การใช้น้ำกากส่าในการเพาะเลี้ยงไรแดง

นายธีรศักดิ์ สุนทรา

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม (สหสาขาวิชา)
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2551
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

USE OF DISTILLERY SLOP FOR WATER FLEA *Moina macrocopa* (STRAUS) CULTURE

Mr. Theerasak Suntara

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science Program in Environmental Science
(Interdisciplinary Program)
Graduate School
Chulalongkorn University
Academic Year 2008

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การใช้น้ำกากส่าในการเพาะเลี้ยงไรแดง
โดย	นายธีรศักดิ์ สุนทรา
สาขาวิชา	วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	รองศาสตราจารย์ ดร. อรทัย ชวาลภาฤทธิ์

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร. พรพจน์ เปี่ยมสมบูรณ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อาจอง ประทัตสุนทรสาร)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์
(รองศาสตราจารย์ ดร. อรทัย ชวาลภาฤทธิ์)

.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. กำธร ธีรคุปต์)

.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. ชวลิต รัตนธรรมสกุล)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ธีรศักดิ์ สุนทรา : การใช้น้ำกากส่าในการเพาะเลี้ยงไรแดง. (USE OF DISTILLERY SLOP FOR WATER FLEA *Moina macrocopa* (STRAUS) CULTURE) อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ : รศ. ดร. อรทัย ชวาลภาฤทธิ์, 165 หน้า.

การทดลองนี้เป็นการศึกษาการนำน้ำกากส่ามาใช้เพาะเลี้ยงไรแดง *Moina macrocopa* (Straus) โดยนำน้ำกากส่ามาเจือจางความเข้มข้นระดับต่าง ๆ ได้แก่ ความเข้มข้นร้อยละ 0.05, 0.1, 0.5, 1 และ 1.5 โดยปริมาตร โดยให้ชุดที่ไม่มีน้ำกากส่าเป็นชุดควบคุม นำไรแดงลงเลี้ยงในขวดรูปชมพู่โดยให้รับแสงจากหลอดฟลูออเรสเซนต์เป็นเวลา 8 วัน เปรียบเทียบการเจริญเติบโตของไรแดงในชุดที่เติมอากาศและไม่เติมอากาศ พบว่าไรแดงเจริญเติบโตและเพิ่มจำนวนได้ดีที่สุดในน้ำกากส่าความเข้มข้นร้อยละ 1 ชุดที่เติมอากาศ ได้ผลผลิตไรแดงจำนวน 2,200 ตัวต่อลิตร และเมื่อนำสาหร่ายคลอเรลล่า *Chlorella* sp. มาเจือจางความเข้มข้นระดับต่าง ๆ ได้แก่ ความเข้มข้น 1×10^4, 1×10^5, 1×10^6, 1×10^7, 1×10^8 เซลล์ต่อมิลลิลิตรในน้ำกากส่าความเข้มข้นร้อยละ 1 โดยให้ชุดที่ไม่มีสาหร่ายคลอเรลล่าเป็นชุดควบคุม นำไรแดงลงเลี้ยงในขวดรูปชมพู่โดยให้รับแสงจากหลอดฟลูออเรสเซนต์เป็นเวลา 8 วัน พบว่าไรแดงเจริญเติบโตและเพิ่มจำนวนได้ดีที่สุดในน้ำกากส่าที่มีความเข้มข้นของสาหร่ายคลอเรลล่า 1×10^7 เซลล์ต่อมิลลิลิตรชุดที่เติมอากาศ ได้ผลผลิตไรแดงจำนวน 5,320 ตัวต่อลิตร การเปรียบเทียบผลผลิตไรแดงจากการทดลองนี้กับผลผลิตไรแดงจากเอกสารและงานวิจัยต่าง ๆ พบว่าในการทดลองนี้มีอัตราการปล่อยไรแดงเริ่มต้นที่ต่ำแต่ได้ผลผลิตไรแดงค่อนข้างสูง ในขณะที่ใช้วัสดุอาหารไม่ซับซ้อนและไม่มีปัญหาเรื่องคุณภาพน้ำจากการเติมอาหารลงไปในน้ำที่ใช้เพาะเลี้ยง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สาขาวิชา.....วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม..... ลายมือชื่อนิสิต.....ธีรศักดิ์.....สุนทรา.....
ปีการศึกษา....2551..... ลายมือชื่อ อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์.....

4889084320 : MAJOR ENVIRONMENTAL SCIENCE

KEYWORDS : DISTILLERY SLOP / *Moina macrocopa* / WATER FLEA CULTURE

THEERASAK SUNTARA : USE OF DISTILLERY SLOP FOR WATER FLEA *Moina macrocopa* (STRAUS) CULTURE. THESIS ADVISOR : ASSOC. PROF. ORATHAI CHAVALPARIT, Ph.D. 165 pp.

The cultivation of *Moina macrocopa* (Straus) in distillery slop was studied. Diluted distillery slop at the concentrations of 0.05, 0.1, 0.5, 1 and 1.5 percent and non distillery slop as control was prepared and then fed *M. macrocopa* in erlenmayer flasks under fluorescent light for 8 days. Comparison of *M. macrocopa* growth in the aerated and non aerated conditions was studied, it was found that *M. macrocopa* was able to grow and multiply best in 1 percent of distillery slop in the aerated condition. It gave a yield of 2,200 water fleas per liter. When diluted *Chlorella* sp. at the concentrations of 1×10^4, 1×10^5, 1×10^6, 1×10^7, 1×10^8 cells per liter was added in 1 percent of distillery slop and then fed *M. macrocopa* in erlenmayer flasks under fluorescent light for 8 days, it was found that *M. macrocopa* was able to grow and multiply best in 1×10^7 cells per liter of *Chlorella* sp. in the aerated condition. It gave a yield of 5,320 water fleas per liter. Comparison of a yield of water fleas from this study and others was studied, it was found that this study had low rate of *M. macrocopa* at the beginning but gave rather high yield whereas the use of food material was not complicate and no problems of water quality from material added.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Field of Study :...Environmental Science..... Student's Signature :.....Theerasak Suntara...

Academic Year :..2008..... Advisor's Signature :.....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี เนื่องมาจากความกรุณาและความอนุเคราะห์จากอาจารย์หลายท่าน ข้าพเจ้าขอขอบคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. อรทัย ชวาลภาฤทธิ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้กรุณาช่วยเหลือ แนะนำ ให้คำปรึกษา และตรวจทานรายละเอียดต่าง ๆ ในการทำวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อาจอง ประทัตสุนทรสาร ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร. กำธร ธีรคุปต์ และรองศาสตราจารย์ ดร. ชวลิต รัตนธรรมสกุล ที่กรุณาสละเวลามาเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ พร้อมทั้งให้ข้อเสนอแนะและข้อคิดเห็นที่มีส่วนสำคัญในการแก้ไขปรับปรุงวิทยานิพนธ์เล่มนี้ให้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

วิทยานิพนธ์เล่มนี้ได้รับทุนอุดหนุนวิทยานิพนธ์ระดับบัณฑิตศึกษาครั้งที่ 2 / 2550 จากบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และทุนสนับสนุนการวิจัยส่วนหนึ่งจากสหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่อำนวยความสะดวกแก่ข้าพเจ้าในการทดลองจนสำเร็จลุล่วง ขอบใจในมิตรภาพและความผูกพันอันดีของเพื่อน ๆ นิสิตปริญญาโท รหัส 48 สหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อมในที่นี้ด้วย

ท้ายสุดนี้ ขอขอบคุณคุณแม่ดวงจันทร์ สุนทรา ที่สนับสนุนข้าพเจ้าในการศึกษาตลอดหลักสูตร รวมถึงคุณแม่ปอย สุนทรา น้องชายทั้งสองคนข้าพเจ้า คือ นายธีระชัย สุนทรา และนายธีรพล สุนทรา และบุคคลในครอบครัวที่เป็นกำลังใจแก่ข้าพเจ้าเสมอมา คุณประโยชน์ที่ปรากฏในวิทยานิพนธ์เล่มนี้ข้าพเจ้าขอมอบแด่คุณพ่อเตรียม สุนทราและผู้มีพระคุณทุกท่าน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....จ
กิตติกรรมประกาศ.....ฉ
สารบัญ.....ช
สารบัญตาราง.....ญ
สารบัญภาพ.....ฏ
บทที่
1. บทนำ.....1
    1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....1
    1.2 วัตถุประสงค์.....2
    1.3 ขอบเขตการศึกษา.....3
    1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....3
2. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....4
    2.1 กระบวนการผลิตสุรา.....4
        2.1.1 วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตสุรา.....4
        2.1.2 กากน้ำตาล.....4
        2.1.3 กระบวนการหมักแอลกอฮอล์.....9
        2.1.4 กระบวนการผลิตสุราจากกากน้ำตาล.....13
    2.2 น้ำทิ้งจากโรงงานสุรา.....15
        2.2.1 น้ำกากส่า.....18
        2.2.2 การกำจัดและการใช้ประโยชน์จากน้ำกากส่า.....22
    2.3 ไรแดง.....26
        2.3.1 อนุกรมวิธานของไรแดง.....26
        2.3.2 รูปร่างและลักษณะของไรแดง.....26
        2.3.3 การสืบพันธุ์ของไรแดง.....28
        2.3.4 วงจรชีวิตของไรแดง.....29
        2.3.5 อาหารและลักษณะการกินอาหาร.....30
        2.3.6 การเพาะเลี้ยงไรแดง.....30

หน้า

2.4 สาหร่ายคลอเรลล่า.....50
2.4.1 อนุกรมวิธานของสาหร่ายคลอเรลล่า.....50
2.4.2 รูปร่างและลักษณะของสาหร่ายคลอเรลล่า.....50
2.4.3 การแพร่กระจายของสาหร่ายคลอเรลล่า.....51
2.4.4 การสืบพันธุ์ของสาหร่ายคลอเรลล่า.....52
2.4.5 การเจริญเติบโตของสาหร่ายคลอเรลล่า.....52
2.4.6 การนำสาหร่ายคลอเรลล่ามาใช้ประโยชน์.....53
2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....54
2.5.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการใช้ประโยชน์จากน้ำกากส่า.....54
2.5.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการเพาะเลี้ยงไรแดง.....57
2.5.3 ผลผลิตไรแดงจากเอกสารและงานวิจัยต่าง ๆ.....60
3. วิธีดำเนินการทดลอง.....70
3.1 วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง.....70
3.2 สถานที่ทำการทดลอง.....71
3.3 การเตรียมการทดลอง.....71
3.4 วิธีการทดลอง.....79
3.5 วิธีการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ.....82
4. ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง.....84
4.1 การศึกษาคุณสมบัติของน้ำกากส่า.....84
4.2 การเปรียบเทียบจำนวนไรแดงและคุณภาพน้ำในน้ำกากส่าความเข้มข้นต่าง ๆ ชุดที่เติมอากาศและไม่เติมอากาศ.....86
4.2.1 จำนวนไรแดงในน้ำกากส่าความเข้มข้นต่าง ๆ ชุดที่เติมอากาศและไม่เติมอากาศ.....86
4.2.2 คุณภาพน้ำในน้ำกากส่าความเข้มข้นต่าง ๆ ชุดที่เติมอากาศและไม่เติมอากาศ.....90
4.2.3 การเปรียบเทียบผลการทดลองของการใช้น้ำกากส่าความเข้มข้นต่าง ๆ ชุดที่เติมอากาศและไม่เติมอากาศในการเพาะเลี้ยงไรแดง.....104

หน้า

4.3 การเปรียบเทียบจำนวนไรแดงและคุณภาพน้ำในน้ำกากส่าที่เติมสาหร่ายคลอเรลล่าความเข้มข้นต่าง ๆ ชุดที่เติมอากาศและไม่เติมอากาศ.....105
4.3.1 จำนวนไรแดงในน้ำกากส่าที่เติมสาหร่ายคลอเรลล่าความเข้มข้นต่าง ๆ ชุดที่เติมอากาศและไม่เติมอากาศ.....105
4.3.2 คุณภาพน้ำในน้ำกากส่าที่เติมสาหร่ายคลอเรลล่าความเข้มข้นต่าง ๆ ชุดที่เติมอากาศและไม่เติมอากาศ.....110
4.3.3 การเปรียบเทียบผลการทดลองของการใช้น้ำกากส่าที่เติมสาหร่ายคลอเรลล่าความเข้มข้นต่าง ๆ ชุดที่เติมอากาศและไม่เติมอากาศในการเพาะเลี้ยงไรแดง.....124
4.4 สภาวะที่เหมาะสมในการเพาะเลี้ยงไรแดงด้วยน้ำกากส่า.....125
4.5 การเปรียบเทียบผลผลิตไรแดงจากการทดลองนี้กับผลผลิตไรแดงจากเอกสารและงานวิจัยต่าง ๆ.....127
4.6 การนำผลการทดลองไปใช้.....132
4.6.1 ความสัมพันธ์ของไรแดงและน้ำกากส่า.....132
4.6.2 ค่าใช้จ่ายในการเพาะเลี้ยงไรแดง.....135
5. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....136
5.1 สรุปผลการทดลอง.....136
5.1.1 การศึกษาคุณสมบัติของน้ำกากส่า.....136
5.1.2 การเปรียบเทียบจำนวนไรแดงและคุณภาพน้ำในน้ำกากส่าความเข้มข้นต่าง ๆ ชุดที่เติมอากาศและไม่เติมอากาศ.....136
5.1.3 การเปรียบเทียบจำนวนไรแดงในน้ำกากส่าที่เติมสาหร่ายคลอเรลล่าความเข้มข้นต่าง ๆ ชุดที่เติมอากาศและไม่เติมอากาศ.....137
5.1.4 สภาวะที่เหมาะสมในการเพาะเลี้ยงไรแดงด้วยน้ำกากส่า.....137
5.2 ข้อเสนอแนะ.....138
รายการอ้างอิง.....139
ภาคผนวก ก.....147
ภาคผนวก ข.....163
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....165

สารบัญตาราง

ตาราง **หน้า**

2.1 ส่วนประกอบส่วนใหญ่ของกากน้ำตาลในประเทศไทย.....7
2.2 คุณลักษณะทางเคมีของกากน้ำตาลตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม.....7
2.3 ปริมาณและลักษณะของน้ำล้างขวดจากโรงงานสุรา.....15
2.4 คุณภาพและปริมาณของน้ำเสียจากโรงงานสุราจากกระบวนการต่าง ๆ.....16
2.5 คุณภาพของน้ำเสียประเภทต่าง ๆ ของโรงงานต้มกลั่นสุรา 32 แห่งทั่วประเทศ.....17
2.6 ลักษณะของน้ำกากส่าจากโรงงานสุรา กรมสรรพสามิต.....18
2.7 องค์ประกอบของน้ำกากส่าที่ทำให้แห้งแล้ว.....19
2.8 การเปรียบเทียบราคาค่าใช้จ่ายในการกำจัดและใช้ประโยชน์จากน้ำกากส่า โดยวิธีต่าง ๆ พร้อมทั้งแสดงข้อดีและข้อเสีย.....25
2.9 สูตรอาหารที่ใช้เพาะเลี้ยงไรแดงในบ่อดิน.....46
2.10 ผลผลิตไรแดงโดยจำแนกตามวัสดุอาหารที่ใช้ในการเพาะเลี้ยง.....62
3.1 ส่วนประกอบของอาหารเลี้ยงสาหร่ายสูตร NS III.....73
3.2 วิธีการและความถี่ในการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ.....82
4.1 ผลการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่าง ๆ ของน้ำกากส่าที่ใช้ในการทดลอง.....84
4.2 จำนวนไรแดงและคุณภาพน้ำในวันที่มีจำนวนไรแดงสูงสุดในน้ำกากส่าความเข้มข้นต่าง ๆ ชุดที่เติมอากาศ.....88
4.3 จำนวนไรแดงและคุณภาพน้ำในวันที่มีจำนวนไรแดงสูงสุดในน้ำกากส่าความเข้มข้นต่าง ๆ ชุดที่ไม่เติมอากาศ.....89
4.4 การเปรียบเทียบสภาวะที่เหมาะสมในการเพาะเลี้ยงไรแดงจากการใช้น้ำกากส่าความเข้มข้นต่าง ๆ ชุดที่เติมอากาศและไม่เติมอากาศ.....104
4.5 จำนวนไรแดงและคุณภาพน้ำในวันที่มีจำนวนไรแดงสูงสุดในน้ำกากส่าความเข้มข้นร้อยละ 1 ที่เติมสาหร่ายคลอเรลล่าความเข้มข้นต่าง ๆ ชุดที่เติมอากาศ.....108
4.6 จำนวนไรแดงและคุณภาพน้ำในวันที่มีจำนวนไรแดงสูงสุดในน้ำกากส่าความเข้มข้นร้อยละ 1 ที่เติมสาหร่ายคลอเรลล่าความเข้มข้นต่าง ๆ ชุดที่ไม่เติมอากาศ.....109
4.7 การเปรียบเทียบสภาวะที่เหมาะสมในการเพาะเลี้ยงไรแดงจากการใช้น้ำกากส่าความเข้มข้นร้อยละ 1 ที่เติมสาหร่ายคลอเรลล่าความเข้มข้นต่าง ๆ ชุดที่เติมอากาศและไม่เติมอากาศ.....124

ตาราง **หน้า**

4.8 การเปรียบเทียบสภาวะที่เหมาะสมในการเพาะเลี้ยงไรแดงจากการใช้น้ำกากส่าที่เติมและไม่เติมสาหร่ายคลอเรลล่าชุดที่เติมอากาศและไม่เติมอากาศ.....126
4.9 การเปรียบเทียบผลผลิตไรแดงจากการทดลองนี้กับผลผลิตไรแดงจากเอกสารและงานวิจัยต่าง ๆ.....128
4.10 การเปลี่ยนแปลงจำนวนยีสต์และไรแดงในน้ำกากส่าความเข้มข้นร้อยละ 1 ชุดที่เติมอากาศ.....133
4.11 การเปลี่ยนแปลงจำนวนสาหร่ายคลอเรลล่าและไรแดงในน้ำกากส่าความเข้มข้นร้อยละ 1 ชุดที่เติมอากาศ.....134
ตารางที่ ก – 1 จำนวนไรแดงและคุณภาพน้ำที่ใช้เพาะเลี้ยงไรแดงในน้ำกากส่าความเข้มข้นต่าง ๆ ชุดที่เติมอากาศ.....147
ตารางที่ ก – 2 จำนวนไรแดงและคุณภาพน้ำที่ใช้เพาะเลี้ยงไรแดงในน้ำกากส่าความเข้มข้นต่าง ๆ ชุดที่ไม่เติมอากาศ.....151
ตารางที่ ก – 3 จำนวนไรแดงและคุณภาพน้ำที่ใช้เพาะเลี้ยงไรแดงในน้ำกากส่าความเข้มข้นร้อยละ 1 ที่เติมสาหร่ายคลอเรลล่าความเข้มข้นต่าง ๆ ชุดที่เติมอากาศ.....155
ตารางที่ ก – 4 จำนวนไรแดงและคุณภาพน้ำที่ใช้เพาะเลี้ยงไรแดงในน้ำกากส่าความเข้มข้นร้อยละ 1 ที่เติมสาหร่ายคลอเรลล่าความเข้มข้นต่าง ๆ ชุดที่ไม่เติมอากาศ.....159
ผนวก ข ต้นทุนการเพาะเลี้ยงไรแดงแบบไม่ต่อเนื่องในบ่อซีเมนต์ขนาด 50 ตารางเมตร.....163

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

ภาพที่ **หน้า**

2.1 แผนผังกระบวนการผลิตน้ำตาลทรายจากอ้อยในโรงงานน้ำตาล....6
2.2 วิถีไกลโคไลซีส หรือ Embden – Meyerhof – Parnas pathway ของกระบวนการหมัก....10
2.3 แผนผังกรรมวิธีการผลิตสุราจากกากน้ำตาลและจุดปล่อยน้ำทิ้งของโรงงานสุรา....14
2.4 รูปร่างและลักษณะของไรแดง....27
2.5 เพศของไรแดง....27
2.6 การสืบพันธุ์ของไรแดง....29
2.7 เครื่องตีน้ำ....32
2.8 น้ำสาหร่ายคลอเรลล่า....33
2.9 กากผงชูรส (อามิ – อามิ)....33
2.10 ปุ๋ยวิทยาศาสตร์ที่ใช้ในการเพาะเลี้ยงไรแดง....34
2.11 การเตรียมบ่อผลิต....35
2.12 ระดับน้ำในบ่อเพาะเลี้ยงไรแดง....36
2.13 อาหารหมัก....37
2.14 สาหร่ายคลอเรลล่า....38
2.15 การคัดพันธุ์ไรแดงด้วยกระชอนมุ้ง....39
2.16 การเติมแม่พันธุ์ไรแดง....39
2.17 บ่อเพาะพันธุ์ไรแดง....40
2.18 อาหารเพาะเลี้ยงไรแดง....42
2.19 การเติมอาหารผสม....47
2.20 รูปร่างและลักษณะของสาหร่ายคลอเรลล่า....51
2.21 การสืบพันธุ์ของสาหร่ายคลอเรลล่า....52
3.1 สไลด์นับจำนวนหรือฮีมาไซโตมิเตอร์ (haemacytometer)....74
3.2 ตารางบนสไลด์นับจำนวน กำลังขยาย 10 เท่า....76
3.3 ตารางบนสไลด์นับจำนวน กำลังขยาย 40 เท่า....77
3.4 เส้นขอบช่องสี่เหลี่ยมบนสไลด์นับจำนวน....78
3.5 แผนผังขั้นตอนการทดลอง....81
3.6 ระบบการทดลองแบบเติมอากาศและไม่เติมอากาศ....83

ภาพที่ **หน้า**

4.1 ยีสต์ในน้ำกากส่า……..85
4.2 จำนวนไรแดงในน้ำกากส่าความเข้มข้นต่าง ๆ ชุดที่เติมอากาศ.....87
4.3 จำนวนไรแดงในน้ำกากส่าความเข้มข้นต่าง ๆ ชุดที่ไม่เติมอากาศ.....87
4.4 พีเอชในน้ำกากส่าความเข้มข้นต่าง ๆ ชุดที่เติมอากาศ.....91
4.5 พีเอชในน้ำกากส่าความเข้มข้นต่าง ๆ ชุดที่ไม่เติมอากาศ.....91
4.6 ดีโอในน้ำกากส่าความเข้มข้นต่าง ๆ ชุดที่เติมอากาศ.....93
4.7 ดีโอในน้ำกากส่าความเข้มข้นต่าง ๆ ชุดที่ไม่เติมอากาศ.....93
4.8 ซีโอดีในน้ำกากส่าความเข้มข้นต่าง ๆ ชุดที่เติมอากาศ.....95
4.9 ซีโอดีในน้ำกากส่าความเข้มข้นต่าง ๆ ชุดที่ไม่เติมอากาศ.....95
4.10 บีโอดีในน้ำกากส่าความเข้มข้นต่าง ๆ ชุดที่เติมอากาศ.....97
4.11 บีโอดีในน้ำกากส่าความเข้มข้นต่าง ๆ ชุดที่ไม่เติมอากาศ.....97
4.12 ทีเคเอ็นในน้ำกากส่าความเข้มข้นต่าง ๆ ชุดที่เติมอากาศ.....99
4.13 ทีเคเอ็นในน้ำกากส่าความเข้มข้นต่าง ๆ ชุดที่ไม่เติมอากาศ.....99
4.14 ฟอสฟอรัสในน้ำกากส่าความเข้มข้นต่าง ๆ ชุดที่เติมอากาศ.....101
4.15 ฟอสฟอรัสในน้ำกากส่าความเข้มข้นต่าง ๆ ชุดที่ไม่เติมอากาศ.....101
4.16 โพแทสเซียมในน้ำกากส่าความเข้มข้นต่าง ๆ ชุดที่เติมอากาศ.....103
4.17 โพแทสเซียมในน้ำกากส่าความเข้มข้นต่าง ๆ ชุดที่ไม่เติมอากาศ.....103
4.18 จำนวนไรแดงในน้ำกากส่าความเข้มข้นร้อยละ 1 ที่เติมสาหร่ายคลอเรลล่า
ความเข้มข้นต่าง ๆ ชุดที่เติมอากาศ.....107
4.19 จำนวนไรแดงในน้ำกากส่าความเข้มข้นร้อยละ 1 ที่เติมสาหร่ายคลอเรลล่า
ความเข้มข้นต่าง ๆ ชุดที่ไม่เติมอากาศ.....107
4.20 พีเอชในน้ำกากส่าความเข้มข้นร้อยละ 1 ที่เติมสาหร่ายคลอเรลล่า
ความเข้มข้นต่าง ๆ ชุดที่เติมอากาศ.....111
4.21 พีเอชในน้ำกากส่าความเข้มข้นร้อยละ 1 ที่เติมสาหร่ายคลอเรลล่า
ความเข้มข้นต่าง ๆ ชุดที่ไม่เติมอากาศ.....111
4.22 ดีโอในน้ำกากส่าความเข้มข้นร้อยละ 1 ที่เติมสาหร่ายคลอเรลล่า
ความเข้มข้นต่าง ๆ ชุดที่เติมอากาศ.....113
4.23 ดีโอในน้ำกากส่าความเข้มข้นร้อยละ 1 ที่เติมสาหร่ายคลอเรลล่า
ความเข้มข้นต่าง ๆ ชุดที่ไม่เติมอากาศ.....113

ภาพที่ **หน้า**

4.24 ซีโอดีในน้ำกากส่าความเข้มข้นร้อยละ 1 ที่เติมสาหร่ายคลอเรลล่า ความเข้มข้นต่าง ๆ ชุดที่เติมอากาศ....115
4.25 ซีโอดีในน้ำกากส่าความเข้มข้นร้อยละ 1 ที่เติมสาหร่ายคลอเรลล่า ความเข้มข้นต่าง ๆ ชุดที่ไม่เติมอากาศ....115
4.26 บีโอดีในน้ำกากส่าความเข้มข้นร้อยละ 1 ที่เติมสาหร่ายคลอเรลล่า ความเข้มข้นต่าง ๆ ชุดที่เติมอากาศ....117
4.27 บีโอดีในน้ำกากส่าความเข้มข้นร้อยละ 1 ที่เติมสาหร่ายคลอเรลล่า ความเข้มข้นต่าง ๆ ชุดที่ไม่เติมอากาศ....117
4.28 ทีเคเอ็นในน้ำกากส่าความเข้มข้นร้อยละ 1 ที่เติมสาหร่ายคลอเรลล่า ความเข้มข้นต่าง ๆ ชุดที่เติมอากาศ....119
4.29 ทีเคเอ็นในน้ำกากส่าความเข้มข้นร้อยละ 1 ที่เติมสาหร่ายคลอเรลล่า ความเข้มข้นต่าง ๆ ชุดที่ไม่เติมอากาศ....119
4.30 ฟอสฟอรัสในน้ำกากส่าความเข้มข้นร้อยละ 1 ที่เติมสาหร่ายคลอเรลล่า ความเข้มข้นต่าง ๆ ชุดที่เติมอากาศ....121
4.31 ฟอสฟอรัสในน้ำกากส่าความเข้มข้นร้อยละ 1 ที่เติมสาหร่ายคลอเรลล่า ความเข้มข้นต่าง ๆ ชุดที่ไม่เติมอากาศ....121
4.32 โพแทสเซียมในน้ำกากส่าความเข้มข้นร้อยละ 1 ที่เติมสาหร่ายคลอเรลล่า ความเข้มข้นต่าง ๆ ชุดที่เติมอากาศ....123
4.33 โพแทสเซียมในน้ำกากส่าความเข้มข้นร้อยละ 1 ที่เติมสาหร่ายคลอเรลล่า ความเข้มข้นต่าง ๆ ชุดที่ไม่เติมอากาศ....123

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

โรงงานสุราเป็นหนึ่งในโรงงานอุตสาหกรรมด้านการเกษตรที่ผลิตของเสียต่าง ๆ ออกมาสู่สิ่งแวดล้อมในปริมาณมาก ของเสียจำนวนหนึ่งเกิดขึ้นในระหว่างการกลั่นแอลกอฮอล์ที่มีกากน้ำตาล (molasses) ซึ่งเป็นผลพลอยได้จากโรงงานน้ำตาลเป็นวัตถุดิบสำคัญที่ใช้ในกระบวนการผลิตเนื่องจากกากน้ำตาลหาได้ง่ายและมีราคาถูก หลังจากที่กลั่นแอลกอฮอล์ครั้งแรกจากถังหมักกากน้ำตาลแล้วจะเกิดน้ำเสียสีน้ำตาลเข้มหรือสีดำที่เรียกว่าน้ำกากส่า (distillery slop) โดยทั่วไปในการกลั่นแอลกอฮอล์ 1 ลิตร ถ้าทำการผลิตแบบต่อเนื่อง (continuous process) จะเกิดน้ำกากส่า 8 – 10 ลิตร แต่ถ้าทำการผลิตแบบครั้งเดียว (batch process) จะเกิดน้ำกากส่า 11 – 13 ลิตร (Lele et al., 2000) หรืออาจจะมากถึง 15 ลิตร (Beltran et al., 2001)

น้ำกากส่ามีลักษณะเป็นของเหลวสีน้ำตาลเข้มหรือสีดำซึ่งเป็นสีที่เกิดจากสาร 2 ชนิด คือ คาราเมล (caramel) ของน้ำตาลชนิดต่าง ๆ เป็นสารที่ไม่มีธาตุไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบ เกิดจากการที่น้ำตาลได้รับความร้อนมากเกินไปในระหว่างการผลิตน้ำตาลทราย สารนี้ถูกย่อยสลายได้ง่าย และเมลานอยดิน (melanoidin) เป็นสารที่มีธาตุไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบ เกิดจากการรวมตัวกันของน้ำตาลชนิดต่าง ๆ กับกรดอะมิโน (amino acid) ที่อุณหภูมิสูงโดยปฏิกิริยาบราวนิ่ง (browning reaction) หรือเรียกอีกชื่อหนึ่งว่าปฏิกิริยาเมลลาร์ด (Maillard reaction) ซึ่งมีสีเหลืองจนถึงสีน้ำตาลเข้ม จึงทำให้กากน้ำตาลและน้ำกากส่ามีสีน้ำตาลเข้มขึ้นด้วย (Underkofler and Hickley, 1954) สารนี้ถูกย่อยสลายได้ยาก เพราะฉะนั้นหากปล่อยน้ำกากส่าลงสู่แหล่งน้ำตามธรรมชาติอาจก่อให้เกิดปัญหามลพิษสิ่งแวดล้อมหรือส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตในระบบนิเวศน์ได้ ด้วยเหตุนี้จึงมีการสร้างระบบกำจัดและใช้ประโยชน์จากน้ำกากส่าขึ้น จากรายงานของสุจินต์ พนาปวุฒิกุล (2527) พบว่าในประเทศไทยได้มีการสร้างระบบกำจัดและใช้ประโยชน์จากน้ำกากส่าหลายระบบด้วยกันตามความเหมาะสม ได้แก่ การระเหยและการเผา การระเหย การหมักในถังหมักไร้อากาศและกระบวนการเติมอากาศเลี้ยงตะกอน การทำปุ๋ยหมัก การทำบ่อเก็บกักและลานตาก ใช้ราดถนน ใช้เป็นอาหารทางอ้อมแก่ปลา และใช้ในการเกษตรโดยตรง

ไรแดง เป็นอาหารธรรมชาติที่ดีที่สุดในการอนุบาลสัตว์น้ำวัยอ่อน โดยเฉพาะสัตว์น้ำเศรษฐกิจทั้งปลาสวยงามและปลาเศรษฐกิจ เช่น ปลาปอมปาดัวร์ ปลากัด กุ้งก้ามกราม ปลากะพง ปลาบึก ปลาเทโพ ปลาเทพา และปลาดุกอุย เป็นต้น (กองส่งเสริมการประมง, 2551) ในอดีตไรแดงส่วนใหญ่รวบรวมได้จากแหล่งน้ำโสโครกตามบ้านเรือน โรงฆ่าสัตว์ หรือโรงงานอุตสาหกรรมซึ่งมีปริมาณไม่แน่นอน ปัจจุบันไรแดงธรรมชาติมีปริมาณลดลงเพราะสภาพสิ่งแวดล้อมต่าง ๆ เปลี่ยนแปลงในขณะที่ความต้องการไรแดงมีเพิ่มมากขึ้น ทำให้ประสบปัญหาการขาดแคลนไรแดงในการอนุบาลสัตว์น้ำวัยอ่อนซึ่งมีผลโดยตรงกับการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ

ดังนั้นการศึกษาทดลองครั้งนี้จึงสนใจที่จะนำน้ำกากส่ามาใช้ประโยชน์โดยจะประเมินศักยภาพในการนำน้ำกากส่ามาใช้ในการเพาะเลี้ยงไรแดง ซึ่งนอกจากจะเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับน้ำกากส่าจากโรงงานสุราที่ใช้กากน้ำตาลเป็นวัตถุดิบในกระบวนการผลิตแล้ว ยังเป็นอีกแนวทางหนึ่งในการเพาะเลี้ยงไรแดงเพื่อนำมาใช้อนุบาลสัตว์น้ำวัยอ่อนต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์

1) เพื่อศึกษาเปรียบเทียบจำนวนไรแดงในน้ำกากส่าความเข้มข้นต่าง ๆ ในชุดที่มีการเติมอากาศและไม่มีการเติมอากาศ

2) เพื่อศึกษาเปรียบเทียบจำนวนไรแดงในน้ำกากส่าที่มีการเติมสาหร่ายคลอเรลล่าความเข้มข้นต่าง ๆ ในชุดที่มีการเติมอากาศและไม่มีการเติมอากาศ

3) เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำของน้ำกากส่าหลังการเพาะเลี้ยงไรแดง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1.3 ขอบเขตการศึกษา

การทดลองนี้เป็นการทดลองระดับห้องปฏิบัติการที่ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย น้ำกากส่าที่ใช้ทดลองเป็นน้ำกากส่าจากโรงงานไทยแอลกอฮอล์ จำกัด (มหาชน) อำเภอบางเลน จังหวัดนครปฐม โดยมีตัวแปร ดังนี้

- น้ำกากส่าเจือจางปรับเปลี่ยนความเข้มข้น 5 ค่า ตั้งแต่ร้อยละ 0.5 ถึง 1.5 โดยปริมาตร
- ศึกษาเปรียบเทียบผลของการเติมอากาศและไม่เติมอากาศที่มีต่อการเพิ่มจำนวนไรแดง
- ศึกษาเปรียบเทียบผลของการเติมสาหร่ายคลอเรลล่าความเข้มข้นต่าง ๆ ตั้งแต่ $1x10^4$ ถึง $1x10^8$ เซลล์ต่อมิลลิลิตรที่มีต่อการเพิ่มจำนวนไรแดง

ทั้งนี้จะวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของน้ำกากส่าทั้งก่อนการทดลอง ระหว่างการทดลอง และหลังการทดลองเพาะเลี้ยงไรแดง ได้แก่

1) พีเอช (pH)
2) ออกซิเจนละลายหรือดีโอ (Dissolved Oxygen; DO)
3) ซีโอดี (Chemical Oxygen Demand; COD)
4) บีโอดี (Biological Oxygen Demand; BOD)
5) อินทรีย์ไนโตรเจนหรือทีเคเอ็น (Total Kjeldahl Nitrogen; TKN)
6) ฟอสฟอรัส (Phosphorus; P)
7) โพแทสเซียม (Potassium; K)

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

เป็นแนวทางการนำน้ำเสียจากกระบวนการผลิตสุรากลั่นมาใช้ประโยชน์ทางการเกษตรโดยการเพาะเลี้ยงไรแดง ซึ่งนอกจากจะทราบสภาวะที่เหมาะสมในการเพาะเลี้ยงไรแดงด้วยน้ำกากส่าแล้ว ยังเป็นแนวทางในการปรับปรุงคุณภาพน้ำของน้ำกากส่าหลังการเพาะเลี้ยงไรแดง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 กระบวนการผลิตสุรา

2.1.1 วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตสุรา

สุราเป็นเครื่องดื่มที่ได้จากการผสมแอลกอฮอล์ (alcohol) น้ำ และส่วนผสมอื่น ๆ เพื่อให้มีรสชาติและสีแตกต่างกันไป หากแบ่งตามวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตจะแบ่งได้ 3 ประเภท คือ

(1) **สุราที่ผลิตจากเมล็ดธัญพืช (grain distilleries)** ได้แก่ สุราประเภทสก๊อซวิสกี้ (scotch whiskey) สุราเกาเหลียง ซึ่งผลิตจากข้าวเหนียว ข้าวสาลี ข้าวเจ้า ข้าวบาเล่ย์ เป็นต้น

(2) **สุราที่ผลิตจากผลไม้ (fruit distilleries)** ได้แก่ สุราประเภทไวน์ (wine) บรั่นดี (brandy) แชมเปญ (champagne) ซึ่งผลิตจากสับปะรด องุ่น เป็นต้น

(3) **สุราที่ผลิตจากกากน้ำตาล (molasses distilleries)** ได้แก่ สุราขาว สุราผสม รัม (rum) ซึ่งผลิตโดยใช้กากน้ำตาลผสมกับข้าวเหนียว ซึ่งอัตราส่วนระหว่างกากน้ำตาลและข้าวเหนียวที่ใช้จะแตกต่างกันออกไปตามวัตถุประสงค์ของแต่ละโรงงาน สำหรับประเทศไทยโดยมากใช้วัตถุดิบประเภทนี้ในการผลิต

2.1.2 กากน้ำตาล

กากน้ำตาลหรือโมลาส (molasses) เป็นคำมาจากภาษาละตินว่า mel หมายถึงน้ำผึ้ง แล้ววิวัฒนาการทางภาษาผ่านไปยังภาษาสเปนเป็นคำว่า melaza หมายถึง crude honey – like substance แล้วผ่านไปยังภาษาฝรั่งเศสเป็นคำว่า melasse ซึ่งใช้ในภาษาเยอรมันและดัชท์ด้วย สุดท้ายจึงมาเป็นคำว่า molasses (Paturau, 1989)

กากน้ำตาลสามารถแบ่งได้เป็น 3 ชนิด ดังนี้

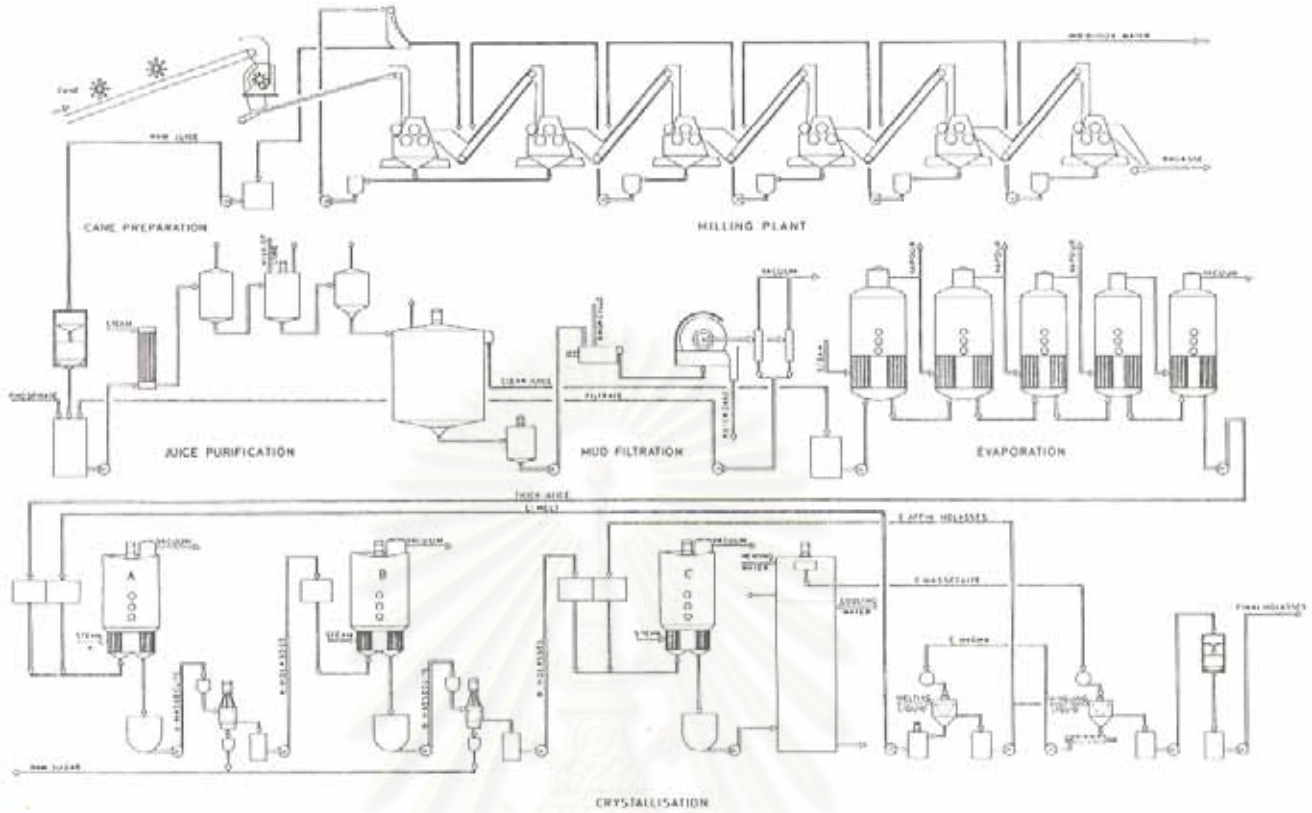
(1) **blackstrap molasses หรือ final molasses** คือ กากน้ำตาลที่ได้จากการผลิตน้ำตาลทรายขาว (plantation white sugar) มีปริมาณน้ำตาลประมาณ 50 – 60 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งในอุตสาหกรรมหมักจะใช้กากน้ำตาลชนิดนี้เป็นวัตถุดิบ

(2) **refinery molasses** คือ กากน้ำตาลที่ได้จากการผลิตน้ำตาลทรายขาวบริสุทธิ์ (refine sugar) มีปริมาณน้ำตาลประมาณ 48 เปอร์เซ็นต์

(3) **hightest molasses หรือ invert molasses** คือ กากน้ำตาลที่ผลิตขึ้นโดยการนำน้ำอ้อยแปรสภาพ (invert syrup) มาเคี่ยวจนข้นเป็นน้ำเชื่อม มีปริมาณน้ำตาลประมาณ 77 เปอร์เซ็นต์ (ภัทรา มณีธวัช, 2520; Paturau, 1989)

กากน้ำตาลอ้อย (cane molasses) หมายถึง ผลผลิตพลอยได้ในการผลิตน้ำตาลทรายจากอ้อยหลังจากตกผลึกและแยกน้ำตาลทรายออกแล้ว โดยมีลักษณะทั่วไปเป็นของเหลวซึ่งมีลักษณะข้นเหนียวสีน้ำตาลปนดำ มีกลิ่นเฉพาะตัว ไม่บูดหรือมีกลิ่นเหม็น (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2524)

กากน้ำตาลอ้อยเป็นผลพลอยได้ (by product) จากกระบวนการผลิตน้ำตาลทรายจากอ้อยในโรงงานน้ำตาล เริ่มต้นจากรถบรรทุกอ้อยเข้ามาในโรงงานจะผ่านการชั่งน้ำหนักและทดสอบคุณภาพความหวาน จากนั้นไปจอดเทียบที่บริเวณลงอ้อยซึ่งแท่นเทอ้อย (cane unloader) จะเทอ้อยลงสู่รางลำ เลียง (cane barrier) ผ่านชุดใบมีด (cane knives) 3 – 4 ชุดสับอ้อยให้เป็นชิ้น เล็ก ๆ และผ่านเครื่องย่อยอ้อย (shredder) อ้อยที่ถูกตีย่อยแล้วก็จะถูกป้อนเข้าสู่ชุดลูกหีบ (mill tandem) ที่จัดเรียงกันรวม 5 – 6 ชุด เพื่อกดสกัดน้ำอ้อยออกมาตั้งแต่ชุดแรกผ่านไปยังชุดสุดท้ายจนเหลือกากอ้อย (bagasse) จะลำเลียงไปเป็นเชื้อเพลิงของหม้อไอน้ำ (boiler) หรือใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตกระดาษและไม้อัดชานอ้อยต่อไป น้ำอ้อยที่สกัดได้จะถูกส่งผ่านหม้อให้ความร้อน (heater) ที่อุณหภูมิประมาณ 70 องศาเซลเซียส แล้วเติมปูนขาวให้มีความเป็นด่างอ่อน ๆ ทำให้สิ่งสกปรกตกตะกอนในถังพักใส (clarifier) หลังจากนั้นจะส่งน้ำอ้อยเข้าหม้อต้มระเหย (evaporators) ทำการต้มเคี่ยวน้ำอ้อยให้เป็นน้ำเชื่อม และน้ำเชื่อมที่ได้จะถูกส่งต่อไปยังหม้อเคี่ยว (vacumm pan) เพื่อเคี่ยวให้เข้มข้นและตกผลึก และส่วนที่เหลือที่ไม่สามารถตกผลึกน้ำตาลในกระบวนการของโรงงานได้ก็จะเป็นกากน้ำตาลหรือโมลาส ดังแสดงในภาพที่ 2.1



ภาพที่ 2.1 แผนผังกระบวนการผลิตน้ำตาลทรายจากอ้อยในโรงงานน้ำตาล (Chen and Chou, 1993)

กากน้ำตาลมีองค์ประกอบซับซ้อน ประกอบด้วยส่วนที่เป็นน้ำตาลต่าง ๆ เช่น กลูโคส (glucose) ซูโครส (sucrose) ฟรุคโตส (fructose) ราฟฟิโนส (raffinose) และเกลือแร่ต่าง ๆ ส่วนที่เหลือจะประกอบด้วยสารประกอบอินทรีย์ที่ไม่ใช่น้ำตาลซึ่งละลายได้ในด่าง (alkali soluble nonsugar ingradient) สารประกอบอนินทรีย์ และน้ำ กากน้ำตาลต่างชนิดก็จะมีส่วนประกอบที่แตกต่างกันตามลักษณะพันธุ์อ้อย ฤดูกาล สภาพดิน การเก็บรักษา และกรรมวิธีการผลิตของโรงงาน รวมทั้งสารที่เติมในกระบวนการผลิตน้ำตาลในโรงงานก็มีผลทำให้องค์ประกอบของกากน้ำตาลมีความแตกต่างกัน (Underkofler and Hickley, 1954; Eero and Merrja, 1983)

สำหรับในประเทศไทย ภัทรา มณีธวัช (2520) ได้ทำการวิเคราะห์ส่วนประกอบต่าง ๆ ของกากน้ำตาลในประเทศ (ตารางที่ 2.1) และสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (2524) ได้กำหนดมาตรฐานเพื่อใช้ในการซื้อขายกากน้ำตาลภายในประเทศ (ตารางที่ 2.2)

ตารางที่ 2.1 ส่วนประกอบส่วนใหญ่ของกากน้ำตาลในประเทศไทย

ส่วนประกอบ	ร้อยละโดยน้ำหนัก
น้ำ (water)	17 – 25
น้ำตาลซูโครส (sucrose)	30 – 40
น้ำตาลอินเวิร์ท (invert sugar)	10 – 25
เถ้า (ash)	7 – 15
สารอินทรีย์ซึ่งไม่ใช่น้ำตาล	10 – 20
นอกจากนี้ยังมีแร่ธาตุต่าง ๆ อีก คือ	
ไนโตรเจน	0.86
ฟอสฟอรัส	0.18
โพแทสเซียม	3.00
แคลเซียม	0.50
เหล็ก	0.045
ทองแดง	0.45
โซเดียม	0.38

ที่มา : ภัทรา มณีธวัช (2520)

ตารางที่ 2.2 คุณลักษณะทางเคมีของกากน้ำตาลตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

ลำดับที่	คุณลักษณะ	เกณฑ์ที่กำหนด
1	สารละลายทั้งหมด (brix solid) วัดที่ 20 องศาเซลเซียส องศาบริกซ์ไม่น้อยกว่า	79
2	น้ำตาลทั้งหมด (total sugar expressed as invert sugar) ร้อยละของน้ำหนักไม่น้อยกว่า	50
3	เถ้าซัลเฟต (sulfate ash) ร้อยละของน้ำหนักไม่เกิน	11
4	ความเป็นกรด – ด่าง (pH)	5 – 6

ที่มา : สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (2524)

ในการผลิตแอลกอฮอล์ในระดับอุตสาหกรรมภายในประเทศมักนิยมใช้กากน้ำตาลชนิด blackstrap molasses เป็นแหล่งคาร์บอน ซึ่งในกากน้ำตาลชนิด blackstrap molasses นอกจากจะมีน้ำตาลชนิดต่าง ๆ เช่น กลูโคส (glucose) ซูโครส (sucrose) ฟรุคโตส (fructose) และราฟฟิโนส (raffinose) ซึ่งเป็นสารคอปเปอร์รีดิวซ์ (copper reducing substance) ที่ยีสต์สามารถใช้ในการหมักแอลกอฮอล์แล้ว ยังมีสารคอปเปอร์รีดิวซ์อื่น ๆ ที่ยีสต์ไม่สามารถใช้ในการหมักแอลกอฮอล์ ส่วนใหญ่จะเป็นคาราเมล (caramel) ของน้ำตาลชนิดต่าง ๆ เป็นสารที่ไม่มีธาตุไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบ สารนี้ถูกย่อยสลายได้ง่าย เกิดจากการที่น้ำตาลได้รับความร้อนมากเกินไปในระหว่างการผลิตน้ำตาลทราย และเมลานอยดิน (melanoidin) เป็นสารที่มีธาตุไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบ เกิดจากการรวมตัวกันของน้ำตาลชนิดต่าง ๆ กับกรดอะมิโน (amino acid) ที่อุณหภูมิสูงโดยปฏิกิริยาบราวนิ่ง (browning reaction) หรือปฏิกิริยาสีน้ำตาลโดยไม่อาศัยเอนไซม์ หรือเรียกอีกชื่อหนึ่งว่าปฏิกิริยาเมลลาร์ด (Maillard reaction) ซึ่งมีสีเหลืองจนถึงสีน้ำตาลเข้ม จึงทำให้กากน้ำตาลและน้ำกากส่ามีสีน้ำตาลเข้มขึ้นด้วย (Underkofler and Hickley, 1954)

การนำกากน้ำตาลไปใช้โดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงหรือปรับปรุงคุณภาพพบว่าก่อปัญหาในการใช้ เนื่องจากในกากน้ำตาลมีสารประกอบบางอย่างที่มีผลยับยั้งการเจริญและการหมักแอลกอฮอล์ของยีสต์เจือปนอยู่ เช่น ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ไฮดรอกซีเมธิลเฟอฟูรัล กรดไขมัน โพแทสเซียมอิมิโดไดซัลโฟเนต และธาตุโลหะ (Rose and Harrison, 1970) ซึ่งธาตุโลหะบางชนิดที่พบในกากน้ำตาลก็มีความจำเป็นต่อการเจริญของยีสต์ เช่น ทองแดง สังกะสี และแมงกานีส เป็นต้น แต่หากพบเป็นปริมาณมากก็จะมีผลยับยั้งกระบวนการหมักโดยจะแสดงความเป็นพิษในรูปของแคทไอออน (cation) เช่น Cu^{2+}, Zn^{2+} และ Mn^{2+} (Rose และ Harrison, 1971) สารที่ยับยั้งการเจริญและการหมักของยีสต์เหล่านี้จะก่อให้เกิดสภาวะที่ไม่เหมาะสมต่อการหมักเป็นเหตุให้อัตราการหมักต่ำ เช่น การหมักแอลกอฮอล์ของโรงงานสุราทั่วไปใช้เวลาหมักถึง 50 ชั่วโมง กล่าวได้ว่าปริมาณการหมักต่ำจึงทำให้สิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายในการผลิตมาก (คะนอง ศรีนรคุตร, 2532)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.1.3 กระบวนการหมักแอลกอฮอล์

2.1.3.1 จุลินทรีย์สำคัญในกระบวนการหมักแอลกอฮอล์

จุลินทรีย์ที่มีบทบาทสำคัญต่ออุตสาหกรรมการผลิตแอลกอฮอล์ คือ ยีสต์ *Saccharomyces* sp. ซึ่งเป็นพวกราแท้ (true fungi) ชนิดหนึ่ง จัดอยู่ในชั้นแอสโคไมซีติส (Class Ascomycetes) ไม่มีคลอโรฟิลล์ มีนิวเคลียส เคลื่อนไหวไม่ได้ รูปร่างกลมรีหรือรูปไข่ มีขนาดโตกว่าแบคทีเรีย คือ กว้างประมาณ 1 – 5 ไมโครเมตร ยาวประมาณ 5 – 30 ไมโครเมตร (Paturau, 1989)

โดยทั่วไปยีสต์ที่ใช้ในอุตสาหกรรมหมักแบ่งออกเป็น 2 พวก คือ พวกที่มีความสามารถในการใช้น้ำตาลเพื่อสร้างเซลล์ใหม่ได้ดีกว่าการหมักแอลกอฮอล์ และอีกพวกที่ใช้น้ำตาลไปในการหมักแอลกอฮอล์ดีกว่าการสร้างเซลล์ใหม่หรือสารประกอบอื่น ๆ ซึ่งชนิดของสายพันธุ์ยีสต์ที่นิยมใช้ในการหมักแอลกอฮอล์ ได้แก่ *Saccharomyces cerevisiae* และ *Saccharomyces uvarum* (*carlsbergensis*) เนื่องจากยีสต์ทั้งสองชนิดมีลักษณะทนทานต่อแอลกอฮอล์ ทนทานต่อก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ความดันอากาศ และสามารถหมักแอลกอฮอล์ได้รวดเร็ว โดยยีสต์ *Saccharomyces cerevisiae* จะทนทานต่อสภาวะแวดล้อมในการหมักได้ดีกว่า (Jones et al., 1981)

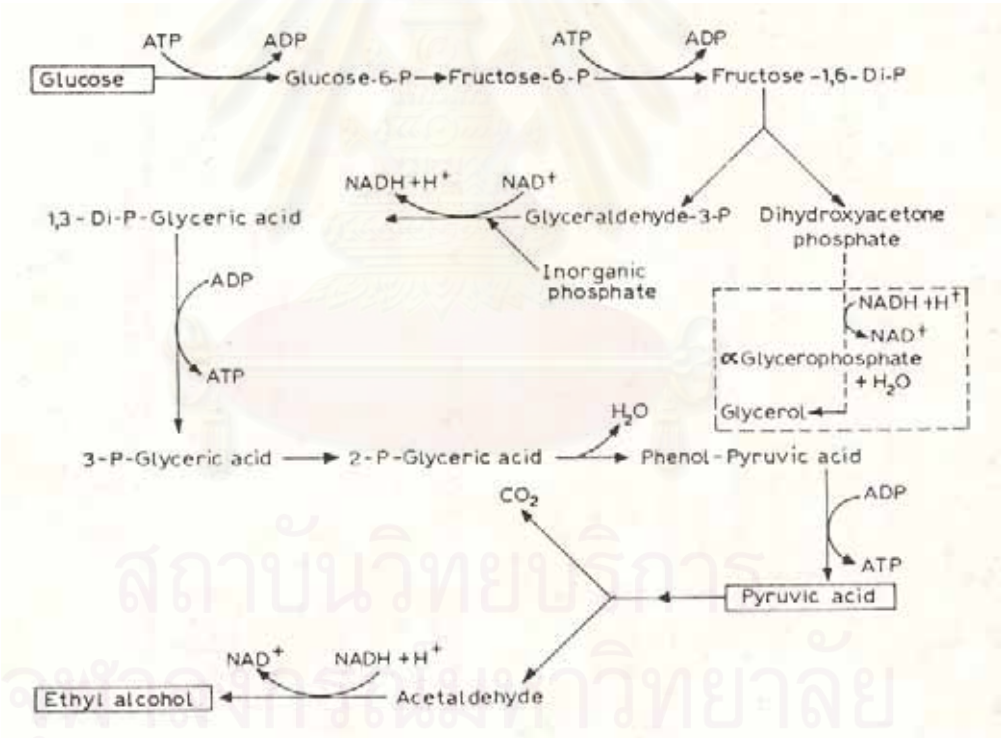
การหมักแอลกอฮอล์เป็นกระบวนการหมักที่เกิดขึ้นในไซโทพลาสซึมของเซลล์ยีสต์โดยอาศัยปฏิกิริยาของเอนไซม์ในการเปลี่ยนซับสเตรทกลูโคสภายใต้สภาวะที่ไม่มีออกซิเจนให้เป็นแอลกอฮอล์กับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ในขั้นแรกกลูโคสจะเปลี่ยนแปลงไปตามวิถีไกลโคไลซีส (glycolysis) หรือ Embden – Meyerhof – Parnas pathway จนได้ไพรูเวท (pyruvate) และเปลี่ยนเป็นแอลกอฮอล์ต่อไป (Paturau, 1989) ดังแสดงในภาพที่ 2.2 หรืออาจเขียนเป็นสมการ ดังนี้

$$C_{12}H_{22}O_6 + H_2O + \text{invertase} \longrightarrow C_6H_{12}O_6 + C_6H_{12}O_6$$

$$C_6H_{12}O_6 \longrightarrow 2C_2H_5OH + 2CO_2$$

จากทฤษฎีค่าคำนวณกลูโคสแต่ละกรัมจะได้แอลกอฮอล์ 0.51 กรัมและคาร์บอนไดออกไซด์ 0.49 กรัม ในสภาพปกติแอลกอฮอล์ที่ผลิตได้จริงจากการหมักไม่เกิน 90 – 95 เปอร์เซ็นต์ของค่าทฤษฎี ถ้าน้ำตาลเริ่มต้นในการหมัก 16 – 18 เปอร์เซ็นต์เมื่อสิ้นสุดการหมักจะได้แอลกอฮอล์ 7 – 8 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรและเหลือน้ำตาลตกค้างที่ยีสต์ไม่สามารถหมักได้

