ใบรับรองปัญหาพิเศษ
ภาควิทยาศาสตร์การประมง

คุณค่าทางโภชนาการของ *Spirulina platensis* ที่เลี้ยงด้วยอามิกับมูลสุกร

Nutritional value of *Spirulina platensis* cultured in media with ami and pig waste

นาย ชาตสุพล เตรียมธนานันท์

อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุนีรัตน์ เรืองสมบูรณ์

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย
อาจารย์ที่ปรึกษา.....สุนีรัตน์ เรืองสมบูรณ์.....

ภาควิชารองรับแล้ว

.....

(รองศาสตราจารย์ ศักดิ์ชัย ซูโชติ)
หัวหน้าภาควิทยาศาสตร์การประมง

วันที่ 30 มีนาคม พ.ศ. 2548

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

20484

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ปัญหาพิเศษ

เรื่อง

คุณค่าทางโภชนาการของ *Spirulina platensis* ที่เลี้ยงด้วยอามิกับมูลสุกร

Nutritional value of *Spirulina platensis* cultured in media with ami and pig waste

T099340

โดย

นาย ชาตสุพล เตรียมธนานันท์

ปพ.
ช514ค
2547

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....99340.....
วัน,เดือน,ปี.....

ภาควิทยาศาสตร์การประมง
คณะเทคโนโลยีการเกษตร
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
กรุงเทพมหานคร 10520

ปีการศึกษา 2547

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทคัดย่อปัญหาพิเศษ

เรื่อง

คุณค่าทางโภชนาการของ *Spirulina platensis* ที่เลี้ยงด้วยอามิกับมูลสุกร

Nutritional valve of *Spirulina platensis* cultured in media with ami and pig waste

การเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina* ในอาหารปุ๋ยผสมอามิที่ความเข้มข้น 0.1, 0.5, 1 มิลลิลิตรต่อลิตร จากการวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการมีปริมาณเฉลี่ยคิดเป็นร้อยละของน้ำหนักแห้งพบปริมาณโปรตีนมากที่สุดที่ความเข้มข้น 1 มิลลิลิตรต่อลิตร คือ 49.65±0.32 รองลงมาคือความเข้มข้น 0.1 มิลลิลิตรต่อลิตร ปริมาณไขมันมากที่สุดที่ความเข้มข้น 0.1 มิลลิลิตรต่อลิตร คือ 0.77±0.06 ส่วนปริมาณคาร์โบไฮเดรตมากที่สุดที่ความเข้มข้น 0.5 มิลลิลิตรต่อลิตร 13.10±0.71 และอาหารปุ๋ยผสมมูลสุกรที่ความเข้มข้น 0.5, 2.0, 7.5 กรัมต่อลิตร จากการวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการมีปริมาณเฉลี่ยคิดเป็นร้อยละของน้ำหนักแห้งพบปริมาณโปรตีนมากที่สุดที่เลี้ยงในอาหารสูตรปุ๋ยผสมมูลสุกรที่ความเข้มข้น 0.5 กรัมต่อลิตร คือ 69.73±0.14 และรองลงมาคือ ปุ๋ยผสมมูลสุกรที่ความเข้มข้น 2 กรัมต่อลิตร 67.74±0.41 ปริมาณไขมันพบมากที่สุดในอาหารสูตรปุ๋ยผสมมูลสุกรที่ความเข้มข้น 7.5 กรัมต่อลิตร คือ 1.86±0.29 รองลงมาเป็นปุ๋ยผสมมูลสุกรที่ความเข้มข้น 2.0 กรัมต่อลิตร 1.77±0.29 ปริมาณคาร์โบไฮเดรตพบมากที่สุดที่ความเข้มข้น 0.5 กรัมต่อลิตร 23.56±0.49 สูตรอาหารที่เหมาะสมจากการทดลองในการเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina* คือปุ๋ยผสมมูลสุกรที่ความเข้มขัน 0.5 กรัมต่อลิตร เนื่องจากมีปริมาณโปรตีนสูงที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำนิยม

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ อาจารย์สุนีรัตน์ เรืองสมบูรณ์ เป็นอย่างสูงที่ได้กรุณาให้คำปรึกษาแนะนำข้อบกพร่องต่างๆในการทำปัญหาพิเศษครั้งนี้จนสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ทุกท่านที่ได้ประสิทธิประสาทวิชาความรู้เป็นอย่างสูง รวมทั้งเจ้าหน้าที่ภาควิทยาศาสตร์การประมงและเพื่อนๆทุกคน ที่ช่วยให้ข่าพเจ้าสำเร็จการศึกษา

นาย ชาตสุพล เตรียมธนานันท์

มีนาคม 2548

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	I
สารบัญตาราง	II
สารบัญตาภาพ	III
คำนำ	1
การตรวจเอกสาร	2
อุปกรณ์และวิธีการ	10
ผลการทดลองและวิธีการ	21
สรุป	27
เอกสารอ้างอิง	28
ภาคผนวก	30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	อิทธิผลของอาหารและความเข้มแสงต่อน้ำหนักแห้งและปริมาณโปรตีนของการเพาะเลี้ยง *Spirulina* sp.	7
2	แสดงองค์ประกอบทางเคมีของ Ami-Ami L และ new Ami-Ami G	9
3	แสดงองค์ประกอบทางเคมี มูลสุกร	9
4	แสดงคุณค่าทางอาหารของสาหร่าย *Spirulina* ที่เลี้ยงในอาหารปุ๋ยและปุ๋ยผสมอามิ	23
5	แสดงคุณค่าทางอาหารของสาหร่าย *Spirulina* ที่เลี้ยงในอาหารปุ๋ยและปุ๋ยผสมมูลสุกร	24
6	เปรียบเทียบคุณค่าทางอาหารของสาหร่าย *Spirulina* ในอาหารต่างๆที่ใช้ในการเพาะเลี้ยง	26
7	เปรียบเทียบปริมาณโปรตีนของสาหร่าย *Spirulina* กับอาหารโปรตีนอื่นๆ	26

ตารางผนวกที่		หน้า
1	แสดงปริมาณคลอโรฟิลล์ของสาหร่าย *Spirulina* ในอาหารสูตรต่าง ๆ	32
2	แสดงปริมาณน้ำหนักแห้งของสาหร่าย *Spirulina* ในอาหารสูตรต่าง ๆ	33
3	แสดงค่าทางสถิติการเจริญเติบโตของสาหร่าย *Spirulina* ในอาหารสูตรปุ๋ยผสมอามิ ในวันที่ 18 ของการเพาะเลี้ยง	34
4	แสดงค่าทางสถิติการเจริญเติบโตของสาหร่าย *Spirulina* ในอาหารสูตรปุ๋ยผสมมูลสุกรในวันที่ 18 ของการเพาะเลี้ยง	34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	อิทธิผลของอาหารและความเข้มแสงต่อคุณค่าทางอาหารของ *Spirulina*	8
2	กราฟปริมาณคลอโรฟิลล์ของสาหร่าย *Spirulina* ที่เลี้ยงในปุ๋ยและปุ๋ยผสมอามิที่ความเข้มข้นต่างๆ	21
3	กราฟปริมาณน้ำหนักแห้งของสาหร่าย *Spirulina* ที่เลี้ยงในปุ๋ยและปุ๋ยผสมอามิที่ความเข้มข้นต่างๆ	21
4	กราฟปริมาณคลอโรฟิลล์ของสาหร่าย *Spirulina* ที่เลี้ยงในปุ๋ยและปุ๋ยผสมมูลสุกรที่ความเข้มข้นต่างๆ	22
5	กราฟปริมาณน้ำหนักแห้งของสาหร่าย *Spirulina* ที่เลี้ยงในปุ๋ยและปุ๋ยผสมมูลสุกรที่ความเข้มข้นต่างๆ	22
6	ลักษณะเซลล์ของสาหร่าย *Spirulina*	35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คุณค่าทางโภชนาการของ *Spirulina platensis* ที่เลี้ยงด้วยอามิกับมูลสุกร

Nutritional value of *Spirulina platensis* cultured in media with ami and pig waste

คำนำ

ในปัจจุบันได้มีการผลิตสาหร่ายในเชิงการค้ามากมายหลายชนิดโดยเฉพาะอย่างยิ่งสาหร่าย *Spirulina* เนื่องจากสาหร่าย *Spirulina* ได้รับความนิยมมากในการนำมาใช้ประโยชน์มากมายทั้งเป็นอาหารเพื่อสุขภาพของมนุษย์ อาหารสัตว์และยังมีเครื่องสำอาง สีผสมอาหาร ยารักษาโรค เป็นต้น เพราะในสาหร่าย *Spirulina* มีโปรตีนสูงถึง 60-70 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง วิตามิน กรดไขมันไม่อิ่มตัวและรงควัตถุต่างๆยังมีกรดแกมม่าไลโนเลอิก (GLA) สูงกว่าพืชชนิดอื่นๆ ซึ่งกรดนี้มีคุณสมบัติ ช่วยลดไขมันในเส้นเลือด ลดความดันโลหิต บรรเทาอาการข้ออักเสบ ปวดประจำเดือน สิวฝ้าเป็นต้น และสาหร่าย *Spirulina* ยังเพาะเลี้ยงได้ง่าย เป็นเหตุให้มีการเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina* ในเชิงอุตสาหกรรมในหลายประเทศเช่น ญี่ปุ่น สหรัฐอเมริกา ไต้หวัน ไทย ปัจจุบันได้มีผู้เพาะเลี้ยงสาหร่ายด้วยอาหารสูตรต่าง ๆ และวิเคราะห์คุณค่าทางอาหารของสาหร่ายเพื่อหาสูตรอาหารที่เลี้ยงสาหร่าย *Spirulina* แล้วให้โภชนาการที่สูง เป็นการลดต้นทุนและนำสิ่งเหลือใช้ต่างๆมาใช้ประโยชน์ในการเพาะเลี้ยง อามิและมูลสุกรน่าจะนำมาเป็นอาหารเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina* ได้เพราะมีสารอินทรีย์ที่สาหร่ายสามารถนำมาในการเจริญเติบโตได้

วัตถุประสงค์

1. เพื่อวิเคราะห์ปริมาณคุณค่าทางอาหารของสาหร่าย *Spirulina* ที่เลี้ยงในสูตรอาหารปุ๋ยผสมอามิ, ปุ๋ยผสมมูลสุกร
2. เพื่อเปรียบเทียบคุณค่าทางอาหารของสาหร่าย *Spirulina* ที่เลี้ยงในระดับความเข้มข้นของอาหารที่แตกต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การตรวจเอกสาร

ลักษณะทั่วไปของ *Spirulina* sp.

สาหร่าย *Spirulina* จัดอยู่ใน

Division Cyanophyta

Class Cyanophyceae

Order Oscillatoriales

Family Oscillatorriaceae

Genus *Spirulina*

Spirulina sp. เป็นสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน มีลักษณะเป็นเส้นสายสั้นบ้างยาวบ้างขึ้นอยู่กับอายุและความสมบูรณ์ ซึ่งประกอบด้วยเซลล์เรียงตัวกันเป็นแถวและบิดเป็นเกลียวเรียกว่าทรัยโคมและเซลล์สาหร่ายเซลล์ในทรัยโคมจะมีแก๊สแวคคูโอ (gas vacuole) ทำให้เกิดการลอยตัวได้ ไม่มีเยื่อหุ้มนิวเคลียส ขนาดของสาหร่ายมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 3-8 ไมครอน ความยาวของสายประมาณ 50-500 ไมครอน ผนังเซลล์เป็นสารมิวรีน มีรงควัตถุคือ คลอโรฟิลล์ เอ (Chlorophyll a), แคโรทีนอยด์ (Carotenoid),เบต้า-แคโรทีน (β-carotene) และแซนโทฟิลล์ (Xanthophyll) สืบพันธุ์โดยการแบ่งเซลล์จะทำให้ทรัยโคมยืดยาวออกเมื่อมีการกระทบกระเทือนจะเกิดการขาดท่อนของเซลล์แต่ละท่อนสามารถยืดออกเป็นทรัยโคมใหม่ได้

ปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของสาหร่าย *Spirulina*

1. **อุณหภูมิ**

มีผลต่อการเจริญเติบโตของสาหร่ายทั้งทางตรงและทางอ้อม ผลโดยตรงคือ มีผลต่อกระบวนการทางเคมี การหายใจและขบวนการเมตาบอริซึม และผลโดยอ้อมคือ เมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนจะส่งผลให้สิ่งแวดล้อมในน้ำ ซึ่งจะมีผลกระทบต่อสาหร่ายอีกต่อหนึ่ง

(Sato และ Murata, 1980) กล่าวว่าอุณหภูมิเป็นหนึ่งปัจจัยทางสิ่งแวดล้อมที่สำคัญที่สุดที่มีผลต่อองค์ประกอบของกรดไขมัน จากการทดลองย้าย *Anabaena variabilis* จากอุณหภูมิ 38 องศาเซลเซียส ไปเลี้ยงที่อุณหภูมิ 22 องศาเซลเซียส พบว่าเพียง 10 ชั่วโมงแรกการสังเคราะห์กรดไขมันของ *A. variabilus* ลดลง และเมื่อย้ายจากอุณหภูมิ 22 องศาเซลเซียส ไปเลี้ยงที่อุณหภูมิ 38 องศาเซลเซียส เช่นเดิม พบว่าภายใน 5 ชั่วโมงหลังจากย้ายมีการสังเคราะห์กรดไขมันเพิ่มขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. **ความเข้มแสง**

