บทที่ 5
การวิจารณ์ผลการวิจัย

การทดลองที่ 1 การเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Oscillatoria* sp. ในห้องปฏิบัติการ

การทดลองเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Oscillatoria* sp. ในห้องปฏิบัติการ โดยทำการทดลองในภาชนะโหลแก้วขนาด 10 ลิตร เป็นระยะเวลา 15 วัน ณ ห้องปฏิบัติการ คณะเทคโนโลยี-การประมงและทรัพยากรทางน้ำ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่

1 ผลของการวัดค่าการเจริญเติบโต

1.1 การวัดความหนาแน่นของเซลล์ (OD. optical density) ของสาหร่าย *Oscillatoria* sp. โดยทำการวัดความหนาแน่นของเซลล์ทุกๆ วัน เป็นเวลา 15 วัน พบว่ามีความหนาแน่นของเซลล์สูงที่สุดในวันที่ 9 เท่ากับ 0.325±0.03 ความหนาแน่นของเซลล์สูงสุด อยู่ในช่วงวันที่ 8 - 10 เนื่องจากสาหร่าย *Oscillatoria* sp. อยู่ในระยะ exponential phase จึงเจริญเติบโตสูงสุด (ลัดดา, 2544)

ซึ่งแตกต่างกับงานวิจัยของ Gisela *et al.* (2009) กล่าวว่าสาหร่าย *Oscillatoria* sp. MOF-06 ความหนาแน่นของเซลล์ ที่ความยาวคลื่นแสง 750 nm เท่ากับ 0.94±0.07 ในวันที่ 21 ของการทดลอง Judith *et al.* (1994) กล่าวว่าสาหร่าย *Oscillatoria* sp. ความหนาแน่นของเซลล์สูงสุดในวันที่ 12 ของการทดลอง ที่ความยาวคลื่นแสง 610 nm เท่ากับ 1.4 เป็นเวลา 15 วัน จงกล (2552) กล่าวว่าสาหร่าย *Spirulina platensis* เมื่อเพาะเลี้ยงประมาณ 7 วัน ค่าความหนาแน่นของเซลล์ เท่ากับ 0.8 - 1 เก็บเกี่ยวผลผลิตของสาหร่ายสดทุกๆ 7 วัน

จากการทดลองอาจกล่าวได้ว่า ความหนาแน่นของเซลล์สาหร่าย *Oscillatoria* sp. ที่มีความหนาแน่นของเซลล์ต่ำ เนื่องจากปัจจัยทางด้านสูตรอาหาร เพราะในการทดลองครั้งนี้ใช้สูตรอาหารดัดแปลงชนิดต้นทุนต่ำ หรือการกระจายตัวของเซลล์สาหร่ายไม่สม่ำเสมอ การวัดความหนาแน่นของเซลล์ เหมาะกับสาหร่ายชนิดเส้นสาย

1.2 การหาน้ำหนักเซลล์แห้ง (cell dry weight) ของสาหร่าย *Oscillatoria* sp. โดยทำการวัดในวันที่เริ่มต้นการทดลอง (วันที่ 0), ระหว่างการทดลอง (วันที่ 7) และสิ้นสุดการทดลอง (วันที่ 14)พบว่ามีน้ำหนักเซลล์แห้งสูงสุดในวันที่ 14 ของการทดลอง เท่ากับ 0.65±0.06 กรัมต่อลิตร

ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Ahmed (1999) กล่าวว่าสาหร่าย *Oscillatoria angustissma* ที่เพาะเลี้ยงเป็นระยะเวลา 10 วัน มีน้ำหนักเซลล์แห้งสูงที่สุดอยู่ที่ 0.449±0.07 กรัมต่อลิตร ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส จงกล (2543) กล่าวว่าสาหร่าย *Spirulina platensis* ที่เพาะเลี้ยงจากน้ำทิ้งจากบ่อหมักก๊าซชีวภาพมูลสุกร มีมวลชีวภาพ (biomass) ตลอดการทดลอง 0.02 - 0.32 กรัมต่อลิตร น้ำหนักเซลล์แห้ง จงกล และคณะ (2552) กล่าวว่าสาหร่าย *Spirulina platensis* ที่เลี้ยงด้วยสูตรอาหาร MZm และน้ำทิ้งจากโรงอาหาร (cafeteria water; Cw) พบว่าสาหร่ายที่เลี้ยงด้วยสูตรอาหาร MZm และ Cw 100 เปอร์เซ็นต์, 90 เปอร์เซ็นต์ และ 80 เปอร์เซ็นต์ มีผลผลิตในรูปของสาหร่ายแห้ง อยู่ระหว่าง 0.55 - 0.85 กรัมต่อลิตร

แต่จะแตกต่างกับงานวิจัยของ Mohan *et al.* (2010) กล่าวว่าสาหร่าย *Oscillatoria* sp. ที่เพาะเลี้ยงในสูตรอาหารปรับปรุง CFTRI เป็นระยะเวลา 10 วัน มีน้ำหนักเซลล์แห้งสูงที่สุดอยู่ที่ 0.1 กรัมต่อลิตร ในวันที่ 5 ของการทดลอง Gisela *et al.* (2009) กล่าวว่าสาหร่าย *Oscillatoria* sp. MOF-06 มีน้ำหนักเซลล์แห้งสูงที่สุดอยู่ที่ เท่ากับ 9.98±0.18 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร Somrak *et al.* (2007) กล่าวว่าสาหร่าย *Oscillatoria* sp. TISTR 8869 ที่เพาะเลี้ยงในสูตรอาหาร BG - 11 เป็นระยะเวลา 20 วัน พบว่ามีน้ำหนักเซลล์แห้ง 0.26±0.01 กรัมต่อลิตร

จากการทดลองอาจกล่าวได้ว่า น้ำหนักเซลล์แห้งของสาหร่าย *Oscillatoria* sp. ที่มีน้ำหนักเซลล์แห้งต่ำ เนื่องจากปัจจัยทางด้านสูตรอาหาร เพราะในการทดลองครั้งนี้ใช้สูตรอาหารดัดแปลงชนิดต้นทุนต่ำ การหาน้ำหนักเซลล์แห้ง เหมาะกับสาหร่ายชนิดเส้นสาย

2 ผลของคุณภาพน้ำทางกายภาพ และเคมี

โดยทำการตรวจวัดคุณภาพน้ำ ด้านกายภาพ และเคมี ได้แก่ อุณหภูมิน้ำ, อุณหภูมิอากาศ, DO, pH, NH_3-N, NO_3-N และ PO_4-P ในวันที่เริ่มต้นการทดลอง (วันที่ 0), ระหว่างการทดลอง (วันที่ 7) และสิ้นสุดการทดลอง (วันที่ 14)

2.1 อุณหภูมิน้ำ และอุณหภูมิอากาศ ของสาหร่าย *Oscillatoria* sp. โดยทำการวัดในวันที่เริ่มต้นการทดลอง (วันที่ 0), ระหว่างการทดลอง (วันที่ 7) และสิ้นสุดการทดลอง (วันที่ 14) พบว่าอุณหภูมิน้ำเฉลี่ยตลอดการทดลอง เฉลี่ยเท่ากับ 29 องศาเซลเซียสและ พบว่าอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยตลอดการทดลองจะเพิ่มสูงขึ้นเรื่อยๆ เฉลี่ยเท่ากับ 30 องศาเซลเซียส

ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Wangwibulkit *et al.* (2008) กล่าวว่าสาหร่าย *Oscillatoria* sp. ที่เลี้ยงในสูตรอาหารปรับปรุง BG -11 อุณหภูมิที่เหมาะสม เท่ากับ 28.5±1.3 องศาเซลเซียส Dinesh *et al.* (2010) กล่าวว่าสาหร่าย *Oscillatoria* sp. ที่เพาะเลี้ยงในสูตรอาหาร BG - 11 มีอุณหภูมิที่เหมาะสม เท่ากับ 30 องศาเซลเซียส

แต่จะแตกต่างกับงานวิจัยของ นุชนรี (2543) กล่าวว่าอุณหภูมิน้ำที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของสาหร่าย *Oscillatoria* sp. คือ 35 องศาเซลเซียส มีปริมาณ chlorophyll - *a* สูงที่สุด