ประมาณ 2 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งปริมาณน้ำตาลเริ่มต้นที่เหมาะสมในการหมักเพื่อผลิตแอลกอฮอล์ของยีสต์อยู่ในช่วง 14 – 18 เปอร์เซ็นต์ ถ้าสูงกว่านี้จะไปยับยั้งการเจริญ (Jones et al., 1981) และถ้าในการหมักมีน้ำตาลเหลืออยู่มากก็จะก่อให้เกิดปัญหาในการบำบัดน้ำเสีย แต่ถ้าปริมาณน้ำตาลต่ำเกินไปแอลกอฮอล์ที่ได้ก็จะต่ำทำให้สิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายในการกลั่นสูง และในการหมักยังต้องมีการเติมธาตุอาหารเสริมซึ่งจะทำให้เกิดการสูญเสียทางเศรษฐกิจ ในการหมักแอลกอฮอล์ยังนิยมใช้แบบแบทช์ (batch) ปริมาณหัวเชื้อที่ใช้หมักเริ่มต้นควรมีจำนวนเซลล์ทั้งหมดเท่ากับ 10^7 เซลล์ต่อมิลลิลิตร และในสภาวะที่ไม่มีออกซิเจนเมื่อสิ้นสุดกระบวนการหมักโดยทั่วไปใช้ระยะเวลาไม่แน่นอนส่วนใหญ่จะอยู่ในช่วง 36 – 72 ชั่วโมงและจะมีจำนวนเซลล์ทั้งหมดเพิ่มขึ้นประมาณ 1.5 x 10^8 เซลล์ต่อมิลลิลิตรและได้ปริมาณแอลกอฮอล์ประมาณ 6 – 9 เปอร์เซ็นต์ (Jones et al., 1981) ในปี ค.ศ.1916 Cruess et al. (Rose and Harrison, 1971) รายงานว่าปริมาณแอลกอฮอล์สูงสุดที่ยีสต์สามารถจะหมักได้มีค่าประมาณ 19 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร



ภาพที่ 2.2 วิถีไกลโคไลซีส หรือ Embden – Meyerhof – Parnas pathway ของกระบวนการหมัก (Paturau,1989)

2.1.3.2 ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการหมักยีสต์เพื่อผลิตแอลกอฮอล์

(1) **ไนโตรเจน** ในกากน้ำตาลอ้อยมีสารไนโตรเจนแต่ยังมีปริมาณไม่เพียงพอต่อยีสต์ในการใช้เพื่อการเจริญเติบโต จึงต้องมีการเติมแอมโมเนียมซัลเฟตหรือแอมโมเนียมฟอสเฟตเพื่อเพิ่มสารอาหารไนโตรเจน ยีสต์ทุกชนิดสามารถใช้แอมโมเนียมซัลเฟตเป็นแหล่งไนโตรเจนและยีสต์ใช้แอมโมเนียมอิออนเป็นแหล่งไนโตรเจนได้เร็วกว่าสารไนโตรเจนอื่น (Jones et al., 1981)

(2) **ฟอสฟอรัส** กากน้ำตาลทุกชนิดมีไนโตรเจนและฟอสเฟตแต่มีปริมาณไม่เพียงพอและฟอสเฟตบางส่วนเป็นสารประกอบอินทรีย์ยีสต์ใช้ไม่ได้ ในอุตสาหกรรมการหมักจึงมีการเติมฟอสเฟตในรูปแอมโมเนียมฟอสเฟตหรือเกลืออัลคาไลน์ฟอสเฟต (Reed and Nagodawithana, 1991) ฟอสฟอรัสจำเป็นต่อการเจริญและกระบวนการหมักแอลกอฮอล์ของยีสต์อาจเติมฟอสฟอรัสในรูปแคลเซียมซูเปอร์ฟอสเฟต ไดแอมโมเนียมฟอสเฟต หรือกรดฟอสฟอริค ยีสต์ทุกชนิดจะใช้โพแทสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟตได้ดีกว่าไดโซเดียมไฮโดรเจนฟอสเฟต (Rose and Harrison, 1971) ยีสต์จะใช้ฟอสฟอรัสในการสร้าง ATP สังเคราะห์นิวคลีโอโปรตีนและสารอื่น ๆ ในเซลล์ และฟอสฟอรัสยังช่วยเป็นบัฟเฟอร์รักษาค่าความเป็นกรด – ด่างในอาหารเลี้ยงเชื้อ

(3) **แมกนีเซียม** แมกนีเซียมจำเป็นต่อการกระบวนการหมักแอลกอฮอล์ โดยแมกนีเซียมไอออนเป็นโคแฟคเตอร์ของเอนไซม์หลายชนิดใน Embden – Meyerhof – Parnas pathway (Conn and Stumpf, 1976) และเนื่องจากในกากน้ำตาลมีแมกนีเซียมน้อยจึงต้องมีการเติมเกลือแมกนีเซียมลงในอาหารเลี้ยงเชื้อ

(4) **วิตามิน** วิตามินมีบทบาทสำคัญในการควบคุมเมตาบอลิซึมของยีสต์โดยจะเป็นโคเอนไซม์หรือสารตั้งต้น (precursors) ที่สำคัญในการทำงานของเอนไซม์ (Jones et al., 1981) ยีสต์ทุกชนิดต้องการไบโอติน กรดแพนโตทีนิคและอินโนซิทอลสำหรับการเจริญเติบโต ซึ่งโดยทั่วไปกากน้ำตาลมีวิตามินเหล่านี้อยู่เพียงพอ (Rose and Harrison, 1971; Rosen, 1977)

(5) **ธาตุอาหารอื่น ๆ ที่จำเป็นต่อการเจริญของยีสต์** ได้แก่ โพแทสเซียม แคลเซียม นอกจากนี้ยีสต์ยังต้องการธาตุอาหารที่จำเป็นในปริมาณน้อยบางชนิด เช่น เหล็ก สังกะสี และทองแดง ซึ่งธาตุเหล่านี้มีเพียงพอในกากน้ำตาล (Paturau, 1989; Reed and Nagodawithana, 1991)

(6) **ค่าความเป็นกรด – ด่าง** ยีสต์ส่วนใหญ่เจริญได้ดีในช่วงความเป็นกรด – ด่าง 3.5 – 7.0 ค่าความเป็นกรด – ด่างที่เหมาะสมต่อการเจริญของ *Saccharomyces cerevisiae* คือ 4.5 (Jones et al., 1981) ในอุตสาหกรรมหมักจะมีการปรับความเป็นกรด – ด่างให้อยู่ในช่วง 3.5 – 4.5 เพื่อให้อยู่ในระดับที่เหมาะสมและเป็นการยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียที่ปะปนมาด้วย ความสามารถในการรักษาระดับความเป็นกรด – ด่างในอาหาร (buffering capacity) เป็นสิ่งสำคัญเพื่อให้ยีสต์สามารถเกิดการหมักได้ตลอดกระบวนการหมัก

(7) **อุณหภูมิ** อุณหภูมิที่เหมาะแก่การเจริญของยีสต์ส่วนใหญ่อยู่ระหว่าง 25 – 30 องศาเซลเซียส (Rose and Harrison, 1971) ซึ่งในอุตสาหกรรมหมักส่วนใหญ่จะใช้อุณหภูมิประมาณ 30 องศาเซลเซียส เนื่องจากปฏิกิริยาการหมักแอลกอฮอล์จะเกิดความร้อนทำให้อุณหภูมิในถังหมักสูงขึ้น โดยน้ำตาลกลูโคส 1 กรัมโมลจะให้ปริมาณความร้อน 26 กิโลแคลอรี่ ดังนั้นจึงต้องควบคุมอุณหภูมิของถังหมักและรักษาให้อยู่ในช่วงไม่เกิน 32 – 33 องศาเซลเซียส (Underkofler and Hickley, 1954)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.1.4 กระบวนการผลิตสุราจากกากน้ำตาล

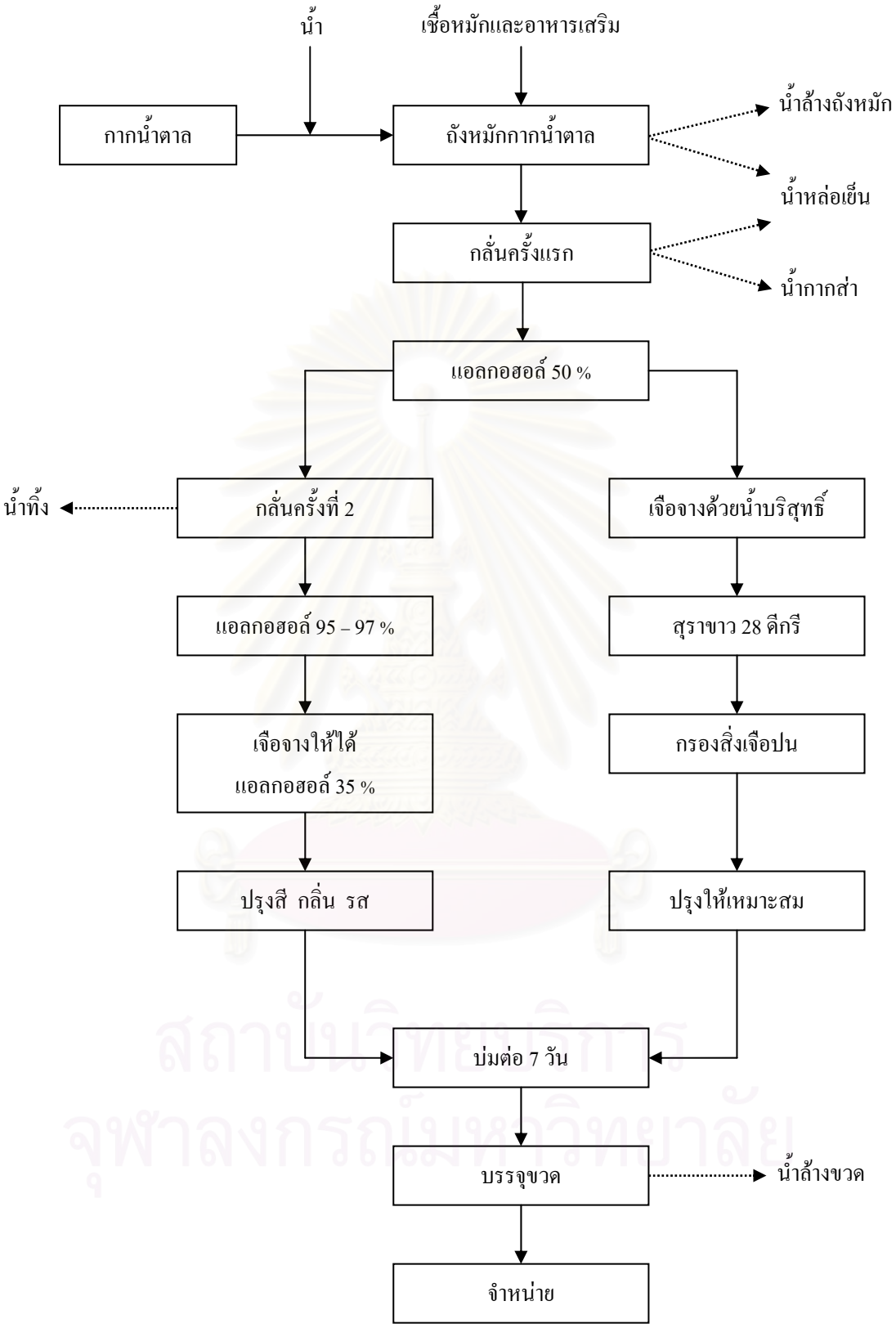
แบ่งได้ 4 ขั้นตอนใหญ่ ๆ (ภาพที่ 2.3) ดังนี้

(1) การหมักกากน้ำตาล (fermentation) กากน้ำตาลเป็นผลผลิตที่เหลือจากการผลิตน้ำตาลที่ใช้อ้อยเป็นวัตถุดิบซึ่งเป็นส่วนที่ไม่สามารถตกผลึกได้ต่อไปอีก มีสีดำหรือสีน้ำตาลเข้ม มีปริมาณน้ำตาลอยู่ประมาณร้อยละ 50 โดยน้ำหนัก ดังนั้นการหมักจึงต้องเจือจางกากน้ำตาลด้วยน้ำ 3 เท่าแล้วจึงใส่เชื้อหมัก (yeast) ใช้สำหรับการหมักเพื่อเปลี่ยนน้ำตาลเป็นแอลกอฮอล์ และใส่อาหารเสริม เช่น แอมโมเนียมฟอสเฟตและแอมโมเนียมซัลเฟต การหมักใช้เวลาประมาณ 3 วันโดยมีอุณหภูมิภายในถังหมักระหว่าง 34 – 35 องศาเซลเซียสและค่าพีเอชเท่ากับ 4.0 แอลกอฮอล์ร้อยละ 8 – 10 โดยปริมาตร ส่วนผสมของแอลกอฮอล์ภายหลังการหมักนี้เรียกว่าเบียร์ (beer) หรือแมช (mash) หรือน้ำส่าซึ่งจะถูกส่งต่อไปยังหอกลั่น

(2) การกลั่นแอลกอฮอล์ (distillation) น้ำส่าถูกส่งมายังหอกลั่นแรกเพื่อกลั่นแยกแอลกอฮอล์ออกมา จะได้แอลกอฮอล์ประมาณร้อยละ 50 ซึ่งเรียกว่าสุรา ส่วนหนึ่งของที่กลั่นได้จะถูกนำไปผลิตเป็นสุราขาวและอีกส่วนหนึ่งจะถูกส่งไปกลั่นในขั้นต่อไปเพื่อให้ได้แอลกอฮอล์บริสุทธิ์ร้อยละ 95 – 97 โดยปริมาตร

(3) การผลิตสุราขาว (raw alcohol production) ส่วนหนึ่งของแอลกอฮอล์ร้อยละ 50 โดยปริมาตรที่ได้จากการกลั่นครั้งแรกจะถูกนำมาเจือจางด้วยน้ำบริสุทธิ์เพื่อให้มีความเข้มข้นของแอลกอฮอล์ร้อยละ 28 โดยปริมาตรหรือ 28° (28 degree) เรียกว่าสุราขาว จากนั้นกรองเศษผงและสิ่งเจือปนออก ปรุงให้เหมาะสม และนำมาบ่มต่อประมาณ 7 วัน แล้วนำไปบรรจุขวดเพื่อจำหน่ายต่อไป

(4) การผลิตสุราผสม (blended liquor production) นำแอลกอฮอล์บริสุทธิ์ร้อยละ 95 – 97 โดยปริมาตรที่ได้จากการกลั่นครั้งที่สองมาเจือจางด้วยน้ำให้มีความเข้มข้นของแอลกอฮอล์ร้อยละ 35 โดยปริมาตรหรือ 35° (35 degree) แล้วเติมสี ยาสมุนไพร และส่วนประกอบอื่น ๆ เพื่อให้ได้กลิ่นหอมและรสชาติตามความต้องการ จากนั้นนำมากรองและบ่มต่อประมาณ 7 วันก่อนบรรจุลงขวดเพื่อจำหน่ายต่อไป



ภาพที่ 2.3 แผนผังกรรมวิธีการผลิตสุราจากกากน้ำตาลและจุดปล่อยน้ำทิ้งของโรงงานสุรา (มาลี วิศวาจารย์, 2531)

2.2 น้ำทิ้งจากโรงงานสุรา

น้ำทิ้งจากโรงงานสุราแบ่งเป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ คือ น้ำทิ้งประเภทเข้มข้นและน้ำทิ้งประเภทเจือจาง

(1) น้ำทิ้งประเภทเข้มข้น น้ำทิ้งส่วนนี้มีค่าบีโอดีสูงประมาณ 25,000 – 350,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ได้แก่ น้ำล้างถังหมักและน้ำกากส่า ปริมาณน้ำทิ้งทั้งสองขึ้นอยู่กับอัตราการผลิตของแต่ละโรงงาน เนื่องจากน้ำล้างถังหมักมีปริมาณน้อยประมาณ 5 – 10 ลูกบาศก์เมตรต่อวันจึงนำไปกำจัดรวมกับน้ำกากส่า

(2) น้ำทิ้งประเภทเจือจาง เป็นน้ำทิ้งที่มีค่าบีโอดีต่ำประมาณ 100 – 4,500 มิลลิกรัมต่อลิตร ได้แก่ น้ำล้างขวด น้ำหล่อเย็น และน้ำใช้จากอาคารบ้านเรือน เป็นต้น น้ำทิ้งประเภทนี้ไม่นำมาบำบัดรวมกับน้ำกากส่า เนื่องจากมีค่าบีโอดีแตกต่างกันมากและมีปริมาณสูง การแยกบำบัดจะทำให้ประหยัดค่าใช้จ่ายมากกว่า ปริมาณและลักษณะของน้ำล้างขวดจากโรงงานสุรา แสดงในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 ปริมาณและลักษณะของน้ำล้างขวดจากโรงงานสุรา

ลักษณะ	หน่วย	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	ค่าเฉลี่ย
พีเอช	-	8.3	11.5	9.4
ปริมาณของแข็งทั้งหมด	มิลลิกรัมต่อลิตร	350	710	483
สารที่แขวนลอย	มิลลิกรัมต่อลิตร	34	130	91
บีโอดี	มิลลิกรัมต่อลิตร	40	115	90
ซีโอดี	มิลลิกรัมต่อลิตร	95	280	200

ที่มา : โรงงานสุรา กรมสรรพสามิต (2542)

จากรายงานการแก้ไขปัญหาน้ำเสียจากอุตสาหกรรมสุราและเอธิลแอลกอฮอล์ โดยไชยยุทธ กลิ่นสุคนธ์ (2524) ได้ศึกษาคุณภาพและปริมาณน้ำเสียจากโรงงานสุราจากกระบวนการต่าง ๆ ได้แก่ น้ำกากส่า น้ำหล่อเย็นคอนเดนเซอร์ น้ำหล่อถังหมัก น้ำแช่ข้าวเหนียว น้ำล้างขวด และน้ำดักเถ้าในหม้อไอน้ำ ผลดังตารางที่ 2.4 พบว่าประเภทของน้ำเสียที่มีความสกปรกมากกว่าน้ำเสียประเภทอื่น ๆ คือ น้ำกากส่าและน้ำแช่ข้าวเหนียว โดยน้ำกากส่ามีค่าบีโอดี 27,500 มิลลิกรัมต่อลิตร ซีโอดี 118,000 มิลลิกรัมต่อลิตร และปริมาณของน้ำเสียต่อวันของน้ำแช่ข้าวเหนียวเมื่อเทียบกับน้ำกากส่าพบว่ามีค่าน้อยมาก

ตารางที่ 2.4 คุณภาพและปริมาณของน้ำเสียจากโรงงานสุราจากกระบวนการต่าง ๆ

ประเภทของน้ำเสีย	คุณสมบัติโดยเฉลี่ย		ปริมาณน้ำเสียต่อวันคิดเป็นจำนวนเท่าของน้ำกากส่า
	บีโอดี (มิลลิกรัม/ลิตร)	ซีโอดี (มิลลิกรัม/ลิตร)	
น้ำกากส่า	27,500	118,000	1
น้ำหล่อเย็นคอนเดนเซอร์	27	53	18
น้ำหล่อถังหมัก	160	223	8
น้ำแช่ข้าวเหนียว	1,344	2,246	น้อยมาก
น้ำล้างขวด	100	220	0.5
น้ำดักเถ้าในหม้อไอน้ำ	-	24	น้อยมาก

ที่มา : ไชยยุทธ์ กลิ่นสุคนธ์ (2524)

สำหรับคุณภาพของน้ำเสียประเภทต่าง ๆ จากโรงงานสุรามีลักษณะแตกต่างกันดังแสดงในตารางที่ 2.5 ซึ่งทำการสำรวจคุณภาพของน้ำเสียประเภทต่าง ๆ ของโรงงานต้มกลั่นสุรา 32 แห่งทั่วประเทศโดยสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (สวท.) (กรมสรรพสามิต, 2526) พบว่าน้ำกากส่ามีค่าบีโอดีอยู่ระหว่าง 17,500 – 45,000 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีค่าเฉลี่ย 27,475 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนค่าซีโอดีอยู่ระหว่าง 56,970 – 193,600 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีค่าเฉลี่ย 118,100 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีค่าของแข็งทั้งหมด (TS) เฉลี่ย 75,830 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนน้ำล้างขวดและน้ำหล่อเย็นคอนเดนเซอร์มีค่าความสกปรกในรูปบีโอดีและซีโอดีน้อยกว่าน้ำกากส่ามาก

ตารางที่ 2.5 คุณภาพของน้ำเสียประเภทต่าง ๆ ของโรงงานต้มกลั่นสุรา 32 แห่งทั่วประเทศ

ประเภทของน้ำเสีย	ค่าเฉลี่ย															
	ปริมาณน้ำทิ้ง (m^3/d)	pH	Temp ($^{\circ}C$)	BOD_5 (mg/l)	COD (mg/l)	COD/ BOD	SS (mg/l)	TS (mg/l)	TVS (mg/l)	Settleable solid (mg/l)	Total N (mg/l)	P (mg/l)	K (mg/l)	SO_4 (mg/l)	Alkalinity (mg/l)	Hardness (mg/l)
น้ำกากส่า	90	3.7	88.6	27,475	118,100	4.3	11,319	75,830	58,520	27	940	115	4,760	3,720	-	-
น้ำล้างขวด	90	7.2	29.5	100	220	2.2	107.3	308.5	143.8	-	3.2	0.16	-	-	-	-
น้ำหล่อเย็นคอนเดนเซอร์	812	6.8	42.8	27	54.2	2.0	72.4	277.8	96.4	-	347	7	-	-	77	57

ที่มา : ดัดแปลงจาก กรมสรรพสามิต (2526)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.2.1 น้ำกากส่า

จากภาพที่ 2.3 จะเห็นว่าน้ำกากส่า (distillery slop) เป็นน้ำทิ้งซึ่งแยกออกจากหอกลั่นแรก (mash distilling column) จากกระบวนการผลิตสุรา โดยน้ำกากส่าสามารถแบ่งได้ 2 ชนิด คือ กากส่าขาวซึ่งได้จากการใช้ข้าวเหนียวเป็นวัตถุดิบในการผลิต และกากส่าแดงซึ่งได้จากกระบวนการผลิตที่ใช้กากน้ำตาลเป็นวัตถุดิบ น้ำกากส่าจากโรงงานสุราเกือบทุกแห่งในประเทศไทยเป็นชนิดกากส่าแดง มีสีน้ำตาลเข้มหรือดำ มีฤทธิ์เป็นกรด และมีความเข้มข้นของปริมาณสารอินทรีย์สูง โดยปกติที่อัตราการผลิต 4,500 เทต่อวัน (1 เท = 20 ลิตร) จะมีปริมาณน้ำกากส่าประมาณ 300 ลูกบาศก์เมตรต่อวันหรือมีปริมาณน้ำกากส่าประมาณ 3.5 เท่าของอัตราการผลิต (มาลี วิศวาจารย์, 2531) ลักษณะทางกายภาพของน้ำกากส่ามีสีน้ำตาลเข้มเช่นเดียวกับสีของกากน้ำตาลซึ่งมีค่าบีโอดีและซีโอดีสูง โดยมีค่าบีโอดีประมาณ 60,000 มิลลิกรัมต่อลิตรและมีค่าซีโอดีประมาณ 150,000 มิลลิกรัมต่อลิตร สรุปได้ดังตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.6 ลักษณะของน้ำกากส่าจากโรงงานสุรา กรมสรรพสามิต

ลักษณะ	ค่าเฉลี่ย	หน่วย
ปริมาณการไหล	500	ลูกบาศก์เมตรต่อวัน
BOD	60,000	มิลลิกรัมต่อลิตร
COD	150,000	มิลลิกรัมต่อลิตร
TKN	1,750	มิลลิกรัมต่อลิตร
ฟอสฟอรัส	150	มิลลิกรัมต่อลิตร
ซัลเฟต	4,500	มิลลิกรัมต่อลิตร
โพแทสเซียม	5,500	มิลลิกรัมต่อลิตร
ของแข็งแขวนลอย	14,000	มิลลิกรัมต่อลิตร
แคลเซียม	1,650	มิลลิกรัมต่อลิตร
อุณหภูมิ	60	องศาเซลเซียส
pH	4.1 – 4.6	-

ที่มา : ดัดแปลงจาก สุนันท์ พูลธนกิจ (2547)

สำหรับในต่างประเทศ เช่น แถบทวีปยุโรป ได้นำน้ำกากส่าไปทำให้เข้มข้นหรือทำให้แห้งเพื่อใช้เป็นอาหารสัตว์หรือทำเป็นปุ๋ยอินทรีย์ (Underkofler and Hickley, 1954; Chang and Yang, 1973; Wang et al., 1980) ซึ่งองค์ประกอบของน้ำกากส่าที่ทำให้แห้งแล้ว ดังตารางที่ 2.7

ตารางที่ 2.7 องค์ประกอบของน้ำกากส่าที่ทำให้แห้งแล้ว

องค์ประกอบ	ร้อยละ
mineral matter	28.5 – 29.0
sugar (copper reducing sugar)	10.0 – 12.0
protein	8.0 – 10.0
volatile acids	1.0 – 2.0
gums	19.0 – 20.0
combined lactic acid	4.0 – 5.0
other combine organic acid	1.0 – 2.0
glycerol	5.0 – 6.0
wax, phenolic bodies, lignin, glucoside, etc.	12.0 – 22.0

ที่มา : Underkofler and Hickley (1954)

น้ำกากส่าที่เกิดขึ้นนอกจากมีค่าบีโอดีสูงแล้วยังมีสีน้ำตาลเข้ม ซึ่งสีน้ำตาลเข้มในน้ำกากส่านั้นเป็นผลมาจากปฏิกิริยาบราวนิ่ง (browning reaction) หรือปฏิกิริยาสีน้ำตาลโดยไม่อาศัยเอนไซม์ หรือเรียกอีกชื่อหนึ่งว่าปฏิกิริยาเมลลาร์ด (Maillard reaction) ซึ่งถูกค้นพบครั้งแรกเมื่อปี ค.ศ. 1912 โดย Louis Maillard เนื่องจากในกากน้ำตาลนอกจากจะมีน้ำตาลชนิดต่าง ๆ เช่น กลูโคส ซูโครส ฟรุคโตส และราฟฟิโนส ซึ่งเป็นสารคอปเปอร์รีดิวซ์ที่ยีสต์สามารถใช้ในการหมักแอลกอฮอล์แล้ว ยังมีสารคอปเปอร์รีดิวซ์อื่น ๆ ที่ยีสต์ไม่สามารถใช้ในการหมักแอลกอฮอล์ ส่วนใหญ่จะเป็นคาราเมลของน้ำตาลชนิดต่าง ๆ เกิดจากการที่น้ำตาลได้รับความร้อนมากเกินไปในระหว่างการผลิตน้ำตาลทราย และเมลานอยดิน เกิดจากการรวมตัวกันของน้ำตาลชนิดต่าง ๆ กับกรดอะมิโน (amino acid) ที่อุณหภูมิสูงโดยปฏิกิริยาบราวนิ่ง พัฒนาเป็นสารประกอบเชิงซ้อนมีสีเหลืองจนถึงสีน้ำตาลและสีน้ำตาลแดง (บุญเทียม พันธุ์เพ็ง, 2523; สุจินต์ พนาปวุฒิกุล, 2527; Underkofler and Hickley, 1954) สารนี้ถูกย่อยสลายได้ยาก จึงเป็นปัญหาใน

การกำจัดก่อนที่จะปล่อยลงสู่แหล่งน้ำ ซึ่ง Watanabe et al. (1982) กล่าวว่าสีน้ำตาลเข้มในน้ำกากส่าส่วนมากแล้วเกิดจากสารจำพวกเมลานอยดิน

การเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลที่ไม่อาศัยเอนไซม์ สามารถจำแนกได้เป็น 2 แบบ (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2545) คือ

(1) การเกิดคาราเมไลเซชัน (caramelization) คาราเมไลเซชันเป็นการใช้ความร้อนสูงสลายโมเลกุลของน้ำตาลให้แยกออก (thermolysis) และเกิดพอลิเมอไรเซชันของสารประกอบคาร์บอนได้เป็นสารสีน้ำตาล ปฏิกิริยานี้สารเริ่มต้นจะเป็นน้ำตาลเท่านั้น โดยสารสีที่เกิดจากปฏิกิริยาคาราเมไลเซชันของน้ำตาลเพียงอย่างเดียวจะประกอบด้วยคาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจน เรียกว่าคาราเมล ซึ่งสารสีน้ำตาลแดงที่ใช้เป็นสารสีในเบียร์และเครื่องดื่มแอลกอฮอล์นั้นเกิดจากการให้ความร้อนกับน้ำตาลเพียงอย่างเดียว และเมื่อละลายน้ำจะได้สารละลายคอลลอยด์ที่มีประจุลบเล็กน้อยและมีพีเอชประมาณ 3 – 4

(2) การเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ด เป็นปฏิกิริยาระหว่างหมู่คาร์บอนิลจากโมเลกุลของน้ำตาลรีดิวซิงกับหมู่เอมีนที่อยู่ในโมเลกุลของแอมโมเนีย กรดอะมิโน หรือโปรตีนเป็น carbonyl – amine reaction และจะเกิดปฏิกิริยาต่อเนื่องจนได้สารสีน้ำตาลเรียกว่าปฏิกิริยาเมลลาร์ดหรือ nonenzymatic browning

ขั้นตอนของปฏิกิริยาเมลลาร์ด มีดังนี้

(1) น้ำตาลรีดิวซิงทั้งคีโตสและแอลโดสจะรวมตัวกับหมู่อะมิโนได้เป็นไกลโคซิลเอมีน

(2) เกิดปฏิกิริยาดีไฮเดรชันได้เป็นอิมีน (imines หรือ schiff base) และมีการเรียงตัวใหม่ซึ่งมีชื่อเรียกว่า Amadori rearrangement ได้เป็นแอลโดสเอมีน (aldosamine) หรือคีโตสเอมีน (ketoseamine) เรียกว่า Amadori products ซึ่งจะเกิดปฏิกิริยาต่อเนื่องได้เมื่อมีพีเอช 5 หรือต่ำกว่า

(3) เกิดปฏิกิริยา enolization ของ Amadori products ได้เป็นไดคีโตสเอมีนหรือไดอะมิโนชูการ์

(4) เกิดปฏิกิริยาดีไฮเดรชันต่อได้เป็นอนุพันธ์ของฟูแรน (furan) ถ้าเป็นน้ำตาลเฮกโซส อนุพันธ์ฟูแรน คือ 5 – ไฮดรอกซีเมทิล – 2 – เฟอรัลดีไฮด์ (5 – hydroxymethyl – 2 – furaldehyde หรือ HMF)

(5) อนุพันธ์ฟูแรนวงแหวน เช่น HMF จะเกิดพอลิเมอไรซ์อย่างรวดเร็วได้เป็นสารสีน้ำตาลที่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบอยู่ด้วยและไม่ละลายน้ำ ซึ่งต่างจากการเกิดคาราเมไลเซชันซึ่งมีน้ำตาลเพียงอย่างเดียว สารสีน้ำตาลที่เกิดขึ้นจึงเรียกว่าเมลานอยดิน ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นปฏิกิริยาโมลต่อโมล (mole per mole reaction) ดังนั้นผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาเมลลาร์ดที่ละลายจึงมีทั้งพอลิเมอร์ที่ละลายและไม่ละลายในน้ำและพบได้ในอาหารที่มีน้ำตาลรีดิวซิ่ง กรดอะมิโน โปรตีน หรือสารประกอบไนโตรเจนอื่น ๆ อยู่รวมกันและได้รับความร้อน

สำหรับการเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดของน้ำตาลฟรุคโตสจะเกิดปฏิกิริยาไดแอนไฮไดร์ด (dianhydrides) และเกิดสีน้ำตาลในภายหลังเช่นเดียวกัน

การเกิดเมลานอยดิน โดยปฏิกิริยาบราวนิ่งหรือปฏิกิริยาเมลลาร์ดนั้นแบ่งได้เป็น 3 ขั้นตอน ดังนี้

(1) ขั้นแรก (early stage) เป็นขั้นที่หมู่คาร์บอนิลของน้ำตาลรวมตัวกันกับหมู่เอมีนของสารประกอบอะมิโนได้เป็นสารที่อยู่ในรูปเสถียรเรียกว่าสารประกอบอะมาโดริ (Amadori compound)

(2) ขั้นมัธยันตร์ (intermediate stage) ในขั้นนี้สารประกอบอะมาโดริจากขั้นที่ (1) จะเกิดปฏิกิริยาต่าง ๆ เช่น ปฏิกิริยาการแตกสลาย (fission) ปฏิกิริยาการขจัดน้ำออก (dehydration) เป็นต้น ซึ่งจะทำให้ได้สารมัธยันตร์ (intermediate substance) ต่าง ๆ เกิดขึ้นมากมาย

(3) ขั้นสุดท้าย (late stage) คือ ขั้นตอนการเกิดเมลานอยดิน ในขั้นนี้สารมัธยันตร์ต่าง ๆ จากขั้นที่ (1) และ (2) จะมาทำปฏิกิริยาเชื่อมต่อกันเกิดเป็นพอลิเมอร์ที่มีขนาดใหญ่ขึ้น มีน้ำหนักโมเลกุลสูง และมีสีน้ำตาลเข้มซึ่งก็คือเมลานอยดินนั่นเอง โดยโครงสร้างของสารจะแตกต่างกันออกไปตามสารตั้งต้น ดังนั้นการกำจัดสีเมลานอยดินหรือน้ำกากส่าด้วยวิธีปกติทำได้ยาก

2.2.2 การกำจัดและการใช้ประโยชน์จากน้ำกากส่า

เนื่องจากน้ำกากส่าเป็นปัญหามลพิษอย่างมากเมื่อโรงงานต่าง ๆ ทิ้งลงสู่แม่น้ำลำคลอง ดังนั้นจึงต้องมีการปรับปรุงคุณภาพของน้ำกากส่าก่อนโดยการแยกสิ่งสกปรกต่าง ๆ ตลอดจนสีน้ำตาลเข้มของน้ำกากส่าให้มีปริมาณลดลงจนอยู่ในระดับที่ไม่ก่อให้เกิดปัญหามลพิษในแหล่งน้ำที่รับน้ำทิ้งนั้น

จากรายงานของสุจินต์ พนาปวุฒิกุล (2527) อ้างถึงในพัชรินทร์ นันทิวาวัฒน์ (2546) พบว่าในประเทศไทยได้มีการสร้างระบบกำจัดน้ำกากส่าหลายระบบด้วยกันตามความเหมาะสม ดังนี้

(1) การระเหยและการเผา (evaporation and combustion) โดยจะเคี่ยวน้ำกากส่าให้เข้มข้นในหม้อเคี่ยวสแตนเลสเพื่อให้มีความเข้มข้นสูงถึง 60 เปอร์เซ็นต์ซึ่งจะมีลักษณะคล้ายน้ำมันเตาข้นหรือกากน้ำตาลข้น จากนั้นก็นำมาผสมกับไอน้ำและอากาศและฉีดเข้าไปภายใต้ความดันสูงในเตาเผาที่อุณหภูมิ 1,000 องศาเซลเซียส แต่วิธีนี้ค่อนข้างจะยุ่งยากและมีราคาแพง นอกจากนั้นยังอาจจะทำให้เกิดมลภาวะของอากาศ กล่าวคือ มีเถ้าถ่านปลิวออกมามากมายและมีก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) ออกมาสู่อากาศเป็นจำนวนมาก มีกลิ่นเหม็นรุนแรง และเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต แต่ผลพลอยได้ คือ ปริมาณความร้อนที่เกิดขึ้นสามารถนำมาใช้แทนน้ำมันเตาในระบบหอกลั่นได้ และธาตุโพแทสเซียมที่เกิดจากการเผาน้ำกากส่านี้นำไปใช้ประโยชน์ได้

(2) การระเหย (evaporation) วิธีนี้มักจะใช้ทดลองกับน้ำกากส่าปริมาณน้อย ๆ โดยการเคี่ยวในกระทะขนาดใหญ่ที่มีปล่องระบายควัน วิธีนี้ก็ต้องใช้พลังงานมากเช่นกัน โดยน้ำกากส่า 1 ลูกบาศก์เมตรจะต้องใช้น้ำมันเตาถึง 28 ลิตร จะทำให้มีความเข้มข้นขึ้นจากเดิม 20 เท่าและน้ำกากส่าเข้มข้นที่ได้สามารถนำไปใช้เป็นปุ๋ยในการเกษตรได้ดี

(3) การหมักในถังหมักไร้อากาศ (anaerobic digestion) และกระบวนการเติมอากาศเลี้ยงตะกอน (activated sludge process) โดยการหมักน้ำกากส่าในถังหมักชีวภาพเพื่อให้ได้ก๊าซมีเทนมาใช้แทนน้ำมันเตา ปริมาณก๊าซมีเทนจะได้อยู่ในเกณฑ์ประมาณ 15 – 20 ลูกบาศก์เมตรต่อน้ำกากส่า 1 ลูกบาศก์เมตร น้ำกากส่าที่ผ่านการหมักนี้แล้วจะมีค่าบีโอดีลดลงไปราว 80 เปอร์เซ็นต์ซึ่งจะต้องนำไปบำบัดต่อโดยกระบวนการเติมอากาศเลี้ยงตะกอนซึ่งต้องใช้ค่าใช้จ่ายสูงมากประมาณ 100 – 200 บาทต่อน้ำกากส่า

1 ลูกบาศก์เมตร อย่างไรก็ตามน้ำกากส่าที่ผ่านการกำจัดโดยกระบวนการเติมอากาศเลี้ยงตะกอนแล้วยังมีสีน้ำตาลเข้มอยู่และมีค่าบีโอดีสูงเกินกว่าข้อกำหนดมาตรฐานน้ำทิ้งของกระทรวงอุตสาหกรรม และวิธีการกำจัดนี้ค่อนข้างซับซ้อนและต้องอาศัยผู้เชี่ยวชาญควบคุมการทำงานของระบบ แต่มีข้อดี คือ ใช้เนื้อที่น้อย

(4) การทำปุ๋ยหมัก (composting) โดยการขนเอาวัสดุเหลือใช้จากโรงงานอุตสาหกรรม เช่น ชานอ้อย ขี้เถ้าแกลบ ขุยมะพร้าว เป็นต้น นำมากองแล้วฉีดพ่นด้วยน้ำกากส่า แล้วทำการกลับเพื่อทำให้เกิดสภาพอากาศถ่ายเทได้โดยสะดวก นอกจากนี้ยังต้องเร่งการหมักด้วยการใส่เชื้อหมักเพื่อให้เกิดการสลายตัวได้เร็วขึ้น เมื่อหมักเรียบร้อยแล้วจะได้ปุ๋ยหมักมีสีดำเข้มและมีประโยชน์ในการเกษตร วิธีการนี้ลงทุนครั้งแรกต่ำ แต่ต้องเสียค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานสูงมากประมาณ 100 บาทต่อลูกบาศก์เมตร และจะทำได้ดีเฉพาะในฤดูแล้งเท่านั้นเพราะฤดูฝนจะมีปัญหาในการกลับกองปุ๋ย

(5) การทำบ่อเก็บกักและลานตาก (storage lagoon and land application) วิธีนี้ ได้แก่ การขุดบ่อเก็บกักน้ำกากส่าตลอดฤดูฝน 6 เดือน เมื่อน้ำกากส่าเต็มบ่อเก็บกักแล้วก็จะเกิดการย่อยสลายตัวโดยจุลินทรีย์ ในระยะ 6 เดือนนี้ค่าบีโอดีอาจลดลงตั้งแต่ 80 – 90 เปอร์เซ็นต์ แต่ค่าบีโอดีก็ยังคงสูงอยู่ประมาณ 3,000 – 6,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งไม่สามารถปล่อยลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะได้ จึงต้องนำไปกำจัดต่อด้วยการระบายน้ำกากส่ามาตากแห้งบนลานตากในฤดูแล้ง 6 เดือน โดยที่ลานตากนี้ทำหน้าที่คล้ายนาเกลือและอัตราการระเหยประมาณ 4 มิลลิเมตรต่อวัน ผลพลอยได้ คือ กากส่าแห้งซึ่งมีเนื้อปุ๋ยเอ็นพีเค (N – P – K) อยู่มากกว่าปุ๋ยคอก 3 – 4 เท่าตัวและใช้ในทางการเกษตรได้ดีมาก วิธีการนี้เสียค่าใช้จ่ายน้อยมากประมาณ 6 บาทต่อน้ำกากส่า 1 ลูกบาศก์เมตร แต่อาจขายกากส่าแห้งได้ราว 10 – 20 บาทต่อลูกบาศก์เมตร นอกจากนี้การตากน้ำกากส่ายังช่วยทำลายสีโดยวิธีธรรมชาติอีกด้วยเพราะในฤดูฝนลานตากไม่ได้ใช้งาน กากส่าแห้งที่ยังเหลือค้างอยู่บ้างก็จะละลายปนกับน้ำฝนและประกอบกับเชื้อจุลินทรีย์ในดินช่วยทำลายสีของน้ำกากส่าแห้งจนเกือบจะไม่มีสีค้างอยู่เลย

(6) ราดถนน (road spray) เนื่องจากน้ำกากส่ามีสารลิกนิน (lignin) ในตัว มีความเหนียวมากกว่าน้ำ สามารถยึดฝุ่นให้อยู่แน่นเหมือนยางมะตอย และจะไม่มีฝุ่นไปนานกว่า 2 สัปดาห์ ดังนั้นจึงสามารถนำมาราดถนนลูกรังได้ดี วิธีนี้จะใช้ได้เฉพาะในฤดูแล้งเท่านั้นเนื่องจากฤดูฝนถนนไม่มีฝุ่นยกเว้นตอนฝนทิ้งช่วง

(7) ใช้เป็นอาหารทางอ้อมแก่ปลา (fish farming) เป็นการใช้น้ำกากส่าเป็นอาหารทางอ้อมแก่ปลาเพราะน้ำกากส่าจะเป็นอาหารแก่สัตว์ขนาดเล็ก เช่น แพลงค์ตอนเพื่อเป็นอาหารปลาอีกต่อหนึ่ง จากผลการทดลองพบว่าถ้าใช้น้ำกากส่าสดในอัตรา 0.6 ส่วนในพันส่วน (ppm.) ต่อ 2 สัปดาห์จะทำให้ปลาสลิดเจริญเติบโตได้สูงสุด วิธีนี้มีข้อจำกัดตรงที่ใช้น้ำกากส่าได้น้อยมาก กล่าวคือ บ่อขนาด 1 ไร่ ลึก 1 เมตรจะใช้น้ำกากส่าเพียง 1 ลูกบาศก์เมตรต่อ 2 สัปดาห์ ซึ่งถ้าใช้น้ำกากส่ามากเกินไปจะทำให้ออกซิเจนในน้ำลดลง น้ำเกิดกลิ่นเน่าเหม็น และปลาอาจตายได้

(8) ใช้ในการเกษตรโดยตรง (direct agriculture use) โดยการปล่อยน้ำกากส่าเข้านาข้าว ไร่อ้อย เป็นต้น โดยตรง โดยใส่ในฤดูแล้งหรือขณะที่นายังว่างอยู่หลังการเก็บเกี่ยว

ระบบกำจัดและใช้ประโยชน์จากน้ำกากส่าทั้ง 8 แบบที่กล่าวมานี้พบว่าแต่ละระบบมีทั้งข้อดีและข้อเสีย ดังแสดงในตารางที่ 2.8

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.8 การเปรียบเทียบราคาค่าใช้จ่ายในการกำจัดและใช้ประโยชน์จากน้ำกากส่าโดยวิธีต่าง ๆ พร้อมทั้งแสดงข้อดีและข้อเสีย

วิธีการกำจัดน้ำกากส่า	ผลพลอยได้สุทธิ (บาท / ลูกบาศก์เมตร)	ข้อดี	ข้อเสีย
1. การระเหยและเผา	(-) 150	- ไม่มีปัญหามลภาวะทางน้ำ - ใช้เนื้อที่น้อย - ได้ผลพลอยได้ (ความร้อนและโพแทสเซียม)	- ปัญหามลภาวะทางอากาศ - การลงทุนระบบกำจัดสูง - เปลืองพลังงานไฟฟ้ามาก
2. การระเหย	(-) 150	- ได้ปุ๋ยอินทรีย์เหลวมาใช้ - ใช้เนื้อที่น้อย	- ใช้ในสเกลเล็ก ๆ ในขณะนี้เท่านั้น
3. การหมักในถังหมักไร้อากาศและกระบวนการเติมอากาศเลี้ยงตะกอน	(-) 140	- ได้ก๊าซมีเทนมาใช้ - ใช้เนื้อที่น้อย	- ค่าลงทุนสูง - ค่าใช้จ่ายในการลงทุนเดินเครื่องแพงสำหรับการใช้อากาศเลี้ยงตะกอน - ผลการบำบัดไม่ผ่านมาตรฐานและมีปัญหาเรื่องสี
4. การทำปุ๋ยหมัก	(-) 100 (หากขายปุ๋ยไม่ได้)	- ได้ปุ๋ยมาใช้ - ลงทุนต่ำ	- ใช้เนื้อที่มาก - ค่าใช้จ่ายดำเนินงานสูง - มีข้อจำกัดในการทำงานฤดูฝน
5. การทำบ่อเก็บกักและลานตาก	(-) 6 (หากขายปุ๋ยไม่ได้)	- ได้ปุ๋ยเข้มข้นมาใช้ - ลงทุนต่ำ ดำเนินการง่าย	- ใช้เนื้อที่มาก
6. ราดถนน	(-) 10 (หากไม่ได้ค่าตอบแทน)	- ลดปัญหาฝุ่นละออง - ลงทุนต่ำมาก	- ต้องขนส่งทางรถ
7. ใช้เป็นอาหารปลา	(-) 15	- ใช้เป็นอาหารปลา	- ใช้จำนวนน้อยมาก
8. ใช้ในการเกษตรโดยตรง	(-) 15 (หากใช้รถขนส่ง) (-) 5 (หากใช้ระบบท่อขนส่ง)	- เป็นปุ๋ยอินทรีย์	- ใช้ได้เฉพาะฤดูแล้ง - มีค่าดำเนินการอยู่บ้างโดยต้องควบคุมอัตราการใช้ให้เหมาะสม

ที่มา : สุจินต์ พนาปวุฒิกุล (2527)

2.3 ไรแดง

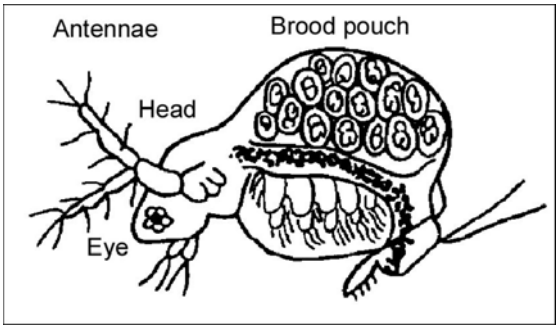
2.3.1 อนุกรมวิธานของไรแดง (ลัดดา วงศ์รัตน์, 2543)

Phylum	Arthropoda
Class	Crustacea
Subclass	Branchiopoda
Order	Cladocera
Family	Moinidae
Genus	*Moina*

ไรแดง (water flea) มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Moina macrocopa* (Straus) ถูกค้นพบเป็นครั้งแรกโดยนักชีววิทยาชื่อ Straus เมื่อปี ค.ศ.1820 เดิมมีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Daphnia macrocopa* Straus และถูกจัดไว้ในครอบครัว Daphniidae ต่อมาได้เปลี่ยนชื่อสกุลใหม่เป็น *Moina* แต่ยังจัดไว้ในครอบครัว Daphniidae เช่นเดิม ขณะนั้นมีชื่อว่า *Moina macrocopa* Straus ต่อมาในปี ค.ศ.1968 Goulden ได้ศึกษาลักษณะอนุกรมวิธานของไรน้ำสกุล *Moina* ไว้อย่างละเอียดและได้เสนอรวม *Moina* ทุกชนิดไว้ในครอบครัวซึ่งตั้งขึ้นใหม่ คือ ครอบครัว Moinidae

2.3.2 รูปร่างและลักษณะของไรแดง

ลำตัวเป็นรูปไข่ มีสีเหลืองส้มหรือสีแดง ส่วนหัวกลมใหญ่ มีเปลือก (carapace) หุ้มลำตัวไว้แต่ไม่หมด ขอบเปลือกไม่มีหนาม (spine) ขอบด้านท้องของเปลือกปกคลุมด้วยขนแข็ง (setae) เป็นแนวยาวตลอด หัวมีขนาดใหญ่ มีตาประกอบ (compound eye) ใหญ่ 1 คู่ มีหนวด 2 คู่ หนวดคู่แรก (first antennules) เล็ก ประกอบด้วยปล้องเพียงปล้องเดียวอยู่ทางด้านท้องใต้ส่วนหัว หนวดคู่ที่ 2 มีขนาดใหญ่อยู่ด้านข้างของหัว ประกอบด้วยปล้องหลายปล้อง ปลายแยกเป็น 2 กิ่ง ส่วนท้ายของเปลือกหุ้มลำตัวมีระยางค์พิเศษ คือ post abdomen ซึ่งมีหนามเรียงกันเป็นแถว มีขาอก 5 คู่ ขาคู่ที่ 1 ของตัวเมียไม่มีกิ่งด้านนอก (exopod) ขาทั้ง 5 คู่ทำหน้าที่ต่างกัน คู่ที่ 1 และคู่ที่ 2 ทำหน้าที่ทำความสะอาดเปลือกหุ้มตัว คู่ที่ 3 และคู่ที่ 4 ทำหน้าที่กรองอาหารจากน้ำ คู่ที่ 5 มีขนาดเล็กมากทำหน้าที่พุ้ยน้ำ ส่วนประกอบของระยางค์ (maxillary process) พบเฉพาะบนขาคู่ที่ 2 เท่านั้น (Brusca and Brusca, 2003; Pechenik, 2005)



ภาพที่ 2.4 รูปร่างและลักษณะของไรแดง (กองส่งเสริมการประมง, 2551)

ไรแดงมี 2 เพศ คือ เพศผู้และเพศเมีย (ภาพที่ 2.5)

ไรแดงเพศเมียมีขนาดใหญ่ ลำตัวอ้วนกลม มีขนาดเฉลี่ย 1.25 มิลลิเมตร ตัวเต็มวัยมีรังไข่ (ovary) 2 อันตั้งอยู่ด้านข้างและค่อนไปทางด้านท้องของลำไส้ รังไข่แต่ละอันประกอบด้วยไข่มีลักษณะทึบ มีนิวเคลียสขนาดใหญ่ มีท่อรังไข่ (oviduct) 2 ท่ออยู่ส่วนท้ายของลำตัว สามารถมองเห็นได้ในช่วงที่มีไข่แก่เคลื่อนเข้าสู่ท่อรังไข่เท่านั้น

ไรแดงเพศผู้มีขนาดเล็กและลำตัวยาวกว่าเพศเมีย มีขนาดเฉลี่ย 0.6 มิลลิเมตร

(ก)

(ข)

ภาพที่ 2.5 เพศของไรแดง

(ก) ไรแดงเพศเมีย

(ข) ไรแดงเพศผู้

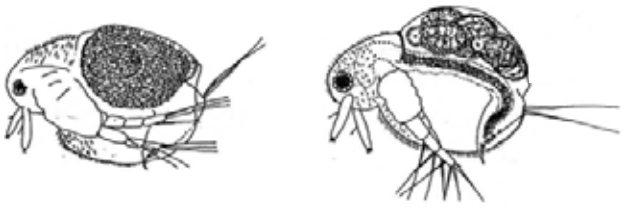
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.3.3 การสืบพันธุ์ของไรแดง

การสืบพันธุ์ของไรแดงมี 2 แบบ (Ruppert et al., 2004) คือ

(1) แบบอาศัยเพศ (sexual reproduction) เมื่อเกิดสภาพแวดล้อมไม่เหมาะสม เช่น มีประชากรหนาแน่น ขาดแคลนอาหาร สภาวะอากาศไม่เหมาะสม เป็นต้น ปัจจัยเหล่านี้มีผลให้ไรแดงเปลี่ยนวิธีการสืบพันธุ์เป็นแบบอาศัยเพศ โดยในช่วงเวลานี้จะมีไรแดงเพศผู้และเพศเมียที่สืบพันธุ์แบบอาศัยเพศ (sexual female) เกิดขึ้น เมื่อเจริญเต็มวัยจะผลิตไข่ที่เรียกว่า sexual egg ขึ้น 2 ฟอง (รังไข่ละ 1 ฟอง) มีลักษณะทึบแสง (ภาพที่ 2.6 (ก)) ต้องผสมพันธุ์กับเชื้อเพศผู้จึงจะเจริญเป็นตัวอ่อนได้ ไข่ที่ได้รับการผสมแล้วจะเคลื่อนเข้าสู่ช่องฟักไข่ เปลือกหุ้มไข่ที่สร้างขึ้นล่วงหน้าจะปิดรอบไข่ที่ได้รับการผสมแล้ว เมื่อไรแดงลอกคราบครั้งต่อไปไข่ที่มีเปลือกหุ้มจะถูกปล่อยจากตัวแม่จมสู่พื้นและทนต่อสภาวะแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมได้อย่างดี เมื่อสภาวะแวดล้อมกลับเข้าสู่สภาวะปกติไข่จะเจริญเป็น parthenogenetic egg อีกครั้งหนึ่ง sexual egg ที่ไม่ได้รับการผสมจะสลายตัวไปโดยไม่เคลื่อนเข้าสู่ช่องฟักไข่และเปลือกหุ้มไข่ที่ถูกสร้างขึ้นก็จะสลายตัวไป

(2) แบบไม่อาศัยเพศ (asexual reproduction) ไรแดงจะสืบพันธุ์ลักษณะแบบนี้ในกรณีที่สภาพแวดล้อมสมบูรณ์ ไรแดงเพศเมียที่สืบพันธุ์แบบนี้มีชื่อเรียกเฉพาะว่า parthenogenetic female ซึ่งจะผลิตไข่ชนิดพิเศษเรียกว่า parthenogenetic egg สามารถเจริญเป็นตัวอ่อนโดยไม่ต้องอาศัยเชื้อเพศผู้ในการผสมพันธุ์ จำนวนไข่ไม่แน่นอนมีจำนวน 2 – 30 ฟองขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมและความอุดมสมบูรณ์ของตัวแม่ ไข่จะเคลื่อนเข้าสู่ฝักไข่ (brood chamber) ตรงส่วนหลังของเปลือกหุ้มลำตัว ได้อาหารจากตัวแม่โดยผ่านทางรก (placenta) เมื่อตัวอ่อนโตจนมีรูปร่างคล้ายตัวเต็มวัย (adult) (ภาพที่ 2.6 (ข)) จะถูกปล่อยออกสู่ภายนอก จากนั้นไข่ชุดใหม่จะเคลื่อนเข้าสู่ช่องฟักไข่ทันที



(ก) (ข)

ภาพที่ 2.6 การสืบพันธุ์ของไรแดง (กองส่งเสริมการประมง, 2551)
(ก) การสืบพันธุ์แบบอาศัยเพศ
(ข) การสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศ

2.3.4 วงจรชีวิตของไรแดง

แบ่งออกเป็น 4 ระยะ (Moore, 2006) คือ

(1) ไข่ (egg)
(2) จูวีไนล์ อินสตาร์ (juvenile instar) ซึ่งแบ่งได้อีก 2 ระยะ คือ first juvenile instar และ second juvenile instar
(3) อะโดเลสเซนต์ อินสตาร์ (adolescent instar)
(4) ตัวเต็มวัย (adult)

เมื่อไข่เคลื่อนเข้าสู่ช่องฟักไข่ การแบ่งตัวจะเกิดขึ้นเป็นตัวอ่อนที่เรียกว่า first juvenile instar มีลักษณะคล้ายตัวเต็มวัยแต่มีขนาดเล็กกว่ามาก จะออกจากช่องฟักไข่ภายในเวลาประมาณ 48 ชั่วโมงและจะลอกคราบเป็น second juvenile instar ซึ่งจะมีขนาดใหญ่ขึ้นเกือบเท่าตัว แล้วจะลอกคราบครั้งที่ 3 ซึ่งเป็นระยะที่เรียกว่า adolescent instar และทันทีที่ตัวอ่อนลอกคราบครั้งที่ 3 จะเจริญเป็นตัวเต็มวัย (adult) ตัวแม่เดิมจะมีไข่ชุดที่สองอยู่ในรังไข่พอดี ถ้าสภาวะแวดล้อมเหมาะสม ไรแดงจะสามารถผลิตลูกได้เป็นจำนวนมากโดยไม่ขาดตอน การเพิ่มขนาดของไรแดงใช้เวลาสั้นมาก และช่วงเวลาที่ตัวอ่อนเจริญเติบโตเป็นตัวเต็มวัยใช้เวลา 2 – 3 นาทีหรือ 2 – 3 ชั่วโมงแล้วแต่ความเหมาะสมของสภาพแวดล้อม เช่น อาหาร คุณสมบัติของน้ำ และอุณหภูมิอากาศ เป็นต้น

2.3.5 อาหารและลักษณะการกินอาหาร

มีการศึกษาในเรื่องอาหารและลักษณะการกินอาหารของไรแดงโดยสันทนา ดวงสวัสดิ์ และคณะ (2524) นำไรแดงที่รวบรวมได้จากแหล่งน้ำ 5 แหล่งในเขตกรุงเทพมหานครมาตรวจดูอาหารในกระเพาะอาหารและลำไส้ พบว่าไรแดงกินแบคทีเรีย ซึ่งมีทั้งแบบแท่ง (bacillus) และแบบกลม (coccus) นอกจากนี้ยังมีพวก Euglena และ Chlorella ด้วย ในแหล่งน้ำที่มีไรแดงอยู่หนาแน่นมีสิ่งมีชีวิตเล็ก ๆ ได้แก่ *Euglena hyalina*, *E. oblonga*, *Chlorella* sp., *Phagus* sp., *Branchionus urceolaris*, *Scapholeberis* sp., *Oscillatoria* sp., *Vorticella* sp. และแบคทีเรีย เช่น *Bacillus* sp., *Aerobacter* sp., *Pseudomonas* sp. และ *Escherichia coli* ซึ่งส่วนใหญ่เป็นอาหารของไรแดงเกือบทั้งสิ้น

