การเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินา (*Spirulina platensis*) ในน้ำเสียฟาร์มโคนม เพื่อใช้เป็นอาหารโคนม

นิกร ถาคว้าง

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของความสมบูรณ์ของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการ
ทรัพยากรการเกษตรและสิ่งแวดล้อม
สำนักงานบัณฑิตศึกษา มหาวิทยาลัยแม่โจ้
พ.ศ. 2550

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยแม่โจ้

ใบรับรองวิทยานิพนธ์

สำนักงานบัณฑิตศึกษา มหาวิทยาลัยแม่โจ้

ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการ

ทรัพยากรการเกษตรและสิ่งแวดล้อม

ชื่อเรื่อง

การเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินา (*Spirulina platensis*) ในน้ำเสียฟาร์มโคนม

เพื่อใช้เป็นอาหารโคนม

โดย

นิกร ถากว้าง

พิจารณาเห็นชอบโดย

ประธานกรรมการที่ปรึกษา ....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ฐปน ชื่นบาล)

วันที่...๒๑...เดือน...ก.ค....พ.ศ.๒๕๕๐

กรรมการที่ปรึกษา ....

(รองศาสตราจารย์ ดร.สมปอง สรวมศิริ)

วันที่...๒๒...เดือน...ก.ค....พ.ศ...๒๕๕๐

กรรมการที่ปรึกษา ....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นรินทร์ ทองวิทยา)

วันที่...๒๒...เดือน...ก.ค....พ.ศ...๒๕๕๐

กรรมการที่ปรึกษา ....

(อาจารย์ ดร.ศิราภรณ์ ชื่นบาล)

วันที่...22...เดือน...ก.ค....พ.ศ...2550

ประธานกรรมการประจำหลักสูตร ....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นรินทร์ ทองวิทยา)

วันที่...22...เดือน...ก.ค....พ.ศ...2550

สำนักงานบัณฑิตศึกษารับรองแล้ว ....

(รองศาสตราจารย์ ดร.เทพ พงษ์พานิช)

ประธานคณะกรรมการบัณฑิตศึกษา

วันที่...29...เดือน...ก.ค....พ.ศ.2550

ชื่อเรื่อง	การเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินา (*Spirulina platensis*) ในน้ำเสียฟาร์มโคนมเพื่อใช้เป็นอาหารโคนม
ชื่อผู้เขียน	นายนิกร ถากว้าง
ชื่อปริญญา	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการทรัพยากรการเกษตรและสิ่งแวดล้อม
ประธานกรรมการที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ฐปน ชื่นบาล

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina platensis* ในน้ำเสียจากฟาร์มโคนม โดยทำการศึกษาหาความเข้มข้นที่เหมาะสมในการเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina platensis* แล้วทำการเก็บเกี่ยวผลผลิตที่เพาะเลี้ยงได้ นำไปวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการและนำสาหร่ายไปใช้เป็นส่วนผสมในสูตรอาหารโคทดลอง เพื่อศึกษาการเจริญเติบโตของโคนมเพศผู้ ผลการทดลองพบว่า ในสภาพการเพาะเลี้ยงในห้องปฏิบัติการ ระดับความเข้มข้นของน้ำเสียที่เหมาะสมต่อการบำบัดน้ำเสียและการเจริญเติบโตของ สาหร่าย *Spirulina platensis* ที่ระดับความเข้มข้นของน้ำเสียที่ 10 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีค่า บีโอดี และค่า ซีโอดี เริ่มต้น เท่ากับ 152 และ 160 มิลลิกรัมต่อลิตร ลดลงเหลือ 60 มิลลิกรัมต่อลิตร ในวันที่ 12 และ 104 มิลลิกรัมต่อลิตร ในวันที่ 3 คิดเป็นประสิทธิภาพในการบำบัด 60.53 และ 35.00 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ มีจำนวนเซลล์สาหร่ายเพิ่มขึ้นสูงสุดเป็น 2.5×10^5 เซลล์ต่อมิลลิลิตร และค่าดูดกลืนแสงเพิ่มขึ้นสูงสุด 1.125 ที่ความยาวคลื่น 560 นาโนเมตรในวันสิ้นสุดการทดลอง

การเพาะเลี้ยงสาหร่ายซ้ำในสภาพกลางแจ้งแบบกะที่ระดับความเข้มข้นของน้ำเสีย 10 เปอร์เซ็นต์ ในบ่อซีเมนต์กลมขนาด 200 ลิตร จำนวน 3 บ่อ พบว่าการทดลอง มีจำนวนเซลล์สาหร่ายเพิ่มขึ้นสูงสุดเฉลี่ย 2.82×10^5 เซลล์ต่อมิลลิลิตร ผลผลิตที่ทำการเก็บเกี่ยวได้นำไปวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการมีผลดังนี้ โปรตีน เท่ากับ 51.02 ไขมัน เท่ากับ 2.52 เยื่อใย เท่ากับ 7.68 และคา NFE เท่ากับ 10.43 คิดเป็นเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแห้ง

การทดสอบการเจริญเติบโตของโคนมเพศผู้ อายุ 2 สัปดาห์ จนถึงอายุ 12 สัปดาห์ ด้วยสูตรอาหารข้น 2 สูตรการทดลอง คือ สูตรที่ 1 ใช้กากถั่วเหลืองเป็นแหล่งโปรตีน และ สูตรที่ 2 ใช้สาหร่ายสไปรูลินาเป็นแหล่งโปรตีนทดแทนกากถั่วเหลือง 50 เปอร์เซ็นต์ พบว่าอัตราการเจริญเติบโตของลูกโค มีค่า เท่ากับ 0.33 และ 0.38 กก./ตัว/วัน ตามลำดับซึ่งไม่แตกต่างกันที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ และทำการศึกษาส่วนประกอบซากพบว่า มีเปอร์เซ็นต์ซากเท่ากับ 49.22

และ 50.59 เปอร์เซ็นต์ และเปอร์เซ็นต์เนื้อแดงเท่ากับ 57.10 และ 57.81 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งไม่แตกต่างกันที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

Title	Cultivation of spirulina (*Spirulina platensis*) in dairy farm wastewater for dairy cattle feed
Author	Mr. Nikorn Tharkwang
Degree of	Master of Science in Agricultural Resources and Environmental Management
Advisory Committee Chairpreson	Assistant Professor Dr. Tapana Cheunbarn

ABSTRACT

The objective of this research was to study the feasibility of *Spirulina platensis* cultivation in dairy farm wastewater by determining the optimized concentration of dairy farm wastewater for *Spirulina platensis* cultivation. After harvesting and analyzing nutrient values of *Spirulina platensis*, it was then mixed with feed to study the growth of male calves. Results of the study that was conducted in the laboratory, showed that appropriate wastewater concentration for *Spirulina platensis* was 10% with initial BOD and COD of 152 and 160 mg/L, respectively, to effectively reduce BOD and COD to 60 (60.53%) and 104 (35.00%) mg/L, respectively. Highest cell growth was 2.5×10^5 cells/ml with maximum absorbance of 1.125 at wavelength 560 nm.

Spirulina platensis cultivation was studied by using batch culture in three 200-liter round cement ponds. Results showed the highest average cell growth at 2.82×10^5 cell/ml. When the harvested products were analyzed for their nutrients, it was found that *Spirulina platensis* contained protein (51.02%), EE (2.52%), fiber (7.68%) and NFE (10.43%) per dry matter.

The growth rate of male calves (2 - 12 weeks) was studied by using two types of concentrates (treatments); one treatment used soybean meal (SBM) for protein source while another treatment used 50% of *Spirulina platensis* as protein substitute (SBM). Growth rates of male calves were 0.33 and 0.38 kg/h/d, respectively, and were not significantly different ($p<0.05$). Dressing percentages were 49.22 and 50.59% while red meat percentages were 57.10 and 57.81%, respectively, with results showing no significant difference ($p<0.05$).

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จลุล่วงลงได้ด้วยความกรุณาของผู้มีพระคุณหลาย ๆท่าน ซึ่งข้าพเจ้าขอขอบพระคุณอาจารย์ ผศ.ดร.จูปน ชื่นบาล ประธานกรรมการที่ปรึกษาที่ได้ให้ความกรุณาในการให้คำปรึกษา และ อำนวยความสะดวกในการทำการทดลองทางด้านการเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินาและการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ อาจารย์ ดร.ศิราภรณ์ ชื่นบาล ผู้ที่ให้คำแนะนำเวลาเมื่อเกิดปัญหาต่าง ๆขึ้น และยังคอยเตือนสติเป็นห่วงอยู่ตลอดเวลา และอาจารย์ รศ.ดร.สมปอง สรวมศิริ ที่ให้คำปรึกษาแนะนำและให้ความอนุเคราะห์อุปกรณ์และเครื่องมือต่าง ๆ ในการทดลองในตัวสัตว์ทดลอง พร้อมทั้งยังเคี่ยวเข็ญเตือนสติ ทำให้เกิดผลสำเร็จในการทำวิจัยครั้งนี้ในที่สุด

ขอขอบพระคุณอาจารย์ ผศ.ดร.นรินทร์ ทองวิทยา ที่ช่วยแนะนำในการวิจัยบางส่วนพร้องทั้งการใช้คำสำคัญที่ถูกต้องเกี่ยวกับการวิจัยนี้ด้วย

ขอขอบพระคุณอาจารย์ ไพโรจน์ ศิลมั่น อาจารย์ประจำฟาร์มโคนมที่ช่วยดูแลให้คำปรึกษาและเอื้อเฟื้อสถานที่ในการทดลอง และขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ประจำฟาร์มโคนมทุก ๆ ท่านที่ช่วยเหลือดูแลในการทดลองนี้ด้วย

ขอบคุณ คุณรอยพิมพ์ อินต๊ะยศ และคุณนิรมล ดงหงส์ ที่ช่วยในการการแนะนำการวิจัยและคอยให้กำลังใจเสมอมา ตลอดจนเพื่อน ๆ พี่ ๆ น้อง ๆ นักศึกษาปริญญาโทสาขาวิชาการจัดการทรัพยากรการเกษตรและสิ่งแวดล้อม พร้อมทั้งน้อง ๆ นักศึกษาปริญญาตรีสาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพ และสาขาวิชาอาหารสัตว์ทุกคน และที่ขาดไม่ได้เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ และคณะเทคโนโลยีการประมงและทรัพยากรทางน้ำที่ช่วยให้การวิจัยนี้ประสบผลสำเร็จไปได้อย่างดี

นอกเหนือจากสิ่งอื่นใดบุคคลที่ขาดไม่ได้ในชีวิตนี้ขอกราบขอบพระคุณครอบครัวอันเป็นที่รักยิ่งของข้าพเจ้าทั้งคุณพ่อ คุณแม่ คุณตา คุณยายและพี่ชาย ซึ่งคอยดูแลห่วงใย สั่งสอนและยังให้ทุกสิ่งทุกอย่างที่ข้าพเจ้าต้องการจนทำให้การศึกษาสำเร็จไปได้

สุดท้ายนี้ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณทุก ๆ ท่านที่กล่าวมาข้างต้นที่ช่วยทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีถึงแม้ว่าจะมีล่าช้าไปบ้างจนสามารถสำเร็จการศึกษานี้ได้

นิกร ถากว้าง

ตุลาคม 2550

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	(3)
ABSTRACT	(5)
กิตติกรรมประกาศ	(6)
สารบัญ	(7)
สารบัญตาราง	(9)
สารบัญตารางผนวก	(10)
สารบัญภาพ	(12)
บทที่ 1 บทนำ	1
วัตถุประสงค์	2
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
ขอบเขตการวิจัย	2
บทที่ 2 การตรวจเอกสาร	3
ประวัติความเป็นมาของสาหร่ายสไปรูลินา	3
การจัดลำดับทางด้านอนุกรมวิธานของสาหร่ายสไปรูลินา	4
ลักษณะทางสัณฐานวิทยา	4
นิเวศวิทยาของสาหร่ายสไปรูลินา	5
วงจรชีวิตของสาหร่ายสไปรูลินา	5
ปัจจัยบางประการที่มีผลต่อการเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินา	6
คุณประโยชน์ของสาหร่าย	8
คุณค่าทางอาหารของสาหร่ายสไปรูลินา	11
การเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินาจากน้ำเสีย	17
การเก็บเกี่ยว	19
การทำแห้ง	20
การเลี้ยงโคนมกับการเกิดมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อม	21
ของเสียจากฟาร์มเลี้ยงโคนม	21
ชนิดและปริมาณของของเสียที่เกิดจากการเลี้ยงโคนม	22
ผลกระทบของเสียจากฟาร์มโคนมที่มีต่อคุณภาพน้ำ	24

หน้า

หลักการกำจัดของเสียจากฟาร์มโคนม 24

แนวทางการลดปริมาณของเสียในมูลและปัสสาวะของโคนม 25

บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการทดลอง 26

วัสดุ - อุปกรณ์ 26

วิธีการทดลอง 28

แผนผังการทดลอง 35

สถานที่และระยะเวลาทำการทดลอง 37

บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง 38

การศึกษาหาความเข้มข้นของน้ำเสียจากฟาร์มโคนมที่เหมาะสมต่อการเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินา 38

การศึกษาการเจริญเติบโตของสาหร่ายสไปรูลินา ในน้ำเสียที่ระดับความเข้มข้นที่เหมาะสมในการเพาะเลี้ยงในสภาพกลางแจ้งแบบกะ 52

การศึกษาคุณค่าทางโภชนาการของสาหร่ายสไปรูลินา 59

การศึกษาการเจริญเติบโตของลูกโคนมเพศผู้ที่เลี้ยงด้วยสาหร่ายสไปรูลินา 60

บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ 65

สรุปผลการทดลอง 65

ข้อเสนอแนะ 66

เอกสารอ้างอิง 67

ภาคผนวก 72

ภาคผนวก ก ตารางผนวก 73

ภาคผนวก ข วิธีตรวจวัดค่าพารามิเตอร์ตามวิธีมาตรฐาน 86

ภาคผนวก ค ประวัติผู้วิจัย 99

สารบัญตาราง

ตาราง		หน้า
1	การเปรียบเทียบปริมาณโปรตีนในสาหร่ายสไปรูลินา กับอาหารชนิดอื่นๆ	12
2	การเปรียบเทียบกรดอะมิโนของสาหร่ายสไปรูลินา และอาหารโปรตีนอื่นๆ กับค่ามาตรฐาน FAO (กรัม/100 กรัมโปรตีน)	13
3	ปริมาณวิตามินและแร่ธาตุของสาหร่ายสไปรูลินา แห้ง 1 กิโลกรัม	15
4	คุณค่าทางโภชนาการของสาหร่ายสไปรูลินา จากการเพาะเลี้ยงอาหารต่างชนิดกัน (เปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้ง)	16
5	ปริมาณสิ่งขับถ่ายจากโคนมโคเนื้อ	22
6	ส่วนประกอบและปริมาณของของเสียที่ขับออกมาจากโคนมและโคเนื้อ	23
7	สารอาหารที่เหลือมาในมูลโค (เปอร์เซ็นต์น้ำหนักเปียก)	23
8	ส่วนผสมของอาหารข้นที่ใช้เลี้ยงโคทดลอง	33
9	ผลการวิเคราะห์คุณค่าทางอาหาร	33
10	ลักษณะของน้ำเสียจากฟาร์มโคนม ภาควิชาเทคโนโลยีทางสัตว์ คณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้	39
11	ผลการวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการของสาหร่ายสไปรูลินา อบแห้ง	59
12	สมรรถภาพในการผลิตของโคทดลอง	61
13	ลักษณะซากโคทดลองที่ได้รับอาหารทดลองชนิดต่าง ๆ (เฉลี่ย ± ความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน)	63
14	ส่วนประกอบของซากและอวัยวะภายใน	64
15	เปอร์เซ็นต์ส่วนประกอบของซากจากการตัดแต่งซากแบบไทย (เปอร์เซ็นต์น้ำหนักซากอุ่น)	64

สารบัญตารางผนวก

ตารางผนวก		หน้า
1	การเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินา ในน้ำเสียจากฟาร์มโคนมเพื่อหาระดับความเข้มข้นของน้ำเสียที่เหมาะสมในสภาพห้องปฏิบัติการ	74
2	การเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินา ในน้ำเสียจากฟาร์มโคนมที่ระดับความเข้มข้นของน้ำเสียที่ 10 เปอร์เซ็นต์ในสภาพกลางแจ้ง	78
3	ปริมาณ TDS ในน้ำเสียฟาร์มโคนมที่ระดับความเข้มข้นต่างกันที่ใช้เพาะเลี้ยง สาหร่ายสไปรูลินา	79
4	ปริมาณ BOD ในน้ำเสียฟาร์มโคนมที่ระดับความเข้มข้นต่างกันที่ใช้เพาะเลี้ยง สาหร่ายสไปรูลินา	79
5	ปริมาณ COD ในน้ำเสียฟาร์มโคนมที่ระดับความเข้มข้นต่างกันที่ใช้เพาะเลี้ยง สาหร่ายสไปรูลินา	80
6	ปริมาณ ไนเตรท-ไนโตรเจน ในน้ำเสียฟาร์มโคนมที่ระดับความเข้มข้นต่างกันที่ใช้เพาะเลี้ยง สาหร่ายสไปรูลินา	80
7	ปริมาณ แอมโมเนีย-ไนโตรเจน ในน้ำเสียฟาร์มโคนมที่ระดับความเข้มข้น ต่างกันที่ใช้เพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินา	81
8	ปริมาณ ออร์โธฟอสเฟต-ฟอสฟอรัส ในน้ำเสียฟาร์มโคนมที่ระดับความ เข้มข้นที่ต่างกัน ที่ใช้เพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินา	81
9	ค่า OD ในน้ำเสียฟาร์มโคนมที่ระดับความ เข้มข้นที่ต่างกัน ที่ใช้เพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินา	82
10	จำนวนเซลล์ ในน้ำเสียฟาร์มโคนมที่ระดับความ เข้มข้นที่ต่างกัน ที่ใช้เพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินา	82
11	ปริมาณ TSS ในน้ำเสียฟาร์มโคนม ที่ระดับความเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์ ที่ใช้เพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินา ในสภาพกลางแจ้ง	83
12	ค่า BOD ในน้ำเสียฟาร์มโคนม ที่ระดับความเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์ ที่ใช้เพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินา ในสภาพกลางแจ้ง	83
13	ค่า COD ในน้ำเสียฟาร์มโคนมที่ระดับความเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์ ที่ใช้เพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินา ในสภาพกลางแจ้ง	83

หน้า

14 ค่าไนเตรท-ไนโตรเจนในน้ำเสียฟาร์มโคนมที่ระดับความเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์ที่ใช้เพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินา ในสภาพกลางแจ้ง 84
15 ค่า แอมโมเนีย-ไนโตรเจน ในน้ำเสียฟาร์มโคนมที่ระดับความเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์ ที่ใช้เพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินา ในสภาพกลางแจ้ง 84
16 ค่าออร์โธฟอสเฟต-ฟอสฟอรัส ในน้ำเสียฟาร์มโคนมที่ระดับความเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์ ที่ใช้ เพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินา ในสภาพกลางแจ้ง 84
17 ค่า OD ของสาหร่ายสไปรูลินา ในน้ำเสียฟาร์มโคนมที่ระดับความเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์ ในสภาพกลางแจ้ง 85
18 จำนวนเซลล์ของสาหร่ายสไปรูลินา ในน้ำเสียฟาร์มโคนมที่ระดับความเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์ ในสภาพกลางแจ้ง 85

สารบัญภาพ

ภาพ		หน้า
1	สาหร่ายสไปรูลินาที่บริสุทธิ์ภายใต้การดูด้วยกล้องจุลทรรศน์	28
2	สาหร่ายสไปรูลินาที่เพาะเลี้ยงได้ในอาหารแข็ง	28
3	การเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินาในระดับห้องปฏิบัติการ	30
4	การเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินาในสภาพกลางแจ้ง ในบ่อซีเมนต์ ขนาด 200 ลิตร	30
5	สาหร่ายสไปรูลินาที่ผ่านการตากแห้งจากผลผลิตที่เก็บเกี่ยวได้	31
6	การเลี้ยงลูกในคอกทดลองแบบขังเดี่ยว	33
7	แผนผังการทดลอง	35
8	ปริมาณ TSS ในน้ำเสียจากฟาร์มโคนมที่ระดับความเข้มข้นต่างกันที่ใช้เพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินา	41
9	ปริมาณ BOD ในน้ำเสียจากฟาร์มโคนมที่ระดับความเข้มข้นต่างกันที่ใช้เพาะ-เลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินา	42
10	ปริมาณ COD ในน้ำเสียจากฟาร์มโคนมที่ระดับความเข้มข้นต่างกันที่ใช้เพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินา	43
11	ปริมาณ ไนเตรท-ไนโตรเจน ในน้ำเสียจากฟาร์มโคนมที่ระดับความเข้มข้นต่างกันที่ใช้เพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินา	45
12	ปริมาณ แอมโมเนีย-ไนโตรเจน ในน้ำเสียจากฟาร์มโคนมที่ระดับความเข้มข้นต่างกันที่ใช้เพาะเลี้ยง สาหร่ายสไปรูลินา	46
13	ปริมาณ ออร์โธฟอสเฟต-ฟอสฟอรัส ในน้ำเสียจากฟาร์มโคนมที่ระดับความเข้มข้นต่างกันที่ใช้ เพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินา	47
14	ค่า OD ในน้ำเสียจากฟาร์มโคนมที่ระดับความเข้มข้นต่างกันที่ใช้เพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินา	49
15	จำนวน เซลล์ในน้ำเสียจากฟาร์มโคนมที่ระดับความเข้มข้นต่างกันที่ใช้เพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินา	51
16	ปริมาณ TSS ในน้ำเสียฟาร์มโคนม ที่ระดับความเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์ที่ใช้เพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินาในสภาพกลางแจ้ง	53

หน้า

17	ปริมาณ BOD ในน้ำเสียฟาร์มโคนม ที่ระดับความเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์ ที่ใช้เพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินาในสภาพกลางแจ้ง	54
18	ปริมาณ COD ในน้ำเสียฟาร์มโคนม ที่ระดับความเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์ ที่ใช้เพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินาในสภาพกลางแจ้ง	55
19	ปริมาณ ไนเตรท-ไนโตรเจนในน้ำเสียฟาร์มโคนม ที่ระดับความเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์ ที่ใช้เพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินา ในสภาพกลางแจ้ง	56
20	ปริมาณ แอมโมเนีย-ไนโตรเจนในน้ำเสียฟาร์มโคนม ที่ระดับความเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์ ที่ใช้เพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินาในสภาพกลางแจ้ง	56
21	ปริมาณ ออร์โธฟอสเฟต-ฟอสฟอรัส ในน้ำเสียฟาร์มโคนม ที่ระดับความเข้มข้น10 เปอร์เซ็นต์ ที่ใช้เพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินาในสภาพกลางแจ้ง	57
22	ค่า OD ของสาหร่ายสไปรูลินาในน้ำเสียฟาร์มโคนมที่ระดับความเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์ ในสภาพกลางแจ้ง	58
23	จำนวนเซลล์สาหร่ายสไปรูลินาในน้ำเสียฟาร์มโคนมที่ระดับความเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์ ในสภาพกลางแจ้ง	58
24	การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักตัวของลูกโคตั้งแต่ อายุ 2 สัปดาห์ จนถึง 12 สัปดาห์	62

บทที่ 1
บทนำ

การเลี้ยงสัตว์ในปัจจุบันนี้ได้มีการพัฒนาขยายตัวเป็นอย่างมาก จากการเลี้ยงสัตว์เพื่อใช้แรงงาน ใช้บริโภคภายในครัวเรือน จนมีการพัฒนามาสู่ระบบฟาร์ม มีตั้งแต่ขนาดเล็กจนถึงขนาดใหญ่ ซึ่งขบวนการเลี้ยงสัตว์นี้ทำให้เกิดของเสียขึ้นจำนวนมาก ทั้งอุจจาระ ปัสสาวะและน้ำล้างคอกไม่ว่าจะเป็นการเลี้ยงโคนม โคเนื้อ สุกร ไก่กระทง ไก่ไข่หรือเป็ดก็ตาม ซึ่งส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและสังคมรอบข้างอย่างเห็นได้ชัด ดังนั้นเกษตรกรผู้เลี้ยงสัตว์จึงต้องตระหนักถึงปัญหานี้ เนื่องจากต้องมีการใช้น้ำปริมาณมาก ทำให้เกิดปัญหาเรื่องน้ำเสียตามมา ซึ่งน้ำเสียเหล่านี้จะมีสารอินทรีย์ แอมโมเนีย และของแข็งแขวนลอยค่อนข้างสูง ซึ่งก่อให้เกิดผลกระทบต่อแหล่งน้ำใช้ธรรมชาติและยังเกิดปัญหาต่อชุมชนรอบข้างได้ นอกจากนี้น้ำเสียเหล่านี้อาจเป็นแหล่งของเชื้อโรคทำให้เกิดการแพร่กระจายของเชื้อโรคต่าง ๆ ได้สูงอีกด้วย

สำหรับเกษตรกรผู้ที่เลี้ยงโคนมแล้วยังขาดความรู้ในการจัดการกับน้ำเสียที่เกิดขึ้นจากกิจกรรมภายในฟาร์ม เนื่องจากเกษตรกรผู้เลี้ยงโคนมยังขาดแคลนเงินทุนหรือยังไม่ได้ให้ความสำคัญต่อการกำจัดน้ำเสียซึ่งเป็นการเพิ่มต้นทุนในกระบวนการผลิตอีกทางหนึ่ง อีกทั้งเกษตรกรยังขาดความรู้ อุปกรณ์ เครื่องมือต่าง ๆ ที่ใช้ในการปรับปรุงคุณภาพน้ำให้เหมาะสมก่อนการปล่อยลงสู่แหล่งน้ำตามธรรมชาติ ดังนั้นเพื่อไม่ให้เกิดผลเสียต่อแหล่งน้ำตามธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม จึงจำเป็นต้องมีการหาวิธีการที่เหมาะสมในการใช้ประโยชน์จากน้ำเสียที่เกิดขึ้น โดยจะต้องมีการจัดการที่สะดวกง่ายต่อการปฏิบัติและจะต้องคำนึงถึงความคุ้มค่า ประหยัดต่อเกษตรกรอีกด้วย ทางเลือกหนึ่งที่กำลังได้รับความสนใจเนื่องจากว่ามีราคาถูกและปลอดภัยต่อสภาพแวดล้อม โดยเฉพาะสารอินทรีย์สามารถถูกกำจัดออกจากระบบได้โดยใช้สิ่งมีชีวิตชนิดต่าง ๆ เช่น ใช้สาหร่ายสไปรูลินามาเป็นทางเลือกในการบำบัดนำเสียครั้งนี้ โดยมีรายงานการศึกษาวิจัยการใช้น้ำทิ้งจากภาคเกษตรกรรมและภาคอุตสาหกรรมต่าง ๆ อย่างกว้างขวางและประสบผลสำเร็จในการเลี้ยงสาหร่าย *(Spirulina platensis)* ได้เป็นอย่างดี (สรวิศ, 2543)

อย่างไรก็ตามพบว่ายังมิได้มีการศึกษาอย่างจริงจังในการใช้สาหร่ายสไปรูลินานี้ ในการบำบัดน้ำทิ้งที่มีสารอินทรีย์และมีค่าความสกปรกมากโดยเฉพาะน้ำเสียจากฟาร์มเลี้ยงโคนม ซึ่งนับว่าเป็นแหล่งของสารอาหารที่ดีแก่สาหร่าย แต่จำเป็นต้องมีการพิจารณาคุณสมบัติของน้ำเสียประกอบด้วย เพื่อที่จะได้ใช้สาหร่ายสไปรูลินาในการบำบัดนำเสียจากฟาร์มโคนมได้อย่างมีประสิทธิภาพ พร้อมทั้งสามารถนำผลผลิตสาหร่ายที่ได้นี้นำมาใช้เป็นแหล่งโปรตีนในส่วนผสม

ของอาหารโคนมต่อไป ซึ่งจะเป็นการลดต้นทุนค่าอาหารโคนมลงได้จากการใช้ผลพลอยได้จากการวิจัยครั้งนี้

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตสาหร่ายสไปรูลินา ในน้ำเสียจากฟาร์มโคนมในห้องปฏิบัติการและในสภาพกลางแจ้ง
2. ศึกษาคุณค่าทางโภชนาการของสาหร่ายสไปรูลินาที่ผลิตได้จากน้ำเสียจากฟาร์มโคนม
3. ศึกษาการเจริญเติบโตของลูกโคนมที่เลี้ยงด้วยสาหร่ายสไปรูลินาที่เพาะเลี้ยงได้จากน้ำเสียฟาร์มโคนม

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้สภาวะที่เหมาะสมและความเป็นไปได้ในการใช้น้ำเสียจากฟาร์มโคนม ในการเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินาและได้น้ำทิ้งที่มีคุณภาพดีขึ้น
2. ทำให้เกษตรกรสามารถได้ผลพลอยได้จากการการเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินาในน้ำเสียฟาร์มโคนมมาใช้เป็นส่วนประกอบอาหารลูกโคนมได้
3. เป็นแนวทางสำหรับการทดลองและวิจัยอื่น ๆ โดยใช้แหล่งน้ำเสียภาคเกษตรกรรมและภาคอุตสาหกรรมต่าง ๆ มาเป็นสารอาหารเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินาต่อไป

ขอบเขตการวิจัย

1. ใช้เชื้อสาหร่ายสไปรูลินาบริสุทธิ์จากภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ในการทดลอง ใช้น้ำเสียจากบ่อรวบรวมน้ำเสียจากฟาร์มโคนม ภาควิชาเทคโนโลยีทางสัตว์ คณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ มาทำการศึกษาเพาะเลี้ยงในห้องปฏิบัติการสาหร่ายและบ่อเลี้ยงสาหร่ายของ ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้
2. ทำการวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการของสาหร่ายสไปรูลินาที่ได้จากการเพาะเลี้ยงในน้ำเสียฟาร์มโคนม และศึกษาการเจริญเติบโตของลูกโคนมที่เลี้ยงด้วยสาหร่ายสไปรูลินาที่เพาะเลี้ยงได้จากน้ำเสียฟาร์มโคนม

บทที่ 2
การตรวจเอกสาร

ประวัติความเป็นมาของสาหร่ายสไปรูลินา

สาหร่ายสไปรูลินามาจากภาษาอังกฤษว่า สไปรอล (Spiral) ซึ่งมาจากภาษาลาตินที่แปลว่า "เกลียว" วนแบบขดเกลียว สาหร่ายสไปรูลินา (Spirulina) หรือที่รู้จักกันคือสาหร่ายเกลียวทอง สาหร่ายสไปรูลินาน่าจะเป็นพืชชนิดแรกที่เกิดขึ้นในโลก นักวิทยาศาสตร์ได้พบฟอสซิลของสไปรู-ลินาและได้ประเมินว่าฟอสซิลที่พบนั้นน่าจะมีอายุไม่ต่ำกว่า 3.6 พันล้านปี (สุพรีเดริ์ม, 2546)

โดยสาหร่ายสไปรูลินา เป็นกลุ่มสาหร่ายที่เรียกว่าแพลงค์ตอนพืช มีมาแต่สมัยโบราณ ปรากฏตามข้อมูลอ้างอิงจากแหล่งต่างๆ ว่าพบในแม็กซิโกและทวีปแอฟริกาโดยมีการระบุถึงข้อความที่ตีพิมพ์ในหนังสือพิมพ์นิวส์สเตทแมนประมาณฤดูใบไม้ร่วงของปี พ.ศ. 2510 ซึ่งมีเนื้อหาดังนี้ "ราวปี พ.ศ. 2370 ชาวชาดเผ่าคาเนมบุในป้อมลามิ ประเทศชาด ประเทศซึ่งอยู่ใจกลางทะเลทรายซาฮาร่า มีการขายของหวานชนิดหนึ่ง มีสีดำ ชาวพื้นเมืองเรียกว่า "ไดฮี" ของหวานชนิดนี้ทำจากสาหร่ายแล้วปั้นเป็นรูปเหมือนขนมปัง หญิงชาวพื้นเมืองใช้ตะกร้อสานช้อนเอาสาหร่ายซึ่งเป็นองค์ประกอบสำคัญของของหวานชนิดนี้ขึ้นมาจากผิวน้ำในบึง" (เจียมจิตต์, 2532)

นอกจากนี้ยังมีรายงานว่าชนเผ่าแอซเตคส์ (Aztecs) ในประเทศแม็กซิโกนิยมบริโภคสาหร่ายชนิดนี้เช่นกัน โดยมีชื่อพื้นเมืองว่า เทคุทเลท (Tecuitlate) ซึ่งเก็บเกี่ยวมาจากทะเลสาบโต-ตาลชิงโก (Totalcingo Lake) และทะเลสาบเท็กซ์โกโก้ (Texcoco Lake) (ยุวดี, 2545)

หลังจากนั้นประเทศชาด ถูกปกครองเป็นอาณานิคมของประเทศฝรั่งเศส นักวิทยาศาสตร์ชาวฝรั่งเศสจึงได้นำเอาสาหร่ายสไปรูลินานำไปศึกษาค้นคว้า และได้เป็นอาหารเสริมในระยะต่อมาและเป็นจุดเริ่มต้นของการศึกษาถึงประโยชน์ของสไปรูลินา ในระยะต้นนักวิทยาศาสตร์จำนวนมากได้ศึกษาถึงประโยชน์ของสไปรูลินาที่มีต่อมนุษย์ ซึ่งพบว่าสไปรูลินามีประโยชน์มากมายต่อมนุษย์ในลักษณะของการใช้เป็นอาหารสุขภาพ เพื่อเสริมสร้างความแข็งแรงให้กับร่างกายเพราะในสาหร่ายสไปรูลินานาจะมีสารประกอบทางชีวเคมี ที่มีผลต่อร่างกายของมนุษย์เกิดความสมดุลและอวัยวะต่างๆ สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ (สุพรีเดริ์ม, 2546)

ในปัจจุบันมีการผลิตสาหร่ายสไปรูลินาเป็นอุตสาหกรรมในหลายแห่งทั่วโลก บริเวณที่มีมากได้แก่ ทางด้านตะวันออกเฉียงใต้ของอเมริกา ฮาวาย เม็กซิโก ญี่ปุ่น จีนและประเทศไทย โดยมีผลผลิตที่ได้มีทั้งการใช้เป็นอาหารเสริมซึ่งมีโปรตีน สังกะสี เหล็ก และกรดไขมัน GLA หรือกรดแกรมมาลิโนเลอิก ในขณะเดียวกันก็มีการสกัดรงควัตถุ เช่น ไฟโคไซยานิน (Phycocyanin) มาใช้

ในอุตสาหกรรมเครื่องสำอางและยา (สรวิศ, 2543) สาหร่ายสไปรูลินาในเกรดที่ใช้เป็นอาหารเลี้ยงสัตว์ โดยนำมาเป็นส่วนผสมในอาหารสัตว์ปกติ เช่น อาหารปลาสวยงาม กุ้งกุลาดำ อาหารหมู อาหารไก่ เป็นต้น (ยุวดี, 2545)

การจัดลำดับทางด้านอนุกรมวิธานของสาหร่ายสไปรูลินา

สามารถจัดอนุกรมวิธานของสาหร่าย *Spirulina platensis* (Venkataraman, 1983) ได้ดังนี้

Kigdom	Monera
Division	Cyanophyta
Class	Cynophyceae
Order	Oscillatoriceae
Family	Oscilltoriceae
Genus	*Spirulina*
Species	*Spirulina platensis*

ลักษณะทางสัณฐานวิทยา

สาหร่ายสไปรูลินา (*Spirulina* spp.) เท่าที่พบในปัจจุบันมีอยู่มากกว่า 30 ชนิด (จีระพรรณ, 2537) เช่น *Spirulina platensis (*Nordsted*), S. princep, S. laxissima, S. subtilissima, S. subsals oersled* เป็นต้น ซึ่งแต่ละชนิดมีความแตกต่างกันทั้งขนาดความยาว และลักษณะของเกลียว และชนิดที่ได้รับการคัดสรรแล้วว่ามีความเหมาะสมในการเพาะเลี้ยงเพื่อนำมาเป็นอาหารมนุษย์ และสัตว์ก็คือ *Spirulina platensis* นั้นเอง (เจียมจิตต์, 2532)