แสงเป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญในกระบวนการสังเคราะห์แสงของสาหร่าย ความเข้มแสงที่ได้รับมีผลต่อการเจริญเติบโต สาหร่ายที่เลี้ยงในความเข้มแสงสูงจะมีการเจริญเติบโตของเซลล์สูงกว่าสาหร่ายที่ได้รับความเข้มแสงต่ำ ในการเพาะเลี้ยงหากเซลล์มีความหนาแน่นเกินไปจะทำให้มีผลผลิตของเซลล์ลดลงเนื่องจากมีการจำกัดของแสงที่เซลล์จะได้รับแสงเพราะมีการบดบังแสงแดดจากเซลล์มีที่ปริมาณมากเกินไป (สุชาติและคณะ, 2528) ได้ทดลองเลี้ยงสาหร่ายในถังที่มีน้ำหมุนเวียนพบว่าสาหร่ายที่เลี้ยงในถังที่น้ำหมุนเวียนตลอดมีอัตราการเจริญเติบโตสูง เพราะว่าการทำให้น้ำหมุนเวียนเป็นการช่วยให้สาหร่ายที่อยู่ในระดับน้ำต่างๆได้รับแสงแดดอย่างสม่ำเสมอและยังช่วยให้เซลล์ของสาหร่ายสามารถสัมผัสกับธาตุอาหารได้อย่างทั่วถึง นอกจากนี้ยังป้องกันไม่ให้อุณหภูมิเกิดความแตกต่างกันระหว่างผิวน้ำกับน้ำที่ระดับลึกลงไป

ถ้าศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงที่สาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียวได้รับและการสังเคราะห์แสง พบว่าการสังเคราะห์แสงจะเพิ่มขึ้น เมื่อได้รับความเข้มแสงเพิ่มขึ้น และจากนั้นจะค่อย ๆ ลดลงเมื่อความเข้มแสงถึงระดับอิ่มตัว (Watt, 1969) กล่าวว่าการปลดปล่อยสารประกอบประเภทคาร์บอนซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการสังเคราะห์แสง เปลี่ยนแปลงไปตามความเข้มแสง โดยที่ความเข้มแสงสูง ๆ จะไปยับยั้งการปลดปล่อยผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการสังเคราะห์แสง

สาหร่ายที่ได้รับความเข้มแสงสูงเกินไปพบว่าจะเกิดการยับยั้งการสังเคราะห์เนื่องจากคลอโรพลาสดูดซับแสงมากเกินไปเพราะพลังงานจากอิเล็กตรอนสูงเกินกว่าที่จะสามารถนำมาใช้บริโภคได้ในวัฏจักรเคลวิน อิเล็กตรอนที่ได้จากน้ำในรูปของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์นั้นเป็นอันตรายต่อเซลล์สาหร่าย *Spirulina* นั้นเอง (Chojnacka K. และ Noworyta A. 2004)

สาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียวที่อาศัยอยู่บริเวณได้รับความเข้มแสงสูง เช่น อาศัยตามหินหรือดิน ซึ่งภายใต้สภาพเหล่านี้สาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียวจำเป็นต้องมีกลไกเพื่อป้องกันอันตรายจากแสงที่ได้รับ กลไกการป้องกันของสาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียว เช่น การเคลื่อนหนีแสงเพื่อหลีกเลี่ยงจากแสงที่มีความเข้มข้นสูง หรือการสร้างสารประกอบที่ใช้ในการดูดซับรังสีอัลตราไวโอเลตเพื่อป้องกันแสงที่จัดเกินไปไม่ให้เป็นอันตรายต่อรงควัตถุสังเคราะห์แสงของสาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียว

3. **ความเป็นกรด-ด่าง**

สาหร่ายมีความต้องการที่เป็นด่างมากๆสำหรับการเจริญเติบโต ผลของความเป็นกรด-ด่างขึ้นอยู่กับปริมาณและสมดุลของสารอาหาร และปริมาณสารอินทรีย์คาร์บอนที่ละลายได้มาจากการสังเคราะห์ของสาหร่าย ความเป็นกรดเป็นด่างมีผลต่อกระบวนการทางชีววิทยา ผลต่อประจุไฟฟ้าที่ผนังเซลล์การถ่ายเทประจุที่พลาสมาเมมเบรน และเกี่ยวข้องกับศักย์ไฟฟ้าที่เซลล์เมมเบรน ในการเพาะเลี้ยงสาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียวหลาย ๆ ชนิด ความเป็นกรดเป็นด่างของอาหารเพาะเลี้ยงระหว่าง 7.0 ถึง 10.0 มีความเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตและการสังเคราะห์แสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจากไบคาร์บอเนตไอออนละลายได้มากที่สุดที่ช่วงระดับความเป็นกรดเป็นด่างนี้จึงสามารถใช้ HCO_3^- เป็นแหล่งคาร์บอนสำหรับการสังเคราะห์แสง ทำให้สาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียวส่วนใหญ่เจริญเติบโตได้สูงที่สุดในช่วงความเป็นกรดเป็นด่างนี้ (Coleman และ Colman, 1981)

4. **การใช้คาร์บอน**

สาหร่ายจะใช้คาร์บอนในกระบวนการสังเคราะห์และมีความสัมพันธ์กับความเป็นกรดด่างในน้ำ สาหร่าย *Spirulina* สามารถใช้แหล่งของคาร์บอนจากคาร์บอนไดออกไซด์ได้ดีกว่าใช้คาร์บอนเนตอย่างเดียวและคาร์บอนเนตกับไบคาร์บอนเนตเป็นแหล่งของคาร์บอนซึ่งสาหร่ายที่เลี้ยงโดยใช้คาร์บอนไดออกไซด์เป็นแหล่งคาร์บอนมีผลผลิต ประสิทธิภาพการใช้คาร์บอนและประสิทธิภาพของกระบวนการสังเคราะห์แสงมากกว่าสาหร่ายที่เลี้ยงในแหล่งคาร์บอนอื่น (Sanchez-Luna L.D. et al, 2004)

การใช้คาร์บอนเนตเป็นแหล่งคาร์บอนเพียงอย่างเดียวการเจริญเติบโตของสาหร่ายจะหยุดลงและค่าพีเอชมีค่าไม่คงที่เนื่องจากสาหร่ายสไปรูไลน่าไม่สามารถนำเข้าคาร์บอนเนตได้หรือมีการยับยั้งเกิดขึ้นเนื่องจากมีอัลคาไลน์มากเกินไป ค่าพีเอชที่เพิ่มขึ้นตลอดการเจริญเติบโตเนื่องจากการปลดปล่อยคาร์บอเนตและการตรึงคาร์โบไฮเดรต (Richmond et al, 1982)

5. **แร่ธาตุ**

ธาตุอาหารมีความสำคัญและจำเป็นอย่างยิ่งต่อการเจริญเติบโตของสาหร่าย เช่นเดียวกับสิ่งมีชีวิตทั่วไป สาหร่ายต้องการธาตุอาหารในชนิดและปริมาณที่แตกต่างกัน การเจริญเติบโตของสาหร่ายจะขาดธาตุชนิดใดชนิดหนึ่งไม่ได้ สาหร่าย *Spirulina* เจริญได้โดยต้องการธาตุอาหารในระดับต่ำแต่ต้องการน้ำในการเพาะเลี้ยงสูง มีรายงานว่าสาหร่าย *Spirulina* ใช้น้ำในการเพาะเลี้ยง 25,000 ลูกบาศก์เมตรต่อเฮคตาร์ขณะที่ข้าวใช้น้ำเพียง 17,000 ลูกบาศก์เมตรต่อเฮคตาร์ แต่เมื่อคำนวณอัตราการใช้น้ำพบว่าสาหร่าย *Spirulina* ใช้น้ำน้อยกว่าพืชโปรตีน เช่นถั่วเหลืองโดยสาหร่าย *Spirulina* น่าใช้น้ำเพียง1,000 ลูกบาศก์เมตรต่อโปรตีน 1 ตันในขณะที่ถั่วเหลืองใช้น้ำถึง 7,000 ลูกบาศก์เมตรต่อโปรตีน 1 ตัน ซึ่งสามารถแบ่งได้เป็น ธาตุอาหารหลัก ธาตุอาหารรอง ธาตุอาหารจำเป็น และสารอินทรีย์

5.1 ธาตุอาหารหลัก เป็นธาตุอาหารที่ใช้สำหรับสร้างโมเลกุลซึ่งเป็นโครงสร้างหลักของสาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียว ดังนั้นจึงจำเป็นต้องใช้ในปริมาณมาก

5.1.1 ไนโตรเจน (Nitrogen)

ไนเตรตส่วนประกอบไนโตรเจนที่สำคัญสำหรับการเจริญเติบโตของสาหร่าย นอกจากนี้สารประกอบตัวอื่น เช่น แอมโมเนีย ไนไตร์ท ยูเรีย ซึ่งเป็นองค์ประกอบสำคัญของโปรตีน กรดอะมิโน เอนไซม์ เป็นต้น ในสภาวะที่ไนโตรเจนไม่เพียงพอเซลล์จะหยุดการเจริญเติบโต โปรตีนและไฟโคไซยานินจะถูกย่อยสลาย (Vonshak and Guy, 1988) ปัจจุบันยูเรียหรือเกลือแอมโมเนีย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ได้รับความสนใจมากในทางธุรกิจเนื่องจากมีราคาถูกแต่อุปสรรคจากการใช้ยูเรียคือยูเรียจะเปลี่ยนรูปเป็นแอมโมเนียโดยการไฮโดรไลซ์และสูญเสียในรูปของก๊าซ Sanchez-Luna L.D. et al (2004) ได้ศึกษาให้ยูเรียเป็นแหล่งไนโตรเจนโดยให้ยูเรียในระหว่างการเลี้ยงแบบเป็นช่วงเวลาและแบบต่อเนื่อง ผลที่ได้คือสาหร่ายที่เลี้ยงโดยการให้ยูเรียแบบต่อเนื่องให้ผลผลิตสูงเหมาะสำหรับการเพาะเลี้ยงขนาดใหญ่

สาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียวสามารถใช้แอมโมเนียและไนเตรตเป็นแหล่งไนโตรเจนได้ โดยแอมโมเนียถูกนำไปใช้ได้เร็วกว่าไนเตรต เนื่องจากแอมโมเนียเป็นผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่ได้จากกระบวนการรีดักชันของไนเตรต ในบางครั้งแอมโมเนียอาจเป็นสาเหตุทำให้เกิดการยับยั้งแบบย้อนกลับซึ่งทำให้สาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียวใช้ไนเตรตได้ลดลง ไนเตรตและแอมโมเนียยังมีความสัมพันธ์กับความเป็นกรดเป็นด่างของอาหารอย่างมาก เมื่อใช้แอมโมเนียเป็นแหล่งไนโตรเจน ความเป็นกรดเป็นด่างของอาหารจะลดลงอย่างรวดเร็ว ดังนั้น การเจริญเติบโตของสาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียวสามารถถูกยับยั้งได้ที่ความเข้มข้นของแอมโมเนียประมาณ 1 มิลลิโมล (Morris, 1978) ส่วนไนไตรต์สาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียวสามารถใช้เป็นแหล่งไนโตรเจนได้เหมือนกัน แต่มีข้อเสียคือ ความเข้มข้นของไนไตรต์ที่สูงจะไปยับยั้งการเจริญเติบโตทำให้ไม่นิยมใช้

5.1.2 ฟอสฟอรัส (Phosphorus)

เป็นธาตุอาหารที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับขบวนการต่างๆของเซลล์ โดยเฉพาะกระบวนการถ่ายเทพลังงาน และกระบวนการสร้างกรดนิวคลีอิก ถ้าสาหร่ายขาดฟอสฟอรัสจะมีผลเสียต่อการเจริญเติบโต คือ ปริมาณโปรตีน คลอโรฟิลล์เอ DNA และ RNA จะลดลง แต่แป้งหรือคาร์บอไฮเดรตกลับเพิ่มขึ้นซึ่งมีผลทำให้เซลล์เปลี่ยนแปลงไปจากเดิม

5.2 ธาตุอาหารรอง เป็นธาตุอาหารที่สาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียวต้องการใช้ปริมาณน้อยและเป็นส่วนประกอบของโมเลกุลที่จำเป็น

5.2.1 แคลเซียม (Calcium)

บทบาทของแคลเซียม ต่อสรีรวิทยาและการเจริญเติบโตของสาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียวยังไม่เป็นที่ทราบแน่ชัด แต่อย่างไรก็ตามมีการยอมรับกันว่าแคลเซียมเป็นแร่ธาตุที่จำเป็นแต่ต้องการในปริมาณน้อยกว่าธาตุอาหารหลักอื่น ๆ ซึ่งแคลเซียมอาจใช้ในรูปสารประกอบรวมกับแร่ธาตุตัวอื่น ๆ

5.2.2 แมกนีเซียม (Magnesium)

เป็นธาตุอาหารที่จำเป็นอย่างยิ่งต่อขบวนการเมตาบอลิซึมของเซลโดยทั่วไป จะเป็นตัวกำหนดการทำงานของระบบเอนไซม์ ไนโตรจีเนส และกลูตามีน ซินเธเตส แมกนีเซียมซัลเฟต จะไปยับยั้งการเจริญของสาหร่าย ถ้าใช้กับสาหร่ายโดยไม่มีสารประกอบพวกฟอสเฟต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2.3 โซเดียม โพแทสเซียม (Sodium and Potassium)