2.3.6 การเพาะเลี้ยงไรแดง

การเพาะเลี้ยงไรแดงตามวิธีการของกองส่งเสริมการประมง (2551) แบ่งออกเป็น 2 วิธี คือ

1. การเพาะเลี้ยงไรแดงในบ่อซีเมนต์
2. การเพาะเลี้ยงไรแดงในบ่อดิน

1. การเพาะเลี้ยงไรแดงในบ่อซีเมนต์

ได้รับการพัฒนาเรื่อยมาจากการใช้ฟางต้ม มูลสัตว์ เลือดสัตว์ อาหารผสม และสาหร่ายคลอเรลล่า จากการศึกษาค้นคว้าทดลองและวิจัยของหน่วยงานที่รับผิดชอบหลาย ๆ องค์กร ทำให้ปัจจุบันสามารถเพาะเลี้ยงไรแดงในบ่อซีเมนต์ได้ 2 วิธี คือ

(1) การเพาะเลี้ยงแบบเก็บเกี่ยวไม่ต่อเนื่อง คือ การเพาะเลี้ยงไรแดงแบบการเก็บเกี่ยวเพียงครั้งเดียว การเพาะเลี้ยงแบบนี้จำเป็นที่จะต้องมีบ่ออย่างน้อย 5 บ่อ เพื่อใช้ในการหมุนเวียนให้ได้ผลผลิตทุกวัน การเพาะเลี้ยงแบบเก็บเกี่ยวไม่ต่อเนื่องจะให้ปริมาณไรแดงที่แน่นอนและจำนวนมาก ไม่ต้องคำนึงในด้านศัตรูมากนักเพราะว่าเป็นการเพาะเลี้ยงในช่วงระยะเวลาสั้น ๆ

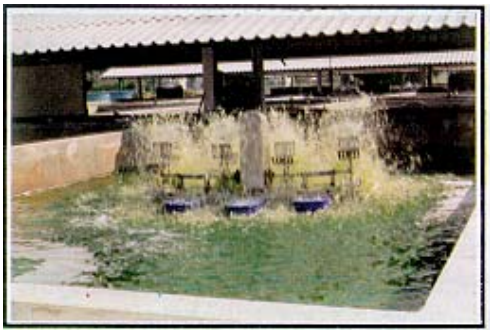
(2) **การเพาะเลี้ยงแบบเก็บเกี่ยวต่อเนื่อง** คือ การเพาะเลี้ยงไรแดงแบบเก็บเกี่ยวผลผลิตไรแดงหลายวันภายในบ่อเดียวกัน การเพาะเลี้ยงแบบนี้ต้องมีบ่ออย่างน้อย 5 บ่อ การเพาะเลี้ยงแบบเก็บเกี่ยวต่อเนื่องจะต้องคำนึงถึงสัตรูของไรแดงและสภาวะแวดล้อมในบ่อเพาะเลี้ยงไรแดง เนื่องจากการเติมพวกอินทรีย์สารต่าง ๆ หรือการเติมสาหร่ายคลอเรลล่าลงในบ่อควรมีการถ่ายน้ำและเพิ่มน้ำสะอาดลงในบ่อเพื่อเป็นการลดความเป็นพิษของแอมโมเนียและสารพิษอื่น ๆ ที่เกิดขึ้นในบ่อ

การเพาะเลี้ยงไรแดงทั้ง 2 วิธีควรจะมีเครื่องเป่าอากาศเพื่อเพิ่มออกซิเจนในบ่อให้เพียงพอต่อความต้องการของไรแดง อีกทั้งยังช่วยย่อยสลายอินทรีย์สารและให้น้ำในบ่อหมุนเวียนหรือจะใช้เครื่องตีน้ำช่วยก็ได้

วัสดุและอุปกรณ์

(1) **บ่อผลิต** ลักษณะของบ่อซีเมนต์ถ้าเป็นการลงทุนใหม่ บ่อซีเมนต์ที่ใช้ในการเพาะเลี้ยงไรแดงที่เหมาะสมควรมีลักษณะเป็นรูปไข่ แต่ถ้ามีบ่อซีเมนต์สี่เหลี่ยมอยู่แล้วก็สามารถนำมาใช้ได้เช่นกัน พื้นก้นบ่อของบ่อไรแดงควรฉาบและขัดมันให้เรียบร้อยเพื่อความสะดวกในการหมุนเวียนของน้ำ เพราะถ้ามีการหมุนเวียนของน้ำที่ดีแล้วจะทำให้การย่อยสลายของปุ๋ยและอาหารผสมดีขึ้น อีกทั้งเป็นการป้องกันการตกตะกอนของสาหร่ายคลอเรลล่า ถ้าสาหร่ายคลอเรลล่าตกตะกอนแล้วจะทำให้อาหารของไรแดงน้อยลงและผลผลิตของไรแดงก็จะลดน้อยลงด้วย บ่อซีเมนต์ที่ใช้ในการเพาะเลี้ยงไรแดงควรมีทางน้ำเข้าและน้ำออกเพื่อสะดวกในการเพาะเลี้ยง การล้าง และการเก็บเกี่ยวไรแดง ทั้งนี้การสร้างบ่อผลิตต้องอยู่กลางแจ้ง ไม่มีหลังคาและต้นไม้บังแสงแดด ขนาดของบ่อซีเมนต์ ขนาดของบ่อเพาะเลี้ยงไรแดงจะขึ้นอยู่กับความต้องการผลผลิตของไรแดง แต่ในด้านความสูงของบ่อควรจะมีความสูงประมาณ 60 เซนติเมตร

(2) **เครื่องตีน้ำ** ในบ่อเพาะที่มีขนาดใหญ่ตั้งแต่ 30 – 50 ตารางเมตร จำเป็นที่จะต้องมีเครื่องตีน้ำไว้ในบ่อเพาะเลี้ยง เครื่องเป่าลมจะก่อให้เกิดการหมุนเวียนของน้ำในบ่อเพาะเลี้ยง นอกจากจะเป็นการป้องกันการตกตะกอนของสาหร่ายคลอเรลล่าแล้ว ยังช่วยเพิ่มปริมาณออกซิเจน อีกทั้งยังช่วยเร่งการขยายพันธุ์และการเจริญเติบโตของสาหร่ายคลอเรลล่าและไรแดงให้เร็วขึ้นและลดความเป็นพิษของน้ำที่มีต่อไรแดง



ภาพที่ 2.7 เครื่องตีน้ำ (กองส่งเสริมการประมง, 2551)

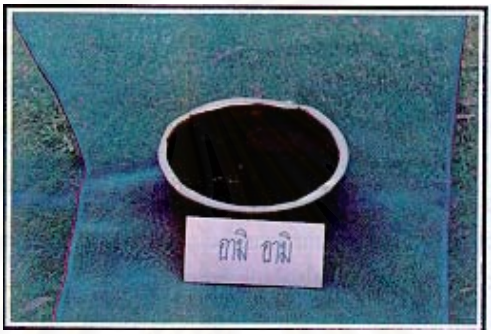
(3) ผ้ากรอง การกรองน้ำลงในบ่อเพาะทุกครั้ง ไม่ว่าจะเป็นน้ำบาดาล น้ำคลอง น้ำประปา และสาหร่ายคลอเรลล่าที่เป็นเชื้อเริ่มต้นควรผ่านผ้ากรองขนาด 69 ไมครอนหรือต่ำกว่าก็ได้เพื่อเป็นการป้องกันสิ่งมีชีวิตชนิดอื่น ๆ และศัตรูของไรแดง

(4) สาหร่ายคลอเรลล่า เป็นสาหร่ายเซลล์เดียวขนาดเล็กเรียกว่าแพลงก์ตอนพืช โดยทั่วไปจะมีอยู่มากมายหลายชนิดและมีคุณค่าทางอาหารแตกต่างกัน สาหร่ายเซลล์เดียวที่ใช้ในการเพาะเลี้ยงไรแดง คือ *Chlorella* sp. มีขนาด 2.5 – 3.5 ไมครอน มีโปรตีนสูงกว่าสาหร่ายเซลล์เดียวชนิดอื่น คือ มีโปรตีน 64.15 เปอร์เซ็นต์ เพาะพันธุ์โดยการใช้ปุ๋ยอนินทรีย์ร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์ก็ได้ ระยะเวลาในการเพาะเลี้ยงเพื่อให้น้ำสาหร่ายคลอเรลล่ามีสีเข้มจะใช้เวลาประมาณ 3 วัน หัวเชื้อสาหร่ายคลอเรลล่าเริ่มต้นสำหรับการเพาะเลี้ยงระยะเริ่มแรกนั้นติดต่อขอได้ที่หน่วยงานของกรมประมงที่มีการเพาะเลี้ยงไรแดง

(5) ไรแดง หัวเชื้อไรแดงที่ใช้สำหรับแพร่ขยายพันธุ์ควรมีสภาพสมบูรณ์ ตัวมีขนาดใหญ่ อายุประมาณ 2 วัน ควรทำความสะอาดไรแดงทุกครั้งก่อนที่จะนำไรแดงมาเป็นหัวเชื้อเพื่อเป็นการป้องกันศัตรูที่เกาะติดมากับไรแดง

(6) กากผงชูรส (อามิ – อามิ) เป็นกากจากการทำผงชูรสซึ่งประกอบด้วยแร่ธาตุไนโตรเจน 4.2 เปอร์เซ็นต์และฟอสฟอรัส 0.2 เปอร์เซ็นต์ การใช้กากผงชูรสควรใช้ทั้งน้ำและตะกอนร่วมกัน ในกรณีกากผงชูรสเกิดการตกตะกอนมากขึ้นควรลดระดับปริมาณที่ใช้ลง เพื่อป้องกันการเน่าเสียของน้ำในบ่อเพาะเลี้ยงไรแดง

ภาพที่ 2.8 น้ำสาหร่ายคลอเรลล่า (กองส่งเสริมการประมง, 2551)



ภาพที่ 2.9 กากผงชูรส (อามิ – อามิ) (กองส่งเสริมการประมง, 2551)

(7) อาหารสมทบ ได้แก่ รำ กากถั่ว และปลาป่นหมัก สามารถนำมาเป็นอาหารของไรแดงได้โดยตรงและทำให้เกิดแบคทีเรียจำนวนมากซึ่งไรแดงสามารถนำมาใช้เป็นอาหารได้อีกทางหนึ่ง

(8) ปุ๋ยวิทยาศาสตร์ ได้แก่

- ปุ๋ยนา สูตร16 – 20 – 0
- ปุ๋ยซุปเปอร์ฟอสเฟต สูตร 0 – 46 – 0
- ปุ๋ยยูเรีย สูตร 46 – 0 – 0

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาพที่ 2.10 ปุ๋ยวิทยาศาสตร์ที่ใช้ในการเพาะเลี้ยงไรแดง (กองส่งเสริมการประมง, 2551)

ในการใช้ปุ๋ยวิทยาศาสตร์ทุกครั้งควรละลายน้ำเพื่อป้องกันการตกค้างของปุ๋ยในบ่อเพาะเลี้ยงไรแดง

(9) ปูนขาว การใช้ปูนขาวในบ่อเพาะเลี้ยงไรแดงก็เพื่อเป็นการปรับความเป็นกรด – ด่างของน้ำ ช่วยเพิ่มปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ในน้ำ ช่วยให้สาหร่ายคลอเรลล่าเจริญเติบโตและขยายพันธุ์เร็วขึ้น การใช้ปูนขาวควรละลายน้ำก่อนจึงใส่ลงในบ่อเพาะเลี้ยงไรแดง ปูนขาวที่มีขายอยู่ในท้องตลาดทั่วไปโดยปกติจะมีอยู่หลายประเภท เช่น

(1) ปูนเผา หรือ Calcium oxide (CaO)

(2) ปูนเปียก หรือ Calcium hydroxide $Ca(OH)_2$

(3) หินปูน หรือ $CaCO_3$

(4) ปูนมาร์ล

ปูนประเภทต่าง ๆ เหล่านี้มีประสิทธิภาพเรียงจากมากมาหาน้อย โดยปูนเผาจะมีประสิทธิภาพสูงสุด

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ขั้นตอนการเพาะเลี้ยงไรแดง

ไรแดงเป็นสัตว์น้ำจึงต้องการอาหารที่มีคุณค่าทางโภชนาการครบถ้วนเช่นเดียวกับสัตว์น้ำชนิดอื่น ๆ ได้แก่ โปรตีน คาร์โบไฮเดรต ไขมัน เกลือแร่ และวิตามิน ดังนั้นเทคนิคการเพาะเลี้ยงไรแดงก็คือ การให้อาหารที่เหมาะสมในปริมาณเพียงพอและการควบคุมสภาวะแวดล้อมในบ่อเพาะเลี้ยงให้เหมาะสม หากอาหารในบ่อเพาะเลี้ยงมากหรือน้อยเกินไปก็จะทำให้ผลผลิตไรแดงลดต่ำลง ไรแดงสามารถทนต่อสภาวะแวดล้อมได้ดี แต่ถ้าสภาวะแวดล้อมไม่ดีผลผลิตไรแดงก็จะลดต่ำลง วิธีการเพาะเลี้ยงไรแดงมี 5 ขั้นตอน ซึ่งในการปฏิบัติแต่ละขั้นตอนจะมีผลต่อปริมาณและระยะเวลาในการเก็บเกี่ยวผลผลิตให้ยาวนานขึ้น ดังต่อไปนี้

ขั้นตอนที่ 1 การเตรียมบ่อผลิต
ขั้นตอนที่ 2 การเตรียมน้ำ
ขั้นตอนที่ 3 การเตรียมอาหาร
ขั้นตอนที่ 4 การเตรียมแม่พันธุ์ไรแดง
ขั้นตอนที่ 5 การควบคุมบ่อผลิต

ขั้นตอนที่ 1 การเตรียมบ่อผลิต

กรณีบ่อใหม่จะต้องล้างบ่อให้อยู่ในสภาพเป็นกลางหรือด่างอ่อน ๆ (7 – 8) โดยแช่น้ำทิ้งไว้ประมาณ 1 – 3 สัปดาห์แล้วระบายน้ำทิ้ง ถ้าต้องการลดระยะเวลาให้หมักฟาง หญ้า หรือเศษพืชผักไว้ในบ่อเพราะจะเกิดกรดอินทรีย์ เช่น กรดฮิวมิค ซึ่งจะแก้ความเป็นด่างได้เล็กน้อย หรือใช้กรดน้ำส้มเทียมผสมน้ำในบ่อให้เต็มแช่ทิ้งไว้ประมาณ 3 – 5 วันแล้วระบายน้ำทิ้งและเปิดน้ำใหม่แช่ทิ้งไว้อีก 24 ชั่วโมง ส่วนบ่อเก่าต้องล้างบ่อแล้วตากบ่อให้แห้งเพื่อกำจัดศัตรูไรแดง

ภาพที่ 2.11 การเตรียมบ่อผลิต (กองส่งเสริมการประมง, 2551)

ขั้นตอนที่ 2 การเตรียมน้ำ

การระบายน้ำเข้าบ่อโดยผ่านการกรองด้วยผ้ากรองจะช่วยป้องกันศัตรูไรแดงและคัดขนาดของแพลงก์ตอนพืชที่ติดมากับน้ำเพื่อเป็นอาหารไรแดงต่อไป ระดับน้ำที่ใช้ประมาณ 20 – 30 เซนติเมตร

ภาพที่ 2.12 ระดับน้ำในบ่อเพาะเลี้ยงไรแดง (กองส่งเสริมการประมง, 2551)

เทคนิคเสริมบางประการในการเตรียมน้ำ

(1) น้ำจากแหล่งน้ำธรรมชาติ เช่น แม่น้ำลำคลอง หนอง บึง จะให้ผลผลิตไรแดงสูงกว่าน้ำประปา น้ำบาดาล และน้ำฝน ทั้งนี้เพราะมีแพลงก์ตอนพืชปนมากับน้ำจากแหล่งน้ำธรรมชาติ แต่ก็ควรกรองน้ำด้วยผ้ากรองทุกครั้งเพื่อป้องกันศัตรูของไรแดงที่อาจจะติดมากับแหล่งน้ำธรรมชาติ

(2) ควรปรับคุณภาพของน้ำให้มีความเป็นกรดเป็นด่างประมาณ 8 โดยใช้ปูนขาวละลายน้ำจะได้น้ำปูนใส ส่วนกากปูนให้ทิ้งไปเพราะเป็นพิษกับไรแดง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ขั้นตอนที่ 3 การเตรียมอาหาร

อาหารที่ใช้ผลิตไรแดงจะต้องมีคุณค่าทางโภชนาการครบถ้วนทั้งโปรตีน คาร์โบไฮเดรต ไขมัน วิตามิน และเกลือแร่ ชนิดของอาหารที่ใช้เพาะเลี้ยงไรแดงแบ่งออกเป็น 3 ประเภท คือ

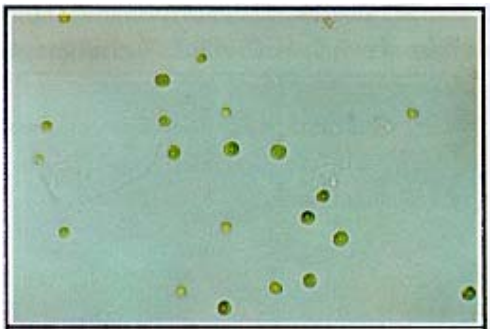
(1) อาหารผสม ได้แก่ รำละเอียด ปลาป่น และกากถั่วเหลือง โดยเฉพาะกากถั่วเหลืองจะมีกรดไขมันที่เร่งการลอกคราบของไรแดงทำให้ผลผลิตไรแดงสูงขึ้น

(2) จุลินทรีย์ เป็นอาหารที่ได้จากการหมักอาหารกับน้ำ ได้แก่ ยีสต์และแบคทีเรีย สำหรับยีสต์จะมีวิตามินอีซึ่งช่วยในการทำงานของระบบสืบพันธุ์

(3) แพลงก์ตอนพืช เป็นอาหารอีกชนิดหนึ่ง ในที่นี้หมายถึงแพลงก์ตอนพืชหลาย ๆ ชนิดที่ไรแดงกินได้ เช่น สาหร่ายคลอเรลล่า ซีเนเดสมัส ฯลฯ ซึ่งทำให้ไรแดงสมบูรณ์จึงมีผลผลิตที่เพิ่มขึ้น

ภาพที่ 2.13 อาหารหมัก (กองส่งเสริมการประมง, 2551)

วิธีหมักอาหารกับน้ำ ใช้อาหาร 1 ส่วน : น้ำ 2 ส่วน : ปูนขาว 1 ส่วนจะเกิดจุลินทรีย์พวกแบคทีเรียซึ่งจะเป็นอาหารของไรแดง การหมักอาหารใช้เวลาอย่างน้อย 24 ชั่วโมง ส่วนอัตราอาหารผสมที่ใช้ คือ รำละเอียด 2 ส่วน : ปลาป่น 1 ส่วน : กากถั่วเหลือง 1 ส่วน ในปริมาณ 40 กรัมต่อตารางเมตร เช่น บ่อผลิตขนาด 50 ตารางเมตรจะใช้รำละเอียด 1 กิโลกรัม ปลาป่น 0.5 กิโลกรัม และกากถั่วเหลือง 0.5 กิโลกรัม



ภาพที่ 2.14 สาหร่ายคลอเรลล่า (กองส่งเสริมการประมง, 2551)

เทคนิคเสริมบางประการในการเตรียมอาหาร

(1) ถ้าน้ำมีสีเขียวแสดงว่าเกิดแพลงก์ตอนพืชแล้วจึงเติมอาหารผสมลงบ่อ แพลงก์ตอนพืชจะแพร่พันธุ์เป็นอาหารของไรแดงต่อไป

(2) อาหารต้องผ่านการหมักอย่างน้อย 24 ชั่วโมง ระยะเวลาที่หมักอาหารประมาณ 50 – 60 ชั่วโมง

(3) อาหารที่หมักแล้วหากใช้ถุงผ้าโอลอนแก้วกรองส่วนที่เป็นกากออกจะทำให้น้ำเสียช้าลงและช่วงเวลาในการเก็บเกี่ยวไรแดงยาวนานขึ้น

ขั้นตอนที่ 4 การเตรียมแม่พันธุ์ไรแดง

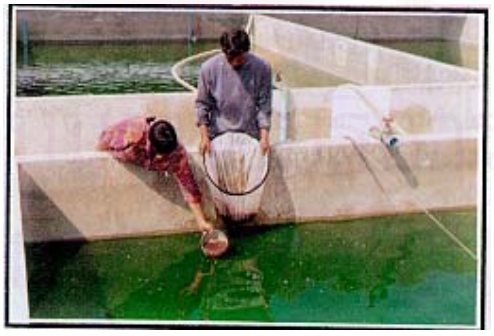
การเพาะเลี้ยงไรแดงให้ได้ปริมาณมากจำเป็นต้องใช้แม่พันธุ์ที่สมบูรณ์และแข็งแรง มีวิธีดำเนินการ ดังนี้

(1) การคัดพันธุ์ไรแดง ควรแยกไรแดงออกจากแพลงก์ตอนสัตว์ชนิดอื่นโดยใช้กระชอนมุ้งสีฟ้าขนาดตาเล็กที่สุด ซึ่งสามารถแยกไรแดงจากโคพีพอด (copepod) และลูกน้ำได้ แต่ถ้าได้พันธุ์ไรแดงที่ไม่มีแพลงก์ตอนสัตว์ชนิดอื่นปะปนมาจะดีที่สุด

ภาพที่ 2.15 การคัดพันธุ์ไรแดงด้วยกระชอนมุ้ง (กองส่งเสริมการประมง, 2551)

(2) การสังเกตเพศไรแดง ไรแดงมี 2 เพศ คือ ไรแดงเพศเมียและไรแดงเพศผู้ ในสภาวะที่เหมาะสมไรแดงจะสร้างเพศผู้ 5 เปอร์เซ็นต์ของประชากรไรแดง แต่ในสภาวะที่ไม่เหมาะสมไรแดงจะสร้างเพศผู้มากขึ้น สำหรับการเลือกแม่พันธุ์หรือหัวเชื้อให้สังเกตไรแดงที่มีรูปร่างอ้วนกลมซึ่งมีวิธีการตรวจสอบ คือ ใช้แก้วน้ำใสช้อนไรแดงพอประมาณยกขึ้นส่องดู ถ้าพบไรแดงเพศผู้ซึ่งมีลำตัวผมยาวรีแสดงว่ามีไรแดงเพศผู้มากกว่า 5 เปอร์เซ็นต์ซึ่งไม่ควรนำไปขยายพันธุ์

(3) การเติมแม่พันธุ์ไรแดง ไรแดง 1 กิโลกรัมผสมน้ำ 20 เปอร์เซ็นต์จะได้ไรแดง 1 ลิตร ปริมาณที่ใช้เฉลี่ย 30 – 40 กรัมต่อตารางเมตร บ่อขนาด 50 ตารางเมตรใช้แม่พันธุ์ไรแดง 2 กิโลกรัมจะได้ผลผลิตประมาณครั้งละประมาณ 13 กิโลกรัมซึ่งเก็บเกี่ยวผลผลิตได้ประมาณวันละ 5 กิโลกรัม



ภาพที่ 2.16 การเติมแม่พันธุ์ไรแดง (กองส่งเสริมการประมง, 2551)

ขั้นตอนที่ 5 การควบคุมบ่อผลิต

การคงสภาพบ่อผลิตให้สามารถเก็บผลผลิตได้มากกว่า 7 วันมีวิธีการ ดังนี้

(1) การเก็บเกี่ยวผลผลิต ให้เก็บเกี่ยวเพียงวันละครึ่งหนึ่งของผลผลิตทั้งหมด คือ ครั้งแรกวันที่ 3 หรือวันที่ 5 หลังจากเติมแม่พันธุ์ไรแดง

(2) การเติมอาหาร ให้เติมอาหารหมักแล้ว 10 – 25 เปอร์เซ็นต์ของครั้งแรกที่ให้ทุกวัน โดยสังเกตปริมาณผลผลิตไรแดงในบ่อ

(3) การถ่ายน้ำ หมายถึง การระบายน้ำออกและเติมน้ำเข้าทุก 2 – 3 วัน ระดับน้ำ 5 – 15 เซนติเมตร โดยสังเกตปริมาณผลผลิตไรแดงในบ่อ

ภาพที่ 2.17 บ่อเพาะพันธุ์ไรแดง (กองส่งเสริมการประมง, 2551)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การดำเนินการเพาะเลี้ยงไรแดง

1. วิธีการเพาะเลี้ยงไรแดงแบบเก็บเกี่ยวไม่ต่อเนื่อง

(1) บ่อซีเมนต์ขนาด 50 ตารางเมตร ทำความสะอาดและตากบ่อทิ้งไว้ 1 วัน

(2) เปิดน้ำและกรองน้ำลงบ่อให้ได้ระดับความสูง 20 เซนติเมตร ปริมาตรน้ำ 10 ลูกบาศก์เมตร พร้อมทั้งละลายปุ๋ยและอาหารลงในบ่อโดยใช้สูตรใดสูตรหนึ่งดังนี้

สูตรที่ 1 กากผงชูรส 8 ลิตร ปุ๋ยนา (16 – 20 – 0) 1.2 กก. ปุ๋ยยูเรีย (46 – 0 – 0) 1.2 กก. ปุ๋ยซุปเปอร์ฟอสเฟต (0 – 46 – 0) 100 กรัม ปูนขาว 1 กก. กากถั่วเหลือง 1 กก.

สูตรที่ 2 รำละเอียด 1 กก. ปลาป่น 0.5 กก. กากถั่วเหลือง 0.5 กก. ปุ๋ยนา (16 – 20 – 0) 1.2 กก. ปุ๋ยยูเรีย (46 – 0 – 0) 1.2 กก. ปุ๋ยซุปเปอร์ฟอสเฟต (0 – 46 – 0) 100 กรัม ปูนขาว 1 กก. (อาหารควรหมักไว้อย่างน้อย 24 ชั่วโมง อัตราส่วนที่ใช้หมัก คือ อาหาร 1 ส่วน : น้ำ 2 ส่วน : ปูนขาว 1 ส่วน)

สูตรที่ 3 กากผงชูรส 6 ลิตร กากถั่วเหลืองหมักหรือรำละเอียดหมักหรือปลาป่นอย่างใดอย่างหนึ่ง 0.5 กก. ปุ๋ยนา (16- 20 – 0) 1.2 กก. ปุ๋ยยูเรีย (46 – 0 – 0) 1.2 กก. ปุ๋ยซุปเปอร์ฟอสเฟต (0 – 46 – 0) 100 กรัม ปูนขาว 1 กก.

สูตรปุ๋ยและอาหารที่ใช้เพาะไรแดงทั้ง 3 สูตรให้ผลผลิตไรแดงเฉลี่ยต่อบ่อประมาณ 13 – 15 กิโลกรัม

(3) ทำการเติมสาหร่ายคลอเรลล่าลงในบ่อประมาณ 1 ตัน (1,000 ลิตร) ทิ้งไว้ประมาณ 3 วัน ในระหว่างนี้ควรคนบ่อย ๆ เพื่อป้องกันการตกตะกอน

(4) หลังจากสาหร่ายคลอเรลล่าเจริญเติบโตเต็มที่แล้ว ทำการแบ่งเชื้อสาหร่ายคลอเรลล่าไปลงบ่อเพาะใหม่จำนวน 1 ตัน หลังจากนั้นจึงนำพันธุ์ไรแดงที่มีความสมบูรณ์ใส่ลงไปจำนวน 2 กิโลกรัมและให้ออกซิเจนแก่น้ำ ทิ้งไว้ประมาณ 2 วันไรแดงจะขยายพันธุ์และสามารถเก็บเกี่ยวไรแดงได้ประมาณ 13 – 15 กิโลกรัม ใช้เวลาการเพาะเลี้ยงไรแดงประมาณ 5 วัน จะต้องมีบ่อซีเมนต์จำนวน 5 บ่อจึงจะทำการเพาะเลี้ยงไรแดงแบบไม่ต่อเนื่องได้ครบวงจร

ภาพที่ 2.18 อาหารเพาะเลี้ยงไรแดง (กองส่งเสริมการประมง, 2551)

2. วิธีการเพาะเลี้ยงไรแดงแบบเก็บเกี่ยวต่อเนื่อง

(1) เมื่อดำเนินขั้นตอนตามวิธีการเพาะเลี้ยงไรแดงในแบบที่ 1. ถึงข้อ (4) ในการเก็บเกี่ยวไรแดงจะทำการเก็บเกี่ยวมาเพียงส่วนหนึ่งของไรแดงที่เกิดขึ้นในบ่อประมาณ 5 – 6 กิโลกรัม

(2) ลดระดับน้ำลงให้เหลือประมาณ 10 เซนติเมตร แล้วทำการเติมน้ำสะอาดและสาหร่ายคลอเรลล่า ผสมอาหารและปุ๋ยให้ระดับน้ำสูงอย่างละ 5 เซนติเมตร ทำเช่นนี้ทุกวันจนกว่าสภาวะแวดล้อมในบ่อเพาะเลี้ยงไรแดงไม่เหมาะสมหรือผลผลิตของไรแดงลดลง จึงทำการล้างบ่อแล้วเริ่มทำการเพาะเลี้ยงใหม่

(3) ผลผลิตไรแดงแบบเก็บเกี่ยวต่อเนื่องจะสามารถเก็บเกี่ยวไรแดงได้ประมาณ 25 กิโลกรัม ระยะเวลาในการเพาะเลี้ยงจนถึงเก็บเกี่ยวครั้งสุดท้ายรวม 12 วัน หลังจากนี้ควรล้างบ่อทำความสะอาดและเริ่มเพาะเลี้ยงใหม่

ปัญหาและวิธีแก้ไข

ปัญหาของบ่อผลิตไรแดง คือ ผลผลิตลดลงซึ่งมีวิธีแก้ไข ดังนี้

1. เมื่อน้ำในบ่อผลิตมีค่าความเป็นกรดเป็นด่างต่ำกว่า 6
   (1) ใช้ปูนขาวละลายน้ำสาดทั่วบ่อ
   (2) ใช้ปุ๋ยไนโตรเจนประเภทไนเตรต เช่น โซเดียมไนเตรต (16 – 0 – 0)
   (3) ใช้ปุ๋ยหมักร่วมกับหินฟอสเฟต
   (4) ถ่ายน้ำออกครึ่งหนึ่งแล้วเติมน้ำใหม่

2. เมื่อน้ำในบ่อผลิตมีค่าความเป็นกรดเป็นด่างสูงกว่า 10
   (1) ใช้สารส้มละลายน้ำสาดทั่วบ่อ (วิธีนี้ทำให้ระยะเวลาเก็บเกี่ยวสั้นลงและสาหร่ายคลอเรลล่าอาจตกตะกอนได้)
   (2) ใช้ปุ๋ยไนโตรเจนประเภทแอมโมเนีย เช่น แอมโมเนียซัลเฟต
   (3) ใช้ปุ๋ยคอก คือ มูลไก่ (วิธีนี้ทำให้ผลผลิตต่ำและน้ำเสียเร็วขึ้น)
   (4) ถ่ายน้ำออกครึ่งหนึ่งแล้วเติมน้ำใหม่

3. เมื่อปริมาณออกซิเจนต่ำ สังเกตจากไรแดงลอยตัวในตอนเช้า และผลผลิตไรแดงต่ำลงในวันต่อมาหรือน้ำขุ่นเข้ม
   (1) ถ่ายน้ำออกครึ่งหนึ่งแล้วเติมน้ำใหม่
   (2) เติมน้ำโดยยกปลายท่อให้สูงขึ้น
   (3) กวนน้ำหรือตีน้ำกระจายสัมผัสอากาศ
   (4) ใช้เครื่องปั๊มอากาศช่วยเพิ่มออกซิเจน

4. เมื่อมีศัตรูไรแดงในบ่อผลิต
   (1) แมลง ใช้สวิงตาห่างช้อนขึ้น
   (2) ลูกปลา ลูกอ๊อด ลูกเขียด ใช้กากชาความเข้มข้น 30 ส่วนในล้านส่วนหรือ 30 กรัมต่อปริมาณน้ำ 1 ลูกบาศก์เมตร

5. เมื่อน้ำในบ่อผลิตมีความเข้มข้นสูง สีเขียวข้นเนื่องจากมีอาหารมากเกินไป
   (1) ถ่ายน้ำก้นบ่อออกครึ่งหนึ่งแล้วเติมน้ำสะอาดลงไป
   (2) ลดปริมาณอาหารที่ให้

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

6. เมื่อน้ำในบ่อผลิตใสจนเห็นก้นบ่อเนื่องจากอาหารน้อยเกินไป
   (1) เติมอาหารผสมทันที 20 – 40 เปอร์เซ็นต์ แล้วหมักอาหารผสมอีก 10 – 25 เปอร์เซ็นต์เติมในวันรุ่งขึ้นและวันต่อ ๆ ไป
   (2) เติมสาหร่ายคลอเรลล่าประมาณ 5 – 10 เซนติเมตร

เทคนิคที่ควรทราบ

(1) การเตรียมน้ำลงในบ่อเพาะเลี้ยงไรแดง ควรกรองน้ำด้วยผ้ากรองทุกครั้งเพื่อป้องกันสิ่งที่มีชีวิตเล็ก ๆ หรือศัตรูไรแดงในแหล่งน้ำที่อาจจะเข้ามาพร้อมกับน้ำที่จะใช้

(2) สาหร่ายคลอเรลล่าที่จะนำลงบ่อเพาะไรแดงควรกรองด้วยถุงกรองแพลงก์ตอนเพื่อป้องกันสิ่งที่มีชีวิตเล็ก ๆ ติดมาด้วย

(3) แพลงก์ตอนสัตว์และแพลงก์ตอนพืชที่อยู่ในน้ำจืดชอบน้ำที่มีความเป็นด่างเล็กน้อย คือ ประมาณ 7.5 – 8.5 ฉะนั้นน้ำที่นำมาเลี้ยงหากเป็นกรดหรือเป็นกลางควรปรับให้เป็นด่าง

(4) การเพาะเลี้ยงไรแดงโดยการใช้ปุ๋ยมูลสัตว์หรืออาหารเม็ดเพียงอย่างเดียวไม่สามารถทำให้ผลผลิตไรแดงสูง อีกทั้งการเติมสารอาหารพวกสารอินทรีย์จะทำให้น้ำเกิดการเน่าเสียได้ง่ายและผลผลิตไรแดงจะไม่แน่นอน การเตรียมอาหารที่เหมาะสมและมีการเพาะเลี้ยงสาหร่ายคลอเรลล่า นอกจากจะเป็นอาหารไรแดงแล้วยังช่วยรักษาระบบนิเวศวิทยาในการอยู่ร่วมกันของไรแดงทำให้ผลผลิตของไรแดงสูงได้

(5) การเพาะเลี้ยงไรแดง ปัจจัยที่คำนึงถึงปัจจัยแรก คือ อาหาร (สาหร่ายคลอเรลล่า) ซึ่งนับว่าเป็นอาหารที่เหมาะสมต่อการใช้เพาะเลี้ยงไรแดง เพราะคงสภาพอยู่ได้นาน ไม่เน่าเสีย เจริญเติบโตได้รวดเร็วด้วยปุ๋ยชนิดต่าง ๆ การใช้ปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกับปุ๋ยอนินทรีย์จะทำให้สาหร่ายคลอเรลล่ามีการเจริญเติบโตได้ดีและคงสภาพอยู่ได้นาน

(6) การเพิ่มระดับน้ำ อาหารผสม และปุ๋ย ก็จะเป็นปัจจัยหนึ่งในการเพิ่มผลผลิตของไรแดง เนื่องจากการเพิ่มระดับน้ำและปุ๋ยจะเป็นการเพิ่มปริมาณสาหร่ายคลอเรลล่าให้มากขึ้น ก็จะทำให้ไรแดงมีผลผลิตสูงขึ้น แต่การเพิ่มระดับน้ำสูงขึ้นจะทำให้การสังเคราะห์แสงของสาหร่ายคลอเรลล่าไม่ดีพอและไรแดงขาดออกซิเจน จึงควรวางระบบท่อลมให้เพียงพอหรืออาจจะใช้เครื่องตีน้ำก็ได้

(7) การใช้ออกซิเจน โดยทั่วไปสิ่งที่มีชีวิตจำเป็นต้องใช้ออกซิเจนในกระบวนการสร้างพลังงาน ฉะนั้นในการเพิ่มออกซิเจนโดยใช้ปั๊มอากาศลงในบ่อเพาะเลี้ยงไรแดง นอกจากจะช่วยให้ไรแดงมีการขยายพันธุ์ได้รวดเร็วขึ้นแล้ว ยังทำให้แบคทีเรียที่อยู่ในบ่อทำการย่อยสารอินทรีย์ได้เร็วขึ้น นอกจากนี้ยังเป็นการช่วยให้สาหร่ายคลอเรลล่าเจริญเติบโตได้ดีขึ้น อีกทั้งยังช่วยป้องกันการตกตะกอนของสาหร่ายคลอเรลล่าได้ ดังนั้นในการเพิ่มออกซิเจนลงในบ่อเพาะเลี้ยงไรแดงจะมีส่วนให้ไรแดงมีผลผลิตสูงขึ้น

(8) การหมุนเวียนน้ำ เป็นปัจจัยอีกปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อการเพาะเลี้ยงสาหร่ายคลอเรลล่าและไรแดงโดยตรง โดยจะช่วยเพิ่มปริมาณออกซิเจนให้แก่น้ำและยังช่วยไม่ให้สาหร่ายคลอเรลล่าตกตะกอนเกิดการสูญเปล่า นอกจากนี้ยังช่วยให้ปุ๋ยที่ตกตะกอนทับถมกันอยู่กระจายฟุ้งขึ้นมาเพื่อเป็นประโยชน์โดยตรงต่อสาหร่ายคลอเรลล่าซึ่งจะมีผลทำให้ผลผลิตของไรแดงสูงขึ้น

(9) แสงแดด นับว่าเป็นปัจจัยที่สำคัญที่สุดและควบคุมได้ยากมากที่สุด แสงแดดจะมีผลต่อปริมาณความหนาแน่นของสาหร่ายคลอเรลล่าและระยะเวลาที่ใช้ในการเพาะเลี้ยงไรแดงโดยตรง ในการเพาะเลี้ยงไรแดงถ้าทำการเพาะเลี้ยงในช่วงที่มีแดดจัดจะทำให้ผลผลิตของไรแดงสูงขึ้นและใช้ระยะเวลาสั้นกว่าการเพาะเลี้ยงในช่วงที่มีแดดไม่จัดหรือไม่มีแสงแดด

(10) อุณหภูมิ เป็นปัจจัยธรรมชาติอีกปัจจัยหนึ่งซึ่งสามารถควบคุมได้ยาก จะมีผลต่อผลผลิตของไรแดงโดยเฉพาะเมื่ออุณหภูมิต่ำก็จะทำให้ผลผลิตของไรแดงต่ำ และเมื่ออุณหภูมิสูงถึงจุดที่เหมาะสมก็จะทำให้ผลผลิตของไรแดงสูงขึ้น ระยะเวลาในการเพาะเลี้ยงไรแดงก็จะเร็วขึ้นด้วย ซึ่งจะทำให้การเพาะเลี้ยงไรแดงใช้เวลาน้อยลงแต่ได้ผลผลิตสูงขึ้น

(11) ศัตรูของไรแดง เป็นปัจจัยหนึ่งที่จะเป็นตัวกำหนดปริมาณของไรแดงในบ่อโรติเฟอร์ (rotifer) นับว่าเป็นศัตรูชนิดหนึ่งของไรแดง เพราะว่าโรติเฟอร์เป็นตัวแย่งอาหารของไรแดงและจะเข้าเกาะตามตัวของไรแดง จึงควรระมัดระวังทุกขั้นตอนในการป้องกันโรติเฟอร์

2. การเพาะเลี้ยงไรแดงในบ่อดิน

บ่อดินที่จะใช้เพาะเลี้ยงไรแดงควรมีขนาดประมาณ 200 – 800 ตารางเมตร โดยมีวิธีดำเนินการ ดังนี้

วิธีเพาะเลี้ยงไรแดงในบ่อดิน

(1) กำจัดสิ่งสกปรกและศัตรูต่าง ๆ ของไรแดงภายในบ่อ ตากบ่อไว้ประมาณ 2 วัน

(2) กรองน้ำลงบ่อให้มีระดับน้ำสูงจากพื้นบ่อประมาณ 25 – 40 เซนติเมตร พร้อมกับเติมปุ๋ยและอาหารลงไป

(3) สูตรอาหารที่ใช้ มีดังนี้

ตารางที่ 2.9 สูตรอาหารที่ใช้เพาะเลี้ยงไรแดงในบ่อดิน

วัสดุ	บ่อขนาด 200 ตารางเมตร	บ่อขนาด 800 ตารางเมตร
ปูนขาว	15 กิโลกรัม	60 กิโลกรัม
กากผงชูรส	25 ลิตร	100 ลิตร
ปุ๋ยนา (16 – 20 – 0)	2.5 กิโลกรัม	10 กิโลกรัม
ปุ๋ยยูเรีย (46 – 0 – 0)	1.5 กิโลกรัม	5 กิโลกรัม
กากถั่วเหลืองหมัก	2.5 กิโลกรัม	10 กิโลกรัม

ที่มา : กองส่งเสริมการประมง (2551)

ถ้าไม่มีกากผงชูรสให้ใช้มูลไก่ 80 กิโลกรัมต่อบ่อขนาด 800 ตารางเมตร แล้วใส่สาหร่ายคลอเรลล่าประมาณ 2 ตัน ถ้าไม่มีสาหร่ายคลอเรลล่าก็ให้หมักมูลไก่ทิ้งไว้ประมาณ 3 วัน

(4) เมื่อน้ำในบ่อมีสีเขียวแล้วให้เติมหัวเชื้อไรแดงประมาณ 2 กิโลกรัม

(5) เริ่มเก็บเกี่ยวไรแดงได้ในวันที่ 4 – 7 จึงควรเก็บเกี่ยวไรแดงให้ได้มากที่สุด (ควรเก็บเกี่ยวในช่วงเช้าก่อนพระอาทิตย์ขึ้น จะเก็บเกี่ยวได้สะดวกและได้ปริมาณมาก) หลังจากนั้นไรแดงจะเริ่มลดน้อยลงจึงควรเติมอาหารลงไป อาหารที่ควรเติมในระยะนี้ควรจะเป็นพวกย่อยสลายเร็ว เช่น น้ำถั่วเหลือง สาหร่ายคลอเรลล่า รำ เลือดสัตว์ ปุ๋ยวิทยาศาสตร์ และปุ๋ยคอก เป็นต้น โดยเติมอาหารลดลงไปจากเดิมครึ่งหนึ่ง ไรแดงจะเพิ่มจำนวนมากขึ้นอีกภายใน 2 – 3 วันและจะกลับลดลงไปอีกก็ให้เติมอาหารลงไปเท่ากับครั้งที่ 2 ในกรณีนี้การเกิดไรแดงจะลดจำนวนลงมาก ถึงจะเติมอาหารลงไปอีกไรแดงก็จะไม่เพิ่มปริมาณมากขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณการใส่อาหารกับผลผลิตที่ได้และเวลาที่เสียไปเห็นว่าไม่คุ้มกับการลงปุ๋ยแล้วจึงควรเริ่มการเพาะเลี้ยงไรแดงใหม่ ซึ่งปกติแล้วเมื่อเพาะเลี้ยงไรแดงไม่ได้ 15 วันก็จะเริ่มต้นใหม่

ภาพที่ 2.19 การเติมอาหารผสม (กองส่งเสริมการประมง, 2551)

ราคาจำหน่าย

ไรแดงสดที่มีชีวิตจะมีราคาสูงกิโลกรัมละ 50 – 80 บาทขึ้นกับฤดูกาล ไรแดงที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติมีปริมาณน้อยลงเนื่องจากแหล่งเกิดไรแดงตามธรรมชาติลดลง แต่ความต้องการไรแดงมีเพิ่มขึ้น คาดว่าการผลิตไรแดงเพื่อจำหน่ายจะเป็นอาชีพที่ทำรายได้ให้แก่เกษตรกรเป็นอย่างมาก

การนำไรแดงมาใช้

การนำไรแดงมาใช้อย่างมีประสิทธิภาพ ไรแดงที่ได้จากบ่อผลิตในลักษณะนี้จะมีเชื้อโรคที่ทำอันตรายกับสัตว์น้ำน้อยกว่าไรแดงที่ได้จากแหล่งน้ำธรรมชาติ แต่เพื่อความมั่นใจจึงควรล้างด้วยสารละลายด่างทับทิม 0.1 กรัมต่อน้ำ 20 ลิตร ซึ่งจะได้สารละลายสีชมพูอ่อน สารละลายนี้จะเพิ่มออกซิเจนให้กับไรแดงและน้ำด้วย เพราะด่างทับทิมเมื่อละลายน้ำจะให้ออกซิเจนแก่น้ำ สำหรับปริมาณไรแดงที่ใช้ในการอนุบาลสัตว์น้ำวัยอ่อนให้ใช้ในปริมาณ 500 – 800 กรัมต่อลูกปลาจำนวน 100,000 ตัวต่อวัน โดยแบ่งอาหารให้ 4 – 5 ครั้ง แต่ละครั้งห่างกัน 4 – 6 ชั่วโมง ระวังอย่าให้มีไรแดงเหลือลอยอยู่ตลอดเวลา เพราะไรแดงส่วนมากจะตายหมักหมมอยู่บริเวณพื้นบ่อ การอนุบาลลูกปลาดุกอุยตั้งแต่ไข่แดงยุบในระยะเวลา 2 สัปดาห์จะได้ลูกปลาดุกอุยขนาดเฉลี่ย 2 เซนติเมตร ในการอนุบาลลูกปลาดุกอุยหรือปลาดุกเทศอาจใช้อาหารสำเร็จรูปช่วยได้ โดยเริ่มฝึกให้ลูกปลากินอาหารสำเร็จรูปเมื่อลูกปลามีอายุได้ 8 – 10 วันโดยให้พร้อมกับไรแดง แล้วค่อย ๆ ลดปริมาณไรแดงลงและเพิ่มปริมาณอาหารสำเร็จรูปจนกระทั่งลูกปลาสามารถกินอาหารสำเร็จรูปได้ทั้งหมด

การลำเลียงขนส่งไรแดง

การขนส่งไรแดงนั้นควรลดกิจกรรมการดำเนินชีวิตของไรแดง โดยบรรจุไรแดงในอุณหภูมิต่ำเพื่อให้เกิดการใช้พลังงานต่าง ๆ ในตัวไรแดงให้น้อยที่สุด ในระหว่างการลำเลียงนั้นควรให้อุณหภูมิในถุงเปลี่ยนแปลงไปอย่างช้า ๆ ไม่รวดเร็ว และช่วงกว้างของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิไม่มากนักจนเป็นอันตรายต่อไรแดง การขนส่งไรแดงที่ยังมีชีวิตอยู่ในปัจจุบันควรกระทำดังนี้

(1) การขนส่งไรแดงโดยวิธีนำไรแดงแช่ในน้ำแข็งประมาณ 1 – 2 วินาทีเพื่อลดกิจกรรมและระบบการเผาผลาญพลังงานในตัว แล้วรีบบรรจุในน้ำสะอาดและมีน้ำแข็งคลุมรอบนอกถุงเป็นวิธีที่ดีที่สุด

(2) การขนส่งไรแดงในระยะทางใกล้ ๆ ซึ่งใช้ระยะเวลา 2 – 3 ชั่วโมงนั้นไม่จำเป็นต้องใช้ไรแดงแช่ในน้ำแข็ง แต่ควรนำไรแดงมาบรรจุในน้ำสะอาดแล้วอัดออกซิเจน คลุมน้ำแข็งรอบ ๆ แล้วขนส่งไรแดงในรถที่มีเครื่องปรับอากาศก็ยิ่งเพิ่มประสิทธิภาพการขนส่งมากยิ่งขึ้น ในกรณีที่ไม่สามารถหาน้ำแข็งได้ก็สามารถขนส่งในรถที่มีเครื่องปรับอากาศได้

(3) การลำเลียงไรแดงในลักษณะแช่แข็งก็เป็นอีกวิธีหนึ่งเช่นเดียวกัน โดยนำไรแดงไปแช่แข็งในตู้เย็นและให้ไรแดงแข็งโดยเร็วเพื่อความสด วิธีนี้สามารถเก็บไรแดงไว้ได้นานและยังสดอยู่เสมอ แต่ไรแดงที่ได้เป็นไรแดงที่ตายแล้ว สัตว์น้ำวัยอ่อนจะชอบกินไรแดงสดมากกว่าไรแดงที่แช่แข็ง การให้อาหารลูกปลาลูกกุ้งวัยอ่อนจึงควรให้ครั้งละน้อย ๆ เพื่อป้องกันไม่ให้น้ำเสียได้ง่าย

การเก็บรักษาไรแดง

(1) ใช้วิธีการเก็บโดยการแช่แข็ง วิธีนี้สามารถเก็บไว้ได้นานและยังสดอยู่เสมอ ส่วนมากเป็นไรแดงที่ตาย (โดยปกติสัตว์น้ำวัยอ่อนมักชอบกินไรแดงที่ยังมีชีวิตอยู่) ไรแดงที่เก็บโดยวิธีนี้ไม่สามารถนำไปใช้เป็นพันธุ์ในการผลิตครั้งต่อไป

(2) วิธีการเก็บในอุณหภูมิต่ำประมาณ 10 องศาเซลเซียส โดยเติมน้ำลงไป 50 เปอร์เซ็นต์ จะอยู่ได้นาน 4 วันในภาชนะเปิด ประมาณวันที่ 3 จะสังเกตเห็นไข่สีขาวขุ่นหรือสีชมพูซึ่งเป็นไข่ไรแดงชนิดที่จะต้องผสมพันธุ์กับเพศผู้ซึ่ง จะสร้างขึ้นเมื่อสภาวะแวดล้อมไม่เหมาะสม อุณหภูมิต่ำกว่า 15 องศาเซลเซียส ความเป็นกรดเป็นด่างต่ำกว่า 6 หรือสูงกว่า เป็นต้น

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.4 สาหร่ายคลอเรลล่า

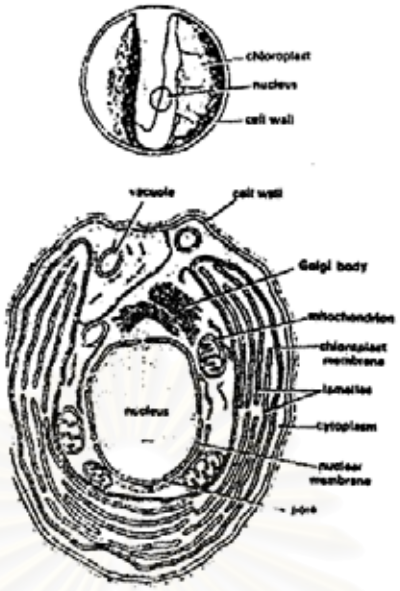
2.4.1 อนุกรมวิธานของสาหร่ายคลอเรลล่า (Hoek et al., 1995)

Division	Chlorophyta
Class	Chlorophyceae
Order	Chlorococcales
Family	Chlorellaceae
Genus	*Chlorella*

2.4.2 รูปร่างและลักษณะของสาหร่ายคลอเรลล่า

เป็นสาหร่ายสีเขียวเซลล์เดียว ไม่สามารถเคลื่อนที่ได้เอง มักอยู่เป็นเซลล์เดี่ยว ๆ มีขนาดเล็กมาก โดยมีเส้นผ่านศูนย์กลางเซลล์ประมาณ 2–12 ไมโครเมตร มีรูปร่างเป็นทรงกลม เซลล์ถูกล้อมรอบด้วยผนังเซลลูโลสบาง ๆ และพบสปอโรพอลลีนิน (sporopollenin) ในผนังเซลล์ ซึ่งเป็นสารประกอบที่สามารถพบได้ที่ผนังของอับละอองเรณูในพืชชั้นสูง มีคลอโรพลาสต์ (chloroplast) เป็นรูปถ้วย อาจมีหรือไม่มีไพรีนอยด์ (pyrenoid) ไม่มีแฟลกเจลลา (flagella) มีสติกมา (stigma) และคอนแทรกไทล์แวคคิวโอล (contractile vacuole) พบนิวเคลียส (nucleus) อยู่ตรงกลางเซลล์ มีเยื่อหุ้มนิวเคลียส 2 ชั้น พบไมโตคอนเดรีย (mitochondria) กอลจิบอดี้ (golgi body) และแวคคิวโอล (vacuole) เล็กน้อยในไซโตพลาสซึม (cytoplasm) ดังภาพที่ 2.20

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพที่ 2.20 รูปร่างและลักษณะของสาหร่ายคลอเรลลา (Sharma, 1992)

2.4.3 การแพร่กระจายของสาหร่ายคลอเรลล่า

สาหร่ายสกุล *Chlorella* พบได้ทั้งในน้ำจืด น้ำกร่อย และน้ำเค็ม โดยชนิดที่พบได้ในน้ำเค็มมีขนาดเล็กกว่าที่พบจากแหล่งอื่น ๆ คือ จะมีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 2 ไมโครเมตร รวมทั้งยังพบได้บนพื้นดินที่เปียกชื้นและบนกำแพง สาหร่ายชนิดนี้มักเป็นชนิดที่ปนเปื้อนในภาชนะบรรจุน้ำ บางชนิดอาศัยอยู่ร่วมกับสัตว์ชนิดอื่น ๆ เช่น *Chlorella parasitica* พบว่าจะอาศัยร่วมกับพารามีเซียมชนิด *Paramecium bursaria* ส่วน *Chlorella lichina* พบว่าจะอาศัยอยู่ร่วมกับไลเคนส์ (lichens) ชนิด *Calicium chlorina* สาหร่ายในสกุลนี้มี 14 ชนิด ได้แก่ *C. vulgaris*, *C. pyrenoidosa, C. concloverata, C. simplex, C. ellipsoidea, C. miniala, C. protothecoides, C. saccharophila*, *C. acuminata*, *C. faginea*, *C. variegata*, *C. parasitica*, *C. conductrix* และ *C. lichina*

2.4.4 การสืบพันธุ์ของสาหร่ายคลอเรลล่า

สาหร่ายคลอเรลล่ามีการสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศเพียงแบบเดียว (Sharma, 1992) โดยการสร้างออโตสปอร์ (autospore) ขึ้นในเซลล์แม่ ออโตสปอร์เป็นสปอร์ (spore) ที่ไม่มีแฟลกเจลลา ไม่เคลื่อนที่ มีรูปร่างเหมือนเซลล์ปกติ โดยแต่ละครั้งของการสร้างออโตสปอร์นั้นสามารถสร้างได้ตั้งแต่ 2–16 เซลล์ แต่ละออโตสปอร์นี้จะค่อย ๆ พัฒนาจนเหมือนกับเซลล์แม่ แต่ต่างกันที่ออโตสปอร์จะมีขนาดเล็กกว่าและจะถูกปล่อยออกมาจากผนังเซลล์

ภาพที่ 2.21 การสืบพันธุ์ของสาหร่ายคลอเรลล่า (Sharma, 1992)

2.4.5 การเจริญเติบโตของสาหร่ายคลอเรลล่า

มีลักษณะโดยทั่วไปเช่นเดียวกับแพลงก์ตอนพืชชนิดอื่น คือ มี 4 ระยะ (กาญจนา คงขึม, 2546) ดังนี้

(1) lag phase เป็นระยะฟักตัวของเซลล์ โดยจะมีการปรับตัวให้เข้ากับสิ่งแวดล้อม มีการสร้างเอนไซม์ที่จำเป็นสำหรับการนำไปใช้ย่อยสลายสารอาหาร เซลล์อาจมีการเจริญแบบเพิ่มขนาดขึ้น แต่ยังถือว่าไม่มีการแบ่งตัวเพิ่มจำนวน ปริมาณความเข้มข้นของอาร์เอ็นเอ (RNA) ต่อเซลล์จะสูงขึ้นเร็วมากแล้วจะเข้าสู่ช่วงที่มีอัตราการเจริญเพิ่มขึ้น คือ เริ่มมีการแบ่งเซลล์ ช่วงระยะ lag phase นี้จะสั้นหรือยาวเพียงใดขึ้นอยู่กับอายุของแพลงก์ตอนที่นำมาใช้ ความเหมาะสมของสภาพแวดล้อม และวิธีในการเลี้ยงเชื้อ

(2) logarithm phase หรือ log phase เซลล์เกือบทั้งหมดในช่วงนี้จะมีการแบ่งตัวอย่างรวดเร็วและสม่ำเสมอกัน อัตราส่วนของอาร์เอ็นเอ (RNA) ต่อเซลล์ค่อนข้างคงที่ ในช่วงนี้แต่ละเซลล์จะมี generation time เท่า ๆ กัน ดังนั้นการเจริญเติบโตจึงเป็นแบบเอ็กซ์โพเนนเชียล (exponential) ช่วงระยะ log phase จะสั้นหรือยาวเพียงใดขึ้นอยู่กับปริมาณและความเข้มข้นของสารอาหารและปริมาณของเสียที่สัตว์น้ำขับถ่ายที่เป็นพิษต่อแพลงก์ตอนเอง

(3) stationary phase เป็นช่วงที่มีปริมาณเซลล์สูงสุดและค่อนข้างคงที่ อัตราการเพิ่มจำนวนมีค่าใกล้ศูนย์ นั่นคือ อัตราการเจริญจะเท่ากับอัตราการตายรวมกับการแตกสลายของเซลล์ แพลงก์ตอนแต่ละชนิดจะมีจำนวนความหนาแน่นของเซลล์ได้สูงสุดค่อนข้างจำกัด

(4) decline phase เป็นช่วงที่เซลล์มีการตายแบบเอ็กซ์โพเนนเชียลซึ่งจะขึ้นอยู่กับการขาดแคลนสารอาหาร ความเข้มข้นของสารพิษที่ปล่อยออกมาจากเซลล์ และสภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงไป เช่น พีเอชและอุณหภูมิ เป็นต้น

