่ 0 | วันที่ 3 | วันที่ 6 | วันที่ 9 | วันที่ 12 | วันที่ 15 | วันที่ 0 | วันที่ 3 | วันที่ 6 | วันที่ 9 | วันที่ 12 | วันที่ 15 |
| Water temperature (°c) | 26.30 | 26.50 | 27.01 | 27.25 | 26.12 | 26.10 | 26.21 | 26.32 | 27.10 | 27.16 | 26.28 | 26.14 | 26.31 | 26.87 | 26.31 | 26.31 | 26.23 | 26.10 |
| pH | 9.60 | 9.70 | 9.80 | 9.95 | 9.98 | 9.50 | 10.09 | 10.04 | 10.02 | 9.98 | 10.00 | 9.96 | 9.70 | 9.60 | 9.55 | 9.90 | 9.95 | 9.80 |
| OD | 0.30 | 0.23 | 0.45 | 0.57 | 0.66 | 0.54 | 0.31 | 0.26 | 0.41 | 0.83 | 0.74 | 0.61 | 0.30 | 0.31 | 0.48 | 0.56 | 0.64 | 0.55 |
| จำนวนเซลล์ (×$10^4$เซลล์ต่อมิลลิลิตร) | 1.268 | 2.917 | 5.708 | 7.230 | 8.372 | 6.850 | 2.283 | 3.298 | 5.201 | 10.528 | 9.387 | 7.738 | 1.775 | 3.932 | 6.088 | 7.103 | 8.118 | 6.976 |

| Parameter | (N:P:K) 0.9 g/l | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | วันที่ 0 | วันที่ 3 | วันที่ 6 | วันที่ 9 | วันที่ 12 | วันที่ 15 |
| Water temperature (°c) | 26.41 | 26.32 | 27.00 | 27.00 | 26.32 | 26.30 |
| pH | 9.60 | 9.70 | 9.80 | 9.97 | 9.98 | 9.60 |
| OD | 0.30 | 0.30 | 0.41 | 0.57 | 0.70 | 0.61 |
| จำนวนเซลล์ (×$10^4$ เซลล์ต่อมิลลิลิตร) | 1.649 | 3.805 | 5.201 | 7.230 | 8.879 | 7.738 |

**ตาราง 35** ผลการทดลองการเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina platensis* แบบกะ

| Parameter | ชุดการทดลองที่ 1 (ไม่เติมสารอาหาร) | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | วันที่ 0 | วันที่ 1 | วันที่ 2 | วันที่ 3 | วันที่ 4 | วันที่ 5 | วันที่ 6 | วันที่ 7 | วันที่ 8 | วันที่ 9 | วันที่ 10 | วันที่ 11 | วันที่ 12 | วันที่ 13 | วันที่ 14 | วันที่ 15 |
| Water temperature (°c) | 25.60 | 25.00 | 24.50 | 25.10 | 25.00 | 25.10 | 24.50 | 24.10 | 25.00 | 24.10 | 25.20 | 25.10 | 25.00 | 26.00 | 25.10 | 25.50 |
| pH | 9.50 | 9.50 | 9.70 | 9.80 | 9.90 | 9.70 | 10.00 | 10.20 | 10.20 | 10.00 | 10.20 | 10.30 | 10.00 | 9.80 | 9.60 | 9.60 |
| $BOD_5$ | 975 | 940 | 961 | 981 | 812 | 730 | 637 | 680 | 526 | 421 | 430 | 264 | 171 | 194 | 178 | 209 |
| COD | 1280 | 1240 | 1290 | 1310 | 1230 | 940 | 732 | 840 | 652 | 417 | 512 | 307 | 151 | 184 | 153 | 160 |
| Conductivity | 14000 | 14110 | 14082 | 14070 | 13984 | 13725 | 13710 | 12456 | 12460 | 12367 | 12340 | 11264 | 10271 | 10310 | 10652 | 11537 |
| TDS | 27650 | 27524 | 24671 | 27810 | 25031 | 25412 | 22023 | 22315 | 22128 | 22036 | 22174 | 22405 | 20397 | 20154 | 20406 | 22524 |
| $NO_3$- N | 39.00 | 33.42 | 37.06 | 44.30 | 38.17 | 45.13 | 40.68 | 36.02 | 38.46 | 28.34 | 26.10 | 28.09 | 22.60 | 24.15 | 26.07 | 27.79 |
| $NH_3$- N | 186.00 | 184.10 | 175.07 | 170.80 | 153.12 | 155.02 | 127.46 | 113.50 | 101.30 | 86.32 | 74.12 | 68.50 | 64.40 | 71.02 | 69.45 | 77.69 |
| $PO_4$- P | 83.00 | 62.70 | 65.12 | 71.26 | 65.21 | 43.02 | 37.48 | 41.32 | 45.06 | 46.70 | 41.13 | 38.41 | 28.31 | 30.05 | 31.52 | 37.55 |
| OD | 0.37 | 0.29 | 0.12 | 0.45 | 0.47 | 0.35 | 0.71 | 0.41 | 0.84 | 1.24 | 1.17 | 1.08 | 1.36 | 1.04 | 1.13 | 1.10 |
| จำนวนเซลล์ ($\times 10^4$ เซลล์ต่อมิลลิลิตร) | 4.693 | 3.678 | 1.522 | 5.708 | 5.962 | 4.439 | 9.066 | 5.201 | 10.655 | 15.729 | 14.842 | 13.700 | 17.252 | 13.193 | 4.693 | 3.679 |