ลักษณะที่สำคัญของสาหร่ายสไปรูลินาชนิดนี้คือ เป็นสารประกอบที่มีลักษณะเป็นเซลล์ทรงกระบอกเรียงต่อกันเป็นเส้นสายตรงหรือเป็นเกลียวหรือเป็นวงไม่มีกิ่งก้าน เรียกว่า ไตรโคม (Trichome) (มารศรี, 2546) และพบว่า ลัดดา (2544) และ ยุวดี (2545) รายงานไว้ใกล้เคียงกันว่าไตรโคมขดเป็นเกลียวห่างๆ ความสูงของเกลียว (Helix) 30-50 ไมครอน ระยะห่างระหว่างเกลียว (Pitch) เส้นผ่าศูนย์กลางของเกลียว 6-8 ไมครอน ความยาวของไตรโครม 300-500 ไมครอนและมีความกว้างประมาณ 8 ไมโครเมตร สาหร่ายสไปรูลินาไม่มีเยื่อหุ้มนิวเคลียส และคลอโรพลาสต์ แต่มีผนังเซลล์ประกอบด้วยเยื่อเปบติโดไกลแคน (Peptidoglycan) แทรกอยู่ระหว่างเยื่อทั้งสอง(มารศรี,

2546) ไม่มีเมือกหุ้มเมมเบรน ซึ่งเป็นผลดีที่ทำให้ไม่มีจุลินทรีย์ชนิดอื่น ๆ มาจับเกาะ และไม่มีนิวเคลียสแต่มีนิวเคลียสสับสแตนท์ เช่น กรดนิวคลิอิกกระจายอยู่ทั่วไปในไซโตพลาสซึม (จีระ-พรรณ, 2537) และมีเยื่อไทลาคอยด์ (Thylakoid membrane) ทำหน้าที่ในการสังเคราะห์แสงและเป็นแหล่งที่พบรงควัตถุสังเคราะห์แสงต่างๆ เช่น คลอโรฟิลล์-เอ (Chlorophyll-a) คาโรทีนอยด์ (Carotenoids) ไฟโคไซยานิน (Phycocyanin) ซึ่งมีสีน้ำเงินในปริมาณที่สูง และอัลโลไฟลิเมอร์-เพคติน และโพลิแซคคาไรด์ แต่ไม่พบสารพวกเซลล์ลูโลส (จีรพรรณ, 2537) การสืบพันธุ์ของสาหร่ายชนิดนี้มีเฉพาะแบบไม่อาศัยเพศ มีการเจริญเติบโตโดยการแบ่งเซลล์ (Binary fission) เท่านั้น โดยการขาดเป็นท่อน (Fragmentation) และท่อนที่ขาดไปนี้สาหร่ายสไปรูลินาสามารถแบ่งเซลล์ใหม่ทำให้ไตรโคมยืดยาวออกได้ (กาญจนาภาชน์, 2527) เส้นสายของสาหร่ายชนิดนี้อาจยาวบ้างสั้นบ้าง ขึ้นอยู่กับอายุและความอุดมสมบูรณ์ แม้แต่ความเป็นเกลียวบางครั้งก็ไม่คงที่อาจเป็นเกลียวบิดชัดเจนสวยงามหรือบางครั้งเกลียวจะคลายออกคล้ายเส้นตรง ซึ่งขึ้นอยู่กับปัจจัยของการเพาะเลี้ยง อาจจะเป็นความอุดมสมบูรณ์ของอาหาร แสง อุณหภูมิ หรือ pH ซึ่งยังไม่มีคำตอบที่ชัดเจน (สมชาย, 2531)

นิเวศวิทยาของสาหร่ายสไปรูลินา

สุมลวรรณ (2542) กล่าวว่า สามารถพบสาหร่ายสไปรูลินาได้ทั้งในแหล่งน้ำจืด น้ำกร่อย และน้ำเค็ม และจีรพรรณ (2537) กล่าวว่า สาหร่ายสไปรูลินาสามารถพบได้ตามแหล่งน้ำตามธรรมชาติทั้งที่เป็นน้ำจืด น้ำกร่อย แม้กระทั่งน้ำเสียสาหร่ายสไปรูลินาก็ยังสามารถขึ้นได้ ปกติแล้วสาหร่ายสไปรูลินาจะขึ้นได้ดีในบ่อตื้นๆ ที่มีความเข้มข้นของแสงประมาณ 30-35 กิโลลักซ์ ถ้าสภาพของแหล่งน้ำที่มีความเค็มและสภาพค่อนข้างเป็นด่าง มีค่า pH ประมาณ 9 – 11 สาหร่ายสไป-รูลินาเจริญได้ดีในแถบประเทศที่มีอุณหภูมิร้อนหรือกึ่งร้อนปกติอุณหภูมิเฉลี่ยตลอดปี 28 – 34 องศาเซลเซียส ถ้าต่ำกว่า 20 องศาเซลเซียส หรือสูงกว่า 37 องศาเซลเซียส จะไม่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของสาหร่าย

วงจรชีวิตของสาหร่ายสไปรูลินา

ในวงจรชีวิตของสาหร่ายสไปรูลินา ไตรโครมที่เจริญเติบโตเต็มที่ มีการสร้างเซลล์ที่มีลักษณะเฉพาะที่เรียกว่า เนคริเดีย (Necridia) ซึ่งเป็นตำแหน่งที่จะถูกย่อยทำให้ไตรโคมแตกหักออกเป็นท่อนสั้นๆ ขนาดประมาณ 2-4 เซลล์ ที่มีลักษณะเหมือนกันเป็นส่วนใหญ่ เรียกว่า โฮโมโก

เนีย (Homogonia) (มารศรี, 2546) นอกจากนั้นปลายทั้งสองด้านของโฮโมโกเนียจะค่อยๆ ม้วนเป็นเกลียว เซลล์ของโฮโมโกเนียเพิ่มจำนวนโดยวิธี Cell fusion และจะเจริญต่อไปเป็นไตรโครม (ลักขณา และคณะ, 2540)

ปัจจัยบางประการที่มีผลต่อการเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินา

การเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina platensis* มีปัจจัยบางประการที่มีอิทธิพลต่อผลผลิตของสาหร่าย ดังนี้

1. อุณหภูมิ (Temperature) อุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญของสาหร่าย *Spirulina platensis* ไม่ควรต่ำกว่า 20 องศาเซลเซียส และไม่สูงกว่า 37 องศาเซลเซียส แต่ถ้าอุณหภูมิสูงถึง 40 องศาเซลเซียส จะทำให้สาหร่ายไม่เจริญเติบโต (Venkataraman, 1983) และในช่วงอุณหภูมิ 30-35 องศาเซลเซียส จะเป็นช่วงที่เหมาะสมที่สุดต่อการเจริญเติบโต (สุมลวรรณ, 2542)

2. ปริมาณแสง (Light) สาหร่าย *Spirulina platensis* เจริญเติบโตด้วยการสังเคราะห์แสง จึงจำเป็นต้องใช้แสง ซึ่งแสงที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการเพาะเลี้ยงสาหร่ายในระบบอุตสาหกรรมคือแสงแดด โดยปริมาณแสงแดดที่เหมาะสมกับการเจริญของสาหร่าย *Spirulina platensis* คือ 35 ถึง 45 กิโลลักซ์ ถ้าปริมาณแสงที่มากเกินไปก็มีส่วนทำให้กระบวนการสังเคราะห์แสงลดลง ในงานวิจัยบางเรื่องอาจต้องใช้แสงในห้องปฏิบัติการ โดยอาจจะใช้แสงจากหลอดฟลูออเรสเซนต์ (Venkataraman, 1983)

3. ค่า pH pH ที่เหมาะสมควรอยู่ในช่วง 9 ถึง 11 และควรอยู่ในระดับ 9.5 จึงจะเหมาะสมที่สุด ถ้า pH ต่ำกว่านี้ควรปรับด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์และเกลือแร่อื่นๆ และมีผลต่อกระบวนการเมตาบอลิซึมในเซลล์สาหร่ายโดยตรง (สุมนทิพย์, 2529)

4. แหล่งคาร์บอน (Carbon source) แหล่งคาร์บอนในกระบวนการสังเคราะห์แสงของสาหร่ายมาจากก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่มีอยู่ในอากาศเพียง 0.4 เปอร์เซ็นต์ อาจไม่เพียงพอต่อความต้องการของสาหร่ายในสภาพที่เจริญตามปกติ แต่ในสภาพที่ต้องการผลผลิตปริมาณมากจะมีการเพิ่มก๊าซนี้ลงในอาหารที่เลี้ยง โดยทั่วไปคือการเติมโซเดียมไบคาร์บอเนต เมื่อทำปฏิกิริยากับน้ำจะได้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งสาหร่ายสามารถนำไปใช้ในกระบวนการสังเคราะห์แสงโดยตรง ปริมาณโซเดียมไบคาร์บอเนตที่เหมาะสมต่อการเจริญของสาหร่ายควรอยู่ในช่วง 4.5 ถึง 8.5 กรัมต่อลิตร บางโรงงานใช้วิธีเติมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ลงในบ่อเพาะเลี้ยงโดยตรงแต่ก็เสียค่าใช้จ่ายสูง อีกวิธีหนึ่ง คือ ใช้การกวนซึ่งก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศจะละลายลงสู่อาหาร และสาหร่ายนำไปใช้ได้ เช่นกัน

(ยุวดี, 2545)

5. ปริมาณสารอาหาร (Nutrients) สารอาหารที่มีความจำเป็นต่อการเจริญเติบโตของสาหร่าย คือ

5.1 ไนโตรเจน (Nitrogen) มีความสำคัญรองจากคาร์บอนในแง่ของปริมาณ สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินมีความสามารถตรึงไนโตรเจนจากอากาศได้ไนโตรเจนในรูปสารอนิน-ทรีย์ ได้แก่ เกลือ 3 ชนิด คือ ไนโตรเจน ไนไตรท์ และแอมโมเนีย ถ้าแหล่งไนโตรเจนอยู่ในรูปของเกลือแอมโมเนียเพียงอย่างเดียวจะทำให้ระดับของ pH ของอาหารลดต่ำลงอย่างรวดเร็ว ซึ่งเป็นอันตรายต่อสาหร่าย ถ้าสาหร่ายขาดไนโตรเจนจะมีผลต่อการสังเคราะห์แสงและปริมาณรงควัตถุหรือสารสีของเซลล์ รวมทั้งทำให้กิจกรรมของเอนไซม์บางชนิดลดลงด้วย

5.2 ฟอสฟอรัส (Phosphorus) จะพบอยู่ในรูปของออร์โธฟอสเฟตและในรูปสารอินทรีย์ ส่วนสารละลายฟอสเฟต-ฟอสฟอรัสจะปรากฏในปริมาณน้อยมากในธรรมชาติ ยกเว้นในน้ำที่มีมลพิษสูงๆ ซึ่งมีสารอินทรีย์มาก สาหร่ายบางสปีชีส์สามารถดูดซึมฟอสฟอรัสเข้าไปในเซลล์ในปริมาณมากเกินพอ และเซลล์ดังกล่าวสามารถดำรงชีวิตในน้ำที่มีไนโตรเจนต่ำๆได้ สำหรับสาหร่ายสีเขียวต้องการฟอสฟรัสเพื่อใช้ในการเจริญเติบโตประมาณ 2 ถึง 3 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง

5.3 โพแทสเซียม (Potassium) เป็นแร่ธาตุที่สาหร่ายต้องการ ถ้าลดปริมาณโพแทสเซียมลงจะทำให้การสังเคราะห์แสงของสาหร่ายลดต่ำลงด้วย แต่การหายใจจะเพิ่มขึ้น (Venkataraman, 1983)

6. ปริมาณฝนและการระเหยของน้ำ (Rain and evaporation) ฤดูฝนเป็นฤดูที่ไม่เหมาะสมต่อการเจริญของสาหร่าย *Spirulina platensis* ทำให้ได้ผลผลิตของสาหร่ายต่ำสุด (นฤมลและคณะ, 2529) เนื่องจากปริมาณแสงแดดลดลง และบางครั้งปริมาณฝนมากเกินไปจะทำให้สารอาหารในบ่อเพาะเลี้ยงเจือจาง ซึ่งนอกจากสาหร่ายจะไม่เจริญเติบโตแล้วอาจมีสาหร่ายชนิดอื่นเจริญปนเปื้อนอยู่ด้วยก็ได้ ส่วนในการผลิตสาหร่ายสไปรูลินาในสภาพกลางแจ้ง การระเหยของน้ำมักเกิดในฤดูร้อนโดยทำให้ปริมาณสารอาหารลดลง ความเข้มข้นของสารละลายเพิ่มขึ้น และทำให้อุณหภูมิของสารละลายเพิ่มขึ้น ซึ่งจะมีผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของสาหร่ายสไปรูลินา (จีระ-พรรณและคณะ, 2540)

7. การกวนหรือการหมุนเวียนของน้ำ (Agitation) มีผลทำให้เซลล์สาหร่ายที่อยู่ด้านล่างได้ขึ้นมารับแสง หรือทำให้สารอาหารซึ่งอาจมีการเติมลงไปใหม่ในระหว่างการเพาะเลี้ยงได้ละลายไปทั่วบ่อหรือภาชนะที่ใช้เพาะเลี้ยง และทำให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศละลายลงในสารอาหารได้ (ยุวดี, 2545)

8. ความเข้มข้นของสาหร่ายเริ่มต้น (Initial concentration) ควรอยู่ในช่วง 225 ถึง 250 มิลลิกรัมน้ำหนักแห้งต่อลิตร หรือทำการตรวจวัดค่าการดูดกลืนแสง (Optical density; OD) เป็น 1.0 แล้วก็จะเหมาะสมต่อการนำมาใช้เพาะเลี้ยง และจะใช้เพียง 2 ถึง 5 เปอร์เซ็นต์ ของสารอาหารที่เตรียมไว้ ถ้าหากความเข้มข้นเริ่มต้นต่ำเกินไปจะทำให้เซลล์สาหร่ายได้รับแสงมากเกินไปซึ่งอาจทำให้เซลล์สาหร่ายแตกได้ (สุมาลี, 2527)

9. น้ำที่ใช้ในการเพาะเลี้ยง โดยปกติการเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินาจะใช้น้ำจืดแต่ถ้านำน้ำทะเลมาใช้ในการเพาะเลี้ยงพบว่าการเจริญเติบโตไม่ดี เนื่องจากว่าน้ำทะเลมีคาร์บอเนต ฟอสเฟต ไนโตรเจนต่ำ แต่มีแคลเซียม และแมกนีเซียมสูงไม่เหมาะสมกับการเจริญเติบโตของสาหร่าย (Venkatarman, 1983)

10. การปนเปื้อน อาจพบพวกสาหร่ายสีเขียว จำนวนไม่มากนัก แบคทีเรีย (พวกบาซิลลัส) นอกจากนี้ยังพบว่ามีพวกไดอะตอมและตัวอ่อนแมลงบางชนิด เช่น Ephydra และ Anopheles (Venkatarman, 1983)

คุณประโยชน์ของสาหร่าย

1. ทางการแพทย์

เนื่องจากสาหร่ายสไปรูลินามีปริมาณอาหารครบถ้วนและมีคุณภาพสูง จึงทำให้มีประสิทธิภาพทั้งเป็นอาหาร และยาที่ให้ผลในทางป้องกัน ควบคุม และรักษาโรคต่างๆ ได้แก่ โรคเบาหวาน โรคกระเพาะอาหาร โรคตับ โรคริดสีดวงทวาร โรคความดันโลหิตสูง หรือแม้แต่โรคมะเร็ง (จีระพรรณ, 2537) และยังพบว่า โรคต้อกระจก ต้อหิน โรคผมร่วงและลดความเครียด ซึ่งสามารถทำให้โรคเหล่านี้หายขาดในบางรายและในบางรายก็ช่วยให้อาการทุเลาลงได้ (เจียมจิตต์, 2532) และยังมีรายงานว่าสาหร่ายสไปรูลินายังช่วยลดความเสี่ยงต่อการเป็นโรคหัวใจ โดยลดปริมาณคอเลสเตอรอลในเลือดและยังสามารถใช้เป็นอาหารลดความอ้วนได้อีกด้วย (Venkataraman, 1983)

2. ใช้เป็นอาหารของมนุษย์

มนุษย์เราสามารถบริโภคสาหร่ายได้โดยตรงหรือนำไปผสมกับอาหารชนิดอื่นๆ ก็ได้ เช่น โยเกิร์ต ไอศกรีม ซุป ขนมปัง เค้ก ช็อกโกแลต คุกกี้ ชาเขียวหรือแปรรูปเป็นสาหร่ายอัดเม็ดใช้เป็น

อาหารเสริมสุขภาพ ประเทศฝรั่งเศสเป็นประเทศแรกที่รู้จักถึงความอุดมสมบูรณ์ด้วยคุณค่าทางอาหารและเริ่มผลิตเป็นอาหารสำเร็จรูปในระดับอุตสาหกรรม (จีระพรรณ, 2537) และยังมีชาวญี่ปุ่นนิยมนำมาบริโภคเป็นอาหารบำรุงสุขภาพ โดยทำเป็นอุตสาหกรรมใช้กรรมวิธีทำแห้ง และอัดเม็ดซึ่งมีราคาแพง (เพ็ญรัตน์ และโฉมยง, 2545)

3. ใช้เป็นอาหารสัตว์

จากการศึกษาพบว่า การใช้สาหร่ายสไปรูลินาแห้งเป็นส่วนผสมอาหารสัตว์จะทำให้สัตว์มีน้ำหนักเพิ่มขึ้นในสัตว์ปีกพวกเป็ด ไก่ และจะทำให้ไข่ดกและไข่แดงมีสีเข้มน่ารับประทาน มีการนำสาหร่ายไปทดลองเลี้ยงลูกไก่พบว่าอัตราการตายน้อยลง และทำให้สีของไข่แดงเพิ่มขึ้นเนื่องจากแคโรทีนจะถูกเปลี่ยนเป็นวิตามินเอ มีการทดลองผสมสาหร่ายในอาหารเลี้ยงนกกระทาตั้งแต่อายุ 1 วัน จนถึง 11 สัปดาห์ พบว่าสีของไข่แดงที่ได้รับสาหร่ายจะมีสีเข้มขึ้นตามปริมาณของสาหร่ายที่ผสมในอาหาร (โอภาส, 2533) ได้มีการทดลองเสริม *Spirulina platensis* ในอาหารสุกรเล็ก (น้ำหนัก 20-30 กิโลกรัม) พบว่าอัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวันของการเสริมที่ 0, 0.5, 1, 2 เปอร์เซ็นต์เท่ากับ 0.61, 0.63, 0.66 และ 0.60 กิโลกรัม ตามลำดับ ในระยะการทดลอง 7 วัน แสดงว่าการเสริม ที่ 1 เปอร์เซ็นต์ ให้ผลดีที่สุดต่อสุกรเล็กมากที่สุด (วิชาภรณ์, 2543) และ Grinstead et al. (1999) ได้ทำการวิจัยในสุกรหลังหย่านมที่อายุ 14-28 วัน ซึ่งพบว่าการเสริมสาหร่ายสไปรูลินา 20 g kg^{-1} จะส่งผลให้สุกรมีค่า ADG (Average daily Gain)สูงกว่าสุกรในกลุ่มอาหารควบคุมซึ่งไม่มีสาหร่ายผสม และยังมีการเสริม *Spirulina platensis* ที่ได้จากการเพาะเลี้ยงสาหร่ายด้วยน้ำเสียหรือน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม ต่างๆ ผสมลงในอาหารสำเร็จรูปสำหรับเลี้ยงสัตว์จะช่วยเพิ่มคุณค่าสารอาหารและเป็นการลดต้นทุนการผลิตอีกด้วย (สมเกียรติ,2542) ทางด้านประมงพบว่าสามารถนำไปใช้ในการเพาะเลี้ยงปลาและกุ้งได้เป็นอย่างดีทำให้ปลามีน้ำหนักตัวได้มากขึ้น นอกจากนี้ยังมีสารบางชนิดที่ทำให้ปลามีสีสดสวยขึ้นอีกด้วย (สถาบันประมงน้ำจืดแห่งชาติ, 2530) และพบว่า (เพ็ญรัตน์, 2545) ได้ทำการทดลองนำสาหร่ายสไปรูลินาไปเลี้ยงปลาทอง ด้วยอาหาร 3 สูตรคือ อาหารผสมปลาป่น อาหารผสมสาหร่ายสไปรูลินา และสาหร่ายสไปรูลินาล้วนๆ ปรากฏว่าอาหาร 2 สูตรหลังทำให้ปลามีอัตราการรอดตาย อัตราน้ำหนักตัวเพิ่มขึ้น และสีของปลาทองดีกว่าสูตรแรกเกือบร้อยเปอร์เซ็นต์ และยังมีการทดลองใน ปลาแฟนซีคาร์พ จากการทดลองจะช่วยเพิ่มการเจริญเติบโต อัตราการรอดตาย อัตราน้ำหนักและสารแคโรทีนอยด์ที่สะสมในเนื้อปลาดีกว่าอาหารสำเร็จรูปเช่นเดียวกับปลาทองและยังพบว่าทำให้ปลาสวยงามมีสีที่เข้มขึ้นอีกด้วย และมีการนำไปใช้เป็นอาหารโปรตีนสำหรับกุ้งซึ่งสาหร่ายสไปรูลินาจะช่วยทำให้สุขภาพกุ้งเป็นดังนี้ ช่วย

เสริมสร้างความแข็งแกร่งของระบบภูมิคุ้มกันในตัวกุ้ง ทำให้อวัยวะสร้างเม็ดเลือดมีความอุดมสมบูรณ์ ผลิตเม็ดเลือดออกมาสู่ระบบหมุนเวียนโลหิตได้อย่างมีประสิทธิภาพ ช่วยในการทำงานของระบบทางเดินอาหารให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น ช่วยในการกำจัดสารพิษและยาปฏิชีวนะต่างๆ ออกจากร่างกายของกุ้ง ยังพบว่าสไปรูลินายังมีกรดไขมันที่มีความจำเป็นต่อการเสริมสร้างเซลล์ตับและตับอ่อนของกุ้งและช่วยในการลดความเครียดของกุ้งได้เนื่องจากว่ามีสารต้านอนุมูลอิสระประสิทธิภาพสูงอยู่ด้วย

4. การบำบัดน้ำเสีย

จากการศึกษาพบว่าสาหร่ายชนิดนี้สามารถกำจัดน้ำเสียได้โดยนำมาเลี้ยงในน้ำเสียซึ่งเป็นการใช้สาหร่ายบำบัดน้ำเสีย แล้วนำมาเป็นอาหารสัตว์ได้อีกด้วยซึ่งมีการศึกษาดังนี้

ทศพร (2529) ได้ทำการศึกษา โดยทำการเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina platensis* SP-1 และสาหร่ายชนิดอื่น ๆ มากำจัดสารพวกไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในน้ำเสียชุมชนที่ผ่านการบำบัดขั้นที่สองของโรงงานกำจักน้ำเสียห้วยขวาง ผลการทดลองพบว่า สาหร่าย *Spirulina platensis* สามารถลดค่า ซีโอดี แอมโมเนีย-ไนโตรเจน ไนไตรท์ ไนเตรท ไนโตรเจนทั้งหมดและฟอสฟอรัส ได้คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ 27.59, 19.09, 0.30, 8.94, 10.38, 10.38 และ 26.61 ตามลำดับ

สุขใจ และนวลพรรณ (2530) ได้ทำการทดลองเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina platensis* โดยใช้น้ำทิ้งจากโรงงานฆ่าไก่ พบว่า หลังการเพาะเลี้ยงสาหร่ายจะทำให้ค่าบีโอดี ลดลงในช่วง 15-25 เปอร์เซ็นต์และให้ผลผลิตสูงสุด 197 ถึง 268 มิลลิกรัมต่อ 100 มิลลิลิตร ต่อมาได้ทดลองเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina platensis* ในน้ำทิ้งจากโรงงานปลาป่น พบว่า สามารถใช้น้ำทิ้งได้มากที่สุดถึง 15 เปอร์เซ็นต์และได้ผลผลิต 6.87 กรัมต่อตารางเมตรต่อวัน

วิลาสินี (2532) ได้ทำการทดลองเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina platensis* ในกากส่าเหล้าที่ความเข้มข้นต่าง ๆ และมีการเติมปุ๋ยสูตร 16-16-16 (N:P:K) $NaHCO_3$, $NaNO_3$, K_2HPO_4 ในสภาพกลางแจ้งพบว่า สาหร่าย *Spirulina platensis* สามารถลดค่า บีโอดี ได้ 44.00 เปอร์เซ็นต์ และ 43.43 เปอร์เซ็นต์ ความเข้มข้นของสีน้ำกากส่าเหล้าลดลง 51.13 เปอร์เซ็นต์ และ 58.69 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

สถิต (2533) ได้ทำการศึกษาโดยนำสาหร่าย *Spirulina platensis* มาเพาะเลี้ยงในน้ำเวย์เต้าหู้ความเข้มข้นตั้งแต่ร้อยละ 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14และ 15 ปรับสภาพน้ำเสียให้มี pH อยู่ในช่วง 10 ± 0.4 เป็นเวลา 30 วัน โดยเพาะเลี้ยงในห้องปฏิบัติการ และกลางแจ้ง มีความหนาแน่นเริ่มต้นของสาหร่ายเท่ากับ 2.41×10^5 และ 2.04×10^4 เซลล์ต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ

พบว่า ความเข้มข้นของน้ำเสียร้อยละ 10 ได้ผลผลิตสาหร่ายสูงสุดในห้องปฏิบัติการ และกลางแจ้ง เท่ากับ 3.21×10^5 และ 1.12×10^5 เซลล์ต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ

ปฏิพันธ์ (2543) ได้ทำการศึกษาเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina platensis* ในน้ำทิ้งบ่อหมักก๊าซชีวภาพมูลสุกรที่ได้จากบ่อบำบัดน้ำเสียฟาร์มเลี้ยงสุกร พบว่า ค่า บีโอดี ของน้ำเสียลดลง 61.38 เปอร์เซ็นต์

Chiu et al. (1980) ได้ศึกษาสภาวะการเจริญเติบโตของสาหร่าย *Spirulina platensis* ในน้ำเสียจากฟาร์มสุกร โดยทดลองเลี้ยงในบ่อกลางแจ้ง ทำการตรวจวิเคราะห์คุณภาพน้ำเริ่มต้น พบว่ามีค่า pH เท่ากับ 7.9 และปริมาณความหนาแน่นของสาหร่าย ในรูปของค่า OD ที่ความยาวคลื่น 560 นาโนเมตร วัดได้เท่ากับ 0.46 และพบว่าน้ำเสียมีค่าแอมโมเนีย ไนโตรเจน ซีโอดีเท่ากับ 95, 120 และ 220 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ และทำการเก็บตัวอย่างทุกวันเป็นเวลา 4 วัน ในวันสุดท้าย ค่า pH เป็น 10.2 ค่า OD ของสาหร่ายเพิ่มเป็น 0.09 แอมโมเนีย ไนโตรเจน และซีโอดี ลดลงเหลือเท่ากับ 5, 16 และ 145 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ

Benjamas et al. (2002) ได้ใช้สาหร่ายสไปรูลินาในการควบคุมคุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงกุ้ง พบว่า สาหร่ายสไปรูลินาสามารถลดความเข้มข้นของแอมโมเนียมและไนไตรท์ลงได้ 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร เพิ่มเป็น 0.6 มิลลิกรัมต่อลิตร

คุณค่าทางอาหารของสาหร่ายสไปรูลินา

1. โปรตีน (Protein)

สาหร่ายสไปรูลินาแห้งมีเปอร์เซ็นโปรตีนสูงถึง 71 เปอร์เซนต์ โดย (สุมลวรรณ, 2542) กล่าวว่าสาหร่ายสไปรูลินามีโปรตีนสูงกว่าเนื้อวัวถึง 3 เท่าครึ่ง ซึ่งถ้าเปรียบเทียบกับโปรตีนในเนื้อสัตว์และพืช เช่น ถั่วเหลืองก็ยังมีโปรตีนสูงกว่ามาก ดังแสดงการเปรียบเทียบโปรตีนในสาหร่ายสไปรูลินากับอาหารทั่วไปที่มีโปรตีนสูง ดังแสดงในตาราง 1

ตาราง 1 การเปรียบเทียบปริมาณโปรตีนในสาหร่ายสไปรูลินา กับอาหารชนิดอื่นๆ

ชนิดของอาหาร	ปริมาณโปรตีน (กรัม/100 กรัมน้ำหนักแห้ง)
สาหร่าย *Spirulina* spp.	69.5-71.0
สาหร่าย *Chlorella* spp.	40.0-56.0
เนื้อวัว	18.0-20.0
ไข่	10.0-25.0
ข้าวเจ้า	7.0
ถั่วเหลือง	33.0-35.0
ปลาทู ปลาอินทรีย์	20.0
ข้าวสาลี	6.00-10.00

ที่มา: จีระพรรณ (2537)

นอกจากนี้ยังอุดมไปด้วยกรดอะมิโนที่จำเป็นหลายชนิด ถึงได้มีการนำคุณค่าด้านโภชนาการในส่วนของกรดอะมิโนของสาหร่าย *Spirulina* spp. เปรียบเทียบกับอาหารชนิดอื่นๆ และค่ามาตรฐาน FAO ดังแสดงในตาราง 2

ตาราง 2 การเปรียบเทียบกรดอะมิโนของสาหร่ายสไปรูลินา และอาหารโปรตีนอื่นๆ กับค่ามาตรฐาน FAO (กรัม/100 กรัมโปรตีน)

กรดอะมิโน	*Spirulina* spp.	ไข่	ถั่วเหลือง	ปลาป่น	ค่ามาตรฐาน FAO
Lsoleucine	6.0	6.6	4.5	0.4	4.2
Leucine	8.5	8.8	7.3	7.3	4.8
Phenylalanine	5.0	5.8	4.0	4.0	2.8
Tyrosine	4.0	-	2.9	2.9	-
Threonine	4.6	5.0	4.2	4.2	3.3
Tryptophan	1.4	1.7	1.2	1.2	1.1
Valine	6.5	1.7	5.2	5.0	2.8
Areginine	6.5	7.4	5.0	7.7	2.0
Lysine	1.8	6.6	2.0	2.4	2.4
Cystine	4.6	2.4	7.0	6.5	4.0
Methionine	1.4	3.1	2.6	1.4	1.7

ที่มา: มนตรี (2530)

2. ไขมัน (Lipid)

สาหร่ายสไปรูลินา มีเปอร์เซ็นต์ไขมันระหว่าง 2.0-7.3 เปอร์เซนต์ของน้ำหนักแห้ง โดยไขมันส่วนใหญ่จะเป็นกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว (Unsaturated fatty acids) ซึ่งมีส่วนประกอบ 80 เปอร์เซนต์ จะเป็นกรดแกมมาไลโนลินิค (GLA) โดยเป็นกรดไขมันที่เป็นประโยชน์ต่อการเภสัชกรรม คือช่วยลดปัญหาเรื่องโคเลสเตอรอล ซึ่งจากผลวิจัยพบว่าสามารถลดปริมาณโคเรสเตอรอลได้ถึง 70 เท่า ของกรดไขมันที่พบในน้ำมันพืช และยังช่วยลดอาการปวดประจำเดือนและลดผื่นแพ้จากกรรมพันธุ์ได้ โดยสาหร่ายสไปรูลินา สามารถผลิต GLA ได้สูงถึง 8-32 เปอร์เซนต์ ของกรดไขมันทั้งหมด (จงกล และนิวุฒิ, 2543)

3. รงควัตถุ (Pigment)

สาหร่ายสไปรูลินาประกอบด้วยรงควัตถุหลายชนิด ได้แก่ คลอโรฟิลล์ เอแคโรทีนนอยด์ และไฟโคบิลิน (Phycobilin) ที่สำคัญคือ แคโรทีนอยด์ ซึ่งประกอบด้วย แซนโธฟิลล์ (Xanthophyll) และคาโรทีน (Carotene) (กาญจนภาชน์, 2527) โดยมีแคโรทีนอยด์ทั้งหมด 1.7 มิลลิกรัมต่อกรัมของน้ำหนักแห้ง ซึ่งแยกออกเป็นชนิดต่างๆ ดังนี้ เบต้าแคโรทีน (B-carotene) 26 เปอร์เซนต์ เบต้าแคโรทีน 5,6 อีฟ๊อกไซด์ (B-carotene-5,6 efoxide) 5 เปอร์เซ็นต์, เอ็ค-โคนิโนน (echinenone) 7 เปอร์เซ็นต์, คริพโตแซนธิน (Cryptoxanthin) 23 เปอร์เซ็นต์ มิคโซแซนโธฟิลล์ (Myxoxanthophyll) 24 เปอร์เซ็นต์ และซีแรนธิน 9 เปอร์เซ็นต์ (Choubert, 1979) อ้างโดย (จงกลและนิวุฒิ, 2543)

4. วิตามินและแร่ธาตุ (Vitamins and minerals)

เป็นแหล่งของแร่ธาตุและวิตามินที่จำเป็นต่อร่างกายที่มีคุณค่าต่อร่างกายและสามารถดูดซึมเข้าสู่ร่างกายได้เร็วเป็น 4-5 เท่าของแหล่งที่ได้จากสัตว์ เช่น เนื้อไข่และเนยแข็ง (สุมลวรรณ, 2542) โดยพบว่าสาหร่ายสไปรูลินาแห้งประกอบด้วยวิตามิน 10 ชนิด ดังแสดงในตาราง 3

ตาราง 3 ปริมาณวิตามินและแร่ธาตุของสาหร่ายสไปรูลินา แห้ง 1 กิโลกรัม

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

ที่มา: Hill (1980)

คุณค่าทางอาหารของสาหร่ายเป็นปัจจัยสำคัญในการนำสาหร่ายไปใช้ประโยชน์ เช่น นำไปใช้เป็นอาหารสัตว์ อาหารมนุษย์ องค์ประกอบทางเคมีของสาหร่ายจะแตกต่างกันตามสภาพแวดล้อมที่มีผลต่อการเจริญ เช่น อุณหภูมิ ความเป็นกรดด่าง และสารอาหาร เป็นต้น ดังแสดงในตาราง 4

ตาราง 4 คุณค่าทางโภชนาการของสาหร่ายสไปรูลินา จากการเพาะเลี้ยงอาหารต่าง-ชนิดกัน (เปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้ง)

แหล่งอาหาร	เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแห้ง						
	ความชื้น	เถ้า	เยื่อใย	โปรตีน	ไขมัน	คาร์โบไฮเดรต	อ้างอิง
กากส่าเหล้าความเข้มข้น 5%	-	-	7.38±0.02	6.75±0.75	6.75±0.28	12.66	สุพัตตา, 2533
กากส่าเหล้าผสมกับน้ำหมักผักตบชวา	-	-	-	38.17±56.66	-	-	ณรงค์, 2535
ใช้สารเคมีเพาะเลี้ยงของสถาบันประมงน้ำจืดแห่งชาติ	5-10	5-12	1-14	55.56	2.6	10-15	สมศักดิ์, 2530
น้ำเสียจากฟาร์มสุกรใช้เพาะเลี้ยง *S.maxima*	-	-	-	36	6	44	Canizeres et al., 1995
น้ำทิ้งจากบ่อหมักก๊าซชีวภาพมูลสุกร 50%	6.01	32	0.05	48.9	1.38	11.47	จงกล, 2543
น้ำทิ้งจากบ่อบำบัดหอพักนักศึกษา ม.แม่โจ้ ความเข้มข้น 100%	8.52±1.37	9.13±0.65	0.22±0.06	45.11±2.33	3.72±0.48	33.29±2.41	จงกล, 2545

ที่มา: จงกล และนิวุฒ (2546)

การเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินาจากน้ำเสีย

มีการศึกษาทำการเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินาในน้ำเสียชนิดต่างๆ เนื่องจากว่าในน้ำเสียเหล่านั้นจะมีธาตุอาหารที่จำเป็น ได้แก่ ไนโตรเจนที่มาจากไนเตรตหรือแอมโมเนีย ซึ่งเป็นทั้งปัสสาวะและอุจจาระจากคนหรือสัตว์ ปุ๋ย เศษอาหาร และมีฟอสเฟตจากผงซักฟอก ปุ๋ยหรือเศษอาหาร แต่ปริมาณสารอาหารเหล่านี้ไม่เพียงพอต่อการเจริญเติบโตของสาหร่ายสไปรูลินาจึงมีการเติมสารเคมีบางชนิดลงไปซึ่งมีราคาไม่แพง เพื่อให้สารอาหารเพียงพอ (ยุวดี, 2545) โดยพบว่ามีการศึกษาจากน้ำเสียจากหลากหลายแหล่งดังนี้

นฤมล และคณะ (2529) ศึกษาการผลิตสาหร่ายสไปรูลินาจากน้ำทิ้งโรงงานแป้งมันสำปะหลัง โดยเติมสารประกอบของ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และคาร์บอเนตลงไป ค่า pH 10 พบว่าสาหร่ายสไปรูลินาสามารถเจริญเติบโตได้ดีที่สุด เมื่อเพาะเลี้ยงในน้ำทิ้งจากโรงงานแป้งมันสำปะหลังที่มีความเข้มข้นของ $NaNO_3$ เท่ากับ 8.5 กรัมต่อลิตร และปุ๋ยเคมี 16-16-16 เท่ากับ 0.6 กรัมต่อลิตร