2.4.6 การนำสาหร่ายคลอเรลล่ามาใช้ประโยชน์

เนื่องจากสาหร่ายคลอเรลล่าเป็นสาหร่ายที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง กล่าวคือ เซลล์สาหร่ายคลอเรลล่าประกอบด้วย โปรตีนร้อยละ 50 คาร์โบไฮเดรตร้อยละ 20 และไขมันร้อยละ 20 และส่วนที่เหลือเป็นกรดอะมิโน วิตามิน และแร่ธาตุบางชนิด (Beaker, 1994) ดังนั้นจึงสามารถนำเอาสาหร่ายคลอเรลล่านี้ไปใช้ทำเป็นอาหารสำหรับคนและสัตว์ได้ สามารถนำเอาไปสกัดวิตามินที่จำเป็นต่อร่างกาย ได้แก่ วิตามินบี 1 วิตามินบี 2 วิตามินบี 6 วิตามินบี 12 และวิตามินซี นอกจากนี้ยังสามารถใช้ทำเป็นยาฆ่าเชื้อโรคได้เนื่องจากมีสารคลอเรลลิน (chlorellin) ซึ่งมีคุณสมบัติในการยับยั้งการเติบโตของแบคทีเรีย ใช้สร้างออกซิเจนและกำจัดคาร์บอนไดออกไซด์ในยานอวกาศและเรือดำน้ำ สามารถใช้เป็นอาหารของนักบินอวกาศได้ และยังสามารถลดปัญหาน้ำเสียโดยใช้สาหร่ายคลอเรลล่าในการบำบัดน้ำเสียได้อีกด้วย (Vymazal, 1995)

สาหร่ายคลอเรลล่ามีบทบาทต่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำเช่นเดียวกับแพลงก์ตอนพืชอื่น ๆ ทั่วไป คือ ช่วยเพิ่มออกซิเจนในน้ำจากกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงในเวลากลางวัน และถึงแม้ออกซิเจนบางส่วนจะถูกใช้ในกระบวนการหายใจแต่ถือว่าน้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับออกซิเจนที่สังเคราะห์ได้ นอกจากนี้ยังช่วยกำจัดสารพิษในน้ำ เช่น แอมโมเนีย ฟอสเฟตที่ได้จากกระบวนการขับถ่ายของเสียของสัตว์น้ำ รวมทั้งการเน่าสลายของสารอินทรีย์ที่ใช้เป็นอาหารแก่สัตว์น้ำ โดยสาหร่ายคลอเรลล่าจะใช้สารเหล่านี้ในการเจริญเติบโต อีกทั้งสาหร่ายคลอเรลล่ายังเป็นอาหารเสริมที่ช่วยสร้างภูมิคุ้มกันโรคแก่สัตว์น้ำ ทำให้สัตว์น้ำเจริญเติบโตดีและมีอัตราการรอดตายสูง (กาญจนาวดี คงขึม, 2546)

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการใช้ประโยชน์จากน้ำกากส่าและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการเพาะเลี้ยงไรแดงมีผู้ศึกษาและวิจัยอยู่น้อยมาก ส่วนงานวิจัยที่เคยมีผู้ศึกษาและวิจัยมาก่อนนั้นข้อมูลค่อนข้างเก่าและได้ทำการศึกษามานานแล้ว ในที่นี้จึงได้รวบรวมข้อมูลมาพอให้เห็นภาพรวมเกี่ยวกับงานวิจัยที่เกี่ยวข้องทั้งสองพอสังเขป ดังนี้

2.5.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการใช้ประโยชน์จากน้ำกากส่า

มาลี วิศวาจารย์ (2531) ศึกษาการใช้ประโยชน์จากน้ำกากส่าโรงงานสุราในการผลิตก๊าซชีวภาพ พบว่าการผลิตก๊าซชีวภาพและประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีจะมีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาเก็บกักน้ำทิ้งที่เพิ่มขึ้น ระยะเวลาเก็บกักน้ำทิ้งที่ให้ปริมาณก๊าซชีวภาพสูงสุด คือ 13.33 วันซึ่งให้ปริมาณก๊าซชีวภาพ 0.37 x 10^{-2} ลูกบาศก์เมตรต่อกิโลกรัมซีโอดีที่ป้อนเข้าสู่ระบบ หรือ 0.55 x 10^{-2} ลูกบาศก์เมตรต่อกิโลกรัมซีโอดีที่ถูกกำจัด ก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นมีก๊าซมีเทนร้อยละ 67.5 และประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีเท่ากับร้อยละ 68

วรรณดี สุประดิษฐ์อาภรณ์ (2532) ศึกษาเปรียบเทียบการทำปุ๋ยหมักจากฟางข้าวผสมกับแหล่งไนโตรเจนชนิดต่าง ๆ พบว่าน้ำกากส่าเป็นแหล่งไนโตรเจนได้ดีที่สุด เนื่องจากภายหลังการย่อยสลาย 128 วัน อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนของฟางข้าวผสมน้ำกากส่าลดลงเหลือเพียง 10.92 ซึ่งมีค่าต่ำที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับฟางข้าวผสมกากมันสำปะหลัง แอมโมเนียมไนเตรท และฟางข้าวหมักกับน้ำ ซึ่งอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนของฟางข้าวลดลงเหลือ 21.78, 15.42 และ 28.73 ตามลำดับ

บุญมี กองสมบัติ และคณะ (2536) ได้ดำเนินการศึกษาวิจัยเพื่อหาอัตราการใช้น้ำกากส่าในการปลูกข้าวโพดและถั่วเขียว พบว่าสามารถใช้น้ำกากส่าในข้าวโพดและถั่วเขียวได้โดยไม่เป็นพิษต่อพืชทั้งสองและระยะเวลาการใช้ควรใช้ก่อนปลูกโดยใส่ก่อนการเตรียมดินครั้งสุดท้ายทั้งนี้ในอัตราไม่เกิน 20 ตันต่อไร่ ส่วนความเป็นประโยชน์ในด้านการให้ธาตุอาหารพืชและอัตราการใช้ที่เหมาะสมนั้นแสดงผลไม่ชัดเจน แต่มีแนวโน้มว่าเป็นประโยชน์ต่อการเจริญเติบโตและให้ผลผลิตดีขึ้นทั้งในข้าวโพดและถั่วเขียว อัตราการใช้อาจใช้ได้ตั้งแต่อัตรา 5 – 20 ตันต่อไร่

ฐิติมา จิตรกสิกร และวรัชฎา ขำเลิศ (2537) ทดลองอนุบาลลูกปลาแรดในบ่อดินโดยใส่น้ำกากส่าจากโรงงานสุราในปริมาณ 0, 0.5 และ 1 ลูกบาศก์เมตรต่อไร่ทุก ๆ 2 สัปดาห์เป็นเวลา 12 สัปดาห์ พบว่าการเจริญเติบโตและอัตราการรอดตายของลูกปลาแรดที่อนุบาลด้วยอาหารเม็ดปลาดุกเล็กและใส่น้ำกากส่าในอัตรา 0.5 ลูกบาศก์เมตรต่อไร่มีการเจริญเติบโตและอัตรารอดตายสูงสุดแต่ไม่แตกต่างทางสถิติกับปริมาณอื่น ๆ ส่วนคุณสมบัติน้ำโดยทั่วไปอยู่ในเกณฑ์ปกติยกเว้นปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำจะมีแนวโน้มลดลงในบ่อที่ใส่น้ำกากส่ามากขึ้น

ฐิติมา จิตรกสิกร (2540) ศึกษาการใช้น้ำกากส่าในการเพาะเลี้ยงคลอเรลล่าระดับห้องปฏิบัติการเพื่อหาระดับความเข้มข้นที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของคลอเรลล่า พบว่าการใช้น้ำกากส่าที่ระดับความเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์คลอเรลล่ามีการเจริญเติบโตด้านจำนวนเซลล์ไม่แตกต่างจากอาหารสูตร NS III และที่ระดับความเข้มข้นของน้ำกากส่าสูงกว่า 1 เปอร์เซ็นต์คลอเรลล่ามีการเจริญของจำนวนเซลล์ลดลงเพราะสาเหตุจากสีของน้ำกากส่าที่เป็นสีน้ำตาลเข้มจะขัดขวางการส่องผ่านของแสงทำให้จำนวนเซลล์เพิ่มขึ้นช้าและมีจำนวนน้อย ส่วนการใช้น้ำกากส่าทดแทนสารเคมีแต่ละตัวในอาหารสูตร NS III สามารถใช้แทนได้ทุกตัวแต่การใช้ทดแทน KNO_3 จะให้จำนวนเซลล์ของคลอเรลล่าลดลงรวดเร็วกว่าตัวอื่น ๆ

ก่อเกียรติ ฉายรัศมีกุล (2544) ศึกษาประสิทธิภาพของน้ำต้มเยื่อกระดาษสาและน้ำกากส่าในการเป็นแหล่งโพแทสเซียมสำหรับข้าวโพด การทดลองในห้องปฏิบัติการพบว่าน้ำต้มเยื่อกระดาษสาและน้ำกากส่ามีประสิทธิภาพเป็นแหล่งโพแทสเซียมโดยสามารถเพิ่มการเจริญเติบโต ผลผลิต และการดูดดึงโพแทสเซียม ไนโตรเจน และฟอสฟอรัสของข้าวโพดได้ใกล้เคียงกับปุ๋ยโพแทสเซียมคลอไรด์ โดยเฉพาะในส่วนของผลผลิตพบว่าการใส่น้ำกากส่าทำให้ข้าวโพดมีน้ำหนักต่อซังมากกว่าการไม่ใส่โพแทสเซียม และการใส่น้ำทิ้งทั้งสองชนิดในชุดดินสันทรายที่มีการปลูกข้าวโพดไม่มีผลต่อพีเอชและสภาพการนำไฟฟ้าของดินแต่อย่างใด

Ramana, Biswas and Singh (2002) ทดลองนำน้ำกากส่า 3 แบบ คือ น้ำกากส่าสด น้ำกากส่าจากบ่อหมักก๊าซชีวภาพ และน้ำกากส่าจากบ่อพักมาใช้เป็นปุ๋ยในแปลงปลูกข้าวโพดฝักอ่อน ผลการทดลองพบว่าน้ำกากส่าทั้ง 3 แบบช่วยเพิ่มทั้งพื้นที่ใบ ปริมาณคลอโรฟิลล์ น้ำหนักแห้งสุทธิ และผลผลิตสุทธิของข้าวโพดฝักอ่อน โดยน้ำกากส่าจากบ่อหมักก๊าซชีวภาพจะทำให้มีผลผลิตสุทธิมากที่สุดเท่ากับ 36.9 คิวต่อเฮกแตร์ รองลงมา คือ น้ำกากส่าสดและน้ำกากส่าจากบ่อพัก ซึ่งให้ผลผลิตสุทธิเท่ากับ 32.2 และ 28.3 คิวต่อเฮกแตร์ ตามลำดับ

Ramana, Biswas, Kundu, Saha and Yadava (2002) ศึกษาผลของน้ำกากส่าหลายความเข้มข้น ได้แก่ 0, 5, 10, 15, 20, 25, 50, 75 และ 100 เปอร์เซ็นต์ต่อเปอร์เซ็นต์การงอกของเมล็ด ระยะเวลาในการงอกของเมล็ด และค่าสูงสุดในการงอกของเมล็ดของผักชนิดต่าง ๆ ซึ่งได้แก่ มะเขือเทศ พริก ผักกาด แตงกวา และหัวหอม พบว่าน้ำกากส่าความเข้มข้นระดับต่ำไม่มีผลในการยับยั้งการงอกของเมล็ดของผักชนิดใดเลยยกเว้นมะเขือเทศ น้ำกากส่าความเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์ทำให้การงอกของเมล็ดของหัวหอมมีค่า 84 เปอร์เซ็นต์แตกต่างจากชุดควบคุม (control) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ 63 เปอร์เซ็นต์ ส่วนระยะเวลาในการงอกของเมล็ดและค่าสูงสุดในการงอกของเมล็ดของผักทุกชนิดมีค่าใกล้เคียงกัน นอกจากนี้ยังพบว่าน้ำกากส่าความเข้มข้น 5 เปอร์เซ็นต์ให้ผลที่ดีต่อการงอกของเมล็ดของมะเขือเทศและผักกาด และน้ำกากส่าความเข้มข้น 25 เปอร์เซ็นต์ให้ผลที่ดีต่อการงอกของเมล็ดของพริก แตงกวา และหัวหอม จึงสามารถสรุปความทนทานของเมล็ดผักต่อน้ำกากส่าเรียงลำดับจากมากไปน้อยได้ ดังนี้ แตงกวา พริก หัวหอม ผักกาด และมะเขือเทศ ตามลำดับ

Ramana, Biswas, Singh and Yavada (2002) ทดลองนำน้ำกากส่า 3 แบบ คือ น้ำกากส่าสด น้ำกากส่าจากบ่อหมักก๊าซชีวภาพ และน้ำกากส่าจากบ่อพัก มาใช้เป็นปุ๋ยในแปลงปลูกถั่วลิสง ผลการทดลองพบว่าน้ำกากส่าทั้งสามแบบช่วยเพิ่มทั้งปริมาณคลอโรฟิลล์ อัตราการเจริญเติบโต น้ำหนักแห้งสุทธิ การดูดดึงไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม และผลผลิตสุทธิของเมล็ด แต่จะมีผลยับยั้งและลดกระบวนการตรึงไนโตรเจน โดยน้ำกากส่าจากบ่อหมักก๊าซชีวภาพจะทำให้มีผลผลิตสุทธิของเมล็ดมากที่สุดเท่ากับ 619 กิโลกรัมต่อเฮกแตร์ รองลงมา คือ น้ำกากส่าสดและน้ำกากส่าจากบ่อพัก ซึ่งจะทำให้มีผลผลิตสุทธิของเมล็ดเท่ากับ 557 และ 472 กิโลกรัมต่อเฮกแตร์ ตามลำดับ จึงสรุปได้ว่าสามารถนำน้ำกากส่ามาใช้เป็นปุ๋ยหรือแหล่งของธาตุอาหารในแปลงปลูกถั่วลิสงได้ เนื่องจากมีธาตุต่าง ๆ ที่เป็นประโยชน์ต่อพืช เช่น โพแทสเซียม ไนโตรเจน และซัลเฟอร์ แต่อย่างไรก็ตามจะต้องใช้ในปริมาณที่เหมาะสม

โกวิทย์ อุตตบุญ (2547) ทดลองเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างการใช้น้ำกากส่าที่ผ่านการบำบัดด้วยระบบยูเอเอสบีจากโรงงานสุรากับการใช้ปุ๋ยเคมีต่อการเจริญเติบโตของข้าวโพดฝักอ่อน ผลการทดลองปรากฏว่าข้าวโพดฝักอ่อนในแปลงที่ไม่ใส่ทั้งน้ำกากส่าและปุ๋ยเคมีมีการเจริญเติบโตต่ำกว่าในแปลงที่ใส่น้ำกากส่าและปุ๋ยเคมี และเมื่อเปรียบเทียบกันระหว่างแปลงที่ใส่น้ำกากส่ากับแปลงที่ใส่ปุ๋ยเคมีพบว่าการเจริญเติบโตของข้าวโพดฝักอ่อนไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และอัตราส่วนการใส่น้ำกากส่าที่แตกต่างกันไม่มีผลทำให้การเจริญเติบโตของข้าวโพดฝักอ่อนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ทัศนประภา เลิศศรีมงคล (2547) ทดลองนำน้ำกากส่าจากกระบวนหมักเอทานอลจากกากน้ำตาลไปใช้ในกระบวนการผลิตโปรตีนเซลล์เดียวโดยใช้ยีสต์ *Saccharomyces cerevisiae* M30 พบว่าในการผลิต *S. cerevisiae* M30 ที่ความเข้มข้นน้ำตาลเริ่มต้น 6 – 10 เปอร์เซ็นต์ (มวลต่อปริมาตร) สามารถใช้น้ำกากส่าทดแทนน้ำได้ 40 – 60 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรโดยไม่พบการยับยั้งการผลิตเซลล์เมื่อแทนที่น้ำด้วยกากส่า 0 – 40 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร และจากการศึกษาการเพิ่มอัตราการผลิตเซลล์โดยการป้อนสารอาหารแบบเป็นช่วง ๆ พบว่าอัตราการผลิตเซลล์แห้งในการเลี้ยงแบบกะ แบบกึ่งต่อเนื่องขั้นตอนเดียว และแบบกึ่งต่อเนื่องสองขั้นตอน มีค่าเท่ากับ 0.12, 0.17 และ 0.21 กรัมต่อลิตรต่อชั่วโมง ตามลำดับ

2.5.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการเพาะเลี้ยงไรแดง

ธิดา เพชรมณี และคณะ (2536) ศึกษาเรื่องความเป็นไปได้ในการเพาะเลี้ยงไรแดงด้วยคลอเรลล่าในภาคใต้ ผลการศึกษาพบว่าสูตรอาหารของ Yamagushi ซึ่งประกอบด้วย $(NH_4)_2SO_4$ 100 กรัมต่อตัน ปุ๋ย N – P – K สูตร 16 – 20 – 0 จำนวน 1.5 กรัมต่อตัน และปุ๋ยยูเรีย 5 กรัมต่อตันสามารถใช้เพาะเลี้ยงคลอเรลล่าน้ำจืดซึ่งจะใช้เป็นอาหารของไรแดงได้ การทดลองเพาะเลี้ยงไรแดงในห้องปฏิบัติการที่อุณหภูมิ 25, 30 และ 35 องศาเซลเซียสพบว่าที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียสไรแดงขยายพันธุ์ได้เร็วที่สุดแต่อายุสั้นกว่าที่ 30 องศาเซลเซียสซึ่งให้จำนวนลูกทั้งหมดเท่ากัน เมื่อเพาะเลี้ยงไรแดงในถัง 100 ลิตรกลางแจ้งพบว่าถ้าอุณหภูมิของน้ำอยู่ในช่วง 30 – 35 องศาเซลเซียส (เวลา 15.00 น.) ให้คลอเรลล่า 0.5 – 1.5×10^6 เซลล์ต่อตัวต่อวัน พันธุ์ไรแดงแข็งแรง ไม่มีสิ่งมีชีวิตอื่นที่จะคอยแย่งอาหารปนเปื้อน การเพาะเลี้ยงไรแดงจะประสบผลสำเร็จและเป็นไปได้ที่เลี้ยงเพียง 1 วันแล้วผลผลิตเพิ่มขึ้นมากพอที่จะเก็บเกี่ยวผลผลิต

อุธร ฤทธิลึก และจันทร์พิมพ์ กังพานิช (2540) ทดลองเลี้ยงไรแดงในน้ำที่มีความหนาแน่นของคลอเรลล่าแตกต่างกันในบ่อซีเมนต์ความจุ 500 ลิตรกลางแจ้งพบว่าความหนาแน่นของคลอเรลล่า 1 x 10^6 เซลล์ต่อมิลลิลิตรให้ผลผลิตไรแดงสูงกว่าที่ความหนาแน่น 1 x 10^5, 2.5 x 10^5 และ 5 x 10^5 เซลล์ต่อมิลลิลิตร และการเลี้ยงไรแดงที่ให้คลอเรลล่ามากเกินพอให้ผลผลิตไรแดงสูงกว่าการเลี้ยงที่มีความหนาแน่นของคลอเรลล่า 1 x 10^6 เซลล์ต่อมิลลิลิตร 2.26 เท่าในระยะเวลาการเลี้ยง 7 วัน

สาธิต โกวิทวที (2541) ทำการทดลองเลี้ยงไรแดงด้วยแบคทีเรีย (*Bacillus subtilis*) ที่มีค่าความขุ่น 2.0 O.D. ในปริมาณ 0, 0.5, 1.5, 2.5 และ 3.5 มิลลิลิตรโดยใช้น้ำ 20 มิลลิลิตร เปลี่ยนน้ำและให้อาหารใหม่ทุกวัน นับจำนวนลูกที่ได้จนกระทั่งแม่ไรแดงตาย พบว่าได้จำนวนลูกเฉลี่ยเท่ากับ 0, 31.30, 38.20, 45.45 และ 46.80 ตัวต่อแม่ ตามลำดับ อายุเฉลี่ยของแม่ไรแดงเท่ากับ 0, 11.75, 11.75, 12.00 และ 11.60 วัน ตามลำดับ จำนวนลูกเฉลี่ยต่อแม่เมื่อให้แบคทีเรียจำนวน 0.5 และ 1.5 มิลลิลิตรมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ แต่เมื่อเปรียบเทียบจำนวนแบคทีเรีย 2.5 และ 3.5 มิลลิลิตรจะแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ อายุเฉลี่ยของแม่ไรแดงในทุกแบคทีเรียจะมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ

ปิยนารถ โยชน์ชัยสาร (2542) ศึกษาและเปรียบเทียบผลผลิตของไรแดงที่เพาะเลี้ยงในสูตรอาหารและความเข้มแสงต่างกันเมื่อใช้สูตรอาหารซึ่งมี 2 สูตร คือ สูตรที่ 1 ได้แก่ รำละเอียด 1,280 กรัม กากถั่วเหลือง 640 กรัม ปลาป่น 640 กรัม และสูตรที่ 2 ได้แก่ รำละเอียด 960 กรัม กากถั่วเหลือง 480 กรัม ปลาป่น 480 กรัม และปุ๋ยยูเรีย (46 – 0 – 0) 128 กรัม พบว่าไรแดงที่เพาะเลี้ยงในสูตรอาหารที่ 1 มีผลผลิต (5.023 กรัมต่อลิตร) มากกว่าไรแดงที่เพาะเลี้ยงในสูตรอาหารที่ 2 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และเมื่อใช้ระดับความเข้มแสง 2 ระดับ คือ ระดับที่ 1 ความเข้มแสงร้อยละ 50 และระดับที่ 2 ความเข้มแสงร้อยละ 100 โดยทำการเพาะเลี้ยงในสภาพกลางแจ้งเป็นเวลา 10 วัน ผลปรากฏว่าไรแดงที่เพาะเลี้ยงโดยได้รับความเข้มแสงร้อยละ 50 มีผลผลิต (4.761 กรัมต่อลิตร) มากกว่าไรแดงที่เพาะเลี้ยงโดยได้รับความเข้มแสงร้อยละ 100 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ นอกจากนี้ผลการศึกษายังพบว่าไม่มีอิทธิพลร่วมระหว่างสูตรอาหารกับความเข้มแสงต่อผลผลิตของไรแดง

อรุณ จันทร์วงษ์ (2545) เพาะเลี้ยงไรแดงโดยทดลองใช้กากผงชูรสร่วมกับการใช้รำละเอียดหมัก (รำละเอียด 1 กิโลกรัมต่อน้ำ 10 ลิตร ทิ้งไว้เป็นเวลา 1 คืน) ในอัตราส่วนที่แตกต่างกันในบ่อทดลองขนาด 50 ตารางเมตร ระดับน้ำลึก 20 เซนติเมตร เป็นเวลา 5 วัน พบว่าการใส่ปุ๋ยวิทยาศาสตร์สูตร 16 – 20 – 0 จำนวน 1.5 กิโลกรัม ปุ๋ยยูเรีย 1.5 กิโลกรัม ปุ๋ยซุปเปอร์ฟอสเฟต 130 กรัม ปูนขาว 2 กิโลกรัม กากผงชูรส 4 ลิตรผสมรำละเอียดหมัก 1 ลิตร เป็นสูตรอาหารที่ให้ผลผลิตไรแดงมากที่สุดเท่ากับ 7,666.67 กรัมและมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติกับการใช้กากผงชูรส 5 ลิตร กากผงชูรส 5 ลิตรผสมกับรำละเอียดหมัก 1 ลิตร และกากผงชูรส 3 ลิตรผสมกับรำละเอียดหมัก 2 ลิตรซึ่งให้ผลผลิตไรแดง 7,100, 7,066.67 และ 4,966.67 กรัม ตามลำดับ

วีระวงศ์ ตางาม และคณะ (2546) ศึกษาเปรียบเทียบผลผลิตไรแดงที่ความหนาแน่นของคลอเรลล่าแตกต่างกัน 4 ระดับควบคู่กับการใช้อาหารในสภาพการเลี้ยงแบบน้ำนิ่งให้ฟองอากาศและสภาพน้ำหมุนเวียนโดยใช้บ่อคอนกรีตขนาด 2 x 4 เมตร ความลึกของน้ำ 40 เซนติเมตร จากการทดลองพบว่าผลผลิตไรแดงที่เก็บเกี่ยวได้ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ไพรวัลย์ เงินแท่ง (2548) ทำการศึกษาปุ๋ยเสริมชนิดต่าง ๆ ที่มีผลต่อการเพิ่มผลผลิตของไรแดง โดยการนำไรแดงน้ำหนักเริ่มต้น 100 กรัมมาใส่ในรองที่บรรจุน้ำ 75 ลิตร ผลการทดลองพบว่าการเพิ่มผลผลิตไรแดงโดยใช้ปุ๋ยเสริมต่างชนิดกัน คือ ไม่ใส่ปุ๋ยเสริม (ชุดควบคุม) ใส่มูลแพะ และใส่มูลสุกร กับชุดทดลองที่ใส่ EM และใส่มูลวัว มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยในชุดการทดลองที่ไม่ใส่ปุ๋ยเสริม ใส่ปุ๋ยมูลแพะ และใส่ปุ๋ยมูลสุกร ให้ผลผลิตไรแดงน้ำหนักเปียกรวมเฉลี่ย 73.85, 73.10 และ 70.29 กรัม ตามลำดับ และให้ผลผลิตไรแดงน้ำหนักแห้งเฉลี่ย 19.95, 19.75 และ 18.99 กรัม ตามลำดับ

Kang et al. (2006) ทดลองนำยีสต์ทะเล 2 สายพันธุ์ (*Debaryomyces hansenii* Yeast – 14 และ *Candida austromarina* Yeast – 16) และ *Erythrobacter* sp. ซึ่งเป็นอาหารทางการค้ามาใช้เป็นอาหารของไรแดงในการเลี้ยงแบบมหมวล (mass culture) ซึ่งยีสต์ทั้งสามมีกรดอะมิโนที่จำเป็นใกล้เคียงกับในไรแดง โดยทำการวัดและวิเคราะห์ปริมาณ DHA : EPA ในเนื้อเยื่อของไรแดงหลังจากไรแดงผ่านการเลี้ยงด้วยยีสต์ทั้งสามชนิดเป็นเวลา 4 สัปดาห์ ผลการทดลองปรากฏว่า *C. austromarina* Yeast – 16 มีความเหมาะสมมากที่สุดในการนำมาใช้เป็นอาหารของไรแดง

2.5.3 ผลผลิตไรแดงจากเอกสารและงานวิจัยต่าง ๆ

วิรัตดา สีตะสิทธิ์ (2543) ได้ทำการศึกษารวบรวมเอกสารและงานวิจัยต่าง ๆ เกี่ยวกับเรื่องไรแดงที่ได้ตีพิมพ์แล้วของหน่วยงานต่าง ๆ ทั่วประเทศของกรมประมง ซึ่งได้แก่ ศูนย์พัฒนาประมงน้ำจืด สถานีประมงน้ำจืด และสถาบันวิจัยการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจืด รวม 41 สถานี รวมทั้งวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2511 – 2541 รวม 31 ปี ทำให้ทราบว่างานวิจัยที่ศึกษาในหัวข้อการเพาะเลี้ยงและขยายพันธุ์ไรแดงตั้งแต่ปี พ.ศ. 2511 จนถึงปี พ.ศ. 2541 สามารถแยกได้เป็น 3 ระยะ ดังนี้

(1) ระยะเริ่มต้น (ปี พ.ศ. 2511 – 2524) มีการวิจัยเปรียบเทียบการใช้อาหารชนิดต่าง ๆ ซึ่งมักเป็นอาหารประเภทปุ๋ยมูลสัตว์และวัสดุอาหาร ทั้งนี้งานวิจัยส่วนใหญ่จะดำเนินการในห้องปฏิบัติการหรือบ่อซีเมนต์ขนาดเล็กซึ่งจุน้ำ 0.10 – 0.15 ลูกบาศก์เมตร เป็นงานวิจัยเบื้องต้นที่ศึกษาไปพร้อมกับการตรวจสอบพฤติกรรม การแพร่ขยายพันธุ์ และศึกษาชีววิทยาของไรแดง

(2) ระยะที่ 2 (ปี พ.ศ. 2526 – 2530) ได้เปลี่ยนรูปแบบของการใช้อาหารเพาะเลี้ยงไรแดงจากการใช้ปุ๋ยมูลสัตว์มาเป็นการใช้สาหร่ายคลอเรลล่าร่วมกับการเสริมด้วยอาหารสำเร็จรูปและปุ๋ยวิทยาศาสตร์ ดำเนินการในห้องปฏิบัติการที่มีขนาดหน่วยทดลองตั้งแต่ 1 ลิตรจนถึงบ่อทดลองขนาดใหญ่ คือ บ่อซีเมนต์ขนาด 50 ตารางเมตรและจุน้ำถึง 15 ตัน งานทดลองช่วงนี้เน้นในเรื่องผลของการเลี้ยงสาหร่ายคลอเรลล่าและปริมาณการใช้สาหร่ายคลอเรลล่าที่ให้ผลผลิตไรแดงสูงสุด และในช่วงปี พ.ศ. 2524 – 2529 มีการวิจัยในหัวข้อการเพาะเลี้ยงไรแดงแบบเก็บเกี่ยวต่อเนื่องและกึ่งต่อเนื่องเกิดขึ้น

(3) ระยะที่ 3 (ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2530 เป็นต้นมา) เป็นงานวิจัยการเพาะเลี้ยงไรแดงที่ผนวกการใช้อาหารในระยะเริ่มต้นและระยะที่ 2 เข้าด้วยกัน กล่าวคือ มีการใช้สาหร่ายคลอเรลล่าร่วมกับปุ๋ยหรือสารอาหารอื่น ๆ ในการเพาะเลี้ยงไรแดง ซึ่งผลผลิตในช่วงนี้จะสูงขึ้น สามารถเพิ่มผลผลิตและเก็บเกี่ยวไรแดงได้นานขึ้น จากการศึกษารายงานของผลงานวิจัยในช่วงนี้พบว่ายังคงมีงานวิจัยที่ใช้ปุ๋ยอินทรีย์หรือปุ๋ยวิทยาศาสตร์อย่างเดียวในการเพาะเลี้ยงไรแดง งานวิจัยที่ให้ผลผลิตไรแดงสูงส่วนใหญ่จะใช้หน่วยทดลองที่เป็นบ่อซีเมนต์ขนาด 50 ตารางเมตร ส่วนงานวิจัยที่ใช้ขวดทดลองขนาด 400 – 500 มิลลิลิตรก็ให้ผลผลิตไรแดงสูงแต่เก็บเกี่ยวได้ในระยะเวลาสั้น

จากเอกสารงานวิจัยต่าง ๆ เกี่ยวกับการเพาะเลี้ยงและขยายพันธุ์ไรแดงรวม 27 เรื่อง สามารถจำแนกวัสดุอาหารที่ใช้ในการเพาะเลี้ยงได้ 11 ประเภท ดังนี้

(1) ปุ๋ยมูลสัตว์
(2) ปุ๋ยวิทยาศาสตร์
(3) ปุ๋ยมูลสัตว์และปุ๋ยวิทยาศาสตร์
(4) วัสดุอาหาร
(5) คลอเรลล่า
(6) คลอเรลล่าและวัสดุอาหาร
(7) วัสดุอาหารและปุ๋ยวิทยาศาสตร์
(8) วัสดุอาหาร ปุ๋ยวิทยาศาสตร์ และคลอเรลล่า
(9) ปุ๋ยวิทยาศาสตร์และกากผงชูรส
(10) คลอเรลล่า กากผงชูรส และวัสดุอาหาร
(11) ปุ๋ยวิทยาศาสตร์ กากผงชูรส วัสดุอาหาร และคลอเรลล่า

ซึ่งสูตรอาหารที่ใช้เพาะเลี้ยงไรแดงพร้อมทั้งผลผลิตไรแดงโดยจำแนกตามวัสดุอาหารที่ใช้ในการเพาะเลี้ยง แสดงในตารางที่ 2.10

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.10 ผลผลิตไรแดงโดยจำแนกตามวัสดุอาหารที่ใช้ในการเพาะเลี้ยง

ชนิดที่	สูตรอาหารที่ใช้เพาะเลี้ยง	ภาชนะ / ปริมาตร	จำนวนวันที่เพาะเลี้ยง	อัตราการปล่อยไรแดง	ผลผลิตจากการวิเคราะห์ข้อมูล (ตัว / ลิตร / วัน)	เอกสารอ้างอิง
1	**ปุ๋ยมูลสัตว์** 1.1 เลือดสัตว์ 1 ลิตร ดินสวน 910 กรัม น้ำ 5 ลิตร	บ่อซีเมนต์ 4 ตร.ม. / 0.1 ลบ.ซม.	5	1,000 ตัว / บ่อ	76,500	ผะอบ ชนะภัย (2511)
	1.2 มูลวัวแห้ง 10 กรัม ข้าวสาร 3 กรัม น้ำประปา 1 ลิตร	อ่างแก้วทรงกลมเส้นผ่านศูนย์กลาง 9 นิ้ว / 4 ลิตร	16	200 ตัว / อ่าง	1.5	วรากร วรอัศวปติ (2514)
	1.3 ก. มูลโค 2 กรัม / น้ำ 1 ลิตร ข. กากถั่วเหลือง 2 กรัม / น้ำ 1 ลิตร นำส่วนผสมข้อ ก. และ ข. ไปต้มนาน 20 นาที ค. เลือดหมู : น้ำจากข้อ ก. และ ข. = 1 : 20 นำส่วนผสมข้อ ก. , ข. และ ค. ผสม 1 : 1 : 1 ตั้งทิ้งไว้ 5 – 7 วัน แล้วนำไปเพาะเลี้ยงไรแดง	ขวดแก้ว / 0.1 ลิตร	100	1 ตัว / ขวด	400	สุนันท์ ทวยเจริญ (2520)
	1.4 มูลไก่ 1 : 20 ไม่กรองอาหาร	บ่อคอนกรีตทรงกลม / 150 ลิตร	8	50 กรัม	4,929	ลัดดา วงศ์รัตน์ และคณะ(2524)
	1.5 เลือดวัว 1 : 20 ไม่กรองอาหาร	บ่อคอนกรีตทรงกลม / 150 ลิตร	6	50 กรัม	11,121	ลัดดา วงศ์รัตน์ และคณะ(2524)

ตารางที่ 2.10 (ต่อ)

ชนิดที่	สูตรอาหารที่ใช้เพาะเลี้ยง	ภาชนะ / ปริมาตร	จำนวนวันที่เพาะเลี้ยง	อัตราการปล่อยไรแดง	ผลผลิตจากการวิเคราะห์ข้อมูล (ตัว / ลิตร / วัน)	เอกสารอ้างอิง
2	**ปุ๋ยวิทยาศาสตร์** 2.1 ปุ๋ย N – P – K (16 – 20 – 0) 953.5 กรัม ปุ๋ยยูเรีย 163.04 กรัม ปูนขาว 187.5 กรัม น้ำคลอเรลล่า 4.5 ตัน	บ่อซีเมนต์ 6 ตร.ม. / 12 ลบ.ม.	7	250 กรัม	425	ทวี พุทธานุมาศ และ ทัศนีย์ สุขสวัสดิ์ (2531)
	2.2 ปุ๋ยไนโตรเจน : ฟอสฟอรัส = 3.75 : 1	บ่อซีเมนต์ 6 ตร.ม. / 12 ลบ.ม.	7	250 กรัม	391	ทวี พุทธานุมาศ และ ทัศนีย์ สุขสวัสดิ์ (2531)
3	**ปุ๋ยมูลสัตว์และปุ๋ยวิทยาศาสตร์** 3.1 มูลไก่ 15 กก. รำ 8 กก. ปลาป่น 7 กก. ปุ๋ย N – P – K (15 – 15 – 15) 3 กก.	บ่อซีเมนต์ 400 ตร.ม. / 320 ลบ.ม.	21	ในบ่อมีไรแดงอยู่แล้ว	12,758	วิชัย ก้องรัตนโกศล และ ประดิษฐ์ ศรีภัทรประสิทธิ์ (2529)
	3.2 มูลกระบือ 4 กรัม ปุ๋ย N – P – K (8 – 8 – 2) 0.0112 กรัม	อ่างทดลอง / 150 ลิตร	30	2,155 ตัว	347	พรนภา ลำเลียงพล (2531)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.10 (ต่อ)

ชนิดที่	สูตรอาหารที่ใช้เพาะเลี้ยง	ภาชนะ / ปริมาตร	จำนวนวันที่เพาะเลี้ยง	อัตราการปล่อยไรแดง	ผลผลิตจากการวิเคราะห์ข้อมูล (ตัว / ลิตร / วัน)	เอกสารอ้างอิง
4	**วัสดุอาหาร**					
	4.1 ฟางแห้ง 10 กรัม ข้าวสาร 3 กรัม น้ำประปา 1 ลิตร	บีกเกอร์ / 1 ลิตร	16	100 ตัว / บีกเกอร์	24	วรากร วรอัศวปติ (2514)
	4.2 peptone 5 กรัม ฟางข้าว 10 กรัม น้ำบ่อ 10 ลิตร ผสมรวมเป็น stock นำ stock 20 มล. เติมน้ำ 8 ลิตร	ไม่ระบุ	7 – 10	10 ตัว	6	อโณทัย คมเศวต (2521)
	4.3 ปลาเป็ด 90 ลบ.ซม. / วัน เติมทุกวัน	บ่อคอนกรีตทรงกลม / 235 ลิตร	15	2,000 ตัว	4,975	ลัดดา วงศ์รัตน์ และคณะ (2524)
	4.4 อาหารเม็ดสูตร สปช.2 จำนวน 7 กก. เติมกากถั่วลิสง 1 กก. ทุก 3 วัน	บ่อซีเมนต์ 50 ตร.ม. / 10 ลบ.ม.	21	250 กรัม	254	วิรัตดา สีตะสิทธิ์ และ วิมล จันทรโรทัย (2526)
5	**คลอเรลล่า**					
	5.1 คลอเรลล่า 7.5 x 10^6 เซลล์ / มล.	ขวดทดลอง / 400 มล.	ไม่ระบุ	1 ตัว / มล.	11,025	วีระ วัชรกรโยธิน และคณะ (2528)
	5.2 คลอเรลล่า 9 x 10^6 เซลล์ / มล.	ขวดทดลอง / 500 มล.	ไม่ระบุ	1 ตัว / มล.	6,464	วีระ วัชรกรโยธิน และคณะ (2528)
	5.3 คลอเรลล่า 40 ลิตร	ถังไฟเบอร์ 50 ลิตร / 40 ลิตร	ไม่ระบุ	0.6 ตัว / มล.	2,461	วีระ วัชรกรโยธิน และคณะ (2528)

ตารางที่ 2.10 (ต่อ)

ชนิดที่	สูตรอาหารที่ใช้เพาะเลี้ยง	ภาชนะ / ปริมาตร	จำนวนวันที่เพาะเลี้ยง	อัตราการปล่อยไรแดง	ผลผลิตจากการวิเคราะห์ข้อมูล (ตัว / ลิตร / วัน)	เอกสารอ้างอิง
6	**คลอเรลล่าและวัสดุอาหาร**					
	6.1 วิตามิน B_6 4 ไมโครกรัม / มล. มีคลอเรลล่า 10 x 10^6 เซลล์ / มล.	โหลแก้ว 750 มล. / 500 มล.	2	50 ตัว	9,778	ทวี พุทธานุมาศ และ ทัศนีย์ สุขสวัสดิ์ (2533)
	6.2 คลอเรลล่าในน้ำทิ้งโรงงานผลิตน้ำนมถั่วเหลือง เป็นเวลา 3 วัน	บีกเกอร์ / 1,800 ลบ.ซม.	5	180 ตัว / บีกเกอร์	753	หยกแก้ว ยามาลี และคณะ (2526)
	6.3 คลอเรลล่า 2.7 x 10^6 เซลล์ / มล.	หลอดทดลอง / 3 มล.	1	2 ตัว / มล.	1	ธิดา เพชรมณี และคณะ (2536)
	6.4 คลอเรลล่า 7.5 x 10^6 เซลล์ / มล.	ถัง / 100 ลิตร	2	4 ตัว / มล.	2	ธิดา เพชรมณี และคณะ (2536)
7	**วัสดุอาหารและปุ๋ยวิทยาศาสตร์** รำละเอียด 2,500 กรัม ปลาป่น 1,100 กรัม กากถั่วเหลือง 300 กรัม ปุ๋ย N – P – K (15 – 15 – 15) 200 กรัม	บ่อซีเมนต์ 50 ตร.ม. / 17.5 ลบ.ม.	16	250 กรัม	1,054	สำรวย เสร็จกิจ (2531)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.10 (ต่อ)

ชนิดที่	สูตรอาหารที่ใช้เพาะเลี้ยง	ภาชนะ / ปริมาตร	จำนวนวันที่เพาะเลี้ยง	อัตราการปล่อยไรแดง	ผลผลิตจากการวิเคราะห์ข้อมูล (ตัว / ลิตร / วัน)	เอกสารอ้างอิง
8	**วัสดุอาหาร ปุ๋ยวิทยาศาสตร์ และคลอเรลล่า** รำละเอียดหมัก 5 ลิตร ปุ๋ย N – P – K (16 – 20 – 0) 150 กรัม ปุ๋ยยูเรีย 200 กรัม ปุ๋ยซูปเปอร์ฟอสเฟต 26 กรัม ปูนขาว 93.75 กรัม คลอเรลล่าความหนาแน่น 10^7 เซลล์ / มล. จำนวน 120 ลิตร	บ่อซีเมนต์ 6 ตร.ม. / 12 ลบ.ม.	8	200 กรัม	438	ทวี พุทธานุมาศ และ ทัศนีย์ สุขสวัสดิ์ (2538)
9	**ปุ๋ยวิทยาศาสตร์และกากผงชูรส** 9.1 กากผงชูรส 30 ลิตร ปุ๋ย N – P – K (16 – 20 – 0) 0.5 กก. ปุ๋ย KNO_3 1 กก. P_2O_5 130 กรัม ปูนขาว 3 กก. น้ำคลอเรลล่า 1 ตัน	บ่อซีเมนต์ 50 ตร.ม. / 10 ลบ.ม.	7	1.5 – 2 กก.	4,855	ภาณุ เทวรัตน์มณีกุล และคณะ (2529)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.10 (ต่อ)

ชนิดที่	สูตรอาหารที่ใช้เพาะเลี้ยง	ภาชนะ / ปริมาตร	จำนวนวันที่เพาะเลี้ยง	อัตราการปล่อยไรแดง	ผลผลิตจากการวิเคราะห์ข้อมูล (ตัว / ลิตร / วัน)	เอกสารอ้างอิง
	9.2 กากผงชูรส 40 ลิตร ปุ๋ย N – P – K (16 – 20 – 0) 2 กก. ปุ๋ย N – P – K (46 – 0 – 0) 10 กก. ปุ๋ย N – P – K (0 – 46 – 0) 0.52 กก. ปูนขาว 6 กก. ใช้เครื่องปั่นน้ำวันละ 3 ครั้ง ๆ ละ 10 นาที	บ่อซีเมนต์ 50 ตร.ม. / 10 ลบ.ม.	15	5 กก.	19,557	วีระ วัชรกรโยธิน และคณะ (2530)
10	**คลอเรลล่า กากผงชูรส และวัสดุอาหาร** คลอเรลล่า 200 ลิตร กากผงชูรส 11.42 ลิตร รำ 5 กก. ปูนขาว 3 กก.	บ่อซีเมนต์ 50 ตร.ม. / 15 ตัน	ไม่ระบุ	2 กก.	3,459	วีระ วัชรกรโยธิน และคณะ (2528)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.10 (ต่อ)

ชนิดที่	สูตรอาหารที่ใช้เพาะเลี้ยง	ภาชนะ / ปริมาตร	จำนวนวันที่เพาะเลี้ยง	อัตราการปล่อยไรแดง	ผลผลิตจากการวิเคราะห์ข้อมูล (ตัว / ลิตร / วัน)	เอกสารอ้างอิง
11	**ปุ๋ยวิทยาศาสตร์ กากผงชูรส วัสดุอาหาร และคลอเรลล่า** 11.1 น้ำคลอเรลล่า 2 ตันใส่ปุ๋ย 2 ระยะ อามิอามิ 20 , 10 ลิตร ปุ๋ย N – P – K (16 – 20 – 0) 1.5 , 0.75 กก. ปุ๋ยยูเรีย (46 – 0 – 0) 3 , 1.5 กก. ปุ๋ยซุปเปอร์ฟอสเฟต (0 – 46 – 0) 260 ,130 กรัม ปูนขาว 3 , 1.5 กก. กากถั่วเหลือง 1 , 0.5 กก. รำละเอียด 1 , 0.5 กก.	บ่อซีเมนต์ 50 ตร.ม. / 20 ลบ.ม.	10	3 – 5 กก.	11,625	ภาณุ เทวรัตน์มณีกุล, ทวี วิพุทธานุมาศ, วีระ วัชรกรโยธิน และทัศนีย์ สุขสวัสดิ์ (2532)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.10 (ต่อ)

ชนิดที่	สูตรอาหารที่ใช้เพาะเลี้ยง	ภาชนะ / ปริมาตร	จำนวนวันที่เพาะเลี้ยง	อัตราการปล่อยไรแดง	ผลผลิตจากการวิเคราะห์ข้อมูล (ตัว / ลิตร / วัน)	เอกสารอ้างอิง
	11.2 ปุ๋ย N – P – K (16 – 20 – 0) 1.5 กก. กากผงชูรส 20 ลิตร ปุ๋ยยูเรีย 3 กก. ปูนขาว 3 กก. รำละเอียด 1 กก. กากถั่วเหลือง 1 กก. เติมคลอเรลล่า 10 x 10^6 เซลล์ / มล. 2,000 ลิตร	บ่อซีเมนต์ 50 ตร.ม. / 20 ลบ.ม.	10	4 กก.	11,500	ภาณุ เทวรัตน์มณีกุล, ทวี วิพุทธานุมาศ และทัศนีย์ สุขสวัสดิ์ (2532)

ที่มา : ดัดแปลงจาก วิรัตดา สีตะสิทธิ์ (2543)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3
วิธีดำเนินการทดลอง

3.1 วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1) น้ำกากส่า ได้จากโรงงานไทยแอลกอฮอล์ จำกัด (มหาชน) อำเภอบางเลน จังหวัดนครปฐม
2) ไรแดง *Moina macrocopa* (Straus) ได้จากคณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
3) สาหร่ายคลอเรลล่า *Chlorella* sp. ได้จากภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
4) อาหารเลี้ยงสาหร่ายคลอเรลล่าสูตร NS III (ตารางที่ 3.1)
5) วัสดุอุปกรณ์ในการเพาะเลี้ยงไรแดง
   5.1) ชั้นวาง 3 ชั้น ขนาดกว้าง 0.5 เมตร ยาว 1.5 เมตร สูง 2 เมตร
   5.2) หลอดฟลูออเรสเซนต์ (fluorescent)
   5.3) ปลั๊กไฟ
   5.4) ขวดรูปชมพู่ (erlenmayer flask) ขนาด 500 มิลลิลิตร
   5.5) ถังน้ำพลาสติก
   5.6) ท่อสายยางเล็ก
   5.7) หัวทราย
   5.8) ปั๊มอากาศ (air pump)
6) เครื่องมือและวัสดุอุปกรณ์ในห้องปฏิบัติการ (อรทัย ชวาลภาฤทธิ์, 2545)
   6.1) เครื่องวัดพีเอช (pH meter)
   6.2) เครื่องวัดออกซิเจนละลาย (DO meter)
   6.3) ตู้อบ
   6.4) หลอดย่อยสลาย (digestion vessel)
   6.5) ขวดบีโอดีขนาด 300 มิลลิลิตร
   6.6) ปิเปต (pipet)
   6.7) บีกเกอร์ (beaker)
   6.8) เครื่องชั่งสาร
   6.9) กล้องจุลทรรศน์ชนิดใช้แสง (light microscope) พร้อมกล้องดิจิตอล
   6.10) สไลด์นับจำนวนหรือฮีมาไซโตมิเตอร์ (haemacytometer)

3.2 สถานที่ทำการทดลอง

การทดลองนี้เป็นการทดลองระดับห้องปฏิบัติการที่ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.3 การเตรียมการทดลอง

1) การเตรียมน้ำสำหรับการทดลอง

พักน้ำประปาในถังน้ำพลาสติกขนาด 50 ลิตรและให้อากาศต่อเนื่องเป็นเวลาอย่างน้อย 24 ชั่วโมงเพื่อกำจัดคลอรีนในน้ำประปา โดยน้ำที่เตรียมนี้จะใช้ในทุกการทดลอง

2) การเตรียมภาชนะสำหรับการทดลอง

เครื่องแก้วที่ใช้ในการทดลองโดยเฉพาะขวดรูปชมพู่ บีกเกอร์ และหลอดทดลองต่าง ๆ นำมาทำความสะอาดด้วยตัวทำละลายอินทรีย์ คือ อะซิโตน (acetone) เพื่อกำจัดสารเคมีที่ตกค้างและสิ่งมีชีวิตที่อยู่บนผิวภาชนะออกไป

3) การเตรียมไรแดง

เพาะเลี้ยงไรแดง *Moina macrocopa* ในห้องปฏิบัติการโดยใช้ยีสต์ (baker yeast) และสาหร่ายคลอเรลล่า *Chlorella* sp. เป็นอาหารซึ่งได้จากการเพาะเลี้ยงในห้องปฏิบัติการเช่นเดียวกัน เมื่อไรแดงโตเต็มวัยแล้ว คัดเลือกไรแดงเพศเมียมาเพาะเลี้ยงเดี่ยวในหลอดทดลอง เมื่อไรแดงให้ลูกครั้งแรก คัดเลือกลูกไรแดงที่มีอายุใกล้เคียงกัน คือ ไม่เกิน 24 ชั่วโมง (neonate) นำไปทดลองต่อไป

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4) การเตรียมสาหร่ายคลอเรลล่า

สาหร่ายคลอเรลล่าที่ใช้ในการทดลองได้มาจากภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ซึ่งที่ห้องปฏิบัติการของภาควิชาฯ มีวิธีการเตรียม ดังนี้ นำสาหร่ายชนิดนี้มาทำให้บริสุทธิ์โดยวิธีการเพาะเชื้อบนอาหารแข็งหลาย ๆ ครั้ง (Hoshaw and Rosowki, 1973) โดยใช้อาหารเลี้ยงเชื้อสูตร NS III (ตารางที่ 3.1) ที่ได้นึ่งฆ่าเชื้อแล้วที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ความดัน 1.5 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว นาน 20 นาที โดยมีสภาวะการเลี้ยง ดังนี้ ความเข้มแสง 3,000 ลักซ์ (60 $\mu Em^{-1}s^{-2}$) อุณหภูมิ 30 ± 3 องศาเซลเซียส ช่วงมืดและช่วงสว่าง 12 : 12 ชั่วโมง หลังจากที่แยกสาหร่ายที่ปราศจากเชื้อแบคทีเรียแล้วทำการเขี่ยโคโลนี (colony) ของสาหร่ายที่ขึ้นแล้วในอาหารวุ้นดังกล่าวลงในอาหารเลี้ยงเชื้อแบบเหลว โดยเลี้ยงในขวดกลมก้นแบนขนาด 50 มิลลิลิตรซึ่งมีอาหารเลี้ยงเชื้อประมาณ 25 มิลลิลิตร โดยใช้สูตรอาหารและสภาวะการเลี้ยงเดิม เมื่อสาหร่ายมีการเติบโตมากขึ้นจึงทำการถ่ายเชื้อสาหร่ายอีกครั้งลงในขวดกลมก้นแบนขนาด 250 มิลลิลิตรซึ่งมีอาหารเลี้ยงเชื้ออยู่ประมาณ 100 มิลลิลิตรแล้วนำไปเลี้ยงในสภาวะเดิม ทำการแยกสาหร่ายที่มีการเติบโตมาใส่ในอาหารเลี้ยงเชื้อใหม่ประมาณ 2 ครั้งต่อเดือนเพื่อเก็บเป็นหัวเชื้อใช้ในการทดลองครั้งต่อไป

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3.1 ส่วนประกอบของอาหารเลี้ยงสาหร่ายสูตร NS III

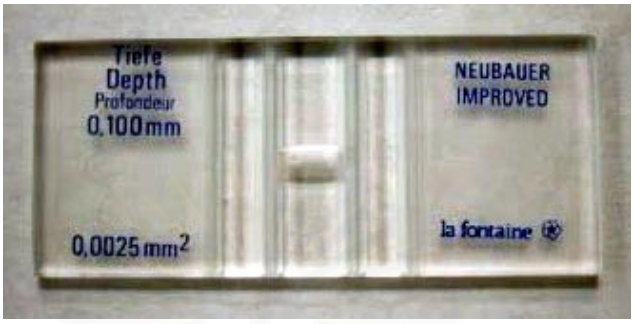
สารเคมี	ปริมาณของสารเคมี (กรัม)	ปริมาตรของสารละลายสุดท้าย (มิลลิลิตร)	ปริมาณการใช้ (มิลลิลิตร / ลิตร)
KNO_3	10.11	100	10
KH_2PO_{4+}	12.00		
$K_2PO_4 \cdot 3\ H_2O$	14.20	100	2
$MgSO_4 \cdot 7\ H_2O$	6.20	100	2
$CaCl_2 \cdot 2\ H_2O$	0.74	100	2
NaCl	11.68	100	0.1
Micro A		100 มิลลิลิตรของ A1 + 1 มิลลิลิตร	2
A1		ของ A2	
KBr	0.238	+ HCl 1.2 มิลลิลิตร ปรับปริมาตร	
KI	0.166	ด้วยน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 400	
LiCl	0.00848	มิลลิลิตร	
H_3BO_3	0.0308		
A2			
$ZnSO_4 \cdot 7\ H_2O$	0.144	+ HCl 0.3 มิลลิลิตร ปรับปริมาตร	
$NiSO_4 \cdot 6\ H_2O$	0.658	ด้วยน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 100	
$CoSO_4 \cdot 6\ H_2O$	0.070	มิลลิลิตร	
$CuSO_4 \cdot 5\ H_2O$	0.125		
$Al_2(SO_4)_3 \cdot 18\ H_2O$	0.167		
$(NH_4)_6Mo_7O_{24} \cdot 4\ H_2O$	0.044		
NH_3VO_3	0.029		
Micro B			2
$MnCl_2 \cdot 4\ H_2O$	0.05	+ HCl 3.0 มิลลิลิตร ปรับปริมาตร	
		ด้วยน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 1 ลิตร	
Micro C			2
$Fe(NO_3)_3 \cdot 9\ H_2O$	0.81	+ HCl 0.6 มิลลิลิตร ปรับปริมาตร	
Na-EDTA	0.75	ด้วยน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 100	
		มิลลิลิตร	

ที่มา : สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (2550)

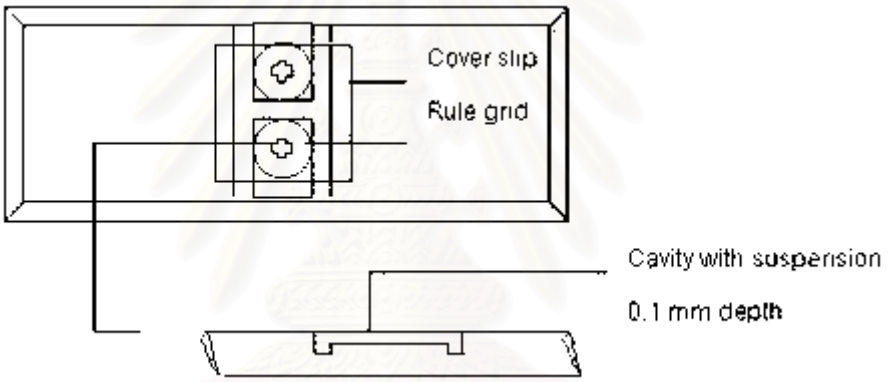
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5) การนับจำนวนเซลล์ด้วยสไลด์นับจำนวนหรือฮีมาไซโตมิเตอร์ (haemacytometer)

5.1) สไลด์นับจำนวนหรือฮีมาไซโตมิเตอร์



(ก)



(ข)

ภาพที่ 3.1 สไลด์นับจำนวนหรือฮีมาไซโตมิเตอร์ (haemacytometer) (กรมประมง)
(ก) ลักษณะของสไลด์
(ข) แสดงระยะห่างระหว่างสไลด์กับกระจกปิดสไลด์

สไลด์นับจำนวนหรือฮีมาไซโตมิเตอร์เป็นอุปกรณ์ขนาดเล็ก มีรูปร่างลักษณะดังภาพที่ 3.1 มีความหนามากกว่าสไลด์แก้วธรรมดา ตรงกลางสไลด์มีร่องเป็นรูปตัว H ทำให้เกิดบริเวณที่ใช้ในการตรวจนับ 2 บริเวณ ตรงกลางตัว H ทำเป็นสเกล (scale) ใช้ในการตรวจนับเพื่อคำนวณหาจำนวนเซลล์ ประกอบด้วยช่องสี่เหลี่ยมขนาดเล็ก (small squares) ทั้งหมด 25 ช่อง และแต่ละช่องสี่เหลี่ยมขนาดเล็กนั้นจะประกอบด้วยช่องสี่เหลี่ยมขนาดเล็กที่สุด (smallest squares) อยู่ 16 ช่อง

บนสไลด์นับจำนวนหรือฮีมาไซโตมิเตอร์นั้นนอกจากจะระบุชื่อบริษัทหรือแหล่งผลิตแล้ว (จากภาพที่ 3.1 (ก) คือ la fontaine) ยังมีรายละเอียดอื่น ๆ อีก เช่น

- ระดับความลึกทั่วไป (จากภาพที่ 3.1 (ก) คือ 0.100 mm)
- รูปแบบการขีดตาราง (จากภาพที่ 3.1 (ก) คือ NEUBAUER IMPROVED)
- ช่องที่เล็กที่สุดที่ขีดตารางไว้ (จากภาพที่ 3.1 (ก) คือ 0.0025 mm^2)