* Air Temperature วันที่ 0 = 26.81 °c วันที่ 3 = 26.43 °c วันที่ 6 = 26.20 °c วันที่ 9 = 26.34 °c วันที่ 12 = 26.44 °c วันที่ 15 = 26.50 °c

**ตาราง 35** (ต่อ)

| Parameter | ชุดการทดลองที่ 2 (เติมสารอาหาร) | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | วันที่ 0 | วันที่ 1 | วันที่ 2 | วันที่ 3 | วันที่ 4 | วันที่ 5 | วันที่ 6 | วันที่ 7 | วันที่ 8 | วันที่ 9 | วันที่ 10 | วันที่ 11 | วันที่ 12 | วันที่ 13 | วันที่ 14 | วันที่ 15 |
| Water temperature (°c) | 25.60 | 25.10 | 24.80 | 25.20 | 24.50 | 25.20 | 25.50 | 25.00 | 25.50 | 26.00 | 26.10 | 25.20 | 25.00 | 26.20 | 26.20 | 26.00 |
| pH | 9.50 | 9.70 | 9.50 | 9.70 | 9.60 | 9.50 | 9.80 | 9.80 | 9.50 | 9.60 | 9.70 | 10.00 | 9.80 | 9.60 | 9.60 | 9.50 |
| $BOD_5$ | 1200 | 1143 | 1180 | 1237 | 1138 | 1039 | 934 | 637 | 617 | 683 | 702 | 526 | 311 | 402 | 371 | 402 |
| COD | 2350 | 2210 | 2370 | 2420 | 2041 | 1580 | 980 | 750 | 642 | 675 | 602 | 618 | 401 | 425 | 412 | 439 |
| Conductivity | 19500 | 19354 | 19412 | 19583 | 18654 | 17420 | 17230 | 17336 | 17021 | 16810 | 16970 | 16231 | 15619 | 16410 | 16651 | 17503 |
| TDS | 29690 | 29320 | 29521 | 29730 | 26451 | 26320 | 25267 | 25341 | 26001 | 25618 | 25845 | 25320 | 24710 | 25131 | 25360 | 26786 |
| $NO_3$- N | 665 | 640.32 | 651.20 | 681.19 | 645.32 | 658.62 | 580.20 | 540.20 | 560.20 | 567.20 | 520.31 | 508.00 | 406.71 | 421.10 | 436.51 | 521.16 |
| $NH_3$- N | 287 | 270.36 | 245.21 | 260.56 | 230.45 | 207.15 | 134.20 | 125.30 | 130.80 | 150.70 | 136.61 | 145.12 | 126.71 | 130.50 | 127.06 | 176.10 |
| $PO_4$- P | 115 | 118.00 | 102.00 | 108.45 | 112.34 | 96.21 | 63.51 | 58.62 | 61.74 | 71.38 | 68.02 | 69.45 | 52.45 | 48.56 | 57.04 | 67.51 |
| OD | 0.26 | 0.28 | 0.33 | 0.31 | 0.51 | 0.37 | 0.48 | 0.35 | 0.62 | 1.03 | 1.05 | 0.87 | 1.08 | 0.67 | 0 74 | 0.80 |
| จำนวนเซลล์ (×$10^4$เซลล์ต่อมิลลิลิตร) | 3.298 | 3.552 | 4.186 | 3.932 | 6.469 | 4.693 | 6 088 | 4.439 | 7.864 | 13.065 | 13.319 | 11.036 | 13.700 | 8.499 | 3.298 | 3.551 |

