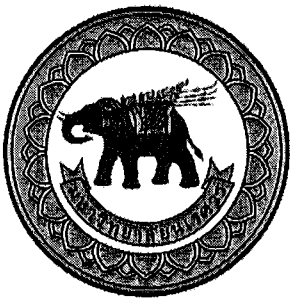
สำนักหอสมุด

อภินันทนาการ



รายงานการวิจัย

เรื่อง

การใช้ *Chlorella* sp. อบแห้งเพื่อการเลี้ยงไรแดง (*Moina macrocopa*)

Powdered Dried *Chlorella* sp. as Food Source for Water Fleas (*Moina macrocopa*) Culture

โดย

ผศ.ดร.ธัชพล การะเกตุ

สำนักหอสมุด มหาวิทยาลัยนเรศวร
วันลงทะเบียน 13 มิ.ย. 2565
เลขทะเบียน 1052967
เลขเรียกหนังสือ ว QL 458 ธ444ร 2563

คณะเกษตรศาสตร์ ทรัพยากรธรรมชาติ และสิ่งแวดล้อม

มหาวิทยาลัยนเรศวร

2563

กิตติกรรมประกาศ

รายงานการวิจัยเรื่อง "การใช้ *Chlorella* sp. อบแห้งเพื่อการเลี้ยงไรแดง (*Moina macrocopa*" ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี โดยได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจาก งบประมาณรายได้ มหาวิทยาลัยนเรศวร ปีงบประมาณ พ.ศ. 2558 ในสาขาเกษตรศาสตร์และชีววิทยา คณะผู้วิจัย ขอขอบคุณคณะเกษตรศาสตร์ ทรัพยากรธรรมชาติ และสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนเรศวาร ที่ให้ความอนุเคราะห์อุปกรณ์ และสถานที่สำหรับการดำเนินการวิจัยจนเสร็จสมบูรณ์

นอกจากนี้ขอขอบคุณ นางสาวดรินทร์ธร อ่ำอิ่ม และนางสาวชลธิชา ระพีพัฒน์ชาญชัย นิสิตสาขาวิชาวิทยาศาสตร์การประมง ชั้นปีที่ 4 สำหรับการช่วยเหลืองานด้านต่างๆ รวมถึงเจ้าหน้าที่ที่เกี่ยวข้องทุกๆ ท่าน ในระหว่างการทำงานวิจัย

ขอขอบคุณ ดร.ภัทรียา พลซา เป็นอย่างยิ่งสำหรับการเรียบเรียง การเขียน และตรวจทานภาษาอังกฤษสำหรับการตีพิมพ์ผลงานวิจัย

ผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่ารายงานการวิจัยเรื่องนี้จะมีประโยชน์ต่อผู้อ่านดังความตั้งใจของผู้เขียน

ธัชพล การะเกตุ

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการใช้สาหร่ายคลอเรลล่าอบแห้งเป็นแหล่งอาหารของไรแดงในการเพาะเลี้ยงแบบมหมวล ซึ่งไรแดงเป็นแหล่งของอาหารที่มีความสำคัญอันดับต้นสำหรับการอนุบาลลูกสัตว์น้ำจืดวัยอ่อน โดยมีการจัดชุดการทดลองแบบ 4 x 5 แฟคทอเรียลในแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อคสมบูรณ์ (รวมทั้งหมด 20 ชุดการทดลอง) ซึ่งศึกษา 2 ปัจจัย คือ (1) ระดับของสาหร่ายคลอเรลล่าอบแห้ง 4 ระดับ (0.05, 0.10, 0.15 และ 0.20 กรัมต่อลิตร) (2) อัตราการปล่อย 5 ระดับ [0.10, 0.15, 0.20, 0.25 และ 0.30 กรัมต่อลิตร (น้ำหนักเปียก)] เปรียบเทียบกับชุดควบคุม โดยมีการเลี้ยงไรแดงด้วยสาหร่ายคลอเรลล่าสดที่อัตราการปล่อย 0.2 กรัมต่อลิตร (น้ำหนักเปียก) และทดลอง 3 ครั้ง ผลการศึกษาพบว่าผลผลิตของไรแดงที่ได้จากการเก็บเกี่ยวครั้งเดียวในวันที่ 2 (จำนวนตัวของไรแดง น้ำหนักเปียกเมื่อเก็บเกี่ยวผลผลิต และอัตราการเพิ่มขึ้นของประชากรไรแดง) มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p<0.001$) แต่ไม่พบความแตกต่างระหว่างคุณค่าทางอาหารของสาหร่ายคลอเรลล่าอบแห้งกับสาหร่ายคลอเรลล่าสด ($p>0.05$) ผลผลิตของไรแดงที่มีค่าสูงสุดนั้นจะมีการเลี้ยงด้วยสาหร่ายคลอเรลล่าอบแห้ง 0.2 กรัมต่อลิตร ที่อัตราการปล่อย 0.2 กรัมต่อลิตร (น้ำหนักเปียก) และมีผลผลิตสูงกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ นอกจากนั้นยังพบอิทธิพลร่วมระหว่างระดับสาหร่ายคลอเรลล่าอบแห้งกับอัตราการปล่อย แต่ไม่พบความแตกต่างของต้นทุนการผลิตระหว่างชุดการทดลอง ผลการทดลองนี้แสดงให้เห็นว่า สามารถใช้คลอเรลล่าอบแห้งเป็นแหล่งอาหารสำหรับเลี้ยงไรแดงแบบมหมวลในสภาวะที่ขาดแคลนคลอเรลล่าสด

คำสำคัญ: ไรแดง สาหร่ายคลอเรลล่าอบแห้ง การเพาะเลี้ยงแบบมหมวล

Abstract

This study was carried out to investigate the performance of powdered dried *Chlorella* sp. as a food source in the mass cultivation of water flea (*Moina macrocopa*) which is the primary important food source for the nursery phase of freshwater fish larvae. Of 4 x5 Factorial experiments in Randomized Complete Block Design (20 treatment combinations) with 2 factors; (1) 4 levels of powdered dried *Chlorella* sp. (PDC; 0.05, 0.10, 0.15 and 0.20 g/L) 2) 5 levels of stocking density of *Moina* [0.10, 0.15, 0.20, 0.25 and 0.30 g/L (wet weight)] were conducted to compare with fresh *Chlorella* sp. (FC) at 0.2 g/L (wet weight) stocking density of *Moina* as a control group for 3 times (replications). Results showed that overall production performances from the batch culture at 2-day harvesting (population density, gross production (wet weight) and rate of population increase) were significantly different among all treatments ($p<0.001$). Nutritional values between PDC and FC were not different ($p>0.05$). The highest production displayed in water flea fed with 0.2 g/L PDC at 0.2 g/L (wet weight) stocking density and was significantly better than water flea raised with FC. Moreover, a highly significant interaction between PDC level and stocking density were found. There was no difference in cost production among treatment combinations. These results revealed that stored PDC could be used as a food source for the mass culture of *M. macrocopa* when lived *Chlorella* sp. is limited or unavailable.

Keywords: water flea; powdered dried *Chlorella* sp.; mass culture

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อ (ภาษาไทย)	ข
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ)	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญภาพ	ช
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1. ที่มาและความสำคัญ	1
1.2. วัตถุประสงค์	2
1.3. ขอบเขตการวิจัย	2
1.4. ทฤษฎี สมมุติฐาน และกรอบแนวความคิดของโครงการวิจัย	3
1.5. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
1.6. สถานที่ และระยะเวลาการวิจัย	3
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1. ไรแดง	4
2.2. คลอเรลล่า (*Chlorella* sp.)	12
2.3. การใช้สาหร่ายอบแห้งสำหรับการเลี้ยงสัตว์น้ำ	17
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย	19
3.1. ตัวแปรที่ใช้ในงานวิจัย	19
3.2. การวางแผนการทดลอง	19
3.3. การเตรียมอุปกรณ์ และสิ่งทดลอง	20
3.4. การดำเนินการทดลอง	21
3.5. การเก็บรวบรวมข้อมูล	22
3.6. วิเคราะห์ข้อมูล	23

สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
บทที่ 4 ผลการศึกษา	24
4.1. ผลผลิตของไรแดง	24
4.2. กราฟการเจริญเติบโตของไรแดง	28
4.3. องค์ประกอบทางเคมีในสาหร่ายคลอเรลล่า	30
4.4. คุณภาพน้ำ	30
4.5 ต้นทุนการผลิต	37
บทที่ 5 บทสรุป	38
5.1. ผลผลิตของไรแดง	38
5.2. กราฟการเจริญเติบโตของไรแดง	39
5.3. องค์ประกอบทางเคมีในสาหร่ายคลอเรลล่า	40
5.4. คุณภาพน้ำ	40
5.5. สรุป	41
บรรณานุกรม	42
ภาคผนวก	47

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2-1	สูตรปุ๋ยสำหรับการเพาะเลี้ยงไรแดงในบ่อดิน	9
3-1	แสดงรายละเอียดของชุดการทดลอง	20
3-2	วิธีการวิเคราะห์องค์ประกอบของโภชนศาสตร์	23
3-3	การเก็บและวิเคราะห์ข้อมูลคุณภาพน้ำ	23
4-1	แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของผลผลิตไรแดง	25
4-2	แสดงผลผลิตของไรแดงจากการเลี้ยง 2 วัน (ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน)	26
4-3	องค์ประกอบทางเคมีในสาหร่ายคลอเรลล่า (% น้ำหนักแห้ง)	30
4-4	แสดงข้อมูลค่าเฉลี่ยอุณหภูมิตลอดการทดลอง (องศาเซลเซียส)	31
4-5	แสดงข้อมูลค่าเฉลี่ยปริมาณออกซิเจนละลายตลอดการทดลอง (มิลลิกรัมต่อลิตร)	32
4-6	แสดงข้อมูลค่าเฉลี่ยค่าความเป็นกรด-ด่างตลอดการทดลอง	34
4-7	แสดงข้อมูลค่าเฉลี่ยปริมาณไนไตรท์ตลอดการทดลอง (มิลลิกรัมต่อลิตร)	35
4-8	แสดงข้อมูลค่าเฉลี่ยปริมาณแอมโมเนียตลอดการทดลอง (มิลลิกรัมต่อลิตร)	36
4-9	ต้นทุนที่ใช้ในแต่ละชุดการทดลอง	37

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
2-1	บ่อซีเมนต์สำหรับเลี้ยงไรแดง	6
2-2	น้ำเขียวสำหรับเลี้ยงไรแดง	8
2-3	กราฟแสดงการเจริญเติบโตของไรแดง	11
2-4	กราฟการเจริญเติบโตของสาหร่ายขนาดเล็ก	14
2-5	เครื่อง spray dryer	17
4-1A	ภาพแสดงจำนวนตัวเฉลี่ยสุดท้ายของไรแดง	27
4-1B	ภาพแสดงผลผลิตเฉลี่ย (น้ำหนักเปียก) ของไรแดง	27
4-1C	ภาพแสดงอัตราการเพิ่มขึ้นของประชากรไรแดง	28
4-2	กราฟการเจริญเติบโตของไรแดงเมื่อใช้แหล่งอาหารแตกต่างกัน	29

บทที่ 1

บทนำ

1.1. ที่มาและความสำคัญ

การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจืด มีการพัฒนามาอย่างต่อเนื่อง และเป็นหนึ่งในธุรกิจสำคัญที่สร้างรายได้ให้กับผู้ประกอบการในหลายๆ ประเทศทั่วโลก โดยเฉพาะในประเทศไทย ดังจะเห็นได้จากข้อมูลสถิติการประมงปี 2559 ปริมาณผลผลิตสัตว์น้ำจากการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจืดมีมากถึง 381,600 ตัน คิดเป็น 43.30% ของผลผลิตในภาคอุตสาหกรรมการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำของไทย และสร้างรายได้ให้กับประเทศเป็นเงิน 23,369.6 ล้านบาท (กรมประมง, 2561) อย่างไรก็ตาม การจัดการกระบวนการเพาะเลี้ยงทั้งระบบ เพื่อนำไปสู่ความสำเร็จนั้นมีขั้นตอนต่างๆ เข้ามาเกี่ยวข้องมากมาย ขั้นตอนหนึ่งที่มีความสำคัญไม่น้อย คือ การอนุบาลลูกสัตว์น้ำวัยอ่อน ให้มีอัตรารอดสูง แข็งแรง ปลอดโรค เมื่อนำไปเลี้ยงแล้วมีการเจริญเติบโตได้ดีและเป็นที่ต้องการของเกษตรกร (ลัดดา, 2543) ในขั้นตอนของการอนุบาลต้องอาศัยปัจจัยสำคัญหลายอย่าง โดยเฉพาะอย่างยิ่ง การจัดหาอาหารสัตว์น้ำวัยอ่อนที่ถูกต้อง มีความหนาแน่นเหมาะสมกับชนิด อายุ และขนาดของลูกสัตว์น้ำที่เพาะเลี้ยง เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและผลกำไรให้กับโรงเพาะฟัก (Mostary *et al*., 2007) ในปัจจุบันนิยมใช้อาหารที่มีชีวิต (live feed) หลากหลายชนิด เพราะให้ผลดีตามความต้องการดังกล่าว

ไรแดง (*Moina macrocopa*) เป็นแพลงก์ตอนสัตว์ขนาดเล็ก มีขนาดประมาณ 0.4-1.8 มิลลิเมตร เป็นสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังในกลุ่ม crustacean (กลุ่มเดียวกับ กุ้ง ปู และแมลงต่างๆ) เป็นอาหารมีชีวิตที่สำคัญและนิยมนำมาใช้เพื่อการอนุบาลลูกสัตว์น้ำจืดและสัตว์น้ำกร่อยบางชนิด เช่น ปลาดุก ปลาแรด ปลากะพงขาว เป็นต้น รามถึงปลาสวยงามอีกหลายชนิด ทำให้เป็นที่ต้องการของตลาด แต่ผลผลิตยังมีไม่เพียงพอกับความต้องการ ในอดีตนิยมเก็บรวบรวมจากแหล่งน้ำธรรมชาติ โรงฆ่าสัตว์ แต่คุณภาพ และปริมาณไม่มีความสม่ำเสมอ อีกทั้งอาจเป็นพาหะนำโรคมาสู่ปลาที่เลี้ยงอีกด้วย ปัจจุบันจึงมีการทดลองเพาะเลี้ยงกันอย่างแพร่หลาย โดยใช้อาหารชนิดต่างๆ เนื่องจากไรแดงมีลักษณะการกินอาหารโดยการกรองกินแบบไม่เลือก (Ivleva, 1973) จึงสามารถกินอาหารที่มีอนุภาคขนาดเล็กได้หลายชนิด อาทิเช่น แบคทีเรีย แพลงก์ตอนพืช สารอินทรีย์ขนาดเล็ก ยีสต์ และโปรโตซัว (Dodson and Frey 2001; Zöllner et al. 2003) แต่ที่มีความเหมาะสมและได้รับความนิยม คือการใช้สาหร่ายขนาดเล็ก *Chlorella* sp. (Malhotra and Langer, 1993; Martimez and Gutierrez, 1991; ลัดดา, 2543) อย่างไรก็ตามการผลิตสาหร่าย *Chlorella* sp. ต้องอาศัยปัจจัยหลายอย่าง และได้ผลผลิตที่ไม่แน่นอนขึ้นอยู่กับสภาพอากาศเป็นปัจจัยสำคัญ เนื่องจาก *Chlorella* sp. เป็นสาหร่ายชนิดหนึ่ง นอกจากต้องการสารอาหารหลัก (N:P:K) เพื่อการเจริญเติบโตแล้ว ต้องอาศัยแสงแดดเป็น

ปัจัยหลักอีกด้วย (Goldman, 1979) ดังนั้น การผลิตสาหร่ายชนิดนี้จึงมีปัญหาในบางช่วงหรือบางฤดูกาลที่แสงแดดน้อยโดยเฉพาะฤดูฝน ส่งผลให้อาหารสำหรับการเลี้ยงไรแดงขาดแคลน ปริมาณไรแดงจึงไม่เพียงพอกับความต้องการของตลาด อย่างไรก็ตามในบางเวลาที่มีแสงแดดมากและยาวนานในรอบวัน การผลิตสาหร่าย *Chlorella* sp. จะมีมากเกินความต้องการและต้องปล่อยทิ้งอย่างเสียเปล่า หากมีการนำมาผลิตเป็นสาหร่ายอบแห้งเก็บไว้ น่าจะสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในอนาคตได้ (Martínez and Chávez, 1994)

1.2. วัตถุประสงค์

1) เพื่อศึกษาหาความเข้มข้นของสาหร่าย *Chlorella* sp. สดที่เหมาะสมกับอัตราการปล่อยพ่อแม่พันธุ์ไรแดงเพื่อให้ได้ผลผลิตสูงสุด

2) เพื่อศึกษาการนำสาหร่าย *Chlorella* sp. อบแห้งเป็นแหล่งอาหารสำหรับการเลี้ยงไรแดงแบบมหมวล

1.3. ขอบเขตการวิจัย

การศึกษาในครั้งนี้แบ่งเป็น 2 การทดลอง คือ 1) การศึกษาหาความเข้มข้นของสาหร่าย *Chlorella* sp. สดที่เหมาะสมกับอัตราการปล่อยพ่อแม่พันธุ์ไรแดง ซึ่งจะมีการจัดการชุดการทดลองเป็นแบบ 4x5 Factorial experiments in RCBD โดยมีปัจจัย 2 ปัจจัย คือ ระดับความหนาแน่นของสาหร่ายคลอเรลล่า 4 ระดับ ได้แก่ $1.5x10^7$, $1.2x10^7$, $9.0x10^6$, $6.0x10^6$ เซลล์ต่อมิลลิลิตร และอัตราการปล่อยของไรแดง 5 ระดับ ได้แก่ 0.10, 0.15, 0.20, 0.25 และ 0.35 กรัมต่อลิตร (น้ำหนักเปียก) รวมเป็น 20 ชุดการทดลอง แล้วทำการทดลอง 3 ครั้ง และ 2) การทดลองใช้สาหร่าย *Chlorella* sp. อบแห้งเป็นแหล่งอาหารสำหรับการเพาะเลี้ยงไรแดง จะมีการจัดการชุดการทดลองเป็นแบบ 4x5 Factorial experiments in RCBD โดยมีปัจจัย 2 ปัจจัย คือ ระดับความเข้มข้นของสาหร่าย *Chlorella* sp. อบแห้งทั้งหมด 4 ระดับ ได้แก่ 0.05, 0.10, 0.15 และ 0.20 กรัมต่อลิตร และอัตราการปล่อยของไรแดงทั้งหมด 5 ระดับ ได้แก่ 0.10, 0.15, 0.20, 0.25 และ 0.30 กรัมต่อลิตร (น้ำหนักเปียก)รวมเป็น 20 ชุดการทดลอง แล้วทำการทดลอง 3 ครั้งเช่นกัน ทั้ง 2 การทดลองจะมีการเพาะเลี้ยงไรแดงแบบมหมวลที่มีการเก็บเกี่ยวแบบครั้งเดียว การเก็บข้อมูลจะมีการนับจำนวนตัวของไรแดงทุกๆ วันตั้งแต่วันแรกที่ปล่อยจนเก็บเกี่ยว เพื่อนำไปประเมินผลผลิต และอัตราการเพิ่มขึ้นของประชากรไรแดง รวมถึงมีการตรวจสอบคุณภาพน้ำ (ค่าออกซิเจนละลาย, ความเป็นกรด-ด่าง, แอมโมเนีย, ไนไตรท์, และอุณหภูมิ) ระหว่างการเลี้ยงทุกวันเช่นกัน

1.4. ทฤษฎี สมมุติฐาน และกรอบแนวความคิดของโครงการวิจัย

การเพาะเลี้ยงไรแดงเพื่อนำมาเป็นอาหารสำหรับการอนุบาลลูกสัตว์น้ำวัยอ่อนจำเป็นต้องใช้สาหร่าย*Chlorella* sp. มาเป็นแหล่งอาหารแต่การผลิตสาหร่ายชนิดนี้ในบางฤดูกาลจะมีปัญหาทำให้ผลิตไม่ได้ แต่ในบางฤดูกาลสามารถผลิตได้มากเกินความจำเป็น ถ้านำมาอบแห้งเก็บไว้ เพื่อใช้เป็นอาหารสำหรับเลี้ยงไรแดงในช่วงที่ไม่สามารถผลิต *Chlorella* sp. สดได้ เนื่องจากไรแดงมีลักษณะการกินอาหารโดยการกรองกินแบบไม่เลือก จึงสามารถกินอาหารที่มีอนุภาคขนาดเล็กได้หลายชนิด อาทิ เช่น แบคทีเรีย แพลงก์ตอนพืช สารอินทรีย์ขนาดเล็ก ยีสต์ และโปรโตซัว ดังนั้น สาหร่าย *Chlorella* sp. อบแห้งที่มีขนาดเล็กมากนี้น่าจะสามารถนำมาใช้เลี้ยงไรแดงได้