โซเดียมมีผลต่อการเจริญเติบโต ถ้าได้รับในปริมาณสูงอาจเป็นพิษต่อสาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียว นอกจากนี้โซเดียมยังช่วยในการเปลี่ยนโมเลกุลไนโตรเจนไปเป็นแอมโมเนียในการตรึงไนโตรเจนของสาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียวได้ โซเดียมและโพแทสเซียมมีองค์ประกอบทางเคมีที่คล้ายคลึงกันจึงสามารถใช้แทนกันได้ สำหรับโพแทสเซียมจำเป็นสำหรับสาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียวและสาหร่ายทุกชนิด เนื่องจากโพแทสเซียมเป็นองค์ประกอบของเอนไซม์หลายชนิด ภายใต้สภาพการขาดโพแทสเซียมการเจริญเติบโตและการสังเคราะห์แสงลดลงแต่การหายใจจะสูงขึ้น

5.3 ธาตุอาหารจำเป็น เป็นสารอาหารซึ่งแพลงค์ตอนพืชต้องการนำไปใช้ในปริมาณน้อยมาก แต่ถ้าปริมาณของสารอาหารในกลุ่มนี้มีไม่ถึงปริมาณที่กำหนด สารอาหารทั้งหมดจะเป็นปัจจัยที่ควบคุมการเติบโต

5.3.1 เหล็ก (ion)

เหล็กที่อยู่ในแหล่งน้ำจะอยู่ในรูปของตะกอน เป็นสารแขวนลอย หรือละลายอยู่ในน้ำ เหล็กมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการทำงานของระบบเอนไซม์ เช่น cytochromes และกระบวนการเมตาบอลิซึม เหล็กจะยับยั้งการเจริญเติบโตของสาหร่ายในสภาพที่เป็นกรด

5.3.2 แมงกานีส ทองแดง และสังกะสี (Manganese,Copper and Zinc)

แมงกานีส ทองแดง และสังกะสีเป็นธาตุที่เป็นองค์ประกอบสำคัญในระบบการถ่ายทอดอิเล็กตรอนในกระบวนการสังเคราะห์แสง รวมทั้งเป็นองค์ประกอบที่จำเป็นของเอนไซม์อีกหลายชนิด ถ้าขาดธาตุเหล่านี้จะทำให้กระบวนการสังเคราะห์แสงลดลง แต่ถ้ามีมากเกินไปจะเป็นพิษต่อสาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียวและสาหร่ายชนิดอื่น ๆ

5.4 สารอินทรีย์ สารอินทรีย์ในแหล่งน้ำมีหลายชนิดได้แก่ คาร์โบไฮเดรต กรดอะมิโน กรดไขมัน กรดอินทรีย์ และวิตามิน ซึ่งสารอินทรีย์เหล่านี้แพลงค์ตอนพืชสามารถนำมาใช้เพื่อการเจริญเติบโต สารอินทรีย์ในแหล่งน้ำมาจากการเน่าสลายของสิ่งมีชีวิตทุกชนิดและสิ่งขับถ่ายต่าง ๆ ซึ่งสาหร่ายสามารถนำสารอินทรีย์มาใช้ประโยชน์ได้ โดยที่สารอินทรีย์นี้จะเป็นแหล่งอาหารของสาหร่ายในช่วงเวลาที่ขาดแคลนอาหาร

ได้มีการศึกษามากมายที่จะนำสารอินทรีย์มาเลี้ยงสาหร่ายเพื่อเป็นการลดต้นทุนในการเพาะเลี้ยงเช่น ได้ทดลองนำน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตยางแผ่นมา เลี้ยงสาหร่ายเกลียวทอง พบว่าสาหร่ายเจริญเติบโตได้ไม่ดีนักแต่เมื่อนำน้ำทิ้งจากโรงงานมาผสมกับปุ๋ยพบว่าสาหร่ายสามารถเจริญได้ดี เห็นได้ว่าการนำน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตอย่างมาผลิตสาหร่ายเพื่อนำมาใช้ประโยชน์มีแนวโน้มที่จะไม่ประสบความสำเร็จแต่ในด้านของการบำบัดน้ำทิ้งน่าจะสามารถทำได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจากสาหร่ายสารมารถเจริญเติบโตในน้ำทิ้งดั่งกล่าว โดยควรมีการศึกษาคุณสมบัติของน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตยางแผ่นโดยระเอียด (บานชื่น ชลสวัสดิ์ และคณะ, 2540)

(Olguin E.J et al, 2001) ได้ทดลองเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina* ในของเสียจากสุกรกับเลี้ยงในอาหาร Zarrouk ปริมาณผลผลิตที่หลังจากการเพาะเลี้ยงผ่านไป 12 วัน ใกล้เคียงกัน แต่ปริมาณโปรตีนของสาหร่ายที่เลี้ยงในของเสียจากมูลสุกรจะมีปริมาณน้อยกว่าสาหร่ายที่เลี้ยงในอาหาร Zarrouk อย่างมีนัยสำคัญ ส่วนปริมาณไขมันของสาหร่ายที่เลี้ยงในของเสียจากมูลสุกรจะมีปริมาณมากกว่าสาหร่ายที่เลี้ยงในอาหาร Zarrouk อย่างมีนัยสำคัญ

ตารางที่ 1 อิทธิผลของอาหารและความเข้มแสงต่อน้ำหนักแห้งและปริมาณโปรตีนของการเพาะเลี้ยง *Spirulina* sp.

Time (days)	Culture medium	Dry weight(g l^{-1})		Protein(g l^{-1})	
		Light flux (μmol photon m^{-2} s^{-1})			
		66	144	66	144
6	Zarrouk	0.35(±0.029)	0.42(±0.019)	0.19(±0.001)	0.25(±0.011)
	Complex	0.30(±0.007)	0.62(±0.023)	0.13(±0.011)	0.32(±0.003)
12	Zarrouk	0.38(±0.003)	0.67(±0.003)	0.27(±0.009)	0.42(±0.002)
	Complex	0.39(±0.022)	0.77(±0.015)	0.15(±0.015)	0.26(±0.009)

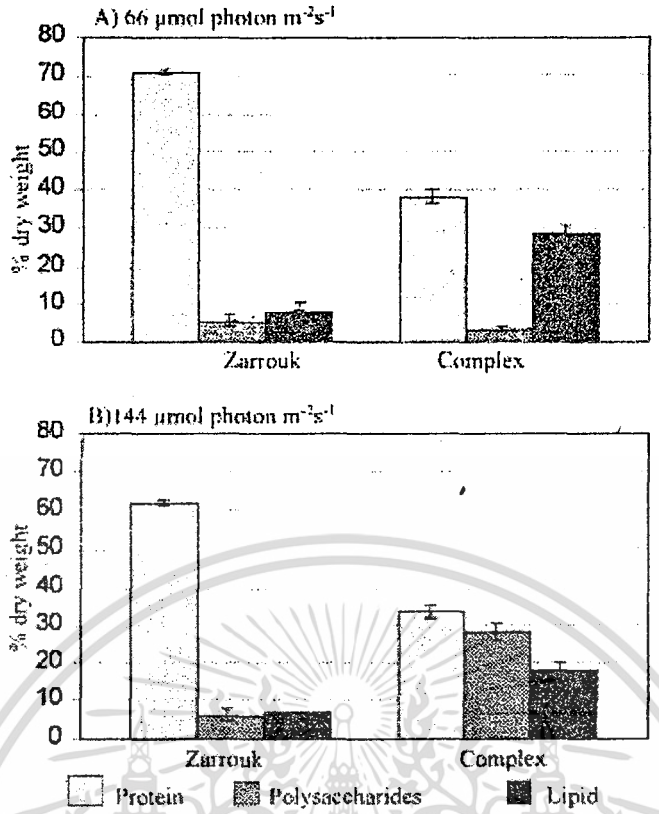
ที่มา : Olguin E.J et al (2001)

ประโยชน์จากสาหร่าย *Spirulina*

ได้มีการนำสาหร่าย *Spirulina* ไปทดลองเลี้ยงลูกไก่ พบว่าอัตราการตายน้อยลง นอกจากนี้ในไก่พันธุ์ไข่เมื่อทำการเลี้ยงด้วยสาหร่าย *Spirulina* ทำให้สีของไข่แดงเข้มขึ้นเนื่องจากมีคาร์โรทีน ซึ่งถูกเปลี่ยนเป็นวิตามินเอ ทางด้านการประมงพบว่าสามารถนำไปใช้ในการเพาะเลี้ยงปลา และกุ้งเป็นผลดี ทำให้เพิ่มน้ำหนักตัวได้มากขึ้นและอัตราการเจริญเติบโตสูง (ฝ่ายวิชาการธนาคารกสิกรไทย. 2533)

เนื่องจากสาหร่าย *Spirulina* มีผนังเซลล์ที่ไม่ใช่เซลล์ลูโลส ทำให้ย่อยง่ายต่างจากสาหร่ายชนิดอื่นๆ จึงเหมาะสำหรับคนไข้ที่เพิ่งฟื้นไข้และคนชราการรับประทานสาหร่าย *Spirulina* จะตัดปัญหาเรื่องไขมันสะสมซึ่งทำให้อ้วน เพราะว่าสาหร่าย *Spirulina* ประกอบด้วยคลอเลสเทอรอลเล็กน้อย ส่วนใหญ่เป็นกรดไขมันไม่อิ่มตัว และยังมีรายงานอีกว่าสาหร่าย *Spirulina* สามารถรักษาโรคเกี่ยวกับตาและเบาหวานได้ (สุชาติ, 2528)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 1 อิทธิผลของอาหารและความเข้มแสงต่อคุณค่าทางอาหารของ *Spirulina*
ที่มา : Olguin E.J et al (2001)

ปุ๋ยหมักจากวัสดุเหลือใช้จากโรงงานผงชูรส

วัสดุเหลือใช้จากโรงงานผงชูรสนับเป็นวัตถุดิบที่มีศักยภาพสูง และมีการนำมาใช้เป็นปุ๋ยอินทรีย์อย่างกว้างขวาง ทั้งการใช้โดยตรงหรือนำไปปรุงแต่งก่อนนำมาใช้โดยส่วยที่นำมาใช้และเป็นที่รู้จักกันดีก็คือ อามิ-อามิ (Ami-Ami) ซึ่งจะมีทั้งชนิดเหลวข้นและเจือจาง อีกส่วนหนึ่งคือ ฮิวมัส ซึ่งเป็นส่วนของอามิ-อามิที่ได้รับการเติมแอมโมเนียมคลอไรด์ (NH_4Cl) เพื่อเพิ่มความเป็นกรดให้สูงขึ้น มีลักษณะเป็นผงละเอียดสีน้ำตาลสามารถนำสารอินทรีย์เหล่านี้ไปใช้ในไร่นาโดยตรง แต่ควรมีการพิจารณาถึงวิธีการใช้ที่ถูกต้องและเหมาะสมกับพืชแต่ละชนิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของ Ami-Ami L และ new Ami-Ami G

ส่วนประกอบ	Ami-Ami L อามิ-อามิ แอล (% กรัมต่อลิตร)	New Ami-Ami G นิวอามิ-อามิ จี (% กรัมต่อลิตร)
ปริมาณไนโตรเจน(total N)	4.68	6.03
โพแทสเซียม (K_2O)	0.27	1.24
แคลเซียม (Ca^{++})	0.28	7.87
โซเดียม (Na^{+})	0.42	1.28
คลอรีน (Cl^{-})	8.45	1.62
ของแข็ง (solid)	27.80	69.84
pH	5.5	6.7
น้ำ (H2O)	72.2	30.2

ที่มา : สมบูรณ์ และคณะ (2543)

มูลสุกร ซึ่งค่อนข้างมีธาตุอาหารหลักอยู่สูงเช่น ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม และมีธาตุอาหารรองคือ แคลเซียม แมกนีเซียม กำมะถัน และธาตุอาหารเสริม เช่น เหล็ก แมงกานีส สังกะสี ทองแดง โบรอน โมลิบดินัม และคลอรีน นอกเหนือจากนั้นยังให้ฮอร์โมนและสารควบคุมการเจริญเติบโต ชนิดต่างๆ ที่จำเป็นสำหรับพืชมากมายอีกด้วย ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 แสดงองค์ประกอบทางเคมี มูลสุกร

ส่วนประกอบของมูลสุกร	ปริมาณ(%)
ไนโตรเจน	1.95
ฟอสฟอรัส	1.76
โพแทสเซียม	0.43
แคลเซียม	1.817
แมกนีเซียม	0.556
กำมะถัน	0.07
เหล็ก	4,630
แมงกานีส	670
สังกะสี	190
ทองแดง	32
โบรอน	54
คลอรีน	9.740

ที่มา www2.doae.go.th//www/work/web/kannika/pate1.html

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุปกรณ์และวิธีการ

การเพาะเลี้ยงสาหร่ายเพื่อนำไปวิเคราะห์ปริมาณสารอาหาร

ก. วัสดุและวิธีการ

1. สาหร่าย *Spirulina* จากห้องเพาะเลี้ยงแพลงค์ตอน ภาควิชาวิทยาศาสตร์การประมง
2. สูตรอาหาร Zarrouk อาหารที่ใช้สำหรับการเพาะเลี้ยงสาหร่าย
3. เครื่องมือที่ใช้ในการวัด
    - 3.1 เครื่อง Spectrophotometer
    - 3.2 เครื่องชั่งละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง

4.อุปกรณ์

- 4.1 ขวดน้ำเกลือ
- 4.2 สายยาง
- 4.3 แท่งแก้ว
- 4.4 กระบอกตวงขนาดต่าง ๆ
- 4.5 ปิเปต
- 4.6 ขั้นวางขวดทดลอง
- 4.7 บีกเกอร์ขนาดต่าง ๆ
- 4.8 ผ้ากรองไนลอน
- 4.9 หัวทราย
- 4.10 ขวดแก้วปากกลมขนาด 10 ลิตร
- 4.11 ถาดอะลูมิเนียม

ข.วิธีการเลี้ยงสาหร่าย

1. การเลี้ยงสาหร่ายเพื่อเป็นสาหร่ายตั้งต้น

นำสาหร่าย *Spirulina* จากห้องเพาะเลี้ยงแพลงค์ตอนวิทยา ภาควิชาวิทยาศาสตร์การประมง มาทำการเพาะเลี้ยงในสูตรอาหาร Zarrouk เป็นเวลา 1 สัปดาห์ เพื่อใช้เป็นสาหร่ายตั้งต้น โดยนำสาหร่ายที่เตรียมมาใส่ลงในขวดน้ำเกลือขนาด 1 ลิตร ที่มีอาหารสูตร Zarrouk ความเข้มข้น 100% โดยปริมาณสาหร่ายตั้งต้น 10% ติดตั้งอุปกรณ์ให้อากาศตลอดเวลา เพื่อให้เกิดการหมุนเวียนของน้ำและป้องกันไม่ให้สาหร่ายตกตะกอน ทำการเพาะเลี้ยงสาหร่าย ซึ่งมีอุณหภูมิประมาณ 25 องศาเซลเซียส โดยมีการให้แสงตลอดเวลา หลังจากนั้นนำมาเพาะเลี้ยงในอาหารต่างๆ โดยการวัดคลอโรฟิลล์และวัดน้ำหนักแห้งทุกๆ 2 วัน

2. เตรียมอาหารที่ใช้เพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina* ในอาหารสูตร ปุ๋ย, ปุ๋ยผสมอามิ และปุ๋ยผสมมูลสุกร ทำการทดลองขั้นต้นโดยเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina* ในอาหารสูตรปุ๋ยผสมอามิโดยที่ความ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เข้มข้นของอามิ 0.1มิลลิลิตรต่อลิตร, 0.3 มิลลิลิตรต่อลิตร, 0.5มิลลิลิตรต่อลิตร, 0.7มิลลิลิตรต่อลิตร และ 1มิลลิลิตรต่อลิตร ผลที่ได้คือสาหร่ายสามารถเจริญเติบโตได้ดีทุกความเข้มข้น ส่วนในอาหารสูตรปุ๋ยผสมมูลสุกรทำการทดลองเลี้ยงขั้นต้นที่ความเข้มข้นของมูลสุกร 0.5 กรัมต่อลิตร, 1 กรัมต่อลิตร, 2 กรัมต่อลิตร, 5 กรัมต่อลิตร และ 7.5 กรัมต่อลิตร ผลที่ได้สาหร่ายสามารถเจริญเติบโตได้ดีในทุกความเข้มข้น จึงเลือกเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina* ในอาหารทั้ง 2 สูตรที่ความเข้มข้น 3 ระดับ และใช้ปุ๋ยเป็นตัวควบคุม คือ

สูตรปุ๋ย โดยทำการเพาะเลี้ยงในโหลแก้วที่มีปริมาตร 10 ลิตรในสภาวะแวดล้อมปกติ

สูตรปุ๋ย+อามิเข้มข้น 0.1 มิลลิลิตรต่อลิตร โดยทำการเพาะเลี้ยงในโหลแก้วที่มีปริมาตร 10 ลิตรในสภาวะแวดล้อมปกติ

สูตรปุ๋ย+อามิเข้มข้น 0.5 มิลลิลิตรต่อลิตร โดยทำการเพาะเลี้ยงในโหลแก้วที่มีปริมาตร 10 ลิตรในสภาวะแวดล้อมปกติ

สูตรปุ๋ย+อามิเข้มข้น 1.0 มิลลิลิตรต่อลิตร โดยทำการเพาะเลี้ยงในโหลแก้วที่มีปริมาตร 10 ลิตรในสภาวะแวดล้อมปกติ

สูตรปุ๋ย+มูลสุกรเข้มข้น 0.5 กรัมต่อลิตร โดยทำการเพาะเลี้ยงในโหลแก้วที่มีปริมาตร 10 ลิตรในสภาวะแวดล้อมปกติ

สูตรปุ๋ย+มูลสุกรเข้มข้น 2.0 กรัมต่อลิตร โดยทำการเพาะเลี้ยงในโหลแก้วที่มีปริมาตร 10 ลิตรในสภาวะแวดล้อมปกติ

สูตรปุ๋ย+มูลสุกรเข้มข้น 7.5 กรัมต่อลิตร โดยทำการเพาะเลี้ยงในโหลแก้วที่มีปริมาตร 10 ลิตรในสภาวะแวดล้อมปกติ

3. การเก็บเกี่ยวและการทำแห้ง

การเก็บเกี่ยวสาหร่าย *Spirulina* โดยวิธีการกรอง นำสาหร่ายไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส สาหร่ายที่แห้งแล้วจะมีลักษณะเป็นแผ่นเล็ก ๆ นำไปบดให้เป็นผงเก็บไว้ในถุงพลาสติก เพื่อวิเคราะห์หาโปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต ความชื้น เถ้า แคลเซียม ฟอสฟอรัส

การวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการของสาหร่าย

1. ความชื้น โดยวิธีการอบแห้ง (Drying Methods)

1.1 อุปกรณ์

1.1.1 ตู้อบแห้ง (Drying Oven)

1.1.2 ถ้วยครูซิเบล

1.1.3 โถดูดความชื้น

1.1.4 เครื่องชั่งละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง

1.1.5 คีมจับ (Tong)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 วิธีการทดลอง

1.2.1 เตรียมถ้วยครูซิเบลที่ล้างสะอาดแล้วนำมาอบในเตาอบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสนาน 2 ชั่วโมง นำออกจากเตาอบเข้าใส่ในโถดูดความชื้น ทิ้งให้เย็น แล้วนำมาชั่งจนได้น้ำหนักที่แน่นอน

1.2.2 ชั่งตัวอย่างให้ได้น้ำหนักประมาณ 2 กรัม ใส่ถ้วยครูซิเบลที่ทราบน้ำหนักแน่นอนแล้ว

1.2.3 นำไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง

1.2.4 นำตัวอย่างออกจากตู้อบแล้วทิ้งไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้น เมื่อเย็นแล้วนำมาชั่งน้ำหนัก

1.2.5 นำไปคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ความชื้น

1.3 การคำนวณหาปริมาณความชื้น

$$\text{ความชื้น (\%)} = \frac{(A-B) \times 100}{W}$$

เมื่อ A = น้ำหนักถ้วยครูซิเบล + ตัวอย่างก่อนอบ

B= น้ำหนักถ้วยครูซิเบล + ตัวอย่างหลังอบ

W=น้ำหนักตัวอย่างที่ใช้ในหารวิเคราะห์

2. การวิเคราะห์เถ้าทั้งหมด

2.1 อุปกรณ์

2.1.1 ถ้วยกระเบื้อง (Crusible)

2.1.2 Hot plate

2.1.3 ตู้ควัน (Fume cupboard)

2.1.4 เตาเผา (Muffle furnace)

2.1.5 คีมคีบ (Tong)

2.1.6 ถุงมือกันความร้อน

2.1.7 โถดูดความชื้น (Desicator)

2.1.8 เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง

2.2 วิธีการ

2.2.1 เผา Crusible ที่สะอาดและแห้งในเตาเผาที่อุณหภูมิ 450–600 องศาเซลเซียส นาน 1-2 ชั่วโมง ปล่อยให้เย็นในโถดูดความชื้น แล้วชั่งเพื่อให้ทราบน้ำหนักที่แน่นนอน

2.2.2 นำตัวอย่างที่ต้องการวิเคราะห์จำนวนประมาณ 2-3 กรัม ใส่ลงใน Crusible

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.3 เปิดพัดลมในตู้ดูดควันแล้วนำตัวอย่างอาหารใน Crusible เข้าไปในตู้ดูดควันโดยใช้ Hot plate

2.2.4 นำ Crusible พร้อมตัวอย่างที่ไหม้แล้วเข้าไปเผาต่อในเตาเผาที่อุณหภูมิ 450-600 องศาเซลเซียส เผาจนเถ้าเป็นสีขาวหรือสีเทาอ่อน ปกติใช้เวลา 1 ชั่วโมงครึ่ง - 2 ชั่วโมง ถ้าเถ้าไม่เป็นสีขาว ให้หยดแอมโมเนียมคาร์บอเนต 2-3 หยด

ลงบนเถ้า ระเหยให้แห้งแล้วเผาต่อในเตาเผาจนได้เถ้าสีขาว

2.2.5 ใช้ครีมคีบ Crusible ไปทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้นแล้วนำไปชั่งน้ำหนักอย่างละเอียด

2.3 คำนวณ

$$\% \text{ เถ้าทั้งหมดในตัวอย่างแห้ง} = \frac{(A-B) \times 100}{W}$$

เมื่อ A = น้ำหนัก Crusible ที่เย็น + น้ำหนักเถ้าที่ได้หลังจากการเผา

B = น้ำหนัก Crusible

W = น้ำหนักตัวอย่างที่ใช้วิเคราะห์

(%สิ่งแห้ง (Dry matter) = 100 - % ความชื้น)

3. การวิเคราะห์ฟอสฟอรัสในอาหารโดยวิธี Spectrophotometry

3.1 อุปกรณ์

3.1.1 Volumetric flask ขนาด 1 ลิตร และ 100 มิลลิลิตร

3.1.2 Volumetric pipet ขนาด 25 มิลลิลิตร

3.1.3 บีกเกอร์ขนาด 250 มิลลิลิตร

3.1.4 Graduated pipet ขนาด 10 มิลลิลิตร

3.1.5 Graduated test ขนาด 10 มิลลิลิตร พร้อมฝาปิด 6หลอด

3.1.6 Spectrophotometer, cuvet

3.2 สารเคมี

3.2.1 Molybdovanadate reagent

3.2.1.1 ละลาย 20 กรัม แอมโมเนียมโมลิบเดท ในน้ำกลั่น 200 มิลลิลิตร (solution A)

3.2.1.2 ละลาย 1 กรัม แอมโมเนียมเมตเมต้าวาเดทในน้ำกลั่นร้อน125 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้ให้เย็น แล้วเติม 225 มิลลิลิตร 70% กรดเปอร์คลอริก (solution B)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.1.3 ค่อย ๆ ริน solution A ลงใน solution B ช้า ๆ คนให้เข้ากันปรับให้มีปริมาตร 1 ลิตร ด้วยน้ำกลั่น

3.2.2 Phosphorous standard stock solution

ละลายโปแตสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต (KH_2PO_4)ที่บริสุทธิ์และแห้งหนัก 0.4394 กรัม ในน้ำกลั่นแล้วทำให้ได้ปริมาตร 1 ลิตร

3.2.3 HCL 50% (v/v)

3.3 วิธีการทดลอง

การเตรียมสารละลายมาตรฐาน

3.3.1 ละลายโปแตสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต (KH_2PO_4)ที่บริสุทธิ์และแห้งหนัก 0.4394 กรัม ในน้ำกลั่นแล้วทำให้ได้ปริมาตร 1 ลิตร (1 มิลลิลิตร ของสารละลายที่ทำให้เจือจางแล้วนี้จะมีความเข้มข้นของฟอสฟอรัส 0.10 มิลลิกรัม)

3.3.2 เตรียมสารละลายมาตรฐานของโปแตสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต ให้มีความเข้มข้นที่ 0 , 1 , 2 , 3 , 4 , 5 , 6 พีพีเอ็ม ตามลำดับ แล้วเติม molybdovanadate reagent 10 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นให้มีปริมาตร 50 มิลลิลิตร นำสารละลายที่ได้ไปวัดค่าการดูดกลืนแสง (% absorance) ด้วยเครื่องSpectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 400 นาโนเมตรเขียนกราฟมาตรฐาน โดยให้ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานอยู่บนแกน X และค่าการดูดกลืนแสง (absorbance) อยู่บนแกน Y หาปริมาณของฟอสฟอรัสในสารละลายตัวอย่างได้โดยการอ่านค่าจากเส้นกราฟมาตรฐาน

3.4 ละลายตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์

3.4.1 ถ่ายเถ้าที่ได้จากการเผาลงในบีกเกอร์ขนาด 250 มิลลิลิตร โดยใช้กรดเจือจาง (HCL 50%) และน้ำกลั่นร้อนช่วยล้างเถ้าในครูซิเบิล เติมน้ำกลั่นปรับปริมาตรให้ได้ 75 มิลลิลิตร

3.4.2 ต้มให้เดือดช้า ๆ บน hot plate ระเหยน้ำให้เหลือประมาณ 50 มิลลิลิตร ซึ่งจะใช้เวลาประมาณ 45 นาที – 1 ชั่วโมง

3.4.3 กรองสารละลายใส่ Erlenmeyer flask 250 มิลลิลิตร โดยใช้กระดาษกรองที่ไม่มีเถ้าใช้น้ำกลั่นร้อนล้างตะกอนลงบนกระดาษกรอง

3.4.4 ทิ้งให้เย็นแล้วเติมน้ำกลั่นลงใน Erlenmeyer flask ที่มีสารละลายข้างต้น ปรับปริมาตรให้ได้ 250 มิลลิลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.5 ใช้ปิเปตดูดสารละลายข้างต้นมา 2 มิลลิลิตร ลงใน Erlenmeyer flask ขนาด 50 มิลลิลิตร และเติม Molybdovanadate reagent 10 มิลลิลิตร

3.4.6 เขย่าให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ 10 นาที เพื่อให้เกิดสีเหลืองแล้วนำไปวัดค่า %absorbance โดยใช้เครื่อง spectrophotometer ที่ 400 นาโนเมตร.