**ตาราง 36** ผลการทดลองการเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina platensis* แบบกึ่งต่อเนื่อง

| Parameter | ชุดการทดลองที่ 1 (ไม่เติมสารอาหาร) | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | วันที่ 0 | วันที่ 3 | วันที่ 6 | วันที่ 9 | วันที่ 12 | วันที่ 15 | วันที่ 18 | วันที่ 21 | วันที่ 24 | วันที่ 27 | วันที่ 30 |
| Water temperature (°c) | 24.10 | 24.00 | 24.20 | 24.10 | 24.00 | 23.80 | 23.90 | 24.00 | 24.00 | 24.10 | 24.00 |
| pH | 9.50 | 9.60 | 9.80 | 10.00 | 10.10 | 10.00 | 10.00 | 9.80 | 9.70 | 9.70 | 9.60 |
| $BOD_5$ | 1050 | 1000 | 700 | 455 | 230 | 246 | 410 | 395 | 400 | 430 | 420 |
| COD | 1900 | 1655 | 980 | 508 | 254 | 271 | 301 | 345 | 338 | 290 | 271 |
| Conductivity | 13300 | 13000 | 12785 | 11350 | 10050 | 10167 | 10178 | 10180 | 10090 | 11358 | 10411 |
| TDS | 26000 | 24244 | 22023 | 21100 | 20250 | 20428 | 20428 | 21010 | 20418 | 20200 | 21410 |
| $NO_3$- N | 27.12 | 25.06 | 25.10 | 25.03 | 25.11 | 25.17 | 25.09 | 25.00 | 25.04 | 25.13 | 24.99 |
| $NH_3$- N | 9.78 | 8.54 | 7.79 | 7.55 | 7.47 | 7.44 | 7.48 | 7.51 | 7.44 | 7.42 | 7.44 |
| $PO_4$- P | 103.25 | 90.03 | 82.15 | 79.62 | 78.8 | 78.54 | 78.45 | 78.43 | 78.44 | 78.43 | 78.40 |
| OD | 0.274 | 0.482 | 0.896 | 1.492 | 1.835 | 1.904 | 1.720 | 1.350 | 1.016 | 0.837 | 0.710 |
| จำนวนเซลล์ ($\times 10^4$ เซลล์ต่อมิลลิลิตร) | 3.475 | 6.114 | 11.366 | 18.926 | 23.277 | 24.153 | 21.818 | 17.125 | 12.889 | 10.617 | 9.066 |

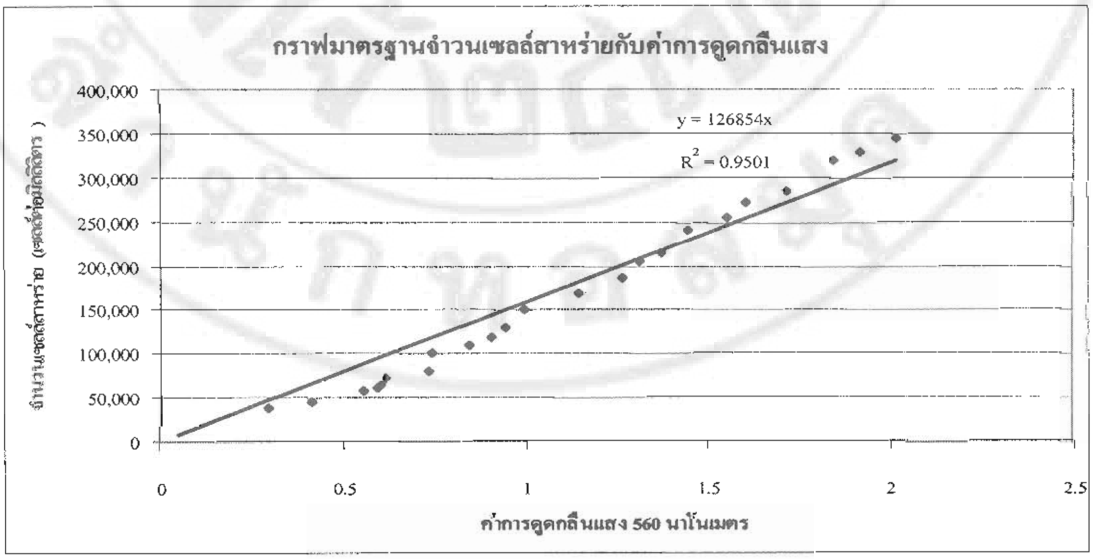
* Air Temperature วันที่ 0 = 25.11 °c วันที่ 3 = 25.23 °c วันที่ 6 = 25.40 °c วันที่ 9 = 25.64 °c วันที่ 12 = 25.14 °c วันที่ 15 = 25.20 °c

**ตาราง 36** (ต่อ)

| Parameter | ชุดการทดลองที่ 2 (เติมสารอาหาร) | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | วันที่ 0 | วันที่ 3 | วันที่ 6 | วันที่ 9 | วันที่ 12 | วันที่ 15 | วันที่ 18 | วันที่ 21 | วันที่ 24 | วันที่ 27 | วันที่ 30 |
| Water temperature (°c) | 24.20 | 24.10 | 24.00 | 24.30 | 24.20 | 24.00 | 24.10 | 23.90 | 23.80 | 24.00 | 23.90 |
| pH | 9.60 | 9.50 | 9.70 | 9.80 | 10.00 | 10.00 | 9.80 | 9.80 | 9.70 | 9.60 | 9.60 |
| $BOD_5$ | 1350 | 1260 | 886 | 623 | 410 | 475 | 520 | 502 | 590 | 595 | 589 |
| COD | 2450 | 2420 | 1766 | 787 | 457 | 501 | 519 | 542 | 558 | 520 | 530 |
| Conductivity | 20250 | 18500 | 17250 | 16900 | 16800 | 17350 | 16483 | 14481 | 15940 | 16817 | 16415 |
| TDS | 31500 | 28950 | 27020 | 26900 | 26600 | 26687 | 26780 | 26915 | 26610 | 26780 | 26716 |
| $NO_3$- N | 45.30 | 32.15 | 24.30 | 21.78 | 20.98 | 27.20 | 20.64 | 26.04 | 20.58 | 20.67 | 20.78 |
| $NH_3$- N | 58.00 | 31.09 | 15.00 | 9.85 | 8.21 | 7.68 | 7.52 | 7.46 | 7.45 | 7.47 | 7.47 |
| $PO_4$- P | 348 | 299 | 275 | 265 | 262.5 | 261.4 | 261.2 | 261.4 | 261 | 261.2 | 261.2 |
| OD | 0.231 | 0.427 | 0.830 | 1.074 | 1.256 | 1.270 | 1.204 | 0.564 | 0.673 | 0.592 | 0.541 |
| จำนวนเซลล์ ($\times 10^4$ เซลล์ต่อมิลลิลิตร) | 2.930 | 5.416 | 10.528 | 13.624 | 15.932 | 16.110 | 15.273 | 7.154 | 8.537 | 7.509 | 6.863 |