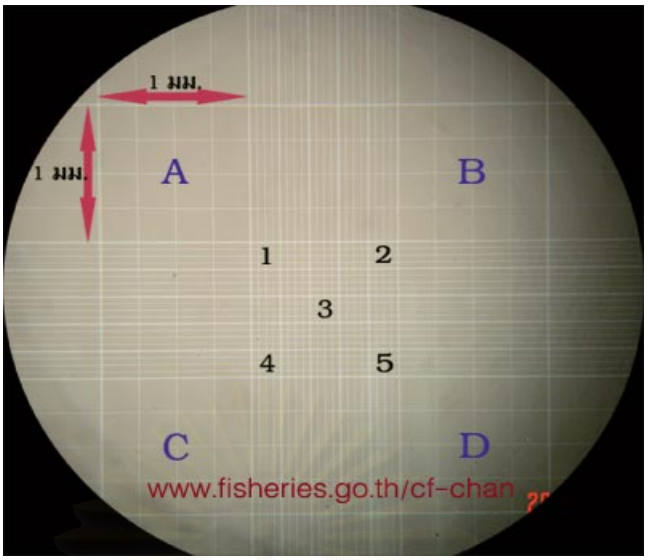
5.2) ขั้นตอนการใช้สไลด์นับจำนวนหรือฮีมาไซโตมิเตอร์

วางกระจกปิดสไลด์ (cover slip) ซึ่งกระจกปิดสไลด์จะอยู่เหนือตาราง 0.1 มิลลิเมตร ใช้ดรอปเปอร์ (dropper) ดูดน้ำตัวอย่าง วางปลายดรอปเปอร์ใกล้ขอบกระจกปิดสไลด์ จากนั้นค่อย ๆ หยดน้ำตัวอย่างลงไป ซึ่งน้ำจะไหลเข้าใต้กระจกปิดสไลด์เองจนเต็มพื้นที่ตาราง (หยดน้ำตัวอย่างทั้ง 2 ตาราง) หากหยดน้ำตัวอย่างมากเกินไปน้ำจะล้นกระจกปิดสไลด์ แต่หากหยดน้ำตัวอย่างน้อยเกินไปน้ำก็จะไหลไม่เต็มพื้นที่ตาราง ต้องล้างสไลด์และหยดน้ำตัวอย่างใหม่

5.3) การนับจำนวนเซลล์ในน้ำตัวอย่าง

เมื่อน้ำตัวอย่างไหลเข้าใต้กระจกปิดสไลด์จนเต็มพื้นที่แล้ว จะสามารถคำนวณปริมาตรน้ำได้จาก พื้นที่ตาราง x ความลึก เมื่อนับจำนวนเซลล์ในตารางภายใต้กล้องจุลทรรศน์ก็จะได้จำนวนเซลล์ต่อปริมาตรน้ำของตารางนั้น จากนั้นคำนวณเป็นจำนวนเซลล์ต่อปริมาตรน้ำ 1 มิลลิลิตร

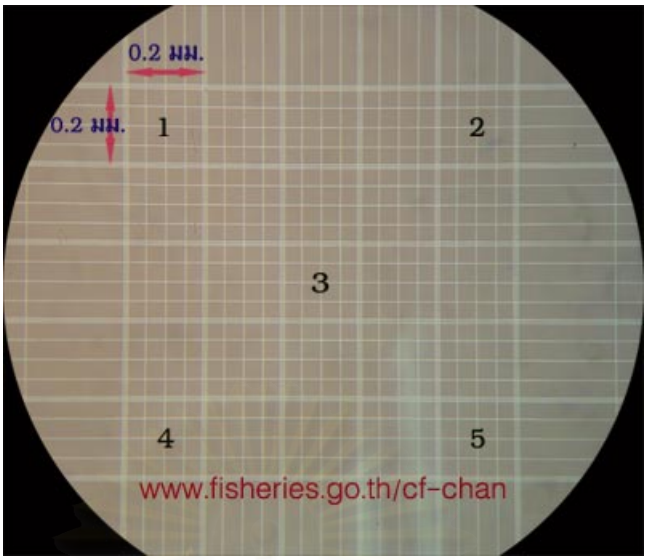
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพที่ 3.2 ตารางบนสไลด์นับจำนวน กำลังขยาย 10 เท่า (กรมประมง)

- A, B, C, D มีความกว้างและความยาวเท่ากับ 1 มิลลิเมตร
- ดังนั้นปริมาตรน้ำของช่อง A, B, C หรือ D ช่องใดช่องหนึ่ง
  = ความกว้าง x ความยาว x ความลึก
  = 1 มิลลิเมตร x 1 มิลลิเมตร x 0.1 มิลลิเมตร
  = 0.1 เซนติเมตร x 0.1 เซนติเมตร x 0.01 เซนติเมตร
  = 0.0001 ลูกบาศก์เซนติเมตร หรือ 0.0001 มิลลิลิตร
  = 10^{-4} มิลลิลิตร
- ดังนั้นหากเลือกนับเซลล์ที่ช่อง A, B, C และ D ความหนาแน่นของเซลล์จะเท่ากับค่าเฉลี่ยของจำนวนเซลล์ในช่อง A, B, C, D x 10^{4} เซลล์ต่อมิลลิลิตร

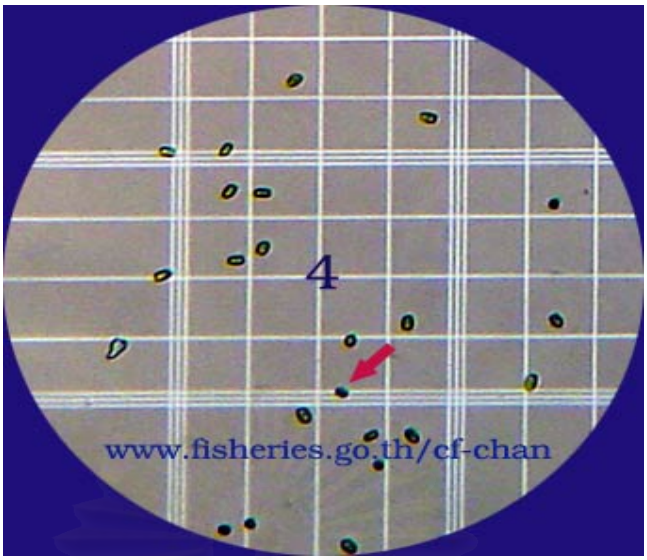
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพที่ 3.3 ตารางบนสไลด์นับจำนวน กำลังขยาย 40 เท่า (กรมประมง)

- 1, 2, 3, 4, 5 มีความกว้างและความยาวเท่ากับ 0.2 มิลลิเมตร
- ดังนั้นปริมาตรน้ำของช่อง 1, 2, 3, 4 หรือ 5 ช่องใดช่องหนึ่ง
  = ความกว้าง x ความยาว x ความลึก
  = 0.2 มิลลิเมตร x 0.2 มิลลิเมตร x 0.1 มิลลิเมตร
  = 0.02 เซนติเมตร x 0.02 เซนติเมตร x 0.01 เซนติเมตร
  = 0.000004 ลูกบาศก์เซนติเมตร หรือ 0.000004 มิลลิลิตร
  = 4×10^{-6} มิลลิลิตร
- ดังนั้นหากเลือกนับเซลล์ที่ช่อง 1, 2, 3, 4 และ 5 ความหนาแน่นของเซลล์จะเท่ากับค่าเฉลี่ยของจำนวนเซลล์ในช่อง 1, 2, 3, 4, 5 x 1/4 x 10^{6} เซลล์ต่อมิลลิลิตร

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพที่ 3.4 เส้นขอบช่องสี่เหลี่ยมบนสไลด์นับจำนวน (กรมประมง)

เส้นขอบช่องสี่เหลี่ยมที่นับจะมี 3 เส้น โดยเส้นตรงกลางจะเป็นเส้นของพื้นที่ตาราง ส่วนเส้นนอกและเส้นในมีไว้เพื่อให้ง่ายต่อการตัดสินใจว่าเซลล์จะอยู่นอกหรือในพื้นที่ช่องนับ

การที่จะเลือกนับเซลล์ในช่องใหญ่ (A, B, C, D) หรือช่องเล็ก (1, 2, 3, 4, 5) มีข้อควรคำนึง ดังนี้

- การเลือกนับในช่องใหญ่จะให้ค่าที่แม่นยำกว่าการเลือกนับในช่องเล็กเนื่องจากช่องใหญ่มีพื้นที่มากกว่าช่องเล็ก
- เซลล์บางชนิดที่เป็นเส้นสายหรือมีขนาดใหญ่มากจำเป็นจะต้องนับในช่องใหญ่ เนื่องจากหากนับในช่องเล็กเส้นสายของแพลงก์ตอนมักจะเลยขอบของช่องเล็ก
- หากเซลล์มีความหนาแน่นต่ำควรเลือกนับในช่องใหญ่
- ในกรณีที่เซลล์ที่นับมีความหนาแน่นสูงมาก การนับในช่องใหญ่อาจจะใช้เวลามากก็สามารถเลือกนับในช่องเล็กได้

3.4 วิธีการทดลอง

1. การศึกษาคุณสมบัติของน้ำกากส่า

นำน้ำกากส่ามาวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและเคมี ได้แก่ พีเอช ออกซิเจนละลายหรือดีโอ ซีโอดี บีโอดี อินทรีย์ไนโตรเจนหรือทีเคเอ็น ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม

2. การเปรียบเทียบจำนวนไรแดงและคุณภาพน้ำในน้ำกากส่าความเข้มข้นระดับต่าง ๆ ชุดที่เติมอากาศและไม่เติมอากาศ (ภาพที่ 3.5)

(1) นำน้ำกากส่ามาเจือจาง 5 ความเข้มข้น ๆ ละ 2 ซ้ำ ได้แก่ ความเข้มข้นร้อยละ 0.05, 0.1, 0.5, 1 และ 1.5 โดยปริมาตร โดยให้ชุดที่ไม่มีน้ำกากส่าเป็นชุดควบคุม เติมน้ำกากส่าความเข้มข้นดังกล่าวลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 500 มิลลิลิตร

(2) นำไรแดงจำนวน 100 ตัวใส่ลงในแต่ละขวดทดลอง นำมาเลี้ยงบนชั้นวาง ซึ่งได้รับแสงจากหลอดฟลูออเรสเซนต์ ห่างจากขวดทดลองเป็นระยะ 50 เซนติเมตร ให้มีช่วงสว่างต่อช่วงมืดเท่ากับ 12 : 12 ชั่วโมง เติมอากาศ 25 – 30 มิลลิลิตรต่อนาทีตลอดเวลา เป็นเวลา 8 วัน

(3) นำน้ำกากส่ามาเตรียมการทดลองเช่นเดียวกับข้อ (1) – (2) แต่ต่างกันที่ไม่ต้องเติมอากาศ

(4) นับจำนวนไรแดงทุกวัน โดยจะคนน้ำในขวดทดลองให้เข้ากัน ดูดเก็บไรแดงบริเวณกึ่งกลางขวด และสุ่มตัวอย่าง 3 ครั้งในแต่ละขวดทดลอง

(5) วิเคราะห์พีเอช ออกซิเจนละลายหรือดีโอ ซีโอดี อินทรีย์ไนโตรเจนหรือทีเคเอ็น ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมทุกวัน ส่วนบีโอดีจะวิเคราะห์ก่อน ระหว่าง และหลังการทดลอง

3. การเปรียบเทียบจำนวนไรแดงและคุณภาพน้ำในน้ำกากส่าที่เติมสาหร่ายคลอเรลล่าความเข้มข้นระดับต่าง ๆ ชุดที่เติมอากาศและไม่เติมอากาศ (ภาพที่ 3.5)

(1) เมื่อหาความเข้มข้นของน้ำกากส่าในสภาวะที่เติมอากาศและ/หรือไม่เติมอากาศที่ทำให้ได้จำนวนไรแดงมากที่สุดจากข้อ 2. แล้ว เติมน้ำกากส่าความเข้มข้นดังกล่าวลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 500 มิลลิลิตร

(2) เติมสาหร่ายคลอเรลล่า 5 ความเข้มข้น ๆ ละ 2 ซ้ำ ได้แก่ ความเข้มข้น $1x10^4$, $1x10^5$, $1x10^6$, $1x10^7$ และ $1x10^8$ เซลล์ต่อมิลลิลิตรลงในแต่ละขวดทดลอง โดยให้ชุดที่ไม่เติมสาหร่ายคลอเรลล่าเป็นชุดควบคุม

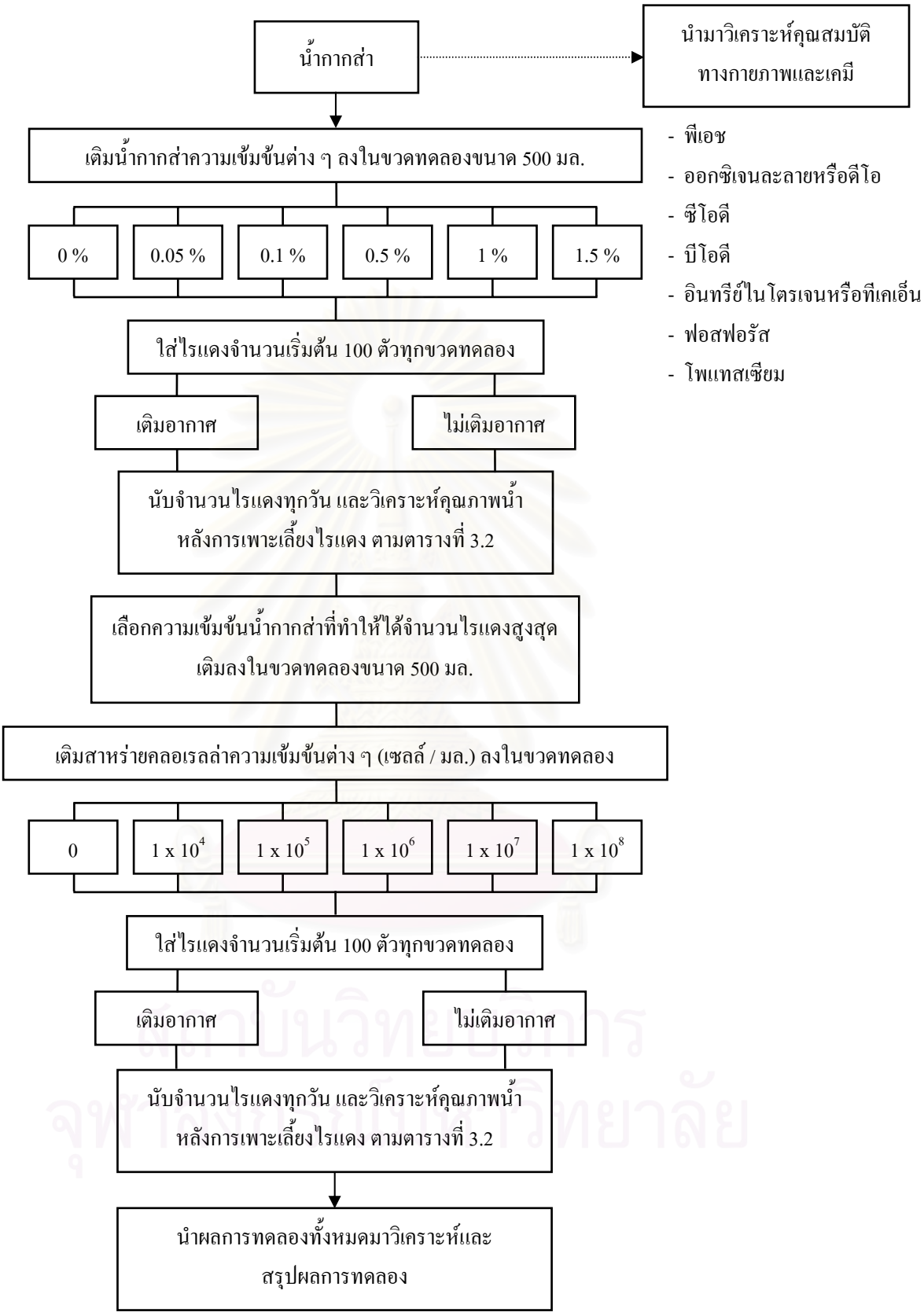
(3) นำไรแดงจำนวน 100 ตัวใส่ลงในแต่ละขวดทดลอง นำมาเลี้ยงบนชั้นวางซึ่งได้รับแสงจากหลอดฟลูออเรสเซนต์ ห่างจากขวดทดลองเป็นระยะ 50 เซนติเมตร ให้มีช่วงสว่างต่อช่วงมืดเท่ากับ 12 : 12 ชั่วโมง เติมอากาศ 25 – 30 มิลลิลิตรต่อนาทีตลอดเวลา เป็นเวลา 8 วัน

(4) นำน้ำกากส่ามาเตรียมการทดลองเช่นเดียวกับข้อ (1) – (3) แต่ต่างกันที่ไม่ต้องเติมอากาศ

(5) นับจำนวนไรแดงทุกวัน โดยจะคนน้ำในขวดทดลองให้เข้ากัน ดูดเก็บไรแดงบริเวณกึ่งกลางขวด และสุ่มตัวอย่าง 3 ครั้งในแต่ละขวดทดลอง

(6) วิเคราะห์พีเอช ออกซิเจนละลายหรือดีโอ ซีโอดี อินทรีย์ไนโตรเจนหรือทีเคเอ็น ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมทุกวัน ส่วนบีโอดีจะวิเคราะห์ก่อน ระหว่าง และหลังการทดลอง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพที่ 3.5 แผนผังขั้นตอนการทดลอง

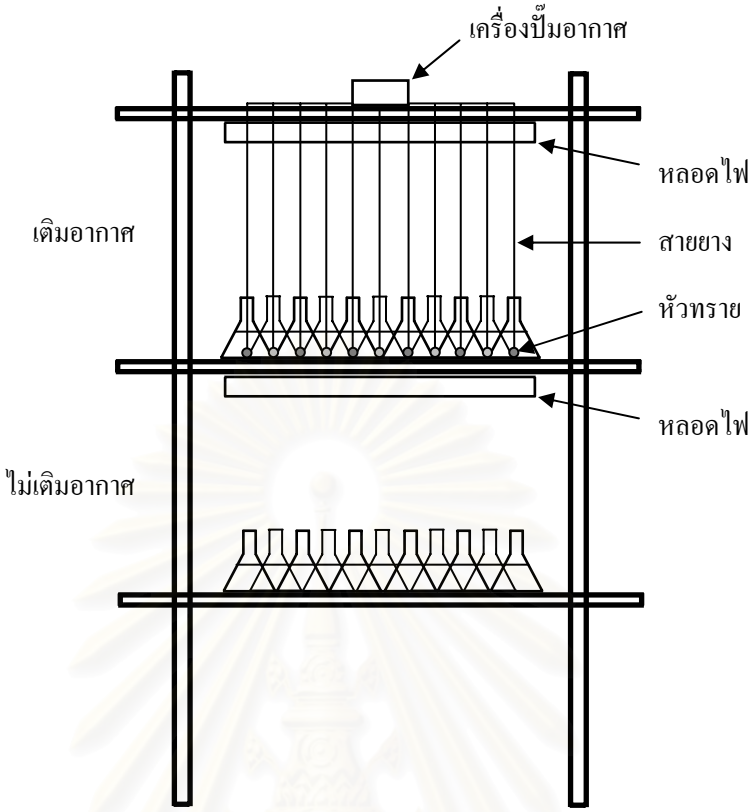
3.5 วิธีการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ

เก็บตัวอย่างน้ำก่อนการทดลองและเก็บทุกวันเพื่อวิเคราะห์สมบัติของน้ำด้วยวิธีการในตารางที่ 3.2 ส่วนภาพที่ 3.6 แสดงชุดทดลองที่ใช้ในการศึกษา

ตารางที่ 3.2 วิธีการและความถี่ในการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ

พารามิเตอร์	เครื่องมือ / วิธีการวิเคราะห์	ความถี่ในการวิเคราะห์
พีเอช	pH meter	ทุกวัน
ออกซิเจนละลายหรือดีโอ	DO meter	ทุกวัน
ซีโอดี	close reflux	ทุกวัน
บีโอดี	BOD_5	วันที่ 1, 4, 5 และ 8
อินทรีย์ไนโตรเจนหรือทีเคเอ็น	macro – Kjeldahl	ทุกวัน
ฟอสฟอรัส	vanadomolybdic acid	ทุกวัน
โพแทสเซียม	heavy metal analysis	ทุกวัน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพที่ 3.6 ระบบการทดลองแบบเติมอากาศและไม่เติมอากาศ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4
ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 การศึกษาคุณสมบัติของน้ำกากส่า

น้ำกากส่าที่ใช้ในการทดลองเป็นน้ำกากส่าจากโรงงานไทยแอลกอฮอล์ จำกัด (มหาชน) อำเภอบางเลน จังหวัดนครปฐม ซึ่งจากการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ในห้องปฏิบัติการแล้วได้ผลการวิเคราะห์ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่าง ๆ ของน้ำกากส่าที่ใช้ในการทดลอง

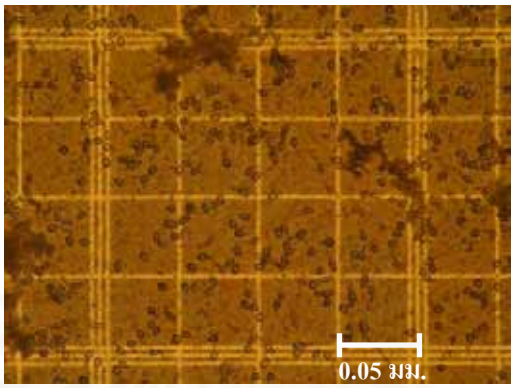
พารามิเตอร์	ผลการวิเคราะห์	หน่วย
พีเอช	4.8	-
ซีโอดี	89,976	มิลลิกรัมต่อลิตร
บีโอดี	24,100	มิลลิกรัมต่อลิตร
อินทรีย์ไนโตรเจนหรือทีเคเอ็น	1,148	มิลลิกรัมต่อลิตร
ฟอสฟอรัส	21.4	มิลลิกรัมต่อลิตร
โพแทสเซียม	5,680	มิลลิกรัมต่อลิตร

น้ำกากส่ามีลักษณะเป็นของเหลวสีน้ำตาลเข้ม มีกลิ่นคล้ายน้ำตาลไหม้ และมีกลิ่นของแอลกอฮอล์ จากตารางที่ 4.1 จะเห็นว่าน้ำกากส่ามีพีเอชเป็นกรดเท่ากับ 4.8 มีซีโอดีและบีโอดีสูงเท่ากับ 89,976 และ 24,100 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ มีโพแทสเซียม อินทรีย์ไนโตรเจนหรือทีเคเอ็น และฟอสฟอรัส เท่ากับ 5,680, 1,148 และ 21.4 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ การที่วิเคราะห์แล้วไม่พบออกซิเจนละลายหรือดีโอทั้งนี้เพราะน้ำกากส่าที่นำมาวิเคราะห์เป็นผลพลอยได้จากกระบวนการหมักในสภาพไร้ออกซิเจน โดยในน้ำกากส่ามีแบคทีเรียกลุ่มที่ใช้อากาศ (aerobic bacteria) ซึ่งแบคทีเรียกลุ่มนี้จะใช้ออกซิเจนที่มีอยู่ในสารประกอบพวกไนเตรตหรือซัลเฟตทำให้สารอินทรีย์สลายตัวให้พลังงานและสารอื่น ๆ และทำให้มีกลิ่นเหม็น ดังสมการต่อไปนี้

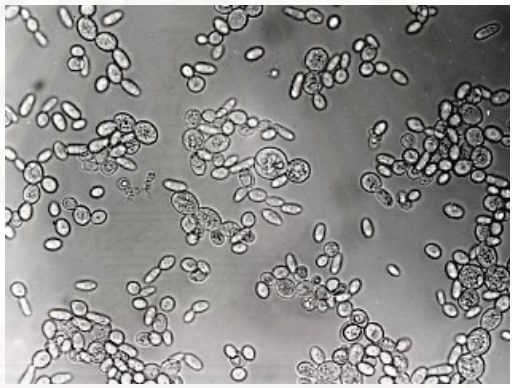
$$\text{สารอินทรีย์} + \text{combined } O_2 \longrightarrow H_2O + CH_4\,(g) + N_2\,(g) + H_2S\,(g) + CO_2\,(g) + \text{พลังงาน}$$

$$(\,NO_3^-\ \text{หรือ}\ SO_4^{2-}\,)$$

และจากการนำน้ำกากส่ามาส่องดูผ่านกล้องจุลทรรศน์ชนิดใช้แสง (light microscope) เพื่อศึกษาว่ามีสิ่งมีชีวิตอยู่ในน้ำกากส่าหรือไม่ ผลการศึกษาพบว่ามียีสต์จำนวนมากอยู่ในน้ำกากส่าประมาณ 3.87×10^7 เซลล์ต่อมิลลิลิตร (ภาพที่ 4.1)



(ก)



(ข)

ภาพที่ 4.1 ยีสต์ในน้ำกากส่า
(ก) กำลังขยาย 100 เท่า
(ข) กำลังขยาย 400 เท่า

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

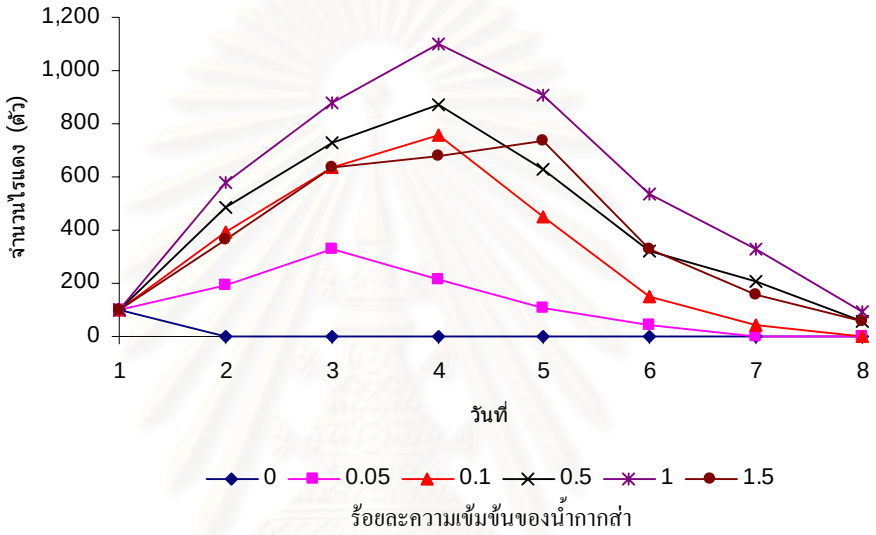
4.2 การเปรียบเทียบจำนวนไรแดงและคุณภาพน้ำในน้ำกากส่าความเข้มข้นต่าง ๆ ชุดที่เติมอากาศและไม่เติมอากาศ

จากการนำน้ำกากส่ามาเจือจาง 5 ความเข้มข้น ๆ ละ 2 ซ้ำ ได้แก่ ความเข้มข้น 0.05, 0.1, 0.5, 1 และ 1.5 โดยปริมาตร โดยให้ชุดที่ไม่มีน้ำกากส่าเป็นชุดควบคุม เติมน้ำกากส่าความเข้มข้นดังกล่าวลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 500 มิลลิลิตร นำไรแดงจำนวน 100 ตัวใส่ลงในแต่ละขวดทดลอง (200 ตัวต่อลิตร) นำมาเลี้ยงบนชั้นวางซึ่งได้รับแสงจากหลอดฟลูออเรสเซนต์ ห่างจากขวดทดลองเป็นระยะ 50 เซนติเมตร ให้มีช่วงสว่างต่อช่วงมืดเท่ากับ 12 : 12 ชั่วโมง เติมอากาศตลอดเวลาเป็นเวลา 8 วัน ส่วนในชุดที่ไม่เติมอากาศก็ทำเช่นเดียวกัน แต่ต่างกันที่ไม่ต้องเติมอากาศ นับจำนวนไรแดงทุกวัน โดยจะคนน้ำในขวดทดลองให้เข้ากัน ดูดเก็บไรแดงบริเวณกึ่งกลางขวด และสุ่มตัวอย่าง 3 ครั้งในแต่ละขวดทดลอง วิเคราะห์พีเอช ออกซิเจนละลายหรือดีโอ ซีโอดี อินทรีย์ไนโตรเจนหรือทีเคเอ็น ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมทุกวัน ส่วนบีโอดีจะวิเคราะห์ก่อน ระหว่างและหลังการทดลอง ได้ผลการทดลอง ดังนี้

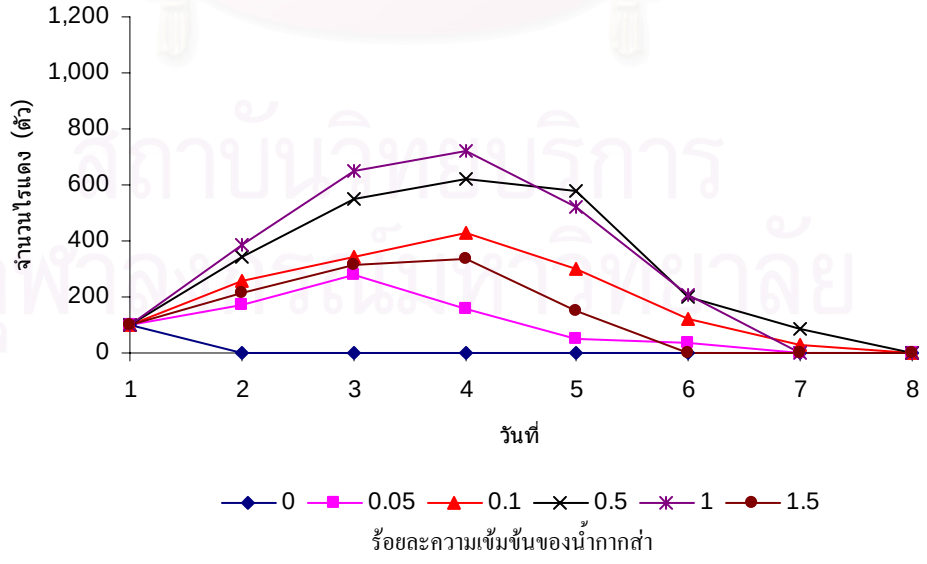
4.2.1 จำนวนไรแดงในน้ำกากส่าความเข้มข้นต่าง ๆ ชุดที่เติมอากาศและไม่เติมอากาศ

เมื่อเปรียบเทียบภาพที่ 4.2 และภาพที่ 4.3 จะเห็นว่าไรแดงเพิ่มจำนวนมากที่สุดในน้ำกากส่าความเข้มข้นร้อยละ 1 ชุดที่เติมอากาศโดยเพิ่มจำนวนมากที่สุดในวันที่ 4 ของการทดลอง การเติมอากาศจะทำให้มีออกซิเจนเพียงพอในกระบวนการหายใจของไรแดง สารอินทรีย์ย่อยสลายได้รวดเร็ว ไม่มีปัญหาการเกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการเน่าเสียของน้ำที่จะส่งผลกระทบต่อการเจริญเติบโตและการเพิ่มจำนวนของไรแดง ในขณะที่ยีสต์ในน้ำกากส่าเริ่มต้นจะมีปริมาณแตกต่างกันขึ้นกับอัตราการเจือจาง โดยในชุดการทดลองที่มีน้ำกากส่าเจือจางสูงจะมียีสต์สูงด้วย ซึ่งไรแดงจะกินยีสต์เป็นอาหารและเจริญเติบโตเพิ่มจำนวนขึ้น ในขณะเดียวกันชุดการทดลองควบคุมซึ่งไม่มีน้ำกากส่าเจือจางจะไม่มียีสต์ ในวันที่ 2 ของการทดลองจึงสังเกตเห็นว่าไม่มีไรแดงเหลืออยู่เพราะไม่มีอาหาร ในชุดการทดลองที่มีน้ำกากส่าเจือจางน้อยไรแดงจะมีแนวโน้มการเพิ่มจำนวนได้น้อย หลังจากที่ไรแดงเพิ่มจำนวนได้สูงสุดประมาณวันที่ 3 – 4 แล้วไรแดงจะลดจำนวนลงจนวันสุดท้ายของการทดลอง ขณะเดียวกันในชุดที่ไม่เติมอากาศ (ภาพที่ 4.3) พบว่ามีแนวโน้มการเพิ่มจำนวนของไรแดงเช่นเดียวกับในชุดที่เติมอากาศ แต่เพิ่มในอัตราที่น้อยกว่า จากตารางที่ 4.2 และตารางที่ 4.3 เมื่อพิจารณาค่าซีโอดีของน้ำที่ใช้ทดลองพบว่ามีค่าซีโอดีเริ่มต้นค่อนข้างสูงถึง 1,394 มิลลิกรัมต่อลิตร รวมทั้งมีปริมาณทีเคเอ็นและโพแทสเซียมสูงจึงอาจมีผลต่อการเจริญเติบโตของไรแดงได้

น้ำกากส่าความเข้มข้นร้อยละ 0, 0.05, 0.1, 0.5 , 1 และ 1.5 ชุดที่เติมอากาศให้ผลผลิตไรแดงสูงสุดในวันที่ 1, 3, 4, 4, 4 และ 5 ตามลำดับ โดยได้ผลผลิตไรแดงเท่ากับ 200, 660, 1508, 1744, 2200 และ 1472 ตัวต่อลิตร ตามลำดับ ส่วนชุดที่ไม่เติมอากาศให้ผลผลิตไรแดงสูงสุดในวันที่ 1, 3, 4, 4, 4 และ 4 ตามลำดับ โดยได้ผลผลิตไรแดงเท่ากับ 200, 550, 860, 1240, 1444 และ 676 ตัวต่อลิตร ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 4.2 และตารางที่ 4.3



ภาพที่ 4.2 จำนวนไรแดงในน้ำกากส่าความเข้มข้นต่าง ๆ ชุดที่เติมอากาศ



ภาพที่ 4.3 จำนวนไรแดงในน้ำกากส่าความเข้มข้นต่าง ๆ ชุดที่ไม่เติมอากาศ

ตารางที่ 4.2 จำนวนไรแดงและคุณภาพน้ำในวันที่มีจำนวนไรแดงสูงสุดในน้ำกากส่าความเข้มข้นต่าง ๆ ชุดที่เติมอากาศ

ร้อยละความเข้มข้นของน้ำกากส่า	จำนวนไรแดงเริ่มต้น (ตัว/ลิตร)	วันที่มีจำนวนไรแดงสูงสุด	จำนวนไรแดงสูงสุด (ตัว/ลิตร)	อัตราการเพิ่มจำนวนไรแดง (เท่า)	คุณภาพน้ำในวันที่เริ่มต้นการทดลอง							คุณภาพน้ำในวันที่มีจำนวนไรแดงสูงสุด						
					pH	DO (mg/l)	COD (mg/l)	BOD (mg/l)	TKN (mg/l)	P (mg/l)	K (mg/l)	pH	DO (mg/l)	COD (mg/l)	BOD (mg/l)	TKN (mg/l)	P (mg/l)	K (mg/l)
0	200	วันที่ 1	200	1	7.66	5.69	0	0	0	0	0	7.66	5.69	0	0	0	0	0
0.05	200	วันที่ 3	660	3.3	7.30	5.59	44	12	0.5	0.01	2.8	8.18	6.16	26	NA	0.3	0	2.2
0.1	200	วันที่ 4	1,508	7.5	7.05	5.46	89	24	1.1	0.03	5.7	7.70	6.20	48	11	0.6	0	3.6
0.5	200	วันที่ 4	1,744	8.7	6.37	5.16	443	121	5.7	0.11	28.4	7.25	5.93	233	59	3.1	0.05	19.2
1	200	วันที่ 4	2,200	11	5.92	5.14	888	242	11.4	0.21	56.3	7.36	5.75	510	130	6.0	0.09	45.1
1.5	200	วันที่ 5	1,472	7.3	5.29	4.96	1,349	362	17.2	0.32	85.3	7.53	5.70	580	145	9.1	0.12	69.8

หมายเหตุ : NA หมายถึง ไม่ได้ทำการวิเคราะห์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.3 จำนวนไรแดงและคุณภาพน้ำในวันที่มีจำนวนไรแดงสูงสุดในน้ำกากส่าความเข้มข้นต่าง ๆ ชุดที่ไม่เติมอากาศ

ร้อยละความเข้มข้นของน้ำกากส่า	จำนวนไรแดงเริ่มต้น (ตัว/ลิตร)	วันที่มีจำนวนไรแดงสูงสุด	จำนวนไรแดงสูงสุด (ตัว/ลิตร)	อัตราการเพิ่มจำนวนไรแดง (เท่า)	คุณภาพน้ำในวันที่เริ่มต้นการทดลอง							คุณภาพน้ำในวันที่มีจำนวนไรแดงสูงสุด						
					pH	DO (mg/l)	COD (mg/l)	BOD (mg/l)	TKN (mg/l)	P (mg/l)	K (mg/l)	pH	DO (mg/l)	COD (mg/l)	BOD (mg/l)	TKN (mg/l)	P (mg/l)	K (mg/l)
0	200	วันที่ 1	200	1	7.66	5.69	0	0	0	0	0	7.66	5.69	0	0	0	0	0
0.05	200	วันที่ 3	550	2.7	7.30	5.59	44	12	0.5	0.01	2.8	7.68	4.71	30	NA	0.4	0	2.5
0.1	200	วันที่ 4	860	4.3	7.05	5.46	89	24	1.1	0.03	5.7	7.24	3.54	72	20	0.8	0.01	5.0
0.5	200	วันที่ 4	1,240	6.2	6.37	5.16	443	121	5.7	0.11	28.4	7.19	1.36	337	90	3.9	0.07	24.9
1	200	วันที่ 4	1,444	7.2	5.92	5.14	888	242	11.4	0.21	56.3	6.36	1.22	700	193	7.5	0.13	50.1
1.5	200	วันที่ 4	676	3.3	5.29	4.96	1,349	362	17.2	0.32	85.3	5.74	1.19	1,007	282	12.7	0.21	76.5

หมายเหตุ : NA หมายถึง ไม่ได้ทำการวิเคราะห์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.2.2 คุณภาพน้ำในน้ำกากส่าความเข้มข้นต่าง ๆ ชุดที่เติมอากาศและไม่เติมอากาศ

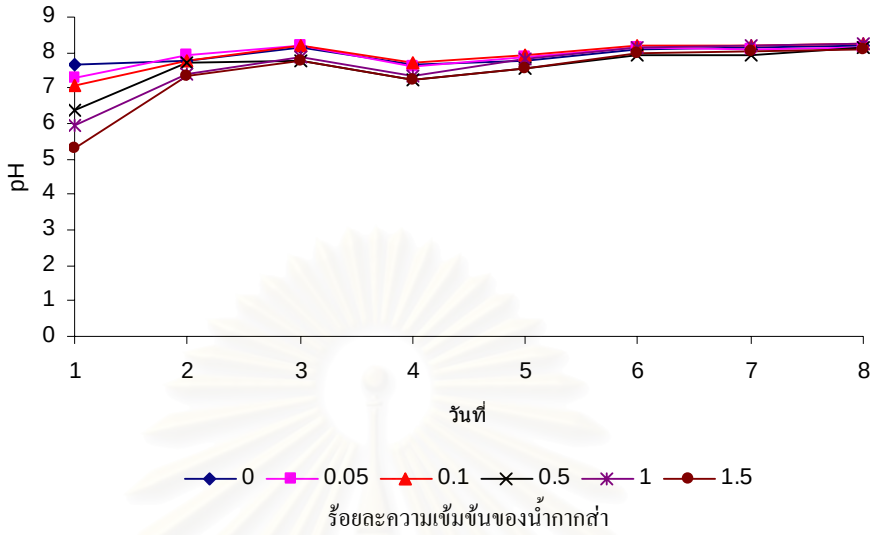
4.2.2.1 พีเอช

ค่าพีเอชเริ่มต้นของน้ำกากส่าหลังการเจือจางในชุดที่เติมอากาศและไม่เติมอากาศมีค่าแตกต่างกัน เนื่องจากน้ำกากส่ามีพีเอชเริ่มต้นเป็นกรดเท่ากับ 4.8 ส่วนน้ำประปาที่นำมาเจือจางมีพีเอชเป็นกลาง ดังนั้นชุดการทดลองที่มีน้ำกากส่าเจือจางต่ำจะมีพีเอชของน้ำสูงขึ้น ชุดการทดลองที่มีน้ำกากส่าเจือจางสูงจะมีพีเอชของน้ำต่ำลงตามลำดับ เมื่อเติมอากาศพบว่าพีเอชของน้ำสูงขึ้นในวันที่ 2 ของการทดลอง (ภาพที่ 4.4) พีเอชจะอยู่ระหว่าง 7.35 – 7.91 และมีแนวโน้มสูงขึ้นทุกวันจนวันสุดท้ายของการทดลอง น้ำมีพีเอชอยู่ระหว่าง 8.11 – 8.26 ซึ่งพีเอชที่เป็นกลางจะเหมาะสมกับการเจริญเติบโตของไรแดง

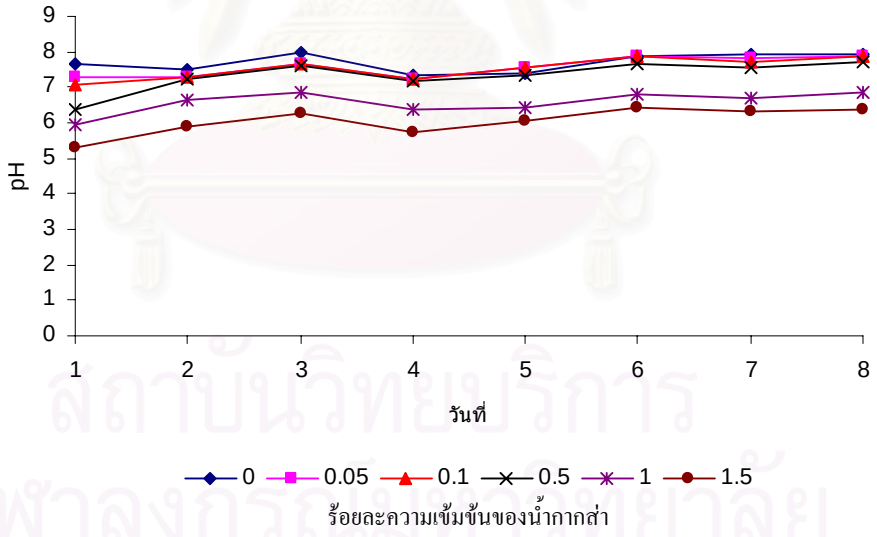
ชุดการทดลองที่ไม่เติมอากาศจะมีพีเอชต่ำกว่าในชุดการทดลองที่เติมอากาศ ดังภาพที่ 4.5 พีเอชเริ่มต้นจะอยู่ระหว่าง 5.29 – 7.66 เนื่องจากสารอินทรีย์ในน้ำมีการย่อยสลายในสภาวะที่ไร้อากาศอาจเกิดเป็นกรดไขมันซึ่งมีผลทำให้ค่าพีเอชลดลง ดังจะเห็นได้ว่าชุดการทดลองที่มีน้ำกากส่าเจือจางร้อยละ 1 และร้อยละ 1.5 มีพีเอชค่อนข้างเป็นกรดตลอดการทดลอง ส่วนชุดการทดลองที่มีน้ำกากส่าเจือจางร้อยละ 0.5 และชุดควบคุมที่ไม่มีน้ำกากส่าเจือจางพีเอชมีแนวโน้มสูงขึ้นหลังการทดลองวันที่ 4 เป็นต้นไปจนวันสุดท้ายของการทดลอง น้ำมีพีเอชอยู่ระหว่าง 6.38 – 7.92

ในวันแรกของการทดลอง น้ำกากส่าความเข้มข้นร้อยละ 0, 0.05, 0.1, 0.5, 1 และ 1.5 ชุดที่เติมอากาศและชุดที่ไม่เติมอากาศมีพีเอชเริ่มต้นเท่ากับ 7.66, 7.30, 7.05, 6.37, 5.92 และ 5.29 ตามลำดับ ในวันสุดท้ายของการทดลอง ชุดที่เติมอากาศมีพีเอชสุดท้ายเท่ากับ 8.20, 8.12, 8.25, 8.13, 8.26 และ 8.11 ตามลำดับ ส่วนชุดที่ไม่เติมอากาศมีพีเอชสุดท้ายเท่ากับ 7.92, 7.90, 7.89, 7.71, 6.84 และ 6.38 ตามลำดับ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพที่ 4.4 พีเอชในน้ำกากส่าความเข้มข้นต่าง ๆ ชุดที่เติมอากาศ



ภาพที่ 4.5 พีเอชในน้ำกากส่าความเข้มข้นต่าง ๆ ชุดที่ไม่เติมอากาศ

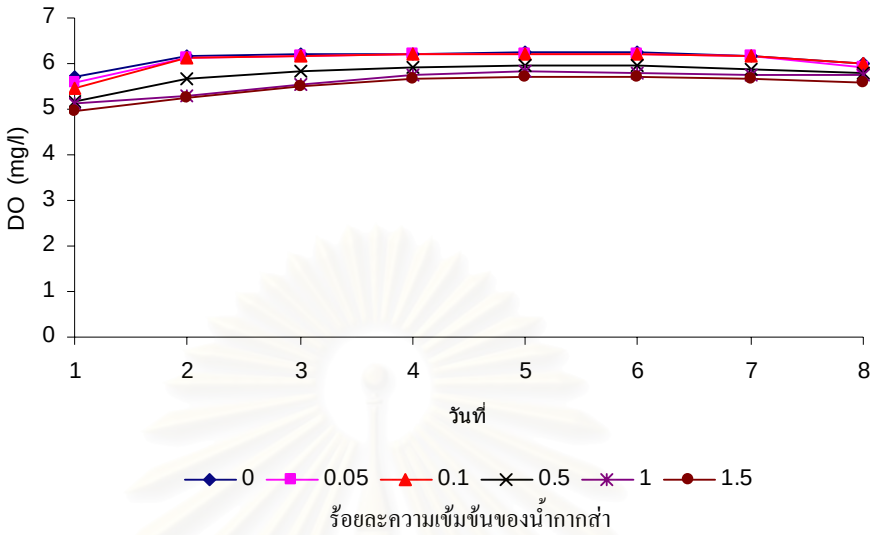
4.2.2.2 ดีโอ

ออกซิเจนละลายหรือดีโอของน้ำกากส่าเริ่มต้นหลังการเจือจางในแต่ละชุดการทดลองมีค่าแตกต่างกันตามร้อยละความเข้มข้นของน้ำกากส่า ดังนั้นชุดการทดลองที่มีน้ำกากส่าเจือจางต่ำจะมีดีโอของน้ำสูงขึ้น ชุดการทดลองที่มีน้ำกากส่าเจือจางสูงจะมีดีโอของน้ำต่ำลงตามลำดับ ชุดการทดลองที่มีการเจือจางน้ำกากส่าสูงจะมีสารอินทรีย์ในน้ำหรือมียีสต์เป็นจำนวนมาก ทำให้มีการใช้ออกซิเจนมากกว่าชุดการทดลองที่มีการเจือจางน้ำกากส่าที่ต่ำกว่า แต่เมื่อเติมอากาศพบว่าดีโอของน้ำสูงขึ้นในวันที่ 2 ของการทดลอง (ภาพที่ 4.6) มีดีโออยู่ในช่วง 5.26 – 6.18 และมีแนวโน้มสูงขึ้นทุกวันจนวันสุดท้ายของการทดลอง มีดีโออยู่ในช่วง 5.60 – 5.99 การมีดีโอที่เพียงพอจะทำให้ไรแดงมีการเจริญเติบโตที่ดี ซึ่งออกซิเจนละลายหรือดีโอนี้เป็นพารามิเตอร์หนึ่งที่เป็นตัวกำหนดแนวโน้มการเจริญเติบโตและเพิ่มจำนวนของไรแดง เนื่องจากไรแดงต้องใช้ออกซิเจนในกระบวนการหายใจ อีกทั้งยังใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ต่าง ๆ ในน้ำ

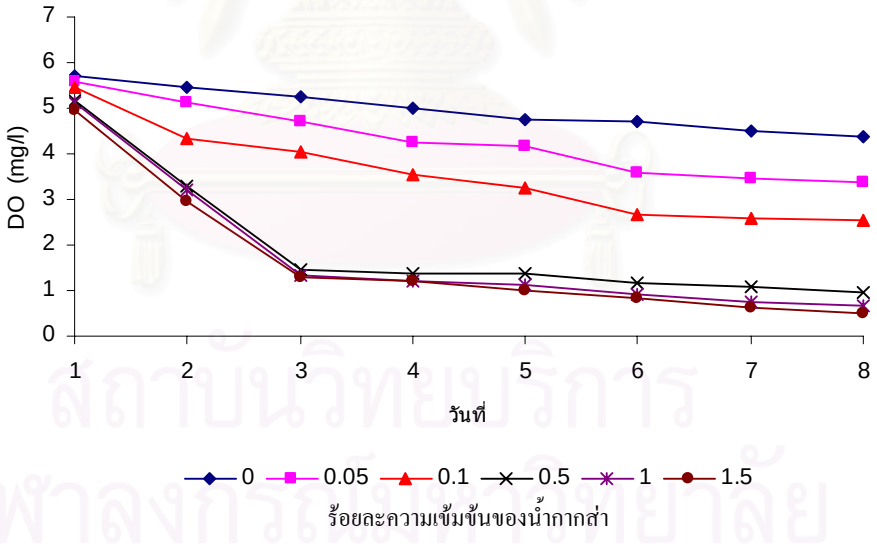
เมื่อไม่มีการเติมอากาศพบว่าดีโอของน้ำยิ่งลดต่ำลงตั้งแต่วันที่ 2 ของการทดลอง (ภาพที่ 4.7) มีดีโออยู่ในช่วง 2.95 – 5.47 และมีแนวโน้มลดลงทุกวันจนวันสุดท้ายของการทดลอง มีดีโออยู่ในช่วง 0.50 – 4.37 ซึ่งจะเห็นว่าน้ำกากส่าความเข้มข้นร้อยละ 1.5 ชุดที่ไม่มีการเติมอากาศมีปริมาณดีโอต่ำที่สุดเพราะเป็นชุดการทดลองที่มีน้ำกากส่าเจือจางสูงที่สุด การมีดีโอที่ไม่เพียงพอจะมีผลทำให้ไรแดงมีการเจริญเติบโตที่น้อยกว่าการมีดีโอที่เพียงพอ

ในวันแรกของการทดลอง น้ำกากส่าความเข้มข้นร้อยละ 0, 0.05, 0.1, 0.5, 1 และ 1.5 ชุดที่เติมอากาศและชุดที่ไม่เติมอากาศมีดีโอเริ่มต้นเท่ากับ 5.69, 5.59, 5.46, 5.16, 5.14 และ 4.96 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ในวันสุดท้ายของการทดลอง ชุดที่เติมอากาศมีดีโอสุดท้ายเท่ากับ 5.99, 5.92, 5.98, 5.79, 5.73 และ 5.60 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ส่วนชุดที่ไม่เติมอากาศมีดีโอสุดท้ายเท่ากับ 4.37, 3.37, 2.54, 0.94, 0.66 และ 0.50 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพที่ 4.6 ดีโอในน้ำกากส่าความเข้มข้นต่าง ๆ ชุดที่เติมอากาศ



ภาพที่ 4.7 ดีโอในน้ำกากส่าความเข้มข้นต่าง ๆ ชุดที่ไม่เติมอากาศ

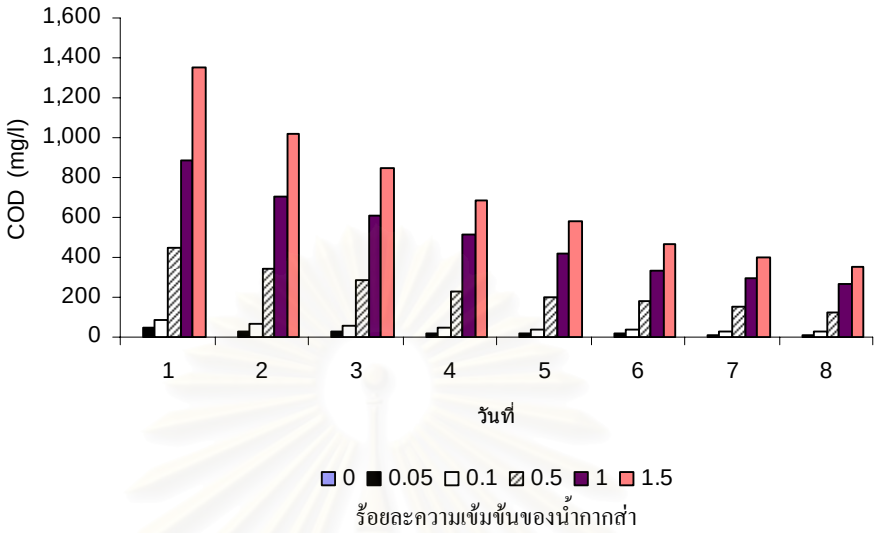
4.2.2.3 ซีโอดี

ซีโอดีในน้ำเกิดจากสารอินทรีย์ ลิกนิน และยีสต์ในน้ำเสีย ในชุดที่เติมอากาศแบคทีเรียที่ใช้ออกซิเจนจะเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วและกำจัดสารอินทรีย์ในน้ำ ทำให้การกำจัดซีโอดีเป็นไปอย่างรวดเร็ว จากภาพที่ 4.8 จะเห็นว่าซีโอดีในน้ำกากส่าเริ่มต้นหลังการเจือจางมีค่าแตกต่างกันตามร้อยละความเข้มข้นของน้ำกากส่า ในชุดการทดลองที่มีการเจือจางน้ำกากส่าสูงจะมีค่าซีโอดีของน้ำสูงขึ้นเนื่องจากมีสารอินทรีย์อยู่มาก เมื่อเติมอากาศพบว่าซีโอดีของน้ำลดลงในวันที่ 2 ของการทดลองและมีแนวโน้มลดลงทุกวันจนวันสุดท้ายของการทดลอง ชุดการทดลองที่เจือจางน้ำกากส่าร้อยละ 0.05 และ 0.1 ซีโอดีมีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยเนื่องจากไม่มีการเพิ่มขึ้นหรือลดลงอย่างชัดเจนของปริมาณสารอินทรีย์ และเนื่องจากออกซิเจนจะช่วยในการย่อยสลายสารอินทรีย์ให้เป็นไปอย่างรวดเร็วยิ่งขึ้น ดังนั้นซีโอดีในทุกชุดการทดลองที่เติมอากาศจึงลดลง

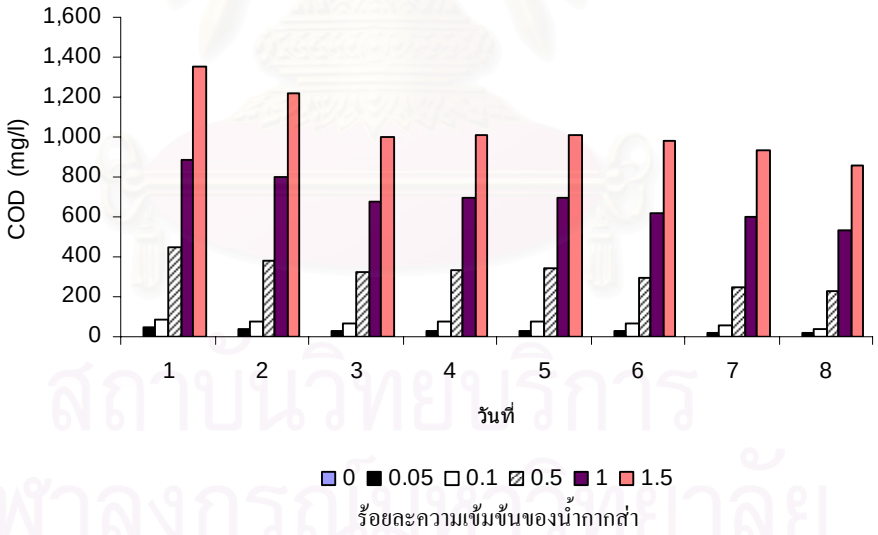
เมื่อไม่เติมอากาศพบว่าซีโอดีของน้ำลดลงในวันที่ 2 ของการทดลองและมีแนวโน้มลดลงทุกวันจนวันสุดท้ายของการทดลอง (ภาพที่ 4.9) แต่มีค่าการลดลงที่ต่ำกว่าในชุดที่เติมอากาศ ส่วนในชุดการทดลองที่เจือจางน้ำกากส่าร้อยละ 0.05 และ 0.1 ซีโอดีมีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยเช่นกันเนื่องจากไม่มีการเพิ่มขึ้นหรือลดลงอย่างชัดเจนของปริมาณสารอินทรีย์

ในวันแรกของการทดลอง น้ำกากส่าความเข้มข้นร้อยละ 0, 0.05, 0.1, 0.5, 1 และ 1.5 ชุดที่เติมอากาศและชุดที่ไม่เติมอากาศมีซีโอดีเริ่มต้นเท่ากับ 0, 44, 89, 443, 888 และ 1,349 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ในวันสุดท้ายของการทดลอง ชุดที่เติมอากาศมีซีโอดีสุดท้ายเท่ากับ 0, 11, 24, 120, 265 และ 350 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ คิดเป็นร้อยละการกำจัดเท่ากับ 0, 75, 73, 72.9, 70.2 และ 74.1 ตามลำดับ ส่วนชุดที่ไม่เติมอากาศมีซีโอดีสุดท้ายเท่ากับ 0, 18, 42, 231, 537 และ 858 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ คิดเป็นร้อยละการกำจัดเท่ากับ 0, 59.1, 52.8, 47.9, 39.5 และ 36.4 ตามลำดับ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพที่ 4.8 ซีโอดีในน้ำกากส่าความเข้มข้นต่าง ๆ ชุดที่เติมอากาศ