3.4.7 อ่านค่าฟอสฟอรัสในตัวอย่างอาหารจากกราฟมาตรฐาน

3.5 การคำนวณ

% Phosphorous ในอาหาร = $\frac{\text{ความเข้มข้นของแร่ธาตุที่อ่านได้จากกราฟ} \times 25 \times 250 \times 100}{1000 \times \text{น้ำหนักอาหาร (มิลลิกรัม)}}$

4. การวิเคราะห์แคลเซียม

4.1 อุปกรณ์

4.1.1 ถ้วยครูซิเบิล (Porcelain evaporating dish หรือ crucible)

4.1.2 Hot plate

4.1.3 Muffle furmance

4.1.4 Burette

4.1.5 แท่งแก้วคนสาร

4.1.6 Volumetric flask ขนาด 250 มิลลิลิตร

4.1.7 น้ำกลั่น

4.1.8 ปิเปต ขนาด 50 มิลลิลิตร และขนาดอื่น ๆ

4.1.9 บีกเกอร์ขนาด 250 มิลลิลิตร และบีกเกอร์สำหรับกรอง

4.1.10 กระจกนาฬิกา

4.1.11 กระดาษกรองเบอร์ 40

4.2 สารเคมี

4.2.1 NO_3 conc

4.2.2 6 N HCl

4.2.3 HCl 50 %

4.2.4 H_2SO_4 conc

4.2.5 สารละลาย NH_4OH conc

4.2.6 Ammonium oxalate 4%

4.2.7 Potassium permanganate 0.05 N

4.2.8 Ammonium hydroxide เจือจาง

4.2.9 Methyl red

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.10 ยูเรีย

4.2.11 Calcium chloride

4.3 วิธีการทดลอง

4.3.1 ชั่งตัวอย่างอาหารโดยให้มีแคลเซียมในอาหารอยู่อย่างน้อย 5 มิลลิกรัม (ประมาณ 0.3 กรัมของอาหาร) ลงใน crucible นำไปเผาบน hot plate จนแห้ง

4.3.2 นำไปเผาต่อในเตาเผา โดยค่อยเร่งอุณหภูมิไปที่ 550 องศาเซลเซียส ทำการเผาเป็นระยะเวลา 3-4 ชั่วโมง

4.3.3 นำออกจากเตาเผา ทิ้งไว้ให้เย็นและทำให้ชื้นด้วยกรดไนตริก โดยใช้แท่งแก้วค่อย ๆ หยดพอชื้น ตั้งบน hot plate จนแห้ง

4.3.4 นำหลับไปเผาที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส อีกเป็นเวลาครึ่งชั่วโมง ถ้าหากเถ้าที่ได้ยังไม่ขาวให้เติมกรดไนตริกอีก ทิ้งไว้ให้เย็นแล้วเผาซ้ำอีกครั้งจนกระทั่งได้เถ้าสีขาว

4.3.5 นำเถ้าที่ได้จากการเผามาใส่ HCl 50% จำนวน 10 มิลลิลิตร

4.3.6 นำไปตั้งบน hot plate ต้มเพื่อให้เถ้าละลายให้หมด ใช้แท่งแก้วคน (ควรเปิดไฟอ่อน ๆ ขนาดเบอร์ 1-1.5)

4.3.7 ถ่ายสารละลายลงใน volumetric flask ขนาด 250 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น

4.3.8 ปิเปตสารละลายมา 50 มิลลิลิตร ลงในบีกเกอร์ขนาด 50 มิลลิลิตร หยด methyl red 1-2 หยด (เป็นกรด มีสีส้มแดง) ทำให้เป็นกลางด้วย NH_4OH conc. จนสารละลายมีสีเหลืองอ่อน ๆ ของ methyl red

4.3.9 เติม 6 N HCl จำนวน 1.5 มิลลิลิตร ยูเรีย 5 กรัม และ ammonium oxalate 4% จำนวน 5 มิลลิลิตร ลงไปบีกกอร์

4.3.10 ปิดเบีกเกอร์ด้วยกระจกนาฬิกา นำไปต้มจนสารละลายเปลี่ยนเป็นสีส้มหรือขาวทิ้งไว้ให้เย็น กรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 40 ล้างตะกอนด้วยแอมโมเนียมเจือจางจนหมด oxalate (ทดสอบโดยหยด $Cacl_2$ ในน้ำล้างถ้ายังเกิดตะกอนแสดงว่า oxalate ยังไม่หมด)

4.3.11 เอาบีกเกอร์ใบเดิมที่ใช้ตกตะกอน รองใต้กระดาษกรอง เจาะกระดาษกรองให้เป็นรูล้างด้วยน้ำกลั่นจนหมดตะกอนแล้วเติม H_2SO_4 conc. จำนวน 2.5 มิลลิลิตร นำไปอุ่นในHot plate ที่ 85 องศาเซลเซียส

4.3.12 นำมาไตเตรตกับ potassium permanganate 005 N จนได้สารละลาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สีชมพูจางๆ ปรากฏอยู่นานไม่ต่ำกว่า 30 วินาที แสดงว่าถึงจุด end point

4.4 คำนวณหา %Ca

1 ml. ของ 0.05 $KMnO_4$ = 0.01 กรัมของแคลเซียม

$$\% Ca = \frac{ml. \times 0.01 \times 100 \times 5}{W}$$

ml = จำนวนของ $KMnO_4$

W = จำนวนน้ำหนักของอาหารที่วิเคราะห์

5. การวิเคราะห์ไขมัน

5.1 อุปกรณ์

5.1.1 เครื่องสกัดไขมันแบบ Soxlet (Soxlet apparatus)

5.1.2 Flask ก้นกลม Extraction thimble

5.1.3 สำลี , กระดาษกรอง

5.1.4 โถดูดความชื้นและตู้อบ

5.1.4 กระดาษฟรอยด์

5.2 สารเคมี

5.2.1 Petroleum ether

5.3 วิธีการทดลอง

5.3.1 นำ flask ก้นกลมที่สะอาดไปอบในตู้ที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส ทิ้งให้เย็นเป็นเวลา 3 ชั่วโมงในโถดูดความชื้นแล้วนอกมาชั่งให้ได้น้ำหนักคงที่

5.3.2 ชั่งสารตัวอย่างให้มีน้ำหนัก 1.5 กรัม ห่อด้วยกระดาษกรอง แล้วใส่ลงใน Extraction thimble (ตัวอย่างและ Extraction thimble ที่ใช้ควรผ่านการอบไล่ความชื้นออก) อุดด้วยสำลีที่ปราศจากไขมัน จากนั้นนำใส่ลงในชุด Soxlet

5.3.3 เติม Petroleum ether ลงใน flask ก้นกลม 150 มิลลิลิตร ปิด Condenser ด้วยสำลีและหุ้มด้วยกระดาษฟรอยด์

5.3.4 เปิด Cooling bath โดยตั้งอุณหภูมิที่ 5-10 องศาเซลเซียส

5.3.5 เปิดเครื่องมือให้ความร้อน โดยเริ่มแรกให้หมุนปุ่มไปที่ตำแหน่งให้ความร้อน 3 (การปรับตำแหน่งระดับของความร้อนที่ใช้ ให้สังเกตจากการเดือดของสารละลาย โดยสารละลายควรเดือดในระดับที่สมดุลกับการกลั่นตัวของไอ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

99840

5.3.6 การสกัดใช้เวลาประมาณ 4-6 ชั่วโมง ก็สามารถสกัดไขมันจากตัวอย่างอาหารได้หมดจากนั้นนำ thimble ออกจากชุด soxlet

5.3.7 กลั่นเก็บ solvent ต่อ จนกระทั่ง petroleum ether ใน flask ก้นกลมเกือบหมด

5.3.8 นำ flask ก้นกลมที่มีไขมันอบในตู้ที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที ทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้นแล้วชั่งน้ำหนัก

5.4 การคำนวณปริมาณไขมัน

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

a = น้ำหนักของขวดแก้วก้นแบน

b = น้ำหนักของขวดแก้วก้นแบนและ ether extract หลังอบ

w = น้ำหนักของตัวอย่างอาหาร

6. การวิเคราะห์คาร์โบไฮเดรต

6.1 อุปกรณ์

6.1.1 หลอดทดลองขนาด 20 มิลลิลิตร

6.1.2 Vortex

6.1.3 เครื่องวัด spectrophotometer

6.2 สารเคมี

6.2.1 Phenol 5 %

6.2.2 H_2SO_4 conc

6.2.3 glucose standard

6.3 วิธีการทดลอง

การเตรียมสารละลายมาตรฐาน

เตรียมสารละลายกลูโคสที่ความเข้มข้น 200 ไมโครกรัม/ 100 มิลลิลิตร

เตรียมสารละลายมาตรฐานกลูโคสให้มีความเข้มข้น 0,10,20,40,60,80,100 ไมโครกรัม/ มิลลิลิตร ตามลำดับ เติม phenol 5 % 1 ml เขย่าเติม H_2SO_4 conc 10 มิลลิลิตร เขย่าแล้วทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 30 นาทีนำสารละลายที่ได้ไปวัดค่าการดูดกลืนแสง (%absorbance) ด้วยเครื่อง Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 485 นาโนเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวิเคราะห์ตัวอย่าง

ชั่งตัวอย่าง ประมาณ 0.0001-0.0009 กรัม เติม phenol 5% 1 มิลลิลิตร เขย่า เติม H_2SO_4 conc 10 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 30 นาที จากนั้นนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสง(% absorbance) ด้วยเครื่อง Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 485 นาโนเมตร

6.4 วิธีการคำนวณ

$$\% \text{ Carbohydrate} = \frac{\text{slope x total volumn x } OD_{485} \text{ x100}}{\text{น้ำหนักแห้งx1x1000}}$$

7. การหาปริมาณโปรตีนด้วยวิธี Lowry's method

7.1 อุปกรณ์

7.1.1 หลอดทดลองขนาด 10 มิลลิลิตร

7.1.2 ปิเปตขนาด 1 มิลลิลิตร

7.1.3 ปิเปตขนาด 5 มิลลิลิตร

7.1.4 Vortex

7.1.5 เครื่อง Spectrophotometer

7.2 สารเคมี

7.2.1 1 N NaOH

7.2.2 reagent A (5% Na_2CO_3)

7.2.3 reagent B (1% $CuSO_4.5H_2O$)

7.2.4 reagent C (2% $NaKC_4H_6O_6.4H_2O$)

7.2.5 reagent D (ผสม A 50 ml. + B 1 ml. + C 1 ml.)

7.2.6 Folin-Ciocalteau reagent (เจือจาง 1:1)

7.3 วิธีการ

7.3.1 ใส่ตัวอย่าง 0.0010 กรัม ลงในหลอดทดลอง เติม 1 N NaOH จำนวน 0.5 มิลลิลิตรลงในตัวอย่าง แล้วนำไปต้มเป็นเวลา 20 นาที

7.3.2 เติม reagent D จำนวน 2.5 มิลลิลิตร เขย่าด้วย vortex ทิ้งไว้ 10 นาที

7.3.3 เติม Folin-Ciocaleau 0.5 มิลลิลิตร เขย่าด้วย vortex ทิ้งไว้ 30 นาที

7.3.4 วัดการดูดกลืนแสงที่ 750 นาโนเมตร

7.4 เตรียม standard curve จาก bovine serum albumin (BSA) เตรียมสารละลายมาตรฐานที่ความเข้มข้น 0, 10, 20, 40, 60, 80, 100, 150, 200, 300 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร แล้วเติม 1 N NaOH 0.5 มิลลิลิตร เติม reagent D จำนวน 2.5 มิลลิลิตร ทิ้งไว้ 10 นาที แล้วเติม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Folin-Ciocaleau 0.5 มิลลิลิตร เขย่าทิ้งไว้ 30 นาที นำสารละลายที่ได้ไปวัดการดูดกลืนแสง (%absorbance) ด้วยเครื่องSpectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 750 นาโนเมตร เขียนกราฟมาตรฐาน โดยให้ความเข้มแสงของสารละลายมาตรฐานอยู่บนแกน X และค่าการดูดกลืนแสง (absorbance) อยู่บนแกน Y หาปริมาณของโปรตีนสารละลายตัวอย่างได้โดยการอ่านค่าจากเส้นกราฟมาตรฐาน

7.5 การคำนวน

$$\% \text{ Protein} = \frac{\text{slope X OD X ตัวอย่าง X 100}}{\text{dry weight X 1000}}$$