**ตาราง 37** ค่า OD ที่ความยาวคลื่น 560 นาโนเมตร และจำนวนเซลล์สาหร่าย (เซลล์ต่อมิลลิลิตร)

| OD | จำนวนเซลล์สาหร่าย (เซลล์ต่อมิลลิลิตร) |
|---|---|
| 0.3 | 38,000 |
| 0.42 | 45,000 |
| 0.56 | 58,000 |
| 0.6 | 61,000 |
| 0.61 | 65,000 |
| 0.62 | 72,000 |
| 0.74 | 80,000 |
| 0.75 | 100,000 |
| 0.85 | 110,000 |
| 0.91 | 120,000 |
| 0.95 | 130,000 |
| 1 | 150,000 |
| 1.15 | 170,000 |
| 1.27 | 187,000 |
| 1.32 | 205,000 |
| 1.38 | 215,000 |
| 1.45 | 242,000 |
| 1.56 | 255,000 |
| 1.61 | 273,000 |
| 1.72 | 285,000 |
| 1.85 | 320,000 |
| 1.92 | 330,000 |
| 2.02 | 345,000 |




**ภาพ 29** กราฟมาตรฐานแสดงความสัมพันธ์ของจำนวนเซลล์สาหร่ายกับค่าดูดกลืนแสง

**ผลการวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการของสาหร่าย *Spirulina platensis***

การวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการของสาหร่าย *Spirulina platensis* ทำได้โดยการนำสาหร่าย *Spirulina platensis* ที่ได้จากการเพาะเลี้ยง แบบ Semi - continuous culture ชุดการทดลองที่ไม่เติมสารอาหาร อบด้วยตู้อบความร้อนที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 - 9 ชั่วโมง นำสาหร่ายที่อบแห้งไปตรวจวิเคราะห์คุณภาพอาหาร

โดยการวิเคราะห์หาปริมาณโปรตีน (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแห้ง) จากสาหร่าย *Spirulina platensis* ที่เพาะเลี้ยงในน้ำเสียจากโรงงานหมักดองผัก พบว่า มีปริมาณโปรตีน 34.14 เปอร์เซ็นต์ ไขมัน 0.91 เปอร์เซ็นต์ เยื่อใย 1.98 เปอร์เซ็นต์ เถ้า 26.62 เปอร์เซ็นต์ สิ่งแห้ง 88.24 เปอร์เซ็นต์ แคลเซียม 6.02 เปอร์เซ็นต์ ฟอสฟอรัส 3.44 เปอร์เซ็นต์ พลังงาน 3,373 แคลอรี่ต่อกรัม และ AIA 1.36 เปอร์เซ็นต์

# ภาคผนวก ข
# วิธีการตรวจวัดค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ตามวิธีมาตรฐาน

## 1. การตรวจวิเคราะห์ค่าแอมโมเนีย

แอมโมเนีย ในแหล่งน้ำเกิดขึ้นเนื่องจากการย่อยสลายของสารอินทรีย์ที่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบสำคัญ เช่น โปรตีนและจากการขับถ่ายของเสียของสัตว์ แอมโมเนียในแหล่งน้ำจะปรากฏอยู่ 2 รูปแบบ คือ $NH_3$ และ $NH_4$ ซึ่งสัดส่วนระหว่าง $NH_3$ กับ $NH_4$ จะเปลี่ยนแปลงความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) และอุณหภูมิของแหล่งน้ำ แอมโมเนียในรูป $NH_3$ ในปริมาณที่เข้มข้นจะเกิดโทษต่อสัตว์น้ำหลายอย่าง เช่น การระคายเคืองของเหงือก การหายใจ การขับถ่ายของเสีย pH ในเลือดสูง เป็นต้น ระดับความเป็นพิษของแอมโมเนียต่อสัตว์น้ำขึ้นอยู่กับชนิดและสภาพแวดล้อม อื่น ๆ ประกอบกัน