1.5. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1) สามารถความเข้มข้นของสาหร่าย *Chlorella* sp. สดที่เหมาะสมกับอัตราการปล่อยพ่อแม่พันธุ์ไรแดง เพื่อเพิ่มผลผลิตของไรแดงในการเพาะเลี้ยงแบบมหมวลได้

2) สามารถนำสาหร่าย *Chlorella* sp. อบแห้ง มาเป็นแหล่งอาหารในการเพาะเลี้ยงไรแดงแบบมหมวลได้

3) สามารถผลิตอาหารทดแทนที่สามารถเก็บไว้ได้ เพื่อใช้เพาะเลี้ยงไรแดงในภาวะการขาดแคลนสาหร่าย *Chlorella* sp. สดได้

4) สามารถผลิตไรแดงได้เพียงพอกับความต้องการแม้ในสภาพอากาศที่ไม่เหมาะสม

1.6. สถานที่ และระยะเวลาการวิจัย

- โรงเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำของสาขาวิทยาศาสตร์การประมง และห้องปฏิบัติการของภาควิชาวิทยาศาสตร์การเกษตร

- ห้องปฏิบัติการโรงงานต้นแบบแปรรูปอาหารของภาควิชาอุตสาหกรรมการเกษตร

ณ คณะเกษตรศาสตร์ ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนเรศวร จังหวัดพิษณุโลก

ตั้งแต่เดือนพฤศจิกายน 2559 ถึง เดือนเมษายน 2560

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1. ไรแดง

2.1.1. ชีววิทยาของไรแดง

ไรแดง มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Moina macrocopa* และมีชื่อสามัญว่า Water flea เป็นสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังในกลุ่ม crustacean (กลุ่มเดียวกับ กุ้ง ปู และแมลงต่างๆ) วีระและคณะ (2528) ได้ศึกษาอนุกรมวิธานของไรแดงและจำแนกตามหมวดหมู่ไว้ดังนี้

Phylum: Arthropoda
Subphylum: Mandibulata
Class: Crustacea
Subclass: Branchiopoda
Order: Phyllopoda
Suborder: Cladocera
Family: Daphnida
Genus: *Moina*
Species: *Moina macrocopa*

จากการศึกษาของ ลัดดาและคณะ (2524) พบว่าไรแดงมีลำตัวเป็นรูปไข่ ส่วนหัวกลมใหญ่ มีตาประกอบ (compound eye) ใหญ่ 1 คู่ มีหนวด 2 คู่ คู่หนึ่งอยู่ทางด้านท้องใต้หัวและอีกคู่หนึ่งอยู่ทางด้านข้างของหัว มีขา 5 คู่แต่ละคู่ทำ หน้าที่ต่างกัน โดยทั่วๆไป ไรแดงจะมีขนาดประมาณ 0.4-1.8 มิลลิเมตร (Brian, 1985) ตัวมีสีแดงเรื่อๆ และถ้าหากอยู่รวมกันมากๆ จะเห็นเป็นกลุ่มสีแดงชัดเจน โดยเฉพาะในน้ำที่มีออกซิเจนละลาย (dissolved oxygen) อยู่น้อยมาก จะมองเห็นสีของไรแดงเข้มมากขึ้น สาเหตุก็เนื่องมาจากสภาพแวดล้อมดังกล่าว จะทำให้ไรแดงผลิตฮีโมโกลบินเพิ่มปริมาณมากขึ้น เพื่อรับออกซิเจน (อมรรัตน์, 2542) วงจรชีวิตของไรแดงมีอายุอยู่ระหว่าง 36-156 ชั่วโมง ในสภาวะแวดล้อมที่เหมาะสมและมีอาหารเพียงพอ ไรแดงจะมีประชากรเพศผู้ 5 เปอร์เซ็นต์ เพศเมีย 95 เปอร์เซ็นต์ ไรแดงเพศเมียจะมีขนาดใหญ่กว่าเพศผู้โดยที่เพศเมียมีลำตัวอ้วนเกือบกลม มีขนาดความกว้างเฉลี่ย 0.96 มิลลิเมตร มีขนาดความยาวเฉลี่ย 1.25 มิลลิเมตร เพศผู้มีขนาดเล็กและค่อนข้างยาวเรียวกว่าเพศเมีย มีขนาดความกว้างเฉลี่ย 0.60 มิลลิเมตร (สันทนา, 2524) ไรแดง มีการสืบพันธุ์ 2 แบบ (วิรัตดา, 2543) คือ

แบบที่ 1 เป็นการสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศ ไรแดงเพศเมียจะไข่แล้วฟักเป็นตัวโดยไม่ต้องผสมกับไรแดงเพศผู้ โดยปกติไรแดงจะมีอายุระหว่าง 4-6 วัน แพร่พันธุ์ได้ 1-5 ครั้ง หรือเฉลี่ย 3 ครั้ง ๆ ละ 19-23 ตัว ตัวอ่อนเจริญเป็นตัวเต็มวัยใช้เวลา 20-28 ชั่วโมง ไรแดง 1 กรัม (น้ำหนักสด) จะมีจำนวนไรแดงเฉลี่ย 4,500 ตัว ทั้งนี้สภาวะแวดล้อมจะต้องเหมาะสม คือ มีอาหารเพียงพอ น้ำมีอุณหภูมิระหว่าง 20-30 องศาเซลเซียส มีออกซิเจนละลาย 5-6 มิลิกรัมต่อลิตร และมีค่าความเป็นกรด-ด่างอยู่ระหว่าง 7-8 (Benider et al., 2002; Malhotra and Langer, 1993; Xi et al., 2005)

แบบที่ 2 เป็นการสืบพันธุ์แบบอาศัยเพศ ในสภาวะแวดล้อมที่ผิดปกติ เช่น อุณหภูมิสูงหรือต่ำเกินไป ความเป็นกรดเป็นด่างไม่เหมาะสมหรือขาดแคลนอาหาร ไรแดงจะเพิ่มปริมาณเพศผู้มากขึ้น แล้วไรแดงเพศเมียจะสร้างไข่ขึ้นอีกชนิดหนึ่ง ซึ่งจะต้องได้รับการผสมพันธุ์จากเพศผู้แล้วสร้างเปลือกหุ้มหนา แม่ 1 ตัว จะให้ไข่ชนิดนี้ 2 ฟอง หลังจากนั้นตัวเมียก็จะตาย เนื่องจากสภาวะแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมนั้น ไข่จะถูกทิ้งให้อยู่ก้นบ่อหรือก้นแหล่งน้ำนั้นๆ ไข่เปลือกแข็งนี้สามารถทนต่อสภาวะแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมได้นาน และจะฟักออกเป็นตัวเมื่อสภาวะแวดล้อมที่ดีขึ้นและมีอาหารที่อุดมสมบูรณ์

2.1.2. การใช้ไรแดงเป็นอาหารสัตว์น้ำ

ไรแดง เป็นอาหารมีชีวิตที่สำคัญเนื่องจากมีคุณค่าทางอาหารสูง คือมีโปรตีน 74.09 %, คาร์โบไฮเดรต 12.50 %, ไขมัน 10.19 %, เถ้า 3.47 % (% น้ำหนักแห้ง) (กรมประมง, 2554) จึงได้รับความนิยมนำมาใช้เพื่อการอนุบาลลูกสัตว์น้ำสวยงามและลูกสัตว์น้ำเศรษฐกิจทั้งน้ำจืดและน้ำกร่อยหลายๆ ชนิด เช่น ปลาดุก (วิรัตดาและวิมล, 2528; สำรวยและประเสริฐ, 2533) ปลาบึก (ภาณุและคณะ, 2531) ปลาหมอช้างเหยียบ (บรรจงและคณะ, 2535) ปลาแรด (สุทัศน์, 2540) ปลานิล (Baldia, 1984) ปลากะพงขาว (Fermin and Bolivar, 1994; Fermin, 2007) กุ้งก้ามกราม (Alam et al., 1993; Das et al., 2007) ปลาสวยงาม เช่น ปลากัด ปลาปลาปอมปาดัวร์ (กรมประมง, 2554) ปลาม้าลาย (พรพรรณ และคณะ, 2547) เป็นต้น

2.1.3. การเพาะเลี้ยงไรแดง

การเพาะเลี้ยงไรแดงสามารถทำได้ทั้งในบ่อซีเมนต์และบ่อดิน แต่การเพาะเลี้ยงในบ่อซีเมนต์จะได้รับความนิยม เพราะสามารถจัดการได้สะดวกกว่า ซึ่งได้รับการพัฒนาเรื่อยมาโดยการนำอาหารชนิดต่างๆ มาเลี้ยงไรแดง เช่น ฟางข้าวต้ม เลือดสัตว์ มูลสัตว์ และน้ำเขียว เป็นต้น ทำให้ปัจจุบันสามารถเพาะเลี้ยงไรแดงได้ 2 แบบ คือ

1) การเพาะเลี้ยงแบบเก็บเกี่ยวไม่ต่อเนื่อง คือ การเพาะไรแดงแบบการเก็บเกี่ยวเพียงครั้งเดียวการเพาะแบบนี้จำ เป็นที่จะต้องมีบ่ออย่างน้อย 5 บ่อ เพื่อใช้ในการหมุนเวียนให้ได้ผลผลิตทุกวัน

การเพาะแบบนี้จะให้ปริมาณไรแดงที่แน่นอนและจำนวนมาก ไม่ต้องคำนึงในด้านศัตรูมากนัก เพราะว่าเป็นการเพาะในช่วงระยะเวลาสั้น ๆ

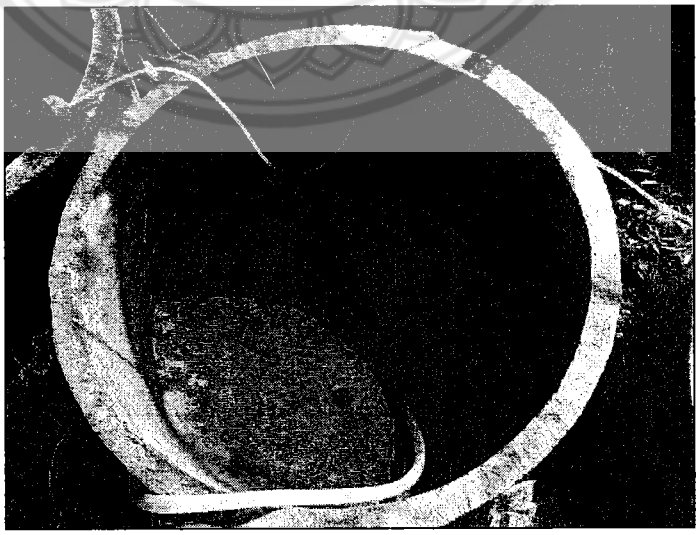
2) การเพาะแบบเก็บเกี่ยวต่อเนื่อง คือ การเพาะไรแดงแบบเก็บเกี่ยวผลผลิตไรแดงหลายวันภายในบ่อเดียวกัน การเพาะแบบนี้ต้องมีบ่ออย่างน้อย 5 บ่อ การเพาะแบบต่อเนื่องจะต้องคำนึงถึงศัตรูของไรแดงและสภาวะแวดล้อมในบ่อเพาะไรแดง เนื่องจากการเติมพวกอินทรีย์สารต่าง ๆ หรือการเติมน้ำเขียวลงในบ่อควรมีการถ่ายน้ำและเพิ่มน้ำสะอาดลงในบ่อ เพื่อเป็นการลดความเป็นพิษของแอมโมเนียและสารพิษอื่น ๆ ที่เกิดขึ้นในบ่อ

ขั้นตอนการเพาะเลี้ยงไรแดง

วิธีการเพาะเลี้ยงไรแดง มี 5 ขั้นตอน ซึ่งแต่ละขั้นตอนในการปฏิบัติจะมีผลต่อปริมาณและระยะเวลาในการเก็บเกี่ยวผลผลิตให้ยาวนานขึ้น ดังต่อไปนี้

1) การเตรียมบ่อผลิต

กรณีบ่อซีเมนต์ใหม่จะต้องล้างบ่อให้อยู่ในสภาพเป็นกลางหรือด่างอ่อน ๆ (7-8) โดยแช่น้ำทิ้งไว้ประมาณ 1-3 สัปดาห์ แล้วระบายน้ำทิ้ง ถ้าต้องการลดระยะเวลาให้หมักฟางหญ้า หรือเศษพืชผักไว้ในบ่อ เช่น หยวกกล้วย เพราะจะเกิด กรดอินทรีย์ ซึ่งจะช่วยแก้ความเป็นด่างได้ หรืออาจใช้กรดน้ำส้มเทียมผสมน้ำแช่ทิ้งไว้ 3-5 วัน แล้วระบายน้ำทิ้ง และเปิดน้ำใหม่แช่ทิ้งไว้อีก 24 ชั่วโมง ส่วนบ่อเก่าต้องล้างทำความสะอาดแล้วตากบ่อให้แห้ง ถ้าใช้บ่อดินในการเลี้ยงจะต้องมีการกำจัดศัตรูของไรแดงให้หมดทุกชนิด อาจใช้สารเคมี หรือ กากชา โล่ติ้น จากธรรมชาติก็ได้



ภาพที่ 2-1 บ่อซีเมนต์สำหรับเลี้ยงไรแดง

2) การเตรียมน้ำ

ควรเลือกใช้น้ำจากแหล่งน้ำธรรมชาติ เพราะจะให้ผลผลิตสูงกว่าการใช้น้ำประปา เพราะมีแร่ธาตุอาหารและแพลงก์ตอนพืชปนมา แต่การระบายน้ำเข้าบ่อต้องผ่านการกรองด้วยผ้าแพลงก์ตอนจะช่วยป้องกันศัตรูไรแดงและคัดขนาดของแพลงก์ตอนพืชที่ติดมากับน้ำและเป็นอาหารไรแดงต่อไป

<u>คุณภาพน้ำบางประการที่เหมาะสมในการเลี้ยงไรแดง</u>

- มีปริมาณออกซิเจนละลายอยู่ในน้ำค่อนข้างต่ำ คือ 1.36-2.45 มก./ล.
- pH อยู่ระหว่าง 7.2-7.8
- ฟอสเฟต 3-8 มก./ล.
- แอมโมเนีย 1-29 มก./ล.
- ซิลิกอน 8-19 มก./ล.
- แคลเซียม 70-150 มก./ล.
- อุณหภูมิที่เหมาะสมในการเลี้ยงไรแดง 26–31 องศาเซลเซียส

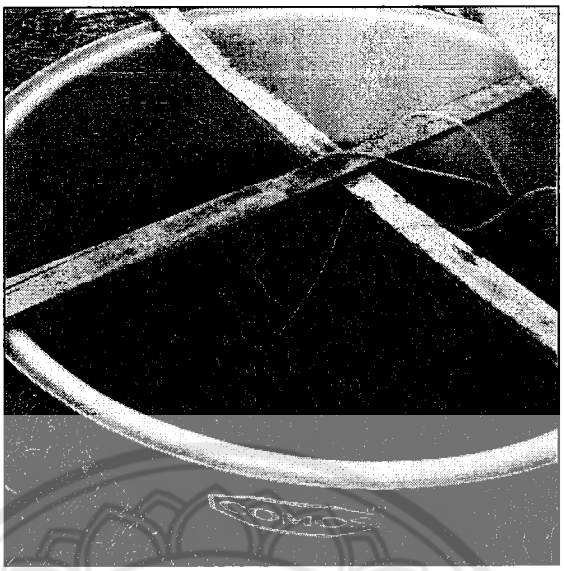
3) การเตรียมอาหาร

อาหารที่ใช้ผลิตไรแดงจะต้องมีคุณค่าทางโภชนาการครบถ้วนทั้งโปรตีน คาร์โบไฮเดรต ไขมัน วิตามินและเกลือแร่ ชนิดของอาหารที่ใช้เพาะเลี้ยงไรแดง แบ่งออกเป็น 3 ประเภท คือ

- อาหารผสม ได้แก่ รำ ละเอียด ปลาป่น และกากถั่วเหลือง โดยเฉพาะกากถั่วเหลืองจะมีกรดไขมันที่เร่งการลอกคราบของไรแดงทำให้ผลผลิตไรแดงสูงขึ้น

- จุลินทรีย์ เป็นอาหารที่ได้จากการหมักอาหารกับน้ำ ได้แก่ ยีสต์และแบคทีเรีย สำหรับยีสต์จะมีวิตามินอี ซึ่งช่วยในการทำงานของระบบสืบพันธุ์

- น้ำเขียว เป็นอาหารอีกชนิดหนึ่งในที่นี้หมายถึงแพลงก์ตอนพืชหลาย ๆ ชนิดที่ไรแดงกินได้ เช่น คลอเรลล่า ซีเนเดสมัส ฯลฯ ซึ่งทำ ให้ไรแดงสมบูรณ์จึงมีผลผลิตที่เพิ่มขึ้น



ภาพที่ 2-2 น้ำเขียวสำหรับเลี้ยงไรแดง

เนื่องจากไรแดงมีลักษณะการกินอาหารโดยการกรองกินแบบไม่เลือก (Ivleva, 1973) จึงสามารถกินอาหารที่มีอนุภาคขนาดเล็กได้หลายชนิด จึงมีการทดลองเพาะเลี้ยงโดยใช้อาหารชนิดต่างๆ อาทิเช่น กากผงชูรส (ภาณุและคณะ, 2532) แบคทีเรีย (สาธิต, 2541; Patil et al., 2010; You and Zeng, 1992) ยีสต์ (Kang et al., 2006) การใช้ peptone กับฟาง (อโณทัย, 2521) น้ำเสียจากชุมชนที่มีการดักตะกอนหนัก (มารศรีและคณะ, 2528) น้ำเสียจากการเกษตรกรรม (Loh et al., 2009) มูลไก่ มูลกระบือ มูลสุกรและมูลวัว (สนิทและพรนภา, 2530) ฟางข้าวหมัก ผักตบชวาหมัก กากถั่วเหลืองและเลือดหมู (อุทัยวรรณ, 2529) น้ำปัสสาวะของคน (Golder et al., 2007) แต่ที่มีความเหมาะสมและได้รับความนิยม คือการใช้สาหร่ายขนาดเล็ก *Chlorella* sp. (Malhotra and Langer, 1993; Martimez and Gutierrez, 1991; ลัดดา, 2543)

<u>ตัวอย่างสูตรปุ๋ยเพื่อใช้ในการสร้างอาหารให้ไรแดง</u>

- สำหรับบ่อซีเมนต์ขนาด 50 ตารางเมตร ใส่น้ำปริมาตร 10 ลูกบาศก์เมตร (ใส่น้ำสูง 20 เซนติเมตร) มีดังนี้

<u>สูตรที่ 1</u> อามิ-อามิ 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.

<u>สูตรที่ 2</u> 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. (อาหารที่ใช้

ควรหมักไว้อย่างน้อย 24 ชั่วโมง อัตราส่วนที่ใช้หมักได้แก่ อาหาร 1 ส่วน : น้ำ 2 ส่วน : ปูนขาว 1 ส่วน)

สูตรที่ 3 อามิ-อามิ 6 ลิตร กากถั่วเหลืองหมัก หรือรำละเอียดหมัก หรือปลาป่นอย่างใดอย่างหนึ่ง 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.

- สำหรับบ่อดิน ใส่น้ำสูง 25-45 เซนติเมตร สามารถเลือกใช้ได้ดังตาราง 1-1

ตาราง 2-1 สูตรปุ๋ยสำหรับการเพาะเลี้ยงไรแดงในบ่อดิน

วัสดุ	บ่อขนาด 200 ตารางเมตร	บ่อขนาด 800 ตารางเมตร
ปูนขาว	15 กก.	60 กก.
อามิ-อามิ	25 ลิตร	100 ลิตร
ปุ๋ยสูตร 16-20-0	2.5 กก.	10 กก.
ยูเรีย	1.2 กก.	5 กก.
กากถั่วเหลืองหมัก	2.5 กก.	10 กก.