ณรงค์ (2535) ได้ทำการเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินา และศึกษาปริมาณโปรตีนของ *Spirulina platensis* ในน้ำกากส่าเหล้าผสมกับน้ำหมักผักตบชวา พบว่า สาหร่ายเจริญได้เมื่อใช้ความเข้มข้นของน้ำหมักผักตบชวา 40-60 เปอร์เซ็นต์ ผสมน้ำกากส่าเหล้า 0.5 เปอร์เซ็นต์ โดยเติมสารเคมีบางชนิด

พิมพรรณ และอารักษ์ (2531) เพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินาจากน้ำทิ้งโรงงานยางพาราที่ไม่ได้เจือจางจะทำให้สาหร่ายสไปรูลินาเจริญเติบโตได้ดีที่สุด การเพิ่ม K_2HPO_4 และ K_2SO_4 พบว่าไม่จำเป็น และมีอัตราการเจริญเติบโตของสาหร่ายสไปรูลินาลดลงเมื่อมีความเข้มของสารเพิ่มขึ้น

สุวิมล (2536) ทำการเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินาในน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตขนมจีนพบว่าสาหร่ายสไปรูลินาที่เพาะเลี้ยงในอาหารต่างชนิดกันมีการเจริญเติบโตต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 โดยสูตรอาหาร Zarrouk ผสมกับน้ำทิ้งโรงงานผลิตขนมจีนในอัตราส่วน 1 : 1 สาหร่ายมีปริมาณโปรตีนสูงสุด 67.15 คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง

เสกสรร (2536) ทำการเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินาในน้ำทิ้งขนมจีนกับสูตรอาหาร Zarrouk ดัดแปลง พบว่าสาหร่ายสไปรูลินาที่เพาะเลี้ยงในอาหารต่างชนิดกัน มีการเจริญเติบโตแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 โดยสูตรอาหาร Zarrouk มีการเจริญเติบโตและปริมาณโปรตีนสูงสุด 61.53 คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง

รพีพรรณ (2541) ได้ทำการทดลองเพาะเลี้ยงสาหร่ายเกลียวทองด้วยน้ำเวย์นมที่ความเข้มข้น 2, 4, 5, 6, 7, 8, 10, 12 และ 15 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ด้วยการเลี้ยงแบบ fed-batch culture พบว่า สาหร่ายสามารถเจริญเติบโตได้ดีที่สุด ที่ความเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์ มีผลผลิตเซลล์สาหร่ายสูงสุด 1.46×10^{2} เซลล์ต่อมิลลิลิตร เมื่อเพาะเลี้ยงแบบ batch culture พบว่า ที่ความเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์ สาหร่ายเจริญได้ดีที่สุด 1.61×10^{5} เซลล์ต่อมิลลิลิตร และในสภาพกลางแจ้งพบว่าที่ความเข้มข้น 4 เปอร์เซ็นต์สาหร่ายเจริญได้ดีที่สุด 1.74×10^{5} เซลล์ต่อมิลลิลิตร

สมเกียรติ (2542) ได้ทำการเพาะเลี้ยง *Spirulina platensis* ในระดับอุตสาหกรรมขนาดย่อม การเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina platensis* ในระดับห้องปฏิบัติการ ในน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตกระดาษสาความเข้มข้น 0.5, 1, 2, 4, 6, 8 และ 10 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเติม $NaHCO_3$ 8.5 กรัม $NaNO_3$ 1.5 กรัม ปุ๋ย N:P:K สูตร 16-16-16 0.6 กรัมต่อลิตร และเติมสาหร่ายลงไป 10 เปอร์เซ็นต์ เลี้ยงเป็นเวลา 9 วัน ในสภาพห้องปฏิบัติการ และในสภาพกลางแจ้ง พบว่า สาหร่ายมีแนวโน้มเจริญเติบโตได้ดีในสภาพห้องปฏิบัติการที่ความเข้มข้น 4 เปอร์เซ็นต์ มีผลผลิตเซลล์สาหร่ายสูงสุด 2.618×10^{5} เซลล์ต่อมิลลิลิตร และสภาพกลางแจ้งที่ 6 เปอร์เซ็นต์ มีผลผลิตเซลล์สาหร่ายสูงสุด 3.718×10^{5} เซลล์ต่อมิลลิลิตร และได้ทำการเพาะเลี้ยงแบบ batch culture และ semicontinous culture ในสภาพกลางแจ้ง พบว่า การเพาะเลี้ยง semicontinous culture ได้ผลดีกว่าแบบ batch culture เก็บเกี่ยวน้ำหนักสดเท่ากับ 881.3 กรัม น้ำหนักแห้งเท่ากับ 82.3 กรัม ผลผลิตสาหร่ายสูงสุด เท่ากับ 1.083×10^{3} เซลล์ต่อมิลลิลิตร ปริมาณโปรตีนของสาหร่ายจากอาหารสูตรน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตกระดาษสาและจากอาหารสูตร Zarrouk เท่ากับ 54 และ 49.85 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ

จงกล (2543) ทำการเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินาในน้ำทิ้งจากบ่อหมักก๊าซชีวภาพมูลสุกร ที่ความเข้มข้นน้ำเสีย 50 เปอร์เซ็นต์ คุณภาพน้ำเสียเมื่อสิ้นสุดการทดลอง พบว่าค่า COD ค่า และค่า NH_3-N ในน้ำเสียลดลงถึงเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งและคุณค่าทางโภชนะโดยเฉพาะโปรตีนและไขมันมีค่าสูงเท่ากับ 51 และ 1.62 คิดเป็นเปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้ง ตามลำดับ

พฤหัส (2546) ทำการเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินาในน้ำเสียจากฟาร์มโคนม พบว่าความเข้มข้นของน้ำเสียที่ 10 เปอร์เซ็นต์ สามารถลดค่า COD ลงจาก 320 มิลลิกรัมต่อลิตร ให้เหลือ 64 มิลลิกรัมต่อลิตร คิดเป็นประสิทธิภาพถึง 80 เปอร์เซ็นต์

Chung (1978) รายงานไว้ว่า การเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินา ในอาหารที่มีการใส่น้ำหมักมูลสุกร เป็นแหล่งธาตุอาหารส่วนหนึ่ง สาหร่ายมีการเจริญเติบโตได้ดี แม้มีการลดปริมาณ $NaHCO_3$ จาก 16.8 กรัมต่อลิตร ให้เหลือ 1.7 กรัมต่อลิตร อย่างไรก็ตามสาหร่ายก็ยังสามารถใช้น้ำเสียจากมูลสุกรเป็นแหล่งคาร์บอนได้

Phang et al. (2000 อ้างโดย จงกล และนิวุฒิ 2546) พบว่าการเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินาในน้ำเสียจากโรงงานผลิตแป้งสาคู เมื่อทำการวิเคราะห์น้ำได้ค่าเฉลี่ย C:N:P เท่ากับ 24:0.14:1 มีอัตราการเจริญเติบโตโดยเฉลี่ย 0.51 ไมโครกรัมต่อวัน คุณค่าทางโภชนะได้ค่าโปรตีน คาร์โบไฮเดรต ไขมัน เฉลี่ยเท่ากับ 68, 23 และ 11 คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ สามารถลดค่า COD, NH_3-N และ PO_4-P ได้เท่ากับ 98, 99.9 และ 99.4 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

Costa et al. (2003) ทำการเพาะเลี้ยงสาหร่ายในน้ำที่มาจากทะเลสาบ Mangueira ประเทศบราซิล พบว่าเมื่อเติม ยูเรีย 1.125 มิลลิกรัมต่อลิตร ทำให้ความเข้มข้นของมวลชีวภาพของสาหร่ายสไปรูลินาเพิ่มขึ้นเป็น 2.67 เท่า

การเก็บเกี่ยว

การเก็บเกี่ยวสาหร่ายต้องคำนึงถึงค่าใช้จ่ายเป็นหลักซึ่งได้แก่วิธีการดังนี้

1. การกรอง (Gravity filtration) คือการกรองโดยใช้ผ้ากรองธรรมดา วิธีนี้ยังทำได้อีกหลายวิธี ได้แก่ การกรองโดยใช้ผ้ากรอง 2 ชั้น เป็นผ้าไนล่อนขนาดตา 0.6 ตารางเมตร ขึงไว้กับกรอบเหล็กผ้าแผ่นบนมีความถี่ 25 ช่องตารางนิ้ว แผ่นล่างมีความถี่ 60 ช่องตารางนิ้ว สามารถกรองได้ด้วยอัตราการกรอง 200 ลิตรต่อตารางเมตรต่อชั่วโมง การกรองได้พัฒนาขึ้นโดยใช้ผ้ากรอง 2 ผืน โดยใช้ผ้าผืนบนและล่างจะมีเหล็กขูดเซลล์ที่ติดอยู่ กระบวนการกรองนี้ทำให้กรองด้วยอัตรา 670 ลิตรต่อตารางเมตรต่อชั่วโมง การเก็บเกี่ยววิธีนี้นิยมปฏิบัติในอุตสาหกรรมการผลิตขนาดเล็ก เพราะการเก็บเกี่ยวได้ค่อนข้างช้าและพยายามหลีกเลี่ยงใช้พลังงานไฟฟ้า

2. การอัดบนแผ่นโลหะ (Plate and frame filter pressing) เครื่องมือนี้ประกอบด้วยโลหะซึ่งเจาะรูเล็ก ๆตลอดแผ่นวางขนานกันในโครงเหล็กและมีแผ่นผ้าปิดทับแผ่นโลหะแต่ละแผ่น วิธีการ คือ ใช้แรงดันอัดสาหร่ายผ่านแผ่นโลหะนี้ สาหร่ายก็ติดค้างบนแผ่นโลหะซึ่งสามารถเก็บได้ในภายหลัง วิธีนี้สามารถเก็บเกี่ยวสาหร่ายได้อย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพ แต่ต้องเสียค่าใช้จ่ายสูงขึ้นเมื่อใช้ Filter press ที่มีพื้นที่ 0.3 ตารางเมตร จะได้ผลผลิตมากกว่าวิธีแรกถึง 10 เปอร์เซ็นต์และยังลดเวลาที่ใช้ในการกรองได้อีกด้วย

3. การใช้เครื่องเหวี่ยง (Centifuge) วิธีการนี้ใช้หลักการใช้สาหร่ายตกตะตอน โดยใช้แรงเหวี่ยงและจะแยกน้ำไว้ชั้นบน ในการผลิตแบบต่อเนื่องเพื่อให้อัตราการไหลเข้าของสาหร่ายเป็น 125 ลิตรต่อนาที พบว่าให้ผลผลิตมากกว่าวิธีที่ 2 เพียง 1 เปอร์เซ็นต์เท่านั้นวิธีนี้จึงไม่นิยมใช้ (สุมาลี, 2527)

การทำแห้ง

การทำสาหร่ายให้แห้งหากใช้อุณหภูมิสูงเกินไป อาจทำให้คุณภาพทางโภชนาการของสาหร่ายลดลง จึงมีผู้เสนอวิธีการทำแห้งไว้หลายวิธี เช่น

1. วิธี Solar drying โดยการใช้กล่องที่ภายในทาสีดำและปิดด้วยกระจกหนา 2 มิลลิเมตร จะทำให้อุณหภูมิภายในเท่ากับ 60-70 องศาเซลเซียส วิธีนี้ใช้ได้ดีเมื่อใช้กับสาหร่ายที่แผ่ให้หนาประมาณ 2-3 มิลลิเมตร ใช้เวลา 5-6 ชั่วโมง

2. วิธี Sun drying เป็นวิธีที่ง่ายและเสียค่าใช้จ่ายน้อยมากแต่มีข้อเสียหลายอย่าง เช่น ต้องขึ้นกับสภาพอากาศ และเกิดการเสียหายจากแสงแดดที่มากเกินไป วิธีนี้ใช้กับสาหร่ายที่นำมาเป็นอาหารสัตว์ โดยการแผ่สาหร่ายบนแผ่นพลาสติกในถาดแล้วนำไปตากแดด

3. วิธี Drum drying เป็นการทำแห้งโดยใช้สาหร่ายมาสัมผัสกับแผ่นโลหะร้อนโดยตรง ทำให้ความชื้นในสาหร่ายระเหยไป เครื่องมือนี้ประกอบด้วยลูกกลิ้งโลหะกลวง และมีไอร้อนไหลเวียนอยู่ ลูกกลิ้งจะถูกตรึงให้หมุนรอบแกนในแนวนอนด้วยความเร็วที่สามารถปรับได้ตามต้องการ มีเครื่องป้อนสาหร่ายให้เป็นชั้นบาง ๆ และมีใบมีดสอดอยู่ตำแหน่งหนึ่งเพื่อคอยขูดแผ่นสาหร่ายที่แห้งออก จัดเป็นเครื่องทำแห้งที่มีอัตราการทำแห้งสูงมาก มักใช้อุณหภูมิสูงกว่า 121 องศาเซลเซียสใช้เวลาราว 8 ถึง 14 วินาที

4. วิธี Spray drying เครื่องทำแห้งระบบนี้สาหร่ายเหลวจะถูกพ่นเข้าไปในกระแสลมร้อนด้วยหยดของเหลวขนาดเล็ก 10 ถึง 200 ไมครอน ทำให้มีพื้นผิวสัมผัสกับลมร้อนสูง อัตราการทำแห้งเร็วมาก ความชื้นในสาหร่ายจะระเหยอย่างรวดเร็ว ระบบนี้ใช้อุณหภูมิภายในเครื่องไม่เกิน 74 องศาเซลเซียส และสาหร่ายจะแขวนลอยอยู่ในช่วง 1 ถึง 10 วินาทีเท่านั้น จึงไม่ทำให้สาหร่ายเกิดความเสียหายเนื่องจากความร้อน ความชื้นในสาหร่ายจะถูกลดต่ำลง เหลือเพียง 5 เปอร์เซ็นต์เท่านั้น (สุมาลี, 2527)

การเลี้ยงโคนมกับการเกิดมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อม

ประเทศไทยเรามีการเลี้ยงโคนมกันมาเป็นเวลานานแล้ว ในระยะเริ่มแรกการเลี้ยงยังมีจุดประสงค์หลัก เพื่อให้ได้ผลผลิตเพียงพอสำหรับบริโภคในครัวเรือน แต่ในปัจจุบันนี้การเลี้ยงโคนมเริ่มทำกันเป็นฟาร์มขนาดใหญ่ โดยมีการเลี้ยงจำนวนมากและเทคโนโลยีที่ทันสมัยนำมาใช้ เพื่อลดปัญหาแรงงานและเพิ่มผลผลิตการเลี้ยงโคนม จึงมีการนำเทคโนโลยีที่ทันสมัยนำมาใช้ เช่น การคัดเลือกพันธุ์โคที่เหมาะสมต่อสภาพอากาศของประเทศไทย การประกอบสูตรอาหารที่เหมาะสมต่อความต้องการของโค ตลอดจนการจัดการและควบคุมป้องกันโรค ซึ่งเมื่อหากการจัดการฟาร์มไม่ดีของเสียจากฟาร์มโคนมนี้จะก่อให้เกิดการมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อมเป็นอย่างมาก เพราะว่าในแต่ละวันโคจะถ่ายมูลและปัสสาวะออกมาเป็นจำนวนมาก โดยมูลและปัสสาวะเหล่านี้มีธาตุอาหารต่างๆ อยู่มาก หากได้นำไปใช้ในระบบการเกษตรอย่างเหมาะสม เช่น ใช้เป็นปุ๋ยบำรุงดิน ก็เป็นประโยชน์ต่อการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตพืชเป็นอย่างมาก แต่ถ้าหากการจัดการดูแลไม่ดี เช่น ปล่อยให้ไหลทิ้ง ไม่นำไปใช้ประโยชน์หรือนำไปใช้แต่ไม่ถูกวิธี ก็จะก่อให้เกิดปัญหามลภาวะต่อสิ่งแวดล้อมทั้งในดิน น้ำ และอากาศมาก (ทวี, 2540)

ของเสียจากฟาร์มเลี้ยงโคนม

ของเสียจากฟาร์มเลี้ยงโคนมส่วนใหญ่จะมีของเสียเกิดขึ้นแบ่งออกได้ดังนี้

1. ส่วนที่เป็นของเหลว ประกอบด้วย ปัสสาวะ น้ำกิน น้ำที่ใช้ในการทำความสะอาดตัวสัตว์และคอกสัตว์ และมีการใช้น้ำล้างและทำความสะอาดเครื่องใช้อุปกรณ์ต่างๆ ภายในฟาร์ม ซึ่งจะมีปริมาณมากหรือน้อยจากระดับของขนาดฟาร์มและความสมบูรณ์ของน้ำที่ใช้ ณ บริเวณที่ตั้งฟาร์ม

2. ส่วนที่เป็นของแข็ง ประกอบด้วยของเสียในรูปมูล เศษวัสดุรองพื้น เศษอาหาร เป็นต้น (สมชาย, 2541) โดยปริมาณสิ่งขับถ่ายของโคนมที่ขับออกมาแต่ละวัน มีความแตกต่างกันออกไปดังแสดงในตาราง 5

ตาราง 5 ปริมาณสิ่งขับถ่ายจากโคนมโคเนื้อ

ชนิดของสัตว์	ปริมาณสิ่งขับถ่าย			
	น้ำหนักตัว (ปอนด์)	สิ่งขับถ่าย/วัน (ปอนด์)	น้ำ (ปอนด์)	กาก (ปอนด์)
โคนม	1,000	82	87.3	10.4
โคเนื้อ	1,000	60	88.4	6.9

ที่มา: จักรกวิศน์ (2543)

สำหรับฟาร์มซึ่งมีการกวาดมูลโคออกจากคอกก่อนใช้น้ำฉีดล้างพื้นคอก จะทำให้มีการใช้น้ำในปริมาณที่น้อยและเกิดเป็นน้ำเสียน้อยกว่าการใช้น้ำฉีดล้างพื้นคอกทิ้งที่ยังมีมูลโคอยู่ โดยในแต่ละวันพบว่าปริมาณของเสียในรูปของเหลว (ความชื้น 90 เปอร์เซ็นต์) ที่เกิดจากโครีดนม 1 ตัว จะมีปริมาณน้ำเสียถึง 57 ลิตร ซึ่งในของเสียจำนวนนี้จะมีธาตุไนโตรเจน ฟอสเฟต โปแตสเซียม และอินทรียวัตถุอยู่มาก โดยเฉพาะธาตุไนโตรเจนพบว่า มีถึงประมาณ 75 – 85 เปอร์เซ็นต์ ของปริมาณไนโตรเจนที่โคได้รับจากอาหารทั้งหมดไม่ถูกใช้ประโยชน์ และถูกขับถ่ายออกมาเป็นส่วนประกอบของมูลและปัสสาวะ ดังแสดงในตาราง 7 โดยในแต่ละปีโครีดนม 1 ตัว จะขับถ่ายไนโตรเจนออกทางมูล 50 กิโลกรัม ทางปัสสาวะ 88 กิโลกรัม รวมปริมาณไนโตรเจนที่ขับออกมากับมูลและปัสสาวะของโคนม 1 ตัว ถึงปีละ 138 กิโลกรัม (ทวี, 2540) ซึ่งน้ำเสียเหล่านี้ โดยทั่วไปแล้วจะไม่มีการบำบัดที่ถูกต้อง เกษตรกรส่วนใหญ่จะปล่อยของเสียเหล่านี้ลงสู่แหล่งน้ำเน่าเสียและเกิดกลิ่นเหม็นรบกวนผู้ที่อยู่บริเวณใกล้เคียง นอกจากนี้ยังก่อปัญหามลภาวะต่อสิ่งแวดล้อมเป็นอย่างมาก ดังแสดงในตาราง 6

ชนิดและปริมาณของของเสียที่เกิดจากการเลี้ยงโคนม

ในแต่ละปริมาณของเสียในรูปของเหลว (ความชื้น 90 เปอร์เซ็นต์) ที่เกิดจากโครีดนม 1 ตัว จะมีปริมาณ 57 ลิตร ในการเลี้ยงโคนมจำนวน 100 ตัว ในโรงเรือนพื้นคอนกรีตพื้นที่ 1,000 ตารางเมตร ปริมาณน้ำที่ใช้ล้างคอกวันละ 2 ลูกบากศ์เมตร ซึ่งน้ำเสียเหล่านี้ถ้าไม่มีวิธีการเก็บรักษาที่ดีและใช้ประโยชน์อย่างถูกต้อง ก็จะก่อให้เกิดปัญหาตามมาของเสียที่เกิดขึ้นจากฟาร์มโคนมที่อยู่

ในรูปมูลเหลวผสมกับน้ำ มีพวกสารอินทรีย์ที่ทำให้น้ำมีค่า บีโอดี (Biochemical oxygen demand) ในระดับสูงขึ้นตามจำนวนโคที่เลี้ยงและชนิดของอาหารที่ใช้เลี้ยง

ตาราง 6 ส่วนประกอบและปริมาณของของเสียที่ขับออกมาจากโคนมและโคเนื้อ

	โคนม	โคเนื้อ
น้ำหนักตัวของสัตว์ (กก.)	450	450
ของเสียเปียก(ตันต่อปี)	11.86	10.95
เปอร์เซ็นต์ความชื้น	85	85
ส่วนประกอบ กก.ต่อตัน		
ไนโตรเจน	4.5	6.3
ฟอสเฟต	2.2	4.0
โปแตสเซียม	4.5	4.9
กำมะถัน	0.7	0.8
แคลเซียม	2.2	1.1

ที่มา: สมชาย (2541)

ตาราง 7 สารอาหารที่เหลือในมูลโค (เปอร์เซ็นต์น้ำหนักเปียก)

ชนิดของมูล	%วัตถุแห้ง	%ไนโตรเจน	%ฟอสเฟต	%โปแตสเซียม	BOD
มูลโค	25	0.6	0.3	0.7	-
มูลโคเหลว	10	0.5	0.2	0.5	10,000-20,000

ที่มา: ดัดแปลงจาก Aruher (1988 อ้างโดย ทวี 2540)

ผลกระทบของเสียจากฟาร์มโคนมที่มีต่อคุณภาพน้ำ

ของเสียจากฟาร์มที่ถูกชะล้างลงสู่แหล่งน้ำต่างๆจะมีผลต่อคุณภาพน้ำ 2 ทางใหญ่ คือ

1. ทางตรง น้ำเสียที่มีไนเตรทสูงจากฟาร์มไหลบ่าลงสู่บ่อหรืออ่างเก็บน้ำ

2. ทางอ้อมคืออินทรีย์สารซึ่งเป็นส่วนประกอบของมูลจะถูกชะล้างไปสู่น้ำทิ้งที่เป็นน้ำบนดินและน้ำใต้ดิน

เมื่อของเสียจากฟาร์มที่มีสารอินทรีย์ซึ่งวัดเป็นค่า BOD-COD ในระดับสูงไหลลงสู่แหล่งน้ำจะมีกลไกทางธรรมชาติเกิดขึ้นเองดังนี้

1. จุลินทรีย์ที่ใช้อากาศจำเป็นต้องใช้ออกซิเจนในน้ำ เพื่อการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียมากขึ้นตามไปด้วย

2. ออกซิเจน ในแหล่งน้ำจะถูกใช้และลดน้อยลงตามลำดับจนหมด ทำให้ปลาหรือสัตว์น้ำอื่นๆ ขาดออกซิเจนที่จำเป็นต่อการดำรงชีวิตและตายในที่สุด

3. การปนเปื้อนของไนโตรเจน ในรูปของแอมโมเนียหรือแอมโนเนียม ก็เพิ่มการใช้ออกซิเจนโดยไนตริฟายอิงแบคทีเรียเพื่อเปลี่ยนเป็นไนเตรทและไนไตรท์ ในขบวนการไนตริฟิเคชัน

4. สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินที่ได้รับ ไนโตรเจน สูงในน้ำไหลช้า สามารถเป็นพิษต่อผู้ใช้น้ำได้ (พฤหัส, 2546)

หลักการกำจัดของเสียจากฟาร์มโคนม

เนื่องจากว่าของเสียที่เกิดจากฟาร์มโคนมจะมีทั้งส่วนที่เป็นของแข็ง ได้แก่ของเสียในรูปมูลเศษวัสดุรองพื้น เศษอาหาร และส่วนที่เป็นของเหลว ได้แก่ปัสสาวะ น้ำกิน น้ำที่ใช้ในการทำความสะอาดตัวสัตว์และคอกสัตว์ และมีการใช้น้ำล้างและทำความสะอาดเครื่องใช้อุปกรณ์ต่างๆภายในฟาร์ม ดังนั้นเพื่อที่จะให้การกำจัดของเสียเป็นไปได้ง่ายขึ้น ควรจะทำการแยกของแข็งออกจากของเหลวเสียก่อน ก่อนที่จะทำการบำบัดส่วนที่เป็นของเหลวแบบชีวภาพต่อไป โดยวิธีการปฏิบัติที่นิยมทำก็คือ การใช้แรงงานตักส่วนที่เป็นของแข็งออก นำมาตากแดดให้แห้งแล้วจำหน่ายเป็นปุ๋ยให้แก่การเกษตรปลูกพืช และส่วนที่เป็นของเหลวมักจะใช้วิธีปล่อยให้ไหลลงแปลงหญ้าหรือทิ้งลงไปในลำธารสาธารณะ ซึ่งโดยทั่วไปแล้วฟาร์มขนาดใหญ่ที่มีการจัดการที่ดีจะมีวิธีกำจัดของเสียเหล่านี้ 2 วิธีด้วยกันคือ

1. การกำจัดส่วนที่เป็นของแข็งและของเหลวแยกออกจากกัน หลักการก็คือมีการแยกเอาส่วนที่เป็นของแข็งส่วนใหญ่ออกก่อน โดยมีการใช้เครื่องจักรไถออกแล้วตักใส่รถก่อนที่จะนำไปเททิ้งในแปลงหญ้าหรือเก็บไว้เป็นปุ๋ยต่อไป ส่วนที่เป็นของเหลวจะถูกระบายลงไปเก็บไว้ในพื้นที่ที่จัดเตรียมไว้เป็นการเก็บรอการสูบนำไปปล่อยลงในแปลงหญ้าหรือพื้นที่ที่ใช้ปลูกพืช หรือนำไปบำบัดให้เป็นน้ำดีก่อนที่จะปล่อยในพื้นที่ที่ทำการเกษตรหรือปล่อยออกสู่สภาพแวดล้อมต่อไป

2. การกำจัดส่วนที่เป็นของแข็งและของเหลวออกไปพร้อมกัน มีฟาร์มโคนมบางแห่งได้ออกแบบโรงเรือนให้มีการกำจัดของเสียในส่วนที่เป็นของเหลวและของแข็งออกไปพร้อมกัน โดยจะมีการออกแบบพื้นโรงเรือนให้มีช่อง (Slatted floor) ให้ของแข็งหล่นลงไปได้ หรืออาจจะมีอุปกรณ์ที่เรียกว่า Scraper คอยกวาดส่วนที่เป็นของแข็งและของเหลวออกไปใส่ในแปลงหญ้าหรือทำเป็นปุ๋ยต่อไป (สมชาย, 2541)

นอกจากนี้ยังพบว่ามีการพัฒนาใช้บ่อบำบัดที่ใช้สาหร่ายเพิ่มออกซิเจนมาใช้ในการบำบัดน้ำเสียอีกด้วย โดยเป็นการนำเอาเทคโนโลยีชีวภาพมาใช้ประโยชน์ โดยอาศัยสาหร่ายทำหน้าที่ในการสังเคราะห์แสงและดึงเอาสารอนินทรีย์จากน้ำเสียไปใช้ประโยชน์ ซึ่งพบว่าสามารถทำให้ค่า BOD ลดลงได้ แต่บ่อบำบัดน้ำเสียแบบนี้จะมีข้อจำกัดคือไม่สามารถทำให้บ่อให้ลึกได้คือไม่ควรเกิน 50 เซนติเมตร (ปราโมทย์, 2544)

แนวทางการลดปริมาณของเสียในมูลและปัสสาวะของโคนม

ปริมาณไนโตรเจนและฟอสเฟตในมูลและปัสสาวะของโคนม สามารถทำให้น้อยลงได้โดยการคำนวณสูตรอาหารให้อาหารมีคุณภาพ และจัดการให้อาหารให้ถูกวิธี การให้อาหารที่มีคุณภาพดีก็ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการให้อาหาร ซึ่งจะช่วยลดการสูญเสียไนโตรเจนทางมูล ทวี (2540) รายงานว่าหากการให้อาหารโคนมที่มีระดับไนโตรเจนไม่เกิน 30 กรัมต่อน้ำหนักอาหาร 1 กิโลกรัมแก่โคนม จะทำให้ระดับไนโตรเจนและฟอสเฟตในมูลและปัสสาวะลดลงต่ำ โอกาสที่ของเสียที่เกิดจากการให้อาหารดังกล่าวจะก่อให้เกิดปัญหามลภาวะต่อสิ่งแวดล้อมก็จะน้อยลง ซึ่งการให้อาหารโคนมที่มีระดับโปรตีนต่ำมากเกินไป อาจจะมีผลกระทบต่อสุขภาพของโคนมได้ นอกจากการให้อาหารที่มีคุณภาพแล้ว วิธีการที่จะสามารถช่วยลดระดับของเสียในมูลปัสสาวะโคนมได้อีกคือ การให้อาหารที่มีความถี่มากขึ้นหรือการให้อาหารสำเร็จรูป

บทที่ 3
อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

วัสดุ-อุปกรณ์

1. การเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินา *(Spirulina platensis)*

1. สาหร่าย *Spirulina platensis* จากห้องปฏิบัติการสาหร่าย ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้

2. น้ำเสียจากบ่อรวบรวมน้ำเสียฟาร์มโคนม ภาควิชาเทคโนโลยีทางสัตว์ คณะ ผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้

3. น้ำประปา

4. อาหารสูตร Zarrouk' s medium

5. เครื่องมือที่ใช้ วัด ชั่ง ตวง ต่างๆ

   5.1 เครื่อง Spectrophotometer ยี่ห้อ HACH รุ่น DR 2000

   5.2 เครื่องมือสำหรับวัดค่าดูดกลืนแสง (Optical density = OD) ยี่ห้อ SPECTRONIC รุ่น GENESYS 5

   5.3 เครื่องวัดค่า pH (pH – meter) ยี่ห้อ SARTORIUS รุ่น PP-50

   5.4 เครื่องวัดอุณหภูมิ (เทอร์โมมิเตอร์)

   5.5 เครื่องวัดออกซิเจนที่ละลายน้ำ (DO meter) ยี่ห้อ JENWAY รุ่น 9300

   5.6 กล้องจุลทรรศน์ชนิดเลนส์ประกอบ ยี่ห้อ OLYMPUS รุ่นCHS

   5.7 เครื่องแก้วชนิดต่างๆ

   5.8 เครื่องชั่งละเอียด ทศนิยม 3 ตำแหน่ง (Electrical balance)ยี่ห้อ PRECISA รุ่น 62A

6. สารเคมีและการเตรียมสารเคมี (ภาคผนวก ข)

   6.1 สารเคมีสำหรับวิเคราะห์คุณภาพน้ำ

   6.2 อาหารสำหรับเลี้ยงสาหร่าย (สูตร Zarrouk's medium)

7. อุปกรณ์อื่นๆ

   7.1 ขวดโหลแก้วขนาด 1 ลิตร

7.2 เครื่องปั๊มอากาศ

7.3 สายยาง

7.4 สไลด์นับจำนวน

7.5 สำลี

7.6 ลูปเขี่ยเชื้อ (Loop)

7.7 ตะเกียงแอลกอฮอล์

7.8 หัวเติมอากาศ

7.9 หลอดฟลูออเรสเซ็นกำลัง 30-40 วัตต์

7.10 จานเพาะเชื้อ (Plate)

7.11 ผ้าไนล่อน ขนาดความถี่ 100 ไมโครเมตร

2. การวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนะของสาหร่ายสไปรูลินา

-อุปกรณ์และชุดวิเคราะห์คุณค่าทางอาหารในห้องปฏิบัติการอาหารสัตว์ ภาควิชาเทคโนโลยีทางสัตว์ คณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้

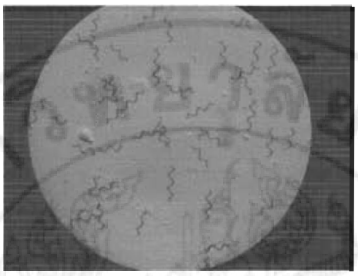
3. การศึกษาการเจริญเติบโตของโคนมที่เลี้ยงด้วยสาหร่ายสไปรูลินาที่เพาะเลี้ยงได้จากน้ำเสียฟาร์มโคนม

1. โคนมเพศผู้แรกคลอด (พันธุ์ลูกผสมโฮลสไตน์- ฟรีเซี่ยน x พื้นเมือง) น้ำหนักตัวเฉลี่ย 35 ± 10 กิโลกรัมจำนวน 8 ตัว
2. โรงเรือนที่มีลักษณะเป็นคอกขังเดี่ยวซึ่งมีบริเวณให้อาหารและน้ำแยกอิสระกัน
3. เครื่องชั่งน้ำหนักขนาด 1 กิโลกรัม, 7 กิโลกรัม และ 500 กิโลกรัม
4. อาหารหยาบ (หญ้าขนสด) และ อาหารข้น
5. อุปกรณ์ทำความสะอาดและให้อาหาร เช่น ไม้กวาดทางมะพร้าว, เข่ง และที่ให้อาหาร
6. อุปกรณ์ในการต้มอาหารแทนนม เช่น หม้อ เตาแก๊ส
7. อุปกรณ์ที่ใช้จดบันทึกข้อมูลการทดลอง

วิธีการทดลอง

1. การผลิตเชื้อตั้งต้น

1.1 นำตัวอย่างสาหร่ายสไปรูลินาบริสุทธิ์ที่ได้จากการแยกเชื้อ มาส่องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์ เลือกตัวอย่างเชื้อสาหร่ายสไปรูลินาเพียงชนิดเดียว โดยไม่มีสาหร่ายชนิดอื่นปะปนอยู่ ดังแสดงในภาพ 1



ภาพ 1 สาหร่ายสไปรูลินาที่บริสุทธิ์ภายใต้การดูด้วยกล้องจุลทรรศน์

1.2 เตรียมอาหารแข็งโดยใช้อาหารสูตร Zarrouk's medium จากนั้นนำตัวอย่างสาหร่ายมาเพาะบนอาหารแข็งโดยทำในตู้ปลอดเชื้อ แล้วนำไปเลี้ยงในห้องปฏิบัติการ จนกระทั่งเห็นกลุ่มเซลล์สาหร่ายที่เพาะเลี้ยงให้ย้ายเชื้อจากอาหารแข็งในชุดแรกไปชุดที่ 2 โดยเลือกเอากลุ่มเซลล์ที่อยู่เดี่ยวๆ ทำเช่นนี้เรื่อยไปจนกระทั่งได้สาหร่ายเพียงชนิดเดียว ดังแสดงในภาพ 2

ภาพ 2 สาหร่ายสไปรูลินาที่เพาะเลี้ยงได้ในอาหารแข็ง

1.3 นำหัวเชื้อสาหร่ายสไปรูลินาที่เก็บไว้ในอาหารแข็ง (Zarrouk agar) มาขยายเป็นเชื้อตั้งต้น โดยการเลี้ยงในสารละลายผสมของอาหารเหลว (Zarrouk broth)ในขวดโหลแก้วขนาด 12

ลิตร ภายใต้แสงไฟฟ้าจากหลอดฟลูออเรสเซ็นต์ และมีการเติมอากาศตลอดเวลา ปล่อยให้สาหร่ายเจริญเติบโต จนกระทั่งวัดค่าดูดกลืนแสง (Optical Density : OD) จากเครื่อง Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 560 นาโนเมตร ได้เท่ากับ 1.0 จึงนำไปใช้เป็นเชื้อตั้งต้นสำหรับการเพาะเลี้ยง

2. การเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินาในน้ำเสียจากฟาร์มโคนมในระดับห้องปฏิบัติการ