### อุปกรณ์

1. spectrophotometer และ cuvette
2. กระดาษกรอง
3. อุปกรณ์เครื่องแก้ว เช่น ขวดรูปชมพู่ ปิเปต

### สารเคมี

1. oxidizing solution

เตรียม สารโซเดียมไฮโปคลอไรด์ (5%) หรือ ใช้น้ำนาฟอกสี เช่น ไฮเตอร์, คลอรอกซ์ที่มีคลอรีนประมาณ 5% จำนวน 10 ml. ผสมกับน้ำกลั่น 40 ml. ปรับ pH ของสารละลายให้อยู่ระหว่าง 6.5 - 7.0 ด้วยเกลือ (HCl) สารละลายนี้ควรเตรียมใหม่ทุกอาทิตย์

2. rochelle salt solution

ละลาย rochelle salt จำนวน 50 กรัม ในน้ำกลั่น 100 ml ต้ม 30 นาที แล้วทิ้งให้เย็นแล้วจึงเติม manganous sulphate ($MnSo_4$) 50 มิลลิกรัม เติมน้ำกลั่นที่ปราศจากแอมโมเนีย ให้ได้ปริมาตรครบ 100 ml.

3. phenate solution

ละลาย โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) 2.5 กรัม และฟีนอล (phenol) จำนวน 10 กรัม ในน้ำกลั่นที่ปราศจากแอมโมเนียให้ได้ปริมาตรครบ 100 ml. สารละลายนี้ควรเตรียมใหม่ทุกอาทิตย์

4. standard ammonium chloride solution

ชั่ง $NH_4Cl$ ที่อบแห้ง 3.819 กรัม ละลายน้ำที่ปราศจากแอมโมเนีย ให้ได้ปริมาตร 1,000 ml. จะได้สารละลายแอมโมเนียมาตรฐานที่มีความเข้มข้น 1,000 mg/l จากนั้นดูดสารละลาย

มาจำนวน 5 ml. dilute ด้วยน้ำกลั่น 500 ml. จะได้สารละลายแอมโมเนียมาตรฐาน ที่มีความเข้มข้น 10 mg/l. จากนั้น ดูดสารละลาย 15 ml. dilute ด้วยน้ำกลั่น 500 ml. จะได้สารละลายแอมโมเนียมาตรฐานที่มีความเข้มข้น 0.3 m/l. ใช้เป็น standard ammonium chloride solution

**วิธีการ**

1. ดูดน้ำตัวอย่างที่ผ่านการกรองด้วยกระดาษกรอง จำนวน 10 ml. ลงใน Beaker 50 ml.

2. ขณะที่เขย่าน้ำตัวอย่างใน Beaker ให้เติมสารละลาย

   - rochelle salt solution 1 หยด
   - oxidizing solution 0.5 ml.
   - phenate solution 0.6 ml.

3. ตั้งไว้อย่างน้อย 15 นาที เพื่อให้สารละลายทำปฏิกิริยาเต็มที่

4. นำไปวัดค่าการดูดซับแสงด้วยเครื่อง dpectrophotometer ที่คลื่น 630 นาโนเมตร (nm) พร้อมกับ reagent blank โดยใช้น้ำกลั่น และเตรียม standard solution โดยใช้ standard ammonium chloride (0.3 mg/l) อย่างละ 10 ml. แทนตัวอย่างน้ำและเติมสารละลายใน ข้อ. 2

5. คำนวณค่าความเข้มข้นแอมโมเนีย โดยเปรียบเทียบกับสารละลายแอมโมเนียมาตรฐาน ดังนี้ คำนวณปริมาณ total ammonia - nitrogen ด้วยสมการ