หมายเหตุ: สามารถใช้มูลสัตว์แทนอามิ-อามิได้ แต่ควรหมักไว้อย่างน้อย 3 วัน เพื่อให้เกิดน้ำเขียว

4) การเตรียมพันธุ์ไรแดง

การเพาะเลี้ยงไรแดงให้ได้ปริมาณมาก ต้องใช้แม่พันธุ์ที่มีชีวิตสมบูรณ์และแข็งแรง มีวิธีการดำเนินการดังนี้

- การคัดพันธุ์ไรแดง ควรแยกไรแดงออกจากแพลงก์ตอนสัตว์ชนิดอื่น โดยใช้กระชอนอวนมุ้งสีฟ้าขนาดตาเล็กสุด ซึ่งสามารถแยกไรแดงจากโคพีพอด และลูกน้ำได้ แต่ถ้าได้พันธุ์ไรแดงที่ไม่มีแพลงก์ตอนสัตว์ชนิดอื่นปะปนมาจะดีที่สุด

- การสังเกตเพศไรแดง ไรแดงมี 2 เพศ คือ ไรแดงเพศเมียและไรแดงเพศผู้ ในสภาวะเหมาะสมไรแดงจะสร้างเพศผู้เพียง 5% ของประชากรไรแดง แต่ในสภาวะไม่เหมาะสมไรแดงจะสร้างเพศผู้มากขึ้น สำหรับการเลือกแม่พันธุ์หรือหัวเชื้อ โดยสังเกตไรแดงที่มีรูปร่างอ้วนกลมซึ่งมีวิธีการตรวจสอบ คือ ใช้แก้วน้ำใส ๆ แล้วช้อนไรแดงพอประมาณยกขึ้นส่องดู ถ้าพบไรแดงเพศผู้ซึ่งมีลำตัวผมยาวรี แสดงว่ามีไรแดงเพศผู้มากกว่า 5 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งไม่ควรนำไปขยายพันธุ์

- การเติมแม่พันธุ์ไรแดง ไรแดง 1 กิโลกรัมผสมน้ำ 20% จะได้ไรแดง 1 ลิตร ปริมาณที่ใช้เฉลี่ย 30-40 กรัมต่อตารางเมตร บ่อขนาด 50 ตารางเมตร ใช้แม่พันธุ์ไรแดง 2 กิโลกรัม จะได้ผลผลิตประมาณครั้งละ 12 กิโลกรัม ซึ่งเก็บเกี่ยวผลผลิตได้ประมาณวันละ 5 กิโลกรัม

5) การควบคุมบ่อผลิต

การคงสภาพบ่อผลิตให้สามารถเก็บผลผลิตได้มากกว่า 7 วัน มีวิธีการดังนี้

- การเก็บเกี่ยวผลผลิตให้เก็บเกี่ยวเพียงวันละครึ่งหนึ่งของผลผลิตทั้งหมด คือ ครั้งแรกวันที่ 3 หรือ 5 หลังจากเติมแม่พันธุ์ไรแดง

- การเติมอาหาร ให้เติมอาหารหมักแล้ว 10-25% ของครั้งแรกทุกวัน โดยสังเกตปริมาณผลผลิตในบ่อ

- การถ่ายน้ำ หมายถึง การระบายน้ำออกและเติมน้ำเข้าทุก 2-3 วัน ระดับ 5-15 เซนติเมตรโดยสังเกตปริมาณผลผลิตไรแดงในบ่อ

6) การเจริญเติบโตของไรแดง

ไรแดงจะสามารถเจริญเติบโตได้ ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ เช่น อาหาร คุณภาพน้ำ สภาพแวดล้อมต่างๆ โดยเฉพาะถ้ามีอาหารที่เพียงพอต่อความต้องการของไรแดง จะสามารถทำให้ไรแดง เพิ่มจำนวนได้มากอย่างรวดเร็ว จากกราฟการเติบโต (growth curve) โดยที่กราฟการเจริญเติบโตปกติ จะแสดงให้เห็นถึงระยะการเติบโต 5 ระยะด้วยกัน ดังนี้

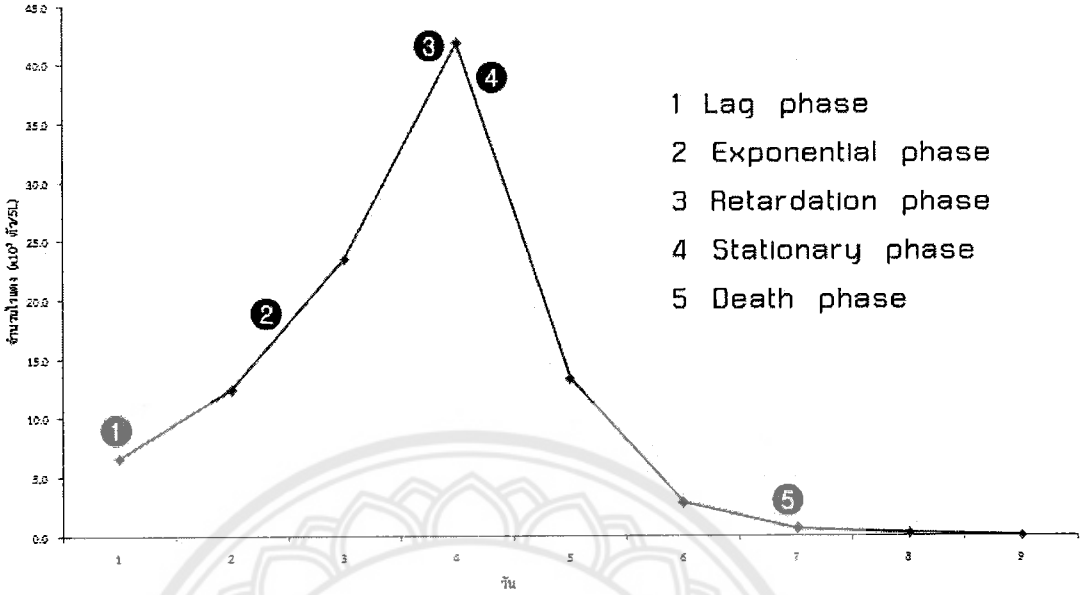
1) ระยะปรับตัว (Lag phase or intuitional phase) ไรแดงอยู่ในช่วงการปรับตัวก่อนเพิ่มจำนวน

2) ระยะเอ็กโพแนนเชียล (Exponential phase) ไรแดงมีการเจริญเติบโตอย่างเต็มที่ จำนวนไรแดงเพิ่มขึ้นแบบ exponential

3) ระยะเฉื่อย (Retardation phase or phase of declining relative growth) การเพิ่มจำนวนช้าลงเมื่อสารอาหารแสง, pH, หรือปัจจัยทางกายภาพและเคมีอื่นๆ เริ่มที่จะจำกัดการเจริญเติบโต

4) ระยะคงที่ (Stationary phase) ปัจจัยด้านสารอาหารมีจำกัด และอัตราการเติบโตเป็น 0 ซึ่งผลในความหนาแน่นไรแดงค่อนข้างคงที่

5) ระยะตาย (Death phase) สารอาหารหมดลง ความหนาแน่นของไรแดงลดลงอย่างรวดเร็วและจำนวนของไรแดงที่มีชีวิตลดลง อัตราการเพิ่มจำนวนน้อยกว่าอัตราการตาย



ภาพที่ 2-3 กราฟแสดงการเจริญเติบโตของไรแดง

2.1.4. การนำไปใช้และเก็บรักษา

การนำไรแดงมาใช้อย่างมีประสิทธิภาพ ไรแดงที่ได้จากบ่อผลิตในลักษณะนี้จะมีเชื้อโรคที่ทำอันตรายกับสัตว์น้ำน้อยกว่าไรแดงที่ได้จากแหล่งน้ำธรรมชาติ แต่เพื่อความมั่นใจจึงควรล้างด้วยสารละลายด่างทับทิม 0.1 กรัม ต่อน้ำ 20 ลิตรสำหรับปริมาณไรแดงที่ใช้ในการอนุบาลสัตว์น้ำวัยอ่อนให้ใช้ในปริมาณ 500-800 กรัม/ลูกปลาจำนวน 100,000 ตัว/วัน โดยแบ่งอาหารให้ 4-5 ครั้ง แต่ละครั้งห่างกัน 4-6 ชั่วโมง ระวังอย่าให้มีลูกไรเหลือลอยอยู่ตลอดเวลา เพราะลูกไรส่วนมากจะตาย หมักหมมอยู่บริเวณพื้นบ่อ

การเก็บรักษาไรแดง สามารถทำได้หลายรูปแบบ ดังนี้

- วิธีการเก็บโดยการแช่แข็ง วิธีนี้สามารถเก็บไว้ได้นานและยังสดอยู่เสมอ ส่วนมากเป็นไรแดงที่ตาย (โดยปกติสัตว์น้ำวัยอ่อนมักชอบกินไรแดงที่ยังมีชีวิตอยู่) ไรแดงที่เก็บโดยวิธีนี้ไม่สามารถนำ ไปใช้เป็นพันธุ์ในการผลิตต่อไป

- วิธีการเก็บในอุณหภูมิต่ำ ประมาณ 10 องศาเซลเซียส โดยเติมน้ำลงไป 50 เปอร์เซ็นต์ จะอยู่ได้นาน 4 วัน ในภาชนะเปิดประมาณวันที่ 3 จะสังเกตเห็นไข่สีขาวขุ่นหรือสีชมพูซึ่งเป็นไข่ไรแดงชนิดที่จะต้องผสมพันธุ์กับเพศผู้ ซึ่งจะถูกสร้างขึ้นเมื่อสภาวะแวดล้อมไม่เหมาะสมนั่นเอง เช่น อุณหภูมิต่ำกว่า15 องศาเซลเซียส ความเป็นกรดเป็นด่างต่ำกว่า 6 หรือสูงกว่า เป็นต้น

2.2. คลอเรลล่า (*Chlorella sp.*)

2.2.1. ชีววิทยาของสาหร่ายคลอเรลล่า

เป็นแพลงก์ตอนพืชชนิดหนึ่ง และจัดให้อยู่ในกลุ่มของสาหร่ายสีเขียวเซลล์เดียวขนาดเล็ก (Microalgae) มีการจัดจำแนกหมวดหมู่ไว้ ดังนี้

Domain: Eukaryota

Kingdom: Protista

Divison: Chlorophyta

Class: Trebouxiophyceae

Order: Chlorellales

Family: Chlorellaceae

Genus: *Chlorella*

Specie: *Chlorella vulgaris* (Safi et al., 2014)

เซลล์มีลักษณะเป็นทรงกลมขนาด 2.5-3.5 ไมครอน มีการสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศ โดยการแบ่งเซลล์ เมื่อมีจำนวนมาก จะมองเห็นน้ำเป็นสีเขียวตองอ่อน มักนิยมเรียกว่า "น้ำเขียว"

คลอเรลล่ามีคุณค่าทางโภชนาการสูง ประกอบด้วย โปรตีน 42-58 เปอร์เซ็นต์ ไขมัน 5-40 เปอร์เซ็นต์ คาร์โบไฮเดรต 12-55 เปอร์เซ็นต์ ใยอาหาร 0.2 เปอร์เซ็นต์ วิตามินประมาณ 400 มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม เกลือแร่ประมาณ 6 กรัม ต่อ 100 กรัม สารคลอโรฟิลล์ 1-2 เปอร์เซ็นต์ สารแคโรทีนอยด์ประมาณ 0.4 เปอร์เซ็นต์ สารเบต้าแคโรทีนสูงถึง 12 มิลลิกรัม ต่อ 1 กรัม และสารแอสต้าแซนทิน 550 มิลลิกรัม ต่อ 1 กรัม (วิเคราะห์จากน้ำหนักแห้ง) (Sharma et al., 2012; Safi et al., 2014) จึงเหมาะเป็นอาหารที่ดีของ ไรแดง โรติเฟอร์ และ อาร์ทีเมีย ซึ่งแพลงก์ตอนสัตว์เหล่านี้นิยมใช้เป็นอาหารสาหรับอนุบาลสัตว์น้าวัยอ่อน นอกจากนี้ในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำที่มีคลอเรลล่าอยู่ด้วยจะช่วยรักษาระบบนิเวศน์บ่อเลี้ยงโดยสามารถลดปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส คาร์บอนไดออกไซด์ โลหะหนัก และสารพิษต่างๆ ได้หลายชนิด (Safi et al., 2014) ช่วยให้คุณภาพน้ำดีขึ้น และส่งผลให้มีห่วงโซ่อาหารของสัตว์น้ำที่สมดุลทำให้สัตว์น้ำแข็งแรงและมีอัตรารอดสูง

2.2.2. การเพาะเลี้ยง

สาหร่ายที่เพาะเลี้ยงเจริญอยู่ในอาหาร มีหลายลักษณะดังนี้

- Unialgal culture: สาหร่ายที่เพาะเลี้ยงมีชนิดเดียว (แต่อาจมีแบคทีเรียปนเปื้อน)

- Axenic culture: สาหร่ายที่เพาะเลี้ยงมีชนิดเดียว ไม่มีสิ่งมีชีวิตอื่นปะปน (ปลอดแบคทีเรีย) ซึ่งอาจเจริญมาจากหลายเซลล์ซึ่งเป็นชนิดเดียวกัน

- Monoxenic culture: สาหร่ายที่เพาะเลี้ยงมีสิ่งมีชีวิตอื่นอีก 1 ชนิด ปะปนอยู่ด้วย

- Pure culture: สาหร่ายที่เพาะเลี้ยงมีชนิดเดียว (ปลอดแบคทีเรีย) ประกอบด้วยกลุ่มเซลล์ที่เจริญมาจากเซลล์เพียง เซลล์เดียว นับเป็น genetic purity

- Stock culture: การเพาะเลี้ยงสาหร่ายที่ทราบชนิด เพาะเอาไว้เพื่อใช้ในการศึกษาทดลองหรือการนำไปใช้ประโยชน์

ตัวอย่าง ขั้นตอนการเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Chlorella* sp. ในน้ำปริมาตร 1,000 ลิตร

(1) เตรียมบ่อ (ควรเป็นบ่อบริเวณกลางแจ้งที่มีแสง อุณหภูมิเหมาะสมและสามารถรับแสงอาทิตย์ได้ดี) โดยการล้างทำความสะอาด และฆ่าเชื้อโรค ตากแดดทิ้งไว้ 1-2 วัน

(2) เติมน้ำสะอาดที่ผ่านการฆ่าเชื้อโรคแล้ว ผ่านถุงกรองลงในบ่อที่เตรียมไว้

(3) เติมอาหารหรือปุ๋ยลงในน้ำที่เตรียมไว้ ควรละลายน้ำก่อนใส่ลงไป

ตัวอย่างสูตรอาหาร สำหรับน้ำ 1,000 ลิตร

- ปุ๋ยยูเรีย (46-0-0)	200 กรัม
- ไดแอมโมเนียมฟอสเฟต (18-46-0)	30 กรัม
- ปูนขาว	200 กรัม
- กากผงชูรส (อามิ-อามิ)	800 มิลลิลิตร

(4) เติมหัวเชื้อสาหร่าย *Chlorella* sp. ประมาณ 20% ของปริมาตรน้ำ

(5) ใส่หัวทรายให้อากาศหรือใช้เครื่องตีน้ำ ถ้าไม่มีอาจต้องใช้การคนน้ำช่วยอย่างน้อยวันละ 2 ครั้ง เช้า-เย็นเพื่อให้น้ำมีการหมุนเวียน เป็นการช่วยให้ปุ๋ยที่อาจตกตะกอนฟุ้งกระจาย และยังทำให้สาหร่ายไม่ตกตะกอน ช่วยให้ได้รับแสงโดยทั่วถึงกัน เลี้ยงไว้ 4-7 วัน น้ำจะมีสีเขียวเข้ม สามารถนำไปใช้ประโยชน์ต่อไปได้

2.2.3. การเจริญเติบโตของสาหร่าย

ระยะต่าง ๆ ของการเจริญเติบโตของสาหร่ายมีประโยชน์ในการตรวจสอบประสิทธิภาพการเลี้ยงสามารถแบ่งออกได้ 5 ระยะ ดังนี้

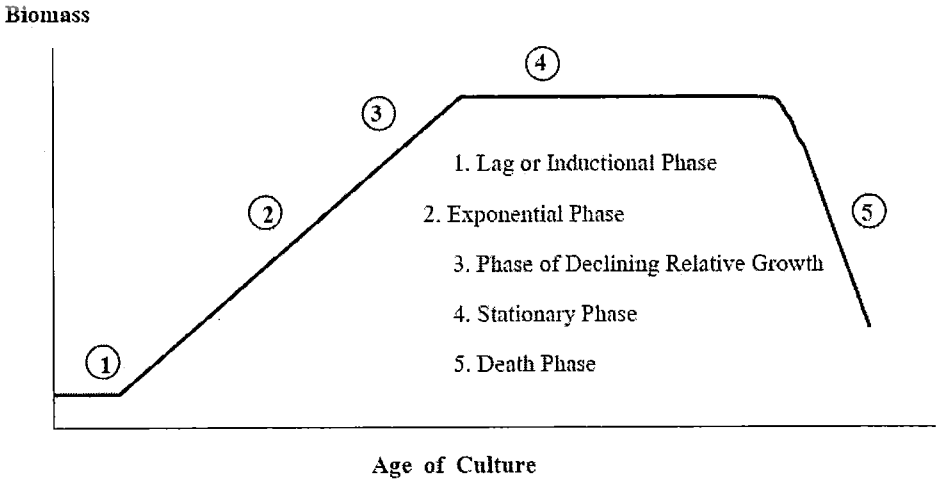
1) ระยะปรับตัว (Lag or Inductional Phase) เป็นระยะที่เซลล์ปรับตัวให้เข้ากับสิ่งแวดล้อมใหม่ เช่น แสง อุณหภูมิ และธาตุอาหาร ฯลฯ ระยะนี้สาหร่ายไม่มีการแบ่งเซลล์ ดังนั้น เซลล์ที่ไม่สามารถปรับตัวได้จะตายลงการที่สาหร่ายจะผ่านระยะปรับตัวนี้เร็วมากหรือน้อย ขึ้นอยู่กับความแข็งแรงของเซลล์ และความอุดมสมบูรณ์ของอาหารที่เลี้ยงถ้าสภาพทั้งสองอย่างเหมาะสมจะเข้าสู่ระยะที่ 2 เร็วขึ้น

2) ระยะเอ็กซ์โพเนนเชียล (Exponential or Log Phase) เป็นระยะที่สาหร่ายเจริญเติบโตและแพร่ขยายพันธุ์อย่างรวดเร็ว ระยะนี้จะนานเท่าใดขึ้นอยู่กับปริมาณสารอาหาร และสมบัติทางฟิสิกส์ เคมี ของสิ่งแวดล้อม เช่น อุณหภูมิ ความเข้มแสง ช่วงแสงสว่าง รวมทั้งผลผลิตนอกเซลล์ของสาหร่าย สภาวะรวมของสิ่งแวดล้อม ลักษณะการเจริญเติบโตในระยะนี้เป็นแบบที่รวดเร็วในระยะแรกและจะค่อย ๆ ช้าลงตามลำดับ เป็นระยะที่เหมาะสมสำหรับการเก็บเกี่ยว หรือใช้เป็นหัวเชื้อในการขยายเพิ่มปริมาณต่อไปได้ดีที่สุด