2.1 นำสาหร่ายที่เตรียมได้จากข้อ 1 มาทำการเพาะเลี้ยงในน้ำเสียฟาร์มโคนม ซึ่งแบ่งการทดลองเป็น 6 Treatments ดังนี้ โดยทำการใส่น้ำเสีย 10 , 15, 20, 30, 40 และ 50 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ พร้อมทั้ง เติมสารอาหารได้แก่ $NaHCO_3$ 36 กรัมต่อลิตร, K_2HPO_4 0.5 กรัมต่อลิตร, $NaNO_3$ 1.5 กรัมต่อลิตร และ ปุ๋ย N:P:K (16:16:16) 0.6 กรัมต่อลิตร และ ทำการเติมสาหร่ายสไปรูลินา จำนวน 10 เปอร์เซ็นต์ โดยแต่ละ Treatment มีจำนวน 3 ซ้ำ ทำการเพาะเลี้ยงเป็นเวลา 15 วัน โดยทำการเพาะเลี้ยงในขวดโหลปริมาตร 10 ลิตร จำนวน 18 โหล โดยมีการควบคุมสภาพการเพาะเลี้ยง ปรับค่า pH เท่ากับ 10 ± 0.5 ด้วย NaOH 6N พร้อมติดตั้งอุปกรณ์ให้อากาศและแสงตลอดการทดลอง

2.2 ทำการวัดคุณภาพน้ำก่อนทำการทดลองและทุก 3 วันหลังการทดลอง ในน้ำเสียทั้ง 6 Treatments โดยทำการวัดอุณหภูมิ, pH, ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำ (Dissolved oxygen : DO), ปริมาณความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมี (Biochemical oxygen demand : BOD) ปริมาณความต้องการออกซิเจนทางเคมี (Chemical oxygen demand : COD) ปริมาณของแข็งที่แขวนลอยน้ำได้ (Suspended solids ; SS) ค่าการนำไฟฟ้า (Electric conductivity ; EC) แอมโมเนีย – ไนโตรเจน,ไนเตรท – ไนโตรเจน, ออร์โธฟอสเฟต – ฟอสฟอรัส

2.3 วัดการเจริญเติบโตของสาหร่ายโดยการนับจำนวนเซลล์สาหร่าย เพื่อดูการเจริญเติบโตของสาหร่ายที่เหมาะสมสูงสุด และค่าดูดกลืนแสง (Optical density ; OD) ที่ความยาวคลื่น 560 นาโนเมตร ทุกๆ 3 วันหลังการทดลอง ดังแสดงในภาพ 3

ภาพ 3 การเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินาในระดับห้องปฏิบัติการ

3. การเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินาในน้ำเสียจากฟาร์มโคนมในสภาพกลางแจ้ง

3.1 ใช้น้ำเสียระดับความเข้มข้นที่เหมาะสมจากข้อ2ที่ทำให้สาหร่ายสไปรูลินาเจริญเติบโตสูงสุดมาทำการเพาะเลี้ยงซ้ำแบบกะ (Batch culture) โดยเปลี่ยนสภาพที่ทำการทดลองจากสภาพในห้องปฏิบัติการมาเป็นสภาพกลางแจ้ง ใช้เวลาในการเพาะเลี้ยง 15 วันใช้บ่อซีเมนต์ปริมาตร 200 ลิตร โดยความสูงของน้ำ 15 เซนติเมตรจำนวน 3 บ่อ ดังแสดงในภาพ 4 พร้อมทั้งปรับสภาพการเพาะเลี้ยงเหมือนข้อ 2.1

3.2 ทำการเก็บคุณภาพน้ำเหมือนข้อ 2.2 ทั้งก่อนทำการทดลองและทุก 3 วันหลังการทดลอง

3.3 วัดการเจริญเติบโตโดยการนับจำนวนเซลล์สาหร่าย และค่าดูดกลืนแสง (Optical density ; OD) ที่ความยาวคลื่น 560 นาโนเมตร

ภาพ 4 การเพาะเลี้ยงสาหร่ายในสภาพกลางแจ้ง ในบ่อซีเมนต์ ขนาด 200 ลิตร

4. การเก็บเกี่ยวผลผลิต

ทำการเก็บผลผลิตเบื้องต้นในต้นรูปแบบของมวลชีวภาพ (Biomass) โดยทำการกรองด้วยผ้าไนล่อนขนาดรู 100 ไมโครเมตร นำไปตากแห้งและบรรจุในถุงพลาสติกเก็บไว้เพื่อนำไปวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการของสาหร่ายสไปรูลินา และเพื่อใช้ในการทดลองในโคนมต่อไป ดังแสดงในภาพ 5

ภาพ 5 สาหร่ายสไปรูลินาที่ผ่านการตากแห้งจากผลผลิตที่เก็บเกี่ยวได้

5. การวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการของสาหร่ายสไปรูลินา

นำผลผลิตสาหร่ายที่เก็บเกี่ยวได้ไปวิเคราะห์หาคุณค่าทางโภชนาการ ดังนี้ โปรตีน,ไขมัน, คาร์โบไฮเดรต, ความชื้น, เถ้า และเยื่อใย โดยใช้วิธี Proximate anlysis (A.O.A.C., 1980)

6. การศึกษาการเจริญเติบโตของโคนม ที่เลี้ยงด้วยสาหร่ายสไปรูลินา

การดูแลสัตว์ทดลอง

สุ่มลูกโคเพศผู้ลูกผสม (โฮลสไตน์ - ฟรีเซี่ยน x พื้นเมือง) สายเลือดโฮลสไตน์ - ฟรีเซี่ยนมากกว่า 82.5 เปอร์เซ็นต์ จำนวน 8 ตัว แบ่งออกเป็น 2 กลุ่มการทดลอง โดยสุ่มให้มีน้ำหนักตัวเริ่มทดลองใกล้เคียงกันตามแผนการทดลองแบบการเปรียบเทียบแบบกลุ่ม (Group comparison) โคทดลองได้รับอาหารดังนี้คือ

กลุ่มที่ 1 = อาหารแทนนม + อาหารข้นลูกโค (กากถั่วเหลือง) + หญ้าขนสด

กลุ่มที่ 2 = อาหารแทนนม + อาหารข้นลูกโค (กากถั่วเหลือง + สาหร่ายสไปรูลินา) + หญ้าขนสด

เลี้ยงลูกโคทดลองในกรงลูกโคที่มีบริเวณให้อาหารข้น อาหารหยาบ และน้ำสะอาดแยกจากกันอย่างอิสระ เลี้ยงลูกโคในกรงลูกโคตั้งแต่อายุประมาณ 7 วัน ลูกโคทุกตัวได้กินนมน้ำเหลืองหลังคลอด และใช้เวลาในการปรับตัวเข้ากับสภาพการทดลองเป็นเวลา 7 วัน เริ่มทำการทดลองและบันทึกน้ำหนักโค และปริมาณอาหารที่กินเมื่อลูกโคมีอายุได้ 15 วัน ให้อาหารแทนนม (นมผงเลี้ยงลูกโค) ในลักษณะอาหารเหลว โดยใส่อาหารแทนนมในถังน้ำให้ลูกโคกินเองอย่างอิสระในอัตรา 4 ลิตร/ตัว/วัน อัตราส่วนอาหารแทนนมต่อน้ำเท่ากับ 1 : 8 อาหารข้นลูกโคให้ในอัตราอาหารแห้งคิดตามน้ำหนักตัวเท่ากับ 1 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณอาหารข้นเปลี่ยนแปลงทุก 2 สัปดาห์ตามน้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้น ใช้หญ้าขนสดเป็นแหล่งอาหารหยาบตั้งให้ลูกโคกินอย่างอิสระตลอดเวลา การให้อาหารทดลองให้ 2 เวลา เช้า และเย็น เวลาประมาณ 07.30-08.00 น. และ 16.00-16.30 น. โดยให้โคกินอาหารแทนนมจนหมดจึงล้างถังและใส่น้ำสะอาดให้กินแทน จากนั้นจึงชั่งน้ำหนักอาหารข้นและหญ้าสดให้กินอย่างอิสระ ชั่งน้ำหนักอาหารข้นและหญ้าสดที่เหลือทุกวันในตอนเช้าก่อนทำความสะอาดคอกและให้อาหารทดลองในวันต่อไป ผลผลิตสาหร่ายสไปรูลิ-นาจากการเพาะเลี้ยงในน้ำเสียฟาร์มโคนมในสภาพกลางแจ้งนำมาทำให้แห้ง และวิเคราะห์คุณค่าทางอาหาร เพื่อใช้ในการคำนวณสูตรอาหารข้นลูกโคต่อไป ในระหว่างการทดลองทำการสุ่มตัวอย่างอาหารข้นลูกโคและหญ้าขนเพื่อวิเคราะห์คุณค่าทางอาหาร ส่วนประกอบของอาหารข้นลูกโคที่ใช้ในการทดลองแสดงในตาราง 8 และผลวิเคราะห์คุณค่าทางอาหารแสดงในตาราง 9 สถานที่ทำการทดลองใช้คอกลูกโค สาขาโคนมและโคเนื้อ และห้องปฏิบัติการอาหารสัตว์ ภาควิชาเทคโนโลยีทางสัตว์ คณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ระยะเวลาที่เลี้ยง 12 สัปดาห์ ดังแสดงในภาพ 6

ตาราง 8 ส่วนผสมของอาหารข้นที่ใช้เลี้ยงโคทดลอง

ส่วนประกอบ	อาหารสูตรที่ 1	อาหารสูตรที่ 2
รำละเอียด	36.00	36.00
ข้าวโพดป่น	29.00	29.00
กากถั่วเหลือง	27.00	13.50
สาหร่ายสไปรูลินา	-	13.50
ใบกระถินป่น	5.00	5.00
กากน้ำตาล	2.00	2.00
แร่ธาตุรวม	1.00	1.00
รวม	100	100

ตาราง 9 ผลการวิเคราะห์คุณค่าทางอาหาร

รายการ	%วัตถุแห้ง	%วัตถุแห้ง				
		โปรตีน	ไขมัน	เยื่อใย	เถ้า	NFE
อาหารข้นสูตรที่ 1	88.25	20.88	8.25	2.45	7.57	60.85
อาหารข้นสูตรที่ 2	88.36	21.42	8.14	2.39	6.67	61.38
หญ้าขน	18.65	11.56	3.28	31.63	8.65	44.88

ภาพ 6 การเลี้ยงลูกในคอกทดลองแบบขังเดี่ยว

การบันทึกข้อมูล

1. ชั่งน้ำหนักโคทุกตัวเมื่อเริ่มทำการทดลอง ชั่งน้ำหนักตัวที่เปลี่ยนแปลง ทุก ๆ 2 สัปดาห์ และน้ำหนักเมื่อสิ้นสุดการทดลอง
2. บันทึกปริมาณอาหารหยาบ อาหารข้น และอาหารแทนนมที่ให้และเหลือทุกวัน
3. บันทึกส่วนประกอบของซากโค

การศึกษาลักษณะซาก

เมื่อสิ้นสุดการทดลอง 12 สัปดาห์ นำโคทดลองมาฆ่าเพื่อศึกษาส่วนประกอบซากโคโดยวิธีฆ่าแบบไทย (ชัยณรงค์, 2529) บันทึกน้ำหนักโคก่อนฆ่าและน้ำหนักซากหลังฆ่า (ไม่รวมเครื่องใน หนัง และหัว) คำนวณเปอร์เซ็นต์ซากจาก (น้ำหนักซาก / น้ำหนักโคก่อนฆ่า) x 100

7. การวิเคราะห์ข้อมูล

7.1 เปรียบเทียบผลผลิตเบื้องต้นของสาหร่ายสไปรูลินา

7.2 เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำก่อน และหลังการเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินา ทั้งในระดับห้องปฏิบัติการและในสภาพกลางแจ้ง

7.3 ศึกษาคุณค่าทางโภชนาการของสาหร่ายสไปรูลินาที่เพาะเลี้ยงด้วยน้ำเสียจากฟาร์มโคนม

7.4 ศึกษาการเจริญเติบโตของลูกโคนมเพศผู้

วิเคราะห์ค่าความแปรปรวนของข้อมูลด้านการเจริญเติบโต ปริมาณอาหารที่กินและส่วนประกอบของซากโค ตามวิธีการวางแผนการทดลองแบบการเปรียบเทียบแบบกลุ่ม และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย โดยใช้ T-test (สุรพล, 2528)

แผนผังการทดลอง

1. ทำการผลิตเชื้อตั้งต้น

- ทำการแยกเชื้อสาหร่ายสไปรูลินาให้บริสุทธิ์
- นำเชื้อบริสุทธิ์มาเพาะบนอาหารแข็งโดยทำในตู้ปลอดเชื้อ
- นำหัวเชื้อสาหร่ายสไปรูลินาในอาหารแข็ง มาขยายในอาหารเหลว

↓

2. การเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินาในน้ำเสียฟาร์มโคนมในห้องปฏิบัติการ

- นำสาหร่ายที่เตรียมได้จากข้อ 1 มาทำการเพาะเลี้ยงในน้ำเสียจากฟาร์มโคนมที่ความเข้มข้น 10, 15, 20, 30, 40 และ 50% จำนวน 3 ซ้ำ เป็นเวลา 15 วัน
- วิเคราะห์คุณภาพน้ำก่อนทำการทดลองและทุก 3 วันหลังการทดลอง
- วัดการเจริญเติบโตของสาหร่ายสไปรูลินาด้วยค่า OD และจำนวนเซลล์

↓

3. การเพาะเลี้ยงสาหร่ายในสภาพกลางแจ้ง

- ใช้ความเข้มข้นของน้ำเสียจากข้อที่ 2 ที่ทำให้สาหร่ายเจริญสูงสุดมาเพาะเลี้ยงซ้ำที่สภาพกลางแจ้ง เพาะเลี้ยง 15 วัน ในบ่อซีเมนต์ 200 ลิตร 3 บ่อ
- วิเคราะห์คุณภาพน้ำก่อนทำการทดลองและทุก 3 วันหลังการทดลอง
- วัดการเจริญเติบโตของสาหร่ายสไปรูลินาด้วยค่า OD และจำนวนเซลล์

↓

4. เก็บเกี่ยวผลผลิต

- ทำการเก็บผลผลิตเบื้องต้นในตัวรูปแบบของมวลชีวภาพ (Biomass)

ภาพ 7 แผนผังการทดลอง

5. วิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการของสาหร่ายสไปรูลินา

- ทำการวิเคราะห์หา โปรตีน, ไขมัน, คาร์โบไฮเดรต, ความชื้น, เถ้า, เยื่อใย

6. การศึกษาการเจริญเติบโตของโคนมโดยใช้สาหร่ายสไปรูลินาเป็นอาหาร

- ใช้โคนมเพศผู้พันธุ์ลูกผสมโฮลสไตน์ฟรีเซี่ยนอายุ 15 วัน จำนวน 8 ตัว ให้อาหารหยาบเต็มที่ อาหารแทนนม 4 ลิตร/ตัว/วัน และอาหารข้น 2 สูตรต่างกัน
- ทำการจดบันทึกน้ำหนักก่อนการทดลอง และหลังการทดลองทุก 2 สัปดาห์ เป็นเวลา 12 สัปดาห์ และศึกษาส่วนประกอบซาก

ภาพ 7 (ต่อ)

สถานที่และระยะเวลาทำการทดลอง

สถานที่ทำการทดลอง

ห้องปฏิบัติการสาหร่าย ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้
ฟาร์มโคนม ภาควิชาเทคโนโลยีทางสัตว์ คณะผลิตกรรมการเกษตร
มหาวิทยาลัยแม่โจ้

ระยะเวลาทำการทดลอง

เริ่มทำการทดลอง เดือน มีนาคม 2548
สิ้นสุดการทดลอง เดือน พฤษภาคม 2549
รวมระยะเวลาทำการทดลอง 15 เดือน

บทที่ 4
ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

การศึกษาหาความเข้มข้นของน้ำเสียจากฟาร์มโคนมที่เหมาะสมต่อการเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินา

การทดลองนี้เป็นการศึกษาเพื่อหาความเข้มข้นของน้ำเสียจากฟาร์มโคนม ที่ใช้ในการเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินา (*Spirulina platensis*) โดยใช้เชื้อสาหร่ายบริสุทธิ์จากภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ และน้ำเสียจากฟาร์มโคนม ภาควิชาเทคโนโลยีทาง-สัตว์ คณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จากการศึกษาลักษณะน้ำเสียจากฟาร์มโคนมแสดงในตารางที่ 10 ทำการศึกษาโดยนำน้ำเสียจากฟาร์มโคนมที่เข้มข้น 6 ระดับ คือ 10, 15, 20, 30, 40 และ 50 เปอร์เซ็นต์ ทำการเติมสารอาหารดังนี้ $NaHCO_3$ 36 กรัมต่อลิตร, K_2HPO_4 0.5 กรัมต่อลิตร, $NaNO_3$ 1.5 กรัมต่อลิตร และ ปุ๋ย N:P:K (16:16:16) 0.6 กรัมต่อลิตร และเติมสาหร่ายสไปรูลินาที่มีค่า OD ที่ความคลื่น 560 นาโนเมตรมีค่าเท่ากับ 1 จำนวน 10 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำเสียตัวอย่าง ลงในโหลแก้ว ที่มีตัวอย่างน้ำเริ่มต้น 3,000 มิลลิลิตร พร้อมทั้งมีการให้อากาศตลอดเวลา เก็บตัวอย่างทุกๆ 3 วัน เป็นระยะเวลา 15 วัน และทำการวิเคราะห์น้ำเสียหาค่า COD, BOD, TSS, DO, pH, ไนเตรท-ไนโตรเจน, แอมโมเนีย-ไนโตรเจน, ออร์โธฟอสเฟต-ฟอสฟอรัส และอุณหภูมิ จากนั้นนำมาคำนวณหาประสิทธิภาพการลดค่า COD, BOD, TSS, ไนเตรท-ไนโตรเจน, แอมโมเนีย-ไนโตรเจน, ออร์โธฟอสเฟต-ฟอสฟอรัส และอุณหภูมิโดยผลการทดลองเป็นดังนี้

ตาราง 10 ลักษณะของน้ำเสียจากฟาร์มโคนม ภาควิชาเทคโนโลยีทางสัตว์ คณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้

พารามิเตอร์	ค่าที่ได้จากการวิเคราะห์	
อุณหภูมิ	26.5-28.0 องศาเซลเซียส	
pH	7.3-8.1	
TSS	2,020-3,460	มิลลิกรัมต่อลิตร
BOD	432-658	มิลลิกรัมต่อลิตร
COD	670-820	มิลลิกรัมต่อลิตร
ไนเตรท-ไนโตรเจน	69-81	มิลลิกรัมต่อลิตร
แอมโมเนีย-ไนโตรเจน	50-65	มิลลิกรัมต่อลิตร
ออร์โธฟอสเฟต-ฟอสฟอรัส	91-108	มิลลิกรัมต่อลิตร

1 คุณภาพน้ำ

ผลการศึกษาอุณหภูมิของน้ำในระหว่างการเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina platensis* ในน้ำเสียจากฟาร์มโคนม พบว่าชุดการทดลองทุกระดับความเข้มข้นมีการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิอยู่ในช่วง 26-30 องศาเซลเซียส ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับผลการทดลองของ จงกล (2543) ที่ทำการเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina platensis* ในน้ำทิ้งจากบ่อหมักก๊าซชีวภาพมูลสุกร พบว่าอุณหภูมิอยู่ในช่วง 25.5 - 28.2 องศาเซลเซียส นอกจากนี้ยังสอดคล้องกับผลการทดลองของ Venkataraman (1983) ที่พบว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของสาหร่าย *Spirulina platensis* ไม่ควรต่ำกว่า 20 และไม่สูงกว่า 37 องศาเซลเซียส ซึ่งทำให้สาหร่ายนำอาหารเข้าสู่เซลล์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

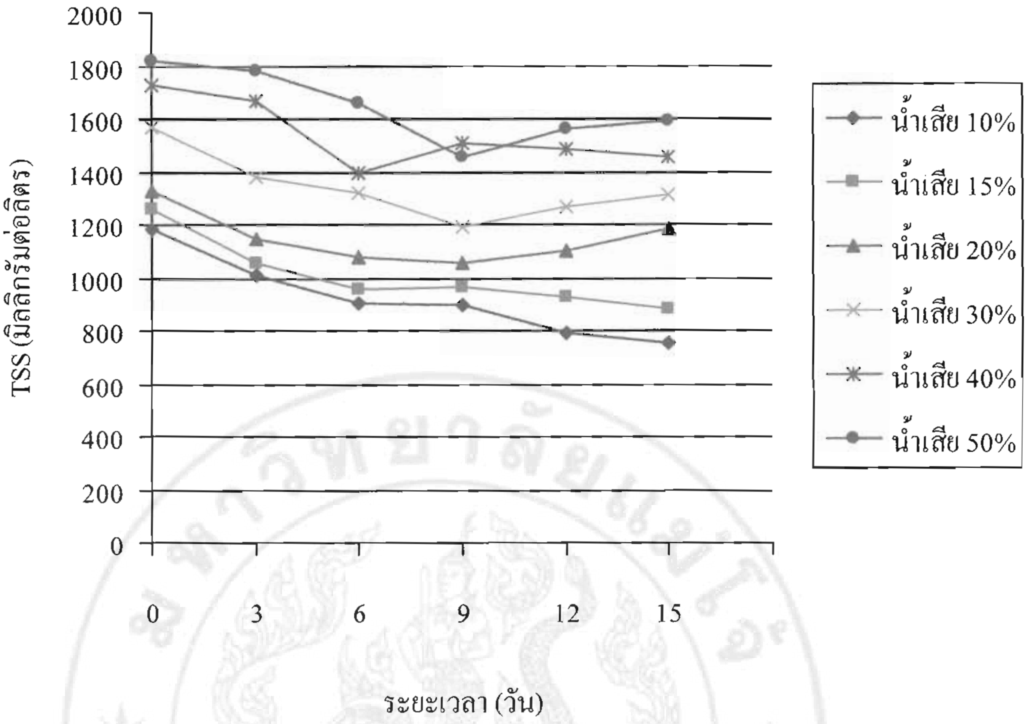
ผลการตรวจวัดค่า pH ของน้ำเสียในการทดลองพบว่าที่ระดับความเข้มข้นของน้ำเสียจากฟาร์มโคนม ที่ 10, 15, 20, 30, 40 และ 50 เปอร์เซนต์ มีค่า pH อยู่ในช่วง 9.9-10.4 ซึ่งค่า pH นี้เป็นผลมาจากการปรับค่า pH โดย NaOH 6N ซึ่งจะให้เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของสาหร่าย *Spirulina platensis* โดยค่า pH นี้จะมีผลต่อการละลายของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และเกลือแร่อื่น ๆ และมีผลต่อเมตาบอลิซึมในเซลล์ของสาหร่ายโดยตรง ซึ่งพบว่าค่า pH ของการทดลองนี้มีค่าสอดคล้องกับการศึกษาของวิลาสินี (2532) ที่พบว่าการเจริญเติบโตของสาหร่าย *Spirulina platensis* จะเจริญได้ดีในช่วง pH 9-10

ผลการศึกษาการลดค่า TSS ในน้ำเสียฟาร์มโคนม ที่ระยะเวลาการเพาะเลี้ยง 15 วัน ดังแสดงในตารางภาคผนวก 3 และภาพ 8 พบว่า ชุดการทดลองที่ระดับความเข้มข้นของน้ำเสีย 10 เปอร์เซ็นต์ สาหร่ายสามารถลดค่า TSS ลงได้มากที่สุด คือค่าเริ่มต้นเท่ากับ 1,185 มิลลิกรัมต่อลิตร ลดลงเหลือ 755 มิลลิกรัมต่อลิตร ในวันที่ 15 รองลงมาคือ ชุดการทดลองที่ระดับความเข้มข้นของน้ำเสีย 15 เปอร์เซ็นต์ มีค่า TSS เริ่มต้นเท่ากับ 1,260 มิลลิกรัมต่อลิตร ลดลงเหลือ 880 มิลลิกรัมต่อลิตร ในวันที่ 15 ตามลำดับ

แต่เมื่อทำการพิจารณาค่า TSS เริ่มต้นพบว่า ค่า TSS ที่ระดับความเข้มข้นของน้ำเสียที่ 10, 15, 20, 30, 40 และ 50 เปอร์เซ็นต์ จะมีค่า TSS เพิ่มมากขึ้นตามระดับความเข้มข้น เนื่องมาจากระดับความเข้มข้นที่มากขึ้นจะมีส่วนของตะกอนที่มาจากมูลและปัสสาวะของโค โดยตะกอนของแข็งทั้งหลายเหล่านี้มักเป็นส่วนที่ไม่ละลายน้ำซึ่งเป็นตะกอนที่มีขนาดใหญ่ และมีความถ่วงจำเพาะสูงกว่าน้ำเมื่อตั้งทิ้งไว้สามารถจะตกตะกอนลงมานอนที่ก้นบ่อได้

สำหรับค่า TSS ที่ระดับความเข้มข้นของน้ำเสีย 40 และ 50 เปอร์เซ็นต์ ค่า TSS ลดลงได้มากที่สุดในวันที่ 6 และ วันที่ 9 ตามลำดับ หลังจากนั้น จนถึงวันสิ้นสุดของการทดลอง พบว่า ค่า TSS มีปริมาณเพิ่มมากขึ้น อาจเนื่องมาจากสาหร่ายสไปรูลินาที่อยู่ในน้ำเสียนั้น ไม่สามารถเจริญเติบโตได้ในระดับความเข้มข้นของน้ำเสียที่มีมากเกินไป จึงส่งผลให้สาหร่ายที่อยู่ในน้ำเสียตายลง เมื่อสาหร่ายมีการตายลงเพิ่มขึ้นเซลล์ของสาหร่ายที่ตายลงนั้นก็จะกลายเป็นตะกอนในน้ำเสียซึ่งมีผลต่อค่า TSS ที่วัดได้

ส่วนที่ระดับความเข้มข้นของน้ำเสีย 10 เปอร์เซ็นต์ มีค่า TSS เริ่มต้น 1,185 มิลลิกรัมต่อลิตร และ มีแนวโน้มลดลงเรื่อยๆ จนถึงวันสิ้นสุดของการทดลอง เหลือเพียง 755 มิลลิกรัมต่อลิตร คิดเป็นประสิทธิภาพในการการลดค่า TSS ถึง 36.3 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเป็นผลมาจากระดับความเข้มข้นที่ 10 เปอร์เซ็นต์ เป็นระดับที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของสาหร่าย จึงทำให้สามารถลดค่า TSS ลงได้ ซึ่งเมื่อสาหร่ายสไปรูลินามีการเจริญเติบโตเพิ่มมากขึ้นก็สามารถที่จะนำน้ำเสียมาใช้ประโยชน์ในการดำรงชีวิตได้

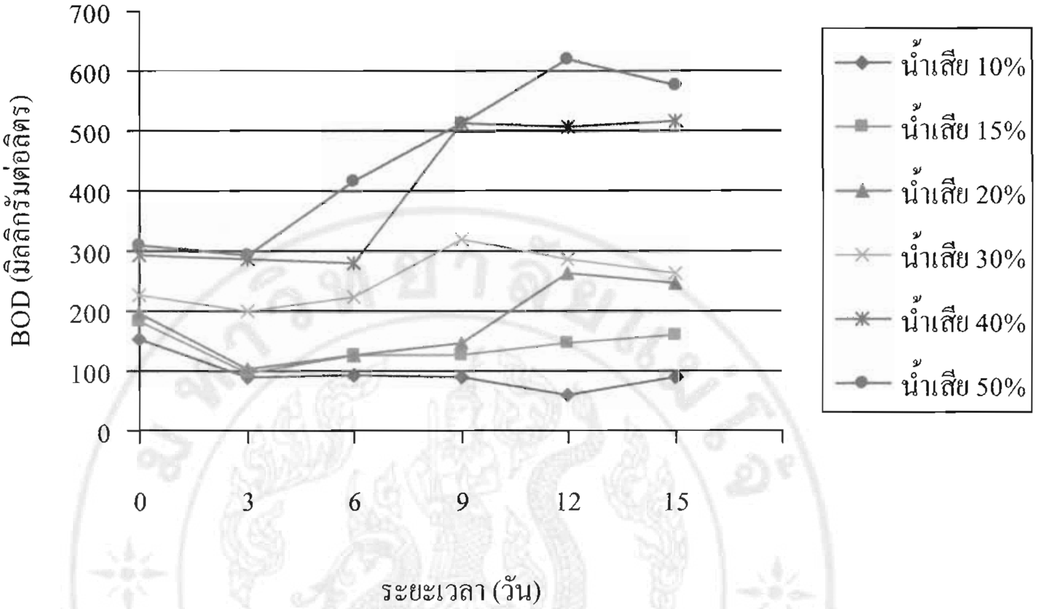


ภาพ 8 ปริมาณ TSS ในน้ำเสียจากฟาร์มโคนมที่ระดับความเข้มข้นต่างกันที่ใช้เพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินา

ผลการวิเคราะห์การลดลงของค่า BOD ในการทดลองที่ระยะเวลา 15 วัน ดังแสดงในตารางภาคผนวก 4 และ ภาพ 9 พบว่า ชุดการทดลองที่ระดับความเข้มข้นของน้ำเสีย 10 เปอร์เซ็นต์ สามารถลดค่า BOD ได้มากที่สุด คือค่า BOD เริ่มต้นเท่ากับ 152 มิลลิกรัมต่อลิตร ลดลงเหลือ 60 มิลลิกรัมต่อลิตร ในวันที่ 12 รองลงมาคือ ชุดการทดลองที่ระดับความเข้มข้นของน้ำเสีย 15 และ 20 เปอร์เซ็นต์ มีค่า BOD เริ่มต้นเท่ากับ 184 และ 196 มิลลิกรัมต่อลิตร ลดลงเหลือ 96 และ 108 มิลลิกรัมต่อลิตร ในวันที่ 3 ตามลำดับ

จากการทดลองพบว่าที่ระดับความเข้มข้นของน้ำเสียที่ 40 และ 50 เปอร์เซ็นต์ ค่า BOD ที่วัดได้ในวันที่ 3 ของการทดลอง พบว่ามีค่าลดลงจากวันเริ่มต้น คือจาก 295 และ 310 มิลลิกรัมต่อลิตร ลดลงเหลือ 288 และ 294 มิลลิกรัมต่อลิตร หลังจากนั้นจนถึงสิ้นสุดการทดลอง พบว่า ค่า BOD มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจนมีค่ามากกว่า ค่า BOD เริ่มต้น มีค่าถึง 516 และ 578 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ส่วนที่ระดับความเข้มข้นของน้ำเสียที่ 10 เปอร์เซ็นต์นั้น สาหร่ายสามารถลดค่า BOD ลงได้ จากค่า BOD เริ่มต้น จนถึงวันที่ 12 ของการทดลอง คิดเป็นประสิทธิภาพในการลดค่า BOD ถึง 60.53 เปอร์เซ็นต์ และค่า BOD เพิ่มมากขึ้นเพียงเล็กน้อยในวันสิ้นสุดการทดลอง ซึ่งค่า BOD

ที่ลดลงนี้ ซึ่งเป็นผลมาจากแบคทีเรียที่มีในน้ำเสียได้ใช้ออกซิเจนในการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่อยู่ในน้ำเสีย จนได้คาร์บอนไดออกไซด์ออกมา ซึ่งคาร์บอนไดออกไซด์นี้ สาหร่ายสามารถนำมาใช้ประโยชน์ในการสังเคราะห์แสงเพื่อเพิ่มการเจริญเติบโตได้



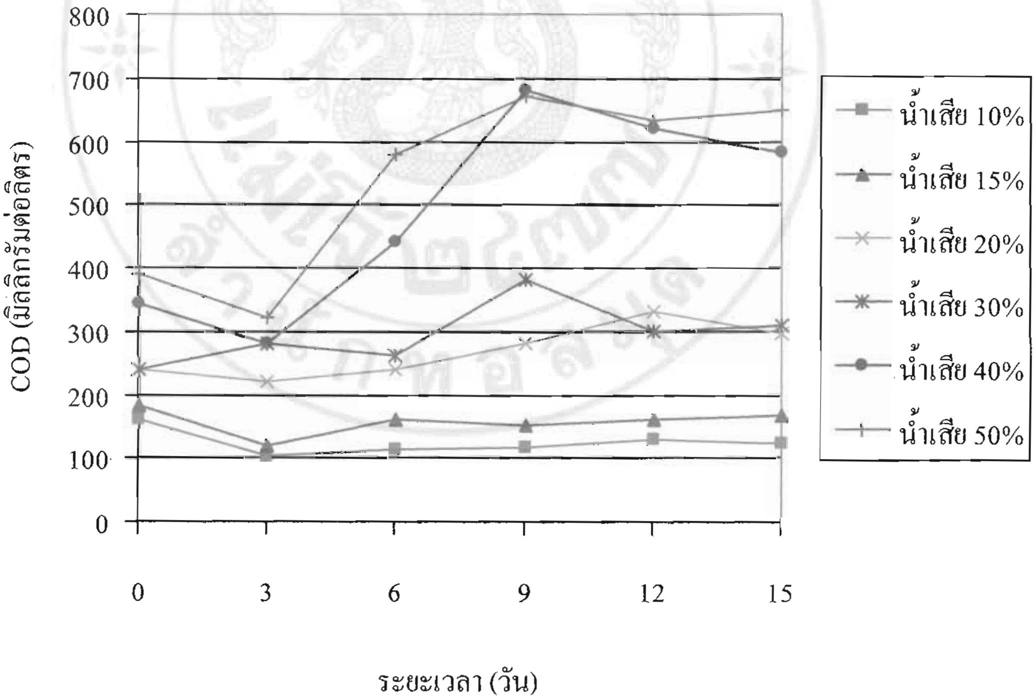
ภาพ 9 ปริมาณ BOD ในน้ำเสียจากฟาร์มโคนมที่ระดับความเข้มข้นต่างกันที่ใช้เพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินา

การศึกษาการลดค่า COD ที่ระยะเวลาการเพาะเลี้ยง 15 วัน แสดงในตารางภาคผนวก 5 และ ภาพ 10 พบว่า ชุดการทดลองที่ระดับความเข้มข้นของน้ำเสีย 50 เปอร์เซ็นต์ สามารถลดค่า COD ได้มากที่สุดคือค่าเริ่มต้นเท่ากับ 390 มิลลิกรัมต่อลิตร ลดลงเหลือ 320 มิลลิกรัมต่อลิตร ในวันที่ 3 รองลงมาคือ ชุดการทดลองที่ระดับความเข้มข้นของน้ำเสีย 40 เปอร์เซ็นต์ สามารถลดค่า COD เริ่มต้นเท่ากับ 344 มิลลิกรัมต่อลิตร ลดลงเหลือ 280 มิลลิกรัมต่อลิตร ในวันที่ 3 ตามลำดับ ซึ่งมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นเรื่อย ๆ จนถึงวันที่ 9 ซึ่งมากที่สุดถึง 670 และ 680 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ และยังพบว่ามีแนวโน้มว่าค่า COD ยังจะสูงต่อไปจนถึงสิ้นสุดการทดลอง

ส่วนค่า COD ที่ระดับความเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์ นั้นสาหร่ายสามารถลดค่า COD ลงได้ถึง 35.0 เปอร์เซ็นต์ ในวันที่ 3 และมีแนวโน้มว่า ค่า COD จะเพิ่มขึ้นสูงเพียงเล็กน้อย เมื่อสิ้นสุดการทดลองค่า COD ก็ยังลดลงถึง 22.5 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งระดับความเข้มข้นของน้ำเสีย ที่ 10 เปอร์เซ็นต์นี้น่าจะมีปริมาณของสารอินทรีย์ที่พอเหมาะที่เกิดการออกซิไดส์ในน้ำโดยกระบวนการทางเคมีจนได้

คาร์บอนไดออกไซด์ออกมา ซึ่งทำให้สาหร่ายสามารถนำเอาคาร์บอนไดออกไซด์นี้ไปใช้ในกระบวนการสังเคราะห์แสงและนำอาหารเข้าสู่เซลล์ได้สูงจึงทำให้ ค่า COD ลดลงได้ และต่อมาเมื่อจำนวนของสาหร่ายเพิ่มมากขึ้น จึงทำให้สารอาหารที่มีอยู่ในน้ำเสียมีจำนวนไม่เพียงพอต่อการนำไปใช้ จึงทำให้มีสาหร่ายบางส่วนตายลงซึ่งส่งผลต่อค่า COD ที่วัดได้มีค่าเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย

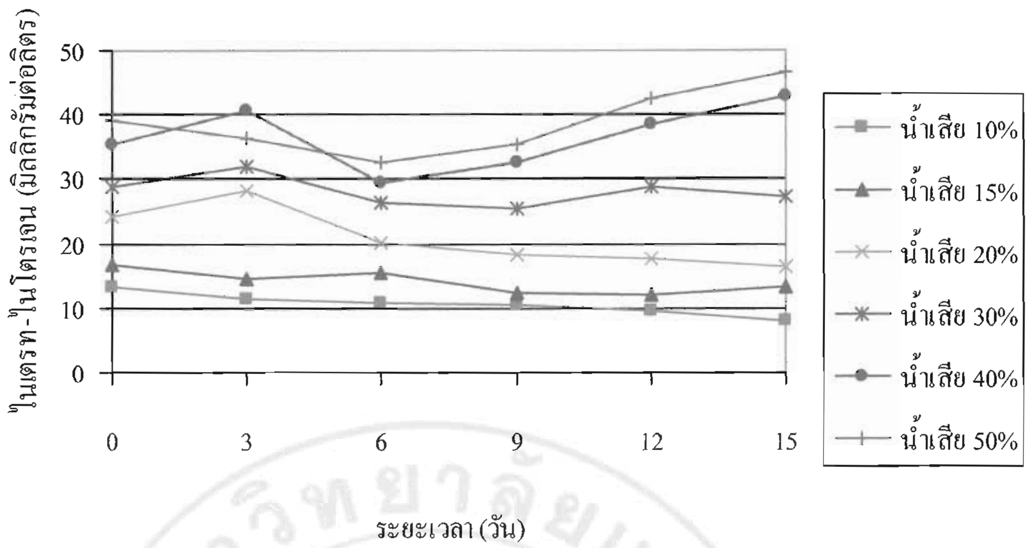
จากผลการศึกษาความสามารถของสาหร่ายในการลดค่า BOD และค่า COD มีค่าของผลการทดลองที่ใกล้เคียงกันกับการทดลองของ พฤหัส (2546) ที่ได้ทำการเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลิ-นาในน้ำทิ้งฟาร์มโคนม พบว่าความเข้มข้นของน้ำเสียที่ 10 เปอร์เซ็นต์ สามารถลดค่า COD ลงจาก 320 มิลลิกรัมต่อลิตร ให้เหลือ 64 มิลลิกรัมต่อลิตร คิดเป็นประสิทธิภาพถึง 80 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อเปรียบเทียบกับผลงานวิจัยของ อุดมลักษณ์ (2543) ยังมีค่าใกล้เคียงกันซึ่งพบว่าความเข้มข้นของน้ำเสียจากบ่อหมักก๊าซชีวภาพมูลสุกร 30, 40 และ 50 เปอร์เซ็นต์ ทำให้สาหร่ายสามารถเจริญเติบโตได้ดี และสามารถลดค่า BOD ได้ 39.41, 48.57 และ 40 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ



ภาพ 10 ปริมาณ COD ในน้ำเสียจากฟาร์มโคนมที่ระดับความเข้มข้นต่างกันที่ใช้เพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินา

การลดค่า ไนเตรท-ไนโตรเจน ที่ระยะเวลาการเพาะเลี้ยง 15 วัน ดังแสดงในตาราง ภาคผนวก 6 และภาพ 11 พบว่าชุดการทดลองที่ระดับความเข้มข้นของน้ำเสีย 20 เปอร์เซ็นต์ สามารถลดค่า ไนเตรท-ไนโตรเจนได้มากที่สุด คือค่าเริ่มต้นเท่ากับ 24.3 มิลลิกรัมต่อลิตร ลดลงเหลือ 16.7 มิลลิกรัมต่อลิตรในวันที่ 12 รองลงมาคือ ชุดการทดลองที่ระดับความเข้มข้นของน้ำเสีย 50 เปอร์เซ็นต์ มีค่า ไนเตรท-ไนโตรเจน เริ่มต้นเท่ากับ 39.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ลดลงเหลือ 32.6 มิลลิกรัมต่อลิตร ในวันที่ 6 ตามลำดับ

จากผลการทดลองพบว่า ที่ระดับความเข้มข้นของน้ำเสียที่ 10, 15 และ 20 เปอร์เซ็นต์ สาหร่ายสามารถลดค่าไนเตรท-ไนโตรเจน จากวันเริ่มต้น คือ 13.4, 16.7 และ 24.3 มิลลิกรัมต่อลิตร ลดลงเหลือ 8.2, 13.2 และ 16.4 มิลลิกรัมต่อลิตรในวันสิ้นสุดการทดลอง คิดเป็นประสิทธิภาพในการลดค่าไนเตรท-ไนโตรเจน 38.8, 32.5 และ 15.8 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ซึ่งไนเตรทนี้เป็นสารประกอบของไนโตรเจนซึ่งมีความสำคัญต่อสาหร่าย โดยสาหร่ายจะนำไนโตรเจนนี้ไปใช้ในการสร้างโปรตีน เมื่อสาหร่ายมีการนำไนเตรทไปใช้จึงทำให้ปริมาณไนเตรทที่มีในน้ำเสียมีปริมาณลดลง และพบว่าที่ระดับความเข้มข้นของน้ำเสียที่ 40 และ 50 เปอร์เซ็นต์ สามารถลดค่า ไนเตรท-ไนโตรเจน ได้จาก 35.4 และ 39.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ลดลงเหลือ 29.5 และ 32.6 มิลลิกรัมต่อลิตรในวันที่ 6 ของการทดลอง และค่าไนเตรท-ไนโตรเจน ก็มีค่าเพิ่มมากขึ้นถึง 42.7 และ 46.5 มิลลิกรัมต่อลิตร ในวันสิ้นสุดการทดลอง สำหรับการลดลงของไนเตรท-ไนโตรเจน ในวันที่ 6 นั้นเป็นเพราะสาหร่ายนำไนเตรทที่มีไปใช้ประโยชน์ แต่เมื่อสาหร่ายตายลง สาหร่ายจึงเกิดการเน่าเปื่อยผุพังขึ้นกลายเป็นไนเตรท จึงทำให้ค่าไนเตรทที่วัดได้ในน้ำเสียมีปริมาณมากขึ้น ซึ่งผลการทดลองที่ได้มีค่าใกล้เคียงกับงานวิจัยของรอยพิมพ์ (2549) โดยได้ใช้สาหร่ายสไปรูลินาบำบัดน้ำเสียจากน้ำเสียจากกระบวนการหมักดองโดยที่ระดับความเข้มข้นของน้ำเสีย 60 เปอร์เซ็นต์ สาหร่ายสามารถลดค่าไนเตรท-ไนโตรเจน ได้มากที่สุดคือค่าไนเตรท-ไนโตรเจน เริ่มต้น 37.5 มิลลิกรัมต่อลิตร ลดลงเหลือ 24.3 มิลลิกรัมต่อลิตร รองลงมาคือ ชุดการทดลองที่ระดับความเข้มข้นของน้ำเสีย 100 เปอร์เซ็นต์ ค่าไนเตรท-ไนโตรเจน เริ่มต้น 62.5 มิลลิกรัมต่อลิตร ลดลงเหลือ 49.6 มิลลิกรัมต่อลิตร คิดเป็นเปอร์เซ็นต์การลดค่าไนเตรท-ไนโตรเจน ถึง 35.17 และ 20.53 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ



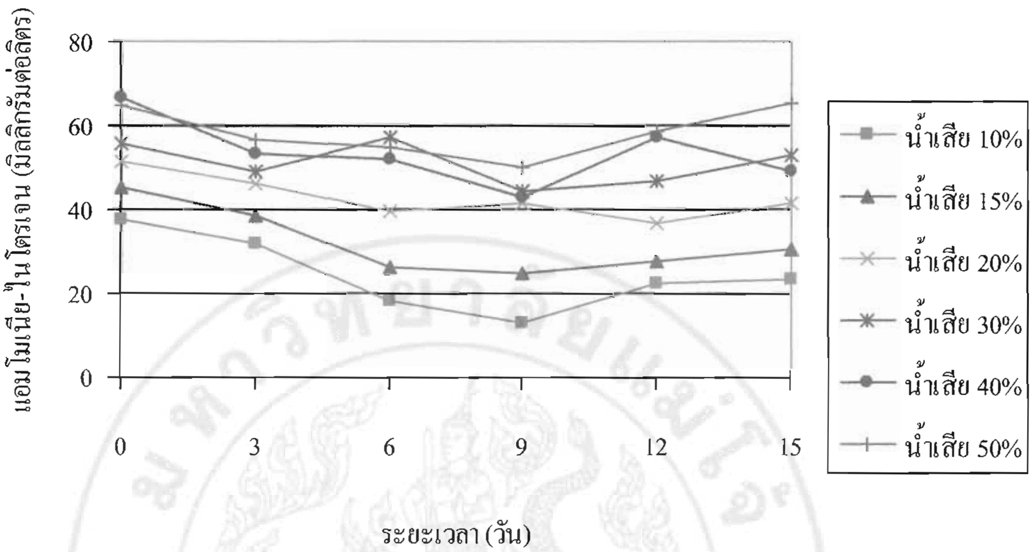
ภาพ 11 ปริมาณ ไนเตรท-ไนโตรเจน ในน้ำเสียจากฟาร์มโคนมที่ระดับความเข้มข้นต่างกันที่ใช้เพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินา

นอกจากนี้ยังพบว่าการลดค่าไนเตรทยังมีความใกล้เคียงกับงานวิจัยของจงกล (2543) ที่ได้ทำการศึกษาการเพาะเลี้ยงสาหร่ายส-ไปรูลินา ในน้ำทิ้งจากบ่อหมักก๊าซชีวภาพมูลสุกร พบว่า ความเข้มข้นของน้ำเสีย 10 และ 30 เปอร์เซ็นต์ มีค่าไนเตรท-ไนโตรเจน ลดลง 93.33 และ 52.94 เปอร์เซ็นต์ แต่ความเข้มข้นของน้ำเสีย 50 เปอร์เซ็นต์ ค่าไนเตรท-ไนโตรเจน เพิ่มขึ้น 200 เปอร์เซ็นต์

ผลการลดค่าแอมโมเนีย-ไนโตรเจน ของน้ำเสียในการทดลอง ที่ระยะเวลาการเพาะเลี้ยง 15 วัน แสดงในตารางภาคผนวก 7 และ ภาพ 12 พบว่าชุดการทดลองที่ระดับความเข้มข้นของน้ำเสีย 10 เปอร์เซ็นต์ สาหร่ายสามารถลดค่า แอมโมเนีย-ไนโตรเจน ได้มากที่สุดคือค่าเริ่มต้นเท่ากับ 37.6 มิลลิกรัมต่อลิตร ลดลงเหลือ 12.6 มิลลิกรัมต่อลิตร ในวันที่ 9 รองลงมาคือชุดการทดลองที่ระดับความเข้มข้นของน้ำเสีย 15 เปอร์เซ็นต์ มีค่า แอมโมเนีย-ไนโตรเจน เริ่มต้นเท่ากับ 45.1 มิลลิกรัมต่อลิตร ลดลงเหลือ 24.6 มิลลิกรัมต่อลิตร ในวันที่ 9 ตามลำดับ

จากผลการทดลอง ที่ระดับความเข้มข้น 10, 15, 20, 30, 40 และ 50 เปอร์เซ็นต์ มีค่าแอมโมเนีย-ไนโตรเจน ลดลงอย่างต่อเนื่อง และเพิ่มขึ้นเพียงเล็กเมื่อสิ้นสุดการทดลอง โดยที่ระดับความเข้มข้นของน้ำเสีย 10 เปอร์เซ็นต์ สามารถ ลดค่าแอมโนเนีย-ไนโตรเจน ลงได้ถึง 66.4 เปอร์เซ็นต์ ในวันที่ 9 และมีค่าเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยเมื่อสิ้นสุดการทดลอง ซึ่งปริมาณแอมโมเนียนี้ สาหร่ายสามารถนำไปใช้ในขบวนการเมตาบอลิซึมโดยสาหร่ายจะเลือกใช้แอมโมเนียก่อนที่จะ

ใช้ไนเตรท จึงทำให้ปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจน ลดลงถึง 66.4 เปอร์เซ็นต์ ส่วนไนเตรท-ไนโตรเจนลดลงเพียง 38.8 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งแสดงให้เห็นว่า ก่อนที่สาหร่ายจะนำไนเตรทไปใช้ประโยชน์นั้น จะต้องเปลี่ยนรูปของไนเตรทให้อยู่ในรูปของแอมโมเนียเสียก่อน

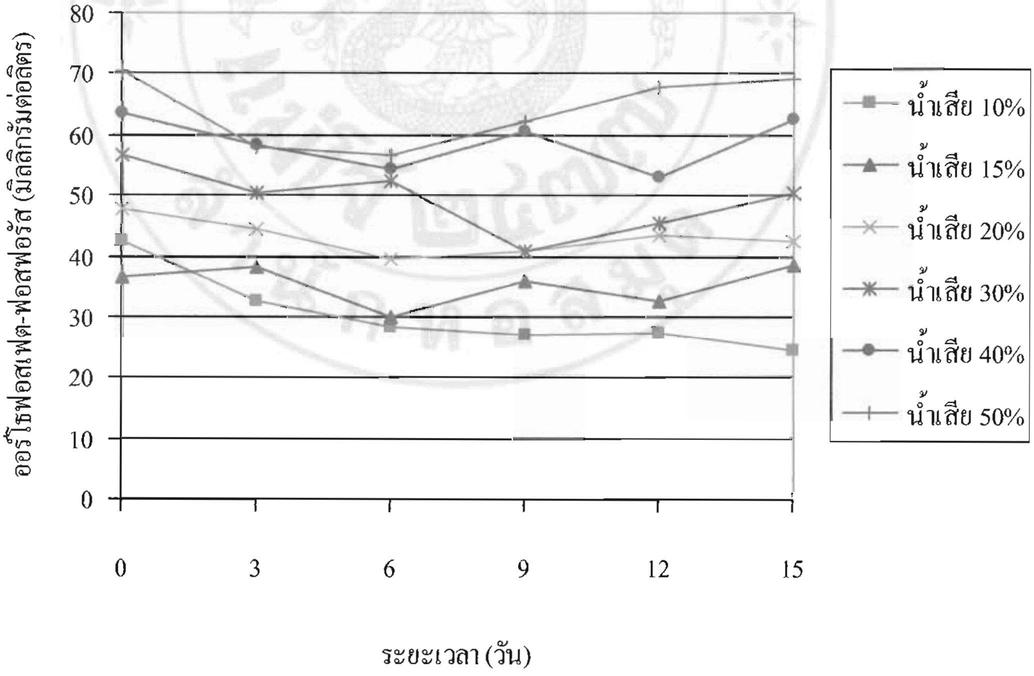


ภาพ 12 ปริมาณ แอมโมเนีย-ไนโตรเจน ในน้ำเสียจากฟาร์มโคนมที่ระดับความเข้มข้นต่างกัน ที่ใช้ เพาะเลี้ยง สาหร่ายสไปรูลินา

ผลการศึกษาการลดค่าออร์โธฟอสเฟต-ฟอสฟอรัส ของน้ำเสียในการทดลองที่ระยะเวลาการเพาะเลี้ยง 15 วัน แสดงในตารางภาคผนวก 8 และ ภาพ 13 พบว่าชุดการทดลองที่ระดับความเข้มข้นของน้ำเสีย 10 เปอร์เซ็นต์ สาหร่ายสามารถลดค่า ออร์โธฟอสเฟต-ฟอสฟอรัส ได้มากที่สุด คือค่าเริ่มต้นเท่ากับ 42.5 มิลลิกรัมต่อลิตร ลดลงเหลือ 24.3 มิลลิกรัมต่อลิตร ในวันที่ 15 รองลงมาคือชุดการทดลองที่ระดับความเข้มข้นของน้ำเสีย 30 เปอร์เซ็นต์ มีค่า ออร์โธฟอสเฟต-ฟอสฟอรัส เริ่มต้นเท่ากับ 56.6 มิลลิกรัมต่อลิตร ลดลงเหลือ 40.7 มิลลิกรัมต่อลิตร ในวันที่ 9 ตามลำดับ

จากผลการทดลอง ที่ระดับความเข้มข้นของน้ำเสีย 15 และ 20 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณของออร์โธฟอสเฟต-ฟอสเฟต ลดลงมากที่สุดในวันที่ 6 ของการทดลอง คือลดจาก 46.4 และ 47.7 มิลลิกรัมต่อลิตร ลดลงเหลือ 30.0 และ 39.5 มิลลิกรัมต่อลิตร หลังจากนั้นเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเป็น 38.4 และ 42.5 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อสิ้นสุดการทดลอง ที่ระดับความเข้มข้นของน้ำเสีย 30 เปอร์เซ็นต์ มีค่าออร์โธฟอสเฟต-ฟอสเฟตเริ่มต้น 56.6 มิลลิกรัมต่อลิตร ลดลงเหลือ 40.7 มิลลิกรัมต่อลิตรในวันที่ 9 และเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยเมื่อสิ้นสุดการทดลอง และที่ระดับความเข้มข้นของน้ำเสีย 40 และ 50 เปอร์เซ็นต์ มีค่าออร์โธฟอสเฟต-ฟอสเฟตเริ่มต้น 63.5 และ 70.6 มิลลิกรัมต่อลิตร ลดลงเหลือ 53.1

และ 56.4 มิลลิกรัมต่อลิตร ในวันที่ 12 และ วันที่ 6 ตามลำดับ และหลังนั้นเพิ่มมากขึ้นจนมีค่าใกล้เคียงกับค่าเริ่มต้นคือ มีค่า 62.4 และ 69.1 ในวันสิ้นสุดการทดลอง และพบว่าที่ระดับความเข้มข้นของน้ำเสียที่ 10 เปอร์เซ็นต์ สามารถลดค่า ออร์โธฟอสเฟต-ฟอสเฟตลงได้ ถึง 42.5 เปอร์เซ็นต์ ในวันสิ้นสุดการทดลอง ซึ่งน่าจะเป็นผลมาจากสาหร่ายนั้นนำฟอสเฟตไปใช้ในการเจริญเติบโต โดยธาตุฟอสฟอรัสเป็นธาตุหนึ่งที่มีความจำเป็นในกระบวนการเมตาบอลิซึมของสาหร่าย ซึ่งมีบทบาทในกระบวนการสร้างพลังงานและสังเคราะห์กรดนิวคลิอิค เซลล์สาหร่ายจะใช้ฟอสฟอรัสที่อยู่ในรูปสารอนินทรีย์และสาหร่ายจะสามารถเปลี่ยนฟอสฟอรัสให้อยู่ในรูปของออร์โธฟอสเฟต (Orthophosphate) และ ATP ตามลำดับ ซึ่งผลการทดลองนี้มีค่าใกล้เคียงกับผลการวิจัยของจงกล (2543) ได้ทำการศึกษาการเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินา ในน้ำทิ้งจากบ่อหมักก๊าซชีวภาพมูลสุกร พบว่า ความเข้มข้นของน้ำเสีย 10, 30 และ 50 เปอร์เซ็นต์ มีค่าฟอสเฟตลดลง 58.92, 58.38และ 47.80 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ



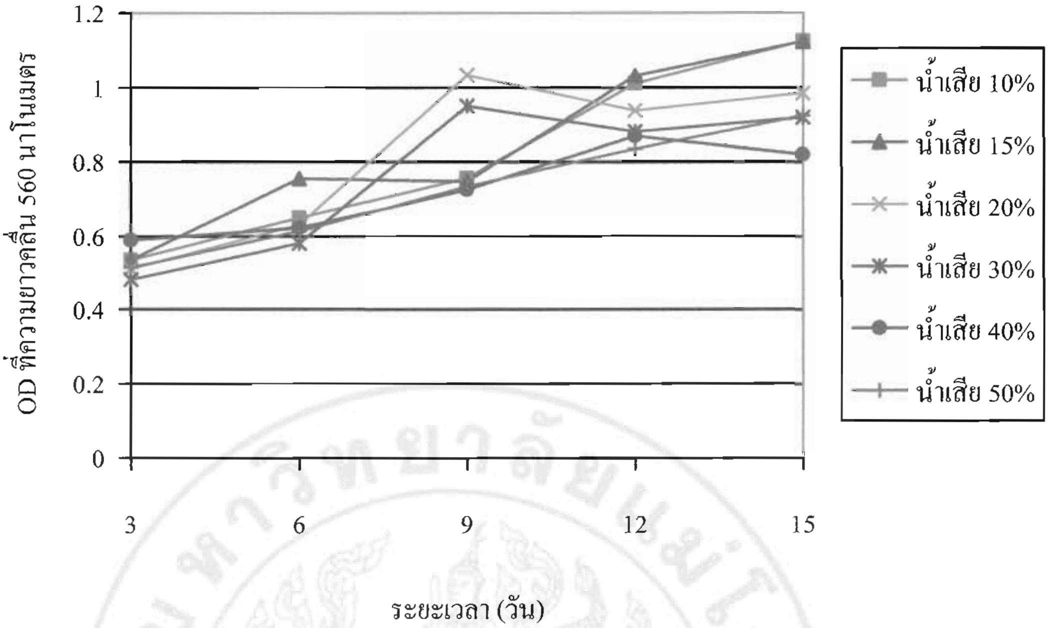
ภาพ 13 ปริมาณ ออร์โธฟอสเฟต-ฟอสฟอรัส ในน้ำเสียจากฟาร์มโคนมที่ระดับความเข้มข้นต่างกันที่ใช้เพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินา

2 การเจริญเติบโตของสาหร่าย *Spirulina platensis*

การเจริญเติบโตของสาหร่าย *Spirulina platensis* โดยการวัดค่า OD ที่ความยาวคลื่น 560 นาโนเมตร ของสาหร่ายที่เพาะเลี้ยงในระยะเวลา 15 วัน ดังแสดงในตารางภาคผนวก 9 และ ภาพ 14 พบว่า ชุดการทดลองที่ระดับความเข้มข้นของน้ำเสีย 10 เปอร์เซ็นต์ สาหร่ายสามารถเจริญเติบโตได้ดีที่สุดคือมีค่า OD ที่ความยาวคลื่น 560 นาโนเมตร เพิ่มขึ้นมากที่สุด คือมีค่าเริ่มต้นเท่ากับ 0.463 เพิ่มขึ้นเป็น 1.125 ในวันที่ 15 รองลงมาคือ ชุดการทดลองที่ระดับความเข้มข้นของน้ำเสีย 15 เปอร์เซ็นต์ มีค่า OD ที่ความยาวคลื่น 560 นาโนเมตร เริ่มต้นเท่ากับ 0.504 เพิ่มขึ้นเป็น 1.124 ในวันที่12 ตามลำดับ

จากผลการทดลองค่า OD ที่ความยาวคลื่น 560 นาโนเมตรที่ระดับความเข้มข้นของน้ำเสีย 50 เปอร์เซ็นต์ มีค่าเริ่มต้นสูงที่สุดเท่ากับ 1.017 เมื่อเทียบกับระดับความเข้มข้นอื่น เนื่องมาจากระดับความเข้มข้นของน้ำเสียที่สูงจะมีตะกอนของกากมูลโคมากตามไปด้วยจึงส่งผลทำให้สีของน้ำเข้มกว่าชุดการทดลองอื่น ๆ จึงไปมีผลต่อค่า OD ที่วัดได้มีค่ามากตามไปด้วย ส่วนในระดับความเข้มข้นของน้ำเสีย ที่ 10 เปอร์เซ็นต์ มีแนวโน้มที่ค่า OD เพิ่มจะมากขึ้นจนสิ้นสุดการทดลอง โดยมีค่าสูงถึง 1.125 คิดเป็น 142.9 เปอร์เซ็นต์เมื่อเทียบกับค่าเริ่มต้น ซึ่งเป็นมาจากสาหร่ายสามารถเจริญเติบโตได้ดี จึงทำให้มีการเพิ่มจำนวนเซลล์มากขึ้น และเมื่อจำนวนเซลล์เพิ่มมากขึ้นจึงส่งผลทำให้ค่า OD ที่วัดได้มีค่าสูงตามไปด้วย

ส่วนในระดับความเข้มข้นที่ 20, 30, 40 และ 50 เปอร์เซ็นต์ ในวันที่ 3 ของการทดลอง จนสิ้นสุดการทดลอง ค่า OD เพิ่มขึ้น เรื่อยๆ เนื่องมาจากความเข้มข้นของน้ำเสียที่มากเกินไปจนสาหร่ายไม่สามารถเจริญได้ จึงทำให้สาหร่ายบางส่วนตายลงเมื่อสาหร่ายตายลงก็กลายเป็นตะกอนโดยตะกอนนี้มีผลทำให้ค่าตะกอนในน้ำเสียเพิ่มมากขึ้นอีกซึ่งตะกอนนี้เองที่ทำให้ค่า OD เพิ่มมากขึ้น



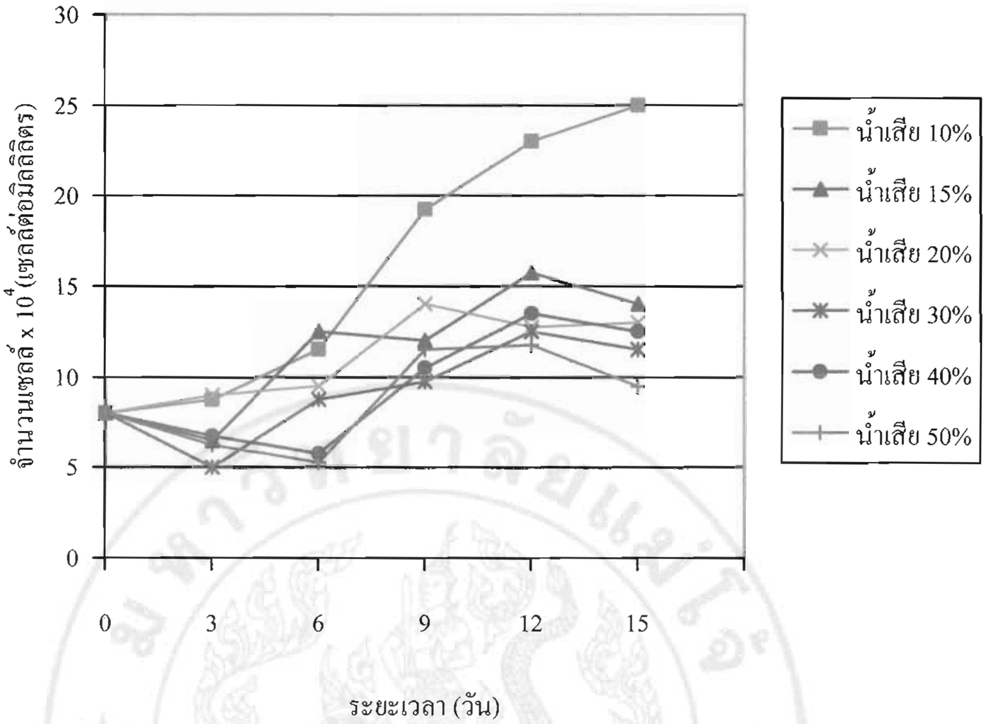
ภาพ 14 ค่า OD ในน้ำเสียจากฟาร์มโคนมที่ระดับความเข้มข้นต่างกัน ที่ใช้เพาะเลี้ยงสาหร่ายสไป-รูลินา

จำนวนเซลล์ของสาหร่าย *Spirulina platensis* ที่เพาะเลี้ยงในระยะเวลา 15 วัน ดังแสดงในตารางภาคผนวก 10 และ ภาพ 15 พบว่า ชุดการทดลองที่ระดับความเข้มข้นของน้ำเสีย 10 เปอร์เซ็นต์ สาหร่ายมีจำนวนเซลล์เพิ่มขึ้นมากที่สุด คือ ค่าเริ่มต้น 8.0×10^4 เซลล์ต่อมิลลิลิตร เพิ่มเป็น 2.5×10^5 เซลล์ต่อมิลลิลิตร ในวันที่15 รองลงมาคือ ชุดการทดลองที่ระดับความเข้มข้นของน้ำเสีย 15 เปอร์เซ็นต์ สาหร่ายมีจำนวนเซลล์เพิ่มมากขึ้น คือ ค่าเริ่มต้น 8.0×10^4 เซลล์ต่อมิลลิลิตร เพิ่มเป็น 1.58×10^5 เซลล์ต่อมิลลิลิตร ในวันที่ 12 ตามลำดับ

จากผลการทดลอง พบว่าที่ระดับความเข้มข้น 15, 30, 40 และ 50 เปอร์เซ็นต์ ในวันที่ 3 ของการทดลอง จำนวนเซลล์ลดลงจากวันเริ่มต้นอาจจะเป็นมาจากการชะงักงันของสาหร่าย เนื่องมาจากว่าในการทดลองครั้งนี้ ได้ทำการกรองสาหร่ายหัวเชื้อออกจากบ่อและล้างด้วยน้ำสะอาดและวัดค่า OD เพื่อให้มีค่า OD เท่ากับ 1 จึงจะสามารถนำมาใช้เพาะเลี้ยงในน้ำเสียที่ความเข้มข้นต่างๆ ในการทดลองนี้ได้ ซึ่งน่าจะส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงสภาวะแวดล้อมของสาหร่าย และเมื่อสาหร่ายสามารถปรับตัวเข้ากับน้ำเสียที่ความเข้มข้นต่าง ๆได้แล้วจึงสามารถเจริญเติบโตได้ ส่วนที่ระดับความเข้มข้น 10 และ 20 เปอร์เซ็นต์ ในวันที่ 3 ของการทดลอง สาหร่ายมีจำนวน

เซลล์เพิ่มขึ้นเล็กน้อย อาจเนื่องมาจากว่าสาหร่ายสามารถปรับตัวได้รวดเร็วกว่าที่ระดับน้ำเสียความเข้มข้นอื่น จึงมีค่าที่วัดได้สูงกว่าวันเริ่มต้นเพียงเล็กน้อย

จากการทดลองพบว่าที่ระดับความเข้มข้นของน้ำเสียที่ 10 เปอร์เซ็นต์ แสดงให้เห็นว่าสาหร่าย *Spirulina platensis* ที่เพาะเลี้ยงในระดับความเข้มข้นนี้ มีความเหมาะสมที่ทำให้สาหร่าย *Spirulina platensis* เจริญเติบโตได้ดีที่สุด และยังสามารถปรับปรุงคุณภาพน้ำให้ดีขึ้นอีกด้วย ซึ่งการเจริญเติบโตของสาหร่าย สามารถพิจารณาได้จากค่า OD ที่วัดได้ซึ่งมีค่าเท่ากับ 1.125 และมีจำนวนเซลล์เท่ากับ 2.5×10^4 เซลล์ต่อมิลลิลิตรในวันสิ้นสุดการทดลอง ซึ่งมีค่าสูงที่สุดเมื่อเทียบกับระดับความเข้มข้นของน้ำเสียอื่นๆ ซึ่งแสดงให้เห็นว่า ความเข้มข้นของน้ำเสียมีผลต่อการเจริญเติบโตของสาหร่ายที่เพาะเลี้ยง โดยที่ความเข้มข้นของน้ำเสียจากฟาร์มโคนมที่มีระดับความเข้มข้นสูงขึ้น จะมีสีเข้มขึ้นและมีพวกกากมูลโคมากขึ้น โดยจะเป็นสารอินทรีย์จำนวนมาก ซึ่งมีผลต่อการส่องผ่านของแสง เป็นผลทำให้สาหร่ายไม่สามารถสังเคราะห์แสงได้หรืออาจจะสามารถสังเคราะห์แสงได้น้อยลง จึงเป็นผลทำให้ไม่สามารถเจริญเติบโตได้ดีเท่าที่ควรและทำให้สาหร่ายตายลงบางส่วนและเมื่อสาหร่ายตายลงก็จะไปมีผลทำให้สารอินทรีย์ในน้ำเสียเพิ่มมากขึ้น ซึ่งเป็นผลทำให้ค่า BOD และ COD ในน้ำเสียเพิ่มมากขึ้นตามไปด้วย โดยสภาวะดังกล่าวนี้จะไม่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของสาหร่าย *Spirulina platensis* ดังนั้นที่ระดับความเข้มข้นของน้ำเสียจากฟาร์มโคนมที่ 10 เปอร์เซ็นต์จึงเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของสาหร่ายมากที่สุด และยังสามารถปรับปรุงคุณภาพน้ำได้ดีในระดับหนึ่งอีกด้วย จากการทดลองพบว่าระดับความเข้มข้นของน้ำเสีย 10 เปอร์เซ็นต์ สาหร่ายมีจำนวนเซลล์เพิ่มขึ้นมากที่สุด คือ 2.5×10^4 เซลล์ต่อมิลลิลิตร ซึ่งมีผลใกล้เคียงกับงานวิจัยของ (อรุโณทัย, 2546) ซึ่งพบว่า การเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina platensis* ด้วยกากถั่วเหลือง 0.1 กรัมต่อ800 มล. ผสมกับสารเคมี 3 ชนิด คือ $NaHCO_3$ 8.5 กรัมต่อลิตร, $NaNO_3$ 1.5 กรัมต่อลิตร, K_2HPO_4 0.5 กรัมต่อลิตร มีผลทำให้จำนวนเซลล์เพิ่มขึ้นเฉลี่ยสูงสุด ถึง 2.16×10^5 เซลล์ต่อมิลลิลิตร



ภาพ 15 จำนวนเซลล์ในน้ำเสียจากฟาร์มโคนมที่ระดับความเข้มข้นต่างกันที่ใช้เพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินา

เนื่องจากว่าการศึกษาในครั้งนี้ เป้าหมายสำคัญ คือ เพื่อการใช้ประโยชน์จากสารอนินทรีย์ที่ได้จากการย่อยสลายอินทรีย์ และสารอาหารพวก ไนเตรท แอมโมเนีย หรือฟอสเฟต ที่อยู่ในน้ำเสียจากฟาร์มโคนม ซึ่งมีผลต่อการเจริญเติบโตของสาหร่ายสไปรูลินา แต่ปริมาณสารอาหารเหล่านี้ก็ยังไม่เพียงพอต่อการเจริญเติบโตของสาหร่ายสไปรูลินา จึงมีการเติมสารเคมีบางชนิดซึ่งมีราคาไม่แพงลงไปเพื่อให้มีอาหารเพียงพอ ได้แก่ $NaHCO_3$ 6 กรัมต่อลิตร, K_2HPO_4 0.5 กรัมต่อลิตร, $NaNO_3$ 1.5 กรัมต่อลิตร และ ปุ๋ย N:P:K 0.6 กรัมต่อลิตร จงกล (2543) ซึ่งเป็นการลดต้นทุนการเพาะเลี้ยงสาหร่ายให้น้อยลงและยังสามารถได้ผลผลิตที่สามารถใช้เป็นอาหารเสริมที่มีค่าโปรตีนสูงได้อีกด้วย นอกจากนี้ยังสามารถปรับปรุงคุณภาพน้ำได้อีกทางคือสามารถบำบัดความสกปรกของน้ำเสียลงได้

ดังนั้นในการเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina platensis* ในขั้นตอนต่อไปจึงเลือกใช้ความเข้มข้นของน้ำเสียที่ 10 เปอร์เซ็นต์ เป็นความเข้มข้นที่เหมาะสมสำหรับการเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina platensis* ทั้งนี้เนื่องมาจากการทดลองข้างต้น แสดงให้เห็นว่า การทดลองที่ใช้น้ำเสีย

ความเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์ มีจำนวนเซลล์เพิ่มขึ้น จากค่าเริ่มต้น 8.0 $\times 10^4$ เซลล์ต่อมิลลิลิตร เพิ่มเป็น 2.5 $\times 10^5$ เซลล์ต่อมิลลิลิตร ในวันสิ้นสุดการทดลอง พร้อมทั้งยัง มีค่า OD ซึ่งเป็นค่าที่วัดการเจริญเติบโตของสาหร่าย *Spirulina platensis* มากที่สุด ที่ค่า OD เท่ากับ 1.125 ในวันสิ้นสุดการทดลอง เมื่อเทียบกับชุดการทดลองระดับความเข้มข้นที่ 15, 20, 30, 40 และ 50 เปอร์เซ็นต์ มีค่าสูงมากกว่า

นอกจากนี้ ที่ระดับความเข้มข้นของน้ำเสียที่ 10 เปอร์เซ็นต์นั้น สาหร่ายสามารถลดค่า BOD ลงได้ จากค่า BOD เริ่มต้น จนถึงวันที่ 12 ของการทดลอง คิดเป็นประสิทธิภาพในการลดถึง 60.53 เปอร์เซ็นต์ และค่า BOD เพิ่มมากขึ้นเพียงเล็กน้อยในวันสิ้นสุดการทดลอง ส่วนค่า COD นั้นสามารถลดค่า COD ลงได้ถึง 35.00 เปอร์เซ็นต์ ในวันที่ 3 และมีแนวโน้มว่า ค่า COD จะเพิ่มขึ้นไม่สูงมากนัก เมื่อสิ้นสุดการทดลอง ค่า COD ก็ยังลดลง 22.5 เปอร์เซ็นต์ ส่วนค่าไนเตรท-ไนโตรเจนลดลงได้ถึง 38.8 เปอร์เซ็นต์ ในวันสิ้นสุดการทดลอง ค่าแอมโนเนีย-ไนโตรเจน ลดลงได้ถึง 66.4 เปอร์เซ็นต์ ในวันที่ 9 และมีค่าเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยเมื่อสิ้นสุดการทดลองและ สามารถลดค่า ออร์โธฟอสเฟต-ฟอสฟอรัส ลงได้ ถึง 42.5 เปอร์เซ็นต์ ในวันสิ้นสุดการทดลอง