$$C1 = A1 \quad \text{หรือ} \quad C2 = \frac{C1\,A2}{A1}$$

โดยที่ C1 = ความเข้มข้นของ total ammonia - nitrogen ใน standard solution

C2 = ความเข้มข้นของ total ammonia - nitrogen ใน sample

A1 = ค่า absorbance ของ standard solution

A2 = ค่า absorbance ของ sample

6. รายงานผลการปฏิบัติงาน

## 2. การตรวจวิเคราะห์ค่าไนเตรท

ไนเตรท เป็นสารประกอบของไนโตรเจนที่พบมากที่สุดในลำธาร ทะเลสาป ซึ่งจะพบในปริมาณมากหรือน้อยขึ้นกับลักษณะ และวิธีการใช้ที่ดินในทางการเกษตรบริเวณแหล่งต้นน้ำ เนื่องจากไนเตรตเป็นสารประกอบที่สามรถถูกชะล้างได้ง่าย เมื่อมีการไหลผ่านของน้ำบนพื้นดิน ดังนั้น ปริมาณไนเตรต จะลงสู่แหล่งน้ำมากขึ้น เมื่อมีการพังทลายของดินมาก ปริมาณของไนเตรต สามารถใช้เป็นตัวชี้ถึงระดับความสมบูรณ์ของแหล่งน้ำได้ ไนเตรต โดยปกติจะมีความเป็นพิษต่อสัตว์น้อย เมื่อเทียบกับไนไตร์ตและแอมโมเนีย นอกจากนี้ไนเตรต นอกจากนี้ไนเตรตยังมีประโยชน์ต่อพืชในการดูดซึมไปใช้ในขบวนการสร้างโปรตีนอีกด้วย ในการวิเคราะห์หาปริมาณไนไตร์ท จะทำการวิเคราะห์โดยวิธีการเทียบสีกับสารประกอบมาตรฐานที่เตรียมขึ้นจากนั้นนำค่าที่ได้มาสร้างกราฟมาตรฐาน ส่วนการวิเคราะห์หาปริมาณไนเตรตต้องใช้หลักการ Reduce ไนไตรท ให้เป็นไนเตรต ให้เป็นไนไตร์ตก่อน โดยการผ่านน้ำตัวอย่างไปลงในคอลัมน์ที่บรรจุแคดเมี่ยมเคลือบด้วยทองแดง จากนั้น ทำการวิเคราะห์โดยวิธีการเดียวกับการหาปริมาณไนไตรต์

### อุปกรณ์

1. spectrophotometer และ cuvette
2. กระดาษกรอง
3. อุปกรณ์เครื่องแก้ว เช่น ขวดรูปชมพู่ ปิเปต กรวยแก้ว กระบอกตวง เป็นต้น
4. หลอดคลอลัมน์ (reduction columm)

### สารเคมี

1. Diazotizing Reagent

ชั่งสารละลาย sulfanilamine 5 กรัม ละลายในสารละลายกรดเกลือ (กรดเกลือ (HCl) เข้มข้นปริมาตร 50 ml. น้ำกลั่น 300 ml) แล้วเติมน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตร 500 ml.

2. coupling reagent

ชั่งสาร N - (1-napthyl) - ethylenediamine - dihydrochloride 0.500 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 500 ml. เก็บในขวดสีชา เตรียมสารละลายใหม่ทุกเดือน หรือเมื่อสารละลายเป็นสีน้ำตาล

3. $NH_4Cl$ - EDTA solution เข้มข้น

$NH_4Cl$ 150 กรัม ในน้ำกลั่น 500 ml.

4. $NH_4Cl$ - EDTA solution (เจือจาง)

ดูดสารละลาย $NH_4CI$ - EDTA solution (เข้มข้น) จากข้อ. 2 มา 50 ml. เจือจางด้วยน้ำกลั่นให้เป็น 2000 ml. เติมสารละลาย disodium ethylenediamine tetraacetate จำนวน 0.3 กรัม ทำการปรับ pH ให้ได้ 7.5 โดยการเติม NaOH

5. stock nitrate solution (เข้มข้น)

ชั่งสารละลาย $KNO_3$ ที่ผ่านการอบแห้ง 0.7218 กรัม ละลายในน้ำกลั่นให้ได้ 1,000 ml.

6. standard nitrate solution (เข้มข้น) ในข้อ. 5 ด้วย volumetric pipet จำนวน 50 ml. ละลายในน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตรครบ 500 ml.

7. copper sulfate 2%

ชั่งสารละลาย cupper sulfate จำนวน 20 กรัม ละลายในน้ำกลั่นให้ได้ 1,000 ml.

8. กรดเกลือ (HCI) เข้มข้น 6N

9. ผง cadmium

**วิธีวิเคราะห์**

1. การเตรียมแคดเมียม (cadmium)

นำผง cadmium ประมาณ 25 กรัม แช่ในกรด HCI (กรดเกลือ) เข้มข้น 6N กวนด้วยแท่งแก้วจนสะอาด (ประมาณ 5 นาที) เทกรดทิ้ง และล้างด้วยน้ำกลั่น หลาย ๆ ครั้งจนหมดกลิ่นกรด จากนั้นนำสารละลาย copper sulfate 2% ประมาณ 100 ml. เทลงไป กวนด้วยแท่งแก้วนานประมาณ 5 นาที หรือจนกระทั่งมีน้ำเงินจางหายไป สะเด็ดสารละลายให้แห้ง แล้วเติม copper sulfate 2% ของใหม่ลงไป กวนแท่งแก้วเหมือนเดิม ทำตามขั้นตอนหลาย ๆ ครั้ง จนเกิดผลึกสีน้ำตาลเกิดขึ้น จากนั้นล้างด้วยน้ำกลั่นจนกระทั่งไม่มีผลึกติดอยู่

2. การเตรียมคอลัมน์แคดเมียม (cadmium columm)

เติมน้ำกลั่นลงในคอลัมน์เปล่า จากนั้น ตักแคดเมียม (cadmium) ที่เตรียมไว้ลงในคอลัมน์ ให้ได้ความประมาณ 18.5 ซม. รักษาระดับน้ำให้ท่วมแคดเมียม ทำการล้างแคดเมียม (cadmium) โดยใช้สารละลาย $NH_4CI$ - EDTA solution (เจือจาง) จำรวน 200 ml. ผ่านคอลัมน์ลงอย่างช้า ๆ และให้เตรียมสารละลายปริมาตร 100 ml. จากการผสมระหว่างสารละลาย standard nitrate solution จำนวน 100 ml. และสารละลาย $NH_4CI$ - EDTA solution (เข้มข้น) 2 ml. จากนั้นเทสารละลายลงในคอลัมน์ให้ไหลลงในอัตรา 7 - 10 ml/นาที