3) ระยะเฉื่อย (Phase of Declining Relative Growth) เป็นช่วงที่เซลล์มีการเจริญเติบโตช้าลง เพราะขาดแคลนอาหาร เช่น ไนโตรเจน เหล็ก คาร์บอน หรือออกซิเจน เนื่องจากปริมาณเซลล์เกิดหนาแน่นเกินไป การเสียสมดุลของค่าพีเอช เพราะเกิดแอมโมเนียขึ้นมาก หรือแสงสว่างลดลงเนื่องจากเซลล์เกิดการบังกันเอง (auto-shading) วิธีแก้ไขให้การเจริญเติบโตเพิ่มขึ้นเป็นปกติ ทำได้โดยเติมธาตุอาหารที่ขาดแคลน ถ้ามีการตกตะกอนของเฟอร์ริคฟอสเฟต อาจแก้ไขได้โดยการเติมสารคีเลเตอร์ เช่น เกลือได-โซเดียมอีดีทีเอ ลงไปละลายตะกอนเหล็ก ส่วนการป้องกันการขาดแคลนคาร์บอนและออกซิเจนทำได้โดยการเขย่าภาชนะตลอดเวลาหรือการใช้การพ่นอากาศ ซึ่งนอกจากจะเพิ่มคาร์บอนและออกซิเจน แล้วยังช่วยให้เกิดการผสมผสานของมวลน้ำในภาชนะเลี้ยง ทำให้เซลล์สาหร่ายได้รับแสงสว่างโดยทั่วถึงอีกด้วย

4) ระยะคงที่ (Stationary Phase) เป็นระยะที่การเจริญเติบโตของสาหร่ายหยุดนิ่ง เนื่องจากธาตุอาหารลดน้อยลงและเกิดสารพิษจากกระบวนการเมตาบอลิซึมหรือการสลายตัวของเซลล์เพิ่มมากขึ้น

5) ระยะตาย (Death Phase) เป็นระยะที่เซลล์หยุดการเจริญเติบโตโดยสิ้นเชิง เนื่องจากธาตุอาหารหมดลง เซลล์จะเริ่มตายและการตายจะเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ และรวดเร็วขึ้น



ภาพที่ 2-4 กราฟการเจริญเติบโตของสาหร่ายขนาดเล็ก (ลัดดา, 2544)

ปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของสาหร่าย

เนื่องจากสาหร่ายเป็นสิ่งมีชีวิตที่คล้ายกับพืชชั้นสูง จึงมีความจำเป็นที่จะต้องอาศัยปัจจัยต่างๆ คล้ายกับพืช เพื่อใช้ในการเพิ่มจำนวน และสำหรับการเจริญเติบโต ดังนี้

- ธาตุอาหาร มีทั้งธาตุอาหารหลักและรอง ซึ่งใช้ประกอบเป็นโครงสร้างสาหร่าย ธาตุอาหารหลัก ได้แก่ คาร์บอน ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โปแตสเซียม แคลเซียม (มีสัดส่วน N:P ประมาณ 6:1) ธาตุอาหารรอง ใช้น้อยสร้างเอนไซม์ ช่วยให้สาหร่ายโตดีขึ้นได้แก่สารอนินทรีย์ เช่น เหล็ก แมงกานีส สังกะสี ทองแดง โคบอลท์ โบรอน และ สารอินทรีย์ ได้แก่ คาร์โบไฮเดรต เกลืออซิเตท ไวตามิน B1 B12 B รวม

- แสงสว่าง เพื่อใช้ในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงเช่นเดียวกับพืช ถ้าไม่มีแหล่งกำเนิดแสง สาหร่ายก็ไม่สามารถเพิ่มจำนวนและเจริญเติบโตได้ โดยควรมีความเข้มอยู่ในช่วง 2,000-5,000 Lux และควรมีช่วงเวลาที่ได้รับแสงต่อเนื่องไม่น้อยกว่า 12 ชั่วโมงต่อวัน

- อุณหภูมิ ควรอยู่ในช่วง 25-30 องสาเซลเซียส ถ้าต่ำกว่านี้สาหร่ายจะเจริญเติบโตได้ช้าและไม่ดี แต่หากสูงเกินไปจะทำให้สาหร่ายตายได้

- สภาพความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) ควรอยู่ในช่วง 6.5-8.0 ซึ่งเป็นสภาพที่เหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโต

- ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ถ้าการเพาะเลี้ยงสาหร่ายในปริมาณมากๆ และหนาแน่น หรือใช้เวลาการเลี้ยงยาวนาน โดยเฉพาะในช่วงระยะเวลาขยายหัวเชื้อ ต้องมีการเติมก๊าซชนิดนี้ลงไปแทนการให้อากาศตามปกติ เพราะสาหร่ายต้องใช้ในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง ถ้าไม่มีการเติมลงไปอาจทำให้สาหร่ายเจริญเติบโตได้ช้าหรือไม่เจริญเติบโตเลย

2.2.4. การทำสาหร่ายอบแห้ง

การทำสาหร่ายอบแห้งประกอบด้วยขั้นตอนต่างๆ ดังต่อไปนี้

1) การตกตะกอนสาหร่าย

ประโยชน์ของการตกตะกอนเพื่อความสะดวกในการเตรียมหัวเชื้อเข้มข้นที่จะใช้เพาะขยายพันธุ์ในปริมาณมากหรือเพื่อการเก็บเกี่ยว โดยสามารถลดปริมาตรน้ำ และทำให้มีความเข้มข้นมากขึ้น

1.1) การ centrifugation ด้วยเครื่อง วิธีการนี้จะทำได้ในปริมาณที่น้อย และเสียเวลาค่อนข้างมาก

1.2) การตกตะกอนโดยการเพิ่มอุณหภูมิในบ่อเลี้ยงให้สูงขึ้น โดยเฉพาะช่วงตอนกลางวัน สาหร่ายจะใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในการสังเคราะห์แสง ทำให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์น้อยลง และ pH ของน้ำจะเพิ่มขึ้นเป็น 9.5 ก็จะทำให้สาหร่ายตกตะกอนตามธรรมชาติได้โดยไม่ใช้สารเคมี แต่วิธีนี้จะใช้ในบ่อเลี้ยงที่มีความสูงไม่เกิน 2 ฟุต

1.3) การใช้สารเคมีได้หลายชนิด เช่น

- สารส้ม สามารถตกตะได้ดีในน้ำที่มีความเป็นกรดเป็นด่างระหว่าง 5-7 ปริมาณในการใช้ขึ้นกับคุณสมบัติของน้ำ โดยเฉพาะค่าความเป็นด่าง ถ้ามีค่าต่ำ จำเป็นต้องมีการเติมด่างช่วยในการตกตะกอนด้วย

- โซดาไฟ หรือ โซเดียมไฮดรอกไซด์ สามารถตกตะกอนได้ที่ความเป็นกรดเป็นด่างเท่ากับ 11 โดยสามารถทำให้ *Chlorella* sp. ตกตะกอนได้มากกว่า 90%

- ไคโตซาน มีประสิทธิภาพดีที่ ความเป็นกรดเป็นด่างเท่ากับ 7 โดยสามารถทำให้ *Chlorella* sp. ตกตะกอนได้มากกว่า 90% เช่นเดียวกัน

- สารโพลีอลูมิเนียมคลอไรด์ หรือ PAC (Al_2 OH_n Cl_{6n}) เกลืออลูมิเนียมชนิดโพลีอนินทรีย์ ซึ่งเป็นสารประเภทใช้เร่งตกตะกอนทำให้ตะกอนเกาะตัวเป็นก้อน จะใช้งานเหมือนสารส้มแต่จะใช้ปริมาณ PAC น้อยกว่า (ปริมาณสาร 200 กรัม ต่อน้ำเขียวขนาด 1,000 ลิตร) คนให้ทั่ว ทิ้งไว้ 1 คืน (ประมาณ 12-15 ชั่วโมง) *Chlorella* sp. ที่ตกตะกอนมากรองด้วยผ้ากรองแพลงก์ตอนขนาดช่องตา 69 ไมโครเมตร ปล่อยทิ้งไว้จนหมาด แล้วเก็บในตู้แช่เย็นสามารถเก็บรักษา *Chlorella* sp. เข้มข้นและนำไปใช้ขยายพันธุ์ต่อไปได้เป็นเวลานานถึง 1 เดือน

2) การการแยกน้ำออกจากสาหร่ายก่อนการทำแห้ง

เป็นการนำแยกน้ำออกจากตะกอนของสาหร่ายให้ได้มากที่สุด เพื่อความสะดวกในการนำไปทำแห้ง สามารถทำได้คือ

2.1) การใช้เครื่องปั่นเหวี่ยง ปั่นจนสาหร่ายตกตะกอน และเทน้ำใสๆ ออก

2.2) วิธีการกรองด้วยกระดาษกรอง แต่จะต้องใช้เวลามาก

2.3) การให้ความร้อน และอุ่นกลายเป็นไอน้ำระเหยไป

3) การทำแห้ง

เมื่อแยกน้ำออกจากตะกอนของสาหร่ายได้มากพอควร ขั้นตอนสุดท้ายคือการทำแห้ง เพื่อการเก็บรักษา ดังนี้

3.1) การใช้เครื่อง drum drying ให้ประสิทธิภาพสูง และใช้เวลารวดเร็ว

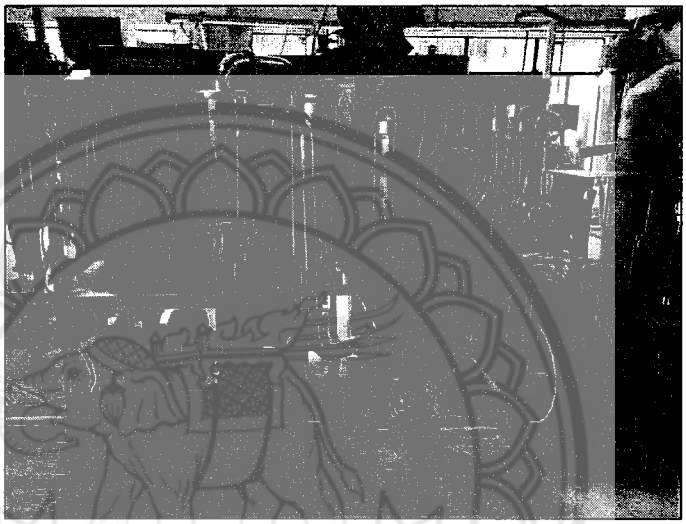
3.2) การตากแดด (sun drying) ซึ่งเป็นวิธีทางธรรมชาติโดยอาศัยแสงแดด และความร้อนจากดวงอาทิตย์

3.3) การให้ความร้อน ทำให้น้ำระเหยออกจากสาหร่ายจะได้สาหร่ายที่แห้งออกมา

3.4) การใช้เครื่อง spray dry เป็นอีกวิธีหนึ่งที่จะช่วยลดระยะเวลาในการทำสาหร่ายอบแห้ง

การทำแห้งแบบพ่นฝอยเป็นเทคนิคที่ใช้เพื่อระเหยน้ำออกจากของเหลวอย่างรวดเร็วโดยอากาศร้อน กระบวนการนี้ประกอบไปด้วยการพ่นของเหลว (feed) ออกมาจนเป็นละอองขนาดเล็กเข้าผสมกับอากาศร้อนที่ไหลผ่านอย่างรวดเร็ว ทำให้น้ำที่อยู่ในละอองของเหลวระเหยไปทั้งหมด และ

ได้ผลิตภัณฑ์ที่อยู่ในรูปของผงแห้ง สำหรับกระบวนการทำแห้งให้กับ feed นั้น จะเริ่มทำตั้งแต่ใส่ feed ลงในเครื่องแล้วรอจน feed มีความชื้นในระดับที่เหมาะสมต่อการฉีดให้ออกมาเป็นละออง จากนั้นจึงแยกผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทำแห้งออกมา สำหรับตัวอย่างของเหลวที่นำมาทำแห้งนั้น สามารถใช้ได้ทั้งที่เป็น ตัวทำละลาย สารประเภท emulsion หรือสารแขวนลอยก็ได้ ส่วนเครื่องมือที่ใช้สำหรับกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอยคือเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย (Spray Dryer)



ภาพที่ 2-5 เครื่อง spray dryer

การทำงานของเครื่อง Spray Dryer

การทำงานของเครื่อง Spray Dryer เริ่มจาก อากาศจะถูกดูดผ่านตัวกรองและผ่านตัวให้ความร้อน จากนั้นจึงเข้าสู่ห้องอบแห้ง (drying chamber) ส่วนตัวอย่างของเหลว (feed) ที่นำมาฉีดควรมีลักษณะเหลว และไม่ข้นมาก จากนั้นของเหลวจะถูกดูดโดยปั๊มผ่านอุปกรณ์ที่ทำให้เกิดละอองฝอยคือ atomizer ภายในห้องอบ เมื่อละอองสัมผัสกับอากาศร้อนจะทำให้เกิดการระเหยของน้ำอย่างรวดเร็ว และจะได้ผงของผลิตภัณฑ์ตกลงสู่ด้านล่างของ drying chamber ผงบางส่วนที่หลุดออกมากับอากาศจะถูกแยกโดยใช้ cyclone ซึ่งจะรวมเข้าเป็นผลิตภัณฑ์รวมในที่สุด

2.3. การใช้สาหร่ายอบแห้งสำหรับการเลี้ยงสัตว์น้ำ

การอนุบาลลูกหอยสองฝาหลายชนิด เช่น หอยเชลล์ หอยนางรม สามารถใช้สาหร่ายขนาดเล็กอบแห้ง มาเป็นอาหารได้ โดยการใช้ทดแทนสาหร่ายสดบางส่วน ยังคงทำให้อัตราการเจริญเติบโตและอัตราการรอดตายใกล้เคียงกับการให้สาหร่ายสดเพียงอย่างเดียว แต่ควรมีการศึกษาวิธีการผลิต

และการเก็บสาหร่ายอบแห้ง เพื่อรักษาคุณค่าทางอาหารให้ใกล้เคียงกับสาหร่ายสดให้ได้มากที่สุด (Aji, 2011; Southgate et al., 1998)

Biedenbach et al. (1990) ศึกษาพบว่าสามารถใช้สาหร่าย *Tetraselmis suecica* อบแห้งร่วมกับสาหร่ายแบบสด โดยสามารถทดแทนสาหร่ายสดได้ถึง 75% ในช่วงของการอนุบาลลูกกุ้งขาว โดยไม่มีผลต่ออัตราการรอดตาย อัตราการเกิด metamorphosis หรืออัตราการเจริญเติบโต

Dobberfuhl and Elser (1999) สามารถนำสาหร่าย *Scenedesmus acutus* อบแห้งไปเลี้ยงไรน้ำจืด (*Daphnia magna*) ได้โดยให้อัตราการเจริญเติบโตไม่แตกต่างกับการใช้สาหร่ายสด ถึงแม้ว่าคุณค่าทางอาหารของสาหร่ายอบแห้งจะต่ำกว่าสาหร่ายสดก็ตาม แต่ยังคงให้คำแนะนำว่าควรศึกษาเทคนิคที่เหมาะสมในการผลิตสาหร่ายอบแห้งเพื่อการนำไปใช้ในขั้นตอนของการผลิตแบบมหมวล

Hirayama and Nakamura (1976) เปรียบเทียบการเลี้ยงไรน้ำกร่อย (*Brachionus plicatilis*) ด้วยอาหาร 3 ชนิด คือ 1) สาหร่าย *Chlorella* sp. แบบสด 2) สาหร่าย *Chlorella* sp. แบบอบแห้ง และยีสต์ขนมปัง พบว่าการเลี้ยงด้วยสาหร่าย *Chlorella* sp. แบบสด ให้ผลผลิตสูงที่สุด รองลงมาคือ สาหร่าย *Chlorella* sp. แบบอบแห้ง และยีสต์ขนมปัง ตามลำดับ เช่นเดียวกับผลการทดลองของ Mostary et al. (2010) ซึ่งแสดงให้เห็นว่า การใช้สาหร่าย *Chlorella* sp. แบบอบแห้งสำหรับการเลี้ยงแพลงก์ตอนสัตว์นั้น สามารถทดแทนการใช้สาหร่าย *Chlorella* sp. แบบสดในช่วงที่ขาดแคลนได้

Khatun et al. (2014) ทดลองเลี้ยงไรน้ำกร่อย (*Brachionus calyciflorus*) ด้วยอาหารผสม 4 สูตร คือ สาหร่าย *Chlorella* sp. สด (สูตร 1), สาหร่าย *Chlorella* sp. สดร่วมกับยีสต์ (สูตร 2), สาหร่าย *Chlorella* sp. สดและอบแห้ง (สูตร 3) และ สาหร่าย *Chlorella* sp. อบแห้งร่วมกับยีสต์ (สูตร 4) พบว่าการใช้สาหร่าย *Chlorella* sp. อบแห้งร่วมกับสาหร่ายสด สามารถใช้เลี้ยงไรน้ำกร่อยได้ ถึงแม้ว่าจะให้ผลผลิตได้ไม่ดีเท่ากับการใช้สาหร่าย *Chlorella* sp. สดร่วมกับยีสต์ก็ตาม

Mostary et al. (2007) ศึกษาพบว่า การใช้สาหร่าย *Chlorella* sp. แบบอบแห้ง สามารถเลี้ยงไรน้ำกร่อย (*Brachionus angularis*) ได้ ถึงแม้จะให้ผลผลิตที่ต่ำกว่าการใช้สาหร่าย *Chlorella* sp. แบบสด แต่ก็ให้ผลผลิตสูงกว่าการใช้ยีสต์ขนมปังอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

บทที่ 3

วิธีการดำเนินการวิจัย

การศึกษาในครั้งนี้เป็นการทดสอบความเป็นไปได้ในการใช้สาหร่ายคลอเรลล่าอบแห้งมาใช้เป็นอาหารของไรแดงในการเลี้ยงไรแดงแบบมหมวล พร้อมทั้งศึกษาระดับที่เหมาะสมสำหรับการนำไปใช้ และศึกษากราฟการเจริญเติบโตเปรียบเทียบกับการใช้สาหร่ายคลอเรลล่าสด โดยมีขั้นตอนการทดลองต่างๆ ดังต่อไปนี้

3.1. ตัวแปรที่ใช้ในงานวิจัย

1) ตัวแปรต้น: ปริมาณสาหร่ายคลอเรลล่าอบแห้ง และอัตราการปล่อยไรแดง

2) ตัวแปรตาม: จำนวนตัว และน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นของไรแดง

3) ตัวแปรควบคุม: สถานที่การทดลอง, ปริมาณน้ำ

3.2. การวางแผนการทดลอง

แบ่งการศึกษาเป็น 2 ส่วน ดังนี้

3.2.1. การศึกษาความเป็นไปได้ของการนำสาหร่ายคลอเรลล่าอบแห้งมาเป็นแหล่งอาหารของไรแดง และศึกษาระดับที่เหมาะสมสำหรับการนำไปใช้ในรูปแบบของการเพาะเลี้ยงแบบมหมวล โดยมีการจัดชุดการทดลองเป็นแบบ 4x5 Factorial experiments in randomized complete block design (RCBD) ซึ่งมีการศึกษา 2 ปัจจัย คือ

(1) ปริมาณของสาหร่ายคลอเรลล่าอบแห้งซึ่งแทนสัญลักษณ์ด้วย C มีทั้งหมด 4 ระดับ ได้แก่ 0.05, 0.10, 0.15 และ 0.20 กรัมต่อลิตร ตามลำดับ

(2) อัตราการปล่อยของไรแดงซึ่งแทนสัญลักษณ์ด้วย M มีทั้งหมด 5 ระดับ ได้แก่ 0.10, 0.15, 0.20, 0.25 และ 0.30 กรัมต่อลิตร (น้ำหนักเปียก) ตามลำดับ

โดยมีชุดการทดทองทั้งหมด 20 ชุด (treatment combinations) ทำการทดลองเปรียบเทียบกับชุดการทดลองควบคุม คือ การเลี้ยงไรแดงด้วยสาหร่ายคลอเรลล่าสด ทำการทดลอง 3 ครั้ง ซึ่งมีรายละเอียดของชุดการทดลอง ดังตารางที่ 3-1

3.2.2. การศึกษากราฟการเจริญเติบโตของไรแดงที่ใช้สาหร่ายคลอเรลล่าสด และสาหร่ายคลอเรลล่าอบแห้งเป็นแหล่งอาหารในรูปแบบของการเพาะเลี้ยงแบบมหมวล โดยการสร้างกราฟการเจริญเติบโตของไรแดงเมื่อใช้แหล่งอาหารเป็นสาหร่ายคลอเรลล่าสด ซึ่งใช้อัตราการปล่อยตาม

คำแนะนำของกรมประมง และเมื่อใช้สาหร่ายคลอเรลล่าอบแห้งในระดับที่เหมาะสมที่สุดจากการทดลองที่ 3.2.1.