จากการทดลองอาจกล่าวได้ว่า อุณหภูมิมีผลต่อการดูดซึมธาตุอาหาร และกระบวนการเมตาบอลิซึมของเซลล์ ถ้าอุณหภูมิต่ำทำให้อัตราการดูดซึมไนเตรดลดลง แต่อย่างไรก็ตาม ถ้าอุณหภูมิสูงเกินไปจะจำกัดการเจริญเติบโตของสาหร่าย (จงกล, 2552)

2.2 ออกซิเจนที่ละลายน้ำ (DO) ของสาหร่าย *Oscillatoria* sp. โดยทำการวัดในวันที่เริ่มต้นการทดลอง (วันที่ 0), ระหว่างการทดลอง (วันที่ 7) และสิ้นสุดการทดลอง (วันที่ 14) พบว่าปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำ จะเพิ่มสูงขึ้นเรื่อยๆ ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.9 - 7.7 มิลลิกรัมต่อลิตร

ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ นุชนรี (2543) กล่าวว่าสาหร่าย *Oscillatoria* sp. ต้องการปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำอยู่ในช่วง 5.45 - 7.5 มิลลิกรัมต่อลิตร Dinesh *et al.* (2010) กล่าวว่าสาหร่าย *Oscillatoria* sp. ที่เพาะเลี้ยงในสูตรอาหาร BG - 11 มีปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ 6.2±0.14 มิลลิลิตรต่อลิตร จงกล (2543) กล่าวว่าสาหร่าย *Spirulina platensis* ที่เพาะเลี้ยงจากน้ำทิ้งจากบ่อหมักก๊าซชีวภาพมูลสุกร มีออกซิเจนที่ละลายน้ำตลอดการทดลอง มีค่าเท่ากับ 2.3 - 7.25 มิลลิกรัมต่อลิตร

2.3 pH ของสาหร่าย *Oscillatoria* sp. โดยทำการวัดในวันที่เริ่มต้นการทดลอง (วันที่ 0), ระหว่างการทดลอง (วันที่ 7) และสิ้นสุดการทดลอง (วันที่ 14) พบว่า pH จะลดลงต่ำเรื่อยๆ ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 8.05 – 10

ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ นุชนรี (2543); Prerna (1999); Mohan *et al.* (2010) กล่าวว่าสาหร่าย *Oscillatoria* sp. ระดับ pH ที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของสาหร่าย *Oscillatoria* sp. เท่ากับ 7.6 - 9.09 Gisela *et al.* (2009) กล่าวว่าสาหร่าย *Oscillatoria* sp. MOF - 06 มีระดับ pH

ที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโต เท่ากับ pH 8 - 9 จงกล (2543: 2552) กล่าวว่าระดับ pH ที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของสาหร่าย *Spirulina platensis* มีค่าอยู่ระหว่าง 9.5 - 10.5

2.4 ความเข้มข้นของ Ammonia nitrogen (NH_3-N) และความเข้มข้นของ Nitrate nitrogen (NO_3-N) ของสาหร่าย *Oscillatoria* sp. โดยทำการวัดในวันที่เริ่มต้นการทดลอง (วันที่ 0), ระหว่างการทดลอง (วันที่ 7) และสิ้นสุดการทดลอง (วันที่ 14) พบว่าค่าเฉลี่ยทั้งหมดความเข้มข้นของ ammonia nitrogen เท่ากับ 0.622 - 1.535 มิลลิกรัมต่อลิตร และความเข้มข้นของ nitrate nitrogen พบว่าค่าเฉลี่ย เท่ากับ 0.257 - 3.71 มิลลิกรัมต่อลิตร

ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ จงกล (2543: 2552) กล่าวว่าสาหร่าย *Spirulina platensis* ที่เพาะเลี้ยงจากน้ำทิ้งจากบ่อหมักก๊าซชีวภาพมูลสุกร มี ammonia ตลอดการทดลอง มีค่าเท่ากับ 0.05 - 71.7 มิลลิกรัมต่อลิตร และความเข้มข้นของ nitrate ตลอดการทดลอง มีค่าเท่ากับ 0.01 - 1.51 มิลลิกรัมต่อลิตร สารอินทรีย์ไนโตรเจน ได้แก่ แอมโมเนีย, ไนไตรท์ และไนเตรท แอมโมเนียจะถูกสาหร่ายนำไปใช้ก่อนไนเตรท ส่วนไนไตรท์สาหร่ายต้องการในปริมาณน้อย หรืออาจจะไม่ใช้เลย สำหรับไนเตรทนั้นถ้าสาหร่ายนำไปใช้เมื่อดูดซึมเข้าสู่เซลล์แล้ว ต้องเปลี่ยนเป็นแอมโมเนียก่อนจึงจะนำไปใช้ได้ ไนเตรทมีความสำคัญต่อการเจริญของแพลงตอนพืช และพืชน้ำ ดังนั้นปริมาณไนเตรทจึงสามารถบอกกำลังการผลิต (productivity) ของแหล่งนำได้ ซึ่งแพลงตอนพืชจะใช้ไนเตรทในการสร้างโปรตีน เนื่องจากไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบหลักของโปรตีน ซึ่งเป็นองค์ประกอบที่สำคัญของสิ่งมีชีวิต สำหรับสาหร่ายสามารถใช้สารประกอบไนโตรเจนได้หลายรูปแบบมาทำการสังเคราะห์เป็นโปรตีน เช่น ใช้ไนโตรเจนที่อยู่ในรูปของแอมโมเนีย หรือไนเตรท ไนโตรเจนมีความสำคัญรองจากคาร์บอนในแง่ของปริมาณไนโตรเจนใน สาหร่ายมีประมาณ 7 - 10 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง (จงกล และขจรเกียรติ์, 2548)

2.5 ความเข้มข้นของ Orthophosphate (PO_4-P) ในสาหร่าย *Oscillatoria* sp. โดยทำการวัดในวันที่เริ่มต้นการทดลอง (วันที่ 0), ระหว่างการทดลอง (วันที่ 7) และสิ้นสุดการทดลอง (วันที่ 14) พบว่าค่าเฉลี่ยทั้งหมดความเข้มข้นของ PO_4-P เท่ากับ 0.741 - 2.662 มิลลิกรัมต่อลิตร

ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ จงกล (2543: 2552) กล่าวว่าสาหร่าย *Spirulina platensis* ที่เพาะเลี้ยงจากน้ำทิ้งจากบ่อหมักก๊าซชีวภาพมูลสุกร มี orthophosphate ตลอดการทดลอง มีค่าเท่ากับ 2.74 - 54.4 มิลลิกรัมต่อลิตร ฟอสฟอรัสเป็นธาตุอาหารที่จำเป็นต่อกระบวนการต่างๆ ของเซลล์โดยเฉพาะกระบวนการถ่ายทอดพลังงาน และกระบวนการสร้างกรดนิวคลีอิค โดยสาหร่ายต้องการใช้จะอยู่ในรูป orthophosphate ซึ่งสาหร่ายสามารถนำไปใช้ได้โดยตรง

Lobban *et al.* (1985 อ้างโดย ศิริวรรณ และประพฤติ, 2540) กล่าวว่าสาหร่ายดูดซับฟอสฟอรัสในรูปของอิออน orthophosphate ได้ดีที่สุด ซึ่งฟอสเฟตที่อยู่ในรูปของไอออนที่สามารถละลายน้ำได้ดี และสาหร่ายน้ำไปใช้ประโยชน์ได้คือ PO^{3-}_4, HPO^{2-}_4 และ $H_2PO^{-}_4$ ความต้องการฟอสฟอรัสของสาหร่ายแต่ละชนิดไม่เท่ากัน สาหร่ายสีเขียวจะมีความต้องการฟอสฟอรัสมากกว่าสาหร่ายกลุ่มอื่น ถ้าสาหร่ายขาดฟอสฟอรัสจะมีผลเสียต่อการเจริญเติบโต ทำให้ปริมาณสารสีชนิดคลอโรฟิลล์เอ อาร์เอ็นเอ และ ดีเอ็นเอ ลดลง แต่แป้งหรือ คาร์โบไฮเดรต กลับเพิ่มขึ้น มีผลทำให้รูปร่างของเซลล์เปลี่ยนแปลงไปจากเดิม (จงกล และขจรเกียรติ์, 2548)

3 ผลของคุณค่าโภชนาการของสาหร่าย *Oscillatoria* sp.