3. การเตรียมน้ำด้วยตัวอย่างและการผ่านน้ำลงในคอลัมน์

ดูดน้ำตัวอย่างที่ผ่านการกรองด้วยกระดาษกรอง จำนวน 100 ml. มาผสมกับสารละลาย $NH_4CI$-EDTA solution (เข้มข้น) จำนวน 2 ml. จากนั้นเทลงในคอลัมน์ ปล่อยให้ไหล

ผ่านในอัตรา 7 -10 ml/นาที (ใช้เวลาประมาณ 10 - 15 นาที) ทิ้งน้ำ 25 ml. แรกทิ้ง และเก็บปริมาตรที่เหลือไว้

4. การสร้างสี และการวัดค่า Abs (การวิเคราะห์ค่าไนไตร์ท)

ดูดสารละลาย (น้ำตัวอย่าง + สารละลาย) หลังจากผ่านคอลัมน์ (ส่วนที่เหลือ ข้อ 3 ที่เหลือจากทิ้งน้ำ 25 ml. แรก) จำนวน 50 ml. ผ่านคอลัมน์ไม่เกิน 15 นาที จากนั้นเติมสารละลาย diazotizing reagent จำนวน 1 ml. เขย่าให้เข้ากันทิ้งไว้ 2 - 4 นาที (อย่าเกิน) แล้วเติมสารละลาย coupling reagent จำนวน 1 ml. เขย่าให้เข้ากันทิ้งไว้ อย่างน้อย 10 นาที แต่ไม่เกิน 2 ชั่วโมง จากนั้นนำไปวัดค่าการดูดซับแสง (Abs) ด้วยเครื่อง spectrophotometer ที่คลื่น 543 นาโนเมตร (nm)

5. การหา recovery factor

5.1 โดยการดูดสารละลาย standard nitrate solution (0.1 mg/l) จำนวน 100 มาผสมกับสารละลาย $NH_4Cl$ - EDTA solution (เจือจาง) จำนวน 2 ml. จากนั้นเทลงในคอลัมน์ ปล่อยให้ไหลผ่านในอัตรา 7 - 10 ml/นาที ทิ้งน้ำ 25 ml. แรก และเก็บปริมาตรที่เหลือไว้

5.2 ดูดสารละลายที่เก็บไว้ 50 ml. เติมสารละลาย diazotizing reagent จำนวน 1 ml. เขย่าให้เข้ากันทิ้งไว้ 2 - 4 นาที แล้วเติมสารละลาย coupling reagent จำนวน 1 ml. เขย่าให้เข้ากันทิ้งไว้อย่างน้อย 10 นาที แต่ไม่เกิน 2 ชั่วโมง ไปวัดค่าการดูดซิบแสง (Abs) ด้วย spectrophotometer ที่คลื่น 543 นาโนเมตร (nm)

5.3 ค่า F (recovery factor) = (0.1mg/l ของ nitrite nitrogen / ความเข้มข้นของ nitrite nitrogen ที่หา) 100

6. คำนวณหาค่าความเข้มข้น nitrate nitrogen ดังนี้

nitrate nitrogen (mg/l) = ((A - B) (F)) / 100

โดยที่ A = ความเข้มข้นของไนไตร์ท ที่ผ่าน columm

B = ความเข้มข้นของไนไตร์ท ที่ไม่ผ่าน columm

F = recovery factor

7. ทำการแปลงค่า nitrate nitrogen ให้เป็น nitrate (mg/l) โดยคูณด้วย 4.43

8. รายงานผลการปฏิบัติงาน

## การตรวจวิเคราะห์ค่าฟอสฟอรัส

ฟอสฟอรัส (phosphorus) เป็นธาตุอาหารที่สำคัญอย่างหนึ่งต่อสิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำ โดยปกติแหล่งน้ำตามธรรมชาติจะพบธาตุนี้ในปริมาณน้อย ซึ่งนับเป็นปัจจัยที่สำคัญต่อผลผลิตทางชีวภาพ ปัจจัยความอุดมสมบูรณ์ของแหล่งน้ำ ในแง่ของธาตุอาหารธรรมชาติ ฟอสฟอรัส ในน้ำพบได้หลายรูปแบบ ทั้งในรูปของสารละลายและสารแขวนลอยในรูปของสารอนินทรีย์ และสารอินทรีย์ แต่ในที่สุดทุกรูปแบบจะสลายตัวไปอยู่ในรูปของ ออโธฟอสเฟต ซึ่งเป็นรูปแบบของฟอสฟอรัส ที่ใช้ในการวิเคราะห์หาโดยตรง ส่วนรูปแบบอื่น ๆ ต้องทำการย่อยให้สลายตัวอยู่ในรูปของ orthophosphate ก่อนทำการวิเคราะห์

### วิธีแบบ stannous chloride

### อุปกรณ์

1. spectrophotometer และ cuvette
2. กระดาษกรอง
3. อุปกรณ์เครื่องแก้ว เช่น ขวดรูปชมพู่ ปิเปต

### สารเคมี

1. ammonia molybdate solution

เตรียมสารละลาย ammonia molybdate $(NH_4)6\ MO_7\ 4H_2O$ จำนวน 5 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 35 ml. เติมลงในสารละลายกรด $H_2SO_4$ (ละลายกรด $H_2SO_4$ 56 ml. ลงในน้ำกลั่น 80 ml) แล้วเติมน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตรครบ 200 ml.

