การเพาะเลี้ยงสไปรูไลนาในอาหารอินทรีย์

Cultivation of *Spirulina platensis* (Gomont) Geitler in Organic Media

สุวรรณี ไทยอุดมทรัพย์

Suwannee Thaiudomsub

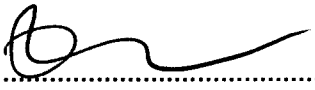
วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา
วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวาริชศาสตร์
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for
the Degree of Master of Science in Aquatic Science
Prince of Songkla University
2553

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ชื่อวิทยานิพนธ์ การเพาะเลี้ยงสไปรูไลนาในอาหารอินทรีย์
ผู้เขียน นางสาวสุวรรณี ไทยอุดมทรัพย์
สาขาวิชา วาริชศาสตร์

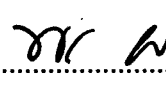
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก



.....

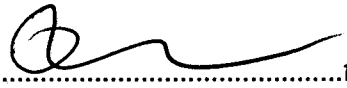
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ดวงรัตน์ มีแก้ว)

คณะกรรมการสอบ



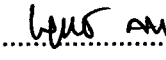
.....ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.พรศิลป์ ผลพันธิน)



.....กรรมการ

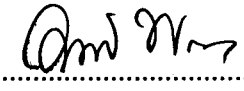
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ดวงรัตน์ มีแก้ว)



.....กรรมการ

(ดร.พุทธ ส่องแสงจินดา)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวาริชศาสตร์



.....

(ศาสตราจารย์ ดร.อมรรัตน์ พงศ์ดารา)
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ชื่อวิทยานิพนธ์ การเพาะเลี้ยงสไปรูไลนาในอาหารอินทรีย์
ผู้เขียน นางสาวสุวรรณี ไทยอุดมทรัพย์
สาขาวิชา วาริชศาสตร์
ปีการศึกษา 2552

บทคัดย่อ

การใช้อาหารสูตร Zarrouk ปกติ สูตรดัดแปลง และน้ำหมักปลากด ปลาทู มะละกอ ย่าหยา กระถิน และผักโขม (วัสดุ: น้ำ: น้ำตาล 1: 1: 0.1, wt: v: wt) ความเข้มข้น 0.1 และ 0.3% (v/v) เพาะเลี้ยงสไปรูไลนา (*Spirulina platensis*) ความหนาแน่นเริ่มต้น 0.5 (OD, 560_{nm}) ใน 4 การทดลอง ในสภาวะกึ่งธรรมชาติ ได้รับแสงธรรมชาติระหว่างเวลา 07.00-17.30 น. ความเป็นกรด-ด่างเมื่อเริ่มต้น 8.5 และให้อากาศตลอดเวลา ตรวจวัดความหนาแน่น น้ำหนักแห้ง ความเป็นกรด-ด่าง อุณหภูมิ และความเข้มแสงทุกวัน ตรวจวัดไนเตรท ไนไตรท์ แอมโมเนีย และฟอสเฟตทุกสองวัน

สไปรูไลนาในทุกการทดลองเจริญได้แตกต่างกันทางสถิติ ($p<0.01$) สไปรูไลนาที่เพาะเลี้ยงในอาหารทุกชนิดที่มีสารเคมีเป็นองค์ประกอบเจริญเติบโตได้ดีกว่า และเจริญในระยะเวลายาวนานกว่าเมื่อใช้อาหารที่มีเฉพาะน้ำหมักอย่างมีนัยสำคัญ ในน้ำหมักมีปริมาณสารอาหารทุกชนิดต่ำกว่าในอาหารเคมีอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p<0.01$) สไปรูไลนาเจริญในน้ำหมักต่างชนิด และต่างความเข้มข้นได้ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) การเติมน้ำหมักชนิดและความเข้มข้นเดิมอีก 1 ครั้งเมื่อเพาะเลี้ยงในที่มีน้ำหมักปลาทูและน้ำหมักกระถิน 0.1% ทำให้สไปรูไลนาเจริญเติบโตได้มากกว่า และได้ระยะยาวนานกว่าเมื่อไม่เติมน้ำหมักอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p<0.01$) สไปรูไลนาเจริญในน้ำหมักผสมระหว่าปลาทูและกระถินได้ต่ำกว่าน้ำหมักเดี่ยว และเจริญได้ลดลงในน้ำหมักผสมที่มีน้ำหมักกระถินปริมาณเพิ่มมากขึ้น ($p<0.01$) การผสมน้ำหมักปลาทู 0.1% ลงในอาหารเคมีทำให้สไปรูไลนาเจริญได้ดีขึ้นอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p<0.01$) ความหนาแน่น น้ำหนักแห้ง และปริมาณแคโรทีนอยด์ในสไปรูไลนาขึ้นอยู่กับชนิดและปริมาณสารเคมีที่มีในอาหารเป็นหลัก องค์ประกอบทางโภชนาการ ปริมาณคลอโรฟิลล์ และไฟโคไซยานินขึ้นอยู่กับชนิดและปริมาณสารเคมีในอาหาร และน้ำหมักที่เป็นส่วนผสม สไปรูไลนาที่เพาะเลี้ยงในอาหาร Zarrouk ดัดแปลง 25 และ 50% ผสมน้ำหมักปลาทู 0.1% มีปริมาณโปรตีนสูงกว่าเมื่อใช้อาหาร Zarrouk สูตรปรกติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p<0.01$)

Thesis Title	Cultivation of *Spirulina platensis* (Gomont) Geitler in Organic Media
Author	Miss Suwannee Thaiudomsub
Major Program	Aquatic Science
Academic Year	2010

ABSTRACT

Four serial experiments in cultivation of *Spirulina platensis* were conducted. *S. platensis* at the initial density of 0.5 (OD, 560_{nm}), was cultured in normal and modified Zarrouk's media, compared to 0.1 and 0.3% (v/v) of organic media from an-aerobically-decomposed *Osteogeneiosus militarias, Rastrelliger brachysoma, Asystasia gangetica, Carica papaya, Leucaena leucocephalade* and *Amaranthus lividus* (material:water: sugar 1: 1: 0.1, wt:v:wt). Four replications were taken in every treatment. Cultures were monitored under fully-aerated and semi-naturally condition, getting light during 7.00am - 7.30pm and with initial pH of 8.5. Algal density, dried weight, light intensity, temperature and pH were daily determined, while nitrate, nitrite, ammonia, and phosphate amounts were done every two days.

Highly statistical differences ($p<0.01$) were indicated among all indicators relating to *S. platensis* growth. Significantly higher densities, dry weights and durations of culture were exhibited between treatments comprising chemicals, than those in organic media in every experiment ($p<0.01$). All organic media contained highly significantly lower amounts of all nutrients than those with chemical constituents ($p<0.01$). No significantly different was detected among *S. platensis* cultured in all organic media from different materials and concentrations ($p>0.05$). Adding other fresh solution of the same supply and concentration of organic media from: *R. brachysoma* and *L. leucocephalade,* each of 0.1%, led to significantly higher cell densities and longer culture duration than those without addition ($p<0.01$). Less densities of *Spirulina* were obtained from culture in mixture of organic media than any single one. The more, the organic media mixture getting from plant were, the worst, the *S. platensis* growth were ($p<0.01$). Contribution of the 0.1% *R. brachysoma* in every chemical medium provoked the higher *S. platensis* growth highly statistically ($p<0.01$). Densities, dried weights and

carotene content of *S. platensis* depended on the numbers and amounts of chemical composition in media, while, the nutritional facts, chlorophyll, as well as the phycocyanin contents relied not only on these same fractions, but also on the available organic components in media. Cultured in the 25% and 50% of modified Zarrouk media showed remarkably higher protein content than those in the Zarrouk medium ($p<0.01$).

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(7)
รายการตาราง	(10)
รายการภาพ	(13)
บทที่	
1. บทนำ	1
1.1 บทนำต้นเรื่อง	1
1.2 การตรวจเอกสาร	2
1.2.1 ชีววิทยาและการแพร่กระจาย	3
1.2.2 การสืบพันธุ์	4
1.2.3 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเจริญเติบโตของสไปรูไลนา	4
1.2.4 การเกษตรระบบอินทรีย์	8
1.3 วัตถุประสงค์	13
2. วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ	14
2.1 วัสดุและอุปกรณ์	14
2.1.1 การหมักวัสดุ	14
2.1.2 การเพาะเลี้ยงสไปรูไลนา	14
2.1.3 การตรวจคุณภาพน้ำ	15
2.1.4 การตรวจวัดการเจริญเติบโตของสาหร่าย	15
2.1.5 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของสไปรูไลนา	15
2.2 การเตรียมการทดลอง	16
2.2.1 การเตรียมอาหารทดลอง	16
2.2.2 การเตรียมพันธุ์สไปรูไลนา	19
2.3 การดำเนินการวิจัย	19
2.3.1 การวางแผนการทดลอง และการวิเคราะห์ผล	19
2.3.2 อาหารทดลอง	19

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3. การทดลองเบื้องต้น	20
3.1 บทนำ	20
3.2 วัตถุประสงค์	20
3.3 วิธีดำเนินการ	20
3.4 ผลการทดลอง	21
3.5 วิจารณ์	24
3.6 สรุป	26
4. การทดลองที่ 1	27
4.1 บทนำ	27
4.2 วัตถุประสงค์	27
4.3 วิธีดำเนินการ	27
4.4 ผลการทดลอง	28
4.5 วิจารณ์	37
4.6 สรุป	40
5. การทดลองที่ 2	41
5.1 บทนำ	41
5.2 วัตถุประสงค์	41
5.3 วิธีดำเนินการ	41
5.4 ผลการทดลอง	42
5.5 วิจารณ์	52
5.6 สรุป	54
6. การทดลองที่ 3	55
6.1 บทนำ	55
6.2 วัตถุประสงค์	55
6.3 วิธีดำเนินการ	55
6.4 ผลการทดลอง	56
6.5 วิจารณ์	64
6.6 สรุป	67

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
7. การทดลองที่ 4	68
7.1 บทนำ	68
7.2 วัตถุประสงค์	68
7.3 วิธีดำเนินการ	69
7.4 ผลการทดลอง	70
7.5 วิจารณ์	88
7.6 สรุป	100
8. สรุปผลการทดลอง	102
เอกสารอ้างอิง	105
ภาคผนวก	119
ประวัติผู้เขียน	133

รายการตาราง

ตารางที่		หน้า
1.	สูตรอาหารจากมูลสัตว์ และปุ๋ยหมัก	10
2.	การเพาะเลี้ยงสไปรูไลนาโดยใช้สารอินทรีย์น้ำทิ้งจากการเกษตรและอุตสาหกรรมต่างๆ	12
3.	ส่วนประกอบของวัสดุและน้ำหมัก 100%	18
4.	ความหนาแน่นสูงที่สุด (ODmax, mean±SD, OD, 560_{nm}) และระยะเวลาที่ใช้ในการเจริญ (Dmax, mean±SD, วัน) ของสไปรูไลนาที่เพาะเลี้ยงในอาหาร Zarrouk สูตรดัดแปลง 50% และน้ำหมัก 4 ชนิด ความเข้มข้น 0.1, 0.5, 1.0 และ 2.0%	24
5.	ความหนาแน่นสูงที่สุด (ODmax, mean±SD, OD, 560_{nm}) น้ำหนักแห้ง (DW, mean±SD, g/l) ของสไปรูไลนา และจำระยะเวลาที่ใช้ในการเจริญ (Dmax, mean±SD, วัน) เมื่อเพาะเลี้ยงในน้ำหมักปลากด ปลาทู มะละกอ ย่าหยา กระถิน และผักโขม ความเข้มข้น 0.1 และ 0.3% (v/v) อาหารสูตร Zarrouk ปกติ และสูตรดัดแปลง	30
6.	การเจริญของสไปรูไลนา (mean±SD, OD, 560_{nm}) ที่เพาะเลี้ยงในน้ำหมักปลากด ปลาทู มะละกอ ย่าหยา กระถิน และผักโขม ความเข้มข้น 0.1 และ 0.3% (v/v) อาหารสูตร Zarrouk ปกติ และสูตรดัดแปลง	32
7.	ปริมาณไนเตรท ไนไตรท์ แอมโมเนีย และฟอสเฟต (mean±SD, mg/l) ในน้ำเพาะเลี้ยงสไปรูไลนาในน้ำหมักปลากด ปลาทู มะละกอ ย่าหยา กระถิน และผักโขม ความเข้มข้น 0.1 และ 0.3% (v/v) อาหารสูตร Zarrouk ปกติ และสูตรดัดแปลง เมื่อเริ่มต้นการทดลอง (i) วันที่สไปรูไลนามีความหนาแน่นสูงสุด (l) และปริมาณที่เปลี่ยนแปลงไป (c)	36
8.	ความหนาแน่นสูงที่สุด (ODmax, mean±SD, OD, 560_{nm}) น้ำหนักแห้ง (g/l) ของ สไปรูไลนาและจำนวนวันที่เพาะเลี้ยง (Dmax, mean±SD, วัน) ในอาหารสูตร Zarrouk ปกติ สูตรดัดแปลง น้ำหมักปลาทู และกระถิน 0.1% ที่ไม่เติม/เติมอาหารอีกครั้งใน 3 ช่วงเวลา	47
9.	การเจริญของสไปรูไลนา (mean±SD, OD, 560_{nm}) ที่เพาะเลี้ยงในอาหารสูตร Zarrouk ปกติ สูตรดัดแปลง น้ำหมักจากปลาทู และกระถิน 0.1% ที่ไม่เติม/เติมอาหารอีกครั้งใน 3 ช่วงเวลา	49

รายการตาราง (ต่อ)

ตารางที่ **หน้า**

10. ปริมาณไนเตรท ไนไตรท์ แอมโมเนีย และฟอสเฟต (mean±SD, mg/l) ในระหว่างการเพาะเลี้ยงสไปรูไลนาในอาหารสูตร Zarrouk ปกติ สูตรดัดแปลง น้ำหมักจากปลาทู และกระถิน 0.1% ที่ไม่เติม/เติมอาหารอีกครั้งใน 3 ช่วงเวลา เมื่อเริ่มต้นการทดลอง (i) และวันที่สไปรูไลนามีความหนาแน่นสูงที่สุด 50
11. การเจริญของสไปรูไลนา (mean±SD, OD, 560nm) ที่เพาะเลี้ยงในอาหาร อินทรีย์เดี่ยวและผสม Zarrouk ปกติ และสูตรดัดแปลง 59
12. ความหนาแน่นสูงที่สุด (ODmax, mean±SD, OD, 560nm) น้ำหนักแห้ง (g/l) และระยะเวลาที่ใช้ในการเจริญ (Dmax, mean±SD, วัน) ของสไปรูไลนาที่ เพาะเลี้ยงในอาหารอินทรีย์เดี่ยว และผสม Zarrouk สูตรปกติ และสูตรดัดแปลง 60
13. ปริมาณไนเตรท ไนไตรท์ แอมโมเนีย และฟอสเฟต (mean±SD, mg/l) เมื่อ เพาะเลี้ยงสไปรูไลนาในน้ำหมักปลาทู น้ำหมักกระถิน และที่ผสมกับ Zarrouk สูตรดัดแปลง และในอาหาร Zarrouk สูตรปกติ เมื่อเริ่มต้นการทดลอง (i) ในวันที่สไปรูไลนาเจริญหนาแน่นสูงที่สุด (l) และปริมาณที่เปลี่ยนแปลงไป (c) 65
14. ความหนาแน่นเฉลี่ยของสไปรูไลนา (mean±SD, OD, 560_{nm}) ที่เพาะเลี้ยง ในน้ำหมักเดี่ยว และผสม อาหาร Zarrouk สูตรปกติ อาหาร Zarrouk สูตรดัดแปลง และอาหารอย่างง่ายที่ผสมด้วยน้ำหมักอินทรีย์ 72
15. ความหนาแน่นเฉลี่ยสูงที่สุด (ODmax, mean±SD, OD, 560_{nm}) น้ำหนักแห้ง เฉลี่ย (g/l) และวันที่เก็บเกี่ยวผลผลิต (DHar, วัน) ของสไปรูไลนา ที่เพาะเลี้ยงในน้ำหมักเดี่ยว และผสม อาหาร Zarrouk สูตรปกติ สูตรดัดแปลง และอาหารอย่างง่ายผสมน้ำหมักอินทรีย์ 73
16. ปริมาณ Total Chlorophyll, Chlorophyll a, b และ c ของสไปรูไลนา (mean±SD, mg/l) ที่ได้จากการเพาะเลี้ยงในอาหาร Zarrouk สูตรปกติ 50 และ 100% สูตรดัดแปลง 25 และ 100% ที่ผสมน้ำหมักปลาทู 0.1% อาหารอย่างง่ายความเข้มข้น 25 และ 50 ผสมน้ำหมักปลาทู 0.1% ในน้ำหมักเดี่ยว และน้ำหมักปลาทูผสมน้ำหมักกระถิน 74

รายการตาราง (ต่อ)

ตารางที่ **หน้า**

17. ปริมาณ Carotenoids, C-Phycoerythrin, Phycocyanin และ Allophycocyanin (mean±SD, mg/l) ของสไปรูไลนาที่ได้จากการเพาะเลี้ยงในอาหาร Zarrouk สูตรปกติ 50 และ 100%, สูตรดัดแปลง 25 และ 100% ที่ผสมน้ำหมักปลาทู 0.1% อาหารอย่างง่ายความเข้มข้น 25 และ 50 ผสมน้ำหมักปลาทู 0.1% ในน้ำหมักเดี่ยว และน้ำหมักปลาทูผสมน้ำหมักกระถิน 75
18. องค์ประกอบทางโภชนาการ (%น้ำหนักแห้ง) ของสไปรูไลนาที่ได้จากการเพาะเลี้ยงในอาหาร Zarrouk สูตรปกติ 50 และ 100%, อาหาร Zarrouk สูตรดัดแปลง 25 และ 50% ที่ผสมน้ำหมักปลาทู 0.1%, อาหารอย่างง่าย 25 และ 50%ผสมน้ำหมักปลาทู 0.1%, น้ำหมักเดี่ยว และน้ำหมักน้ำหมักปลาทูผสมน้ำหมักกระถิน 79
19. ปริมาณไนเตรท ไนไตรท์ แอมโมเนีย และฟอสเฟต (mean±SD, mg/l) ในน้ำเพาะเลี้ยงสไปรูไลนาในน้ำหมักอินทรีย์เดี่ยว และผสม อาหาร Zarrouk สูตรปกติและสูตรดัดแปลงและอาหารอย่างง่ายที่ผสมด้วยน้ำหมักอินทรีย์ เมื่อเริ่มต้นการทดลอง (i) วันที่สไปรูไลนามีความหนาแน่นสูงที่สุด (l) และปริมาณที่ใช้ก่อนวันที่มีความหนาแน่นสูงที่สุด (c) 80
20. ความหนาแน่น (OD, 560_{nm}) น้ำหนักแห้ง (DW, g/l) ที่ลดลง (%) เมื่อให้ความหนาแน่น และน้ำหนักแห้งของสไปรูไลนาที่ได้จากการเพาะเลี้ยงในอาหาร Zarrouk สูตรปรกติ 100% ที่เป็นผลจากทั้ง 4 การทดลองมีค่าเท่ากับ 100% 91

รายการภาพ

ภาพที่		หน้า
1.	ปลาทู (*R. brachysoma*)	16
2.	ปลานิล (*O. niloticus*)	16
3.	ปลากดหัวอ่อน (*O. militarias*)	17
4.	ย่าหยา (*A. gangetica*)	17
5.	กระถิน *(L. leucocephalade*)	17
6.	มะละกอ (*C. papaya*)	17
7.	ผักโขม (*A. lividus* Linn.)	17
8.	การเจริญของสไปรูไลนา (mean±SD, OD, 560_{nm}) ที่เพาะเลี้ยงในอาหาร Zarrouk สูตรดัดแปลง 50% และน้ำหมักจากปลานิล ปลาทู ย่าหยา และมะละกอ ความเข้มข้น 0.1, 0.5, 1.0 และ 2.0%	23
9.	การเจริญของสไปรูไลนา (mean±SD, OD, 560_{nm}) ที่เพาะเลี้ยงในน้ำหมักจากปลากด ปลาทู มะละกอ ย่าหยา กระถิน และผักโขม ความเข้มข้น 0.1 และ 0.3% (v/v) ในอาหารสูตร Zarrouk ปกติ และสูตรดัดแปลง	31
10.	ปริมาณธาตุอาหาร (mg/l) ในระหว่างการเพาะเลี้ยงสไปรูไลนาในน้ำหมักปลากด ปลาทู มะละกอ ย่าหยา กระถิน และผักโขม ความเข้มข้น 0.1 และ 0.3% (v/v) อาหารสูตร Zarrouk ปกติ และสูตรดัดแปลง	38
11.	การเจริญของสไปรูไลนา (mean±SD, OD, 560_{nm}) ที่เพาะเลี้ยงในอาหารสูตร Zarrouk ปกติ สูตรดัดแปลง น้ำหมักปลาทู และกระถิน 0.1% ที่ไม่เติม/เติมอาหารอีกครั้งใน 3 ช่วงเวลา	48
12.	ปริมาณธาตุอาหาร (mg/l) ในระหว่างการเพาะเลี้ยงสไปรูไลนาในอาหารสูตร Zarrouk ปกติ สูตรดัดแปลง น้ำหมักจากปลาทู และกระถิน 0.1% ที่ไม่เติม/เติมอาหารอีกครั้งใน 3 ช่วงเวลา	51
13.	การเจริญของสไปรูไลนา (mean±SD, OD, 560_{nm}) ที่เพาะเลี้ยงในน้ำหมักปลาทู กระถิน อาหารสูตร Zarrouk ปกติ สูตรดัดแปลง และอาหารผสมระหว่างทั้งสองกลุ่ม	58
14.	ปริมาณธาตุอาหาร (mg/l) ในน้ำเพาะเลี้ยงสไปรูไลนาในน้ำหมักปลาทู น้ำหมักกระถิน และที่ผสมกับ Zarrouk สูตรดัดแปลง และในอาหาร Zarrouk สูตรปกติ	66

รายการภาพ (ต่อ)

ภาพที่ **หน้า**

15. การเจริญของสไปรูไลนา (mean±SD, OD, 560_{nm}) ที่เพาะเลี้ยงในน้ำหมักอินทรีย์เดี่ยว และผสม อาหาร Zarrouk สูตรปกติ อาหาร Zarrouk สูตรดัดแปลง และอาหารอย่างง่ายผสมน้ำหมักอินทรีย์ 71
16. ปริมาณ Chlorophyll a, b และ c ของสไปรูไลนา (mean±SD, mg/l) ที่ได้จากการเพาะเลี้ยงในอาหาร Zarrouk สูตรปกติ 50 และ 100% อาหาร Zarrouk สูตรดัดแปลง 25 และ 50% ผสมน้ำหมักปลาทู 0.1% อาหารอย่างง่าย ความเข้มข้น 25 และ 50 ผสมน้ำหมักปลาทู 0.1% ในน้ำหมักเดี่ยว และน้ำหมักปลาทูผสมน้ำหมักกระถิน 77
17. ปริมาณ Carotenoids, C-Phycoerythrin, C-Phycocyanin และ Allophycocyanin ของสไปรูไลนา (mean±SD, mg/l) ที่ได้จากการเพาะเลี้ยงในอาหาร Zarrouk สูตรปกติ 50 และ 100% อาหาร Zarrouk สูตรดัดแปลง 25 และ 50% ที่ผสมน้ำหมักปลาทู 0.1% อาหารอย่างง่าย ความเข้มข้น 25 และ 50 ผสมน้ำหมักปลาทู 0.1% ในน้ำหมักเดี่ยว และน้ำหมักปลาทูผสมน้ำหมักกระถิน 78
18. องค์ประกอบทางโภชนาการ ของสไปรูไลนาที่ได้จากการเพาะเลี้ยงในอาหาร Zarrouk สูตรปกติ 50, 100%, อาหาร Zarrouk สูตรดัดแปลง 25, 50% ผสมน้ำหมักปลาทู 0.1%, อาหารอย่างง่าย 25, 50% ที่ผสมน้ำหมักปลาทู 0.1%, น้ำหมักเดี่ยว และน้ำหมักปลาทูผสมน้ำหมักกระถิน (%น้ำหนักแห้ง) 83
19. ปริมาณธาตุอาหาร (mg/l) ในน้ำเพาะเลี้ยงสไปรูไลนาในน้ำหมักอินทรีย์เดี่ยว และผสม อาหาร Zarrouk สูตรปกติ อาหาร Zarrouk สูตรดัดแปลง และอาหารอย่างง่ายที่ผสมด้วยน้ำหมักอินทรีย์ 90

บทที่ 1

บทนำ

1.1 บทนำต้นเรื่อง

ในระยะเวลาที่ผ่านมา การใช้ปุ๋ยและสารเคมีที่เพิ่มสูงขึ้นในพื้นที่ต่างๆ ทั่วโลกเพื่อการเพิ่มปริมาณผลผลิตและการตอบสนองความต้องการของประชากรโลกที่เพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ การใช้ปุ๋ยและสารเคมีส่งผลให้เกิดปัญหาที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมหลายด้านอย่างรุนแรง โดยเฉพาะอย่างยิ่งปัญหาที่เกี่ยวกับสารเคมีตกค้างในสิ่งแวดล้อม การตกค้างของโลหะหนักในน้ำใต้ดิน และในร่างกายสิ่งมีชีวิต (Godson *et al*., 2005; Ramfrez and Worrell, 2006) การปนเปื้อนในสิ่งต่างๆ รวมทั้งในสิ่งที่มนุษย์ใช้เป็นอาหารเกือบทุกชนิด (Goyer and Clarkson, 2001) ที่ส่งผลกระทบต่อชีวอนามัยของมนุษย์ ก่อให้เกิดความเจ็บป่วยอย่างรุนแรงที่พบได้ตามรายงานทั่วไป (ศักดา, 2546; นุชนารถ, 2548) จึงได้มีความพยายามในการลดปริมาณการใช้สารเคมีในกระบวนการผลิตต่างๆ ลง และหันมาใช้ธาตุอาหารที่ได้จากธรรมชาติ (Venkataraman, 1981; Olguín *et al*., 2003)

เป็นที่รู้จักกันอย่างแพร่หลายว่าสไปรูไลนาประกอบด้วยสารอาหารต่างๆ ที่มีความจำเป็นต่อร่างกายในปริมาณสูง โดยเฉพาะโปรตีนที่มีมากถึง 60-70 %ของน้ำหนักแห้ง มีสารต้านอนุมูลอิสระสำคัญหลายชนิด และมีปริมาณสูงกว่าปริมาณที่มีในอาหารชนิดอื่นๆ ทั่วไป (Khan *et al*., 2005) มีวิตามิน A, B, C, D และ E โดยเฉพาะวิตามินบีคอมเพล็กซ์ (vitamin B-complex) สไปรูไลนามีวิตามินบี 12 ในปริมาณที่สูงกว่าสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินชนิดอื่นๆ มีเบตาแคโรทีนที่เป็นสารตั้งต้นของวิตามิน A ในปริมาณสูง (สุมนทิพย์, 2529) มีไขมันต่ำแต่มีกรดไขมันสำคัญคือแกมมาไลโนลิอิคในปริมาณสูง นอกจากนี้ยังมีกรดแกมมา-ไลโนเลนิค ช่วยลดไขมันในเลือด ลดความดันโลหิต บรรเทาอาการข้ออักเสบ ปวดประจำเดือน ผิวหนังอักเสบและเป็นฝ้า (ผุสดี, 2548) มีสารเร่งสีสำหรับสัตว์ เช่น ปลาสวยงาม กุ้ง (Habib *et al*., 2008) มีสารช่วยเสริมระบบภูมิคุ้มกันทั้งในมนุษย์และในสัตว์ (Liu *et al*., 2000) ทำให้สัตว์มีภูมิต้านทานสูงขึ้น (Watanuki *et al.,* 2006) สไปรูไลนาถูกย่อยได้ง่าย (Habib *et al*., 2008) สามารถถูกย่อยได้ 85-95% (Pelizer *et al*., 2003) อย่างไรก็ตามสาหร่ายสไปรูไลนาที่พบในแหล่งต่างๆ จะมีคุณค่าทางอาหารที่แตกต่างกันไปตามสภาวะสิ่งแวดล้อมที่เจริญ (Becker and Venkataraman, 1982; Colla, 2007)

สไปรูไลนาเพาะเลี้ยงได้ง่าย และเจริญเพิ่มจำนวนได้อย่างรวดเร็ว (Nakamura, 1982; Santillan, 1982) การเพาะเลี้ยงไม่จำเป็นต้องใช้พื้นที่จำนวนมากเหมือนกับการปศุสัตว์หรือการปลูกพืชต่างๆ สามารถทำได้ในพื้นที่จำกัด สไปรูไลนาสามารถเจริญได้ในอาหารที่ประกอบด้วยสารอนินทรีย์ และสารอินทรีย์ (Sassano *et al*., 2007) และเจริญได้ดีในอาหาร

เพาะเลี้ยงที่มีการลดปริมาณสารเคมีลง ช่วยให้ปริมาณสารเคมีในน้ำเลี้ยงหลังการเก็บเกี่ยวมีปริมาณเหลือลดน้อยลงอย่างมีนัยสำคัญ สไปรูไลนาสามารถเจริญเติบโตได้ดีในอาหารทดแทนหรืออาหารจากสารเคมีหลักใกล้เคียงกันหรือดีกว่าการเพาะเลี้ยงในอาหารสูตร Zarrouk (จักรทิพย์ และคณะ, 2546; คำรบ และวัชราภรณ์, 2546; ปณิธิ และอนิตา, 2547; ชานนท์ และคณะ, 2548) ทำให้การเพาะเลี้ยงสาหร่ายชนิดนี้ทำได้ง่ายยิ่งขึ้น ลดต้นทุน ลดสารตกค้างจากการเพาะเลี้ยงลง โดยเฉพาะอย่างยิ่งการใช้อาหารเสริมที่ได้มาจากสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายจากแหล่งต่างๆ ทำให้สไปรูไลนาสามารถใช้สารอาหารหลักที่มีในการเจริญเติบโตได้อย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น (นฤมล และคณะ, 2529; วุฒิชัย, 2536; คำรบ และวัชราภรณ์, 2546; จุฑารัตน์ และปวีณา, 2547; ชานนท์ และคณะ, 2548)

การย่อยสลายสารอินทรีย์ต่างๆ จะทำให้ได้ธาตุอาหารต่างๆ ทั้งธาตุอาหารหลัก ธาตุอาหารรอง และธาตุอาหารเสริมที่เป็นที่มาของสารอาหารจำเป็นสำหรับการเจริญเติบโตของพืช (ประเสริฐ, 2548) พืชทั่วไปเจริญได้ดีในที่ที่มีวัสดุอินทรีย์ย่อยสลาย หรือเมื่อได้รับปุ๋ย เช่นเดียวกับสไปรูไลนาที่ต้องการธาตุอาหารหลักและรองในทำนองเดียวกันกับพืชหรือสาหร่ายอื่นๆ (Beley, 2002) แต่การย่อยสลายสารอินทรีย์ชนิดใดชนิดหนึ่งอาจได้ธาตุอาหารในปริมาณไม่มากนัก (ประเสริฐ, 2548) อาจไม่เพียงพอหรือไม่เหมาะสมสำหรับการเจริญของสไปรูไลนา จึงมีความจำเป็นต้องวิจัยเกี่ยวกับชนิดและปริมาณการใช้สารอินทรีย์ที่มีและใช้ในการเพาะเลี้ยงให้เหมาะสม เพื่อให้สไปรูไลนามีการเจริญเติบโตได้ดีที่สุด วัสดุอินทรีย์นานาชนิดเป็นสิ่งที่สามารถจัดหาได้ง่ายในท้องถิ่น หลายชนิดเป็นสิ่งที่เหลือจากกระบวนการผลิต หากสามารถใช้วัสดุเหล่านี้สำหรับการเพาะเลี้ยงสไปรูไลนาได้ จะช่วยให้กระบวนการผลิตสาหร่ายชนิดนี้ทำได้ง่าย เป็นวิธีการที่จะเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมมากขึ้น ช่วยให้การใช้ทรัพยากรได้อย่างมีประสิทธิภาพมาก นอกจากจะช่วยลดต้นทุนในกระบวนการเพาะเลี้ยง ข้อมูลเหล่านี้น่าจะเป็นข้อมูลพื้นฐานที่สำคัญสำหรับการเพาะเลี้ยงสไปรูไลนาในระบบอินทรีย์ในอนาคต และยังจะช่วยให้การเพาะเลี้ยงในระดับย่อยในครัวเรือนเป็นไปได้ง่าย ผู้สนใจสามารถเพาะเลี้ยงสไปรูไลนาไว้สำหรับบริโภคได้เองหรือเพื่อจำหน่าย อันจะเป็นที่มาของการมีสุขภาพและรายได้ที่ดีสำหรับครัวเรือนได้ไม่ยาก

1.2 การตรวจเอกสาร

Spirulina หรือ *Arthrospira* เป็น Cyanobacteria ที่ถูกจัดไว้ในระบบอนุกรมวิธานดังนี้

Natura - nature

Mundus Plinius - physical world

Naturalia

Biota

Domain Bacteria (Haeckel, 1894) C.R. Woese *et al*., 1990

Phylum Cyanobacteria Stanier, 1974 ex Cavalier-Smith, 2002 - cyanobacteria

Class Cyanobacteria

Subclass Oscillatoriophycideae

Order Chroococcales T. Cavalier-Smith, 2002

Family Spirulinaceae

Genus *Spirulina*™ P.J.F. Turpin, 1827 ex M. Gomont, 1892

Spirulina platensis

ที่มา: นิรนาม (2553) อ้างถึง Systema Nature (2000)

1.2.1 ชีววิทยาและการแพร่กระจาย

สไปรูไลนาเป็น cyanobacteria ประกอบด้วยเซลล์หลายๆ เซลล์เรียงต่อกัน (trichome) (Çelekli and Yavuzatmaca, 2009) หรือบิดเป็นเกลียว (helicoildal) ไม่มีกิ่งก้าน มีเส้นผ่าศูนย์กลางของเกลียว (Helix) ตั้งแต่ 30-70 ไมโครเมตร (Habib, 2008) ระยะห่างระหว่างเกลียว (Pitch) 60-80 ไมโครเมตร สาหร่ายสไปรูไลนามีผนังเซลล์ชั้นนอกสุดประกอบด้วยสาร Peptidoglycan ที่มีองค์ประกอบคล้ายคลึงกับผนังเซลล์ของแบคทีเรียแกรมลบ (Ciferri, 1983) นิวเคลียสไม่มีเยื่อหุ้ม มีรูปร่างไม่แน่นอนสารประกอบนิวเคลียสกระจายอยู่ทั่วไปในไซโตพลาสซึม (สุชาติ, 2529) สไปรูไลนามีรงควัตถุหลายชนิด ได้แก่ chlorophyll a, carotenoids หลายชนิด เช่น β-carotene (ร้อยละ 80 ของคาโรทีนอยด์ทั้งหมด) zeaxanthin, echinenone, β-crytoxanthin, oscillaxanthin และmyxoxanthophyll นอกจากนี้ประกอบด้วย phycocyanin (Venkataraman, 1983) สไปรูไลนาสามารถเคลื่อนที่แบบ Creeping หรือ Gliding โดยการหมุนบิดเป็นเกลียวรอบแกนตามความยาวของไตรโคม ทำให้สามารถเคลื่อนที่ไปข้างหน้าหรือถอยหลังได้ (สุภัทร์, 2546)

สไปรูไลนาเจริญเติบโตได้ดีในแถบประเทศในเขตร้อน หรือกึ่งร้อน (Kim *et al*., 2007; Ogbonda *et al*., 2007) พบสไปรูไลนาในแหล่งน้ำจืดในธรรมชาติทั่วไป ทะเลสาบ และในแหล่งน้ำที่มีความเค็มค่อนข้างสูงที่มีฤทธิ์เป็นด่าง เช่น ในทะเลสาบประเทศชาด ในบริเวณตะวันออกของทวีปอัฟริกา ในทะเลสาบเท็กโคโค (Lake Texcoco) ประเทศเม็กซิโก (Costa *et al*., 2004) รวมทั้งแหล่งน้ำเสีย บ่อตื้นๆ ที่มีความเข้มของแสงประมาณ 30-35 Klux พบสไปรูไลนาในน้ำจืดมากกว่าในน้ำเค็ม หรืออาจพบปะปนกับสาหร่ายชนิดอื่น ปัจจุบันมีการนำสไปรูไลนามาใช้ประโยชน์ในทางอุตสาหกรรมหลายแห่งทั่วโลก บริเวณที่มีการผลิตมาก ได้แก่ ทางตะวันตกเฉียงใต้ของอเมริกา ฮาวาย แมกซิโก ญี่ปุ่น จีน และประเทศไทย (Ciferri, 1983)

1.2.2 การสืบพันธุ์

สไปรูไลนามีการสืบพันธุ์แบบง่ายๆ ไตรโคมของสาหร่ายที่เจริญเติบโตเต็มที่จะขาดเป็นท่อนๆ แต่ละท่อนเรียกว่า hormogonia จากนั้นปลายทั้งสองด้านของ hormogonia จะค่อยๆ ม้วนเป็นเกลียว (Ciferri, 1983) เซลล์ของ hormogonia เจริญต่อไปเป็นไตรโคม ลักษณะของเซลล์ hormogonia มีสีซีดเพราะในไซโตพลาสซึมมีกรานูลน้อย เซลล์จึงมีสีเขียวแกมน้ำเงินจาง เมื่อเจริญไปเป็นไตรโคมที่โตเต็มที่ ภายในไซโตพลาสซึมจะมีกรานูลเพิ่มขึ้น ทำให้เซลล์มีสีเขียวแกมน้ำเงินเข้มมากขึ้น (Richmond, 1986)

1.2.3 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเจริญของสไปรูไลนา

การเจริญเติบโตของสาหร่ายแต่ละชนิดขึ้นอยู่กับปัจจัยสำคัญ ได้แก่ ปัจจัยทางกายภาพ และปัจจัยทางเคมี (O' Brien, 1972; Trainor, 1978)

1.2.3.1 ปัจจัยทางกายภาพ

อุณหภูมิ

อุณหภูมิมีผลกระทบทั้งทางตรงและทางอ้อมต่อระบบนิเวศของสาหร่าย มีความสำคัญต่ออัตราการเจริญและการสืบพันธุ์ อัตราการเกิดปฏิกิริยาต่างๆ ภายในเซลล์ โครงสร้าง และองค์ประกอบของเซลล์ ต่อเมตาโบลิซึม ความต้องการสารอาหาร ความสามารถในการแพร่ผ่านของสารต่างๆ และการทำงานของเอนไซม์ (Sato and Murata, 1980) สไปรูไลนาจะเจริญได้ดีที่อุณหภูมิเฉลี่ย 28-34 ^{0}C อุณหภูมิที่ต่ำกว่า 20 ^{0}C หรือสูงกว่า 37 ^{0}C ไม่เหมาะต่อการเจริญของสไปรูไลนา อุณหภูมิที่สูงกว่า 40 ^{0}C และอุณหภูมิต่ำกว่า 15 ^{0}C จะเป็นอันตรายต่อเซลล์ของสไปรูไลนา (Richmond *et al*., 1980) สาหร่ายไม่สามารถปรับตัวได้เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิประมาณ 10-15 ^{0}C หรือมากกว่าอย่างรวดเร็ว ทำให้การเจริญเติบโตชะงัก อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นทำให้เกลียวของสไปรูไลนาขดตัวกันแน่นมากขึ้น และทำให้มีการสร้างสิ่งต่างๆ ที่ผนังเซลล์เพิ่มขึ้นด้วย อุณหภูมิต่ำกว่า 17 ^{0}C ทำให้ความเข้มข้นของอนุภาค cyanin ลดต่ำลง และที่อุณหภูมิ 20 ^{0}C ภายในเซลล์สไปรูไลนาจะมีความเข้มข้นของ polyglucan ต่ำลง (van Eykelenburg, 1979)

การเพาะเลี้ยงสไปรูไลนาด้วยอาหารสูตร Zarrouk ที่มีโซเดียมไนเตรท 0.625, 1.250, 1.875 และ 2.500 g/l ที่อุณหภูมิ 30 ^{0}C สไปรูไลนาเจริญได้สูงที่สุด 0.073-0.074 ต่อวัน สูงกว่าการเพาะเลี้ยงที่อุณหภูมิ 35 ^{0}C ที่สไปรูไลนาเจริญได้ 0.048-0.054 ต่อวัน (Colla, 2007)

แสง

แสงมีผลต่ออัตราการเจริญ ปริมาณองค์ประกอบ ผลผลิตของสไปรูไลนา และโครงสร้างต่างๆ ภายในเซลล์ รวมทั้งการสะสมของรงควัตถุต่างๆ รงควัตถุแต่ละชนิดจะสามารถสังเคราะห์แสงได้ที่ความยาวคลื่นต่างๆ กัน (Bryant, 1991) ความยาวคลื่นที่สไปรูไลนาสามารถนำไปสังเคราะห์แสงได้เป็นความยาวคลื่นเดียวกับความยาวคลื่นที่พืชทั่วไปใช้ในการสังเคราะห์แสงคือ 400-700 nm (Trissl, 1993) ความเข้มของแสงที่เพิ่มขึ้น ทำให้การสังเคราะห์แสงเพิ่มขึ้นและเร่งการทำงานของเซลล์มากขึ้น (Kosaric *et al*., 1974) เมื่อความเข้มของแสงต่ำกว่า 2000 Lux สาหร่ายและพืชชั้นสูงจะสามารถใช้พลังงานแสงได้เพียงร้อยละ 20 ของแสงที่ตกกระทบ (สุมนทิพย์, 2529) แต่ความสามารถในการใช้พลังงานของสาหร่ายจะลดลงเมื่อความเข้มแสงสูงกว่า 8000 Lux ความเข้มแสงที่เหมาะสมต่อการเจริญของสไปรูไลนา คือ 4,000-5,000 Lux (Nakamura, 1982) พิมพรรณ และอารักษ์ (2531) รายงานว่าการเพาะเลี้ยงสไปรูไลนาความเข้มแสงที่เหมาะสม คือ 3,500 Lux 16 ชั่วโมงต่อวัน

ความเป็นกรด–ด่าง (pH)

ค่าความเป็นกรด-ด่างมีความสัมพันธ์กับการละลายของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (Venkataraman, 1983) หรือปริมาณไบคาร์บอเนตในอาหารเพาะเลี้ยงสาหร่าย (สุมนทิพย์, 2529) ความเป็นกรด-ด่างของอาหารที่เพาะเลี้ยงสาหร่ายมีผลต่อกระบวนการเมตาโบลิซึมของเซลล์ (Ciferri and Tiboni, 1985) สไปรูไลนาสามารถเจริญได้อย่างหนาแน่นในแหล่งน้ำที่มีค่าความเป็นกรด-ด่าง 8.5-11 (Ciferri, 1983; Venkataraman, 1983) การเจริญของสาหร่ายลดลง เมื่อค่าความเป็นกรด-ด่างสูงกว่า 11 (Nakamura, 1982) ค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำจะเพิ่มมากขึ้นเมื่อสาหร่ายเจริญมากขึ้น เนื่องจากสไปรูไลนานำคาร์บอนจากโซเดียมไบ-คาร์บอเนตไปใช้ ทำให้เกิดโซเดียมอิออน (Na^+) ในน้ำมากขึ้น ค่าความเป็นกรด-ด่างจึงเพิ่มมากขึ้นด้วย (Chiu *et al*., 1978)

ความหนาแน่นเริ่มต้น

ปริมาณความหนาแน่นเริ่มต้นของสไปรูไลนาที่เหมาะสมเป็นสิ่งสำคัญสำหรับการเพาะเลี้ยงและมีความสัมพันธ์กับความเข้มของแสงที่เพิ่มขึ้น (Venkataraman, 1983) ความหนาแน่นเริ่มต้นที่เหมาะสมของสไปรูไลนาควรมีค่า (OD, 560_{nm}) 0.6 หรือปริมาณสไปรูไลนาเริ่มต้น 2 g (น้ำหนักเปียก) ต่อน้ำ 1 Lหรือ 3 L (พิมพรรณ และอารักษ์, 2531) แต่ถ้าแดดจัดหรือได้รับแสงมากเป็นพิเศษ ควรใส่หัวเชื้อให้หนาแน่นกว่าเดิม (ธิดา, 2548) หากความหนาแน่นของสไปรูไลนาต่ำ ความเข้มแสงสูงจะทำให้เกิดการตาย ซึ่งมีสาเหตุมาจากการเกิด

photo-oxidation แต่หากความหนาแน่นเริ่มต้นสูงเกินไป จะทำให้เกิดการบังกันเอง ทำให้การได้รับแสงและประสิทธิภาพในการหายใจลดลง (Venkataraman, 1983)

1.2.3.2 ปัจจัยทางเคมี

ปริมาณสารอาหารเป็นปัจจัยหลักที่มีความสำคัญต่อการเจริญของสาหร่ายอย่างยิ่ง ธาตุอาหารที่สไปรูไลนาใช้ผ่านเข้าสู่กระบวนการทางสรีรวิทยาต่าง ๆ ของเซลล์ที่เป็นตัวกำหนดการดำรงชีวิต การเจริญ ตลอดจนการแพร่พันธุ์ต่อ ๆ ไป เช่น กระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง กระบวนการหายใจ เป็นต้น (O' Brien, 1972)

<u>ธาตุอาหารหลัก</u> (major elements) ประกอบเป็นโครงสร้างของสาหร่าย เช่น ธาตุคาร์บอน ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส ซัลเฟอร์ แคลเซียม โซเดียม โพแตสเซียม และแมกนีเซียม ปกติในการเพาะเลี้ยงจำเป็นต้องมีสารอาหารกลุ่มนี้ในปริมาณค่อนข้างมาก (Healey, 1973) ธาตุอาหารหลักที่สำคัญมาก ได้แก่

คาร์บอน

สไปรูไลนาสามารถใช้ได้ทั้งคาร์บอนอินทรีย์ และอนินทรีย์ สไปรูไลนาใช้คาร์บอนอนินทรีย์ในรูปของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ละลายในน้ำ หรือในรูปของเกลือคาร์บอเนตและไบคาร์บอเนต (Vílchez and Vega, 1997) คาร์บอนอินทรีย์ที่สาหร่ายสามารถนำมาใช้ได้ในรูปของสารประกอบอินทรีย์ เช่น น้ำตาลชนิดต่าง ๆ (ลัดดา, 2540) การเติมสารอาหารอื่นลงไปในอาหารเพาะเลี้ยงสไปรูไลนามากขึ้นจะไม่มีผลต่อการเพิ่มจำนวนของสไปรูไลนา ถ้าปริมาณของคาร์บอนมีอยู่ในอาหารอย่างจำกัด แหล่งคาร์บอนอินทรีย์ที่สำคัญของสไปรูไลนา คือ glucose, acetate, etanol, alanine, espatate, fructose, galactose, pyruvate และ succinate (Ogbanna *et al*., 2000; Vonshak *et al*., 2000) ในการเพาะเลี้ยงสไปรูไลนา โซเดียมไบ-คาร์บอเนต และคาร์บอนไดออกไซด์ เป็นแหล่งของคาร์บอนอนินทรีย์ที่ดี (Costa *et al*., 2004) เมื่อเติมโซเดียมไบคาร์บอเนต 2.9 g/l ทำให้น้ำเลี้ยงสไปรูไลนามีค่าเป็นด่างและเหมาะสมในการเพาะเลี้ยง (Nakamura, 1982)

การใช้คาร์บอนไดออกไซด์ 0.44 g/l/d ในการเพาะเลี้ยงสไปรูไลนา ทำให้สไปรูไลนาเจริญได้ดี 12.8 g/l (Costa *et al*., 2004) ส่วนการเพาะเลี้ยงสไปรูไลนาโดยใช้โซเดียมไบ-คาร์บอเนต 2.8-100 g/l เป็นแหล่งคาร์บอน สไปรูไลนาสามารถเจริญได้สูงสุด 0.75-0.78 g/l เมื่อใช้โซเดียมไบคาร์บอเนต 2.8-2.88 g/l มีการสูญเสียคาร์บอนในปริมาณ 13.61% ในขณะที่การใช้โซเดียมไบคาร์บอเนต 50 g/l สูญเสียคาร์บอน 38.73% (Costa *et al*., 2003)

ไนโตรเจน

ไนโตรเจนมีหน้าที่เกี่ยวกับกระบวนการสร้างและสลายสารต่างๆ ภายในเซลล์ เป็นส่วนประกอบสำคัญของ กรดอะมิโน โปรตีน กรดนิวคลีอิก และเอมไซม์ต่างๆ ช่วยในการผลิตคลอโรฟิลล์ สารประกอบไนโตรเจนจึงมีความสำคัญต่อการเจริญ (Colla, 2007; อิทธิ สุนทร, 2538) สไปรูไลนาประกอบด้วยไนโตรเจนร้อยละ 7-10 ของน้ำหนักแห้ง (Becker and Venkataraman, 1982; Boussiba and Gibson, 1991) สไปรูไลนาที่ขาดไนโตรเจนจะมีปริมาณ chlorophyll a และ RNA ลดลง แต่จะสร้างไขมันหรือคาร์โบไฮเดรตเพิ่มขึ้น (Hosakul, 1972; Danesi *et al*., 2002) สไปรูไลนาสามารถใช้ไนโตรเจนได้ทั้งในรูปของอินทรีย์และอนินทรียสาร ทั้งที่อยู่ในรูปของเกลือแอมโมเนีย ไนเตรท และไนไตรท์ (Ben-Amotz and Avron, 1989) ไนโตรเจนอินทรีย์ที่สาหร่ายสามารถนำไปใช้ได้ ได้แก่ amides, amino acid, nucleic acids และ peptones (Baldia *et al*., 1991)

แหล่งของไนโตรเจนที่ดีที่สุดสำหรับการเพาะเลี้ยงสไปรูไลนาคือ ยูเรีย (Danesi *et al*., 2002) ยูเรีย 0.15 mg/l ทำให้อัตราการเจริญสูงสุดของสไปรูไลนาได้ 1.2 g/day (Baldia *et al*., 1991) Costa และคณะ (2004) ใช้น้ำจากทะเลสาบ Mangueira ที่มีคาร์บอเนตและความเป็นกรด-ด่างสูง มาใช้ในการเพาะเลี้ยงสไปรูไลนา พบว่า น้ำจากทะเลสาบที่เติมยูเรีย 1.125 mg/l ให้ผลผลิตเพิ่มเป็น 6 เท่าของผลผลิตปกติ หากความเข้มข้นของยูเรียมากกว่า 0.2 g/l จะส่งผลให้การเจริญของสไปรูไลนาลดลง (Dong *et al*., 2001) สไปรูไลนาที่เพาะเลี้ยงได้ในอาหารที่มีโซเดียมไนเตรท 0.625 และ 1.250 g/l มีปริมาณโปรตีนและไขมันต่ำ (Colla, 2007) สไปรูไลนาที่เพาะเลี้ยงในน้ำปัสสาวะของมนุษย์สามารถใช้ไนโตรเจนที่มีอยู่ได้ 99% (Yang *et al*., 2008)

ฟอสฟอรัส

ฟอสฟอรัสมีบทบาทในกระบวนการต่างๆ ภายในเซลล์ เช่น การเคลื่อนย้ายพลังงาน การสังเคราะห์กรดนิวคลีอิค การควบคุมขบวนการเมตาโบลิซึม การถ่ายทอดทางพันธุกรรมของเซลล์ และกระบวนการแบ่งเซลล์ (Danesi *et al*., 2002; Lodi *et al*., 2003; Çelekli *et al*., 2008) ในสไปรูไลนามีฟอสฟอรัส 0.69 % (dry weight) (Richmond, 1986) สไปรูไลนาสามารถใช้ฟอสฟอรัสในรูปฟอสเฟตอินทรีย์ได้ดีกว่าฟอสเฟตอนินทรีย์ (Baldia *et al*., 1994) Jourdan (2001) รายงานว่า การขาดฟอสฟอรัสของสาหร่ายมีผลใกล้เคียงกับการขาดไนโตรเจน คือ ทำให้ปริมาณโปรตีน คลอโรฟิลล์เอ RNA DNA และ ATP ในเซลล์ของสาหร่ายลดลง แต่มีปริมาณคาร์โบไฮเดรตเพิ่มขึ้น ทำให้รูปร่างเซลล์เปลี่ยนแปลงไปจากเดิม สไปรูไลนาที่เพาะเลี้ยงในอาหารที่มีปริมาณฟอสเฟต 0.5 g/l เจริญได้ดีที่สุด 3.099 g/l (Çelekli *et al*., 2009) การเพาะเลี้ยงในสูตรอาหาร Zarrouk 50% เจริญได้กว่าอาหารสูตร Zarrouk 100 และ 25% ที่มีไดโพแทสเซียมไฮโดรเจนฟอสเฟต (K_2HPO_4) 0.5 และ 0.125 g/l สไปรูไลนาสามารถ

เจริญทวีจำนวนได้ไม่แตกต่างกันทางสถิติ และมีการเจริญได้เป็นปกติ (จักรทิพย์และคณะ, 2546) Yang และคณะ (2008) พบว่า สไปรูไลนาสามารถใช้ฟอสฟอรัสจากน้ำปัสสาวะของมนุษย์ได้ 99.99%

ธาตุอาหารรอง (minor elements or trace elements) สาหร่ายต้องการธาตุอาหารรองในปริมาณน้อย เพื่อใช้ในกระบวนการเจริญเติบโต ธาตุอาหารรองเป็นองค์ประกอบของโมเลกุล เช่น เอนไซม์ ธาตุอาหารรองที่สำคัญได้แก่ คลอรีน เหล็ก แมงกานิส โบรอน สังกะสี นิกเกิล ทองแดง และโมลิบดินัม (Salisbury and Ross, 1992; Marschner, 1995) การเติมธาตุอาหารรองลงไปในการเพาะเลี้ยงจะช่วยให้สาหร่ายนำธาตุอาหารหลัก เช่น ฟอสฟอรัส ไนโตรเจน ไปใช้ได้ดียิ่งขึ้น ทำให้สาหร่ายเจริญได้อย่างรวดเร็ว (Healey, 1973)

1.2.4 การเกษตรระบบอินทรีย์

การเกษตรอินทรีย์เป็นระบบการผลิตพืชผลทางการเกษตรที่มีพื้นฐานจากการปฏิบัติทางการเกษตรที่คำนึงถึงสภาพแวดล้อม หลีกเลี่ยงการใช้สารเคมีในการป้องกันและกำจัดศัตรูพืช วัชพืช หรือในการกระตุ้นการเจริญเติบโตของพืช คำนึงถึงการใช้ทรัพยากรธรรมชาติอย่างยั่งยืน ให้ความสำคัญกับการปรับปรุงความอุดมสมบูรณ์ของดิน สร้างความสมดุลต่อระบบนิเวศวิทยาสิ่งแวดล้อมและความหลากหลายทางชีวภาพ รวมทั้งมีการจัดการปลูกพืชหมุนเวียนที่เหมาะสม การจัดการดิน น้ำ ปุ๋ย และอื่นๆ การผลิตพืชผลในระบบเกษตรอินทรีย์ใช้ปัจจัยการผลิตจากวัสดุธรรมชาติ เช่น ซากพืช ปุ๋ยพืชสด หรือมูลสัตว์ที่ไม่มีการใช้ปุ๋ยเคมี รวมทั้งสารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูพืช นอกจากนี้ยังห้ามใช้พืชหรือเมล็ดพันธุ์พืชที่มีการตัดต่อยีน (Genetically Modified Organism, GMO) หรือห้ามใช้จุลินทรีย์ที่มีการตัดต่อยีนในกระบวนการหมักปุ๋ยชีวภาพ การผลิตระบบอินทรีย์ นอกจากจะแก้ปัญหายาและสารเคมีตกค้างในผลผลิตและในธรรมชาติแล้ว ยังเป็นแนวทางสำหรับการนำมาใช้ในการช่วยลดต้นทุนจากการนำเข้ายาและสารเคมีจากต่างประเทศด้วย (Codex Alimentarius Commission, 2001)

1.2.4.1 สารอาหารในระบบเกษตรอินทรีย์

ส่วนมากในระบบเกษตรอินทรีย์ใช้สารอาหารจาก ปุ๋ยคอก ปุ๋ยหมัก ปุ๋ยพืชสด และปุ๋ยน้ำสกัดชีวภาพหรือปุ๋ยอินทรีย์น้ำที่มีส่วนผสมของสิ่งที่เกิดจากการสลายตัวของซากพืช ซากสัตว์ ได้แก่ คาร์โบไฮเดรต ไขมัน โปรตีน และสารประเภทฮิวมัส เป็นต้น (ดุสิต, 2534) ในการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ นิยมใช้วัสดุจากเศษเหลือใช้จากการเกษตรที่มีลักษณะสดซึ่งมีความชื้นสูง มีปริมาณสารอาหารสะสมอยู่ในระดับสูง มีองค์ประกอบของเซลลูโลสต่ำ สารประกอบของธาตุอาหารที่อยู่ในเซลล์ของวัสดุสดเป็นประโยชน์ต่อสัตว์ และจุลินทรีย์ได้โดยตรง กลุ่มจุลินทรีย์ที่ทำ

หน้าที่ย่อยสลายเป็นกลุ่มที่ต้องการน้ำตาลเป็นแหล่งอาหารและพลังงานในการเพิ่มจำนวนเซลล์ ในระหว่างกระบวนการหมัก ซึ่งได้สารอาหารมาจากการย่อยสลายของเซลล์ กระบวนการหมักเกิดได้ทั้งในสภาวะที่มีและไม่มีออกซิเจน โดยจะเกิดเมื่อไม่มีออกซิเจนได้ดีกว่า วัสดุที่หมักได้ค่อนข้างเป็นกรด มีค่า pH 3-5 และผลิตภัณฑ์ที่ได้สุดท้ายจะมีลักษณะเป็นของเหลวสีน้ำตาล (วรรณลดา, 2546)

สารอินทรีย์ที่ผ่านกระบวนการย่อยสลายในระดับต่างๆ จะมีการเปลี่ยนแปลง และปลดปล่อยสารอาหารจำเป็นที่สิ่งมีชีวิตกลุ่มที่มีขนาดเล็กหลายกลุ่มทั้งสัตว์ พืช และกลุ่มพืชชั้นต่ำสามารถนำไปใช้ได้ ส่วนสำคัญมากในที่นี้ได้แก่ ธาตุอาหารหลัก และธาตุอาหารรองที่สิ่งมีชีวิตสองกลุ่มหลังมีความจำเป็นต้องใช้สำหรับการเจริญ ต่อไป (สมบูรณ์ และคณะ, 2543) ในน้ำหมักประกอบไปด้วย สารประกอบคาร์โบไฮเดรต กรดอินทรีย์ กรดอะมิโน กรดฮิวมิก เอนไซม์ วิตามิน ฮอร์โมน และแร่ธาตุ (วรรณลดา, 2546) สารอินทรีย์ที่ได้จากกระบวนการย่อยสลายแต่ละชนิดให้ชนิดและปริมาณสารอาหารที่แตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับที่มาของสารอินทรีย์ ขั้นตอนหรือกระบวนการย่อยสลาย เช่น การย่อยสลายปลาจะให้ปุ๋ยอินทรีย์ที่มีไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม และกำมะถันเฉลี่ย 0.93, 1.13, 1.03, 1.66, 0.24 และ 0.20 % ตามลำดับ สารอาหารในปุ๋ยอินทรีย์จากปลายังประกอบด้วยธาตุอาหารรอง ได้แก่ กำมะถัน เหล็ก ทองแดง และแมงกานีส นอกเหนือจากโปรตีนและกรดอะมิโน ในปุ๋ยอินทรีย์จากปลามีปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม และแคลเซียมมากกว่าปุ๋ยอินทรีย์ที่ได้จากวัสดุชนิดอื่นๆ ปุ๋ยอินทรีย์ที่ได้จากผักมีปริมาณ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม และกำมะถันเฉลี่ย 0.464, 0.28, 0.9, 0.68, 0.26 และ 0.27 % ตามลำดับ ปุ๋ยที่ได้จากผลไม้จะมีปริมาณธาตุอาหารหลักและรองใกล้เคียงกับปุ๋ยที่ได้จากผัก (วรรณลดา, 2546) สารอินทรีย์ประเภทเดียวกันยังให้ชนิดและปริมาณธาตุอาหารที่แตกต่างกัน เช่น มูลสัตว์ ปริมาณธาตุอาหารจะขึ้นอยู่กับชนิดของสัตว์ อาหารที่สัตว์กิน อายุของสัตว์ และวิธีการเก็บรักษามูลสัตว์นั้นๆ เป็นต้น (ประเสริฐ, 2548) นอกจากนี้ยังพบว่า การเพิ่มระยะเวลาในการย่อยสลาย มีผลทำให้น้ำสกัดที่เกิดขึ้นมีส่วนที่เป็นประโยชน์ต่อพืชออกมาในปริมาณที่มากขึ้น และส่วนที่ย่อยสลายได้ยาก เช่น เซลลูโลส (cellulose) แทนนิน (tanin) และอื่นๆ มีโอกาสสลายตัวได้มากขึ้น (ดนัย, 2551)

นอกจากนี้สามารถใช้วัสดุอาหารประเภทอื่นเพื่อการนี้ได้ เช่น ของเหลือใช้จากโรงงานผงชูรสที่มีไนโตรเจน 3.6 % ฟอสฟอรัส 0.1 % โพแทสเซียม 0.2 % โซเดียม 0.45 % แคลเซียม 0.30 % แมกนีเซียม 0.04 % เหล็ก 100 ppm แมงกานีส 30 ppm สังกะสี 100 ppm ทองแดง 10 ppm คลอรีน 1,349 ppm คาร์บอนอินทรีย์ 23.07 % ที่มีค่าความเป็นกรด-ด่าง 1.2 (สมบูรณ์ และคณะ, 2543)

1.2.4.2 สารอินทรีย์สำหรับการเพาะเลี้ยงสไปรูไลนา

ในระยะเวลาที่ผ่านมาการเพาะเลี้ยงสไปรูไลนาได้มีการวิจัยและพัฒนา เพื่อลดปริมาณการใช้สารเคมีสำหรับการเพาะเลี้ยงสไปรูไลนาลง โดยการใช้วัสดุต่างๆ ที่ส่วนหนึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อการลดต้นทุนในกระบวนการผลิตสไปรูไลนา สารอินทรีย์ที่ใช้ในการเพาะเลี้ยงสไปรูไลนามีหลายชนิด เช่น มูลสัตว์ (Ungsethaphand *et al*., 2009) หรือวัสดุเหลือใช้ต่างๆ (พิมพรรณ และอารักษ์, 2531) การเพาะเลี้ยงสไปรูไลนาเพื่อใช้เป็นอาหารสัตว์สามารถเพาะเลี้ยงในบ่อดินได้ และไม่จำเป็นต้องใช้สารเคมีเป็นปุ๋ย อาจใช้มูลสัตว์ ปุ๋ยหมัก หรือของเหลือจากอุตสาหกรรมบางประเภท (ธิดา, 2546) (ตารางที่ 1)

ตารางที่ 1 สูตรอาหารจากมูลสัตว์ และปุ๋ยหมัก

สารอาหาร	กก./ตัน	สารอาหาร	กก./ตัน
มูลวัวหรือมูลไก่แห้ง	2	ปุ๋ยหมัก	0.5
โซเดียมไบคาร์บอเนต	1	โซเดียมไบคาร์บอเนต	1

ที่มา: ธิดา (2546)

อาหารที่ได้จากวัสดุอินทรีย์เป็นแหล่งของ trace element ที่ดี (วรรณลดา, 2546) สามารถใช้อาหารที่มีอยู่ในมูลสัตว์ชนิดต่างๆ รวมทั้งอาหารอื่นที่มีหรือที่ได้จากสารอินทรีย์ได้ (ชื่นจิตร์ และคณะ, 2531; ธิดา, 2546; Ciferri, 1983) การนำสารอินทรีย์เพียงชนิดใดชนิดหนึ่งมาใช้ในการเพาะเลี้ยงสาหร่ายอาจมีสารอาหารที่สาหร่ายสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ในปริมาณความเข้มข้นต่ำ จึงอาจไม่เพียงพอต่อความต้องการ (สุริยา, 2551) สาหร่ายจึงเจริญอยู่ได้เพียงช่วงสั้นๆ ที่มาของอาหารที่หลากหลายและการจัดการวิธีการใช้จะสามารถทำให้การเลี้ยงสไปรูไลนาแบบอินทรีย์เป็นไปได้ (ประเสริฐ, 2548) การใช้สารอินทรีย์เพาะเลี้ยงสไปรูไลนาช่วยลดค่าใช้จ่ายของสารเคมีลง ทั้งยังเป็นการใช้ประโยชน์จากของเหลือใช้ (Becker and Venkataraman, 1982)

การเพาะเลี้ยงสไปรูไลนาในอาหารที่มีสารอินทรีย์ร่วมกับสารอนินทรีย์เป็นส่วนประกอบให้ผลผลิตสูงกว่าการเพาะเลี้ยงในสูตรอาหารที่มีสารอนินทรีย์เป็นส่วนประกอบเพียงอย่างเดียว (ชื่นจิตร์ และคณะ, 2531) น้ำหมักกากมูลจากวัสดุต่างชนิดกันก็มีลักษณะของอินทรีย์วัตถุแตกต่างกัน มูลไก่สามารถใช้เป็นปุ๋ยอินทรีย์ได้ดีมีธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม อยู่ในปริมาณ 10, 8 และ 4 kg/ton (ของเสีย) ตามลำดับ ผลผลิตของสไปรูไลนาสูงสุดเมื่อเพาะเลี้ยงในอาหารที่มีมูลไก่ 1% (v/v) ปุ๋ย 16-16-16 1 g/l โซเดียมไบคาร์บอเนต 5 g/l โซเดียมคลอไรด์ 10 g/l ความเป็นกรด-ด่าง 9 น้ำหมักมูลไก่เข้มข้นที่เจือจางด้วยน้ำบาดาลโดยไม่เติมสารอาหารเพิ่มเติมลงไปอีกสามารถใช้เพาะเลี้ยงสไปรูไลนาได้ และน้ำหมักมูลไก่ที่เจือจางเมื่อทดลองเติมโซเดียมไบคาร์บอเนต และเติมปุ๋ย 16:16:16: ทำให้สไปรูไลนา

เจริญเติบโตดียิ่งขึ้น (รัตนา และคณะ, 2546) การเพาะเลี้ยงสไปรูไลนาในน้ำหมักมูลวัวในระบบเปิด ความเป็นกรด-ด่าง 9.2 อุณหภูมิ 32 ^{0}C สไปรูไลนาเจริญได้ 3 g/l (Oron *et al*., 1979) สามารถใช้น้ำหมักกากมูล หรือ biogas effluent ทดแทนอาหารเคมีที่ใช้เพาะเลี้ยงสไปรูไลนาได้อย่างน้อยครึ่งหนึ่ง และยังสามารถใช้น้ำจากกองปลาสดทดแทนธาตุคาร์บอนสำหรับการเพาะเลี้ยงสไปรูไลนาได้บางส่วน ทำให้ลดต้นทุนส่วนที่เป็นสารเคมีหลักในสูตรอาหารได้ 50% ลดค่า COD ของน้ำจากกองหมักปลาสดที่เติมลงในบ่อลงถึง 81.50% ลดแอมโมเนียลงถึง 96.42% ในการใช้น้ำจากกองปลาสด 0.75 l/ปริมาณอาหาร 450 L สไปรูไลนามีการเจริญโดยการวัดปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ มีค่าเท่ากับ 0.556 mg/l/day แต่นับว่ายังมีการเจริญที่ต่ำเมื่อเทียบกับการใช้สารเคมี (สุชาติ และคณะ, 2531)

สไปรูไลนาความหนาแน่นเริ่มต้น 0.6 (OD, 560_{nm}) เจริญดีที่สุดเมื่อเพาะเลี้ยงในน้ำสกัดจากมูลหมูผสมมูลไก่ น้ำสกัดจากมูลวัว และน้ำสกัดจากมูลหมูผสมมูลวัว 12 g/l ความเป็นกรด-ด่าง 8 อุณหภูมิ 30-35 ^{0}C ได้รับแสงวันละ 16 ชั่วโมง เพาะเลี้ยงนาน 10 วัน ได้ผลผลิต 1.7, 1.5, 1.4 g/l (น้ำหนักแห้ง) ตามลำดับ (วิรัตน์, 2533) สไปรูไลนาที่เพาะเลี้ยงโดยใช้น้ำทิ้งฟาร์มสุกรที่มีความเป็นกรด-ด่าง 8-10 อุณหภูมิ 21-26 ^{0}C ความเข้มแสง 3,000-3,500 Lux เจริญได้ไม่แตกต่างกับสาหร่ายที่เพาะเลี้ยงในอาหารสูตร Zarrouk ได้น้ำหนักแห้งสูงสุด 0.67 และ 0.77 g/l ตามลำดับ (Olguín *et al*., 2001) สไปรูไลนาที่เพาะเลี้ยงโดยใช้น้ำทิ้งจากโรงงานผลิตแป้งสาคูที่มีปริมาณ C:N:P = 24: 0.14:1 ความเป็นกรด-ด่าง 9-10 ที่เติมโซเดียมคลอไรด์ 0.5 g/l โซเดียมไบคาร์บอเนต 9-15 g/l ได้ผลผลิต 0.588 g/l (น้ำหนักแห้ง) (Phang *et al*., 2000) สไปรูไลนาที่เพาะเลี้ยงในน้ำหมักมูลสุกรความเข้มข้น 2% (v/v) ที่เติมโซเดียมไบคาร์บอเนต 2 g/l ค่าความเป็นกรด-ด่าง 9.5±0.2 ได้ผลผลิตเฉลี่ยทั้งปี 11.8 g/m^{3}/day มีปริมาณโปรตีน 48.9% ปริมาณแอมโมเนียและฟอสฟอรัสเปลี่ยนแปลงไป 84.96 และ 72.87% ตามลำดับ (Olguín และคณะ, 2003)

นอกจากนี้ยังมีการทดลองอีกมากที่นำสารินทรีย์จากน้ำทิ้งที่เกี่ยวข้องกับการเกษตรและอุตสาหกรรมต่างๆ มาใช้ในการเพาะเลี้ยงสไปรูไลนา (ตารางที่ 2)

ตารางที่ 2 การเพาะเลี้ยงสไปรูไลนาโดยใช้สารอินทรีย์น้ำทิ้งจากการเกษตรและอุตสาหกรรมต่าง ๆ

แหล่งน้ำทิ้ง	ผู้แต่ง
น้ำเสียจากการผลิตกระดาษสา	พงษ์เทพ และอดิเรก (2539)
น้ำทิ้งโรงงานยางพารา	พิมพรรณ และอารักษ์ (2531)
น้ำทิ้งโรงงานแป้งมันสำปะหลัง	นฤมล และคณะ (2528); เพ็ญจันทร์ และคณะ (2534); Tanticharoen *et al*. (1993)
น้ำกากส่าเหล้า	วิลาสินี (2532)
น้ำกากส่าเหล้าผสมน้ำผักตบชวา	ณรงค์ (2535)
น้ำเวย์เต้าหู้	สถิต (2533)
วัสดุเหลือทิ้งจากกระบวนการผลิตถั่วเหลือง	จีระพรรณ (2536); สนอง และคณะ (2540)
น้ำทิ้งโรงงานวุ้นเส้น	สุขใจ และคณะ (2535)
น้ำทิ้งโรงงานฆ่าไก่	สุขใจและนวลพรรณ (2530)
น้ำทิ้งโรงงานขนมจีน	สุวิมล (2536); จีระพรรณ (2536); จีระพรรณ และคณะ (2540)
น้ำทิ้งแหล่งชุมชน	หยกแก้ว และคณะ (2540)
น้ำทิ้งโรงงานผลิตเส้นหมี่ก๋วยเตี๋ยว	จีระพรรณ (2536)
น้ำทิ้งโรงงานน้ำอัดลม	Boonme *et al*. (1991)
น้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำ	จารุวรรณ และมุกดา (2533)
น้ำเสียจากบ่อหมักก๊าซ	เจียมจิตต์ และคณะ (2538)

ที่มา : สรวิศ (2543)

1.3 วัตถุประสงค์ เพื่อศึกษา:

1) การศึกษาความเป็นไปได้ และผลของการใช้สารอินทรีย์ในท้องถิ่นบางชนิด เพื่อการเพาะเลี้ยง สไปรูไลนา เปรียบเทียบกับการใช้อาหาร Zarrouk
2) วิธีการจัดการปริมาณ และคุณภาพผลผลิตของสไปรูไลนาที่เพาะเลี้ยงในสารอินทรีย์

บทที่ 2

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ

2.1 วัสดุและอุปกรณ์ สำหรับ

2.1.1 การหมักวัสดุ ได้แก่

1) วัสดุหมักประเภทสัตว์
   (1) ปลาทู (*Rastrelliger brachysoma*) (ภาพที่ 1) ใช้เศษเหลือจากการทำปลาทูสด ได้แก่ เหงือก และอวัยวะภายใน
   (2) ปลานิล (*Oreochromis niloticus*) (ภาพที่ 2) ใช้เศษเหลือจากการทำปลานิลสด ได้แก่ เหงือก และอวัยวะภายใน
   (3) ปลากดหัวอ่อน (*Osteogeneiosus militarias*) (ภาพที่ 3) ใช้ปลาทั้งตัว
2) วัสดุหมักประเภทพืช
   (1) ย่าหยา (*Asystasia gangetica*) (ภาพที่ 4) ใช้ลำต้น ใบ และยอด
   (2) กระถิน (*Leucaena leucocephalade*) (ภาพที่ 5) ใช้ใบที่รวมก้านใบและยอด
   (3) มะละกอ (*Carica papaya*) (ภาพที่ 6) ใช้เฉพาะเปลือกมะละกอสุกที่เป็นเศษเหลือจากการตัดแต่ง
   (4) ผักโขม (*Amaranthus lividus*) (ภาพที่ 7) ใช้ลำต้น ใบ และยอด
3) วัสดุและอุปกรณ์สำหรับการหมัก ได้แก่ ถังพลาสติกขนาดจุ 6 L มีฝาปิด สายยาง น้ำตาลทรายแดง และน้ำกลั่น
4) วัสดุและอุปกรณ์สำหรับการชั่งน้ำหนัก-วัดปริมาตร ได้แก่ เครื่องชั่ง 2 ตำแหน่ง ปรอท บีกเกอร์ เครื่องวัดความเป็นกรด-ด่าง และกระบอกน้ำกลั่น

2.1.2 การเพาะเลี้ยงสไปรูไลนา ได้แก่

1) พันธุ์สาหร่าย *Spirulina platensis* ภาควิชาวาริชศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ จังหวัดสงขลา
2) วัสดุและอุปกรณ์สำหรับการเพาะเลี้ยง ได้แก่ ขวดพลาสติกใสขนาด 1.25 L โหลแก้วขนาด 12 L เครื่องให้อากาศ สายยาง และหัวทราย
3) สารเคมีสำหรับการเพาะเลี้ยงสไปรูไลนา ใช้อาหารสูตร Zarrouk (Ciferri and Tiboni, 1985 อ้างถึง Zarrouk, 1966)
4) วัสดุและอุปกรณ์สำหรับการชั่งน้ำหนัก-วัดปริมาตร ได้แก่ กระดาษกรอง ฟอยด์ เครื่องกรองสุญญากาศ ปากคีบ ตู้อบ เครื่องชั่ง 2 ตำแหน่ง และกระบอกตวง

5) อุปกรณ์สำหรับการเก็บรวมตัวอย่าง ได้แก่ กระชอนขนาดตากรอง 50 ไมครอน สวิงตาถี่ สายยาง และฟอยด์
6) เครื่องวัดความเข้มแสง
7) เครื่องแก้ว ได้แก่ บีกเกอร์ แท่งแก้วคนสาร ปิเปต และอุปกรณ์อื่นที่เกี่ยวข้อง

2.1.3 การตรวจคุณภาพน้ำ ได้แก่

1) สารเคมีสำหรับการวิเคราะห์หา ไนเตรท และไนไตรท์ แอมโมเนีย และออร์โธ-ฟอสเฟต (Boyd and Tucker, 1992)
2) เครื่องวัดการดูดกลืนแสง (Spectophotometer) และอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ Cuvette บีกเกอร์ หลอดหยด
3) กระดาษกรอง เบอร์ 42
4) เครื่องวัดความเป็นกรด-ด่าง
5) เทอร์โมมิเตอร์
6) น้ำกลั่น
7) วัสดุและอุปกรณ์สำหรับการชั่งน้ำหนัก-วัดปริมาตร ได้แก่ เครื่องชั่ง 2 และ 5 ตำแหน่ง ช้อนตักสาร บีกเกอร์ กระดาษชั่งน้ำหนัก
8) เครื่องแก้ว และอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ ขวดวัดปริมาตร บีกเกอร์ หลอดหยด ปิเปต ลูกยาง แท่งแก้วคนสาร หลอดทดลอง ขวดสีชา กระบอกตวง คอลัมน์พร้อมขาตั้ง

2.1.4 การตรวจวัดการเจริญของสาหร่าย ได้แก่

1) เครื่องวัดการดูดกลืนแสง และอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ Cuvette บีกเกอร์ หลอดหยด
2) เครื่องแก้ว และอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ บีกเกอร์ หลอดหยด
3) น้ำกลั่น
4) กระดาษกรอง เบอร์ 42

2.1.5 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของสไปรูไลนา (AOAC, 1995) ได้แก่

1) ความชื้น ประกอบด้วย ขวดชั่ง ตู้อบ โถดูดความชื้น เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง
2) เถ้า ประกอบด้วย ถ้วยกระเบื้องเคลือบ เตาเผา โถอบแห้ง และเครื่องชั่งไฟฟ้า
3) โปรตีน ประกอบด้วย เครื่องย่อย (Gerhardt, Kjeldatherm, Germany) เครื่องกลั่น (Gerhardt, Vapodest, Germany) หลอดย่อยโปรตีน กระบอกตวง บีกเกอร์ ปิเปต ขวดรูปชมพู่

4) ไขมัน ได้แก่ ชุดเครื่องมือวิเคราะห์ไขมัน (Soxtec System HT, Sweden) ไส้กรองสาร (thimble) ถ้วยสกัดสาร ตู้อบ โถดูดความชื้น เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง ลูกแก้ว
5) เยื่อใย ประกอบด้วย ชุดเครื่องมือวิเคราะห์เยื่อใย (M 1020 Hot extractor, FOSS Tecator, Sweden) ถ้วยกระเบื้องเคลือบ ตู้อบ โถดูดความชื้น เตาเผา เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง บีกเกอร์
6) รงควัตถุ ได้แก่ เครื่องวัดการดูดกลืนแสง และอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้อง กระดาษกรอง เครื่องเซนตริฟิวจ์ ปากคีบ หลอดเซนตริฟิวจ์

2.2 การเตรียมการทดลอง

2.2.1 การเตรียมอาหารทดลอง

1) อาหารอินทรีย์

หั่นวัสดุต่างๆ (ปลาทู ปลากดหัวอ่อน ปลานิล ย่าหยา มะละกอ กระถิน และผักโขม) เป็นชิ้นเล็กๆ แบ่งส่วนหนึ่งไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 $^{\circ}$C เพื่อใช้สำหรับวิเคราะห์หาปริมาณ N, P และ K ดังผลที่แสดงในตารางที่ 3 วัสดุสดส่วนที่เหลือนำไปหมักในถังพลาสติกขนาด 6 L ชนิดละ 3 kg ด้วยกระบวนการหมักแบบไม่มีอากาศภายใต้สภาวะธรรมชาติ กลางแจ้ง ใช้อัตราส่วนวัสดุ: น้ำ : น้ำตาลทรายแดง = 1: 1: 0.1 (w/v/w) (Schroeder, 2004) หมักวัสดุนาน 30 วัน เมื่อหมักครบกำหนดกรองน้ำหมักจากวัสดุหมักทุกชนิดด้วยผ้าขาวบาง น้ำหมักที่ได้เป็นความเข้มข้น 100 % นำไปวิเคราะห์หาปริมาณ N, P และ K ผลแสดงในตารางที่ 3 น้ำหมักส่วนที่เหลือเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 4 ^{0}C สำหรับทดลองต่อไป เมื่อจะทำการทดลองจึงทำการเจือจางน้ำหมัก 100% ที่เตรียมไว้ด้วยน้ำประปาที่พักให้อากาศไว้อย่างน้อย 3 วัน ให้มีความเข้มข้นตามที่กำหนด

ภาพที่ 1 ปลาทู (*R. brachysoma*)

ภาพที่ 2 ปลานิล (*O. niloticus*)

ภาพที่ 3 ปลากดหัวอ่อน (*O. militarias*)

ภาพที่ 4 ย่าหยา (*A. gangetica*)

ภาพที่ 5 กระถิน *(L. leucocephalade*)

ภาพที่ 6 มะละกอ (*C. papaya*)

ภาพที่ 7 ผักโขม (*A. lividus*)

ตารางที่ 3 ส่วนประกอบของวัสดุและน้ำหมัก 100%

ธาตุอาหาร	Total N		Total P		K	
	วัตถุดิบ (w/v)	น้ำหมัก (w/v)	วัตถุดิบ (w/v)	น้ำหมัก (ppm)	วัตถุดิบ (w/v)	น้ำหมัก (w/v)
ปลานิล	7.65±0.01	0.99±0	0.84±0.01	2,123.09±14.86	0.65±0	0.14±0
ปลาทู	7.35±0.01	1.43±0	3.22±0	3,147.85±7.43	0.69±0	0.19±0
ปลากด	5.69	1.80	3.81	1378.60	0.63	0.18
ย่าหยา	3.67±0	0.02±0	0.29±0	123.50±3.71	5.80±0.01	0.42±0.01
มะละกอ	2.41±0.01	0.06±0	0.80±0	415.16±7.43	3.23±0.03	0.21±0
กระถิน	4.87±0.01	0.12±0	0.21±0	139.97±3.88	1.68±0	0.18±0.01

2) การเตรียมอาหารสูตร Zarrouk

เตรียมสารละลายตั้งต้น (stock solution) ของสารเคมีแต่ละชนิดของอาหารทดลองสูตร Zarrouk (Ciferri and Tiboni, 1985 อ้างถึง Zarrouk, 1966) รวมทั้งสารละลาย A5 และ B6 (ภาคผนวก) ในน้ำประปาที่พักให้อากาศไว้แล้วอย่างน้อย 3 วัน เมื่อต้องการใช้จึงนำมารวมกันตามปริมาตรที่กำหนดจากน้ำหนักสารตามสูตร แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำตามที่ระบุในสูตร

3) การเตรียมอาหารสูตร Zarrouk (ดัดแปลง) 100% (ภาคผนวก)

อาหารสูตร Zarrouk (ดัดแปลง) 100% หมายถึงอาหารทดลองที่ใช้ส่วนประกอบหลัก 9 ชนิด (ส่วนประกอบในข้อ 2 ของอาหารสูตร Zarrouk (Ciferri and Tiboni, 1985 อ้างถึง Zarrouk, 1966) ไม่มีสารละลาย A5 และ B6 (การเตรียมทำในทำนองเดียวกับข้อ 2)

4) อาหารอย่างง่าย (simple media, SM)

อาหารอย่างง่ายประกอบด้วยส่วนประกอบหลัก 3 ชนิดจากอาหารสูตร Zarrouk (Venkataraman, 1983) ได้แก่ โซเดียมไบคาร์บอเนต 16.8 g/l โซเดียมไนเตรท 2.5 g/l และไดโพแทสเซียมไฮโดรเจนฟอสเฟต 0.5 g/l ละลายสารเคมีทั้ง 3 ชนิดในน้ำประปาที่พักให้อากาศไว้แล้วอย่างน้อย 3 วัน คนจนสารทุกชนิดละลายเข้าเป็นเนื้อเดียวกันหมดก่อนเติมน้ำให้ครบปริมาตรตามที่กำหนด

2.2.2 การเตรียมพันธุ์สไปรูไลนา

เพาะขยายพันธุ์สาหร่าย *S. platensis* ในอาหารอย่างง่ายความเข้มข้น 50% ปริมาตร 30 L จำนวน 6 ถัง ใช้สไปรูไลนาในระยะ log phase (ก่อนวันที่มีความหนาแน่นสูงสุด 1 วัน) สำหรับการทดลองต่อไป

2.3 การดำเนินการวิจัย

2.3.1 การวางแผนการทดลอง และการวิเคราะห์ผล

การวิจัยครั้งนี้ประกอบด้วย 4 การทดลอง ในทุกทดลองวางแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด (Completely randomized design ,CRD) (ไพศาล, 2547) มีจำนวนซ้ำ 4 ซ้ำ วิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จาการทดลองด้วย One-Way ANOVA (Analysis of Variance, ไพศาล, 2547) เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างชุดการทดลองด้วย Duncan's new multiple range test (DMRT) (Duncan, 1992) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (กัลยา, 2548)

2.3.2 กาหารทดลอง

การวิจัยเรื่องนี้ประกอบด้วยการทดลองรวม 5 การทดลอง ได้แก่

1) การทดลองเบื้องต้น
2) การทดลองที่ 1 เรื่อง การเพาะเลี้ยงสไปรูไลนาในอาหารอินทรีย์เปรียบเทียบกับอาหารสูตร Zarrouk
3) การทดลองที่ 2 เรื่อง การเพาะเลี้ยงสไปรูไลนาในอาหารอินทรีย์แบบต่อเนื่องเปรียบเทียบกับอาหารสูตร Zarrouk
4) การทดลองที่ 3 เรื่อง การเพาะเลี้ยงสไปรูไลนาในน้ำหมักอินทรีย์ผสม I
5) การทดลองที่ 4 เรื่อง การเพาะเลี้ยงสไปรูไลนาในน้ำหมักอินทรีย์ผสม II

บทที่ 3

การทดลองเบื้องต้น

3.1 บทนำ

การย่อยของสลายสารอินทรีย์เป็นที่มาของธาตุอาหารต่างๆ ที่จำเป็นสำหรับการเจริญเติบโตของพืช (ประเสริฐ, 2548) พืชทั่วไปเจริญได้ดีในที่ที่มีวัสดุอินทรีย์ย่อยสลาย (รัชนี, 2548) ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรม วัสดุอินทรีย์จึงเป็นสิ่งที่สามารถจัดหาได้ง่ายในท้องถิ่นทั่วไป หลายชนิดเป็นสิ่งที่เหลือจากกระบวนการผลิตต่างๆ (พิมพรรณ และอารักษ์, 2531) วัสดุอินทรีย์ต่างชนิดเมื่อผ่านกระบวนการย่อยสลายมีคุณสมบัติที่แตกต่างกัน (วรรณ-ลดา, 2546) น้ำหมักอินทรีย์สามารถให้สารอาหารสำหรับการเจริญของพืชได้ดี จึงควรที่จะสามารถนำมาใช้สำหรับการเพาะเลี้ยงสไปรูไลนาได้ดีเช่นเดียวกัน การทดลองนี้จะศึกษาความเป็นไปได้ในการเจริญของสไปรูไลนาในอาหารเพาะเลี้ยงที่ใช้น้ำหมักอินทรีย์ที่ทำจากวัสดุชนิดต่างๆที่หาได้ง่ายในท้องถิ่น เพื่อที่จะเป็นอีกแนวทางหนึ่งสำหรับการพัฒนาการเพาะเลี้ยงสไปรูไลนาที่จะสามารถทำได้ง่าย และมีประสิทธิภาพต่อไป

3.2 วัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาเกี่ยวกับ

1. ชนิดของวัสดุอินทรีย์ที่สามารถนำน้ำหมักมาใช้สำหรับการเพาะเลี้ยงสไปรูไลนาได้
2. ระดับความเข้มข้นที่เหมาะสมของน้ำหมักจากวัสดุอินทรีย์ที่สไปรูไลนาสามารถเจริญได้

3.3 วิธีดำเนินการ

เพาะเลี้ยงสไปรูไลนาความหนาแน่นเริ่มต้น 0.5 (OD, 560_{nm}) (Lamela and Marquez-Rocha, 2000) ในน้ำหมักปลาทู น้ำหมักปลานิล น้ำหมักย่าหยา และน้ำหมักมะละกอ แต่ละชนิดใช้ความเข้มข้น 0.1, 0.5, 1.0 และ 2.0% (wt/v) เปรียบเทียบกับการเพาะเลี้ยงในอาหาร Zarrouk สูตรดัดแปลงความเข้มข้น 50% ในปริมาตรรวม 1 L ชุดการทดลองละ 3 ซ้ำ ในสภาวะกึ่งธรรมชาติที่ได้รับแสง 1,000->50,000 Lux ระหว่างเวลา 07.00-17.30 น. เพาะเลี้ยงจนกระทั่งความหนาแน่นของสไปรูไลนาลดลงเป็นวันที่สองจึงยุติการทดลอง ในระหว่างการทดลองทำการตรวจวัดปริมาณสาหร่ายด้วยการวัดความดูดกลืนแสง (OD, 560_{nm}) วัดอุณหภูมิ ค่าความเป็นกรด-ด่าง วันละครั้งระหว่างเวลา 08.00-09.30 น. ตรวจวัดปริมาณธาตุอาหาร ได้แก่ ไนเตรท ไนไตรท์ แอมโมเนีย และออร์โธฟอสเฟต ทุกๆ 2 วัน จนกระทั่งยุติการทดลอง ใช้ชนิดและความเข้มข้นของน้ำหมักที่สไปรูไลนาเจริญได้ดีสำหรับการเพาะเลี้ยงในการทดลองต่อไป

3.4 ผลการทดลอง

การเจริญของสไปรูไลนา (ภาพที่ 8; ตารางที่ 4)

สไปรูไลนาที่เพาะเลี้ยงในอาหาร Zarrouk สูตรดัดแปลง ความเข้มข้น 50% เจริญได้ดีกว่าสไปรูไลนาที่เพาะเลี้ยงในอาหารอินทรีย์ทุกชนิดและทุกความเข้มข้น และใช้ระยะเวลาในการเจริญนานกว่าอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p<0.01$) สไปรูไลนาในอาหาร Zarrouk สูตรดัดแปลง 50% เจริญได้ความหนาแน่นสูงที่สุด 3.23±0.16 (OD, 560_{nm}) ในเวลา 13.67±0.58 วัน ในอาหารอินทรีย์ที่ได้จากวัสดุชนิดเดียวกันต่างความเข้มข้น และอาหารต่างชนิดที่มีความเข้มข้นเท่ากัน สไปรูไลนาเจริญได้ความหนาแน่นสูงที่สุด 0.78±0.07-2.33±0.11 ในเวลาเฉลี่ย 2.67±0.58-10.67±0.58 วัน ซึ่งส่วนมากแตกต่างกันทางสถิติ ดังรายละเอียดต่อไปนี้

ก. ในอาหารอินทรีย์จากวัสดุชนิดเดียวกัน ต่างความเข้มข้น

สไปรูไลนาที่เพาะเลี้ยงในน้ำหมักปลานิล และมะละกอเจริญได้ความหนาแน่นและในเวลาไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) ในน้ำหมักปลานิลความเข้มข้น 0.1-1.0% สไปรูไลนาเจริญได้ความหนาแน่น 1.31±0.12-1.52±0.20 ในเวลา 4.67±0.58-7.00±0 วัน และไม่เจริญในอาหารที่มีปลานิลความเข้มข้น 2.0% ในอาหารที่มีน้ำหมักจากมะละกอ สไปรูไลนาเจริญได้ความหนาแน่น 1.03±0.33-1.58±0.57 ในเวลา 7.33±0.8-8.33±2.89 วัน

ในน้ำหมักปลาทูและย่าหยา สไปรูไลนาเจริญได้ความหนาแน่นและใช้ระยะเวลาแตกต่างกันทางสถิติ ในอาหารที่มีน้ำหมักปลาทูความเข้มข้นต่ำกว่าเจริญได้ดีกว่าเมื่อมีความเข้มข้นที่สูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญ ในน้ำหมักปลาทู 0.1% สไปรูไลนาใช้ระยะเวลาในการเจริญเฉลี่ยนานที่สุด 10.33±0.58 วัน รองลงมาคือในน้ำหมักความเข้มข้น 0.5 และ 1.0% สไปรูไลนาใช้เจริญมากที่สุดในเวลา 5.67±0.58 วัน และ 2.67±0.58 วัน ตามลำดับ สไปรูไลนาไม่เจริญในอาหารที่มีน้ำหมักปลาทู 2.0% ในน้ำหมักย่าหยา 0.1 และ 1.0% สไปรูไลนาเจริญได้ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) ในอาหารมีน้ำหมักย่าหยา 0.5 และ 2.0% สไปรูไลนาเจริญได้ต่ำกว่าความเข้มข้นอื่นอย่างมีนัยสำคัญ สไปรูไลนาที่เพาะเลี้ยงในน้ำหมักย่าหยา 1.0% ใช้ระยะเวลาในการเจริญเฉลี่ยนานกว่าสไปรูไลนาที่เพาะเลี้ยงในอาหารทดลองชุดที่เหลืออย่างมีนัยสำคัญคือ 10.67±0.58 วัน สไปรูไลนาใช้เวลาในการเจริญเฉลี่ยไม่แตกต่างกันทางสถิติคือ 5-8 วัน เมื่อในอาหารมีน้ำหมักย่าหยา 0.1, 0.5 และ 2.0%

ข. ในอาหารอินทรีย์จากวัสดุต่างชนิด ความเข้มข้นเท่ากัน

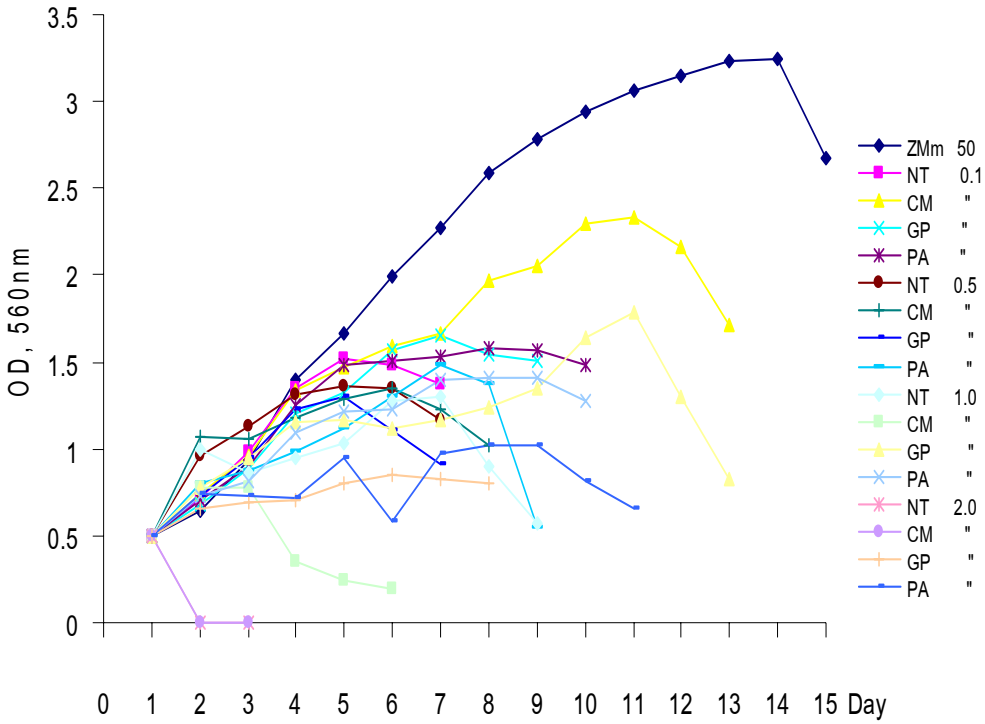
อาหารความเข้มข้น 0.1% สไปรูไลนาในอาหารที่มีน้ำหมักปลาทูเจริญได้ดีกว่า และใช้ระยะเวลานานกว่าสไปรูไลนาที่เพาะเลี้ยงในอาหารชนิดอื่นที่เหลืออย่างมีนัยสำคัญ สไปรูไลนาที่เพาะเลี้ยงในน้ำหมักปลาทู 0.1% เจริญได้ความหนาแน่นเฉลี่ย 2.33±0.107 ในเวลาเฉลี่ย 10.33±0.58 วัน ในอาหารที่มีในน้ำหมักจากย่าหยา มะละกอ และปลานิล 0.1% เจริญไม่

แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) ได้ความหนาแน่นเฉลี่ย 1.52±0.20-1.65±0.08 ในเวลา 8.33±2.89-5.67±0.58 วัน

อาหารความเข้มข้น 0.5% ในอาหารจากวัสดุอินทรีย์ทั้ง 4 ชนิด สไปรูไลนาเจริญได้ไม่แตกต่างกันทางสถิติ คือ 1.30±0.06-1.48±0.28 แต่ใช้ระยะเวลาแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ สไปรูไลนาที่เพาะเลี้ยงในอาหารที่มีมะละกอใช้ระยะเวลาในการเจริญ 7.33±0.58 วัน ยาวนานกว่าสไปรูไลนาที่เพาะเลี้ยงในอาหารอินทรีย์ชนิดอื่นที่เหลืออย่างมีนัยสำคัญคือ 4.67±1.53-5.67±0.58 วัน

อาหารความเข้มข้น 1.0% สไปรูไลนาที่เพาะเลี้ยงในอาหารจากวัสดุอินทรีย์ทั้ง 4 ชนิด เจริญได้ความหนาแน่นมากที่สุด และใช้ระยะเวลาในการเจริญแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ในอาหารที่มีย่าหยา 1.0% สไปรูไลนาเจริญดีกว่าในอาหารอินทรีย์อีก 3 ชนิด อย่างมีนัยสำคัญ ได้ความหนาแน่นสูงที่สุด 1.79±0.30 ในเวลาเฉลี่ย 10.67±0.58 วัน ในอาหารที่มีน้ำหมักมะละกอ และปลานิล 1.0% สไปรูไลนาเจริญได้และใช้ระยะเวลาไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) ได้ความหนาแน่น 1.31±0.20 และ 1.40±0.19 ใช้ระยะเวลา 7.00±0.00 และ 8.33±1.15 วันตามลำดับ ในอาหารที่มีปลาทู 1.0% สไปรูไลนาเจริญได้ต่ำกว่าในอาหารอื่นทุกชนิดและสามารถเจริญอยู่ได้ในเวลาที่สั้นกว่าในชุดการทดลองอื่นทางสถิติ

อาหารความเข้มข้น 2.0% ในอาหารที่มีน้ำหมักปลานิล และปลาทูความเข้มข้น 2.0% สไปรูไลนาไม่มีการเจริญตั้งแต่เริ่มต้นการทดลอง ส่วนในอาหารเพาะเลี้ยงที่มีน้ำหมักมะละกอและย่าหยา สไปรูไลนาเจริญได้ 0.85±0.22-1.03±0.33 ซึ่งไม่แตกต่างกันทางสถิติ แต่ใช้ระยะเวลาแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ คือ 8.33±0.58 วัน และ 5.67±1.53 วัน ตามลำดับ



ภาพที่ 8 การเจริญของสไปรูไลนา (mean±SD, OD, 560_{nm}) ที่เพาะเลี้ยงในอาหาร Zarrouk สูตรดัดแปลง 50% และน้ำหมักจากปลานิล ปลาทู ย่าหยา และมะละกอ ความเข้มข้น 0.1, 0.5, 1.0 และ 2.0%

ตารางที่ 4 ความหนาแน่นสูงที่สุด (ODmax, mean±SD, OD, 560_{nm}) และระยะเวลาที่ใช้ในการเจริญ (Dmax, mean±SD, วัน) ของสไปรูไลนาที่เพาะเลี้ยงในอาหาร Zarrouk สูตรดัดแปลง 50% และน้ำหมัก 4 ชนิด ความเข้มข้น 0.1, 0.5, 1.0 และ 2.0%

ก. อาหารจากวัสดุชนิดเดียวกันต่างความเข้มข้น ข. อาหารจากวัสดุต่างชนิด เข้มข้นเท่ากัน

ชุดการทดลอง		ODmax*	Dmax*	ชุดการทดลอง		ODmax*	Dmax*
ZMm	50	3.24±0.14^{b}	13.67±0.58^{c}	ZMm	50	3.24±0.14^{c}	13.67±0.58^{c}
NT	0.1	1.52±0.20^{a}	5.67±0.58^{ab}	NT	0.1	1.52±0.20^{a}	5.67±0.58^{a}
”	0.5	1.36±0.51^{a}	4.67±1.53^{a}	CM	”	2.33±0.11^{b}	10.33±0.58^{b}
”	1.0	1.31±0.20^{a}	7.00±0.00^{b}	GP	”	1.66±0.08^{a}	8.00±1.00^{a}
”	2.0	-	-	PA	”	1.58±0.57^{a}	8.33±2.89^{a}
ZMm	50	3.24±0.14^{d}	13.67±0.58^{d}	ZMm	50	3.24±0.14^{b}	13.67±0.58^{c}
CM	0.1	2.33±0.11^{c}	10.33±0.58^{c}	NT	0.5	1.36±0.51^{a}	4.67±1.53^{a}
”	0.5	1.35±0.55^{b}	5.67±0.58^{b}	CM	”	1.35±0.55^{a}	5.67±0.58^{a}
”	1.0	0.78±0.07^{a}	2.67±0.58^{a}	GP	”	1.30±0.06^{a}	5.00±0.00^{a}
”	2.0	-	-	PA	”	1.48±0.28^{a}	7.33±0.58^{b}
ZMm	50	3.24±0.14^{d}	13.67±0.58^{d}	ZMm	50	3.24±0.14^{d}	13.67±0.58^{e}
GP	0.1	1.66±0.08^{c}	8.00±1.00^{b}	NT	1.0	1.31±0.20^{b}	7.00±0.00^{b}
”	0.5	1.30±0.06^{b}	5.00±0.00^{a}	CM	”	0.78±0.070^{a}	2.67±0.58^{a}
”	1.0	1.79±0.30^{c}	10.67±0.58^{c}	GP	”	1.79±0.30^{c}	10.67±0.58^{d}
”	2.0	0.85±0.22^{a}	5.67±1.53^{a}	PA	”	1.40±0.19^{b}	8.33±1.15^{c}
ZMm	50	3.24±0.14^{b}	13.67±0.58^{b}	ZMm	50	3.24±0.14^{b}	13.67±0.58^{c}
PA	0.1	1.58±0.57^{a}	8.33±2.89^{a}	NT	2.0	-	-
”	0.5	1.48±0.28^{a}	7.33±0.58^{a}	CM	”	-	-
”	1.0	1.40±0.19^{a}	8.33±1.15^{a}	GP	”	0.85±0.22^{a}	5.67±1.53^{a}
”	2.0	1.03±0.33^{a}	8.33±0.58^{a}	PA	”	1.03±0.33^{a}	8.33±0.58^{b}

หมายเหตุ

1. ZMm 50 = อาหาร Zarrouk สูตรดัดแปลงความเข้มข้น 50% ; CM = ปลาทู; NT = ปลานิล; GP = ย่าหยา; PA = มะละกอ
2. เปรียบเทียบเฉพาะในแนวตั้งเดียวกัน; ** แตกต่างกันทางสถิติ, $p<0.01$; ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรต่างกันกำกับแตกต่างกันทางสถิติ
3. – สาหร่ายไม่เจริญ

3.5 วิจารณ์

ถึงแม้ว่าสไปรูไลนาจะสามารถเจริญได้ในอาหารหลายประเภททั้งอาหารอินทรีย์และอาหารอนินทรีย์ได้ดี (ชื่นจิตร์, 2530; Lodi, 2005) แต่อาหารอินทรีย์มีธาตุอาหารจำเป็นในปริมาณที่จำกัดมาก (ประเสริฐ, 2548; ชวนพิศ และคณะ, 2547)

การใช้น้ำหมักสำหรับการเพาะเลี้ยงสไปรูไลนา ไม่สามารถใช้น้ำหมักปริมาณมากขึ้นเพื่อให้ในอาหารมีปริมาณสารอาหารตามที่ต้องการได้ แม้ต้องการให้ในอาหารเพาะเลี้ยงมีสารอาหารปริมาณมากขึ้นตามที่มีการระบุปริมาณในเอกสารต่างๆ (Yang *et al.*, 2008)

ผลจากการทดลองเบื้องต้นนี้ สไปรูไลนาไม่เจริญ จนกระทั่งตายเมื่อในอาหารเพาะเลี้ยงมีน้ำหมักที่ได้จากการหมักวัสดุอินทรีย์ในปริมาณที่มากกว่า 2.0% (v/v) การเพาะเลี้ยงสไปรูไลนาในอาหารที่ใช้น้ำหมักปลาทู และน้ำหมักปลานิลความเข้มข้น 2% เซลล์ สไปรูไลนาเกิดอาการสีซีดจางตั้งแต่วันแรกที่ทำการเพาะเลี้ยง และเซลล์สไปรูไลนาทั้งหมดสลายตัวในที่สุดในวันต่อๆ มา ผลจากการใช้น้ำหมักย่าหยา มะละกอ ปลาทู และปลานิลความเข้มข้นต่ำกว่า คือ 0.5 และ 1% สไปรูไลนาสามารถเจริญได้ปกติ van Eykelenberg (1979) รายงานไว้ว่า หากมีปริมาณไนเตรทในอาหารต่ำกว่า 42 mg/l สไปรูไลนาที่เพาะเลี้ยงจะเกิดการจางสี (chlorosis) ภายในเวลา 2-3 วัน จึงไม่สัมพันธ์กับสิ่งที่พบในการทดลองนี้ เนื่องจากในอาหารอินทรีย์ทุกความเข้มข้นที่ใช้มีไนเตรทต่ำกว่าปริมาณที่ระบุข้างต้นมากแต่สไปรูไลนาเจริญได้ปกติ

การใช้ความเข้มข้นของน้ำหมักทั้งจากวัสดุพืช และสัตว์ที่เพิ่มมากขึ้น ทำให้การเจริญของสไปรูไลนาลดลง และตายเมื่อน้ำหมักมีปริมาณน้ำหมักเพิ่มมากขึ้นถึงความเข้มข้น 2.0% สไปรูไลนาที่เพาะเลี้ยงในน้ำหมักความเข้มข้นต่ำเท่านั้นที่เจริญได้อย่างปกติ ณ ขณะนี้ยังไม่สามารถสรุปได้ว่าเนื่องมาจากสาเหตุใดแน่นอน ความเป็นไปได้มีดังต่อไปนี้คือ

1. ในน้ำหมักอินทรีย์มีสารบางอย่างที่ยับยั้งการเจริญของ สไปรูไลนา (depressive factor/ growth inhibiting agents) หรืออาจเนื่องมาจากการเกิดปรากฏการณ์ allelopathy (Rizvi *et al*., 1999) ซึ่งจะแสดงผลยับยั้งชัดเจนเมื่อมีปริมาณสูงระดับหนึ่งที่มาจากปริมาณน้ำหมักที่ใช้เพิ่มมากขึ้นเท่านั้น ดังที่พบการยับยั้งการเจริญของสไปรูไลนาเมื่อใช้น้ำหมักอินทรีย์ทุกชนิดในการทดลองนี้ มากน้อยตามชนิดของวัสดุ น้ำหมักที่ได้จากวัสดุที่มาจากพืชแสดงฤทธิ์ยับยั้งต่ำกว่าที่ได้จากสัตว์เล็กน้อย Roger and Kulasooriya (1980) เคยรายงานว่า ในปุ๋ยอินทรีย์มีสารที่เป็นตัวทำให้สาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียวในนาไม่เจริญ มีรายงานว่า สารสกัดจากสไปรูไลนาที่สกัดด้วยน้ำ 0.625–5% ที่สกัดด้วยตัวทำละลาย ความเข้มข้น 250–4,000 ppm ทำให้เกิดการยับยั้งการงอกและการเจริญของพืชใบเลี้ยงคู่บางชนิด เช่น มัสตาดจีน (*Brassica campestris* var. *chinensis*) ผักขมสวน *Amaranthus tricolor* (Charoenying *et al.,* 2010)

2. วัสดุที่นำมาใช้ทำปุ๋ยอินทรีย์ในการทดลอง เป็นวัสดุที่ได้จากธรรมชาติ และจากท้องตลาดอาจมีการปนเปื้อนยากำจัดวัชพืช หรือยาปราบศัตรูพืช Gressel (2000) รายงานว่า การใช้ยากำจัดวัชพืชทำให้เกิดการยับยั้งการสังเคราะห์แสงของพืช ทำให้พืชไม่เจริญเติบโต

3. สารอินทรีย์หลายชนิดโดยเฉพาะอย่างยิ่งอินทรีย์คาร์บอนทำให้อัตราส่วนระหว่างคลอโรฟิลล์ a และ c ลดลง ทำให้กระบวนการสังเคราะห์แสงเกิดได้ต่ำลง (Liu *et al*., 2009) ทำให้พืชตายได้ในที่สุด

3.6 สรุป

1. สไปรูไลนาเจริญได้ในอาหารเพาะเลี้ยงที่ประกอบด้วยน้ำหมักจากวัสดุอินทรีย์ทุกชนิด
2. สไปรูไลนาเจริญได้ดีในน้ำหมักเกือบทุกชนิดที่มีความเข้มข้น 0.1% ในน้ำหมักทุกชนิดความเข้มข้น 0.5% สไปรูไลนาเจริญได้ลดต่ำลง

ในการทดลองต่อไป (การทดลองที่ 1) จึงเลือกใช้น้ำหมักทุกชนิดที่ใช้ในการทดลองนี้ใช้ความเข้มข้นต่ำกว่า 0.5% คือ 0.3% สำหรับการเพาะเลี้ยงสไปรูไลนา

บทที่ 4

การทดลองที่ 1

4.1 บทนำ

การเจริญของสไปรูไลนาขึ้นอยู่กับปัจจัยสิ่งแวดล้อม และอาหารเป็นสำคัญ (Boussiba and Richmond, 1980; Sánchez-Luna *et al*., 2004) สารอาหารหลักมีความจำเป็นอย่างยิ่งในการเจริญของสไปรูไลนา (Healey, 1973) แม้ว่าการย่อยสลายวัสดุอินทรีย์โดยทั่วไปได้ปริมาณสารอาหารหลักในปริมาณต่ำมาก แต่การย่อยสลายสารอินทรีย์ได้ trace elements ที่เป็น growth promoting factor ที่สำคัญหลายชนิด (สมบูรณ์ และคณะ, 2543; ประเสริฐ, 2548) คุณสมบัติของน้ำหมักจากวัสดุอินทรีย์ต่างชนิดมีความแตกต่างกัน (วรรณลดา, 2546) วัสดุอินทรีย์ที่เลือกมาใช้ในการศึกษาครั้งนี้มีทั้งที่ได้จากพืช ได้แก่ มะละกอ ย่าหยา และกระถิน และจากสัตว์ได้แก่ ปลาทู ปลานิล และปลากดหัวอ่อน การเลือกใช้ปลาเป็นหลักมีเหตุผลเนื่องมาจากมีปริมาณไนโตรเจน สูงกว่าพืชชนิดต่าง ๆ ผลจากการทดลองเบื้องต้นที่พบว่าสไปรูไลนาสามารถเจริญในอาหารเพาะเลี้ยงที่ประกอบด้วยน้ำหมักจากการหมักวัสดุอินทรีย์ (วัสดุ: น้ำ : น้ำตาลทรายแดง = 1: 1: 0.1, w/v/w, Schroeder, 2004) ที่มีความเข้มข้นต่ำมากและค่อนข้างจำกัด เป็นที่มาของการกำหนดความเข้มข้นของน้ำหมักที่ได้จากการหมักวัสดุที่คัดเลือกไว้ข้างต้น การที่จะสามารถกำหนดระดับความเข้มข้นของน้ำหมักจากวัสดุอินทรีย์แต่ละชนิดสำหรับการนำไปใช้เพาะเลี้ยงสไปรูไลนาที่จะทำให้ได้ผลผลิตไปรูไลนาที่เป็นสไปรูไล-นาอินทรีย์ได้อย่างเหมาะสม จะเป็นแนวทางให้การเพาะเลี้ยงสไปรูไลนาด้วยอาหารอินทรีย์ที่มีอยู่ในท้องถิ่นสามารถนำไปปฏิบัติได้จริง การเพาะเลี้ยงสไปรูไลนาจะเป็นไปได้ง่าย และเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมมากขึ้น

4.2 วัตถุประสงค์ เพื่อศึกษา

1. การเจริญของสไปรูไลนาที่เพาะเลี้ยงในน้ำหมักจากวัสดุอินทรีย์ต่างชนิด และต่างความเข้มข้น เปรียบเทียบกับอาหารสูตร Zarrouk
2. ปริมาณธาตุอาหารหลักในระหว่างการเพาะเลี้ยงสไปรูไลนาในทุกอาหารสูตร

4.3 วิธีดำเนินการ

เพาะเลี้ยงสไปรูไลนาความหนาแน่นเริ่มต้น 0.5 (OD, 560_{nm}) (Lamela and Marquez-Rocha, 2000) ปริมาตร 1 L ชุดการทดลองละ 4 ซ้ำ ในอาหารสูตร Zarrouk เปรียบเทียบกับอาหาร Zarrouk สูตรดัดแปลงความเข้มข้น 100% และน้ำหมักปลาทู ปลากด ย่าหยา มะละกอ กระถิน และผักโขมความเข้มข้น 0.1 และ 0.3% ในสภาวะกึ่งธรรมชาติที่

ได้รับแสง 3,000-16,000 Lux อุณหภูมิ 33-36 ^{o}C ความเป็นกรด-ด่าง 8.5 -10.90 เพาะเลี้ยงจนกระทั่งความหนาแน่นของสไปรูไลนาลดลงเป็นวันที่สองจึงยุติการทดลอง ในระหว่างการทดลองทำการตรวจวัด

(1) การเจริญของสไปรูไลนา (OD, 560_{nm}) และน้ำหนักแห้งทุกวันๆ ละครั้ง ในเวลา 9.00 น.

(2) อุณหภูมิอากาศและน้ำ ค่าความเป็นกรด-ด่าง และความเข้มของแสงทุกวันๆ วันละครั้ง ในเวลา 12.00 น.

(3) ปริมาณไนเตรท ไนไตรท์ แอมโมเนีย และออร์โธฟอสเฟต (Boyd and Tucker, 1992) ทุกๆ 2 วัน ในเวลา 9.00 น.

4.4 ผลการทดลอง

การเจริญของสไปรูไลนา (ตารางที่ 6; ภาพที่ 9)

การใช้อาหารสูตร Zarrouk สูตรปกติ Zarrouk สูตรดัดแปลง น้ำหมักจากปลากด ปลาทู มะละกอ ย่าหยา กระถิน และผักโขม ความเข้มข้น 0.1 และ 0.3% รวม 14 ชุดการทดลอง เพาะเลี้ยงสไปรูไลนาความหนาแน่นเริ่มต้น 0.5 (OD, 560_{nm}) ได้รับแสงที่มีความเข้ม 3,000-16,000 Lux ระหว่างเวลา 07.00-17.30 น. อุณหภูมิ 33-36 ^{0}C ความเป็นกรด-ด่างเมื่อ 8.5-10.90 และให้อากาศตลอดเวลา เจริญได้ความหนาแน่นมากที่สุด มีน้ำหนักแห้ง และใช้ระยะเวลาแตกต่างกันทางสถิติ ($p<0.01$) ดังนี้

ก. ความหนาแน่นของเซลล์

สไปรูไลนาที่เพาะเลี้ยงในอาหารสูตร Zarrouk เจริญได้ความหนาแน่น 4.210±0.38 ดีกว่าสไปรูไลนาที่เพาะเลี้ยงในทุกสูตรที่เหลืออย่างมีนัยสำคัญ รองลงมาคือ สไปรูไลนาที่เพาะเลี้ยงในอาหาร Zarrouk สูตรดัดแปลง เจริญได้ 3.812±0.39 ดีกว่าสไปรูไลนาที่เพาะเลี้ยงในอาหารอินทรีย์ทุกสูตรอย่างมีนัยสำคัญ สไปรูไลนาที่เพาะเลี้ยงในอาหารอินทรีย์ทุกสูตรเจริญได้ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) มีความหนาแน่น 1.293±0.02-1.464±0.06

ข. น้ำหนักแห้ง (ตารางที่ 5)

เมื่อสไปรูไลนาเจริญหนาแน่นมากที่สุด สไปรูไลนาที่เพาะเลี้ยงในอาหารสูตร Zarrouk มีน้ำหนักแห้ง 3.68±0.06 g/l สูงกว่าสไปรูไลนาที่เพาะเลี้ยงในอาหารสูตรอื่นทุกสูตรอย่างมีนัยสำคัญ รองลงมาคือสไปรูไลนาที่เพาะเลี้ยงในอาหาร Zarrouk สูตรดัดแปลง มีน้ำหนักแห้งเฉลี่ย 2.41±0.07 g/l ดีกว่าสไปรูไลนาที่เพาะเลี้ยงในอาหารอินทรีย์ทุกสูตรทางสถิติ

ในระหว่างสไปรูไลนาที่เพาะเลี้ยงในอาหารอินทรีย์ สไปรูไลนาที่เพาะเลี้ยงในน้ำหมักปลากด 0.1% มีน้ำหนักแห้งเฉลี่ย 1.87±0.08 g/l ดีกว่าน้ำหนักแห้งของสไปรูไลนาที่เพาะเลี้ยง

ในอาหารอินทรีย์ที่เหลือทุกสูตรอย่างมีนัยสำคัญ รองลงมาคือ สไปรูไลนาที่เพาะเลี้ยงในน้ำหมักย่าหยา 0.1% มีน้ำหนักแห้งเฉลี่ย 1.70±0.05 g/l ไม่แตกต่างกับสไปรูไลนาที่เพาะเลี้ยงในน้ำหมักปลาทู 0.1, 0.3%, มะละกอ 0.1, 0.3%, ปลากด 0.3% และผักโขม 0.3% ที่มีน้ำหนักแห้งเฉลี่ย 1.63±0.05, 1.69±0.03, 1.64±0.10, 1.57±0.15, 1.61±0.06 และ 1.57±0.09 g/l ตามลำดับ ทางสถิติ ($p>0.05$) สไปรูไลนาที่เพาะเลี้ยงในน้ำหมักกระถิน 0.1% มีน้ำหนักแห้งเฉลี่ยต่ำที่สุดคือ 1.45±0.07 g/l แต่ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) กับสไปรูไลนาที่เพาะเลี้ยงในน้ำหมักมะละกอ ผักโขม และกระถิน 0.3% ผักโขม 0.1% และย่าหยา 0.3% ซึ่งมีน้ำหนักแห้งเฉลี่ย 1.57±0.15, 1.54±0.08, 1.57±0.09, 1.54±0.04 และ 1.52±0.03 g/l ตามลำดับ

ค. ระยะเวลาเพาะเลี้ยง (ตารางที่ 5)

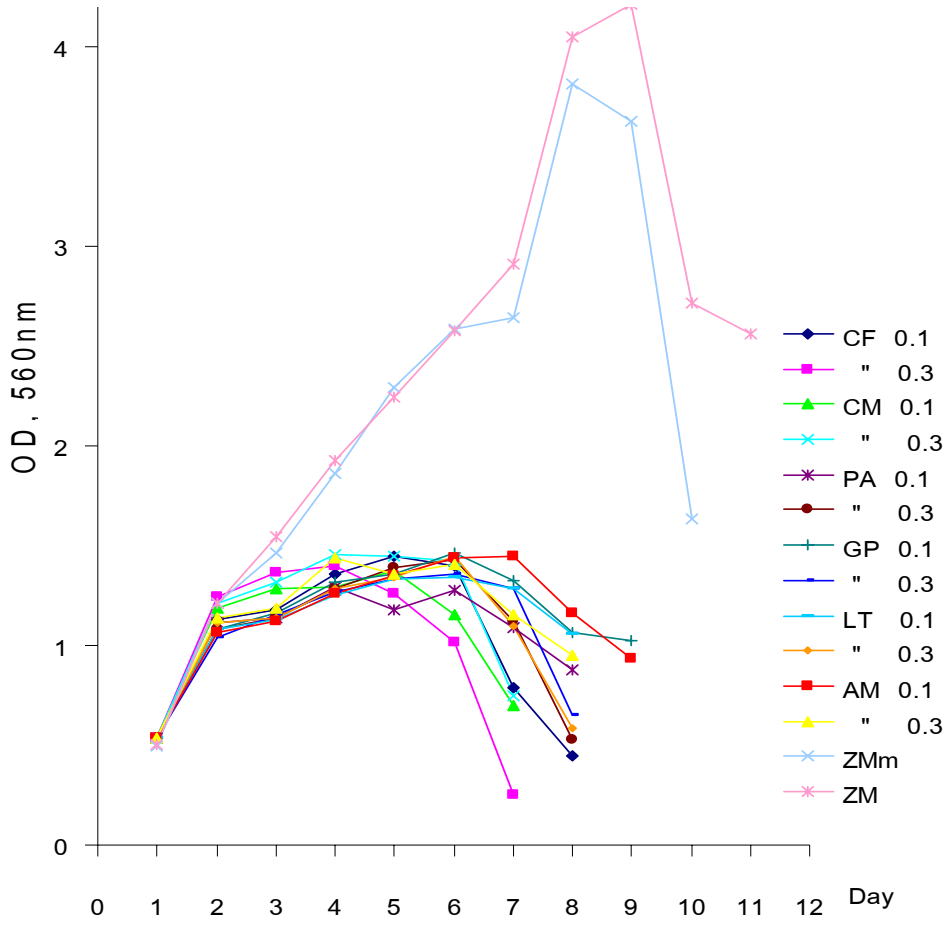
การเพาะเลี้ยงสไปรูไลนาในอาหารสูตร Zarrouk ปกติ และในอาหารสูตรดัดแปลงสไปรูไลนาใช้เวลาในการเจริญ 7.67±0.77 และ 7.00±0.00 วัน ตามลำดับ ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) ยาวนานกว่าการเพาะเลี้ยงสไปรูไลนาในอาหารอินทรีย์ทุกสูตรที่ใช้เวลาเฉลี่ย 1.30±0.02-1.45±0.04 วัน อย่างมีนัยสำคัญ การเพาะเลี้ยงสไปรูไลนาในอาหารอินทรีย์ทุกชุดการทดลองใช้เวลาไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$)

ตารางที่ 5 ความหนาแน่นสูงที่สุด (ODmax, mean±SD, OD, 560_{nm}) น้ำหนักแห้ง (DW, mean±SD, g/l) ของสไปรูไลนา และจำระยะเวลาที่ใช้ในการเจริญ (Dmax, mean±SD, วัน) เมื่อเพาะเลี้ยงในน้ำหมักปลากด ปลาทู มะละกอ ย่าหยา กระถิน และผักโขม ความเข้มข้น 0.1 และ 0.3% (v/v) อาหารสูตร Zarrouk ปกติ และสูตรดัดแปลง

ชุดการทดลอง	ODmax**	DW**	Dmax**
CF 0.1	1.448±0.07^{a}	1.87±0.08^{d}	4.67±0.77^{bcd}
" 0.3	1.397±0.08^{a}	1.61±0.06^{bc}	3.00±0.00^{a}
CM 0.1	1.372±0.04^{a}	1.63±0.05^{bc}	4.00±0.00^{abc}
" 0.3	1.457±0.05^{a}	1.69±0.03^{c}	3.67±0.77^{ab}
PA 0.1	1.293±0.02^{a}	1.64±0.10^{bc}	3.67±1.15^{ab}
" 0.3	1.430±0.02^{a}	1.57±0.15^{abc}	5.00±0.00^{cd}
GP 0.1	1.464±0.06^{a}	1.70±0.05^{c}	5.00±0.00^{cd}
" 0.3	1.355±0.14^{a}	1.52±0.03^{ab}	5.33±0.77^{d}
LT 0.1	1.342±0.09^{a}	1.45±0.07^{a}	5.00±1.00^{cd}
" 0.3	1.447±0.10^{a}	1.54±0.08^{ab}	5.33±0.77^{d}
Am 0.1	1.451±0.04^{a}	1.54±0.04^{ab}	5.66±0.77^{d}
" 0.3	1.408±0.03^{a}	1.57±0.09^{abc}	5.00±0.00^{cd}
ZMm	3.812±0.39^{b}	2.41±0.07^{e}	7.00±0.00^{e}
ZM	4.210±0.38^{c}	3.68±0.06^{f}	7.67±0.77^{e}

หมายเหตุ 1. ZM = อาหารสูตร Zarrouk; ZMm = อาหาร Zarrouk สูตรดัดแปลง; CF = น้ำหมักปลากด; CM = น้ำหมักปลาทู; PA = น้ำหมักมะละกอ; GP = น้ำหมักย่าหยา; LT= น้ำหมักกระถิน; AM = น้ำหมักผักโขม

2. เปรียบเทียบเฉพาะในแนวตั้งเดียวกัน; ** แตกต่างกันทางสถิติ, $p<0.01$; ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรต่างกันกำกับแตกต่างกันทางสถิติ



ภาพที่ 9 การเจริญของสไปรูไลนา (mean±SD, OD, 560_{nm}) ที่เพาะเลี้ยงในน้ำหมักจากปลากด ปลาทู มะละกอ ย่าหยา กระถิน และผักโขม ความเข้มข้น 0.1 และ 0.3% (v/v) ในอาหารสูตร Zarrouk ปกติ และสูตรดัดแปลง

หมายเหตุ

ZM = อาหารสูตร Zarrouk; ZMm = อาหาร Zarrouk สูตรดัดแปลง; CF = น้ำหมักปลากด; CM = น้ำหมักปลาทู; PA = น้ำหมักมะละกอ; GP = น้ำหมักย่าหยา; LT= น้ำหมักกระถิน; AM = น้ำหมักผักโขม

ตารางที่ 6 การเจริญของสไปรูไลนา (mean±SD, OD, 560_{nm}) ที่เพาะเลี้ยงในน้ำหมักปลากด ปลาทู มะละกอ ย่าหยา กระถิน และผักโขม ความเข้มข้น 0.1 และ 0.3% (v/v) อาหารสูตร Zarrouk ปกติ และสูตรดัดแปลง

ชุดการทดลอง	วันที่ 0	วันที่ 1**	วันที่ 2**	วันที่ 3**	วันที่ 4**	วันที่ 5**	วันที่ 6**	วันที่ 7**	วันที่ 8**	วันที่ 9**	วันที่ 10*
CF 0.1	0.504	1.132±0.07^{bcd}	1.181±0.15^{abc}	1.360±0.07^{abc}	1.448±0.07^{b}	1.400±0.28^{bc}	0.793±0.59^{abc}	0.444±0.47^{a}	-	-	-
" 0.3	0.504	1.243±0.03^{e}	1.37±0.05^{de}	1.397±0.08^{bc}	1.258±0.20^{ab}	1.019±0.31^{a}	0.250±0.25^{a}	-	-	-	-
CM 0.1	0.504	1.188±0.04^{cde}	1.287±0.04^{bcd}	1.294±0.05^{ab}	1.372±0.04^{ab}	1.154±0.16^{ab}	0.699±0.52^{ab}	-	-	-	-
" 0.3	0.504	1.213±0.03^{de}	1.316±0.07^{cd}	1.457±0.05^{c}	1.444±0.23^{b}	1.420±0.14^{bc}	0.747±0.41^{abc}	-	-	-	-
PA 0.1	0.504	1.115±0.01^{ab}	1.137±0.06^{ab}	1.293±0.02^{ab}	1.177±0.20^{a}	1.277±0.13^{bc}	1.087±0.34^{bcd}	0.874±0.07^{a}	-	-	-
" 0.3	0.504	1.078±0.03^{abc}	1.135±0.01^{ab}	1.281±0.06^{ab}	1.391±0.05^{ab}	1.430±0.02^{c}	1.125±0.40^{bcd}	0.527±0.28^{a}	-	-	-
GP 0.1	0.504	1.082±0.04^{ab}	1.161±0.04^{ab}	1.315±0.02^{ab}	1.358±0.03^{ab}	1.464±0.06^{c}	1.328±0.10^{cd}	1.068±0.28^{a}	1.026±0.31^{a}	-	-
" 0.3	0.504	1.042±0.02^{a}	1.157±0.05^{ab}	1.272±0.06^{ab}	1.337±0.12^{ab}	1.355±0.14^{bc}	1.281±0.18^{bcd}	0.652±0.42^{a}	-	-	-
LT 0.1	0.504	1.082±0.02^{ab}	1.132±0.02^{ab}	1.248±0.05^{a}	1.336±0.06^{ab}	1.342±0.09^{bc}	1.288±0.12^{bcd}	1.053±0.34^{a}	-	-	-
" 0.3	0.504	1.113±0.02^{abc}	1.142±0.07^{ab}	1.286±0.05^{ab}	1.342±0.07^{ab}	1.447±0.10^{c}	1.097±0.38^{bcd}	0.582±0.50^{a}	-	-	-
Am 0.1	0.504	1.065±0.06^{ab}	1.122±0.06^{a}	1.259±0.00^{a}	1.349±0.01^{ab}	1.440±0.03^{c}	1.451±0.04^{d}	1.162±0.45^{a}	0.920±0.06^{a}	-	-
" 0.3	0.504	1.135±0.00^{bcd}	1.185±0.02^{abc}	1.438±0.17^{c}	1.360±0.03^{ab}	1.408±0.03^{bc}	1.153±0.03^{bcd}	0.954±0.03^{a}	-	-	-
ZMm	0.504	1.211±0.03^{de}	1.466±0.19^{ef}	1.866±0.02^{d}	2.289±0.05^{c}	2.583±0.03^{d}	2.642±0.20^{e}	3.812±0.39^{a}	3.630±0.39^{b}	1.634±0.19^{a}	-
ZM	0.504	1.209±0.11^{de}	1.542±0.08^{f}	1.925±0.05^{d}	2.247±0.05^{c}	2.581±0.03^{d}	2.911±0.08^{e}	4.045±0.02^{a}	4.210±0.38^{b}	2.718±0.93^{b}	2.565±0.54

หมายเหตุ 1. ชุดการทดลอง: ZM = อาหารสูตร Zarrouk; ZMm = อาหาร Zarrouk สูตรดัดแปลง; CF = น้ำหมักปลากด; CM = น้ำหมักปลาทู; PA = น้ำหมักมะละกอ; GP = น้ำหมักย่าหยา; LT= น้ำหมักกระถิน; AM = น้ำหมักผักโขม

2. เปรียบเทียบเฉพาะในแนวตั้งเดียวกัน; ** แตกต่างกันทางสถิติ, $p<0.01$; ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรต่างกันกำกับแตกต่างกันทางสถิติ

3. - สิ้นสุดการทดลอง

ปริมาณสารอาหาร (ตารางที่ 7, ภาพที่ 10)

ในระหว่างการเพาะเลี้ยงสไปรูไลนาในอาหารสูตร Zarrouk อาหาร Zarrouk สูตรดัดแปลง น้ำหมักปลากด ปลาทู มะละกอ ย่าหยา กระถิน และผักโขม ความเข้มข้น 0.1 และ 0.3% รวม 14 สูตร มีปริมาณไนเตรท ไนไตรท์ แอมโมเนีย และฟอสเฟต เมื่อเริ่มต้นการทดลอง เมื่อสไปรูไลนามีความหนาแน่นสูงที่สุด และปริมาณที่เปลี่ยนแปลงไปแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p<0.01$) ดังรายละเอียดต่อไปนี้

ไนเตรท

การใช้อาหารสูตร Zarrouk มีปริมาณไนเตรทเมื่อเริ่มต้นการทดลอง เมื่อสไปรูไลนามีความหนาแน่นสูงที่สุด และปริมาณที่เปลี่ยนแปลงไป สูงกว่าปริมาณไนเตรทที่มีในอาหารอินทรีย์ทุกสูตรอย่างมีนัยสำคัญคือ 1,173.06±23.21, 176.04±39.44 และ 997.02±28.63 mg/l ตามลำดับ รองลงมาคือในอาหาร Zarrouk สูตรดัดแปลงที่มีปริมาณไนเตรทเมื่อเริ่มต้นการทดลอง เมื่อสไปรูไลนามีความหนาแน่นมากที่สุด และปริมาณที่เปลี่ยนแปลงไป 951.33±16.14, 135.55±9.96 และ 815.77±22.90 mg/l ตามลำดับ ปริมาณไนเตรททั้งสามช่วงเวลาในทั้งสองชุดการทดลองมากกว่าปริมาณที่มีในชุดการทดลองที่ใช้อาหารอินทรีย์ทั้งหมดอย่างมีอย่างนัยสำคัญ

ในอาหารอินทรีย์ทุกสูตรมีปริมาณไนเตรททั้งสามช่วงเวลาไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) เมื่อเริ่มต้นการทดลองมีปริมาณไนเตรทเฉลี่ย 1.15±0.08-15.32±2.01 mg/l เมื่อสไปรูไลนามีความหนาแน่นสูงที่สุดมีไนเตรท 0.16±0.07-1.79±0.38 mg/l ปริมาณไนเตรทลดลงเฉลี่ย 13.53±2.32-0.97±0.11 mg/l

ไนไตรท์

การใช้อาหารเคมีทั้งอาหารสูตร Zarrouk ปกติ และสูตรดัดแปลง ในการเพาะเลี้ยงสไปรูไลนามีปริมาณไนไตรท์เมื่อเริ่มต้นการเพาะเลี้ยง เมื่อสไปรูไลนาเจริญหนาแน่นสูงที่สุด และปริมาณที่เปลี่ยนแปลงไปสูงกว่าเมื่อใช้อาหารอินทรีย์ทุกสูตรอย่างมีนัยสำคัญ ในระหว่างอาหารเคมี การใช้อาหารเคมีสูตร Zarrouk ปกติมีปริมาณไนไตรท์ในทั้งสามช่วงมากกว่าเมื่อใช้อาหารสูตรดัดแปลงอย่างมีนัยสำคัญ ดังรายละเอียดต่อไปนี้

ก. เมื่อเริ่มต้นการเพาะเลี้ยง

ในอาหารสูตร Zarrouk มีปริมาณไนไตรท์เฉลี่ย 1.12±0.07 mg/l รองลงมาคือในอาหาร Zarrouk สูตรดัดแปลง 0.87±0.08 mg/l ในชุดการทดลองทั้งหมดที่ใช้อาหารอินทรีย์ 0.1% มีปริมาณเฉลี่ย 0.10±0.02-0.15±0.03 mg/l ไม่แตกต่างทางสถิติ ($p>0.05$) ในอาหารที่ใช้

น้ำหมักปลาทู 0.3% มีปริมาณไนไตรท์ 0.51±0.03 mg/l สูงกว่าอาหารอินทรีย์ความเข้มข้นเดียวกันที่เหลือที่มีค่าเฉลี่ย 0.27±0.03-0.38±0.05 mg/l อย่างมีนัยสำคัญ

ข. เมื่อสไปรูไลนามีความหนาแน่นสูงที่สุด

ในอาหารสูตร Zarrouk มีปริมาณไนไตรท์ 0.48±0.08 mg/l รองลงมาคือ ในอาหาร Zarrouk สูตรดัดแปลงมีปริมาณไนไตรท์ 0.38±0.03 mg/l ในอาหารอินทรีย์ทุกสูตรมีปริมาณไนไตรท์เมื่อสไปรูไลนาเจริญมากที่สุด 0.03±0.01-0.10±0.03 mg/l ไม่ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

ค. ปริมาณไนไตรท์ที่เปลี่ยนแปลงไป

ในอาหารสูตร Zarrouk ปริมาณไนไตรท์ลดลง 0.64±0.03 mg/l รองลงมาคือในอาหารที่ผสมน้ำหมักปลาทู 0.3% และในอาหาร Zarrouk สูตรดัดแปลง มีไนไตรท์ลดลง 0.43±0.04 และ 0.49±0.11 mg/l ตามลำดับ

ในอาหารอินทรีย์ที่มีน้ำหมักปลากด มะละกอ กระถิน และผักโขม 0.3% มีปริมาณไนไตรท์ลดลงมากที่สุด 0.30±0.04, 0.27±0.05, 0.30±0.03 และ 0.28±0.06 mg/l ตามลำดับ รองลงมาคือในน้ำหมักย่าหยา 0.3% มีไนไตรท์ลดลง 0.18±0.02 mg/l ไม่แตกต่างทางสถิติกับเมื่อใช้น้ำหมักผักโขม 0.1% ที่ไนไตรท์ลดลง 0.11±0.04 mg/l ซึ่งมากกว่าเมื่อใช้อาหารอินทรีย์ความเข้มข้น 0.1% ที่เหลือ ที่มีปริมาณไนไตรท์ลดลง 0.10±0.02-0.07±0.01 mg/l อย่างมีนัยสำคัญ

แอมโมเนีย

ก. เมื่อเริ่มต้นการเพาะเลี้ยง

อาหารสูตรที่ใช้น้ำหมักความเข้มข้น 0.1% ทุกสูตรมีปริมาณแอมโมเนียเมื่อเริ่มต้นการเพาะเลี้ยง 0.12±0.03-0.15±0.04 mg/l ต่ำกว่าปริมาณที่มีเมื่อใช้น้ำหมักอินทรีย์ 0.3% อาหารสูตร Zarrouk สูตรปกติ และสูตรดัดแปลงที่มีแอมโมเนียเมื่อเริ่มต้นการเพาะเลี้ยง 0.26±0.04-0.44±0.10 mg/l อย่างมีนัยสำคัญ

ข. เมื่อสไปรูไลนามีความหนาแน่นสูงที่สุด

การเพาะเลี้ยงสไปรูไลนาในอาหารอินทรีย์ที่มีน้ำหมักกระถิน 0.1% มีแอมโมเนียในน้ำที่ใช้เพาะเลี้ยง 0.02±0.02 mg/l ต่ำที่สุด แต่ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) กับปริมาณที่มีในอาหารอินทรีย์ความเข้มข้น 0.1% สูตรที่เหลือที่มีแอมโมเนียในน้ำเพาะเลี้ยง 0.03±0.01-0.06±0.03 mg/l ยกเว้นในอาหารที่มีใช้น้ำหมักปลากด 0.1% ที่เหลือแอมโมเนีย 0.07±0.03 mg/l การใช้อาหารที่มีน้ำหมักปลาทู 0.3% เหลือแอมโมเนียสูงที่สุดคือ 0.14±0.04 mg/l แต่ไม่แตกต่างกันทางสถิติกับสูตรที่ใช้น้ำหมัก 0.3% ที่มีปริมาณแอมโมเนีย 0.11±0.02-0.12±0.02

mg/l การใช้อาหาร Zarrouk สูตรปกติ และสูตรดัดแปลงเหลือแอมโมเนียในน้ำเพาะเลี้ยง 0.08±0.03 และ 0.07±0.03 mg/l ตามลำดับ ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) ต่ำกว่าปริมาณที่เหลือเมื่อใช้น้ำหมักกระถิน 0.1% และน้ำหมักปลาทู 0.3% อย่างมีนัยสำคัญ แต่ไม่แตกต่างทางสถิติกับในอาหารทดลองสูตรที่เหลือ

ค. ปริมาณแอมโมเนียที่เปลี่ยนแปลงไป

แอมโมเนียที่ลดลงในระหว่างการเพาะเลี้ยงสไปรูไลนาในอาหารที่มีน้ำหมักอินทรีย์ความเข้มข้น 0.1% ทุกสูตรมีปริมาณต่ำที่สุด และไม่แตกต่างกันทางสถิติ คือ 0.08±0.01-0.10±0.04 mg/l รองลงมาคือในอาหาร Zarrouk สูตรดัดแปลง มีปริมาณแอมโมเนียลดลง 0.20±0.07 mg/l แต่ไม่แตกต่างกันทางสถิติกับในอาหารที่ใช้น้ำหมักย่าหยาและผักโขม 0.3% และอาหาร Zarrouk สูตรปกติที่แอมโมเนียลดลงเฉลี่ย 0.25±0.03, 0.23±0.04 และ 0.23±0.04 mg/l ตามลำดับ การใช้อาหารที่มีน้ำหมักปลากด 0.3% มีปริมาณแอมโมเนียลดลงมากที่สุดคือ 0.33±0.06 mg/l ไม่แตกต่างกันเมื่อใช้อาหารที่มีน้ำหมักปลาทู มะละกอ และกระถิน 0.3% ที่แอมโมเนียลดลง 0.30±0.06, 0.28±0.05 และ 0.29±0.08 mg/l ตามลำดับ

ฟอสเฟต

ปริมาณฟอสเฟตเมื่อเริ่มต้นทดลองเพาะเลี้ยงสไปรูไลนา เมื่อสไปรูไลนาเจริญหนาแน่นสูงที่สุด และปริมาณฟอสเฟตที่เปลี่ยนแปลงไปเมื่อใช้อาหาร Zarrouk สูตรปกติมีมากกว่าเมื่อใช้อาหารสูตร Zarrouk ดัดแปลง และอาหารสูตร Zarrouk ดัดแปลงมีปริมาณมากกว่าเมื่อใช้อาหารอินทรีย์ทุกสูตรอย่างมีนัยสำคัญ ดังรายละเอียดต่อไปนี้

ก. เมื่อเริ่มต้นการเพาะเลี้ยง

ในอาหาร Zarrouk สูตรปกติมีฟอสเฟต 258.99±7.83 mg/l รองลงมาคือในอาหารสูตร Zarrouk ดัดแปลงมีฟอสเฟต 212.15±15.93 mg/l ในอาหารอินทรีย์มีฟอสเฟต 2.91±0.33-10.10±0.20 mg/l ปริมาณฟอสเฟตที่มีในอาหารอินทรีย์ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$)

ข. เมื่อสไปรูไลนาเจริญหนาแน่นสูงที่สุด

การใช้อาหารสูตร Zarrouk ปกติเหลือฟอสเฟต 61.50±7.98 mg/l รองลงมาคือในอาหารสูตร Zarrouk ดัดแปลง เหลือฟอสเฟต 58.923±4.54 mg/l การใช้อาหารที่มีน้ำหมักมะละกอ 0.1% เหลือฟอสเฟตในระยะนี้ต่ำที่สุดคือ 1.62±0.27 mg/l ไม่แตกต่างกันทางสถิติกับการใช้อาหารอินทรีย์สูตรอื่น ยกเว้นเมื่อใช้อาหารที่มีน้ำหมักปลาทู 0.3% ที่เหลือฟอสเฟตเฉลี่ย 5.33±0.21 mg/l

ค. ปริมาณฟอสเฟตที่เปลี่ยนแปลงไป

หลังจากสไปรูไลนาเจริญหนาแน่นสูงที่สุด การใช้อาหาร Zarrouk สูตรปกติ ปริมาณฟอสเฟตลดลง 170.83±4.02 mg/l รองลงมาคือเมื่อใช้อาหารสูตร Zarrouk ดัดแปลงมีปริมาณฟอสเฟตลดลง 153.22±15.91 mg/l การใช้อาหารอินทรีย์ทุกสูตรมีปริมาณฟอสเฟตลดต่ำลงไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) คือ 1.01±0.06-4.76±0.06 mg/l

ตารางที่ 7 ปริมาณไนเตรท ไนไตรท์ แอมโมเนีย และฟอสเฟต (mean±SD, mg/l) ในระหว่างการเพาะเลี้ยงสไปรูไลนาในน้ำหมักปลากด ปลาทู มะละกอ ย่าหยา กระถิน และผักโขม ความเข้มข้น 0.1 และ 0.3% (v/v) อาหารสูตร Zarrouk ปกติ และสูตรดัดแปลง เมื่อเริ่มต้นการทดลอง (i) วันที่สไปรูไลนามีความหนาแน่นสูงที่สุด (l) และปริมาณที่เปลี่ยนแปลงไป (c)

ชุดการทดลอง	NO_3^- (mg/l)			NO_2^- (mg/l)		
	i**	l**	c**	i**	l**	c**
CF 0.1	3.73±0.01^{a}	0.18±0.03^{a}	3.55±0.04^{a}	0.15±0.01^{a}	0.06±0.02^{abc}	0.09±0.03^{a}
" 0.3	10.41±0.82^{a}	0.99±0.06^{a}	9.42±0.77^{a}	0.33±0.04^{bc}	0.03±0.01^{a}	0.30±0.04^{c}
CM 0.1	5.57±0.11^{a}	0.18±0.10^{a}	5.39±0.03^{a}	0.17±0.02^{a}	0.08±0.01^{abc}	0.09±0.02^{a}
" 0.3	15.32±2.01^{a}	1.79±0.38^{a}	13.53±2.32^{a}	0.51±0.03^{d}	0.07±0.01^{abc}	0.43±0.04^{d}
PA 0.1	1.85±0.08^{a}	0.42±0.17^{a}	1.43±0.18^{a}	0.13±0.02^{a}	0.05±0.03^{abc}	0.08±0.02^{a}
" 0.3	3.93±2.66^{a}	1.81±0.56^{a}	3.74±3.02^{a}	0.37±0.04^{c}	0.09±0.02^{bc}	0.27±0.05^{c}
GP 0.1	1.84±0.13^{a}	0.33±0.17^{a}	1.51±0.04^{a}	0.10±0.02^{a}	0.03±0.02^{a}	0.07±0.01^{a}
" 0.3	4.29±0.40^{a}	0.16±0.07^{a}	4.12±0.33^{a}	0.27±0.03^{b}	0.08±0.04^{abc}	0.18±0.02^{b}
LT 0.1	1.15±0.08^{a}	0.18±0.03^{a}	0.97±0.11^{a}	0.13±0.01^{a}	0.03±0.01^{a}	0.10±0.02^{a}
" 0.3	3.55±0.32^{a}	0.45±0.31^{a}	3.11±0.63^{a}	0.37±0.02^{c}	0.07±0.01^{abc}	0.30±0.03^{c}
Am 0.1	1.93±0.10^{a}	0.34±0.09^{a}	1.59±0.08^{a}	0.15±0.03^{a}	0.04±0.01^{ab}	0.11±0.04^{ab}
" 0.3	3.38±0.12^{a}	0.76±0.16^{a}	2.61±0.22^{a}	0.38±0.05^{c}	0.10±0.03^{c}	0.28±0.06^{c}
ZMm	951.33±16.14^{b}	135.55±9.96^{b}	815.77±22.90^{b}	0.87±0.08^{e}	0.38±0.03^{d}	0.49±0.11^{d}
ZM	1173.06±23.21^{c}	176.04±39.44^{c}	997.02±28.63^{c}	1.12±0.07^{f}	0.48±0.08^{e}	0.64±0.03^{e}

ตารางที่ 7 (ต่อ)

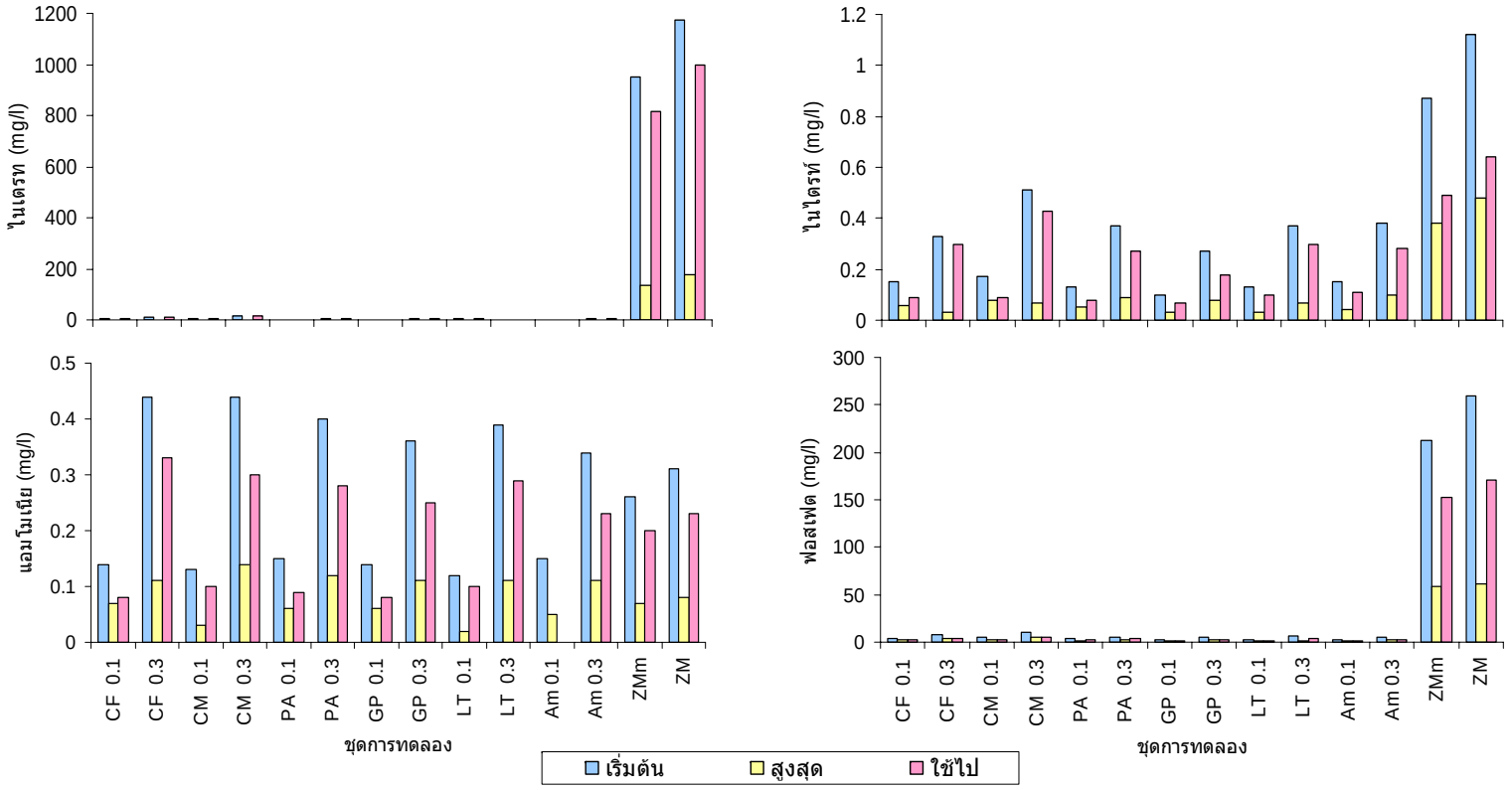
ชุดการ	NH_4^+ (mg/l)			PO_4^{3-} (mg/l)		
ทดลอง	i**	i**	i**	i**	I**	c**
CF 0.1	0.14±0.01^{a}	4.49±0.19^{a}	4.49±0.19^{a}	4.49±0.19^{a}	2.25±0.25^{ab}	2.24±0.18^{a}
" 0.3	0.44±0.08^{e}	8.05±0.08^{a}	8.05±0.08^{a}	8.05±0.08^{a}	4.42±0.39^{ab}	3.63±0.39^{a}
CM 0.1	0.13±0.00^{a}	4.86±0.12^{a}	4.86±0.12^{a}	4.86±0.12^{a}	2.11±0.17^{ab}	2.75±0.26^{a}
" 0.3	0.44±0.10^{e}	10.10±0.20^{a}	10.10±0.20^{a}	10.10±0.20^{a}	5.33±0.21^{b}	4.76±0.06^{a}
PA 0.1	0.15±0.03^{a}	3.72±0.60^{a}	3.72±0.60^{a}	3.72±0.60^{a}	1.62±0.27^{a}	2.10±0.73^{a}
" 0.3	0.40±0.05^{de}	5.76±0.36^{a}	5.76±0.36^{a}	5.76±0.36^{a}	2.18±0.06^{ab}	3.58±0.37^{a}
GP 0.1	0.14±0.02^{a}	2.91±0.33^{a}	2.91±0.33^{a}	2.91±0.33^{a}	1.73±0.21^{ab}	1.19±0.15^{a}
" 0.3	0.36±0.02^{cde}	5.60±0.26^{a}	5.60±0.26^{a}	5.60±0.26^{a}	2.56±0.41^{ab}	3.03±0.16^{a}
LT 0.1	0.12±0.03^{a}	2.96±0.11^{a}	2.96±0.11^{a}	2.96±0.11^{a}	1.68±0.25^{a}	1.28±0.34^{a}
" 0.3	0.39±0.06^{cde}	5.89±0.23^{a}	5.89±0.23^{a}	5.89±0.23^{a}	1.77±0.27^{ab}	4.12±0.07^{a}
Am 0.1	0.15±0.04^{a}	2.95±0.35^{a}	2.95±0.35^{a}	2.95±0.35^{a}	1.94±0.29^{ab}	1.01±0.06^{a}
" 0.3	0.34±0.05^{bcd}	5.59±0.21^{a}	5.59±0.21^{a}	5.59±0.21^{a}	2.50±0.24^{ab}	3.09±0.20^{a}
ZMm	0.26±0.04^{b}	212.15±15.93^{b}	212.15±15.93^{b}	212.15±15.93^{b}	58.923±4.54^{c}	153.22±15.91^{b}
ZM	0.31±0.05^{bc}	258.99±7.83^{c}	258.99±7.83^{c}	258.99±7.83^{c}	61.50±7.98^{d}	170.83±4.02^{c}

หมายเหตุ 1. ZM = อาหารสูตร Zarrouk; ZMm = อาหาร Zarrouk สูตรดัดแปลง; CF = น้ำหมักปลากด; CM = น้ำหมักปลาทู; PA = น้ำหมักมะละกอ; GP = น้ำหมักย่าหยา; LT= น้ำหมักกระถิน; AM = น้ำหมักผักโขม

2. เปรียบเทียบเฉพาะในแนวตั้งเดียวกัน; ** แตกต่างกันทางสถิติ, $p<0.01$; ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรต่างกันกำกับแตกต่างกันทางสถิติ

4.5 วิจารณ์

ในอาหารทดลองที่ใช้น้ำหมัก 0.1-0.3% มีไนเตรท 5.57-15.32 mg/l มีฟอสเฟต 4.86-10.10 mg/l ในอาหาร Zarrouk สูตรปกติ และ Zarrouk สูตรดัดแปลง มีไนเตรท 951.33-1173.06 mg/l ฟอสเฟต 212.15-258.99 mg/l สไปรูไลนาที่เพาะเลี้ยงในทุกการทดลองสามารถเจริญในอาหารทั้งสองประเภทได้ดีและเป็นปกติ (ชื่นจิตร์, 2530; สมเกียรติ, 2542; Lodi, 2005) สไปรูไลนาสามารถปรับตัวทำให้สามารถเจริญได้ทั้งในที่มีปริมาณอาหารแตกต่างมากๆ ได้ในสภาวะที่มีอาหารอยู่มาก สไปรูไลนาจะใช้สารอาหารที่มีอยู่นั้นมากตามไปด้วย (Richmond, 2004 อ้างถึง Droop, 1968; 1983) ในสภาวะที่มีสารอาหารอยู่น้อยลง หรือในที่มีปริมาณอาหารต่ำมากๆ การใช้น้ำหมักอินทรีย์มีปริมาณไนเตรท 1.15±0.08-15.32±2.01 mg/l ต่ำกว่าที่มีรายงาน (Yang *et al*., 2008; Matsudo *et al*., 2009; Rodrigues *et al*., 2010) สไปรูไลนาสามารถปรับตัวให้มีชีวิตอยู่/ใช้อาหารที่มีอยู่ในปริมาณต่ำ ณ ช่วงเวลานั้นๆ ได้ (Laliberté, 1997)



ภาพที่ 10 ปริมาณธาตุอาหาร (mg/l) ในระหว่างการเพาะเลี้ยงสไปรูไลนาในน้ำหมักปลากด ปลาทู มะละกอ ย่าหยา กระถิน และผักโขม ความเข้มข้น 0.1 และ 0.3% (v/v) อาหารสูตร Zarrouk ปกติ และสูตรดัดแปลง

หมายเหตุ ZM = อาหารสูตร Zarrouk; ZMm = อาหาร Zarrouk สูตรดัดแปลง; CF = ปลากด; CM = ปลาทู; PA = มะละกอ; GP = ย่าหยา; LT= กระถิน; AM = ผักโขม

สไปรูไลนาที่เพาะเลี้ยงในอาหารที่มีส่วนประกอบเป็นสารเคมีเจริญได้ดีกว่าที่เพาะเลี้ยงในอาหารที่มีน้ำหมักจากวัสดุอินทรีย์ทุกชนิด และทุกความเข้มข้น เนื่องจากปริมาณธาตุอาหารหลักที่มีแตกต่างกันทางสถิติ แต่ในอาหารสูตรที่ใช้น้ำหมักที่มีปริมาณธาตุอาหารต่ำ (ประเสริฐ, 2548; ชวนพิศ และคณะ, 2547; Cañizares-Villanueva *et al*., 1995) มากกว่าปริมาณที่เคยระบุในเอกสารต่างๆ ที่ว่าสไปรูไลนาจะสามารถเจริญได้ (Yang *et al*., 2008) สไปรูไลนาที่เพาะเลี้ยงยังคงสามารถเจริญได้ปกติ (Lodi *et al*., 2003) ในน้ำหมักทุกชนิดความเข้มข้น 0.1 และ 0.3% มีปริมาณสารอาหาร (ยกเว้นไนไตรท์ และแอมโมเนีย) เกือบไม่แตกต่างกัน สไปรูไลนาจึงเจริญได้พอๆ กัน เจริญในน้ำหมักที่มาจากปลาดีกว่าที่เป็นน้ำหมักจากพืช นอกเหนือจากการที่เคยมีรายงานว่าสามารถใช้สารอินทรีย์ที่มาจากมูลสัตว์ชนิดต่างๆ สำหรับการเพาะเลี้ยงสไปรูไลนาได้ (Ungsethaphand *et al*., 2009; Chaiklahan *et al*., 2010)

ปริมาณอาหารในระหว่างการเพาะเลี้ยงสไปรูไลนามีความสัมพันธ์แบบผกผันกับความหนาแน่นของสไปรูไลนาซึ่งสัมพันธ์กับระยะเวลา (Richmond, 2004) สไปรูไลนาที่เพาะเลี้ยงในอาหารที่มาจากน้ำหมักสามารถเจริญอยู่ได้ในช่วงสั้นเพียง 3-5 วันเท่านั้น เนื่องจากมีปริมาณธาตุอาหารจำกัดมาก จากการที่สามารถใช้น้ำหมักได้ในความเข้มข้นต่ำมากเท่านั้น ดังที่กล่าวมาแล้วในบทที่ผ่านมา ในอาหาร Zarrouk สูตรปกติมีสารอาหารมากกว่าที่มีในน้ำหมัก 100% ด้วย ปริมาณสารอาหารที่มีในน้ำหมักจากปลามีปริมาณมากกว่าน้ำหมักที่ได้จากพืช ส่งผลให้สไปรูไลนาสามารถเจริญได้ดีกว่า ในน้ำหมักกระถิน 100% มีไนโตรเจนเพียง 0.12 mg/l น้ำหมักปลาทูมี 1.43±0 mg/l ในอาหารทดลองที่ใช้น้ำหมักปลาทู 0.1-0.3% มีไนเตรทต่ำกว่าปริมาณที่มีในอาหาร Zarrouk เต็มสูตร 75-200 เท่า มีฟอสเฟตต่ำกว่า 25-50 เท่า แต่สไปรูไลนาที่เพาะเลี้ยงในอาหารสูตร Zarrouk สามารถเจริญได้เพียง 2-3 เท่า มีน้ำหนักแห้ง 1.4-2.1 เท่า และสามารถเจริญอยู่ได้ในระยะเวลา 1.4-2.5 เท่าของสไปรูไลนาที่เพาะเลี้ยงในอาหารที่เป็นน้ำหมักเท่านั้น สไปรูไลนาใช้อาหารที่เป็นน้ำหมักได้มีประสิทธิภาพมากกว่าการใช้อาหารเคมีมากกว่ามากหากเปรียบเทียบประสิทธิภาพของสารอาหารหลักที่อาหารทั้งสองกลุ่มต่อหน่วยที่เท่ากันต่อผลผลิตของสไปรูไลนาที่เพาะเลี้ยงได้ ปริมาณไนเตรท 1 mg เท่ากันที่มีในอาหารทั้งสองกลุ่ม การเพาะเลี้ยงสไปรูไลนาในอาหารที่เป็นน้ำหมักจากวัสดุอินทรีย์ความเข้มข้น 0.1 และ 0.3% สไปรูไลนาเจริญได้ 0.121-1.166 (OD, 560_{nm}) ในขณะที่การเพาะเลี้ยง สไปรูไลนาด้วยอาหารสูตร Zarrouk สไปรูไลนาเจริญได้เพียง 0.004 (OD, 560_{nm}) ต่อไนเตรท 1 mg

การเพาะเลี้ยงในน้ำหมักอินทรีย์ที่จากพืชอย่างเดียว สไปรูไลนาหยุดการเจริญเมื่อในน้ำเหลือไนเตรท 0.10-3.20 mg/l เหลือฟอสเฟต 0.72-2.56 mg/l ในอาหารที่เป็นน้ำหมักจากปลา สไปรูไลนาหยุดการเจริญเมื่อน้ำเหลือไนเตรท 0.18-5.47 mg/l ฟอสเฟต 1.12-5.77 mg/l การใช้อาหารเคมีสไปรูไลนาหยุดการเจริญเมื่อน้ำเหลือไนเตรท 135.55-176.04 mg/l และเหลือฟอสเฟต 55.41-61.85 mg/l ปริมาณอาหารหลักที่เหลือในระหว่างการทดลองเมื่อสไปรูไลนาเจริญหนาแน่นมากที่สุดแตกต่างกันตามแหล่งที่มาของสารอาหาร และตามปริมาณอาหารที่มี

เมื่อเริ่มต้นเป็นสำคัญ การใช้น้ำหมักจากพืชมี และเหลือสารอาหารหลักต่ำกว่าเมื่อใช้น้ำหมักจากปลาทั้งสองชนิด และมีความสัมพันธ์โดยตรงกับความเข้มข้นของน้ำหมักอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อสไปรูไลนาเจริญหนาแน่นมากที่สุด การใช้อาหารเคมีจึงเหลือสารอาหารหลักในน้ำเพาะเลี้ยงในปริมาณมากกว่าเมื่อใช้น้ำหมักอินทรีย์อย่างมีนัยสำคัญ การใช้อาหารเคมีเหลือไนเตรทมากกว่า 85-1,460 เท่า เหลือฟอสเฟตมากกว่า 44-73 เท่าของปริมาณที่เหลือเมื่อใช้น้ำหมัก ธาตุอาหารที่ยังคงเหลืออยู่หลังจากที่สไปรูไลนาเจริญทวีจำนวนสูงที่สุด ปกติน้ำจากการเพาะเลี้ยงหลังการเก็บเกี่ยวสไปรูไลนาแล้วจะถูกปล่อยทิ้งออกจากระบบ และมักถูกปล่อยลงสู่ลำธารสาธารณะเป็นส่วนใหญ่ น้ำทิ้งเหล่านี้จึงเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดการสะสมของสารเคมีจำนวนมากในธรรมชาติ และการเจริญทวีจำนวนของสาหร่ายบางชนิดที่อาจก่อให้เกิดมลพิษต่อแหล่งน้ำ การตายลงในเวลาไล่เลี่ยกันทำให้เกิดน้ำเน่าเสีย หรือเกิดความเป็นพิษต่อสัตว์น้ำที่อาศัยอยู่ในแหล่งน้ำของสาหร่ายนั้นโดยตรง ก่อให้เกิดผลเสียต่อระบบนิเวศแหล่งน้ำ ดังที่ทราบกันอยู่ทั่วไป (พนิดา, 2530; ไชยยุทธ, 2538; ธงชัย, 2544) ในขณะที่การใช้อาหารที่เป็นน้ำหมักมีน้ำทิ้งหลังการเก็บเกี่ยวที่มีสารตกค้างต่ำกว่ามาก จึงเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมมากกว่า

4.6 สรุป

1. สไปรูไลนาที่เพาะเลี้ยงในอาหารสูตร Zarrouk ปกติ และสูตรดัดแปลงเจริญได้ 4.210±0.38 และ 3.812±0.39 (OD, 560_{nm}) มีน้ำหนักแห้ง 3.68±0.06 และ 2.41±0.07 g/l และใช้เวลา 7.67±5.77 และ 7.00±0.00 วัน ตามลำดับ มากกว่าการใช้อาหารอินทรีย์ความเข้มข้น 0.1 และ 0.3% ทุกชนิดที่เจริญได้ 1.342±0.09-1.457±0.05 มีน้ำหนักแห้ง 1.54±0.08-1.87±0.08 g/l และใช้เวลา 3.00±0.00-5.66±5.77 วัน อย่างมีนัยสำคัญ
2. สไปรูไลนาที่เพาะเลี้ยงในน้ำหมักจากวัสดุอินทรีย์ทั้งพืชและสัตว์ทุกชนิดความเข้มข้น 0.1 และ 0.3% เจริญได้ความหนาแน่นไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$)

ในการทดลองในลำดับต่อไปจึงเลือกใช้น้ำหมักที่ได้จากสัตว์ และพืชที่ใช้ในการทดลองนี้เพียงอย่างละ 1 ชนิดเป็นตัวแทนโดยพิจารณาจากวัสดุที่สามารถหาได้ง่ายในท้องถิ่น คือ น้ำหมักปลาทู และน้ำหมักกระถิน และเลือกใช้ความเข้มข้นที่ต่ำกว่า คือ 0.1%

บทที่ 5

การทดลองที่ 2

5.1 บทนำ

ไนโตรเจน และฟอสฟอรัสมีความสำคัญต่อการเจริญของสไปรูไลนามาก (Çelekli and Yavuzatmaca, 2009) สไปรูไลนามีความต้องการไนโตรเจนในปริมาณที่สูงมากถึง 1.4-138.5 mg/l (Piorreck *et al*., 1984) เนื่องจากเป็นธาตุอาหารหลักที่สไปรูไลนาใช้ในการเจริญ การสร้างโปรตีน และสารสีต่างๆ ที่เป็นส่วนประกอบที่สไปรูไลนามีอยู่ในปริมาณมาก (Piorreck *et al*., 1984; Danesi *et al*., 2002) การเพาะเลี้ยงสไปรูไลนาที่ใช้หมักอินทรีย์ที่มีธาตุอาหารหลักปริมาณน้อย (ประเสริฐ, 2548) ซึ่งต่ำกว่าความต้องการที่ระบุข้างต้นมากเพียงครั้งเดียว เมื่อเริ่มต้นการทดลองเนื่องจากข้อจำกัดที่ได้กล่าวมาแล้วในบทก่อนหน้านี้ ทำให้สไปรูไลนาสามารถเจริญได้ต่ำ และในระยะเวลาสั้นๆ ดังที่ปรากฏในผลการทดลองที่ 1 ในบทที่ผ่านมา การเจริญของสไปรูไลนาลดลงเนื่องจากในระยะนั้นปริมาณอาหารที่เหลือในน้ำเพาะเลี้ยงมีน้อยมาก การเพิ่มปริมาณสารอาหารด้วยการเติมน้ำหมักอีกครั้ง ควรช่วยทำให้สไปรูไลนาสามารถเจริญต่อไปได้ดีขึ้น และเจริญอยู่ได้ยาวนานขึ้น

5.2 วัตถุประสงค์ เพื่อศึกษา

1. การเจริญของสไปรูไลนาที่เพาะเลี้ยงในน้ำหมักจากปลาทูและกระถิน ความเข้มข้น 0.1% ที่มีการเติมน้ำหมักชนิด และความเข้มข้นเดิมอีก 1 ครั้งในช่วงเวลาที่ต่างกัน เปรียบเทียบกับเมื่อไม่มีการเติมน้ำหมัก และเปรียบเทียบกับอาหารสูตร Zarrouk
2. ปริมาณธาตุอาหารหลักในระหว่างการเพาะเลี้ยงสไปรูไลนาในทุกอาหารสูตร

5.3 วิธีดำเนินการ

การเพาะเลี้ยงสไปรูไลนาในอาหารสูตร Zarrouk (Ciferri and Tiboni, 1985 อ้างถึง Zarrouk, 1966) เปรียบเทียบกับการใช้อาหาร Zarrouk สูตรดัดแปลง ความเข้มข้น 100% น้ำหมักปลาทู และกระถิน ที่ระดับความเข้มข้น 0.1% และทำการเติมน้ำหมักชนิดและความเข้มข้น 0.1% อีกครั้งในการเพาะเลี้ยงสไปรูไลนา 3 ชุดการทดลองย่อย ดังนี้

ก. ในวันก่อนที่วันที่สาหร่ายเจริญสูงที่สุด (น้ำหมักปลาทูเติมวันที่ 3 และน้ำหมักกระถินเติมวันที่ 4)

ข. ในวันที่สาหร่ายเจริญสูงที่สุด (น้ำหมักปลาทูเติมวันที่ 4 และน้ำหมักกระถินเติมวันที่ 5)

ค. หลังวันที่สาหร่ายเจริญสูงที่สุด 1 วัน (น้ำหมักปลาทูเติมวันที่ 5 และน้ำหมักกระถินเติมวันที่ 6)

เพาะเลี้ยงสไปรูไลนาที่ความหนาแน่นเริ่มต้น 0.5 (OD, 560_{nm}) (Lamela and Marquez-Rocha, 2000) ปริมาตร 1 L ชุดการทดลองละ 4 ซ้ำ ในสภาวะกึ่งธรรมชาติ ที่ได้รับแสง 3,000-16,000 Lux อุณหภูมิ 33-36°C ความเป็นกรด-ด่าง 8.48 -11.05 เพาะเลี้ยงสไปรูไลนาจนกระทั่งความหนาแน่นของสไปรูไลนาลดลงเป็นวันที่สองจึงยุติการทดลอง ในระหว่างการทดลองทำการตรวจวัด

(1) การเจริญของสไปรูไลนา (OD, 560_{nm}) และน้ำหนักแห้งทุกวันๆ ละครั้ง ในเวลา 9.00 น.

(2) อุณหภูมิอากาศและน้ำ ค่าความเป็นกรด-ด่าง และความเข้มของแสงทุกวันๆ วันละครั้ง ในเวลา 12.00 น.

(3) ปริมาณ ไนเตรท ไนไตรท์ แอมโมเนีย และออร์โธฟอสเฟต (Boyd and Tucker, 1992) ทุกๆ 2 วัน ในเวลา 9.00 น.

5.4 ผลการทดลอง

การเจริญของสไปรูไลนา

สไปรูไลนาเจริญได้ความหนาแน่นมากที่สุด มีน้ำหนักแห้ง และใช้ระยะเวลาที่แตกต่างกันทางสถิติ ($p<0.01$) ดังนี้

ก. ความหนาแน่นของเซลล์ (ภาพที่ 11; ตารางที่ 9)

สไปรูไลนาที่เพาะเลี้ยงในอาหารสูตร Zarrouk ปกติ เจริญได้ความหนาแน่นสูงที่สุด และใช้จำนวนวันเฉลี่ย 4.067±0.09 ดีกว่าสไปรูไลนาที่เพาะเลี้ยงทุกสูตรที่เหลืออย่างมีนัยสำคัญ รองลงมาคือ สไปรูไลนาที่เพาะเลี้ยงในอาหาร Zarrouk สูตรดัดแปลง ที่เจริญได้ 2.794±0.04 ดีกว่าสไปรูไลนาที่เพาะเลี้ยงในอาหารอินทรีย์ทุกสูตรอย่างมีนัยสำคัญ การเพิ่มปริมาณอาหารทั้งสามช่วงเวลาในชุดการเพาะเลี้ยงที่ใช้น้ำหมักชนิดเดียวกัน ทำให้สไปรูไลนาเจริญเพิ่มมากขึ้นกว่าการไม่เพิ่มปริมาณอาหารอย่างมีนัยสำคัญ ดังนี้

1) การใช้น้ำหมักปลาทู 0.1% สไปรูไลนาที่เพาะเลี้ยงในน้ำหมักปลาทูที่เติมน้ำหมักปลาทูความเข้มข้นเท่าเดิมก่อนวันที่สาหร่ายเจริญได้สูงที่สุด ในวันที่สาหร่ายเจริญได้สูงที่สุด และหลังวันที่สาหร่ายเจริญได้สูงที่สุด เจริญได้ 1.454±0.03, 1.531±0.08 และ 1.467±0.11 ตามลำดับ ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) ดีกว่าสไปรูไลนาที่เพาะเลี้ยงในน้ำหมักปลาทูที่ไม่มีการเพิ่มสารอาหารที่เจริญได้ต่ำสุด 1.185±0.07 (OD, 560_{nm}) อย่างมีนัยสำคัญ

2) การใช้น้ำหมักกระถิน 0.1% การเพาะเลี้ยงสไปรูไลนาในน้ำหมักกระถินที่เติมสารอาหารในวันที่สาหร่ายเจริญได้สูงที่สุดเจริญได้ 1.325±0.05 สูงกว่าสไปรูไลนาที่เพาะเลี้ยงในน้ำหมักกระถินที่เหลือที่เจริญได้ 1.119±0.10-1.215±0.02 อย่างมีนัยสำคัญ

3) การใช้น้ำหมักกระถินเปรียบเทียบกับน้ำหมักปลาทู การเพาะเลี้ยงสไปรูไลนาในน้ำหมักปลาทูที่มีการเติมน้ำหมักเพิ่มทั้ง 3 ช่วงเวลา ทำให้สไปรูไลนาเจริญได้ความหนาแน่นสูงที่สุด 1.454±0.03-1.531±0.08 ดีกว่าเมื่อไม่มีการเติมน้ำหมัก และดีกว่าเมื่อเพาะเลี้ยงสไปรูไลนาในน้ำหมักกระถินทุกชุดการทดลอง การเพาะเลี้ยงสไปรูไลนาในน้ำหมักกระถินที่เติมน้ำหมักเพิ่มในวันที่สาหร่ายเจริญได้สูงที่สุด ได้สไปรูไลนาหนาแน่นรองลงมาคือ 1.325±0.05 สไปรูไลนาที่เพาะเลี้ยงในชุดการทดลองที่เหลือเจริญได้ 1.119±0.10-1.215±0.02 ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$)

4) สไปรูไลนาที่เพาะเลี้ยงในอาหารสูตร Zarrouk เจริญได้ 4.067±0.09 สูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญกับสไปรูไลนาที่เพาะเลี้ยงในอาหาร Zarrouk สูตรดัดแปลง ที่เจริญได้ 2.794±0.04 ซึ่งสูงกว่าสไปรูไลนาที่เพาะเลี้ยงในอาหารอินทรีย์ทุกชุดการทดลองอย่างมีนัยสำคัญ

ข. น้ำหนักแห้ง (ตารางที่ 8)

1) การใช้น้ำหมักปลาทู 0.1% สไปรูไลนาที่เพาะเลี้ยงในน้ำหมักปลาทูที่มีการเติมอาหารเพิ่มในวันที่สาหร่ายเจริญได้สูงที่สุดมีน้ำหนักแห้งเฉลี่ย 2.41±0.47 g/l ไม่แตกต่างทางสถิติกับสไปรูไลนาที่เพาะเลี้ยงในน้ำหมักปลาทูที่เติมอาหารเพิ่มก่อนวันที่สาหร่ายเจริญได้สูงที่สุดที่มีน้ำหนักแห้ง 1.80±0.37 g/l น้ำหนักแห้งของสไปรูไลนาที่เพาะเลี้ยงในน้ำหมักปลาทูที่มีการเติมอาหารเพิ่มในวันที่สาหร่ายเจริญได้สูงที่สุด สูงกว่าชุดการทดลองที่เหลืออย่างมีนัยสำคัญ สไปรูไลนาที่เพาะเลี้ยงในน้ำหมักปลาทูที่ไม่เพิ่มอาหารมีน้ำหนักแห้งต่ำที่สุดคือ 1.24±0.46 g/l แต่ไม่แตกต่างทางสถิติกับกับสไปรูไลนาที่เพาะเลี้ยงในน้ำหมักปลาทูที่เติมอาหารเพิ่มก่อนและหลังวันที่สาหร่ายเจริญได้สูงที่สุด ที่มีน้ำหนักแห้ง 1.80±0.37 และ 1.43±0.86 g/l ตามลำดับ

2) การใช้น้ำหมักกระถิน 0.1% สไปรูไลนาที่เพาะเลี้ยงในน้ำหมักกระถินทั้งที่เติมและไม่เติมอาหารเพิ่มมีน้ำหนักแห้งเฉลี่ย 1.40±0.13-2.05±0.20 g/l ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$)

3) การเปรียบเทียบน้ำหมักกระถินกับน้ำหมักปลาทู สไปรูไลนาที่เพาะเลี้ยงในน้ำหมักปลาทูที่ไม่เติมสารอาหารเพิ่ม มีน้ำหนักแห้งเฉลี่ยต่ำที่สุด 1.24±0.46 g/l แตกต่างกันทางสถิติกับสไปรูไลนาที่เพาะเลี้ยงในอาหารทุกสูตร ยกเว้นสไปรูไลนาที่เพาะเลี้ยงในน้ำหมักปลาทูที่เติมน้ำหมักเพิ่มในวันที่สไปรูไลนาเจริญสูงที่สุด และที่เพาะเลี้ยงในน้ำหมักกระถินที่เติมน้ำหมักเพิ่มหลังวันที่สไปรูไลนาเจริญสูงที่สุด ที่มีน้ำหนักแห้ง 2.41±0.47 และ 2.05±0.20 g/l ตามลำดับ

4) การเพาะเลี้ยงในอาหารเคมี สไปรูไลนาที่เพาะเลี้ยงในอาหารสูตร Zarrouk มีน้ำหนักแห้งเฉลี่ย 3.96±0.29 g/l สูงกว่าสไปรูไลนาที่เพาะเลี้ยงในอาหาร Zarrouk สูตรดัดแปลง ที่มีน้ำหนักแห้งเฉลี่ย 2.49±0.19 g/l อย่างมีนัยสำคัญ

ค. ระยะเวลาเพาะเลี้ยง (ตารางที่ 8)

1) การใช้น้ำหมักปลาทู 0.1% สไปรูไลนาที่เพาะเลี้ยงในน้ำหมักปลาทูที่ไม่เติมน้ำหมักเพิ่มใช้ระยะเวลาในการเจริญจนมีความหนาแน่นสูงที่สุดต่ำที่สุด 3.50±0.58 วัน สั้นกว่าระยะเวลาที่ใช้ในชุดการทดลองที่เหลืออย่างมีนัยสำคัญ รองลงมาคือ สไปรูไลนาที่เพาะเลี้ยงในน้ำหมักปลาทูที่เติมน้ำหมักเพิ่มก่อนวันที่สไปรูไลนาเจริญได้สูงที่สุด ใช้ระยะเวลา 4.50±0.58 วัน ส่วนสไปรูไลนาที่เพาะเลี้ยงในน้ำหมักปลาทูที่เติมน้ำหมักเพิ่มในวันที่สไปรูไลนามีความหนาแน่นสูงที่สุดและหลังวันนี้ ใช้ระยะเวลา 5.25±0.50 และ 5.75±0.00 วัน ตามลำดับ ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$)

2) การใช้น้ำหมักกระถิน 0.1% สไปรูไลนาที่เพาะเลี้ยงในน้ำหมักกระถินที่เติมน้ำหมักก่อนวันที่สไปรูไลนาเจริญได้สูงที่สุด และไม่มีการเติมสารอาหารเพิ่มใช้ระยะเวลา 4.25±0.50 วัน ซึ่งสั้นกว่าระยะเวลาที่ใช้ในชุดการทดลองที่เหลือที่ใช้ระยะเวลา 5.75±0.50-6.00±0.00 วัน อย่างมีนัยสำคัญ

3) การเปรียบเทียบน้ำหมักกระถินกับน้ำหมักปลาทู การเพาะเลี้ยงสไปรูไลนาในน้ำหมักปลาทูที่ไม่เติมอาหารเพิ่ม สไปรูไลนาใช้ระยะเวลาในการเจริญหนาแน่นมากที่สุดในระยะเวลา 3.50±0.58 วัน สั้นกว่าระยะเวลาที่สไปรูไลนาในชุดการทดลองที่เหลือใช้อย่างมีนัยสำคัญ รองลงมาคือ สไปรูไลนาที่เพาะเลี้ยงในน้ำหมักปลาทูและกระถินที่เติมน้ำหมักก่อนวันที่สาหร่ายมีการเจริญหนาแน่นสูงที่สุด และที่เพาะเลี้ยงในน้ำหมักกระถินที่ไม่เติมอาหารเพิ่ม ที่ใช้เวลา 4.25±0.50-4.50±0.58 วัน ส่วนสไปรูไลนาที่เพาะเลี้ยงในน้ำหมักกระถินที่เติมอาหารเพิ่มหลังวันที่สไปรูไลนาเจริญสูงที่สุดใช้ระยะเวลายาวนานที่สุด แต่ไม่แตกต่างกับสไปรูไลนาที่เพาะเลี้ยงในสูตรอาหารที่เหลือ ซึ่งใช้ระยะเวลาในการเจริญ 5.25±0.50-6.00±0.00 วัน อย่างมีนัยสำคัญ

4) การเพาะเลี้ยงในอาหารเคมี สไปรูไลนาที่เพาะเลี้ยงในอาหารสูตร Zarrouk ใช้ระยะเวลาในการเจริญจนมีความหนาแน่นสูงที่สุด 8.25±0.50 วัน ยาวนานกว่าสไปรูไลนาที่เพาะเลี้ยงในอาหาร Zarrouk สูตรดัดแปลง ที่ใช้ระยะเวลา 7.25±0.50 วัน อย่างมีนัยสำคัญ

ปริมาณสารอาหาร (ตารางที่ 10; ภาพที่ 12)

ปริมาณไนเตรท ไนไตรท์ แอมโมเนีย และฟอสเฟตเมื่อเริ่มต้นการทดลอง และเมื่อสไปรูไลนามีความหนาแน่นสูงที่สุด แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p<0.01$) ในระหว่างการเพาะเลี้ยงสไปรูไลนาในอาหาร Zarrouk สูตรปกติ สูตรดัดแปลง และในน้ำหมักปลาทู และกระถิน 0.1% ที่มีหรือไม่มีการเติมน้ำหมัก ดังรายละเอียดต่อไปนี้

ไนเตรท

ปริมาณไนเตรทเมื่อเริ่มต้นการทดลอง ในวันที่สไปรูไลนามีความหนาแน่นสูงที่สุด และปริมาณที่ลดลงเมื่อใช้อาหารสูตร Zarrouk สูตรปกติ มีมากกว่าเมื่อใช้อาหารสูตร Zarrouk ดัดแปลง และเมื่อใช้อาหารที่มีน้ำหมักวัสดุอินทรีย์เป็นองค์ประกอบทุกสูตรอย่างมีนัยสำคัญ ดังนี้

ก. เมื่อเริ่มต้นการเพาะเลี้ยง

ในอาหารสูตร Zarrouk มีปริมาณไนเตรทเมื่อเริ่มต้น 1,138.25±35.82 mg/l อาหาร Zarrouk สูตรดัดแปลงมี 927.40±25.12 mg/l ในอาหารที่มีน้ำหมักปลาทู และกระถินความเข้มข้น 0.1% มีปริมาณไนเตรทเมื่อเริ่มต้นการทดลอง 5.47±0.20 และ 3.29±0.11 mg/l ตามลำดับ

ข. เมื่อสไปรูไลนามีความหนาแน่นสูงที่สุด

การใช้อาหารเคมีทั้ง 2 สูตร คืออาหาร Zarrouk สูตรปกติ และ สูตรดัดแปลงเหลือไนเตรทในน้ำเพาะเลี้ยง 145.75±14.86 และ 154.61±21.84 mg/l ตามลำดับ การใช้อาหารที่มีน้ำหมักทุกสูตรเหลือไนเตรท 0.21±0.06-5.47±0.82 mg/l

ไนไตรท์

ก. เมื่อเริ่มต้นการเพาะเลี้ยง

ในอาหารสูตร Zarrouk มีปริมาณไนไตรท์ 1.03±0.02 mg/l มากกว่าปริมาณที่มีในอาหารสูตรอื่นอย่างมีนัยสำคัญ รองลงมาคือในอาหารสูตร Zarrouk ดัดแปลง ที่มีไนไตรท์เริ่มต้น 0.87±0.02 mg/l สูงกว่าปริมาณที่มีในอาหารอินทรีย์ทั้งสองสูตรอย่างมีนัยสำคัญ ในน้ำหมักปลาทู มีไนไตรท์เมื่อเริ่มต้น 0.19±0.02 mg/l สูงกว่าปริมาณที่มีในน้ำหมักกระถินที่มีไนไตรท์เพียง 0.14±0.01 mg/l อย่างมีนัยสำคัญ

ข. เมื่อสไปรูไลนามีความหนาแน่นสูงที่สุด

การใช้อาหาร Zarrouk สูตรปกติ และสูตรดัดแปลงเหลือไนไตรท์มากที่สุด และไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$)คือ 0.40±0.06 และ 0.39±0.04 mg/l ตามลำดับ มากกว่าเมื่อใช้อาหารอินทรีย์อย่างมีนัยสำคัญ

การใช้อาหารอินทรีย์เมื่อไม่มีการเติมสารอาหารเพิ่มทั้ง 2 สูตร เมื่อสไปรูไลนาเจริญหนาแน่นมากที่สุด เหลือไนไตรท์ 0.03±0.01-0.04±0.02 mg/l ต่ำกว่าเมื่อมีการเติมสารอาหารเพิ่มอย่างมีนัยสำคัญ การเพาะเลี้ยงสไปรูไลนาที่มีการเพิ่มปริมาณอาหาร ในชุดการทดลองที่ใช้น้ำหมักปลาทู ก่อนวันที่สาหร่ายเจริญได้สูงที่สุด ในวันที่สาหร่ายเจริญได้สูงที่สุด และหลังวันที่สาหร่ายเจริญได้สูงที่สุด เหลือไนไตรท์ 0.26±0.07, 0.26±0.03 และ 0.30±0.05 mg/l ตามลำดับ ซึ่งเป็นปริมาณที่มากกว่าเมื่อใช้น้ำหมักกระถินในลักษณะเดียวกันที่ในแต่ละชุดการทดลองเหลือไนไตรท์เฉลี่ย 0.16±0.03, 0.17±0.06 และ 0.18±0.05 mg/l ตามลำดับ อย่างมีนัยสำคัญ

แอมโมเนีย

ก. เมื่อเริ่มต้นการเพาะเลี้ยง

ในอาหารสูตร Zarrouk มีปริมาณแอมโมเนียเฉลี่ย 0.39±0.02 mg/l สูงกว่าปริมาณที่มีในอาหารสูตรอื่นที่เหลืออย่างมีนัยสำคัญ รองลงมาคือในอาหาร Zarrouk สูตรดัดแปลงมีปริมาณแอมโมเนีย 0.27±0.02 mg/l ในอาหารเพาะเลี้ยงที่ใช้น้ำหมักปลาทู และกระถิน 0.1% ทุกชุดการทดลองมีแอมโมเนียเมื่อเริ่มต้นต่ำกว่าในอาหารเคมีทั้งสองสูตรอย่างมีนัยสำคัญ และไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) คือ 0.15±0.01-0.16±0.01 mg/l

ข. เมื่อสไปรูไลนามีความหนาแน่นสูงที่สุด

การใช้อาหารที่มีน้ำหมักกระถิน น้ำหมักปลาทู 0.1% ที่ไม่เติมสารอาหารเพิ่ม อาหาร Zarrouk สูตรปกติ และสูตรดัดแปลง ในน้ำเพาะเลี้ยงเหลือแอมโมเนียต่ำที่สุดและ ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) คือ 0.01±.0.01-0.04±0.01 รองลงมาคือปริมาณแอมโมเนียที่มีในน้ำเมื่อใช้อาหารที่มีน้ำหมักปลาทูที่มีการเติมสารอาหารเพิ่มก่อน และในวันที่สไปรูไลนาหนาแน่นมากที่สุด และเมื่อใช้น้ำหมักกระถินในวันที่สไปรูไลนามีความหนาแน่นมากที่สุด ที่ในน้ำเพาะเลี้ยงมีแอมโมเนีย 0.17±0.01-0.18±0.03 mg/l การใช้น้ำหมักปลาทูที่มีการเติมสารอาหารเพิ่มหลังวันที่สาหร่ายเจริญสูงที่สุด และการใช้น้ำหมักกระถินที่มีการเติมก่อนหรือหลังวันที่สาหร่ายเจริญสูงที่สุดมีปริมาณแอมโมเนียเหลือสูงที่สุดและ ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$)คือ 0.22±0.03-0.25±0.03 mg/l

ฟอสเฟต

ก. เมื่อเริ่มต้นการเพาะเลี้ยง

ในอาหารเคมีทั้งสองสูตรมีปริมาณฟอสเฟตเมื่อเริ่มต้นมากกว่าปริมาณที่มีในอาหารที่มีน้ำหมักวัสดุอินทรีย์ทุกสูตรอย่างมีนัยสำคัญ โดยที่ปริมาณฟอสเฟตในอาหารสูตร Zarrouk มีค่า 254.09±18.21 mg/l มากกว่าปริมาณที่มีในอาหาร Zarrouk สูตรดัดแปลงที่มีฟอสเฟต 205.06±16.34 mg/l ทางสถิติ ในอาหารที่มีน้ำหมักปลาทู และน้ำหมักกระถิน 0.1% มีฟอสเฟตเมื่อเริ่มต้น 4.84±0.10 และ 2.99±0.12 mg/l ตามลำดับ

ข. เมื่อสไปรูไลนาเจริญหนาแน่นสูงที่สุด

การใช้อาหาร Zarrouk สูตรปกติ และสูตรดัดแปลงในการเพาะเลี้ยงสไปรูไลนาเหลือฟอสเฟต 61.04±11.045 และ 55.41±8.76 mg/l ตามลำดับ สูงกว่าปริมาณฟอสเฟตที่เหลืออยู่ในอาหารที่มีน้ำหมักเป็นส่วนประกอบทุกชุดการทดลองที่เหลือไนเตรท 0.72±0.11-5.77±0.22 mg/l อย่างมีนัยสำคัญ

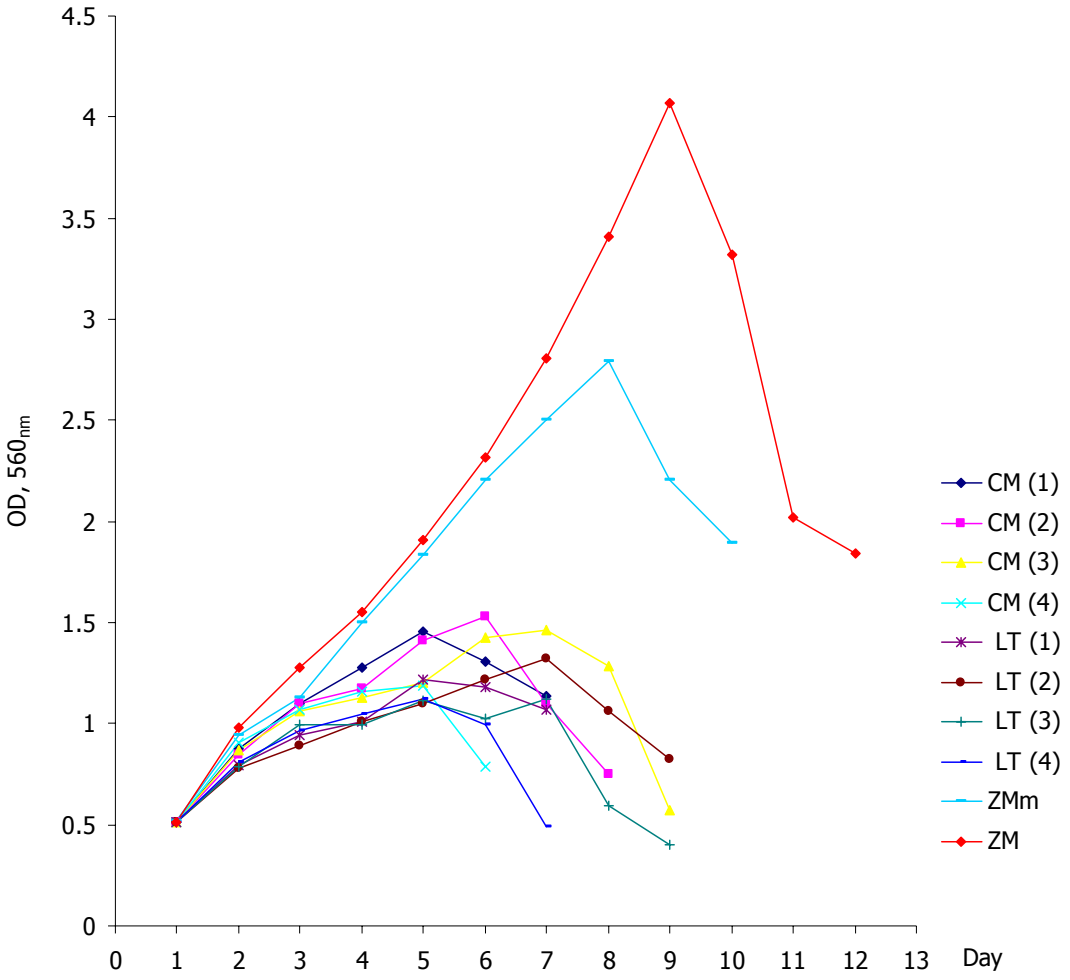
ตารางที่ 8 ความหนาแน่นสูงที่สุด (ODmax, mean±SD, OD, 560_{nm}) น้ำหนักแห้ง (g/l) ของสไปรูไลนาและจำนวนวันที่เพาะเลี้ยง (Dmax, mean±SD, วัน) ในอาหารสูตร Zarrouk ปกติ สูตรดัดแปลง น้ำหมักปลาทู และกระถิน 0.1% ที่ไม่เติม/เติมอาหารอีกครั้งใน 3 ช่วงเวลา

ชุดการทดลอง	ODmax**	DW**	Dmax**
CM 1)	1.454±0.03^{c}	1.80±0.37^{abc}	4.50±0.58^{b}
CM 2)	1.531±0.08^{c}	2.41±0.47^{c}	5.25±0.50^{c}
CM 3)	1.467±0.11^{c}	1.43±0.86^{ab}	5.75±0.00^{c}
CM 4)	1.185±0.07^{a}	1.24±0.46^{a}	3.50±0.58^{a}
LT 1)	1.215±0.02^{a}	1.90±0.33^{abc}	4.25±0.50^{b}
LT 2)	1.325±0.05^{b}	1.78±0.71^{abc}	5.75±0.50^{c}
LT 3)	1.119±0.10^{a}	2.05±0.20^{bc}	6.00±0.00^{c}
LT 4)	1.124±0.03^{a}	1.40±0.13^{ab}	4.25±0.50^{b}
ZMm	2.794±0.04^{d}	2.49±0.19^{c}	7.25±0.50^{d}
ZM	4.067±0.09^{e}	3.96±0.29^{d}	8.25±0.50^{e}

หมายเหตุ 1. ZM = อาหารสูตร Zarrouk; ZMm = อาหาร Zarrouk สูตรดัดแปลง; CM = น้ำหมักปลาทู; LT= น้ำหมักกระถิน

2. 1) = เติมน้ำหมักก่อนสาหร่ายเจริญสูงที่สุด 2) = เติมน้ำหมักวันที่สาหร่ายเจริญสูงที่สุด 3) = เติมน้ำหมักหลังสาหร่ายเจริญสูงที่สุด 4) = ไม่มีการเติมน้ำหมัก

3. เปรียบเทียบเฉพาะในแนวตั้งเดียวกัน; ** แตกต่างกันทางสถิติ, $p<0.01$; ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรต่างกันกำกับแตกต่างกันทางสถิติ



ภาพที่ 11 การเจริญของสไปรูไลนา (mean±SD, OD, 560_{nm}) ที่เพาะเลี้ยงในอาหารสูตร Zarrouk ปกติ สูตรดัดแปลง น้ำหมักปลาทู และกระถิน 0.1% ที่ไม่เติม/เติมอาหารอีกครั้งใน 3 ช่วงเวลา

หมายเหตุ

1. ZM = อาหารสูตร Zarrouk; ZMm = อาหาร Zarrouk สูตรดัดแปลง; CM = น้ำหมักปลาทู; LT= น้ำหมักกระถิน
2. 1) = เติมน้ำหมักก่อนสาหร่ายเจริญสูงที่สุด 2) = เติมน้ำหมักวันที่สาหร่ายเจริญสูงที่สุด 3) = เติมน้ำหมักหลังสาหร่ายเจริญสูงที่สุด 4) = ไม่มีการเติมน้ำหมัก

ตารางที่ 9 การเจริญของสไปรูไลนา (mean±SD, OD, 560_{nm}) ที่เพาะเลี้ยงในอาหารสูตร Zarrouk ปกติ สูตรดัดแปลง น้ำหมักจากปลาทู และกระถิน 0.1% ที่ไม่เติม/เติมอาหารอีกครั้งใน 3 ช่วงเวลา

ชุดการทดลอง	วันที่ 0	วันที่ 1**	วันที่ 2**	วันที่ 3**	วันที่ 4**	วันที่ 5**	วันที่ 6**	วันที่ 7**	วันที่ 8**	วันที่ 9*	วันที่ 10
CM (1)	0.515	0.873±0.02^{c}	1.100±0.05^{cd}	1.280±0.03^{c}	1.454±0.03^{d}	1.307±0.22^{de}	1.139±0.26^{b}	-	-	-	-
CM (2)	0.515	0.847±0.01^{bc}	1.09±0.066^{d}	1.171±0.05^{b}	1.413±0.04^{d}	1.531±0.08^{f}	1.096±0.57^{b}	0.749±0.49^{ab}	-	-	-
CM (3)	0.515	0.872±0.03^{c}	1.062±0.05^{d}	1.132±0.02^{b}	1.204±0.07^{c}	1.424±0.05^{ef}	1.467±0.11^{b}	1.286±0.07^{c}	0.569±0.10^{a}	-	-
CM (4)	0.515	0.903±0.02^{cd}	1.068±0.05^{cd}	1.158±0.04^{b}	1.185±0.07^{bc}	0.787±0.18^{a}	0.486±0.13^{a}	-	-	-	-
LT (1)	0.515	0.792±0.03^{ab}	0.941±0.02^{ab}	1.010±0.06^{a}	1.215±0.02^{c}	1.178±0.04^{cd}	1.072±0.11^{b}	-	-	-	-
LT (2)	0.515	0.781±0.04^{a}	0.893±0.11^{a}	1.010±0.06^{a}	1.100±0.05^{a}	1.215±0.05^{d}	1.325±0.05^{b}	1.060±0.36^{bc}	1.057±0.24^{a}	-	-
LT (3)	0.515	0.787±0.02^{ab}	0.992±0.06^{bc}	0.992±0.03^{a}	1.111±0.02^{ab}	1.024±0.04^{bc}	1.119±0.10^{b}	0.591±0.21^{a}	0.398±0.21^{a}	-	-
LT (4)	0.515	0.806±0.02^{ab}	0.965±0.06^{ab}	1.048±0.08^{a}	1.124±0.03^{ab}	0.992±0.14^{b}	0.493±0.19^{a}	-	-	-	-
ZMm	0.519	0.942±0.07^{de}	1.130±0.03^{d}	1.502±0.04^{d}	1.836±0.09^{e}	2.208±0.05^{g}	2.501±0.04^{c}	2.794±0.04^{d}	2.208±0.82^{b}	1.890±0.00^{a}	-
ZM	0.516	0.979±0.08^{e}	1.277±0.05^{e}	1.552±0.05^{d}	1.912±0.05^{f}	2.320±0.07^{g}	2.810±0.14^{c}	3.406±0.08^{e}	4.067±0.09^{c}	3.321±0.90^{b}	2.018±1.24

หมายเหตุ 1. ZM = อาหารสูตร Zarrouk; ZMm = อาหาร Zarrouk สูตรดัดแปลง; CM = น้ำหมักปลาทู; LT= น้ำหมักกระถิน

2. 1) = เติมน้ำหมักก่อนสาหร่ายเจริญสูงที่สุด; 2) = เติมน้ำหมักวันที่สาหร่ายเจริญสูงที่สุด; 3) = เติมน้ำหมักหลังสาหร่ายเจริญสูงที่สุด; 4) = ไม่มีการเติมน้ำหมัก

3. เปรียบเทียบเฉพาะในแนวตั้งเดียวกัน; ** แตกต่างกันทางสถิติ, $p<0.01$; ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรต่างกันกำกับแตกต่างกันทางสถิติ

4. – สิ้นสุดการทดลอง

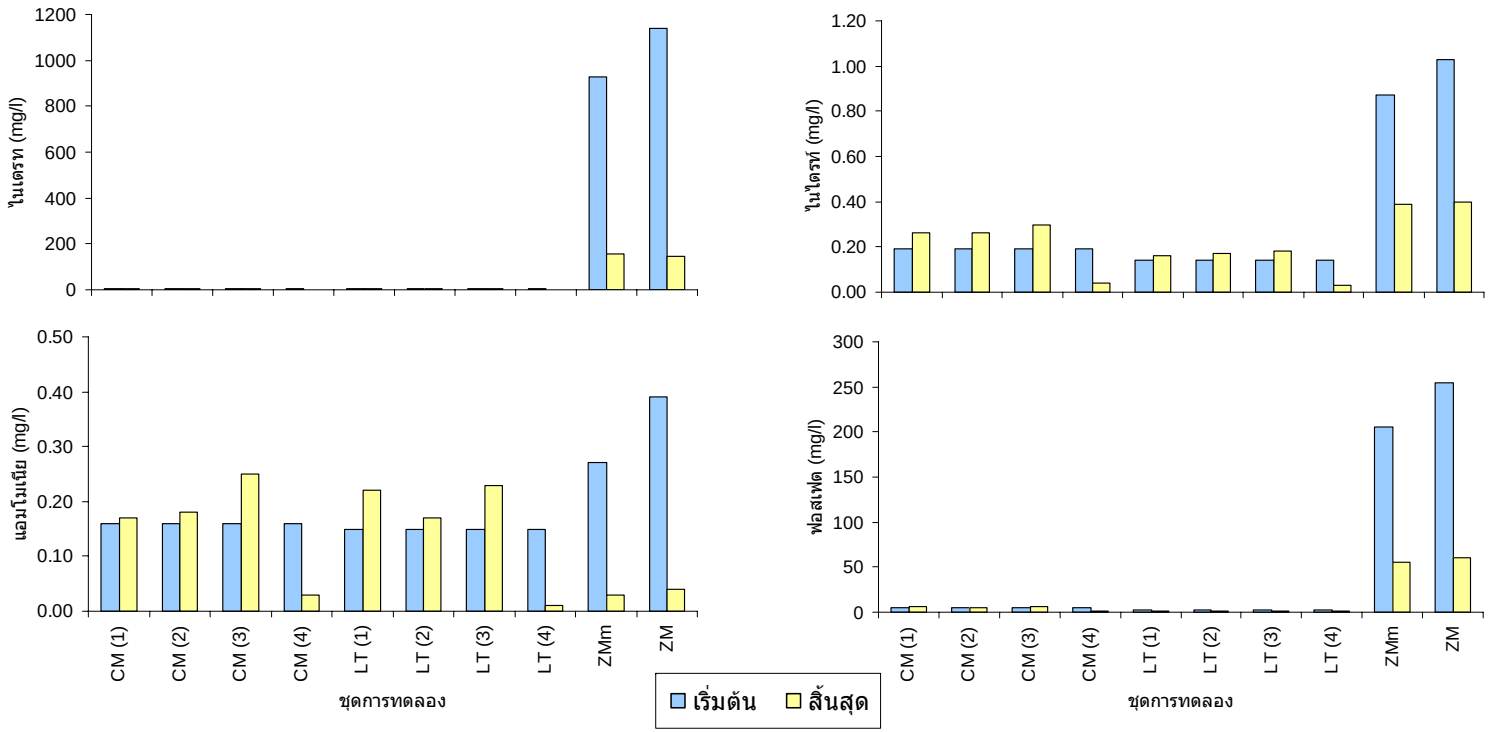
ตารางที่ 10 ปริมาณไนเตรท ไนไตรท์ แอมโมเนีย และฟอสเฟต (mean±SD, mg/l) ในระหว่างการเพาะเลี้ยงสไปรูไลนาในอาหารสูตร Zarrouk ปกติ, สูตรดัดแปลง, น้ำหมักจากปลาทู และกระถิน 0.1% ที่ไม่เติม/เติมอาหารอีกครั้งใน 3 ช่วงเวลา เมื่อเริ่มต้นการทดลอง (i) และวันที่สไปรูไลนามีความหนาแน่นสูงที่สุด

ชุดการทดลอง	CM 1)	CM 2)	CM 3)	CM 4)	LT 1)	LT 2)	LT 3)	LT 4)	ZMm	ZM
NO_3^-										
i**	5.47±0.20^{a}	5.47±0.20^{a}	5.47±0.20^{a}	5.47±0.20^{a}	3.29±0.11^{a}	3.29±0.11^{a}	3.29±0.11^{a}	3.29±0.11^{a}	927.40±25.12^{b}	1,138.25±35.82^{c}
I**	5.47±0.82^{a}	5.46±0.62^{a}	4.89±0.44^{a}	1.93±0.44^{a}	3.20±0.21^{a}	3.13±0.17^{a}	3.00±0.61^{a}	0.21±0.06^{a}	154.61±21.84^{b}	145.75±14.86^{b}
NO_2^-										
i**	0.19±0.02^{b}	0.19±0.02^{b}	0.19±0.02^{b}	0.19±0.02^{b}	0.14±0.01^{a}	0.14±0.01^{a}	0.14±0.01^{a}	0.14±0.01^{a}	0.87±0.02^{c}	1.03±0.02^{d}
I**	0.26±0.07^{c}	0.26±0.03^{c}	0.30±0.05^{c}	0.04±0.02^{a}	0.16±0.03^{b}	0.17±0.06^{b}	0.18±0.05^{b}	0.03±0.01^{a}	0.39±0.04^{d}	0.40±0.06^{d}
NH_4^+										
i**	0.16±0.01^{a}	0.16±0.01^{a}	0.16±0.01^{a}	0.16±0.01^{a}	0.15±0.01^{a}	0.15±0.01^{a}	0.15±0.01^{a}	0.15±0.01^{a}	0.27±0.02^{b}	0.39±0.02^{c}
I**	0.17±0.03^{b}	0.18±0.03^{bc}	0.25±0.03^{d}	0.03±0.02^{a}	0.22±0.03^{cd}	0.17±0.05^{b}	0.23±0.03^{d}	0.01±.0.01^{a}	0.03±0.02^{a}	0.04±0.01^{a}
PO_4^{3-}										
i**	4.84±0.10^{a}	4.84±0.10^{a}	4.84±0.10^{a}	4.84±0.10^{a}	2.99±0.12^{a}	2.99±0.12^{a}	2.99±0.12^{a}	2.99±0.12^{a}	205.06±16.34^{b}	254.09±18.21^{c}
I**	5.77±0.17^{a}	5.39±0.37^{a}	5.77±0.22^{a}	1.41±0.11^{a}	0.79±0.13^{a}	0.79±0.21^{a}	0.85±0.09^{a}	0.72±0.11^{a}	55.41±8.76^{b}	61.04±11.045^{b}

หมายเหตุ 1. ZM = อาหารสูตร Zarrouk; ZMm = อาหาร Zarrouk สูตรดัดแปลง; CM = น้ำหมักปลาทู; LT= น้ำหมักกระถิน

2. 1) = เติมน้ำหมักก่อนสาหร่ายเจริญสูงที่สุด 2) = เติมน้ำหมักวันที่สาหร่ายเจริญสูงที่สุด 3) = เติมน้ำหมักหลังสาหร่ายเจริญสูงที่สุด 4) = ไม่มีการเติมน้ำหมัก

3. เปรียบเทียบเฉพาะในแนวตั้งเดียวกัน; ** แตกต่างกันทางสถิติ, $p<0.01$; ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรต่างกันกำกับแตกต่างกันทางสถิติ



ภาพที่ 12 ปริมาณธาตุอาหาร (mg/l) ในระหว่างการเพาะเลี้ยงสไปรูไลนาในอาหารสูตร Zarrouk ปกติ, สูตรดัดแปลง, น้ำหมักจากปลาทู และกระถิน 0.1% ที่ไม่เติม/เติมอาหารอีกครั้งใน 3 ช่วงเวลา

หมายเหตุ 1. ZM = อาหารสูตร Zarrouk; ZMm = อาหาร Zarrouk สูตรดัดแปลง; CM = น้ำหมักปลาทู; LT= น้ำหมักกระถิน

2. 1) = เติมน้ำหมักก่อนสาหร่ายเจริญสูงที่สุด 2) = เติมน้ำหมักวันที่สาหร่ายเจริญสูงที่สุด 3) = เติมน้ำหมักหลังสาหร่ายเจริญสูงที่สุด 4) = ไม่มีการเติมน้ำหมัก

5.5 วิจารณ์

ปริมาณสารอาหารที่ได้จากการหมักวัสดุอินทรีย์มีความสัมพันธ์กับชนิดของวัสดุ ลักษณะซึ่งรวมถึงอายุ ช่วงเวลาเก็บเกี่ยว สภาวะแวดล้อมขณะเกิดการย่อยสลาย แหล่งที่มา ตลอดจนขั้นตอน วิธีการ กระบวนการย่อยสลาย และระยะเวลาในการย่อยสลายเป็นสำคัญ (วรรณลดา, 2546; Ratana *et al*., 2010) การคัดเลือกน้ำหมักจากวัสดุ 2 ชนิดโดยการเลือกวัสดุในท้องถิ่นที่สามารถหาวัสดุได้ง่ายกว่า และมีต้นทุนต่ำกว่า ที่สไปรูไลนาสามารถเจริญได้ดีจากน้ำหมักวัสดุอินทรีย์หลายชนิดข้างต้น คือ น้ำหมักปลาทู และน้ำหมักกระถิน ดังที่ได้กล่าวมาแล้วในบทที่ผ่านมาว่า น้ำหมักปลาทูมีปริมาณสารอาหารหลักมากกว่าปริมาณที่มีในน้ำหมักกระถิน วัตถุดิบจากปลาทูที่ใช้มีส่วนประกอบที่เป็นเศษเหลือเป็นเนื้อเยื่อจากหลายส่วน ทั้งเหงือก เลือด เนื้อ หนัง ส่วนที่เป็นกล้ามเนื้อและอวัยวะภายที่ประกอบด้วยโปรตีน และไขมันในปริมาณมาก รวมทั้งเศษเลือด และอาหารที่ปลากินที่ค้างอยู่ในกระเพาะ (Soriguer *et al*., 1997) เมื่อผ่านกระบวนการย่อยสลาย วัสดุเศษเหลือทั้งหมดของปลาทูประกอบด้วยสารประกอบไนโตรเจนรวม 7.35±0.01 mg/l ส่วนกระถินแห้งมีไนโตรเจนรวม 4.87±0.01 (w/w) ในน้ำหมักปลาทู 100% มีสารประกอบไนโตรเจนรวม 1.43±0 mg/l สูงกว่าในน้ำหมักกระถินที่มีไนโตรเจนรวม 0.12 mg/l สัมพันธ์กับที่วรรณลดา (2546) รายงานไว้ว่า น้ำหมักที่ได้จากปลามีปริมาณธาตุอาหารสูงกว่าน้ำหมักที่ได้จากผักและผลไม้ ในน้ำหมักกระถินมีเพียงโพแทสเซียมแม้จะจำเป็นสำหรับเจริญของสไปรูไลนาก็ตามแต่ไม่ได้มีบทบาทหลัก (Mostert and Grobbelaar, 1981) ทำให้สไปรูไลนาสามารถเจริญในอาหารที่มีน้ำหมักปลาทูได้ดีกว่าในอาหารที่มีน้ำหมักกระถิน

การใช้น้ำหมักอินทรีย์ในการเพาะเลี้ยงสไปรูไลนาจึงมีความสัมพันธ์กับชนิดของวัสดุ สภาพของวัสดุ ทั้งความหนาแน่น และน้ำหนักแห้งของสไปรูไลนาที่เพาะเลี้ยงในน้ำหมักจากปลาดีกว่าสไปรูไลนาที่เพาะเลี้ยงในน้ำหมักจากพืช โดยเฉพาะอย่างยิ่งไนเตรทที่มีซึ่งเกี่ยวข้องโดยตรงกับน้ำหนักแห้งมากกว่า (Çelekli and Yavuzatmaca, 2009) การใช้น้ำหมักปลา 0.1% ทำให้อาหารเพาะเลี้ยงมีไนเตรท 3.73-5.57 mg/l ในน้ำหมักพืช 0.1% มีไนเตรท 1.84-1.93 mg/l ปริมาณสารอาหารที่มีในน้ำหมักเกี่ยวข้องกับรูปแบบของผลผลิตที่ได้จากกระบวนการย่อยสลาย และที่เกี่ยวข้องกับระยะเวลาที่ใช้ในการย่อสลายที่เนื้อเยื่อสัตว์เกิดการย่อยสลายได้ดีกว่าและเร็วกว่าเนื้อเยื่อพืชที่อยู่ในรูปอาจซับซ้อนกว่า (Begon *et al*., 2006) ในน้ำหมักพืชและสัตว์ที่ได้จากการหมักในระยะเวลาจำกัดที่เท่ากันจึงอาจมีสารประกอบที่สไปรูไลนาจะสามารถนำไปใช้ในการเจริญเติบโตได้แตกต่างกัน ชนิดและปริมาณสารอาหารจึงมีอิทธิพลต่อการเจริญของสไปรูไลนาโดยตรง (อิทธิสุนทร, 2538; Vonshak, 1997; Costa *et al*., 2003; Lodi *et al*., 2003; Colla *et al*., 2007; Chaiklahan *et al*., 2010) มีความสัมพันธ์โดยตรงกับผลผลิต และน้ำหนักแห้งของสไปรูไลนาที่เพาะเลี้ยง (Costa *et al*., 2003)

ดังที่สามารถใช้น้ำหมักอินทรีย์สำหรับการเพาะเลี้ยงสไปรูไลนาได้ในปริมาณจำกัด การเพิ่มปริมาณน้ำหมักชนิดและความเข้มข้นเท่าเดิม ในช่วงเวลาที่แตกต่างกันในการทดลองนี้ ทำให้สไปรูไลนาเจริญได้หนาแน่นมากขึ้น มีน้ำหมักแห้งเพิ่มมากขึ้นกว่าการไม่มีการเพิ่มปริมาณอาหาร และสามารถเจริญได้ยาวนานขึ้น (Costa *et al*., 2004; Rangel-Yagui *et al*., 2004) ในระยะ 3-5 วันที่ปกติสไปรูไลนาเจริญในอาหารที่ใช้น้ำหมักเมื่อใช้ครั้งเดียว เซลล์ของสไปรูไลนาจะยังคงอยู่ในระยะต้นของการเจริญแบบ exponential (Richmond, 2004) สภาพแวดล้อมที่เซลล์เจริญอยู่ยังคงอยู่ในสภาพดีเมื่อปริมาณเซลล์ยังไม่หนาแน่น (Chen and Zhang, 1997) ภายใต้สภาพแวดล้อมที่เหมาะสมการเจริญเติบโตของสไปรูไลนามีความสัมพันธ์โดยตรงกับปริมาณธาตุอาหารที่มี (Çelekli and Yavuzatmaca, 2009) การมีสารอาหารเพิ่มมากขึ้นในระยะนี้หรือใกล้เคียง จึงทำให้สไปรูไลนาสามารถเจริญเพิ่มมากขึ้นได้ การใช้น้ำหมักปลาทูยังคงให้ผลที่ดีกว่าการใช้น้ำหมักกระถินทั้งความหนาแน่น และน้ำหนักแห้งของสไปรูไลนาในทำนองเดียวกับเมื่อไม่มีการเติมอาหาร อย่างไรก็ตามพบว่า ไนเตรทที่มีในน้ำหมักที่เติมลงไปทั้งน้ำหมักปลาทู และน้ำหมักกระถินถูกใช้ไปน้อยมาก ในขณะที่ฟอสเฟตในชุดการทดลองที่ใช้น้ำหมักปลาทูถูกใช้ไปน้อยกว่าเมื่อใช้น้ำหมักกระถิน อย่างไรก็ตามปริมาณทั้งไนเตรทและฟอสเฟตไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($p>0.05$) เมื่อมีการเติมน้ำหมักทุกชนิดและทุกช่วงเวลาที่เติมน้ำหมักอีกครั้งเนื่องจากการที่ในน้ำหมักทุกชนิดมีปริมาณธาตุอาหารที่ต่ำมากดังได้กล่าวมาแล้วข้างต้น

การที่สไปรูไลนาที่เพาะเลี้ยงในน้ำหมักอินทรีย์สามารถเจริญเติบโตอยู่ได้ในระยะเวลาที่สั้นกว่าในชุดการทดลองที่ใช้อาหารเคมี สไปรูไลนาที่ได้รับอาหารอินทรีย์ที่มีคุณภาพดี เช่น การใช้น้ำหมักปลาทูมีการเจริญในระยะ 3-4 วันแรกที่สูงกว่าสไปรูไลนาที่เพาะเลี้ยงในอาหารเคมีอย่างมีนัยสำคัญ แสดงให้เห็นว่า ในระยะนี้สไปรูไลนาสามารถใช้ธาตุอาหารจากน้ำหมักได้ดีกว่าสารอาหารที่มีในอาหารเคมี แม้ว่าปกติ วัสดุอินทรีย์ปลดปล่อยธาตุอาหารต่ำกว่า และช้ากว่าอาหารเคมีก็ตาม (Lodi *et al*., 2003) สารอาหารที่มีอยู่ในปริมาณน้อยมากในอาหารอินทรีย์จึงหมดลงอย่างรวดเร็วก่อนที่สไปรูไลนาจะสามารถเจริญถึงระยะ log phase ได้ เมื่อได้รับสารอาหารเพิ่มเติม สไปรูไลนาที่มีอยู่จึงสามารถเจริญต่อไปได้อีก อย่างไรก็ตามระยะการเจริญของสไปรูไลนาที่เพาะเลี้ยงในอาหารอินทรีย์ที่ได้รับอาหารเพิ่มเติมเมื่อถึงระยะที่มีความหนาแน่นมากที่สุดยังคงสั้นกว่าสไปรูไลนาที่เพาะเลี้ยงในอาหารเคมี เนื่องจากในการทดลองครั้งนี้ได้มีการทดลองเติมสารอาหารเพิ่มเติมเพียงครั้งเดียว จึงยังไม่สามารถสรุปได้ว่า จะสามารถเติมน้ำหมักอินทรีย์ครั้งต่อๆ ไปได้โดยที่สไปรูไลนาจะยังคงเจริญต่อไปได้หรือไม่ หรือเติมได้กี่ครั้ง ควรที่จะได้มีการศึกษากันต่อไป

5.6 สรุป

1. สไปรูไลนาที่เพาะเลี้ยงในอาหารอินทรีย์จากน้ำหมักปลาทู และกระถินที่เติมน้ำหมัก 0.1% อีกครั้งใน 3 ช่วงเวลา มีความหนาแน่น 1.119±0.096-1.531±0.083 (OD, 560_{nm}) มีน้ำหนักแห้ง 1.24±0.46- 2.41±0.47 g/l และใช้เวลา 3.50±0.58-6.00±0.00 วัน ต่ำกว่าสไปรูไลนาที่เพาะเลี้ยงในอาหารสูตร Zarrouk ปกติ และในอาหาร Zarrouk สูตรดัดแปลง ที่เจริญได้ 2.794±0.039-4.067±0.091 (OD, 560_{nm}) มีน้ำหนักแห้ง 2.49±0.19-3.96±0.29 g/l ในเวลา 7.25±0.50-8.25±0.50 วัน
2. การเพิ่มน้ำหมักอินทรีย์ชนิดและปริมาณเท่าเดิมอีกครั้ง ทำให้สไปรูไลนาสามารถเจริญเติบโตต่อไป มีความหนาแน่นมากขึ้น และเจริญอยู่ได้นานกว่าการไม่เพิ่มอาหารอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.01$) ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ระหว่างความหนาแน่นของเซลล์ น้ำหนักแห้ง และระยะเวลาที่สไปรูไลนาเจริญเมื่อเติมอาหารต่างช่วงเวลา ($p>0.05$)
3. การเพิ่มน้ำหมักปลาทูทำให้สไปรูไลนาเจริญได้ความหนาแน่นมากกว่าการเพิ่มน้ำหมักกระถินอย่างมีนัยสำคัญ การเพิ่มน้ำหมักกระถินอีกครั้งทั้งสามช่วงเวลา และการเพิ่มน้ำหมักปลาทูก่อน และในวันที่สไปรูไลนาเจริญหนาแน่นมากที่สุดทำให้สไปรูไลนามีน้ำหนักแห้งไม่แตกต่างทางสถิติกับสไปรูไลนาที่เพาะเลี้ยงในอาหาร Zarrouk สูตรดัดแปลง

การเพิ่มปริมาณสารอาหารให้กับสไปรูไลนาด้วยเติมน้ำหมัก ทำให้สไปรูไลนาเจริญได้ดีขึ้น และเจริญยาวนานกว่าเมื่อไม่มีการเติมอาหาร ซึ่งเป็นผลมาจาการใช้น้ำหมักชนิดเดียวกัน ความหลากหลายของธาตุอาหารอาจมีข้อจำกัดจากแหล่งที่มา ความพยายามในบทต่อไปที่จะใช้น้ำหมักที่ได้จากสัตว์ และพืชผสมเข้าด้วยกัน สำหรับการเพาะเลี้ยงสไปรูไลนา ควรชี้ให้เห็นผลบางประการที่จะเป็นประโยชน์ต่อการเพาะเลี้ยงสไปรูไลนาด้วยอาหารอินทรีย์ต่อไป

บทที่ 6

การทดลองที่ 3

6.1 บทนำ

วัสดุแต่ละชนิดเมื่อผ่านกระบวนการย่อยสลายแล้วจะให้สารอาหารทั้งชนิดและปริมาณแตกต่างกัน เช่น ปลามีปริมาณไนโตรเจนสูงกว่า ผักและผลไม้ ในขณะที่ผักมีปริมาณโพแทสเซียมที่สูงกว่าปลา (วรรณลดา, 2546) การผสมน้ำหมักที่ได้จากการย่อยสลายปลาและพืช ควรทำให้สไปรูไลนาได้รับสารอาหารที่หลากหลากกว่าการใช้น้ำหมักที่ได้จากการย่อยสลายวัสดุเพียงชนิดเดียว และควรทำให้สไปรูไลนาเจริญได้ดีขึ้น

6.2 วัตถุประสงค์ เพื่อศึกษา

1. การเจริญของสไปรูไลนาที่เพาะเลี้ยงในน้ำหมักอินทรีย์ผสมจากปลาทูและกระถินความเข้มข้นต่างๆ เปรียบเทียบกับการใช้น้ำหมักปลาทู และกระถินเดี่ยว และเปรียบเทียบกับอาหารสูตร Zarrouk
2. ปริมาณธาตุอาหารหลักในระหว่างการเพาะเลี้ยงสไปรูไลนาในทุกอาหารสูตร

6.3 วิธีดำเนินการ

การเพาะเลี้ยงสไปรูไลนาในอาหารสูตร Zarrouk (Ciferri and Tiboni, 1985 อ้างถึง Zarrouk, 1966) เปรียบเทียบกับการใช้อาหาร Zarrouk สูตรดัดแปลง ความเข้มข้น 100% น้ำหมักเดี่ยวและน้ำหมักผสมที่มีความเข้มข้นรวมกันเท่ากับ 0.1% ดังนี้

1) น้ำหมักปลาทู 0.1%
2) น้ำหมักปลาทู 0.025% ผสมน้ำหมักกระถิน 0.075%
3) น้ำหมักปลาทู 0.050% ผสมน้ำหมักกระถิน 0.050%
4) น้ำหมักปลาทู 0.075% ผสมน้ำหมักกระถิน 0.025%
5) น้ำหมักกระถิน 0.1%

เพาะเลี้ยงสไปรูไลนาที่ความหนาแน่นเริ่มต้น 0.5 (OD, 560_{nm}) (Lamela and Marquez-Rocha, 2000) ปริมาตร 1 L ชุดการทดลองละ 4 ซ้ำ ในสภาวะกึ่งธรรมชาติ ที่ได้รับความเข้มแสง 2,500-18,000 Lux อุณหภูมิ 32-36 $^{\circ}$C ความเป็นกรด-ด่าง 8.35-10.88 เพาะเลี้ยงสไปรูไลนาจนกระทั่งความหนาแน่นของสไปรูไลนาลดลงเป็นวันที่สอง จึงยุติการทดลอง ในระหว่างการทดลองทำการตรวจวัด

(1) การเจริญของสไปรูไลนา (OD, 560_{nm}) และน้ำหนักแห้งทุกวันๆ ละครั้ง ในเวลา 9.00 น.

(2) อุณหภูมิอากาศและน้ำ ค่าความเป็นกรด-ด่าง และความเข้มของแสงทุกวันๆ วันละครั้ง ในเวลา 12.00 น.

(3) ปริมาณไนไตรท์ ไนเตรท แอมโมเนีย และออร์โธฟอสเฟต (Boyd and Tucker, 1992) ทุกๆ 2 วัน ในเวลา 9.00 น.

6.4 ผลการทดลอง

การเจริญของสไปรูไลนา

สไปรูไลนาเจริญได้ความหนาแน่นมากที่สุด น้ำหนักแห้ง และใช้ระยะเวลาที่แตกต่างกันทางสถิติ ($p<0.01$) ดังนี้

ก. ความหนาแน่นของเซลล์ (ภาพที่ 13; ตารางที่ 11)

สไปรูไลนาที่เพาะเลี้ยงในอาหารสูตร Zarrouk ปกติ เจริญได้ความหนาแน่นสูงที่สุดเฉลี่ย 3.180±0.26 ดีกว่าสไปรูไลนาที่เพาะเลี้ยงทุกสูตรที่เหลืออย่างมีนัยสำคัญ รองลงมาคือ สไปรูไลนาที่เพาะเลี้ยงในอาหาร Zarrouk สูตรดัดแปลง อาหาร Zarrouk สูตรดัดแปลงที่ผสมน้ำหมักปลาทู 0.1% และที่ผสมน้ำหมักกระถิน 0.1% ที่เจริญได้ความหนาแน่นสูงที่สุดเฉลี่ย 2.394±0.02, 2.666±0.13 และ 2.615±0.13 ตามลำดับ สูงกว่าสไปรูไลนาที่เพาะเลี้ยงในอาหารอินทรีย์อย่างมีนัยสำคัญ

ในระหว่างอาหารอินทรีย์ สไปรูไลนาที่เพาะเลี้ยงในน้ำหมักปลาทู 0.1% เจริญได้ความหนาแน่นสูงที่สุด 1.643±0.50 สูงกว่าชุดการทดลองที่เหลือทางสถิติ รองลงมาได้แก่ สไปรูไลนาที่เพาะเลี้ยงในน้ำหมักกระถิน 0.1% เจริญได้ 1.329±0.07 สูงกว่าสไปรูไลนาที่เพาะเลี้ยงในน้ำหมักปลาทู 0.025% ที่ผสมน้ำหมักกระถิน 0.075% และในน้ำหมักปลาทู 0.075% ที่ผสมน้ำหมักกระถิน 0.025% เจริญได้ 1.024±0.18 และ 1.225±0.09 ตามลำดับ แต่ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) สไปรูไลนาที่เพาะเลี้ยงในน้ำหมักปลาทู 0.05% ที่ผสมน้ำหมักกระถิน 0.05% น้ำหมักปลาทู 0.025% ที่ผสมน้ำหมักกระถิน 0.075% และน้ำหมักปลาทู 0.075% ที่ผสมน้ำหมักกระถิน 0.025% เจริญได้ 0.902±0.20-1.225±0.09 ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$)

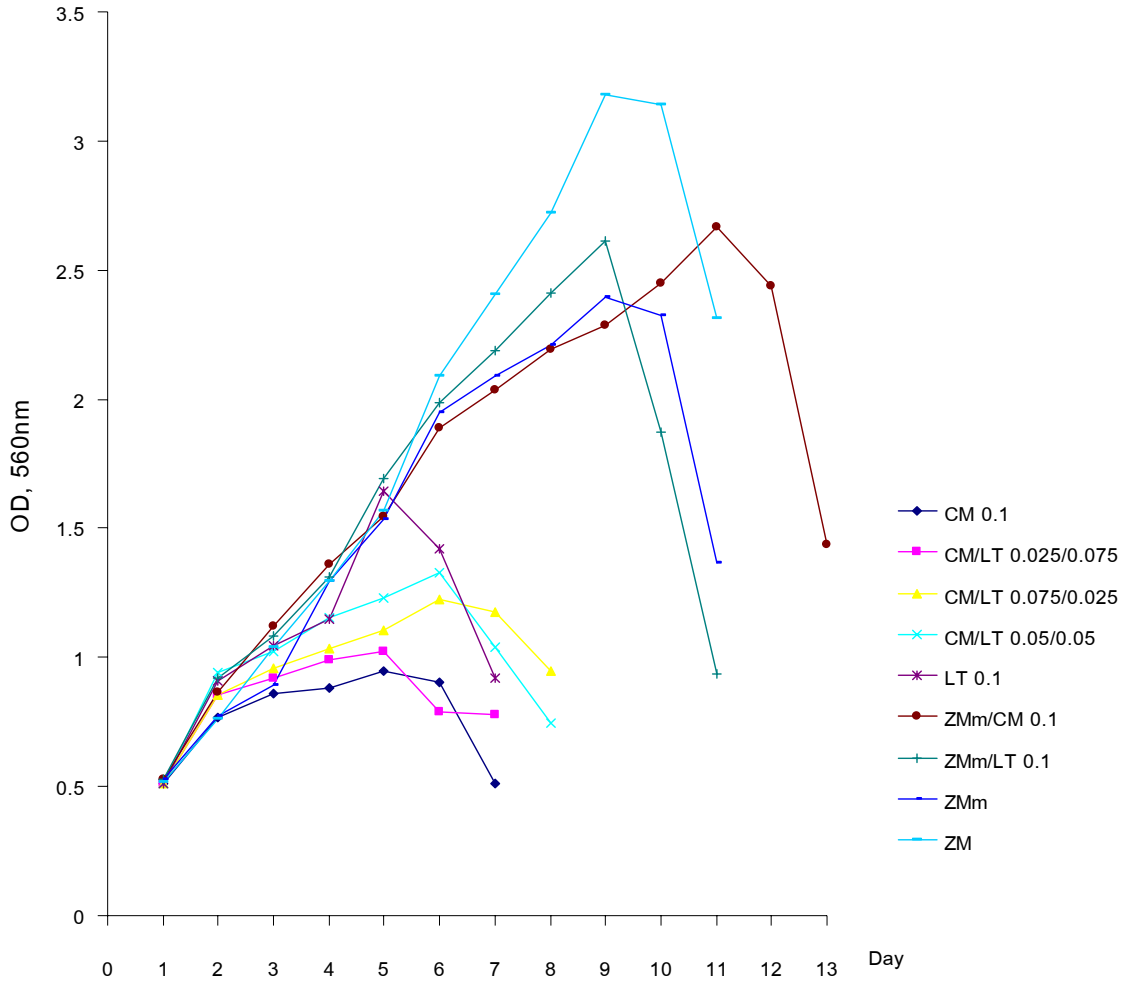
ข. น้ำหนักแห้ง (ตารางที่ 12)

เมื่อสไปรูไลนาเจริญหนาแน่นมากที่สุด สไปรูไลนาที่เพาะเลี้ยงในอาหารสูตร Zarrouk มีน้ำหนักแห้งเฉลี่ย 3.53±0.11 g/l สูงกว่าชุดการทดลองอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญ รองลงมาคือ สไปรูไลนาที่เพาะเลี้ยงในอาหาร Zarrouk สูตรดัดแปลง ที่ผสมน้ำหมักปลาทู 0.1% ที่ผสมน้ำหมักกระถิน 0.1% และที่ไม่มีน้ำหมักอินทรีย์มีน้ำหนักแห้งเฉลี่ย 3.10±0.14, 2.93±0.07 และ

2.65±0.11 g/l ตามลำดับ ซึ่งสูงกว่าสไปรูไลนาที่เพาะเลี้ยงในปุ๋ยอินทรีย์สูตรที่เหลืออย่างมีนัยสำคัญ ในระหว่างอาหารอินทรีย์ สไปรูไลนาที่เพาะเลี้ยงในน้ำหมักปลาทู 0.025% ที่ผสมน้ำหมักกระถิน 0.075% และในน้ำหมักปลาทู 0.05% ที่ผสมน้ำหมักกระถิน 0.05% มีน้ำหนักแห้งเฉลี่ย 1.38±0.17 และ 1.50±0.07 g/l ตามลำดับ ซึ่งต่ำที่สุดและไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) สไปรูไลนาที่เพาะเลี้ยงในน้ำหมักปลาทู 0.1% มีน้ำหนักแห้งเฉลี่ย 1.78±0.09 g/l สูงกว่าสไปรูไลนาที่เพาะเลี้ยงในอาหารอินทรีย์อื่นอย่างมีนัยสำคัญ ยกเว้น สไปรูไลนาที่เพาะเลี้ยงในน้ำหมักปลาทู 0.075% ที่ผสมน้ำหมักกระถิน 0.025% และในน้ำหมักกระถิน 0.1% ที่มีน้ำหนักแห้งเฉลี่ย 1.65±0.11 และ 1.60±0.06 g/l ตามลำดับ

ค. ระยะเวลาเพาะเลี้ยง (ตารางที่ 12)

สไปรูไลนาที่เพาะเลี้ยงในอาหาร Zarrouk สูตรดัดแปลง ที่ผสมน้ำหมักปลาทู 0.1% ใช้ระยะเวลาในการเจริญ 10.5±0.58 วัน นานกว่าสไปรูไลนาที่เพาะเลี้ยงในชุดการทดลองที่เหลืออย่างมีนัยสำคัญ รองลงมาคือ สไปรูไลนาที่เพาะเลี้ยงในอาหาร Zarrouk สูตรดัดแปลงที่ผสมและไม่ผสมน้ำหมักกระถิน 0.1% และอาหารสูตร Zarrouk ปกติ ที่ใช้ระยะเวลาในการเจริญไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) คือ 8.25±0.50-8.75±0.50 วัน สไปรูไลนาที่เพาะเลี้ยงในน้ำหมักปลาทู 0.1% และในน้ำหมักกระถิน 0.1% ใช้ระยะเวลาในการเจริญ 4.25±0.50 และ 5.25±0.50 วัน ตามลำดับ ในอาหารที่มีน้ำหมักผสมระหว่างน้ำหมักปลาทูและน้ำหมักกระถิน สไปรูไลนาใช้ระยะเวลาในการเจริญ 4.50±0.58-5.75±0.50 วัน



ภาพที่ 13 การเจริญของสไปรูไลนา (mean±SD, OD, 560_{nm}) ที่เพาะเลี้ยงในน้ำหมักปลาทูกระถิน อาหารสูตร Zarrouk ปกติ สูตรดัดแปลง และอาหารผสมระหว่างทั้งสองกลุ่ม

หมายเหตุ ZM = อาหารสูตร Zarrouk; ZMm = อาหาร Zarrouk สูตรดัดแปลง; CM = น้ำหมักปลาทู; LT= น้ำหมักกระถิน

ตารางที่ 11 การเจริญของสไปรูไลนา (mean±SD, OD, 560_{nm}) ที่เพาะเลี้ยงในอาหารอินทรีย์เดี่ยวและผสม Zarrouk ปกติและสูตรดัดแปลง

ชุดการทดลอง	วันที่ 0	วันที่ 1**	วันที่ 2**	วันที่ 3**	วันที่ 4**	วันที่ 5**	วันที่ 6**
CM 0.1	0.511	0.911 ± 0.00^{b}	1.048 ± 0.05^{cd}	$1.1510.03^{cd}$	1.643 ± 0.50^{b}	1.423 ± 0.52^{b}	0.918 ± 0.23^{b}
CM /LT 0.025/0.075	0.511	0.853 ± 0.01^{b}	0.923 ± 0.02^{ab}	0.990 ± 0.12^{ab}	1.024 ± 0.18^{a}	0.787 ± 0.11^{a}	0.584 ± 0.28^{a}
CM/LT 0.075/0.025	0.511	0.853 ± 0.04^{b}	0.960 ± 0.03^{abc}	1.035 ± 0.10^{bc}	1.107 ± 0.08^{a}	1.225 ± 0.09^{b}	1.176 ± 0.20^{b}
CM/LT 0.05/0.05	0.511	0.769 ± 0.06^{a}	0.859 ± 0.14^{a}	0.881 ± 0.03^{a}	0.949 ± 0.02^{a}	0.902 ± 0.20^{a}	0.514 ± 0.16^{a}
LT 0.1	0.511	0.944 ± 0.04^{c}	1.023 ± 0.11^{bcd}	1.152 ± 0.06^{cd}	1.232 ± 0.08^{a}	1.329 ± 0.07^{b}	1.038 ± 0.18^{b}
ZMm/CM 0.1	0.527	0.868 ± 0.02^{b}	1.122 ± 0.07^{e}	1.361 ± 0.09^{e}	1.545 ± 0.11^{b}	1.887 ± 0.14^{c}	2.035 ± 0.06^{c}
ZMm/LT 0.1	0.527	0.918 ± 0.05^{b}	1.083 ± 0.06^{cd}	1.312 ± 0.07^{e}	1.692 ± 0.08^{b}	1.985 ± 0.13^{c}	2.186 ± 0.17^{cd}
ZMm	0.529	0.772 ± 0.02^{a}	0.894 ± 0.06^{a}	1.296 ± 0.13^{de}	1.535 ± 0.13^{b}	1.946 ± 0.10^{c}	2.091 ± 0.07^{c}
ZM	0.518	0.760 ± 0.09^{a}	1.042 ± 0.09^{bcd}	1.295 ± 0.15^{de}	1.565 ± 0.12^{b}	2.088 ± 0.13^{c}	2.409 ± 0.10^{d}

ชุดการทดลอง	วันที่ 7	วันที่ 8**	วันที่ 9**	วันที่ 10**	วันที่ 11**	วันที่ 12**
CM 0.1	-	-	-	-	-	-
CM /LT 0.025/0.075	-	-	-	-	-	-
CM/LT 0.075/0.025	0.946 ± 0.20^{b}	-	-	-	-	-
CM/LT 0.05/0.05	0.323 ± 0.10^{a}	-	-	-	-	-
LT 0.1	0.744 ± 0.30^{b}	-	-	-	-	-
ZMm/CM 0.1	2.193 ± 0.48^{c}	2.285 ± 0.07^{a}	2.449 ± 0.08^{a}	2.666 ± 0.13^{b}	2.436±0.52	1.435±0.68
ZMm/LT 0.1	2.410 ± 0.10^{c}	2.615 ± 0.13^{b}	1.874 ± 0.53^{a}	0.935 ± 0.40^{a}	-	-
ZMm	2.212 ± 0.04^{c}	2.394 ± 0.02^{ab}	2.325 ± 0.15^{a}	1.368 ± 0.49^{a}	-	-
ZM	2.721 ± 0.08^{d}	3.180 ± 0.26^{c}	3.143 ± 0.48^{b}	2.313 ± 0.37^{b}	-	-

หมายเหตุ 1. ZM = อาหารสูตร Zarrouk; ZMm = อาหาร Zarrouk สูตรดัดแปลง; CM = น้ำหมักปลาทู; LT= น้ำหมักกระถิน

2. เปรียบเทียบเฉพาะในแนวตั้งเดียวกัน; ** แตกต่างกันทางสถิติ, $p<0.01$; ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรต่างกันกำกับแตกต่างกันทางสถิติ

3. - สิ้นสุดการทดลอง

ตารางที่ 12 ความหนาแน่นสูงที่สุด (ODmax, mean±SD, OD, 560_{nm}) น้ำหนักแห้ง (g/l) และระยะเวลาที่ใช้ในการเจริญ (Dmax, mean±SD, วัน) ของสไปรูไลนาที่เพาะเลี้ยงในอาหารอินทรีย์เดี่ยว และผสม Zarrouk สูตรปกติ และสูตรดัดแปลง

ชุดการทดลอง	ODmax**	DW**	Dmax**
CM 0.1	1.643±0.10^{c}	1.78±0.09^{c}	4.25±0.50^{a}
CM /LT 0.025/0.075	1.024±0.18^{ab}	1.38±0.17^{a}	4.50±1.00^{b}
CM/LT 0.05/0.05	0.949±0.02^{a}	1.50±0.07^{ab}	4.50±0.58^{b}
CM/LT 0.075/0.025	1.225±0.09^{ab}	1.65±0.11^{bc}	5.75±0.50^{c}
LT 0.1	1.329±0.07^{b}	1.60±0.06^{bc}	5.25±0.50^{bc}
ZMm/CM 0.1	2.666±0.13^{d}	3.10±0.14^{f}	10.5±0.58^{e}
ZMm/LT 0.1	2.615±0.13^{d}	2.93±0.07^{e}	8.25±0.50^{d}
ZMm	2.394±0.02^{d}	2.65±0.11^{d}	8.25±0.50^{d}
ZM	3.180±0.26^{e}	3.53±0.11^{g}	8.75±0.50^{d}

หมายเหตุ 1. ZM = อาหารสูตร Zarrouk; ZMm = อาหาร Zarrouk สูตรดัดแปลง; CM = น้ำหมักปลาทู; LT= น้ำหมักกระถิน
2. เปรียบเทียบเฉพาะในแนวตั้งเดียวกัน; ** แตกต่างกันทางสถิติ, $p<0.01$; ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรต่างกันกำกับแตกต่างกันทางสถิติ

ปริมาณสารอาหาร (ตารางที่ 13; ภาพที่ 14)

การเพาะเลี้ยงสไปรูไลนาในอาหาร Zarrouk สูตรปกติ อาหาร Zarrouk สูตรดัดแปลง และในน้ำหมักอินทรีย์ผสมระหว่างชนิดน้ำหมัก และในน้ำหมักเดี่ยว (ผลของการทดลองที่ 1) ที่สไปรูไลนาเจริญได้ดี รวม 9 ชุดการทดลอง มีปริมาณไนเตรท ไนไตรท์ แอมโมเนีย และฟอสเฟต เมื่อเริ่มต้นการทดลอง เมื่อสไปรูไลนาเจริญหนาแน่นสูงที่สุด และปริมาณที่เปลี่ยนแปลงไป แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p<0.01$) ดังรายละเอียดต่อไปนี้

ไนเตรท

ในอาหารอินทรีย์ทั้งอาหารเดี่ยวและอาหารผสมที่ใช้น้ำหมักปลาทูและน้ำหมักกระถิน เมื่อเริ่มต้นการเพาะเลี้ยง เมื่อสไปรูไลนามีความหนาแน่นสูงที่สุด และปริมาณที่เปลี่ยนแปลงไปมีปริมาณ 3.51±0.08-5.64±0.15, 0.25±0.12-1.57±0.23 และ 3.17±0.14-4.07±0.20 mg/l ตามลำดับ ต่ำกว่าปริมาณไนเตรทที่มีเมื่อใช้อาหาร Zarrouk ทั้งสูตรปกติ สูตรดัดแปลงที่ไม่ผสมและที่ผสมน้ำหมักอินทรีย์อย่างมีนัยสำคัญ ดังนี้

ก. เมื่อเริ่มต้นการเพาะเลี้ยง

อาหาร Zarrouk สูตรปกติ มีปริมาณไนเตรทเมื่อเริ่มต้นการทดลองสูงที่สุดคือ 1,179.07±15.66 mg/l รองลงมาคืออาหาร Zarrouk สูตรดัดแปลง อาหาร Zarrouk สูตรดัดแปลงที่ผสมน้ำหมักปลาทู 0.1% และที่ผสมน้ำหมักกระถิน 0.1% มีปริมาณไนเตรทเริ่มต้น 948.33±4.74, 854.34±12.29 และ 838.58±3.78 mg/l ตามลำดับ ซึ่งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ การใช้น้ำหมักอินทรีย์ทั้งเดี่ยวและผสมมีไนเตรทเมื่อเมื่อเริ่มต้น 3.83±0.33 5.64±0.15 ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$)

ข. เมื่อสไปรูไลนามีความหนาแน่นสูงที่สุด

การเพาะเลี้ยงสไปรูไลนาในอาหาร Zarrouk สูตรปกติ และอาหาร Zarrouk สูตรดัดแปลงที่ผสมน้ำหมักอินทรีย์ทุกสูตร เหลือไนเตรทในน้ำเพาะเลี้ยงในวันที่สไปรูไลนาเจริญหนาแน่นสูงที่สุดเฉลี่ย 132.4±21.06-150.54±17.81 mg/l ซึ่งไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$)

ค. ปริมาณไนเตรทที่เปลี่ยนแปลงไป

การใช้อาหาร Zarrouk สูตรปกติเพาะเลี้ยงสไปรูไลนามีปริมาณไนเตรทลดลงในระหว่างการเจริญ 1,028.53±28.21 mg/l มากกว่าปริมาณที่ลดลงในชุดการทดลองอื่นที่เหลืออย่างมีนัยสำคัญ รองลงมาคือในชุดการทดลองที่ใช้อาหาร Zarrouk สูตรดัดแปลง มีปริมาณไนเตรทลดลง 806.60±8.62 mg/l การใช้อาหาร Zarrouk สูตรดัดแปลงผสมน้ำหมักปลาทู และกระถิน 0.1% ทั้งสองสูตรมีปริมาณไนเตรทลดลง 720.62±16.99 และ 706.16±19.56 mg/l ตามลำดับ ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$)

ไนไตรท์

ก. เมื่อเริ่มต้นการเพาะเลี้ยง

ในอาหาร Zarrouk สูตรปกติมีไนไตรท์ 1.12±0.07 mg/l สูงกว่าปริมาณที่มีในอาหารสูตรอื่นทางสถิติ รองลงมาคือในอาหาร Zarrouk สูตรดัดแปลง อาหาร Zarrouk สูตรดัดแปลงที่ผสมน้ำหมักปลาทู และที่ผสมน้ำหมักกระถินที่มีไนไตรท์แตกต่างกันทางสถิติคือเฉลี่ย 0.85±0.08, 0.064±0.02 และ 0.55±0.03 mg/l ตามลำดับ ในอาหารอินทรีย์ทุกสูตรมีไนไตรท์เฉลี่ย 0.10±0.02-0.18±0.01 mg/l

ข. เมื่อสไปรูไลนามีความหนาแน่นสูงที่สุด

การใช้อาหาร Zarrouk สูตรปกติเหลือไนไตรท์ 0.41±0.04 mg/l มากกว่าปริมาณที่เหลือเมื่อใช้อาหารทดลองชุดอื่นอย่างมีนัยสำคัญ รองลงไปคือ ชุดการทดลองที่ใช้อาหาร Zarrouk สูตรดัดแปลงที่เหลือไนไตรท์ 0.36±0.04 mg/l การใช้อาหาร Zarrouk สูตรดัดแปลง

ผสมน้ำหมักปลาทูหรือน้ำหมักกระถิน 0.1% เหลือไนไตรท์ในน้ำเพาะเลี้ยงหลังจากสไปรูไลนาเจริญมากที่สุด 0.15±0.01 และ 0.16±0.05 mg/l ตามลำดับ ไม่แตกต่างกันทางสถิติ (p>0.05) การใช้น้ำหมักอินทรีย์ทั้งเดี่ยวและผสมในการเพาะเลี้ยง สไปรูไลนาเหลือไนไตรท์ในน้ำ 0.01±0.01-0.05±0.01 mg/l ไม่แตกต่างกันทางสถิติ (p>0.05)

ค. ปริมาณไนไตรท์ที่เปลี่ยนแปลงไป

ปริมาณไนไตรท์ในชุดการทดลองที่ใช้ในอาหาร Zarrouk สูตรปกติ 0.65±0.03 mg/l สูงกว่าเมื่อใช้อาหารสูตรอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญ รองลงมาคือเมื่อใช้อาหาร Zarrouk สูตรดัดแปลงที่ไม่ผสม และที่ผสมน้ำหมักปลาทู 0.1% ปริมาณไนไตรท์ลดลงจากเมื่อเริ่มต้นไม่แตกต่างกันทางสถิติ (p>0.05) คือเฉลี่ย 0.48±0.06 และ 0.49±0.03 mg/l ตามลำดับ เมื่อใช้อาหาร Zarrouk สูตรดัดแปลงที่ผสมน้ำหมักกระถิน 0.1% ไนไตรท์ลดลงจากเมื่อเริ่มต้นทำการทดลองต่ำกว่าทางสถิติคือ 0.39±0.03 mg/l การใช้น้ำหมักปลาทู 0.025% ผสมน้ำหมักกระถิน 0.075% มีไนไตรท์ลดลงจากเมื่อเริ่มต้นต่ำที่สุดคือ 0.09±0.01 mg/l ต่ำกว่าชุดการทดลองที่ใช้น้ำหมักปลาทู 0.1% ที่ไนไตรท์ลดลง 0.14±0.03 mg/l ทางสถิติ แต่ไม่แตกต่างกับชุดการทดลองที่เหลือ

แอมโมเนีย

ก. เมื่อเริ่มต้นการเพาะเลี้ยง

ในอาหาร Zarrouk สูตรปกติมีปริมาณแอมโมเนียเมื่อเริ่มต้นการเพาะเลี้ยง 0.38±0.02 mg/l มากกว่าปริมาณที่มีในชุดการทดลองอื่นอย่างมีนัยสำคัญ รองลงมาคือปริมาณที่มีในอาหาร Zarrouk สูตรดัดแปลง 0.27±0.02 mg/l อาหาร Zarrouk สูตรดัดแปลงผสมน้ำหมักปลาทูและน้ำหมักกระถิน 0.1% มีปริมาณแอมโมเนีย 0.24±0.03 และ 0.23±0.03 mg/l ตามลำดับ ไม่แตกต่างกันทางสถิติ (p>0.05) ในน้ำหมักอินทรีย์ทั้งเดี่ยวและผสมมีปริมาณแอมโมเนียเริ่มต้น 0.15±0.02-0.16±0.01 mg/l ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

ข. เมื่อสไปรูไลนามีความหนาแน่นสูงที่สุด

ในชุดการทดลองที่ใช้อาหาร Zarrouk สูตรปกติมีแอมโมเนียในน้ำเพาะเลี้ยงสูงไม่แตกต่างกันทางสถิติ (p>0.05) กับการใช้อาหาร Zarrouk สูตรดัดแปลง และชุดการทดลองที่ใช้น้ำหมักปลาทู 0.05% ผสมน้ำหมักกระถิน 0.05% ที่มีปริมาณแอมโมเนียมากที่สุดคือ 0.06±0.01-0.08±0.02 mg/l การใช้อาหารที่มีน้ำหมักกระถิน 0.1% เหลือแอมโมเนียในน้ำเพาะเลี้ยงปริมาณน้อยที่สุดและไม่แตกต่างกันทางสถิติกับการใช้น้ำหมักปลาทู 0.1% น้ำหมักปลาทู 0.075% ที่ผสมน้ำหมักกระถิน 0.025% และในอาหาร Zarrouk สูตรดัดแปลง ที่ผสมน้ำหมักปลาทู 0.1% คือ 0.02±0.01-0.04±0.02 mg/l

ค. ปริมาณแอมโมเนียที่เปลี่ยนแปลงไป

ปริมาณแอมโมเนียลดลง 0.30±0.01 mg/l เมื่อเพาะเลี้ยงสไปรูไลนาในอาหาร Zarrouk สูตรปกติ มากกว่าในชุดการทดลองอื่นอย่างมีนัยสำคัญ รองลงมาคือในอาหาร Zarrouk สูตรดัดแปลงที่ไม่ผสม และที่ผสมน้ำหมักปลาทู และที่ผสมน้ำหมักกระถิน 0.1% มีปริมาณแอมโมเนียลดลงไม่แตกต่างกันทางสถิติคือ 0.18±0.04-0.21±0.02 mg/l การใช้น้ำหมักปลาทู 0.05 ผสมน้ำหมักกระถิน 0.05% มีแอมโมเนียลดลงต่ำที่สุดคือ 0.10±0.02 mg/l ต่ำกว่าเมื่อใช้อาหารที่ผสมน้ำหมักกระถิน 0.1% ที่แอมโมเนียลดลง 0.13±0.02 mg/l ทางสถิติ แต่ไม่แตกต่างกับชุดการทดลองที่เหลือ ($p>0.05$)

ฟอสเฟต

ก. เมื่อเริ่มต้นการเพาะเลี้ยง

ในอาหาร Zarrouk สูตรปกติมีปริมาณฟอสเฟตเมื่อเริ่มต้นการทดลอง 259.16±2.13 mg/l สูงกว่าปริมาณที่มีในอาหารทุกสูตรอย่างมีนัยสำคัญ รองลงมาคือในอาหาร Zarrouk สูตรดัดแปลงที่ไม่ผสม และที่ผสมน้ำหมักปลาทู หรือน้ำหมักกระถิน 0.1% ที่มีปริมาณฟอสเฟตเมื่อเริ่มต้นลดหลั่นกันตามลำดับคือ 217.35±9.64, 184.39±7.91 และ 164.19±13.87 mg/l ในอาหารที่ประกอบด้วยน้ำหมักอินทรีย์ทุกสูตรมีปริมาณฟอสเฟตเมื่อเริ่มต้นการทดลอง 3.00±0.12-4.84±0.09 mg/l ไม่แตกต่างกันทางสถิติ แต่ต่ำกว่าปริมาณที่มีในชุดการทดลองข้างต้นทุกชุดทางสถิติ

ข. เมื่อสไปรูไลนาเจริญหนาแน่นสูงที่สุด

ชุดการทดลองที่ใช้อาหาร Zarrouk สูตรปกติ และ Zarrouk สูตรดัดแปลงเหลือฟอสเฟตในน้ำเพาะเลี้ยงไม่แตกต่างกันทางสถิติ คือ 61.16±2.08 และ 61.85±1.97 mg/l ตามลำดับ รองลงมาคือปริมาณฟอสเฟตที่เหลือในชุดการทดลองที่ใช้อาหาร Zarrouk สูตรดัดแปลงที่ผสมน้ำหมักปลาทู และที่ผสมน้ำหมักกระถิน 0.1% ที่เหลือฟอสเฟตไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) คือ 46.69±3.42 และ 32.22±2.88 mg/l ตามลำดับ ในชุดการทดลองที่ใช้อาหารอินทรีย์ทุกสูตรเหลือฟอสเฟตในวันที่สไปรูไลนามีความหนาแน่นมากที่สุด 0.19±0.02-1.12±0.16 mg/l ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$)

ค. ปริมาณฟอสเฟตที่เปลี่ยนแปลงไป

การใช้อาหาร Zarrouk สูตรปกติในการเพาะเลี้ยงสไปรูไลนามีปริมาณฟอสเฟตลดลงจากเมื่อเริ่มต้น 198.00±1.80 mg/l มากกว่าปริมาณที่มีในอาหารทุกสูตรอย่างมีนัยสำคัญ รองลงมาคือในอาหาร Zarrouk สูตรดัดแปลงที่มีปริมาณฟอสเฟตลดลง 155.50±10.67 mg/l รองลงไปคือในชุดการทดลองที่ใช้อาหาร Zarrouk สูตรดัดแปลงที่ผสมน้ำหมักปลาทูและที่

ผสมน้ำหมักกระถิน 0.1% มีปริมาณฟอสเฟตลดลงจากปริมาณที่มีไม่แตกต่างกันทางสถิติ คือ 137.70±7.21 และ 131.97±11.05 mg/l ตามลำดับ การเพาะเลี้ยงสไปรูไลนาในน้ำหมักอินทรีย์มีปริมาณฟอสเฟตลดลงไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) แต่มีปริมาณน้อยกว่าทุกชุดการทดลองข้างต้นทางสถิติคือ 2.28±0.25-3.72±0.16 mg/l

6.5 วิจารณ์

การทดลองใช้น้ำหมักปลาทูและน้ำหมักกระถินร่วมกัน เพิ่มความหลากหลายของส่วนประกอบย่อยในอาหาร พบว่าสไปรูไลนาเจริญในน้ำหมักผสมได้ต่ำกว่าเมื่อใช้น้ำหมักปลาทูอย่างเดียว และการเพิ่มสัดส่วนของน้ำหมักกระถินในน้ำหมักผสมทำให้สไปรูไลนาเจริญได้ต่ำลง ผลส่วนนี้ อาจเกิดจาก 2 สาเหตุหลัก คือ

1) สารอาหารหลักโดยเฉพาะอย่างยิ่งไนเตรทลดลงเมื่อลดปริมาณน้ำหมักปลาทูลง ซึ่งมีผลต่อการเจริญและผลผลิตของสไปรูไลนาโดยตรง (Carvalho *et al*., 2004)

2) การทดแทนส่วนที่หายไปด้วยน้ำหมักกระถินไม่สามารถทดแทนสารอาหารหลักที่ลดลงจากการลดปริมาณน้ำหมักปลาทู การเจริญเติบโตของสไปรูไลนายังคงต้องใช้ไนเตรท (Colla, 2007) ที่มาจากน้ำหมักปลาทูมากกว่า การใช้น้ำหมักจากสัตว์จึงให้ผลดีต่อการเจริญของสไปรูไลนามากกว่า

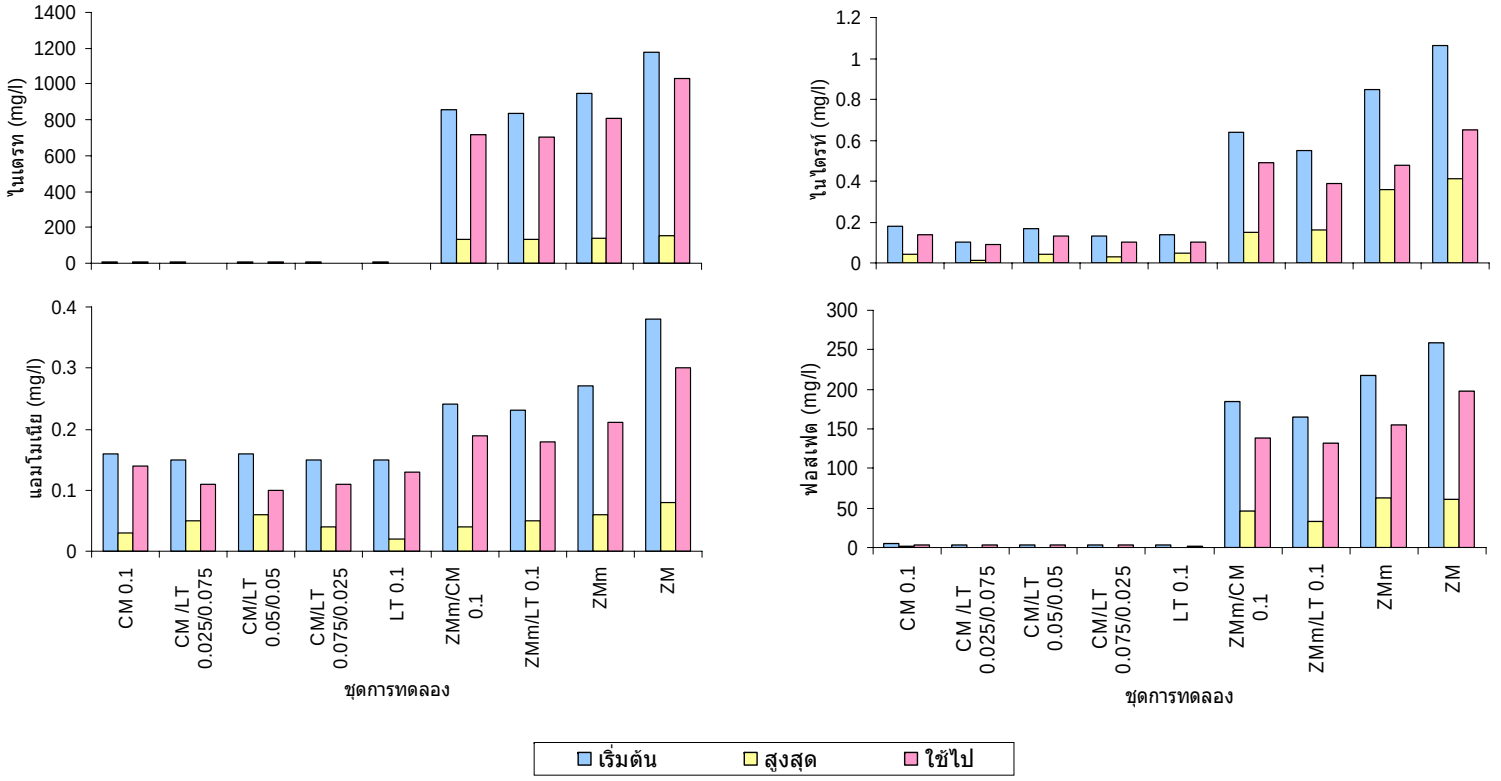
ในการทดลองเดียวกันที่ใช้น้ำหมักผสม ที่ผสมน้ำหมักปลาทู และน้ำหมักกระถินลงในอาหาร Zarrouk สูตรดัดแปลงที่มีสารอาหาร 100% สำหรับการเพาะเลี้ยงสไปรูไลนา การเติมน้ำหมักทั้งสองชนิด 0.1% ลงในอาหารสูตรดัดแปลงทำให้ปริมาณสารอาหารหลักเปลี่ยนแปลงไปจากเดิมน้อยมาก การใช้อาหารผสมระหว่างอาหารสูตร Zarrouk ดัดแปลงและน้ำหมักอินทรีย์ทั้งสองชนิด ทำให้สไปรูไลนาเจริญในอาหาร Zarrouk สูตรดัดแปลงที่มีน้ำหมักอินทรีย์ในระยะ 4-5 วันแรกดีกว่าในอาหาร Zarrouk เต็มสูตร คล้ายคลึงกับที่พบในการทดลองที่ผ่านมา สามารถเพาะเลี้ยงจนสไปรูไลนาเจริญหนาแน่นสูงที่สุดในระยะเวลาการเพาะเลี้ยงที่ใกล้เคียงกันในอาหารสูตรดัดแปลงที่ไม่เติมน้ำหมักสไปรูไลนาเจริญได้ความหนาแน่น 75.3% มีน้ำหนักแห้ง 75.5% ของสไปรูไลนาที่เพาะเลี้ยงในอาหาร Zarrouk สูตรปกติ การเพาะเลี้ยงในอาหาร Zarrouk สูตรดัดแปลงที่เติมน้ำหมักทั้งสองชนิด สไปรูไลนาเจริญได้ความหนาแน่นใกล้เคียงกัน คือ 83-84% ของสไปรูไลนาที่เพาะเลี้ยงในอาหาร Zarrouk สูตรปกติ การเติมน้ำหมักปลาทู 0.1% เซลล์มีน้ำหนักแห้ง 87.8% การเติมน้ำหมักกระถินได้น้ำหนักแห้ง 83.0% ของสไปรูไลนาที่เพาะเลี้ยงในอาหาร Zarrouk สูตรปกติ การเจริญของสไปรูไลนาในอาหารสูตรดัดแปลงที่เติมน้ำหมักปลาทู และน้ำหมักกระถินดีกว่าการไม่เติมน้ำหมัก โดยเฉพาะอย่างยิ่งทำให้น้ำหนักแห้งของสไปรูไลนามากกว่าอย่างมีนัยสำคัญ การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักแห้งของสไปรูไลนามาจากการที่สไปรูไลนาสามารถใช้ไนเตรทได้เพิ่มมากขึ้นเป็นหลัก ผลในส่วนนี้เกิดเนื่องจากการที่ใน

ตารางที่ 13 ปริมาณไนเตรท ไนไตรท์ แอมโมเนีย และฟอสเฟต (mean±SD, mg/l) เมื่อเพาะเลี้ยงสไปรูไลนาในน้ำหมักปลาทู น้ำหมักกระถิน และที่ผสมกับ Zarrouk สูตรดัดแปลง และในอาหาร Zarrouk สูตรปกติ เมื่อเริ่มต้นการทดลอง (i) ในวันที่สไปรูไลนาเจริญหนาแน่นสูงที่สุด (l) และปริมาณที่เปลี่ยนแปลงไป (c)

ชุดการทดลอง	CM 0.1	CM /LT 0.025/0.075	CM/LT 0.075/0.025	CM/LT 0.05/0.05	LT 0.1	ZMm/CM 0.1	ZMm/LT 0.1	ZMm	ZM
NO_3^-									
i**	5.64±0.15^{a}	3.51±0.08^{a}	3.83±0.33^{a}	4.25±0.39^{a}	3.58±0.19^{a}	854.34±12.29^{c}	838.58±3.78^{b}	948.33±4.74^{d}	1,179.07±15.66^{e}
l**	1.57±0.23^{a}	0.35±0.12^{a}	0.49±0.23^{a}	0.57±0.31^{a}	0.25±0.12^{a}	133.72±19.93^{b}	132.4±21.06^{b}	141.73±7.64^{b}	150.54±17.81^{b}
c**	4.07±0.20^{a}	3.17±0.14^{a}	3.34±0.29^{a}	3.68±0.45^{a}	3.33±0.31^{a}	720.62±16.99^{b}	706.16±19.56^{b}	806.60±8.62^{c}	1,028.53±28.21^{d}
NO_2^-									
i**	0.18±0.01^{b}	0.10±0.02^{a}	0.13±0.01^{a}	0.17±0.02^{b}	0.14±0.02^{ab}	0.64±0.02^{d}	0.55±0.03^{c}	0.85±0.05^{e}	1.06±0.02^{f}
l**	0.04±0.02^{a}	0.01±0.01^{a}	0.03±0.01^{a}	0.04±0.01^{a}	0.05±0.01^{a}	0.15±0.01^{b}	0.16±0.05^{b}	0.36±0.04^{c}	0.41±0.04^{d}
c**	0.14±0.03^{b}	0.09±0.01^{a}	0.10±0.02^{ab}	0.13±0.01^{ab}	0.10±0.01^{ab}	0.49±0.03^{d}	0.39±0.03^{c}	0.48±0.06^{d}	0.65±0.03^{e}
NH_4^+									
i**	0.16±0.01^{a}	0.15±0.01^{a}	0.15±0.01^{a}	0.16±0.01^{a}	0.15±0.02^{a}	0.24±0.03^{b}	0.23±0.03^{b}	0.27±0.02^{c}	0.38±0.02^{d}
l**	0.03±0.02^{ab}	0.05±0.01^{bc}	0.04±0.02^{abc}	0.06±0.02^{cd}	0.02±0.01^{a}	0.04±0.01^{abc}	0.05±0.02^{bc}	0.06±0.01^{cd}	0.08±0.02^{d}
c**	0.14±0.03^{ab}	0.11±0.01^{ab}	0.11±0.01^{ab}	0.10±0.02^{a}	0.13±0.02^{b}	0.19±0.03^{c}	0.18±0.04^{c}	0.21±0.02^{c}	0.30±0.01^{d}
PO_4^{3-}									
i**	4.84±0.09^{a}	3.10±0.14^{a}	3.31±0.15^{a}	3.54±0.15^{a}	3.00±0.12^{a}	184.39±7.91^{c}	164.19±13.87^{b}	217.35±9.64^{d}	259.16±2.13^{e}
l**	1.12±0.16^{a}	0.32±0.10^{a}	0.19±0.02^{a}	0.23±0.07^{a}	0.73±0.15^{a}	46.69±3.42^{c}	32.22±2.88^{b}	61.85±1.97^{d}	61.16±2.08^{d}
c**	3.72±0.16^{a}	2.78±0.19^{a}	3.12±0.15^{a}	3.31±0.15^{a}	2.28±0.25^{a}	137.70±7.21^{b}	131.97±11.05^{b}	155.50±10.67^{c}	198.00±1.80^{d}

หมายเหตุ 1. ZM = อาหารสูตร Zarrouk; ZMm = อาหาร Zarrouk สูตรดัดแปลง; CM = น้ำหมักปลาทู; LT= น้ำหมักกระถิน

3. เปรียบเทียบเฉพาะในแนวตั้งเดียวกัน; ** แตกต่างกันทางสถิติ, $p<0.01$; ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรต่างกันกำกับแตกต่างกันทางสถิติ



ภาพที่ 14 ปริมาณธาตุอาหาร (mg/l) ในน้ำเพาะเลี้ยงสไปรูไลนาในน้ำหมักปลาทู น้ำหมักกระถิน และที่ผสมกับ Zarrouk สูตรดัดแปลง และในอาหาร Zarrouk สูตรปกติ

หมายเหตุ 1. ZM = อาหารสูตร Zarrouk; ZMm = อาหาร Zarrouk สูตรดัดแปลง; CM = น้ำหมักปลาทู; LT= น้ำหมักกระถิน

อาหารมีน้ำหมัก ที่มี growth promoting factors หลายชนิดที่เป็น trace elements (ประเสริฐ, 2548) ที่มีบทบาทสำคัญที่ช่วยให้สไปรูไลนาเจริญได้ดีขึ้น (Chojnacka, 2004) ในที่นี้ทำให้เห็นว่าน้ำหมักอินทรีย์ต้องให้ trace elements ที่ดีมากแก่สไปรูไลนา

อย่างไรก็ตาม สไปรูไลนายังคงเจริญในอาหาร Zarrouk สูตรดัดแปลงที่มีน้ำหมักได้ต่ำกว่าการใช้อาหารสูตร Zarrouk สูตรปกติอย่างมีนัยสำคัญ คือ 16-17% (การใช้อาหารสูตรดัดแปลง สไปรูไลนาเจริญได้ต่ำกว่าการใช้อาหารสูตรปกติ 25%) การเติมน้ำหมักปลาทู และน้ำหมักกระถิน 0.1% ครั้งเดียว จึงยังไม่สามารถทดแทนสารละลาย A5 และ B6 ที่มีในสูตรอาหารปกติได้ทั้งหมด การที่ในสารละลาย A5 และ B6 ประกอบด้วยสารประกอบย่อยๆ รวมกันถึง 11 ชนิด แต่ละชนิดใช้ในปริมาณเล็กน้อยมากๆ การเตรียมสารละลายทั้งสองชนิดจึง 1) ยุ่งยากกว่าการใช้น้ำหมักมาก 2) ต้นทุนสูงกว่า 3) การใช้น้ำหมัก สามารถจัดหา และจัดการได้ง่ายกว่ามาก อาจสามารถแก้ปัญหา หรือสามารถทดลองต่อไป หากมีการเพิ่มน้ำหมักในอาหารสูตรนี้อีกครั้งหรือมากกว่า ควรทำให้ผลผลิตสไปรูไลนาดีขึ้นมากกว่านี้ได้

6.6 สรุป

1. สไปรูไลนาที่เพาะเลี้ยงในอาหาร Zarrouk สูตรปกติ และสูตรดัดแปลงเจริญได้ 3.180±0.263 และ 2.394±0.017 (OD, 560_{nm}) มีน้ำหนักแห้งเฉลี่ย 3.53±0.11 และ 2.65±0.11 g/l ในเวลา 8.75±0.50 และ 8.25±0.50 วันตามลำดับ
2. ในอาหาร Zarrouk สูตรดัดแปลงผสมน้ำหมักปลาทู และน้ำหมักกระถิน สไปรูไลนาเจริญได้ 2.666±0.125 และ2.615±0.133 (OD, 560_{nm}) ตามลำดับ ดีกว่าสไปรูไลนาที่เพาะเลี้ยงในอาหาร Zarrouk สูตรดัดแปลงที่ไม่ผสมน้ำหมัก ที่เจริญได้ 2.394±0.017 (OD, 560_{nm}) แต่ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$)
3. การเพาะเลี้ยงในน้ำหมักปลาทูอย่างเดียว สไปรูไลนาเจริญได้ 1.643±0.095 (OD, 560_{nm}) ดีกว่าสไปรูไลนาที่เพาะเลี้ยงในน้ำหมักกระถินอย่างเดียว และน้ำหมักปลาทูผสมน้ำหมักกระถินที่สไปรูไลนาเจริญได้ 1.329±0.073 และ 0.902±0.196 (OD, 560_{nm}) ตามลำดับอย่างมีนัยสำคัญ

การใช้น้ำหมักปลาทูให้ผลดีกว่าการใช้น้ำหมักกระถิน และการใช้น้ำหมักเดี่ยวของน้ำหมักปลาทูให้ผลดีกว่าการใช้น้ำหมักที่ผสมกับน้ำหมักกระถิน อย่างไรก็ตาม การใช้น้ำหมักทำให้ระยะเวลาการเพาะเลี้ยงในน้ำหมักยังคงทำได้ในระยะเวลาสั้นๆ เนื่องจากการมีธาตุอาหารในปริมาณจำกัดมาก ความพยายามในการเพิ่มปริมาณสารอาหารทางอื่นสำหรับการใช้น้ำหมักเพื่อเพาะเลี้ยงสไปรูไลนา อาจเป็นสิ่งที่ควรทำเพื่อให้ได้ผลผลิตเพิ่มมากขึ้น และสามารถเพาะเลี้ยงในระยะเวลาที่ยาวนานขึ้นได้

บทที่ 7

การทดลองที่ 4

7.1 บทนำ

ปัจจุบันนิยมใช้อาหารสูตร Zarrouk ปกติเพาะเลี้ยงสไปรูไลนา เนื่องจากทำให้ได้ผลผลิตสูง และคาดว่าจะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพสูง (ธิดา, 2546) แต่ทำให้ต้นทุนในการผลผลิตสูงตามไปด้วย จึงได้มีความพยายามเพาะเลี้ยงในอาหารที่ลดชนิดและปริมาณของสารเคมีลง ได้แก่ อาหารสูตรดัดแปลงสูตรต่างๆ (Feng and Wu, 2006; Raoof *et al*., 2006; Yang *et al*., 2008) รวมทั้งการใช้วัสดุอื่นๆ ทดแทน (สรวิศ, 2543) ผลจากการทดลองในบทที่ผ่านๆ มาแสดงให้เห็นว่า สไปรูไลนาสามารถเจริญในอาหารที่ประกอบด้วยน้ำหมักความเข้มข้นต่ำๆ ได้ดี โดยเฉพาะอย่างยิ่งสไปรูไลนาสามารถเจริญได้ในอาหารอินทรีย์ดีกว่าในอาหารเคมีในระยะ 3-4 วันแรกอย่างมีนัยสำคัญ การที่พบว่าสไปรูไลนาสามารถใช้น้ำหมักในการเจริญได้ดีมีประสิทธิภาพกว่าการใช้อาหารอินทรีย์เมื่อเทียบกันหน่วยต่อหน่วย (บทที่ 4) อาจเป็นอิทธิพลของ trace elements ที่เป็น growth promoting factor มีอยู่มากในน้ำหมัก (ประเสริฐ, 2548) ที่มีบทบาทสำคัญที่ช่วยให้สไปรูไลนาเจริญได้ดีขึ้น (Chojnacka, 2004) แต่การใช้อาหารอินทรีย์มีข้อจำกัดคือ มีปริมาณธาตุอาหารต่ำมาก ความพยายามในการทดลองในบทนี้คือ การทดลองที่ยังคงใช้อาหารที่เป็นน้ำหมักความเข้มข้นต่ำตามผลของการทดลองในบทที่ 4 5 และ 6 ที่ผ่านมา แต่ทำให้อาหารนี้มีสารอาหารหลัก และอาหารรองบางส่วนเพิ่มมากขึ้นด้วยการใช้น้ำหมักร่วมกับอาหารสูตรดัดแปลง 2 สูตรที่มีปริมาณสารอาหารแตกต่างกัน ด้วยความคาดหวังว่าจะสามารถแสดงให้เห็นพัฒนาการของการเพาะเลี้ยงสไปรูไลนาว่ามีทางเลือก สามารถจัดการได้ตามวัตถุประสงค์ของการเพาะเลี้ยงได้

7.2 วัตถุประสงค์ เพื่อศึกษา

1. การเจริญของสไปรูไลนาที่เพาะเลี้ยงในอาหาร Zarrouk สูตรดัดแปลง 2 สูตรที่ลดปริมาณ และชนิดของส่วนประกอบลง ที่ผสมและไม่ผสมน้ำหมักปลาทู เปรียบเทียบกับสไปรูไลนาที่เพาะเลี้ยงในน้ำหมักจากวัสดุอินทรีย์เดี่ยว และน้ำหมักผสม
2. ปริมาณสารสี และองค์ประกอบทางโภชนาการของสไปรูไลนาที่ได้จากการเพาะเลี้ยงในอาหารทดลองทุกสูตร
3. ปริมาณธาตุอาหารหลักในระหว่างการเพาะเลี้ยงสไปรูไลนาในอาหารทุกสูตร

7.3 วิธีดำเนินการ

การเพาะเลี้ยงสไปรูไลนาในอาหารสูตร Zarrouk (Ciferri and Tiboni, 1985 อ้างถึง Zarrouk, 1966) เปรียบเทียบกับสไปรูไลนาที่เพาะเลี้ยงใน

1) อาหาร Zarrouk ความเข้มข้น 50%
2) อาหาร Zarrouk สูตรดัดแปลง ความเข้มข้น 25% ผสมน้ำหมักปลาทู 0.1%
3) อาหาร Zarrouk สูตรดัดแปลง ความเข้มข้น 50% ผสมน้ำหมักปลาทู 0.1%
4) อาหารอย่างง่าย ความเข้มข้น 25% ผสมน้ำหมักปลาทู 0.1%
5) อาหารอย่างง่าย ความเข้มข้น 50% ผสมน้ำหมักปลาทู 0.1%
6) น้ำหมักปลาทู 0.1%
7) น้ำหมักกระถิน 0.1%
8) น้ำหมักปลาทู 0.1% ผสมน้ำหมักกระถิน 0.025%

เพาะเลี้ยงสไปรูไลนาความหนาแน่นเริ่มต้น 0.5 (OD, 560_{nm}) ปริมาตร 10 L ชุดการทดลองละ 4 ซ้ำ ในสภาวะกึ่งธรรมชาติที่ได้รับความเข้มแสง 2,500->50,000 Lux อุณหภูมิ 37-40 $^{\circ}$C ความเป็นกรด-ด่าง 8.35 -11.16 เพาะเลี้ยงสไปรูไลนาจนกระทั่งความหนาแน่นสูงที่สุด (ผลจากการทดลองที่ 3) จึงยุติการทดลอง และทำการเก็บรวบรวมสไปรูไลนา นำผลผลิตที่ได้ไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 60°C เป็นเวลา 2 วัน จากนั้นนำสาหร่ายที่ได้ไปวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการของสาหร่าย ได้แก่ โปรตีน ไขมัน เยื่อใย ความชื้น และเถ้า (AOAC, 1995) และในระหว่างการทดลองทำการตรวจวัด

(1) การเจริญของสไปรูไลนา (OD, 560_{nm}) และน้ำหนักแห้งทุกวันๆ ละครั้ง ในเวลา 9.00 น.
(2) อุณหภูมิอากาศและน้ำ ค่าความเป็นกรด-ด่าง และความเข้มของแสงทุกวันๆ วันละครั้ง ในเวลา 12.00 น.
(3) ในระหว่างการทดลองทุกๆ 2 วัน ในเวลา 9.00 น.ตรวจวัดปริมาณ ไนเตรท ไนไตรท์ แอมโมเนีย และออร์โธฟอสเฟต (Boyd and Tucker, 1992)
(4) ตรวจวัดปริมาณ Chlorophyll a, b และ c, Carotenoid (Parsons *et al*., 1984) และ Phycocyanin (Evans, 1988)

a. Chlorophyll *a* = $(11.85* OD_{664}) – (1.54* OD_{647}) – 0.08 *OD_{630}$)
b. Chlorophyll *b* = $(-5.43* OD_{664}) + (21.03* OD_{647}) – 2.66 *OD_{630}$)
c. Chlorophyll *c* = $(-1.67* OD_{664}) – (7.60* OD_{647}) + 24.52 *OD_{630}$)
d. Carotenoids = OD_{560}* 3.68* extract vol (ml)/ Culture Sample vol (ml)
e. C-Phycoerythrin = $0.00251*OD_{560} – 0.0321*OD_{620} + 0.0787*OD_{565}$
f. C-Phycocyanin = $-0.0911*OD_{560} + 0.041*OD_{620}$
g. Allophycocyanin = $0.159*OD_{560} – 0.0410*OD_{620}$

7.4 ผลการทดลอง

การเจริญของสไปรูไลนา

ไปรูไลนาเจริญได้ความหนาแน่นมากที่สุด และมีน้ำหนักแห้งแตกต่างกันทางทางสถิติ ($p<0.01$) ดังนี้

ก. ความหนาแน่นของเซลล์ (ภาพที่ 15; ตารางที่ 14)

สไปรูไลนาที่เพาะเลี้ยงในอาหารสูตร Zarrouk ปกติ 100% เจริญได้ความหนาแน่น 3.046±0.19 ในอาหารสูตร Zarrouk 50% เจริญได้ 2.657±0.14 การเจริญของสไปรูไลนาในอาหารเคมีทั้งสองสูตรดีกว่าสไปรูไลนาที่เพาะเลี้ยงในอาหารสูตรอื่นที่เหลืออย่างมีนัยสำคัญ สไปรูไลนาที่เพาะเลี้ยงในอาหาร Zarrouk สูตรดัดแปลง 50% ผสมน้ำหมักปลาทู 0.1% เจริญได้ 2.263±0.08 ดีกว่าสไปรูไลนาที่เพาะเลี้ยงในอาหาร Zarrouk สูตรดัดแปลง 25% ที่เติมน้ำหมักปลาทู 0.1% และที่เพาะเลี้ยงใช้อาหารอย่างง่าย 50 และ 25% ที่ผสมน้ำหมักปลาทู 0.1% ที่เจริญได้ 2.034±0.18, 1.894±0.07 และ 1.539±0.10 ตามลำดับ อย่างมีนัยสำคัญ

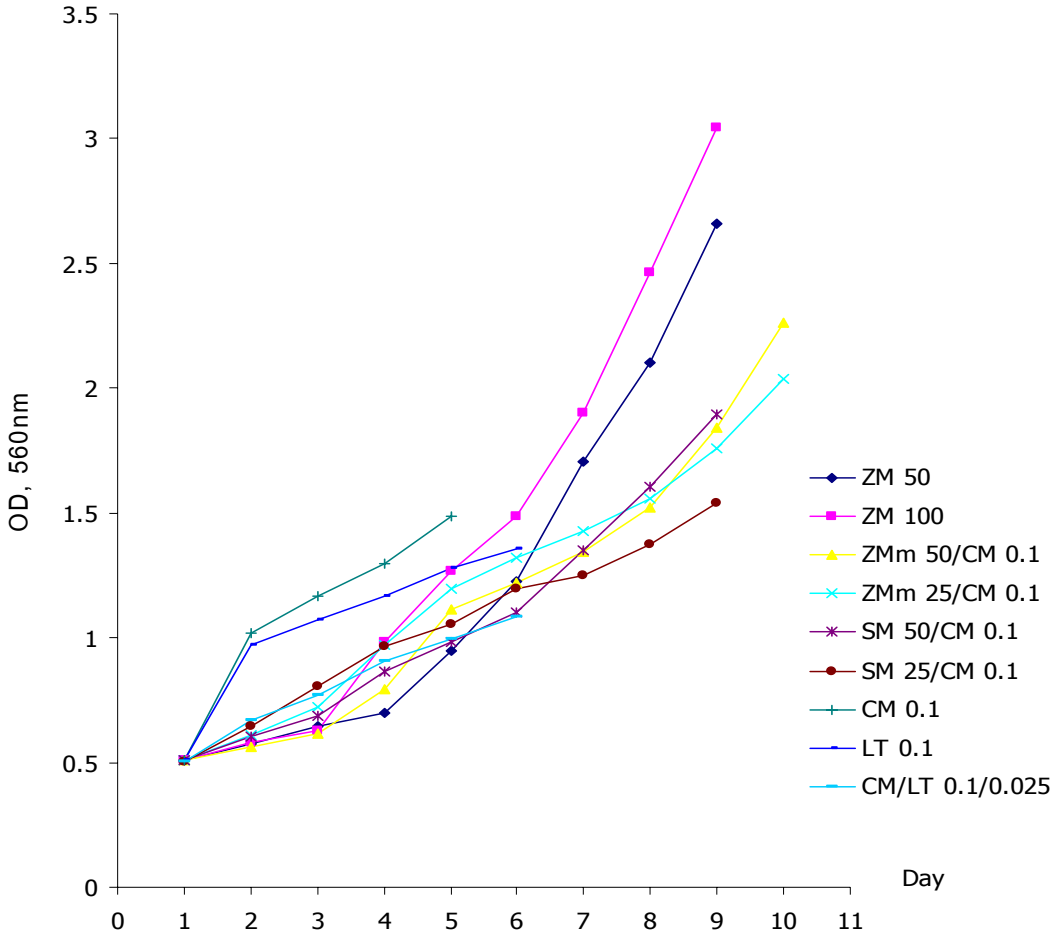
สไปรูไลนาที่เพาะเลี้ยงในน้ำหมักปลาทู 0.1% ที่ผสมน้ำหมักกระถิน 0.025% เจริญได้ต่ำที่สุด คือ 1.086±0.07 ต่ำกว่าสไปรูไลนาที่เพาะเลี้ยงในน้ำหมักปลาทู 0.1% และในน้ำหมักกระถิน 0.1% ที่เจริญได้ 1.487±0.04 และ 1.358±0.01 ตามลำดับ อย่างมีนัยสำคัญ สไปรูไลนาเจริญในน้ำหมักปลาทู 0.1% และในน้ำหมักกระถิน 0.1% ได้ไม่แตกต่างทางสถิติกับที่เพาะเลี้ยงในอาหารอย่างง่าย 25% ที่ผสมน้ำหมักปลาทู 0.1% ที่เจริญได้ 1.539±0.10

ข. น้ำหนักแห้ง (ตารางที่ 15)

เมื่อสไปรูไลนาเจริญหนาแน่นมากที่สุด สไปรูไลนาที่เพาะเลี้ยงในอาหารสูตร Zarrouk 100% มีน้ำหนักแห้งเฉลี่ย 3.68±0.12 g/l สูงกว่าชุดการทดลองอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญ รองลงมาคือสไปรูไลนาที่เพาะเลี้ยงในอาหารสูตร Zarrouk 50% อาหาร Zarrouk สูตรดัดแปลง 50 และ 25% ที่ผสมน้ำหมักปลาทู 0.1% อาหารอย่างง่าย 50 และ 25% ที่ผสมน้ำหมักปลาทู 0.1% มีน้ำหนักแห้งเฉลี่ย 3.05±0.10, 2.87±0.11, 2.44±0.06, 2.31±0.06 และ 2.19±0.07 g/l ตามลำดับ ซึ่งสูงกว่าสไปรูไลนาที่เพาะเลี้ยงในปุ๋ยอินทรีย์ทั้ง 3 สูตร อย่างมีนัยสำคัญ สไปรูไลนาที่เพาะเลี้ยงในน้ำหมักปลาทู 0.01% ที่ผสมน้ำหมักกระถิน 0.025% มีน้ำหนักแห้งเฉลี่ยต่ำสุด 1.61±0.07 g/l แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับชุดการทดลองอื่นๆ สไปรูไลนาที่เพาะเลี้ยงในน้ำหมักปลาทู และน้ำหมักกระถิน 0.1% มีน้ำหนักแห้งเฉลี่ย 1.78 ±0.09 และ 1.80±0.04 g/l ซึ่งไม่แตกต่างกันทางสถิติ

ค. ระยะเวลาเพาะเลี้ยง (ตารางที่ 15)

จากผลการทดลองที่ 3 ทำการเพาะเลี้ยงสไปรูไลนาจนกระทั่งเจริญได้สูงที่สุดและทำการเก็บเกี่ยวเพื่อใช้สำหรับวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการ สไปรูไลนาที่เพาะเลี้ยงในอาหาร Zarrouk สูตรดัดแปลง 25 และ 50% ที่ผสมน้ำหมักปลาทู 0.1% ใช้ระยะเวลาในการเจริญ 9 วัน รองลงมาคือสไปรูไลนาที่เพาะเลี้ยงในอาหารสูตร Zarrouk 50 และ 100% อาหารอย่างง่าย 25 และ 50% ที่ผสมน้ำหมักปลาทู 0.1% ใช้ระยะเวลาในการเจริญ 8 วัน ส่วนในอาหารอินทรีย์พบว่า สไปรูไลนาที่เพาะเลี้ยงในน้ำหมักปลาทู 0.1 % ใช้ระยะเวลา 4 วัน และอีกสองสูตรที่เหลือใช้ระยะเวลา 5 วัน



ภาพที่ 15 การเจริญของสไปรูไลนา (mean±SD, OD, 560_{nm}) ที่เพาะเลี้ยงในน้ำหมักอินทรีย์เดี่ยว และผสม อาหาร Zarrouk สูตรปกติ อาหาร Zarrouk สูตรดัดแปลง และอาหารอย่างง่ายผสมน้ำหมักอินทรีย์

หมายเหตุ ZM = อาหารสูตร Zarrouk; ZMm = อาหาร Zarrouk สูตรดัดแปลง; SM = อาหารอย่างง่าย; CM = น้ำหมักปลาทู; LT= น้ำหมักกระถิน

ตารางที่ 14 ความหนาแน่นเฉลี่ยของสไปรูไลนา (mean±SD, OD, 560_{nm}) ที่เพาะเลี้ยงในน้ำหมักเดี่ยว และผสม อาหาร Zarrouk สูตรปกติ อาหาร Zarrouk สูตรดัดแปลง และอาหารอย่างง่ายที่ผสมด้วยน้ำหมักอินทรีย์

ชุดการทดลอง	วันที่ 0 ^{ns}	วันที่ 1**	วันที่ 2**	วันที่ 3**	วันที่ 4**	วันที่ 5**	วันที่ 6**	วันที่ 7**	วันที่ 8**	วันที่ 9*
ZM 100	0.509±0.01	0.580±0.03^{ab}	0.630±0.03^{a}	0.981±0.06^{c}	1.269±0.06^{d}	1.484±0.07^{f}	1.902±0.04^{d}	2.466±0.06^{d}	3.046±0.19^{d}	-
ZM 50	0.511±0.02	0.573±0.03^{ab}	0.648±0.03^{ab}	0.697±0.01^{a}	0.950±0.06^{a}	1.226±0.05^{cd}	1.705±0.03^{c}	2.103±0.06^{c}	2.657±0.14^{c}	-
ZMm 50/CM 0.1	0.509±0.01	0.563±0.02^{a}	0.614±0.03^{a}	0.792±0.12^{ab}	1.116±0.04^{bc}	1.219±0.05^{cd}	1.343±0.06^{ab}	1.523±0.06^{b}	1.839±0.05^{b}	2.263±0.08^{b}
ZMm 25/CM 0.1	0.507±0.01	0.612±0.02^{abc}	0.722±0.07^{abc}	0.973±0.03^{c}	1.195±0.10^{cd}	1.322±0.03^{de}	1.430±0.07^{b}	1.558±0.08^{b}	1.762±0.10^{b}	2.034±0.18^{a}
SM 50/CM 0.1	0.507±0.01	0.604±0.01^{abc}	0.688±0.02^{abc}	0.864±0.10^{bc}	0.984±0.06^{a}	1.099±0.09^{ab}	1.349±0.10^{ab}	1.606±0.09^{b}	1.894±0.07^{b}	-
SM 25/CM 0.1	0.505±0.01	0.643±0.02^{bc}	0.803±0.10^{c}	0.964±0.12^{c}	1.05±0.09^{ab}	1.196±0.06^{bc}	1.247±0.08^{a}	1.371±0.06^{a}	1.539±0.10^{a}	-
CM 0.1	0.510±0.01	1.017±0.09^{d}	1.168±0.09^{d}	1.296±0.06^{e}	1.487±0.04^{e}	-	-	-	-	-
LT 0.1	0.509±0.00	0.969±0.07^{d}	1.075±0.08^{d}	1.166±0.03^{d}	1.282±0.07^{d}	1.358±0.01^{e}	-			
CM/LT 0.1/0.025	0.504±0.01	0.672±0.02^{c}	0.769±0.07^{bc}	0.905±0.03^{bc}	0.994±0.02^{a}	1.086±0.07^{a}	-	-	-	-

หมายเหตุ 1. ZM = อาหารสูตร Zarrouk; ZMm = อาหาร Zarrouk สูตรดัดแปลง; SM = อาหารอย่างง่าย; CM = น้ำหมักปลาทู; LT= น้ำหมักกระถิน

2. เปรียบเทียบเฉพาะในแนวตั้งเดียวกัน; ** แตกต่างกันทางสถิติ, $p<0.01$; ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรต่างกันกำกับแตกต่างกันทางสถิติ

3. – สิ้นสุดการทดลอง

ตารางที่ 15 ความหนาแน่นเฉลี่ยสูงที่สุด (ODmax, mean±SD, OD, 560_{nm}) น้ำหนักแห้งเฉลี่ย (g/l) และวันที่เก็บเกี่ยวผลผลิต (DHar, วัน) ของสไปรูไลนา ที่เพาะเลี้ยงในน้ำหมักเดี่ยว และผสม อาหาร Zarrouk สูตรปกติ สูตรดัดแปลง และอาหารอย่างง่ายผสมน้ำหมักอินทรีย์

ชุดการทดลอง	ODmax**	DW**	DHar***
ZM 100	3.046±0.19^{f}	3.68±0.12^{g}	8
ZM 50	2.657±0.14^{e}	3.05±0.10^{f}	8
ZMm 50/CM 0.1	2.263±0.08^{d}	2.87±0.11^{e}	9
ZMm 25/CM 0.1	2.034±0.18^{c}	2.44±0.06^{d}	9
SM 50/CM 0.1	1.894±0.07^{c}	2.31±0.06^{cd}	8
SM 25/CM 0.1	1.539±0.10^{b}	2.19±0.07^{c}	8
CM 0.1	1.487±0.04^{b}	1.80±0.04^{b}	4
LT 0.1	1.358±0.01^{b}	1.79±0.06^{b}	5
CM/LT 0.1/0.025	1.086±0.07^{a}	1.61±0.07^{a}	5

หมายเหตุ 1. ZM = อาหารสูตร Zarrouk; ZMm = อาหาร Zarrouk สูตรดัดแปลง; SM = อาหารอย่างง่าย; CM = น้ำหมักปลาทู; LT= น้ำหมักกระถิน

2. เปรียบเทียบเฉพาะในแนวตั้งเดียวกัน; ** แตกต่างกันทางสถิติ, $p<0.01$; ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรต่างกันกำกับแตกต่างกันทางสถิติ

ปริมาณรงควัตถุ (ตารางที่ 16, 17; ภาพที่ 16, 17)

สไปรูไลนาที่ได้จากการเพาะเลี้ยงในอาหาร Zarrouk สูตรปกติความเข้มข้น 50 และ 100%, อาหารสูตรดัดแปลงความเข้มข้น 25 และ 100% ผสมน้ำหมักปลาทู 0.1%, อาหารอย่างง่ายความเข้มข้น 25 และ 50% ผสมน้ำหมักปลาทู 0.1%, ในน้ำหมักเดี่ยว และน้ำหมักผสมจากปลาทูและกระถิน มีปริมาณ Total Chlorophyll, Chlorophyll a, b, c, C-Phycoerythrin, C-Phycocyanin และ Allophycocyanin แตกต่างกันมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) ดังรายละเอียดต่อไปนี้

ตารางที่ 16 ปริมาณ Total Chlorophyll, Chlorophyll a, b และ c ของสไปรูไลนา (mean±SD, mg/l) ที่ได้จากการเพาะเลี้ยงในอาหาร Zarrouk สูตรปกติ 50 และ 100% สูตรดัดแปลง 25 และ 100% ที่ผสมน้ำหมักปลาทู 0.1% อาหารอย่างง่ายความเข้มข้น 25 และ 50 ผสมน้ำหมักปลาทู 0.1% ในน้ำหมักเดี่ยว และน้ำหมักปลาทูผสมน้ำหมักกระถิน

ชุดการทดลอง	Chlorophyll (mg/l)			
	Total**	a**	b**	c**
ZM 100	18.47±0.72^{e}	12.67±0.20^{d}	5.122±0.66^{e}	0.674±0.128^{cd}
ZM 50	12.16±0.87^{b}	8.19±0.93^{b}	3.630±0.21^{c}	0.347±0.053^{a}
ZMm 50/CM 0.1	18.49±0.37^{e}	12.72±0.12^{d}	5.015±0.47^{e}	0.753±0.123^{cd}
ZMm 25/CM 0.1	14.26±0.22^{cd}	9.16±0.39^{c}	4.247±0.35^{d}	0.855±0.217^{d}
SM 50/CM 0.1	14.63±058^{d}	8.64±0.4^{bc}	4.604±0.06^{de}	1.384±0.151^{e}
SM 25/CM 0.1	13.52±0.33^{c}	8.65±0.02^{bc}	3.616±0.29^{c}	1.252±0.078^{e}
CM 0.1	7.58±0.90^{a}	5.57±0.51^{a}	1.409±0.33^{a}	0.598±0.086^{bc}
LT 0.1	7.78±0.26^{a}	6.26±0.18^{a}	1.100±0.12^{a}	0.418±0.121^{ab}
CM/LT 0.1/0.025	8.60±0.35^{a}	5.99±0.21^{a}	2.039±0.12^{b}	0.578±0.067^{bc}

หมายเหตุ 1. ZM = อาหารสูตร Zarrouk; ZMm = อาหาร Zarrouk สูตรดัดแปลง; SM = อาหารอย่างง่าย; CM = น้ำหมักปลาทู; LT= น้ำหมักกระถิน

2. เปรียบเทียบเฉพาะในแนวตั้งเดียวกัน; ** แตกต่างกันทางสถิติ, $p<0.01$; ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรต่างกันกำกับแตกต่างกันทางสถิติ

Chlorophyll

สไปรูไลนาที่เพาะเลี้ยงในอาหาร Zarrouk สูตรปกติ 100% และ สูตรดัดแปลง 50% ที่ผสมน้ำหมักปลาทู 0.1% มีปริมาณ Chlorophyll ทุกชนิด รวมทั้ง Total Chlorophyll ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) และมากกว่าปริมาณที่มีในสไปรูไลนาที่ได้จากการเพาะเลี้ยงในอาหารสูตรอื่นที่เหลือทุกสูตรอย่างมีนัยสำคัญรองลงมาเป็นลำดับ และส่วนมากแตกต่างกันทางสถิติ ได้แก่ ปริมาณ Chlorophyll ที่มีในสไปรูไลนาที่ได้จากการเพาะเลี้ยงในอาหารอย่างง่าย 50% ที่ผสมน้ำหมักปลาทู 0.1%, ในอาหาร Zarrouk สูตรดัดแปลง 25% ที่ผสมน้ำหมักปลาทู 0.1%, อาหาร Zarrouk สูตรปกติ 50% และในอาหารที่ใช้น้ำหมักทั้งสามชนิดที่มี Chlorophyll เกือบทุกชนิด (ยกเว้น Chlorophyll c ที่มีในสไปรูไลนาที่เพาะเลี้ยงในอาหาร Zarrouk สูตรปกติ 50%) ที่มีค่าต่ำกว่าอย่างมีนัยสำคัญ

ตารางที่ 17 ปริมาณ Carotenoids, C-Phycoerythrin, Phycocyanin และ Allophycocyanin (mean±SD, mg/l) ของสไปรูไลนาที่ได้จากการเพาะเลี้ยงในอาหาร Zarrouk สูตรปกติ 50 และ 100%, สูตรดัดแปลง 25 และ 100% ที่ผสมน้ำหมักปลาทู 0.1% อาหารอย่างง่ายความเข้มข้น 25 และ 50 ผสมน้ำหมักปลาทู 0.1% ในน้ำหมักเดี่ยว และน้ำหมักปลาทูผสมน้ำหมักกระถิน

ชุดการทดลอง	Carotenoids (mg/l) **	C-Phycoerythrin (mg/l) *	C-Phycocyanin (mg/l) *	Allophycocyanin (mg/l) *
ZM 100	0.447±0.012^{c}	0.0117±0.0023^{d}	19.83±3.64^{ab}	0.0323±0.0074^{c}
ZM 50	0.339±0.027^{c}	0.0114±0.0018^{cd}	15.53±1.58^{a}	0.0280±0.0104^{bc}
ZMm 50/CM 0.1	0.491±0.022^{c}	0.0106±0.0022^{bcd}	22.66±1.21^{b}	0.0299±0.0015^{c}
ZMm 25/CM 0.1	0.343±0.031^{b}	0.0085±0.0001^{ab}	22.60±0.74^{b}	0.0227±0.0004^{abc}
SM 50/CM 0.1	0.301±0.017^{b}	0.0079±0.0005^{a}	22.48±4.03^{b}	0.0175±0.0016^{a}
SM 25/CM 0.1	0.332±0.026^{b}	0.0077±0.0006^{a}	20.50±6.14^{ab}	0.0232±0.0025^{abc}
CM 0.1	0.202±0.029^{a}	0.0075±0.0001^{a}	18.46±2.15^{ab}	0.0261±0.0035^{abc}
LT 0.1	0.220±0.037^{a}	0.0074±0.0010^{a}	15.31±4.32^{a}	0.0235±0.0032^{abc}
CM/LT 0.1/0.025	0.212±0.022^{a}	0.0091±0.0006^{abc}	15.20±2.00^{a}	0.0193±0.0071^{ab}

หมายเหตุ 1. ZM = อาหารสูตร Zarrouk; ZMm = อาหาร Zarrouk สูตรดัดแปลง; SM = อาหารอย่างง่าย; CM = น้ำหมักปลาทู; LT= น้ำหมักกระถิน

2. เปรียบเทียบเฉพาะในแนวตั้งเดียวกัน; ** แตกต่างกันทางสถิติ, $p<0.01$; ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรต่างกันกำกับแตกต่างกันทางสถิต

Carotenoids

ปริมาณ Carotenoids ที่มีในสไปรูไลนาที่เพาะเลี้ยงในอาหารทดลองแตกต่างกันทางสถิติเป็นลำดับจากมากไปหาน้อย และไม่มีความแตกต่างทางสถิติระหว่างปริมาณ Carotenoids ในสไปรูไลนาที่เพาะเลี้ยงในอาหารชุดเดียวกัน ($p>0.05$) ดังต่อไปนี้ อาหาร Zarrouk สูตรปกติทั้งสองความเข้มข้น, อาหาร Zarrouk สูตรดัดแปลงทั้งสองความเข้มข้นที่ผสมน้ำหมักปลาทู 0.1% และอาหารที่ใช้น้ำหมักอินทรีย์ทั้งสามสูตร

C-Phycoerythrin

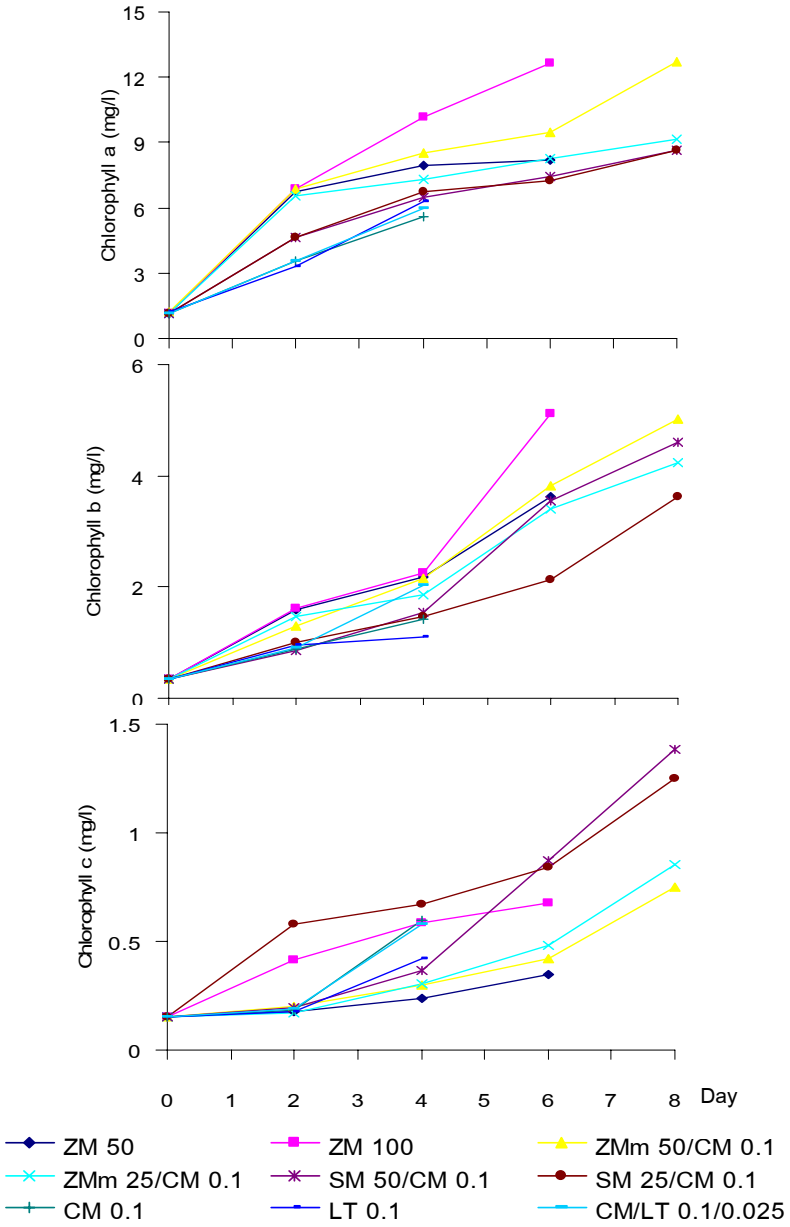
สไปรูไลนาที่เพาะเลี้ยงในอาหาร Zarrouk สูตรปกติ 50, 100% และ ในอาหารสูตรดัดแปลง 50% ที่ผสมน้ำหมักปลาทู 0.1% มีปริมาณ C-Phycoerythrin 0.0106±0.0022-0.0117±0.0023 mg/l ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) และมากกว่าปริมาณที่มีในสไปรูไลนาที่ได้จากการเพาะเลี้ยงในอาหารทุกทุกการทดลองที่เหลือที่มี C-Phycoerythrin ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) อย่างมีนัยสำคัญ

C-Phycocyanin

สไปรูไลนาที่เพาะเลี้ยงในอาหาร Zarrouk 50% ในชุดการทดลองที่ใช้อาหารอินทรีย์ทั้งหมด มีปริมาณ C-Phycocyanin 15.20±2.00-15.53±1.58 mg/l ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) ชุดการทดลองที่ใช้อาหาร Zarrouk สูตรดัดแปลง 50% ที่ผสมน้ำหมักปลาทู 0.1% สไปรูไลนามีปริมาณ C-Phycocyanin 22.66±1.21 mg/l สูงกว่าชุดการทดลองอื่น แต่ไม่แตกต่างกับชุดการทดลองที่ใช้อาหาร Zarrouk สูตรดัดแปลง 25% และอาหารอย่างง่าย 50% ผสมน้ำหมักปลาทู 0.1% ที่มี C-Phycocyanin 22.60±0.74 และ 22.48±4.03 mg/l ตามลำดับ อย่างมีนัยสำคัญ

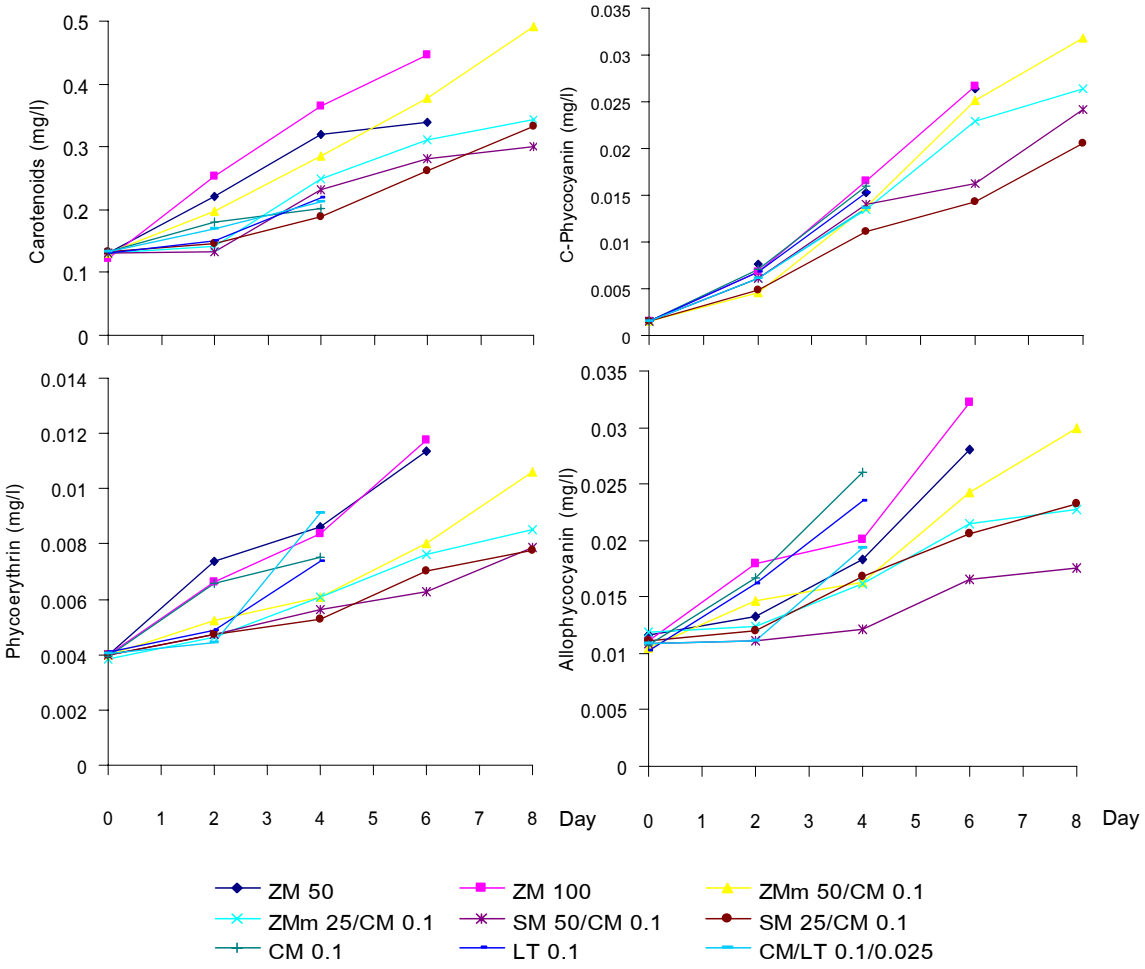
Allophycocyanin

สไปรูไลนาที่ได้จากการทดลองมี Allophycocyanin ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ยกเว้นระหว่าง Allophycocyanin ของสไปรูไลนาที่ได้จากการเพาะเลี้ยงในอาหาร Zarrouk สูตรปกติ 100%, ในอาหาร Zarrouk สูตรดัดแปลง 50% ที่ผสมน้ำหมักปลาทู 0.1% และในอาหารอย่างง่าย 50% ที่ผสมน้ำหมักปลาทู 0.1% และในน้ำหมักผสมที่มี Allophycocyanin ต่ำกว่าอย่างมีนัยสำคัญ



ภาพที่ 16 ปริมาณ Chlorophyll a, b และ c ของสไปรูไลนา (mean±SD, mg/l) ที่ได้จากการเพาะเลี้ยงในอาหาร Zarrouk สูตรปกติ 50 และ 100% อาหาร Zarrouk สูตรดัดแปลง 25 และ 50% ผสมน้ำหมักปลาทู 0.1% อาหารอย่างง่ายความเข้มข้น 25 และ 50 ผสมน้ำหมักปลาทู 0.1% ในน้ำหมักเดี่ยว และน้ำหมักปลาทูผสมน้ำหมักกระถิน

หมายเหตุ ZM = อาหารสูตร Zarrouk; ZMm = อาหาร Zarrouk สูตรดัดแปลง; SM = อาหารอย่างง่าย ; CM = น้ำหมักปลาทู; LT= น้ำหมักกระถิน



ภาพที่ 17 ปริมาณ Carotenoids, C-Phycoerythrin, C-Phycocyanin และ Allophycocyanin ของ สไปรูไลนา (mean±SD, mg/l) ที่ได้จากการเพาะเลี้ยงในอาหาร Zarrouk สูตรปกติ 50 และ 100% อาหาร Zarrouk สูตรดัดแปลง 25 และ 50% ที่ผสมน้ำหมักปลาทู 0.1% อาหารอย่างง่าย ความเข้มข้น 25 และ 50 ผสมน้ำหมักปลาทู 0.1% ในน้ำหมักเดี่ยว และน้ำหมักปลาทูผสมน้ำหมักกระถิน

หมายเหตุ ZM = อาหารสูตร Zarrouk; ZMm = อาหาร Zarrouk สูตรดัดแปลง; SM = อาหารอย่างง่าย; CM = น้ำหมักปลาทู; LT= น้ำหมักกระถิน

องค์ประกอบทางโภชนาการ (ตารางที่ 18 ; ภาพที่ 18)

การเพาะเลี้ยงสไปรูไลนาในอาหาร Zarrouk สูตรปกติ 50 และ 100%, อาหาร Zarrouk สูตรดัดแปลง 25 และ 100% ที่ผสมน้ำหมักปลาทู 0.1%, อาหารอย่างง่าย 25 และ 50% ที่ผสมน้ำหมักปลาทู 0.1%, ในน้ำหมักเดี่ยวและน้ำหมักน้ำหมักปลาทูผสมน้ำหมักกระถิน สไปรูไลนาที่เก็บเกี่ยวในวันที่มีการเจริญหนาแน่นมากที่สุดมีปริมาณโปรตีน ไขมัน เยื่อใย เถ้า ความชื้น และคาร์โบไฮเดรต (%น้ำหนักแห้ง) แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p<0.01$) ดังรายละเอียดต่อไปนี้

ตารางที่ 18 องค์ประกอบทางโภชนาการ (%น้ำหนักแห้ง) ของสไปรูไลนาที่ได้จากการเพาะเลี้ยงในอาหาร Zarrouk สูตรปกติ 50 และ 100%, อาหาร Zarrouk สูตรดัดแปลง 25 และ 50% ที่ผสมน้ำหมักปลาทู 0.1%, อาหารอย่างง่าย 25 และ 50%ผสมน้ำหมักปลาทู 0.1%, น้ำหมักเดี่ยว และน้ำหมักน้ำหมักปลาทูผสมน้ำหมักกระถิน

ชุดการทดลอง	โปรตีน **	ไขมัน **	คาร์โบไฮเดรต**	เยื่อใย **	เถ้า **	ความชื้น**
ZM 100	64.10±0.05^{g}	5.58±0.17^{ab}	13.35±0.25^{b}	5.41±0.05^{b}	4.04±0.04^{a}	7.52±0.14^{a}
ZM 50	63.54±0.14^{f}	5.64±0.10^{abc}	13.74±0.03^{b}	5.49±0.31^{b}	4.25±0.02^{b}	7.34±0.33^{a}
ZMm 50/CM 0.1	71.07±0.03^{i}	5.29±0.15^{a}	7.20±0.28^{a}	4.35±0.20^{a}	4.82±0.05^{d}	7.26±0.10^{a}
ZMm 25/CM 0.1	70.32±0.02^{h}	5.47±0.29^{a}	7.44±0.72^{a}	4.40±0.14^{a}	4.69±0.05^{c}	7.67±0.45^{a}
SM 50/CM 0.1	53.48±0.02^{d}	5.97±0.18^{c}	19.79±0.26^{d}	6.67±0.18^{c}	5.33±0.03^{e}	8.76±0.19^{b}
SM 25/CM 0.1	55.72±0.03^{e}	5.87±0.07^{bc}	17.64±0.23^{c}	6.58±0.14^{c}	4.72±0.03^{c}	9.47±0.30^{c}
CM 0.1	25.03±0.01^{c}	6.36±0.19^{d}	38.15±0.29^{f}	8.29±0.13^{d}	10.41±0.01^{g}	11.76±0.31^{d}
LT 0.1	20.52±0.01^{a}	7.42±0.35^{e}	40.43±0.35^{g}	9.47±0.17^{f}	7.87±0.07^{f}	14.29±0.29^{f}
CM/LT 0.1/0.025	24.83±0.01^{b}	6.67±0.15^{d}	36.07±0.48^{e}	8.82±0.26^{e}	11.07±0.01^{h}	12.54±0.32^{e}

หมายเหตุ 1. ชุดการทดลอง: ZM = อาหารสูตร Zarrouk; ZMm = อาหาร Zarrouk สูตรดัดแปลง; SM = อาหารอย่างง่าย; CM = น้ำหมักปลาทู; LT= น้ำหมักกระถิน

2. เปรียบเทียบเฉพาะในแนวตั้งเดียวกัน; ** $p<0.01$; ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรต่างกันกำกับแตกต่างกันทางสถิติ

โปรตีน

สไปรูไลนาที่ได้จากการเพาะเลี้ยงในอาหารทุกชนิดมีปริมาณโปรตีนแตกต่างกันทางสถิติ สไปรูไลนาที่เพาะเลี้ยงในอาหาร Zarrouk สูตรดัดแปลง ความเข้มข้น 50 และ 25% ที่ผสมน้ำหมักปลาทู 0.1% ประกอบด้วยโปรตีนสูงกว่าสไปรูไลนาที่ได้จากการเพาะเลี้ยงในอาหารสูตรอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญ สไปรูไลนาที่ได้จากการเพาะเลี้ยงในอาหาร Zarrouk สูตรดัดแปลง ความเข้มข้น 50 ผสมน้ำหมักปลาทู 0.1% ประกอบด้วยโปรตีน 71.07±0.03% รองลงไปได้แก่ สไปรูไลนาที่ได้จากการเพาะเลี้ยงในอาหาร Zarrouk สูตรดัดแปลงความเข้มข้น 25% ที่ผสมน้ำหมักปลาทู 0.1% ที่มีปริมาณโปรตีนเฉลี่ย 70.32±0.02% รองลงไปได้แก่ สไปรูไลนาที่ได้จาก

การเพาะเลี้ยงในอาหาร Zarrouk สูตรปกติทั้งสองความเข้มข้น ได้แก่ สไปรูไลนาที่ได้จากการเพาะเลี้ยงในอาหาร Zarrouk สูตรปกติ 100% มีปริมาณโปรตีนสูงกว่าสไปรูไลนาที่ได้จากการเพาะเลี้ยงในอาหาร Zarrouk สูตรปกติ 50% อย่างมีนัยสำคัญ รองลงไปอีกได้แก่ สไปรูไลนาที่ได้จากการเพาะเลี้ยงในอาหารอย่างง่ายที่มีปริมาณสารอาหาร 25% ผสมด้วยน้ำหมักปลาทู 0.1% ประกอบด้วยโปรตีนปริมาณสูงกว่าสไปรูไลนาที่ได้จากการเพาะเลี้ยงในอาหารอย่างเดียวกันที่มีสารอาหาร 50% อย่างมีนัยสำคัญ การเพาะเลี้ยงสไปรูไลนาในอาหารที่มีเฉพาะน้ำหมักปลาทู 0.1% น้ำหมักกระถิน 0.1% หรือน้ำหมักทั้งสองชนิดผสมกัน ได้สไปรูไลนาที่มีปริมาณโปรตีนที่แตกต่างกันทางสถิติ และเป็นปริมาณที่ต่ำกว่าสไปรูไลนาที่ได้จากอาหารทุกสูตรที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้นอย่างมีนัยสำคัญ สไปรูไลนาที่ได้จากการเพาะเลี้ยงในอาหารที่มีน้ำหมักปลาทู 0.1%, น้ำหมักปลาทู 0.1% ที่ผสมน้ำหมักกระถิน 0.025% และน้ำหมักกระถิน 0.1% มีปริมาณโปรตีน 25.03±0.01, 24.83±0.01 และ 20.52±0.01% ตามลำดับ

ไขมัน

สไปรูไลนาที่ได้จากการเพาะเลี้ยงในน้ำหมักวัสดุอินทรีย์อย่างเดียวมีไขมันเป็นส่วนประกอบมากกว่าสไปรูไลนาที่ได้จาการเพาะเลี้ยงในอาหารทดลองทุกชุดที่เหลืออย่างมีนัยสำคัญ สไปรูไลนาที่ได้จากการเพาะเลี้ยงในน้ำหมักกระถิน 0.1% ประกอบด้วยไขมัน 7.42±0.35% มากกว่าปริมาณไขมันที่มีในสไปรูไลนาที่ได้จากการเพาะเลี้ยงในอาหารทดลองทุกชุดที่เหลือทางสถิติ ปริมาณไขมันที่มีในสไปรูไลนาที่ได้จากเพาะเลี้ยงในน้ำหมักปลาทู 0.1% และในน้ำหมักปลาทูผสมน้ำหมักกระถินมีปริมาณไขมันรองลงไปคือ 6.36±0.19 และ 6.67±0.15% ตามลำดับ ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$)

ระหว่างสไปรูไลนาที่ได้จากการเพาะเลี้ยงในอาหารทดลองที่มีสารเคมีเป็นส่วนประกอบ สไปรูไลนาที่ได้จากการเพาะเลี้ยงในอาหาร Zarrouk สูตรปกติ และสูตรดัดแปลงผสมน้ำหมักปลาทู 0.1% ทั้งสองความเข้มข้นมีปริมาณไขมันเฉลี่ย 5.29±0.15-5.64±0.10% ซึ่งต่ำกว่าปริมาณไขมันที่มีในสไปรูไลนาที่ได้จากการเพาะเลี้ยงในอาหารทดลองทุกชุดที่เหลืออย่างมีนัยสำคัญ และไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) สไปรูไลนาที่ได้จากการเพาะเลี้ยงในอาหารอย่างง่ายความเข้มข้น 50 และ 25% ที่ผสมน้ำหมักปลาทู 0.1% มีปริมาณไขมันเฉลี่ยไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) คือ 5.87±0.07 และ 5.97±0.18% ตามลำดับ และไม่แตกต่างทางสถิติ ($p>0.05$) กับปริมาณไขมันที่มีในสไปรูไลนาที่ได้จากการเพาะเลี้ยงในอาหาร Zarrouk สูตรปกติ 50% แต่มีปริมาณมากกว่าที่มีในสไปรูไลนาที่ได้จากการเพาะเลี้ยงในอาหาร Zarrouk สูตรปกติ 100% และในอาหาร Zarrouk สูตรดัดแปลงทั้งสองความเข้มข้นที่ผสมน้ำหมักปลาทู 0.1% อย่างมีนัยสำคัญ

คาร์โบไฮเดรต

ปริมาณคาร์โบไฮเดรตที่มีในสไปรูไลนาที่ได้จากการเพาะเลี้ยงในอาหารทดลองแต่ละกลุ่มแตกต่างกันทางสถิติ มีค่าเรียงเป็นกลุ่มจากมากไปหาน้อย ดังนี้

1) น้ำหมักอินทรีย์

2) อาหารอย่างง่ายที่ผสมน้ำหมักปลาทู 0.1%

3) อาหาร Zarrouk สูตรปกติ 4) อาหาร Zarrouk สูตรดัดแปลงผสมน้ำหมักปลาทู 0.1%

ดังรายละเอียดต่อไปนี้

1. การเพาะเลี้ยงในอาหารที่มีเฉพาะน้ำหมักอินทรีย์ทุกสูตร สไปรูไลนาที่ได้ประกอบด้วยคาร์โบไฮเดรตที่แตกต่างกันทางสถิติทุกสูตร สไปรูไลนาที่ได้จากการเพาะเลี้ยงในน้ำหมักกระถิน ในน้ำหมักปลาทู และในน้ำหมักผสมมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตเฉลี่ย 40.43±0.35, 38.15±0.29 และ 36.07±0.48% ตามลำดับ

2. การใช้อาหารอย่างง่ายผสมน้ำหมักปลาทู 0.1% สไปรูไลนาที่ได้จากการเพาะเลี้ยงในอาหารความเข้มข้น 50% มีปริมาณคาร์โบไฮเดรตเฉลี่ย 19.79±0.26% ซึ่งมากกว่าเมื่อใช้อาหารอย่างง่าย ความเข้มข้น 25% ที่สไปรูไลนามีปริมาณคาร์โบไฮเดรตเฉลี่ย 17.64±0.23% อย่างมีนัยสำคัญ

3. สไปรูไลนาที่ได้จากการเพาะเลี้ยงในอาหาร Zarrouk สูตรปกติ และอาหารสูตรดัดแปลงผสมน้ำหมักปลาทู 0.1% ทั้งสองความเข้มข้น มีปริมาณคาร์โบไฮเดรตเฉลี่ยในแต่ละคู่ชุดการทดลอง 13.74±0.03; 13.35±0.25% และ 7.44±0.72; 7.20±0.28% ตามลำดับ ซึ่งไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) ปริมาณคาร์โบไฮเดรตของสไปรูไลนาที่ได้จากการเพาะเลี้ยงในอาหาร Zarrouk สูตรปกติมีค่าสูงกว่าปริมาณคาร์โบไฮเดรตของสไปรูไลนาที่ได้การเพาะเลี้ยงในอาหาร Zarrouk สูตรดัดแปลงที่ผสมน้ำหมักปลาทู 0.1% อย่างมีนัยสำคัญ

เยื่อใย

ปริมาณเยื่อใยของสไปรูไลนาแตกต่างกันทางสถิติทุกกลุ่มย่อยเรียงจากมากไปหาน้อยดังนี้

1) น้ำหมักอินทรีย์

2) อาหารอย่างง่ายผสมน้ำหมักปลาทู

3) อาหาร Zarrouk สูตรดัดแปลงผสมน้ำหมักปลาทู

4) อาหาร Zarrouk สูตรปกติ

ดังรายละเอียดต่อไปนี้

1. สไปรูไลนาที่ได้จากการเพาะเลี้ยงเฉพาะในน้ำหมักอินทรีย์ทุกสูตรมีปริมาณเยื่อใยแตกต่างกันทางสถิติ สไปรูไลนาที่ได้จากการเพาะเลี้ยงในน้ำหมักกระถิน 0.1% ในน้ำหมักปลาทู 0.1% และในน้ำหมักผสมมีปริมาณเยื่อใย 9.47±0.17, 8.29±0.138 และ 8.82±0.26%
2. สไปรูไลนาที่ได้จากการเพาะเลี้ยงในอาหารอย่างง่าย; อาหาร Zarrouk สูตรดัดแปลงความเข้มข้น 25 และ 50% ที่ผสมน้ำหมักปลาทู 0.1%; อาหารสูตร Zarrouk 50 และ 100% มีปริมาณเยื่อใย 6.58±0.14, 6.67±0.18; 4.40±0.14, 4.35±0.20; 5.49±0.31, 5.41±0.05% ตามลำดับ ปริมาณเยื่อใยในสไปรูไลนาที่ได้จากการเพาะเลี้ยงในอาหารทดลองแต่ละคู่ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$)

เถ้า

สไปรูไลนาที่ได้จาการเพาะเลี้ยงในอาหารทุกสูตรมีปริมาณเถ้าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ยกเว้น สไปรูไลนาที่ได้จากการเพาะเลี้ยงในอาหาร Zarrouk สูตรดัดแปลง และในอาหารอย่างง่าย 25% ที่ผสมน้ำหมักปลาทู 0.1% ที่มีปริมาณเถ้าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) คือ 4.69±0.05 และ 4.72±0.03% ตามลำดับ มีปริมาณเถ้าของสไปรูไลนาที่ได้จากการเพาะเลี้ยงเรียงจากปริมาณมากที่สุดไปหาปริมาณน้อยที่สุด ได้แก่ ปริมาณเถ้าของสไปรูไล-นาที่ได้จากการเพาะเลี้ยงใน 1) น้ำหมักปลาทูผสมน้ำหมักกระถิน, 11.07±0.01%; 2) น้ำหมักปลาทู 0.1%, 10.41±0.01; 3) น้ำหมักกระถิน 0.1%, 7.87±0.07; 4) อาหารอย่างง่าย 50% ผสมน้ำหมักปลาทู 0.1, 5.33±0.03; 5) อาหาร Zarrouk สูตรดัดแปลง 50% ผสมน้ำหมักปลาทู 0.1%, 4.82±0.05; 6) อาหารสูตร Zarrouk 50%, 4.25±0.02 และ 7) อาหารสูตร Zarrouk 100%, 4.04±0.04%

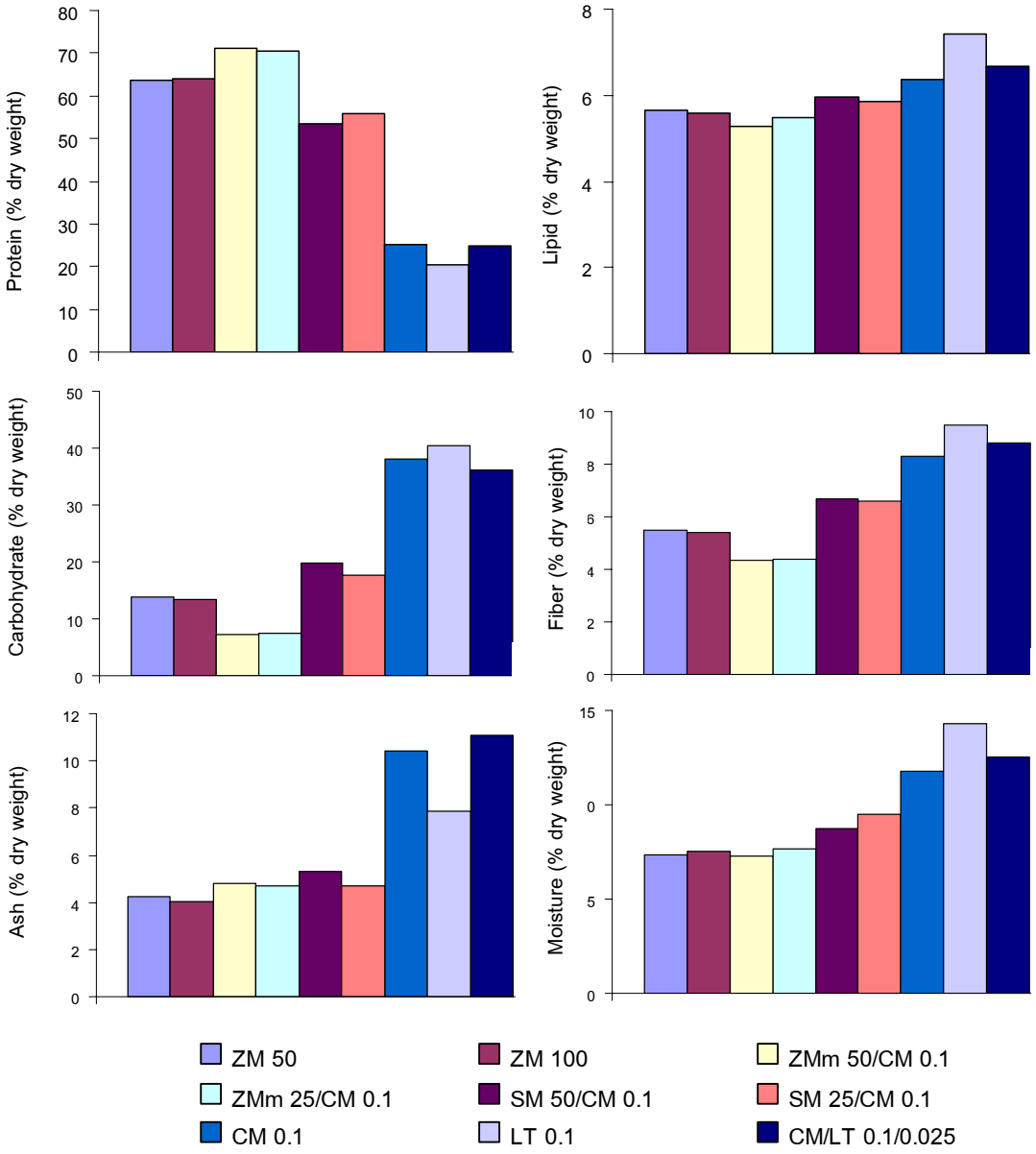
ความชื้น

สไปรูไลนาที่ได้จากการเพาะเลี้ยงด้วยน้ำหมักอินทรีย์แต่ละชุดการทดลองมีปริมาณความชื้นแตกต่างกันทางสถิติ และมากกว่าปริมาณที่มีในสไปรูไลนาที่ได้จากการเพาะเลี้ยงในอาหารที่เหลือทุกชุดอย่างมีนัยสำคัญ สไปรูไลนาที่ได้จากการเพาะเลี้ยงในน้ำหมักกระถิน 0.1% น้ำหมักปลาทู 0.1% และน้ำหมักผสม มีปริมาณความชื้นเฉลี่ย 14.29±0.29, 12.54±0.32 และ 11.76±0.31% ตามลำดับ

สไปรูไลนาที่ได้จากการเพาะเลี้ยงในอาหาร Zarrouk สูตรปกติ และ Zarrouk สูตรดัดแปลงผสมน้ำหมักปลาทู 0.1% มีความชื้นปริมาณ 7.26±0.10-7.67±0.45% ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) และต่ำกว่ามากกว่าปริมาณที่มีในสไปรูไลนาที่ได้จากการเพาะเลี้ยงในอาหารที่เหลือทุกชุดอย่างมีนัยสำคัญ

สไปรูไลนาที่ได้จากการเพาะเลี้ยงในอาหารอย่างง่ายผสมน้ำหมักปลาทู 0.1% มีปริมาณความชื้นอยู่ระหว่างทั้งสองกลุ่มข้างต้น การใช้อาหารอย่างง่ายความเข้มข้น 50%

ได้ สไปรูไลนาที่มีความชื้นเฉลี่ย 8.76±0.19% ซึ่งต่ำกว่าเมื่อใช้อาหารอย่างง่ายที่มีความเข้มข้น 25% ที่ได้สไปรูไลนาที่มีความชื้น 9.47±0.30% อย่างมีนัยสำคัญ



ภาพที่ 18 องค์ประกอบทางโภชนาการ ของสไปรูไลนาที่ได้จากการเพาะเลี้ยงในอาหาร Zarrouk สูตรปกติ 50, 100%, อาหาร Zarrouk สูตรดัดแปลง 25, 50% ผสมน้ำหมักปลาทู 0.1%, อาหารอย่างง่าย 25, 50% ที่ผสมน้ำหมักปลาทู 0.1%, น้ำหมักเดี่ยว และน้ำหมักปลาทูผสมน้ำหมักกระถิน (%น้ำหนักแห้ง)

หมายเหตุ ZM = อาหารสูตร Zarrouk; ZMm = อาหาร Zarrouk สูตรดัดแปลง; SM =อาหารอย่างง่าย; CM = น้ำหมักปลาทู; LT= น้ำหมักกระถิน

ปริมาณสารอาหาร (ตารางที่ 19; ภาพที่ 19)

การใช้อาหาร Zarrouk สูตรปกติ 50 และ 100%, Zarrouk สูตรดัดแปลง 25 และ 50% ที่ผสมน้ำหมักปลาทู 0.1% และอาหารอย่างง่าย 25 และ 50% ที่ผสมน้ำหมักปลาทู 0.1%, น้ำหมักปลาทู 0.1%, น้ำหมักกระถิน 0.1% และน้ำหมักปลาทู 0.1% ผสมน้ำหมักกระถิน 0.025% รวม 9 ชุดการทดลอง มีปริมาณไนเตรท ไนไตรท์ แอมโมเนีย และฟอสเฟตเมื่อเริ่มต้นการทดลอง เมื่อสไปรูไลนามีความหนาแน่นสูงที่สุด และปริมาณที่เปลี่ยนแปลงไปแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p<0.01$) ดังรายละเอียดต่อไปนี้

ไนเตรท

ในอาหารจากปุ๋ยอินทรีย์ทั้งอาหารเดี่ยวและอาหารผสมจากการใช้น้ำหมักปลาทูและกระถิน พบว่า เมื่อเริ่มต้นการเพาะเลี้ยง เมื่อสไปรูไลนามีความหนาแน่นสูงที่สุด และปริมาณที่เปลี่ยนแปลงไป มีปริมาณ 3.48±0.29-5.55±0.24, 0.10±0.02-1.72±0.36 และ 3.11±0.26-3.83±0.13 mg/l ตามลำดับ เป็นปริมาณที่ต่ำกว่าการใช้ปุ๋ยเคมี และการใช้ปุ๋ยเคมีผสมปุ๋ยอินทรีย์อย่างมีนัยสำคัญ ดังนี้

ก. เมื่อเริ่มต้นการเพาะเลี้ยง

อาหารสูตร Zarrouk ปกติ 100% มีปริมาณไนเตรทเมื่อเริ่มต้นการทดลอง 1,176.53±89.60 mg/l สูงกว่าและแตกต่างกันทางสถิติกับสูตรที่เหลืออย่างมีนัยสำคัญ รองลงมาคือในอาหารสูตร Zarrouk ดัดแปลง 50% และ Zarrouk สูตรดัดแปลง 50% ที่ผสมน้ำหมักปลาทู 0.1% มีปริมาณไนเตรทเมื่อเริ่มต้นการทดลอง 867.30±24.54 และ 849.85±18.43 mg/l ตามลำดับ ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ส่วน Zarrouk ดัดแปลง 25% ผสมน้ำน้ำหมักปลาทู 0.1% อาหารอย่างง่าย 50% ที่ผสมน้ำหมักปลาทู 0.1% และ อาหารอย่างง่าย 25% ที่ผสมน้ำหมักปลาทู 0.1% มีปริมาณไนเตรทเมื่อเริ่มต้น 451.28±21.64, 746.36±4.04 และ 355.94±10.59 mg/l ตามลำดับ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

ข. เมื่อสไปรูไลนามีความหนาแน่นสูงที่สุด

อาหารสูตร Zarrouk ดัดแปลง 50% มีปริมาณไนเตรทสูงที่สุดคือ 155.70±19.78 mg/l สูงกว่าชุดการทดลองอื่นๆ ยกเว้น ในอาหาร Zarrouk สูตรปกติ 100% ที่มีปริมาณ 146.64±22.28 mg/l ส่วนชุดการทดลองที่เหลือมีปริมาณไนเตรทในวันที่สาหร่ายเจริญสูงที่สุดเฉลี่ย 120.21±14.14-141.46±11.38 mg/l ซึ่งชุดการทดลองดังกล่าวไม่แตกต่างกันทางสถิติ

ค. ปริมาณไนเตรทที่เปลี่ยนแปลงไป

ในอาหาร Zarrouk สูตรปกติ 100% มีปริมาณไนเตรทเปลี่ยนแปลงไปสูงที่สุดคือ 1,029.89±111.88 mg/l แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับชุดการทดลองอื่นๆ รองลงมาคืออาหาร Zarrouk สูตรดัดแปลง 50% ที่ผสมน้ำหมักปลาทู 0.1% มีปริมาณไนไตรทเปลี่ยนแปลงไป 717.86±12.00 mg/l ไม่แตกต่างกับการใช้อาหารสูตร Zarrouk 50% ที่มีปริมาณไนไตรทเปลี่ยนแปลงไป 711.60±37.17 mg/l แต่แตกต่างกับอาหารอย่างง่าย 50% ที่ผสมน้ำหมักปลาทู 0.1% อาหาร Zarrouk สูตรดัดแปลง 25% ที่ผสมน้ำหมักปลาทู 0.1% และอาหารอย่างง่าย 25% ที่ผสมน้ำหมักปลาทู 0.1% ที่มีปริมาณไนไตรทเปลี่ยนแปลงไป 604.91±9.81, 331.07±17.69 และ 232.15±14.61 mg/l ตามลำดับ

ไนไตรท์

ก. เมื่อเริ่มต้นการเพาะเลี้ยง

ในอาหาร Zarrouk สูตรปกติ 100 % และ Zarrouk สูตรดัดแปลง 50% ที่ผสมน้ำหมักปลาทู 0.1% มีปริมาณไนไตรท์เริ่มต้นสูงที่สุดคือ 1.02±0.01 และ 1.01±0.02 mg/l ตามลำดับ ไม่แตกต่างกันทางสถิติ รองลงมาคือในอาหารสูตร Zarrouk 50% อาหารอย่างง่าย 50% ที่ผสมน้ำหมักปลาทู 0.1% อาหาร Zarrouk สูตรดัดแปลง 25% ที่ผสมน้ำหมักปลาทู 0.1% อาหารอย่างง่าย 25% ที่ผสมน้ำหมักปลาทู 0.1% และในน้ำหมักปลาทู 0.1% ที่มีปริมาณไนไตรท์เมื่อเริ่มต้น 0.94±0.04, 0.88±0.01, 0.84±0.02, 0.66±0.03 และ 0.18±0.02 mg/l ตามลำดับ แตกต่างกันทางสถิติ

ในน้ำหมักกระถิน 0.1% และในน้ำหมักปลาทู 0.1% ที่ผสมน้ำหมักกระถิน 0.025 % มีปริมาณไนไตรท์เมื่อเริ่มต้นต่ำที่สุดไม่แตกต่างกันทางสถิติ คือ 0.13±0.00 และ 0.09±0.02 mg/l ตามลำดับ

ข. เมื่อสไปรูไลนามีความหนาแน่นสูงที่สุด

การเพาะเลี้ยงสไปรูไลนาในอาหาร Zarrouk สูตรปกติ 100% เหลือไนไตรท์ในน้ำ 0.40±0.07 mg/l มากกว่าปริมาณที่เหลือในน้ำที่ใช้อาหารอื่นที่เหลืออย่างมีนัยสำคัญ รองลงมาคือในชุดการทดลองที่ใช้อาหาร Zarrouk สูตรดัดแปลง 50% ผสมน้ำหมักปลาทู 0.1% และในชุดการทดลองที่ใช้อาหารอย่างง่าย 50% ผสมน้ำหมักปลาทู 0.1% ที่มีปริมาณไนไตรท์ 0.26±0.02 และ 0.23±0.03 mg/l ตามลำดับ ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ในอาหารเคมีสูตรที่เหลือได้แก่ อาหารสูตร Zarrouk 50% อาหาร Zarrouk สูตรดัดแปลง 25% ที่ผสมน้ำหมักปลาทู 0.1% และในอาหารอย่างง่าย 25% ที่ผสมน้ำหมักปลาทู 0.1% มีปริมาณไนไตรท์เหลืออยู่ 0.16±0.06, 0.15±0.03 และ 0.14±0.01 mg/l ตามลำดับ ส่วนในอาหารอินทรีย์ทั้ง 3 สูตร มีปริมาณต่ำสุด และไม่แตกต่างกันทางสถิติ คือ 0.02±0.01-0.03±0.01 mg/l

ค. ปริมาณไนไตรท์ที่เปลี่ยนแปลงไป

ในอาหารสูตร Zarrouk 50% มีปริมาณไนไตรท์เปลี่ยนแปลงไป 0.77±0.08 mg/l สูงที่สุด ไม่แตกต่างกันทางสถิติกับในอาหาร Zarrouk สูตรดัดแปลง 50% ที่ผสมน้ำหมักปลาทู 0.1% ที่มีปริมาณเปลี่ยนแปลงไป 0.75±0.03 mg/l ส่วนในอาหาร Zarrouk สูตรดัดแปลง 50% ที่ผสมน้ำหมักปลาทู 0.1% มีปริมาณเปลี่ยนแปลงไปไม่ต่างกับอาหาร Zarrouk สูตรดัดแปลง 25% ที่ผสมน้ำหมักปลาทู 0.1% ที่มีปริมาณเปลี่ยนแปลงไป 0.68±0.02 mg/l และอาหารสูตรนี้ไม่มีความแตกต่างกับอาหารอย่างง่าย 50% ที่ผสมน้ำหมักปลาทู 0.1% และอาหาร Zarrouk สูตรปกติ 100% ที่มีปริมาณเปลี่ยนแปลงไป 0.65±0.02 และ 0.61±0.08 mg/l ตามลำดับ รองลงมาคืออาหารอย่างง่าย 25% ที่ผสมน้ำหมักปลาทู 0.1% มีปริมาณเปลี่ยนแปลงไป 0.52±0.05 mg/l และอาหารทั้งหมดมีปริมาณไนไตรท์เปลี่ยนแปลงไปต่ำสุดไม่แตกต่างกันทางสถิติ มีปริมาณ 0.07±0.03-0.14±0.01 mg/l

แอมโมเนีย

ก. เมื่อเริ่มต้นการเพาะเลี้ยง

อาหาร Zarrouk สูตรปกติ 100% มีปริมาณแอมโมเนียเมื่อเริ่มต้นการเพาะเลี้ยงสูงที่สุดคือ 0.38±0.02 mg/l แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับชุดการทดลองอื่นๆ รองลงมาคือ ในอาหารสูตร Zarrouk 50% อาหาร Zarrouk สูตรดัดแปลง 50 และ 25% ที่ผสมน้ำหมักปลาทู 0.1% และอาหารอย่างง่าย 50 และ 25% ที่ผสมน้ำหมักปลาทู 0.1% ที่มีปริมาณแอมโมเนียเมื่อเริ่มต้น 0.33±0.04, 0.27±0.02, 0.26±0.01, 0.26±0.01 และ 0.23±0.01 mg/l ตามลำดับ ส่วนการใช้อาหารอินทรีย์อาหารเดี่ยวและอาหารผสมทั้ง 3 สูตร มีปริมาณแอมโมเนียเริ่มต้นต่ำสุดเฉลี่ย 0.15±0.02-0.17±0.00 mg/l ไม่แตกต่างกันทางสถิติ

ข. เมื่อสไปรูไลนามีความหนาแน่นสูงที่สุด

ในวันที่สไปรูไลนามีความหนาแน่นสูงที่สุด ในอาหารเคมีและในอาหารเคมีผสมอาหารอินทรีย์ทุกสูตร มีปริมาณแอมโมเนียเหลืออยู่ 0.07±0.01-0.11±0.07 mg/l ไม่แตกต่างกันทางสถิติ แต่สูงกว่าและแตกต่างกับการใช้อาหารอินทรีย์ทั้งหมดที่มีปริมาณ 0.01±0.00-0.02±0.01 mg/l และการใช้อาหารอินทรีย์ทั้งหมดไม่แตกต่างกันทางสถิติ

ค. ปริมาณแอมโมเนียที่เปลี่ยนแปลงไป

ในอาหาร Zarrouk สูตรปกติ 100% และ 50% มีปริมาณแอมโมเนียเปลี่ยนแปลงไปสูงที่สุดคือ 0.29±0.02 และ 0.26±0.04 mg/l แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับชุดการทดลองอื่นอย่างมีนัยสำคัญ รองลงมาคือ ในอาหาร Zarrouk สูตรดัดแปลง 50% ที่ผสมน้ำหมักปลาทู 0.1% ที่มีปริมาณเปลี่ยนแปลงไป 0.19±0.02 mg/l แตกต่างกับอาหารอย่างง่าย 25% ที่ผสมน้ำหมักปลาทู 0.1% ที่มีปริมาณแอมโมเนียเปลี่ยนแปลงไปต่ำที่สุดคือ 0.12±0.08 mg/l แต่อาหารทั้งสองสูตรดังกล่าว ไม่แตกต่างกับอาหารสูตรที่เหลือที่มีปริมาณเปลี่ยนแปลงไป 0.14±0.02-0.18±0.02 mg/l อย่างมีนัยสำคัญ

ฟอสเฟต

ก. เมื่อเริ่มต้นการเพาะเลี้ยง

ในอาหาร Zarrouk สูตรปกติ 100% มีปริมาณฟอสเฟตเมื่อเริ่มต้นการทดลอง 259.85±5.22 mg/l สูงกว่าปริมาณที่มีในอาหารทุกสูตรอย่างมีนัยสำคัญ รองลงมาคือในอาหารสูตร Zarrouk 50% อาหาร Zarrouk สูตรดัดแปลง และอาหารอย่างง่าย 50% ที่ผสมน้ำหมักปลาทู 0.1% และ อาหาร Zarrouk สูตรดัดแปลง และอาหารอย่างง่าย 25% ที่ผสมน้ำหมักปลาทู 0.1% ที่มีปริมาณฟอสเฟตเมื่อเริ่มต้นการทดลอง 217.74±6.08, 212.02±2.93, 206.52±5.41, 117.63±10.49 และ 103.42±3.40 mg/l ตามลำดับ การใช้อาหารอินทรีย์ทุกสูตรมีปริมาณฟอสเฟตเมื่อเริ่มต้นการทดลองไม่แตกต่างกันทางสถิติคือ 3.39±0.11-5.32±0.11 mg/l

ข. เมื่อสไปรูไลนาเจริญหนาแน่นสูงที่สุด

ในวันที่สไปรูไลนามีความหนาแน่นมากที่สุด ในอาหารสูตร Zarrouk 50,100% และอาหาร Zarrouk สูตรดัดแปลง 50% ที่ผสมน้ำหมักปลาทู 0.1% มีปริมาณฟอสเฟตเหลืออยู่สูงที่สุดเฉลี่ย 57.69±11.09-60.46±2.14 mg/l ไม่แตกต่างกันทางสถิติ รองลงมาคือในอาหาร Zarrouk สูตรดัดแปลง 25% ที่ผสมน้ำหมักปลาทู 0.1% และในอาหารอย่างง่าย 25 และ 50% ที่ผสมน้ำหมักปลาทู 0.1% มีปริมาณฟอสเฟตเหลืออยู่ 17.28±0.46-22.49±3.56 mg/l ซึ่งสูงกว่าและแตกต่างกับอาหารอินทรีย์ทั้ง 3 สูตรที่มีปริมาณเหลืออยู่ 0.82±0.02-1.36±0.13 mg/l

ค. ปริมาณฟอสเฟตที่เปลี่ยนแปลงไป

ในอาหาร Zarrouk สูตรปกติ 100% และในอาหารอย่างง่าย 50% ที่ผสมน้ำหมักปลาทู 0.1% มีปริมาณฟอสเฟตที่เปลี่ยนแปลงไป 199.39±7.21-194.75±3.35 mg/l ตามลำดับ ไม่แตกต่างกันทางสถิติ แต่สูงกว่าและต่างกับชุดการทดลองที่เหลืออย่างมีนัยสำคัญ รองลงมาคือในอาหารสูตร Zarrouk 50% และ Zarrouk สูตรดัดแปลง 50% ที่ผสมน้ำหมักปลาทู 0.1% ที่มีปริมาณไม่แตกต่างกันมีปริมาณ 159.61±12.58 และ 148.83±8.77 mg/l ตามลำดับ แตกต่าง

กับในอาหาร Zarrouk สูตรดัดแปลง และอาหารอย่างง่าย 25% ที่ผสมน้ำหมักปลาทู 0.1% ที่มีปริมาณ 95.13±12.07 และ 83.85±3.53 mg/l ตามลำดับ สูงกว่าและแตกต่างกับอาหารอินทรีย์ทุกสูตรที่มีปริมาณฟอสเฟตที่เปลี่ยนแปลงไปต่ำที่สุด 2.57±0.09-3.96±0.22 mg/l แต่อาหารอินทรีย์ทุกสูตรมีฟอสเฟตลดลงจากปริมาณที่มีเมื่อเริ่มต้นไม่แตกต่างกันทางสถิติ

7.5 วิจารณ์

การเจริญของสไปรูไลนา

การลดปริมาณสารอาหารในทั้งอาหาร Zarrouk สูตรปรกติ และสูตรดัดแปลง ทำให้สไปรูไลนาเจริญได้ต่ำกว่าการใช้อาหารสูตร Zarrouk สูตรปรกติอย่างมีนัยสำคัญ การทดลองเติมน้ำหมักปลาทูความเข้มข้น 0.1% ลงในอาหาร Zarrouk สูตรดัดแปลงที่มีปริมาณสารอาหารลดลงเหลือ 50, 25 และการลดชนิดสารเคมีในอาหารสูตรดัดแปลงลงเหลือเพียง 3 ชนิดหลัก คือ โซเดียมไบคาร์บอเนต โซเดียมไนเตรท และไดโซเดียมไฮโดรเจนฟอสเฟต ในอาหารอย่างง่าย (SM) ที่มีปริมาณสารทั้งสามชนิดเพียง 50 และ 25% ของปริมาณในสูตรเดิม เปรียบเทียบกับการใช้อาหาร Zarrouk สูตรปรกติ 100% และ 50% (การทดลองที่ 4) ในอาหารสูตร Zarrouk ดัดแปลงที่มีปริมาณสารอาหาร 50% ผสมน้ำหมักปลาทู 0.1% สไปรูไลนาสามารถเจริญได้ความหนาแน่น 74% มีน้ำหนักแห้ง 77.9% ของสไปรูไลนาที่เพาะเลี้ยงในอาหาร Zarrouk สูตรปรกติ 100% การเจริญเติบโตของสไปรูไลนาในอาหารทดลองนี้มีความหนาแน่นใกล้เคียงกับเมื่อใช้อาหาร Zarrouk สูตรดัดแปลงที่มีสารอาหาร 100% มีน้ำหนักแห้งมากกว่าเล็กน้อย (การทดลองที่ 2) growth promoting factors ที่มีในน้ำหมักปลาทู 0.1% จึงทำให้การใช้สารอาหารหลักที่มีอยู่มีประสิทธิภาพมากขึ้น (ประเสริฐ, 2548; Chojnacka, 2004)

ในอาหาร Zarrouk สูตรดัดแปลงที่มีปริมาณสารอาหาร 25% ผสมน้ำหมักปลาทู 0.1% สไปรูไลนาเจริญได้ความหนาแน่นต่ำลงอีกคือ 66.8% มีน้ำหนักแห้ง 66.3% ของสไปรูไลนาที่เพาะเลี้ยงในอาหาร Zarrouk สูตรปรกติ 100% เนื่องจากมีสารอาหารโดยเฉพาะสารอาหารหลักในปริมาณต่ำกว่า (Costa *et al*., 2003; Colla *et al*., 2007)

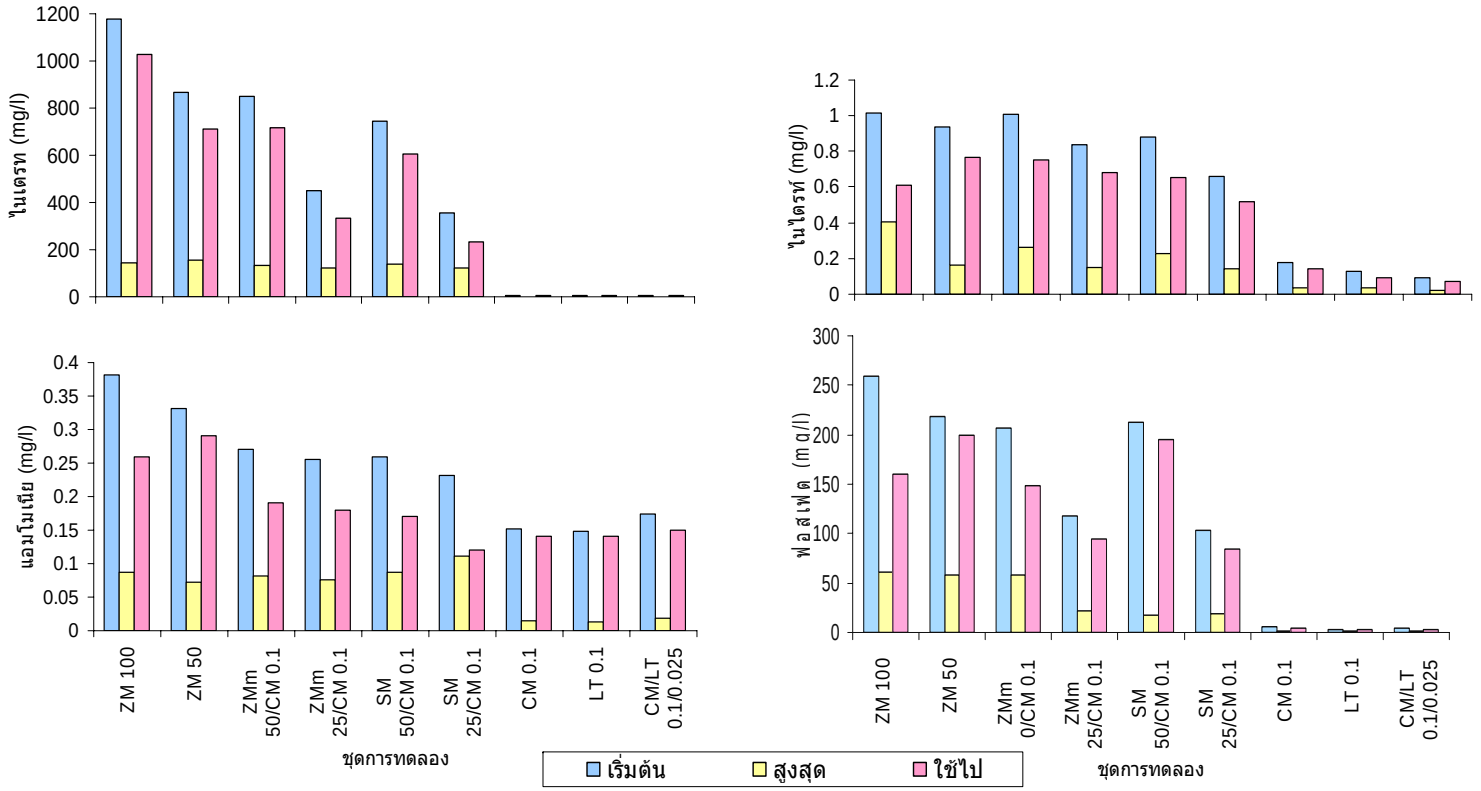
การลดทั้งชนิดและปริมาณสารเคมีในอาหาร Zarrouk สูตรดัดแปลง ในอาหารอย่างง่าย สไปรูไลนาที่เพาะเลี้ยงในอาหารอย่างง่ายที่มีสารอาหาร 50 และ 25% ผสมน้ำหมักปลาทู 0.1% เจริญได้ลดลงกว่าในชุดการทดลองที่ใช้อาหาร Zarrouk สูตรดัดแปลงอย่างมีนัยสำคัญ สไปรูไลนาเจริญได้ความหนาแน่น 62 และ 50.5% มีน้ำหนักแห้ง 62.8 และ 59.5% ของสไปรูไลนาที่เพาะเลี้ยงในอาหาร Zarrouk สูตรปรกติ 100% growth promoting factors ที่มีในน้ำหมักช่วยการเจริญของสไปรูไลนาได้ไม่มากหากมีสารอาหารหลักจำกัดชนิดมากเกินไป สารอาหารแต่ละชนิดย่อมมีบทบาท และหน้าที่แตกต่างกันไป (Awad and Al-Makhzoumi, 2006)

ตารางที่ 19 ปริมาณไนเตรท ไนไตรท์ แอมโมเนีย และฟอสเฟต (mean±SD, mg/l) ในน้ำเพาะเลี้ยงสไปรูไลนาในน้ำหมักอินทรีย์เดี่ยว และผสม อาหาร Zarrouk สูตรปกติ และสูตรดัดแปลงและอาหารอย่างง่ายที่ผสมด้วยน้ำหมักอินทรีย์ เมื่อเริ่มต้นการทดลอง (i) วันที่สไปรูไลนามีความหนาแน่นสูงที่สุด (l) และปริมาณที่ใช้ก่อนวันที่มีความหนาแน่นสูงที่สุด (c)

ชุดการทดลอง	ZM 100	ZM 50	ZMm 50/CM 0.1	ZMm 25/CM 0.1	SM 50/CM 0.1	SM 25/CM 0.1	CM 0.1	LT 0.1	CM/LT 0.1/0.025
NO_3^-									
i**	1,176.53±89.60^{f}	867.30±24.54^{e}	849.85±18.43^{e}	451.28±21.64^{c}	746.36±4.04^{d}	355.94±10.59^{b}	5.55±0.24^{a}	3.48±0.29^{a}	4.58±0.18^{a}
l**	146.64±22.28^{cd}	155.70±19.78^{d}	131.99±7.10^{bcd}	120.21±14.14^{b}	141.46±11.38^{bcd}	123.79±17.48^{bc}	1.72±0.36^{a}	0.10±0.02^{a}	1.47±0.08^{a}
c**	1,029.89±111.88^{f}	711.60±37.17^{e}	717.86±12.00^{e}	331.07±17.69^{c}	604.91±9.81^{d}	232.15±14.61^{b}	3.83±0.13^{a}	3.39±0.29^{a}	3.11±0.26^{a}
NO_2^-									
i**	1.02±0.01^{g}	0.94±0.04^{f}	1.01±0.02^{g}	0.84±0.02^{d}	0.88±0.01^{e}	0.66±0.03^{c}	0.18±0.02^{b}	0.13±0.00^{a}	0.09±0.02^{a}
l**	0.40±0.07^{d}	0.16±0.06^{b}	0.26±0.02^{c}	0.15±0.03^{b}	0.23±0.03^{c}	0.14±0.01^{b}	0.03±0.01^{a}	0.03±0.01^{a}	0.02±0.01^{a}
c**	0.61±0.08^{c}	0.77±0.08^{e}	0.75±0.03^{de}	0.68±0.02^{cd}	0.65±0.02^{c}	0.52±0.05^{b}	0.14±0.01^{a}	0.09±0.01^{a}	0.07±0.03^{a}
NH_4^+									
i**	0.38±0.02^{e}	0.33±0.04^{d}	0.27±0.02^{c}	0.26±0.01^{bc}	0.26±0.01^{bc}	0.23±0.01^{b}	0.15±0.02^{a}	0.15±0.02^{a}	0.17±0.00^{a}
l**	0.09±0.01^{b}	0.07±0.01^{b}	0.08±0.01^{b}	0.08±0.02^{b}	0.09±0.01^{b}	0.11±0.07^{b}	0.02±0.00^{a}	0.01±0.00^{a}	0.02±0.01^{a}
c**	0.29±0.02^{c}	0.26±0.04^{c}	0.19±0.02^{b}	0.18±0.02^{ab}	0.17±0.01^{ab}	0.12±0.08^{a}	0.14±0.02^{ab}	0.14±0.02^{ab}	0.15±0.00^{ab}
PO_4^{3-}									
i**	259.85±5.22^{f}	217.74±6.08^{e}	206.52±5.41^{d}	117.63±10.49^{c}	212.02±2.93^{d}	103.42±3.40^{b}	5.32±0.11^{a}	3.39±0.11^{a}	4.31±±0.26^{a}
l**	60.46±2.14^{c}	58.13±6.59^{c}	57.69±11.09^{c}	22.49±3.56^{b}	17.28±0.46^{b}	19.58±0.97^{b}	1.36±0.13^{a}	0.82±0.02^{a}	0.79±0.07^{a}
c**	199.39±7.21^{d}	159.61±12.58^{c}	148.83±8.77^{c}	95.13±12.07^{b}	194.75±3.35^{d}	83.85±3.53^{b}	3.96±0.22^{a}	2.57±0.09^{a}	3.52±0.33^{a}

หมายเหตุ 1. ชุดการทดลอง: ZM = อาหารสูตร Zarrouk; ZMm = อาหาร Zarrouk สูตรดัดแปลง; SM = อาหารอย่างง่าย; CM = น้ำหมักปลาทู; LT= น้ำหมักกระถิน

2. เปรียบเทียบเฉพาะในแนวตั้งเดียวกัน; ** แตกต่างกันทางสถิติ, $p<0.01$; ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรต่างกันกำกับแตกต่างกันทางสถิติ



ภาพที่ 19 ปริมาณธาตุอาหาร (mg/l) ในน้ำเพาะเลี้ยงสไปรูไลนาในน้ำหมักอินทรีย์เดี่ยว และผสม อาหาร Zarrouk สูตรปกติ อาหาร Zarrouk สูตรดัดแปลง และอาหารอย่างง่ายที่ผสมด้วยน้ำหมักอินทรีย์

หมายเหตุ ZM = อาหารสูตร Zarrouk; ZMm = อาหาร Zarrouk สูตรดัดแปลง; SM = อาหารอย่างง่าย; CM = น้ำหมักปลาทู LT= น้ำหมักกระถิน

ตารางที่ 20 ความหนาแน่น (OD, 560_{nm}) น้ำหนักแห้ง (DW, g/l) ที่ลดลง (%) เมื่อให้ความหนาแน่น และน้ำหนักแห้งของสไปรูไลนาที่ได้จากการเพาะเลี้ยงในอาหาร Zarrouk สูตรปกติ 100% ที่เป็นผลจากทั้ง 4 การทดลองมีค่าเท่ากับ 100%

	media								
	Z 100	Z 50	Zm 100	Zm 100	Zm 100	Zm 50	Zm 25	SM 50	SM 25
-	-	-	-	LT 0.1	CM 0.1	CM 0.1	CM 0.1	CM 0.1	CM 0.1
OD	100	-12.8	-24.7	-17.0	-16.0	-26.0	-33.2	-38.0	-49.5
DW	100	-18	-24.5	-17.0	-12.2	-22.1	-33.7	-37.2	-40.5

หมายเหตุ CM = น้ำหมักปลาทู; LT = น้ำหมักกระถิน

สัดส่วนของความหนาแน่น และน้ำหนักแห้งของสไปรูไลนาที่เพาะเลี้ยงได้ในชุดการทดลองที่ใช้สารอาหารจำกัดลง มิได้เป็นสัดส่วนกับชนิดและปริมาณสารอาหารที่ลดลง ความหนาแน่น และน้ำหนักแห้งของสไปรูไลนาที่ลดลงมีปริมาณที่ต่ำกว่าสัดส่วนของสารเคมีในอาหารที่ลดปริมาณลงมาก การผสมน้ำหมักอินทรีย์ลงในอาหารเคมีที่มีการลดชนิดสารเคมีที่ใช้ ทำให้สไปรูไลนาเจริญได้ดีขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ การใช้น้ำหมักปลาทูให้ผลดีกว่าน้ำหมักกระถิน การใช้อาหารที่มีน้ำหมักปลาทูหรือกระถิน 0.1% สไปรูไลนาเจริญได้ความหนาแน่นต่ำกว่าสไปรูไลนาที่เพาะเลี้ยงในอาหาร Zarrouk สูตรปรกติ 51.2-54.4% มีน้ำหนักแห้งต่ำกว่า 51.1-51.4% มีค่าใกล้เคียงกับที่ได้จากการใช้น้ำหมักปลาทู 0.1% อย่างเดียว แต่มีน้ำหนักแห้งมากกว่าประมาณ 10% สารเคมีที่มีในอาหารอย่างง่าย 25% มีบทบาทต่อความหนาแน่นของสไปรูไลนาน้อยมากแต่มีผลต่อน้ำหนักแห้งมากกว่า แสดงให้เห็นว่า การขาดสารอาหารช่วงแรกของสไปรูไลนา ด้วยสารอาหารหลักที่มีอยู่ต่ำ ทำให้สไปรูไลนาเจริญได้ต่ำ มีโปรตีน คลอโรฟิลล์ รวมทั้ง DNA และ RNA ลดลง แต่มีปริมาณของคาร์โบไฮเดรตเพิ่มสูงขึ้น (Richmond, 1986; De la Noue and Basseres, 1989) แม้ไม่ต่ำเท่าสไปรูไลนาที่ได้รับน้ำหมักอย่างเดียวก็ตาม การเจริญเติบโตที่ลดลงของสไปรูไลนาที่เพาะเลี้ยงในอาหาร Zarrouk สูตรดัดแปลง 25% ที่ผสมน้ำหมักปลาทู 0.1% ต่ำกว่าไม่มากเท่ากับการใช้อาหารอย่างง่ายทั้งความหนาแน่น และน้ำหนักแห้งของสไปรูไลนา แสดงให้เห็นบทบาทของธาตุอาหารอีก 6 ชนิดที่มีในอาหารสูตรดัดแปลง ไม่พบความผิดปรกติของปริมาณโปรตีนของสไปรูไลนาที่ได้รับอาหารดัดแปลง 25% ที่ผสมน้ำหมักปลาทู 0.1% แต่พบว่าสไปรูไลนาจากการทดลองชุดนี้มีคลอโรฟิลล์ต่ำกว่าสไปรูไลนาที่ได้รับอาหาร Zarrouk สูตรปรกติ และสูตรดัดแปลง 50% ผสมน้ำหมักปลาทูมาก แต่ยังมีคลอโรฟิลล์ในปริมาณสูงกว่าที่สไปรูไลนาที่ได้รับอาหาร Zarrouk สูตรปรกติที่มีสารอาหาร 50% อย่างมีนัยสำคัญ

แสง และอุณหภูมิเป็นปัจจัยทางกายภาพที่เป็นตัวจำกัดการเจริญของสไปรูไลนาที่สำคัญมาก (Raoof and Kaushik, 2002) ทุกการทดลองทำในสภาพกึ่งธรรมชาติที่อยู่ภายใต้

อิทธิพลของแสงและอุณหภูมิตามธรรมชาติ การเพาะเลี้ยงสไปรูไลนาในอาหาร Zarrouk สูตรปกติในการทดลองต่างๆ ที่มีสภาพแวดล้อมต่างกัน ทำให้สไปรูไลนาที่ได้มีความหนาแน่น และมีน้ำหนักแห้งแตกต่างกัน (Becker and Venkataraman, 1982; Colla *et al*., 2007) การทดลองที่ 1-3 เพาะเลี้ยงในสภาวะแวดล้อมที่ใกล้เคียงกันในพื้นที่ที่ได้รับแสงจัดเฉพาะช่วงครึ่งวันเช้า แสงที่ได้รับมีความเข้ม 2,500-18,000 Lux อุณหภูมิ 32-36°C แต่ในช่วงที่ทำการทดลองที่ 3 ฝนตกติดต่อกันหลายวัน ความเข้มแสงส่วนใหญ่ค่อนข้างต่ำคือ 3,000-5,000 Lux สไปรูไลนาที่เพาะเลี้ยงในช่วงดังกล่าวเจริญได้ไม่มากคือ 3.180 (OD 560_{nm}) มีน้ำหนักแห้ง 3.53 mg/l ต่ำกว่าสไปรูไลนาที่เพาะเลี้ยงในการทดลองที่ 1-2 ที่แสงมีความเข้มแสง 3,000-16,000 Lux และเจริญได้ 4.067-4.210 มีน้ำหนักแห้ง 3.96±0.29 g/l ในขณะเดียวกัน การเพาะเลี้ยงสไปรูไลนาในการทดลองที่ 4 แม้ทำในภาชนะที่มีปริมาตรมากกว่ามาก แต่การเพาะเลี้ยงทำกลางแจ้ง สไปรูไลนาได้รับแสงความเข้ม 3000->50,000 Lux ตลอดรอบทิศทางตลอดทั้งวัน น้ำในโหลทดลองมีอุณหภูมิสูงค่อนข้างสูงคือ 37-40°C ซึ่งมากสำหรับสไปรูไลนา (Rafiqul *et al*., 2003; Trabelsi *et al*., 2009) สไปรูไลนาในการทดลองครั้งนี้เจริญได้ความหนาแน่นเพียง 3.046 ต่ำกว่าทุกชุดการทดลองก่อนหน้า แต่มีน้ำหนักแห้ง 3.68 mg/l สัดส่วนของน้ำหนักแห้งต่อความหนาแน่นมีค่าสูงกว่าใน 3 การทดลองข้างต้น แสดงว่าสไปรูไลนาที่เพาะเลี้ยงยังคงสามารถใช้สารอาหารที่มีอยู่ได้ดี (Costa *et al*., 2003; Chaiklahan *et al*., 2010)

Nakamura (1982) รายงานว่า เมื่อความเข้มแสงมากกว่า 8,000-11,000 ลักซ์ สไปรูไลนาจะไม่เจริญ และหากสาหร่ายได้รับแสงปริมาณที่สูงมากเป็นเวลาติดต่อกันอาจเป็นอุปสรรคต่อการสังเคราะห์แสง อาจทำให้เกิดการฟอกขาวหรือการจาง หรือตายในที่สุด (Nakamura, 1982; Venkataraman, 1983) ตลอดการทดลองทุกการทดลองไม่พบอาการผิดปรกติดังกล่าว แม้เมื่อมีแสงเกินกว่า 50,000 Lux เนื่องจากแสงธรรมชาติมีการเปลี่ยนแปลงในรอบวันตามเวลา ที่สไปรูไลนาสามารถใช้ในการเจริญได้ดีกว่าแสงที่มีความเข้มคงที่ (Goksan *et al*., 2007) สไปรูไลนาได้รับแสงความเข้มสูงข้างต้นเป็นระยะเวลาที่ไม่นานติดต่อกัน และในระหว่างการเจริญของสไปรูไลนา ความหนาแน่นของสาหร่ายที่เกิดขึ้นยังทำให้เกิดการช่วยบังหรือพลางแสงให้แก่กันและกัน เมื่อถูกกระแสน้ำพัดขึ้นสู่ด้านบนหรือที่ด้านข้างของภาชนะ (ภาชนะเป็นโหลแก้วใส) แสงจึงไม่เป็นปัจจัยที่ทำให้เกิดผลกระทบต่อการสังเคราะห์แสงของสไปรูไลนาที่เพาะเลี้ยงอุปสรรคของการเจริญควรเนื่องมาจากอุณหภูมิของน้ำที่สูงมากเกินเป็นเหตุมากกว่า

คุณค่าทางโภชนาการของสไปรูไลนา

ส่วนประกอบทางโภชนาการของสไปรูไลนาขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการที่เกี่ยวข้องในระหว่างที่สไปรูไลนาเจริญเติบโตอยู่เป็นหลัก ทั้งเกี่ยวกับอาหารที่ได้รับ และปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับสภาวะแวดล้อมที่สไปรูไลนาเจริญอยู่ (Tanticharoen *et al*., 1994; Cohen, 1997; Vonshake, 1997; Colla *et al*., 2007) สไปรูไลนาที่เพาะเลี้ยงในบ่อเปิดกลางแจ้งมักได้ผลผลิตต่ำ (0.4-0.8 g/l) แต่สไปรูไลนามีคุณค่าทางโภชนาการสูง (Richmond, 1988) ปริมาณโปรตีนที่มีในเซลล์อยู่ในรูปที่เป็นโปรตีนปกติ และที่อยู่ในรูปของสารสีไฟโคไซยานิน (Bousilba and Richmond, 1980) สไปรูไลนาโดยทั่วไปมีโปรตีน 46-63% มีคาร์โบไฮเดรต 8-14% ไขมัน 4-9% (Becker, 2007) (6-13%, Cohen, 2002) ปริมาณโปรตีนในสไปรูไลนามีความสัมพันธ์โดยตรงกับปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจนในอาหาร (Piorreck *et al.,* 1984) อุณหภูมิที่ต่ำหรือสูงมากเกินทำให้มีการสร้างโปรตีนและสะสมในเซลล์สไปรูไลนาลดลง (Ogbonda *et al*., 2007) ส่วนปริมาณไขมัน และคาร์โบไฮเดรตได้รับอิทธิพลจากปริมาณฟอสเฟตทั้งที่มีอยู่ในเซลล์และในอาหารที่เพาะเลี้ยงที่เซลล์เจริญอยู่ (Borowitzka, 1988) ตลอดจนสภาวะแวดล้อม เช่น ความเค็ม (Rafaqul *et al.,* 2003) มีคาร์โบไฮเดรตมากขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น (Ogbonda *et al*., 2007) สไปรูไลนาที่เพาะเลี้ยงในอาหารสูตร Zarrouk ที่อุณหภูมิ 30°C และได้รับแสง 14 ชั่วโมง/วัน มีโปรตีน 67.20% (Feng and Wu, 2006) ที่อุณหภูมิเดียวกัน Ogbonda และคณะ (2007) รายงานว่า สไปรูไลนาที่เพาะเลี้ยงในอาหารสูตรดัดแปลง Bd. 3 (Khatum *et al*., 1994) มีปริมาณโปรตีน 48.23% สูงกว่าเมื่อเพาะเลี้ยงที่อุณหภูมิต่ำกว่า หรือสูงกว่า Promya และคณะ (2008) การเพาะเลี้ยงสไปรูไลนาในอาหารสูตร Zarrouk ได้สไปรูไลนาที่มีปริมาณโปรตีน 54.44% สไปรูไลนาที่เพาะเลี้ยงได้ในอาหารสูตร Zarrouk ที่มีปริมาณสารอาหารครบ 100% ตามสูตร และที่มีสารอาหารเพียง ½ มีปริมาณโปรตีนเกือบไม่แตกต่างกันกันคือ 64.10±0.05 และ 63.54±0.04 % ตามลำดับ การลดปริมาณสารอาหารในอาหารสูตร Zarrouk ปกติลง ½ ไม่มีผลต่อคุณภาพทางโภชนาการของสไปรูไลนาที่เพาะเลี้ยงได้ แต่มีผลต่อปริมาณผลผลิตของสไปรูไลนาดังที่ได้กล่าวมาแล้ว ปริมาณไนเตรทที่มีในอาหารในชุดการทดลองที่ใช้อาหาร Zarrouk สูตรปรกติ 100% ลดลงในปริมาณที่มากกว่าปริมาณที่มีในชุดการเพาะเลี้ยงที่ใช้อาหาร 50% อย่างมีนัยสำคัญ แสดงว่าปริมาณไนเตรทที่มีในอาหารถูกสไปรูไลนานำไปใช้ได้มีความสัมพันธ์กับปริมาณที่มีเมื่อเริ่มต้นในอาหารนั้น และสำหรับการใช้อาหารสูตร Zarrouk สไปรูไลนาที่เพาะเลี้ยงในอาหารที่ปริมาณสารอาหาร 100% มีประสิทธิภาพในการใช้ปริมาณสารประกอบไนโตรเจนที่มีในอาหารต่ำกว่าการเพาะเลี้ยงในอาหารที่มีสารอาหาร 50% ซึ่งยังไม่สามารถอธิบายได้

นอกจากการใช้อาหารสูตร Zarrouk ในสองชุดการทดลองที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น สไปรูไลนาที่ได้จากชุดการทดลองอื่นในการทดลองครั้งนี้ (การทดลองที่ 4) มีปริมาณโปรตีน

แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ปริมาณโปรตีนมีตั้งแต่ต่ำมากประมาณ 20% ซึ่งเป็นค่าที่ต่ำมากสำหรับสไปรูไลนา จนกระทั่งสูงมากคือสูงกว่าระดับที่ Becker (2007) รายงานไว้ข้างต้น คือมากกว่า 70% ของน้ำหนักแห้ง ด้วยอาหารทดลองที่ใช้ในการทดลองมีคุณสมบัติแตกต่างกันมากดังได้กล่าวมาแล้ว ปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจนที่มีความสัมพันธ์โดยตรงกับปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจนที่มีในอาหาร (Piorreck *et al.,* 1984) แตกต่างกันมากดังได้กล่าวมาแล้ว ขึ้นอยู่กับชนิด และปริมาณส่วนประกอบที่เป็นสารเคมีเป็นหลัก ส่วนประกอบที่เป็นที่มาของ trace elements ก็แตกต่างกันขึ้นอยู่กับที่มาของสารอาหารนั้นๆ ในอาหารทดลองที่มีเพียงน้ำหมักจากปลาทูหรือกระถิน 0.1% เป็นส่วนผสม มีปริมาณไนเตรทต่ำมากๆ ในขณะที่ในอาหารที่มีสารเคมีเป็นส่วนประกอบมีไนเตรทปริมาณสูงมากดังที่ได้กล่าวถึงมาแล้ว

ในชุดการทดลองที่ใช้อาหาร Zarrouk สูตรดัดแปลง ทั้งที่มีสารอาหาร 25 และ 50% ที่เติมน้ำหมักปลาทู 0.1% สไปรูไลนาที่ได้จากการเพาะเลี้ยงมีปริมาณโปรตีนเฉลี่ยสูงมากคือ 71.07 และ 70.32% ตามลำดับ สูงมากกว่าสไปรูไลนาที่เพาะเลี้ยงในอาหาร Zarrouk สูตรปกติมาก (Feng and Wu, 2006; Becker, 2007; Promya *et al*., 2008) และเป็นค่าที่สูงกว่าค่าสูงที่สุดในช่วง (range) ที่ Becker (2007) รายงาน ผลในส่วนนี้ทำให้เห็นว่า แม้ในน้ำหมักปลาทูจะมีธาตุอาหารหลักต่ำมากเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณที่มีในอาหารสูตร Zarrouk ทั้งสูตรดั้งเดิม สูตรดัดแปลง หรือแม้กับอาหารอย่างง่ายที่ล้วนมีสารเคมีหลักเป็นส่วนประกอบ แต่ในน้ำหมักที่ได้จากการหมักวัสดุอินทรีย์ช่วยทำให้สไปรูไลนามีการสังเคราะห์โปรตีนได้เพิ่มมากขึ้นกว่าการใช้อาหารสูตร Zarrouk ปรกติ ในน้ำหมักจึงต้องมีสารประกอบที่ทำหน้าที่เป็นสารเร่งบางปฏิกิริยาที่เกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโตของสไปรูไลนา ไปกระตุ้นกลไกทางชีวสังเคราะห์ในการสร้างโปรตีนที่มีประสิทธิภาพได้ โดยเฉพาะสิ่งที่จะไปกระตุ้นปฏิกิริยาเอ็นไซม์ต่างๆ (Richmond, 2004) มากกว่าที่สารเคมีในสารละลาย A5 และ B6 ในอาหารสูตร Zarrouk ปกติสามารถทำได้ โดยที่สไปรูไลนาที่เพาะเลี้ยงในอาหารสูตรดัดแปลงที่มีปริมาณสารอาหาร 25% มีปริมาณโปรตีนต่ำกว่าสไปรูไลนาที่ได้รับอาหารที่มีสารอาหาร 50% ไม่ถึง 1% และมีส่วนประกอบที่เหลือไม่แตกต่างกันมาก การใช้อาหาร Zarrouk สูตรดัดแปลงที่มีปริมาณสารอาหาร 25% ทำให้การเจริญเติบโตของสไปรูไลนาทั้งความหนาแน่นต่ำกว่า 7.2% และน้ำหนักแห้งต่ำกว่า 11.6% เมื่อได้รับอาหารที่มีสารอาหาร 50% อย่างมีนัยสำคัญ (เทียบกับสไปรูไลนาที่ได้จากการเพาะเลี้ยงในอาหาร Zarrouk สูตรปกติ) แต่สไปรูไลนามีคุณสมบัติทางโภชนาการโดยเฉพาะปริมาณโปรตีนใกล้เคียงกับเมื่อใช้อาหารที่มีสารอาหาร 50% ทำให้มีความเป็นไปได้ว่า คุณภาพของสไปรูไลนาที่ได้จากการเพาะเลี้ยงที่ใช้อาหาร Zarrouk สูตรดัดแปลง 100% ย่อมดีเท่าหรืออาจดีกว่าการใช้ Zarrouk สูตรดัดแปลง 25 หรือ 50% ซึ่งควรได้มีการทดลองต่อไป แต่การที่การเพาะเลี้ยงสไปรูไลนาที่ใช้น้ำหมักจากวัสดุอินทรีย์ทดแทนสารละลาย A5 และ B6 เมื่อใช้อาหาร Zarrouk สูตรดัดแปลงลดจาก 100% เหลือ 50% ทำให้ความหนาแน่นของสไปรูไลนาลดลงค่อนข้างมากคือ 25% (เทียบกับสไปรูไลนาที่ได้จากการเพาะเลี้ย

ในอาหาร Zarrouk สูตรปรกติ, การทดลองที่ 3 และ4) การใช้น้ำหมักจากสารอินทรีย์สำหรับการเพาะเลี้ยงสไปรูไลนาที่ให้ผลตอบแทนทั้งผลผลิต และคุณภาพของสไปรูไลนาจึงต้องคำนึงถึงปริมาณสารเคมีในอาหารหลักเป็นสำคัญ

การลดชนิดของสารเคมีในอาหาร Zarrouk สูตรดัดแปลงลงเหลือเพียง 3 ชนิดหลักในอาหารอย่างง่ายๆ ที่ใช้ความเข้มข้นเดียวกันกับการใช้อาหาร Zarrouk สูตรดัดแปลง และมีการผสมน้ำหมักชนิดและความเข้มข้นเดียวกัน ทำให้สไปรูไลนามีปริมาณโปรตีนต่ำกว่าปริมาณที่เมื่อใช้อาหาร Zarrouk สูตรดัดแปลงประมาณ 20% ปริมาณคาร์โบไฮเดรตสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญคือประมาณ 10% เป็น 19.79 และ 17.64% ตามลำดับ (Dela Noue and Basseres, 1989) นอกจากคาร์โบไฮเดรตแล้วยังพบว่าสไปรูไลนาในทั้งสองชุดการทดลองนี้ยังมีปริมาณเยื่อใยและความชื้นเพิ่มมากขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ค่าต่างๆ ข้างต้นของสไปรูไลนาเพิ่มสูงมากขึ้นเป็นลำดับเกือบทุกองค์ประกอบในชุดการทดลองที่ใช้เฉพาะน้ำหมักเริ่มจาก น้ำหมักปลาทู น้ำหมักผสม และน้ำหมักกระถิน ในระหว่างอาหารที่เป็นน้ำหมัก สไปรูไลนาที่ได้จากการเพาะเลี้ยงในน้ำหมักกระถิน 0.1% มีคุณภาพทางโภชนาการต่ำที่สุด น้ำหมักปลาทูทำให้สไป-รูไลนามีคุณภาพดีที่สุด รองมาเป็นน้ำหมักผสม และน้ำหมักกระถินในลำดับสุดท้าย การใช้อาหารที่เป็นน้ำหมักอินทรีย์ไม่มีสารเคมี สไปรูไลนามีโปรตีนเฉลี่ยเพียง 20-25% ต่ำลงอีกกว่าครึ่งหนึ่งเมื่อใช้อาหารอย่างง่าย คาร์โบไฮเดรตมีปริมาณสูงขึ้นมากคือ 36-40% แต่ยังคงเป็นค่าที่ต่ำกว่าที่ Cañiizares-Villanueva และคณะ (1995) รายงานว่า สไปรูไลนาที่เพาะเลี้ยงน้ำหมักมูลสุกร 50% ที่มีฟอสเฟต 3.97 mg/l ไนเตรท 4.67 mg/l แอมโมเนีย 83.4 mg/l มีปริมาณคาร์โบไฮเดรต 44%

การใช้อาหารอย่างง่ายในที่นี้หากเปรียบเทียบกับการใช้อาหาร zarrouk สูตรปกติหรืออาหารสูตรดัดแปลง จะสามารถทำให้ลดความยุ่งยากในการจัดหาสารเคมีเหล่านี้ การเตรียม ช่วยลดต้นทุนการเพาะเลี้ยงสไปรูไลนาลง การผสมน้ำหมักในอาหารทั้งในอาหารดัดแปลง และในอาหารอย่างง่าย ทำให้สไปรูไลนามีคุณภาพดีขึ้นมาก สามารถได้ทั้งสไปรูไลนาที่มีปริมาณโปรตีนสูงมาก ถึงปานกลาง ใกล้เคียงกับที่มีรายงานจากการใช้อาหารสูตร Zarrouk ในบางการทดลอง เช่นการทดลองของ Promya และคณะ (2008) ปริมาณโปรตีนดังกล่าวสามารถได้จากการใช้อาหารสูตรดัดแปลงอื่น เช่น Bd 3 (Ogbonda *et al*., 2007) คุณภาพของโปรตีนต่ำลงหากใช้เฉพาะน้ำหมักอินทรีย์ แต่สไปรูไลนามีไขมันปริมาณสูงกว่าการใช้อาหารที่มีสารเคมีเป็นองค์ประกอบอย่างมีนัยสำคัญ ปริมาณไขมันที่มีในสไปรูไลนามีค่าลดลงเมื่อในอาหารเพาะเลี้ยงมีไนโตรเจนต่ำ (Piorreck *et al.*, 1984) จากผลการทดลองพบว่า สไปรูไลนาที่ได้รับอาหารที่มีปริมาณไนโตรเจนต่ำไม่ได้มีปริมาณไขมันต่ำลง กลับมีค่ามากกว่าในสไปรูไลนาที่ได้รับอาหารที่มีไนโตรเจนสูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญ สไปรูไลนาที่เพาะเลี้ยงมีค่า 5.3-6.7% อยู่ในช่วงที่ Becker (2007) รายงานไว้ ปริมาณไขมันในสไปรูไลนาที่ได้จากการเพาะเลี้ยงในแต่ละชุดการทดลองไม่แตกต่างกันมาก เนื่องจากเป็นการทดลองในช่วงเวลาเดียวกัน อุณหภูมิและ

แสงที่มีอิทธิพลต่อปริมาณไขมัน (Cohen *et al*., 1987; Cohen, 1997) ที่สไปรูไลนาทุกชุดการทดลองได้รับในสภาวะที่ได้รับแสง และอุณหภูมิตามธรรมชาติไม่แตกต่างกัน และปกติจะมีค่ามากกว่าสไปรูไลนาที่เพาะเลี้ยงในห้องปฏิบัติการ (Richmond, 1988)

ไขมันที่มีในสไปรูไลนาเป็นไขมันที่ดีและมีความจำเป็นต่อร่างกาย ปริมาณไขมันที่สไปรูไลนาจากการเพาะเลี้ยงทุกชุดการทดลองมีอยู่ในระดับปรกติที่มีการรายงาน (Cohen, 2002; Becker, 2007) การใช้อาหารอินทรีย์จากน้ำหมักไม่มีส่วนผสมที่เป็นสารเคมี สไปรูไลนามีปริมาณไขมันมากกว่าสไปรูไลนาจากการเพาะเลี้ยงที่มีสารเคมีเป็นองค์ประกอบทุกสูตร ในอาหารเคมีสูตร Zarrouk 50 และ 100% ที่มีปริมาณไขมันเพียง 5.64±0.10 และ 5.58±0.17% ตามลำดับ ปริมาณไขมันที่สไปรูไลนาที่เพาะเลี้ยงในอาหารสูตร Zarrouk ทั้งสองสูตรข้างต้นมีสูงกว่าที่ Cañizares-Villanueva และคณะ (1995) รายงานว่า สไปรูไลนาที่เพาะเลี้ยงในอาหารสูตร Zarrouk มีปริมาณไขมัน 2.5% (น้ำหนักแห้ง) และที่เพาะเลี้ยงจากของเสียจากการเลี้ยง-สุกรมีปริมาณไขมัน 6% (น้ำหนักแห้ง) Rafaqul และคณะ (2003) รายงานจาการเพาะเลี้ยงสไปรูไลนา *S. fusiformis* ในอาหารสูตร Zarrouk ว่า การเลี้ยงในน้ำที่มีความเค็มที่เป็นภาวะเครียดสำหรับสไปรูไลนา ทำให้ปริมาณไขมันเพิ่มขึ้นมาก การเพาะเลี้ยงในที่มีความเค็ม 1.0 ppt สไปรูไลนามีไขมัน 19.6% และเมื่อความเค็มเป็น 1.2 ppt ปริมาณไขมันต่ำลงเหลือ 15.6% ปริมาณไขมัน และคาร์โบไฮเดรตมีค่าสูงมากขึ้นในขณะที่โปรตีนและการเจริญของสไปรูไลนาลดลงเมื่อน้ำมีความเค็มมากขึ้น

ปริมาณสารสี

ในสไปรูไลนาประกอบด้วยสารสี (Pigment) ที่หลากหลายชนิดและมีในปริมาณมาก จนทำให้สไปรูไลนาเป็น super photosynthetic organism (Melack and Kilham, 1974) สารสีมีความสำคัญต่อทั้งสไปรูไลนาเอง และคุณสมบัติที่เป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (Liu *et al*., 2000; Hirata et al. 2000; Romay and Gonzalez, 2000) ปริมาณสารสีที่มีในสไปรูไลนามีความแปรผันตามชนิด ปริมาณอาหารที่ได้รับ ตามสภาวะแวดล้อมที่เพาะเลี้ยง (Bogorad, 1962; Eloranta, 1986; Danesi *et al*., 2002) ตลอดจนวิธีการสกัดและวัดปริมาณ (Furuki *et al*., 2003)

ปริมาณคลอโรฟิลล์มีความสัมพันธ์โดยตรงกับปริมาณไนเตรท (Piorreck *et al*., 1984; Danesi *et al*., 2002) เมื่ออาหารที่ใช้เพาะเลี้ยงเป็นอาหารประเภทเดียวกันเท่านั้น สไปรูไลนามีปริมาณ คลอโรฟิลล์ 18.47 mg/l การใช้อาหารสูตรดัดแปลงผสมด้วยน้ำหมักปลาทูสไปรูไลนามีคลอโรฟิลล์ 18.49 mg/l ในขณะที่การเพาะเลี้ยงในน้ำหมักอินทรีย์ทั้งจากน้ำหมักเดี่ยว และน้ำหมักผสมสไปรูไลนามีปริมาณคลอโรฟิลล์ และแคโรทีนอยด์น้อยกว่าปริมาณที่มีในสไปรูไลนาเพาะเลี้ยงในอาหารเคมี และในอาหารเคมีที่ผสมน้ำหมักอินทรีย์ เนื่องจากในอาหารอินทรีย์มีปริมาณไนเตรทต่ำกว่าในอาหารเคมีมาก การเพาะเลี้ยงสไปรูไลนาในอาหาร

ที่มี N: P ประมาณ 5.7: 1.0 และมีความเค็ม 10 ppt ทำให้สไปรูไลนามีแคโรทีนอยด์ 0.03 mg/g มีไฟโคไซยานิน 21.27 mg/g (Promya *et al*., 2008) ไฟโคไซยานินของสไปรูไลนาลดลงจาก 132 mg/g น้ำหนักแห้ง เหลือ 96 mg/g เมื่อน้ำมีความเค็มเพิ่มขึ้น จาก 0 เป็น 1 ppt (Rafaqul *et al*., 2003)

สารอาหารและความเข้มแสงมีผลร่วมกันต่อปริมาณคลอโรฟิลล์ Rangel-Yagui (2004) พบว่า การใช้ยูเรีย 500 mg/l ให้แสง 1,400 ลักซ์ เพาะเลี้ยงสไปรูไลนา ทำให้สไปรูไลนามีปริมาณ คลอโรฟิลล์สูงที่สุด แต่การเพาะเลี้ยงที่อาหารเท่ากัน แต่ให้แสง 3500 ลักซ์ จะทำให้สไปรูไลนามีคลอโรฟิลล์คุณภาพดีที่สุด สอดคล้องกับ Bogorad (1962) และ Eloranta (1986) ที่รายงานไว้ว่า ปริมาณคลอโรฟิลล์สัมพันธ์กับปริมาณความเข้มของแสงในการเพาะเลี้ยง หากใช้ความเข้มแสงที่สูงจะทำให้การเจริญของสไปรูไลนาลดลง (Torzillo and Vonshak, 1994) การเพาะเลี้ยง สไปรูไลนาด้วยอาหาร Zarrouk 100% มีปริมาณไนเตรทมากกว่าปริมาณที่มีในอาหาร Zarrouk ดัดแปลง 50% ที่ผสมน้ำหมักปลาทู 0.1% อย่างมีนัยสำคัญ แต่สไปรูไลนาที่ได้จากการเพาะเลี้ยงในอาหารทั้งสองสูตรมีปริมาณคลอโรฟิลล์รวมและปริมาณแคโรทีนอยด์ไม่แตกต่างกันทางสถิติ แสดงให้เห็นว่า ปริมาณไนเตรทที่มีในอาหารสูตร Zarrouk ดัดแปลง 50% ที่ผสมน้ำหมักปลาทู 0.1% มีปริมาณเพียงพอและสไปรูไลนาสามารถนำไปใช้ได้ดีสำหรับการนำไปสร้างโปรตีนในเซลล์ และสำหรับการสร้างไฟโคไซยานิน

ปริมาณของไฟโคไซยานินของสไปรูไลนา ขึ้นอยู่กับปริมาณสารอาหารที่ได้รับจากการทดลอง สไปรูไลนาที่เพาะเลี้ยงในอาหารอินทรีย์ มีปริมาณไฟโคไซยานินต่ำกว่า แต่การเพาะเลี้ยงในอาหารเคมีที่ผสมอาหารอินทรีย์ทำให้สไปรูไลนามีปริมาณไฟโคไซยานินเพิ่มมากขึ้น Chen และคณะ (1997) รายงานว่า การเพาะเลี้ยงในระบบ heterotrophic สไปรูไลนาจะมีปริมาณไฟโคไซยานินค่อนข้างต่ำคือประมาณ 55 mg/g (น้ำหนักแห้ง) เนื่องจากการเลี้ยงในระบบนี้ สไปรูไลนาจะมี lag phase ที่อัตราการเจริญเติบโตต่ำค่อนข้างนาน แต่สไปรูไลนาสามารถใช้อินทรีย์คาร์บอนในการเจริญเติบโตได้ดี (Marquez *et al.,* 1993) สามารถดึงอินทรีย์คาร์บอนที่มีในอาหาร 50% เข้าไปเป็นส่วนประกอบของเซลล์ได้ (Chen *et al.,* 1997 อ้างถึง Okawa and Terui, 1970) สไปรูไลนาที่เพาะเลี้ยงในอาหารอินทรีย์มีปริมาณไฟโคไซยานินต่ำกว่ารายงานข้างต้นมากคือมีเพียง 15.20-18.46 mg/l สไปรูไลนาที่เพาะเลี้ยงในอาหารเคมีมี 15.53-19.83 mg/l สไปรูไลนาที่เพาะเลี้ยงในอาหารเคมีผสมอาหารอินทรีย์มีไฟโคไซยานินสูงกว่าไม่มากคือ 20.50-22.66 mg/l ปริมาณไฟโคไซยานินที่มีในสไปรูไลนาที่ได้จากการทดลองอยู่ในช่วงที่ Promya และคณะ (2008) และ Chaiklahan และคณะ (2010) รายงานไว้ ซึ่งยังคงเป็นปริมาณค่อนข้างต่ำ อาจเนื่องมาจากการมีอาหารอินทรีย์ในปริมาณน้อยเกินไปดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น อย่างไรก็ตามการเพาะเลี้ยงสไปรูไลนาด้วยอาหารอินทรีย์ผสมอาหารเคมี ทำให้ได้สไปรูไลนาที่มีคุณภาพที่ดียิ่งขึ้น หากสามารถจัดการการใช้น้ำหมักได้ดีขึ้นน่าจะสามารถทำให้คุณภาพส่วนนี้ของสไปรูไลนาดีขึ้นได้เช่นกัน

ปริมาณไฟโคไซยานินที่สไปรูไลนามีขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของเซลล์ในขณะนั้น ปริมาณเซลล์ต่อความเข้มแสงที่ได้รับ อัตราการสังเคราะห์แสงที่เกิดขึ้น (Chen *et al*., 1997) แหล่งที่มาและธรรมชาติของแสงมีอิทธิพลต่อปริมาณรงควัตถุของสไปรูไลนา ซึ่งมีผลต่อการเจริญและองค์ประกอบทางเคมี (Olguin *et al*., 2001) การเพาะเลี้ยงสไปรูไลนาในอาหารอินทรีย์มีอัตราการเจริญที่ต่ำกว่าการเพาะเลี้ยงในอาหารเคมี จึงทำให้มีปริมาณไฟโคไซยานินที่ต่ำกว่า การเพาะเลี้ยงสไปรูไลนา (การทดลองที่ 4) กลางแจ้งได้รับแสงแดดที่มีความเข้มแสง 2,500->50,000 Lux การเพาะเลี้ยงได้รับแสงแดดเต็มที่ หรืออาจมากเกินไป มีรายงานว่าการเพาะเลี้ยงสไปรูไลนามีปริมาณไฟโคไซยานินมากที่สุดเมื่อได้รับแสง 4,000 Lux แต่จะมีผลผลิตลดลงกว่าครึ่ง (Chen *et al.,* 1997) สอดคล้องกับรายงานของ Promya และคณะ (2008) ที่เพาะเลี้ยงสไปรูไลนาในห้องปฏิบัติการในอาหารสูตร Zarrouk สไปรูไลนาที่ได้ประกอบด้วยไฟโคไซยานิน 6.94 mg/l และเบต้าแคโรทีน 0.27 mg/l ในขณะที่การทดลองเพาะเลี้ยงภายใต้แสงตามธรรมชาติที่มีความเข้ม 2,500->50,000 Lux ซึ่งเป็นความเข้มแสงที่สูงมากเกินไป ทำให้ได้สไปรูไลนาที่มีแคโรทีนอยด์เพียง 0.339 mg/l

ด้วยคุณสมบัติโดยธรรมชาติของสไปรูไลนาที่มีปริมาณไฟโคไซยานินในปริมาณสูงมาก หากเปรียบเทียบกับปริมาณไฟโคไซยานินที่มีในสิ่งมีชีวิตทั่วไป ทำให้สไปรูไลนาสามารถใช้แสงที่มีความยาวคลื่นที่ไฟโคไซยานินสามารถรับแสงได้ (Jiang *et al*., 2001; Zhou *et al*., 2005) มากกว่า เกิดการสังเคราะห์แสงได้สูงมาก (Herrera *et al*., 1989) จึงสามารถเจริญได้อย่างรวดเร็ว แต่ Chen และคณะ (1997) รายงานว่าเกิดการยังยั้งของกระบวนการสังเคราะห์แสงเมื่อสไปรูไลนาได้รับแสงที่มีความเข้มเกินกว่า 4,000 Lux

จากผลการศึกษาทั้ง 4 การทดลอง แสดงให้เห็นว่า สไปรูไลนาเจริญในอาหารที่มีสารเคมีเป็นส่วนประกอบในทุกการทดลองดีกว่าในอาหารที่มีเพียงน้ำหมักอินทรีย์ที่ได้จากการหมักวัสดุข้างต้นทุกชนิด และทุกความเข้มข้นอย่างมีนัยสำคัญ รายงานจากผลการศึกษาเกี่ยวกับสารอาหารสำหรับการเพาะเลี้ยงสไปรูไลนาในระยะที่ผ่านมาชี้ให้เห็นว่า ในอาหารเคมี เช่น อาหารสูตร Zarrouk มีสารอาหารในปริมาณที่มากเกินความจำเป็น (Seshadri and Thomas, 2001; Colla *et al*., 2007; Radmann *et al*., 2007) จึงมีความพยายามที่จะลดปริมาณสารเคมีที่ใช้ในอาหารเพาะเลี้ยงเหล่านี้ลง โดยที่ยังมีรายงานว่า สไปรูไลนาเจริญได้ดี (Feng and Wu, 2006; Raoof *et al*., 2006; Yang *et al*., 2008) Colla และคณะ (2007) รายงานว่า การลดปริมาณโซเดียมไนเตรทเหลือ 1 ใน 4 ส่วนของปริมาณที่ระบุในสูตร Zarrouk (2.5 g/l) ไม่ทำให้ผลผลิตต่างๆ ลดลง สไปรูไลนาเจริญได้ปรกติในอาหารที่มีไนเตรทเมื่อเริ่มต้น 41.55 mg/l (สุมาลี, 2535 อ้างถึง Baasch *et al*., 1984) การทดลองนี้พยายามลดทั้งปริมาณและชนิดสารอาหารในอาหารสูตร Zarrouk (Ciferri and Tiboni, 1985 อ้างถึง Zarrouk, 1966) โดยหวังว่า การเตรียมอาหารจะง่ายสะดวกขึ้น และลดค่าใช้จ่ายลง

การใช้น้ำหมักจากการหมักวัสดุอินทรีย์ทุกชนิดเปรียบเทียบกับการใช้อาหารที่มีสารเคมีเป็นส่วนประกอบทั้งอาหาร Zarrouk ทั้งสูตรปรกติ (Ciferri and Tiboni, 1985 อ้างถึง Zarrouk, 1966) หรืออาหาร Zarrouk สูตรดัดแปลงที่ไม่ใส่สารละลาย A5 และ B6 หรืออาหารอย่างง่ายที่มีเพียงสารอาหารหลัก 3 ชนิดเพาะเลี้ยงสไปรูไลนา ได้ผลที่ไม่สอดคล้องกับผลที่มีการรายงานในเอกสารข้างต้น สไปรูไลนาเจริญเติบโตในอาหาร Zarrouk สูตรปรกติที่มีปริมาณสารอาหารเต็มสูตร ดีกว่าเมื่อลดปริมาณสารอาหารลงเหลือ 50% และดีกว่าเมื่อใช้อาหารสูตรดัดแปลงทุกความเข้มข้นอย่างมีนัยสำคัญ การใช้อาหารสูตร Zarrouk สูตรปรกติที่มีสารอาหารเพียง 50% สไปรูไลนาเจริญได้ 87.2% มีน้ำหนักแห้ง 82% ของสไปรูไลนาที่เพาะเลี้ยงด้วยอาหารสูตรปรกติเต็มสูตร ทั้งความหนาแน่น และน้ำหนักแห้งต่ำกว่าอย่างมีนัยสำคัญ ปริมาณสารเคมีที่มีในอาหารจึงมีอิทธิพลต่อการเจริญ และผลผลิตของสไปรูไลนาที่เพาะเลี้ยงโดยตรง (Lodi *et al.*, 2003)

หลังจากสไปรูไลนาเจริญเต็มที่จนมีความหนาแน่นมากที่สุด เหลือปริมาณสารอาหารหลักโดยเฉพาะอย่างยิ่งไนเตรท และฟอสเฟตในน้ำเพาะเลี้ยงในชุดการทดลองที่ใช้อาหารต่างกันแตกต่างกันทางสถิติ ($p<0.01$) การใช้อาหารเพาะเลี้ยงที่มีสารเคมีเป็นส่วนประกอบทั้งที่มีปริมาณสารที่เป็นองค์ประกอบ 25, 50 หรือ 100% ในทุกการทดลอง เหลือไนเตรทในที่สไปรูไลนาเจริญหนาแน่นสูงที่สุดมากกว่า 100 mg/l ซึ่งยังคงเป็นปริมาณที่อยู่ในช่วงที่สไปรูไลนาควรเจริญต่อไปได้ (สไปรูไลนาเจริญได้เมื่อมีไนเตรท 42-1,260 mg/l, van Eykelenburg, 1979) หากสภาพแวดล้อมเหมาะสม (Lodi *et al*., 2003) สไปรูไลนาในชุดการทดลองเหล่านี้ไม่มีการเจริญต่อไปทั้งๆ ที่ในน้ำยังคงมีสารอาหารปริมาณมากเหลืออยู่ แสดงให้เห็นว่าการเจริญของ สไปรูไลนาไม่ได้ขึ้นอยู่กับสารอาหารที่มีในขณะนั้นเท่านั้น แต่จะขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมในที่เซลล์เจริญอยู่ด้วย (Vonshak, 1997; Danesi *et al*., 2002; Colla *et al*., 2007) การเจริญของ สไปรูไลนาลดต่ำลงอีกเมื่อใช้อาหาร Zarrouk สูตรดัดแปลงที่ไม่มีสารละลาย A5 และ B6 ในอาหารสูตร Zarrouk ดัดแปลงความเข้มข้น 100% สไปรูไลนาที่เพาะเลี้ยงเจริญได้ความหนาแน่น 68.7-90.5% มีน้ำหนักแห้ง 62.9-75.5% ของสไปรูไลนาที่เพาะเลี้ยงด้วยอาหาร Zarrouk สูตรปรกติเต็มสูตร (การทดลองที่ 1, 2 และ 3) ต่ำกว่าที่ใช้อาหาร Zarrouk เต็มสูตรอย่างมีนัยสำคัญ ความแตกต่างระหว่างผลทั้งความหนาแน่น และน้ำหนักแห้งของสไปรูไลนาขึ้นอยู่กับสภาวะแวดล้อม โดยเฉพาะอย่างยิ่งปริมาณแสง และอุณหภูมิ (Raoof and Kaushik, 2002) ขณะทำการทดลองแต่ละครั้งเป็นสำคัญ ผลการเจริญของสไปรูไลนาที่เพาะเลี้ยงในอาหาร Zarrouk สูตร ดัดแปลงแสดงให้เห็นอิทธิพลของสารอาหารในสารละลาย A5 และ B6 ที่มีต่อความสามารถในการใช้สารอาหารหลักที่มีเหมือนกันและการที่มีในปริมาณที่เท่ากัน (Chojnacka, 2004) เห็นได้จากการที่ปริมาณสารอาหารหลักที่มีในชุดการทดลองที่ใช้อาหาร Zarrouk สูตรดัดแปลงถูกใช้ไปได้ต่ำกว่าในชุดการทดลองที่ใช้อาหาร Zarrouk สูตรปกติอย่างมีนัยสำคัญ สไปรูไลนาเจริญได้ต่ำลงอีกเมื่อใช้อาหาร Zarrouk สูตร

ดัดแปลงที่มีปริมาณสารเคมีลดลงเหลือ 25 และ 50% เนื่องจากจากการขาดธาตุอาหารที่เป็น trace elements ที่จะมาจาก สารละลาย A5 และ B6 แล้ว ยังมีปริมาณธาตุอาหารหลักที่จำกัดมาก

การเพาะเลี้ยงสไปรูไลนาในอาหารอินทรีย์ ถึงแม้จะให้ผลผลิตในปริมาณที่ต่ำกว่าการเพาะเลี้ยงในอาหารเคมี แต่เมื่อผสมอาหารอินทรีย์ในอาหารเคมีที่มีการลดปริมาณลง ทำให้สไปรูไลนามีปริมาณคลอโรฟิลล์รวม แคโรทีนอยด์ และไฟโคไซยานิน สูงกว่าการเพาะเลี้ยงในอาหารเคมีอย่างเดียว ปริมาณสารอาหารที่เหลือหลังจากการเก็บเกี่ยวผลผลิตในชุดการทดลองที่ใช้อาหารอินทรีย์ มีปริมาณน้อยกว่าปริมาณที่มีในอาหารเคมีมาก ถึงแม้ว่า สารอาหารในอาหารเคมีดังกล่าวจะมีปริมาณลดลงจากเมื่อเริ่มต้นการทดลอง แต่ปริมาณที่มีเป็นปริมาณที่สูงมาก การใช้อาหารอินทรีย์ในการเพาะเลี้ยงสไปรูไลนาจึงเป็นวิธีการที่ทำให้สามารถลดค่าใช้จ่ายเรื่องสารเคมี ที่สำคัญมากในโลกปัจจุบันคือเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมมากกว่า สามารถหาวัสดุต่างๆ ที่นำมาใช้ในการผลิตอาหารอินทรีย์ได้ง่าย สามารถนำของเหลือใช้ที่หาได้ในท้องถิ่นกลับมาใช้ให้เกิดประโยชน์ สามารถลดปริมาณของเสียที่เป็นสาเหตุหลักสาเหตุหนึ่งที่จะทำให้สภาพแวดล้อมเสื่อมโทรม การหมักวัสดุสามารถทำได้ง่าย และปริมาณความเข้มข้นที่ใช้เป็นปริมาณที่ต่ำมาก การเพาะเลี้ยงด้วยอาหารดังกล่าวจะทำให้ได้ผลผลิตที่ปลอดภัย และสร้างผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมหลังกระบวนการผลิตน้อยมาก การเพาะเลี้ยงสไปรูไลนาด้วยน้ำหมักจากวัสดุอินทรีย์จึงเป็นวิธีการเพาะเลี้ยงสไปรูไลนาอินทรีย์ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมที่แท้จริง ควรมีการศึกษา และนำไปใช้ในกิจกรรมจริงให้แพร่หลายต่อไปได้ดี

7.6 สรุป

1. สไปรูไลนาที่เพาะเลี้ยงในอาหาร Zarrouk สูตรปกติ 100% เจริญได้ 3.046±0.19 (OD, 560_{nm}) มีน้ำหนักแห้ง 3.68±0.12 g/l ดีกว่าที่เพาะเลี้ยงในที่มีปริมาณสารอาหาร 50% ที่เจริญได้ 2.657±0.14 (OD, 560_{nm}) มีน้ำหนักแห้ง 3.05±0.10 g/l อย่างมีนัยสำคัญ
2. สไปรูไลนาที่เพาะเลี้ยงในอาหาร Zarrouk สูตรดัดแปลง 50 และ 25% ที่มีน้ำหมักปลาทู 0.1% เจริญได้ต่ำกว่าการใช้อาหารเต็มสูตรที่มีปริมาณสารอาหาร 100 และ 50% อย่างมีนัยสำคัญ ในอาหาร Zarrouk สูตรดัดแปลง 50% สไปรูไลนาเจริญได้ 2.263±0.08 (OD, 560_{nm}) มีน้ำหนักแห้ง 2.87±0.11 g/l ดีกว่าในชุดการทดลองที่มีสารอาหาร 25% ที่เจริญได้ 2.034±0.18 (OD, 560_{nm}) มีน้ำหนักแห้ง 2.44±0.06 g/l อย่างมีนัยสำคัญ
3. ในอาหารอย่างง่ายความเข้มข้น 50 และ 25% ผสมน้ำหมักปลาทู 0.1% สไปรูไลนาเจริญได้ 1.539±0.10 และ 1.894±0.07 (OD, 560_{nm}) มีน้ำหนักแห้ง 2.31±0.06 และ2.19±0.07 g/l ตามลำดับ ต่ำกว่าสไปรูไลนาที่เพาะเลี้ยงในอาหาร Zarrouk สูตปรกติ และอาหารสูตรดัดแปลง 50 และ 25% ผสมน้ำหมักปลาทู 0.1% อย่างมีนัยสำคัญ

4. สไปรูไลนาที่เพาะเลี้ยงในน้ำหมักอินทรีย์ชนิดเดียวในน้ำหมักปลาทู และน้ำหมักกระถินเจริญได้ 1.487±0.04 และ 1.358±0.01 (OD, 560_{nm}) มีน้ำหนักแห้ง 1.80±0.04 และ 1.79±0.06 g/l ตามลำดับ ไม่แตกต่างทางสถิตกับเมื่อใช้อาหารอย่างง่ายความเข้มข้น 25% ที่ผสมน้ำหมักปลาทู 0.1% ในน้ำหมักอินทรีย์ผสมสไปรูไลนาเจริญได้ 1.086±0.07 (OD, 560_{nm}) มีน้ำหนักแห้ง 1.61±0.07 g/l ต่ำกว่าสไปรูไลนาในทุกชุดการทดลองอย่างมีนัยสำคัญ
5. สไปรูไลนาที่เพาะเลี้ยงในอาหารทดลองทุกสูตรมีองค์ประกอบทางโภชนาการทุกชนิด โดยเฉพาะอย่างยิ่งโปรตีน และมีปริมาณรงควัตถุแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p<0.01$)
6. สไปรูไลนาที่เพาะเลี้ยงในอาหารอินทรีย์อย่างเดียวมีปริมาณ Total Chlorophyll, Carotenoids, และ C-Phycoerythrin ต่ำกว่า ($p<0.01$) แต่มี C-Phycocyanin ไม่แตกต่างทางสถิติ ($p>0.05$) กับสไปรูไลนาที่เพาะเลี้ยงในอาหารเคมี และอาหารเคมีผสมน้ำหมัก
7. สไปรูไลนาที่เพาะเลี้ยงในอาหาร Zarrouk สูตรดัดแปลงความเข้มข้น 50 และ 25% ที่ผสมน้ำหมักปลาทู 0.1% มีปริมาณโปรตีนเฉลี่ย 71.07±0.03 และ 70.32±0.02% สูงกว่าปริมาณโปรตีนที่มีในสไปรูไลนาที่ได้จากการเพาะเลี้ยงในอาหาร Zarrouk เต็มสูตร หรือที่มีปริมาณสารอาหาร 50% และจากอาหารสูตรอื่นที่เหลืออย่างมีนัยสำคัญ
8. สไปรูไลนาที่เพาะเลี้ยงในอาหารอย่างง่ายความเข้มข้น 50 และ 25% ผสมน้ำหมักปลาทู 0.1% มีโปรตีนเฉลี่ย 55.72±0.03 และ 53.48±0.02% ต่ำกว่ากว่าปริมาณโปรตีนที่มีในสไปรูไลนาที่เพาะเลี้ยงในอาหารสูตร Zarrouk สูตรปกติที่มีปริมาณสารอาหาร 50% และ100% แต่สูงกว่าสไปรูไลนาที่ได้จากการเพาะเลี้ยงในอาหารที่มีน้ำหมักทุกชนิดอย่างมีนัยสำคัญ
9. สไปรูไลนาที่เพาะเลี้ยงในน้ำหมักอินทรีย์ความเข้มข้น 0.1% อย่างเดียวมีปริมาณโปรตีนเฉลี่ย 20.52±0.01-25.03±0.01%
10. สไปรูไลนาที่มีปริมาณโปรตีนต่ำกว่า จะมีองค์ประกอบที่เหลือโดยเฉพาะอย่างยิ่งคาร์โบไฮเดรต และความชื้นสูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญ

บทที่ 8

สรุปผลการทดลอง

การใช้อาหารอินทรีย์ที่ได้จากวัสดุที่มีในท้องถิ่นประกอบด้วยน้ำหมักเศษเหลือจากปลาทู ปลานิล และพืช ได้แก่ ย่าหยา มะละกอ กระถิน และผักโขม ที่หมักด้วยกระบวนการหมักแบบไม่มีอากาศที่ใช้วัสดุหมัก: น้ำ: น้ำตาล 1: 1: 0.5 (w/v/w) กลางแจ้งนาน 30 วัน สำหรับเพาะเลี้ยงสไปรูไลนา พบว่า

ก. การเจริญ และผลผลิตของสไปรูไลนา

1. สไปรูไลนาเจริญได้ในอาหารเพาะเลี้ยงที่มีน้ำหมักจากวัสดุอินทรีย์ทุกชนิดที่มีความเข้มข้นไม่เกิน 2.0%
2. สไปรูไลนาเจริญได้ดีในน้ำหมักเกือบทุกชนิดที่มีความเข้มข้น 0.1% สไปรูไลนาเจริญได้ลดต่ำลงในน้ำหมักปลาทู ปลานิล ย่าหยา และมะละกอความเข้มข้น 0.5%
3. สไปรูไลนาที่เพาะเลี้ยงในน้ำหมักจากวัสดุอินทรีย์ทั้งพืชและสัตว์เกือบทุกชนิดความเข้มข้น 0.1 และ 0.3% เจริญได้ความหนาแน่นและผลผลิตไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$)
4. สไปรูไลนาเจริญได้ในอาหารที่มีน้ำหมักปลาทู 0.1% และในอาหารที่มีน้ำหมักกระถินอย่างเดียวความเข้มข้นเท่ากันดีกว่าเมื่อใช้น้ำหมักปลาทูผสมน้ำหมักกระถินที่มีความเข้มข้นรวมเท่ากับ 0.1% อย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p<0.01$)
5. การเพิ่มน้ำหมักอินทรีย์ชนิดและปริมาณเท่าเดิมอีก 1 ครั้ง ทำให้สไปรูไลนาสามารถเจริญเพิ่มมากขึ้น มีน้ำหนักแห้งมากขึ้น และเจริญอยู่ได้นานกว่าการไม่เพิ่มอาหารอีกอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p<0.01$) การเติมอาหารเพิ่มอีก 1 ครั้ง ที่แตกต่างช่วงเวลากันทำให้ความหนาแน่นของเซลล์ น้ำหนักแห้ง และระยะเวลาที่สไปรูไลนาเจริญไม่แตกต่างทางสถิติ ($p>0.05$)
6. การเพิ่มน้ำหมักปลาทูทำให้สไปรูไลนาเจริญได้ความหนาแน่นมากกว่าการเพิ่มน้ำหมักกระถินอย่างมีนัยสำคัญ
7. สไปรูไลนาที่เพาะเลี้ยงในอาหารที่มีน้ำหมักอินทรีย์มีน้ำหนักแห้งไม่แตกต่างกันทางสถิติ($p>0.05$) กับสไปรูไลนาที่เพาะเลี้ยงในอาหาร Zarrouk สูตรดัดแปลง (ไม่มีสารละลาย A5 และ B6) เมื่อมีการเติมน้ำหมักกระถินอีกครั้งก่อน หรือในวันที่ หรือหลังวันที่สไปรูไลนาเจริญหนาแน่นมากที่สุด และการเพิ่มน้ำหมักปลาทูก่อน และในวันที่สไปรูไลนาเจริญหนาแน่นมากที่สุด

8. สไปรูไลนาที่เพาะเลี้ยงในอาหารที่มีน้ำหมักเป็นส่วนประกอบเจริญได้ต่ำกว่า และในระยะเวลาที่สั้นกว่าเมื่อเพาะเลี้ยงอาหารสูตร Zarrouk ปกติ และสูตรดัดแปลงทุกสูตรอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากมีปริมาณธาตุอาหารต่ำกว่าทางสถิติ ($p<0.01$)
9. การลดปริมาณ และชนิดสารเคมีในอาหารสูตร Zarrouk ในอาหารสูตรดัดแปลง และอาหารอย่างง่าย ทำให้สไปรูไลนาเจริญได้ลดต่ำอย่างมีนัยสำคัญเป็นลำดับ
10. การผสมน้ำหมักปลาทูความเข้มข้น 0.1% ลงในอาหาร Zarrouk สูตรดัดแปลง 1 ครั้ง ทำให้ สไปรูไลนาเจริญได้ดีกว่าเมื่อไม่มีน้ำหมักอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.01$) แต่ยังคงต่ำกว่าเมื่อใช้อาหาร Zarrouk เต็มสูตร
11. สไปรูไลนาที่เพาะเลี้ยงในน้ำหมักปลาทู หรือน้ำหมักกระถินชนิดเดียว เจริญได้ไม่แตกต่างกับเมื่อใช้อาหารอย่างง่ายความเข้มข้น 25% ผสมน้ำหมักปลาทู 0.1% ทางสถิติ ($p>0.05$)
12. เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของสารอาหารหลักที่อาหารทั้งสองกลุ่มต่อหน่วยที่เท่ากันต่อผลผลิตของสไปรูไลนาที่เพาะเลี้ยงได้ สไปรูไลนาสามารถใช้อาหารที่เป็นน้ำหมักได้มีประสิทธิภาพมากกว่าการใช้อาหารเคมีมากกว่ามาก

ข. คุณสมบัติของสไปรูไลนา

1. สไปรูไลนาที่เพาะเลี้ยงในอาหารทดลองทุกสูตรมีองค์ประกอบทางโภชนาการทุกชนิดโดยเฉพาะอย่างยิ่ง โปรตีนและมีปริมาณรงควัตถุแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p<0.01$)
2. สไปรูไลนาที่เพาะเลี้ยงในอาหารอินทรีย์อย่างเดียวมีปริมาณ Total Chlorophyll, Carotenoids, และ C-Phycoerythrin ต่ำกว่า ($p<0.01$) แต่มี C-Phycocyanin ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) กับสไปรูไลนาที่เพาะเลี้ยงในอาหารสูตร Zarrouk ที่ไม่ผสม และที่ผสมน้ำหมักปลาทู 0.1%
3. สไปรูไลนาที่เพาะเลี้ยงในอาหาร Zarrouk สูตรดัดแปลงความเข้มข้น 50 และ 25% ผสมน้ำหมักปลาทู 0.1% มีปริมาณโปรตีนเฉลี่ยสูงกว่าปริมาณโปรตีนที่มีในสไปรูไลนาที่ได้จากการเพาะเลี้ยงในอาหาร Zarrouk เต็มสูตร หรือที่มีปริมาณสารอาหาร 50% และจากอาหารสูตรอื่นที่เหลืออย่างมีนัยสำคัญ
4. การเพาะเลี้ยงในอาหารอย่างง่ายความเข้มข้น 25-50% ผสมน้ำหมักปลาทู 0.1% ทำให้สไปรูไลนามีโปรตีนเฉลี่ยต่ำกว่ากว่าปริมาณโปรตีนที่มีในสไปรูไลนาที่เพาะเลี้ยงในอาหารสูตร Zarrouk สูตรปกติความเข้มข้น 50 และ100% และสูงกว่าเมื่อใช้อาหารที่มีน้ำหมักทุกชนิด
5. สไปรูไลนาที่มีปริมาณโปรตีนต่ำกว่า จะมีองค์ประกอบที่เหลือโดยเฉพาะอย่างยิ่งคาร์โบไฮเดรต และความชื้นสูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญ

ค. ความสัมพันธ์กับสิ่งแวดล้อม การใช้อาหารที่เป็นน้ำหมักอินทรีย์ทำให้การเพาะเลี้ยงสไปรูไลนาเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมมากขึ้นมาก และมากกว่าเมื่อใช้เฉพาะสารเคมี เนื่องจาก

1. ในน้ำทิ้งหลังการเก็บเกี่ยวที่ใช้อาหารที่มีเฉพาะน้ำหมักอินทรีย์เพาะเลี้ยงสไปรูไลนามีสารอาหารหลักตกค้างต่ำกว่าการใช้อาหารที่มีสารเคมีเป็นส่วนประกอบทุกสูตรอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p<0.01$)
2. การใช้น้ำหมักอินทรีย์ในอาหาร Zarrouk สูตรดัดแปลงทำให้สไปรูไลนาใช้สารเคมีที่เป็นส่วนประกอบได้ดีขึ้น เหลือสารอาหารหลักตกค้างต่ำกว่าเมื่อใช้อาหาร Zarrouk สูตรปกติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p<0.01$)

แนวทางสำหรับการจัดการเพาะเลี้ยงสไปรูไลนาด้วยวัสดุอินทรีย์ และข้อเสนอแนะ

การหมักวัสดุอินทรีย์

1. วัสดุที่ได้จากพืชส่วนมากใช้ระยะเวลาในการย่อยสลายที่นานกว่าวัสดุจากสัตว์ในสภาวะการหมักที่เหมือนกัน การหมักวัสดุจากพืชจึงควรใช้ระยะเวลาหมักนานกว่า 30 วัน อาจใช้วิธีการตรวจวัดอัตราการย่อยสลายของวัสดุ เช่น การวัด conductivity
2. การวัดปริมาณคาร์บอนในน้ำเพาะเลี้ยงสไปรูไลนาในระหว่างการเพาะเลี้ยง เพื่อใช้ในการกำหนดอัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจนในสภาวะที่สไปรูไลนาเจริญ จะช่วยทำให้สามารถกำหนดอัตราส่วนที่แน่นอนของคาร์บอนต่อไนโตรเจนในการเพาะเลี้ยงด้วยอาหารประเภทนี้ได้ ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อการเพาะเลี้ยงต่อๆ ไป

การใช้น้ำหมักอินทรีย์

1. การศึกษาเกี่ยวกับการเพิ่มน้ำหมักอินทรีย์ทั้งสำหรับการเพาะเลี้ยงในน้ำหมักอินทรีย์และการใช้ร่วมกับอาหารประเภทอื่น ทั้งเกี่ยวกับจำนวนครั้ง และอาจเกี่ยวกับปริมาณที่ควรเติม จะเป็นประโยชน์ทั้งแก่การเพาะเลี้ยงสไปรูไลนาในอนาคตและการเพาะเลี้ยงที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม
2. ในปัจจุบันมีการผลิต และใช้น้ำหมักอินทรีย์สำหรับกิจกรรมอื่นๆ อยู่แล้ว การศึกษาเกี่ยวกับการใช้น้ำหมักเหล่านี้สำหรับการเพาะเลี้ยงสไปรูไลนาเพื่อกิจกรรมอื่น เช่น สำหรับการใช้เลี้ยงสัตว์ควรเป็นประโยชน์เนื่องจากสะดวกต่อทั้งผู้เพาะเลี้ยงสไปรูไลนา ผลผลิตที่ได้ควรจะมีคุณภาพดีสำหรับสัตว์ และควรเป็นผลดีต่อส่วนอื่นที่เกี่ยวข้อง

เอกสารอ้างอิง

กัลยา วานิชย์บัญชา. 2548. การใช้ SPSS for Windows ในการวิเคราะห์ข้อมูล. กรุงเทพฯ: ภาควิชาสถิติ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 523 หน้า.

คำรบ คงยืน และวัชราภรณ์ กวยระคาร. 2546. การเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina* sp. ในน้ำทิ้งจากโรงงานแปรรูปสัตว์น้ำ II. รายงานปัญหาพิเศษ ภาควิชาวาริชศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่. 69 หน้า.

จักรทิพย์ โกยธนสาร ณรงค์ รักชุม และธัญญพจน์ นรสิทธิ์พิทักษ์. 2546. อิทธิพลของความหนาแน่นและปริมาณสารอาหารที่มีต่อการเจริญทวีจำนวนของสาหร่าย *Spirulina* spp. ที่เพาะเลี้ยงในสภาพกึ่งธรรมชาติ. รายงานปัญหาพิเศษ ภาควิชาวาริชศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่. 74 หน้า.

จุฑารัตน์ พรหมทอง และปวีณา บุญสุข. 2547. การเพาะเลี้ยง *Spirulina* sp. ในน้ำทิ้งจากโรงงานแปรรูปสัตว์น้ำ III. รายงานปัญหาพิเศษ ภาควิชาวาริชศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่. 65 หน้า.

ชวนพิศ อรุณรังสิกุล, ชัยณรงค์ รัตนกรีฑากุล, รุ่งนภา ก่อประดิษฐ์สกุล และ ธีรนุต ร่มโพธิ์ภักดิ์. 2547. คุณภาพน้ำหมักชีวภาพ และองค์ประกอบ. การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 42: สาขาพืช สาขาส่งเสริมและนิเทศศาสตร์เกษตร วันที่ 3-6 กุมภาพันธ์ 2547 กรุงเทพฯ. หน้า 481-488.

ชานนท์ ฤทธิเดช ชุมพล จันทโร ภาสพิชญ์ ประเสริฐทรัพย์ ปอระวัลย์ สิเดะ พัชรีพร ชาตะกูล และอุดมพร โพธิจร. 2548.การเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina spp.* ในน้ำต้มปลา และน้ำแช่ดินเลนก้นบ่อเลี้ยงกุ้งกุลาดำที่ไม่ตาก/ตาก. รายงานปัญหาพิเศษ ภาควิชาวาริชศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่. 123 หน้า.

ชื่นจิตร์ ชื่นกระมล, ทวี หอมชง และพรรณี เพชรยศ. 2531. การเปรียบเทียบผลผลิตสาหร่ายสไปรูไลนา (*Spirulina platensis*) ในอาหารสูตรต่างๆ. เอกสารงานวิจัย สถาบันวิทยาศาสตร์ทางทะเล มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ วิทยาเขตบางแสน ชลบุรี. 18 หน้า.

ไชยยุทธ กลิ่นสุคนธ์. 2538. ระบบบำบัดน้ำเสียและกระบวนการบำบัดน้ำเสียในระเทศไทยและการบำบัดน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดมาใช้ประโยชน์. เอกสารประกอบคำบรรยายหลักสูตรเทคโนโลยีการบำบัดน้ำเสีย วันที่ 9-13 มกราคม 2538 ณ ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อมเทคโนธานี ปทุมธานี. 43 หน้า.

ดนัย วรรณวนิช. 2551. การใช้ปุ๋ยอินทรีย์ปลูกพืชในระบบไฮโดรโปนิกส์. เกษตรก้าวหน้า 21(1): 45-53.

ดุสิต เวชกิจ. 2534. นิเวศวิทยาและการจัดการทรัพยากรป่าไม้. นนทบุรี: มหาวิทยาลัยสุโขทัย-ธรรมาธิราช. 254 หน้า.

ธิดา เพชรมณี. 2546. การเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina* sp. แบบเศรษฐกิจพอเพียง. เอกสารประกอบการฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการ วันที่ 18-19 เมษายน 2546 สถาบันวิจัยการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง. 32 หน้า.

ธงชัย พรรณสวัสดิ์. 2544. การกำจัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสทางชีวภาพ. กรุงเทพฯ: สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย. 703 หน้า.

นฤมล วชิรปัทมา และเยาวภา จิระเกียรติกุล. 2546. การศึกษาองค์ประกอบของธาตุอาหารในน้ำสกัดชีวภาพที่ได้มาจากวัตถุดิบต่างชนิด. รายงานการวิจัยภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ กรุงเทพฯ. 34 หน้า.

นิรนาม. 2553. Taxon: *Spirulina platensis.* เข้าถึงได้จาก http://taxonomicon.taxonomy.nl/TaxonTree.aspx?id=127578&tree=0.1&syn=1 เมื่อวันที่ 2 มีนาคม 2553.

นุชนารถ กังพิสดาร. 2548. ผลของสารเคมีที่ใช้ในสวนยางต่อภาวะมลพิษของดินและแหล่งน้ำ. วารสารดินและปุ๋ย 27(3): 128-144.

ประเสริฐ อะมริต. 2548. ปุ๋ยอินทรีย์น้ำสานฝันสู่เกษตรอินทรีย์. วารสารอนุรักษ์ดินและน้ำ 20(3): 26-37.

พนิดา ประสงค์เงิน. 2530. อิทธิพลของสารเคมีที่เป็นองค์ประกอบของผงซักฟอกและผงซักฟอกบางชนิดที่มีอิทธิพลต่อการเจริญของสาหร่าย *Scenedesmus icreassatalus* และสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน *Spirulina platensis*. ปริญญานิพนธ์ กศ.ม. มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ บางแสน ชลบุรี. 87 หน้า.

พิมพรรณ ตันสกุล และอารักษ์ จันทรศิลป์. 2531. การเพาะเลี้ยง *Spirulina* sp. ในน้ำทิ้งจากโรงงานยางพารา. วารสารสงขลานครินทร์ 10(2): 149-151.

ไพศาล เหล่าสุวรรณ. 2547. สถิติ แผนการทดลองและการวิเคราะห์. นครราชสีมา: สาขาเทคโนโลยีการผลิตพืช สำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี. 440 หน้า.

รัตนา ชัยกล้าหาญ, มารศรี เรืองจิตชัชวาลย์, บุษยา บุนนาค และมรกต ตันติเจริญ. 2546. ศึกษาการเพาะเลี้ยง *Spirulina* โดยใช้น้ำหมักจากมูลไก่. เข้าถึงได้จาก http://www.kmutt.ac.th/rippc/spirulin.htm เมื่อวันที่ 23 ตุลาคม 2551.

ลัดดา วงศ์รัตน์. 2540. คู่มือการเพาะเลี้ยงแพลงก์ตอน. กรุงเทพฯ: ภาควิชาชีววิทยาประมง คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 117 หน้า.

วรรณลดา สุนันทพงศ์ศักดิ์. 2546. การผลิตและประโยชน์ของปุ๋ยอินทรีย์น้ำ. วารสารอนุรักษ์ดินและน้ำ 19(1): 46-63.

วิรัตน์ พลศรี. 2533. การศึกษาการเจริญเติบโตของสาหร่ายสไปรูไลนา (*Spirulina platensis*) ที่เพาะเลี้ยงในอาหารจากมูลสัตว์ต่างชนิดกัน. วิทยานิพนธ์ปริญญาการศึกษาบัณฑิต มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒมหาสารคาม. 110 หน้า.

ศักดา ศรีนิเวศน์. 2546. พิษภัยของสารกำจัดศัตรูพืชผลกระทบต่อสุขภาพของคนไทยวันนี้. วารสารการส่งเสริมการเกษตร 35(186): 4-12.

สมบูรณ์ ประภาพรรณพงศ์, จันทิรา อริยธัช, ยุพิน สรวิสูตร และนรีลักษณ์ ชูวรเวช. 2543. ปุ๋ยอินทรีย์จากวัสดุเหลือใช้โรงงานผงชูรส. วารสารเคหการเกษตร 24(2): 158-166.

สรวิศ เผ่าทองศุข. 2543. เอกสารเผยแพร่ชุดโครงการ. “อุตสาหกรรมสัตว์น้ำ” สกว. ชุดที่ 2: สาหร่ายศักยภาพการวิจัยและการพัฒนาเพื่อการใช้ประโยชน์จากสาหร่ายในประเทศไทย. กรุงเทพฯ: หน่วยปฏิบัติการเทคโนโลยีชีวภาพทางทะเล ศูนย์พันธุวิศวกรรมและเทคโนโลยีชีวภาพแห่งชาติสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย. 355 หน้า.