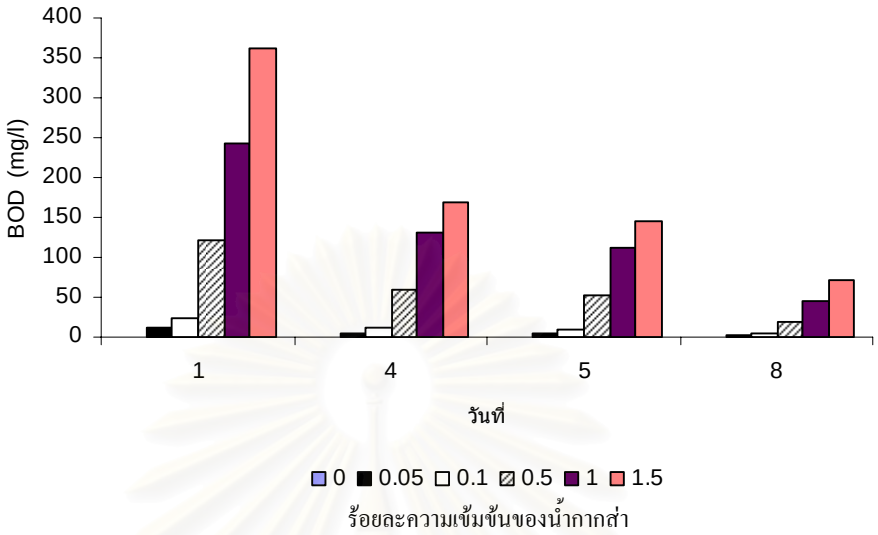
ภาพที่ 4.9 ซีโอดีในน้ำกากส่าความเข้มข้นต่าง ๆ ชุดที่ไม่เติมอากาศ

4.2.2.4 บีโอดี

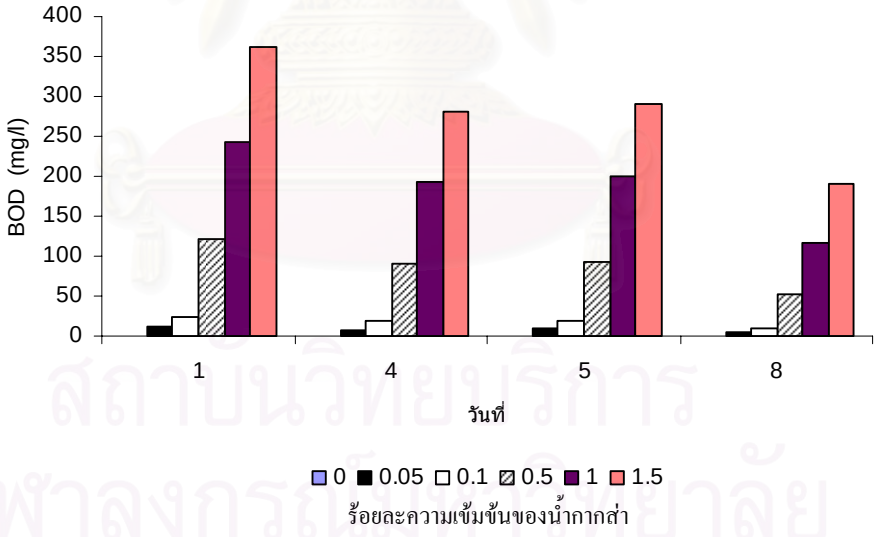
บีโอดีในน้ำเกิดจากความต้องการใช้ออกซิเจนในการย่อยสลายสารอินทรีย์ของแบคทีเรียหรือสิ่งมีชีวิตที่อยู่ในน้ำ บีโอดีเป็นพารามิเตอร์ที่ชี้ให้เห็นว่าในน้ำมีแบคทีเรียหรือสิ่งมีชีวิตมากน้อยเพียงใด ชุดการทดลองที่เจือจางน้ำกากส่าสูงจะมีบีโอดีในน้ำสูงขึ้นเพราะมีสารอินทรีย์มาก ในขณะที่ชุดการทดลองที่เจือจางน้ำกากส่าต่ำจะมีบีโอดีในน้ำต่ำลง และเนื่องจากในน้ำกากส่าที่มีความเข้มข้นสูงความต้องการใช้ออกซิเจนของแบคทีเรียหรือสิ่งมีชีวิตที่อยู่ในน้ำจึงสูงด้วย โดยชุดการทดลองที่มีน้ำกากส่าความเข้มข้นร้อยละ 1.5 มีค่าบีโอดีเริ่มต้นมากที่สุดเท่ากับ 362 มิลลิกรัมต่อลิตร (ภาพที่ 4.10) เมื่อเติมอากาศในทุกชุดการทดลองพบว่าบีโอดีของน้ำลดลงในวันที่ 2 ของการทดลองและมีแนวโน้มลดลงทุกวันจนวันสุดท้ายของการทดลองเพราะมีการเติมออกซิเจนให้แก่น้ำตลอดเวลา ความต้องการออกซิเจนของแบคทีเรียที่จะใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์จึงน้อยลง

ในชุดที่ไม่เติมอากาศ (ภาพที่ 4.11) เมื่อไม่มีการเติมอากาศในทุกชุดการทดลองพบว่าบีโอดีของน้ำลดลงในวันที่ 2 ของการทดลองและมีแนวโน้มลดลงทุกวันจนวันสุดท้ายของการทดลอง แต่มีร้อยละการกำจัดที่ต่ำกว่าในชุดที่เติมอากาศเพราะไม่มีการเติมออกซิเจนให้แก่น้ำตลอดเวลา ความต้องการออกซิเจนของแบคทีเรียที่จะใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์จึงมีมากกว่า

ในวันแรกของการทดลอง น้ำกากส่าความเข้มข้นร้อยละ 0, 0.05, 0.1, 0.5, 1 และ 1.5 ชุดที่เติมอากาศและชุดที่ไม่เติมอากาศมีบีโอดีเริ่มต้นเท่ากับ 0, 12, 24, 121, 242 และ 362 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ในวันสุดท้ายของการทดลอง ชุดที่เติมอากาศมีบีโอดีสุดท้ายเท่ากับ 0, 2, 4, 18, 46 และ 72 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ คิดเป็นร้อยละการกำจัดเท่ากับ 0, 83.3, 83.3, 85.1, 81 และ 80.1 ตามลำดับ ส่วนชุดที่ไม่เติมอากาศมีบีโอดีสุดท้ายเท่ากับ 0, 4, 10, 53, 116 และ 190 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ คิดเป็นร้อยละการกำจัดเท่ากับ 0, 66.7, 58.3, 56.2, 52.1 และ 47.5 ตามลำดับ



ภาพที่ 4.10 บีโอดีในน้ำกากส่าความเข้มข้นต่าง ๆ ชุดที่เติมอากาศ



ภาพที่ 4.11 บีโอดีในน้ำกากส่าความเข้มข้นต่าง ๆ ชุดที่ไม่เติมอากาศ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

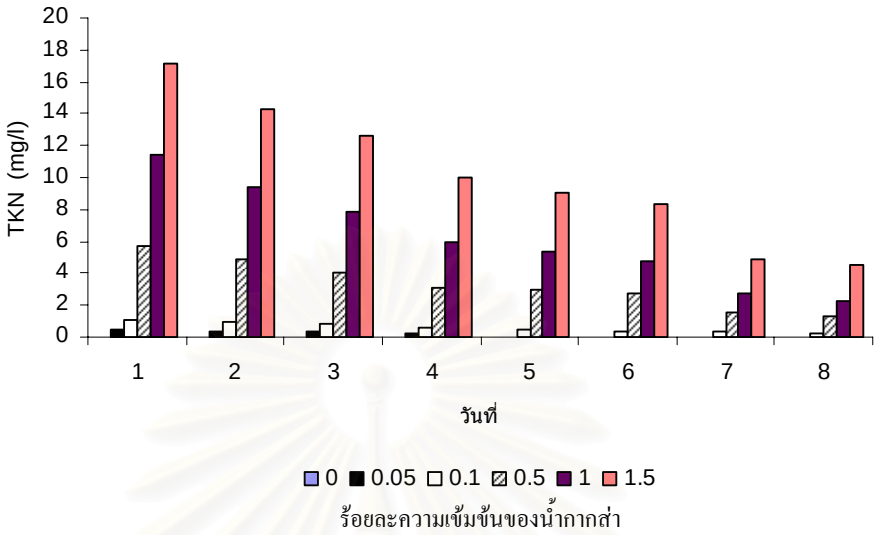
4.2.2.5 ทีเคเอ็น

อินทรีย์ไนโตรเจนหรือทีเคเอ็น หมายถึง ผลรวมของปริมาณไนโตรเจนรวมและปริมาณแอมโมเนียรวมในน้ำ ชุดการทดลองที่มีการเจือจางน้ำกากส่าสูงจะมีทีเคเอ็นของน้ำสูงขึ้น ส่วนชุดการทดลองที่เจือจางน้ำกากส่าต่ำจะมีทีเคเอ็นของน้ำต่ำ ดังแสดงในภาพที่ 4.12 ชุดการทดลองที่มีน้ำกากส่าความเข้มข้นร้อยละ1.5 มีทีเคเอ็นเริ่มต้นมากที่สุด คือ 17.2 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อเติมอากาศในทุกชุดการทดลองพบว่าทีเคเอ็นของน้ำลดลงในวันที่ 2 ของการทดลองและมีแนวโน้มลดลงทุกวันจนวันสุดท้ายของการทดลองเพราะมีการเติมอากาศตลอดเวลา อาจเนื่องจากในชุดที่เติมอากาศทีเคเอ็นจะถูกย่อยสลายเป็นแอมโมเนีย และแอมโมเนียจะถูกแบคทีเรีย Nitrosomonas และ Nitrobactor เปลี่ยนแอมโมเนียให้เป็นไนไตรท์และไนเตรทตามลำดับทำให้ทีเคเอ็นลดลงได้ ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของวีนา ชานนท์ (2535)

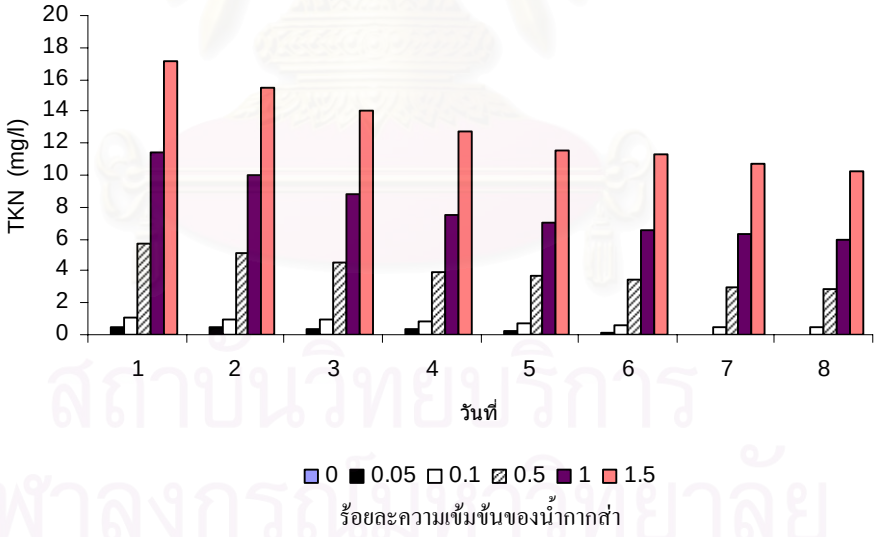
เมื่อไม่เติมอากาศในทุกชุดการทดลองพบว่าทีเคเอ็นมีแนวโน้มลดลงทุกวันจนวันสุดท้ายของการทดลอง (ภาพที่ 4.13) แต่มีร้อยละการกำจัดที่ต่ำกว่าในชุดที่เติมอากาศเพราะไม่เติมอากาศให้แก่น้ำตลอดเวลา แต่ในชุดที่ไม่เติมอากาศปฏิกิริยาการเปลี่ยนแอมโมเนียเป็นไนไตรท์และไนเตรทจะเกิดเฉพาะวันแรก ๆ เท่านั้น

ในวันแรกของการทดลอง น้ำกากส่าความเข้มข้นร้อยละ 0, 0.05, 0.1, 0.5, 1 และ 1.5 ชุดที่เติมอากาศและชุดที่ไม่เติมอากาศมีทีเคเอ็นเริ่มต้นเท่ากับ 0, 0.5, 1.1, 5.7, 11.4 และ 17.2 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ในวันสุดท้ายของการทดลอง ชุดที่เติมอากาศมีทีเคเอ็นสุดท้ายเท่ากับ 0, 0, 0.2, 1.3, 2.3 และ 4.5 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ คิดเป็นร้อยละการกำจัดเท่ากับ 0, 100, 81.8, 77.2, 79.8 และ 73.8 ตามลำดับ ส่วนชุดที่ไม่เติมอากาศมีทีเคเอ็นสุดท้ายเท่ากับ 0, 0, 0.5, 2.8, 6 และ 10.2 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ คิดเป็นร้อยละการกำจัดเท่ากับ 0, 100, 54.5, 50.9, 47.4 และ 40.7 ตามลำดับ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพที่ 4.12 ทีเคเอ็นในน้ำกากส่าความเข้มข้นต่าง ๆ ชุดที่เติมอากาศ



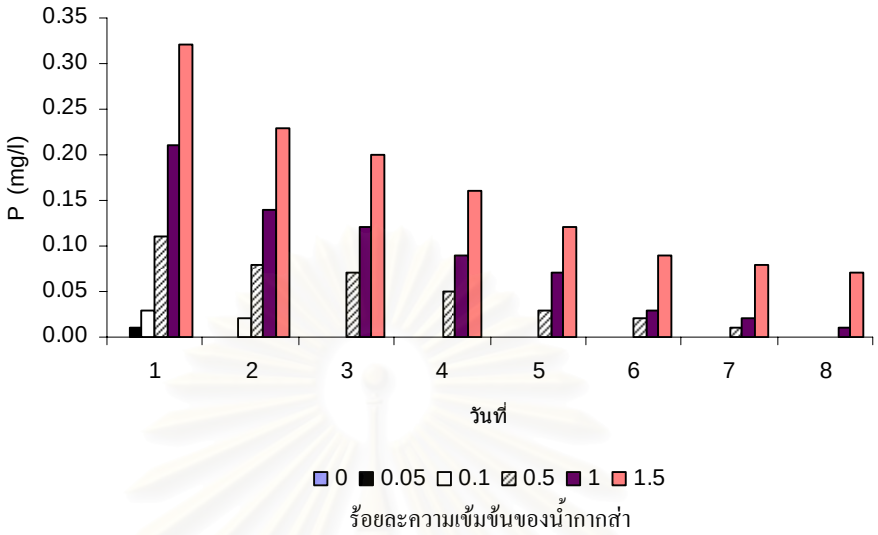
ภาพที่ 4.13 ทีเคเอ็นในน้ำกากส่าความเข้มข้นต่าง ๆ ชุดที่ไม่เติมอากาศ

4.2.2.6 ฟอสฟอรัส

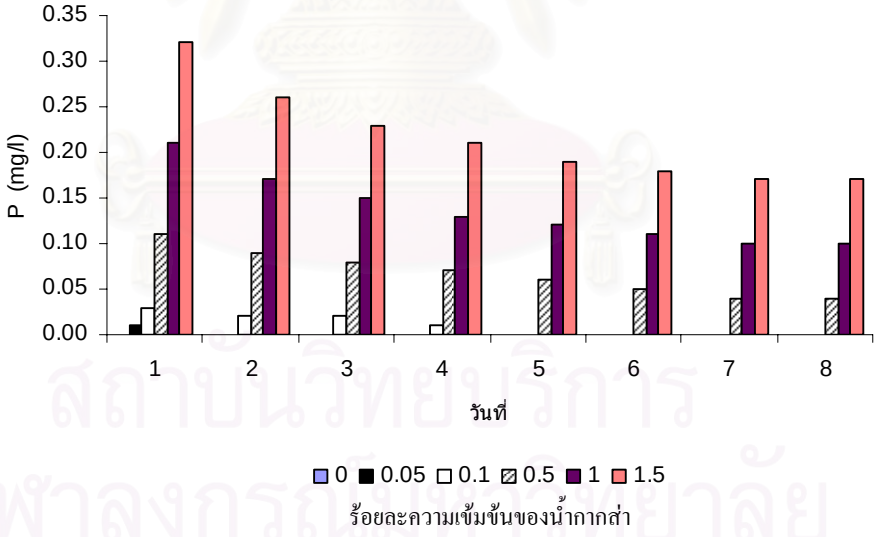
ฟอสฟอรัสในน้ำกากส่าเริ่มต้นหลังการเจือจางแต่ละชุดการทดลองมีปริมาณแตกต่างกันตามร้อยละความเข้มข้นของน้ำกากส่า ชุดการทดลองที่เจือจางน้ำกากส่าสูงจะมีปริมาณฟอสฟอรัสสูง ในขณะที่ชุดการทดลองที่เจือจางน้ำกากส่าต่ำจะมีปริมาณฟอสฟอรัสต่ำลงตามลำดับ เมื่อเติมอากาศในทุกชุดการทดลองพบว่าฟอสฟอรัสในน้ำลดลงในวันที่ 2 ของการทดลองและมีแนวโน้มลดลงทุกวันจนวันสุดท้ายของการทดลอง (ภาพที่ 4.14) เนื่องจากการเติมอากาศทำให้แบคทีเรียและยีสต์มีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว ยีสต์ใช้ฟอสฟอรัสส่วนหนึ่งในการเจริญเติบโต ทำให้ฟอสฟอรัสถูกดูดดึงไปใช้ ประกอบกับการเติมอากาศตลอดเวลาและปัจจัยสภาวะแวดล้อมอื่น ๆ อาจทำให้เกิดการสูญเสียฟอสฟอรัสออกสู่สิ่งแวดล้อมภายนอก (วีนา ชานนท์, 2535) ปริมาณฟอสฟอรัสในน้ำจึงมีค่าลดลง

ในชุดที่ไม่เติมอากาศ (ภาพที่ 4.15) จะเห็นว่าฟอสฟอรัสในน้ำกากส่าเริ่มต้นมีปริมาณแตกต่างกันตามร้อยละความเข้มข้นของน้ำกากส่า ชุดการทดลองที่เจือจางน้ำกากส่าสูงจะมีปริมาณฟอสฟอรัสสูงขึ้น เมื่อเวลาผ่านไปพบว่าในทุกชุดการทดลองฟอสฟอรัสในน้ำลดลงในวันที่ 2 ของการทดลองและมีแนวโน้มลดลงทุกวันจนวันสุดท้ายของการทดลอง แต่มีร้อยละการกำจัดที่ต่ำกว่าในชุดที่เติมอากาศ เนื่องจากการไม่เติมอากาศอาจทำให้แบคทีเรียหรือยีสต์มีการเจริญเติบโตช้า การดูดดึงฟอสฟอรัสไปใช้จึงน้อยกว่าในชุดที่เติมอากาศ

ในวันแรกของการทดลอง น้ำกากส่าความเข้มข้นร้อยละ 0, 0.05, 0.1, 0.5, 1 และ 1.5 ชุดที่เติมอากาศและชุดที่ไม่เติมอากาศมีฟอสฟอรัสเริ่มต้นเท่ากับ 0, 0.01, 0.03, 0.11, 0.21 และ 0.32 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ในวันสุดท้ายของการทดลอง ชุดที่เติมอากาศมีฟอสฟอรัสสุดท้ายเท่ากับ 0, 0, 0, 0, 0.01 และ 0.07 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ คิดเป็นร้อยละการกำจัดเท่ากับ 0, 100, 100, 100, 95.2 และ 78.1 ตามลำดับ ส่วนชุดที่ไม่เติมอากาศมีฟอสฟอรัสสุดท้ายเท่ากับ 0, 0, 0, 0.04, 0.10 และ 0.17 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ คิดเป็นร้อยละการกำจัดเท่ากับ 0, 100, 100, 63.6, 52.4 และ 46.9 ตามลำดับ



ภาพที่ 4.14 ฟอสฟอรัสในน้ำกากส่าความเข้มข้นต่าง ๆ ชุดที่เติมอากาศ



ภาพที่ 4.15 ฟอสฟอรัสในน้ำกากส่าความเข้มข้นต่าง ๆ ชุดที่ไม่เติมอากาศ

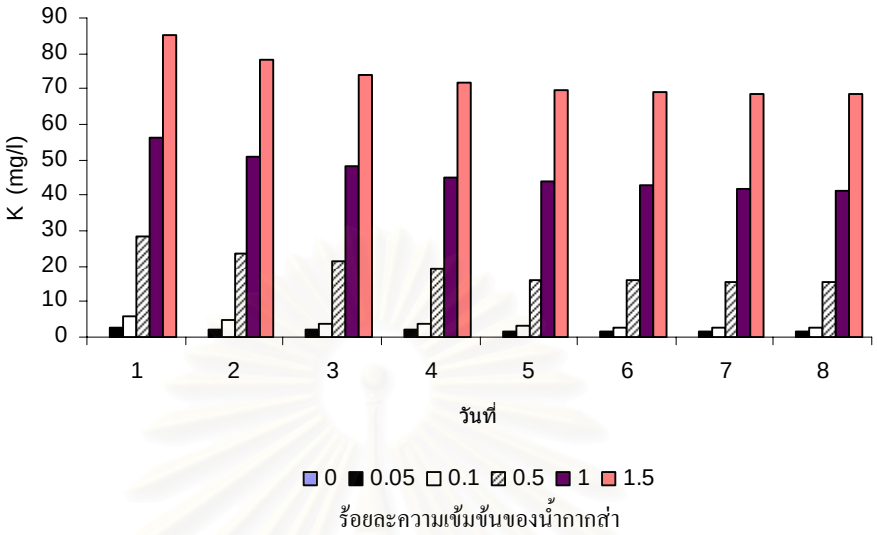
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.2.2.7 โพแทสเซียม

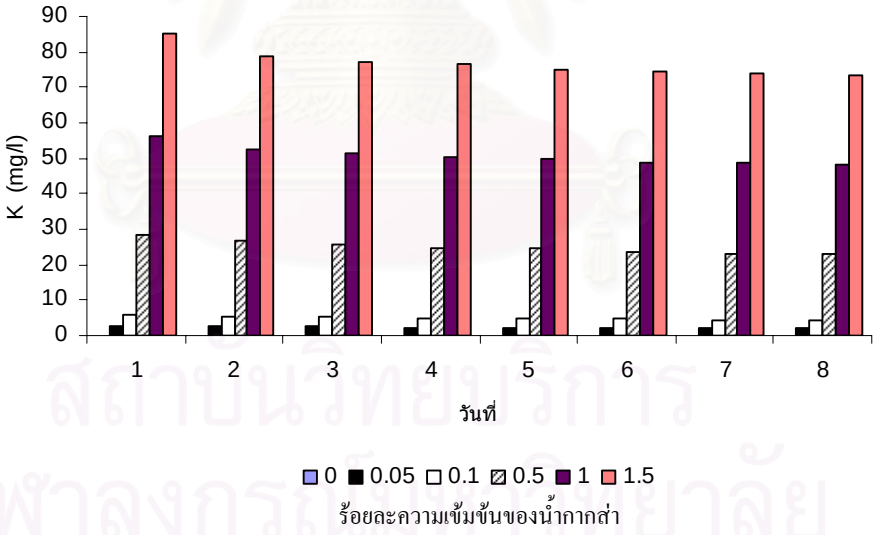
จากภาพที่ 4.16 พบว่าโพแทสเซียมในน้ำกากส่าเริ่มต้นหลังการเจือจางมีปริมาณแตกต่างกันตามเปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นของน้ำกากส่า ชุดการทดลองที่มีการเจือจางน้ำกากส่าสูงจะมีปริมาณโพแทสเซียมสูง โดยน้ำกากส่าความเข้มข้นร้อยละ 1.5 มีปริมาณโพแทสเซียมเริ่มต้นมากที่สุด คือ 85.3 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อเติมอากาศในทุกชุดการทดลองพบว่าโพแทสเซียมในน้ำลดลงในวันที่ 2 ของการทดลองและมีแนวโน้มลดลงทุกวันจนวันสุดท้ายของการทดลอง โดยน้ำกากส่าความเข้มข้นร้อยละ 1.5 มีปริมาณโพแทสเซียมสุดท้ายมากที่สุด คือ 68.4 มิลลิกรัมต่อลิตร การเติมอากาศทำให้แบคทีเรียและยีสต์มีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว ยีสต์ใช้โพแทสเซียมส่วนหนึ่งในการเจริญเติบโตทำให้โพแทสเซียมถูกดูดดึงไปใช้แต่ในปริมาณที่น้อย ประกอบการเติมอากาศตลอดเวลาและปัจจัยสภาวะแวดล้อมอื่น ๆ อาจทำให้เกิดการสูญเสียโพแทสเซียมออกสู่สิ่งแวดล้อมภายนอกเช่นเดียวกับฟอสฟอรัส ปริมาณโพแทสเซียมในน้ำจึงมีค่าลดลง

ส่วนในชุดที่ไม่เติมอากาศ (ภาพที่ 4.17) เมื่อเวลาผ่านไปพบว่าในทุกชุดการทดลองโพแทสเซียมในน้ำลดลงในวันที่ 2 ของการทดลองและมีแนวโน้มลดลงทุกวัน แต่มีร้อยละการกำจัดที่ต่ำกว่าในชุดที่เติมอากาศ เนื่องจากการไม่เติมอากาศอาจทำให้แบคทีเรียและยีสต์มีการเจริญเติบโตช้า การดูดดึงโพแทสเซียมไปใช้จึงน้อยกว่าในชุดที่เติมอากาศ ปริมาณโพแทสเซียมในน้ำมีค่าลดลงแต่ลดลงเพียงเล็กน้อย

ในวันแรกของการทดลอง น้ำกากส่าความเข้มข้นร้อยละ 0, 0.05, 0.1, 0.5, 1 และ 1.5 ชุดที่เติมอากาศและชุดที่ไม่เติมอากาศมีโพแทสเซียมเริ่มต้นเท่ากับ 0, 2.8, 5.7, 28.4, 56.3 และ 85.3 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ในวันสุดท้ายของการทดลอง ชุดที่เติมอากาศมีโพแทสเซียมสุดท้ายเท่ากับ 0, 1.5, 2.7, 15.8, 41.4 และ 68.4 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ คิดเป็นร้อยละการกำจัดเท่ากับ 0, 46.4, 52.6, 44.4, 26.5 และ 19.8 ตามลำดับ ส่วนชุดที่ไม่เติมอากาศมีโพแทสเซียมสุดท้ายเท่ากับ 0, 1.9, 4.4, 22.8, 48.3 และ 73.6 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ คิดเป็นร้อยละการกำจัดเท่ากับ 0, 32.1, 22.8, 19.7, 14.2 และ 13.7 ตามลำดับ



ภาพที่ 4.16 โพแทสเซียมในน้ำกากส่าความเข้มข้นต่าง ๆ ชุดที่เติมอากาศ



ภาพที่ 4.17 โพแทสเซียมในน้ำกากส่าความเข้มข้นต่าง ๆ ชุดที่ไม่เติมอากาศ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.2.3 การเปรียบเทียบผลการทดลองของการใช้น้ำกากส่าความเข้มข้นต่าง ๆ ชุดที่เติมอากาศและไม่เติมอากาศในการเพาะเลี้ยงไรแดง

จากผลการทดลองเปรียบเทียบจำนวนไรแดงและคุณภาพน้ำในน้ำกากส่าความเข้มข้นต่าง ๆ ชุดที่เติมอากาศและไม่เติมอากาศสรุปได้ว่าการเติมอากาศในน้ำที่ใช้เพาะเลี้ยงไรแดงทำให้ได้จำนวนไรแดงมากกว่าชุดที่ไม่เติมอากาศถึงร้อยละ 34.4 ซึ่งการเติมอากาศในน้ำที่ใช้เพาะเลี้ยงไรแดงจะช่วยลดความสกปรกของน้ำลงได้มากกว่าชุดที่ไม่เติมอากาศในทุกพารามิเตอร์ ดังแสดงในตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 การเปรียบเทียบสภาวะที่เหมาะสมในการเพาะเลี้ยงไรแดงจากการใช้น้ำกากส่าความเข้มข้นต่าง ๆ ชุดที่เติมอากาศและไม่เติมอากาศ

พารามิเตอร์			สภาวะที่เหมาะสมในการเพาะเลี้ยงไรแดง			
			เติมอากาศ		ไม่เติมอากาศ	
ร้อยละความเข้มข้นของน้ำกากส่า			1		1	
จำนวนไรแดงเริ่มต้น (ตัว/ลิตร)			200		200	
วันที่มีจำนวนไรแดงสูงสุด			4		4	
จำนวนไรแดงสูงสุด (ตัว/ลิตร)			2,200		1,444	
อัตราการเพิ่มจำนวนไรแดง (เท่า)			11		7.2	
คุณภาพน้ำ	หน่วย	คุณภาพน้ำในวันที่เริ่มต้นการทดลอง	คุณภาพน้ำในวันที่มีจำนวนไรแดงสูงสุด	ร้อยละการกำจัด	คุณภาพน้ำในวันที่มีจำนวนไรแดงสูงสุด	ร้อยละการกำจัด
pH	-	5.92	7.36	-	6.36	-
DO	mg/l	5.14	5.75	-	1.22	-
COD	mg/l	888	510	42.6	700	21.2
BOD	mg/l	242	130	46.3	193	20.2
TKN	mg/l	11.4	6.0	47.4	7.5	34.2
P	mg/l	0.21	0.09	57.1	0.13	38.1
K	mg/l	56.3	45.1	19.9	50.1	11.0

4.3 การเปรียบเทียบจำนวนไรแดงและคุณภาพน้ำในน้ำกากส่าที่เติมสาหร่ายคลอเรลล่าความเข้มข้นต่าง ๆ ชุดที่เติมอากาศและไม่เติมอากาศ

ผลการทดลองในหัวข้อ 4.2 พบว่าน้ำกากส่าความเข้มข้นร้อยละ 1 ชุดที่เติมอากาศทำให้ไรแดงเจริญเติบโตและเพิ่มจำนวนได้สูงสุด ดังนั้นในหัวข้อ 4.3 นี้จึงนำน้ำกากส่าความเข้มข้นร้อยละ 1 มาใช้ในการทดลองเปรียบเทียบจำนวนไรแดงและคุณภาพน้ำในน้ำกากส่าที่เติมสาหร่ายคลอเรลล่าความเข้มข้นระดับต่าง ๆ ชุดที่เติมอากาศและไม่เติมอากาศ

จากการเติมน้ำกากส่าความเข้มข้นร้อยละ 1 ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 500 มิลลิลิตร เติมสาหร่ายคลอเรลล่า 5 ความเข้มข้น ๆ ละ 2 ซ้ำ ได้แก่ ความเข้มข้น $1x10^4$, $1x10^5$, $1x10^6$, $1x10^7$ และ $1x10^8$ เซลล์ต่อมิลลิลิตรลงในแต่ละขวดทดลอง โดยให้ชุดที่ไม่เติมสาหร่ายคลอเรลล่าเป็นชุดควบคุม นำไรแดงจำนวน 100 ตัวใส่ลงในแต่ละขวดทดลอง (200 ตัวต่อลิตร) นำมาเลี้ยงบนชั้นวางซึ่งได้รับแสงจากหลอดฟลูออเรสเซนต์ ห่างจากขวดทดลองเป็นระยะ 50 เซนติเมตร ให้มีช่วงสว่างต่อช่วงมืดเท่ากับ 12 : 12 ชั่วโมง เติมอากาศตลอดเวลา เป็นเวลา 8 วัน ส่วนในชุดที่ไม่เติมอากาศก็ทำเช่นเดียวกัน แต่ต่างกันที่ไม่ต้องเติมอากาศ นับจำนวนไรแดงทุกวัน โดยจะคนน้ำในขวดทดลองให้เข้ากัน ดูดเก็บไรแดงบริเวณกึ่งกลางขวด และสุ่มตัวอย่าง 3 ครั้งในแต่ละขวดทดลอง วิเคราะห์พีเอช ออกซิเจนละลายหรือดีโอ ซีโอดี อินทรีย์ไนโตรเจนหรือทีเคเอ็น ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมทุกวัน ส่วนบีโอดีจะวิเคราะห์ก่อน ระหว่าง และหลังการทดลอง ได้ผลการทดลองดังนี้

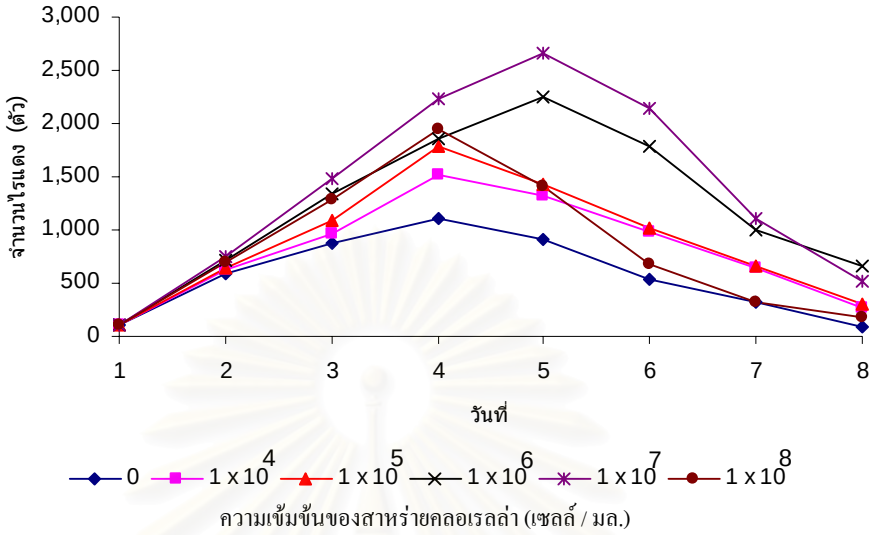
4.3.1 จำนวนไรแดงในน้ำกากส่าที่เติมสาหร่ายคลอเรลล่าความเข้มข้นต่าง ๆ ชุดที่เติมอากาศและไม่เติมอากาศ

จากภาพที่ 4.18 และภาพที่ 4.19 จะเห็นว่าไรแดงเพิ่มจำนวนมากที่สุดในน้ำกากส่าที่เติมสาหร่ายคลอเรลล่าความเข้มข้น 1×10^7 เซลล์ต่อมิลลิลิตรชุดที่เติมอากาศ โดยเพิ่มจำนวนมากที่สุดในวันที่ 5 ของการทดลอง การเติมอากาศจะทำให้มีออกซิเจนเพียงพอในกระบวนการหายใจของ ไรแดง สารอินทรีย์ย่อยสลายได้รวดเร็ว ไม่มีปัญหาการเกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการเน่าเสียของน้ำที่จะส่งผลกระทบต่อการเจริญเติบโตและการเพิ่มจำนวนของไรแดง ประกอบกับการทดลองนี้มีการเติมสาหร่ายคลอเรลล่าซึ่งไรแดงจะกินยีสต์และสาหร่ายคลอเรลล่าเป็นอาหารและเจริญเติบโตเพิ่มจำนวนขึ้น ในขณะที่ชุดการทดลองควบคุมซึ่งไม่เติมสาหร่ายคลอเรลล่ามีแนวโน้มว่าไรแดงมีการเจริญเติบโตและการเพิ่มจำนวนน้อยกว่าในชุดการทดลองที่มีการเติมสาหร่ายคลอเรลล่า ดังภาพที่ 4.18 หลังจากที่ไรแดงเพิ่มจำนวนได้สูงสุดประมาณวันที่ 4 – 5 แล้วไรแดงจะ

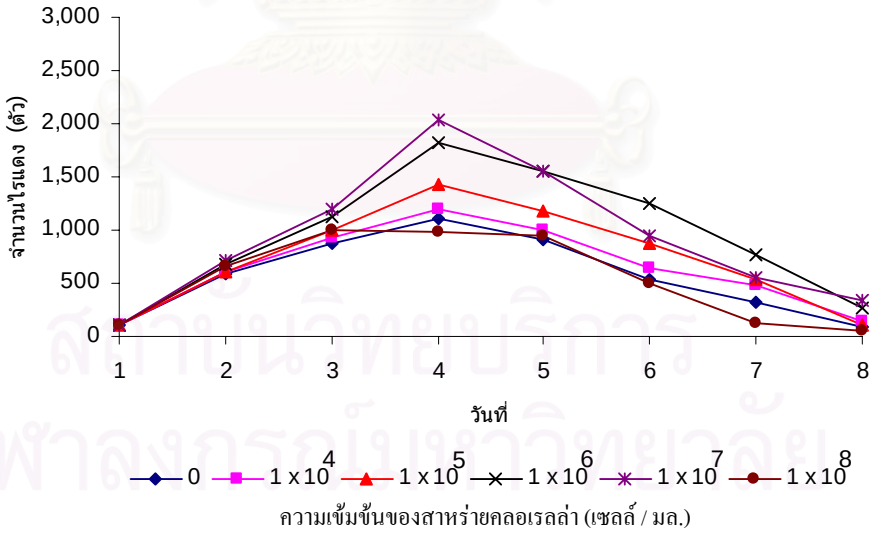
ลดจำนวนลงจนวันสุดท้ายของการทดลอง ขณะเดียวกันในชุดที่ไม่เติมอากาศ (ภาพที่ 4.19) พบว่ามีแนวโน้มการเพิ่มจำนวนของไรแดงเช่นเดียวกับในชุดที่เติมอากาศ แต่เพิ่มในอัตราที่น้อยกว่า จากตารางที่ 4.5 และตารางที่ 4.6 เมื่อพิจารณาค่าซีโอดีของน้ำที่ใช้ทดลองพบว่ามีค่าซีโอดีเริ่มต้นค่อนข้างสูงถึง 928 มิลลิกรัมต่อลิตร รวมทั้งมีปริมาณทีเคเอ็นและโพแทสเซียมสูงจึงอาจมีผลต่อการเจริญเติบโตของไรแดงได้

น้ำกากส่าความเข้มข้นร้อยละ 1 ที่เติมสาหร่ายคลอเรลล่าความเข้มข้น 0, 1 x 10^4, 1 x 10^5, 1 x 10^6, 1 x 10^7 และ 1 x 10^8 เซลล์ต่อมิลลิลิตรชุดที่เติมอากาศให้ผลผลิตไรแดงสูงสุดในวันที่ 4, 4, 4, 5, 5 และ 4 ตามลำดับ โดยได้ผลผลิตไรแดงเท่ากับ 2200, 3020, 3570, 4500, 5320 และ 3880 ตัวต่อลิตร ตามลำดับ ส่วนชุดที่ไม่เติมอากาศให้ผลผลิตไรแดงสูงสุดในวันที่ 4, 4, 4, 4, 4 และ 3 ตามลำดับ โดยได้ผลผลิตไรแดงเท่ากับ 2200, 2400, 2866, 3636, 4074 และ 2006 ตัวต่อลิตร ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 4.5 และตารางที่ 4.6

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพที่ 4.18 จำนวนไรแดงในน้ำกากส่าความเข้มข้นร้อยละ 1 ที่เติมสาหร่ายคลอเรลล่าความเข้มข้นต่าง ๆ ชุดที่เติมอากาศ



ภาพที่ 4.19 จำนวนไรแดงในน้ำกากส่าความเข้มข้นร้อยละ 1 ที่เติมสาหร่ายคลอเรลล่าความเข้มข้นต่าง ๆ ชุดที่ไม่เติมอากาศ

ตารางที่ 4.5 จำนวนไรแดงและคุณภาพน้ำในวันที่มีจำนวนไรแดงสูงสุดในน้ำกากส่าความเข้มข้นร้อยละ 1 ที่เติมสาหร่ายคลอเรลล่าความเข้มข้นต่าง ๆ ชุดที่เติมอากาศ

ความเข้มข้นของสาหร่ายคลอเรลล่า (เซลล์/มล.)	จำนวนไรแดงเริ่มต้น (ตัว/ลิตร)	วันที่มีจำนวนไรแดงสูงสุด	จำนวนไรแดงสูงสุด (ตัว/ลิตร)	อัตราการเพิ่มจำนวนไรแดง (เท่า)	คุณภาพน้ำในวันที่เริ่มต้นการทดลอง							คุณภาพน้ำในวันที่มีจำนวนไรแดงสูงสุด						
					pH	DO (mg/l)	COD (mg/l)	BOD (mg/l)	TKN (mg/l)	P (mg/l)	K (mg/l)	pH	DO (mg/l)	COD (mg/l)	BOD (mg/l)	TKN (mg/l)	P (mg/l)	K (mg/l)
0	200	วันที่ 4	2,200	11	5.92	5.14	888	242	11.4	0.21	56.3	7.36	5.75	510	130	6.0	0.09	40.5
$1x10^4$	200	วันที่ 4	3,020	15.1	5.84	5.11	892	246	11.9	0.24	57.0	6.94	5.82	521	144	7.7	0.10	40.7
$1x10^5$	200	วันที่ 4	3,570	17.8	5.80	5.09	898	250	12.4	0.26	57.6	6.92	5.63	533	147	8.3	0.10	39.6
$1x10^6$	200	วันที่ 5	4,500	22.5	5.70	5.05	905	255	13.0	0.28	58.4	7.19	5.82	460	150	8.2	0.08	31.4
$1x10^7$	200	วันที่ 5	5,320	26.6	5.62	5.00	915	262	13.6	0.32	59.0	7.24	5.89	470	152	8.7	0.10	30.6
$1x10^8$	200	วันที่ 4	3,880	19.4	5.55	4.95	928	270	14.0	0.35	60.0	6.95	5.67	590	167	9.8	0.12	39.5

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.6 จำนวนไรแดงและคุณภาพน้ำในวันที่มีจำนวนไรแดงสูงสุดในน้ำกากส่าความเข้มข้นร้อยละ 1 ที่เติมสาหร่ายคลอเรลล่าความเข้มข้นต่าง ๆ ชุดที่ไม่เติมอากาศ

ความเข้มข้นของสาหร่ายคลอเรลล่า (เซลล์/มล.)	จำนวนไรแดงเริ่มต้น (ตัว/ลิตร)	วันที่มีจำนวนไรแดงสูงสุด	จำนวนไรแดงสูงสุด (ตัว/ลิตร)	อัตราการเพิ่มจำนวนไรแดง (เท่า)	คุณภาพน้ำในวันที่เริ่มต้นการทดลอง							คุณภาพน้ำในวันที่มีจำนวนไรแดงสูงสุด						
					pH	DO (mg/l)	COD (mg/l)	BOD (mg/l)	TKN (mg/l)	P (mg/l)	K (mg/l)	pH	DO (mg/l)	COD (mg/l)	BOD (mg/l)	TKN (mg/l)	P (mg/l)	K (mg/l)
0	200	วันที่ 4	2,200	11	5.92	5.14	888	242	11.4	0.21	56.3	6.36	1.22	700	193	7.5	0.13	51.0
$1x10^4$	200	วันที่ 4	2,400	12	5.84	5.11	892	246	11.9	0.24	57.0	6.19	1.43	763	196	9.0	0.13	50.2
$1x10^5$	200	วันที่ 4	2,866	14.3	5.80	5.09	898	250	12.4	0.26	57.6	6.15	1.40	780	204	9.6	0.14	47.1
$1x10^6$	200	วันที่ 4	3,636	18.1	5.70	5.05	905	255	13.0	0.28	58.4	6.14	1.42	812	217	10.2	0.14	48.0
$1x10^7$	200	วันที่ 4	4,074	20.3	5.62	5.00	915	262	13.6	0.32	59.0	6.18	1.41	823	228	10.8	0.15	46.6
$1x10^8$	200	วันที่ 3	2,006	10	5.55	4.95	928	270	14.0	0.35	60.0	6.54	1.45	828	NA	12.8	0.20	50.1

หมายเหตุ : NA หมายถึง ไม่ได้ทำการวิเคราะห์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

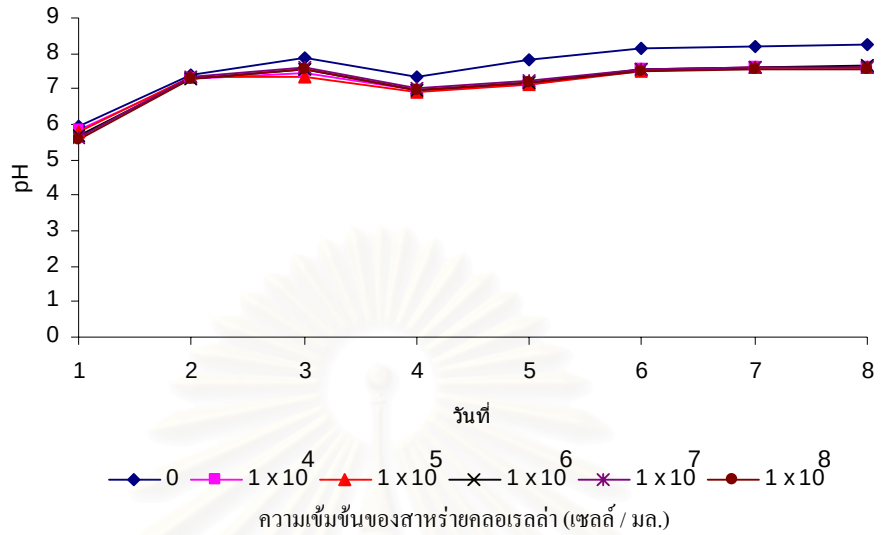
4.3.2 คุณภาพน้ำในน้ำกากส่าที่เติมสาหร่ายคลอเรลล่าความเข้มข้นต่าง ๆ ชุดที่เติมอากาศและไม่เติมอากาศ

4.3.2.1 พีเอช

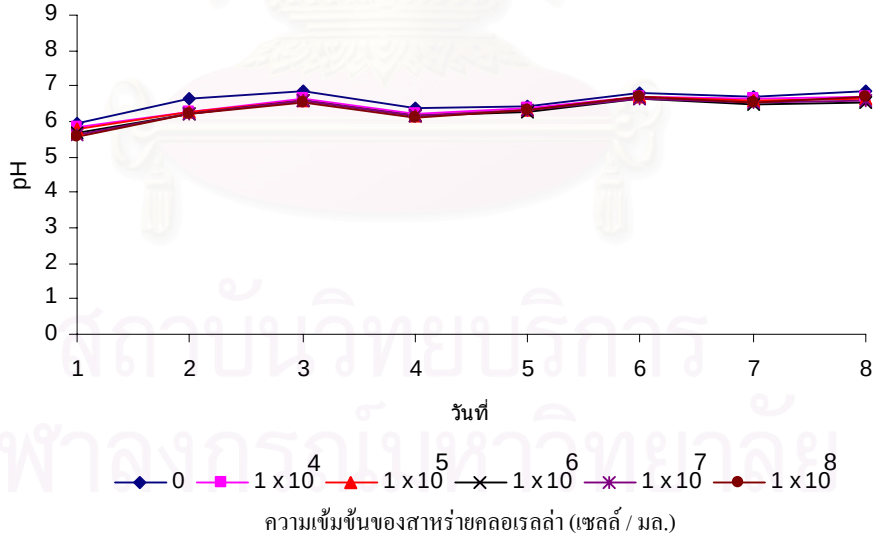
พีเอชเริ่มต้นของน้ำกากส่าที่เติมสาหร่ายคลอเรลล่าความเข้มข้นต่าง ๆ ในชุดที่เติมอากาศและไม่เติมอากาศมีค่าแตกต่างกัน ชุดการทดลองที่เจือจางสาหร่ายคลอเรลล่าต่ำจะมีพีเอชของน้ำต่ำ ชุดการทดลองที่เจือจางสาหร่ายคลอเรลล่าสูงจะมีพีเอชของน้ำสูงขึ้น เมื่อเติมอากาศในทุกชุดการทดลองพบว่าพีเอชของน้ำสูงขึ้นในวันที่ 2 ของการทดลอง (ภาพที่ 4.20) พีเอชจะอยู่ระหว่าง 7.27 – 7.37 และมีแนวโน้มสูงขึ้นทุกวันจนวันสุดท้ายของการทดลอง น้ำมีพีเอชอยู่ระหว่าง 7.57 – 8.26 ซึ่งพีเอชที่เป็นกลางจะเหมาะสมกับการเจริญเติบโตของไรแดง

ชุดที่ไม่เติมอากาศจะมีพีเอชต่ำกว่าในชุดที่เติมอากาศ ดังภาพที่ 4.21 พีเอชเริ่มต้นจะอยู่ระหว่าง 5.55 – 5.92 เนื่องจากสารอินทรีย์ในน้ำมีการย่อยสลายในสภาวะที่ใช้อากาศอาจเกิดเป็นกรดไขมันซึ่งมีผลทำให้ค่าพีเอชลดลง ดังจะเห็นได้ว่าชุดการทดลองที่ไม่เติมอากาศมีพีเอชค่อนข้างเป็นกรดตลอดการทดลอง ประกอบกับการเติมสาหร่ายคลอเรลล่าทำให้มีปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำมาก อย่างไรก็ตามพีเอชมีแนวโน้มสูงขึ้นหลังการทดลองวันที่ 4 เป็นต้นไปจนวันสุดท้ายของการทดลอง น้ำมีพีเอชอยู่ระหว่าง 6.56 – 6.84

ในวันแรกของการทดลอง น้ำกากส่าความเข้มข้นร้อยละ1 ที่เติมสาหร่ายคลอเรลล่าความเข้มข้น 0, 1 x 10^4, 1 x 10^5, 1 x 10^6, 1 x 10^7 และ 1 x 10^8 เซลล์ต่อมิลลิลิตร ชุดที่เติมอากาศและชุดที่ไม่เติมอากาศมีพีเอชเริ่มต้นเท่ากับ 5.92, 5.84, 5.80, 5.70, 5.62 และ 5.55 ตามลำดับ ในวันสุดท้ายของการทดลอง ชุดที่เติมอากาศมีพีเอชสุดท้ายเท่ากับ 8.26, 7.60, 7.62, 7.64, 7.62 และ 7.57 ตามลำดับ ส่วนชุดที่ไม่เติมอากาศมีพีเอชสุดท้ายเท่ากับ 6.84, 6.72, 6.64, 6.56, 6.60 และ 6.67 ตามลำดับ



ภาพที่ 4.20 พีเอชในน้ำกากส่าความเข้มข้นร้อยละ 1 ที่เติมสาหร่ายคลอเรลล่าความเข้มข้นต่าง ๆ ชุดที่เติมอากาศ



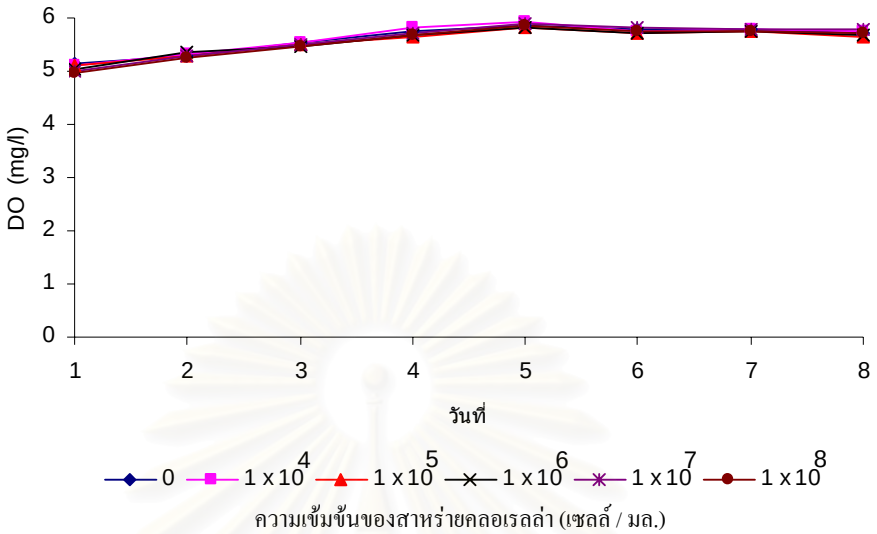
ภาพที่ 4.21 พีเอชในน้ำกากส่าความเข้มข้นร้อยละ 1 ที่เติมสาหร่ายคลอเรลล่าความเข้มข้นต่าง ๆ ชุดที่ไม่เติมอากาศ

4.3.2.2 ดีโอ

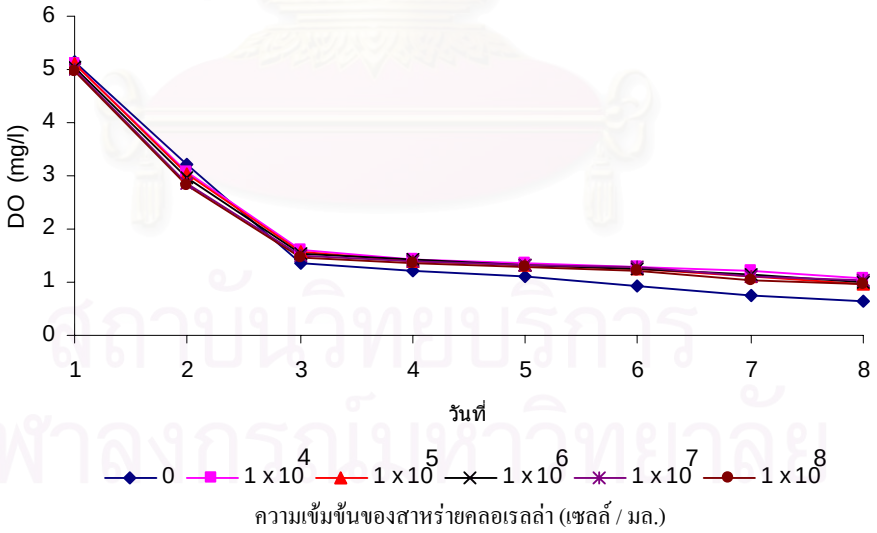
ออกซิเจนละลายหรือดีโอของน้ำกากส่าเริ่มต้นที่เติมสาหร่ายคลอเรลล่ามีค่าแตกต่างกันตามความเข้มข้นของสาหร่ายคลอเรลล่า ชุดการทดลองที่เจือจางสาหร่ายคลอเรลล่าต่ำจะมีดีโอของน้ำสูงขึ้น ชุดการทดลองที่เจือจางสาหร่ายคลอเรลล่าสูงจะมีดีโอของน้ำต่ำลง ชุดการทดลองที่เจือจางสาหร่ายคลอเรลล่าสูงจะมีปริมาณสารอินทรีย์และใช้ออกซิเจนมากกว่าชุดการทดลองที่เจือจางสาหร่ายคลอเรลล่าที่ต่ำกว่า แต่เมื่อเติมอากาศในทุกการทดลองพบว่าดีโอของน้ำสูงขึ้นในวันที่ 2 ของการทดลอง (ภาพที่ 4.22) มีดีโออยู่ในช่วง 5.24 – 5.34 และมีแนวโน้มสูงขึ้นทุกวันจนวันสุดท้ายของการทดลอง มีดีโออยู่ในช่วง 7.57 – 8.26 การมีดีโอที่เพียงพอจะทำให้ไรแดงมีการเจริญเติบโตที่ดี ซึ่งออกซิเจนละลายหรือดีโอนี้เป็นพารามิเตอร์หนึ่งที่เป็นตัวกำหนดแนวโน้มการเจริญเติบโตและเพิ่มจำนวนของไรแดง เนื่องจากไรแดงต้องใช้ออกซิเจนในกระบวนการหายใจ อีกทั้งยังใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ต่าง ๆ ในน้ำ

ในชุดที่ไม่มีการเติมอากาศพบว่าดีโอของน้ำจะลดต่ำลงตั้งแต่วันที่ 2 ของการทดลอง (ภาพที่ 4.23) มีดีโออยู่ในช่วง 2.81 – 3.20 และมีแนวโน้มลดลงทุกวันจนวันสุดท้ายของการทดลอง มีดีโออยู่ในช่วง 0.66 – 1.08 ซึ่งจะเห็นว่าน้ำกากส่าชุดควบคุมมีปริมาณดีโอต่ำที่สุดเพราะชุดการทดลองอื่นมีสาหร่ายคลอเรลล่าที่สามารถสังเคราะห์ด้วยแสงให้ออกซิเจนแก่น้ำได้ การมีดีโอที่ไม่เพียงพอจะมีผลทำให้ไรแดงมีการเจริญเติบโตที่น้อยกว่าการมีดีโอที่เพียงพอ

ในวันแรกของการทดลอง น้ำกากส่าความเข้มข้นร้อยละ1 ที่เติมสาหร่ายคลอเรลล่าความเข้มข้น 0, 1 x 10^4, 1 x 10^5, 1 x 10^6, 1 x 10^7 และ 1 x 10^8 เซลล์ต่อมิลลิลิตร ชุดที่เติมอากาศและชุดที่ไม่เติมอากาศมีดีโอเริ่มต้นเท่ากับ 5.14, 5.11, 5.09, 5.05, 5 และ 4.95 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ในวันสุดท้ายของการทดลอง ชุดที่เติมอากาศมีดีโอสุดท้ายเท่ากับ 8.26, 7.60, 7.62, 7.64, 7.62 และ 7.57 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ส่วนชุดที่ไม่เติมอากาศมีดีโอสุดท้ายเท่ากับ 0.66, 1.08, 0.98, 1.01, 1.03 และ 0.98 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ



ภาพที่ 4.22 ดีโอในน้ำกากส่าความเข้มข้นร้อยละ 1 ที่เติมสาหร่ายคลอเรลล่าความเข้มข้นต่าง ๆ ชุดที่เติมอากาศ



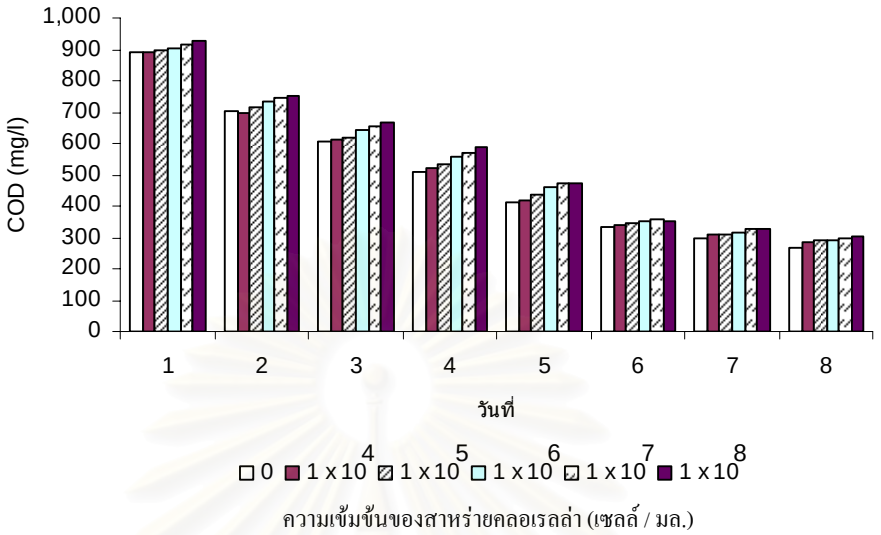
ภาพที่ 4.23 ดีโอในน้ำกากส่าความเข้มข้นร้อยละ 1 ที่เติมสาหร่ายคลอเรลล่าความเข้มข้นต่าง ๆ ชุดที่ไม่เติมอากาศ