ตารางที่ 3-1 แสดงรายละเอียดของชุดการทดลอง

ชุดการทดลองที่	สัญลักษณ์	ปริมาณของคลอเรลล่าอบแห้ง (กรัม/ลิตร)	อัตราการปล่อยไรแดง (กรัม/ลิตร) (น้ำหนักเปียก)
1	control	-	0.02
2	c1m1	0.05	0.10
3	c1m2	0.05	0.15
4	c1m3	0.05	0.20
5	c1m4	0.05	0.25
6	c1m5	0.05	0.30
7	c2m1	0.10	0.10
8	c2m2	0.10	0.15
9	c2m3	0.10	0.20
10	c2m4	0.10	0.25
11	c2m5	0.10	0.30
12	c3m1	0.15	0.10
13	c3m2	0.15	0.15
14	c3m3	0.15	0.20
15	c3m4	0.15	0.25
16	c3m5	0.15	0.30
17	c4m1	0.20	0.10
18	c4m2	0.20	0.15
19	c4m3	0.20	0.20
20	c4m4	0.20	0.25
21	c4m5	0.20	0.30

3.3. การเตรียมอุปกรณ์ และสิ่งทดลอง

3.3.1. การเพาะเลี้ยงสาหร่ายคลอเรลล่า

- ล้างทำความสะอาดถังพลาสติกขนาด 600 ลิตร จำนวน 2 ใบ เติมน้ำสะอาดถังละ 500 ลิตร ถังพลาสติกขนาด 280 ลิตร เติมน้ำสะอาดถังละ 250 ลิตร จำนวน 2 ใบ โหลแก้วขนาด 10 ลิตร จำนวน 5 ใบ เติมน้ำสะอาดโหลละ 7 ลิตรและติดตั้งอุปกรณ์ให้อากาศ

- เตรียมอาหาร (ปุ๋ย) สำหรับเพาะสาหร่ายคลอเรลล่า โดยมีส่วนประกอบ คือ

ปุ๋ยยูเรีย ($CO(NH_2)_2$	0.30 กรัม/ลิตร
ปุ๋ยนาสูตร 16-20-0	0.15 กรัม/ลิตร
รำละเอียด	0.50 กรัม/ลิตร
ปูนขาว	0.09 กรัม/ลิตร

- นำหัวเชื้อสาหร่ายคลอเรลล่าจากศูนย์วิจัยและพัฒนาประมงน้ำจืดกาญจนบุรี หมู่ 1 ต.ม่วงชุม อ.ท่าม่วง จ.กาญจนบุรี มาเพาะเลี้ยงขยายเพิ่มปริมาณในโหลแก้ว และขยายต่อเพื่อเพิ่มปริมาณในถังพลาสติก จึงนำไปใช้ต่อไป (สัดส่วนในการขยายเพิ่มปริมาณคือ น้ำสะอาด 9 ส่วน ผสมกับหัวเชื้อสาหร่าย 1 ส่วน)

3.3.2. การเพาะเลี้ยงไรแดง จะนำพ่อแม่พันธุ์ไรแดงจากศูนย์วิจัยและพัฒนาประมงน้ำจืดกำแพงเพชร มาเพาะเลี้ยง และขยายปริมาณในถังพลาสติกขนาด 280 ลิตร ที่มีน้ำเขียว (สาหร่ายคลอเรลล่า) เตรียมไว้

3.3.3. การเตรียมสาหร่ายคลอเรลล่าอบแห้ง มีวิธีการดังนี้

- นำน้ำเขียว (สาหร่ายคลอเรลล่า) ที่เพาะขยายปริมาณในถังพลาสติกขนาด 280 ลิตร มาตกตะกอน โดยการเติม Poly aluminium chloride (PAC) ที่ความเข้มข้น 250 ppm ทิ้งไว้ประมาณ 30 นาทีหรือจนกว่าจะแยกชั้น แล้วจึงดูดส่วนใสด้านบนทิ้ง

- นำเฉพาะส่วนของสาหร่ายที่มีสีเขียวเข้มไปทำแห้งโดยใช้เครื่อง spray dryer ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส และนำสาหร่ายอบแห้งที่ได้บรรจุใส่ถุงเก็บรักษาไว้ในตู้เย็นที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส

3.4. การดำเนินการทดลอง

3.4.1. ล้างทำความสะอาดโหลแก้วขนาด 10 ลิตร จำนวน 22 ใบ เติมน้ำสะอาด 5 ลิตร จำนวน 20 ใบส่วนอีก 2 ใบ เติมน้ำเขียวที่ได้จากข้อ 3.3.1. ในปริมาณ 5 ลิตร และติดตั้งอุปกรณ์ให้อากาศ

3.4.2. สำหรับโหลที่มีน้ำสะอาด เติมสาหร่ายคลอเรลล่าอบแห้ง และปล่อยพ่อแม่พันธุ์ไรแดงตามชุดการทดลองในตาราง 1 (ชุดการทดลองที่ 2-21) พร้อมกับเติมอาหารวันละ 1 ครั้ง จนกว่าจะเก็บเกี่ยว ส่วนโหลที่มีน้ำเขียว (ชุดการทดลองควบคุม) ใส่เฉพาะไรแดง แต่ไม่มีการเติมน้ำเขียวเพิ่มเติมจนกว่าจะเก็บเกี่ยวเช่นกัน

หมายเหตุ การนำพ่อแม่พันธุ์ไรแดงมาเติมนั้น จะใช้ไรแดงที่มีการเพาะขยายไว้ในถังพลาสติกในข้อ 3.3.2. โดยใช้สวิงตักขึ้นมาทิ้งไว้ 2 นาที แล้วชั่งน้ำหนักเปียกก่อนนำไปใช้

3.4.3. เก็บเกี่ยวไรแดงทุกชุดการทดลองในวันที่ 3 ของการเลี้ยง เนื่องด้วยการเลี้ยงไรแดงด้วยสาหร่ายคลอเรลล่าสด ไรแดงจะมีปริมาณสูงที่สุดในวันดังกล่าว เพื่อให้สามารถเปรียบเทียบกันได้

3.5. การเก็บรวบรวมข้อมูล

ในระหว่างการเพาะเลี้ยงจะมีการเก็บข้อมูลต่างๆ ดังต่อไปนี้

3.5.1. จำนวนตัวของไรแดง

โดยการสุ่มนับจำนวนตัวของไรแดงในทุกชุดการทดลอง โหลละ 3 ซ้ำ ทุกๆ วัน ในช่วงเวลาเดียวกัน แล้วนำมาคำนวณหา อัตราการเพิ่มขึ้นของประชากรไรแดง (Rate of population increase, *r*) ตามสูตรคือ

$$r = \frac{(lnN_t - lnN_o)}{t}$$

เมื่อ N_o คือ จำนวนไรแดงเริ่มต้น

N_t คือ จำนวนไรแดงสุดท้าย

t คือ จำนวนวันที่เพาะเลี้ยง

3.5.2. ผลผลิตของไรแดง (กรัม/ลิตร)

เมื่อเก็บเกี่ยวไรแดงในวันที่ 3 โดยใช้ถุงกรองขนาด 25 ไมครอน ล้างทำความสะอาดให้สะเด็ดน้ำ 2 นาที ชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งทศนิยม 2 ตำแหน่ง บันทึกผล

3.5.3. การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีในสาหร่ายคลอเรลล่า

นำสาหร่ายคลอเรลล่าสดกรองด้วยกระดาษกรอง แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส และสาหร่ายคลอเรลล่าที่อบแห้งด้วยเครื่อง spray dryer ไปวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนศาสตร์ โดยทำการวิเคราะห์ โปรตีน ไขมัน เถ้า ความชื้น และเยื่อใย ตามวิธีการของ AOAC (2000) (วิธีการแสดงดังตาราง 3-2) และคาร์โบไฮเดรตคำนวณจาก % NFE = 100 - % Ash - % Fiber - % Protein - % Lipid

3.5.4. คุณภาพน้ำ

ระหว่างการเพาะเลี้ยงไรแดง ทำการตรวจวัดคุณภาพน้ำในช่วงเช้า เวลา 8.00 น. และช่วงเย็นเวลา 16.00 น. โดยมีพารามิเตอร์ และวิธีการแสดงดังตารางที่ 3-3

บทที่ 4

ผลการศึกษา

4.1. ผลผลิตของไรแดง

การทดสอบการเลี้ยงเบื้องต้นในครั้งแรก พบว่าไรแดงที่เลี้ยงด้วยสาหร่ายคลอเรลล่าอบแห้งเริ่มพบการตายในวันที่สามในทุกชุดการทดลอง ส่วนการเลี้ยงด้วยสาหร่ายคลอเรลล่าสดไม่พบตัวตาย ดังนั้นเพื่อให้สามารถเปรียบเทียบผลผลิตกันได้ จึงเก็บเกี่ยวไรแดงจากทุกชุดการทดลองในวันที่ 2 ซึ่งจะพบว่า ผลผลิตของไรแดง ทั้งจำนวนตัว (population density) น้ำหนักเปียกเมื่อเก็บเกี่ยว (net production) และอัตราการเพิ่มขึ้นของประชากรไรแดง (rate of population increase; *r*) จากการเลี้ยงด้วยสาหร่ายคลอเรลล่าอบแห้ง (powdered dried *Chlorella*; PDC) มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p<0.001$) กับการเลี้ยงด้วยสาหร่ายคลอเรลล่าสด (fresh *Chlorella*) เมื่อพิจารณาเฉพาะผลผลิตของไรแดงที่ได้จากการเพาะเลี้ยงด้วยสาหร่ายคลอเรลล่าอบแห้งที่ระดับต่างๆ กัน (PDC) จะพบความแตกต่างกันทางสถิติ ($p<0.05$) และพบความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p<0.001$) ของผลผลิตไรแดงเมื่อมีอัตราการปล่อยพ่อแม่พันธุ์ในระดับที่แตกต่างกัน (SDM) นอกจากนั้นยังพบอิทธิพลร่วมกันระหว่างระดับของอาหาร (สาหร่ายคลอเรลล่าอบแห้ง) กับอัตราการปล่อยพ่อแม่พันธุ์ไรแดงอย่างชัดเจน (PDC x SDM) (ตารางที่ 4-1)

เมื่อนำค่าเฉลี่ยของผลผลิตของไรแดงที่เก็บเกี่ยวได้จากแต่ละชุดการทดลองมาทดสอบทางสถิติจะพบว่าค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p<0.05$) โดยที่การใช้สาหร่ายคลอเรลล่าอบแห้ง 0.2 กรัมต่อลิตร และมีการปล่อยพ่อแม่พันธุ์ไรแดง 0.2 กรัมต่อลิตร (น้ำหนักเปียก) หรือจำนวนตัวเท่ากับ 2,800 ตัวต่อลิตร จะให้ผลผลิตสูงที่สุด โดยพบจำนวนตัวเฉลี่ยเท่ากับ 5450.67±113.16 ตัวต่อลิตร (ภาพที่ 4-1A) น้ำหนักเปียกเมื่อเก็บเกี่ยวเฉลี่ยเท่ากับ 0.385±0.008 กรัมต่อลิตร (ภาพที่ 4-1B) และอัตราการเพิ่มขึ้นของประชากรไรแดงเฉลี่ยเท่ากับ 0.333±0.010 ตัวต่อวัน (ภาพที่ 4-1C) และมีค่าสูงกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) สำหรับชุดการทดลองที่ให้ผลผลิตต่ำที่สุด คือ การปล่อยพ่อแม่พันธุ์ไรแดง 0.1 กรัมต่อลิตร (น้ำหนักเปียก) หรือจำนวนตัวเท่ากับ 1,400 ตัวต่อลิตร ร่วมกับการใช้สาหร่ายคลอเรลล่าอบแห้ง 0.05 กรัมต่อลิตร (ตารางที่ 4-2)

25
1052769
สำนักหอสมุด
13 มิ.ย. 2565

ตารางที่ 4-1 แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของผลผลิตไรแดง

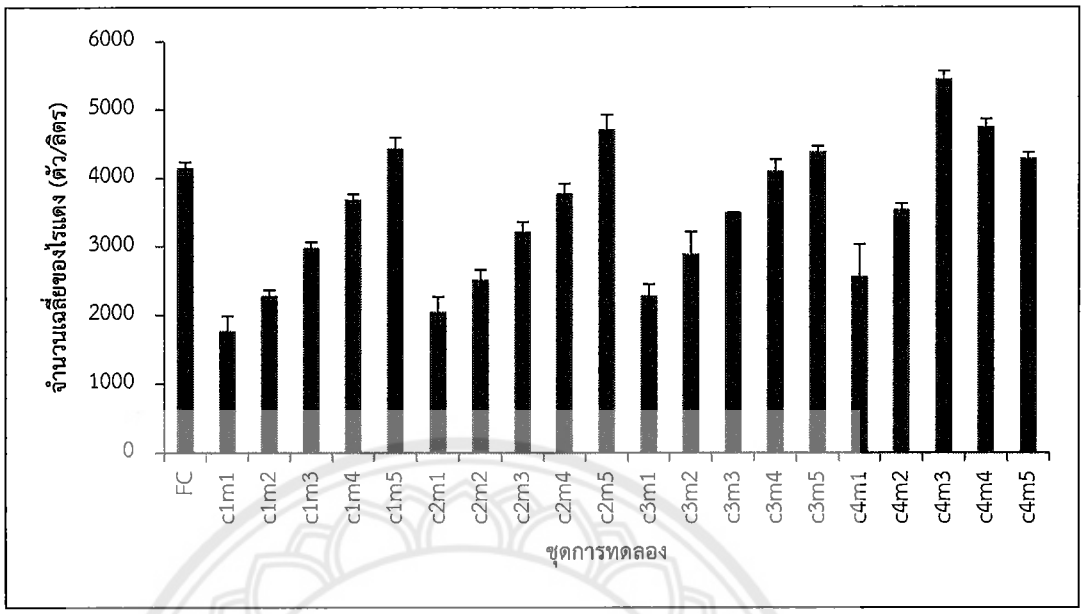
SOV	df	SS	MS	*F*-value	*p*-value
Population density (จำนวนไรแดง)					
Block	2	327591	163796	4.666	0.0151*
Treatment	20	61841816	3092091	88.079	<0.0000***
Trt: FC vs PDC	1	255602	255602	7.281	0.0102*
Trt: PDC	3	9256281	3085427	87.890	<0.0000***
Trt: SDM	4	9970210	2492553	71.001	<0.0000***
Trt: PDC x SDM	12	42359722	3529977	100.553	<0.0000***
Error	40	1404230	35106		
Net production (น้ำหนักเปียก)					
Block	2	0.0012	0.000596	3.137	0.0542
Treatment	20	0.3351	0.016757	88.167	<0.0000***
Trt: FC vs PDC	1	0.0011	0.001072	5.639	0.0225*
Trt: PDC	3	0.0507	0.016897	88.907	<0.0000***
Trt: SDM	4	0.0618	0.015449	81.289	<0.0000***
Trt: PDC x SDM	12	0.2216	0.018464	97.153	<0.0000***
Error	40	0.0076	0.000190		
Rate of population increase (อัตราการเพิ่มขึ้นของไรแดง)					
Block	2	0.0149	0.00747	5.532	0.0076**
Treatment	20	0.5756	0.02878	21.307	<0.0000***
Trt: FC vs PDC	1	0.0218	0.02178	16.128	0.00025***
Trt: PDC	3	0.1317	0.04390	32.504	<0.0000***
Trt: SDM	4	0.1809	0.04523	33.488	<0.0000***
Trt: PDC x SDM	12	0.2412	0.02010	14.879	<0.0000***
Error	40	0.0540	0.00135		

* FC = fresh *Chlorella* sp. (สาหร่ายคลอเรลล่าสด), PDC = powdered dried *Chlorella* sp. (สาหร่ายคลอเรลล่าอบแห้ง), SDM = stocking density of *Moina* (อัตราการปล่อยไรแดง)

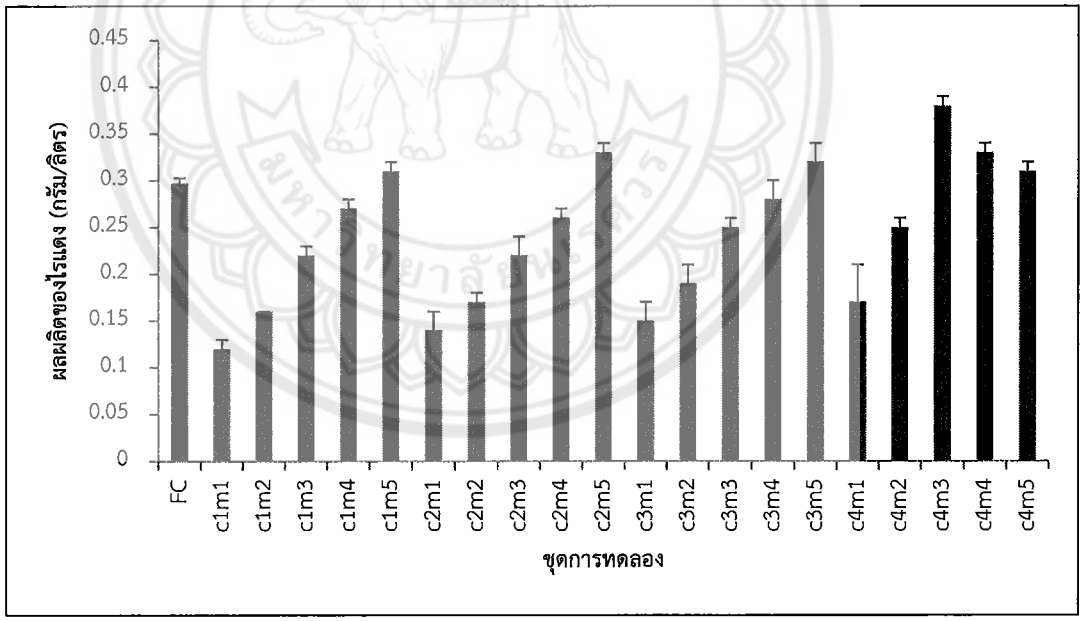
ตารางที่ 4-2 แสดงผลผลิตของไรแดงจากการเลี้ยง 2 วัน (ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน)

ตัวแปร	ชุดควบคุม	อัตราการปล่อยไรแดง	ปริมาณของสาหร่ายคลอเรลล่าอบแห้ง (กรัม/ลิตร)			
		(กรัม/ลิตร)	0.05	0.10	0.15	0.20
จำนวนไรแดง	4153.33±80.83^{d}	0.10	1773.33±213.85^{l}	2053.33±213.85^{kl}	2286.67±161.66^{jk}	2566.67±646.63^{ij}
(ตัว/ลิตร)		0.15	2286.67±80.83^{jk}	2520.00±140.00^{j}	2893.33±323.32^{hi}	3546.67±80.83^{fg}
		0.20	2986.67±80.83^{h}	3220.00±140.00^{gh}	3500.00±0.00^{fg}	5450.67±113.16^{a}
		0.25	3686.67±80.83^{f}	3780.00±140.00^{ef}	4106.67±161.66^{de}	4750.67±113.16^{b}
		0.30	4433.33±161.66^{bcd}	4713.33±213.85^{bc}	4386.67±80.83^{cd}	4303.33±63.51^{d}
น้ำหนักเปียก	0.297±0.006^{de}	0.10	0.123±0.012^{l}	0.137±0.021^{kl}	0.153±0.015^{jk}	0.167±0.040^{j}
เมื่อเก็บเกี่ยว		0.15	0.160±0.000^{j}	0.173±0.006^{ij}	0.193±0.023^{i}	0.247±0.015^{g}
(กรัม/ลิตร)		0.20	0.217±0.006^{h}	0.223±0.015^{h}	0.247±0.006^{g}	0.385±0.008^{a}
		0.25	0.267±0.006^{fg}	0.263±0.006^{fg}	0.283±0.015^{ef}	0.335±0.008^{b}
		0.30	0.313±0.006^{bcd}	0.330±0.010^{b}	0.323±0.015^{bc}	0.307±0.006^{cd}
อัตราการเพิ่มขึ้น	0.197±0.001^{cd}	0.10	0.116±0.061^{ef}	0.190±0.053^{cd}	0.244±0.036^{bc}	0.291±0.139^{ab}
(ตัว/วัน)		0.15	0.042±0.018^{ghi}	0.091±0.028^{fg}	0.158±0.058^{de}	0.262±0.012^{b}
		0.20	0.032±0.014^{ghi}	0.070±0.022^{fghi}	0.112±0.000^{ef}	0.333±0.010^{a}
		0.25	0.026±0.010^{hi}	0.038±0.019^{ghi}	0.080±0.019^{fgh}	0.153±0.012^{de}
		0.30	0.027±0.018^{hi}	0.057±0.023^{fghi}	0.021±0.009^{hi}	0.012±0.007^{i}