การวิเคราะห์ข้อมูล

เปรียบเทียบผลทางสถิติโดยวิธี one – ways anova โดยโปรแกรม SPSS

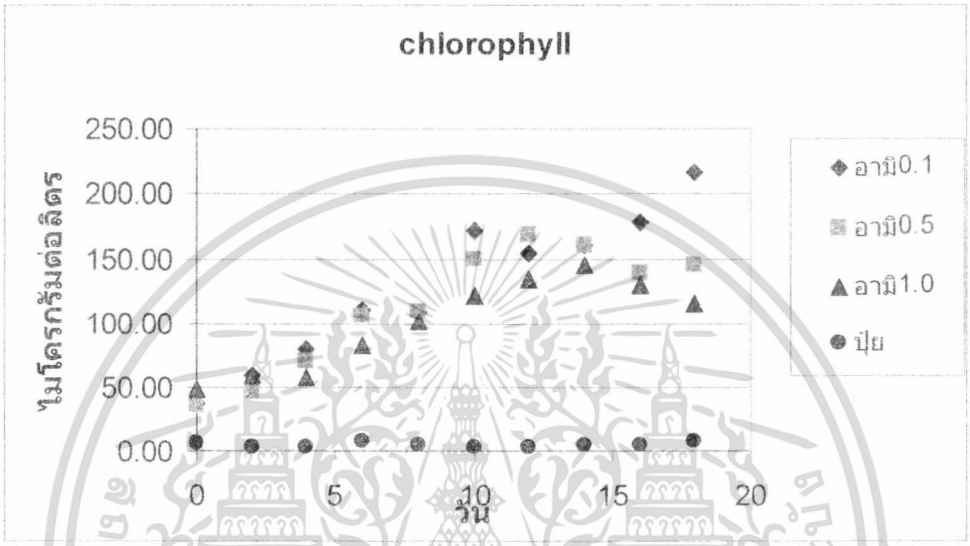
สถานที่ทำการทดลอง

ภาควิชาวิทยาศาสตร์การประมง สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

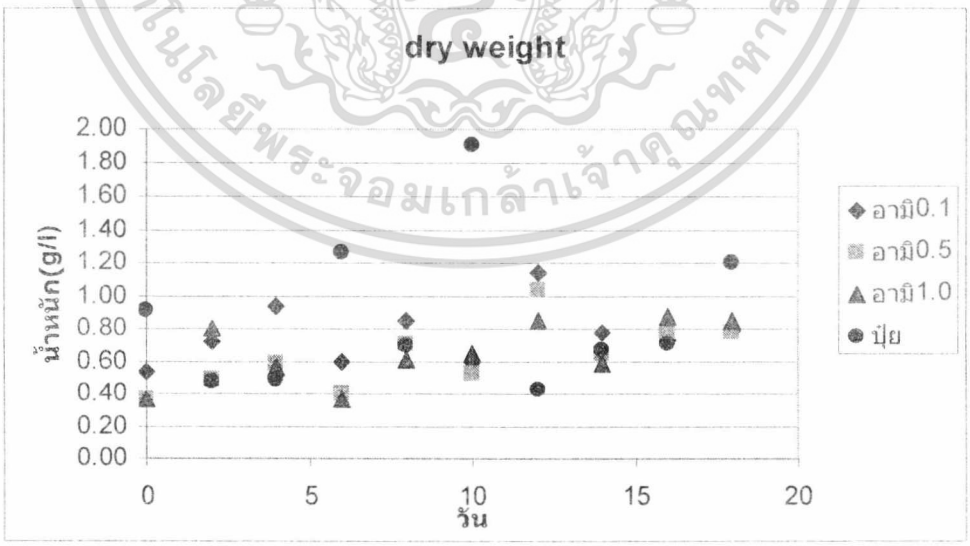
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลอง

สาหร่าย *Spirulina* ที่เลี้ยงในอาหารสูตรปุ๋ยผสมอามิ ที่ความเข้มข้น 0.1 มิลลิลิลิตรต่อลิตร มีปริมาณคลอโรฟิลล์ในวันสุดท้ายมากที่สุดและมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับความเข้มข้นต่างๆดังภาพที่ 2 ปริมาณน้ำหนักแห้งในวันสุดท้ายที่ความเข้มข้นต่างๆ ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญและมีปริมาณมากที่สุดในวันที่ 12 ดังภาพที่ 3



ภาพที่ 2 กราฟปริมาณคลอโรฟิลล์ของสาหร่าย *Spirulina* ที่เลี้ยงในปุ๋ยและปุ๋ยผสมอามิที่ความเข้มข้นต่างๆ

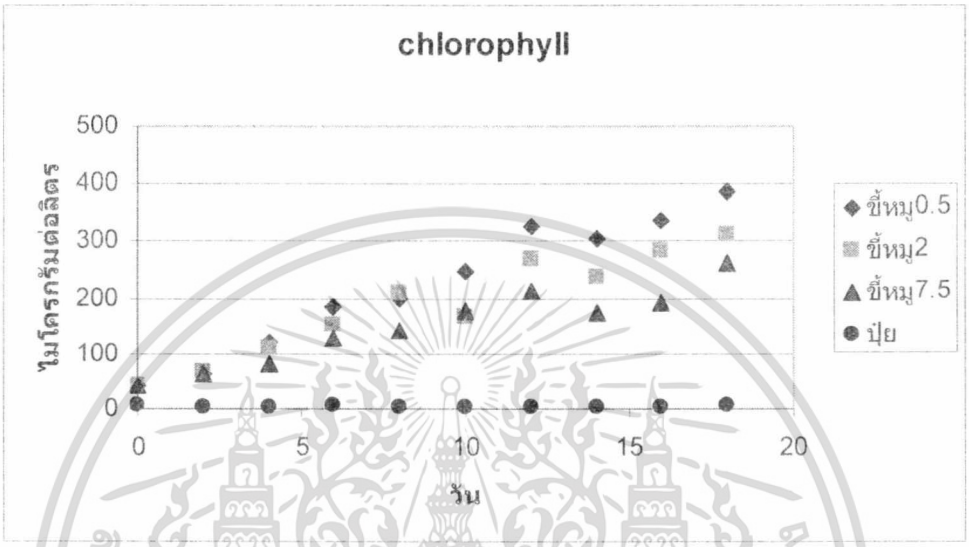


ภาพที่ 3 กราฟปริมาณน้ำหนักแห้งของสาหร่าย *Spirulina* ที่เลี้ยงในปุ๋ยและปุ๋ยผสมอามิที่ความเข้มข้นต่างๆ

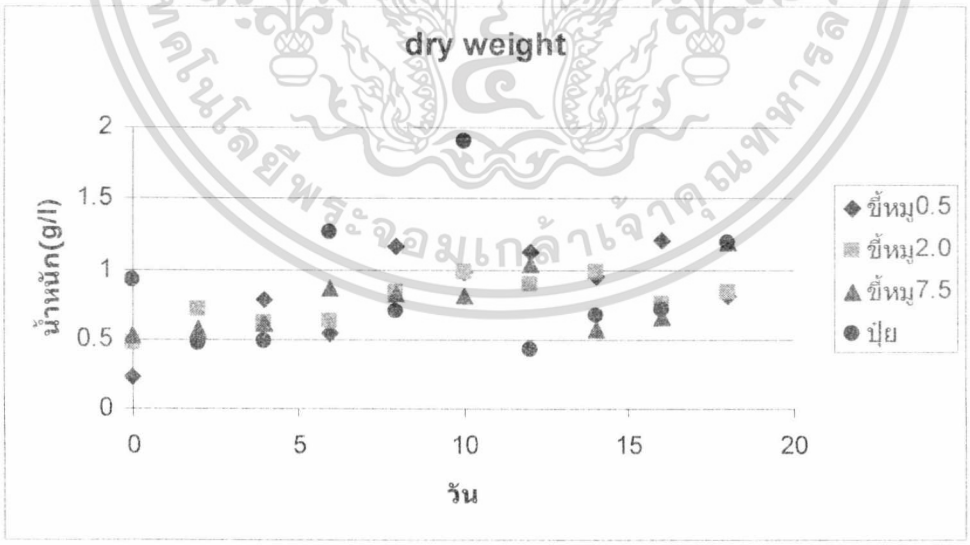
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ห้องสมุดคณะเทคโนโลยีการเกษตร
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าฯ เจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ส่วนอาหารสูตรปุ๋ยผสมมูลสุกรปริมาณคลอโรฟิลล์มากที่สุดที่ความเข้มข้น 0.5 กรัมต่อลิตร ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับความเข้มข้นอื่น ดังตารางที่ 4 ปริมาณน้ำหนักแห้งมากที่สุดที่ความเข้มข้น 7.5 กรัมต่อลิตรมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับความเข้มข้นอื่น ดังภาพที่ 5



ภาพที่ 4 กราฟปริมาณคลอโรฟิลล์ของสาหร่าย *Spirulina* ที่เลี้ยงในปุ๋ยและปุ๋ยผสมมูลสุกรที่ความเข้มข้นต่างๆ



ภาพที่ 5 กราฟปริมาณน้ำหนักแห้งของสาหร่าย *Spirulina* ที่เลี้ยงในปุ๋ยและปุ๋ยผสมมูลสุกรที่ความเข้มข้นต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คุณค่าทางโภชนาการของสาหร่าย *Spirulina*

ในอาหารสูตรปุ๋ยผสมอามิมีปริมาณเฉลี่ยคิดเป็นร้อยละของน้ำหนักแห้งที่ความเข้มข้น 1 มิลลิลิตรต่อลิตร ให้ปริมาณโปรตีน 49.65±0.32 ไขมัน 0.65±0.01 คาร์โบไฮเดรต 11.04±0.65 แคลเซียม 3.85±0.34 ฟอสฟอรัส 0.06±0.00 ความเข้มข้น 0.5 มิลลิลิตรต่อลิตร ให้ปริมาณโปรตีน48.56±0.50 ไขมัน 0.73±0.07 คาร์โบไฮเดรต 13.10±0.71แคลเซียม 4.08±0.69 ฟอสฟอรัส 0.05±0.00 และที่ความเข้มข้น 0.1 มิลลิลิตรต่อลิตร ให้ปริมาณโปรตีน 45.11±0.41 ไขมัน 0.77±0.06 คาร์โบไฮเดรต 11.35±0.44 แคลเซียม 3.39±0.15 ฟอสฟอรัส 0.04±0.00

ปริมาณโปรตีนที่ความเข้มข้น 1 มิลลิลิตรต่อลิตร ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับความเข้มข้น 0.5 มิลลิลิตรต่อลิตร โดยที่ความเข้มข้น 1 มิลลิลิตรต่อลิตรให้ปริมาณโปรตีนมากที่สุด ส่วนปริมาณไขมันและแคลเซียมของทั้ง 3 ความเข้มข้นไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญโดยที่ความเข้มข้น 0.1 มิลลิลิตรต่อลิตร มีปริมาณไขมันมากที่สุดและที่ความเข้มข้น 0.5 มิลลิลิตรต่อลิตรมีปริมาณแคลเซียมมากที่สุดดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 แสดงคุณค่าทางอาหารของสาหร่าย *Spirulina* ที่เลี้ยงในอาหารปุ๋ยและปุ๋ยผสมอามิ

คุณค่าทางโภชนาการ	ปุ๋ย	ปุ๋ยผสมอามิ 0.1 ml/l	ปุ๋ยผสมอามิ 0.5 ml/l	ปุ๋ยผสมอามิ 1 ml/l
Protein	41.70±0.27^{a}	45.11±0.41^{b}	48.56±0.50^{c}	49.65±0.32^{c}
Lipid	0.87±0.17^{a}	0.77±0.06^{a}	0.73±0.07^{a}	0.65±0.01^{a}
Carbohydrate	46.26±0.45^{b}	11.35±0.44^{a}	13.10±0.71^{a}	11.04±0.65^{a}
Phosphorous	0.04±0.00^{a}	0.05±0.00^{b}	0.05±0.00^{b}	0.06±0.00^{c}
calcium	2.93±0.04^{a}	3.39±0.15^{a}	4.08±0.69^{a}	3.85±0.34^{a}
Fiber	7.56±0.61^{c}	6.01±0.58^{c}	8.76±0.36^{a}	1.99±0.49^{b}
ash	8.70±0.06^{a}	43.03±0.31^{b}	43.57±0.13^{c}	41.92±0.26^{b}

ตัวอักษร (a,b,c,d) ในแนวนอนเดียวกันที่แตกต่างกันคือ มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สาหร่าย *Spirulina* ที่เลี้ยงในปุ๋ยผสมมูลสุกรมีปริมาณคุณค่าทางโภชนาการเฉลี่ยคิดเป็นร้อยละของน้ำหนักแห้งที่ความเข้มข้น 0.5 กรัมต่อลิตร ให้ปริมาณโปรตีน 69.73±0.14 ซึ่งให้โปรตีน ไขมัน 1.51±0.03 คาร์โบไฮเดรต 23.56±0.49 แคลเซียม 2.76±0.00 ฟอสฟอรัส 0.04±0.00ความเข้มข้น 2.0 กรัมต่อลิตร ให้ปริมาณโปรตีน 67.74±0.41 ไขมัน 1.77±0.29 คาร์โบไฮเดรต 22.22±0.83 แคลเซียม 2.18±0.09 ฟอสฟอรัส 0.02±0.00และที่ความเข้มข้น 7.5 กรัมต่อลิตร ให้ปริมาณโปรตีน 63.19±0.40 ไขมัน 1.86±0.224 คาร์โบไฮเดรต 22.33±0.95 แคลเซียม 2.93±0.03 ฟอสฟอรัส 0.04±0.00

ปริมาณโปรตีนที่ความเข้มข้น 0.5 กรัมต่อลิตรมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับความเข้มข้นอื่น โดยที่ความเข้มข้น 0.5 กรัมต่อลิตรให้ปริมาณโปรตีนมากที่สุด ปริมาณไขมันกับปริมาณคาร์โบไฮเดรตของทั้ง 3 ความเข้มข้นไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญโดยที่ความเข้มข้น 7.5 กรัมต่อลิตร มีปริมาณไขมันมากที่สุดและปริมาณคาร์โบไฮเดรตที่ความเข้มข้น 0.5 มิลลิลิตรต่อลิตรมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตมากที่สุดดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 แสดงคุณค่าทางอาหารของสาหร่าย *Spirulina* ที่เลี้ยงในอาหารปุ๋ยและปุ๋ยผสมมูลสุกร