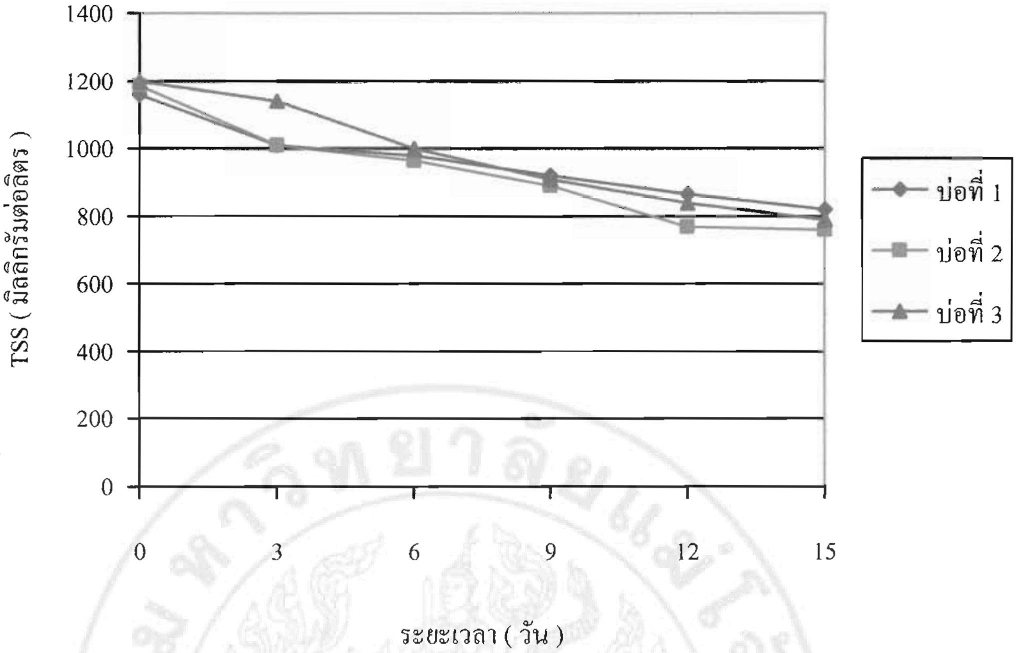
การศึกษาการเจริญเติบโตของสาหร่ายสไปรูลินา ในน้ำเสียที่ระดับความเข้มข้นที่เหมาะสมในการเพาะเลี้ยงในสภาพกลางแจ้งแบบกะ

เมื่อได้ระดับความเข้มข้นที่เหมาะสมจากการทดลองในระดับห้องปฏิบัติการแล้ว พบว่าที่ระดับความเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์ เป็นระดับความเข้มข้นที่เหมาะสมที่สุด จึงได้นำมาศึกษาต่อในสภาพกลางแจ้งโดยใช้การเพาะเลี้ยงในบ่อซีเมนต์ ปริมาตร 200 ลิตร จำนวน 3 บ่อ โดยผลการศึกษาการเจริญเติบโตของสาหร่าย *Spirulina platensis* ในระยะเวลาการเพาะเลี้ยง 15 วัน ที่ระดับความเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์ มีดังนี้

ผลการตรวจวัดคุณภาพน้ำและอุณหภูมิของน้ำในระหว่างการเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina platensis* พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิอยู่ในช่วง 25-27 องศาเซลเซียส

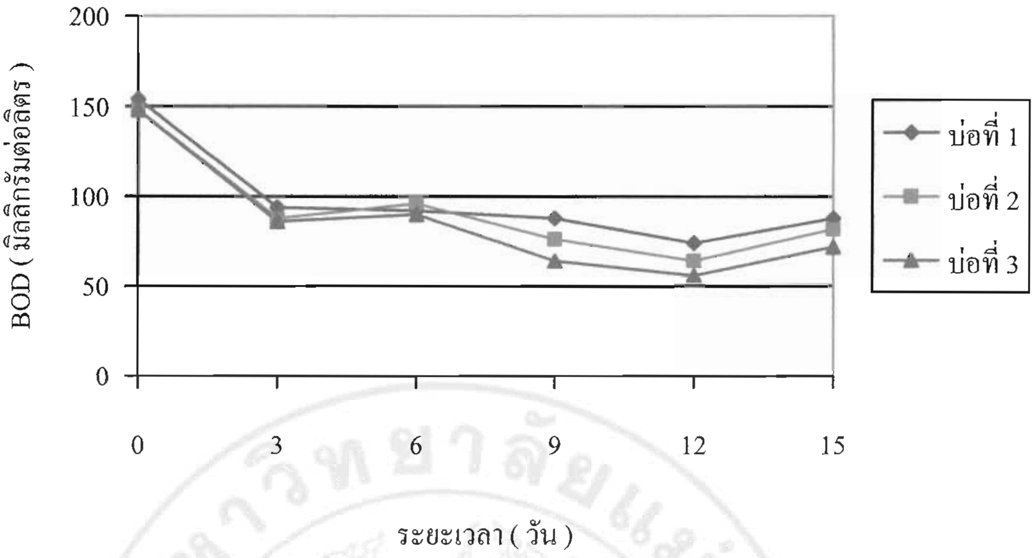
ผลการตรวจวัดค่า pH ของน้ำเสียในการทดลอง พบว่า ที่ทุกระดับความเข้มข้นของน้ำเสีย มีค่า pH อยู่ในช่วง 8.9-10.9

ผลการตรวจวัดค่า TSS ในน้ำเสียฟาร์มโคนมที่ระยะเวลาการเพาะเลี้ยง 15 วัน ดังแสดงในตารางภาคผนวก 11 และ ภาพ 16 ซึ่งทุกบ่อทดลองมีแนวโน้มที่ค่า TSS ลดลงอย่างต่อเนื่องจนถึงวันที่ 15 โดยมีประสิทธิภาพในการลดค่า TSS เฉลี่ย 33.2 เปอร์เซ็นต์



ภาพ 16 ปริมาณ TSS ในน้ำเสียฟาร์มโคนม ที่ระดับความเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์ ที่ใช้เพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินา

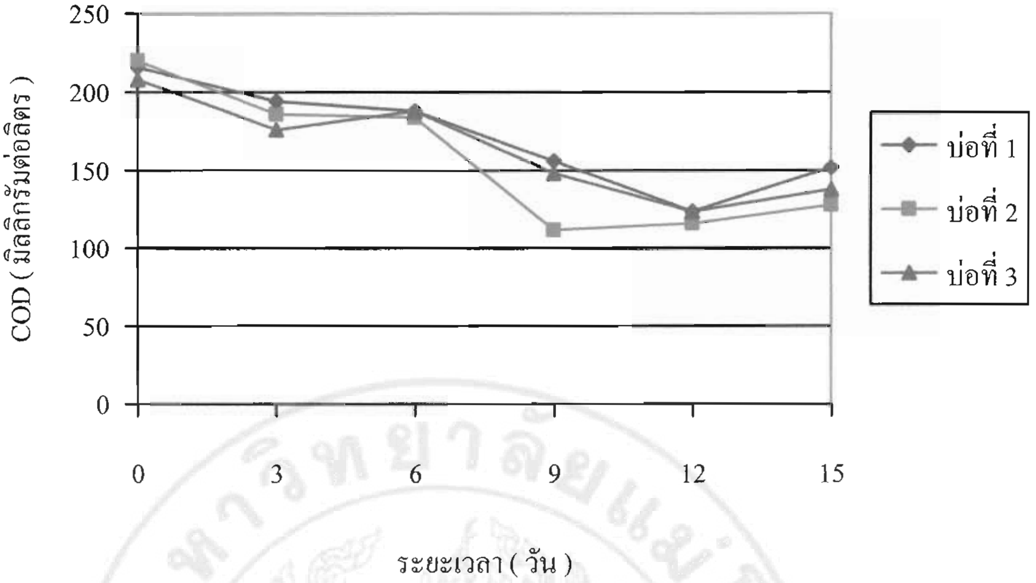
ผลการวิเคราะห์การลดลงของค่า BOD ในการทดลองที่ระยะเวลาการเพาะเลี้ยง 15 วัน ดังแสดงในตารางภาคผนวก 12 และ ภาพ 17 พบว่าในวันเริ่มต้นทุกการทดลองมีแนวโน้มที่ค่า BOD จะลดลงอย่างรวดเร็วจนลดลงสูงสุดในวันที่ 12 คิดเป็นประสิทธิภาพในการลดค่า BOD เฉลี่ยถึง 56.67 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อถึงวันสิ้นสุดการทดลอง ค่า BOD เพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย



ภาพ 17 ปริมาณ BOD ในน้ำเสียฟาร์มโคนม ที่ระดับความเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์ ที่ใช้เพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินาในสภาพกลางแจ้ง

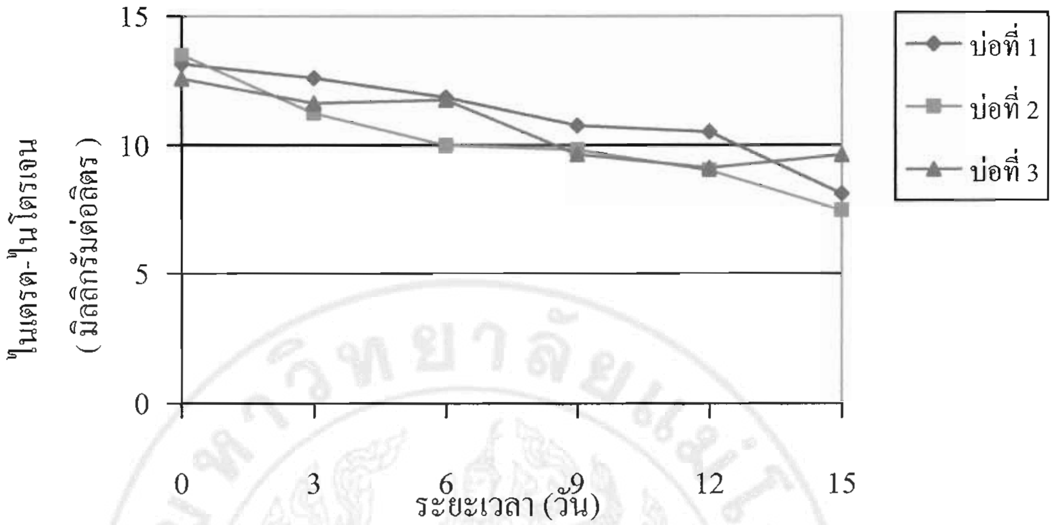
การศึกษาการลดค่า COD ที่ระยะเวลาการเพาะเลี้ยง 15 วัน ดังแสดงในตารางภาคผนวก 13 และ ภาพ 18 พบว่าค่า COD แนวโน้มลดลงอย่างรวดเร็ว จนถึงวันที่ 12 คิดเป็นประสิทธิภาพเฉลี่ยในการลดค่า COD ถึง 56.5 เปอร์เซ็นต์ และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยในวันสิ้นสุดการทดลอง

ทั้งค่า BOD และ ค่า COD ในวันแรก ๆ ของทุกการทดลองมีแนวโน้มที่ค่าทั้ง 2 ลดลงอย่างรวดเร็ว และเมื่อใกล้สิ้นสุดการทดลองจนสิ้นสุดการทดลอง มีการเพิ่มขึ้นของค่า BOD และค่า COD เพียงเล็กน้อย

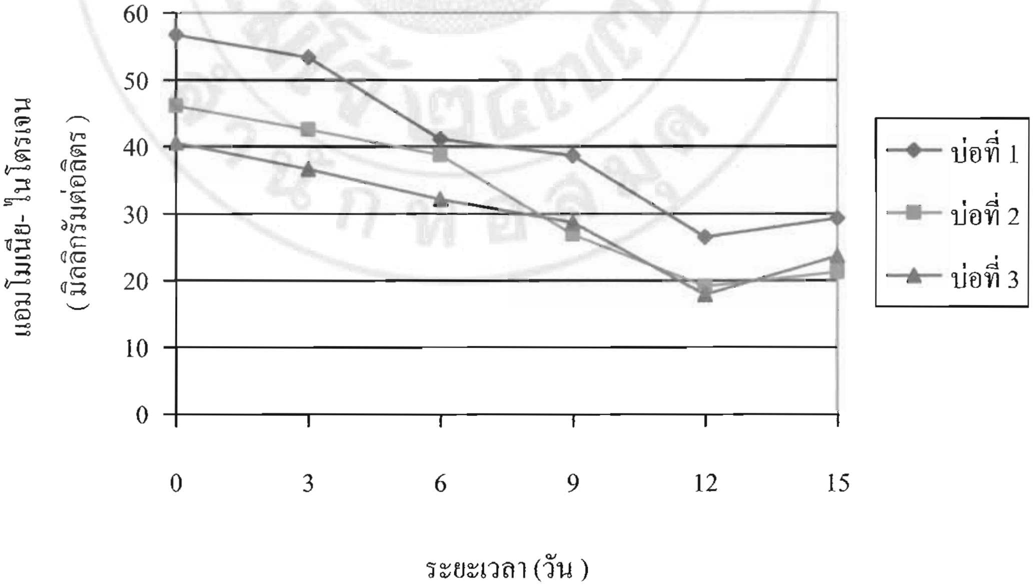


ภาพ 18 ปริมาณ COD ในน้ำเสียฟาร์มโคนม ที่ระดับความเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์ ที่ใช้เพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินาใสภาพกลางแจ้ง

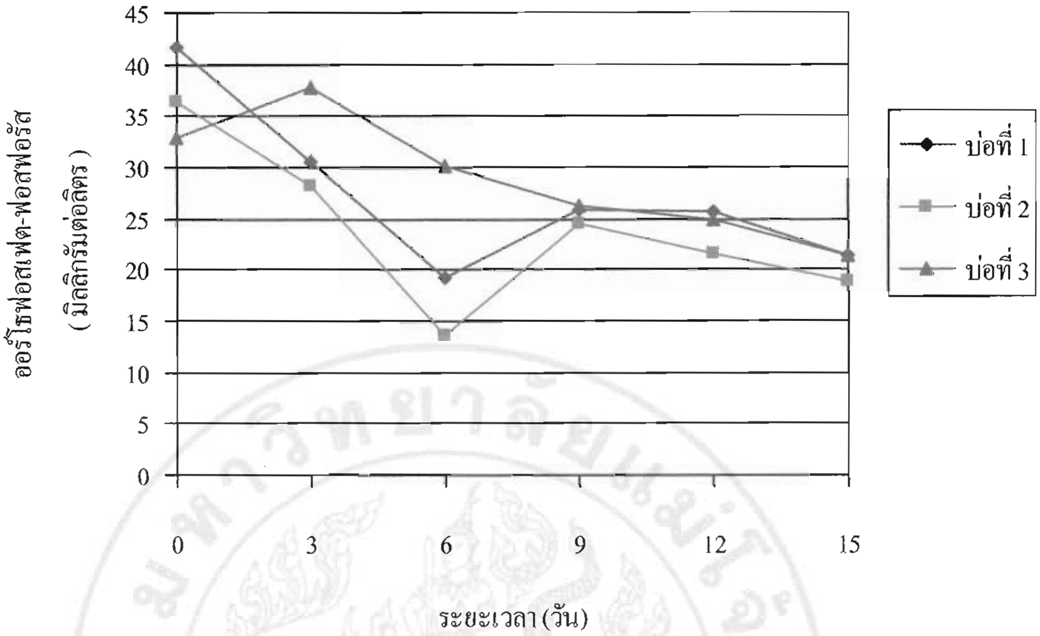
การลดค่าไนเตรท-ไนโตรเจน ที่ระยะเวลาการเพาะเลี้ยง 15 วัน ดังแสดงในตารางภาคผนวก 14 และ ภาพ 19 การลดค่าแอมโมเนีย-ไนโตรเจน ของน้ำเสียในการทดลองที่ระยะเวลา 15 วัน ดังแสดงในตารางภาคผนวก 15 และ ภาพ 20 การลดค่าออร์โธฟอสเฟต-ฟอสฟอรัส ของน้ำเสียในการทดลองที่ระยะเวลา 15 วัน ดังแสดงในตารางภาคผนวก 16 และ ภาพ 21 โดยสาหร่ายมีประสิทธิภาพในการลดค่าไนเตรท-ไนโตรเจน เฉลี่ย 35.8 เปอร์เซ็นต์ในสิ้นสุดการทดลอง ค่าแอมโมเนีย-ไนโตรเจน ลดลงสูงสุดในวันที่ 12 คิดเป็นประสิทธิภาพในการลดค่าแอมโมเนีย-ไนโตรเจน เฉลี่ย 55.7 เปอร์เซ็นต์ และค่าออร์โธฟอสเฟต-ฟอสฟอรัส ลดลงอย่างต่อเนื่องจนสิ้นสุดการทดลอง คิดเป็นประสิทธิภาพในการลดค่าออร์โธฟอสเฟต-ฟอสฟอรัส เฉลี่ย 44.4 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งพบว่าการลดค่าไนเตรท-ไนโตรเจน ค่าแอมโมเนีย-ไนโตรเจน และค่าออร์โธฟอสเฟต-ฟอสฟอรัส เป็นไปในทิศทางเดียวกันคือ ทุกการทดลองมีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่องจนสิ้นสุดการทดลอง



ภาพ 19 ปริมาณ ไนเตรท-ไนโตรเจนในน้ำเสียฟาร์มโคนม ที่ระดับความเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์ ที่ใช้เพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินาในสภาพกลางแจ้ง

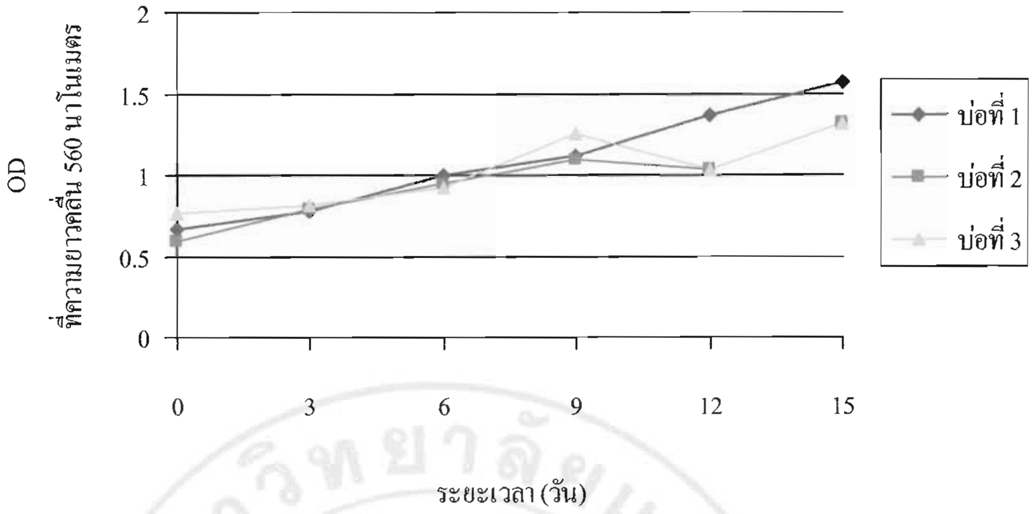


ภาพ 20 ปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนในน้ำเสียฟาร์มโคนม ที่ระดับความเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์ ที่ใช้เพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินาในสภาพกลางแจ้ง



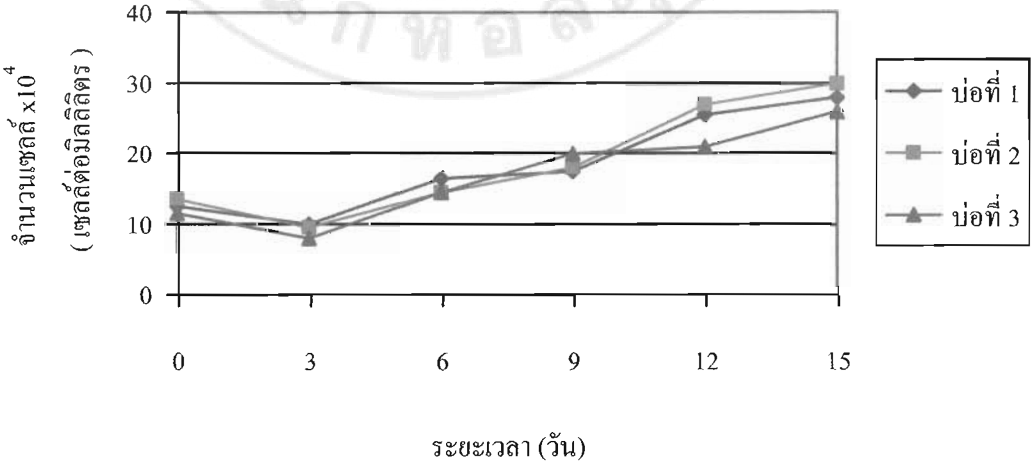
ภาพ 21 ปริมาณ ออร์โธฟอสเฟต-ฟอสฟอรัส ในน้ำเสียฟาร์มโคนม ที่ระดับความเข้มข้น10 เปอร์เซ็นต์ ที่ใช้เพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินาในสภาพกลางแจ้ง

การเจริญเติบโตของสาหร่าย *Spirulina platensis* โดยการทำการวัดค่า OD ของสาหร่าย *Spirulina platensis* ที่เพาะเลี้ยงในสภาพกลางแจ้งระยะเวลา 15 วัน ดังแสดงในตารางภาคผนวก 17 และ ภาพ 22 ผลของจำนวนเซลล์สาหร่าย *Spirulina platensis* ที่ตรวจนับได้ ตามลำดับดังแสดงในตารางภาคผนวก 18 และ ภาพ 23



ภาพ 22 ค่า OD ของสาหร่ายสไปรูลินา ในน้ำเสียฟาร์มโคนมที่ระดับความเข้มข้น 10เปอร์เซ็นต์ ในสภาพกลางแจ้ง

จากผลการทดลองพบว่าการเจริญเติบโตของสาหร่าย *Spirulina platensis* ที่ทำการเพาะเลี้ยงในสภาพกลางแจ้งทั้ง 3 บ่อ มีค่า OD เพิ่มขึ้นสูงสุดเฉลี่ย เท่ากับ 1.404 และมีจำนวนเซลล์เพิ่มขึ้นสูงสุดเฉลี่ย เท่ากับ 2.82×10^{4} เซลล์ต่อมิลลิลิตร ซึ่งมีจำนวนเซลล์ และค่า OD มากกว่าการเพาะเลี้ยงในสภาพห้องปฏิบัติการ



ภาพ 23 จำนวนเซลล์ สาหร่ายสไปรูลินา ในน้ำเสียฟาร์มโคนมที่ระดับความเข้มข้น 10เปอร์เซ็นต์ ในสภาพกลางแจ้ง

เมื่อพิจารณาจากการเจริญเติบโตของสาหร่าย *Spirulina platensis* แสดงให้เห็นว่าการเพาะเลี้ยงในสภาพกลางแจ้งมีการเจริญเติบโตของสาหร่าย *Spirulina platensis* ได้ดีกว่าในสภาพการเพาะเลี้ยงห้องปฏิบัติการ คือ มีค่า OD และจำนวนเซลล์ สาหร่ายสูงกว่าทั้งนี้เนื่องมาจากการเพาะเลี้ยงในสภาพกลางแจ้งนั้นทำให้สาหร่ายได้รับแสงแดดอย่างเพียงพอในการทดลอง จึงสามารถสังเคราะห์แสงได้ดีกว่าการเพาะเลี้ยงในสภาพห้องปฏิบัติการ และในการทดลองนี้ยังเติมสารอาหารที่จำเป็นเพิ่มเข้าไปเพื่อให้มีปริมาณอาหารที่เหมาะสม สำหรับการเจริญเติบโตของสาหร่ายสไปรูลินา เนื่องจากการเติมสารเคมีบางชนิดเข้าไปนั้น จะไปเพิ่มสารอาหารที่ไม่เพียงพอในน้ำเสียที่มีอยู่ให้เพิ่มมากขึ้น ประกอบกับการได้รับแสงแดดที่พอเหมาะจึงทำให้สาหร่าย *Spirulina platensis* เจริญเติบโตได้ดี ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ สมเกียรติ (2542) อ้างโดยรอยพิมพ์ (2549) ซึ่งทำการเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina platensis* ในน้ำทิ้งจากโรงงานกระดาษสาในสภาพกลางแจ้ง พบว่ามีจำนวนเซลล์ สาหร่ายสูงสุดเท่ากับ 3.72×10^5 เซลล์ต่อมิลลิลิตร ส่วนในสภาพห้องปฏิบัติการ มีจำนวนเซลล์สาหร่ายสูงสุดเท่ากับ 2.62×10^5 เซลล์ต่อมิลลิลิตร ซึ่งจะเห็นได้ว่าในสภาพการทดลองที่แตกต่างกัน ก็มีผลต่อการเจริญเติบโตของสาหร่าย *Spirulina platensis* ได้

การศึกษาคุณค่าทางโภชนาการของสาหร่ายสไปรูลินา

เมื่อทำการเก็บเกี่ยวผลผลิตสาหร่าย *Spirulina platensis* แล้ว นำสาหร่ายที่ได้ผ่านกรรมวิธีอบแห้งจนได้สาหร่ายในรูปสาหร่ายแห้ง หลังนั้นนำไปวิเคราะห์เพื่อหาคุณค่าทางโภชนาการของสาหร่าย *Spirulina platensis* จากการวิเคราะห์พบว่ามีคุณค่าทางโภชนาการเฉลี่ยคิดเป็นเปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้งดังนี้ วัตถุแห้ง 91.57 เปอร์เซ็นต์ เยื่อใย 7.68 เปอร์เซ็นต์ ไขมัน 2.52 เปอร์เซ็นต์ โปรตีน 51.02 เปอร์เซ็นต์ NFE 10.43 เปอร์เซ็นต์ และ เถ้า 28.35 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ดังแสดงในตาราง 11

ตาราง 11 ผลการวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการของสาหร่ายสไปรูลินา อบแห้ง

รายการ	%วัตถุแห้ง	%วัตถุแห้ง				
		โปรตีน	ไขมัน	เยื่อใย	เถ้า	NFE
สาหร่ายสไปรูลินา	91.57	51.02	2.52	7.68	28.35	10.43

จากผลการทดลองพบว่าสาหร่าย *Spirulina platensis* ที่เพาะเลี้ยงในน้ำเสียจากฟาร์มโคนม เมื่อนำไปวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการพบว่าสาหร่าย *Spirulina platensis* ที่เพาะเลี้ยงได้มีคุณค่าทางโภชนาการใกล้เคียงกับงานวิจัยของ จงกล (2543) ซึ่งทำการวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการของสาหร่าย *Spirulina platensis* ที่เพาะเลี้ยงในน้ำเสียจากบ่อหมักก๊าซชีวภาพมูลสุกร ที่ความเข้มข้น 50 เปอร์เซนต์ พบว่ามีโปรตีน ไขมัน และคาร์โบไฮเดรต เท่ากับ 48.9, 13.8 และ 11.47 คิดเป็นเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแห้งตามลำดับ และพบว่ามีค่ามากกว่าจากผลการทดลองของ รอยพิมพ์ (2549) ที่ทำการเพาะเลี้ยงสาหร่าย ในน้ำเสียจากกระบวนการหมักดอง แบบ Semi-continous culture ชุดการทดลองที่ไม่เติมอาหาร พบว่ามีโปรตีน ไขมัน เยื่อใย และวัตถุแห้ง เท่ากับ 34.14, 0.91, 1.98 และ 88.24 คิดเป็นเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแห้งตามลำดับ โดยผลการวิเคราะห์คุณค่าทางอาหารของสาหร่ายนั้นจะมีค่าที่แตกต่างกันไปตามลักษณะของน้ำเสียที่นำมาเพาะเลี้ยงสาหร่าย และปริมาณสารอาหารที่เติมลงไป จากการศึกษาคุณค่าทางโภชนาการของสาหร่าย *Spirulina platensis* นี้ พบว่ามีคุณค่าทางโภชนาการเพียงพอที่จะสามารถนำไปใช้ประโยชน์สำหรับใช้เป็นแหล่งอาหารสัตว์ต่อไปได้

การศึกษาการเจริญเติบโตของลูกโคนมเพศผู้ที่เลี้ยงด้วยสาหร่ายสไปรูลินา

จากการทดลองเลี้ยงลูกโคนม โดยให้อาหารข้นลูกโคในอัตราอาหารแห้ง 1 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว และให้อาหารแทนนม 4 ลิตร/ตัว/วัน โดยมีอาหารหยาบคือหญ้าขนสดให้กินแบบเต็มที่เป็นเวลา 12 สัปดาห์ (ระยะก่อนหย่านม) ผลการทดลองเป็นดังนี้

1. การเจริญเติบโต

พบว่าลูกโคทดลองมีสมรรถภาพในการผลิตไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) โดยลูกโคที่ได้รับอาหารข้นที่มีสาหร่ายสไปรูลินาเป็นแหล่งโปรตีนทดแทนกากถั่วเหลือง 50 เปอร์เซ็นต์ มีอัตราการเจริญเติบโตของลูกโค สูงกว่ากลุ่มควบคุมที่ได้รับอาหารข้นที่มีกากถั่วเหลืองเป็นแหล่งโปรตีนเล็กน้อย โดยมีค่าเฉลี่ยอัตราการเจริญเติบโตของกลุ่มทดลองเท่ากับ 0.33 และ 0.38 กก./ตัว/วัน ตามลำดับ ดังแสดงในตาราง 12

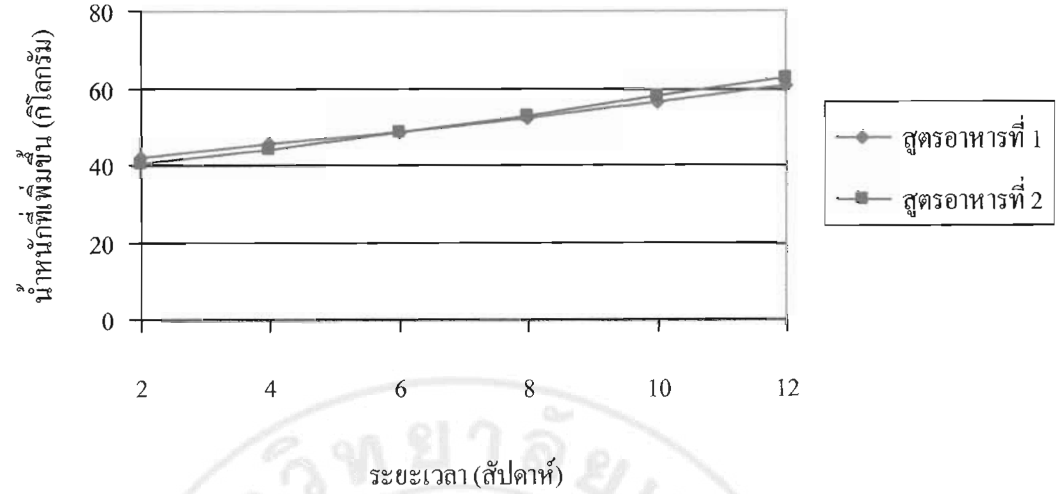
การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักตัวลูกโคเมื่อชั่งน้ำหนักทุก ๆ 2 สัปดาห์ แสดงไว้ในภาพ 24 จะเห็นได้ว่าการเจริญเติบโตของลูกโคเป็นไปอย่างสม่ำเสมอ คือ น้ำหนักเฉลี่ยเพิ่มเฉลี่ยใกล้เคียงกันตลอดระยะเวลาที่ทำการเลี้ยง และ น้ำหนักตัวของสัตว์ทั้ง 2 กลุ่มการทดลองใกล้เคียงกันซึ่งน่าจะ

เป็นผลมาจากลูกโคทุกตัวได้รับอาหารแทนนม และอาหารข้นในปริมาณที่ไม่แตกต่างกัน โดยในระยะลูกโคก่อนหย่านม โภชนะที่ใช้ในการเจริญเติบโตของร่างกายส่วนใหญ่ขึ้นอยู่กับโภชนะในอาหารแทนนมมากกว่าโภชนะที่ได้รับจากอาหารข้นหรืออาหารหยาบ โดยเฉพาะในระยะ 1 เดือนแรก นอกจากนี้ลูกโคยังกินอาหารแห้งจากอาหารข้นและอาหารหยาบได้น้อย โดยส่วนใหญ่อาหารข้นและอาหารหยาบจะมีผลต่อการพัฒนาของกระเพาะหมักมากกว่าการพัฒนาส่วนอื่น ๆ ในร่างกาย เมื่อโคทดลองได้รับโภชนะที่ไม่แตกต่างกัน โดยลูกโคในกลุ่มที่ได้รับอาหารข้นที่มีสาหร่ายสไปรูลินาเป็นแหล่งโปรตีนทดแทนกากถั่วเหลือง 50 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณการกินอาหารหยาบและอาหารข้นสูงกว่าเล็กน้อย จึงทำให้อัตราการเจริญเติบโตของลูกโคสูงขึ้นกว่ากลุ่มลูกโคที่ได้รับอาหารข้นที่มีกากถั่วเหลืองเป็นแหล่งโปรตีนได้

ตาราง 12 สมรรถภาพในการผลิตของโคทดลอง

	สูตรอาหารที่ 1	สูตรอาหารที่ 2
จำนวนสัตว์ทดลอง, ตัว	4	4
น้ำหนักเริ่มทดลอง, กก.	40.00 ± 0.58	38.33 ± 0.33
น้ำหนักเมื่อสิ้นสุดการทดลอง, กก.	68.00 ± 1.45	70.00 ± 2.19
น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น, กก.	28.00 ± 0.88	31.61 ± 1.86
ปริมาณอาหารข้น (กก/วัตถุแห้ง/ตัว/วัน)	0.38 ± 0.01	0.39 ± 0.02
ปริมาณหญ้าขนสด (กก/วัตถุแห้ง/ตัว/วัน)	0.47 ± 0.02	0.50 ± 0.01
อาหารแทนนม (กก/วัตถุแห้ง/ตัว/วัน)	0.38 ± 0.00	0.38 ± 0.00
อัตราการเจริญเติบโต (กก/ตัว/วัน)	0.33 ± 0.01	0.38 ± 0.02
ปริมาณอาหารที่กิน (กก/วัตถุแห้ง/ตัว/วัน)	1.23 ± 0.02	1.27 ± 0.02
อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัว 1 กก.	3.68 ± 0.06	3.40 ± 0.21

หมายเหตุ:ทุกค่าเฉลี่ยไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)



ภาพ 24 การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักตัวของลูกโคตั้งแต่ อายุ 2 สัปดาห์ จนถึง 12 สัปดาห์

2. ปริมาณอาหารที่กิน

ในช่วงการทดลอง ตั้งแต่อายุ 2 สัปดาห์ จนถึง 12 สัปดาห์ โคทุกตัวได้รับอาหารแทนนมในปริมาณที่เท่ากัน ส่วนปริมาณอาหารที่กิน อาหารข้นและอาหารหยาบมีความแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย โดยลูกโคมีปริมาณอาหารที่กินทั้งหมดเท่ากับ 1.23 และ 1.27 กก.วัตถุแห้ง/ตัว/วัน ตามลำดับ ซึ่งไม่แตกต่างกันในทางสถิติ ($p > 0.05$)

3. ลักษณะซาก

ลักษณะของซากโดยทั่วไปของโคทดลองแสดงในตาราง 13 พบว่า 2 กลุ่มทดลองมีค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ซาก น้ำหนักซากอุ่น ไม่แตกต่างกันในทางสถิติ ($p > 0.05$) เปอร์เซ็นต์ซากเท่ากับ 49.22 และ 50.59 และค่าน้ำหนักซากอุ่นเท่ากับ 34.50 และ 36.50 กิโลกรัม

ส่วนประกอบซากและอวัยวะภายใน ดังแสดงไว้ในตาราง 14 พบว่าค่าเฉลี่ยส่วนประกอบซากและอวัยวะภายในของกลุ่มการทดลองไม่แตกต่างกันในทางสถิติ ($p > 0.05$) แต่มีแนวโน้มว่ากลุ่มการทดลองที่ได้รับอาหารข้นที่มีกากถั่วเหลืองเป็นแหล่งโปรตีน มีค่าเฉลี่ยของ ตับและดี ลำไส้ใหญ่ ม้าม และ หนังสูงกว่ากลุ่มที่ได้รับอาหารข้นที่มีสาหร่ายสไปรูลินาเป็นแหล่งโปรตีนทดแทนกากถั่วเหลือง 50 เปอร์เซ็นต์ ตับและดี มีค่าเท่ากับ 2.06 และ 1.85 เปอร์เซ็นต์ ลำไส้ใหญ่ มีค่าเท่ากับ

1.47 และ 1.00 เปอร์เซ็นต์ ม้าม มีค่าเท่ากับ 0.44 และ 0.29 เปอร์เซ็นต์ และหนัง มีค่าเท่ากับ 9.41 และ 8.57 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