โดยทำการวิเคราะห์คุณค่าโภชนาการ ได้แก่ ความชื้น, เถ้า, โปรตีน, ไขมัน, เยื่อใย, คาร์โบไฮเดรต และกรดไขมัน โดยทำการตรวจวัดเมื่อสิ้นสุดการทดลอง พบว่าความชื้นมีค่าเท่ากับ 9.583±0.17 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้ง, เถ้ามีค่าเท่ากับ 15.319±0.64 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้ง, โปรตีนมีค่าเท่ากับ 27.190±0.82 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้ง, ไขมันมีค่าเท่ากับ 2.379±0.32 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้ง, เยื่อใยมีค่าเท่ากับ1.419±0.02 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้ง และคาร์โบไฮเดรตมีค่าเท่ากับ 55.130±2.06 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้ง (ตาราง 4)

ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ จงกล และคณะ (2552) ได้วิเคราะห์คุณค่าโภชนาการของสาหร่าย *Spirulina platensis* ที่ในสูตรอาหารปรับปรุง Zarrouk's medium (MZm) พบว่าความชื้น 6.65 - 11.15 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้ง, เถ้า 4.25 - 26.58 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้ง, โปรตีน 31.94 - 55.44 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้ง, ไขมัน 1.79 - 3.57 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้ง, เยื่อใย 2.12 - 10.11 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้ง และคาร์โบไฮเดรต 15.82 - 25.24 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้ง

แต่จะแตกต่างกับงานวิจัยของ สุมนทิพย์ และปิยะดา (2532) ได้วิเคราะห์คุณค่าทางอาหารของ *Oscillatoria* sp. ที่ในสูตรอาหารปรับปรุง Allen's medium พบว่าความชื้น 12.37±0.12 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้ง, เถ้า 11.85±0.68 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้ง, โปรตีน 44.57±0.16 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้ง, ไขมัน 1.88±0.10 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้ง, เยื่อใย 1.45±0.13 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้ง และคาร์โบไฮเดรต 27.87 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้ง และได้วิเคราะห์คุณค่าทางอาหารของสาหร่าย *Spirulina* sp. พบว่าความชื้น 12.34±0.19 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้ง, เถ้า 7.31±0.22 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้ง, โปรตีน 53.88±0.27 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้ง, ไขมัน 2.10±0.01 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้ง, เยื่อใย 0.93±0.08 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้ง และคาร์โบไฮเดรต 23.44 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้ง, Mohan *et al.* (2010) ได้วิเคราะห์คุณค่าโภชนาการของสาหร่าย *Oscillatoria* sp. ที่ในสูตรอาหารปรับปรุง

CFTR1 พบว่าโปรตีน 14.24 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร, ไขมัน 18.99 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร และคาร์โบไฮเดรต 61.71 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร. Gisela *et al.* (2009) ได้วิเคราะห์คุณค่าโภชนาการของสาหร่าย *Oscillatoria* sp. MOF-06 ที่ในสูตรอาหาร y medium พบว่าโปรตีน 486.07±26.78 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร และคาร์โบไฮเดรต 6.91±0.11 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร (ตาราง 4)

จากการทดลองอาจกล่าวได้ว่า คุณค่าทางโภชนาการของสาหร่าย *Oscillatoria* sp. ของการทดลองครั้งนี้ใช้สูตรอาหารชนิดช่วยลดต้นทุนการผลิต ธาตุอาหารที่สาหร่ายสามารถนำไปใช้ในการสร้างโครงสร้าง เช่น การสร้างผนังเซลล์ เยื่อหุ้มเซลล์ สารสี โปรตีน คาร์โบไฮเดรต เป็นตัวช่วยกระตุ้นปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นในเซลล์ ไนโตรเจนในรูปอนินทรีย์สารที่พบมากที่สุดไนโตรเจนใน สาหร่ายมีประมาณ 7 - 10 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง และอาจถูกนำไปใช้ได้ตรงในรูปของโมเลกุลก๊าซไนโตรเจน ส่วนรูปอนินทรีย์สารที่สาหร่ายใช้มากที่สุด คือ แอมโมเนีย ส่วนฟอสฟอรัสเป็นธาตุอาหารที่จำเป็นต่อกระบวนการต่างๆ ของเซลล์ โดยเฉพาะกระบวนการถ่ายเทพลังงาน และกระบวนการสร้างกรดนิวคลีอิค โดยสาหร่ายต้องการใช้ฟอสฟอรัสจะอยู่ในรูปออร์โธฟอสเฟต ซึ่งสาหร่ายสามารถนำไปใช้ได้โดยตรง สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินต้องการโซเดียมในปริมาณมากกว่าสาหร่ายกลุ่มอื่นที่อยู่ในน้ำจืดเป็นธาตุอาหารที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับกิจกรรมของเอนไซม์หลายชนิด เป็นตัวควบคุมการทำหน้าที่ต่าง ๆ ของเซลล์ และยังจำเป็นสำหรับการสังเคราะห์แสง แมกนีเซียมมีส่วนสำคัญอย่างยิ่งต่อกระบวนการเมตาบอลิซึม โดยสาหร่ายจะนำไปใช้ในการสร้างคลอโรฟิลล์ ซึ่งแมกนีเซียมเป็นส่วนประกอบของนิวเคลียส ในคลอโรฟิลล์ ธาตุมีความสำคัญในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโต กระบวนการเมตาบอลิซึมของเซลล์ และคุณภาพของสาหร่าย ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่ออัตราการดูดซึมธาตุอาหารของสาหร่าย ได้แก่ แสง และอุณหภูมิ มีอิทธิพลทางอ้อมต่ออัตราการดูดซึมธาตุอาหาร โดยผ่านทางการสังเคราะห์แสง และกระบวนการเมตาบอลิซึมของเซลล์ สาหร่ายแต่ละชนิดความเหมาะสมของปริมาณแสงจะแตกต่างกัน ถ้าอุณหภูมิสูงจะทำให้กระบวนการเมตาบอลิซึมสูงขึ้นส่งผลให้การดูดซึมธาตุอาหารของสาหร่ายเพิ่มขึ้นด้วยส่วน pH เพิ่มจะพบคาร์บอนในรูปคาร์บอเนตมาก ทั้งคาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจน เป็นสารประกอบที่สำคัญของสารหลัก ได้แก่ โปรตีน คาร์โบไฮเดรต และไขมัน (ลัดดา, 2544; จงกล และขจรเกียรติ์, 2548) สุมนทิพย์ และปิยะดา (2532) ได้วิเคราะห์คุณค่าทางอาหารของสาหร่าย *Oscillatoria* sp. พบว่าเปอร์เซ็นต์โปรตีนสูงกว่าคุณค่าโภชนาการชนิดอื่นๆ ส่วนในสาหร่าย *Spirulina platensis* จงกล และคณะ (2552) กล่าวว่าเปอร์เซ็นต์โปรตีนสูงกว่าคุณค่าโภชนาการชนิดอื่นๆ เช่นเดียวกัน เนื่องมาจากสูตรอาหารที่ใช้เลี้ยงสาหร่ายเป็นสูตรอาหารที่มีธาตุอาหารครบถ้วน

ตาราง 4 ผลของคุณค่าทางโภชนาการของสาหร่าย *Oscillatoria* sp. และสาหร่าย *Spirulina* sp.