4.3.2.3 ซีโอดี

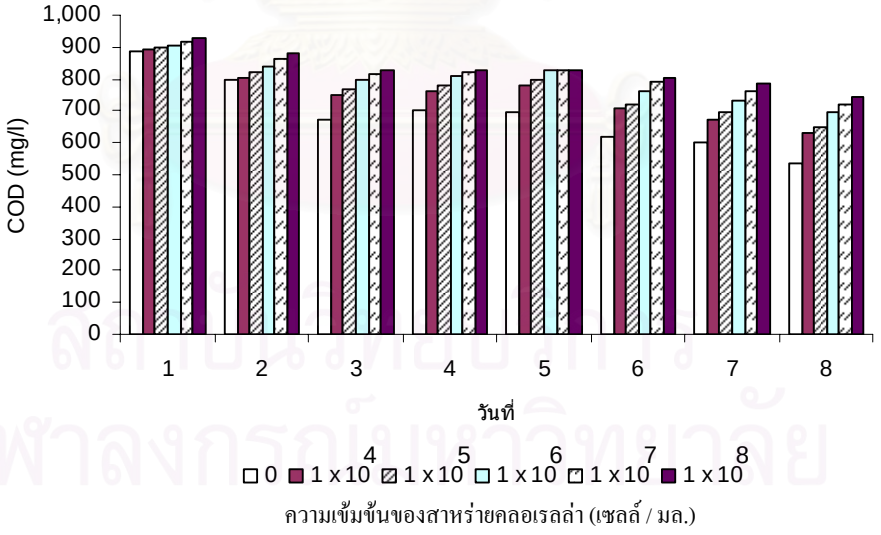
ซีโอดีในชุดที่เติมอากาศ แบคทีเรียที่ใช้ออกซิเจนจะเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว และกำจัดสารอินทรีย์ในน้ำทำให้การกำจัดซีโอดีเป็นไปอย่างรวดเร็ว จากภาพที่ 4.24 จะพบว่าซีโอดีในน้ำกากส่าเริ่มต้นที่เติมสาหร่ายคลอเรลล่ามีค่าแตกต่างกันตามความเข้มข้นของสาหร่ายคลอเรลล่า โดยในน้ำกากส่าชุดควบคุมที่ไม่เติมสาหร่ายคลอเรลล่ามีซีโอดีเริ่มต้นเท่ากับ 888 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนในน้ำกากส่าที่เติมสาหร่ายคลอเรลล่าความเข้มข้น 1 x 10^8 เซลล์ต่อมิลลิลิตร มีซีโอดีเริ่มต้นเท่ากับ 928 มิลลิกรัมต่อลิตร ในชุดการทดลองที่เจือจางสาหร่ายคลอเรลล่าสูงจะมีค่าซีโอดีของน้ำสูงขึ้นเนื่องจากมีสารอินทรีย์อยู่มาก เมื่อเติมอากาศในทุกชุดการทดลองพบว่าซีโอดีของน้ำลดลงในวันที่ 2 ของการทดลองและมีแนวโน้มลดลงทุกวันจนวันสุดท้ายของการทดลอง เนื่องจากออกซิเจนจะช่วยในการย่อยสลายสารอินทรีย์ให้เป็นไปอย่างรวดเร็วยิ่งขึ้น ดังนั้นซีโอดีในชุดที่เติมอากาศจึงลดลง

เมื่อไม่เติมอากาศในทุกชุดการทดลองพบว่าซีโอดีของน้ำลดลงในวันที่ 2 ของการทดลอง จากนั้นจะเพิ่มขึ้นเล็กน้อยในวันที่ 4 – 5 และมีแนวโน้มลดลงจนวันสุดท้ายของการทดลอง (ภาพที่ 4.25) แต่มีร้อยละการกำจัดที่ต่ำกว่าในชุดที่เติมอากาศ เนื่องจากมีปริมาณสารอินทรีย์มากกว่าและไม่มีการเติมอากาศ

ในวันแรกของการทดลอง น้ำกากส่าความเข้มข้นร้อยละ1 ที่เติมสาหร่ายคลอเรลล่าความเข้มข้น 0, 1 x 10^4, 1 x 10^5, 1 x 10^6, 1 x 10^7 และ 1 x 10^8 เซลล์ต่อมิลลิลิตร ชุดที่เติมอากาศและชุดที่ไม่เติมอากาศมีซีโอดีเริ่มต้นเท่ากับ 888, 892, 898, 905, 915 และ 928 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ในวันสุดท้ายของการทดลอง ชุดที่เติมอากาศมีซีโอดีสุดท้ายเท่ากับ 265, 285, 288, 288, 300 และ 305 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ คิดเป็นร้อยละการกำจัดเท่ากับ 70.2, 68, 67.9, 68.2, 67.2 และ 67.1 ตามลำดับ ส่วนชุดที่ไม่เติมอากาศมีซีโอดีสุดท้ายเท่ากับ 537, 631, 646, 694, 723 และ 744 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ คิดเป็นร้อยละการกำจัดเท่ากับ 39.5, 29.3, 28.1, 23.3, 21 และ 19.8 ตามลำดับ



ภาพที่ 4.24 ซีโอดีในน้ำกากส่าความเข้มข้นร้อยละ 1 ที่มีการเติมสาหร่ายคลอเรลล่าความเข้มข้นต่าง ๆ ชุดที่เติมอากาศ



ภาพที่ 4.25 ซีโอดีในน้ำกากส่าความเข้มข้นร้อยละ 1 ที่มีการเติมสาหร่ายคลอเรลล่าความเข้มข้นต่าง ๆ ชุดที่ไม่เติมอากาศ

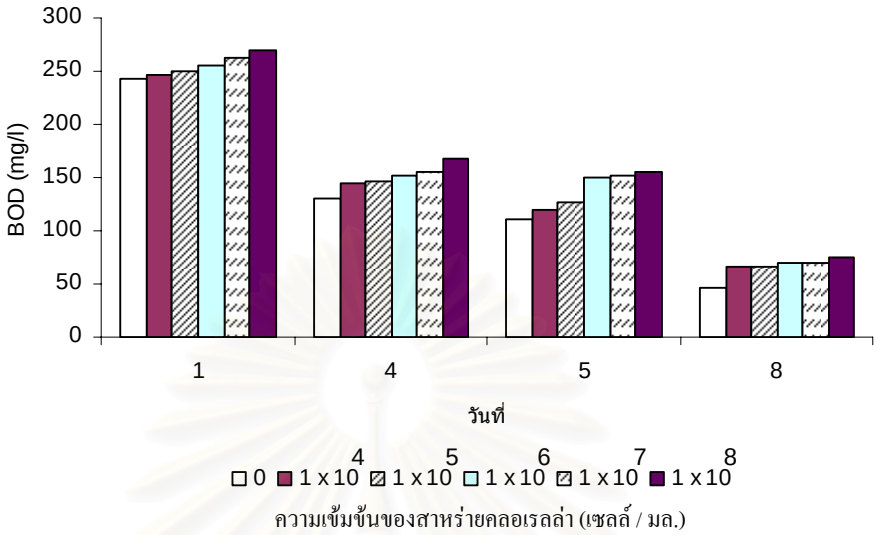
4.3.2.4 บีโอดี

ชุดการทดลองที่เจือจางสาหร่ายคลอเรลล่าสูงจะมีบีโอดีในน้ำสูงขึ้นเพราะมีสารอินทรีย์มาก ในขณะที่ชุดการทดลองที่เจือจางสาหร่ายคลอเรลล่าต่ำจะมีบีโอดีในน้ำต่ำลงตามลำดับ และเนื่องจากในชุดการทดลองที่เจือจางสาหร่ายคลอเรลล่าสูงความต้องการใช้ออกซิเจนของแบคทีเรียหรือสิ่งมีชีวิตที่อยู่ในน้ำจึงสูงด้วย โดยชุดการทดลองที่มีสาหร่ายคลอเรลล่าความเข้มข้น 1 x 10^8 เซลล์ต่อมิลลิลิตรมีบีโอดีเริ่มต้นมากที่สุดเท่ากับ 270 มิลลิกรัมต่อลิตร (ภาพที่ 4.26) เมื่อเติมอากาศในทุกชุดการทดลองพบว่าบีโอดีของน้ำลดลงในวันที่ 2 ของการทดลองและมีแนวโน้มลดลงทุกวันจนวันสุดท้ายของการทดลอง เพราะมีการเติมออกซิเจนให้แก่น้ำตลอดเวลา ความต้องการออกซิเจนของแบคทีเรียที่จะใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์จึงน้อยลง

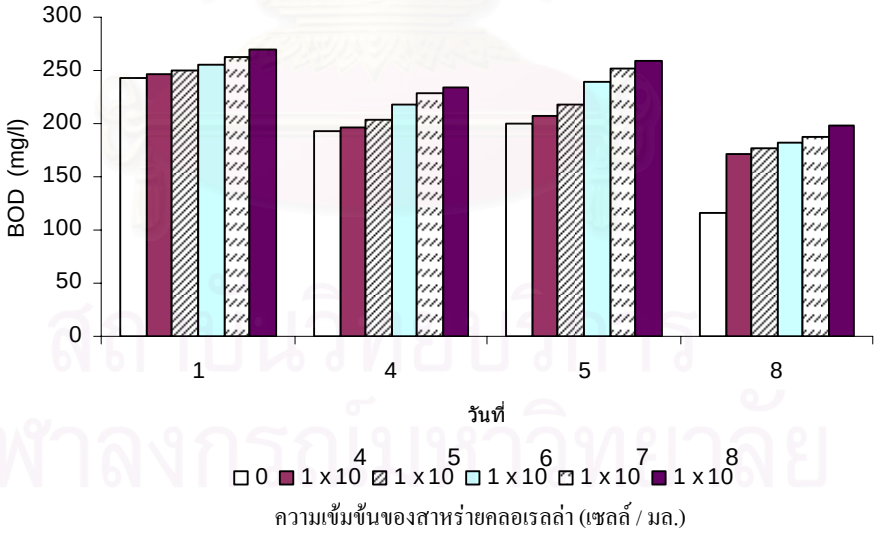
เมื่อไม่เติมอากาศพบว่าบีโอดีของน้ำลดลงในวันที่ 2 ของการทดลอง จากนั้นจะเพิ่มขึ้นในวันที่ 4 – 5 และลดลงจนวันสุดท้ายของการทดลอง (ภาพที่ 4.27) แต่มีร้อยละการกำจัดที่ต่ำกว่าในชุดที่เติมอากาศเพราะไม่มีการเติมออกซิเจนให้แก่น้ำตลอดเวลา ความต้องการออกซิเจนของแบคทีเรียที่จะใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์จึงมีมากกว่า

ในวันแรกของการทดลอง น้ำกากส่าความเข้มข้นร้อยละ1 ที่เติมสาหร่ายคลอเรลล่าความเข้มข้น 0, 1 x 10^4, 1 x 10^5, 1 x 10^6, 1 x 10^7 และ 1 x 10^8 เซลล์ต่อมิลลิลิตร ชุดที่เติมอากาศและชุดที่ไม่เติมอากาศมีบีโอดีเริ่มต้นเท่ากับ 242, 246, 250, 255, 262 และ 270 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ในวันสุดท้ายของการทดลอง ชุดที่เติมอากาศมีบีโอดีสุดท้ายเท่ากับ 46, 66, 66, 70, 70 และ 75 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ คิดเป็นร้อยละการกำจัดเท่ากับ 81, 73.2, 73.6, 72.5, 73.3 และ 72.2 ตามลำดับ ส่วนชุดที่ไม่เติมอากาศมีบีโอดีสุดท้ายเท่ากับ 116, 172, 177, 182, 188 และ 199 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ คิดเป็นร้อยละการกำจัดเท่ากับ 52.1, 30.1, 29.2, 28.6, 28.2 และ 26.3 ตามลำดับ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพที่ 4.26 บีโอดีในน้ำกากส่าความเข้มข้นร้อยละ 1 ที่เติมสาหร่ายคลอเรลล่าความเข้มข้นต่าง ๆ ชุดที่เติมอากาศ



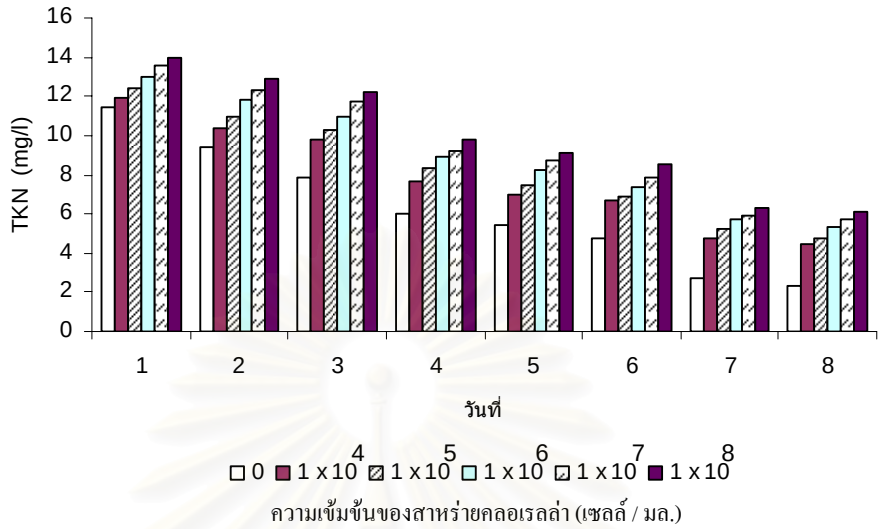
ภาพที่ 4.27 บีโอดีในน้ำกากส่าความเข้มข้นร้อยละ 1 ที่เติมสาหร่ายคลอเรลล่าความเข้มข้นต่าง ๆ ชุดที่ไม่เติมอากาศ

4.3.2.5 ทีเคเอ็น

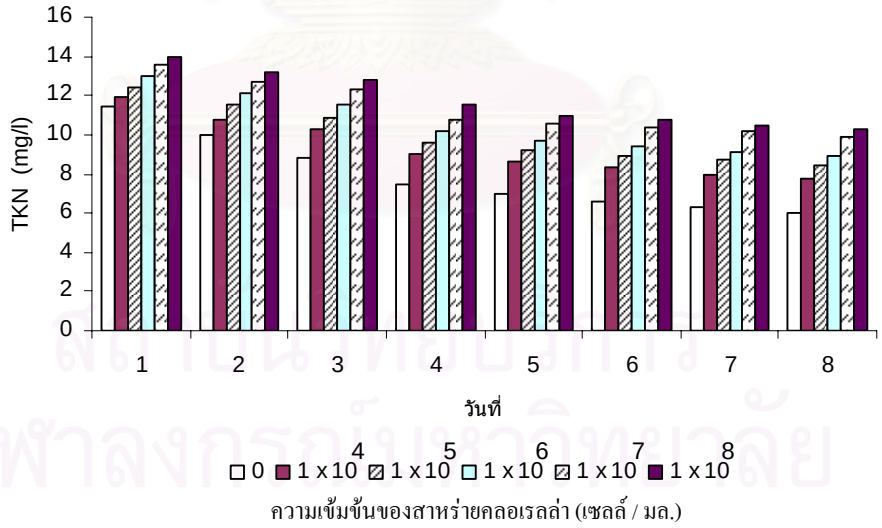
ชุดการทดลองที่เจือจางสาหร่ายคลอเรลล่าสูงจะมีทีเคเอ็นในน้ำสูงขึ้น ส่วนชุดการทดลองที่เจือจางสาหร่ายคลอเรลล่าต่ำจะมีทีเคเอ็นในน้ำต่ำลงตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 4.28 ชุดการทดลองที่มีสาหร่ายคลอเรลล่าความเข้มข้น 1 x 10^8 เซลล์ต่อมิลลิลิตรมีทีเคเอ็นเริ่มต้นมากที่สุดเท่ากับ 14 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อเติมอากาศในทุกชุดการทดลองพบว่าทีเคเอ็นในน้ำลดลงในวันที่ 2 ของการทดลองและมีแนวโน้มลดลงทุกวันจนวันสุดท้ายของการทดลองเพราะมีการเติมอากาศตลอดเวลา อาจเนื่องจากในชุดที่เติมอากาศทีเคเอ็นจะถูกย่อยสลายเป็นแอมโมเนียและแอมโมเนียจะถูกแบคทีเรีย Nitrosomonas และ Nitrobactor เปลี่ยนแอมโมเนียให้เป็นไนไตรท์และไนเตรทตามลำดับ รวมทั้งสาหร่ายคลอเรลล่าสามารถใช้ไนโตรเจนในรูปแอมโมเนียและไนเตรทในการเจริญเติบโตจึงทำให้ทีเคเอ็นลดลง ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของวีนา ชานนท์ (2535)

เมื่อไม่เติมอากาศในทุกชุดการทดลองพบว่าทีเคเอ็นมีแนวโน้มลดลงจนวันสุดท้ายของการทดลอง (ภาพที่ 4.29) แต่มีร้อยละการกำจัดที่ต่ำกว่าในชุดที่เติมอากาศ ในชุดที่ไม่เติมอากาศปฏิกิริยาการเปลี่ยนแอมโมเนียให้เป็นไนไตรท์และไนเตรทจะเกิดเฉพาะวันแรก ๆ เท่านั้น

ในวันแรกของการทดลอง น้ำกากส่าความเข้มข้นร้อยละ1 ที่เติมสาหร่ายคลอเรลล่าความเข้มข้น 0, 1 x 10^4, 1 x 10^5, 1 x 10^6, 1 x 10^7 และ 1 x 10^8 เซลล์ต่อมิลลิลิตร ชุดที่เติมอากาศและชุดที่ไม่เติมอากาศมีทีเคเอ็นเริ่มต้นเท่ากับ 11.4, 11.9, 12.4, 13, 13.6 และ 14 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ในวันสุดท้ายของการทดลอง ชุดที่เติมอากาศมีทีเคเอ็นสุดท้ายเท่ากับ 2.3, 4.5, 4.8, 5.3, 5.7 และ 6.1 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ คิดเป็นร้อยละการกำจัดเท่ากับ 79.8, 62.2, 61.3, 59.2, 58.1 และ 56.4 ตามลำดับ ส่วนชุดที่ไม่เติมอากาศมีทีเคเอ็นสุดท้ายเท่ากับ 6, 7.8, 8.4, 8.9, 9.9 และ 10.3 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ คิดเป็นร้อยละการกำจัดเท่ากับ 47.4, 34.5, 32.3, 31.5, 27.2 และ 26.4 ตามลำดับ



ภาพที่ 4.28 ทีเคเอ็นในน้ำกากส่าความเข้มข้นร้อยละ 1 ที่เติมสาหร่ายคลอเรลล่าความเข้มข้นต่าง ๆ ชุดที่เติมอากาศ



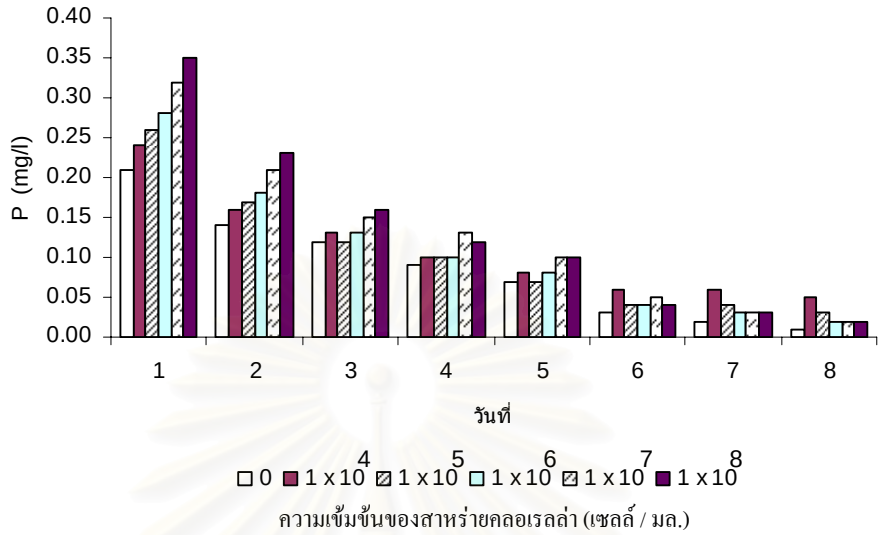
ภาพที่ 4.29 ทีเคเอ็นในน้ำกากส่าความเข้มข้นร้อยละ 1 ที่เติมสาหร่ายคลอเรลล่าความเข้มข้นต่าง ๆ ชุดที่ไม่เติมอากาศ

4.3.2.6 ฟอสฟอรัส

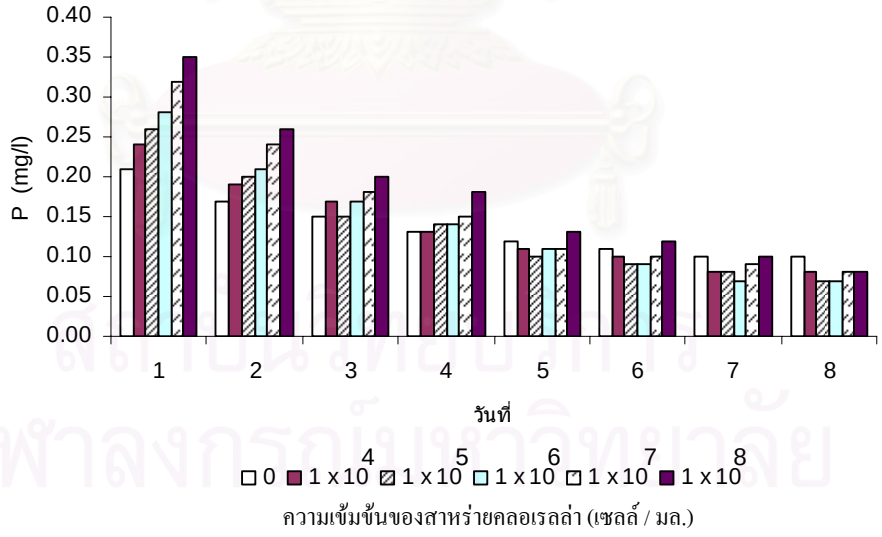
ฟอสฟอรัสในน้ำกากส่าเริ่มต้นที่เจือจางสาหร่ายคลอเรลล่ามีปริมาณแตกต่างกันตามความเข้มข้นของสาหร่ายคลอเรลล่า ชุดการทดลองที่เจือจางสาหร่ายคลอเรลล่าสูงจะมีปริมาณฟอสฟอรัสสูง ในขณะที่ชุดการทดลองที่เจือจางสาหร่ายคลอเรลล่าต่ำจะมีปริมาณฟอสฟอรัสต่ำ โดยชุดควบคุมที่ไม่เติมสาหร่ายคลอเรลล่ามีปริมาณฟอสฟอรัสน้อยที่สุด คือ 0.21 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อเติมอากาศในทุกชุดการทดลองพบว่าฟอสฟอรัสในน้ำลดลงในวันที่ 2 ของการทดลองและมีแนวโน้มลดลงจนวันสุดท้ายของการทดลอง (ภาพที่ 4.30) เนื่องจากการเติมอากาศทำให้แบคทีเรียและยีสต์มีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว ยีสต์ใช้ฟอสฟอรัสส่วนหนึ่งในการเจริญเติบโตทำให้ฟอสฟอรัสถูกดูดดึงไปใช้ (วีนา ชานนท์, 2535) ประกอบกับสาหร่ายคลอเรลล่าใช้ฟอสฟอรัสในการเจริญเติบโตเช่นกันจึงทำให้ฟอสฟอรัสในน้ำมีค่าลดลง

ในชุดที่ไม่เติมอากาศ (ภาพที่ 4.31) พบว่าชุดการทดลองที่เจือจางสาหร่ายคลอเรลล่าสูงจะมีปริมาณฟอสฟอรัสสูงเช่นกัน เมื่อเวลาผ่านไปพบว่าในทุกชุดการทดลองฟอสฟอรัสในน้ำลดลงในวันที่ 2 ของการทดลองและมีแนวโน้มลดลงจนวันสุดท้ายของการทดลอง แต่มีร้อยละการกำจัดที่ต่ำกว่าในชุดที่เติมอากาศ เนื่องจากการไม่เติมอากาศอาจทำให้แบคทีเรีย ยีสต์หรือสาหร่ายคลอเรลล่ามีการเจริญเติบโตช้า การดูดดึงฟอสฟอรัสไปใช้จึงน้อยกว่าในชุดที่เติมอากาศ

ในวันแรกของการทดลอง น้ำกากส่าความเข้มข้นร้อยละ1 ที่เติมสาหร่ายคลอเรลล่าความเข้มข้น 0, 1 x 10^4, 1 x 10^5, 1 x 10^6, 1 x 10^7 และ 1 x 10^8 เซลล์ต่อมิลลิลิตร ชุดที่เติมอากาศและชุดที่ไม่เติมอากาศมีฟอสฟอรัสเริ่มต้นเท่ากับ 0.21, 0.24, 0.26, 0.28, 0.32 และ 0.35 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ในวันสุดท้ายของการทดลอง ชุดที่เติมอากาศมีฟอสฟอรัสสุดท้ายเท่ากับ 0.01, 0.05, 0.03, 0.02, 0.02 และ 0.02 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ คิดเป็นร้อยละการกำจัดเท่ากับ 95.2, 79.2, 88.5, 92.9, 93.8 และ 94.3 ตามลำดับ ส่วนชุดที่ไม่เติมอากาศมีฟอสฟอรัสสุดท้ายเท่ากับ 0.1, 0.08, 0.07, 0.07, 0.08 และ 0.08 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ คิดเป็นร้อยละการกำจัดเท่ากับ 52.4, 66.7, 73.1, 75, 75 และ 77.1 ตามลำดับ



ภาพที่ 4.30 ฟอสฟอรัสในน้ำกากส่าความเข้มข้นร้อยละ 1 ที่เติมสาหร่ายคลอเรลล่าความเข้มข้นต่าง ๆ ชุดที่เติมอากาศ



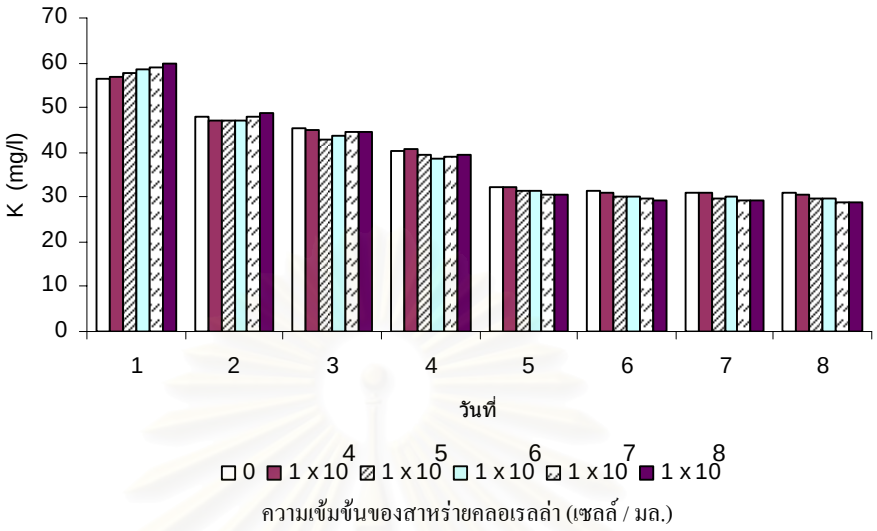
ภาพที่ 4.31 ฟอสฟอรัสในน้ำกากส่าความเข้มข้นร้อยละ 1 ที่เติมสาหร่ายคลอเรลล่าความเข้มข้นต่าง ๆ ชุดที่ไม่เติมอากาศ

4.3.2.7 โพแทสเซียม

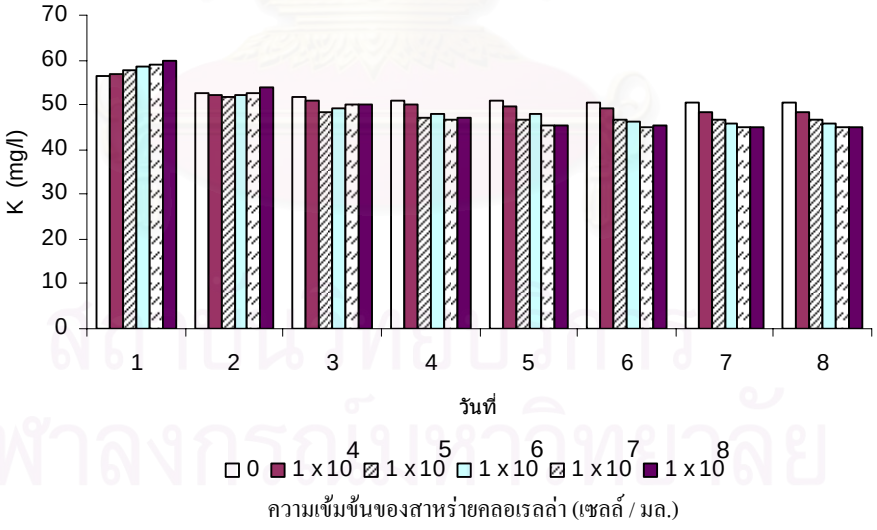
จากภาพที่ 4.32 พบว่าโพแทสเซียมในน้ำกากส่าเริ่มต้นที่เติมสาหร่ายคลอเรลล่ามีปริมาณแตกต่างกันตามความเข้มข้นของสาหร่ายคลอเรลล่า ชุดการทดลองที่เจือจางสาหร่ายคลอเรลล่าสูงจะมีปริมาณโพแทสเซียมสูง ในขณะที่ชุดการทดลองที่เจือจางสาหร่ายคลอเรลล่าต่ำจะมีปริมาณโพแทสเซียมต่ำลงตามลำดับ โดยชุดควบคุมที่ไม่เติมสาหร่ายคลอเรลล่ามีปริมาณโพแทสเซียมเริ่มต้นน้อยที่สุด คือ 56.3 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อเติมอากาศในทุกชุดการทดลองพบว่าโพแทสเซียมในน้ำลดลงในวันที่ 2 ของการทดลองและมีแนวโน้มลดลงจนวันสุดท้ายของการทดลอง โดยชุดควบคุมที่ไม่เติมสาหร่ายคลอเรลล่ามีปริมาณโพแทสเซียมสุดท้ายเท่ากับ 31 มิลลิกรัมต่อลิตร การเติมอากาศทำให้แบคทีเรียและยีสต์มีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว ยีสต์ใช้โพแทสเซียมส่วนหนึ่งในการเจริญเติบโตทำให้โพแทสเซียมถูกดูดดึงไปใช้ ประกอบกับสาหร่ายคลอเรลล่าใช้โพแทสเซียมในการเจริญเติบโตเช่นกันจึงทำให้โพแทสเซียมในน้ำมีค่าลดลง

ในชุดที่ไม่เติมอากาศ (ภาพที่ 4.33) พบว่าในทุกชุดการทดลองโพแทสเซียมในน้ำลดลงในวันที่ 2 ของการทดลองและมีแนวโน้มลดลงจนวันสุดท้ายของการทดลอง แต่ลดลงเพียงเล็กน้อยและมีร้อยละการกำจัดที่ต่ำกว่าในชุดที่เติมอากาศ เนื่องจากการไม่เติมอากาศอาจทำให้แบคทีเรีย ยีสต์ หรือสาหร่ายคลอเรลล่ามีการเจริญเติบโตช้า การดูดดึงโพแทสเซียมไปใช้จึงน้อยกว่าในชุดที่เติมอากาศ

ในวันแรกของการทดลอง น้ำกากส่าความเข้มข้นร้อยละ1 ที่เติมสาหร่ายคลอเรลล่าความเข้มข้น 0, 1 x 10^4, 1 x 10^5, 1 x 10^6, 1 x 10^7 และ 1 x 10^8 เซลล์ต่อมิลลิลิตร ชุดที่เติมอากาศและชุดที่ไม่เติมอากาศมีโพแทสเซียมเริ่มต้นเท่ากับ 56.3, 57, 57.6, 58.4, 59 และ 60 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ในวันสุดท้ายของการทดลอง ชุดที่เติมอากาศมีโพแทสเซียมสุดท้ายเท่ากับ 31, 30.6, 29.6, 29.8, 29 และ 29 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ คิดเป็นร้อยละการกำจัดเท่ากับ 44.9, 46.3, 48.6, 49, 50.8 และ 51.7 ตามลำดับ ส่วนชุดที่ไม่เติมอากาศมีโพแทสเซียมสุดท้ายเท่ากับ 50.4, 48.5, 46.6, 45.7, 44.8 และ 44.9 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ คิดเป็นร้อยละการกำจัดเท่ากับ 10.5, 14.9, 19.1, 21.7, 24.1 และ 25.2 ตามลำดับ



ภาพที่ 4.32 โพแทสเซียมในน้ำกากส่าความเข้มข้นร้อยละ 1 ที่เติมสาหร่ายคลอเรลล่าความเข้มข้นต่าง ๆ ชุดที่เติมอากาศ



ภาพที่ 4.33 โพแทสเซียมในน้ำกากส่าความเข้มข้นร้อยละ 1 ที่เติมสาหร่ายคลอเรลล่าความเข้มข้นต่าง ๆ ชุดที่ไม่เติมอากาศ

4.3.3 การเปรียบเทียบผลการทดลองของการใช้น้ำกากส่าที่เติมสาหร่ายคลอเรลล่าความเข้มข้นต่าง ๆ ชุดที่เติมอากาศและไม่เติมอากาศในการเพาะเลี้ยงไรแดง

จากผลการทดลองเปรียบเทียบจำนวนไรแดงและคุณภาพน้ำในน้ำกากส่าที่เติมสาหร่ายคลอเรลล่าความเข้มข้นต่าง ๆ ชุดที่เติมอากาศและไม่เติมอากาศสรุปได้ว่าการเติมอากาศในน้ำที่ใช้เพาะเลี้ยงไรแดงทำให้ได้จำนวนไรแดงมากกว่าชุดที่ไม่เติมอากาศถึงร้อยละ 23.4 ซึ่งการเติมอากาศในน้ำที่ใช้เพาะเลี้ยงไรแดงจะช่วยลดความสกปรกของน้ำลงได้มากกว่าชุดที่ไม่เติมอากาศในทุกพารามิเตอร์ ดังแสดงในตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 การเปรียบเทียบสภาวะที่เหมาะสมในการเพาะเลี้ยงไรแดงจากการใช้น้ำกากส่าความเข้มข้นร้อยละ 1 ที่เติมสาหร่ายคลอเรลล่าความเข้มข้นต่าง ๆ ชุดที่เติมอากาศและไม่เติมอากาศ

พารามิเตอร์			สภาวะที่เหมาะสมในการเพาะเลี้ยงไรแดง			
			เติมอากาศ		ไม่เติมอากาศ	
ความเข้มข้นของสาหร่ายคลอเรลล่า (เซลล์/มล.)			1×10^7		1×10^7	
จำนวนไรแดงเริ่มต้น (ตัว/ลิตร)			200		200	
วันที่มีจำนวนไรแดงสูงสุด			5		4	
จำนวนไรแดงสูงสุด (ตัว/ลิตร)			5,320		4,074	
อัตราการเพิ่มจำนวนไรแดง (เท่า)			26.6		20.3	
คุณภาพน้ำ	หน่วย	คุณภาพน้ำในวันที่เริ่มต้นการทดลอง	คุณภาพน้ำในวันที่มีจำนวนไรแดงสูงสุด	ร้อยละการกำจัด	คุณภาพน้ำในวันที่มีจำนวนไรแดงสูงสุด	ร้อยละการกำจัด
pH	-	5.62	7.24	-	6.18	-
DO	mg/l	5.00	5.89	-	1.41	-
COD	mg/l	915	470	48.6	823	10.1
BOD	mg/l	262	152	42.0	228	13.0
TKN	mg/l	13.6	8.7	36.0	10.8	20.6
P	mg/l	0.32	0.10	68.8	0.15	53.1
K	mg/l	59.0	30.6	48.1	46.6	21.0

4.4 สภาวะที่เหมาะสมในการเพาะเลี้ยงไรแดงด้วยน้ำกากส่า

จากผลการทดลองเปรียบเทียบจำนวนไรแดงและคุณภาพน้ำในน้ำกากส่าความเข้มข้นต่าง ๆ ชุดที่เติมอากาศและไม่เติมอากาศ และเปรียบเทียบจำนวนไรแดงและคุณภาพน้ำในน้ำกากส่าที่เติมสาหร่ายคลอเรลล่าความเข้มข้นระดับต่าง ๆ ชุดที่เติมอากาศและไม่เติมอากาศ สรุปได้ว่าการเติมอากาศในน้ำที่ใช้เพาะเลี้ยงไรแดงทำให้ได้จำนวนไรแดงมากกว่าชุดที่ไม่เติมอากาศ น้ำกากส่าความเข้มข้นร้อยละ 1 ที่เติมสาหร่ายคลอเรลล่า 1×10^7 เซลล์ต่อมิลลิลิตรและเติมอากาศทำให้ได้จำนวนไรแดงมากที่สุดเท่ากับ 5,320 ตัวต่อลิตรหรือคิดเป็น 26.6 เท่าของจำนวนไรแดงเริ่มต้น ส่วนน้ำกากส่าเจือจางที่ไม่เติมสาหร่ายคลอเรลล่าและไม่เติมอากาศทำให้ได้จำนวนไรแดงน้อยที่สุดเท่ากับ 1,444 ตัวต่อลิตรหรือคิดเป็น 7.2 เท่าของจำนวนไรแดงเริ่มต้น ซึ่งการเติมอากาศในน้ำที่ใช้เพาะเลี้ยงไรแดงจะช่วยลดความสกปรกของน้ำลงได้มากกว่าชุดที่ไม่เติมอากาศในทุกพารามิเตอร์ ดังแสดงในตารางที่ 4.8

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.8 การเปรียบเทียบสภาวะที่เหมาะสมในการเพาะเลี้ยงไรแดงจากการใช้น้ำกากส่าที่เติมและไม่เติมสาหร่ายคลอเรลล่าชุดที่เติมอากาศและไม่เติมอากาศ

พารามิเตอร์	**สภาวะที่เหมาะสมในการเพาะเลี้ยงไรแดง**			
	(1) **ไม่เติมสาหร่ายคลอเรลล่า**		(2) **เติมสาหร่ายคลอเรลล่า**	
	เติมอากาศ	**ไม่เติมอากาศ**	**เติมอากาศ**	**ไม่เติมอากาศ**
ร้อยละความเข้มข้นของน้ำกากส่า	1	1	1	1
ความเข้มข้นของสาหร่ายคลอเรลล่า (เซลล์/มล.)	-	-	1×10^7	1×10^7
จำนวนไรแดงเริ่มต้น (ตัว/ลิตร)	200	200	200	200
วันที่มีจำนวนไรแดงสูงสุด	4	4	5	4
จำนวนไรแดงสูงสุด (ตัว/ลิตร)	2,200	1,444	5,320	4,074
อัตราการเพิ่มจำนวนไรแดง (เท่า)	11	7.2	26.6	20.3

คุณภาพน้ำ	หน่วย	คุณภาพน้ำในวันที่เริ่มต้นการทดลอง		คุณภาพน้ำในวันที่มีจำนวนไรแดงสูงสุด	ร้อยละการกำจัด	คุณภาพน้ำในวันที่มีจำนวนไรแดงสูงสุด	ร้อยละการกำจัด	คุณภาพน้ำในวันที่มีจำนวนไรแดงสูงสุด	ร้อยละการกำจัด	คุณภาพน้ำในวันที่มีจำนวนไรแดงสูงสุด	ร้อยละการกำจัด
		(1)	(2)								
pH	-	5.92	5.62	7.36	-	6.36	-	7.24	-	6.18	-
DO	mg/l	5.14	5.00	5.75	-	1.22	-	5.89	-	1.41	-
COD	mg/l	888	915	510	42.6	700	21.2	470	48.6	823	10.1
BOD	mg/l	242	262	130	46.3	193	20.2	152	42.0	228	13.0
TKN	mg/l	11.4	13.6	6.0	47.4	7.5	34.2	8.7	36.0	10.8	20.6
P	mg/l	0.21	0.32	0.09	57.1	0.13	38.1	0.10	68.8	0.15	53.1
K	mg/l	56.3	59.0	45.1	19.9	50.1	11.0	30.6	48.1	46.6	21.0

4.5 การเปรียบเทียบผลผลิตไรแดงจากการทดลองนี้กับผลผลิตไรแดงจากเอกสารและงานวิจัยต่าง ๆ

จากเอกสารและงานวิจัยต่าง ๆ เกี่ยวกับเรื่องไรแดงที่ได้ตีพิมพ์แล้วของหน่วยงานต่าง ๆ ทั่วประเทศของกรมประมงรวบรวมโดยวิรัตดา สีตะสิทธิ์ (2543) สามารถจำแนกวัสดุอาหารที่ใช้ในการเพาะเลี้ยงไรแดงได้ 11 ประเภท (ดูข้อมูลในบทที่ 2) หนึ่งในวัสดุอาหารที่นำมาใช้เพาะเลี้ยงไรแดง คือ สาหร่ายคลอเรลล่า และจากผลการทดลองในครั้งนี้พบว่าสภาวะที่เหมาะสมที่ทำให้ได้จำนวนไรแดงมากที่สุด คือ การเพาะเลี้ยงไรแดงในน้ำกากส่าความเข้มข้นร้อยละ 1 ที่เติมสาหร่ายคลอเรลล่า 1 x 10^7 เซลล์ต่อมิลลิลิตรและเติมอากาศ ดังนั้นจึงนำผลการทดลองนี้มาเปรียบเทียบกับสูตรอาหารที่ใช้เพาะเลี้ยงไรแดงที่มีสาหร่ายคลอเรลล่าเป็นส่วนประกอบซึ่งเป็นข้อมูลจากเอกสารและงานวิจัยต่าง ๆ แสดงในตารางที่ 4.9 พบว่าการทดลองนี้เพาะเลี้ยงไรแดงโดยใช้สาหร่ายคลอเรลล่า 1 x 10^7 เซลล์ต่อมิลลิลิตรในน้ำกากส่าเจือจาง เพาะเลี้ยงในขวดทดลองปริมาตร 500 มิลลิลิตร จำนวนวันในการเพาะเลี้ยง 8 วัน อัตราการปล่อยไรแดงเริ่มต้น 0.2 ตัวต่อมิลลิลิตรหรือเท่ากับ 100 ตัว ได้ผลผลิตไรแดงสูงสุด 5,320 ตัวต่อลิตรในวันที่ 5 ของการทดลอง ยกตัวอย่างเปรียบเทียบกับการทดลองอื่น เช่น วีระ วัชรกรโยธิน และคณะ (2528) เพาะเลี้ยงไรแดงโดยใช้สาหร่ายคลอเรลล่า 9 x 10^6 เซลล์ต่อมิลลิลิตรในขวดทดลองปริมาตร 500 มิลลิลิตร อัตราการปล่อยไรแดงเริ่มต้น 1 ตัวต่อมิลลิลิตรหรือเท่ากับ 500 ตัว ได้ผลผลิตไรแดง 6,464 ตัวต่อลิตร นอกจากนี้ยังทดลองใช้สาหร่ายคลอเรลล่า 200 ลิตร กากผงชูรส 11.42 ลิตร รำ 5 กิโลกรัม และปูนขาว 3 กิโลกรัมในบ่อซีเมนต์ 50 ตารางเมตร ปริมาตรน้ำ 15 ตัน อัตราการปล่อยไรแดงเริ่มต้น 2 กิโลกรัม ได้ผลผลิตไรแดง 3,459 ตัวต่อลิตร จากตารางที่ 4.9 เมื่อเปรียบเทียบผลผลิตไรแดงจากการทดลองนี้กับผลผลิตไรแดงจากเอกสารและงานวิจัยต่าง ๆ พบว่าในการทดลองนี้มีอัตราการปล่อยไรแดงเริ่มต้นที่ต่ำแต่ได้ผลผลิตไรแดงค่อนข้างสูง ในขณะที่ใช้วัสดุอาหารไม่ซับซ้อนและไม่มีปัญหาเรื่องคุณภาพน้ำจากการเติมอาหารลงไปในน้ำที่ใช้เพาะเลี้ยง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.9 การเปรียบเทียบผลผลิตไรแดงจากการทดลองนี้กับผลผลิตไรแดงจากเอกสารและงานวิจัยต่าง ๆ

สูตรอาหารที่ใช้เพาะเลี้ยง	ภาชนะ / ปริมาตร	จำนวนวันที่เพาะเลี้ยง	อัตราการปล่อยไรแดง	ผลผลิตจากการวิเคราะห์ข้อมูล (ตัว / ลิตร / วัน)	เอกสารอ้างอิง
คลอเรลล่า 1 x 10^7 เซลล์ / มล. ในน้ำกากส่าเจือจาง	**ขวดทดลอง / 500 มล.**	**8**	**0.2 ตัว / มล.**	**5,320**	**ผลการทดลองนี้**
คลอเรลล่าในน้ำทิ้งโรงงานผลิตน้ำนมถั่วเหลือง เป็นเวลา 3 วัน	บีกเกอร์ / 1,800 ลบ.ซม.	5	180 ตัว / บีกเกอร์	753	หยกแก้ว ยามาลี และคณะ (2526)
คลอเรลล่า 7.5 x 10^6 เซลล์ / มล.	ขวดทดลอง / 400 มล.	ไม่ระบุ	1 ตัว / มล.	11,025	วีระ วัชรกรโยธิน และคณะ (2528)
คลอเรลล่า 9 x 10^6 เซลล์ / มล.	ขวดทดลอง / 500 มล.	ไม่ระบุ	1 ตัว / มล.	6,464	วีระ วัชรกรโยธิน และคณะ (2528)
คลอเรลล่า 40 ลิตร	ถังไฟเบอร์ 50 ลิตร / 40 ลิตร	ไม่ระบุ	0.6 ตัว / มล.	2,461	วีระ วัชรกรโยธิน และคณะ (2528)
คลอเรลล่า 200 ลิตร กากผงชูรส 11.42 ลิตร รำ 5 กก. ปูนขาว 3 กก.	บ่อซีเมนต์ 50 ตร.ม. / 15 ตัน	ไม่ระบุ	2 กก.	3,459	วีระ วัชรกรโยธิน และคณะ (2528)
กากผงชูรส 30 ลิตร ปุ๋ย N – P – K (16 – 20 – 0) 0.5 กก. ปุ๋ย KNO_3 1 กก. P_2O_5 130 กรัม ปูนขาว 3 กก. น้ำคลอเรลล่า 1 ตัน	บ่อซีเมนต์ 50 ตร.ม. / 10 ลบ.ม.	7	1.5 – 2 กก.	4,855	ภาณุ เทวรัตน์มณีกุล และคณะ (2529)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.9 (ต่อ)

สูตรอาหารที่ใช้เพาะเลี้ยง	ภาชนะ / ปริมาตร	จำนวนวันที่เพาะเลี้ยง	อัตราการปล่อยไรแดง	ผลผลิตจากการวิเคราะห์ข้อมูล (ตัว / ลิตร / วัน)	เอกสารอ้างอิง
ปุ๋ย N – P – K (16 – 20 – 0) 953.5 กรัม ปุ๋ยยูเรีย 163.04 กรัม ปูนขาว 187.5 กรัม น้ำคลอเรลล่า 4.5 ตัน	บ่อซีเมนต์ 6 ตร.ม. / 12 ลบ.ม.	7	250 กรัม	425	ทวี พุทธานุมาศ และ ทัศนีย์ สุขสวัสดิ์ (2531)
น้ำคลอเรลล่า 2 ตันใส่ปุ๋ย 2 ระยะ กากผงชูรส 20 , 10 ลิตร ปุ๋ย N – P – K (16 – 20 – 0) 1.5 , 0.75 กก. ปุ๋ยยูเรีย (46 – 0 – 0) 3 , 1.5 กก. ปุ๋ยซุปเปอร์ฟอสเฟต (0 – 46 – 0) 260 ,130 กรัม ปูนขาว 3 , 1.5 กก. กากถั่วเหลือง 1 , 0.5 กก.	บ่อซีเมนต์ 50 ตร.ม. / 20 ลบ.ม.	10	3 – 5 กก.	11,625	ภาณุ เทวรัตน์มณีกุล, ทวี วิพุทธานุ-มาศ, วีระ วัชรกรโยธิน และทัศนีย์ สุขสวัสดิ์ (2532)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.9 (ต่อ)

สูตรอาหารที่ใช้เพาะเลี้ยง	ภาชนะ / ปริมาตร	จำนวนวันที่เพาะเลี้ยง	อัตราการปล่อยไรแดง	ผลผลิตจากการวิเคราะห์ข้อมูล (ตัว / ลิตร / วัน)	เอกสารอ้างอิง
ปุ๋ย N – P – K (16 – 20 – 0) 1.5 กก. กากผงชูรส 20 ลิตร ปุ๋ยยูเรีย 3 กก. ปูนขาว 3 กก. รำละเอียด 1 กก. กากถั่วเหลือง 1 กก. เติมคลอเรลล่า 10 x 10^6 เซลล์ / มล. 2,000 ลิตร	บ่อซีเมนต์ 50 ตร.ม. / 20 ลบ.ม.	10	4 กก.	11,500	ภาณุ เทวรัตน์มณีกุล, ทวี วิพุทธานุมาศ และทัศนีย์ สุขสวัสดิ์ (2532)
วิตามิน B_6 4 ไมโครกรัม / มล. มีคลอเรลล่า 10 x 10^6 เซลล์ / มล.	โหลแก้ว 750 มล. / 500 มล.	2	50 ตัว	9,778	ทวี พุทธานุมาศ และ ทัศนีย์ สุขสวัสดิ์ (2533)
คลอเรลล่า 2.7 x 10^6 เซลล์ / มล.	หลอดทดลอง / 3 มล.	1	2 ตัว / มล.	1	ธิดา เพชรมณี และคณะ (2536)
คลอเรลล่า 7.5 x 10^6 เซลล์ / มล.	ถัง / 100 ลิตร	2	4 ตัว / มล.	2	ธิดา เพชรมณี และคณะ (2536)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.9 (ต่อ)

สูตรอาหารที่ใช้เพาะเลี้ยง	ภาชนะ / ปริมาตร	จำนวนวันที่เพาะเลี้ยง	อัตราการปล่อยไรแดง	ผลผลิตจากการวิเคราะห์ข้อมูล (ตัว / ลิตร / วัน)	เอกสารอ้างอิง
รำละเอียดหมัก 5 ลิตร ปุ๋ย N – P – K (16 – 20 – 0) 150 กรัม ปุ๋ยยูเรีย 200 กรัม ปุ๋ยซูปเปอร์ฟอสเฟต 26 กรัม ปูนขาว 93.75 กรัม คลอเรลล่าความหนาแน่น 10^7 เซลล์ / มล. จำนวน 120 ลิตร	บ่อซีเมนต์ 6 ตร.ม. / 12 ลบ.ม.	8	200 กรัม	438	ทวี พุทธานุมาศ และ ทัศนีย์ สุขสวัสดิ์ (2538)

ที่มา : ดัดแปลงจาก วิรัตดา สีตะสิทธิ์ (2543)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.6 การนำผลการทดลองไปใช้

4.6.1 ความสัมพันธ์ของไรแดงและน้ำกากส่า

(1) การเปลี่ยนแปลงจำนวนยีสต์และไรแดงในน้ำกากส่า

ในการทดลองเพาะเลี้ยงไรแดงในน้ำกากส่าความเข้มข้นต่าง ๆ พบว่าไรแดงมีการเจริญเติบโตและเพิ่มจำนวนได้ดีที่สุดในน้ำกากส่าความเข้มข้นร้อยละ 1 ชุดที่เติมอากาศ เนื่องจากการเติมอากาศจะทำให้มีออกซิเจนเพียงพอในกระบวนการหายใจของไรแดง อีกทั้งออกซิเจนยังช่วยทำให้การย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเป็นไปอย่างรวดเร็ว ยีสต์ที่อยู่ในน้ำกากส่าซึ่งเป็นอาหารของไรแดงมีการเจริญเติบโตดี การมีสภาวะแวดล้อมที่ดีจึงเป็นปัจจัยให้ไรแดงมีการเจริญเติบโตและเพิ่มจำนวนได้อย่างรวดเร็ว ดังนั้นในการทดลองนี้จึงได้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงจำนวนยีสต์และไรแดงในน้ำกากส่าความเข้มข้นร้อยละ 1 ชุดที่เติมอากาศ ผลการศึกษาแสดงในตารางที่ 4.10 ซึ่งจะพบว่าจำนวนยีสต์มีแนวโน้มลดลงตามระยะเวลาที่ผ่านไป ส่วนหนึ่งเกิดจากไรแดงกินยีสต์เป็นอาหาร ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของสันทนา ดวงสวัสดิ์ และคณะ (2524) ที่ตรวจพบยีสต์และอาหารชนิดอื่น ๆ ในกระเพาะอาหารของไรแดง เมื่อไรแดงเพิ่มจำนวนขึ้น จำนวนยีสต์มีแนวโน้มลดลง โดยในวันที่ 4 ของการทดลองมีจำนวนไรแดงสูงสุด 1,100 ตัว มียีสต์จำนวน 1.03×10^5 เซลล์ต่อมิลลิลิตร หลังจากวันที่ 5 ของการทดลองจำนวนยีสต์มีอัตราลดลงอย่างรวดเร็ว เพราะสภาวะแวดล้อมไม่เหมาะสมและมีการสะสมของสารอินทรีย์เมื่อเวลาผ่านไป จนวันสุดท้ายของการทดลองมียีสต์อยู่ในระบบจำนวน 7.04×10^3 เซลล์ต่อมิลลิลิตร

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.10 การเปลี่ยนแปลงจำนวนยีสต์และไรแดงในน้ำกากส่าความเข้มข้นร้อยละ 1 ชุดที่เติมอากาศ

วันที่	จำนวนไรแดง (ตัว)	จำนวนยีสต์ (เซลล์/มล.)
1	100	3.87×10^5
2	581	4.02×10^5
3	880	2.42×10^5
4	1,100	1.03×10^5
5	910	7.99×10^4
6	537	4.68×10^4
7	325	1.14×10^4
8	90	7.04×10^3

(2) การเปลี่ยนแปลงจำนวนสาหร่ายคลอเรลล่าและไรแดงในน้ำกากส่า

ในการทดลองเพาะเลี้ยงไรแดงในน้ำกากส่าความเข้มข้นร้อยละ 1 ที่เติมสาหร่ายคลอเรลล่าความเข้มข้นต่าง ๆ พบว่าไรแดงมีการเจริญเติบโตและเพิ่มจำนวนได้ดีที่สุดในน้ำกากส่าที่เติมสาหร่ายคลอเรลล่าความเข้มข้น 1×10^7 เซลล์ต่อมิลลิลิตรชุดที่เติมอากาศ เนื่องจากการเติมอากาศจะทำให้มีออกซิเจนเพียงพอในกระบวนการหายใจของไรแดง อีกทั้งออกซิเจนยังช่วยทำให้การย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเป็นไปอย่างรวดเร็ว ยีสต์และสาหร่ายคลอเรลล่าที่อยู่ในน้ำกากส่าซึ่งเป็นอาหารของไรแดงมีการเจริญเติบโตดี การมีสภาวะแวดล้อมที่ดีจึงเป็นปัจจัยให้ไรแดงมีการเจริญเติบโตและเพิ่มจำนวนได้อย่างรวดเร็ว ดังนั้นในการทดลองนี้จึงได้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงจำนวนสาหร่ายคลอเรลล่าและไรแดงในน้ำกากส่าความเข้มข้นร้อยละ 1 ที่เติมสาหร่ายคลอเรลล่าความเข้มข้น 1×10^7 เซลล์ต่อมิลลิลิตรชุดที่เติมอากาศ ผลการศึกษาแสดงในตารางที่ 4.11 ซึ่งพบว่าจำนวนคลอเรลล่ามีแนวโน้มลดลงตามระยะเวลาที่ผ่านไป ยกเว้นวันที่ 2 ของการทดลองสาหร่ายคลอเรลล่าเพิ่มจำนวนขึ้นเล็กน้อย สาเหตุที่จำนวนคลอเรลล่ามีแนวโน้มลดลงเกิดจากไรแดงกินสาหร่ายคลอเรลล่าเป็นอาหาร สังเกตจากระบบทางเดินอาหารของไรแดงมีสีเขียวเมื่อเติมสาหร่ายคลอเรลล่าลงไป ในวันที่ 5 ของการทดลองมีจำนวนไรแดงสูงสุด 2,660 ตัว มีสาหร่ายคลอเรลล่าจำนวน 1.62×10^6 เซลล์ต่อมิลลิลิตร หลังจากวันที่ 6 ของการทดลองจำนวนสาหร่ายคลอเรลล่ามีอัตราลดลงอย่างรวดเร็ว เพราะสภาวะแวดล้อมไม่เหมาะสมและมีการสะสมของสารอินทรีย์เมื่อ

เวลาผ่านไป จนวันสุดท้ายของการทดลองมีสาหร่ายคลอเรลล่าอยู่ในระบบจำนวน 6.31×10^4 เซลล์ต่อมิลลิลิตร

ตารางที่ 4.11 การเปลี่ยนแปลงจำนวนสาหร่ายคลอเรลล่าและไรแดงในน้ำกากส่าความเข้มข้นร้อยละ 1 ชุดที่เติมอากาศ