การตัดแต่งซากแบบไทยเพื่อศึกษาส่วนประกอบของซากโดยคิดจากน้ำหนักซากอุ่น ดังแสดงในตาราง 15 พบว่าส่วนประกอบของซากของกลุ่มการทดลองมีค่าเฉลี่ยส่วนประกอบซากไม่แตกต่างกันทางสถิติ โดยมีเปอร์เซ็นต์เนื้อแดงของกลุ่มการทดลองที่ 1 และ 2 คือ 57.10 และ 57.81 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ เปอร์เซ็นต์กระดูกมีค่าเท่ากับ 32.17 และ 30.96 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ เปอร์เซ็นต์เศษเนื้อมีค่าเท่ากับ 8.11 และ 8.49 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ และเปอร์เซ็นต์ไขมันมีค่าเท่ากับ 1.45 และ 1.91 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ

จากการทดลองจะเห็นได้ว่าซากโคพบว่ามีเปอร์เซ็นต์ของกระดูกมากกว่าเนื้อแดง ซึ่งน่าจะเป็นผลจากการทดลองนี้ โคทดลองเป็นโคที่มีอายุน้อย ซึ่งเป็นช่วงที่ลูกโคมีการเจริญเติบโตในด้านโครงร่างจึงต้องมีการพัฒนาส่วนของกระดูกก่อนแล้วจึงมีการพัฒนาในส่วนของกล้ามเนื้อตามมา จึงทำให้เปอร์เซ็นต์ของกระดูกมีมาก เมื่อเปรียบเทียบกับการทดลองของ สมปองและคณะ (2545) พบว่า เปอร์เซ็นต์ของกระดูกหลังจากทำการตัดแต่งซากแบบไทย จากการเลี้ยงลูกโคนมเพศผู้โดยใช้อาหารแทนนมที่มีแป้งถั่วเหลืองในระดับต่าง ๆ มีค่าเปอร์เซ็นต์กระดูกอยู่ในช่วง 27.28 - 27.63 นอกจากนี้จากการสังเกตพบว่า ลักษณะสี และความนุ่มของเนื้อในซากของลูกโคที่ได้รับอาหารข้นที่มีสาหร่ายสไปรูลินาเป็นแหล่งโปรตีนทดแทนกากถั่วเหลือง 50 เปอร์เซ็นต์ มีลักษณะสีของเนื้อที่แดงกว่า และเนื้อมีความนุ่มมากกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับซากโคทดลองที่ได้รับอาหารข้นที่มีกากถั่วเหลืองเป็นแหล่งโปรตีน ซึ่งน่าจะเป็นมาจากในสาหร่ายสไปรูลินามีรงควัตถุในกลุ่มแคโรทีนอยด์ ซึ่งเป็นสารกลุ่มให้สีตามธรรมชาติ จึงอาจทำให้มีผลต่อสีของเนื้อ (ยุวดี, 2545)

ตาราง 13 ลักษณะซากโคทดลองที่ได้รับอาหารทดลองชนิดต่าง ๆ (เฉลี่ย ± ความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน)

ลักษณะที่ศึกษา	กลุ่มทดลองที่	
	1	2
น้ำหนักมีชีวิตก่อนฆ่า (กก.)	68.00 ± 0.57	70.00 ± 1.15
น้ำหนักซากอุ่น (กก.)	34.50 ± 0.76	36.50 ± 0.76
เปอร์เซ็นต์ซาก (%)	49.22 ± 0.56	50.59 ± 1.37

หมายเหตุ:ทุกค่าเฉลี่ยไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

ตาราง 14 ส่วนประกอบของซากและอวัยวะภายใน

ลักษณะที่ศึกษา (%)	กลุ่มทดลองที่	
	1	2
หัว	5.80	4.85
เลือด	3.08	3.43
หนัง	9.41	8.57
หัวใจ	0.74	1.00
ปอด+ขั้วปอด	1.91	2.14
ตับ+ดี	2.06	1.85
กระเพาะรวม	3.97	3.57
ลำไส้เล็ก	3.68	3.86
ลำไส้ใหญ่	1.47	1.00
ม้าม	0.44	0.29

ตาราง 15 เปอร์เซ็นต์ส่วนประกอบของซากจากการตัดแต่งซากแบบไทย (เปอร์เซ็นต์น้ำหนักซากอุ่น)

ลักษณะที่ศึกษา	กลุ่มทดลองที่	
	1	2
เนื้อแดง (%)	57.10	57.81
กระดูก (%)	32.17	30.96
เศษเนื้อ (%)	8.11	8.49
ไขมัน (%)	1.45	1.91

บทที่ 5
สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

สรุปผลการทดลอง

1. จากการเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina platensis* ในน้ำเสียฟาร์มโคนมที่ความเข้มข้นต่างกัน ในระดับห้องปฏิบัติการ พบว่าปริมาณความเข้มข้นของน้ำเสียจากฟาร์มโคนมที่เหมาะสมต่อการเพาะเลี้ยงสาหร่าย คือ 10 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากว่าสาหร่ายมีเจริญเติบโตสูงที่สุด โดยวัดค่า OD และ จำนวนเซลล์ ได้เท่ากับ 1.125 และ 2.5×10^5 เซลล์ต่อมิลลิลิตร และสาหร่ายสามารถลดค่า BOD เริ่มต้น 152 มิลลิกรัมต่อลิตร ลดลงเหลือ 60 มิลลิกรัมต่อลิตร ในวันที่ 12 คิดเป็นประสิทธิภาพในการลดค่า BOD ลงได้ถึง 60.5 เปอร์เซ็นต์ ค่า COD เริ่มต้น 160 มิลลิกรัมต่อลิตร ลดลงเหลือ 104 มิลลิกรัมต่อลิตร ในวันที่ 3 และลดลงเหลือ 124 มิลลิกรัมต่อลิตรในวันสิ้นสุดการทดลอง คิดเป็นประสิทธิภาพในการลดค่า COD ลงได้ถึง 35.0 และ 22.5 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ค่าไนเตรท-ไนโตรเจน เริ่มต้น 13.4 มิลลิกรัมต่อลิตร ลดลงเหลือ 8.2 มิลลิกรัมต่อลิตร ในวันสิ้นสุดการทดลอง คิดเป็นประสิทธิภาพในการลดค่า ไนเตรท-ไนโตรเจน ลงได้ถึง 38.8 เปอร์เซ็นต์ ค่าแอมโนเนีย-ไนโตรเจน เริ่มต้น 37.6 มิลลิกรัมต่อลิตร ลดลงเหลือ 12.6 มิลลิกรัมต่อลิตร ในวันที่ 9 คิดเป็นประสิทธิภาพในการลดค่าแอมโนเนีย-ไนโตรเจน ลงได้ถึง 66.4 เปอร์เซ็นต์ และ ค่าออร์โธฟอสเฟต-ฟอสฟอรัส เริ่มต้น 42.5 มิลลิกรัมต่อลิตร ลดลงเหลือ 24.3 มิลลิกรัมต่อลิตร คิดเป็นประสิทธิภาพในการลดค่าออร์โธฟอสเฟต-ฟอสฟอรัส ลงได้ถึง 42.5 เปอร์เซ็นต์ ในวันสิ้นสุดการทดลอง

2. การเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina platensis* ในน้ำเสียจากฟาร์มโคนมที่ความเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์ ในสภาพกลางแจ้งแบบกะ พบว่าสาหร่ายมีอัตราการเจริญเติบโตสูงที่สุด คือมีจำนวนเซลล์สูงสุดเฉลี่ย 2.82×10^5 เซลล์ต่อมิลลิลิตร ในวันสิ้นสุดการทดลอง และมีค่า OD เพิ่มขึ้นสูงสุดเฉลี่ย เท่ากับ 1.404 ในวันสิ้นสุดการทดลอง ตามลำดับ

3. จากการวิเคราะห์หาคุณค่าทางโภชนาการของสาหร่าย *Spirulina platensis* พบว่าสาหร่ายมีคุณค่าทางโภชนาการเฉลี่ยคิดเป็นเปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้งดังนี้ วัตถุแห้ง 91.57 เปอร์เซ็นต์ เยื่อใย 7.68 เปอร์เซ็นต์ ไขมัน 2.52 เปอร์เซ็นต์ โปรตีน 51.02 เปอร์เซ็นต์ NFE 10.43 เปอร์เซ็นต์ และ เถ้า 28.35 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ

4. จากการทดลองเลี้ยงลูกโคนมเพศผู้ตั้งแต่อายุ 2 สัปดาห์ จนถึงอายุ 12 สัปดาห์ ด้วยสูตรอาหาร 2 สูตรที่ต่างกัน คืออาหารข้น สูตรที่ 1 ที่มีกากถั่วเหลือง และอาหารข้นสูตรที่ 2 ที่มี

สาหร่ายสไปรูลินาทดแทนกากถั่วเหลือง 50 เปอร์เซ็นต์ พบว่าอัตราการเจริญเติบโตของลูกโคมีค่าเท่ากับ 0.33 และ 0.38 กก./ตัว/วัน ตามลำดับ ค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) ด้านลักษณะซากโดยทั่วไป พบว่าส่วนประกอบของซาก และอวัยวะภายใน ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) เปอร์เซ็นต์ซากมีค่าเท่ากับ 49.22 และ 50.59 เปอร์เซ็นต์เนื้อแดง 57.10 และ 57.81 เปอร์เซ็นต์กระดูก 32.17 และ 30.96 ตามลำดับ และเปอร์เซ็นต์เศษเนื้อ 8.11 และ 8.49

ข้อเสนอแนะ

1.ในการเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina platensis* ในน้ำเสียจากฟาร์มโคนมครั้งต่อไป ควรมีระบบการคัดแยกที่มีประสิทธิภาพเอากากมูลโคออกจากน้ำเสียก่อน เพื่อให้ง่ายต่อการนำมาเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินา เนื่องจากว่ากากมูลโคจะทำให้เกิดปัญหาสำหรับการเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินาและยังมีผลต่อการเก็บเกี่ยวสาหร่าย ซึ่งจะมีการปะปนในผลผลิตที่ได้และอาจทำให้คุณค่าทางอาหารลดลงอีกด้วย

2.เมื่อถึงระยะเวลาที่เหมาะสมคือน้ำเสียมีค่าความสกปรกลดลงแล้ว ก่อนที่จะปล่อยน้ำทิ้งออกจากระบบ ต้องทำการกรองสาหร่ายออกให้หมดเสียก่อนเพื่อนำไปใช้ประโยชน์ เนื่องจากว่าสาหร่ายที่ปนออกไปกับน้ำทิ้งจะไปเจริญเติบโตและตายลง ซึ่งไปทำให้เกิดมลภาวะทางน้ำขึ้นได้

3.สำหรับการทดลองเพื่อใช้เป็นอาหารในการทดลองสำหรับสัตว์ทดลอง เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพมากที่สุดควรคำนึงถึงกลิ่นของสาหร่ายสไปรูลินา และความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ด้วย

4.น่าจะมีการศึกษานำสาหร่ายที่เพาะเลี้ยงได้น้ำเสียฟาร์มโคนม มาผลิตปุ๋ยพืชสด สำหรับใช้เป็นประโยชน์ต่อภาคการเกษตร เพื่อจะได้ลดขั้นตอนในการเก็บเกี่ยวสาหร่ายที่ยุ่งยากลง

บรรณานุกรม

กาญจนภาชน์ ลิ่วมโนมนต์. 2527. **สาหร่าย.** กรุงเทพฯ : คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ 343 หน้า.

จงกล พรหมยะ. 2543. **การเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina platensis* ในน้ำทิ้งบ่อหมักก๊าซชีวภาพมูลสุกร.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 69 หน้า.

______. 2545. **รายงานผลงานวิจัย การเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina platensis* (Nordsted) Geiteler เพื่อปรับปรุงคุณภาพน้ำจากบ่อบำบัดน้ำเสียจากหอพักนักศึกษา มหาวิทยาลัยแม่โจ้.** เชียงใหม่: ม.ป.พ. 35 น.

จงกล พรหมยะ และนิวุฒิ หวังชัย. 2546. **การเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินาเพื่อเป็นอาหารปลาสำเร็จรูป.** เชียงใหม่: คณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้. 76 หน้า.

จักรกวิศน์ เนื่องจำนง. 2543. ระบบการจัดการของเสียจากฟาร์มเลี้ยงสัตว์. **วารสารไก่** 48(1) : 138-149.

จีระพรรณ ศรีสุขงาม. 2537. โปรตีนธรรมชาติจากสาหร่ายเกลียวทอง. **วารสารมหาวิทยาลัยศรีนครินวิโรฒมหาสารคาม** 13(2) : 43-47

จีระพรรรณ ศรีสุขงาม, สนอง จอมเกาะ และเสน่ห์จิต กิตตินานนท์. 2540. **แนวทางการเพิ่มผลผลิตสาหร่ายเกลียวทองที่เพาะเลี้ยงในน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตเส้นขนมจีน.** มหาสารคาม: มหาวิทยาลัยมหาสารคาม. 34 น.

เจียมจิตต์ บุญสม. 2532. **ความลับสาหร่ายเกลียวทอง :** ผลทางการรักษาโรคที่นายแพทย์ชาวญี่ปุ่นค้นพบ. แปลลำดับที่ 105 สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ. กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์คุรุสภา. 219 น.

ชัยณรงค์ คันธพนิต. 2529. **วิทยาศาสตร์เนื้อสัตว์.** กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์ไทยวัฒนาพานิช จำกัด. 276 น.

ทวี แก้วคง. 2540. การเลี้ยงโคนมกับการเกิดมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อม. **วารสารสัตวบาล.** 7(37) : 75-78.

ทศพร ธงทอง. 2529. **การกำจัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในน้ำทิ้งแหล่งชุมชน.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 112 น.

ณรงค์ สุนิลหงส์. 2535. **การเพาะเลี้ยงและปริมาณโปรตีนของสาหร่าย *Spirulina platensis* ที่เลี้ยงในกากส่าเหล้าผสมน้ำหมักผักตบชวา.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 96 น.

นฤมล ศุภจรรยา, บุษยา บุนนาค และพิสมัย ภูริลินสิทธิ์. 2529. การผลิตสาหร่ายเกลียวทองจากน้ำทิ้งจากโรงงานแป้งมันสำปะหลัง. 48. ใน **รายงานการวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีเพื่อประโยชน์และเพื่อการกำจัดน้ำทิ้งจากโรงงานแป้งมันสำปะหลังในระดับห้องปฏิบัติการ.** กรุงเทพฯ : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

ปฏิพันธ์ นันทขว้าง. 2543. **การเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina platensis* ในบ่อเลี้ยงจำลองด้วยน้ำทิ้งจากบ่อหมักก๊าซชีวภาพมูลสุกร.** ปัญหาพิเศษปริญญาตรี. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 87 น.

ปราโมทย์ แพงคำ. 2544. แนวทางการลดปัญหาสิ่งแวดล้อมจากการเลี้ยงสัตว์. **สัตวเศรษฐกิจ** 19(147) : 57-60.

พฤหัส จันตาเดช. 2546. **การใช้สาหร่าย *Spirulina platensis* ในการบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มโคนม.** ปัญหาพิเศษปริญญาตรี. มหาวิทยาลัยแม่โจ้ 33 หน้า.

เพ็ญรัตน์ หงส์วิทยาการ. 2545. **การเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินาเป็นอาหารโปรตีนสำหรับปลา.** [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา htpp://www.matichon.co.th/techno. (20 สิงหาคม 2547).

เพ็ญรัตน์ หงส์วิทยาการ และ โฉมยง ไชยอุบล. 2545. **โครงการถ่ายทอดเทคโนโลยีการเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินาในเขตพื้นที่จังหวัดชียงใหม่และลำพูน.** เชียงใหม่: มหาวิทยาลัยแม่โจ้. 47 หน้า.

พิมพรรณ ตัสกุล และอารักษ์ จันทศิลป์. 2531. การเพาะเลี้ยง *Spirulina sp.* ในบ่อนำทิ้งจากโรงงานยางพารา. **วารสารสงขลานครินทร์.** 10(2) : 149-155.

มารศรี เรืองจิตชัชวาล. 2546. **สาหร่ายสไปรูลินา.** [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา htpp://digital.lib.kmutt.ac.th (20 สิงหาคม 2547).

มนตรี จุฬาวัฒนทล. 2530. **ชีวเคมี.** กรุงเทพฯ : ภาควิชาชีวเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล. 651 หน้า.

ยุวดี พีรพรพิศาล. 2545. **การเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินา.** คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่. 72 หน้า.

รพีพรรณ พงษ์เชื้อชิดไทย. 2541. **การเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina platensis* ในน้ำเวย์นม.** ปัญหาพิเศษปริญญาตรี. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 48 น.

รอยพิมพ์ อินต๊ะยศ. 2549. **การบำบัดน้ำเสียจากกระบวนการหมักดองโดยใช้สาหร่ายสไปรูลินา (*Spirulina platensis*).** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยแม่โจ้. 112 น.

ลักขณา เหล่าไพบูลย์, พัฒนา เหล่าไพบูลย์ และวิลัศนา โพธิ์ศรี. 2540. **ผลการทำแห้งต่อปริมาณองค์ประกอบต่าง ๆ ในสาหร่ายเกลียวทอง.** รายงานวิจัย ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ขอนแก่น.

ลัดดา วงศ์รัตน์. 2544. **แพลงก์ตอนพืช**. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 851 หน้า.

วิชาภรณ์ พรหมณะ. 2543. **การศึกษาสาหร่าย *Spirulina platensis* ในอาหารสุกรเล็ก(น้ำหนัก 20-30 กิโลกรัม)**. ปัญหาพิเศษปริญญาตรี. มหาวิทยาลัยแม่โจ้. 35 หน้า.

วิลาสินี เหล่าพงพิชญ์. 2532. **การเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina platensis* ในน้ำกากส่าเหล้า**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 78 น.

สมเกียรติ สุวรรณคีรี. 2542. **การเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Spirulina platensis* ในระดับอุตสาหกรรมขนาดย่อมด้วยน้ำทิ้งจากโรงงานกระดาษสา**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 109 น.

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

สถิต วงศ์สว่าง. 2533. **การเพาะเลี้ยงสาหร่ายและปริมาณโปรตีนของสาหร่าย *Spirulina platensis* ที่เลี้ยงในน้ำเวย์เต้าหู้**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 96 น.

สรวิศ เผ่าทองสุข. 2543. **สาหร่าย: ศักยภาพการวิจัยและพัฒนาเพื่อการใช้ประโยชน์จากสาหร่ายในประเทศไทย**. (เอกสารเผยแพร่ชุดโครงการ “ อุตสาหกรรมสัตว์น้ำ” สกว ชุดที่2.)

สมชาย กิจสุวรรณกุล. 2531. **การเปรียบเทียบคุณค่าทางโภชนาการระหว่างสาหร่าย *Spirulina platensis* 2 ลักษณะ**. ปัญหาพิเศษปริญญาตรี. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 48 น.

สมชาย จันทร์ผ่องแสง. 2541. **การเลี้ยงโคนม**. กรุงเทพฯ : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 311 หน้า.

สมปอง สรวมศิริ, ไพโรจน์ ศิลมั่น และสัญชัย จตุรสิทธา. 2545. การเจริญเติบโตลักษณะซากและผลตอบแทนจากการเลี้ยงลูกโคนมเพศผู้โดยใช้อาหารแทนนมที่มีถั่วเหลืองในระดับต่าง ๆ. **วารสารวิจัยและส่งเสริมวิชาการเกษตร**. 19(2) : 34-45.

สมศักดิ์ ละเอียดอ่อน. 2530. **วิชาการเลี้ยงปลาทองพันธุ์หัวสิงโต**. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 76 หน้า.

เสกสรร ถารัตน์. 2536. **การเพาะเลี้ยงสาหร่ายเกลียวทองในน้ำทิ้งจากโรงงานขนมจีนผสมกับสูตรอาหาร Zarrouk**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยศรีนครินวิโรฒ. 96 น.

สุชาติ อิงคธรรมจิตร์. 2529. สาหร่ายเกลียวทอง(สไปรูลินา). **วารสารกรมประมง**. 39(พ.ย.) : 615-621.

สุขใจ โสมฐิติ และนวลพรรณ ณ ระยอง. 2530. การผลิตและการใช้สาหร่าย *Spirulina platensis* เพื่อการกำจัดน้ำทิ้งจากโรงงานฆ่าไก่ และการนำน้ำทิ้งโรงงานปลาป่นมาใช้ในการผลิตสาหร่าย *Spirulina platensis*. 43. ใน **รายงานการประชุมวิชาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 13 (20-23 ตุลาคม)**.

สุพัตตา จันทร์ศิริโพชา. 2533. **คุณค่าบางประการของสาหร่าย *Spirulina platensis* ที่เลี้ยงในน้ำกากส่าเหล้า.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.180 น.

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

สุมลทิพย์ บุญนาค. 2529. สาหร่ายเกลียวทอง. **วารสารวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.** 14(3) : 153-159.

สุมลวรรณ ชุ่มเชื้อ. 2542. สาหร่ายเกลียวทอง (*Spirulina spp*). **วารสารมหาวิทยาลัยมหาสารคาม.** 18(1) : 47-53.

สุพรีเดิร์ม. 2546. **การใช้สาหร่ายสไปรูลินาในการเลี้ยงกุ้ง.** [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา htpp://se-ed.net/suprederm/spirulina (20 สิงหาคม 2547).

สุวิมล จิรอำไพรัตน์. 2536. **การเพาะเลี้ยงสาหร่ายเกลียวทองในน้ำทิ้งโรงงานขนมจีน.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยศรีนครินวิโรฒ. 86 น.

สุรพล อุปดิสสกุล. 2528. **การตรวจสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ย.** โรงพิมพ์ศูนย์ส่งเสริมและฝึกอบรมการเกษตรแห่งชาติ : กรุงเทพฯ. 155 น.

อรุโณทัย โยธสิงห์. 2546. **การเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินา (*Spirulina platensis*) ในระดับนำร่องด้วยผลิตภัณฑ์ถั่วเหลือง.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยแม่โจ้. 84 น.

อุดมลักษณ์ สมพงษ์. 2543. **การใช้สาหร่ายบำบัดน้ำทิ้งจากบ่อหมักก๊าซชีวภาพมูลสุกร จังหวัดราชบุรี.** เชียงใหม่ : วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 114 น.

โอภาส วิชชุไตรภพ. 2533. **ผลของสาหร่าย *Spirulina platensis* ที่มีผลต่อการเจริญเติบโตและการเกิดสีของไข่นกกระทาญี่ปุ่น (*Coturnix japonica*).** การค้นคว้าอิสระเชิงวิทยานิพนธ์. บัณฑิตวิทยาลัย. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 57 น.

A.O.A.C. 1980. **Official Method of Analysis of the Association of Official Analytical chemical**. Thirteenth Edition. Washington, D.C.: Association of Official Agricultural Chemists. 348 p.

Arche, JR. 1988. Crop nutrition and fertilizer use. Second Edition. Farm Press Limited Suffolk.อ้างโดย ทวี แก้วคง. 2540. การเลี้ยงโคนมกับการเกิดมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อม. **วารสารสัตวบาล.** 7(37) : 75-78.

Benjamas Chuntapa, Sorawit Powtongsook and Piamsok Mennasveta. 2002. **Water Quality Control using *Spirulina platensis* in Shrimp Cuture Tank.** [Online]. Available http://www.sciencedirect.com (4 March 2007).

Canizares, R., O. Villanueva, A.R., and Riosleal E. 1995. Chemical Composition of Cynobacterria Grown in Diluted, Aerated Swine Wastewater. Bioresour-technol. Oxford, U.K., Elsevier Science Limited, 51, 111-116. อ้างโดยจงกล พรหมยะ และ นิวุฒิ หวังชัย. 2543. **การเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินาเพื่อเป็นอาหารปลาสำเร็จรูป.** เชียงใหม่ : คณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้. 76 หน้า.

Chiu, R.J., HI Liu., and PL Hao. 1980. The Cultivation of *Spirulina platensis* On Fermented Swine Manure. PP.435-450. In : Chung P. editor. **Animal wastetreatment and utilization.** Tai Pei : Conccil for Agricutral Planning and Planning.

Chung, P. 1978. Production and nutritive value of *Arthrospis platetsis* A Spiral Blue-Green Algea grown on swine waste. **Journal of Animal Science**. 47(2) : 319-330.

Costa, J.A.V., L.M. Coll and P.F. Duarte Filho. 2003. **Improveing *Spirulina platensis* Biomass yield using a Fed-batch Process.** Department of Chemistry. Federal University. [Online]. Available http://www.sciencedirect.com (4 March 2007).

Grinstead, G.S., M.D. Tokach, and J.L.Nessen. 1999. **"Effects of *Spirulina platensis* on Growth Performance of Weanling Pigs"** [Online]. Available http://www.sciencedirect.com (4 March 2007).

Hill, C. 1980. **The Secrets of *Spirulia*.** University of the Tress Press, Boulder Creek Califoenia. 218 p.

Phang, S.M., M.S. Miah. and M.A. Haxhim. 2000. Spirulina Production in a High Rate Pond Treation SAGO STARCH Factory Wastewater. 4th Asia – Pacific conference on algal biotechnology. Hong Kong Convention and Exibition Centre. China. P. 81. อ้างโดย จงกล พรหมยะ และนิวุฒิ หวังชัย. 2543. **การเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินาเพื่อเป็นอาหารปลาสำเร็จรูป.** เชียงใหม่ : คณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้. 76 หน้า.

Venkataraman, L.V. 1983. **A Monograp on *Spirulina platensis*** . Indian: Department of Science and Technology. 215 p.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ตารางผนวก

ตารางผนวก 1 การเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินา ในน้ำเสียจากฟาร์มโคนมเพื่อหาระดับความเข้มข้นของน้ำเสียที่เหมาะสมในสภาพห้องปฏิบัติการ

parameter	ความเข้มข้น 0%						ความเข้มข้น 10%					
	วันที่ 0	วันที่ 3	วันที่ 6	วันที่ 9	วันที่ 12	วันที่ 15	วันที่ 0	วันที่ 3	วันที่ 6	วันที่ 9	วันที่12	วันที่ 15
Water temperature	26	28	29	28.5	29	28	26	28	29	28	28.5	28
pH	8	9.1	8.1	8.3	8.5	8.6	10.0	10.0	10.0	10.1	10.1	10.2
BOD	39	39	26	15	14	18	152	90	93	91	60	90
COD	52	44	36	42	38	23	160	104	112	116	128	124
TDS	3450	5000	1650	1625	1650	1600	44425	34865	39775	36150	36900	36980
SS	85	75	95	55	70	65	1185	1015	905	895	790	755
Conductivity	200	300	300	350	350	300	6000	6000	8500	8000	7000	7000
DO	3.0	4.22	4.23	4.40	4.08	4.26	4.716	4.9	4.61	4.256	4.32	4.28
NO_3-N	1.3	2.60	2.32	1.87	1.62	1.42	13.4	11.4	10.9	10.6	9.6	8.2
NH_3-N	4.5	4.08	2.14	2.68	3.64	2.49	37.65	32.00	18.02	12.64	22.58	23.45
PO_4-P	7.08	8.64	5.54	6.05	8.73	8.64	42.50	32.60	38.20	27.15	27.40	24.30
OD_{560}	-	-	-	-	-	-	0.463	0.535	0.650	0.757	1.012	1.125
จำนวนcell ($x10^4$cell/mL)	-	-	-	-	-	-	10.5	8.75	11.5	19.25	23	25
น้ำหนักแห้ง	-	-	-	-	-	-	0.375	0.555	0.835	1.1	0.995	1.018
Akalylity	20	30	65	25	25	30	140	515	525	630	585	595

ตารางผนวก 1 (ต่อ)

parameter	ความเข้มข้น 15%						ความเข้มข้น 20%					
	วันที่ 0	วันที่ 3	วันที่ 6	วันที่ 9	วันที่ 12	วันที่ 15	วันที่ 0	วันที่3	วันที่ 6	วันที่ 9	วันที่ 12	วันที่ 15
Water temperature	26	28	29	28	29	28.5	26	28	29	28.5	28.5	28
pH	10.1	10.1	10.1	9.9	10.1	10.2	10.2	10.2	10.0	10.1	10.1	10.2
BOD	184	96	128	128	146	160	196	108	128	148	264	246
COD	184	120	160	152	160	166	240	220	240	280	332	396
TDS	55675	35950	37550	36950	40725	40850	55175	38875	44100	43150	44525	46785
SS	1260	1060	960	965	925	880	1325	1145	1080	1055	1100	1185
Conductivity	6500	8000	8000	7000	8000	8000	7000	8500	9000	7500	8000	8000
DO	4.726	4.72	4.37	3.93	4.05	4.16	4.74	4.706	4.486	4.32	4.17	4.23
NO_3-N	16.75	14.60	15.48	12.34	11.98	13.26	24.30	28.32	20.05	18.21	17.65	16.40
NH_3-N	45.12	38.61	26.37	24.65	27.43	30.56	51.49	46.32	39.68	41.38	36.79	41.63
Po_4-P	36.46	38.21	30.01	35.99	32.49	38.46	44.78	44.41	39.51	40.68	43.36	42.55
OD_{560}	0.504	0.536	0.754	0.748	1.033	1.124	0.553	0.511	0.631	1.035	0.939	0.986
จำนวนcell(x10^4cell/mL)	8.5	65	12.5	12	15.75	14	75	9	9.5	10.0	12.75	13.00
น้ำหนักแห้ง	0.485	0.675	0.835	0.785	1.045	1.126	0.485	0.675	0.835	0.785	1.045	1.125
Akalylity	180	450	610	545	585	560	170	640	525	630	590	600

ตารางผนวก 1 (ต่อ)

parameter	ความเข้มข้น 30%						ความเข้มข้น 40%					
	วันที่ 0	วันที่ 3	วันที่ 6	วันที่ 9	วันที่ 12	วันที่ 15	วันที่ 0	วันที่ 3	วันที่ 6	วันที่ 9	วันที่ 12	วันที่ 15
Water temperature	26	28	29.5	28	28	28.5	26	28	29.5	29	28.5	27.5
pH	10.4	10.2	10.0	10.0	10.1	10.1	10.1	10.1	9.9	10.1	10.1	10.0
BOD	228	200	224	320	288	264	295	288	280	512	506	516
COD	240	280	260	380	300	310	344	280	440	680	620	582
TDS	62920	41705	45675	48900	49475	49580	65925	40975	41425	45300	45800	46300
SS	1570	1380	1320	1195	1265	1315	1730	1670	1395	1510	1485	1460
Conductivity	8000	9000	9000	8000	9000	9000	7000	7000	9000	9000	7500	8000
DO	4.53	4.47	4.31	3.91	3.966	4.06	4.436	4.35	3.98	3.76	3.44	3.63
NO_3-N	28.75	32.04	26.51	25.47	28.95	27.44	35.41	40.58	29.50	32.46	38.65	42.76
NH_3-N	55.63	49.24	57.36	44.13	46.81	52.76	62.88	53.15	51.94	42.64	59.94	48.84
PO_4-P	56.64	50.52	52.43	40.73	45.54	50.33	63.56	58.34	54.36	60.64	53.12	62.46
OD_{560}	0.641	0.481	0.580	0.952	0.883	0.920	0.756	0.589	0.621	0.725	0.870	0.820
จำนวนcell (x10^4cell/mL)	8	5	8.75	9.75	12.5	11.5	8.25	6.75	5.75	10.5	13.5	12.5
น้ำหนักแห้ง	0.440	0.735	0.775	0.895	1.135	1.110	0.645	0.665	0.690	0.785	1.075	1.128
Akalylity	200	530	565	685	710	760	180	510	570	590	575	560

ตารางผนวก 1 (ต่อ)

parameter	ความเข้มข้น 50%					
	วันที่ 0	วันที่ 3	วันที่ 6	วันที่ 9	วันที่ 12	วันที่ 15
Water temperature	26	29	30	29	28.5	28.5
pH	10.2	10.1	10.0	10.1	10.1	10.0
BOD	310	294	416	512	620	578
COD	390	320	580	670	632	648
TDS	70000	42200	47250	47150	49550	48700
SS	1820	1780	1660	1445	1560	1590
Conductivity	8000	9000	9000	8000	8500	8500
DO	4.556	4.05	4.13	3.448	3.256	3.448
NO_3-N	39.08	36.47	32.56	35.49	42.60	46.58
NH_3-N	64.94	56.76	54.81	49.78	58.35	65.11
PO_4-P	70.61	58.02	56.48	62.11	67.66	69.10
OD_{560}	1.017	0.514	0.613	0.734	0.835	0.926
จำนวนcell(x10^4cell/mL)	5	6.25	5.25	11.5	11.25	9.5
น้ำหนักแห้ง	0.565	0.84	0.61	0.720	0.86	0.824
Akalylity	175	470	560	650	575	630

ตารางผนวก 2 การเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินา ในน้ำเสียจากฟาร์มโคนมที่ระดับความเข้มข้นของน้ำเสียที่ 10 เปอร์เซ็นต์ในสภาพกลางแจ้ง

parameter	บ่อที่ 1								บ่อที่ 2						บ่อที่ 3			
	วันที่	วันที่	วันที่	วันที่	วันที่	วันที่	วันที่	วันที่	วันที่	วันที่	วันที่	วันที่	วันที่	วันที่	วันที่	วันที่	วันที่	วันที่
	0	3	0	3	6	9	12	15	6	9	12	15	0	3	6	9	12	15
Water temperature	26	26.5	26.5	26	25.5	25	25.5	26	27	26.5	26	26	25.5	26	26	26.5	26	26
pH	10.2	10.2	10.4	10.1	10.2	10.2	10.1	10.2	10.1	10.0	9.9	9.8	10.0	10.3	10.9	10.9	10.1	10.2
BoD_5	154	94	148	88	96	76	64	82	92	88	74	88	148	86	90	64	56	72
COD	216	194	220	186	184	132	116	128	188	156	124	152	208	176	188	148	124	138
TDS	49720	4100	4675	3984	3764	3160	2994	3246	3860	3480	3046	3192	4944	4350	3967	3580	3172	3345
		0	0	6	5	0	5	0	0	0	5	0	0	0	0	0	5	0
SS	1160	1010	1185	1010	965	890	770	760	980	920	865	820	1185	1010	965	890	770	760
Conductivity	8000	7000	7000	7000	7000	6000	8500	8000	8000	8000	7000	8000	7000	7000	7000	6000	8500	8000
Do	4.26	4.59	4.10	4.58	4.32	3.76	3.80	3.96	4.21	3.99	3.40	3.64	4.10	4.58	4.32	3.76	3.80	3.96
NO_3-N	13.14	12.6	13.4	11.2	9.98	9.81	9.02	7.47	11.8	10.7	10.5	8.10	13.4	11.2	9.98	9.81	9.02	7.47
			8	3					4	6	2		8	3				
NH_3-N	56.72	53.4	46.1	42.5	38.1	26.9	19.1	21.2	41.1	38.6	26.5	29.3	46.1	42.5	38.1	26.9	19.1	21.2
		3	5	6	8	3	7	2	8	9			5	6	8	3	7	2
PO_4-P	41.74	30.5	36.4	28.3	10.5	24.4	21.6	18.9	19.2	25.9	25.6	21.5	36.4	28.3	10.5	24.4	21.6	18.9
		1	9	0	6	5	5	1	1		6	4	9	0	6	5	5	1
OD_{560}	0.667	0.77	0.59	0.78	0.95	1.09	1.03	1.32	1.00	1.12	1.36	1.56	0.59	0.78	0.95	1.09	1.03	1.32
		6	6	0	6	6	4	0	3	8	7	7	6	0	6	6	4	0
จำนวนcell($x10^4$cell/mL)	12.5	10	13.5	9.5	14.5	18	27	30	16.5	17.5	25.5	28	13.5	9.5	14.5	18	27	30
น้ำหนักแห้ง	0.6	0.8	0.4	0.6	0.9	1.3	1.6	1.8	1.0	1.2	1.7	2.0	0.4	0.6	0.9	1.3	1.6	1.8
Akalylity	750	720	650	675	680	525	536	515	695	720	630	650	650	675	680	525	536	515

ตารางผนวก 3 ปริมาณ TSS ในน้ำเสียฟาร์มโคนมที่ระดับความเข้มข้นต่างกัน ที่ใช้เพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินา

ระดับความเข้มข้น	TSS (มิลลิกรัมต่อลิตร)					
น้ำเสีย (เปอร์เซ็นต์)	วันที่ 0	วันที่ 3	วันที่ 6	วันที่ 9	วันที่ 12	วันที่ 15
10	1185	1015	905	895	790	755
15	1260	1060	960	965	925	880
20	1325	1145	1080	1055	1100	1185
30	1570	1380	1320	1195	1265	1315
40	1730	1670	1395	1510	1485	1460
50	1820	1780	1660	1455	1560	1590