	ความชื้น	เถ้า	โปรตีน	ไขมัน	เยื่อใย	คาร์โบไฮเดรต
***Oscillatoria* sp.**	9.583±0.17*	15.319±0.64*	27.190±0.82*	2.379±0.32*	1.419±0.02*	55.130±2.06*
***Oscillatoria* sp.**	12.37 ± 0.12*	11.85±0.68*	44.57±0.16*	1.88±0.10*	1.45±0.13*	27.87*
***Oscillatoria* sp.**	-	-	14.24**	18.99**	-	61.71**
***Oscillatoria* sp. MOF-06**	-	-	486.07±26.78**	-	-	6.91±0.11**
***Spirulina* sp.**	12.34±0.19*	7.31±0.22*	53.88±0.27*	2.10±0.01*	0.93±0.08*	23.44*
S. platensis	6.65 - 11.15*	4.25 - 26.58*	31.94 - 55.44*	1.79 - 3.57*	2.12 - 10.11*	15.82 - 25.24*

หมายเหตุ * เปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้ง

** ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร

ที่มา : สุมนทิพย์ และปิยะดา (2532; Gisela *et al.*, 2009; จงกล และคณะ, 2552; Mohan *et al.*, 2010)

ผลของกรดไขมัน (Fatty acid) ของสาหร่าย *Oscillatoria* sp. โดยทำการตรวจวัดเมื่อสิ้นสุดการทดลอง พบว่ามีปริมาณกรดไขมัน ดังนี้

กรดไขมันอิ่มตัวรวม (Total saturated fatty acids) เฉลี่ยเท่ากับ 1.000±0.02 - 1.490±0.09; C12:0 เฉลี่ยเท่ากับ 0.020±0.01 - 0.053±0.00; C14:0 เฉลี่ยเท่ากับ 0.047±0.00 - 0.053±0.00; C15:0 เฉลี่ยเท่ากับ 0.017±0.00; C16:0 เฉลี่ยเท่ากับ 0.770±0.03 - 1.210±0.08; C17:0 เฉลี่ยเท่ากับ 0.023±0.00; C18:0 เฉลี่ยเท่ากับ 0.770±0.03 - 0.067±0.00; C22:0 เฉลี่ยเท่ากับ 0.010±0.00; C23:0 เฉลี่ยเท่ากับ 0.023±0.00 และ C24:0 เฉลี่ยเท่ากับ 0.023±0.00 กรัมต่อ 100 กรัม

กรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงเดี่ยวรวม (Total monounsaturated fatty acids) เฉลี่ยเท่ากับ 1.000±0.01 - 0.793±0.00 : C16:1n7 เฉลี่ยเท่ากับ 0.280±0.00 - 0.220±0.01; C18:1n9t เฉลี่ยเท่ากับ 0.023±0.00 และ C18:1n9c เฉลี่ยเท่ากับ 0.697±0.00 - 0.550±0.01 กรัมต่อ 100 กรัม

กรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงซ้อนรวม (Total polyunsaturated fatty acids) เฉลี่ยเท่ากับ 0.607±0.00 - 0.490±0.02 : C18:2n6 เฉลี่ยเท่ากับ 0.381±0.00 - 0.297±0.01; C18:3n3 เฉลี่ยเท่ากับ 0.063±0.00 - 0.040±0.01; C20:3n6 เฉลี่ยเท่ากับ 0.033±0.00; C20:4n6 เฉลี่ยเท่ากับ 0.070±0.01 และ C18:5n3 เฉลี่ยเท่ากับ 0.050±0.00 กรัมต่อ 100 กรัม

ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ จงกล และคณะ (2552) กล่าวว่าสาหร่าย *Spirulina* sp. มีกรดไขมันชนิด γ-linoleic acid อยู่ระหว่าง 0.15 - 0.30 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง โดยมีปริมาณสูงสุดในสูตรอาหาร MZm (0.30 มิลลิกรัมต่อกรัม น้ำหนักแห้ง) แต่ต่ำสุดเมื่อเพาะเลี้ยงใน 90 เปอร์เซ็นต์ น้ำทิ้งจากโรงอาหาร (cafeteria water; Cw) (0.15 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง) Dijkman *et al.* (2010) กล่าวว่าสาหร่าย *Anabaena* sp. ATCC 27899 ที่เลี้ยงในสูตรอาหาร BG-11 สามารถผลิตกรดไขมันชนิด palmitic acid (C16:0) เท่ากับ 28.1; stearic acid (C18:0) เท่ากับ 0.6; palmitoleic acid (C16:1(n-7)) เท่ากับ 14.5; oleic acid (C18:1(n-9)) เท่ากับ 2.5; cis-vaccenic acid (C18:1(n-7)) เท่ากับ 3.0; linoleic acid (C18:2(n-6)) เท่ากับ 5.6; α-linoleic acid (C18:2(n-6)) เท่ากับ 40.0 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักของกรดไขมันอิสระรวม ส่วนในสาหร่าย *Nostoc* sp. PCC7120 ที่เลี้ยงในสูตรอาหาร BG-11 สามารถผลิตกรดไขมันชนิด palmitic acid (C16:0) เท่ากับ 29.2; palmitoleic acid (C16:1(n-7)) เท่ากับ 13.7; oleic acid (C18:1(n-9)) เท่ากับ 2.2; cis-vaccenic acid (C18:1(n-7)) เท่ากับ 1.7; linoleic acid (C18:2(n-6)) เท่ากับ 5.3; α-linoleic acid (C18:2(n-6)) เท่ากับ 40.6 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักของกรดไขมันอิสระรวม

Vanessa *et al.* (2010) กล่าวว่าสาหร่าย *Laurencia filiformis* สามารถผลิตกรดไขมันชนิด caprylic acid (C8:0) เท่ากับ 0.8±0.1; lauric acid (C12:0) เท่ากับ 0.1±0.0; myristic acid (C14:0) เท่ากับ 0.9±0.0; palmitic acid (C16:0) เท่ากับ 4.1±0.1; stearic acid (C18:0) เท่ากับ 0.1±0.0; palmitoleic acid (C16:1(n-7)) เท่ากับ 0.1±0.0; oleic acid (C18:1(n-9)) เท่ากับ 0.4±0.0; linoleic acid (C18:2(n-6)) เท่ากับ 0.1±0.0; arachidonic acid (C20:4(n-6)) เท่ากับ 0.4±0.1; eicosapentaenoic acid (C20:5(n-3)) เท่ากับ 0.8±0.2 erucic acid (C22:1(n-9)) เท่ากับ 0.1±0.0 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง ส่วนในสาหร่าย *L. intricate* สามารถผลิตกรดไขมันชนิด myristic acid (C14:0) เท่ากับ 0.6±0.0; palmitic acid (C16:0) เท่ากับ 3.1±0.2; palmitoleic acid (C16:1(n-7)) เท่ากับ 0.2±0.0; oleic acid (C18:1(n-9)) เท่ากับ 0.6±0.1; linoleic acid (C18:2(n-6)) เท่ากับ 0.1±0.0; arachidonic acid (C20:4(n-6)) เท่ากับ 1.5±0.2; eicosapentaenoic acid (C20:5(n-3)) เท่ากับ 1.7±0.1 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง

Vanessa *et al.* (2010) กล่าวว่าสาหร่าย *Gracilaria domingensis* สามารถผลิตกรดไขมันชนิด lauric acid (C12:0) เท่ากับ 0.1±0.0; myristic acid (C14:0) เท่ากับ 0.8±0.0; palmitic acid (C16:0) เท่ากับ 5.3±0.0; stearic acid (C18:0) เท่ากับ 0.1±0.0; palmitoleic acid (C16:1(n-7)) เท่ากับ 0.1±0.0; oleic acid (C18:1(n-9)) เท่ากับ 0.5±0.0; linoleic acid (C18:2(n-6)) เท่ากับ 0.1±0.0; arachidonic acid (C20:4(n-6)) เท่ากับ 1.0±0.0 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง ส่วนในสาหร่าย *G. birdiae* สามารถผลิตกรดไขมันชนิด lauric acid (C12:0) เท่ากับ 0.1±0.0; myristic acid (C14:0) เท่ากับ 0.5±0.0; palmitic acid (C16:0) เท่ากับ 5.8±0.2; stearic acid (C18:0) เท่ากับ 0.1±0.0; palmitoleic acid (C16:1(n-7)) เท่ากับ 0.1±0.0; oleic acid (C18:1(n-9)) เท่ากับ 0.6±0.0; linoleic acid (C18:2(n-6)) เท่ากับ 0.1±0.0; arachidonic acid (C20:4(n-6)) เท่ากับ 2.8±0.1มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง

จารุณี และ วาสนา (ม.ป.ป.) กล่าวว่าสาหร่ายเซลล์เดียว *Schizochytrium* sp. BRNO 20.5 ที่เลี้ยงด้วยอาหารน้ำมันมะพร้าวสูตร CW3 ในถังขนาด 1.5 ลิตร สามารถผลิตกรดไขมันโอเมกา 3 ได้ 1.6 - 2.2 กรัมต่อลิตร Niyom and Fan (2003) สาหร่าย *Schizochytrium* sp. มีกรดไขมันไม่อิ่มตัว มีค่าเปอร์เซ็นต์ของกรดไขมันรวมสูงเท่ากับ pentadecyclic acid (C15:0) อยู่ในช่วง 23.9-28.7เปอร์เซ็นต์, palmitic acid (C16:0) อยู่ในช่วง 19.7-29.4 เปอร์เซ็นต์ และ linoleic acid PUFA สูง และสูงที่สุดในรูปของ DHA อยู่ที่ 203.6 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม (2552) กล่าวว่าสาหร่ายเซลล์เดียว *Schizochytrium* sp. สามารถสะสมกรดไขมันในเซลล์ได้ในปริมาณมาก โดยกรดไขมันที่พบเป็นกรดไขมันโอเมกา 3 ซึ่งสาหร่ายจะสะสมกรดไขมัน EPA (C20:5n - 3) ปริมาณต่ำในเซลล์ ขณะที่มีการสะสมกรดไขมัน DHA (C22:6n - 3)

ในปริมาณที่สูง ปริมาณกรดไขมัน DHA ในเซลล์มีค่าเท่ากับ 203.6 มิลลิกรัมต่อกรัมเซลล์แห้ง ดังนี้ C15:0 เท่ากับ 28.7 เปอร์เซ็นต์; C16:0 เท่ากับ 21.3 เปอร์เซ็นต์; C18:0 เท่ากับ 0.9 เปอร์เซ็นต์; C18:3 เท่ากับ 0.2 เปอร์เซ็นต์; C20:4 เท่ากับ 0.3 เปอร์เซ็นต์; C20:5 เท่ากับ 0.9 เปอร์เซ็นต์; C22:4 เท่ากับ 6.7 เปอร์เซ็นต์; C22:6 เท่ากับ 36.1 เปอร์เซ็นต์ และกรดไขมันชนิดอื่นๆ 9.3 เปอร์เซ็นต์

ไพฑูรย์ (2537 อ้างโดย กุสุมา, ม.ป.ป.) ยีสต์สามารถผลิตกรดไขมันคล้ายกับที่พบในน้ำมันจากพืช กรดไขมันที่พบเป็นกรดปาล์มิติกประมาณ 10 - 25เปอร์เซ็นต์, ของกรดไขมันทั้งหมด บางจะชนิดมีกรดไมริสติก (myristic) เป็นส่วนใหญ่ ขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ ยีสต์บางกลุ่มสามรถผลิตไขมันได้สูงถึง 40 - 70เปอร์เซ็นต์ ต่อน้ำหนักเซลล์แห้ง เช่น *Crytococcus* sp., *Endomycopsis* sp., *Rhodotorula* sp. และ *Trichosporon* sp. กรดไขมันประมาณ 80 - 90 เปอร์เซ็นต์ในเซลล์ยีสต์จะอยู่ในรูปไตรกลีเซอไรด์ จะเป็นกรดไขมันโอเลอิกหรือลิโนเลอิก Gutierrez and Silva (1993) กล่าวว่ากรดไขมันในยีสต์ *Saccharomyces cerevisiae* M-300-A มีปริมาณกรดไขมันที่พบกรดไขมันชนิดปาล์มิติก (C16:0) และกรดลิโนเลอิก (C18:2)

4 ผลของรงควัตถุสารสี (pigment) ของสาหร่าย *Oscillatoria* sp.

โดยทำการวิเคราะห์รงควัตถุสารสี (pigment) ได้แก่ Total carotenoid, ß - carotene และ C - phycocyanin โดยทำการตรวจวัดเมื่อสิ้นสุดการทดลอง พบว่ามี total carotenoid เท่ากับ 855.436±1.11 ไมโครกรัมต่อกรัมโดยน้ำหนักแห้ง, ß - carotene เท่ากับ 155.418±1.07 ไมโครกรัมต่อกรัมโดยน้ำหนักแห้ง และ C - phycocyanin เท่ากับ 35.638±1.31 ไมโครกรัมต่อกรัมโดยน้ำหนักแห้ง (ตาราง 5)

ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Gisela *et al.* (2009) กล่าวว่าปริมาณ total carotenoid ของสาหร่าย *Oscillatoria* sp. MOF-06 เท่ากับ 604±0.44 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร Wachi *et al.* (1995) กล่าวว่าปริมาณ C - phycocyanin ของสาหร่าย *Oscillatoria* sp. NKBG 091600 เท่ากับ 128.7 มิลลิกรัมต่อกรัมโดยน้ำหนักแห้ง

แต่จะแตกต่างกับงานวิจัยของ Mohan *et al.* (2010) กล่าวว่าในสาหร่าย *Oscillatoria* sp. ปริมาณของ ß - carotene เท่ากับ 3.0064 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร จงกล และคณะ (2545) กล่าวว่าการวิเคราะห์ total carotenoid ของสาหร่าย *Spirulina platensis* พบว่ามีปริมาณ total carotenoid 187.89 ไมโครกรัมต่อกรัมโดยน้ำหนักแห้ง, ß - carotene เท่ากับ 0.26 - 0.28 ไมโครกรัมต่อกรัมโดยน้ำหนักแห้ง และ C - phycocyanin เท่ากับ 8.27 - 17.77 ไมโครกรัมต่อกรัมโดยน้ำหนัก

แห้ง ธนิตชัย และศศิธร (ม.ป.ป.) กล่าวว่าปริมาณ C - phycocyanin ของสาหร่าย *Spirulina* sp. เท่ากับ 5.51±0.22 ไมโครกรัมต่อกรัมโดยน้ำหนักแห้ง (ตาราง 5)

จากการทดลองอาจกล่าวได้ว่า ผลของรงควัตถุสารสี (pigment) ของสาหร่าย *Oscillatoria* sp. เนื่องจากการทดลองครั้งนี้ใช้สูตรอาหารชนิดช่วยลดต้นทุนการผลิต สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินมีการสะสมรงควัตถุสารสีในเซลล์อยู่สูง Mohan *et al.* (2010) กล่าวว่าในสาหร่าย *Oscillatoria* sp. ปริมาณของ ß - carotene จะสูงกว่า phycobilins ประกอบกับสภาวะที่แสงสูง (แสงแดด) สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินเป็นที่รู้กันว่าจะเกิดขึ้นในสภาวะที่มีแสงเป็นตัวแปรสำคัญที่ไม่ใช่เพียงแต่วงจรมืด-สว่างในแต่ละวัน การมีกลไกที่มีประสิทธิภาพมากในการปรับแสงในสภาวะที่แสงแตกต่างกัน (Millie *et al.*, 1990 อ้างโดย Mohan *et al.*, 2010) องค์ประกอบของสูตรอาหารในการเพาะเลี้ยง อายุของเซลล์ และความเข้มแสง จะเป็นปัจจัยสำคัญที่มีอิทธิพลต่อปริมาณรงควัตถุใน *Spirulina plantensis* การเพาะเลี้ยง *S. platensis* ความสว่างน้อยจะแสดงมวลชีวภาพ สูงกว่าภายใต้ความสว่างสูง ซึ่งเป็นสัดส่วนระหว่างความเข้มแสง การใช้ความเข้มแสงสูงในการเพาะเลี้ยง *S. platensis* สามารถนำไปสู่ผลกระทบหลัก 2 อย่างphotoinhibition (การสกัดกั้นแสง) อัตราการเจริญเติบโตของเซลล์ลดลง และ photooxidation ซึ่งเซลล์เกิดความเสียหาย และกรณีรุนแรงการเพาะเลี้ยงทั้งหมดจะเกิดความเสียหายทั้งหมด (Jensen and Knutsen, 1993; Vonshak *et al.*, 1994; อ้างโดย Mohan *et al.*, 2010) แม้ว่า photoinhibition มักจะเกิดที่ความเข้มของแสงสูง Vonshak *et al.* (1988) กล่าวว่าความเข้มแสงสูงที่นำไปสู่ photoinhibition ใน *S. platensis*, ไม่มีเพียงในห้องปฏิบัติการเท่านั้น แต่ยังเกิดในการเลี้ยงกลางแจ้งอีกด้วย ซึ่งก่อให้เกิดความสูญเสียสูงถึง 30 เปอร์เซ็นต์ ของศักยภาพการผลิต