วันที่	จำนวนไรแดง (ตัว)	จำนวนสาหร่ายคลอเรลล่า (เซลล์/มล.)
1	100	1×10^7
2	750	1.02×10^7
3	1,480	7.98×10^6
4	2,230	4.54×10^6
5	2,660	1.62×10^6
6	2,149	7.70×10^5
7	1,111	2.99×10^5
8	510	6.31×10^4

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.6.2 ค่าใช้จ่ายในการเพาะเลี้ยงไรแดง

กองส่งเสริมการประมง (2551) สรุปวิธีการเพาะเลี้ยงไรแดงแบบเก็บเกี่ยวไม่ต่อเนื่องว่า ใช้บ่อซีเมนต์ขนาด 50 ตารางเมตร กรองน้ำลงบ่อให้ได้ความสูง 20 เซนติเมตร ปริมาตรน้ำ 10 ลูกบาศก์เมตร จากนั้นจะละลายปุ๋ยและอาหารลงในบ่อโดยใช้สูตรอาหารสูตรใดสูตรหนึ่ง (ดูข้อมูลในบทที่ 2) เติมสาหร่ายคลอเรลล่าลงในบ่อประมาณ 1 ตัน หลังจากนั้นจึงนำไรแดงใส่ลงไปจำนวน 2 กิโลกรัม ใช้เวลาในการเพาะเลี้ยงไรแดง 5 วัน จะสามารถเก็บเกี่ยวไรแดงได้ประมาณ 13 กิโลกรัม จากผลการทดลองเพาะเลี้ยงไรแดงในน้ำกากส่าความเข้มข้นร้อยละ 1 ในขวดทดลองปริมาตร 500 มิลลิลิตร ภายในเวลา 5 วันได้ผลผลิตไรแดง 2,660 ตัว (หรือเท่ากับ 5,320 ตัวต่อลิตร) ถ้าเพาะเลี้ยงไรแดงในน้ำ 1 ลูกบาศก์เมตรจะได้ผลผลิตไรแดง 5,320,000 ตัว คิดเป็นน้ำหนัก 5,320,000 / 4,500,000 = 1.18 กิโลกรัม ดังนั้นถ้าเพาะเลี้ยงไรแดงในน้ำ 10 ลูกบาศก์เมตรจะได้ผลผลิตไรแดง 11.8 กิโลกรัม และจะใช้น้ำกากส่าปริมาณ 0.1 ลูกบาศก์เมตร จากราคาซื้อขายน้ำกากส่าเท่ากับ 2 บาทต่อลูกบาศก์เมตร เพราะฉะนั้นค่าน้ำกากส่าที่จะใช้ในการเพาะเลี้ยงไรแดงจึงเท่ากับ 0.20 บาท

เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบผลผลิตไรแดงกับการเพาะเลี้ยงไรแดงในบ่อซีเมนต์ขนาด 50 ตารางเมตรพบว่าได้ผลผลิตไรแดงใกล้เคียงกัน คือ 11.8 และ 13 กิโลกรัม ตามลำดับ ส่วนในเรื่องต้นทุนค่าอาหาร กองส่งเสริมการประมง (2551) สรุปต้นทุนค่าอาหารในการเพาะเลี้ยงไรแดงแบบเก็บเกี่ยวไม่ต่อเนื่องในบ่อซีเมนต์ขนาด 50 ตารางเมตร (ภาคผนวก ข) ดังนี้ กากผงชูรส 2.80 บาท ปุ๋ยนา 6 บาท ปุ๋ยยูเรีย 4.80 บาท ปุ๋ยซุปเปอร์ฟอสเฟต 0.80 บาท ปูนขาว 1 บาท และกากถั่วเหลือง 12 บาท รวมเป็นเงินต้นทุนค่าอาหาร 27.40 บาทต่อผลผลิตไรแดง 13 กิโลกรัม เมื่อพิจารณาองค์ประกอบของธาตุอาหารที่คล้ายคลึงกันแล้ว สามารถใช้น้ำกากส่าทดแทนกากผงชูรสและกากถั่วเหลืองในสูตรอาหารได้ จึงทำให้สามารถลดต้นทุนค่าอาหารสำหรับการเพาะเลี้ยงไรแดงลงได้ 14.80 บาทโดยได้ผลผลิตไรแดงใกล้เคียงกัน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5
สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

5.1.1 การศึกษาคุณสมบัติของน้ำกากส่า

น้ำกากส่ามีลักษณะเป็นของเหลวสีน้ำตาลเข้ม มีกลิ่นคล้ายน้ำตาลไหม้ และมีกลิ่นของแอลกอฮอล์ เมื่อวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีของน้ำกากส่าพบว่าน้ำกากส่ามีพีเอชเป็นกรดเท่ากับ 4.8 มีซีโอดีและบีโอดีสูง โดยมีซีโอดี 89,976 มิลลิกรัมต่อลิตร บีโอดี 24,100 มิลลิกรัมต่อลิตร มีโพแทสเซียม 5,680 มิลลิกรัมต่อลิตร ทีเคเอ็น 1,148 มิลลิกรัมต่อลิตร และฟอสฟอรัส 21.40 มิลลิกรัมต่อลิตร และจากการนำน้ำกากส่ามาส่องดูผ่านกล้องจุลทรรศน์พบว่ามียีสต์จำนวนมากอยู่ในน้ำกากส่าประมาณ 3.87×10^7 เซลล์ต่อมิลลิลิตร

5.1.2 การเปรียบเทียบจำนวนไรแดงและคุณภาพน้ำในน้ำกากส่าความเข้มข้นต่าง ๆ ชุดที่เติมอากาศและไม่เติมอากาศ

ความเข้มข้นของน้ำกากส่าที่ทำให้มีจำนวนไรแดงมากที่สุดทั้งในชุดที่เติมอากาศและไม่เติมอากาศ คือ น้ำกากส่าความเข้มข้นร้อยละ 1 คุณภาพน้ำในวันที่เริ่มต้นการทดลองของชุดที่เติมอากาศและไม่เติมอากาศน้ำมีพีเอชเท่ากับ 5.92 มีดีโอ ซีโอดี บีโอดี ทีเคเอ็น ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม เท่ากับ 5.14, 888, 242, 11.4, 0.21 และ 56.3 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ สำหรับชุดที่เติมอากาศ วันที่มีจำนวนไรแดงสูงสุด คือ วันที่ 4 มีจำนวนไรแดง 2,200 ตัวต่อลิตรหรือคิดเป็น 11 เท่าของจำนวนไรแดงเริ่มต้น ในวันที่มีจำนวนไรแดงสูงสุดน้ำมีพีเอชเท่ากับ 7.36 มีดีโอ ซีโอดี บีโอดี ทีเคเอ็น ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม เท่ากับ 5.75, 510, 130, 6, 0.09 และ 45.1 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ สำหรับชุดที่ไม่เติมอากาศ วันที่มีจำนวนไรแดงสูงสุด คือ วันที่ 4 มีจำนวนไรแดง 1,444 ตัวต่อลิตรหรือคิดเป็น 7.2 เท่าของจำนวนไรแดงเริ่มต้น ในวันที่มีจำนวนไรแดงสูงสุดน้ำมีพีเอชเท่ากับ 6.36 มีดีโอ ซีโอดี บีโอดี ทีเคเอ็น ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม เท่ากับ 1.22, 700, 193, 7.5, 0.13 และ 50.1 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ สรุปได้ว่าการเติมอากาศในน้ำที่ใช้เพาะเลี้ยงไรแดงทำให้ได้จำนวนไรแดงมากกว่าชุดที่ไม่เติมอากาศถึงร้อยละ 34.4 ซึ่งการเติมอากาศในน้ำที่ใช้เพาะเลี้ยงไรแดงจะช่วยลดความสกปรกของน้ำลงได้มากกว่าชุดที่ไม่เติมอากาศในทุกพารามิเตอร์

5.1.3 การเปรียบเทียบจำนวนไรแดงและคุณภาพน้ำในน้ำกากส่าที่เติมสาหร่ายคลอเรลล่าความเข้มข้นต่าง ๆ ชุดที่เติมอากาศและไม่เติมอากาศ

ความเข้มข้นของสาหร่ายคลอเรลล่าที่ทำให้มีจำนวนไรแดงมากที่สุดทั้งในชุดที่เติมอากาศและไม่เติมอากาศ คือ สาหร่ายคลอเรลล่าความเข้มข้น 1 x 10^7 เซลล์ต่อมิลลิลิตรในน้ำกากส่าความเข้มข้นร้อยละ 1 คุณภาพน้ำในวันที่เริ่มต้นการทดลองของชุดที่เติมอากาศและไม่เติมอากาศ น้ำมีพีเอชเท่ากับ 5.62 มีดีโอ ซีโอดี บีโอดี ทีเคเอ็น ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม เท่ากับ 5, 915, 262, 13.6, 0.32 และ 59 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ สำหรับชุดที่เติมอากาศ วันที่มีจำนวนไรแดงสูงสุด คือ วันที่ 5 มีจำนวนไรแดง 5,320 ตัวต่อลิตรหรือคิดเป็น 26.6 เท่าของจำนวนไรแดงเริ่มต้น ในวันที่มีจำนวนไรแดงสูงสุดน้ำมีพีเอชเท่ากับ 7.24 มีดีโอ ซีโอดี บีโอดี ทีเคเอ็น ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม เท่ากับ 5.89, 470, 152, 8.7, 0.1 และ 30.6 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ สำหรับชุดที่ไม่เติมอากาศ วันที่มีจำนวนไรแดงสูงสุด คือ วันที่ 4 มีจำนวนไรแดง 4,074 ตัวต่อลิตรหรือคิดเป็น 20.3 เท่าของจำนวนไรแดงเริ่มต้น ในวันที่มีจำนวนไรแดงสูงสุดน้ำมีพีเอชเท่ากับ 6.18 มีดีโอ ซีโอดี บีโอดี ทีเคเอ็น ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม เท่ากับ 1.41, 823, 228, 10.8, 0.15 และ 46.6 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ สรุปได้ว่าการเติมอากาศในน้ำที่ใช้เพาะเลี้ยงไรแดงทำให้ได้จำนวนไรแดงมากกว่าชุดที่ไม่เติมอากาศถึงร้อยละ 23.4 ซึ่งการเติมอากาศในน้ำที่ใช้เพาะเลี้ยงไรแดงจะช่วยลดความสกปรกของน้ำลงได้มากกว่าชุดที่ไม่เติมอากาศในทุกพารามิเตอร์

5.1.4 สภาวะที่เหมาะสมในการเพาะเลี้ยงไรแดงด้วยน้ำกากส่า

ผลการทดลองเปรียบเทียบจำนวนไรแดงและคุณภาพน้ำในน้ำกากส่าความเข้มข้นต่าง ๆ ชุดที่เติมอากาศและไม่เติมอากาศ และเปรียบเทียบจำนวนไรแดงและคุณภาพน้ำในน้ำกากส่าที่เติมสาหร่ายคลอเรลล่าความเข้มข้นระดับต่าง ๆ ชุดที่เติมอากาศและไม่เติมอากาศ สรุปได้ว่าการเติมอากาศในน้ำที่ใช้เพาะเลี้ยงไรแดงทำให้ได้จำนวนไรแดงมากกว่าชุดที่ไม่เติมอากาศ น้ำกากส่าความเข้มข้นร้อยละ 1 ที่เติมสาหร่ายคลอเรลล่า 1 x 10^7 เซลล์ต่อมิลลิลิตรและเติมอากาศทำให้ได้จำนวนไรแดงมากที่สุดเท่ากับ 5,320 ตัวต่อลิตรหรือคิดเป็น 26.6 เท่าของจำนวนไรแดงเริ่มต้น ในวันที่เริ่มต้นการทดลอง น้ำมีพีเอชเท่ากับ 5.62 มีดีโอ ซีโอดี บีโอดี ทีเคเอ็น ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม เท่ากับ 5, 915, 262, 13.6, 0.32 และ 59 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ เมื่อเวลาผ่านไปจนวันสุดท้ายของการทดลอง น้ำมีพีเอชเท่ากับ 7.62 มีดีโอเท่ากับ 5.78 มิลลิกรัมต่อลิตร มีซีโอดี บีโอดี ทีเคเอ็น ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม เท่ากับ 300, 70, 5.7, 0.02 และ 29 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ คิดเป็นร้อยละการกำจัดเท่ากับ 67.2, 73.3, 58.1, 93.8 และ 50.8 ตามลำดับ

5.2 ข้อเสนอแนะ

1) ศึกษาทดลองเพาะเลี้ยงไรแดงแบบต่อเนื่อง คือ เมื่อเพาะเลี้ยงไรแดงได้ระยะหนึ่งแล้ว อาจจะเติมอาหาร วิตามิน หรือปุ๋ยต่าง ๆ ลงไปในน้ำที่ใช้เพาะเลี้ยงไรแดง เพื่อศึกษาว่าไรแดงมีการเจริญเติบโตและเพิ่มจำนวนอย่างไร

2) ศึกษาการเพาะเลี้ยงไรแดงในระบบบ่อขนาดใหญ่ในรูปแบบการเพาะเลี้ยงไรแดงแบบไม่ต่อเนื่องต่อไป

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

กาญจนวดี คงขึม. 2546. การบำบัดแอมโมเนียในน้ำทิ้งจากบ่อเลี้ยงกุ้งโดยใช้สาหร่ายเซลล์เดียว. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

โกวิทย์ อุตตบุญ. 2547. ประสิทธิภาพของน้ำกากส่าที่ผ่านระบบยูเอเอสบีจากโรงงานสุราต่อการเจริญเติบโตของข้าวโพดฝักอ่อน. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการสิ่งแวดล้อมอุตสาหกรรม บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช.

คะนอง ศรีนรคุตร. 2532. ผลของตัวแปรบางตัวที่มีต่อการผลิตอัลกอฮอล์จากวัสดุการเกษตรโดยเครื่องหมักแบบคอลัมน์ต่อเนื่อง. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ไชยยุทธ์ กลิ่นสุคนธ์. 2524. การแก้ไขปัญหาน้ำเสียจากโรงงานผลิตแอลกอฮอล์และสุรา. การสัมมนาเชิงปฏิบัติการเรื่องการพัฒนาการผลิตสุราและแอลกอฮอล์. นครปฐม : ศูนย์ส่งเสริมและฝึกอบรมการเกษตรแห่งชาติ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน.

ฐิติมา จิตรกสิกร. 2540. การใช้น้ำกากส่าในการเพาะเลี้ยงคลอเรลล่าระดับห้องปฏิบัติการ. คณะวิชาประมง สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตพระนครศรีอยุธยา หันตรา.

ฐิติมา จิตรกสิกร และวรัชฎา ขำเลิศ. 2537. การศึกษาปริมาณการใช้น้ำกากส่าจากโรงงานสุราในการอนุบาลลูกปลาแรด. คณะวิชาประมง สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตพระนครศรีอยุธยา หันตรา.

ทวี วิพุทธานุมาศ และทัศนีย์ สุขสวัสดิ์. 2531. การศึกษาปริมาณ Total Nitrogen ที่เหมาะสมในการเพาะไรแดง. รายงานประจำปี 2531. สถานีประมงน้ำจืดจังหวัดปทุมธานี. กองประมงน้ำจืด กรมประมง กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. หน้า 211 – 212.

ทวี วิพุทธานุมาศ และทัศนีย์ สุขสวัสดิ์. 2533. การศึกษาอัตราส่วนไนโตรเจนต่อฟอสฟอรัสในการเพาะไรแดง. รายงานประจำปี 2533. สถานีประมงน้ำจืดจังหวัดปทุมธานี. กองประมงน้ำจืด กรมประมง กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. หน้า 37 – 77.

ทวี วิพุทธานุมาศ และเรวดี สุขประเสริฐ. 2538. การเพาะไรแดงโดยใช้รำละเอียดหมัก. เอกสารวิชาการฉบับที่ 19 / 2538. สถานีประมงน้ำจืดจังหวัดปทุมธานี. ศูนย์พัฒนาประมงน้ำจืดพระนครศรีอยุธยา กรมประมง กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 39 หน้า.

ทัศนประภา เลิศศรีมงคล. 2547. การผลิตโปรตีนเซลล์เดียวจากกากส่าด้วยวิธีการหมักแบบกึ่งต่อเนื่องโดยยีสต์ *Saccharomyces cerevisiae*. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ธิดา เพชรมณี, มาวิทย์ อัศวมารีย์ และสุจินต์ บุญช่วย. 2536. ความเป็นไปได้ในการเพาะเลี้ยงไรแดงด้วย *Chlorella* ในภาคใต้. เอกสารวิชาการฉบับที่ 16 / 2536. สถาบันวิจัยการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง กรมประมง กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

นิธิยา รัตนาปนนท์. 2545. เคมีอาหาร. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพ : สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์.

บุญมี กองสมบัติ, วิเชียร อุ่นเรือน และพิสิษฐ์ อิ่มเอิบ. 2536. การใช้น้ำกากส่าจากโรงงานสุราอยุธยาในการปลูกข้าวโพดและถั่วเขียว. โครงการวิจัย. สถาบันเทคโนโลยีราชมงคลวิทยาเขตพระนครศรีอยุธยา หันตรา.

บุญเทียม พันธุ์เพ็ง. 2523. การคัดเลือกสายพันธุ์ยีสต์เพื่อหมักแอลกอฮอล์จากกากน้ำตาลและอ้อย. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาจุลชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ปิยนารถ โยชน์ชัยสาร. 2542. ผลผลิตของไรแดง (*Moina macrocopa*) ที่เพาะเลี้ยงด้วยสูตรอาหารและความเข้มแสงต่างกัน. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม.

ผะอบ ชนะภัย. 2511. การเพาะไรแดง. รายงานประจำปี 2511. แผนกทดลองและเพาะเลี้ยงกองบำรุงพันธุ์สัตว์น้ำ กรมประมง กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. หน้า 177 – 189.

พรนภา ลำเลียงพล. 2531. การเจริญเติบโตแบบ logistic ของประชากรไรแดง *(Moina macrocopa* Straus) ที่เลี้ยงด้วยปุ๋ยอินทรีย์และอนินทรีย์. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

พัชรินทร์ นันทิวาวัฒน์. 2546. การประยุกต์ใช้ถังปฏิกรณ์อีจีเอสบีสำหรับบำบัดสารอินทรีย์ในน้ำเสียกากส่าจากโรงงานสุรา. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ไพรวัลย์ เงินแท่ง. 2548. การศึกษาการเพิ่มผลผลิตไรแดงโดยใช้ปุ๋ยเสริมต่างชนิดกัน. สาขาการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี.

ภัทรา มณีธวัช. 2520. กากน้ำตาล. วารสารน้ำตาล 13 (1) : 1 – 8.

ภาณุ เทวรัตน์มณีกุล, วีระ วัชรกรโยธิน และทัศนีย์ สุขสวัสดิ์. 2529. การเพาะไรแดงเพื่อการค้า. รายงานประจำปี 2529. สถานีพัฒนาการเพาะเลี้ยงปลาจังหวัดปทุมธานี. กองประมงน้ำจืด กรมประมง กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. หน้า 47 – 63.

ภาณุ เทวรัตน์มณีกุล, ทวี วิพุทธานุมาศ และทัศนีย์ สุขสวัสดิ์. 2532. การเพิ่มผลผลิตไรแดงด้วยวิตามิน. เอกสารวิชาการฉบับที่ 11 / 2532. สถานีประมงน้ำจืดจังหวัดปทุมธานี. กองประมงน้ำจืด กรมประมง กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 13 หน้า.

ภาณุ เทวรัตน์มณีกุล, ทวี วิพุทธานุมาศ, วีระ วัชรกรโยธิน และทัศนีย์ สุขสวัสดิ์. 2532. การเพาะเลี้ยงไรแดง. เอกสารวิชาการฉบับที่ 9 / 2532. สถานีประมงน้ำจืดจังหวัดปทุมธานี. กองประมงน้ำจืด กรมประมง กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 14 หน้า.

มาลี วิศวาจารย์. 2531. การใช้ประโยชน์จากน้ำกากส่าโรงงานสุราในการผลิตก๊าซชีวภาพ. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

โรงงานสุรา กรมสรรพสามิต. 2542. ระบบบำบัดและกำจัดน้ำเสียโรงงานสุรา กรมสรรพสามิต 12 เขต. ฝ่ายเทคนิคและการผลิตกลุ่มบริษัทสุราทิพย์. (อัดสำเนา)

ลัดดา วงศ์รัตน์. 2543. แพลงก์ตอนสัตว์. กรุงเทพ : สำนักพิมพ์แห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ลัดดา วงศ์รัตน์, ประวิทย์ สุรนีรนาถ และประจิตร วงศ์รัตน์. 2524. การเพาะเลี้ยงไรแดงเพื่อการค้า. รายงานการวิจัย. สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ. 67 หน้า.

วรรณดี สุประดิษฐ์อาภรณ์. 2532. การผลิตปุ๋ยหมักจากฟางข้าวและน้ำกากส่าโดย *Aspergillus* sp.. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาจุลชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

วรากร วรอัศวปติ. 2514. การทดลองเพาะเลี้ยงและการศึกษานิเวศวิทยาบางประการของไรน้ำ. ปริญญานิพนธ์ วิทยาลัยวิชาการศึกษาประสานมิตร.

วิชัย ก้องรัตนโกศล และประดิษฐ์ ศรีภัทรประสิทธิ์. 2529. การผลิตไรแดงอย่างต่อเนื่อง. รายงานประจำปี 2533. สถานีประมงน้ำจืดจังหวัดขอนแก่น. กองประมงน้ำจืด กรมประมง กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. หน้า 139 – 146.

วิรัตดา สีตะสิทธิ์. 2543. วิเคราะห์และประมวลผลการศึกษาวิจัยเรื่องไรแดงในประเทศไทย. เอกสารวิชาการฉบับที่ 207 / 2543. สถาบันวิจัยการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจืด กรมประมง กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 66 หน้า.

วิรัตดา สีตะสิทธิ์ และวิมล จันทรโรทัย. 2526. การศึกษาเบื้องต้นเกี่ยวกับการผลิตไรแดงในบ่อซีเมนต์. เอกสารวิชาการฉบับที่ 26 / 2526. สถาบันประมงน้ำจืดแห่งชาติ กรมประมง กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 17 หน้า.

วีนา ชานนท์. 2535. ผลของการเพาะเลี้ยง *Chorella* sp. ในน้ำเสียจากบ่อหมักก๊าซชีวภาพมูลสุกร. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาการสอนชีววิทยา บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

วีระ วัชรกรโยธิน, ภาณุ เทวรัตน์มณีกุล, ทวี วิพุทธานุมาศ และทัศนีย์ สุขสวัสดิ์. 2528. การเพาะไรแดง. รายงานประจำปี 2528. สถานีพัฒนาการเพาะเลี้ยงปลาจังหวัดปทุมธานี. กองประมงน้ำจืด กรมประมง กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. หน้า 51 – 69.

วีระ วัชรกรโยธิน, ภาณุ เทวรัตน์มณีกุล และทัศนีย์ สุขสวัสดิ์. 2530. การศึกษาผลของปัจจัยสิ่งแวดล้อมต่อการเพาะเลี้ยงไรแดง. รายงานประจำปี 2530. สถานีประมงน้ำจืดจังหวัดปทุมธานี. กองประมงน้ำจืด กรมประมง กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. หน้า 80 – 87.

วีระวงศ์ ตางาม, อุธร ฤทธิลึก และเบญจวรรณ ไชยวงศ์. 2547. การใช้คลอเรลลาเข้มข้นเพื่อเพิ่มผลผลิตไรแดง. รายงานผลการวิจัย. คณะเกษตรศาสตร์บางพระ สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล จังหวัดชลบุรี.

ส่งเสริมการประมง, กอง. 2551. การเพาะเลี้ยงไรแดง. ฝ่ายเผยแพร่และพัฒนาสิ่งพิมพ์การประมง กรมประมง กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 2550. อาหารเลี้ยงเชื้อจุลินทรีย์และแพลงก์ตอน. กรุงเทพ : สำนักพิมพ์แห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สรรพสามิต, กรม. 2526. เอกสารโครงการก่อสร้างโรงสุราใหม่โครงการที่ 1. ขอนแก่น : กรมสรรพสามิต. (อัดสำเนา)

สันทนา ดวงสวัสดิ์, ไมตรี ดวงสวัสดิ์ และสมเพชร ไชยทอง. 2524. การศึกษาชีวประวัติและการเพาะเลี้ยงไรแดงเพื่อใช้เป็นอาหารสำหรับเลี้ยงสัตว์น้ำวัยอ่อน. เอกสารวิชาการฉบับที่ 1 / 2524. สถาบันประมงน้ำจืดแห่งชาติ กรมประมง กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 10 หน้า.

สาธิต โกวิทวที. 2541. อัตราการขยายพันธุ์สทธิของไรแดง (*Moina macrocopa* Straus, 1820) ที่เลี้ยงด้วยแบคทีเรีย (*Bacillus subtilis*) ในห้องปฏิบัติการ. ใน : บทคัดย่อการประชุมวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 36 สาขาประมง (ภาคโปสเตอร์) ระหว่างวันที่ 3 – 5 กุมภาพันธ์ 2541.

สุจินต์ พนาปวุฒิกุล. 2527. การใช้น้ำกากส่าจากโรงงานสุราในการผลิตไบโอแก๊สและทำปุ๋ยอินทรีย์ชนบท. จุลสารสภาวะแวดล้อม 3 (2) : 1 – 4.

สุนันท์ ทวยเจริญ. 2520. การศึกษาอนุกรมวิธานและชีววิทยาบางประการของไรน้ำกลุ่ม Cladocerans ในเขตกรุงเทพมหานคร. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สุนันท์ พูลธนกิจ. 2547. การบำบัดน้ำกากส่าของโรงงานสุรา องค์การสุรา โดยกระบวนการยูเอเอสบี. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. 2524. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกากน้ำตาลชนิดผลพลอยได้. กรุงเทพ : สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม.

สำรวย เสร็จกิจ. 2531. การเพิ่มผลผลิตไรแดงในบ่อซีเมนต์. เอกสารวิชาการฉบับที่ 72 / 2531. สถาบันประมงน้ำจืดแห่งชาติ กรมประมง กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 10 หน้า.

หยกแก้ว ยามาลี, สมบูรณ์ ผู้พัฒน์, กัญญา สุจริตวงศานนท์, วิเชียร ยงมานิตชัย และไปรมา ภัทรกุล. 2526. การนำ *Chlorella* sp. ที่ได้จากการเลี้ยงในน้ำทิ้งโรงงานผลิตน้ำนมถั่วเหลืองมาเลี้ยงไรแดง. รายงานผลการวิจัยประจำปี 2526. สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. หน้า 374 – 384.

อรทัย ชวาลภาฤทธิ์. 2545. คู่มือวิเคราะห์น้ำและน้ำเสีย. กรุงเทพ : วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์.

อรุณ จันทร์วงษ์. 2545. การเพาะเลี้ยงไรแดงโดยใช้รำละเอียดหมักลดอัตราส่วนของกากผงชูรส. ปัญหาพิเศษ. คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันราชภัฏเพชรบุรีวิทยาลงกรณ์ในพระบรมราชูปถัมภ์.

อโณทัย คมเศวต. 2521. การทดลองเลี้ยง *Moina* spp. สัตว์เศรษฐกิจ. วารสารแม่โจ้ 3 (1) : 19 – 21.

อุธร ฤทธิลึก และจันทร์พิมพ์ กังพานิช. 2540. การศึกษาคุณภาพน้ำและความหนาแน่นของคลอเรลล่าที่มีอิทธิพลต่อผลผลิตไรแดง (*Moina macrocopa* (Straus)). คณะเกษตรศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีราชมงคลวิทยาเขตบางพระ จังหวัดชลบุรี.

ภาษาอังกฤษ

Beaker, E.W. 1994. Microalgae : biotechnology and microbiology. New York : Cambridge University Press.

Beltran, F.J., Alvarez, P.M., Rodriguez, E.M., Garcia – Araya, J.F., and Rivas, J. 2001. Treatment of high strength distillery wastewater (cherry stillage) by integrated aerobic biological oxidation and ozonation. Biotechnology Program 17 : 462 – 467.

Brusca, R.C., and Brusca, G.J. 2003. Invertebrates. 2nd ed. Massachusetts : Sinauer Associates.

Chang, T.C., and Yang, W.L. 1973. Study on feed yeast production from molasses distillery stillage. Taiwan Sugar 20 (5) : 422 – 427.

Chen, J.C.P., and Chou, C.C. 1993. Cane Sugar Handbook : A Manual for Cane Sugar Manufacturers and their Chemists. 12th ed. New York : John Wiley & Sons.

Conn, F.E., and Stumpf, P.H. 1976. Outlines of biochemistry. 4th ed. New York : John Wiley & Sons.

Eero, R., and Merrja, P. 1983. Determination of sugar (and betaine) in molasses by high performance liquid chromatography comparison of the results with those obtained by the classical Lane – Eynon method. Journal of Chromatography 282 : 595 – 602.

Hoek, C.V., Mann, D.G., and Jahns, H.M. 1995. Algae : an introduction to phycology. New York : Cambridge University Press.

Horshaw, R.W., and Rosowki, J.R. 1973. Method for microscopic algae. In J.R., Steins (ed.), Handbook of physiological methods, culture methods and growth measurements, pp. 53 – 68. New York : Cambridge University Press.

Jones, R.P., Pamment, N., and Greenfield, P.F. 1981. Alcohol fermentation by yeasts – the effect of environmental and other variables. Process Biochemistry. (April / May) : 42 – 49.

Kang, C.K., Park, H.Y., Kim, M.C., and Lee, W.J. 2006. Use of marine yeasts as an available diet for mass cultures of *Moina macrocopa*. Aquaculture Research 37 (12) : 1227 – 1237.

Lele, S.S., Joshi, J.B., Pandit, A.B., and Thampi, J. 2000. Distillery wastewater treatment. In R.K., Trivedi (ed.), Advances in Wastewater Treatment. Global Science. India : Aligarh.

Moore, J. 2006. An introduction to the invertebrates. 2nd ed. New York : Cambridge University Press.

Paturau, J.M. 1989. By – Products of the cane sugar : Introduction to their industrial utilization. Sugar series. 3rd ed. Amsterdam : Elsevier.

Pechenik, J.A. 2005. Biology of the invertebrates. 5th ed. New York : McGraw – Hill.

Ramana, S., Biswas, A.K., Kundu, S., Saha, J.K., and Yadava, R.B.R. 2002. Effect of distillery effluent on seed germination in some vegetable crops. Bioresource and Technology 82 (3) : 273 – 275.

Ramana, S., Biswas, A.K., and Singh, A.B. 2002. Effect of distillery effluents on some physiological aspects in maize. Bioresource and Technology 84 (3) : 295 – 297.

Ramana, S., Biswas, A.K., Singh, A.B., and Yadava, R.B.R. 2002. Relative efficacy of distillery effluents on growth, nitrogen fixation and yield of groundnut. Bioresource and Technology 81 : 117 – 121.

Reed, G., and Nagodawithana, T.W. 1991. Yeast technology. 2nd ed. New York : An AVI book.

Rose, A.H., and Harrison, J.S. 1970. The Yeasts. vol. 3 : Yeast technology. London : Academic Press.

Rose, A.H., and Harrison, J.S. 1971. The Yeasts. vol. 2 : Physiology and biochemistry of yeasts. London : Academic Press.

Rosen, K. 1977. Production of baker's yeast. Process Biochemistry 12 (3) : 10 – 12.

Ruppert, E.E., Fox, R.S., and Barnes, R.D. 2004. Invertebrate zoology. 7th ed. U.S.A. : Thomson Academic Resource Center.

Sharma, O.P. 1992. Textbook of algae. New York : McGraw – Hill.

Underkofler, L.A., and Hickley, R.J. 1954. Alcoholic Fermentation of Molasses : Industrial Fermentations. New York : Academic Press.

Vymazal, J. 1995. Algae and element cycling in wetland. Florida : CRC.

Wang, L.H., Kuo, Y.C., and Chang, C.Y. 1980. Studies on the Utilization of Molasses Alcohol Slop I : Production of Feed Yeast by Continuous Cultivation. Journal of the Chinese Agricultural Chemical Society 18 (1 – 2) : 25 – 32.

Watanabe, Y., Sugi, R., Tanaka, Y., and Hayashida, S. 1982. Enzymation of Melanoidin by *Coriolus* sp. No. 20. Agriculture Biological Chemistry 46 (6) : 1623 – 1630.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

ตารางที่ ก – 1 จำนวนไรแดงและคุณภาพน้ำที่ใช้เพาะเลี้ยงไรแดงในน้ำกากส่าความเข้มข้นต่าง ๆ ชุดที่เติมอากาศ

วันที่	ร้อยละความเข้มข้นของน้ำกากส่า	จำนวนไรแดง (ตัว)	คุณภาพน้ำที่ใช้เพาะเลี้ยงไรแดง						
			pH	DO (mg/l)	COD (mg/l)	BOD (mg/l)	TKN (mg/l)	P (mg/l)	K (mg/l)
1	0	100	7.66	5.69	0	0	0	0	0
	0.05	100	7.30	5.59	44	12	0.5	0.01	2.8
	0.1	100	7.05	5.46	89	24	1.1	0.03	5.7
	0.5	100	6.37	5.16	443	121	5.7	0.11	28.4
	1	100	5.92	5.14	888	242	11.4	0.21	56.3
	1.5	100	5.29	4.96	1,349	362	17.2	0.32	85.3
2	0	0	7.77	6.18	0	NA	0	0	0
	0.05	192	7.91	6.13	32	NA	0.4	0	2.4
	0.1	396	7.76	6.14	70	NA	0.9	0.02	4.8
	0.5	488	7.70	5.67	340	NA	4.9	0.08	23.6
	1	581	7.37	5.29	705	NA	9.4	0.14	50.8
	1.5	367	7.35	5.26	1,020	NA	14.3	0.23	78.0

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก – 1 (ต่อ)

วันที่	ร้อยละความเข้มข้นของน้ำกากส่า	จำนวนไรแดง (ตัว)	คุณภาพน้ำที่ใช้เพาะเลี้ยงไรแดง						
			pH	DO (mg/l)	COD (mg/l)	BOD (mg/l)	TKN (mg/l)	P (mg/l)	K (mg/l)
3	0	0	8.16	6.20	0	NA	0	0	0
	0.05	330	8.18	6.16	26	NA	0.3	0	2.2
	0.1	636	8.18	6.18	58	NA	0.8	0	4.0
	0.5	730	7.79	5.84	288	NA	4.1	0.07	21.2
	1	880	7.87	5.53	606	NA	7.9	0.12	48.3
	1.5	633	7.77	5.50	850	NA	12.6	0.20	74.0
4	0	0	7.67	6.22	0	0	0	0	0
	0.05	212	7.61	6.19	22	5	0.2	0	1.9
	0.1	754	7.70	6.20	48	11	0.6	0	3.6
	0.5	872	7.25	5.93	233	59	3.1	0.05	19.2
	1	1,100	7.36	5.75	510	130	6.0	0.09	45.1
	1.5	680	7.25	5.68	681	169	10.0	0.16	71.9

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก – 1 (ต่อ)

วันที่	ร้อยละความเข้มข้นของน้ำกากส่า	จำนวนไรแดง (ตัว)	คุณภาพน้ำที่ใช้เพาะเลี้ยงไรแดง						
			pH	DO (mg/l)	COD (mg/l)	BOD (mg/l)	TKN (mg/l)	P (mg/l)	K (mg/l)
5	0	0	7.77	6.24	0	0	0	0	0
	0.05	104	7.88	6.20	19	5	0	0	1.7
	0.1	450	7.95	6.22	40	9	0.5	0	3.0
	0.5	626	7.57	5.95	199	52	3.0	0.03	16.3
	1	910	7.83	5.84	415	111	5.4	0.07	44.0
	1.5	736	7.53	5.70	580	145	9.1	0.12	69.8
6	0	0	8.10	6.24	0	NA	0	0	0
	0.05	40	8.16	6.22	16	NA	0	0	1.6
	0.1	150	8.18	6.20	34	NA	0.4	0	2.8
	0.5	320	7.93	5.96	180	NA	2.7	0.02	16.0
	1	537	8.13	5.80	336	NA	4.8	0.03	42.8
	1.5	330	7.96	5.72	470	NA	8.3	0.09	69.1

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก – 1 (ต่อ)

วันที่	ร้อยละความเข้มข้นของน้ำกากส่า	จำนวนไรแดง (ตัว)	คุณภาพน้ำที่ใช้เพาะเลี้ยงไรแดง						
			pH	DO (mg/l)	COD (mg/l)	BOD (mg/l)	TKN (mg/l)	P (mg/l)	K (mg/l)
7	0	0	8.16	6.18	0	NA	0	0	0
	0.05	0	8.10	6.17	12	NA	0	0	1.5
	0.1	45	8.22	6.18	28	NA	0.3	0	2.8
	0.5	205	7.93	5.87	148	NA	1.5	0.01	15.8
	1	325	8.21	5.77	300	NA	2.7	0.02	41.6
	1.5	160	8.01	5.66	400	NA	4.9	0.08	68.4
8	0	0	8.20	5.99	0	0	0	0	0
	0.05	0	8.12	5.92	11	2	0	0	1.5
	0.1	0	8.25	5.98	24	4	0.2	0	2.7
	0.5	55	8.13	5.79	120	18	1.3	0	15.8
	1	90	8.26	5.73	265	46	2.3	0.01	41.4
	1.5	60	8.11	5.60	350	72	4.5	0.07	68.4

หมายเหตุ : NA หมายถึง ไม่ได้ทำการวิเคราะห์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก – 2 จำนวนไรแดงและคุณภาพน้ำที่ใช้เพาะเลี้ยงไรแดงในน้ำกากส่าความเข้มข้นต่าง ๆ ชุดที่ไม่เติมอากาศ

วันที่	ร้อยละความเข้มข้นของน้ำกากส่า	จำนวนไรแดง (ตัว)	คุณภาพน้ำที่ใช้เพาะเลี้ยงไรแดง						
			pH	DO (mg/l)	COD (mg/l)	BOD (mg/l)	TKN (mg/l)	P (mg/l)	K (mg/l)
1	0	100	7.66	5.69	0	0	0	0	0
	0.05	100	7.30	5.59	44	12	0.5	0.01	2.8
	0.1	100	7.05	5.46	89	24	1.1	0.03	5.7
	0.5	100	6.37	5.16	443	121	5.7	0.11	28.4
	1	100	5.92	5.14	888	242	11.4	0.21	56.3
	1.5	100	5.29	4.96	1,349	362	17.2	0.32	85.3
2	0	0	7.50	5.47	0	NA	0	0	0
	0.05	170	7.31	5.13	37	NA	0.5	0	2.7
	0.1	260	7.29	4.33	78	NA	1.0	0.02	5.3
	0.5	344	7.21	3.29	380	NA	5.1	0.09	26.9
	1	388	6.66	3.20	799	NA	10.0	0.17	52.5
	1.5	211	5.91	2.95	1,220	NA	15.5	0.26	79.0

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก – 2 (ต่อ)

วันที่	ร้อยละความเข้มข้นของน้ำกากส่า	จำนวนไรแดง (ตัว)	คุณภาพน้ำที่ใช้เพาะเลี้ยงไรแดง						
			pH	DO (mg/l)	COD (mg/l)	BOD (mg/l)	TKN (mg/l)	P (mg/l)	K (mg/l)
3	0	0	7.96	5.25	0	NA	0	0	0
	0.05	275	7.68	4.71	30	NA	0.4	0	2.5
	0.1	342	7.66	4.06	64	NA	0.9	0.02	5.2
	0.5	550	7.63	1.47	326	NA	4.5	0.08	25.6
	1	650	6.84	1.34	675	NA	8.8	0.15	51.2
	1.5	315	6.27	1.30	999	NA	14.1	0.23	77.4
4	0	0	7.32	5.00	0	0	0	0	0
	0.05	154	7.23	4.25	31	7	0.3	0	2.3
	0.1	430	7.24	3.54	72	20	0.8	0.01	5.0
	0.5	620	7.19	1.36	337	90	3.9	0.07	24.9
	1	722	6.36	1.22	700	193	7.5	0.13	50.1
	1.5	338	5.74	1.19	1,007	282	12.7	0.21	76.5

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก – 2 (ต่อ)

วันที่	ร้อยละความเข้มข้นของน้ำกากส่า	จำนวนไรแดง (ตัว)	คุณภาพน้ำที่ใช้เพาะเลี้ยงไรแดง						
			pH	DO (mg/l)	COD (mg/l)	BOD (mg/l)	TKN (mg/l)	P (mg/l)	K (mg/l)
5	0	0	7.41	4.77	0	0	0	0	0
	0.05	52	7.57	4.15	28	9	0.2	0	2.3
	0.1	300	7.55	3.24	76	20	0.7	0	4.9
	0.5	580	7.33	1.36	342	93	3.7	0.06	24.6
	1	519	6.41	1.12	698	200	7.0	0.12	49.8
	1.5	150	6.06	1.00	1,011	290	11.6	0.19	75.0
6	0	0	7.88	4.69	0	NA	0	0	0
	0.05	33	7.88	3.58	24	NA	0.1	0	2.1
	0.1	120	7.87	2.68	64	NA	0.6	0	4.6
	0.5	202	7.68	1.15	300	NA	3.5	0.05	23.6
	1	209	6.79	0.93	618	NA	6.6	0.11	48.9
	1.5	0	6.41	0.84	978	NA	11.3	0.18	74.4

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก – 2 (ต่อ)

วันที่	ร้อยละความเข้มข้นของน้ำกากส่า	จำนวนไรแดง (ตัว)	คุณภาพน้ำที่ใช้เพาะเลี้ยงไรแดง						
			pH	DO (mg/l)	COD (mg/l)	BOD (mg/l)	TKN (mg/l)	P (mg/l)	K (mg/l)
7	0	0	7.94	4.49	0	NA	0	0	0
	0.05	0	7.81	3.46	22	NA	0	0	2.0
	0.1	30	7.74	2.57	55	NA	0.5	0	4.5
	0.5	83	7.56	1.08	250	NA	3.0	0.04	23.1
	1	0	6.72	0.74	599	NA	6.3	0.10	48.6
	1.5	0	6.34	0.63	932	NA	10.7	0.17	73.9
8	0	0	7.92	4.37	0	0	0	0	0
	0.05	0	7.90	3.37	18	4	0	0	1.9
	0.1	0	7.89	2.54	42	10	0.5	0	4.4
	0.5	0	7.71	0.94	231	53	2.8	0.04	22.8
	1	0	6.84	0.66	537	116	6.0	0.10	48.3
	1.5	0	6.38	0.50	858	190	10.2	0.17	73.6

หมายเหตุ : NA หมายถึง ไม่ได้ทำการวิเคราะห์

ตารางที่ ก – 3 จำนวนไรแดงและคุณภาพน้ำที่ใช้เพาะเลี้ยงไรแดงในน้ำกากส่าความเข้มข้นร้อยละ 1 ที่เติมสาหร่ายคลอเรลล่าความเข้มข้นต่าง ๆ ชุดที่เติมอากาศ

วันที่	ความเข้มข้นของสาหร่ายคลอเรลล่า (เซลล์/มล.)	จำนวนไรแดง (ตัว)	คุณภาพน้ำที่ใช้เพาะเลี้ยงไรแดง						
			pH	DO (mg/l)	COD (mg/l)	BOD (mg/l)	TKN (mg/l)	P (mg/l)	K (mg/l)
1	0	100	5.92	5.14	888	242	11.4	0.21	56.3
	1×10^4	100	5.84	5.11	892	246	11.9	0.24	57.0
	1×10^5	100	5.80	5.09	898	250	12.4	0.26	57.6
	1×10^6	100	5.70	5.05	905	255	13.0	0.28	58.4
	1×10^7	100	5.62	5.00	915	262	13.6	0.32	59.0
	1×10^8	100	5.55	4.95	928	270	14.0	0.35	60.0
2	0	581	7.37	5.29	705	NA	9.4	0.14	47.8
	1×10^4	620	7.29	5.32	700	NA	10.4	0.16	47.0
	1×10^5	645	7.33	5.30	715	NA	11.0	0.17	47.2
	1×10^6	715	7.27	5.34	732	NA	11.8	0.18	47.1
	1×10^7	750	7.35	5.29	746	NA	12.3	0.21	48.0
	1×10^8	702	7.30	5.24	750	NA	12.9	0.23	48.9

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก – 3 (ต่อ)

วันที่	ความเข้มข้นของสาหร่ายคลอเรลล่า (เซลล์/มล.)	จำนวนไรแดง (ตัว)	คุณภาพน้ำที่ใช้เพาะเลี้ยงไรแดง						
			pH	DO (mg/l)	COD (mg/l)	BOD (mg/l)	TKN (mg/l)	P (mg/l)	K (mg/l)
3	0	880	7.87	5.53	606	NA	7.9	0.12	45.3
	1×10^4	970	7.44	5.52	610	NA	9.8	0.13	44.9
	1×10^5	1,095	7.36	5.49	621	NA	10.3	0.12	43.0
	1×10^6	1,346	7.55	5.48	645	NA	11.0	0.13	43.8
	1×10^7	1,480	7.59	5.50	655	NA	11.7	0.15	44.5
	1×10^8	1,288	7.54	5.45	668	NA	12.2	0.16	44.6
4	0	1,100	7.36	5.75	510	130	6.0	0.09	40.5
	1×10^4	1,510	6.94	5.82	521	144	7.7	0.10	40.7
	1×10^5	1,785	6.92	5.63	533	147	8.3	0.10	39.6
	1×10^6	1,864	6.98	5.69	559	152	8.9	0.10	38.5
	1×10^7	2,230	7.00	5.72	569	156	9.2	0.13	39.1
	1×10^8	1,940	6.95	5.67	590	167	9.8	0.12	39.5

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก – 3 (ต่อ)

วันที่	ความเข้มข้นของสาหร่ายคลอเรลล่า (เซลล์/มล.)	จำนวนไรแดง (ตัว)	คุณภาพน้ำที่ใช้เพาะเลี้ยงไรแดง						
			pH	DO (mg/l)	COD (mg/l)	BOD (mg/l)	TKN (mg/l)	P (mg/l)	K (mg/l)
5	0	910	7.83	5.84	415	111	5.4	0.07	32.4
	1×10^4	1,322	7.15	5.93	420	120	7.0	0.08	32.2
	1×10^5	1,430	7.10	5.81	439	126	7.5	0.07	31.3
	1×10^6	2,250	7.19	5.82	460	150	8.2	0.08	31.4
	1×10^7	2,660	7.24	5.89	470	152	8.7	0.10	30.6
	1×10^8	1,414	7.19	5.84	475	155	9.1	0.10	30.5
6	0	537	8.13	5.80	336	NA	4.8	0.03	31.2
	1×10^4	975	7.56	5.75	340	NA	6.7	0.06	31.0
	1×10^5	1,026	7.50	5.72	344	NA	6.9	0.04	30.1
	1×10^6	1,777	7.53	5.73	352	NA	7.4	0.04	30.2
	1×10^7	2,149	7.55	5.81	355	NA	7.9	0.05	29.5
	1×10^8	682	7.50	5.76	350	NA	8.5	0.04	29.3

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก – 3 (ต่อ)

วันที่	ความเข้มข้นของสาหร่ายคลอเรลล่า (เซลล์/มล.)	จำนวนไรแดง (ตัว)	คุณภาพน้ำที่ใช้เพาะเลี้ยงไรแดง						
			pH	DO (mg/l)	COD (mg/l)	BOD (mg/l)	TKN (mg/l)	P (mg/l)	K (mg/l)
7	0	325	8.21	5.77	300	NA	2.7	0.02	31.0
	1×10^4	634	7.60	5.77	310	NA	4.8	0.06	30.8
	1×10^5	655	7.59	5.75	310	NA	5.2	0.04	29.9
	1×10^6	996	7.61	5.76	315	NA	5.7	0.03	30.0
	1×10^7	1,111	7.59	5.79	325	NA	5.9	0.03	29.3
	1×10^8	330	7.54	5.74	325	NA	6.3	0.03	29.2
8	0	90	8.26	5.73	265	46	2.3	0.01	31.0
	1×10^4	275	7.60	5.75	285	66	4.5	0.05	30.6
	1×10^5	300	7.62	5.66	288	66	4.8	0.03	29.6
	1×10^6	654	7.64	5.67	288	70	5.3	0.02	29.8
	1×10^7	510	7.62	5.78	300	70	5.7	0.02	29.0
	1×10^8	180	7.57	5.73	305	75	6.1	0.02	29.0

หมายเหตุ : NA หมายถึง ไม่ได้ทำการวิเคราะห์

ตารางที่ ก – 4 จำนวนไรแดงและคุณภาพน้ำที่ใช้เพาะเลี้ยงไรแดงในน้ำกากส่าความเข้มข้นร้อยละ 1 ที่เติมสาหร่ายคลอเรลล่าความเข้มข้นต่าง ๆ ชุดที่ไม่เติมอากาศ

วันที่	ความเข้มข้นของสาหร่ายคลอเรลล่า (เซลล์/มล.)	จำนวนไรแดง (ตัว)	คุณภาพน้ำที่ใช้เพาะเลี้ยงไรแดง						
			pH	DO (mg/l)	COD (mg/l)	BOD (mg/l)	TKN (mg/l)	P (mg/l)	K (mg/l)
1	0	100	5.92	5.14	888	242	11.4	0.21	56.3
	1×10^4	100	5.84	5.11	892	246	11.9	0.24	57.0
	1×10^5	100	5.80	5.09	898	250	12.4	0.26	57.6
	1×10^6	100	5.70	5.05	905	255	13.0	0.28	58.4
	1×10^7	100	5.62	5.00	915	262	13.6	0.32	59.0
	1×10^8	100	5.55	4.95	928	270	14.0	0.35	60.0
2	0	581	6.66	3.20	799	NA	10.0	0.17	52.6
	1×10^4	600	6.26	3.08	805	NA	10.8	0.19	52.0
	1×10^5	615	6.25	3.02	821	NA	11.5	0.20	51.8
	1×10^6	672	6.22	2.95	840	NA	12.1	0.21	52.1
	1×10^7	710	6.22	2.86	864	NA	12.7	0.24	52.5
	1×10^8	666	6.20	2.81	880	NA	13.2	0.26	53.9

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก – 4 (ต่อ)

วันที่	ความเข้มข้นของสาหร่ายคลอเรลล่า (เซลล์/มล.)	จำนวนไรแดง (ตัว)	คุณภาพน้ำที่ใช้เพาะเลี้ยงไรแดง						
			pH	DO (mg/l)	COD (mg/l)	BOD (mg/l)	TKN (mg/l)	P (mg/l)	K (mg/l)
3	0	880	6.84	1.34	675	NA	8.8	0.15	51.8
	1×10^4	935	6.62	1.62	750	NA	10.3	0.17	50.9
	1×10^5	995	6.59	1.58	765	NA	10.9	0.15	48.5
	1×10^6	1,123	6.58	1.53	800	NA	11.5	0.17	49.3
	1×10^7	1,200	6.58	1.50	816	NA	12.3	0.18	50.0
	1×10^8	1,003	6.54	1.45	828	NA	12.8	0.20	50.1
4	0	1,100	6.36	1.22	700	193	7.5	0.13	51.0
	1×10^4	1,200	6.19	1.43	763	196	9.0	0.13	50.2
	1×10^5	1,433	6.15	1.40	780	204	9.6	0.14	47.1
	1×10^6	1,818	6.14	1.42	812	217	10.2	0.14	48.0
	1×10^7	2,037	6.18	1.41	823	228	10.8	0.15	46.6
	1×10^8	976	6.13	1.36	829	234	11.5	0.18	46.9

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก – 4 (ต่อ)

วันที่	ความเข้มข้นของสาหร่ายคลอเรลล่า (เซลล์ / มล.)	จำนวนไรแดง (ตัว)	คุณภาพน้ำที่ใช้เพาะเลี้ยงไรแดง						
			pH	DO (mg/l)	COD (mg/l)	BOD (mg/l)	TKN (mg/l)	P (mg/l)	K (mg/l)
5	0	910	6.41	1.12	698	200	7.0	0.12	50.8
	1×10^4	1,000	6.38	1.37	777	208	8.6	0.11	49.7
	1×10^5	1,176	6.34	1.33	796	217	9.2	0.10	46.8
	1×10^6	1,550	6.26	1.33	825	240	9.7	0.11	47.9
	1×10^7	1,545	6.32	1.32	830	252	10.6	0.11	45.3
	1×10^8	950	6.32	1.27	830	259	11.0	0.13	45.5
6	0	537	6.79	0.93	618	NA	6.6	0.11	50.4
	1×10^4	645	6.70	1.30	710	NA	8.3	0.10	49.4
	1×10^5	876	6.70	1.24	720	NA	8.9	0.09	46.8
	1×10^6	1,250	6.64	1.25	763	NA	9.4	0.09	46.1
	1×10^7	945	6.64	1.27	789	NA	10.4	0.10	45.1
	1×10^8	500	6.68	1.22	801	NA	10.8	0.12	45.4

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก – 4 (ต่อ)

วันที่	ความเข้มข้นของสาหร่ายคลอเรลล่า (เซลล์/มล.)	จำนวนไรแดง (ตัว)	คุณภาพน้ำที่ใช้เพาะเลี้ยงไรแดง						
			pH	DO (mg/l)	COD (mg/l)	BOD (mg/l)	TKN (mg/l)	P (mg/l)	K (mg/l)
7	0	325	6.72	0.74	599	NA	6.3	0.10	50..4
	1×10^4	477	6.62	1.21	670	NA	8.0	0.08	48.5
	1×10^5	541	6.60	1.10	694	NA	8.7	0.08	46.6
	1×10^6	763	6.50	1.14	732	NA	9.1	0.07	45.7
	1×10^7	556	6.54	1.10	760	NA	10.2	0.09	45.0
	1×10^8	132	6.55	1.05	787	NA	10.5	0.10	45.1
8	0	90	6.84	0.66	537	116	6.0	0.10	50.4
	1×10^4	150	6.72	1.08	631	172	7.8	0.08	48.5
	1×10^5	102	6.64	0.98	646	177	8.4	0.07	46.6
	1×10^6	262	6.56	1.01	694	182	8.9	0.07	45.7
	1×10^7	347	6.60	1.03	723	188	9.9	0.08	44.8
	1×10^8	50	6.67	0.98	744	199	10.3	0.08	44.9

หมายเหตุ : NA หมายถึง ไม่ได้ทำการวิเคราะห์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข

ต้นทุนการเพาะเลี้ยงไรแดงแบบเก็บเกี่ยวไม่ต่อเนื่องในบ่อซีเมนต์ขนาด 50 ตารางเมตร

(กองส่งเสริมการประมง, 2551)

ต้นทุนค่าอาหาร

1)	กากผงชูรส ใช้บ่อละ 8 ลิตร ๆ ละ 35 สตางค์	2.80	บาท
2)	ปุ๋ยนา (16 – 20 – 0) ใช้บ่อละ 1.2 กก. ๆ ละ 5 บาท	6.00	บาท
3)	ปุ๋ยยูเรีย (46 – 0 – 0) ใช้บ่อละ 1.2 กก. ๆ ละ 4 บาท	4.80	บาท
4)	ปุ๋ยซุปเปอร์ฟอสเฟต (0 – 4 6 – 0) ใช้บ่อละ 0.1 กก. ๆ ละ 8 บาท	0.80	บาท
5)	ปูนขาว ใช้บ่อละ 1 กก. ๆ ละ 1 บาท	1.00	บาท
6)	กากถั่วเหลือง ใช้บ่อละ 1 กก. ๆ ละ 12 บาท	12.00	บาท
	รวม	27.40	บาท

ต้นทุนค่าไฟฟ้า

1)	เครื่องปั๊มลมใช้มอเตอร์ 10 kw บ่อละ 6 บาทต่อวัน ระยะเวลา 2 วัน	12.00	บาท
2)	เครื่องสูบน้ำขนาด 2 นิ้ว ระยะเวลา 1 ชั่วโมง	2.00	บาท
	รวม	14.00	บาท

ต้นทุนค่าเสื่อมราคาของอุปกรณ์

1)	ค่าเสื่อมราคาบ่อซีเมนต์ 50 ตารางเมตร ราคาก่อสร้างบ่อละ 30,000 บาท		
	คิด 10 % ต่อปี ระยะเวลา 10 วัน	82.19	บาท
2)	ค่าเสื่อมราคาของเครื่องปั๊มลม ราคาเครื่องละ 21,000 บาท		
	คิด 10 % ต่อปี ระยะเวลา 2 วัน	11.50	บาท
3)	ค่าเสื่อมราคาเครื่องสูบน้ำขนาด 2 นิ้ว ราคาเครื่องละ 7,000 บาท		
	คิด 10 % ต่อปี ระยะเวลา 1 วัน	1.92	บาท
4)	ค่าเสื่อมราคาของปั๊มลม ราคาเครื่องละ 28,000 บาท		
	คิด 10 % ต่อปี ระยะเวลา 10 วัน	76.71	บาท
	รวม	172.32	บาท

ต้นทุนค่าแรงงาน

ค่าจ้างคนงานประจำ 3,000 บาทต่อคนต่อเดือน		
ระยะเวลาทำงานเฉลี่ย 10 ชั่วโมง ๆ ละ 17 บาท	170.00	บาท
รวม	170.00	บาท

ดังนั้น ต้นทุนการเพาะเลี้ยงไรแดงต่อกิโลกรัม

= (ค่าอาหาร + ค่าไฟฟ้า + ค่าเสื่อมราคาของอุปกรณ์ + ค่าแรงงาน) / ผลผลิตเฉลี่ยของไรแดง

= 383.72 / 13

= 29.52 บาท

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายธีรศักดิ์ สุนทรา เกิดเมื่อวันที่ 22 มีนาคม พุทธศักราช 2526 ที่กรุงเทพมหานคร จบชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายจากโรงเรียนบางลี่วิทยา อำเภอสองพี่น้อง จังหวัดสุพรรณบุรี เข้าศึกษาในระดับปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต ภาควิชาเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน ในปีการศึกษา 2544 และเข้าศึกษาในระดับปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2548

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย