



รายงานการวิจัย

ความหนาแน่นที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของสาหร่ายเตา และ
ความสามารถในการดูดซึมปริมาณแอมโมเนียที่ละลายในน้ำ

**The Suitable Stocking Density to Growth of *Spirogyra spp.* and
its Ability of Ammonia Nitrogen Removal**

ณัฐรินทร์ ศิริรัตนันท์ และคณะ

สาขาการจัดการการเกษตร คณะเทคโนโลยีการเกษตร

มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์

ประจำปีงบประมาณ 2558

รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

ความหนาแน่นที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของสาหร่ายเตา และ
ความสามารถในการดูดซึมปริมาณแอมโมเนียที่ละลายในน้ำ

**The Suitable Stocking Density to Growth of *Spirogyra spp.* and
its Ability of Ammonia Nitrogen Removal**

ณัฐรินทร์ ศิริรัตนันท์

สาขาการจัดการการเกษตร

คณะเทคโนโลยีการเกษตร

ธนภัทร วรปัสสุ

สาขาการจัดการการเกษตร

คณะเทคโนโลยีการเกษตร

ทุนอุดหนุนโดยงบประมาณแผ่นดินที่ผ่านการพิจารณาจากคณะกรรมการ
บริหารงานวิจัย มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ ประจำปีงบประมาณ 2558

ชื่องานวิจัย	ความหนาแน่นที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของสาหร่ายเตา และ ความสามารถในการดูดซับปริมาณแอมโมเนียที่ละลายในน้ำ The suitable stocking density to growth of <i>Spirogyra</i> spp. and its ability of ammonia nitrogen removal
ผู้วิจัย	ณัฐรินทร์ ศิริรัตนนันท์
ผู้ร่วมวิจัย	ชนภัทร วรปัสสุ
สาขาวิชา	การจัดการการเกษตร คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ ปีเสร็จวิจัย 2558

บทคัดย่อ

การศึกษาความหนาแน่นที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของสาหร่ายเตา และความสามารถในการดูดซับปริมาณแอมโมเนียที่ละลายในน้ำ วางแผนการทดลองแบบสุ่มทดลอง Completely randomized design (CRD) ประกอบด้วย 5 ชุดการทดลอง ชุดการทดลองละ 3 ซ้ำ โดยเลี้ยงสาหร่ายเตาที่ระดับความหนาแน่น 0 (ชุดควบคุม) 1 3 5 และ 7 กรัม/ลิตร ทำการทดลองเป็นระยะเวลา 3 สัปดาห์ และศึกษาความสามารถในการดูดซับปริมาณแอมโมเนียที่ละลายในน้ำของสาหร่ายเตาที่เลี้ยงในระดับความหนาแน่นที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโต โดยทำการทดลองเป็นระยะเวลา 3 วัน ผลการศึกษาพบว่า สาหร่ายเตาในทุกชุดการทดลองมีน้ำหนักรวมที่เพิ่มขึ้น และอัตราการเจริญเติบโตสูงสุดในสัปดาห์ที่ 1 หลังจากนั้นค่อยๆลดลงในสัปดาห์ที่ 2 และ 3 ตามลำดับ น้ำหนักรวมที่เพิ่มขึ้น และอัตราการเจริญเติบโตของสาหร่ายเตาจะลดลงเมื่อเลี้ยงในระดับความหนาแน่นที่เพิ่มขึ้น โดยสาหร่ายเตาที่เลี้ยงในระดับความหนาแน่น 1 กรัม/ลิตร มีน้ำหนักรวมที่เพิ่มขึ้น และอัตราการเจริญเติบโตสูงกว่าชุดควบคุม และชุดการทดลองอื่นๆ เมื่อสิ้นสุดการทดลองสาหร่ายเตาที่เลี้ยงในระดับความหนาแน่น 1 กรัม/ลิตร มีน้ำหนักรวมที่เพิ่มขึ้นเฉลี่ย และอัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยสูงกว่าชุดการทดลองอื่นๆ มีค่าเท่ากับ 1.41 ± 3.62 กรัม และ 0.46 ± 0.38 กรัม/วัน ตามลำดับ ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับชุดการทดลองที่เลี้ยงสาหร่ายเตาในระดับความหนาแน่น 5 และ 7 กรัม/ลิตร แต่ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) เมื่อ

(ข)

เปรียบเทียบกับชุดการทดลองที่เลี้ยงสาหร่ายเตาในระดับความหนาแน่น 3 กรัม/ลิตร ดังนั้น การเลี้ยงสาหร่ายเตาที่ระดับความหนาแน่น 1 กรัม/ลิตร ส่งผลให้สาหร่ายเตามีน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น และอัตราการเจริญเติบโตที่ดีที่สุด และการเลี้ยงใช้ระยะเวลา 1 สัปดาห์จะทำให้ได้ผลผลิตสูงกว่า การเลี้ยงใช้ระยะเวลา 2 หรือ 3 สัปดาห์ นอกจากนั้นการเลี้ยงสาหร่ายเตาที่ระดับความหนาแน่น 1 กรัม/ลิตร สามารถช่วยดูดซับประมาณแอมโมเนียที่ละลายในน้ำได้เท่ากับ 0.034 ± 0.009 มิลลิกรัม/ลิตร/วัน/สาหร่าย 1 กรัม

คำสำคัญ : ความหนาแน่น, การเจริญเติบโต, สาหร่ายเตา, แอมโมเนียที่ละลายในน้ำ

Research Title	The suitable stocking density to growth of <i>Spirogyra</i> spp. and its ability of ammonia nitrogen removal
Project Leader/Researcher	Nuttarin Sirirustananun
Co-Researcher	Thanaput Worapussu
Major	Agricultural management, faculty of agricultural technology, Phetchabun Rajabhat University

ABSTRACT

Study the suitable stocking density to growth of *Spirogyra* spp. consisted of 5 treatments and 3 replications, *Spirogyra* spp. were reared in different stocking densities as 0 (control) 1 3 5 and 7 g fresh weight/l for 3 weeks and then studied its ability of ammonia nitrogen removal at the suitable stocking density for 3 days. The results indicated that weight gain and growth rate of *Spirogyra* spp. at all treatments were the highest in first week of experiment and gradually decreased in second and third week respectively. Weight gain and growth rate of *Spirogyra* spp. were cultivated at 1 g fresh weight/l was higher than control treatment and other treatments, these parameters would decrease when stocking density increase. At the end of experiment, average weight gain and average growth rate of *Spirogyra* spp. rearing at 1 g fresh weight/l were higher than other treatments (1.41 ± 3.62 g and 0.46 ± 0.38 g/day respectively) and showed significant difference ($p < 0.05$) when compared with the treatments of 5 and 7 g fresh weight/l stocking density rearing but no significant difference ($p > 0.05$) when compared with 3 g fresh weight/l treatment. Finally, the suitable stocking density to rearing *Spirogyra* spp. of this study was 1 g fresh weight/l which showed the best of weight gain and growth rate, its ability of ammonia nitrogen removal was 0.034 ± 0.009 mg/l/day. In addition, *Spirogyra* spp. cultivation for 1 week revealed higher product than 2 and 3 week cultivation period.

Keywords: stocking density, growth, *Spirogyra*, ammonia nitrogen

กิตติกรรมประกาศ

การศึกษาความหนาแน่นที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของสาหร่ายเตา และความสามารถในการดูดซึมปริมาณแอมโมเนียที่ละลายในน้ำได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ การวิจัยครั้งนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดีเนื่องจากได้รับคำแนะนำต่างๆ จากผู้ที่มีความเชี่ยวชาญในการทำงานวิจัย และความร่วมมือช่วยเหลือจากบุคคลหลายฝ่าย

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณทุกท่านที่ให้ความร่วมมือ สนับสนุน และช่วยเหลือจนงานวิจัยบรรลุผลสำเร็จตามวัตถุประสงค์ และขอขอบคุณคนใกล้ชิด และผู้ปกครองที่คอยเป็นกำลังใจให้

นางสาวณัฐรินทร์ ศิริรัตนันท์

7 สิงหาคม 2558

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญตาราง	จ
สารบัญรูป	ฉ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมา และความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ของการวิจัย	3
บทที่ 2 เอกสาร และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 ชนิดของสาหร่าย	4
2.2 สาหร่ายน้ำจืดขนาดใหญ่	6
2.3 สาหร่ายเตาหรือเท้าน้ำ	7
2.4 การสืบพันธุ์ของสาหร่ายเตา (<i>Spirogyra spp.</i>)	7
2.5 คุณค่าทางโภชนาการของสาหร่ายเตา	9
2.6 วิธีการเลี้ยงสาหร่ายเตา และปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของสาหร่ายเตา	9
2.7 ความต้องการสารอาหารของสาหร่าย	10
2.8 สาหร่ายกับปริมาณสารอาหารในแหล่งน้ำ	11
2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	12
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย	14
3.1 การทดลองที่ 1 ศึกษาระดับความหนาแน่นที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของสาหร่ายเตา	14

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.2 การทดลองที่ 2 ศึกษาความสามารถในการดูดซึมปริมาณแอมโมเนีย ที่ละลายในน้ำของสาหร่ายเตา	14
3.3 การคำนวณ และการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ	15
บทที่ 4 ผลการวิจัย	
4.1 น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น และอัตราการเจริญเติบโตของสาหร่ายเตา	16
4.2 ประสิทธิภาพการดูดซึมปริมาณแอมโมเนียที่ละลายในน้ำของสาหร่ายเตา	20
บทที่ 5 สรุปผล อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ	22
5.1 สรุปผลการวิจัย	22
5.2 อภิปรายผล	23
5.3 ข้อเสนอแนะ	24
บรรณานุกรม	25
ภาคผนวก	27
ภาคผนวก ก การคำนวณข้อมูลทางสถิติในแต่ละสัปดาห์ของการทดลอง	28
ภาคผนวก ข การคำนวณทางสถิติของค่าเฉลี่ยข้อมูลสิ้นสุดการทดลอง	35
ภาคผนวก ค รูปการทดลอง	39
ประวัติผู้วิจัย	42

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 คุณค่าทางโภชนาการของสาหร่ายเตา	9
4.1 น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (กรัม) และอัตราการเจริญเติบโต (กรัม/วัน) ของสาหร่ายเตาที่เลี้ยงในระดับความหนาแน่นที่แตกต่างกันในสัปดาห์ที่ 1	17
4.2 น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (กรัม) และอัตราการเจริญเติบโต (กรัม/วัน) ของสาหร่ายเตาที่เลี้ยงในระดับความหนาแน่นที่แตกต่างกันในสัปดาห์ที่ 2	18
4.3 น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (กรัม) และอัตราการเจริญเติบโต (กรัม/วัน) ของสาหร่ายเตาที่เลี้ยงในระดับความหนาแน่นที่แตกต่างกันในสัปดาห์ที่ 3	19
4.4 น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นเฉลี่ยของสาหร่ายเตาเมื่อสิ้นสุดการทดลอง (กรัม)	20
4.5 อัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยของสาหร่ายเตาเมื่อสิ้นสุดการทดลอง (กรัม/วัน)	20
5.1 ระดับความหนาแน่นที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของสาหร่ายแต่ละชนิด	24
ก-1 การคำนวณข้อมูลทางสถิติในสัปดาห์ที่ 1 ของการทดลอง	29
ก-2 การคำนวณข้อมูลทางสถิติในสัปดาห์ที่ 2 ของการทดลอง	31
ก-3 การคำนวณข้อมูลทางสถิติในสัปดาห์ที่ 3 ของการทดลอง	33
ข-1 การคำนวณทางสถิติของค่าเฉลี่ยข้อมูลเมื่อสิ้นสุดการทดลอง	36

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 สาหร่ายเตาหรือเท้าน้ำ	6
2.2 สาหร่ายไถ	7
2.3 สคาลาริฟอร์มคอนจูเกชัน (scalariform conjugation) ของ <i>Spirogyra</i> spp.	8
4.1 น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นของสาหร่ายเตาในแต่ละสัปดาห์ (กรัม)	16
4.2 อัตราการเจริญเติบโตของสาหร่ายเตาในแต่ละสัปดาห์ (กรัม/วัน)	17
ค-1 การทดลองเลี้ยงสาหร่ายเตาในระดับความหนาแน่นที่แตกต่างกัน	40
ค-2 การเก็บสาหร่ายตัวอย่างเพื่อการชั่งน้ำหนักสด	40
ค-3 การเก็บสาหร่ายตัวอย่างเพื่อการอบแห้ง	40
ค-4 สารละลายมาตรฐานเพื่อการวิเคราะห์ปริมาณแอมโมเนียที่ละลายในน้ำ	41
ค-5 น้ำตัวอย่างจากการทดลองที่วิเคราะห์ปริมาณแอมโมเนียที่ละลายในน้ำ	41

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันความนิยมในการบริโภคสาหร่ายมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเนื่องจากรสชาติดี คุณค่าทางโภชนาการสูง และเป็นอาหารเพื่อสุขภาพที่คนส่วนใหญ่เล็งเห็นถึงความสำคัญ มนุษย์นิยมบริโภคสาหร่ายโดยตรงจากการนำมาปรุงอาหารตามภูมิปัญญาท้องถิ่น ซึ่งสาหร่ายน้ำจืดขนาดใหญ่ที่สามารถนำมาทำเป็นอาหารมี 3 ชนิด ได้แก่ สาหร่ายเตา (*Spirogyra spp.*) สาหร่ายไถ (*Cladophora spp.*) และสาหร่ายลอน (*Nostochopsis spp.*) ในภาคเหนือ และภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทยนิยมบริโภคสาหร่ายเตาหรือเต้าน้ำ ส่วนสาหร่ายไถนิยมบริโภคโดยชาวบ้าน 2 พื้นที่ที่อำเภอเชียงของ จังหวัดเชียงราย และชาวบ้านที่อยู่แถบลำน้ำน่าน จังหวัดน่าน (ยุวดี พิรพรพิศาล, 2551; ยุวดี พิรพรพิศาล, ม.ป.ป.)

ศักยภาพของสาหร่ายเตานอกจากนำมาบริโภคเป็นอาหารแล้วยังสามารถนำมารักษาโรคมะเร็งไข้ปลา (งูสวัด) โดยการนำเตาสับไปคลุมแผลทำให้แผลหายดีขึ้นไม่ปวดแสบปวดร้อน และยังมีสรรพคุณในการลดระดับน้ำตาลในเลือด สาหร่ายเตาเป็นที่ต้องการของผู้รักสุขภาพ และความงามทั้งหลายแต่ปริมาณสาหร่ายเตาในท้องตลาดยังมีน้อย เนื่องจากมีการเพาะเลี้ยงเป็นอาชีพไม่กี่แห่ง (พรรณพิมล สุริยะพรหมชัย, 2556) ดังนั้นแนวโน้มของผลผลิตของสาหร่ายเตาทั้งจากแหล่งน้ำธรรมชาติ และจากการเพาะเลี้ยงยังคงไม่เพียงพอต่อความต้องการของผู้บริโภค อีกทั้งผู้บริโภคบางรายคำนึงถึงปัญหามลพิษของแหล่งน้ำธรรมชาติ และการปนเปื้อนของโลหะหนักรวมถึงแพลงก์ตอนหรือไข่พยาธิที่ติดไปกับเส้นของสาหร่ายทำให้ไม่ปลอดภัยต่อการบริโภค (จันทร์แก้ว อุทุมภา, 2554) การพัฒนาเทคนิค และวิธีการเพาะเลี้ยงสาหร่ายเตาบนบกเชิงพาณิชย์จึงเป็นอีกวิธีหนึ่งที่ช่วยให้ผลผลิตของสาหร่ายเตาเพิ่มขึ้น และเพียงพอต่อความต้องการของผู้บริโภคอย่างปลอดภัย รวมถึงมีประโยชน์ในด้านอื่นๆ เช่น ใช้เป็นอาหารสัตว์ ใช้ในการบำบัดน้ำเสีย เป็นต้น แต่อย่างไรก็ตามในปัจจุบันนี้ยังคงขาดแคลนข้อมูลพื้นฐานที่สำคัญอันเป็นประโยชน์ต่อการนำมาประยุกต์ใช้ในการพัฒนาเทคนิค และวิธีการเพาะเลี้ยงสาหร่ายเตา

ความหนาแน่นในการเลี้ยงสาหร่ายเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการเจริญเติบโตซึ่งการเลี้ยงสาหร่ายในระดับความหนาแน่นที่เหมาะสมจะช่วยป้องกันการบังแสง และการแก่งแย่งสารอาหาร (สุพล ตันสุวรรณ มณฑกานติ ท้ามดิน และ สันติภาพ แซ่เฮ้า, ม.ป.ป.) ในขณะที่เดียวกันสาหร่ายเตาต้องการแอมโมเนียที่ละลายในน้ำเพื่อการเจริญเติบโต จากการศึกษาของ ญัฐรินทร์ ศิริรัตนันท์ และ พิพัฒน์ ชนาเทพาพร (2558) พบว่า การปรากฏ และการเจริญเติบโตของสาหร่ายเตาในแหล่งน้ำธรรมชาติมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณแอมโมเนียที่ละลายในน้ำเพิ่มขึ้น การเจริญเติบโตของสาหร่ายเตานี้จะช่วยทำให้ปริมาณแอมโมเนียที่ละลายในน้ำลดลง มีส่วนช่วยปรับปรุงคุณภาพน้ำให้ดีขึ้น การศึกษาถึงความหนาแน่นที่เหมาะสมต่อการเลี้ยงสาหร่ายเตา และความสามารถในการนำแอมโมเนียที่ละลายในน้ำมาใช้ในการเจริญเติบโตยังไม่มีผู้ใดทำการศึกษาซึ่งข้อมูลดังกล่าวจะเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อการนำไปพัฒนาเทคนิค และวิธีการเลี้ยงสาหร่ายเตาต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาถึงระดับความหนาแน่นที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตสาหร่ายเตา
2. เพื่อศึกษาถึงความสามารถของสาหร่ายเตาในการดูดซึมปริมาณแอมโมเนียที่ละลายในน้ำ

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1. ประชากร คือ สาหร่ายเตาในแหล่งน้ำธรรมชาติ
2. กลุ่มตัวอย่าง คือ สาหร่ายเตาที่เก็บรวบรวมได้จากแหล่งน้ำธรรมชาติ
3. ตัวแปร ได้แก่
 - 3.1 ตัวแปรอิสระ คือ การเลี้ยงสาหร่ายเตาในระดับความหนาแน่นที่แตกต่างกัน 5 ระดับ ดังนี้
 - 3.1.1 เลี้ยงสาหร่ายเตาที่ระดับความหนาแน่น 0 กรัมต่อน้ำ 1 ลิตร (ชุดควบคุม)
 - 3.1.2 เลี้ยงสาหร่ายเตาที่ระดับความหนาแน่น 1 กรัมต่อน้ำ 1 ลิตร
 - 3.1.3 เลี้ยงสาหร่ายเตาที่ระดับความหนาแน่น 3 กรัมต่อน้ำ 1 ลิตร
 - 3.1.4 เลี้ยงสาหร่ายเตาที่ระดับความหนาแน่น 5 กรัมต่อน้ำ 1 ลิตร
 - 3.1.5 เลี้ยงสาหร่ายเตาที่ระดับความหนาแน่น 7 กรัมต่อน้ำ 1 ลิตร

3.2 ตัวแปรตาม คือ อัตราการเจริญเติบโตของสาหร่ายเตา และปริมาณแอมโมเนียที่ละลายในน้ำที่ลดลง

4. ระยะเวลาในการทดลอง

4.1 การทดลองที่ 1 ศึกษาระดับความหนาแน่นที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของสาหร่ายเตาใช้ระยะเวลาการทดลอง 3 สัปดาห์ เก็บรวบรวมข้อมูลอัตราการเจริญเติบโตของสาหร่ายเตาจากสัดส่วนของน้ำหนักรวบรวมสาหร่ายเตาที่เพิ่มขึ้น

4.2 การทดลองที่ 2 ศึกษาความสามารถในการดูดซึมปริมาณแอมโมเนียที่ละลายในน้ำของสาหร่ายเตาใช้ระยะเวลาการทดลอง 3 วัน เก็บรวบรวมข้อมูลจากปริมาณแอมโมเนียที่ละลายในน้ำที่ลดลงหลังจากการเลี้ยงสาหร่ายเตา

1.4 ประโยชน์ของการวิจัย

1. การเผยแพร่ข้อมูลการวิจัยในวารสารระดับชาติหรือนานาชาติ
2. ประเด็นความรู้เพื่อการพัฒนาการเลี้ยงสาหร่ายเตาเชิงพาณิชย์ ตลอดจนการบูรณาการเข้ากับการวิจัย และการเรียนการสอนในรายวิชาที่เกี่ยวข้อง
3. หน่วยงานทั้งภาครัฐ และเอกชน ได้ใช้ข้อมูลจากงานวิจัยเพื่อประโยชน์ในด้านต่างๆ

บทที่ 2

เอกสาร และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ชนิดของสาหร่าย

สาหร่าย (algae) คือพืชชั้นต่ำ ส่วนใหญ่อาศัยอยู่ในน้ำทั้งน้ำจืด และน้ำเค็ม บางชนิดพบอยู่ในดินในทรายตามชายหาด บนก้อนหินชื้นๆ หรือแม้แต่ในบ่อน้ำร้อน สาหร่ายมีรงควัตถุ 3 ชนิด คือ คลอโรฟิลล์(chlorophyll) แคโรทีนอยด์ (carotenoid) และไฟโคบิลิน (phycobilin) ซึ่งรงควัตถุเหล่านี้กระจายอยู่ในไซโตพลาสซึม (cytoplasm) ขนาดของสาหร่ายมีตั้งแต่ขนาดเล็กมาก ประกอบด้วยเซลล์เดียวซึ่งไม่สามารถมองเห็นด้วยตาเปล่าต้องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์จนถึงขนาดใหญ่ยาวประกอบด้วยเซลล์จำนวนมากอาจมีลักษณะเป็นเส้นสาย (filament) หรือมีลักษณะคล้ายพืชชั้นสูง โดยมีส่วนคล้ายราก ลำต้น และใบ รวมเรียกโครงสร้างที่ไม่แท้จริงนี้ว่า ทัลลัส (thallus)

สาหร่ายถูกจัดจำแนกได้ตามชนิดของรงควัตถุ (pigments) และในบางชนิดที่มีลักษณะพิเศษสามารถจำแนกได้โดยอาหารที่ถูกเก็บสะสมไว้ภายในเซลล์ ความแตกต่างของรงควัตถุนั้น (pigments) ใช้ประเมินได้ถึงการแพร่กระจายของที่อยู่อาศัยในชนิดที่มีความเฉพาะเจาะจง สาหร่ายสามารถปรับตัวได้ในสภาพแวดล้อมที่หลากหลาย โดยทั่วไปจะพบได้ทั้งในน้ำจืด และน้ำเค็ม บางชนิดสามารถพบได้ในสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมต่อการดำรงชีวิต เช่น หิมะ น้ำแข็ง หรือแม้แต่ในน้ำพุร้อน ชนิดของสาหร่ายสาหร่ายแบ่งตามชนิดรงควัตถุได้ดังนี้

2.1.1 สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน (blue green algae, BGA)

สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินหรือเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า “ไซยาโนแบคทีเรีย” (cyanobacteria) ซึ่งเป็นชื่อเรียกพื้นฐานที่สุดของสาหร่ายกลุ่มนี้ ยกตัวอย่างสาหร่ายในกลุ่มนี้เช่น *Nostoc* และ *Calothrix* สาหร่ายเหล่านี้มีสีเขียวแกมน้ำเงิน ดำรงชีวิตแบบเซลล์เดี่ยว (single-celled) หรืออยู่รวมกันเป็นกลุ่ม(colony) ภายในเซลล์ประกอบด้วยคลอโรฟิลล์ เอ บี และ ไฟโคบิลิน (phycobilin) สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินเป็นโพรคาริโอติก (prokaryotic) เซลล์เหมือนกับแบคทีเรีย ดังนั้นจึงถึงพิจารณาให้อยู่ระหว่างแบคทีเรียและพืช ชื่อเรียก “ไซยาโนแบคทีเรีย” (cyanobacteria) จึงเป็นอีกชื่อหนึ่งของสาหร่ายกลุ่มนี้เนื่องจากสาหร่ายกลุ่มนี้ไม่มีออร์แกเนลล์เฉพาะภายในเซลล์กระบวนการสังเคราะห์แสงจึงเกิดขึ้นโดยตรงผ่านไซโทพลาสซึม (cytoplasm)

2.1.2 สาหร่ายสีเขียว (green algae)

สาหร่ายสีเขียวจัดอยู่ในไฟลัมคลอโรไฟตา (chlorophyta) ภายในเซลล์ประกอบด้วยคลอโรฟิลล์เอ บี แคโรทีนอยด์ (carotenoid) และแซนโทฟิลล์ (xanthophyll) อาหารหลักที่ถูกเก็บสะสมไว้ในเซลล์ของสาหร่ายกลุ่มนี้คือ แป้ง (starch) ยกตัวอย่างสาหร่ายสีเขียวเช่น *Ulva*, *Codium*, และ *Caulerpa* ในปัจจุบันสาหร่ายกลุ่มนี้ที่ถูกจัดจำแนกไว้มีประมาณ 7,000 ชนิด เป็นทั้งเซลล์เดียว (unicellular) และหลายเซลล์ (multicellular) ส่วนใหญ่เป็นสาหร่ายน้ำจืดมีส่วน้อยพบได้ในน้ำทะเล

2.1.3 สาหร่ายสีแดง (red algae)

สาหร่ายสีแดงอยู่ในไฟลัมโรโดไฟตา (rhodophyta) ภายในเซลล์ประกอบด้วยคลอโรฟิลล์เอ ดี แคโรทีนอยด์ แซนโทฟิลล์ และไฟโคบิลิน อาหารที่เก็บสะสมไว้ในเซลล์คือ แป้ง ซึ่งเรียกว่า ฟลอริเดียนสตาร์ช (floridean starch) เป็นโมเลกุลแป้งชนิดหนึ่งที่มีแขนงมากกว่าโมเลกุลของอะไมโลแพคติน (amylopectin) ตัวอย่างของสาหร่ายสีแดง เช่น *Chondrus* และ *Gelidiella* ส่วนใหญ่สาหร่ายสีแดงเป็นสาหร่ายน้ำเค็มที่ถูกจัดจำแนกไว้มีประมาณ 6,500 ชนิด และอีกประมาณ 20 ชนิดพบในน้ำจืด แสงจากรงควัตถุสีแดงไฟโคบิลินช่วยในการเก็บเกี่ยวผลผลิตสาหร่ายในบริเวณที่น้ำมากลึก สาหร่ายสีแดงบางชนิดพบได้ในพื้นที่ท้องทะเลที่ซึ่งไม่มีสิ่งมีชีวิตที่สามารถสังเคราะห์แสงชนิดอื่นปรับตัวอยู่ได้

2.1.4 สาหร่ายสีน้ำตาล (Brown algae)

สาหร่ายสีน้ำตาลอยู่ชั้น paeophyceae ภายในเซลล์ประกอบด้วยคลอโรฟิลล์เอ ซี และ ฟุโคแซนทิน (fucoxanthin) อาหารที่ถูกเก็บสะสมไว้ในเซลล์คือ พอลลิเมอร์ของคาร์โบไฮเดรตเชิงซ้อนที่เรียกว่า ลามินาริน (laminarin) ลามินาริน และมาโครซิสทีส (macrocytis) เป็นตัวอย่างชนิดของสาหร่ายในกลุ่มสาหร่ายสีน้ำตาล ส่วนมากสาหร่ายกลุ่มนี้ปรับตัวได้ดีในน้ำทะเลลึกคล้ายคลึงกับสาหร่ายสีแดง สาหร่ายสีน้ำตาลเป็นสาหร่ายที่มีความซับซ้อนมากที่สุดซึ่งในบางชนิดสามารถปรับตัวอาศัยอยู่ได้ในทะเล และมหาสมุทรที่มีความลึกมาก สาหร่ายสีน้ำตาลขนาดใหญ่ (giant kelp) พบได้ที่พื้นท้องทะเลอยู่ในลำดับ laminarales และเป็นสาหร่ายชนิดเดียวที่มีเนื้อของสาหร่ายแตกต่างจากสาหร่ายสีน้ำตาลชนิดอื่น

สาหร่ายมีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อม ดังนั้นจึงถูกใช้เป็นตัวชี้วัดทางชีวภาพต่อการประเมินการเปลี่ยนแปลงของสิ่งแวดล้อม ยกตัวอย่างเช่น สาหร่ายน้ำจืด *Euglena* และ *Chlorella* ถูกใช้ในการชี้วัดระดับมลภาวะทางน้ำ (Sandhyarani, 2011)

2.2 สาหร่ายน้ำจืดขนาดใหญ่

สาหร่ายน้ำจืดขนาดใหญ่เป็นทรัพยากรธรรมชาติที่มีผู้ให้ความสนใจไม่มากนักทั้งในอดีตและปัจจุบัน อาจเนื่องจากการเจริญเติบโตของสาหร่ายเหล่านี้คล้ายเป็นวัชพืชในแหล่งน้ำที่เหมือนไม่มีคุณค่าใดๆ ส่วนนักนิเวศวิทยาอาจมองสาหร่ายขนาดใหญ่เป็นผู้ผลิตหรือเป็นอาหารเบื้องต้นให้แก่สัตว์น้ำในห่วงโซ่อาหาร และเป็นผู้ผลิตออกซิเจนจากระบวนการสังเคราะห์แสงให้แก่สิ่งแวดล้อมในน้ำเท่านั้น อย่างไรก็ตามยังมีประชากรบางส่วนไม่ละเลยทรัพยากรเหล่านี้โดยมีการนำมาใช้ให้เกิดประโยชน์หลายประการที่ชัดเจนคือ การนำมาเป็นอาหาร ดังเช่นประชากรในแถบภาคเหนือ และภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทยนิยมนำสาหร่ายน้ำจืดสีเขียวขนาดใหญ่ที่มีชื่อสามัญว่า “เตา” หรือ “เทาน้ำ” หรือชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Spirogyra* spp. (ภาพที่ 2.1) มาเป็นอาหารประเภทยา ที่เรียกกันว่า “ยาเตา” รับประทานกับข้าวเหนียว ซึ่งนับว่าเป็นที่นิยมกันอย่างแพร่หลาย สาหร่ายอีกประเภทหนึ่งคือ “ไถ” หรือชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Cladophora* spp. และ *Microspora* spp. (ภาพที่ 2.2) เป็นสาหร่ายที่มีมากในลำน้ำนาน และลำน้ำโขง บริเวณอำเภอเชียงของ จังหวัดเชียงราย โดยชาวบ้านนำสาหร่ายสดมาขยำกับเครื่องปรุงต่างๆ หรือปรุงรสด้วยน้ำพริกแล้วนำไปนึ่งเรียกว่า “ห่อหนึ่งไถ” และที่นิยมกันมากคือ นำสาหร่ายแห้งที่บดเป็นผงมาปรุงรส เรียกว่า “ไถยี้” อาหารเหล่านี้เป็นภูมิปัญญาชาวบ้านอย่างแท้จริง (ยุดี พิรพรพิศาล, 2551)



ภาพที่ 2.1 สาหร่ายเตาหรือเทาน้ำ



ภาพที่ 2.2 สาหร่ายไค (ยูวดี พิรพรพิศาล, ม.ป.ป.)

2.3 สาหร่ายเตาหรือเต้าน้ำ

สาหร่ายเตาหรือเต้าน้ำจัดอยู่ใน Division Chlorophyta, Class Chlorophyceae, Order Zygnematales, Family Zygnemataceae, Genus *Spirogyra*, Specie *Spirogyra* spp. สาหร่ายชนิดนี้เป็นที่รู้จักกันดีที่สุดใน Division Chlorophyta ด้วยกัน มักเกิดรวมกันเป็นกลุ่ม อาจอยู่กันบ่อกับก้อนดิน ก้อนหิน หรืออาจจะลอยอยู่บริเวณผิวน้ำ จินัสนี้มีประมาณ 290 ชนิด แต่ละชนิดมีความแตกต่างกันตามขนาด และรูปร่างของเซลล์ จำนวนของคลอโรพลาสต์ การสืบพันธุ์ ขนาด และสีของไซโกต (ยูวดี พิรพรพิศาล, 2549) ลักษณะของสาหร่ายชนิดนี้จะเป็นเส้นสายคล้ายเส้นผมไม่แตกแขนงเมื่อจับรู้สึกลื่นมือเนื่องจากมีเมือกหุ้ม มีสีเขียว (ภาพที่ 2.1) เซลล์รูปทรงกระบอกยาวซึ่งมีขนาดตั้งแต่ความยาวเท่าความกว้างจนกระทั่งความยาวมากกว่าความกว้างหลายเท่า (ยูวดี พิรพรพิศาล, 2549; นวรัตน์ เหล่าขวลิตกุล, 2554)

ผนังเซลล์มี 3 ชั้น ชั้นใน และชั้นกลางเป็นเซลลูโลส ส่วนชั้นนอกเป็นเพคโตส (pectose) ภายในเซลล์มีแวนิวโอลตรงกลางอันใหญ่ มีนิวเคลียสแขวนลอยอยู่โดยมีสายไซโตพลาสซึม (cytoplasmic strand) เชื่อมโยง และยึดไว้กับผนังเซลล์ คลอโรพลาสต์อาจมีตั้งแต่ 1 อันหรือหลายๆ อัน ขึ้นอยู่กับอายุ และชนิดมีลักษณะเป็นเส้นขดจากปลายเซลล์ข้างหนึ่งไปยังอีกข้างหนึ่ง บนสายคลอโรพลาสต์มีไพรีนอยด์เรียงเป็นแถวตลอดสาย ผนังเซลล์ด้านข้างจะเชื่อมโยง โดยมีความกว้างระหว่างเซลล์ต่อเซลล์ มองดูเป็นรูปตัว “H”

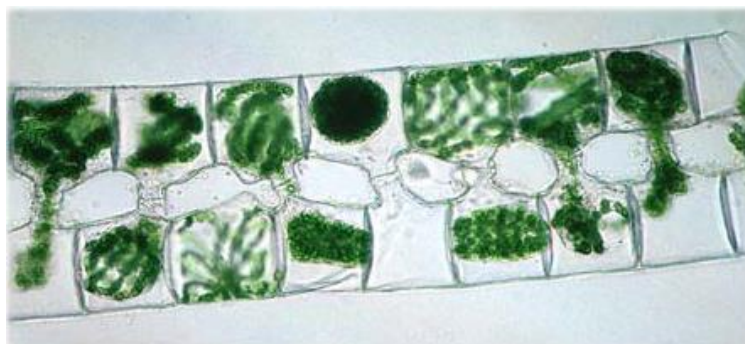
2.4 การสืบพันธุ์ของสาหร่ายเตา (*Spirogyra* spp.)

การสืบพันธุ์มีทั้งแบบอาศัยเพศโดยการขาดออกเป็นท่อน และการสืบพันธุ์แบบอาศัยเพศโดยการรวมกันของแกมีทซึ่งจะเคลื่อนที่ผ่านท่อคอนจูเกชัน มี 2 แบบ คือ สคาริฟอร์มคอนจูเกชัน

(scalariform conjugation) และแลเทอรัลคอนจูเกชัน (lateral conjugation) หรือเทอมินัลคอนจูเกชัน (terminal conjugation) ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

2.4.1 สคาลาริฟอร์มคอนจูเกชัน

วิธีการนี้เป็นการผสมต่างสายหรือต่างพัลลัส โดยที่เซลล์ทุกเซลล์ในสายจะสร้างแกมิตอพเพสเดียวตลอดสายหรือสร้างแกมิตอทั้ง 2 เพสในสายเดียวกัน แกมิตอแต่ละแกมิตอเกิดจากโปรโตพลาสต์ในแต่ละเซลล์นั่นเอง เมื่อถึงระยะเวลาผสมพันธุ์ *Spirogyra* 2 สายจะอยู่ใกล้กันแบบคู่ขนาน แล้วปล่อยเมือกออกมาหุ้มสายทั้งสองไว้ต่อมาผนังเซลล์ด้านที่อยู่ใกล้กันจะโป่งออกมาแล้วยื่นมาต่อกัน ในที่สุดก็เชื่อมกันเป็นหลอดหรือเป็นท่อเรียกท่อดังกล่าวว่า ท่อคอนจูเกชัน ขณะเดียวกันนั้นโปรโตพลาสต์ซึ่งเปลี่ยนเป็นแกมิตอของเซลล์จะหลอมรวมกันเป็นก้อนโปรโตพลาสต์ซึ่งเป็นแกมิตอพเพสผู้จะเคลื่อนที่ผ่านท่อคอนจูเกชันไปรวมกับโปรโตพลาสต์ของแกมิตอพเพสเมียกลายเป็นไซโกตต่อไป (ภาพที่ 2.3)



ภาพที่ 2.3 สคาลาริฟอร์มคอนจูเกชัน (scalariform conjugation) ของ *Spirogyra* spp.

(Parmentier, 1999)

2.4.2 แลเทอรัลคอนจูเกชันหรือเทอมินัลคอนจูเกชัน

วิธีการนี้เกิดในสายหรือพัลลัสเดียวกัน เมื่อถึงระยะเวลาผสมพันธุ์ ผนังเซลล์ที่กั้นระหว่างเซลล์ 2 เซลล์ ซึ่งแต่ละเซลล์จะทำหน้าที่เป็นแกมิตอพเพสจะขาดออกเป็นรูเล็กๆ ส่วนผนังเซลล์ที่เชื่อมต่อระหว่างเซลล์ทั้งสองจะโป่งออกเป็น โปรโตพลาสต์ที่ทำหน้าที่เป็นแกมิตอพเพสผู้ซึ่งจะเคลื่อนที่ผ่านช่องทางนี้มารวมกับโปรโตพลาสต์ที่ทำหน้าที่เป็นแกมิตอพเพสเมียกลายเป็นไซโกตต่อไป

ไซโกตซึ่งเกิดจากทั้ง 2 วิธีการนี้จะมีการพัฒนาต่อไปเป็นไซโกตสปอร์โดยผนังเซลล์หนาขึ้น และจะพักตัวระยะเวลาหนึ่ง ต่อมาแบ่งนิวเคลียสแบบไมโอซิส 4 นิวเคลียส จะสลายไป 3 นิวเคลียส เหลือเพียง 1 นิวเคลียส ซึ่งจะงอกเป็นพัลลัสใหม่ต่อไป (ยุวดี พิรพรพิศาล, 2549)

2.5 คุณค่าทางโภชนาการของสาหร่ายเตา

จากการศึกษาของยูวดี พิรพรพิศาล (2551) พบว่าสาหร่ายเตา สาหร่ายลอน และสาหร่ายไถมีคุณค่าทางโภชนาการที่ดีมาก มีปริมาณโปรตีนใกล้เคียงกับปลาน้ำจืด อีกทั้งมีวิตามินหลายชนิด โดยเฉพาะวิตามินบี มีเกลือแร่หลายชนิด เช่น แคลเซียม โซเดียม โพแทสเซียม เป็นต้น และจากการวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการของสาหร่ายเตาที่แปลงปลูกจังหวัดแพร่พบว่ามีไขมัน 5.21 โปรตีน 18.65 ใยอาหาร 7.66 เถ้า 11.78 และคาร์โบไฮเดรต 56.31 กรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักแห้งของสาหร่าย และ พรรณพิมล สุริยะพรหมชัย (2556) รายงานว่า สาหร่ายเตาถ้าคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้งประกอบด้วยโปรตีน 18.63 - 23.76% ไขมัน 2.86 - 5.21% คาร์โบไฮเดรต 53.98 - 56.31% เส้นใย 6.24 - 7.66% และเถ้า 11.78% และประกอบด้วยธาตุหลักสูงถึง 33.85% เทียบเท่าผักกูดที่ให้ธาตุหลัก 36.30% ทั้งยังมีสารต้านอนุมูลอิสระสูงเมื่อเทียบกับสาหร่ายน้ำจืดชนิดอื่นๆ สารต้านอนุมูลอิสระ (IC50) ในสาหร่ายเตามี 1.06 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร

ตารางที่ 2.1 คุณค่าทางโภชนาการของสาหร่ายเตา (พรรณพิมล สุริยะพรหมชัย, 2556)

สารอาหารพื้นฐาน (กรัม/100 กรัมน้ำหนักแห้ง)		เกลือแร่ (มิลลิกรัม/100 กรัมน้ำหนักแห้ง)	
ความชื้น (%)	8.05	แคลเซียม	26.88
ไขมัน	5.21	โซเดียม	1.56
โปรตีน	18.65	โพแทสเซียม	1.19
กาก (ใยอาหาร)	7.66	แมกนีเซียม	241.10
เถ้า	11.78	แมงกานีส	35.80
คาร์โบไฮเดรต	56.31	เหล็ก	33.85
พลังงาน (กิโลแคลอรี/กรัม)	3.21	ฟอสฟอรัส	125.76
วิตามิน (มิลลิกรัม/100 กรัมน้ำหนักแห้ง)		ทองแดง (มิลลิกรัม/กิโลกรัม น้ำหนักสด)	0.40
วิตามินเอ	0.25	สังกะสี	1.73
วิตามินซี	ไม่พบ		
วิตามินบี 1	0.04		
วิตามินบี 2	0.55		
วิตามินบี 6	0.84		
ไนอะซิน	3.65		

2.6. วิธีการเลี้ยงสาหร่ายเตา และปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของสาหร่ายเตา

การเลี้ยงสาหร่ายเตาควรหมั่นดูแลน้ำในบ่อเลี้ยงเตาให้ใสสะอาดอยู่เสมอ หากน้ำเริ่มเสียต้องทำความสะอาดบ่อดินโดยระบายน้ำออก ตากบ่อไว้จนแห้ง จากนั้นเติมน้ำให้สูงจากพื้นบ่อประมาณ

40-50 เซนติเมตร แดดจัดจะเพิ่มน้ำ ไม่มีแดดจะลดน้ำขึ้นอยู่กับแสงแดด สำหรับปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของสาหร่ายเตา ได้แก่

- อุณหภูมิ สาหร่ายเตาเจริญเติบโตได้ดีในน้ำอุ่น ในเวลาที่มีแสงแดดอ่อน ได้แก่ ช่วงเช้า 09.00 – 10.00 น. และช่วงเย็น 16.00 – 17.00 น. อากาศที่หนาวจัดหรือร้อนจัดทำให้สาหร่ายเตาโตช้า
- ปริมาณฝน แม้เตาจะมีมากในฤดูฝนแต่ปริมาณฝนมากเกินไปก็ไม่ดี ฝนแรกหรือฝนเทียมทำให้เตาลอยตัว มีฟองอากาศ และทำให้เตาเนาได้ง่าย

นอกจากนั้นจากการศึกษาของ ณัฐรินทร์ สิริรัตนันท์ และ พิพัฒน์ ชนาเทพพร (2558) พบว่า อุณหภูมิของน้ำที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของสาหร่ายเตาอยู่ระหว่าง 27 ถึง 30.5 °C ความลึกของน้ำอยู่ระหว่าง 7.3 ถึง 39 cm และน้ำค่อนข้างใส

สาหร่ายเตาสามารถเก็บได้ตลอดทั้งวัน แต่ช่วงเวลาที่มีแสงแดดอ่อนจะสามารถเก็บเตาได้มากกว่าช่วงเวลาอื่น สำหรับอุปกรณ์การเก็บเตามีกละมังเส้นผ่าศูนย์กลาง 30 เซนติเมตร ไม้ไผ่เหลาเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 เซนติเมตร ยาว 50 เซนติเมตร และสวิง ขั้นตอนในการเก็บสาหร่ายเตามีดังนี้

1. เดินลุยน้ำลงไปบ่อเตา ต้องค่อยๆเดินเพื่อไม่ให้น้ำขุ่น
2. ใช้ไม้พันสาหร่ายเตาติดขึ้นมา
3. ใช้มือรูดเตาใส่สวิง บิดน้ำออกแล้วนำมาใส่กละมัง
4. เมื่อเก็บได้เต็มกละมังแล้ว ใช้เชือก 2 เส้น เป็นตัวชักรอกกละมังไว้ข้างฝั่งได้ง่ายขึ้น
5. นำเตาขึ้นมาล้างทำความสะอาดโดยใช้สวิงช้อนเตาในถังน้ำปล่อยให้น้ำไหลผ่านประมาณ 2-3 รอบ เอาสิ่งสกปรกต่างๆ ออก ได้แก่ เศษหอย ปลาเล็ก หมักน้ำ (ตัวจิ๋วดำมีมากจะทำให้น้ำเสีย) เศษหิน เศษหญ้าทั้งหลาย
6. บิดน้ำจากเตาในสวิงเป็นก้อนๆ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 10 – 12 เซนติเมตร นำก้อนเตามาเรียงในเครื่องสับน้ำที่ประยุกต์จากถังปั่นผ้า ใช้เวลาประมาณ 10 นาทีต่อครั้ง
7. นำก้อนเตาที่หมักน้ำแล้วมาห่อใบตองขายก้อนละ 10 บาท

2.7 ความต้องการสารอาหารของสาหร่าย

ธาตุอาหารที่สาหร่ายต้องการในการเจริญเติบโตคล้ายกับพืชชั้นสูง แต่ธาตุอาหารบางตัวมีความต้องการแตกต่างจากพืชโดยทั่วไป ธาตุอาหารที่จำเป็นต้องการปริมาณมาก (macronutrient elements) เช่น คาร์บอน ไฮโดรเจน ออกซิเจน ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม

แคลเซียม แมกนีเซียม และซัลเฟอร์ ธาตุอาหารที่จำเป็นต้องการปริมาณน้อย (micronutrient elements) เช่น เหล็ก คลอไรด์ แมงกานีส โบรอน ทองแดง โมลิบดีนัม และสังกะสี

สาหร่ายบางชนิดต้องการธาตุอาหารที่แตกต่างกันออกไปจากที่กล่าวมา เช่น พวกไดอะตอม ต้องการซิลิกาสำหรับสร้างฟรอสตูล สาหร่ายบางชนิดใน Division Chrysophyta ที่มีสเกลเป็นซิลิกา ก็ต้องการซิลิกามากเช่นกัน บางชนิดสเกลเป็นหินปูนก็ต้องการแคลเซียมมากกว่าชนิดอื่นๆ สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน เช่น *Anabaena*, *Anacystis*, *Nostoc* ต้องการโซเดียมในการเจริญเติบโต นอกจากนี้สาหร่ายยังต้องการสารอินทรีย์ชนิดต่างๆ ในการเจริญเติบโต เช่น วิตามินบี 12 วิตามินบี 1 และไบโอติน สาหร่ายแต่ละชนิดอาจต้องการวิตามินดังกล่าวทุกชนิดหรือต้องการเพียงชนิดใดชนิดหนึ่งก็ได้ วิตามินบี 12 เป็นวิตามินที่สาหร่ายต้องการชัดเจนมาก ไม่ว่าจะเป็นสาหร่ายใน Division Chlorophyta, Chrysophyta, Cryptophyta หรือ Euglenophyta ล้วนแต่ต้องการวิตามินบี 12 ทั้งสิ้น สาหร่ายที่พบวิตามินบี 12 มากกว่าสาหร่ายชนิดอื่นคือ *Euglena* และ *Phormidium* และพบว่า *Chlorella* และสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินบางชนิดสามารถสังเคราะห์วิตามินบี 12 ได้ จึงคาดว่าสาหร่าย และแบคทีเรียอาจเป็นแหล่งสร้างวิตามินบี 12 ที่สำคัญในแหล่งน้ำธรรมชาติได้ วิตามินบี 1 เป็นส่วนประกอบของโคเอนไซม์สำหรับเอนไซม์คาร์บอกซิเลส (carboxylase) สำหรับไบโอตินเป็นวิตามินที่สาหร่ายต้องการน้อยกว่า 2 ชนิดแรก

การที่จะทราบว่าสาหร่ายใช้ธาตุอาหารชนิดใดในการสังเคราะห์แสง และกระบวนการต่างๆ ในการดำรงชีวิตอาจจะใช้หลายวิธีร่วมกัน เช่น การวิเคราะห์หาปริมาณธาตุต่างๆ ในแหล่งน้ำที่สาหร่ายเจริญเติบโตหรือนำสาหร่ายชนิดนั้นมาวิเคราะห์ดูส่วนประกอบทางเคมีซึ่งทั้ง 2 วิธีนี้อาจมีข้อผิดพลาดอยู่บ้างเพราะสาหร่ายบางชนิดสามารถสะสมธาตุอาหารบางอย่างไว้ในเซลล์เกินความจำเป็น ดังนั้นอาจใช้วิธีที่ 3 ร่วมด้วย โดยการนำสาหร่ายมาเพาะเลี้ยงในธาตุอาหารชนิดต่างๆ ในปริมาณแตกต่างกัน แล้วดูว่าสาหร่ายเจริญเติบโตได้ดีในธาตุอาหารประเภทใด ปริมาณธาตุอาหารเท่าใด ข้อมูลที่ได้จะทำให้พอสรุปได้ว่าสาหร่ายต้องการธาตุอาหารประเภทใด ปริมาณมากน้อยเพียงใด (ยูวดี พิรพรพิศาล, 2549)

2.8 สาหร่ายกับปริมาณสารอาหารในแหล่งน้ำ

สาหร่ายแต่ละชนิดมีแหล่งที่อยู่อาศัย และช่วงของความทน (range of tolerance) ต่อสภาพแวดล้อมไม่เหมือนกัน ดังนั้นในแหล่งน้ำต่างกันจึงมีชนิดของสาหร่ายไม่เหมือนกัน โดยทั่วไปสามารถแบ่งแหล่งน้ำตามความมากน้อยของสารอาหาร (trophic level) ออกเป็น 3 ระดับ คือ แหล่งน้ำที่มีสารอาหารน้อย (oligotrophic) น้ำจะมีคุณภาพดี แหล่งน้ำที่มีสารอาหารปานกลาง

(mesotrophic) น้ำมีคุณภาพปานกลาง และแหล่งน้ำที่มีสารอาหารมาก (eutrophic) น้ำมีคุณภาพไม่ดี ในแหล่งน้ำแต่ละสภาพจะมีสาหร่ายที่อยู่ในรูปของแพลงก์ตอนพืชแตกต่างกัน ดังนี้

ในแหล่งน้ำที่มีสารอาหารน้อย (คุณภาพน้ำดี) จะพบสาหร่ายสีเขียวประเภทเคสמידส์ ได้แก่ *Staurostrum*, *Staurodesmus*, *Cosmarium* และ *Closterium* เป็นต้น ในแหล่งน้ำที่มีสารอาหารปานกลางจะพบสาหร่ายไดโนแฟลเจลเลต เช่น *Peridinium*, *Gymnodinium* และ *Ceratium* เป็นต้น ส่วนแหล่งน้ำที่มีสารอาหารมากมักจะพบสาหร่ายน้อยประเภท แต่ละประเภทมีจำนวนมาก บางครั้งอาจพบสาหร่ายเพียงชนิดเดียวแต่มีปริมาณมากก็เป็นได้ มักพบสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน *Oscillatoria* และ *Phormidium* สาหร่ายยูกลีโนยด์ เช่น *Euglena*, *Phacus* และ *Trachelomonas* (ยูดี พืชรพพิศาล, 2549) สำหรับสาหร่ายเตาขอบเจริญเติบโตในแหล่งน้ำที่มีปริมาณแอมโมเนียค่อนข้างสูงระหว่าง 0.32 ถึง 0.75 มก./ลิตร (ฉัฐรินทร์ ศิริรัตนันท์ และ พิพัฒน์ ชนาเทพาวร, 2558) เนื่องจากขอบอาศัย และเจริญเติบโตในน้ำที่มีคุณภาพน้ำปานกลางถึงเสียเล็กน้อย (meso-eutrophic condition) (Hainz *et al.*, 2009; ยูดี พืชรพพิศาล, 2551)

2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากการศึกษาของ Mckernan and Juliano (2001) ศึกษาถึงผลของสารอาหารต่อการเจริญเติบโตของสาหร่ายสีเขียว *Spirogyra* ในทะเลสาบ Conesus พบว่า การเจริญเติบโตของสาหร่ายเตาในแหล่งน้ำที่มีการปนเปื้อนสารอาหารในระดับใกล้เคียง กลาง และไกลจากจุดปล่อยน้ำสาหร่ายมีมวลชีวภาพเพิ่มขึ้น 35.38, 16.62 และ 4.12 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งอัตราการเจริญเติบโตของสาหร่ายเตาในบริเวณใกล้จุดปล่อยน้ำมีค่าสูงกว่าสาหร่ายเตาในบริเวณอื่นๆ นอกจากนั้นจากการทดลองเลี้ยงสาหร่ายเตาในน้ำที่มีปริมาณไนโตรเจน และฟอสฟอรัสที่แตกต่างกัน พบว่า มวลชีวภาพของสาหร่ายเตาที่เพิ่มขึ้นเมื่อเลี้ยงในน้ำที่มีปริมาณสารอาหารสูง (ไนเตรท 3.79 มก./ลิตร และออร์โทฟอสเฟต 4.3 มก./ลิตร) ต่ำ (ไนเตรท 1.8 มก./ลิตร และออร์โทฟอสเฟต 2.15 มก./ลิตร) และไม่มีสารอาหารเท่ากับ 19.8, 10.8 และ 7.5 ตามลำดับ และการศึกษาของ จันทร์แก้ว อุทุมภา (2554) ศึกษาเปรียบเทียบผลผลิตที่ได้จากการเพาะเลี้ยงเตา *Spirogyra* sp. ในถังพลาสติกที่ใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 10:25:20 ในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน พบว่า ปริมาณความเข้มข้นของปุ๋ยบัวไฮเทคสูตร 10:25:20 ที่ปริมาณปุ๋ย 2 กรัม ในน้ำ 10 ลิตร มีความเหมาะสมต่อการเพาะเลี้ยงเตาในระยะเวลา 4 สัปดาห์ โดยให้ผลผลิตเตา น้ำหนักสด และน้ำหนักแห้งเฉลี่ยมากที่สุดเท่ากับ 53.67 และ 3.71 กรัม ตามลำดับ

นอกจากนี้ Pereira *et al.* (2006) ได้ศึกษาถึงอิทธิพลของความหนาแน่นในการเลี้ยง แสง และอุณหภูมิที่มีผลต่อการเจริญเติบโต ผลผลิต และความสามารถในการดูดซับสารอาหารของ สาหร่ายสีแดง *Porphyra dioica* ผลการทดลองพบว่า อัตราการเจริญเติบโตของสาหร่ายที่เลี้ยงใน ระดับความหนาแน่น 150 และ 250 $\mu\text{mol photons/m}^2$ มีอัตราการเจริญเติบโตสูงสุดซึ่งเท่ากับ 0.1 กรัม/น้ำหนักสดต่อลิตร คิดเป็น 33 เปอร์เซ็นต์ต่อวัน และอัตราการเจริญเติบโตลดลงอย่างมี นัยสำคัญทางสถิติเมื่อเลี้ยงในระดับความหนาแน่นที่เพิ่มขึ้น แต่ผลผลิตมีแนวโน้มในทางตรงกัน ข้ามโดยสาหร่ายที่เลี้ยงในระดับความหนาแน่นสูงจะให้ผลผลิตปริมาณสูง

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 การทดลองที่ 1 ศึกษาระดับความหนาแน่นที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของสาหร่ายเตา

วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely randomized design, CRD) ประกอบด้วย 5 ชุดการทดลอง ชุดการทดลองละ 3 ซ้ำ แต่ละชุดการทดลองมีรายละเอียดดังนี้

ชุดการทดลองที่ 1 เลี้ยงสาหร่ายเตาที่ระดับความหนาแน่น 0 กรัมต่อน้ำ 1 ลิตร (ชุดควบคุม)

ชุดการทดลองที่ 2 เลี้ยงสาหร่ายเตาที่ระดับความหนาแน่น 1 กรัมต่อน้ำ 1 ลิตร

ชุดการทดลองที่ 3 เลี้ยงสาหร่ายเตาที่ระดับความหนาแน่น 3 กรัมต่อน้ำ 1 ลิตร

ชุดการทดลองที่ 4 เลี้ยงสาหร่ายเตาที่ระดับความหนาแน่น 5 กรัมต่อน้ำ 1 ลิตร

ชุดการทดลองที่ 5 เลี้ยงสาหร่ายเตาที่ระดับความหนาแน่น 7 กรัมต่อน้ำ 1 ลิตร

ดำเนินการทดลองโดยเลี้ยงสาหร่ายเตาในระดับความหนาแน่นที่แตกต่างกันตามแผนการทดลองที่กำหนดไว้โดยเลี้ยงในภาชนะพลาสติกใสทรงกระบอกที่ระดับความจุของน้ำ 5 ลิตร ทำการชั่งน้ำหนักสดของสาหร่ายก่อนเริ่มทำการทดลอง และควบคุมปริมาณแอมโมเนียที่ละลายในน้ำให้อยู่ระหว่าง 0.75 – 1 mg/l ด้วยสารละลายแอมโมเนียมคลอไรด์ (NH_4Cl) เพื่อให้เหมาะสมต่อการเจริญเติบโต (ฉัตรินทร์ และพิพัฒน์, 2558; สนธยา, ม.ป.ป.) ในระหว่างการทดลองชั่งน้ำหนักสดของสาหร่าย และปรับระดับความหนาแน่นของสาหร่ายให้เข้าสู่ระดับความหนาแน่นเริ่มต้น 1 ครั้งต่อสัปดาห์ ตามวิธีที่ดัดแปลงจาก Pereira *et al.* (2006) ตรวจวัดอุณหภูมิของน้ำ ความเป็นกรดเป็นด่างของน้ำ (pH) ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (DO) ปริมาณแสง และเก็บน้ำตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์หาปริมาณแอมโมเนียที่ละลายในน้ำ 2 ครั้งต่อสัปดาห์ เลี้ยงสาหร่ายเป็นระยะเวลา 3 สัปดาห์ และเมื่อสิ้นสุดการทดลองชั่งน้ำหนักสดสุดท้ายของสาหร่าย

3.2 การทดลองที่ 2 ศึกษาความสามารถในการดูดซึมปริมาณแอมโมเนียที่ละลายในน้ำของสาหร่ายเตา

เมื่อทราบถึงระดับความหนาแน่นที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของสาหร่ายเตาจากการทดลองที่ 1 ทำการศึกษาถึงความสามารถในการดูดซึมปริมาณแอมโมเนียที่ละลายในน้ำ โดยเลี้ยงสาหร่ายเตาในระดับความหนาแน่นที่เหมาะสมในน้ำที่มีปริมาณแอมโมเนียที่ละลายในน้ำ 0.75 - 1 mg/l วัดปริมาณแอมโมเนียที่ละลายในน้ำ และชั่งน้ำหนักสดสาหร่ายเมื่อเริ่มต้น และสิ้นสุดการทดลอง ทำการทดลองเป็นระยะเวลา 3 วัน

3.3 การคำนวณ และการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

$$\text{อัตราการเจริญเติบโตของสาหร่าย (กรัม/วัน)} = \frac{\text{น้ำหนักของสาหร่ายที่เพิ่มขึ้น (กรัม)}}{\text{จำนวนวัน (วัน)}}$$

$$\text{ประสิทธิภาพในการดูดซับแอมโมเนีย} = \frac{\text{ปริมาณแอมโมเนีย (t}_0\text{)} - \text{ปริมาณแอมโมเนีย (t)}}{\text{ระยะเวลาดูดซับ (t)} \times \text{น้ำหนักสาหร่าย (t}_0\text{)}}$$

หมายเหตุ : t_0 คือ เวลาเมื่อเริ่มต้นการทดลอง

t คือ เวลาเมื่อผ่านไป t วัน

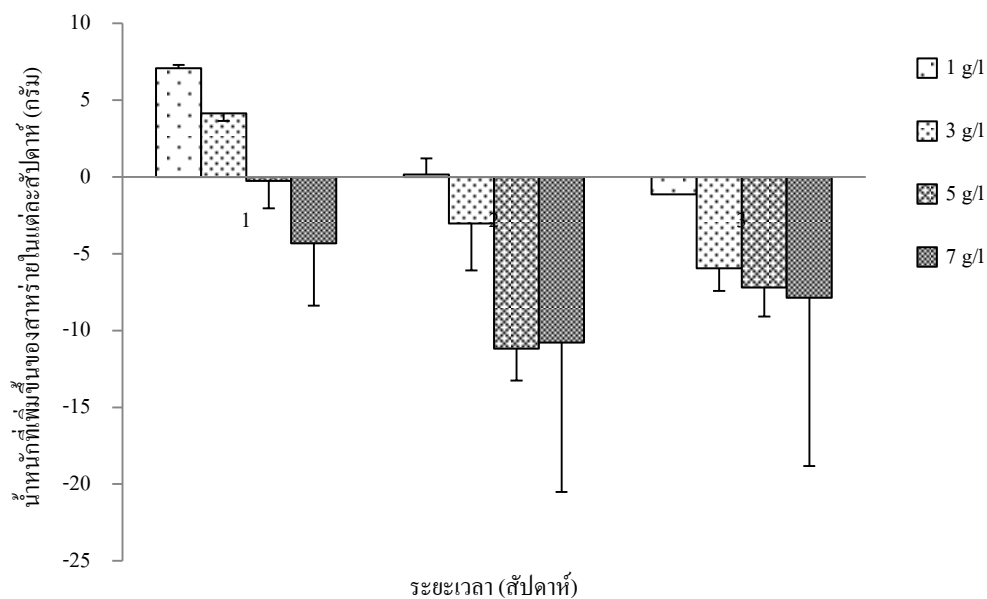
ข้อมูลที่ได้ในแต่ละชุดการทดลองนำมาคำนวณหาค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ทดสอบความแตกต่างทางสถิติโดยวิเคราะห์ความแปรปรวนด้วย One way analysis of variance (ANOVA) วิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

บทที่ 4

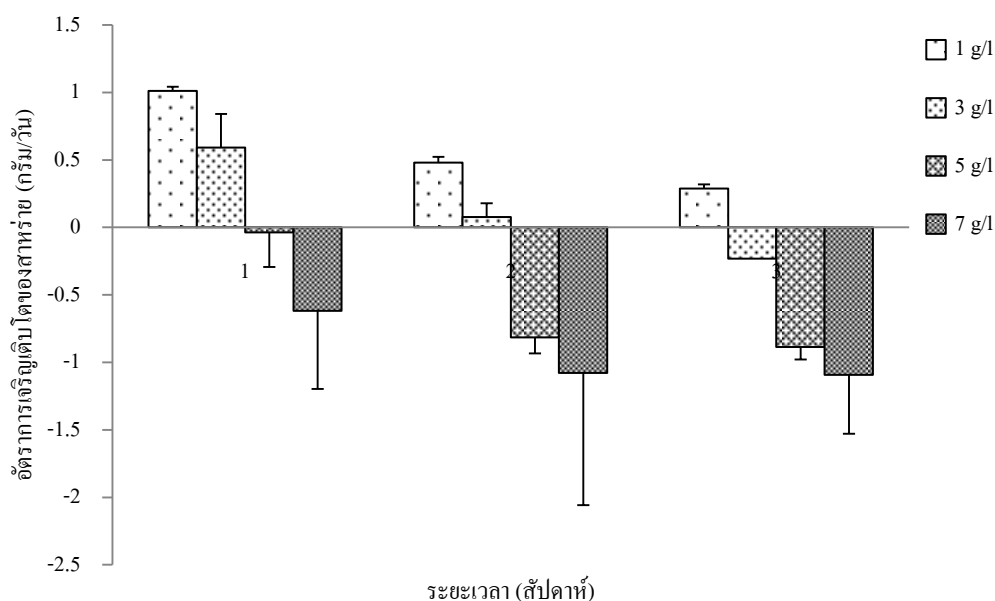
ผลการวิจัย

4.1 น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น และอัตราการเจริญเติบโตของสาหร่ายเตา

จากการเลี้ยงสาหร่ายเตาในระดับความหนาแน่นที่แตกต่างกันที่ 0 กรัม/ลิตร (ชุดควบคุม), 1 กรัม/ลิตร, 3 กรัม/ลิตร, 5 กรัม/ลิตร และ 7 กรัม/ลิตร เป็นระยะเวลา 3 สัปดาห์ พบว่า สาหร่ายเตาในทุกชุดการทดลองมีน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น และอัตราการเจริญเติบโตสูงสุดในสัปดาห์ที่ 1 หลังจากนั้น น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น และอัตราการเจริญเติบโตของสาหร่ายจะค่อยๆ ลดลงในสัปดาห์ที่ 2 และ 3 ตามลำดับ (รูปที่ 4.1 และ รูปที่ 4.2) น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น และอัตราการเจริญเติบโตของสาหร่ายเตาจะลดลงเมื่อเลี้ยงในระดับความหนาแน่นที่เพิ่มขึ้น โดยสาหร่ายเตาที่เลี้ยงในระดับความหนาแน่น 1 กรัม/ลิตร มีน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น และอัตราการเจริญเติบโตสูงกว่าชุดการทดลองอื่นๆ



รูปที่ 4.1 น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นของสาหร่ายเตาในแต่ละสัปดาห์ (กรัม)



รูปที่ 4.2 อัตราการเจริญเติบโตของสาหร่าย (กรัม/วัน)

ในสัปดาห์ที่ 1 พบว่า สาหร่ายเตาที่เลี้ยงในระดับความหนาแน่นที่แตกต่างกันมีผลต่อน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น และอัตราการเจริญเติบโตที่ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) (ตารางที่ 4.1) โดยสาหร่ายเตาที่เลี้ยงในระดับความหนาแน่น 1 กรัม/ลิตร มีน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น และอัตราการเจริญเติบโตสูงกว่าชุดการทดลองอื่นๆ มีค่าเท่ากับ 7.09 ± 0.21 กรัม และ 1.01 ± 0.03 กรัม/วัน ตามลำดับ และมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม ชุดการทดลองที่เลี้ยงสาหร่ายที่ระดับความหนาแน่น 5 กรัม/ลิตร และ 7 กรัม/ลิตร แต่ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับชุดการทดลองที่เลี้ยงสาหร่ายในระดับความหนาแน่น 3 กรัม/ลิตร

ตารางที่ 4.1 น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (กรัม) และอัตราการเจริญเติบโต (กรัม/วัน) ของสาหร่ายเตาที่เลี้ยงในระดับความหนาแน่นที่แตกต่างกันในสัปดาห์ที่ 1

พารามิเตอร์	ระดับความหนาแน่นที่เลี้ยง (กรัม/ลิตร)				
	0 (ชุดควบคุม)	1	3	5	7
น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (กรัม)	0 ^{b,c}	7.09 ± 0.21^a	$4.14 \pm 0.50^{a,b}$	$-0.25 \pm 1.80^{b,c}$	-4.32 ± 4.06^c
อัตราการเจริญเติบโต (กรัม/วัน)	0 ^{b,c}	1.01 ± 0.03^a	$0.59 \pm 0.25^{a,b}$	$-0.04 \pm 0.26^{b,c}$	-0.62 ± 0.58^c

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรเหมือนกันในแถวเดียวกัน ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p>0.05$)

ในสัปดาห์ที่ 2 พบว่า สาหร่ายเตาที่เลี้ยงในระดับความหนาแน่นที่แตกต่างกันมีผลต่อน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น และอัตราการเจริญเติบโตที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) (ตารางที่ 4.2) โดยสาหร่ายเตาที่เลี้ยงในระดับความหนาแน่น 1 กรัม/ลิตร มีน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น และอัตราการเจริญเติบโตสูงกว่าชุดควบคุม และชุดการทดลองอื่นๆ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.16 ± 1.04 กรัม และ 0.38 ± 0.18 กรัม/วัน ตามลำดับ แต่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเทียบกับชุดควบคุม และชุดการทดลองที่เลี้ยงสาหร่ายเตาที่ระดับความหนาแน่น 3 กรัม/ลิตร

ตารางที่ 4.2 น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (กรัม) และอัตราการเจริญเติบโต (กรัม/วัน) ของสาหร่ายเตาที่เลี้ยงในระดับความหนาแน่นที่แตกต่างกันในสัปดาห์ที่ 2

พารามิเตอร์	ระดับความหนาแน่นที่เลี้ยง (กรัม/ลิตร)				
	0 (ชุดควบคุม)	1	3	5	7
น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (กรัม)	0 ^a	0.16 ± 1.04^a	$-3.03\pm3.05^{a,b}$	-11.17 ± 2.08^b	-10.77 ± 9.74^b
อัตราการเจริญเติบโต (กรัม/วัน)	0 ^{a,b}	0.38 ± 0.18^a	0.08 ± 0.10^a	$-0.82\pm0.11^{b,c}$	-1.08 ± 0.98^c

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรเหมือนกันในแถวเดียวกัน ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p>0.05$)

ในสัปดาห์ที่ 3 พบว่า สาหร่ายเตาที่เลี้ยงในระดับความหนาแน่นที่แตกต่างกันมีผลต่อน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) (ตารางที่ 4.3) แต่มีผลต่ออัตราการเจริญเติบโตที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยชุดการทดลองที่เลี้ยงสาหร่ายในระดับความหนาแน่น 1 กรัม/ลิตร มีอัตราการเจริญเติบโตสูงกว่าชุดควบคุม และชุดการทดลองอื่นๆ มีค่าเท่ากับ 0.17 ± 0.20 กรัม/วัน แต่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม และชุดการทดลองที่เลี้ยงสาหร่ายเตาที่ระดับความหนาแน่น 3 กรัม/ลิตร

ตารางที่ 4.3 น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (กรัม) และอัตราการเจริญเติบโต (กรัม/วัน) ของสาหร่ายเตาที่เลี้ยงใน ระดับความหนาแน่นที่แตกต่างกันในสัปดาห์ที่ 3

พารามิเตอร์	ระดับความหนาแน่นที่เลี้ยง (กรัม/ลิตร)				
	0 (ชุดควบคุม)	1	3	5	7
น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (กรัม)	0	-1.13±0.76	-5.95±1.47	-7.19±1.90	-7.86±10.97
อัตราการเจริญเติบโต (กรัม/วัน)	0 ^a	0.17±0.20 ^a	-0.23±0.002 ^a	-0.88±0.09 ^b	-1.09±0.43 ^b

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรเหมือนกันในแถวเดียวกัน ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p>0.05$)

เมื่อสิ้นสุดการทดลอง พบว่า สาหร่ายเตาที่เลี้ยงในระดับความหนาแน่นแตกต่างกันที่ 0 กรัม/ลิตร (ชุดควบคุม), 1 กรัม/ลิตร, 3 กรัม/ลิตร, 5 กรัม/ลิตร และ 7 กรัม/ลิตร มีผลต่อน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยสาหร่ายเตาที่เลี้ยงในระดับความหนาแน่น 1 กรัม/ลิตร มีน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นเฉลี่ยสูงกว่าชุดการทดลองอื่นๆ มีค่าเท่ากับ 1.41 ± 3.62 กรัม และมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับชุดการทดลองที่เลี้ยงสาหร่ายเตาในระดับความหนาแน่น 5 กรัม/ลิตร และ 7 กรัม/ลิตร แต่ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม และชุดการทดลองที่เลี้ยงสาหร่ายเตาในระดับความหนาแน่น 3 กรัม/ลิตร (ตารางที่ 4.4) นอกจากนั้นสาหร่ายเตาที่เลี้ยงในระดับความหนาแน่นที่แตกต่างกันมีผลต่ออัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) (ตารางที่ 4.5) โดยสาหร่ายเตาที่เลี้ยงในระดับความหนาแน่น 1 กรัม/ลิตร มีอัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยสูงกว่าชุดการทดลองอื่นๆ มีค่าเท่ากับ 0.46 ± 0.38 กรัม/วัน และมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม และชุดการทดลองที่เลี้ยงสาหร่ายเตาในระดับความหนาแน่น 5 กรัม/ลิตร และ 7 กรัม/ลิตร แต่ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับชุดการทดลองที่เลี้ยงสาหร่ายเตาในระดับความหนาแน่น 3 กรัม/ลิตร

ตารางที่ 4.4 น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นเฉลี่ยของสาหร่ายเตาเมื่อสิ้นสุดการทดลอง (กรัม)

ระดับความหนาแน่นที่เลี้ยง (กรัม/ลิตร)	ระยะเวลา (สัปดาห์)			น้ำหนัก ที่เพิ่มขึ้นเฉลี่ย
	สัปดาห์ที่ 1	สัปดาห์ที่ 2	สัปดาห์ที่ 3	
0	0	0	0	0 ^a
1	7.09±0.21	0.16±1.04	-1.13±0.76	1.41±3.62 ^a
3	4.14±0.50	-3.03±3.05	-5.95±1.47	-1.61±4.88 ^{a,b}
5	-0.25±1.80	-11.17±2.08	-7.19±1.90	-6.21±5.07 ^{b,c}
7	-4.32±4.06	-10.77±9.74	-7.86±10.97	-7.65±8.11 ^c

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรเหมือนกันในแนวสทมภ์ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($P>0.05$)

ตารางที่ 4.5 อัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยของสาหร่ายเตาเมื่อสิ้นสุดการทดลอง (กรัม/วัน)

ระดับความหนาแน่นที่เลี้ยง (กรัม/ลิตร)	ระยะเวลา (สัปดาห์)			อัตราการเจริญ เติบโตเฉลี่ย
	สัปดาห์ที่ 1	สัปดาห์ที่ 2	สัปดาห์ที่ 3	
0	0	0	0	0 ^b
1	1.01±0.03	0.38±0.18	0.17±0.20	0.46±0.38 ^a
3	0.59±0.25	0.08±0.10	-0.23±0.003	0.15±0.38 ^{a,b}
5	-0.04±0.26	-0.82±0.12	-0.88±0.09	-0.58±0.43 ^c
7	-0.62±0.58	-1.08±0.98	-1.09±0.44	-0.93±0.65 ^c

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรเหมือนกันในแนวสทมภ์ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($P>0.05$)

4.2 ประสิทธิภาพการดูดซึมปริมาณแอมโมเนียที่ละลายในน้ำของสาหร่ายเตา

จากการเลี้ยงสาหร่ายในระดับความหนาแน่นที่ 1 กรัมต่อน้ำ 1 ลิตร เป็นระยะเวลา 3 วัน พบว่า สาหร่ายเตามีประสิทธิภาพการดูดซึมปริมาณแอมโมเนียที่ละลายในน้ำเฉลี่ยเท่ากับ 0.034 ± 0.009 มิลลิกรัม/ลิตร/กรัมน้ำหนักสาหร่ายสด/วัน โดยปริมาณแอมโมเนียที่ละลายในน้ำเมื่อ

เริ่มต้นการทดลองมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.89 ± 0.30 มิลลิกรัม/ลิตร และเมื่อสิ้นสุดการทดลองมีปริมาณ
แอมโมเนียที่ละลายในน้ำเฉลี่ยเท่ากับ 0.63 ± 0.22 มิลลิกรัม/ลิตร

บทที่ 5

สรุปผล อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากการเลี้ยงสาหร่ายเตาที่ระดับความหนาแน่นแตกต่างกันที่ 0 กรัม/ลิตร (ชุดควบคุม), 1 กรัม/ลิตร, 3 กรัม/ลิตร, 5 กรัม/ลิตร และ 7 กรัม/ลิตร เป็นระยะเวลา 3 สัปดาห์ พบว่า ในสัปดาห์ที่ 1 สาหร่ายเตาในทุกชุดการทดลองมีน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น และอัตราการเจริญเติบโตสูงสุด หลังจากนั้น น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น และอัตราการเจริญเติบโตจะค่อยๆลดลงในสัปดาห์ที่ 2 และ 3 ตามลำดับ น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น และอัตราการเจริญเติบโตของสาหร่ายเตาจะลดลงเมื่อเลี้ยงในระดับความหนาแน่นที่เพิ่มขึ้น โดยสาหร่ายเตาที่เลี้ยงในระดับความหนาแน่น 1 กรัม/ลิตร มีน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น และอัตราการเจริญเติบโตสูงกว่าชุดควบคุม และชุดการทดลองอื่นๆ

เมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่า สาหร่ายเตาที่เลี้ยงในระดับความหนาแน่นแตกต่างกันมีผลต่อน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยสาหร่ายเตาที่เลี้ยงในระดับความหนาแน่น 1 กรัม/ลิตร มีน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นเฉลี่ยสูงกว่าชุดการทดลองอื่นๆ มีค่าเท่ากับ 1.41 ± 3.62 กรัม และมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับชุดการทดลองที่เลี้ยงสาหร่ายเตาในระดับความหนาแน่น 5 กรัม/ลิตร และ 7 กรัม/ลิตร แต่ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม และชุดการทดลองที่เลี้ยงสาหร่ายเตาในระดับความหนาแน่น 3 กรัม/ลิตร นอกจากนี้สาหร่ายเตาที่เลี้ยงในระดับความหนาแน่นที่แตกต่างกันมีผลต่ออัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยสาหร่ายเตาที่เลี้ยงในระดับความหนาแน่น 1 กรัม/ลิตร มีอัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยสูงกว่าชุดการทดลองอื่นๆ มีค่าเท่ากับ 0.46 ± 0.38 กรัม/วัน และมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม และชุดการทดลองที่เลี้ยงสาหร่ายเตาในระดับความหนาแน่น 5 กรัม/ลิตร และ 7 กรัม/ลิตร แต่ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับชุดการทดลองที่เลี้ยงสาหร่ายเตาในระดับความหนาแน่น 3 กรัม/ลิตร ดังนั้นจากการทดลองครั้งนี้การเลี้ยงสาหร่ายเตาที่ระดับความหนาแน่น 1 กรัม/ลิตร ส่งผลให้สาหร่ายเตามีน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น และอัตราการเจริญเติบโตที่ดีที่สุด และการเลี้ยงโดยใช้ระยะเวลา 1 สัปดาห์จะทำให้ได้ผลผลิตที่สูงกว่าการเลี้ยงโดยใช้ระยะเวลา 2

หรือ 3 สัปดาห์ นอกจากนั้นการเลี้ยงสาหร่ายเตาที่ระดับความหนาแน่น 1 กรัม/ลิตร สามารถช่วยลด
 งบประมาณแอมโมเนียที่ละลายในน้ำ 0.034 ± 0.009 มิลลิกรัม/ลิตร/วัน/สาหร่าย 1 กรัม