จากการทดลองของ Vonshak and Guy (1988 อ้างโดย Mohan *et al.*, 2010) ที่เพาะเลี้ยง *Spirulina* sp. กลางแจ้งพบว่าสาหร่ายมีความไวต่อ photoinhibition ผลกระทบนี้สามารถหลีกเลี่ยงได้หากควบคุมความเข้นของแสงในบ่อ และอุณหภูมิ ในการศึกษานี้ C - phycocyanin จะน้อยกว่า ß - carotene และ carotenoids ซึ่งสามารถนำมาประกอบกับปัจจัยด้านแสงได้

ตาราง 5 ผลของรงควัตถุสารสี (pigment) ของสาหร่าย *Oscillatoria* sp. และสาหร่าย *Spirulina* sp.

	Total carotenoid	**ß - carotene**	**C - phycocyanin**
***Oscillatoria* sp.**	855.436±1.11*	155.418±1.07*	35.638±1.31*
***Oscillatoria* sp.**	-	3.0064***	-
***Oscillatoria* sp. MOF-06**	604±0.44***	-	-
***Oscillatoria* sp. NKBG 091600**	-	-	128.7**
***Spirulina* sp.**	-	-	5.51±0.22*
S. platensis	187.89*	0.26 - 0.28*	8.27 - 17.77*

หมายเหตุ * ไมโครกรัมต่อกรัมโดยน้ำหนักแห้ง

** มิลลิกรัมต่อกรัมโดยน้ำหนักแห้ง

*** ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร

ที่มา : ธนิตชัย และศศิธร (ม.ป.ป.; Wachi *et al.*, 1995; จงกล และคณะ, 2545; Gisela *et al.*, 2009; Mohan *et al.*, 2010)

5 ผลของปริมาณไมโครซิสติน (Microcystin) ของสาหร่าย *Oscillatoria* sp.

โดยทำการวิเคราะห์ปริมาณไมโครซิสติน (microcystin) ในสาหร่าย *Oscillatoria* sp. โดยทำการตรวจวัดเมื่อสิ้นสุดการทดลอง

ปริมาณไมโครซิสติน (microcystin) ในสาหร่าย *Oscillatoria* sp. โดยทำการตรวจวัดเมื่อสิ้นสุดการทดลอง พบว่าอาหารทั้ง 4 สูตร พบว่าไม่มีสารพิษไมโครซิสติน (microcystin) ในสาหร่าย *Oscillatoria* sp.

จากการทดลองอาจกล่าวได้ว่า สารพิษไมโครซิสติน (microcystin) สารพิษที่สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินสร้างขึ้น องค์การอนามัยโลก (World Health Organization: WHO) ได้กำหนดค่ามาตรฐานสำหรับในแหล่งน้ำดิบเพื่อทำประปาไม่ควรเกิน 1 ไมโครกรัมต่อลิตร ค่ามาตรฐานได้ประกาศค่า Tolerable daily intake (TDI) ของสารพิษไมโครซิสตินรวม เป็น 0.067 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักแห้งต่อวัน และค่ามาตรฐาน TDI สำหรับสารพิษไมโครซิสตินชนิด LR เป็น 0.04 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักแห้งต่อวัน โดยค่ามาตรฐาน TDI นี้เป็นปริมาณของสารพิษที่มนุษย์ได้รับเข้าสู่ร่างกายทุกวัน แล้วไม่มีผลกระทบใดๆ เกิดขึ้น (Carmichael, 1995; Codd, 2001; Kuiper *et al*., 1999; Dow and Swoboda, 2000 อ้างโดย นพรัตน์, 2546) ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินมักเป็นผลมาจากการมีปริมาณสารอาหารในแหล่งน้ำเพิ่มมากขึ้น ควบคู่ไปกับสภาพของอุณหภูมิ และแสง ที่เหมาะสม ซึ่งส่วนมากจะพบสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินเป็นชนิดเด่น โดยจะสัมพันธ์กับปัจจัยทางสิ่งแวดล้อมบางปัจจัย เช่น แสง อุณหภูมิ และสารอาหาร (Park and Watanabe, 1996 อ้างโดย นพรัตน์, 2546)

Sivonen (1990 อ้างโดย นุชนรี, 2543) กล่าวว่าผลกระทบบางปัจจัยต่อการผลิตสารพิษของ *Oscillatoria agardhii* ที่เจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว ปริมาณสารพิษพบว่าความเข้มแสงต่ำทำให้สาหร่ายเจริญเติบโตตามปกติ และพบสารพิษจำนวนมาก นองจากนี้ที่ความเข้มแสงมากจะลดอัตราการเจริญเติบโต และพบว่าสารพิษจะมีปริมาณน้อยลงด้วย

รายงานการสำรวจสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินที่เป็นพิษในประเทศไทย โดย Mahakhant *et al*. (1998 อ้างโดย สรวิศ, 2543) ได้สำรวจการบลูม (bloom) ของสาหร่ายสีเขียวแกม-น้ำเงิน ในแหล่งน้ำ 5 แหล่ง ได้แก่ เขื่อนแม่กวง จังหวัดเชียงใหม่, เขื่อนลำตะคอง จังหวัดนครราชสีมา, อ่างเก็บน้ำบางพระ จังหวัดชลบุรี, เขื่องแก่งกระจาน จังหวัดเพชรบุรี และสระน้ำเลี้ยงเป็ดหน้าเรือนจำกลางคลองเปรม กรุงเทพมหานคร พบว่าสาหร่ายที่ผลิตสารพิษคือ *Microcystis aeruginosa* ในแหล่งน้ำทุกแห่ง ส่วนในรายงานของ Yongmanitchai *et al*. (1999 อ้างโดย สรวิศ,

2543) ที่ทำการสำรวจในแหล่งน้ำ 25 แห่งทั่วประเทศ พบว่า *M. aeruginosa* และ *Microcystis* ชนิดอื่นๆ เช่น *M. ichthyoblabe* และ *M. wesenbergii* ด้วย

การฆ่าเชื้อด้วยคลอรีน พบว่าการเติมคลอรีนสามารถกำจัดไมโครซิลตินได้บ้าง โดยประสิทธิภาพในการกำจัดไมโครซิลตินจะขึ้นอยู่กับชนิดและความเข้มข้นของสารประกอบคลอไรด์ที่ใช้ เช่น ในรูปของสารละลายคลอรีน (aqueous chlorine) โซเดียมไฮโปคลอไรด์ (sodium hypochlorite) และแคลเซียมไฮโปคลอไรด์ (calcium hypochlorite) ที่ความเข้มข้นประมาณ 1 มิลลิกรัมต่อลิตร จะสามารถกำจัดไมโครซิลตินได้บ้าง (ธีรศักดิ์. 2545)

การทดลองที่ 2 การเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Oscillatoria* sp. ในบ่อกลางแจ้ง

การทดลองเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Oscillatoria* sp. ในบ่อกลางแจ้ง โดยคัดเลือกจาก 2 สูตรอาหารที่เหมาะสม จากการทดลองที่ 1 ทำการทดลองในภาชนะถังพลาสติกสีดำขนาด 500 ลิตร เป็นระยะเวลา 15 วัน ณ ฐานเรียนรู้สาหร่ายและแพลงก์ตอน คณะเทคโนโลยีการประมงและทรัพยากรทางน้ำ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่