สุชาติ อิงธรรมจิตร์. 2529. สาหร่ายเกลียวทอง (สไปรูลินา). วารสารการประมง 39(6): 615-622.

สุชาติ อิงธรรมจิตร์, เจียมจิตต์ บุญสม, เฉลิมวรรณ คงสงวนชัย, บรรจง โคกกระเทียม และชัยประดิษฐ์ แก้วปาคำ. 2531. การทดลองเบื้องต้นในการใช้น้ำจากกองปลาสดเลี้ยงสาหร่ายเกลียวทอง (*Spirulina* sp.). การประชุมทางวิชาการ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 26 วันที่ 3-5 กุมภาพันธ์ 2531 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ. หน้า 385-392.

สุภัทร์ ไชยกุล. 2546. รู้จักกับสาหร่ายสไปรูไลนา (*Spirulina*). อาหารและยา 10(3): 5-10.

สุมาลี ดุลยอนุกิจ. 2535. ผลของระดับความเข้มข้นต่างๆของไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในสูตรอาหาร Zarrouk ต่อการเลี้ยงสาหร่ายเกลียวทอง (*Spirulina* sp.). วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขาวิทยาศาสตร์การประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ. 140 หน้า.

สุมนทิพย์ บุญนาค. 2529. สาหร่ายเกลียวทอง (*Spirulina* sp.). วารสารวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น 14(3): 153-159.

สุริยา สาสนรักกิจ. 2551. ปุ๋ยอินทรีย์เคมี: ทางเลือกใหม่ของเกษตรกร. วารสารอนุรักษ์ดินและน้ำ 23(2): 56-58.

อิทธิสุนทร นันทกิจ. 2538. การปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน (Hydroponics). กรุงเทพฯ: ภาควิชาปฐพีศาสตร์ คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 146 หน้า.

Abd El-Baky, H. H., El Baz, F. K. and El-Baroty, G.S. 2007. Enhancement of antioxidant production in *Spirulina platensis* under oxidative stress. American-Eurasian Journal of Scientific Research 2(2): 170-179.

Afkhami, A. and Conway, B.E. 2002. Investigation of removal of Cr(VI), Mo(VI), W(VI), V(IV) and V(VI) oxy-ions from industrial waste-waters by adsorption and electrosorption at high-area carbon cloth. Journal of Colloid and Interface Science 251(2): 248-255.

AOAC. 1995. Official Method of Analysis. 16th ed, Arlington: The Association of Official Analytical Chemists. 1588 p.

Awad, A. and Al-Makhzoumi, K. 2006. The Role of micro and macro elements in understanding a text: An analytical study of G. De Maupassant's "The Necklace". An-Najah University Journal for Research-Humanities 20(2): 625-664.

Baldia, S.F., Fukami, K. and Nishijima, T.Y. 1991. Growth characteristics of a blue green algal *Spirulina platensis* for nitrogen utilization. Nippon Suisan Gakkaishi 57(4): 645-654.

Baldia, S.F., Fukami, K., Nishijima, T.Y. and Y. Hata. 1994. Growth responses of *Spirulina platensis* to some physico-chemical factors and of phosphorus utilization. Fisheries Sciences 61(2): 331-335.

Becker, E.W. 2007. Research review paper: Micro-algae as a source of protein. Biotechnology Advances 25(2): 207-210.

Becker, E.W. and Venkataraman, L.V. 1982. Production and utilization of the blue-green algae *Spirulina* in India. *In* A Reprint from Biomass an International, (eds. Coobs, J. and Hall, D.O.), pp. 105-125. Eschborn: Elsevier Applied Science.

Begon, M., Townsend, C.R. and Harper, J.L. 2006. Ecology from individuals to ecosystem. 4th edition. Oxford: Blackwell Publishing. 752 p.

Belay, A. 2002. The potential application of *Spirulina (Arthrospira)* as a nutritional and therapeutic supplement in health management. The Journal of the American Nutraceutical Association 5 (2): 27-47.

Belkin, S. and Boussiba, S. 1991. High internal pH conveys ammonia resistance in *Spirulina platensis*. Bioresource Technology 38(2-3): 167-169.

Ben-Amotz, A. and Avron, A. 1989. The biotechnology of mass culturing *Dunaliella* for products of commercial interest. *In* Algal and Cyanobacterial Biotechnology. (eds. Cresswell, R.C., Rees, T.A.V. and Shah, N.), pp. 91-114. Essex: Longman Science and Technical.

Bogorad, L.1962. Chlorophylls. *In* Physiology and Biochemistry of Algae. (ed. Lewin, R.A.) pp. 385-408. New York: Academic Press.

Borowitzka, M.A. 1988. Microalgae as sources of essential fatty acids. Australian Journal of Biotechnology 1(4): 58-62.

Boussiba, S. and Gibson, J. 1991. Ammonia translocation in cyanobacteria. FEMS Microbiology Letters 88(1): 1-14.

Boussiba, S. and Richmond, A.E. 1980. C-phycocyanin as a storage protein in the blue-green alga *Spirulina platensis*. Archives of Microbiology 125(1-2): 143-147.

Boyd, C.E. and Tucker, C.S. 1992. Water Quality and Pond Soil Analysis for Aquaculture. Alabama: Auburn University. 183 p.

Bryant, D.A.1991. Cyanobacterial phycobilisomes: Progress toward complete structural and functional analysis *via* molecular genetics. *In* The Photosynthetic Apparatus: Molecular Biology and Operation, (eds. Bogard, L. and Vasil, I.K.) pp. 257-300. San Diego: Academic Press.

Cañizares-Villanueva, R. O., Domínguez, A. R., Cruz, M. S. and Ríos-Leal, E. 1995. Chemical composition of cyanobacteria grown in diluted, aerated swine wastewater. Bioresource Technology 51 (2-3): 111-116.

Carvalho, J.C.M., Francisco, F.R., Almeida, K.A., Sato, S. and Converti, A. 2004. Cultivation of *Arthrospira* (*Spirulina*) *platensis* (Cyanophyceae) by fed-batch addition of ammonium chloride at exponentially increasing feeding rate. Journal of Phycology 40(3): 589–597.

Çelekli, A., Balci, M., Bozkurt, H. 2008. Modelling of *Scenedesmus obliquus*; function of nutrients with modified Gompertz model. Bioresource Technology 99(18): 8742-8747.

Çelekli, A. and Yavuzatmaca, M., 2009. Predictive modeling of biomass production by *Spirulina platensis* as function of nitrate and NaCl concentrations. Bioresource Technology 100(5): 1847-1851.

Çelekli, A., Yavuzatmaca, M. and Bozkurt, H. 2009. Modeling of biomass production by *Spirulina platensis* as function of phosphate concentrations and pH regimes. Bioresource Technology 100(14): 3625-3629.

Chaiklahan, R., Chirasuwan, N., Siangdung, W., Paithoonrangsarid, K. and Bunnag, B. 2010. Cultivation of *Spirulina platensis* using pig wastewater in a semi-continuous process. Microbiology and Biotechnology 20(3): 609-614.

Charoenying, P., Chotsaeng, P. and Laosinwattan, C. 2010. Effects of Spirulina platensis and C-phycocyanin on seed germination and seedling growth of two monocot and dicot plants. Allelopathy Journal 25(2): 453- 463.

Chen, F., Chen, H. and Gong, X. 1997. Mixotrophic and heterotrophic growth of *Haematococcus lacustris* and rheological behaviour of the cell suspensions. Bioresource Technology 62 (1-2): 19-24.

Chiu, R.J., Liv, H.l., Chem, C.C., Chi, Y.C., Shao, H., Soong, P. and Hoa, L.C. 1980. The cultivation of *Spirulina platensis* on fermental swine manure. Proceeding of International Symposium on biogas, microalgae and livestock wastes, Taipei, Taiwan, 15-17 September 1980, pp. 435-446.

Chojnacka, K., Chojnacki, A. and Górecka, H. 2004. Trace element removal by *Spirulina* sp. from copper smelter and refinery effluents. Hydrometallurgy 73(1-2): 147-153.

Ciferri, O. 1983. *Spirulina*, The edible microorganism. Microbiological Reviews 47(4): 551-578.

Ciferri, O. and Tiboni, O. 1985. The biochemistry and industrial potential of *Spirulina*. Annual Review of Microbiology 39(15): 503-526.

Cimino, G. Passerini, A. Toscano, G. 2000. Removal of toxic cations and Cr (VI) from aqueous solutions by hazelnut shell. Water Research 34(11): 2955-2962.

Codex Alimentarius Commission. 2001. Guidelines for the production, processing, labeling and marketing of organically produced food. http://en.wikipedia.org-/wiki/Organic_food #cite_ref-33 (accessed on September 3, 2008).

Cohen, Z. 1997. The chemicals of *Spirulina*. *In Spirulina platensis* (*Arthrospira*): Physiology, Cell-biology and Biotechnology. (ed. Vonshak, A.), pp 175-204. London: Taylor and Francis.

Cohen, Z., Vonshak, A. and Richmond, A. 1987. Fatty acid composition of Spirulina strains under various environmental conditions. Phytochemistry 26(8): 2255-2258.

Colla, L.M., Reinehr, C.O., Reichert, C. and Costa, J.A.V. 2007. Production of biomass and nutraceutical compounds by *Spirulina platensis* under different temperature and nitrogen regimes. Bioresource Technology 98(7): 1489–1493.

Costa, J.A.V., Colla, L.M. and Filho, P.F.D. 2003. *Spirulina platensis* growth in open raceway ponds usingf water supplemented with carbon, nitrogen and metal ions. Journal of biosciences 58(1-2): 76-80.

Costa, J.A.V., Colla, L.M. and Filho, P.F.D. 2004. Improving *Spirulina platensis* biomass yield using a fed-batch process. Bioresoures Technology 92(3): 237–241.

Danesi, E.D.G., Rangel-Yagui, C.O., Carvalho, J.C.M. and Sato, S. 2002. An investigation of effect of replacing nitrate by urea in the growth and production of chlorophyll by *Spirulina platensis*. Biomass and Bioenergy 23(4): 261-269.

De la Noue, J. and Basseres, A. 1989. Biotreatment of anaerobically digested swine manure with microalgae. Biology Wastes 29(1): 17-31.

Dong, Y., Zhang, Z. and Feng, T. 2001. Optimal proportion and effect of $NaHCO_3$, urea and KH_2PO_4 in *Spirulina* culture medium. Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica 10(1): 75-78.

Duncan, D.W. 1992. Multiple range and multiple F-tests. Biometrics 11(1): 1-42.

Eloranta, P. 1986. Paper chromatography as a method of phytoplankton community analysis. Annales Botanici Fennici ABOFAQ 23(1): 153-159.

Evans, L.V. 1988. The effects of spectral composition and irradiance level on pigment levels in seaweeds. *In* Experimental Phycology, (eds. Lobban, C.S., Chapman, D.J. and Kremer, B.P), pp. 123-134. New York: Cambridge University Press.

Feng, D. and Wu, Z. 2006. Culture of *Spirulina platensis* in human urine for biomass production and O_2 evolution. Journal of Zhejiang University SCIENCE B 7(1): 34-37.

Furuki, T., Maeda, S., Imajo, S., Hiroi, T., Amaya, T., Hirokawa, T., Ito, K. and Nozawa, H. 2003. Rapid and selective extraction of phycocyanin from *Spirulina platensis* with ultrasonic cell disruption. Journal of Applied Phycology 15(4): 319-324.

Godson, R.E.E., Mynepalli, K.C. and Joshua, F. 2005. Air pollution in a chemical fertilizer complex in Nigeria: The impact on the health of the workers. Journal of Environmental Health Research 4(2): 57-62.

Goksan, T., Zekeryaolu, A. and Iknur, A.K. 2007. The growth of *Spirulina platensis* in different culture systems under greenhouse condition. Turkish Journal of Biology 31(1): 47-52.

Goyer, R.A. and Clarkson, T.W. 2001. Toxic effects of metals. *In* Casarett and Doullis Toxicology: The Basic Science of Poisons, (ed. Klaassen, C.D.) 6th edition, pp. 811-867. New York: McGraw-Hill Medical.

Gressel, J. 2000. Molecular biology of weed control. Transgenic Research 9(4-5): 355-382.

Habib, M.A.B., Parvin, M., Huntington, T.C. and Hasan, M.R. 2008. A review on culture, production and use of *Spirulina* as food for humans and feeds for domestic animals and fish. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nation. 33 p.

Healey, F.P. 1973. Inorganic nutrient uptake and deficiency in algae. Journal Critical Reviews in Microbiology 3(1): 69-113.

Herrera, A., Boussiba, S., Napoleone, V. and Hohlberg, A. 1989. Recovery of c-phycocyanin from the cyanobacterium *Spirulina maxima*. Journal of Applied Phycology 1(4): 325-331.

Hirata, T., Tanaka, M., Ooike, M., Tsunomura, T. and Sakaguchi, M. 2000. Antioxidant activities of phycocyanin prepared from *Spirulina platensis*. J. Applied Phycology 12(3-5): 435-439.

Hosakul, K. 1972. The selection and growth chacteristics of some local microalgae tolerating high temperature. Thesis in Master of Science in Microbiology. Bangkok: Kasetsart University. 92 p.

Jiang, T., Zhang, J.P., Chang, W.R. and Liang, D.C. 2001. Crystal structure of R-phycocyanin and possible energy transfer pathways in the phycobilisome. Biophysical Journal 81(2): 1171-1179.

Jourdan, J.P. 2001. Grow your own *Spirulina*. http://www.antenna.ch/en/documents/ Jourdan_UK.pdf (accessed on June 16, 2010).

Kamel, F., Hoppin, J.A., 2004. Association of pesticide exposure with neurologic dysfunction and disease. Environ Health Perspect 112(9): 950-958.

Khan, Z., Bhadouria, P. and Bisen, P.S., 2005. Nutritional and therapeutic potential of *Spirulina*. Current Pharmaceutical Biotechnology 6(5): 373-379.

Khatum, R., Hossain, M.M., Begum, S.M.S. and Majid, F.Z. 1994. *Spirulina* culture in Bangladesh IV. Development of simple, inexpensive culture media suitable for rural or domestic level cultivation of *Spirulina* in Bangladesh. Bangladesh journal of scientific and industrial research 29: 163-166.

Kim, C.J., Jung, Y.H., Ko, S.R., Kim, H.I., Park, Y.H. and Oh, H.M. 2007. Raceway cultivation of *Spirulina platensis* using underground water. Journal of microbiology and biotechnology 17(5): 853-857.

Kosaric, N., Nguyen, H.T. and Bengognou, M.A. 1974. Growth of *spirulina maxima* algae in effluents from secondary wastewater treatment plant. Biotechnology and Bioengineering 16(7): 881-896.

Laliberté, G. 1997 wastewater treatment with *spirulina*. *In Spirulina platensis* (*Arthrospira*): Physiology, Cell-biology and Biotechnology. (ed. Vonshak, A.), pp 159-173. London: Taylor and Francis.

Lamela, T. and Marquez-Rocha, F.J. 2000. Phycocyanin production in seawater culture of *Arthrospira maxima*. Ciencias Marinas 26(4): 607-619.

Liu, Y., Lizhi, X., Cheng, N., Lin, L. and Zhang, C. 2000. Inhibitory effect of phycocyanin from *Spirulina platensis* on the growth of human leukemia K562 cells. Journal of Applied Phycology 12(2): 125-130.

Liu, X., Duan, S., Li, A., Xu, N., Cai, Z. and Hu, Z. 2009. Effects of organic carbon sources on growth, photosynthesis, and respiration of *Phaeodactylum tricornutum*. Journal of Applied Phycology 21(2): 239-246.

Lodi, A., Binaghi, L., Faveri, D. de, Carvalho, J. C. M., Converti, A., Borghi, M. del. 2005. Fed-batch mixotrophic cultivation of *Arthrospira* (*Spirulina*) *platensis* (Cyanophycea) with carbon source pulse feeding. Annals of Microbiology 55(3): 181-185.

Lodi, A., Binaghi, L., Solisio, C., Converti, A. and Borghi, M. del. 2003. Nitrate and phosphate removal by *Spirulina platensis.* Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology 30(11): 656-660.

Marquez, F.J., Sasaki, K., Kakizono, T., Nishio, N. and Nagai, S. 1993. Growth characteristics of *Spirulina platensis* in mixotrophic and heterotrophic conditions. Journal of Fermentation and Bioengineering 76(5): 408-410.

Marschner, H. 1995. Mineral Nutrition of Higher Plants. 2nd edition. San Diego: Academic Press. 889 p.

Matsudo, M. C., Bezerra, R. P., Sato, S., Perego, P., Converti , A. and Carvalho, J. C.M. 2009. Repeated fed-batch cultivation of *Arthrospira* (*Spirulina*) *platensis* using urea as nitrogen source. Biochemical Engineering Journal 43(1): 52-57.

Melack, J. M. and Kilham, P. 1974. Photosynthetic rates of phytoplankton in East African alkaline, saline lakes. Limnology and Oceanography 19(5): 743-755.

Mostert, E.W. and Grobbelaar, J.U. 1981. Protein manipulation of mass cultured algae. *In* Wastewater for Aquaculture, (eds. Grobbelaar, J.U., Soeder, C.J. and Toerien, D.F.), pp. 86-90. Bloemfontein: University of the Orange Free State Publications.

Nakamura, H. 1982. *Spirulina*: Food for Hungry World. California: University of the Trees Press. 120 p.

O'Brien, W.J. 1972. Limiting factors in phytoplankton algae: Their meaning and measurement. Science 178(4061): 616-617.

Ogbonda, K.H., Aminigo, R.E. and Abu, G.O. 2007. Influence of temperature and pH on biomass production and protein biosynthesis in a putative *Spirulina* sp. Bioresource Technology 98(1): 2207-2211.

Ogbonna, J.C., Yoshizawa, H. and Tanaka, H. 2000. Treatment of high strength organic waste water by a maxed culture of photosynthetic microorganism. Journal of Applied Phycology 12(3-5): 277-284.

Olguín, E. J., Galicia, S., Mercado, G. and Pérez, T.2003. Annual productivity of *Spirulina (Arthrospira)* and nutrient removal in a pig wastewater recycling process under tropical conditions. Journal of Applied Phycology 15 (2-3): 249-257.

Olguín, E.J., Galicia, S., Angulo-Guerrero, O., Hernandez, E. 2001. The effect of low light flux and nitrogen deficiency on the chemical composition of *Spirulina* sp. (*Arthrospira*) grown on digested pig waste. Bioresource Technology 77(1): 19-24.

Olguín, E.J., Galicia, S., Mercado, G. and T. Pérez. 2003. Annual productivity of *Spirulina* (*Arthrospira*) and nutrient removal in a pig wastewater recycling process, under tropical conditions. Journal of applied phycology 15(2-3): 249-257.

Oron, G., Shelef, G. and Levi, A. 1979. Growth of *Spirulina maxima* on cow-manure wastes. Biotechnology and Bioengineering 21(12): 2169-2173.

Parsons, T.R., Maita, Y. and Lalli, C. 1984. A Manual of Chemical and Biological Methods for Seawater Analysis. Oxford: Pergamon Press. 173 p.

Pelizer, L.H., Danesi, E.D., Rangel, C.O., Sassano, C.E.N., Carvalho, J.C.M., Sato, S. and Moraes, I.O. 2003. Influence of inoculum age and concentration in *Spirulina platensis* cultivation. Journal of Food Engineering 56(4): 371-375.

Phang, S.M., Miah, M.S., Yeoh, B.G. and Hashim, M.A. 2000. *Spirulina* cultivation in digested sago starch factory wastewater. Journal of Applied Phycology 12(3-5): 395-400.

Piorreck, M. and Pohl, P. 1984. Formation of biomass, toal protein, chlorophylls, lipids and fatty acids in green and blue-green algae during one growth phase. Phytochemistry 23(2): 217-223.

Promya, J., Traichaiyaporn1, S. and Deming, R. 2008. Phytoremediation of kitchen wastewater by *Spirulina platensis* (Nordstedt) Geiteler: pigment content, production variable cost and nutritional value. Maejo International Journal of Science and Technology *2*(1):159-171.

Radmann, E.M., Reinehr, C.O. and Costa, J.A.V. 2007. Optimization of the repeated batch cultivation of microalga *Spirulina platensis* in open raceway ponds. Aquaculture 265(1-4): 118-126.

Rafiqul, I., Hassan, A., Sulebele, G., Orosco C. and Roustaian, P. 2003. Influence of temperature on growth and biochemical composition of *Spirulina platensis* and *S. fusiformis.* Iranian International Journal of Science 4(2): 97-106.

Ramfrez, C.A. and Worrell, E. 2006. Feeding fossil fuels to the soil: an analysis of energy embedded and technological learning in the fertilizer industry. Resources, Conservation and Recycling 46(1): 75-93.

Rangel-Yagui, C.O., Danesi, E.D.G., Carvalho, J.C.M. and Sato, S., 2004. Chlorophyll production from *Spirulina platensis*: cultivation with urea addition by fed-batch process. Bioresource Technology 92(2): 133-141.

Raoof, B. and Kaushik, B.D. 2002. Influence of light and temperature on mass multiplication of *Spirulina* strains. Indian Journal of Plant Physiology 7(1): 52-55.

Raoof, B., Kaushik, B.D. and Prasanna, R. 2006. Formulation of a low-cost medium for mass production of *Spirulina*. Biomass and Bioenergy 30(6): 537-542.

Raymond-Delpech, V., Matsuda, K., Sattle, B.M., Rauh, J.J. and Sattelle, D.B. 2005. Ion channel: molecular targets of neuroactive insecticides. Invertebrate Neuroscience 5(3-4):119-133.

Richmond, A., Vonshak, A. and Arad, S.M. 1980. Environmental limitations in outdoor production of algal biomass. *In* Algae Biomass. (eds. Shelef, G. and Soeder, C.J.), pp. 65-72. New York: Elsevier Press.

Richmond, A. 1986. Handbook of Micro-algal Mass Culture. Boca Raton: Baker & Taylor. 528 p.

Richmond, A. 1988. *Spirulina*. *In* Micro-algal Biotechnology. (eds. Borowitzka, M.A. and Borowitzka, L.Y.), pp. 85-101. Cambridge: Cambridge University Press.

Richmond, A. 2004. Handbook of Microalgal Culture - Biotechnology and Applied Phycology. Oxford: Blackwell Publishing. 584 p.

Richmond, A., Vonshak, A. and Arad, S.M. 1980. Environmental limitations in outdoor production of algal biomass. *In* Algae Biomass. (eds. Shelef, G. and Soeder, C.J.), pp. 65-72. New York: Elsevier Press.

Rizvi, S.J.H., Tahir, M., Rizvi, V., Kohli, R. K. and Ansari, A. 1999. Allelopathic interactions in agroforestry systems. Critical Reviews in Plant Sciences 18(6): 773-779.

Rodrigues, M.S., Ferreira, L.S., Converti, A., Sato, S. and Carvalho, J.C.M. 2010. Fed-batch cultivation of *Arthrospira (Spirulina) platensis*: Potassium nitrate and ammonium chloride as simultaneous nitrogen sources. Bioresource Technology 101(12): 4491-4498.

Roger, P.A. and Kulasooriya, S.A. 1980. Blue-Green Algae and Rice. Los Banos: The International Rice Institute. 113 p.

Romay C. and Gonzalez R. 2000. Phycocyanin is an antioxidant protector of human erythrocytes against lysis by peroxyl radicals. Journal of Pharmacy and Pharmacology 52(4): 367-368.

Salameh, P.R., Baldi, I., Brochard, P., Raherison, C., Abi Saleh, B., Salamon, R., 2003. Respiratory symptoms in children and exposure to pesticides. European. Respiratory Journal 22(3): 507-512.

Salisbury, F.B. and Ross, C.W. 1992. Plant Physiology, 4th ed. Belmont: Wadsworth Publishing Company. 682 p.

Santillan, C. 1982. Mass production of *Spirulina.* Cellular and Molecular Life Sciences 38(1): 40-43.

Sánchez-Luna, L.D., Converti, A., Tonini, G.C., Sato S. and Carvalho, J.C.M. 2004. Continuous and pulse feedings of urea as a nitrogen source in fed-batch cultivation of *Spirulina platensis*. Aquacultural Engineering 31(3-4): 237–245.

Sassano, C.E.N., Gioiellia, L.A., Almeidaa, K.A., Satoa, S., Peregob, P., Convertib, A. and Carvalhoa, J.C.M. 2007. Cultivation of *Spirulina platensis* by continuous process using ammonium chloride as nitrogen source. Biomass and Bioenergy 31(8): 593-598.

Sato, N. and Murata, N. 1980. Temperature shift-induced responses in lipids in the blue-green alga, *Anabaena variabilis*: the central role of diacylmono-galactosylglycerol in thermo-adaptation. Biochimica et Biophysica Acta 619(2): 353–366.

Schroeder, J.W. 2004. Silage Fermentation and Preservation. http://www.ag.ndsu.edu-/pubs/ansci/dairy/as1254w.htm (accessed on March 9, 2010).

Seshadri, C. V. and Thomas, S. 1979. Mass culture of *spirulina* using low-cost nutrients. Journal Biotechnology Letters 1(7): 287-291.

Soriguer, F., Serna, S., Valverde, E., Hernando, J., Martín-Reyes, A., Soriguer, M., Pareja, A., Tinahones, F. And Esteva, I. 1997. Lipid, protein, and calorie content of different Atlantic and Mediterranean fish, shellfish, and molluscs commonly eaten in the south of Spain. European Journal of Epidemiology 13(4): 451-463.

Tanticharoen, M., Reungjitchachawali, M., Boonag, B., Vonktaveesuk, P., Vonshak, A. and Cohen, Z. 1994. Optimization of gamma-linolenic acid (GLA) production in *Spirulina platensis*. Journal of Applied Phycology 6(3): 295-300.

Torzillo, G. and Vonshak, A. 1994. Effect of light and temperature on the photosynthetic activity of the cyanobacterium *Spirulina platensis*. Biomass and Bioenergy 6(5): 399-403.

Trabelsi, L., Ouada H.B., Bacha, H. and Ghoul, M. 2009. Combined effect of temperature and light intensity on growth and extracellular polymeric substance production by the cyanobacterium *Arthrospira platensis*. Journal of Applied Phycology 21(4): 405-412.

Trainor, F.R. 1978. Introductory Phycology. New York: John Wiley and Sons. 525 p.

Trissl, H.W. 1993. Long-wavelength absorbing antenna pigments and heterogeneous absorption bands concentrate excitons and increase absorption cross section. Journal Photosynthesis Research 35(3): 247-263.

Ungsethaphand, T., Peerapornpisal, Y. and Whangchai, N. 2009. Production of *Spirulina platensis* using dry chicken manure supplemented with urea and sodium bicarbonate. Maejo International Journal of Science and Technology 3(3): 379-387.

van Eykelenburg, C. 1979. The ultrastructure of *Spirulina platensis* in relation to temperature and light intensity. Antonie van Leeuwenhoek 45(3): 369-390.

Venkataraman, G.S. 1981. Blue-green Algae for Rice Production-Manual for Its. Rome: Baker & Taylor. 102 p.

Venkataraman, L.V. 1983. Bluegreen Alga *Spirulina*. Mysore: Central Food Technological Research Institute. 120 p.

Vílchez, C. and Vega, J.M. 1995. Nitrite uptake by immobilized *Chlamydomonas reinhardtii* cells growing in airlift reactors. Enzyme and Microbial Technology 17(5): 386-390.

Vonshak A. 1997. *Spirulina platensis* (*Arthrospira*): Physiology, Cell Biology and Biotechnology. London: Taylor and Francis. 233 p.

Vonshak, A., Cheung, S.M. and Chen, F. 2000. Mixotrophic growth modifies the response of *Spirulina (Arthrospira) platensis* (cyanobacteria) cells to light. Journal of Applied Phycology 36(4): 675-679.

Watanuki, H., Ota, K., Tassaka, A.C.M.A.R., Kato, T. and Sakai, M. 2006. Immuno-stimulant effects of dietary *Spirulina platensis* on carp, *Cyprinus carpio*. Aquaculture 258(1-4): 157-163.

Yang, C., Li, M., Yu, C., Yu, G. and Liu, H. 2008. Consumption of nitrogen and phosphorus in human urine by *Spirulina platensis*. Journal of Biotechnology 10(1): 45-54.

Zhou, Z.P., Liu, L.N., Chen, X.L., Wang, J.X., Chen, M., Zhang Y.Z. and Zhou, B.C. 2005. Factors that effect antioxidant activity of c-phycocyanins from *Spirulina plantensis*. Journal of Food Biochemistry 29(3): 313-322.

ภาคผนวก

1. สารเคมีสำหรับการเพาะเลี้ยงสไปรูไลนา

1.1 อาหารอย่างง่ายความเข้มข้น 50% (SM50) ประกอบด้วย

1)	$NaHCO_3$	8.40	g/l
2)	$NaNO_3$	0.625	g/l
3)	K_2HPO_4	0.125	g/l

1.2 อาหารสูตร Zarrouk 100% (ZM) ประกอบด้วย

1)	$NaHCO_3$	16.80	g/l	
2)	$NaNO_3$	2.50	g/l	
3)	K_2HPO_4	0.50	g/l	
4)	K_2SO_4	1.00	g/l	
5)	$MgSO_4.7H_2O$	0.20	g/l	
6)	NaCl	1.00	g/l	
7)	$CaCl_2.2H_2O$	0.04	g/l	
8)	$FeSO_4.7H_2O$	0.01	g/l	
9)	$Na_2EDTA.2H_2O$	0.08	g/l	
10)	สารละลาย A5	1 ml/l		ประกอบด้วย
	- H_3BO_3	2.86	g/l	
	- $MnCl_2.4H_2O$	1.80	g/l	
	- $ZnSO_4.7H_2O$	0.22	g/l	
	- $CuSO_4.5H_2O$	0.08	g/l	
	- MoO_3	0.01	g/l	
	- น้ำกลั่น	1000	ml	
11)	สารละลาย A6	1 ml/l		ประกอบด้วย
	- NH_4VO_3	22.9	g/l	
	- $K_2Cr_2(SO_4).24H_2O$	96.0	g/l	
	- $NiSO_4.7H_2O$	47.8	g/l	
	- $Na_2WO_4.2H_2O$	17.9	g/l	
	- $Ti(SO_4)_3$	40.0	g/l	
	- $Co(NO_3)_2.6H_2O$	4.4	g/l	
	- น้ำกลั่น	1000	ml	

2. วิธีการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ ตามวิธีของ (Boyd and Tucker, 1992)

2.1 ออร์โธฟอสเฟต (Orthophosphate)

อุปกรณ์

1) ชุดกรองสุญญากาศ
2) กระดาษกรอง GF/C
3) กระบอกตวง ขนาดจุ 50 และ 100 ml
4) เครื่องชั่งทศนิยม 2 และ 5 ตำแหน่ง
5) บีกเกอร์ ขนาดจุ 100 ml
6) Volumetric flask ขนาดจุ 100, 500 และ 1,000 ml
7) Volumetric pipette ขนาดจุ 1, 2, 5 และ 10 ml
8) Transfer pipette ขนาดจุ 5 และ 10 ml
9) Erlenmeyer flask ขนาดจุ 125 ml
10) Spectrophotometer

สารเคมี

1. สารละลายกรดกำมะถัน 5 N: เจือจางกรดกำมะถันเข้มข้น 70 ml ด้วยน้ำกลั่น ปล่อยทิ้งไว้ให้เย็น แล้วปรับปริมาตรให้ครบ 500 ml

2. สารละลาย potassium antimonyl tartrate: ละลาย $K(SbO)C_4H_4O_6 \cdot {}^1/_2H_2O$ 1.3715 g ในน้ำกลั่น 400 ml แล้วปรับปริมาตรสุดท้ายให้ครบ 500 ml

3. สารละลาย ammonium molybdate: ละลาย $(NH_4)_6Mo_7O_{24} \cdot 4H_2O$ 20 g ในน้ำกลั่น 500 ml เก็บสารละลายนี้ไว้ในขวดพลสติกที่ 4 ^{0}C

4. สารลาย Ascorbic acid 0.1 M: ละลาย Ascorbic acid 1.76 g ในน้ำกลั่น 100 ml สารละลายนี้สามารถเก็บไว้ใช้ได้นาน 1 สัปดาห์ เมื่อเก็บไว้ที่ 4 ^{0}C

5. สารก่อสี: ผสมสารละลาย 4 ชนิดแรกเข้าด้วยกันตามลำดับ และสัดส่วนดังนี้

สารละลายกรดกำมะถัน	50	ml
สารละลาย potassium antimonyl tartrate	5	ml
สารละลาย ammonium molybdate	15	ml
สารลาย Ascorbic acid	30	ml

เมื่อผสมกันแล้ว สารก่อสีนี้จะเก็บไว้ใช้ได้ไม่เกิน 4 ชั่วโมง

6. สารละลายมาตรฐานฟอสเฟต: ละลาย KH_2PO_4 0.2195 g ในน้ำกลั่น 1 L จะได้สารละลายมาตรฐานฟอสเฟตเข้มข้น 50 mg PO_4-P/L จากนั้นเจือจางสารละลาย

มาตรฐานนี้ 50 ml ด้วยน้ำกลั่นจนได้ปริมาตรครบ 500 ml จะได้สารละลายมาตรฐานฟอสเฟตเข้มข้น 5 mg PO_4-P/L แล้วนำไปเตรียมสารละลายมาตรฐานฟอสเฟตให้มีความเข้มข้นอย่างน้อย 6 ระดับอยู่ในช่วง 0.00-1.00 mg PO_4-P/L

วิธีการ

1. นำน้ำตัวอย่างปริมาตร 25 ml ใส่ลงในใน Erlenmeyer flask แล้วเติมสารก่อสี 4 ml ผสมให้เข้ากัน ปล่อยไว้อย่างน้อย 10 นาที แต่ไม่เกิน 30 นาที นำไปวัดการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง spectrophotometer ที่ช่วงความยาวคลื่น 880 nm

2. สามารถหาค่าความเข้มข้นของออร์โธฟอสเฟตได้โดยเปรียบเทียบกับเส้นกราฟมาตรฐานออร์โธฟอสเฟต

2.2 แอมโมเนีย

อุปกรณ์

1) ชุดกรองสุญญากาศ
2) กระดาษกรอง GF/C
3) กระบอกตวง ขนาดจุ 100 ml
4) เครื่องชั่งทศนิยม 5 ตำแหน่ง
5) บีกเกอร์ ขนาดจุ 100 และ 500 ml
6) Volumetric flask ขนาดจุ 500 ml
7) Volumetric pipette ขนาดจุ 1 และ 2 ml
8) Transfer pipette ขนาดจุ 1 และ 2 ml
9) Spectrophotometer
10) Magetic sterrer
11) pH meter

สารเคมี

1. สารละลายออกซิไดซิ่ง (Oxidizing solution): ผสมน้ำยาซักผ้าขาว (มีคลอรีน 5%) 20 ml กับน้ำกลั่น 80 ml แล้วปรับ pH ให้อยู่ในช่วง 6.5-7 โดยใช้สารละลายกรด HCl (กรด 1 ส่วนต่อน้ำกลั่น 3 ส่วน) ควรเตรียม Oxidixing solution ใหม่ทุกๆ 4-5 วัน

2. สารละลายฟีนอล: ละลาย NaOH 2.5 g และฟีนอล 10.0 g ในน้ำกลั่น 100 ml ควรเตรียมสารละลายนี้ใหม่ทุกๆ 4-5 วัน

3. สารละลายเกลือ Rochelle: สารละลายเกลือโรเชล ($KNaC_4H_4O_6 \cdot 4H_2O$) 50 g ในน้ำกลั่น 100 ml แล้วต้มให้เดือดเพื่อไล่แอมโมเนียที่อาจปนเปื้อนในเกลือ จนปริมาตรสารละลายเหลือประมาณ 70 ml จึงทำให้เย็นจากนั้นเติม $MnSO_4 \cdot 2H_2O$ 50 mg แล้วเติมน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 100 ml

4. สารละลายมาตรฐานแอมโมเนีย-ไนโตรเจน 0.3 mg/l: ขั้นแรกเตรียมสารละลายมาตรฐานแอมโมเนีย-ไนโตรเจนทั้งหมด (total ammonia-nitrogen หรือ TAN) เข้มข้น 1,000 mg/l โดยสารละลายมาตรฐาน TAN 1,000 mg/l ด้วยน้ำกลั่นจนได้ปริมาตรครบ 500 ml ซึ่งจะได้สารละลายมาตรฐาน TAN 10 mg/l ขั้นสุดท้ายเจือจาง 15 ml ของสารละลายมาตรฐาน TAN 10 mg/l ด้วยน้ำกลั่น จนได้ปริมาตรครบ 500 ml จะได้สารละลายมาตรฐาน TAN 0.3 mg/l ซึ่งควรเตรียมสารละลายนี้ใหม่ทุกวัน

วิธีการ

1. ใช้ปิเปตดูดน้ำตัวอย่างที่ผ่านการกรองหรือสารละลายมาตรฐาน TAN หรือน้ำกลั่น (blank) 10 ml ใส่ในบีกเกอร์ขนาดจุ 50 ml ขณะที่คนน้ำตัวอย่างเติมสารละลายเกลือโรเชลลงไป 1 หยด oxidizing solution 0.5 ml และสารละลายฟีนอล 0.6 ml ปล่อยน้ำตัวอย่างให้อยู่นิ่งเป็นเวลา 15 นาที เพื่อให้เกิดสีได้เต็มที่

2. นำน้ำตัวอย่างและสารละลายมาตรฐานไปวัดความเข้มแสงด้วยเครื่อง spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 630 nm โดยใช้ blank ตั้งค่าการดูดกลืนเป็น 0

2.3 ไนไตรท์ (NO_2-N) และไนเตรท (NO_3-N)

อุปกรณ์

1. ชุดกรองสุญญากาศ
2. กระดาษกรอง GF/C
3. กระบอกตวง ขนาดจุ 100 ml
4. เครื่องชั่งทศนิยม 2 และ 5 ตำแหน่ง
5. บีกเกอร์ ขนาด 100 และ 1,000 ml
6. Volumetric flask ขนาด 100, 500 และ 1,000 ml
7. Volumetric pipette ขนาด 1, 2, 5, 10 และ 25 ml
8. Transfer pipette ขนาด 2 ml
9. pH meter
10. reduction column
11. spectrophotometer

สารเคมี

1. copper-cadmium granules: ล้างเม็ดแคดเมียม (ที่ร่อนแล้วค้างบนตะแกรงขนาด 40-60 mesh) น้ำหนัก 25 g ด้วยสารละลายกรอ HCl 6 N แล้วล้างด้วยน้ำเปล่า จากนั้นเติมสาระลาย $CuSO_4$ 2% ปริมาตร 100 ml แกว่งเม็ดแคดเมียมจนสีฟ้าของสารละลาย $CuSO_4$ จางลง รินสารละลายทิ้งแล้วเติมสาละลาย $CuSO_4$ แกว่งเม็ดแคดเมียมอีกครั้ง ทำซ้ำจนกว่าจะเกิดตะกอนสีน้ำตาล จากนั้นค่อยๆ ใช้น้ำเปล่าล้างตะกอนออกไป นำแคดเมียมนี้ไปเติมใน reduction column

2. สารก่อสี (color reagent): เติม 85% phosphoric acid ปริมาตร 100 ml ลงในน้ำกลั่น 800 ml แล้วเติม sulfanilamide 10 g เมื่อ sulfanilamide ละลายหมดแล้วจึงเติม N-(1-naphthyl)-ethylenediamine dihydrochloride 1 g ละลายให้เข้ากันดี แล้วเติมน้ำกลั่นจนได้ปริมาตรครบ 1 L เก็บสารละลายนี้ไว้ในขวดทึบแสง จะสามารถเก็บไว้ใช้ได้ 1 เดือน

3. สารละลาย NH_4Cl-EDTA: ละลาย NH_4Cl 13 g และ disodium EDTA 1.7 g ในน้ำกลั่น 900 mg ปรับ pH ของสารละลายนี้ด้วย NH_4OH เข้มข้น จนได้ pH 8.5 จึงปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ครบ 1 L

4. สารละลายเจือจาง NH_4Cl-EDTA: เจือจางสารละลาย NH_4Cl-EDTA (สารที่ 3) 300 ml ด้วยน้ำกลั่นจนได้ปริมาตรครบ 500 ml

5. สารละลายกรด HCl 6 N: โดยเจือจางกรด HCl เข้มข้นกับน้ำกลั่นในปริมาตรที่เท่ากัน

6. สารละลาย $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ 20 g ในน้ำกลั่น 500 ml แล้วปรับปริมาตรให้ครบ 1 L

7. สารละลายมาตรฐานไนเตรท: ละลาย KNO_3 0.7218 g ในน้ำกลั่นแล้วปรับปริมาตรสุดท้ายให้ครบ 1 L จะได้สารละลายมาตรฐานเข้มข้น 100 mg NO_3 –N/L ซึ่งสามารถเก็บไว้ใช้ได้นานถึง 6 เดือน เมื่อเติม $CHCl_3$ 2 mg/l นำสารละลายมาตรฐานไนเตรทนี้ 100 ml ไปเจือจางด้วยน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 1 L จะได้สารละลายมาตรฐานไนเตรทเข้มข้น 10 mg NO_3–N/L นำสารละลายมาตรฐานไนเตรทที่เตรียมครั้งหลังนี้ไปเตรียมสารละลายมาตรฐานไนเตรทให้มีความเข้มข้นอย่างน้อย 6 ระดับ อยู่ในช่วง 0.00-1.00 mg NO_3 –N/L ตามสูตรคำนวณดังนี้

$$N_1V_1 = N_2V_2$$

โดย N_1 = ความเข้มข้นของสารละลายตั้งต้น

N_2 = ความเข้มข้นของสารละลายสุดท้าย

V_1 = ปริมาตรของสารละลายตั้งต้นที่นำไปเจือจาง

V_2 = ปริมาตรทั้งหมดของสารละลายสุดท้ายที่ต้องการ

8. สารละลายมาตรฐานไนไตรท์: ละลาย $NaNO_2$ 1.232 g ในน้ำกลั่นแล้วปรับปริมาตรให้ครบ 1 L จะได้สารละลายมาตรฐานในไตรเข้มข้น 250 mg NO_2–N/L ซึ่งสามารถเก็บไว้ใช้ต่อได้ โดยเติม $CHCl_3$ 2 ml/L นำสารละลายมาตรฐานนี้ไปเจือจางด้วยน้ำกลั่นจนได้สารละลายมาตรฐานเข้มข้น 50 mg NO_2 –N/L นำสารละลายมาตรฐานไนไตรท์ที่เตรียมครั้งหลังนี้ไปเตรียมสารละลายมาตรฐานไนไตรท์ให้มีความเข้มข้นอย่างน้อย 6 ระดับ อยู่ในช่วง 0.00-0.50 mg NO_2-N/L

วิธีการ

1. กรองน้ำตัวอย่างผ่านชุดกรองสุญญากาศ

2. ปรับค่า pH ของน้ำที่กรองแล้ว ให้อยู่ในช่วง pH 7-9 ด้วยกรด HCl หรือด่าง NaOH ที่เจือจาง

3. ผสมน้ำตัวอย่าง 25.0 ml กับสารละลาย NH_4Cl-EDTA 75 ml แล้วเทให้ไหลผ่านคอลัมน์แคดเมียมในอัตรา 7-10 ml/นาที ทิ้งน้ำตัวอย่างที่ผ่านคอลัมน์ 25 ml แรก เก็บตัวอย่างที่ผ่านคอลัมน์ส่วนที่เหลือไปวัดความเข้มข้นของไนไตรท์ภายใน 15 นาทีหลังจากผ่านคอลัมน์

4. นำน้ำตัวอย่างที่ต้องการวัดความเข้มข้นของไนไตรท์ (ทั้งน้ำตัวอย่างที่ผ่านการกรองและน้ำตัวอย่างที่ผ่านคอลัมน์แล้ว) ปริมาตร 50 ml ผสมกับสารก่อสี 2 ml ผสมให้เข้ากัน

5. ภายหลังเติมสารก่อสีอย่างน้อย 10 นาที แต่ไม่เกิน 2 ชั่วโมง นำสารละลายไปวัดการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง spectrophotometer ที่ช่วงความยาวคลื่น 543 nm

6. เขียนเส้นกราฟมาตรฐานแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานกับค่าการดูดกลืนแสง แล้วนำค่าการดูดกลืนแสงที่อ่านได้จากน้ำตัวอย่างไปเปรียบเทียบกับเส้นกราฟมาตรฐาน ก็จะทราบความเข้มข้นของไนไตรท์ในน้ำตัวอย่างนั้น

7. หาความเข้มข้นของไนเตรทในน้ำตัวอย่างได้ โดยนำความเข้มข้นของไนไตรท์ในน้ำตัวอย่างที่ผ่านการกรอง หักออกจากความเข้มข้นของไนไตรท์ในน้ำตัวอย่างที่ผ่านคอลัมน์

3. วิธีการวิเคราะห์หาปริมาณ Pigment

3.1 วิเคราะห์ Chlorophyll

1) กรองน้ำตัวอย่างปริมาตร 10 ml
2) นำกระดาษกรองใส่ใน Homogenizer
3) ใส่ 90% acetone 2 ml
4) บดให้ละเอียด
5) ใส่ 90% acetone เพิ่ม 8 ml
6) นำใส่เครื่อง centrifuge
7) หมุนเหวี่ยงที่ความเร็วสูงสุด 5 นาที
8) นำไปวัดด้วยเครื่อง Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่นต่างๆ และคำนวณตามสูตร ดังนี้

Chlorophyll *a* = (11.85* OD_{664}) - (1.54* OD_{647}) - 0.08 *OD_{630})

Chlorophyll *b* = (-5.43* OD_{664}) + (21.03* OD_{647}) - 2.66 *OD_{630})

Chlorophyll *c* = (-1.67* OD_{664}) - (7.60* OD_{647}) + 24.52 *OD_{630})

3.2 การหาปริมาณแคโรทีนอยด์

กรองสาหร่ายสไปรูไลนาที่เพาะเลี้ยงปริมาตร 10 ml (เติม $MgCO_3$ เล็กน้อย) จากนั้นบดให้ละเอียด ด้วย ethanal 90% ปริมาตร 10 ml เมื่อบดละเอียดแล้ว นำไป centrifuge จนกระทั่งกระดาษตกตะกอน นำน้ำส่วนใสที่ได้ไปหาปริมาณคลอโรฟิลล์ โดยการวัด OD ด้วย Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่นต่าง ๆ จากนั้นคำนวณตามสูตร ดังนี้

$$\text{Total Carotenoids} = A_{560} * 3.68 * \frac{\text{Total Vol of extract (ml)}}{\text{Total Vol of Culture Sample (ml)}}$$

3.3 การหาปริมาณไฟโคไซยานิน

กรองสาหร่ายสไปรูไลนาที่เพาะเลี้ยงมาปริมาณ 10 ml เติม phosphate pH buffer 7.0 ปริมาตร 2 ml บดให้ละเอียดเพื่อสกัดไฟโคไซยานิน จากนั้นเติม phosphate pH buffer 7.0 ปริมาตร เพิ่ม 8 ml นำไป centrifuge และนำสารละลายที่ได้ทำการวัดด้วย Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่นต่างๆ จากนั้นคำนวณตามสูตร ดังนี้

C-Phycoerythrin = $0.00251*OD_{560} - 0.0321*OD_{620} + 0.0787*OD_{565}$

C-Phycocyanin = $-0.00911*OD_{560} + 0.0410*OD_{620}$

Allophycocyanin = $0.159*OD_{560} - 0.0410*OD_{620}$

4. วิธีการวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการ

4.1 การวิเคราะห์ความชื้น (ตามวิธีการของ AOAC, 1990)

1) นำขวดชั่งเข้าตู้อบอุณหภูมิ 100 ^{0}C เป็นเวลา 40 นาที และทำให้เย็นในโถดูดความชื้น
2) ชั่งและบันทึกน้ำหนักของขวดชั่งโดยละเอียด
3) ชั่งตัวอย่างใส่ขวดชั่งประมาณ 5 g โดยบันทึกน้ำหนักอย่างละเอียด
4) นำตัวอย่างเข้าตู้อบ โดยใช้อุณหภูมิ 100 ^{0}C เป็นเวลา 8 ชั่วโมง
5) นำตัวอย่างที่อบแล้วใส่โถดูดความชื้น ทิ้งไว้ให้เย็น แล้วบันทึกน้ำหนักตัวอย่าง
6) ทำซ้ำตามข้อ 1 ถึงข้อ 5 จนกระทั่งน้ำหนักที่ได้คงที่ โดยน้ำหนักที่หายไปคือน้ำหนักของความชื้น

คำนวณ% ความชื้นด้วยสมการ

$$\% \text{ ความชื้น} = \frac{(a-b) \times 100}{W}$$

เมื่อ a = น้ำหนักของอาหารและขวดชั่งก่อนอบแห้ง (g)

b = น้ำหนักของอาหารและขวดชั่งหลังอบแห้ง (g)

w = น้ำหนักของอาหารก่อนอบ (g)

4.2 การวิเคราะห์ปริมาณเถ้า (ตามวิธีการของ AOAC, 1990)

1) ชั่งตัวอย่างอาหาร 2 g ใส่ในถ้วยกระเบื้องเคลือบ
2) นำไปเผาในเตาเผาที่อุณหภูมิ 600 ^{0}C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง จนเถ้าเป็นสีขาว

3) นำเข้าโถอบแห้ง เพื่อให้ดูดความชื้น และเมื่อตัวอย่างเย็น นำออกชั่งทันที

คำนวณ% เถ้าด้วยสมการ

$$\% \text{ ความชื้น} = \frac{(b-a) \times 100}{W}$$

เมื่อ a = น้ำหนักของถ้วยกระเบื้องเคลือบ
b = น้ำหนักของถ้วยกระเบื้องเคลือบรวมกับน้ำหนักของเถ้าหลังการเผา
w = น้ำหนักของอาหารก่อนเผา

4.3 การวิเคราะห์หาโปรตีน (ตามวิธีการของ AOAC, 1990)

สารเคมี

1) กรดซัลฟูริก (H_2SO_4) เข้มข้น 93-98%
2) สารเร่งรวม (catalyst mixture): เตรียมโดย ชั่งคอปเปอร์ซัลเฟต ($CuSO_4$) 7 g กับโพแทสเซียมซัลเฟต (K_2SO_4) 100 g ผสมให้เข้ากัน
3) โซเดียมไฮดรอกไซด์ 45% (NaOH) : เตรียมโดย ละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ชนิดเกล็ด 450 g ลงในน้ำกลั่น และปรับปริมาตรให้ได้ 1 L
4) สารละลายเกลือ (HCl) 0.1 นอร์มอล : เตรียมโดย ละลายกรดเกลือ 9 ml ลงในน้ำกลั่น และปรับปริมาตรให้ได้ 1 L
5) กรดบอริค (B_3HO_3) 4%: เตรียมโดย ต้มน้ำกลั่น 50 ml ให้ร้อนแล้วใส่ผงกรดบอริคลงไป 40 g ต้มจนสารละลายหมด ทิ้งไว้จนสารละลายเย็นลงแล้วจึงเติมน้ำกลั่นให้ครบ 1000 ml
6) อินดิเคเตอร์รวม (mixed indicator) : เตรียมโดย เมทธิลเรด (methyl red) 0.2 g ในแอลกอฮอล์ 95% ปรับปริมาตรให้ได้ 100 ml และละลายเมทธิลีบลู (methylene blue) 0.2 g ในแอลกอฮอล์ 95% ปรับปริมาตรให้ได้ 100 ml จากนั้นนำสารละลายเมทธิลเรด 2 ส่วน ผสมกับสารละลายเมทธิลีบลู 1 ส่วน เขย่าให้เข้ากัน
7) เมทิลออเรนจ์ อินดิเคเตอร์ (methyl orange indicator): เตรียมโดยละลายเมทิลออเรนจ์ 0.1 g ในน้ำกลั่น ปรับปริมาตรให้ได้ 100 ml
8) สารละลายโซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) 0.1 นอร์มอล : เตรียมโดย อบโซเดียมคาร์บอเนตที่อุณหภูมิ 260-270 ^{0}C เป็นเวลา 30 นาที ชั่งสารมา 1.325 g เติมน้ำกลั่นและปรับปริมาตรให้ได้ 250 ml

วิธีการ

ก. ขั้นตอนการย่อย (digestion)

1) ชั่งตัวอย่างประมาณ 1 g โดยชั่งด้วยกระดาษกรองที่ปราศจากสารไนโตรเจนแล้วใส่ในขวดแก้ววิเคราะห์โปรตีน
2) เติมสารเร่งรวม 10 g เพื่อเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาการย่อย
3) เติมกรดซัลฟูริกเข้มข้น 25 ml
4) นำไปย่อยด้วยชุดเครื่องย่อยโปรตีน ที่อุณหภูมิ 375 ^{0}C จนกระทั่งสารละลายในขวดแล้ววิเคราะห์โปรตีนใส ทิ้งไว้ให้เย็น

ข. ขั้นตอนการกลั่น (distillation)

1) เมื่อสารละลายเย็น เติมน้ำกลั่นลงไปให้ได้ปริมาตรประมาณ 300 ml
2) ใส่ลูกแก้ว 2 ลูก เพื่อป้องกันการกระแทกของสารละลาย
3) ต่อขวดแก้ววิเคราะห์โปรตีนเข้ากับเครื่องกลั่นที่มีขวดปากแคบวัดปริมาตรซึ่งมีกรดบอริค 40 ml โดยให้ปลายของหลอดแก้วที่ต่อจากกระบอกแก้วควบแน่นจุ่มอยู่ในกรดบอริค เติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ลงในขวดแก้ววิเคราะห์ช้าๆ จนกระทั่งสารละลายมีสีดำ
4) ใส่อินดิเคเตอร์ในกรดบอริค 2-3 หยด
5) ทำการกลั่นจนกระทั่งไม่มีแก๊สแอมโมเนียออกมาแล้วทำการกลั่นต่อไปอีก 10 นาที แล้วล้างปลายเครื่องกลั่นด้วยน้ำกลั่น นำขวดปากแคบวัดปริมาตรออกจากเครื่องกลั่น

ค. ขั้นตอนการไตเตรท (titation)

1) นำไปไตเตรทด้วยกรดเกลือมาตรฐานที่ทราบความเข้มข้น (0.1 นอร์มอล) จนถึงจุดยุติ (end point) โดยใช้อินดิเคเตอร์รวม สารละลายจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำเงินอ่อน
2) จดปริมาตรของกรดเกลือไว้เพื่อคำนวณต่อไป

การคำนวณ

$$\% \text{ โปรตีน} = \frac{1.4 \times (V_1 - V_2) \times N \times 6.25}{W}$$

เมื่อ V_1 = ปริมาตรของกรดมาตรฐานที่ใช้ไตเตรทตัวอย่าง

V_2 = ปริมาตรของกรดมาตรฐานที่ใช้ไตเตรทตัวอย่างที่ใช้ตรวจสอบ

N = ความเข้มข้นของกรดเกลือเป็นนอร์มอล

W = น้ำหนักของตัวอย่าง

การตรวจหาความเข้มข้นของสารละลายกรดเกลือมาตรฐาน

ดูดสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต 40 ml ใส่ในขวดรูปชมพู่ ขนาด 250 ml เติมน้ำกลั่น 20 ml เติมเมทิลออเรนจ์ อินดิเคเตอร์ 2-3 หยด ทำการไตเตรทด้วยสารละลายกรดเกลือ 0.1 นอร์มอล คำนวณความเข้มข้นของสารละลายกรดเกลือโดยใช้สูตร

$$N_1V_1 = N_2V_2$$

N_1 = ความเข้มข้นของสารละลายที่จะปรับค่า
N_2 = ความเข้มข้นของสารละลายที่ต้องการ
V_1 = ปริมาตรของสารละลายที่จะปรับค่า
V_2 = ปริมาตรของสารละลายที่ต้องการ

4.4 การวิเคราะห์หาไขมัน (ใช้เครื่อง Soxtec System HT6)

สารเคมี

ไตรคลอโรเอททิลีน (Trichloroethylene)

วิธีการ

1) อบถ้วยพร้อมลูกแก้วที่อุณหภูมิ 100 ^{0}C 8 ชั่วโมง ทิ้งไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้น
2) อบตัวอย่างที่อุณหภูมิ 65 ^{0}C เป็นเวล 1 คืน ทิ้งไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้น
3) ชั่งน้ำหนักถ้วยพร้อมลูกแก้ว (W_1)
4) ชั่งตัวอย่างที่ต้องการวิเคราะห์ใส่กระดาษกรองประมาณ 1-2 g (W_2) ห่อให้มิดชิดใส่ลงในไส้กรอง (thimble) ที่เตรียมไว้ นำไปใส่เข้าเครื่อง Soxtec System HT6
5) นำถ้วยที่ชั่งน้ำหนักพร้อมลูกแก้วไว้แล้วมาเติมไตรคลอโรเอททิลีน ปริมาตร 25 ml แล้วใส่เข้าเครื่องให้เรียบร้อย
6) เปิดเครื่อง ปรับอุณหภูมิที่ 160 ^{0}C เปิดน้ำเข้าเครื่อง เปิดวาล์ว เลื่อนปุ่มไปที่ boiling ต้มให้เดือด 30 นาที
7) เลื่อนปุ่มไปที่ rinsing เพื่อล้างตัวอย่าง 20 นาที
8) ปิดวาล์ว เปิดสวิทซ์อากาศ เลื่อนปุ่มไปที่ evaporation เพื่อให้สารระเหยออกไป 5 นาที
9) ปิดเครื่อง อากาศและน้ำ แล้วเลื่อนปุ่ม evaporation กลับที่เดิม นำถ้วยออกจากเครื่องแล้วนำไปอบที่ 100 ^{0}C จนแห้ง

10) นำถ้วยออกมาใส่โถดูดความชื้น ทิ้งไว้ให้เย็น แล้วนำมาชั่งน้ำหนัก (W_3)

การคำนวณหา % ไขมัน

$$\% \text{ ไขมัน} = \frac{(W_3 - W_1) \times 100}{W_2}$$

เมื่อ W_1 = น้ำหนักถ้วยพร้อมลูกแก้ว

W_2 = น้ำหนักตัวอย่าง

W_3 = น้ำหนักถ้วยพร้อมลูกแก้วและไขมันหลังอบ

4.5 การวิเคราะห์เยื่อใย (ใช้เครื่อง Fibertec system)

สารเคมี

1) กรดซัลฟูริก 0.128 M: เตรียมโดยเจือจางกรดซัลฟูริกเข้มข้น 7 ml ในน้ำปราศจากอิออน ปรับปริมาตรเป็น 1 L
2) โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 0.233 M: เตรียมโดยชั่งโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 12.512 g ละลายในน้ำปราศจากอิออน ปรับปริมาตรเป็น 1 L
3) ออกทานอล (1-Octanol reinst)
4) อะซิโตน (acetone)

วิธีการ

1) นำถ้วยกระเบื้องเคลือบไปอบที่อุณหภูมิ 135 ^{0}C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง (ถ้าถ้วยกระเบื้องสกปรกมากให้นำไปเผาที่อุณหภูมิ 500 ^{0}C ประมาณ 3 ชั่วโมง)
2) ชั่งน้ำหนักถ้วยกระเบื้องเคลือบ (W_1) ชั่งน้ำหนักตัวอย่างประมาณ 1-2 g (W_2) ใส่ในถ้วยกระเบื้องเคลือบ นำไปใส่เข้าเครื่อง Fibertec system
3) เติมกรดซัลฟูริกปริมาตร 150 ml หยดออกทานอล 2-3 หยด เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดฟองขณะเดือด
4) เปิดเครื่อง และน้ำเข้าเครื่อง เปิดความร้อนจนสุดสเกล และเลื่อนวาล์วทุกตัวให้อยู่ตำแหน่งปิด ต้มให้สารละลายเดือดเต็มที่ แล้วลดความร้อนลงเหลือประมาณ 4.5 ต้มนานประมาณ 30 นาที จากนั้นเปิดเครื่องแล้วกรองสารละลายออกโดยเลื่อนปุ่มไปที่ Vaccunm
5) ล้างตัวอย่างด้วยน้ำอุ่น 3 ครั้ง โดยเติมน้ำอุ่นลงไปแล้วเลื่อนปุ่มไปที่ Vaccunm เพื่อกรองน้ำออก

6) เติมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ประมาณ 150 ml ทำเช่นเดียวกับข้อ 4-5
7) ย้ายถ้วยกระเบื้องเคลือบไปที่ cold extraction unit ล้างตัวอย่างด้วยอะซิโตนให้ท่วมตัวอย่าง ทิ้งไว้สักครู่ แล้วจึงกรองอะซิโตนออก
8) นำถ้วนกระเบื้องเคลือบไปอบที่อุณหภูมิ 135 ^{0}C นานครึ่งชั่วโมง
9) นำถ้วนกระเบื้องเคลือบใส่ลงในโถดูดความชื้น หลังจากเย็นนำไปชั่งน้ำหนัก (W_3) จากนั้นนำไปเผาที่อุณหภูมิ 500 ^{0}C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง
10) นำถ้วนกระเบื้องเคลือบใส่ลงในโถดูดความชื้น หลังจากเย็นนำไปชั่งน้ำหนัก (W_4)

การคำนวณหา % เยื่อใย

$$\% \text{ เยื่อใย} = \frac{(W_3 - W_4) \times 100}{W_2}$$

เมื่อ W_1 = น้ำหนักของตัวอย่าง
W_2 = น้ำหนักถ้วยกระเบื้องเคลือบ พร้อมตัวอย่างหลังการอบ
W_3 = น้ำหนักถ้วยกระเบื้องเคลือบ พร้อมตัวอย่างหลังการเผา

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ สกุล นางสาวสุวรรณี ไทยอุดมทรัพย์

รหัสประจำตัวนักศึกษา 5010620035

วุฒิการศึกษา

วุฒิ	ชื่อสถาบัน	ปีที่สำเร็จการศึกษา
วิทยาศาสตร์บัณฑิต (วาริชศาสตร์)	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์	2550

การตีพิมพ์เผยแพร่ผลงาน

สุวรรณี ไทยอุดมทรัพย์ และดวงรัตน์ มีแก้ว. 2552. อาหารอินทรีย์สำหรับการเพาะเลี้ยงสไปรูไลนา. วารสารเกษตร 25(พิเศษ): 101-111.