5.2 อภิปรายผล

จากการเลี้ยงสาหร่ายเตาในระดับความหนาแน่นที่แตกต่างกัน พบว่า น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น และ
 อัตราการเจริญเติบโตของสาหร่ายเตาจะลดลงเมื่อเลี้ยงในระดับความหนาแน่นที่เพิ่มขึ้น
 ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Pereira *et al.* (2006) ศึกษาถึงอิทธิพลของระดับความหนาแน่น แสง
 และอุณหภูมิที่มีต่อการเจริญ ผลผลิต และความสามารถในการดูดซึมสารอาหารของสาหร่ายสีแดง
 ชนิด *Porphyra dioica* พบว่า อัตราการเจริญเติบโตของสาหร่ายลดลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อระดับ
 ความหนาแน่นในการเลี้ยงสาหร่ายเพิ่มขึ้น นอกจากนั้นการศึกษาของ Msuya (2013) ศึกษาถึงผล
 ของระดับความหนาแน่น และสารอาหารที่เพิ่มขึ้นที่มีต่อการเจริญเติบโตของสาหร่ายทะเล
Eucheuma denticulatum และ *Kappaphycus alvarezii* ใน Zanzibar Tanzania พบว่า อัตราการ
 เจริญเติบโต (Specific growth rates, (SGRs) ของสาหร่ายทั้งสองชนิดสูงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ
 ($p < 0.05$) เมื่อเลี้ยงในระดับความหนาแน่นต่ำไม่ว่าจะมีการใส่ปุ๋ยหรือไม่ก็ตาม Kim *et al.* (2013)
 ศึกษาถึงผลของระดับความหนาแน่น และอุณหภูมิที่มีต่อความสามารถในการดูดซับปริมาณ
 แอมโมเนียในโตรเจนของสาหร่ายสีแดงชนิด *Chondrus crispus* และ *Palmaria palmata* พบว่า
 อัตราการเจริญเติบโตของสาหร่ายทั้ง 2 ชนิด ลดลงเมื่อระดับความหนาแน่นเพิ่มขึ้น (แปรผกผันต่อ
 กัน) ในทุกระดับอุณหภูมิที่ใช้ในการทดลอง สาหร่ายเตามีน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น และอัตราการ
 เจริญเติบโตดีในช่วงสัปดาห์ที่ 1 หลังจากนั้นน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น และอัตราการเจริญเติบโตจะลดลง
 เนื่องจากสาหร่ายเตาสามารถเพิ่มจำนวนอย่างรวดเร็วภายใน 7 วันหลังจากการปลูก และควรเก็บ
 เกี่ยวผลผลิตภายใน 10 วัน (พวงเพ็ญ อินตาพรหม, 2550) หลังจากนั้นการเจริญเติบโตของสาหร่ายเตา
 จะค่อยๆลดลง

จากการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้ พบว่า ระดับความหนาแน่นที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของ
 สาหร่ายเตาเท่ากับ 1 กรัมต่อน้ำ 1 ลิตร ซึ่งเป็นระดับความหนาแน่นต่ำสุดของการทดลอง โดย
 สาหร่ายแต่ละชนิดนั้นจะเจริญเติบโตได้ดีในระดับความหนาแน่นที่แตกต่างกันดังแสดงในตารางที่

ตารางที่ 5.1 ระดับความหนาแน่นที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของสาหร่ายแต่ละชนิด

ชนิดของสาหร่าย	ระดับความหนาแน่นที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโต	อ้างอิง
<i>Porphyra dioica</i>	0.1 g fw l ⁻¹	Pereira <i>et al.</i> (2006)
<i>Eucheuma denticulatum</i> และ <i>Kappaphycus alvarezii</i>	50 g cuttings of seaweed 4 m ⁻¹ of long nylon ropes	Msuya (2013)
<i>Chondrus crispus</i>	2 kg fw m ⁻²	Kim <i>et al.</i> (2013)

การเจริญเติบโตของสาหร่ายยังขึ้นอยู่กับปัจจัยอื่นๆ ทางสิ่งแวดล้อม ได้แก่ แสง อุณหภูมิ ความเป็นกรดเป็นด่างของน้ำ และสารอาหาร (จันทร์แก้ว อุทุมภา, 2554) อย่างไรก็ตามในการดำเนินงานทดลองครั้งนี้อยู่ระหว่างเดือนมกราคมถึงกุมภาพันธ์ซึ่งเป็นช่วงฤดูกาลที่มีสาหร่ายเตาปรากฏในแหล่งน้ำธรรมชาติแสดงถึงปัจจัยทางสิ่งแวดล้อมที่มีความเหมาะสมต่อการเจริญเติบโต และในระหว่างวันของการทดลอง (8.00 – 14.00 น.) อุณหภูมิของน้ำเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 20.58±0.55 – 30.46±1.00°C ความเป็นกรดเป็นด่างของน้ำเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 8.87±0.30 – 8.90±0.18 ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 4.73±0.22 – 6.11±0.64 mg l⁻¹ ปริมาณแสงเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 3,006 – 18,188 ลักซ์ และปริมาณสารอาหารแอมโมเนียที่ละลายในน้ำเฉลี่ยเท่ากับ 0.51±0.15 mg l⁻¹ ซึ่งมีความเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของสาหร่ายเตา

5.3 ข้อเสนอแนะ

การศึกษาข้อมูลพื้นฐานเกี่ยวกับการเจริญเติบโตสาหร่ายเตาควรศึกษาเพิ่มเติมหรือมีการวางแผนทำการทดลองในสภาพธรรมชาติร่วมด้วยเพื่อให้ทราบถึงปัจจัยทางสิ่งแวดล้อมอื่นๆที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของสาหร่ายเตา

บรรณานุกรม

- จันทร์แก้ว อุทุมภา. 2554. การเปรียบเทียบผลผลิตที่ได้จากการเพาะเลี้ยงเต้าน้ำ *Spirogyra* sp. ใน
ถังพลาสติกที่ใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 10:25:20 ในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน. การศึกษาอิสระวิทยา
ศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการสอนวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย.
- ณัฐรินทร์ ศิริรัตนันท์ และพิพัฒน์ ชนาเทพาพร. 2558. ปริมาณสารอาหารในน้ำ และการ
เจริญเติบโตของสาหร่ายเตาในแหล่งน้ำจังหวัดเพชรบูรณ์. วารสารวิจัย และส่งเสริมวิชาการ
เกษตร 32 (1) : 58 – 66.
- นวรรตน์ เหล่าขวลิตกุล. 2554. สาหร่ายที่รับประทานได้ [ออนไลน์]. ที่มา : [http://www.tistr.or.th/t/
publication/page_area_show_bc.asp?i1=64&i2=44](http://www.tistr.or.th/t/publication/page_area_show_bc.asp?i1=64&i2=44).
- พรรณพิมล สุริยะพรหมชัย. 2556. เตา...สาหร่ายน้ำจืดสารพัดประโยชน์. หนังสือพิมพ์กสิกร
(วารสาร). พฤศจิกายน-ธันวาคม, 86(6) : 62-69.
- พวงเพ็ญ อินตาพรหม. 2544. ภูมิปัญญาท้องถิ่นด้านการเกษตรจังหวัดแพร่.แพร่: โรงเรียนนาริรัตน์
จังหวัดแพร่.
- ยุวดี พิรพรพิศาล. ม.ป.ป. ศักยภาพของสาหร่ายน้ำจืดขนาดใหญ่. วารสารนานาชาติ. 8(2) : 20-
21.
- _____. 2549. สาหร่ายวิทยา. พิมพ์ครั้งที่ 2. เชียงใหม่ : ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 546 หน้า.
- _____. 2551. บทความปริทรรศน์ : งานวิจัยสาหร่ายน้ำจืดที่กินได้ในภาคเหนือของประเทศไทย. วารสารวิจัยเทคโนโลยีการประมง. 2(1) : 178-189.
- สุพล ต้นสุวรรณ มณฑกานติ ท้ามดิน และสันติภาพ แซ่เฮ้า. ม.ป.ป. สาหร่ายพวงองุ่น “Green
Caviar” [ออนไลน์]. ที่มา : [http://www.fisheries.go.th/cf-coastal_feed/images/stories/pdf/
%E0%B8%81%E0%B8%B2%E0%B8%A3%E0%B9%80%E0%B8%9E%E0%B8%B2%E0%B8%B0%E0%B9%80%E0%B8%A5%E0%B8%B5%E0%B9%89%E0%B8%A2%E0%B8%87%E0%B8%AA%E0%B8%B2%E0%B8%AB%E0%B8%A3%E0%B9%88%E0
%B8%B2%E0%B8%A2%E0%B8%9E%E0%B8%A7%E0%B8%87%E0%B8%AD%E0](http://www.fisheries.go.th/cf-coastal_feed/images/stories/pdf/%E0%B8%81%E0%B8%B2%E0%B8%A3%E0%B9%80%E0%B8%9E%E0%B8%B2%E0%B8%B0%E0%B9%80%E0%B8%A5%E0%B8%B5%E0%B9%89%E0%B8%A2%E0%B8%87%E0%B8%AA%E0%B8%B2%E0%B8%AB%E0%B8%A3%E0%B9%88%E0%B8%B2%E0%B8%A2%E0%B8%9E%E0%B8%A7%E0%B8%87%E0%B8%AD%E0)

%B8%87%E0%B8%B8%E0%B9%88%E0%B8%99%E0%B9%80%E0%B8%8A%E0%B8%B4%E0%B8%87%E0%B8%9E%E0%B8%B2%E0%B8%93%E0%B8%B4%E0%B8%8A%E0%B8%A2%E0%B9%8C.pdf

- Hainz, R., Wöber, C. and Schagerl, M. 2009. The relationship between *Spirogyra* (Zygnematophyceae, Streptophyta) filament type groups and environmental condition in central Europe. **Aquatic Botany** 91 (3) : 173 – 180.
- Kim, J.K., Duston, J., Corey, P. and Garbary, D.J. 2013. Marine finfish effluent bioremediation: Effects of stocking density and temperature on nitrogen removal capacity of *Chondrus crispus* and *Palmaria palmate* (Rhodophyta). **Aquaculture** 414 – 415: 210 – 216.
- McKernan, P. and Juliano, S. 2001. Effects of nutrient enrichment on the growth of the green alga *Spirogyra* in Conesus lake, N.Y. **SUNY Geneseo Journal of Science and Mathematics** 2(1) : 19-25.
- Msuya, F.E. 2013. Effects of stocking density and additional nutrients on growth of the commercially farmed seaweeds *Eucheuma denticulatum* and *Kappaphycus alvarezii* in Zanzibar Tanzania. **Tanzania Journal of Natural & Applied Sciences** 4 (1): 605 – 612.
- Parmentier, J. 1999. *Spirogyra* [Online]. Available : <http://www.microscopy-uk.org.uk/mag/indexmag.html?http://www.microscopy-uk.org.uk/mag/artjan99/gyra.html>
- Pereira, R., Yarish, C. and Sousa-Pinto, I. 2006. The influence of stocking density, light and temperature on the growth, production and nutrient removal capacity of *Porphyra dioica* (Bangiales, Rhodophyta). **Aquaculture**. 252 : 66-78.
- Sandhyarani, N. 2011. **Type of algae** [Online]. Available : <http://www.buzzle.com/articles/types-of-algae.html>.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

การคำนวณข้อมูลทางสถิติในแต่ละสัปดาห์ของการทดลอง

ตารางที่ ก-1 การคำนวณข้อมูลทางสถิติในสัปดาห์ที่ 1 ของการทดลอง

Descriptives									
		N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
						Lower Bound	Upper Bound		
น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น	ชุดการทดลองที่ 1	3	.0000	.00000	.00000	.0000	.0000	.00	.00
	ชุดการทดลองที่ 2	2	7.0900	.21213	.15000	5.1841	8.9959	6.94	7.24
	ชุดการทดลองที่ 3	3	4.1367	1.74787	1.00913	-.2053	8.4786	2.75	6.10
	ชุดการทดลองที่ 4	3	-.2500	1.80208	1.04043	-4.7266	4.2266	-2.10	1.50
	ชุดการทดลองที่ 5	3	-4.3233	4.06426	2.34650	-14.4195	5.7729	-8.22	-.11
	Total	14	.9193	4.31445	1.15309	-1.5718	3.4104	-8.22	7.24
อัตราการเจริญเติบโต	ชุดการทดลองที่ 1	3	.0000	.00000	.00000	.0000	.0000	.00	.00
	ชุดการทดลองที่ 2	2	1.0129	.03030	.02143	.7406	1.2851	.99	1.03
	ชุดการทดลองที่ 3	3	.5910	.24970	.14416	-.0293	1.2112	.39	.87
	ชุดการทดลองที่ 4	3	-.0357	.25744	.14863	-.6752	.6038	-.30	.21
	ชุดการทดลองที่ 5	3	-.6176	.58061	.33521	-2.0599	.8247	-1.17	-.02
	Total	14	.1313	.61635	.16473	-.2245	.4872	-1.17	1.03

ตารางที่ ก-1 (ต่อ)

ANOVA

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น	Between Groups	196.302	4	49.076	9.668	.003
	Within Groups	45.687	9	5.076		
	Total	241.989	13			
อัตราการเจริญเติบโต	Between Groups	4.006	4	1.002	9.668	.003
	Within Groups	.932	9	.104		
	Total	4.939	13			

น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น

Duncan^{a,b}

ชุดการทดลอง	N	Subset for alpha = 0.05		
		1	2	3
ชุดการทดลองที่ 5	3	-4.3233		
ชุดการทดลองที่ 4	3	-.2500	-.2500	
ชุดการทดลองที่ 1	3	.0000	.0000	
ชุดการทดลองที่ 3	3		4.1367	4.1367
ชุดการทดลองที่ 2	2			7.0900
Sig.		.060	.057	.160

อัตราการเจริญเติบโต

Duncan^{a,b}

ชุดการทดลอง	N	Subset for alpha = 0.05		
		1	2	3
ชุดการทดลองที่ 5	3	-.6176		
ชุดการทดลองที่ 4	3	-.0357	-.0357	
ชุดการทดลองที่ 1	3	.0000	.0000	
ชุดการทดลองที่ 3	3		.5910	.5910
ชุดการทดลองที่ 2	2			1.0129
Sig.		.060	.057	.160

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 2.727.

b. The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.

ตารางที่ ก-2 การคำนวณข้อมูลทางสถิติในสัปดาห์ที่ 2 ของการทดลอง

Descriptives									
		N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
						Lower Bound	Upper Bound		
น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น	ชุดการทดลองที่ 1	3	.0000	.00000	.00000	.0000	.0000	.00	.00
	ชุดการทดลองที่ 2	3	.1600	1.04590	.60385	-2.4382	2.7582	-.91	1.18
	ชุดการทดลองที่ 3	3	-3.0333	3.05425	1.76337	-10.6205	4.5538	-6.56	-1.25
	ชุดการทดลองที่ 4	3	-11.1700	2.08612	1.20442	-16.3522	-5.9878	-13.47	-9.40
	ชุดการทดลองที่ 5	3	-10.7700	9.74246	5.62481	-34.9716	13.4316	-18.63	.13
	Total	15	-4.9627	6.54612	1.69020	-8.5878	-1.3375	-18.63	1.18
อัตราการเจริญเติบโต	ชุดการทดลองที่ 1	3	.0000	.00000	.00000	.0000	.0000	.00	.00
	ชุดการทดลองที่ 2	3	.3771	.18299	.10565	-.0774	.8317	.17	.51
	ชุดการทดลองที่ 3	3	.0788	.10136	.05852	-.1730	.3306	-.03	.17
	ชุดการทดลองที่ 4	3	-.8157	.11890	.06865	-1.1111	-.5203	-.91	-.68
	ชุดการทดลองที่ 5	3	-1.0781	.98185	.56687	-3.5171	1.3610	-1.92	.00
	Total	15	-.2876	.69343	.17904	-.6716	.0964	-1.92	.51

ตารางที่ ก-2 (ต่อ)

ANOVA

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น	Between Groups	380.545	4	95.136	4.337	.027
	Within Groups	219.380	10	21.938		
	Total	599.924	14			
อัตราการเจริญเติบโต	Between Groups	4.688	4	1.172	5.734	.012
	Within Groups	2.044	10	.204		
	Total	6.732	14			

น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น

Duncan^a

ชุดการทดลอง	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	2
ชุดการทดลองที่ 4	3	-11.1700	
ชุดการทดลองที่ 5	3	-10.7700	
ชุดการทดลองที่ 3	3	-3.0333	-3.0333
ชุดการทดลองที่ 1	3		.0000
ชุดการทดลองที่ 2	3		.1600
Sig.		.069	.444

อัตราการเจริญเติบโต

Duncan^a

ชุดการทดลอง	N	Subset for alpha = 0.05		
		1	2	3
ชุดการทดลองที่ 5	3	-1.0781		
ชุดการทดลองที่ 4	3	-.8157	-.8157	
ชุดการทดลองที่ 1	3		.0000	.0000
ชุดการทดลองที่ 3	3			.0788
ชุดการทดลองที่ 2	3			.3771
Sig.		.493	.052	.352

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

ตารางที่ ก-3 การคำนวณข้อมูลทางสถิติในสัปดาห์ที่ 3 ของการทดลอง

Descriptives									
		N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
						Lower Bound	Upper Bound		
น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น	ชุดการทดลองที่ 1	3	.0000	.00000	.00000	.0000	.0000	.00	.00
	ชุดการทดลองที่ 2	3	-1.1267	.76631	.44243	-3.0303	.7770	-2.01	-.64
	ชุดการทดลองที่ 3	3	-5.9500	1.47713	.85282	-9.6194	-2.2806	-7.20	-4.32
	ชุดการทดลองที่ 4	3	-7.1967	1.90222	1.09825	-11.9220	-2.4713	-8.54	-5.02
	ชุดการทดลองที่ 5	3	-7.8567	10.97805	6.33818	-35.1277	19.4143	-19.45	2.38
	Total	15	-4.4260	5.41520	1.39820	-7.4248	-1.4272	-19.45	2.38
อัตราการเจริญเติบโต	ชุดการทดลองที่ 1	3	.0000	.00000	.00000	.0000	.0000	.00	.00
	ชุดการทดลองที่ 2	3	.1725	.20186	.11655	-.3290	.6739	-.06	.31
	ชุดการทดลองที่ 3	3	-.2308	.00279	.00161	-.2377	-.2239	-.23	-.23
	ชุดการทดลองที่ 4	3	-.8865	.09258	.05345	-1.1165	-.6565	-.99	-.81
	ชุดการทดลองที่ 5	3	-1.0929	.43629	.25189	-2.1767	-.0091	-1.59	-.77
	Total	15	-.4075	.54627	.14105	-.7101	-.1050	-1.59	.31

ตารางที่ ก-3 (ต่อ)

ANOVA

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น	Between Groups	156.731	4	39.183	1.544	.263
	Within Groups	253.810	10	25.381		
	Total	410.542	14			
อัตราการเจริญเติบโต	Between Groups	3.698	4	.925	19.289	.000
	Within Groups	.479	10	.048		
	Total	4.178	14			

น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น

Duncan^a

ชุดการทดลอง	N	Subset for alpha = 0.05
		1
ชุดการทดลองที่ 5	3	-7.8567
ชุดการทดลองที่ 4	3	-7.1967
ชุดการทดลองที่ 3	3	-5.9500
ชุดการทดลองที่ 2	3	-1.1267
ชุดการทดลองที่ 1	3	.0000
Sig.		.110

อัตราการเจริญเติบโต

Duncan^a

ชุดการทดลอง	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	2
ชุดการทดลองที่ 5	3	-1.0929	
ชุดการทดลองที่ 4	3	-.8865	
ชุดการทดลองที่ 3	3		-.2308
ชุดการทดลองที่ 1	3		.0000
ชุดการทดลองที่ 2	3		.1725
Sig.		.275	.056

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

ภาคผนวก ข

การคำนวณทางสถิติของค่าเฉลี่ยข้อมูลเมื่อสิ้นสุดการทดลอง

ตารางที่ ข-1 การคำนวณทางสถิติของค่าเฉลี่ยข้อมูลเมื่อสิ้นสุดการทดลอง

Descriptives									
	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum	
					Lower Bound	Upper Bound			
น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น	ชุดการทดลองที่1	9	.0000	.00000	.00000	.00000	.00	.00	
	ชุดการทดลองที่2	8	1.4100	3.62380	1.28121	-1.6196	4.4396	-2.01	7.24
	ชุดการทดลองที่3	9	-1.6156	4.88349	1.62783	-5.3693	2.1382	-7.20	6.10
	ชุดการทดลองที่4	9	-6.2056	5.07107	1.69036	-10.1035	-2.3076	-13.47	1.50
	ชุดการทดลองที่5	9	-7.6500	8.11198	2.70399	-13.8854	-1.4146	-19.45	2.38
	Total	44	-2.9082	6.01436	.90670	-4.7367	-1.0796	-19.45	7.24
อัตราการเจริญเติบโต	ชุดการทดลองที่1	9	.0000	.00000	.00000	.00000	.00	.00	
	ชุดการทดลองที่2	8	.4593	.38346	.13558	.1387	.7799	-.06	1.03
	ชุดการทดลองที่3	9	.1463	.38384	.12795	-.1487	.4414	-.23	.87
	ชุดการทดลองที่4	9	-.5793	.43521	.14507	-.9138	-.2448	-.99	.21
	ชุดการทดลองที่5	9	-.9295	.65394	.21798	-1.4322	-.4269	-1.92	.00
	Total	44	-.1952	.64960	.09793	-.3927	.0023	-1.92	1.03

ตารางที่ ข-1 (ต่อ)

ANOVA

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น	Between Groups	540.547	4	135.137	5.193	.002
	Within Groups	1014.871	39	26.022		
	Total	1555.418	43			
อัตราการเจริญเติบโต	Between Groups	11.001	4	2.750	15.013	.000
	Within Groups	7.144	39	.183		
	Total	18.145	43			

น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น

Duncan^{a,b}

ชุดการทดลอง	N	Subset for alpha = 0.05		
		1	2	3
ชุดการทดลองที่5	9	-7.6500		
ชุดการทดลองที่4	9	-6.2056	-6.2056	
ชุดการทดลองที่3	9		-1.6156	-1.6156
ชุดการทดลองที่1	9			.0000
ชุดการทดลองที่2	8			1.4100
Sig.		.556	.067	.249

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 8.780.

b. The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.

ตารางที่ ข-1 (ต่อ)

อัตราการใช้ยาเสพติด

Duncan^{a,b}

ชุดการทดลอง	N	Subset for alpha = 0.05		
		1	2	3
ชุดการทดลองที่5	9	-.9295		
ชุดการทดลองที่4	9	-.5793		
ชุดการทดลองที่1	9		.0000	
ชุดการทดลองที่3	9		.1463	.1463
ชุดการทดลองที่2	8			.4593
Sig.		.094	.478	.134

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 8.780.

b. The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.

ภาคผนวก ค
รูปการทดลอง



รูปที่ ค-1 การทดลองเลี้ยงสาหร่ายเตาในระดับความหนาแน่นที่แตกต่างกัน



รูปที่ ค-2 การเก็บสาหร่ายตัวอย่างเพื่อการชั่งน้ำหนักสด



รูปที่ ค-3 การเก็บสาหร่ายตัวอย่างเพื่อการอบแห้ง



ค-4 สารละลายมาตรฐานเพื่อการวิเคราะห์ปริมาณแอมโมเนียที่ละลายในน้ำ



ค-5 น้ำตัวอย่างจากการทดลองที่วิเคราะห์ปริมาณแอมโมเนียที่ละลายในน้ำ

ประวัติผู้วิจัย

1. ชื่อ – สกุล นางสาวณัฐรินทร์ ศิริรัตนันท์
Miss Nuttarin Sirirustananun
2. หมายเลขบัตรประจำตัวประชาชน 5 6701 00015 35 8
3. ตำแหน่งปัจจุบัน อาจารย์
4. ตำแหน่งทางวิชาการ -
5. หน่วยงานและสถานที่อยู่ติดต่อได้สะดวก
สาขาวิชาการจัดการการเกษตร คณะเทคโนโลยีการเกษตร
มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ อ.เมือง จ.เพชรบูรณ์ 67000
โทรศัพท์ 056-717151 ต่อ 3917, 095-6399090
e-mail: snuttarin@gmail.com
6. ประวัติการศึกษา
วท.บ. การประมง
มหาวิทยาลัยนเรศวร วิทยาเขตสารสนเทศพะเยา
วท.ม. วิทยาศาสตร์การประมง
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
7. สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ
-
8. ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัย
Genmanee, M., Sirirustananun, N. and Jarayabhand. 2010. Energy budget of the Thai abalone *Haliotis asinina* reared in a semiclosed recirculating land-based system. **Journal of Shellfish Research**. 29 (3) : 637-642.
Sirirustananun, N., Chen, J.-C., Lin, Y.-C., Yeh, S.-T., Liou, C.-H., Chen, L.-L., Sim, S.S. and Chiew, S.L. 2011. Dietary administration of a *Gracilaria tenuistipitata* extract enhances the immune response and resistance against *Vibrio alginolyticus* and white

spot syndrome virus in the white shrimp *Litopenaeus vannamei*. **Fish&Shellfish Immunology**. 31 : 848-855.

ณัฐรินทร์ ศิริรัตนันท์ ชีรภาพ หมู่เจริญทรัพย์ และเกรียงยศ ไทยช้อย. 2555. ความหลากหลายชนิดของปลาในอ่างเก็บน้ำห้วยป่าแดง ต.สะเดียง อ.เมือง จ.เพชรบูรณ์ ระหว่างเดือนมิถุนายน 2555 ถึง กันยายน 2555. รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์ สาขาวิชาการจัดการการเกษตร คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์. ทูลสนับสนุนจากมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ ประเภททั่วไป ประจำปีงบประมาณ 2555. 46 หน้า.

ณัฐรินทร์ ศิริรัตนันท์. 2556. **สัดส่วนที่เหมาะสมของการใช้แทนสัตว์ร่วมกับอาหารเม็ดสำเร็จรูปในการเลี้ยงลูกปลานิล**. รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์ สาขาวิชาการจัดการการเกษตร คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์. ทูลสนับสนุนจากมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ ประเภทนักวิจัยหน้าใหม่ ประจำปีงบประมาณ 2556. 40 หน้า.

พิพัฒน์ ชนาเทพาพร และณัฐรินทร์ ศิริรัตนันท์. 2557. **ความแปรปรวนของปัจจัยทางสิ่งแวดล้อมที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของสาหร่ายเตา และสาหร่ายลอนในแหล่งน้ำธรรมชาติของจังหวัดเพชรบูรณ์**. รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์ คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์. ทูลสนับสนุนจากมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ ประเภทงบประมาณแผ่นดิน ประจำปีงบประมาณ 2556. 49 หน้า.

ณัฐรินทร์ ศิริรัตนันท์ และพิพัฒน์ ชนาเทพาพร. 2558. ปริมาณสารอาหารในน้ำ และการเจริญเติบโตของสาหร่ายเตาในแหล่งน้ำจังหวัดเพชรบูรณ์. **วารสารวิจัย และส่งเสริมวิชาการเกษตร**. 32(1) : 58 – 66.