1 การวัดค่าการเจริญเติบโต

1.1 การหาความหนาแน่นของเซลล์ (OD. optical density) ของสาหร่าย *Oscillatoria* sp. โดยทำการวัดความหนาแน่นของเซลล์ทุกๆ วัน เป็นเวลา 15 วัน พบว่ามีความหนาแน่นของเซลล์สูงที่สุดในวันที่ 10 เท่ากับ 0.364±0.01 ความหนาแน่นของเซลล์สูงสุดอยู่ในช่วงวันที่ 8 - 11 เนื่องจากสาหร่าย *Oscillatoria* sp. อยู่ในระยะ exponential phase จึงเจริญเติบโตสูงสุด (ลัดดา. 2544)

ซึ่งแตกต่างกับงานวิจัยของ Gisela *et al.* (2009) กล่าวว่าสาหร่าย *Oscillatoria* sp. MOF-06 ความหนาแน่นของเซลล์ ที่ความยาวคลื่นแสง 750 nm เท่ากับ 0.94±0.07 ในวันที่ 21 ของการทดลอง Judith *et al.* (1994) กล่าวว่าสาหร่าย *Oscillatoria* sp. ความหนาแน่นของเซลล์สูงสุดในวันที่ 12 ของการทดลอง ที่ความยาวคลื่นแสง 610 nm เท่ากับ 1.4 เป็นเวลา 15 วัน จงกล (2552) กล่าวว่าสาหร่าย *Spirulina platensis* เมื่อเพาะเลี้ยงประมาณ 7 วัน ค่าความหนาแน่นของเซลล์ เท่ากับ 0.8 - 1 เก็บเกี่ยวผลผลิตของสาหร่ายสดทุกๆ 7 วัน

จากการทดลองอาจกล่าวได้ว่า ความหนาแน่นของเซลล์สาหร่าย *Oscillatoria* sp. ที่มีความหนาแน่นของเซลล์ต่ำ เนื่องจากปัจจัยทางด้านสูตรอาหาร เพราะในการทดลองครั้งนี้ใช้สูตรอาหารดัดแปลงชนิดต้นทุนต่ำ หรือการกระจายตัวของเซลล์สาหร่ายไม่สม่ำเสมอ การวัดความหนาแน่นของเซลล์ เหมาะกับสาหร่ายชนิดเส้นสาย

1.2 การหาน้ำหนักเซลล์แห้ง (cell dry weight) ของสาหร่าย *Oscillatoria* sp. โดยทำการวัดในวันที่เริ่มต้นการทดลอง (วันที่ 0), ระหว่างการทดลอง (วันที่ 7) และสิ้นสุดการทดลอง (วันที่ 14)พบว่ามีน้ำหนักเซลล์แห้งสูงสุดในวันที่ 14 ของการทดลอง เท่ากับ 0.78±0.05 กรัมต่อลิตร

ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Ahmed (1999) กล่าวว่าสาหร่าย *Oscillatoria angustissma* ที่เพาะเลี้ยงเป็นระยะเวลา 10 วัน มีน้ำหนักเซลล์แห้งสูงที่สุดอยู่ที่ 0.449±0.07 กรัมต่อลิตร ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส จงกล (2543) กล่าวว่าสาหร่าย *Spirulina platensis* ที่เพาะเลี้ยงจากน้ำทิ้งจากบ่อหมักก๊าซชีวภาพมูลสุกร มีมวลชีวภาพ (biomass) ตลอดการทดลอง 0.02 - 0.32 กรัมต่อลิตร น้ำหนักเซลล์แห้ง จงกล และคณะ (2552) กล่าวว่าสาหร่าย *Spirulina platensis* ที่เลี้ยงด้วยสูตรอาหาร MZm และน้ำทิ้งจากโรงอาหาร (cafeteria water: Cw) พบว่าสาหร่ายที่เลี้ยงด้วยสูตรอาหาร MZm และ Cw 100 เปอร์เซ็นต์, 90 เปอร์เซ็นต์ และ 80 เปอร์เซ็นต์ มีผลผลิตในรูปของสาหร่ายแห้ง อยู่ระหว่าง 0.55 - 0.85 กรัมต่อลิตร

แต่จะแตกต่างกับงานวิจัยของ Mohan *et al.* (2010) กล่าวว่าสาหร่าย *Oscillatoria* sp. ที่เพาะเลี้ยงในสูตรอาหารปรับปรุง CFTRI เป็นระยะเวลา 10 วัน มีน้ำหนักเซลล์แห้งสูงที่สุดอยู่ที่ 0.1 กรัมต่อลิตร ในวันที่ 5 ของการทดลอง Gisela *et al.* (2009) กล่าวว่าสาหร่าย *Oscillatoria* sp. MOF-06 มีน้ำหนักเซลล์แห้งสูงที่สุดอยู่ที่ เท่ากับ 9.98±0.18 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร Somrak *et al.* (2007) กล่าวว่าสาหร่าย *Oscillatoria* sp. TISTR 8869 ที่เพาะเลี้ยงในสูตรอาหาร BG - 11 เป็นระยะเวลา 20 วัน พบว่ามีน้ำหนักเซลล์แห้ง 0.26±0.01 กรัมต่อลิตร

จากการทดลองอาจกล่าวได้ว่า น้ำหนักเซลล์แห้งของสาหร่าย *Oscillatoria* sp. ที่มีน้ำหนักเซลล์แห้งต่ำ เนื่องจากปัจจัยทางด้านสูตรอาหาร เพราะในการทดลองครั้งนี้ใช้สูตรอาหารดัดแปลงชนิดต้นทุนต่ำ การหาน้ำหนักเซลล์แห้ง เหมาะกับสาหร่ายชนิดเส้นสาย

2 ผลของคุณภาพน้ำทางกายภาพ และเคมี

โดยทำการตรวจวัดคุณภาพน้ำ ด้านกายภาพ และเคมี ได้แก่ อุณหภูมิน้ำ, อุณหภูมิอากาศ, DO, pH, NH_3-N, NO_3-N และ PO_4-P ในวันที่เริ่มต้นการทดลอง (วันที่ 0), ระหว่างการทดลอง (วันที่ 7) และสิ้นสุดการทดลอง (วันที่ 14)

2.1 อุณหภูมิน้ำ และอุณหภูมิอากาศ ของสาหร่าย *Oscillatoria* sp. โดยทำการวัดในวันที่เริ่มต้นการทดลอง (วันที่ 0), ระหว่างการทดลอง (วันที่ 7) และสิ้นสุดการทดลอง (วันที่ 14) พบว่าอุณหภูมิน้ำเฉลี่ยตลอดการทดลอง เฉลี่ยเท่ากับ 29 องศาเซลเซียส และพบว่าอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยตลอดการทดลองจะเพิ่มสูงขึ้นเรื่อยๆ เฉลี่ยเท่ากับ 30.5 องศาเซลเซียส

ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Wangwibulkit *et al.* (2008) กล่าวว่าสาหร่าย *Oscillatoria* sp. ที่เลี้ยงในสูตรอาหารปรับปรุง BG -11 อุณหภูมิที่เหมาะสม เท่ากับ 28.5±1.3 องศาเซลเซียส Dinesh *et al.* (2010) กล่าวว่าสาหร่าย *Oscillatoria* sp. ที่เพาะเลี้ยงในสูตรอาหาร BG - 11 มีอุณหภูมิที่เหมาะสม เท่ากับ 30 องศาเซลเซียส

แต่จะแตกต่างกับงานวิจัยของ นุชนรี (2543) กล่าวว่าอุณหภูมิน้ำที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของสาหร่าย *Oscillatoria* sp. คือ 35 องศาเซลเซียส มีปริมาณ chlorophyll - *a* สูงที่สุด