ตารางผนวก 4 ปริมาณ BOD ในน้ำเสียฟาร์มโคนมที่ระดับความเข้มข้นต่างกัน ที่ใช้เพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินา

ระดับความเข้มข้นน้ำเสีย	BOD (มิลลิกรัมต่อลิตร)					
(เปอร์เซ็นต์)	วันที่ 0	วันที่ 3	วันที่ 6	วันที่ 9	วันที่12	วันที่ 15
10	152	91	93	91	60	90
15	184	96	128	128	146	160
20	196	108	128	148	264	246
30	228	200	224	320	288	264
40	295	288	280	512	506	516
50	310	294	416	512	620	578

ตารางผนวก 5 ปริมาณ COD ในน้ำเสียฟาร์มโคนมที่ระดับความเข้มข้นต่างกัน ที่ใช้เพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินา

ระดับความเข้มข้นน้ำเสีย	COD (มิลลิกรัมต่อลิตร)					
(เปอร์เซ็นต์)	วันที่ 0	วันที่ 3	วันที่ 6	วันที่ 9	วันที่ 12	วันที่ 15
10	160	104	112	116	128	124
15	184	120	160	152	160	166
20	240	220	240	280	332	296
30	280	240	260	380	300	310
40	344	280	440	680	620	582
50	390	320	580	670	632	648

ตารางผนวก 6 ปริมาณ ไนเตรท-ไนโตรเจน ในน้ำเสียฟาร์มโคนมที่ระดับความเข้มข้นต่างกัน ที่ใช้เพาะเลี้ยง สาหร่ายสไปรูลินา

ระดับความเข้มข้นน้ำเสีย	ไนเตรท-ไนโตรเจน (มิลลิกรัมต่อลิตร)					
(เปอร์เซ็นต์)	วันที่ 0	วันที่ 3	วันที่ 6	วันที่ 9	วันที่ 12	วันที่ 15
10	13.4	11.4	10.9	10.6	9.6	8.2
15	16.7	14.6	15.4	12.3	11.9	13.2
20	24.3	28.3	20.0	18.2	17.6	16.4
30	28.7	32.0	26.5	25.4	28.9	27.4
40	35.4	40.5	29.5	32.4	38.6	42.7
50	39.0	36.4	32.6	35.4	42.6	46.5

ตารางผนวก 7 ปริมาณ แอมโมเนีย-ไนโตรเจน ในน้ำเสียฟาร์มโคนมที่ระดับความเข้มข้นต่างกัน ที่ใช้เพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินา

ระดับความเข้มข้น	แอมโมเนีย-ไนโตรเจน (มิลลิกรัมต่อลิตร)					
น้ำเสีย (เปอร์เซ็นต์)	วันที่ 0	วันที่ 3	วันที่ 6	วันที่ 9	วันที่ 12	วันที่15
10	37.6	32.0	18.0	12.6	22.5	23.6
15	45.1	38.6	26.3	24.6	27.4	30.6
20	51.4	46.3	39.6	41.3	36.7	41.6
30	55.6	49.2	57.3	44.1	48.8	52.7
40	66.8	53.1	51.9	42.6	56.9	48.9
50	64.9	56.7	54.8	49.7	58.3	65.1

ตารางผนวก 8 ปริมาณ ออร์โธฟอสเฟต-ฟอสฟอรัส ในน้ำเสียฟาร์มโคนมที่ระดับความ เข้มข้นที่ต่างกัน ที่ใช้เพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินา

ระดับความเข้มข้น	ออร์โธฟอสเฟต-ฟอสฟอรัส (มิลลิกรัมต่อลิตร)					
น้ำเสีย (เปอร์เซ็นต์)	วันที่ 0	วันที่ 3	วันที่ 6	วันที่ 9	วันที่ 12	วันที่15
10	42.5	32.6	28.2	27.1	27.4	24.3
15	46.4	38.2	30.0	35.9	32.4	38.4
20	47.7	44.4	39.5	40.6	43.3	42.5
30	56.6	50.5	52.4	40.7	45.5	50.3
40	63.5	58.3	54.3	60.4	53.1	62.4
50	70.6	58.0	56.4	62.1	67.6	69.1

ตารางผนวก 9 ค่า OD ในน้ำเสียฟาร์มโคนมที่ระดับความเข้มข้นต่างกัน ที่ใช้เพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินา

ระดับความเข้มข้น	ค่า OD ที่ความยาวคลื่น 560 นาโนเมตร					
น้ำเสีย (เปอร์เซ็นต์)	วันที่ 0	วันที่ 3	วันที่ 6	วันที่ 9	วันที่ 12	วันที่15
10	0.463	0.535	0.650	0.757	1.012	1.125
15	0.504	0.536	0.754	0.748	1.033	1.124
20	0.553	0.511	0.631	1.035	0.939	0.986
30	0.641	0.481	0.580	0.952	0.883	0.920
40	0.756	0.589	0.621	0.725	0.870	0.820
50	1.017	0.514	0.613	0.734	0.835	0.926

ตารางผนวก 10 จำนวนเซลล์ในน้ำเสียฟาร์มโคนมที่ระดับความเข้มข้นต่างกัน ที่ใช้เพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินา

ระดับความเข้มข้น	จำนวน เซลล์ $\times 10^4$ (เซลล์ต่อมิลลิลิตร)					
น้ำเสีย (เปอร์เซ็นต์)	วันที่ 0	วันที่ 3	วันที่ 6	วันที่ 9	วันที่ 12	วันที่15
10	8.0	8.75	11.5	19.25	23.0	25.0
15	8.0	6.5	12.5	12.0	15.75	14.0
20	8.0	9.0	9.5	14.0	12.75	13.0
30	8.0	5.0	8.75	9.75	12.5	11.5
40	8.0	6.75	5.75	10.5	13.5	12.5
50	8.0	6.25	5.25	11.5	11.75	9.5

ตารางผนวก 11 ปริมาณ TSS ในน้ำเสียฟาร์มโคนม ที่ระดับความเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์ ที่ใช้เพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินา ในสภาพกลางแจ้ง

การทดลองที่	ปริมาณ TSS (มิลลิกรัมต่อลิตร)					
	วันที่ 0	วันที่ 3	วันที่ 6	วันที่ 9	วันที่ 12	วันที่15
1	1160	1010	980	920	865	820
2	1185	1010	965	890	770	760
3	1200	1140	1000	910	840	790

ตารางผนวก 12 ค่า BOD ในน้ำเสียฟาร์มโคนม ที่ระดับความเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์ ที่ใช้เพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินา ในสภาพกลางแจ้ง

การทดลองที่	ค่า BOD (มิลลิกรัมต่อลิตร)					
	วันที่0	วันที่3	วันที่ 6	วันที่ 9	วันที่ 12	วันที่15
1	154	94	92	88	74	88
2	148	88	96	76	64	82
3	148	86	90	64	56	72

ตารางผนวก 13 ค่า COD ในน้ำเสียฟาร์มโคนมที่ระดับความเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์ ที่ใช้เพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินา ในสภาพกลางแจ้ง

การทดลองที่	ค่า COD (มิลลิกรัมต่อลิตร)					
	วันที่ 0	วันที่ 3	วันที่ 6	วันที่ 9	วันที่ 12	วันที่15
1	216	194	188	156	124	152
2	220	186	184	112	116	128
3	208	176	188	148	124	138

ตารางผนวก 14 ค่าไนเตรท-ไนโตรเจนในน้ำเสียฟาร์มโคนมที่ระดับความเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์ที่ใช้เพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินา ในสภาพกลางแจ้ง

การทดลองที่	ค่า ไนเตรท-ไนโตรเจน (มิลลิกรัมต่อลิตร)					
	วันที่ 0	วันที่ 3	วันที่ 6	วันที่ 9	วันที่ 12	วันที่15
1	13.14	12.60	11.84	10.76	10.52	8.10
2	13.48	11.23	9.98	9.81	9.02	7.47
3	12.56	11.63	11.75	9.64	9.13	9.61

ตารางผนวก 15 ค่า แอมโมเนีย-ไนโตรเจน ในน้ำเสียฟาร์มโคนมที่ระดับความเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์ ที่ใช้เพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินา ในสภาพกลางแจ้ง

การทดลองที่	ค่า แอมโมเนีย-ไนโตรเจน (มิลลิกรัมต่อลิตร)					
	วันที่ 0	วันที่ 3	วันที่ 6	วันที่ 9	วันที่ 12	วันที่15
1	56.72	53.43	41.18	38.69	26.50	29.30
2	46.15	42.56	38.78	26.93	19.17	21.22
3	40.54	36.61	32.20	28.75	17.88	23.61

ตารางผนวก 16 ค่าออร์โธฟอสเฟต-ฟอสฟอรัส ในน้ำเสียฟาร์มโคนมที่ระดับความเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์ ที่ใช้ เพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินา ในสภาพกลางแจ้ง

ชุดการทดลองที่	ค่าออร์โธฟอสเฟต-ฟอสฟอรัส (มิลลิกรัมต่อลิตร)					
	วันที่ 0	วันที่ 3	วันที่ 6	วันที่ 9	วันที่ 12	วันที่ 15
1	41.71	30.51	19.21	25.90	25.66	21.51
2	36.49	28.30	13.56	24.45	21.65	18.91
3	32.88	37.74	30.12	26.24	24.93	21.36

ตารางผนวก 17 ค่า OD ของสาหร่ายสไปรูลินา ในน้ำเสียฟาร์มโคนมที่ระดับความเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์ ในสภาพกลางแจ้ง

การทดลองที่	ค่า OD ที่ความยาวคลื่น 560 นาโนเมตร					
	วันที่ 0	วันที่ 3	วันที่ 6	วันที่ 9	วันที่ 12	วันที่ 15
1	0.667	0.776	1.003	1.128	1.367	1.567
2	0.596	0.788	0.956	1.096	1.034	1.320
3	0.764	0.815	0.920	1.256	1.043	1.326

ตารางผนวก 18 จำนวนเซลล์ของสาหร่ายสไปรูลินา ในน้ำเสียฟาร์มโคนมที่ระดับความเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์ ในสภาพกลางแจ้ง

การทดลองที่	จำนวนเซลล์ X 10^4 (เซลล์ต่อมิลลิลิตร)					
	วันที่ 0	วันที่ 3	วันที่ 6	วันที่ 9	วันที่ 12	วันที่ 15
1	12.5	10.0	16.5	17.5	25.5	28.0
2	13.5	9.5	14.5	18.0	27.0	30.0
3	11.5	8.0	14.5	20.0	21.0	26.0

ภาคผนวก ข

วิธีตรวจวัดค่าพารามิเตอร์ตามวิธีมาตรฐาน

การวิเคราะห์หาค่า COD

การวิเคราะห์หาค่าซีโอดีเป็นวิธีการวิเคราะห์หาความสกปรกของน้ำเสียต่าง ๆโดยเป็นการวัดปริมาณออกซิเจนทั้งหมดที่ใช้ในการออกซิไดส์สารอินทรีย์ของน้ำเสียเพื่อให้เกิดคาร์บอนไดออกไซด์และนำเป็นผลปฏิกิริยาสุดท้าย นอกจากนี้พวกกรดอะมิโนจะถูกเปลี่ยนเป็นแอมโมเนียไนโตรเจน เงื่อนไขสำคัญในการวิเคราะห์ซีโอดี คือ ปฏิกิริยาออกซิเดชันต้องเกิดขึ้นโดยอาศัยออกซิไดซิงเอเจนต์ (Oxidizing Agent) อย่างแรง ภายใต้สภาวะที่เป็นกรดเข้มข้นและมีอุณหภูมิสูง

ก. เครื่องมือและอุปกรณ์

1. หลอดย่อย (Digestion Vessels) เป็นหลอดแก้วบอโรซิลิเคท (Borosilicate) ซึ่งใช้เลี้ยงเชื้อ ขนาด 16 ×100 หรือ 20 ×150 หรือ 25 ×150 มม. มีฝาสลักเกลียวซึ่งทำด้วย TEE
2. บล็อก (Block) หรือที่ใส่หลอดแก้วแบบตัน ทำด้วยอลูมิเนียม ความลึกของช่องใส่หลอดประมาณ 45 มม. การให้ความร้อนเพื่อต้มย่อยสลายกระทำโดยวางบล็อคบนเตาแผ่น
3. ตู้อบ (Oven) สามารถควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ประมาณ 150 ± 2° C
4. บิวเรต
5. ขวดรูปกรวยขนาด 125 มม.

ข. สารเคมี

1. สารละลายมาตรฐานโปรแตสเซียมไดโครเมต เข้มข้น 0.1 นอร์มัล

สารละลายมาตรฐานโปรแตสเซียมไดโครเมต ซึ่งอบแห้งที่ 103° C เป็นเวลา 2 ชม. หนัก 4.913 กรัม ในน้ำกลั่น 500 มล. เติมกรอกำมะถันเข้มข้น 167 มล. และปรอทซัลเฟต 33.3 กรัม คนให้ละลาย ปล่อยทิ้งไว้ให้เย็น แล้วเจือจางด้วยน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 1000 มล.

2. กรดซัลฟูริคและซิลเวอร์ซัลเฟต

ละลายซิลเวอร์ซัลเฟต (Ag_2SO_4) 8.8 กรัม ใส่ลงในกรดซัลฟูริคเข้มข้น 1 ลิตร ตั้งทิ้งไว้ 1-2 วัน เพื่อให้ซิลเวอร์ซัลเฟตละลายได้ทั้งหมด ก่อนนำไปใช้ต่อไป

3. สารละลายมาตรฐานเฟอรัสแอมโมเนียมซัลเฟต 0.05 นอร์มัล

ละลายเฟรัสแอมโมเนียมซัลเฟต ($Fe(NH_4)_2(SO_4)_2.6H_2O$) 19.6 กรัมในน้ำกลั่น เติมกรดซัลฟุริคเข้มข้น 20 มล. แล้วเจือจางเป็น 1,000 มล. ด้วยน้ำกลั่น

4. สารละลายเฟอโรอีนอินดิเคเตอร์

ละลาย 1,10- ฟีแนนโทรลีน โมโนไฮเดรต (1,10 –Phenanthroline Monohydrate, $C_{12}H_8N_2.H_2O$) 1.485 กรัม และเฟอรัสซัลเฟต (Ferrous Sulfate, $FeSO_4.7H_2O$) 695 กรัม ในน้ำกลั่นเจือจางเป็น 100 มล.

วิธีการตรวจสอบความเข้มข้นของสารละลาย FAS

ปิเปตสารละลายมาตรฐานโปแตสเซียมไดโครเมต 0.1 นอร์มัล 5.0 มล. ใส่ขวดรูปชมพู่ เติมน้ำกลั่น 50 มล. แล้วจึงค่อยๆ เติมกรดซัลฟุริคเข้มข้น 15 มล. ทิ้งให้เย็น เติมเฟอโรอีน 2-3 หยด ไตเตรตสารละลายมาตรฐาน FAS จนได้สีน้ำตาลเป็นจุดยุติ

ความเข้มข้นของ FAS , นอร์มัล (N) = (5.0 ×0.1)/ มล. FAS ที่ใช้

5. กรดซัลฟามิค (Sulfamic Acid)ใช้สำหรับป้องกันการรบกวนของไนไตรต์ (NO_2^-) ปริมาณที่ใช้คือ 10 มก. ต่อทุกๆ 1 มก. ของไนไตรต์

6. สารละลายมาตรฐานโปแตสเซียสไฮโดรเจนฟลาเลต (Potassium Hydrogen Phthalate หรือ KHP) บด KHP เพื่อลดขนาดลงและนำไปอบที่อุณหภูมิ 103 ˚C จนแห้งและมีน้ำหนักคงที่ แล้วละลาย KHP ที่บดและอบแห้งแล้ว 425 มก. ในน้ำกลั่น เจือจางให้เป็น 1,000 มล. สารละลายที่มีซีโอดีเท่ากับ 500 มก./ล. สามารถเก็บรักษาในตู้เย็นได้นานไม่เกิน 3 เดือน

7. สารละลายกลูโคส

สารละลายกลูโคส 486.6 มก. ในน้ำกลั่นแล้วเจือจางให้เป็น 1,000 มล สารละลายนี้จะมีค่าซีโอดีเท่ากับ 500 มก./ล. (กลูโคส 1 กรัม จะให้ซีโอดี 1.067 กรัม) สารละลายกลูโคสจะไม่ค่อยลงตัว เพราะสามารถย่อยสลายทางชีวภาพได้อย่างรวดเร็ว

ค. วิธีวิเคราะห์

ต้องล้างหลอดแก้วและฝาปิดด้วยสารละลายกรดกำมะถัน 20 % เสมอทุกครั้งก่อนใช้งาน

1.ใส่ตัวอย่างน้ำลงในหลอดแก้วขนาด 20 × 150 มม. ปริมาตรตัวอย่างน้ำ 5 มล. (ถ้าตัวอย่างมีค่าสูงมากก็ให้เจือจางตัวอย่างนั้นก่อน) หลังจากนั้นเติมน้ำยาย่อยสลายหรือโปตัสเซียมไดโครเมต 3 มล.ตามด้วยกรดกำมะถัน 7 มล.อย่างช้าๆ หลังจากนั้นปิดฝาให้แน่นและเขย่าผสมกันให้ดี สำหรับแบลงค์ใช้น้ำกลั่นแล้วทำเหมือนตัวอย่างทุกอย่าง

2. วางหลอดแก้วในบล็อก แล้วใส่ตู้อบ ตั้งอุณหภูมิไว้ที่ 150 ± 2˚C เป็นเวลา 2 ชม. เมื่อครบ 2 ชม. แล้ว นำออกจากตู้อบปล่อยทิ้งไว้ให้เย็น

3. เทสารละลายออกจากหลอดแก้วลงในขวดรูปกรวย ใช้น้ำกลั่นฉีดล้างสารละลายในหลอดแก้วให้หมดแล้วเทรวมลงในขวดรูปกรวย เติมเฟอโรอีนอินดิเคเตอร์ 2-3 หยด แล้วไตเตรตด้วยสารละลายมาตรฐาน เอฟเอเอส สีของสารละลายจะค่อยๆเปลี่ยนจากเหลือง --------- เขียวอมเหลือง--------ฟ้า -------------- น้ำตาลแดง ซึ่งแสดงว่าถึงจุดยุติ จดปริมาณเอฟเอเอสที่ใช้ไตเตรต

การคำนวณ

$$\text{ซีโอดี, มิลลิกรัม/ลิตร} = \frac{(A-B) \times N \times 8000}{\text{มล. ของน้ำตัวอย่าง}}$$

เมื่อ A = มล. ของ FAS ที่ใช้ในการไตเตรตแบล้งค์

B = มล. ของ FAS ที่ใช้ในการไตเตรตตัวอย่างน้ำ

N = ความเข้มข้นของ FAS , นอร์มัล

มหาวิทยาลัยแม่โจ้
แม่โจ้ ๒๔๗๗
สำนักหอสมุด

การวิเคราะห์หาค่า TDS

ของแข็งหมายถึง สารหรือสิ่งเจือปนที่เหลืออยู่ภายหลังจากการผ่านการนำน้ำออกแล้ว ไม่รวมถึงสารที่ระเหยไปกับน้ำ สิ่งที่เหลืออยู่หรือตะกอนมีทั้งสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ ซึ่งอาจจะละลายน้ำหรือไม่ละลายน้ำก็ได้ โดยในที่นี้ทำการวิเคราะห์หาค่า TDS ซึ่งค่า TDS คือ ค่าของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำ ได้แก่ เกลือ อนินทรีย์ต่าง ๆ หรือ อินทรียสาร

ก. เครื่องมือและอุปกรณ์

1. ถ้วยกระเบื้อง เส้นผ่าศูนย์กลาง 90 มม.
2. เครื่องอังน้ำ (Water Bath)
3. โถทำแห้ง (Desiccator) พร้อมสารดูดความชื้นที่จะมีการเปลี่ยนสีให้เห็นเมื่อดูดความชื้นไว้มาก ๆ เพื่อจะได้นำไปอบไล่ความชื้นออกไปแล้วนำมาใช้ใหม่หรือเปลี่ยนสารดูดความชื้นใหม่เลย
4. ตู้อบ (Oven) ที่มีเครื่องควบคุมอุณหภูมิ
5. ตาชั่งละเอียด สามารถชั่งได้ถึง 0.0001 กรัม
6. กระดาษกรอง GF/C (Glass Fiber Filter) ซึ่งไม่มีสารอินทรีย์ติดอยู่ เส้นผ่านศูนย์กลาง 4.7 ซม.
7. ชุดกรอง (ถ้วยกรองกูช) หรือกรวยบุคเนอร์ ความจุ 100 มล.
8. เครื่องดูดสุญญากาศ (Suction pump) พร้อมขวดดูดสุญญากาศขนาด 500-1000 มล.

ข. วิธีวิเคราะห์

1. การกรองตัวอย่าง ต่อสายยางปลายท่อดูดของเครื่องดูดและของขวดกรอง วางกระดาษกรอง GF/C บนกรวยบุคเนอร์ เปิดเครื่องดูดสุญญากาศ ล้างกระดาษกรองด้วยน้ำกลั่น 3 ครั้ง ครั้งละ 20 มล. และปล่อยให้ดูน้ำออกจากกระดาษกรองจนหมด ทิ้งนำล้างไป นำตัวอย่างมาเขย่า ให้เข้ากันอย่างดี มากรองผ่านกระดาษกรอง ที่เตรียมไว้ ให้กรองให้มากกว่าปริมาตรที่เลือกใช้ที่จะนำไประเหย
2. นำถ้วยระเหยไปอบที่อุณหภูมิ 103-105° ซ เป็นเวลา 1 ชม. ปล่อยทิ้งไว้ให้เย็นในโถทำแห้ง
3. เมื่อจะใช้ถ้วยระเหย ให้นำถ้วยระเหยมาชั่งน้ำหนัก สมมุติว่ามีน้ำหนัก A กรัม
4. เขย่าตัวอย่างให้เข้ากันอย่างดี เทตัวอย่างที่ทราบปริมาตรแน่นอนลงไปในถ้วยระเหยนี้ นำไประเหยบนเครื่องอังน้ำที่ปรับอุณหภูมิไว้ที่ 100°ซ จนแห้ง ปริมาตรตัวอย่างที่พอเหมาะ ควรเหลือกากแห้งภายหลังการอบอยู่ในช่วง 10-200 มก.
5. นำเข้าไปอบในตู้อบที่ควบคุมอุณหภูมิไว้ที่ 103-105° ซ เป็นเวลาอย่างน้อย 1 ชม.

6. นำออกจากตู้อบ ปล่อยทิ้งไว้ให้เย็นในโถทำแห้ง ชั่งน้ำหนัก สมมุตน้ำหนัก B กรัม

การคำนวณ

ของแข็งละลายทั้งหมด (มก./ล) $= \frac{(B - A) \times 10^6}{C}$

A = น้ำหนักถ้วยระเหยอย่างเดียว, กรัม

B = น้ำหนักถ้วยระเหยของแข็ง, กรัม

C = ปริมตารตัวอย่างน้ำ (มล.)

การวิเคราะห์หาค่า TSS

ก. เครื่องมือและอุปกรณ์

1. โถทำแห้ง พร้อมสารดูดความชื้น
2. ตู้อบ ที่มีเครื่องควบคุมอุณหภูมิ
3. ตาชั่งละเอียดสามารถชั่งได้ถึง 0.0001 กรัม
4. กระดาษกรอง GF/C ขนาด 4.7 ซม.
5. ชุดกรอง
6. เครื่องดูดสุญญากาศ (Suction Pump) พร้อมขวดสุญญากาศขนาด 500-1000 มล.
7. ถ้วยอลูมิเนียม ฟอยล์
8. ปากคีบ

ข. วิธีวิเคราะห์

1. ชั่งกระดาษกรอง GF/C ไปอบที่อุณหภูมิ 103-105^{o} ซ เป็นเวลา 1 ชม. ปล่อยทิ้งไว้ให้เย็นในโถทำแห้ง
2. ชั่งน้ำหนักกระดาษกรอง GF/C สมมุติว่ามีน้ำหนัก A กรัม วางบนถ้วยอลูมิเนียม ฟอยล์
3. ต่อชุดเครื่องมือสำหรับกรอง ใช้ปากคีบหยิบกระดาษกรอง GF/C วางบนกรวยบุคเนอร์ เครื่องดูดสุญญากาศ ล้างกระดาษกรองด้วยน้ำกลั่น 3 ครั้งติดต่อกันโดยใช้ครั้งละ 20 มล. เปิดเครื่องดูดสุญญากาศต่อให้ดูดน้ำออกจนแห้ง ทิ้งน้ำล้างไป
4. เลือกปริมาตรน้ำตัวอย่างที่จะใช้ โดยพิจารณาจากลักษณะของน้ำ ถ้าน้ำขุ่นมีของแข็งแขวนลอยมาก ควรใช้ปริมาณน้อย ๆ แต่ถ้าน้ำใสควรใช้ปริมาณน้ำตัวอย่างให้มากที่สุดเท่าที่ทำได้ (ควรเลือกให้มีค่าของแข็งแขวนลอยที่ติดบนกระดาษกรองไม่เกิน 200 มก. และไม่ควรต่ำกว่า 1 มก. เนื่องจากว่าถ้ามีของแข็งปริมาณมากเกินไปอาจจะจับเอาน้ำไว้) เขย่าตัวอย่างให้เข้ากันอย่างดี เทตัวอย่างที่ทราบปริมาตรลงกรองโดยค่อย ๆ เททีละน้อยอย่างต่อเนื่องจนหมดใช้น้ำกั่น ฉีดล้างภาชนะที่ใช้ตวงตัวอย่าง เทลงกรอง และฉีดน้ำกลั่นที่ด้านข้างของกรอยบุคเนอร์รวมทั้งบนกระดาษกรอง GF/C ปล่อยให้เครื่องดูดสุญญากาศดูดน้ำออกจนแห้ง ปิดเครื่อง
5. ใช้ปากคีบหนีบกระดาษกรองขึ้นวางบนถ้วยอลูมิเนียม ฟอยด์ นำเข้าไปอบในตู้อบที่ควบคุมอุณหภูมิไว้ที่ 103-105^{o} ซ เป็นเวลาอย่างน้อย 1 ชม. นำออกจากตู้อบ ปล่อยทิ้งไว้ให้เย็นในโถทำแห้ง ชั่งน้ำหนัก สมมุตน้ำหนัก B กรัม
6. ควรทำซ้ำ 5 ซ้ำ จนได้น้ำหนักคงที่หรือจนกระทั่งมีการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักน้อยกว่า 4 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนักครั้งก่อนหรือประมาณ 0.5 มก.

การคำนวณ

ของแข็งแขวนลอย (มก./ล) $= \dfrac{(B - A) \times 10^6}{C}$

A = น้ำหนักกระดาษกรองอย่างเดียว, กรัม

B = น้ำหนักกระดาษกรองและของแข็ง, กรัม

C = ปริมาตรตัวอย่างน้ำ (มล.)

มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ๒๔๗๗ สำนักหอสมุด

การวิเคราะห์หาความชื้น

หลักการ

นำตัวอย่างไปอบในตู้ที่มีอุณหภูมิ 100-102 °ซ. จนได้น้ำหนักคงที่แล้วนำค่าของน้ำหนักที่หายไปมาคำนวณหาค่าความชื้น การหาค่าความชื้นด้วยวิธีนี้ไม่เหมาะสมกับตัวอย่างที่มีสารระเหยง่ายเป็นส่วนประกอบ เพราะจะระเหยออกได้ในขณะที่อบ

ก. อุปกรณ์

1. ตู้อบ
2. ขวดชั่ง
3. โถดูดความชื้น

ข. วิธีการ

1. หาน้ำหนักที่แน่นอนของขวดชั่ง โดยนำขวดชั่งที่สะอาดเข้าอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 100-102 °ซ. นาน 1-2 ชั่วโมง แล้วนำเอาใส่ในโถดูดความชื้นทิ้งไว้ให้เย็น ชั่งน้ำหนัก ทำซ้ำจนได้น้ำหนักขวดชั่งที่คงที่
2. ชั่งตัวอย่างที่บดละเอียด 2.- กรัม ใส่ในขวดชั่งที่รู้น้ำหนักแน่นอน
3. นำขวดชั่งเข้าอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 100-102 °ซ. (โดยเปิดฝาขวดชั่งไว้) เป็นเวลานาน 4-6 ชั่วโมง หรือ 12 ชั่วโมง (ในกรณีที่ตัวอย่างนั้นไม่มีสารที่สลายตัวในระหว่างการอบ)
4. นำขวดที่ชั่งออกจากตู้อบ (เปิดฝาขวดชั่งก่อน) แล้วทำให้เย็นในโถดูดความชื้น ชั่งน้ำหนัก
5. ทำซ้ำข้อ 3 และข้อ 4 แต่ใช้เวลาในการอบเพียง 1 ชั่วโมง ทำซ้ำจนได้น้ำหนักที่คงที่

การคำนวณ

ก. เปอร์เซ็นความชื้น $= \frac{(A - B)}{A} \times 100$

A = น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ

B = น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ

ข. เปอร์เซ็นวัตถุแห้ง $= \frac{(X - Y)}{W} \times 100$

X = น้ำหนักขวดชั่ง + น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ

Y = น้ำหนักขวดชั่ง

W = น้ำหนักตัวอย่าง (ก่อนอบ)

การวิเคราะห์หาโปรตีน

หลักการ

ใช้วิธีการของ Kjeldahl Gunning method ซึ่งเป็นวิธีการหาไนเตรททั้งหมดที่มีในอาหาร ยกเว้นสารพวก nitrate และ nitrite

ก. **อุปกรณ์** (วิเคราะห์หาโปรตีนโดยวิธี macro – method)

1. เครื่องสำหรับย่อย
2. เจดาลฟลาสขนาด 500 ซีซี หรือ 800 ซีซี
3. เครื่องสำหรับกลั่น
4. เออร์เลนเมเยอร์ฟลาสขนาด 500 ซีซี
5. ปิเปต
6. บิวเรต

ข. **สารเคมี**

1. H_2SO_4 (93 – 98 %)
2. Catalyst mixture ($CuSO_4$ 7 g. + K_2SO_4 100 g.)
3. NaOH 45 %
4. Zinc. Granule
5. Std. H_2SO_4 0.1 N.
6. Std. NaOH 0.1 N.
7. Mixed indicator (Methyl red + bromocresol Green)

ค. **วิธีการ** (การวิเคราะห์หา crude protein)

ก. ใช้ Std. H_2SO_4 0.1 N. เป็นตัวจับแอมโมเนีย

1. ชั่งตัวอย่างอาหารให้ได้น้ำหนักประมาณ 1 กรัม ใส่ลงในเจดาลฟลาส
2. เติม Catalyst mixture 10 กรัม และ H_2SO_4 เข้มข้น 25 ซีซี.
3. นำไปต้มบนเครื่องย่อย (ให้ใช้ความร้อนต่ำก่อนประมาณ 5 นาที แล้วจึงเร่งไฟให้มีความร้อนสูงขึ้น) ต้มจนสารละลายในฟลาสใส แล้วต้มต่อไปอีกประมาณ ครึ่งชั่วโมง จึงปิดไฟขณะทำการต้มต้องคอยหมุนฟลาสไปรอบ ๆ เพื่อให้อาหารถูกย่อยได้หมด
4. เมื่อสารละลายในฟลาสเย็นให้เติมน้ำกั่นลงไป 200-300 ซีซี. ขึ้นอยู่กับขนาดของฟลาส (ถ้ามีผลึกเกิดขึ้นให้เขย่าจนผลึกละลายหมด)
5. ค่อย ๆ ริน NaOH 45 % จำนวน 100 ซีซี. ให้ไหลไปตามข้าง ๆ ฟลาส ใส่

Zinc. Granule 1-2 ชิ้น

6. นำฟลาสไปต่อเข้ากับเครื่องกลั่น โดยมีเออร์เลนเมเยอร์ฟลาส ซึ่งมี . Std. H_2SO_4 0.1 N. จำนวน 100 ซีซี. กับ Mixed indicator (Methyl red + bromocresol Green) 2-3 หยด รองอยู่ที่ condenser โดยส่วนปลายสุดของ condenser จุ่มอยู่ใน Std. H_2SO_4

7. ทำการกลั่นจนกระทั่งไม่มีแอมโมเนียออกมา (ทดสอบด้วยกระดาษลิตมัส) ลดฟลาสให้ต่ำลง เพื่อให้ปลาย condenser อยู่เหนือระดับสารละลายในฟลาส ทำการกลั่นต่อไปอีกประมาณ 10 นาที จึงหยุดกลั่น ล้างปลาย condenser ด้วยน้ำกลั่น

8. นำสารละลายในฟลาสมาไตเตรทกับ Std. NaOH 0.1 N. จนเป็นกลาง

9. ทำแบลงค์ ด้วยวิธีเดียวกันแต่ไม่ต้องมีตัวอย่างอาหาร

การคำนวณ

เปอร์เซ็นไนโตรเจน $= \dfrac{(V_1 - V_2)\,N \times 1.4}{W}$

N = ความเข้มข้นของ Std. NaOH

V_1 = ปริมาตร Std. NaOH ที่ใช้ในการไตเตรทแบลงค์

V_2 = ปริมาตร Std. NaOH ที่ใช้ในการไตเตรทตัวอย่าง

W = น้ำหนักตัวอย่างที่ใช้ในการวิเคราะห์

เปอร์เซ็นโปรตีน = เปอร์เซ็นไนโตรเจน x 6.25

การวิเคราะห์หาไขมัน

หลักการ

ไขมันเป็นสารอินทรีย์ ที่มีอยู่ในพวกเนื้อเยื่อของพืชและสัตว์ มีคุณสมบัติไม่ละลายน้ำ แต่ละลายได้ดีใน organic solvent ไขมันในอาหารสัตว์ได้มาจากการสกัดด้วยสาร organic solvent ประกอบไปด้วยไขมันแท้ และสารคล้ายไขมัน เช่น ขี้ผึ้ง แอลกอฮอล์และอื่น ๆ

ก. อุปกรณ์ (การวิเคราะห์ด้วยเครื่องมือแบบ Soxhlet)

1. เครื่องสกัดไขมัน
   - condenser
   - Soxhlet tube
   - extraction flask ขนาด 250 ซีซี.
2. Fat extraction thimble หรือกระดาษกรองขนาด เส้นผ่าศูนย์กลาง 12 เซนติเมตร
3. ตู้อบ
4. Heating mantle

ข. สารเคมี

Dichloromethane หรือ Anhydrous Ether หรือ Petroleum ether

ค. วิธีการ

การคำนวณปริมาณไขมันจากน้ำหนักไขมันที่สกัดออกมาได้

1. ชั่งตัวอย่างอาหารให้ได้น้ำหนักประมาณ 2 กรัม ใส่ใน thimble อุดด้วยสำลีที่ไม่มีไขมัน นำไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 100° ซ. นาน 2 ชั่วโมง
2. ใส่ thimble (ที่มีอาหาร) ลงใน Soxhlet tube ที่ต่อกับ condenser และ extraction flask ที่สะอาดและทราบน้ำหนักที่แน่นอน
3. เติม Dichloromethane หรือ Ether ลงไปประมาณ 2/3 ของฟลาส
4. ทำการกลั่นโดยควบคุมให้มีอัตราการควบแน่นของสารเคมี 5-6 หยดต่อนาที เป็นเวลา 10-16 ชั่วโมง
5. นำฟลาสที่มีสารที่สกัดได้ไประเหยจนแห้งด้วย Heating mantle แล้วอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 100° ซ. นาน 30 นาที ทำให้เย็นในโถดูดความชื้น ชั่งน้ำหนัก (น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นเป็นน้ำหนักของ Ether extract หรือ crude fat)

การคำนวณ

$$\text{เปอร์เซ็น Ether extract} = \frac{(A - B) \times 100}{W}$$

A = น้ำหนักของฟลาส + น้ำหนักไขมัน

B = น้ำหนักของฟลาส

C = น้ำหนักตัวอย่าง

มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ๒๔๗๗ สำนักหอสมุด

ภาคผนวก ค

ประวัติผู้วิจัย

มหาวิทยาลัยแม่โจ้ แม่โจ้ ๒๔๓๗ สำนักหอสมุด

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ-สกุล	นายนิกร ถากว้าง
เกิดเมื่อ	8 กันยายน 2524
ประวัติการศึกษา	พ.ศ. 2542 มัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนยุพราชวิทยาลัย อ.เมือง จ.เชียงใหม่
	พ.ศ. 2545 ปริญญาตรี สาขาวิชาอาหารสัตว์ คณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ อ.สันทราย จ.เชียงใหม่
ประวัติการทำงาน	
	พ.ศ. 2546 - ปัจจุบัน หน่วยธุรการ งานหอพัก กองกิจการนักศึกษา มหาวิทยาลัยแม่โจ้ อ.สันทราย จ.เชียงใหม่

มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ๒๔๗๗ สำนักหอสมุด