2. stannous chloride solution

เตรียมสารละลาย stannous chloride $(SnCl_2 2H_2O)$ จำนวน 2.5 กรัม ละลายใน glycerol ในปริมาตร 100 ml. โดยใช้อ่างน้ำร้อน (waterbath) ในการทำละลายสาร

3. standard phosphate solution

เตรียมสารละลาย $KH_2PO_4$ จำนวน 0.2195 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 1,000 ml. (ได้สารละลายเข้มข้น 50 mg/l $PO_4$-P) ดูดสารละลาย standard phosphate solution ที่ได้มา จำนวน 50 ml. เจือจางด้วยน้ำกลั่นให้ปริมาตรครบ 500 ml. (ได้สารละลายเข้มข้น 5 mg/l $PO_4$-P) เพื่อใช้ในการเตรียมกราฟมาตรฐาน

การเตรียมสารละลาย standard phosphate solution ที่ความเข้มข้น 5 mg/l $PO_4$-P ทำการเจือจางตามลำดับดังนี้

| ปริมาตร $PO_4$-P ความเข้มข้น 5 mg/l เจือจางด้วยน้ำกลั่นให้ปริมาตร 100 ml (ml) | ความเข้มข้นสารละลาย $PO_4$-P (mg/l) | ค่า Abs ของสารละลาย $PO_4$-P ที่วัดได้ (mg/l) |
|---|---|---|
| 0.00 | 0.00 | 0.000 |
| 0.50 | 0.025 | 0.054 |
| 1.00 | 0.05 | 0.134 |
| 2.00 | 0.10 | 0.160 |
| 5.00 | 0.25 | 0.395 |
| 10.00 | 0.50 | 0.775 |
| 15.00 | 0.75 | 0.010 |

ปริมาตร $PO_4$-P ความเข้มข้น 5 mg/l เจือจางด้วยน้ำกลั่นให้ปริมาตร 100 ml. ต้องทำการดูดด้วย volumetric pipet ลงใน volumetric flask จากนั้นดำเนินการวิเคราะห์สารละลายโดยวิธีการวิเคราะห์ฟอสฟอรัส แล้วสร้างกราฟมาตรฐาน ซึ่งมีความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้น $PO_4$-P (แกน X) กับ ค่าการดูดซับแสง (แกน Y) โดยนำเข้าสมการ regresion ลงในโปรแกรม excell

**วิธีการ**

1. ดูดน้ำตัวอย่างที่ผ่านการกรองด้วยกระดาษกรอง 25 ml. ลงใน beaker ขนาด 100 ml.
2. เติมสารละลาย ammonia molybdate solution จำนวน 1 ml. เขย่าให้เข้ากัน
3. เติมสารละลาย stannous chloride solution จำนวน 5 หยด เขย่าให้เข้ากันทิ้งไว้ 10 นาที แต่ไม่เกิน 12 นาที
4. นำไปวัดค่าการดูดซับแสงด้วยเครื่อง spectrophotometer ที่คลื่น 690 นาโนเมตร (nm)
5. คำนวณค่าความเข้มข้นฟอสฟอรัส (phosphorus) จากกราฟมาตรฐาน
6. ทำการแปลงค่า $PO_4$-P ให้เป็น $PO_4$ (mg/l) โดยคูณด้วย 3.06
7. รายงานผลการปฏิบัติงาน

ภาคผนวก ค

ประวัติผู้วิจัย

# ประวัติผู้วิจัย

| | | |
|---|---|---|
| **ชื่อ - สกุล** | นางสาวรอยพิมพ์ อินต๊ะยศ | |
| **เกิดเมื่อ** | 6 กุมภาพันธ์ 2522 | |
| **ภูมิลำเนา** | จังหวัดเชียงใหม่ | |
| **ประวัติการศึกษา** | พ.ศ. 2545 | ศิลปศาสตรบัณฑิต มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง จังหวัดลำปาง |
| **ประวัติการทำงาน** | พ.ศ. 2548 - 2549 | ผู้ช่วยนักวิจัยโครงการวิจัย การพัฒนาและเสริมสร้างความสามารถการแข่งขันทางเศรษฐกิจของกลุ่มทอผ้าพื้นเมืองในเขตภาคเหนือตอนบน |

มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ๒๔๗๗ สำนักหอสมุด