จากการทดลองอาจกล่าวได้ว่า อุณหภูมิมีผลต่อการดูดซึมธาตุอาหาร และกระบวนการเมตาบอลิซึมของเซลล์ ถ้าอุณหภูมิต่ำทำให้อัตราการดูดซึมไนเตรดลดลง แต่อย่างไรก็ตาม ถ้าอุณหภูมิสูงเกินไปจะจำกัดการเจริญเติบโตของสาหร่าย (จงกล, 2552)

2.2 ออกซิเจนที่ละลายน้ำ (DO) ของสาหร่าย *Oscillatoria* sp. โดยทำการวัดในวันที่เริ่มต้นการทดลอง (วันที่ 0), ระหว่างการทดลอง (วันที่ 7) และสิ้นสุดการทดลอง (วันที่ 14) พบว่าปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำ จะเพิ่มสูงขึ้นเรื่อยๆ ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 6.2 - 6.8 มิลลิกรัมต่อลิตร

ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ นุชนรี (2543) กล่าวว่าสาหร่าย *Oscillatoria* sp. ต้องการปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำอยู่ในช่วง 5.45 - 7.5 มิลลิกรัมต่อลิตร Dinesh *et al.* (2010) กล่าวว่าสาหร่าย *Oscillatoria* sp. ที่เพาะเลี้ยงในสูตรอาหาร BG - 11 มีปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ 6.2±0.14 มิลลิลิตรต่อลิตร จงกล (2543) กล่าวว่าสาหร่าย *Spirulina platensis* ที่เพาะเลี้ยงจากน้ำทิ้งจากบ่อหมักก๊าซชีวภาพมูลสุกร มีออกซิเจนที่ละลายน้ำตลอดการทดลอง มีค่าเท่ากับ 2.3 - 7.25 มิลลิกรัมต่อลิตร

2.3 pH ของสาหร่าย *Oscillatoria* sp. โดยทำการวัดในวันที่เริ่มต้นการทดลอง (วันที่ 0), ระหว่างการทดลอง (วันที่ 7) และสิ้นสุดการทดลอง (วันที่ 14) พบว่า pH จะลดลงต่ำเรื่อยๆ ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 8.7 - 10

ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ นุชนรี (2543); Prerna (1999); Mohan *et al.* (2010) กล่าวว่าสาหร่าย *Oscillatoria* sp. ระดับ pH ที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของสาหร่าย *Oscillatoria* sp. เท่ากับ 7.6 - 9.09 Gisela *et al.* (2009) กล่าวว่าสาหร่าย *Oscillatoria* sp. MOF - 06 มีระดับ pH ที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโต เท่ากับ pH 8 - 9 จงกล (2543; 2552) กล่าวว่าระดับ pH ที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของสาหร่าย *Spirulina platensis* มีค่าอยู่ระหว่าง 9.5 - 10.5

2.4 ความเข้มข้นของ Ammonia nitrogen (NH_3-N) และความเข้มข้นของ Nitrite nitrogen (NO_3-N) ในสาหร่าย *Oscillatoria* sp. โดยทำการวัดในวันที่เริ่มต้นการทดลอง (วันที่ 0), ระหว่างการทดลอง (วันที่ 7) และสิ้นสุดการทดลอง (วันที่ 14) พบว่าค่าเฉลี่ยทั้งหมดความเข้มข้นของ ammonia nitrogen เท่ากับ 0.189 - 1.129 มิลลิกรัมต่อลิตร และความเข้มข้นของ nitrite nitrogen พบว่าค่าเฉลี่ย เท่ากับ 0.06 - 3.697 มิลลิกรัมต่อลิตร

ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ จงกล (2543; 2552) กล่าวว่าสาหร่าย *Spirulina platensis* ที่เพาะเลี้ยงจากน้ำทิ้งจากบ่อหมักก๊าซชีวภาพมูลสุกร มี ammonia ตลอดการทดลอง มีค่าเท่ากับ 0.05 - 71.7 มิลลิกรัมต่อลิตร และความเข้มข้นของ nitrate ตลอดการทดลอง มีค่าเท่ากับ 0.01 - 1.51 มิลลิกรัมต่อลิตร สารอินทรีย์ไนโตรเจน ได้แก่ แอมโมเนีย, ไนไตรท์ และไนเตรท แอมโมเนียจะถูกสาหร่ายนำไปใช้ก่อนไนเตรท ส่วนไนไตรท์สาหร่ายต้องการในปริมาณน้อย หรืออาจจะไม่ใช้เลย สำหรับไนเตรทนั้นถ้าสาหร่ายนำไปใช้เมื่อดูดซึมเข้าสู่เซลล์แล้ว ต้องเปลี่ยนเป็นแอมโมเนียก่อนจึงจะนำไปใช้ได้ ไนเตรทมีความสำคัญต่อการเจริญของแพลงตอนพืช และพืชน้ำ ดังนั้นปริมาณไนเตรทจึงสามารถบอกกำลังการผลิต (productivity) ของแหล่งนำได้ ซึ่งแพลงตอนพืชจะใช้ไนเตรทในการสร้างโปรตีน เนื่องจากไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบหลักของโปรตีน ซึ่งเป็นองค์ประกอบที่สำคัญของสิ่งมีชีวิต สำหรับสาหร่ายสามารถใช้สารประกอบไนโตรเจนได้หลายรูปแบบมาทำการสังเคราะห์เป็นโปรตีน เช่น ใช้ไนโตรเจนที่อยู่ในรูปของแอมโมเนีย หรือไนเตรท ไนโตรเจนมีความสำคัญรองจากคาร์บอนในแง่ของปริมาณไนโตรเจนใน สาหร่ายมีประมาณ 7 - 10 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง (จงกล และขจรเกียรติ์, 2548)

2.5 ความเข้มข้นของ Orthophosphate (PO_4-P) ในสาหร่าย *Oscillatoria* sp. โดยทำการวัดในวันที่เริ่มต้นการทดลอง (วันที่ 0), ระหว่างการทดลอง (วันที่ 7) และสิ้นสุดการทดลอง (วันที่ 14)พบว่าค่าเฉลี่ยทั้งหมดความเข้มข้นของ PO_4-P เท่ากับ 0.674 - 2.962 มิลลิกรัมต่อลิตร

ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ จงกล (2543; 2552) กล่าวว่าสาหร่าย *Spirulina platensis* ที่เพาะเลี้ยงจากน้ำทิ้งจากบ่อหมักก๊าซชีวภาพมูลสุกร มี orthophosphate ตลอดการทดลองมีค่าเท่ากับ 2.74 - 54.4 มิลลิกรัมต่อลิตร ฟอสฟอรัสเป็นธาตุอาหารที่จำเป็นต่อกระบวนการต่างๆ ของเซลล์โดยเฉพาะกระบวนการถ่ายทอดพลังงาน และกระบวนการสร้างกรดนิวคลีอิค โดยสาหร่ายต้องการใช้จะอยู่ในรูป orthophosphate ซึ่งสาหร่ายสามารถนำไปใช้ได้โดยตรง Lobban *et al.* (1985 อ้างโดย ศิริวรรณ และประพฤติ, 2540) กล่าวว่าสาหร่ายดูดซับฟอสฟอรัสในรูปของอิออน orthophosphate ได้ดีที่สุด ซึ่งฟอสเฟตที่อยู่ในรูปของไอออนที่สามารถละลายน้ำได้ดีและสาหร่ายน้ำไปใช้ประโยชน์ได้คือ PO^{3-}_4, HPO^{2-}_4 และ $H_2PO^{-}_4$ ความต้องการฟอสฟอรัสของสาหร่ายแต่ละชนิดไม่เท่ากัน สาหร่ายสีเขียวจะมีความต้องการฟอสฟอรัสมากกว่าสาหร่ายกลุ่มอื่น ถ้าสาหร่ายขาดฟอสฟอรัสจะมีผลเสียต่อการเจริญเติบโต ทำให้ปริมาณสารสีชนิดคลอโรฟิลล์เอ อาร์เอ็นเอ และ ดีเอ็นเอ ลดลง แต่แป้งหรือ คาร์โบไฮเดรต กลับเพิ่มขึ้น มีผลทำให้รูปร่างของเซลล์เปลี่ยนแปลงไปจากเดิม (จงกล และขจรเกียรติ์, 2548)