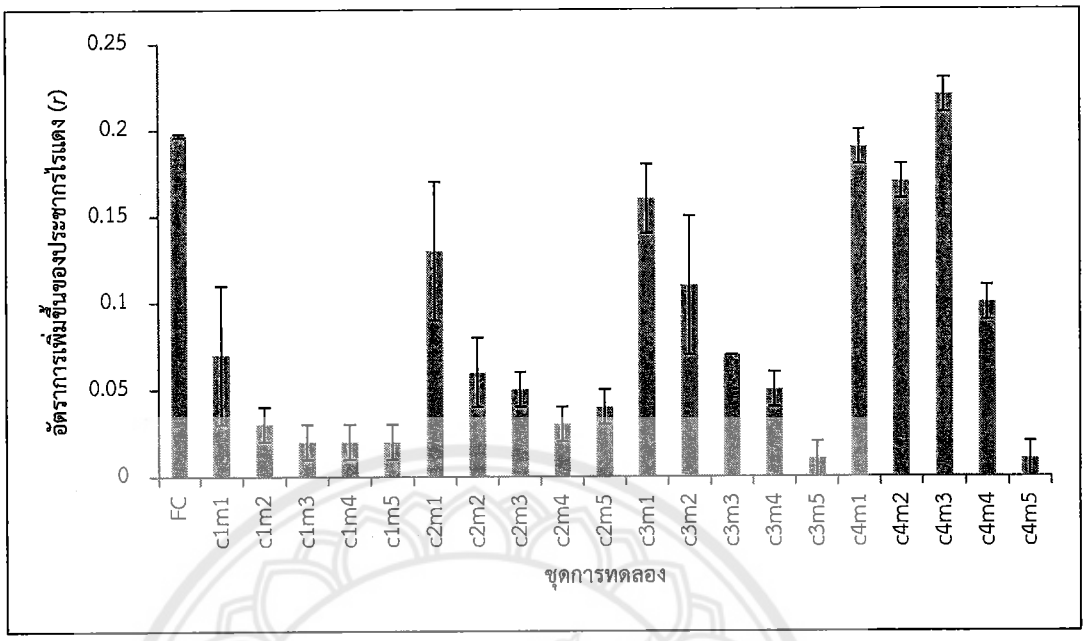
* ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแต่ละกลุ่มของตัวแปรแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ระหว่างชุดการทดลอง (Treatment combination)



ภาพที่ 4-1A ภาพแสดงจำนวนตัวเฉลี่ยสุดท้ายของไรแดง



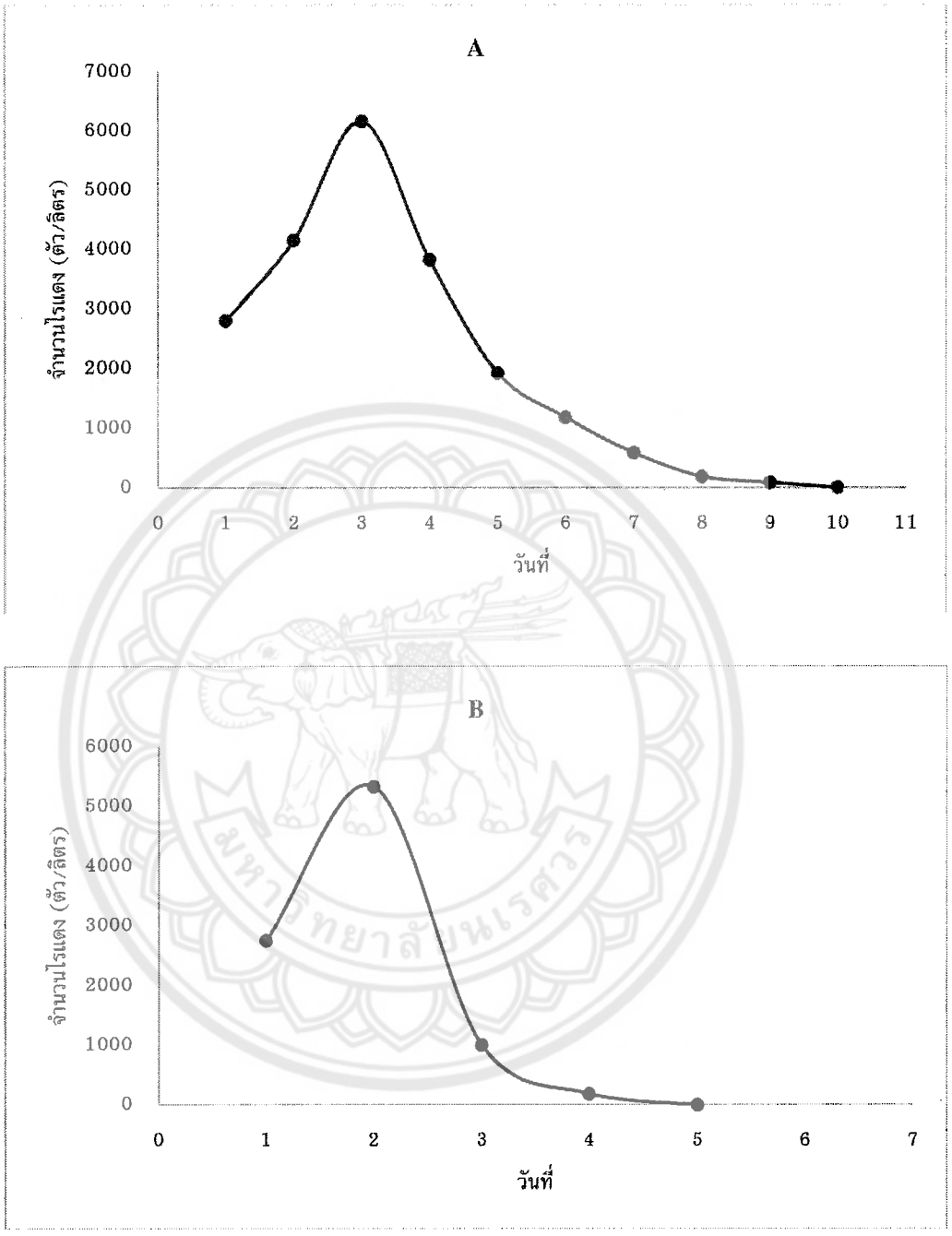
ภาพที่ 4-1B ภาพแสดงผลผลิตเฉลี่ย (น้ำหนักเปียก) ของไรแดง



ภาพที่ 4-1C ภาพแสดงอัตราการเพิ่มขึ้นของประชากรไรแดง

4.2. กราฟการเจริญเติบโตของไรแดง

จากผลการทดลองในข้อ 4.1. ได้นำชุดการทดลองที่ให้ผลผลิตของไรแดงสูงสุด (การใช้สาหร่ายคลอเรลล่าอบแห้ง 0.2 กรัมต่อลิตร และมีการปล่อยพ่อแม่พันธุ์ไรแดง 0.2 กรัมต่อลิตร (น้ำหนักเปียก)) มาสร้างกราฟการเจริญเติบโต เพื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม (การเพาะเลี้ยงไรแดงด้วยน้ำเขียวหรือสาหร่ายคลอเรลล่าสด) จะแสดงให้เห็นว่า กราฟการเจริญเติบโตของการเพาะเลี้ยงไรแดงด้วยสาหร่ายคลอเรลล่าสด จำนวนของไรแดงจะเพิ่มสูงสุดในวันที่ 3 ของการเลี้ยง โดยมีจำนวนเฉลี่ยประมาณ 5,600 ตัวต่อลิตร (รูปที่ 4-1A) แต่การเพาะเลี้ยงโดยใช้สาหร่ายคลอเรลล่าอบแห้งจะใช้เวลาเพียง 2 วันเท่านั้น โดยมีจำนวนเฉลี่ยประมาณ 5,600 ตัวต่อลิตร (รูปที่ 4-1B)



รูปที่ 4-2 กราฟการเจริญเติบโตของไรแดงเมื่อใช้แหล่งอาหารแตกต่างกัน A) สาหร่ายคลอเรลล่าสด B) สาหร่ายคลอเรลล่าอบแห้ง

4.3. องค์ประกอบทางเคมีในสาหร่ายคลอเรลล่า

ค่าองค์ประกอบทางเคมีของสาหร่ายคลอเรลล่าทั้งที่ผ่านการอบด้วยความร้อน (สาหร่ายคลอเรลล่าสด) และที่ผ่านเครื่อง spray dry (สาหร่ายคลอเรลล่าอบแห้ง) ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) โดยโปรตีนมีค่าอยู่ระหว่าง 42-58 % ไขมันมีค่า 10-22 % และคาร์โบไฮเดรตมีค่า 12-17 % (ตารางที่ 4-3)

ตารางที่ 4-3 องค์ประกอบทางเคมีในสาหร่ายคลอเรลล่า (% น้ำหนักแห้ง)

องค์ประกอบ	สาหร่ายคลอเรลล่าสด	สาหร่ายคลอเรลล่าอบแห้ง
โปรตีน	44.74 ± 3.34	43.46 ± 2.35
ความชื้น	9.34 ± 0.23	8.26 ± 1.77
ไขมัน	11.40 ± 0.99	13.44 ± 1.39
เยื่อใย	5.68 ± 0.29	6.08 ± 0.11
เถ้า	25.53 ± 0.81	26.24 ± 0.05
ความชื้น	9.34 ± 0.23	8.26 ± 1.77
คาร์โบไฮเดรต	12.65 ± 7.68	10.78 ± 5.52

4.4. คุณภาพน้ำ

ข้อมูลคุณภาพน้ำในแต่ละพารามิเตอร์ มีดังต่อไปนี้

4.4.1. อุณหภูมิ

ตลอดระยะเวลาที่ทำการทดลอง พบว่า อุณหภูมิของน้ำช่วงเวลาเช้ามีการขึ้นลงที่ไม่เท่ากัน โดยมีอุณหภูมิอยู่ระหว่าง 28.13±0.42 - 29.57±0.21 องศาเซลเซียส ซึ่งในวันที่ 1 ทุกชุดการทดลองไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) แต่ในวันที่ 2 ทุกชุดการทดลองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) และอุณหภูมิของน้ำช่วงเวลาเย็นมีการขึ้นลงที่ไม่เท่ากันเช่นกัน โดยมีอุณหภูมิอยู่ระหว่าง 31.70±0.17 - 33.87±1.01 องศาเซลเซียส โดยทุกชุดการทดลองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 4-4

4.4.2. ปริมาณออกซิเจนละลาย

ตลอดระยะเวลาที่ทำการทดลอง พบว่า ปริมาณออกซิเจนละลายในช่วงเวลาเช้า มีค่าอยู่ระหว่าง 7.1±0.5 - 8.7±0.6 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งในวันที่ 1 ชุดการทดลองไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) แต่ในวันที่ 2 ทุกชุดการทดลองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

และปริมาณออกซิเจนละลายในช่วงเวลาเย็น มีค่าอยู่ระหว่าง 5.1±0.7 - 8.4±1.2 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งในวันที่ 1 และ 2 ทุกชุดการทดลองไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 4-5

ตารางที่ 4-4 แสดงข้อมูลค่าเฉลี่ยอุณหภูมิตลอดการทดลอง (องศาเซลเซียส)

ชุดการทดลอง	ช่วงเวลาเช้า		ช่วงเวลาเย็น	
	วันที่ 1	วันที่ 2	วันที่ 1	วันที่ 2
c1m1	29.27±0.06	28.30±0.56^{ab}	31.70±0.17^{b}	32.77±0.42^{b}
c1m2	29.47±0.06	28.50±0.72^{ab}	31.83±0.40^{b}	32.77±0.57^{b}
c1m3	29.57±0.15	28.83±0.51^{a}	32.23±0.61^{ab}	33.23±0.59^{ab}
c1m4	29.40±0.26	28.70±0.46^{ab}	32.13±0.49^{ab}	33.17±0.55^{ab}
c1m5	29.47±0.29	28.63±0.49^{ab}	32.17±0.64^{ab}	33.20±0.79^{ab}
c2m1	29.40±0.10	28.43±0.61^{ab}	31.97±0.73^{b}	32.97±1.06^{ab}
c2m2	29.27±0.38	28.43±0.51^{ab}	32.07±0.64^{b}	32.73±0.40^{b}
c2m3	29.27±0.21	28.57±0.47^{ab}	32.07±0.57^{b}	32.70±0.26^{b}
c2m4	29.37±0.21	28.67±0.50^{ab}	31.97±0.81^{b}	32.83±0.90^{b}
c2m5	29.57±0.21	28.47±0.38^{ab}	32.10±0.72^{ab}	33.00±0.87^{ab}
c3m1	29.43±0.06	28.33±0.51^{ab}	32.13±0.35^{ab}	33.13±0.55^{ab}
c3m2	29.27±0.06	28.10±0.62^{b}	31.80±0.53^{b}	32.83±0.78^{b}
c3m3	29.30±0.10	28.37±0.64^{ab}	32.27±0.57^{ab}	33.30±0.60^{ab}
c3m4	29.17±0.29	28.33±0.49^{ab}	32.23±0.60^{ab}	33.23±0.58^{ab}
c3m5	29.17±0.21	28.30±0.53^{ab}	32.17±0.47^{ab}	33.17±0.83^{ab}
c4m1	29.30±0.10	28.37±0.60^{ab}	32.27±0.72^{ab}	33.20±0.95^{ab}
c4m2	29.43±0.15	28.40±0.52^{ab}	32.33±0.70^{ab}	33.23±0.75^{ab}
c4m3	29.43±0.15	28.50±0.44^{ab}	32.20±0.92^{ab}	33.47±0.76^{ab}
c4m4	29.37±0.21	28.30±0.46	32.10±0.72^{ab}	33.23±0.86^{ab}
c4m5	29.53±0.59	28.63±0.45	32.97±0.63^{a}	33.87±1.01^{a}

* ตัวอักษรที่กำกับในแนวตั้งที่ต่างกันแสดงว่าข้อมูลมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตารางที่ 4-5 แสดงข้อมูลค่าเฉลี่ยปริมาณออกซิเจนละลายตลอดการทดลอง (มิลลิกรัมต่อลิตร)

ชุดการทดลอง	ช่วงเวลาเช้า		ช่วงเวลาเย็น	
	วันที่ 1	วันที่ 2	วันที่ 1	วันที่ 2
c1m1	8.6±0.1	7.9±0.2^{abc}	8.2±0.8	6.5±0.8
c1m2	8.6±0.3	7.7±0.3^{abc}	8.2±1.1	6.4±1.1
c1m3	8.1±0.3	7.0±0.7^{bc}	7.5±1.0	5.7±1.3
c1m4	7.2±0.8	6.8±0.7^{c}	7.3±0.2	5.1±0.7
c1m5	7.5±0.4	7.6±0.6^{abc}	7.4±1.1	6.5±1.0
c2m1	7.2±0.8	8.0±0.6^{abc}	7.4±1.0	7.1±0.4
c2m2	7.1±0.5	7.9±0.7^{abc}	7.4±1.0	7.1±0.6
c2m3	7.2±0.5	8.0±0.4^{abc}	7.6±1.1	7.3±0.5
c2m4	8.2±0.2	8.0±0.7^{abc}	7.4±1.3	7.5±0.3
c2m5	7.4±0.2	8.9±0.5^{a}	7.8±1.1	7.4±0.8
c3m1	8.7±0.6	7.7±0.4^{abc}	8.4±1.2	6.2±1.1
c3m2	8.6±0.2	8.1±0.2^{abc}	8.2±0.8	6.9±0.5
c3m3	8.2±0.4	7.3±0.4^{abc}	7.4±0.4	5.4±1.2
c3m4	7.7±0.2	7.1±0.7^{bc}	7.2±1.2	5.4±2.2
c3m5	7.4±0.6	7.8±0.6^{abc}	7.5±1.0	7.0±0.5
c4m1	7.1±0.8	7.8±0.7^{abc}	7.5±1.1	7.0±0.6
c4m2	6.8±0.9	7.8±0.9^{abc}	7.5±1.1	7.0±0.7
c4m3	7.1±0.6	8.0±0.6^{abc}	7.2±1.0	6.8±0.6
c4m4	7.3±0.3	8.4±0.3^{abc}	7.3±1.2	7.4±0.2
c4m5	7.5±0.2	8.5±0.3^{ab}	7.1±1.4	7.0±0.6

* ตัวอักษรที่กำกับในแนวตั้งที่ต่างกันแสดงว่าข้อมูลมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

4.4.3. ค่าความเป็นกรด-ด่าง

ตลอดระยะเวลาที่ทำการทดลอง พบว่า ค่าความเป็นกรด – ด่าง ในช่วงเวลาเช้า มีค่าอยู่ระหว่าง 7.43±0.26 - 7.99±0.10 ซึ่งในวันที่ 1 ทุกชุดการทดลองไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) แต่ในวันที่ 2 ทุกชุดการทดลองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ส่วนในช่วงเวลาเย็นมีค่าอยู่ระหว่าง 7.71±0.15 - 8.16±0.09 ซึ่งในวันที่ 1 ของทุกชุดการทดลองไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) แต่วันที่ 2 มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 4-6

4.4.4. ปริมาณไนไตรท์

ตลอดระยะเวลาที่ทำการทดลอง พบว่า ปริมาณไนไตรท์ ในช่วงเวลาเช้า มีค่าอยู่ระหว่าง 0.10±0.01 - 0.53±0.02 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งทุกชุดการทดลองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) และในช่วงเวลาเย็น มีค่าอยู่ระหว่าง 0.01±0.01 - 0.56±0.01 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งทุกชุดการทดลองไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 4-7

4.4.5. ปริมาณแอมโมเนีย

ตลอดระยะเวลาที่ทำการทดลอง พบว่า ปริมาณแอมโมเนีย ในช่วงเวลาเช้า มีค่าอยู่ระหว่าง 0.09±0.04 - 1.59±0.26 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งในวันที่ 1 ของทุกชุดการทดลองไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) แต่ในวันที่ 2 ระหว่างชุดการทดลองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) และในช่วงเวลาเย็น มีค่าอยู่ระหว่าง 0.24±0.00 - 1.76±0.16 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งในวันที่ 1 ของทุกชุดการทดลองไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) แต่วันที่ 2 ของทุกชุดการทดลองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 4-8

ตารางที่ 4-6 แสดงข้อมูลค่าเฉลี่ยค่าความเป็นกรด-ด่างตลอดการทดลอง

ชุดการทดลอง	ช่วงเวลาเช้า		ช่วงเวลาเย็น	
	วันที่ 1	วันที่ 2	วันที่ 1	วันที่ 2
c1m1	7.44±0.45	7.70±0.19^{ab}	7.68±0.40	7.47±0.25^{b}
c1m2	7.43±0.41	7.65±0.18^{ab}	7.67±0.40	7.60±0.07^{ab}
c1m3	7.43±0.40	7.71±0.16^{ab}	7.73±0.39	7.60±0.13^{ab}
c1m4	7.45±0.42	7.69±0.18^{ab}	7.72±0.42	7.63±0.13^{ab}
c1m5	7.44±0.41	7.70±0.19^{ab}	7.71±0.38	7.61±0.16^{ab}
c2m1	7.45±0.34	7.70±0.22^{ab}	7.75±0.35	7.67±0.15^{ab}
c2m2	7.48±0.33	7.74±0.27^{a}	7.77±0.33	7.71±0.15^{a}
c2m3	7.43±0.26	7.66±0.25^{ab}	7.75±0.27	7.70±0.16^{a}
c2m4	7.47±0.32	7.57±0.21^{ab}	7.80±0.32	7.60±0.22^{ab}
c2m5	7.94±1.05	7.54±0.26^{b}	7.81±0.26	7.65±0.30^{ab}
c3m1	7.45±0.44	7.69±0.15^{ab}	7.69±0.43	7.52±0.28^{ab}
c3m2	7.45±0.43	7.72±0.18^{ab}	7.69±0.38	7.63±0.01^{ab}
c3m3	7.46±0.40	7.70±0.21^{ab}	7.74±0.41	7.59±0.11^{ab}
c3m4	7.47±0.41	766±0.14^{ab}	7.72±0.35	77.62±0.05^{ab}
c3m5	7.48±0.38	7.70±0.19^{ab}	7.76±0.37	7.63±0.17^{ab}
c4m1	7.48±0.31	7.73±0.20^{a}	7.77±0.35	7.64±0.16^{ab}
c4m2	7.47±0.30	7.69±0.20^{ab}	7.78±0.32	7.68±0.17^{ab}
c4m3	7.54±0.32	7.67±0.23^{ab}	7.78±0.30	7.68±0.20^{a}
c4m4	7.70±0.60	7.63±0.22^{ab}	7.82±0.30	7.69±0.19^{a}
c4m5	7.96±1.07	7.60±0.26^{ab}	7.80±0.25	7.68±0.27^{a}

* ตัวอักษรที่กำกับในแนวตั้งที่ต่างกันแสดงว่าข้อมูลมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตารางที่ 4-7 แสดงข้อมูลค่าเฉลี่ยปริมาณไนไตรท์ตลอดการทดลอง (มิลลิกรัมต่อลิตร)

ชุดการทดลอง	ช่วงเวลาเช้า		ช่วงเวลาเย็น	
	วันที่ 1	วันที่ 2	วันที่ 1	วันที่ 2
c1m1	0.07±0.02^{b}	0.26±0.04^{ab}	0.06±0.04	0.19±0.06
c1m2	0.53±0.00^{a}	0.36±0.03^{ab}	0.12±0.04	0.36±0.15
c1m3	0.50±0.03^{a}	0.49±0.03^{a}	0.12±0.02	0.45±0.03
c1m4	0.24±0.03^{ab}	0.37±0.02^{ab}	0.10±0.02	0.26±0.08
c1m5	0.41±0.07^{a}	0.21±0.00^{ab}	0.05±0.04	0.23±0.07
c2m1	0.38±0.03^{ab}	0.16±0.06^{ab}	0.03±0.00	0.18±0.05
c2m2	0.25±0.08^{ab}	0.10±0.01^{b}	0.01±0.01	0.26±0.00
c2m3	0.32±0.09^{ab}	0.28±0.03^{ab}	0.04±0.01	0.26±0.02
c2m4	0.29±0.08^{ab}	0.51±0.01^{a}	0.10±0.03	0.43±0.02
c2m5	0.32±0.06^{ab}	0.45±0.08^{ab}	0.16±0.09	0.40±0.01
c3m1	0.29±0.13^{ab}	0.22±0.01^{ab}	0.02±0.00	0.22±0.10
c3m2	0.29±0.07^{ab}	0.26±0.07^{ab}	0.04±0.02	0.23±0.09
c3m3	0.22±0.09^{ab}	0.22±0.06^{ab}	0.05±0.01	0.18±0.06
c3m4	0.36±0.03^{ab}	0.31±0.05^{ab}	0.15±0.01	0.21±0.02
c3m5	0.37±0.06^{ab}	0.26±0.01^{ab}	0.03±0.01	0.23±0.02
c4m1	0.34±0.02^{ab}	0.23±0.03^{ab}	0.05±0.01	0.19±0.03
c4m2	0.32±0.01^{ab}	0.27±0.01^{ab}	0.06±0.01	0.25±0.06
c4m3	0.27±0.03^{ab}	0.30±0.04^{ab}	0.07±0.02	0.30±0.05
c4m4	0.28±0.05^{ab}	0.25±0.08^{ab}	0.03±0.01	0.38±0.08
c4m5	0.39±0.03^{ab}	0.34±0.10^{ab}	0.06±0.01	0.37±0.10

* ตัวอักษรที่กำกับในแนวตั้งที่ต่างกันแสดงว่าข้อมูลมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตารางที่ 4-8 แสดงข้อมูลค่าเฉลี่ยปริมาณแอมโมเนียตลอดการทดลอง (มิลลิกรัมต่อลิตร)

ชุดการทดลอง	ช่วงเวลาเช้า		ช่วงเวลาเย็น	
	วันที่ 1	วันที่ 2	วันที่ 1	วันที่ 2
c1m1	0.15±0.07	0.83±0.13^{ab}	0.35±0.04	1.26±0.38^{ab}
c1m2	0.12±0.02	1.06±0.10^{a}	0.36±0.08	1.31±0.46^{ab}
c1m3	0.09±0.04	0.71±0.06^{ab}	0.34±0.09	1.14±0.14^{ab}
c1m4	0.14±0.06	0.92±0.07^{ab}	0.28±0.02	1.47±0.44^{ab}
c1m5	0.17±0.02	0.88±0.06^{ab}	0.39±0.18	1.35±0.45^{ab}
c2m1	0.06±0.03	0.59±0.03^{ab}	0.28±0.04	0.95±0.11^{ab}
c2m2	0.08±0.02	0.54±0.08^{b}	0.29±0.03	0.83±0.15^{b}
c2m3	0.08±0.07	0.64±0.02^{ab}	0.24±0.02	1.00±0.07^{ab}
c2m4	0.09±0.08	0.68±0.01^{ab}	0.25±0.03	1.25±0.27^{ab}
c2m5	0.09±0.07	0.86±0.04^{ab}	0.25±0.01	1.34±0.36^{ab}
c3m1	0.16±0.15	0.75±0.06^{ab}	0.28±0.01	1.48±0.10^{ab}
c3m2	0.10±0.06	0.63±0.11^{ab}	0.24±0.06	0.88±0.07^{b}
c3m3	0.22±0.09	0.81±0.11^{ab}	0.30±0.06	1.40±0.26^{ab}
c3m4	0.22±0.13	0.93±0.04^{ab}	0.25±0.04	1.76±0.16^{a}
c3m5	0.16±0.11	0.78±0.14^{ab}	0.34±0.08	1.34±0.24^{ab}
c4m1	0.17±0.08	0.80±0.07^{ab}	0.31±0.02	1.29±0.17^{ab}
c4m2	0.17±0.05	0.84±0.12^{ab}	0.33±0.11	1.45±0.22^{ab}
c4m3	0.20±0.07	0.60±0.09^{ab}	0.27±0.02	1.08±0.13^{ab}
c4m4	0.15±0.10	0.59±0.07^{ab}	0.24±0.00	0.90±0.21^{b}
c4m5	0.17±0.08	0.82±0.13^{ab}	0.35±0.13	1.43±0.31^{ab}

* ตัวอักษรที่กำกับในแนวตั้งที่ต่างกันแสดงว่าข้อมูลมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

4.5 ต้นทุนการผลิต

ต้นทุนที่ใช้ในแต่ละชุดการทดลอง มีค่าใช้จ่ายอยู่ระหว่าง 45.37±0.00 – 173.49±0.00 บาท ต่อ 1 ตัน โดยชุดการทดลองที่ให้ผลผลิตสูงสุดมีค่าใช้จ่ายอยู่ที่ 165.49±0.00 บาทต่อตัน ซึ่งทุกชุดการทดลองไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) (ตารางที่ 4-5)

ตารางที่ 4-9 ต้นทุนที่ใช้ในแต่ละชุดการทดลอง

ชุดการทดลอง	ราคาวัตถุดิบที่ใช้ในการทดลอง (บาท/ตัน)						รวมเป็นเงิน (บาท/ตัน)
	ปุ๋ยยูเรีย	ปุ๋ยนา	ปูนขาว	รำ	ไรแดง	PAC	
c1m1	1.53	0.10	0.02	0.31	8.00	35.42	45.37±0.00
c1m2	1.53	0.10	0.02	0.31	12.00	35.42	49.37±0.00
c1m3	1.53	0.10	0.02	0.31	16.00	35.42	53.37±0.00
c1m4	1.53	0.10	0.02	0.31	20.00	35.42	57.37±0.00
c1m5	1.53	0.10	0.02	0.31	24.00	35.42	61.37±0.00
c2m1	3.05	0.19	0.04	0.63	8.00	70.83	82.74±0.00
c2m2	3.05	0.19	0.04	0.63	12.00	70.83	86.74±0.00
c2m3	3.05	0.19	0.04	0.63	16.00	70.83	90.74±0.00
c2m4	3.05	0.19	0.04	0.63	20.00	70.83	94.74±0.00
c2m5	3.05	0.19	0.04	0.63	24.00	70.83	98.74±0.00
c3m1	4.58	0.29	0.06	0.94	8.00	106.25	120.11±0.00
c3m2	4.58	0.29	0.06	0.94	12.00	106.25	124.11±0.00
c3m3	4.58	0.29	0.06	0.94	16.00	106.25	128.11±0.00
c3m4	4.58	0.29	0.06	0.94	20.00	106.25	132.11±0.00
c3m5	4.58	0.29	0.06	0.94	24.00	106.25	136.11±0.00
c4m1	6.10	0.39	0.08	1.25	8.00	141.67	157.49±0.00
c4m2	6.10	0.39	0.08	1.25	12.00	141.67	161.49±0.00
c4m3	6.10	0.39	0.08	1.25	16.00	141.67	165.49±0.00
c4m4	6.10	0.39	0.08	1.25	20.00	141.67	169.49±0.00
c4m5	6.10	0.39	0.08	1.25	24.00	141.67	173.49±0.00

บทที่ 5

บทสรุป

5.1. ผลผลิตของไรแดง

จากการทดสอบการเพาะเลี้ยงไรแดงเบื้องต้น พบว่าไรแดงที่เลี้ยงด้วยสาหร่ายคลอเรลล่าอบแห้ง เริ่มพบการตายในวันที่สามในทุกชุดการทดลอง ส่วนการเลี้ยงด้วยสาหร่ายคลอเรลล่าสดไม่พบตัวตาย ดังนั้นเพื่อให้สามารถเปรียบเทียบผลผลิตกันได้ จึงทำการเก็บเกี่ยวไรแดงจากทุกชุดการทดลองในวันที่ 2 โดยที่อัตราการเพิ่มขึ้นของประชากรไรแดงยังอยู่ในช่วงปกติที่สามารถพบได้ ซึ่งผันแปรไปตามชนิด และปริมาณของแหล่งอาหาร อุณภูมิ และสภาพการเลี้ยง (Nandini and Sarma, 2003; Xi et al., 2005) และจากการทดสอบด้วยสถิติ พบอิทธิพลร่วมกันระหว่างระดับของอาหาร (สาหร่ายคลอเรลล่าอบแห้ง) กับอัตราการปล่อยพ่อแม่พันธุ์ไรแดงอย่างชัดเจน ดังนั้นจึงแสดงให้เห็นว่านอกจากคุณภาพ และปริมาณของอาหารที่ใช้เลี้ยงจะเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อผลผลิตของไรแดง (He et al., 2001) การปล่อยพ่อแม่พันธุ์ให้เหมาะสมกับปริมาณอาหารเป็นอีกหนึ่งปัจจัยที่จะช่วยกำหนดผลผลิตของไรแดงเช่นกัน

ผลผลิตของไรแดงที่เก็บเกี่ยวได้จากการใช้สาหร่ายคลอเรลล่าอบแห้ง 0.2 กรัมต่อลิตร ที่อัตราการปล่อย 0.2 กรัมต่อลิตร (น้ำหนักเปียก) หรือจำนวนตัวเท่ากับ 2,800 ตัวต่อลิตร จะได้ผลผลิตสูงที่สุด และมีค่าสูงกว่าชุดควบคุม ซึ่งแตกต่างกับการทดลองเลี้ยงโรติเฟอร์ด้วยสาหร่ายอบแห้งของ Mostary et al. (2010) ที่ให้ผลผลิตต่ำกว่าการใช้สาหร่ายสด โดยได้อธิบายไว้ว่าอาจมาจากกระบวนการอบแห้งไปทำลายคุณค่าทางอาหารของสาหร่ายให้ลดลง (Brown, 1995) แต่จากการผลการวิเคราะห์คุณค่าทางอาหารของสาหร่ายคลอเรลล่าทั้งสองรูปแบบ จะเห็นว่าไม่มีความแตกต่างกัน จึงไม่ส่งผลกระทบกับการเจริญเติบโตของไรแดง อีกทั้งเมื่อสาหร่ายถูกทำให้แห้ง (หรืออาจสุก) ด้วยความร้อนแล้ว ทำให้ไรแดงสามารถนำสารอาหารไปใช้ในการเจริญเติบโตง่ายกว่าการกินแบบสด (Mostary et al., 2007) ซึ่งน่าจะเป็นการช่วยให้ไรแดงสามารถย่อยเซลล์ของสาหร่ายง่าย เพราะโดยทั่วไปแล้วสัตว์น้ำจะมีความสามารถในการย่อย และใช้ประโยชน์จากพืชได้น้อย เนื่องจากมีผนังเซลล์ที่แข็งแรง แต่ถ้านำไปทำให้สุกด้วยวิธีการต่างๆ รวมทั้งการย่อยด้วยเอนไซม์หรือการหมักจะช่วยให้สัตว์น้ำใช้ประโยชน์จากวัตถุดิบประเภทพืชได้ดีขึ้น (ธนาภรณ์, 2557; El-Sayed, 2003) จึงทำให้ผลผลิตที่ได้จากการเพาะเลี้ยงด้วยสาหร่ายคลอ-เรลล่าอบแห้งในครั้งนี้มีค่ามากกว่าการเพาะเลี้ยงด้วยสาหร่ายคลอเรลล่าแบบสด

นอกจากนั้นการทดลองนี้แสดงให้เห็นอย่างชัดเจนว่าเมื่อมีปริมาณอาหารเข้มข้นมากเกินไป ไม่ได้เป็นผลดีกับการเพิ่มจำนวนของไรแดง เนื่องจากอนุภาคของอาหารที่มากเกินนั้นจะไปอุดตันระยางค์ส่วนอก (thoracic limb) ทำให้ไรแดงต้องสูญเสียพลังงานส่วนหนึ่งเพื่อใช้ในการกำจัดอนุภาคส่วนเกินนั้นออกไป (Porter et al., 1982) ซึ่งน่าจะมีผลกระทบกับระบบแลกเปลี่ยนก๊าซของไรแดง ส่งผลให้ไรแดงไม่สามารถใช้พลังงานเพื่อการสืบพันธ์อย่างเต็มที่ เช่นเดียวกับการเพาะเลี้ยงไรแดงด้วยสาหร่ายที่มีความเข้มข้นสูงๆ ของ Burak (1997), Nandini and Sarma (2003) และ Xi et al. (2005) หรือแม้กระทั่งการใช้เศษอาหารปลา และมูลปลาที่ระดับความเข้มข้นสูงๆ ก็ไม่ได้ทำให้จำนวนไรแดงเพิ่มปริมาณได้สูงสุดเช่นกัน (Loh et al., 2009; Loh et al., 2013) เมื่อพิจารณาจากกราฟการเจริญเติบโตของไรแดงที่เลี้ยงด้วยสาหร่ายคลอเรลล่าสด ยิ่งเป็นสิ่งยืนยันได้อย่างชัดเจนว่าปริมาณอาหารที่มากเกินทำให้ไรแดงเพิ่มจำนวนได้ช้ากว่าการใช้สาหร่ายคลอเรลล่าอบแห้งที่มีปริมาณเหมาะสมกับอัตราการปล่อยนั่นเอง

5.2. กราฟการเจริญเติบโตของไรแดง

การเลี้ยงไรแดงด้วยสาหร่ายคลอเรลล่าสด หรือที่เกษตรกรทั่วไปเรียกว่าน้ำเขียว และปล่อยพ่อแม่พันธุ์ไรแดงตามคำแนะนำของกรมประมง (กรมประมง, 2554) ผลการทดลองครั้งนี้ไรแดงจะมีจำนวนตัวสูงสุดในวันที่ 3 ของการเลี้ยง แต่การใช้สาหร่ายคลอเรลล่าอบแห้งจะใช้เวลาเพียง 2 วันเท่านั้น ซึ่งปกติแล้วไรแดงจะมีช่วงเวลาในการเพิ่มจำนวนอยู่ระหว่าง 2-5 วันโดยประมาณ ขึ้นกับชนิดและปริมาณของอาหารที่ได้รับ (Kang et al., 2006) การที่ไรแดงเพิ่มจำนวนได้ช้าเมื่อเลี้ยงด้วยสาหร่ายคลอเรลล่าสด ในตอนแรกอาจมาจากปริมาณอาหารที่มากเกิน อีกทั้งคุณภาพน้ำที่ต่ำกว่าปกติเล็กน้อย ทำให้ไรแดงเกิดความเครียด (Sarma et al., 2002) จึงต้องใช้เวลาปรับตัวจนกว่าจะสามารถเพิ่มปริมาณ และจะตายหมดในวันที่ 10 ถึงแม้ว่าไรแดงสามารถกรองกินจุลินทรีย์หรือสารอินทรีย์ขนาดเล็กอื่นๆ (Poynton et al., 2013) และสาหร่ายคลอเรลล่าสดจะสามารถเพิ่มจำนวน แต่ยังไม่เพียงพอ และไม่ทันกับความต้องการของไรแดง ในส่วนของการใช้สาหร่ายคลอเรลล่าอบแห้งที่มีปริมาณเหมาะสมทำให้สามารถเพิ่มปริมาณอย่างรวดเร็ว แต่ก็จะตายหมดในระยะเวลาอันสั้นเช่นกัน (วันที่ 5) ถึงแม้ว่าจะมีการเติมสาหร่ายคลอเรลล่าอบแห้งในปริมาณเท่าเดิมในทุกวัน แต่น่าจะไม่เพียงพอในวันที่ 2 เพราะมีการตายจำนวนมากในวันที่ 3 และจะมีปริมาณอาหารมากเกินไปในวันที่ 3 ซึ่งปริมาณอาหารจะไม่เหมาะสมกับจำนวนไรแดง ส่วนช่วงชีวิตของไรแดงที่สั้นลงนั้น น่าจะมาจากปริมาณสาหร่ายคลอเรลล่าอบแห้งที่เติมให้ในทุกวันเป็นสาหร่ายที่ตายแล้วทำให้ตกตะกอนเป็นแหล่งอาหารของจุลินทรีย์ที่อาจเป็นอันตรายกับไรแดงได้ (Abrantes and Gonçalves, 2003) อีกทั้งเกิดการเน่าเสียทำให้คุณภาพน้ำแย่ลง แต่จากกราฟในรูปที่ 4-2 แสดงให้เห็นอีกอย่างหนึ่งว่าการเลี้ยงไรแดงด้วยสาหร่ายคลอเรลล่าอบแห้ง มีความเหมาะสมสำหรับการเลี้ยงแบบเก็บเกี่ยวต่อเนื่อง โดยเก็บ

เกี่ยวเพียง 50% จะเป็นการลดปริมาณไรแดงลงครึ่งหนึ่ง (ใกล้เคียงกับปริมาณเริ่มต้น) แล้วเติมน้ำใหม่ ซึ่งจะเป็นการช่วยปรับปรุงเรื่องคุณภาพน้ำของการเลี้ยงได้อีกทางหนึ่ง และเติมอาหารลงไปเท่าเดิม ซึ่งน่าจะสามารถเก็บเกี่ยวผลผลิตได้หลายรอบ

5.3. องค์ประกอบทางเคมีในสาหร่ายคลอเรลล่า

องค์ประกอบทางเคมีของสาหร่ายคลอเรลล่าทั้งที่ผ่านการอบด้วยความร้อน และที่ผ่านเครื่อง spray dry ไม่มีความแตกต่างกัน ถึงแม้กระบวนการของเครื่อง spray dry ต้องใช้อุณหภูมิที่สูงกว่า แต่ใช้เวลาสั้น จึงไม่ได้ทำลายคุณค่าทางอาหารของสาหร่ายมากนัก โดยโปรตีนที่ยังคงมีค่าสูงและสารอาหารอื่น ๆ ยังมีค่าอยู่ในช่วงปกติที่สามารถตรวจพบในสาหร่ายชนิดนี้ โดยโปรตีนมีค่าอยู่ระหว่าง 42-58 % ไขมัน 10-22 % และคาร์โบไฮเดรต 12-17 % (ลัดดา, 2543; Becker, 2007; Seyfabadi et al., 2011; Priyadarshani and Rath, 2012) แต่สิ่งที่จะทำให้คุณค่าทางอาหารของสาหร่ายมีความแตกต่างกันไปก็คือ สภาพการเลี้ยง (Abrantes and Gonçalves, 2003)

5.4. คุณภาพน้ำ

การศึกษาข้อมูลคุณภาพน้ำระหว่างการเพาะเลี้ยงไรแดงด้วยอาหารทั้งสองแบบในวันที่ 1 พบว่าการใช้สาหร่ายคลอเรลล่าสดมีค่าความเป็นกรดด่าง และปริมาณแอมโมเนียสูงกว่าการใช้สาหร่ายอบแห้ง ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากน้ำที่ใช้เพาะเลี้ยงสาหร่ายคลอเรลล่าสดยังคงมีองค์ประกอบของปุ๋ยปนมา เนื่องด้วยการเพาะเลี้ยงสาหร่ายคลอเรลล่าสดจะใช้ปุ๋ยที่เป็นองค์ประกอบหลักคือ ยูเรีย ซึ่งถ้ายังมีตกค้างอยู่จะสามารถย่อยสลายกลายเป็นแอมโมเนียได้ง่าย เมื่อเข้าสู่วันที่ 2 สาหร่ายคลอเรลล่าสดมีการดูดซึมแอมโมเนียไปใช้หรืออาจมีการสลายตัวหรือเปลี่ยนรูปไปเป็นไนไตรท์ ทำให้มีปริมาณลดลง ส่วนในน้ำที่มีการใช้สาหร่ายอบแห้งเริ่มมีการสะสมของเสียต่าง ๆ ทำให้ค่าแอมโมเนียและไนไตรท์สูงกว่าในน้ำที่มีสาหร่ายคลอเรลล่าสด แต่คุณภาพน้ำในภาพรวมยังถือว่าอยู่ในเกณฑ์ที่ดีเหมาะสมกับการเลี้ยงไรแดง โดยเฉพาะปริมาณแอมโมเนียที่เป็นปัจจัยหลักที่จะส่งผลกระทบต่อการเพิ่มจำนวนของไรแดง ซึ่งการศึกษาของ Xi et al. (2005) แนะนำว่าควรมีค่าไม่เกิน 4.5 มิลลิกรัมต่อลิตร แต่ถ้าเป็นการใช้สาหร่ายคลอเรลล่าสดในการเพาะเลี้ยงสามารถมีค่าสูงถึง 12 มิลลิกรัมต่อลิตร (Mangas-Ramírez et al., 2002) ซึ่งจากผลการทดลองครั้งนี้จะเห็นว่ามีค่าต่ำกว่ามาก ถึงแม้พารามิเตอร์อื่นๆ จะไม่มีความคงที่ในช่วงเช้าและบ่าย ซึ่งน่าจะเป็นผลของสภาพแวดล้อมที่มีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา อีกทั้งการทดลองครั้งนี้มีการเก็บเกี่ยวไรแดงในวันที่ 2 เท่านั้น คุณภาพน้ำโดยรวมจึงไม่ได้ส่งผลกระทบต่อผลผลิตที่เกิดขึ้น

5.5. สรุป

การใช้สาหร่ายคลอเรลล่าอบแห้ง 0.2 กรัมต่อลิตร เลี้ยงไรแดงที่อัตราการปล่อยพ่อแม่พันธุ์ 2,800 ตัวต่อลิตร (น้ำหนักเปียก 0.2 กรัมต่อลิตร) มีความเหมาะสมอย่างยิ่ง เพื่อทดแทนการใช้สาหร่ายคลอเรลล่าสดในสภาวะขาดแคลนหรือไม่เพียงพอ โดยที่ต้นทุนการผลิตไม่มีความแตกต่างกัน อีกทั้งมีความเหมาะสมสำหรับการเพาะเลี้ยงแบบเก็บเกี่ยวต่อเนื่อง แต่ควรเพิ่มเติมการศึกษาคุณภาพน้ำระหว่างการเลี้ยง และคุณภาพของไรแดงที่ผลิตได้ ในเรื่องของคุณค่าทางอาหารสำหรับการอนุบาลลูกสัตว์น้ำ

บรรณานุกรม

กรมประมง. (2561). สถิติการประมง 2559. *เอกสารฉบับที่12/2561*. สืบค้นเมื่อ 30 มิถุนายน 2562, จาก https://www.fisheries.go.th/strategy-stat/themeWeb/books/2559/1/yearbook_2559.pdf

กรมประมง. (2554). การผลิตอาหารมีชีวิตจากห้องปฏิบัติการเพื่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจืด. *การจัดการความรู้ (KM) สำนักวิจัย และพัฒนาประมงน้ำจืด ปีงบประมาณ 2554*. 18 หน้า.

จงกล พรมยะ. (2552). *การเพาะเลี้ยงสาหร่าย*. มหาวิทยาลัยแม่โจ้, เชียงใหม่.

ธนาภรณ์ จิตตปาลพงศ์. (2557). *การสร้างสูตรอาหารสัตว์น้ำและสูตรอาหารสัตว์น้ำเศรษฐกิจ*. ราชการบริหารส่วนกลาง, กรมประมง, กรุงเทพฯ. 62 น.

ภาณุ เทวรัตน์มณีกุล, ทวีวิพุทธานุมาศ, วีระ วัชกรโยธิน และทัศนีย์ สุขสวัสดิ์. (2532). การเพาะเลี้ยงไรแดง. *เอกสารเผยแพร่ ฉบับที่ 9/2532*. สถานีประมงน้ำจืดจังหวัดปทุมธานี, กรมประมง.

มารศรี นวนรเศรษฐ์, เปี่ยมศักดิ์ เมนะเศวต และธรรมนูญ โรจนะบุรานนท์. (2528). การนำน้ำโสโครกจากแหล่งชุมชนมาใช้ประโยชน์ในการเพาะเลี้ยงไรแดง. ใน *การประชุมทางวิชาการเรื่องทรัพยากรสิ่งมีชีวิตในน้ำ* (หน้า 223-235). กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ลัดดา วงศ์รัตน์. (2543). *คู่มือการเลี้ยงแพลงก์ตอน*. พิมพ์ครั้งที่ 3. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

วาสนา อากรรัตน์ และ วุฒิชัย อ่อนเอี่ยม. (2554). การเลี้ยงโรติเฟอร์ (*Brachionus rotundiformis* Tschugunoff, 1921) ด้วยคลอเรลลาที่ถูกทำให้ตกตะกอนที่ระยะเวลาการเก็บรักษาต่างกัน. ใน *การประชุมทางวิชาการของ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 49 (สาขาประมง)* (หน้า 303-308). กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สาธิต โกวิทวที. (2541). อัตราการขยายพันธุ์สุทธิของไรแดง (*Moina macrocopa* Straus, 1820) ที่เลี้ยงด้วยแบคทีเรีย *Bacillus subtilis* ในห้องปฏิบัติการ. ใน *การประชุมวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาตร์ ครั้งที่ 36*. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สนิท ทองสง่า และพรนภา สำ เลียงพล. (2530). คุณภาพอ่างเลี้ยงไรแดง (*Moina macrocopa* Straus, 1820) ใส่ปุ๋ยคอกและปุ๋ยวิทยาศาสตร์. ใน *การประชุมวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาาสตร์ ครั้งที่ 25*. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

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

อุทัยวรรณ เทียนบุญยาจารย์. (2529). *ประสิทธิ์ภาพการเพิ่มจำนวนไรแดง (Moina macrocopa Straus) ในปุ๋ยอินทรีย์* (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต). กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

Abrantes, N. & Gonçalves, F. (2003). The dynamics of *Ceriodaphnia pulchella* (Cladocera) in laboratory. *Acta Oecol., 24*, S245-S249.

Becker, E. W. (2007). Micro-algae as a source of protein. *Biotechnol. Adv., 25*, 207-210.

Benider, A.,Tifnouti, A., & Pourriot, R. (2000). Growth of *Moina macrocopa* (Straus 1820) (Crustacea, Cladocera): influence of trophic conditions, population density and temperature. *Hydrobiologia, 468*, 1–11.

Biedenbach, J. M., Smith, L. L., & Lawrence, A. L. (1990). Use of a new spray-dried algal product in penaeid larviculture. *Aquaculture, 86*(2–3), 249–257.

Brown, M. R. (1995). Effects of storage and processing on the ascorbic acid content of concentrates prepared from *Chaetoceros calcitrans*. *J. Appl. Phycol. 7*, 495-500.

Burak, E. S. (1997). Life tables of *Moina macrocopa* (Straus) in successive generations under food and temperature adaptation. *Hydrobiologia, 360*, 101-107.

Dobberfuhl, D. R., & Elser, J. J. (1999). Use of dried algal as a food source for zooplankton growth and nutrient release experiments. *J. Plankton Res., 21*(5), 957-970.

Dodson, S. I., & Frey, D. G. (2001). Cladocera and other branchiopoda. In Thorp JH, Covich AP (eds), *Ecology and classification of North American freshwater invertebrates* (pp. 850–914). Academic Press, London.

El-Sayed, A. F. M. (2003) Effects of fermentation methods on the nutritive value of water hyacinth for Nile tilapia *Oreochromis niloticus* (L.) fingerlings. *Aquaculture, 218*, 471-478.

Fermin, A. C. (1991). Freshwater cladoceran *Moina macrocopa* (Strauss) as an alternative live food for rearing sea bass *Lates calcarifer* (Bloch) fry. *J. Appl. Ichthyol., 7*, 8-14.

Golder D., Rana S., Sarkar (Paria), D., & Jana, B. B. (2007). Human urine is an excellent liquid waste for the culture of fish food organism, *Moina micrura*. *Ecol. Eng., 30*, 326-332.

Goldman, Joel C. (1979). Outdoor algal mass cultures—II. Photosynthetic yield limitations. *Water Res., 13*(2), 119-136.

He, Z. H., Qin, J. G., Wang, Y., Jiang, H. & Wen, Z. (2001). Biology of *Moina mongolica* (Moinidae, Cladocera) and perspective as live food for marine fish larvae. *Hydrobiologia, 457*, 25-37.

Hirayama, Kazutsugu, & Nakamura, K. (1976). Fundamental studies on the physiology of rotifers in mass culture – v. dry *Chlorella* powder as a food for rotifers. *Aquaculture, 8*, 301-307.

Islam, M. R., Hassan, M. R., Begum, M., Punom, N. J., Begum, M. K., Sultana, N. & Rahman, M. S. (2017). Effects of feeding zooplankton, *Moina macrocopa* (Straus, 1820) on the growth of Nile tilapia *Oreochromis niloticus* L. *Bangladesh J. Sci. Ind. Res., 52*, 81-88.

Ivleva, I. V. (1973). *Mass cultivation of invertebrates: biology and methods.* Israel Program for Scientific Translations, Jerusalem, pp. 82-120.

Kang, C. K., Park, H. Y., Kim, M. C., & Lee, W. J. (2006). Use of marine yeasts as an available diet for mass cultures of *Moina macrocopa*. *Aquac. Res., 37*, 1227-1237.

Khatun, B., Rahman, R., & Rahman, M. S. (2014). Evaluation of yeast *Saccharomyces cerevisiae* and algae *Chlorella vulgaris* as diet for rotifer *Brachionus calyciflorus*. *The Agriculturists, 12*(1), 1-9.

Loh, J., How, C. W., Hii, Y. S., Khoo, G., KIAT, H., & ONG, A. (2009). Fish faeces as a potential food source for cultivating the water flea, *Moina macrocopa*. *JOSTT, 5*, 5-9.

Loh, J. Y., Ong, H. K. A., Hii, Y. S., Smith, T. J., Lock, M. M. & Khoo, G. (2013) Impact of potential food sources on the life table of the cladoceran, *Moina macrocopa*. *Isr. J. Aquacult. Bamid., 65*, 1-9.

Malhotra, Y. R., & Langer, S. (1993). Nutritional and density-dependent responses of some cladocera. *Aquac. Res., 24*(5), 631-640.

Mangas-Ramírez, E., Sarma, S. S. S. & Nandini, S. (2002). Combined effects of algal (*Chlorella vulgaris*) density and ammonia concentration on the population dynamics of *Ceriodaphnia dubia* and *Moina macrocopa* (Cladocera). *Ecotoxicol. Environ. Saf., 51*, 216-222.

Martínez-Jerónimo, F., & Espinosa-Chávez, F. (1994). A laboratory-scale system for mass culture of freshwater microalgae in polyethylene bags. *J. Appl. Phycol., 6*(4), 423-425.

Martínez-Jerónimo, F., & Gutierrez-Valdivia, A. (1991). Fecundity, reproduction, and growth of *Moina macrocopa* fed different algae. *Hydrobiologia, 222*(1), 49-55.

Mostary, S., Rahman, M. S., & Hossain; M. A. (2007). Culture of rotifer *Brachionus angularis* Hauer feeding with dried *Chlorella*. *Univ. j. zool. Rajshahi Univ., 26*, 73-76.

Mostary, S., Rahman, M. S., Mandal, A. S. M. S., Hasan, K. M. M., Rehena, Z., & Basar, S. M. A. (2010). Culture of *Brachionus plicatilis* feeding with powdered dried *Chlorella*. *The Bangladesh Veterinarian, 27*(2), 91–98.

Nandini, S., & Sarma, S. S. S. (2003). Population growth of some genera of cladocerans (Cladocera) in relation to algal food (*Chlorella vulgaris*) levels. *Hydrobiologia, 491*, 211-219.

Patil, S. S., Ward, A. J., Kumar, M. S., & Ball, A. S. (2010). Utilising bacterial communities associated with digested piggery effluent as a primary food source for the batch culture of *Moina australiensis*. *Bioresour. Technol., 101*, 3371-3378.

Porter, K. G., Gerritsen, J. & Orcutt, J. D. (1982). The effect of food concentration on swimming patterns, feeding behavior, ingestion, assimilation, and respiration by *Daphnia*. *Limnol. Oceanogr., 27*, 935-949.

Poynton, S. L., Dachsel, P., Lehmann, M. J. & Steinberg, C. E. (2013). Culture of the cladoceran *Moina macrocopa*: Mortality associated with flagellate infection. *Aquaculture, 416*, 374-379.

Priyadarshani, I. & Rath, B. (2012). Commercial and industrial applications of micro algae – A review. *JABU, 3*, 89-100.

Rahman, M.S., Hossain, M.A., Fatema, S., & Hossain, M.A. (2005). Culture of green algae *Chlorella ellipsoidea* in inexpensive media. *Bangladesh J. Fish. Res., 9*(2), 185-190.

Safi, C., Zebib, B., Merah, O., Pontalier, P. Y., & Vaca-Garcia, C. (2014). Morphology, composition, production, processing and applications of *Chlorella vulgaris*: Areview. *Renew. Sust. Energ. Rev., 35*, 265-278.

Sarma, S. S. S., Elguea-Sánchez, B. & Nandini, S. (2002). Effect of salinity on competition between the rotifers *Brachionus rotundiformis* Tschugunoff and *Hexarthra jenkinae* (De Beauchamp) (Rotifera). *Hydrobiologia, 474*, 183-188.

Seyfabadi, J., Ramezanpour, Z. & Khoeyi, Z. A. (2011). Protein, fatty acid, and pigment content of *Chlorella vulgaris* under different light regimes. *J. Appl. Phycol., 23*, 721-726.

Sharma, R., Singh, G. P., & Sharma, V. K. (2012). Effects of culture conditions on growth and biochemical profile of *Chlorella vulgaris*. *J. Plant Pathol. Microb., 3*(5), 1-6.

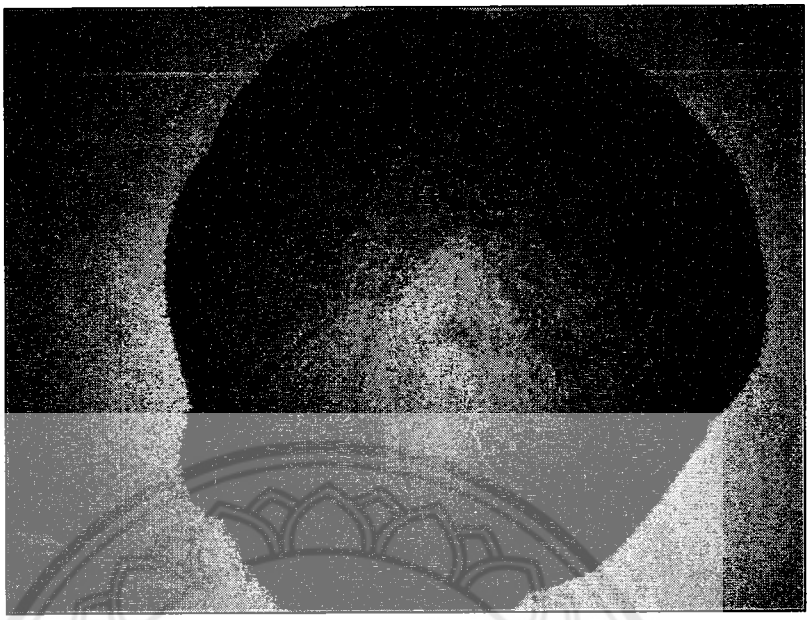
Song, T. (1994). Feeding and nutrition. In Li, S. and Mathias, J. (eds.), *Freshwater Fish Culture in China: Principles and Practice* (pp. 106-107). Elsevier Science B.V, Amsterdam.

Xi, Y. L., Hagiwara, A., & Sakakura, Y. (2005). Combined effects of food level and temperature on life table demography of *Moina macrocopa* STRAUS (Cladocera). *Internat. Rev. Hydrobiol., 90*, 546-554.

Yubo, Y., Huantai, Z., & Huinian, C. (1992). The experiment on photosynthesis bacteria P-3 as feed additive for some zooplanktons and fishes. *J. Fujian Teach. Univ., 8*(2), 103-108.

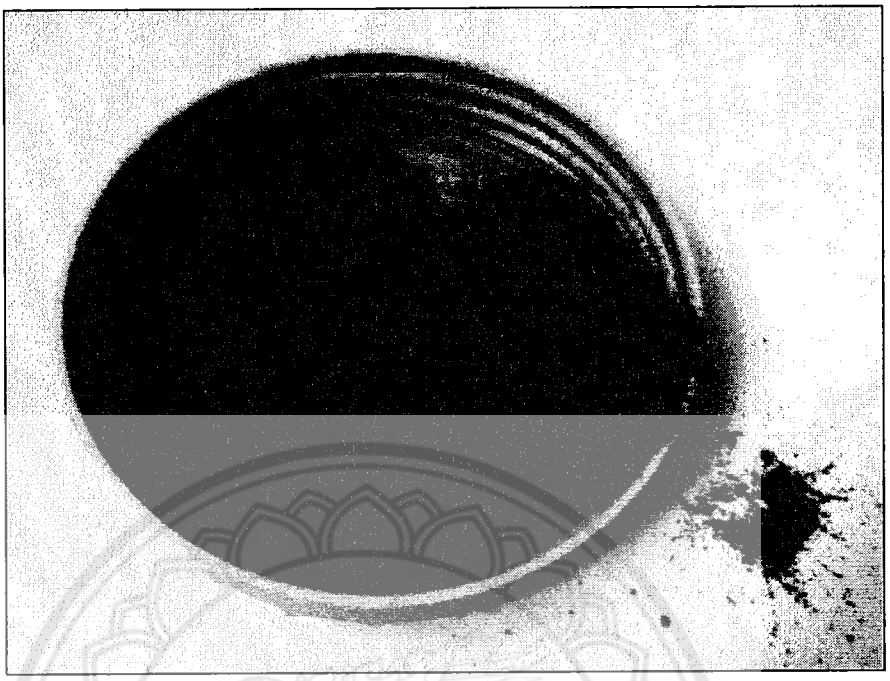
Zöllner, E., Santer, B., Boersma, M., Hoppe, H., & Jürgens, K. (2003). Cascading predation effects of Daphnia and copepods on microbial food web components. *Freshw. Biol., 48*, 2174–2193.

ภาคผนวก



ภาพผนวกที่ 1 ลักษณะของสารตกตะกอนสาหร่ายคลอเรลล่า Poly Alununium Chloride (PAC)

ภาพผนวกที่ 2 แสดงการตกตะกอนของสาหร่ายคลอเรลล่า (สีน้ำแยกเป็นสองส่วน)



ภาพผนวกที่ 3 ลักษณะของสาหร่ายคลอเรลล่าอบแห้ง