คุณค่าทางโภชนาการ	ปุ๋ย	ปุ๋ยผสมมูลสุกร 0.5 g/l	ปุ๋ยผสมมูลสุกร 2.0 g/l	ปุ๋ยผสมมูลสุกร 7.5 g/l
Protein	42.70±0.27^{a}	69.73±0.14^{d}	67.74±0.41^{c}	63.19±0.40^{b}
Lipid	0.87±0.17^{c}	1.51±0.03^{ab}	1.77±0.29^{b}	1.86±0.22^{b}
Carbohydrate	46.26±0.45^{b}	23.56±0.49^{a}	22.22±0.83^{a}	22.33±0.95^{a}
phosphorous	0.04±0.00^{b}	0.02±0.00^{a}	0.02±0.00^{a}	0.04±0.00^{b}
calcium	2.93±0.04^{ab}	2.76±0.00^{a}	2.81±0.09^{ab}	2.93±0.03^{b}
Fiber	7.56±0.61^{bc}	3.63±0.35^{a}	5.66±1.12^{ab}	9.31±0.56^{c}
ash	8.70±0.06^{a}	6.63±0.03^{a}	6.82±1.57^{a}	6.82±0.40^{a}

ตัวอักษร (a,b,c,d) ในแนวนอนเดียวกันที่แตกต่างกันคือ มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้ำหนักแห้งของ *Spirulina* ในอาหารสูตรปุ๋ยผสมอามิที่ความเข้มข้นต่างๆไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ แต่ปริมาณคลอโรฟิลล์และโปรตีนที่พบในอาหารสูตรปุ๋ยผสมอามิมีปริมาณที่น้อยกว่าในอาหารสูตรปุ๋ยผสมมูลสุกร อาจเป็นเพราะปริมาณฟอสฟอรัสในอามิมีปริมาณที่น้อย เนื่องจากถ้าปริมาณฟอสฟอรัสมีน้อยจะส่งผลให้ปริมาณคลอโรฟิลล์และโปรตีนมีปริมาณน้อยด้วย ยังมีแมกนีเซียม,เหล็กที่มีผลต่อปริมารคลอคลอโรฟิลล์ และที่ความเข้มข้นมากขึ้นมีปริมาณโปรตีนมากขึ้นตามในอาหารสูตรนี้เพราะที่ความเข้มข้นมากขึ้นทำให้มีปริมาณไนโตรเจนมากขึ้นสาหร่ายสามารถนำไนโตรเจนมาใช้ในการเจริญเติบโตมากขึ้นสาหร่ายจึงมีปริมาณโปรตีนมากขึ้น ทำให้ที่ความเข้มข้น1.0 มิลลิลิตรมีปริมาณโปรตีนมากที่สุด ส่วนปริมาณไขมันไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญและที่ความเข้มข้น 0.1 มิลลิลิตร มีปริมาณไขมันมากที่สุดเพราะที่ความเข้มข้นนี้มีปริมาณไนโตรเจนไม่เพียงพอต่อความต้องการของสาหร่าย ถ้าปริมาณไนโตรเจนไม่เพียงพอต่อความต้องการจะทำให้การเจริญเติบโตลดลงรวมทั้งปริมาณโปรตีนลดลงแล้วยังทำให้มีการสะสมของแป้งและไขมันมากขึ้น ในอาหารสูตรปุ๋ยผสมมูลสุกรที่ความเข้มข้น 7.5 กรัมต่อลิตรมีน้ำหนักแห้งมากที่สุดและแตกต่างกับความเข้มข้นอื่นอย่างมีนัยสำคัญ แต่ที่ความเข้มข้น 0.5 กรัมต่อลิตร มีปริมาณโปรตีนมากที่สุดเพราะที่ความเข้มข้น 7.5 กรัมต่อลิตรนั้นมีการเจริญเติบโตที่มากทำให้ปริมาณโปรตีนที่สะสมไว้ภายในเซลล์ลดลง และที่ความเข้มข้น 0.5 กรัมต่อลิตรมีปริมาณไขมันมากที่สุดอาจเป็นเพราะที่ความเข้มข้นนี้มีปริมาณไนโตรเจนไม่เพียงพอต่อการเจริญเติบโตของสาหร่ายทำให้สาหร่ายมีการสะสมปริมาณไขมันภายในเซลล์มากขึ้น

ถึงแม้ว่าสาหร่าย *Spirulina* จะมีปริมาณโปรตีนที่สูงแต่อาหารในการเลี้ยงนั้นก็มีผลต่อปริมาณโปรตีนทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของอาหารและปริมาณของสารอาหารในการเพาะเลี้ยงว่ามีความเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของสาหร่ายหรือไม่ ดังตารางที่ 6 จะเห็นได้ว่าในอาหารแต่ละชนิดนั้นจะให้คุณค่าทางโภชนาการไม่เหมือนกัน เมื่อเปรียบเทียบปริมาณโปรตีนของสาหร่าย *Spirulina* กับปริมาณโปรตีนที่ได้จากเนื้อสัตว์พบว่ามีกว่าถึง 2-3 เท่า และเมื่อเปรียบกับสาหร่ายชนิดต่างและพืชที่ให้ปริมาณโปรตีนมากพบว่าส่วนมากให้ปริมาณโปรตีนน้อยกว่าสาหร่าย *Spirulina* แต่มีสาหร่ายบางชนิดให้ปริมาณโปรตีนพอๆ กับสาหร่าย *Spirulina* ดังตารางที่ 7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6 เปรียบเทียบคุณค่าทางอาหารของสาหร่าย *Spirulina* ในอาหารต่างๆที่ใช้ในการเพาะเลี้ยง

คุณค่าทางอาหาร	Zarrouk media [a]	Cftri media [b]	มูลสุกร [c] 0.5กรัมต่อลิตร	อามิ [c] 0.1 มิลลิลิตรต่อลิตร
Protein	61-71 %	55-65 %	69.73 %	49.65
Lipid	8.0 %	2-6 %	1.86 %	0.65
Carbohydrate	-	10-15 %	22.33 %	11.04

เครื่องหมาย – แสดงว่า ไม่มีในรายงาน

ที่มา : a Eugenia J. olguin et al (2001), b Venkaraman (1983), c (จากการทดลองนี้)

ตารางที่ 7 เปรียบเทียบปริมาณโปรตีนของสาหร่าย *Spirulina* กับอาหารโปรตีนอื่นๆ

แหล่งอาหาร	% โปรตีน
สาหร่าย *Spirulina*	60-70[a]
เนื้อวัว	20[a]
ข้าวสาลี	6-10[a]
ข้าวเจ้า	7[a]
ถั่วเหลือง	33-35[a]
ปลาทู	20[a]
คลอเรลลา	40-56[b]
สาหร่ายพุงชโด	12.93[c]
สาหร่ายหางกระรอก	12.88[c]

ที่มา : a โอภาส (2533), b จรูญ (2531), c สำรวยและคณะ (2530)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองครั้งนี้การเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina* ในอาหารปุ๋ยผสมอามิที่ความเข้มข้นต่างๆ จากการวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการมีปริมาณเฉลี่ยคิดเป็นร้อยละของน้ำหนักแห้งพบปริมาณโปรตีนมากที่สุดที่ความเข้มข้น 1 มิลลิลิตรต่อลิตร คือ 49.65±0.32 รองลงมาคือความเข้มข้น 0.1 มิลลิลิตรต่อลิตร ปริมาณไขมันมากที่สุดที่ความเข้มข้น 0.1 มิลลิลิตรต่อลิตร คือ 0.77±0.06 ส่วนปริมาณคาร์โบไฮเดรตมากที่สุดที่ความเข้มข้น 0.5 มิลลิลิตรต่อลิตร 13.10±0.71 และอาหารปุ๋ยผสมมูลสุกรที่ความเข้มข้นต่างๆ จากการวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการมีปริมาณเฉลี่ยคิดเป็นร้อยละของน้ำหนักแห้งพบปริมาณโปรตีนมากที่สุดที่เลี้ยงในอาหารสูตรปุ๋ยผสมมูลสุกรที่ความเข้มข้น 0.5 กรัมต่อลิตร คือ 69.73±0.14 และรองลงมาคือ ปุ๋ยผสมมูลสุกรที่ความเข้มข้น 2 กรัมต่อลิตร 67.74±0.41 ปริมาณไขมันพบมากที่สุดในอาหารสูตรปุ๋ยผสมมูลสุกรที่ความเข้มข้น 7.5 กรัมต่อลิตร คือ 1.86±0.29 รองลงมาเป็นปุ๋ยผสมมูลสุกรที่ความเข้มข้น 2.0 กรัมต่อลิตร 1.77±0.29 ปริมาณคาร์โบไฮเดรตพบมากที่สุดที่ความเข้มข้น 0.5 กรัมต่อลิตร 23.56±0.49 อาหารสูตรปุ๋ยผสมอามิที่เหมาะสมจากการทดลองในการเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina* คือ 0.5 มิลลิลิตรต่อลิตร เพราะปริมาณโปรตีนที่ได้นั้นไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับ 1 มิลลิลิตรต่อลิตร และในอาหารสูตรปุ๋ยผสมมูลสุกรที่เหมาะสมจากการทดลองในการเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina* คือ 0.5 กรัมต่อลิตรเนื่องจากมีปริมาณโปรตีนสูงที่สุด

จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าการเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina* ในอาหารที่ต่างกันและที่ความเข้มข้นต่างกันจะมีคุณค่าทางโภชนาการต่างกัน เนื่องจากชนิดของสารอาหารและปริมาณของสารอาหารที่สาหร่ายได้รับนั้นแตกต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

เจียมจิตต์ บุญสม. 2531. ความลับของสาหร่ายเกลียวทอง. สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ **อ้างโดย** โอภาส วิชชุไตรภพ. 2533 ผลของสาหร่าย *Spirulina* spp. ที่มีผลต่อการเติบโตและการเกิดสีของนกกระทาพันธุ์ญี่ปุ่น (*Coturnix coturnix japonica*). ปริญญาวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (การสอนชีววิทยา) มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 112 น.

บานชื่น ชลสวัสดิ์, วิทยา พันธะกิจ, กาญจนา แตงกรด, เมธา วาสิการ, โชคชัย สุดจิตร์, และณัฏฐิกา อินทรมาศ. การศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้น้ำทิ้งจากโรงงานผลิตยางแผ่นสำหรับเลี้ยวสาหร่ายเกลียวทอง. รายงานการประชุมสัมมนาทางวิชาการสถาบันเทคโนโลยีราชมงคลครั้งที่ 14 สาขาสัตวศาสตร์และการประมง ระหว่างวันที่ 26-29 มกราคม 2540 ณ. โรงแรมพาวิลเลี่ยม และวิทยาเขตภาคใต้จังหวัดสงขลา. 313-328.

ฝ่ายวิชาการธนาคารกสิกรไทย. 2533. สิปิรูลินาแหล่งโปรตีนอนาคต. เกษตรอุตสาหกรรม. 2 เมษายน. 71-74.

ลัดดา วงค์รัตน์. 2539. คู่มือการเพาะเลี้ยงแพลงก์ตอน. คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพมหานคร.

วิลาลินี เหล่าพงษ์พิชญ์. การเพาะเลี้ยงสาหร่าย Spirulina platensis ในกากเหล้าสาเก. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่,เชียงใหม่.

สุชาติ อิงธรรมจิตร์, สุมาลี ดุลยอนุกิจ และวราวุธ จอกเงิน. การทดลองเปรียบเทียบอัตราการเจริญเติบโตของสาหร่ายเกลียวทองในถังที่มีน้ำหมุนเวียนตลอดเวลาและหมุนเวียนเป็นครั้งเป็นคราว. รายงานการสัมมนาทางวิชาการประจำปี 2528 กรมประมง วันที่ 16-18 กันยายน 2528 ณ.สถาบันประมงน้ำจืด บางเขน. 71-74.

Binaghi L., A. Del Borghi, A. Lodi, A. Converti, M. Del Borghi. 2002. Batch and fed-batch uptake of carbon dioxide by *Spirulina platensis*. Process Biochemistry. 38:1341-1346.

Chojnacka K. and A. Noworyta. 2004. Evaluation of *Spirulina* sp. Growth in photoautotrophic, heterotrophic and mixotrophic cultures. Enzyme and Microbial Technology. 34:461-465.

Olguin E.J., S. Galicia, O. Angulo-Guerrero, E. Hernandez. 2001. The effect of low light flux and nitrogen deficiency on the chemical composition of

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Spirulina sp. (*Arthrospira*) grown on digested pig waste. Bloresource Technology. 77:19-24.

Pelizer L.H., E.D.G. Daniesi, C. De O. Rangel, C.e.n. Sassano, J.C.M. Carvalho, S. sato, I.O. Moraes. 2003. Influence of inoculum age and concentration in *Spirulina platensis* cultivation. Journal Of Food Enginrrring. 56:371-375.

Richmond A., Karg S., Boussiba S. 1982. The effect of the bicarconate system on the competition between *Spirulina platensis* and *Chlorella* sp. Plant cell phtsiol. **อ้างโดย** Binaghi L., A. Del Borghi, A. Lodi, A. Converti, M. Del Borghi. 2002. Batch and fed-batch uptake of carbon dioxide by *Spirulina platensis*. Process Biochemistry. 38:1341-1346.

Sanchez-Luna L.D., A. Converti, G.C. Tonini, S. Sato, Joao C.M.De Carvalho. 2004. Continuous and pulse feedings of urea as a nitrogen source in fed-batch cultivation of *Spirulina platensis*. Aquacultural Engineering.

Sato, N. and Murata, N. 1980. Temperature shift-induce response in lipids on the blue-green alga, *Anabaena variabilis*. Biochem Biophy. Acta. 619 : 353.

Venkataman, L.V. 1983. Bluegreen alga : *Spirulina*. Central food technological research institute, Mysore, India.

Vonshak A. and Guy R. 1988. Photoinhibition as a limiting in outdoor cultivation of *Spirulina platensis*. **อ้างโดย** Sanchez-Luna L.D., A. Converti, G.C. Tonini, S. Sato, Joao C.M.De Carvalho. 2004. Continuous and pulse feedings of urea as a nitrogen source in fed-batch cultivation of *Spirulina platensis*. Aquacultural Engineering.

www2.doae.go.th//www/work/web/kannlka/pate1.html

www.naturalway.com/spirul1.htm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

สูตรอาหาร Zarrouk ใช้เตรียมหัวเชื้อสาหร่าย *Spirulina*

1. โซเดียมไบคาร์บอนเนตร ($NaHCO_3$)	16.80 กรัม/ลิตร	700 บาท/1000 กรัม
2. โซเดียมไนเตรต ($NaNO_3$)	2.50 กรัม/ลิตร	800 บาท/1000 กรัม
3. ไดโปแตสซียมไฮโดรเจนออร์โธฟอสเฟต(K_2HPO_4)	0.50 กรัม/ลิตร	770 บาท/1000กรัม
4. โปแตสเซียมซัลเฟต (K_2SO_4)	1.00 กรัม/ลิตร	560 บาท/1000กรัม
5. แมกนีเซียมซัลเฟต ($MgSO_4.7H_2O$)	0.20 กรัม/ลิตร	630 บาท/1000กรัม
6. เกลือแกง (NaCl)	1.00 กรัม/ลิตร	160 บาท/1000กรัม
7. แคลเซียมคลอไรด์ 2- ไฮเดรต ($CaCl_2$)	0.04 กรัม/ลิตร	630 บาท/1000กรัม
8. เฟอรัสซัลเฟต 7- ไฮเดรต ($FeSO_4.7H_2O$)	0.01 กรัม/ลิตร	550 บาท/1000กรัม
9. โซเดียมอีดีทีเอ 2- ไฮเดรต ($NaEDTA.2H_2O$)	0.08 กรัม/ลิตร	1200 บาท/500กรัม
สารละลายA 5	1 มิลลิลิตร./ลิตร	
สารละลายB 6	1 มิลลิลิตร./ลิตร	

สารละลายA 5 ประกอบด้วย

1. กรดบอลิก (H_3BO_3)	2.86 กรัม/ลิตร	560 บาท/1000กรัม
2. แมงกานีสคลอไรด์ 4- ไฮเดรต ($MnCl_2.7H_2O$)	1.80 กรัม/ลิตร	690 บาท/1000กรัม
3. ซิงค์ซัลเฟต 7- ไฮเดรต ($ZnSO_4.7H_2O$)	0.22 กรัม/ลิตร	1230 บาท/1000กรัม
4. คอปเปอร์ซัลเฟต 5- ไฮเดรต ($CuSO_4.5H_2O$)	0.08 กรัม/ลิตร	630 บาท/1000กรัม
5. โมลิบดินัมออกไซด์ (MoO_3)	0.01 กรัม/ลิตร	2570 บาท/100กรัม
6. น้ำกลั่น	1000 มล.	

สาลละลายB 6 ประกอบด้วย

1. แอมโมเนียมวานาเดท (NH_4VO3)	22.9 กรัม/ลิตร	380 บาท/1000กรัม
2. โปแตสเซียมไดโครมิคซัลเฟต 24- ไฮเดรต ($K_2Cr_2(SO_4).H_2O$)	96.0 กรัม/ลิตร	
3. นิคเกิลซัลเฟต 7- ไฮเดรต ($NiSO_4.7H_2O$)	47.8 กรัม/ลิตร	770 บาท/250กรัม
4. โซเดียมทังสเตท 2- ไฮเดรต ($NaWO_4.2H_2O$)	17.9 กรัม/ลิตร	2490 บาท/500กรัม
5. โคบอลท์ไนเตรต 6- ไฮเดรต ($Co(NO_3)_2.6H_2O$)	4.4 กรัม/ลิตร	1790 บาท/250กรัม
6. น้ำกลั่น	1000 มล.	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปุ๋ยที่ใช้เลี้ยงสาหร่าย *Spirulina*

1. โซเดียมไบคาร์บอนเนตร ($NaHCO_3$)	1 กรัม/ลิตร	350 บาท/1000กรัม
2. โซเดียมไนเตรต ($NaNO_3$)	0.15 กรัม/ลิตร	90 บาท/1000กรัม
3. ไดโปแตสซียมไฮโดรเจนออร์โธฟอสเฟต(K_2HPO_4)	0.03 กรัม/ลิตร	180 บาท/1000กรัม

มูลสุกร

มูลสุกรที่นำมาใช้เป็นส่วนผสมในการเลี้ยงสาหร่ายนั้นเป็นมูลของสุกรอายุ 3 เดือน เป็นสุกรที่เลี้ยงโดยได้รับอาหารสำเร็จรูปเบทาโกรเบอร์ 301-B มีคุณค่าทางโภชนาการคือ โปรตีนไม่ต่ำกว่า 18% กากไม่เกิน 6% ไขมันไม่ต่ำกว่า 3% ความชื้นไม่เกิน 17% และวัตถุดิบของอาหารสุกรประกอบด้วย ปลาป่นหรือเนื้อและกระดูกป่น กากถั่วเหลืองหรือถั่วลิสงหรือถั่วดำ มันสำปะหลัง กากมะพร้าว ข้าวโพดป่นหรือปลายข้าว รำสกัดน้ำมันหรือรำระเอียดหรือรำหยาบ กากน้ำตาล ไขมันสัตว์หรือน้ำมันพืช แคลเซียมคาร์บอเนต เกลือ วิตามิน แร่ธาตุ กรดอะมิโน สารถนอมคุณภาพอาหารสัตว์ สารปรุงแต่งอาหารสัตว์ และสารเร่งการเจริญเติบโต

มูลสุกร	ไม่เสียค่าใช้จ่าย
อามิ	0.5 บาท/ลิตร
ต้นทุนในการผลิตสาหร่าย	
อาหารสูตร Zarrouk	15.50 บาท/ลิตร
ปุ๋ย	0.37 บาท/ลิตร
ปุ๋ยผสมอามิที่ความเข้มข้น 0.1 มิลลิลิตร/ลิตร	0.37 บาท/ลิตร
ปุ๋ยผสมอามิที่ความเข้มข้น 0.5 มิลลิลิตร/ลิตร	0.37 บาท/ลิตร
ปุ๋ยผสมอามิที่ความเข้มข้น 1.0 มิลลิลิตร/ลิตร	0.37 บาท/ลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผนวกที่ 1 แสดงปริมาณคลอโรฟิลล์ของสาหร่าย *Spirulina* ในอาหารสูตรต่าง ๆ

วันที่	อามิ 0.1 มล./ลิตร			อามิ 0.5 มล./ลิตร			อามิ 1 มล./ลิตร			มูลสุกร 0.5 กรัม/ลิตร			มูลสุกร 2 กรัม/ลิตร			มูลสุกร 7.5กรัม/ลิตร		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
0	0.094	0.141	0.124	0.124	0.122	0.101	0.137	0.140	0.187	0.167	0.115	0.131	0.128	0.129	0.154	0.139	0.139	0.135
2	0.161	0.223	0.181	0.158	0.137	0.153	0.158	0.179	0.222	0.214	0.212	0.187	0.182	0.190	0.256	0.201	0.204	0.214
4	0.255	0.291	0.214	0.227	0.228	0.216	0.181	0.182	0.184	0.418	0.398	0.323	0.358	0.369	0.308	0.250	0.216	0.309
6	0.352	0.342	0.352	0.352	0.352	0.307	0.253	0.283	0.248	0.606	0.568	0.587	0.450	0.522	0.465	0.414	0.367	0.423
8	0.336	0.396	0.312	0.356	0.356	0.330	0.327	0.272	0.359	0.670	0.604	0.596	0.880	0.510	0.596	0.460	0.384	0.500
10	0.560	0.542	0.522	0.482	0.484	0.450	0.378	0.312	0.472	0.880	0.752	0.722	0.671	0.710	0.215	0.622	0.480	0.574
12	0.466	0.428	0.576	0.526	0.566	0.510	0.306	0.354	0.620	1.050	1.040	0.998	0.820	0.950	0.802	0.728	0.604	0.699
14	0.598	0.414	0.518	0.470	0.542	0.518	0.512	0.340	0.530	0.950	0.995	0.964	0.752	0.788	0.721	0.528	0.522	0.566
16	0.606	0.508	0.582	0.470	0.432	0.412	0.414	0.398	0.422	1.040	1.100	1.061	0.768	0.940	0.990	0.752	0.572	0.496
18	0.578	0.740	0.730	0.394	0.508	0.476	0.216	0.296	0.588	1.350	1.100	1.200	0.915	1.055	0.987	0.600	1.110	0.780

ตารางผนวกที่ 2. แสดงปริมาณน้ำหนักแห้งของสาหร่าย *Spirulina* ในอาหารสูตรต่าง ๆ

วันที่	อามิ 0.1 มล./ลิตร			อามิ 0.5 มล./ลิตร			อามิ 1 มล./ลิตร			มูลสุกร 0.5 กรัม/ลิตร			มูลสุกร 2 กรัม/ลิตร			มูลสุกร 7.5กรัม/ลิตร		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
0	0.0111	0.0103	0.0104	0.0115	0.0047	0.0058	0.0046	0.0080	0.0090	0.0073	0.0018	0.0046	0.0059	0.0128	0.0096	0.0123	0.0182	0.0117
2	0.0216	0.0110	0.0101	0.0089	0.0073	0.0131	0.0207	0.0169	0.0101	0.0152	0.0082	0.0062	0.0101	0.0260	0.0062	0.0062	0.0211	0.0066
4	0.0190	0.0254	0.0077	0.0086	0.0113	0.0149	0.0131	0.0091	0.0109	0.0138	0.0155	0.0177	0.0051	0.0109	0.0202	0.0088	0.0033	0.0248
6	0.0135	0.0131	0.0092	0.0085	0.0086	0.0068	0.0061	0.0075	0.0083	0.0076	0.0078	0.0167	0.0116	0.0132	0.0224	0.0134	0.0118	0.0271
8	0.0220	0.0154	0.0135	0.0109	0.0114	0.0197	0.0153	0.0113	0.0098	0.0215	0.0249	0.0231	0.0181	0.0146	0.0173	0.0163	0.0155	0.0174
10	0.0136	0.0090	0.0127	0.0101	0.0119	0.0093	0.0105	0.0163	0.0115	0.0151	0.0229	0.0203	0.0201	0.0189	0.0195	0.0114	0.0106	0.0264
12	0.0261	0.0179	0.0247	0.0197	0.0257	0.0163	0.0152	0.0193	0.0162	0.0187	0.0253	0.0230	0.0184	0.0153	0.0201	0.0325	0.0130	0.0164
14	0.0115	0.0143	0.0207	0.0131	0.0123	0.0128	0.0084	0.0073	0.0189	0.0191	0.0193	0.0187	0.0214	0.0186	0.0185	0.0178	0.0065	0.0097
16	0.0119	0.0199	0.0118	0.0139	0.0144	0.0179	0.0154	0.0107	0.0262	0.0202	0.0229	0.0223	0.0146	0.0179	0.0123	0.0139	0.0136	0.0114
18	0.0176	0.0148	0.0146	0.0167	0.0160	0.0142	0.0208	0.0090	0.0212	0.0163	0.0172	0.0151	0.0155	0.0192	0.0155	0.0270	0.0235	0.0209

ตารางผนวกที่ 3 แสดงค่าทางสถิติการเจริญเติบโตของสาหร่าย *Spirulina* ในอาหารสูตรปุ๋ยผสมอามิ ในวันที่ 18 ของการเพาะเลี้ยง

ความเข้มข้น (มิลลิลิตรต่อลิตร)	น้ำหนักแห้ง (กรัมต่อลิตร)	คลอโรฟิลล์ (ไมโครกรัมต่อลิตร)
0.1	0.78 ± 0.05^{a}	216.00 ± 16.63^{a}
0.5	0.78 ± 0.04^{a}	145.26 ± 10.74^{ab}
1	0.85 ± 0.20^{a}	155.96 ± 35.75^{b}

ตารางผนวกที่ 4 แสดงค่าทางสถิติการเจริญเติบโตของสาหร่าย *Spirulina* ในอาหารสูตรปุ๋ยผสมมูลสุกร ในวันที่ 18 ของการเพาะเลี้ยง

ความเข้มข้น (มิลลิลิตรต่อลิตร)	น้ำหนักแห้ง (กรัมต่อลิตร)	คลอโรฟิลล์ (ไมโครกรัมต่อลิตร)
0.5	0.81 ± 0.03^{b}	385.83 ± 22.14^{a}
2.0	0.84 ± 0.06^{b}	311.72 ± 12.78^{ab}
7.5	1.19 ± 0.09^{a}	262.48 ± 47.23^{b}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพผนวกที่ 1.ลักษณะเซลล์ของสาหร่าย *Spirulina*

ที่มา www.naturalway.com/spirul1.htm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้