

การใช้คลอเรลล่าอบแห้งเป็นอาหาร
สำหรับการเพาะเลี้ยงไรแดงแบบหมวมวล
Powdered Dried *Chlorella* sp. as a Food Source
for Mass Culture of Water Flea (*Moina macrocopa*)

ธัชพล การระเกตุ*, ดรินทร์ธร อำอิม,

ชลธิชา ระพีพัฒน์ชาญชัย และปิยวัฒน์ ปองผดุง

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การประมง ภาควิชาวิทยาศาสตร์การเกษตร คณะเกษตรศาสตร์ ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนเรศวร ตำบลท่าโพธิ์ อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก 65000

Thuchapol Karaket*, Darinthorn Am-aim,

Chonticha Rapeeputchanchai and Piyawat Pongpadung

Fisheries Science Program, Department of Agricultural Science, Faculty of Agriculture Natural Resources and Environment, Naresuan University, Tha Pho, Muang, Phitsanulok 65000

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการใช้สาหร่ายคลอเรลล่าอบแห้งเป็นแหล่งอาหารของไรแดงในการเพาะเลี้ยงแบบหมวมวล ซึ่งไรแดงเป็นแหล่งของอาหารที่มีความสำคัญอันดับต้นสำหรับการอนุบาลลูกสัตว์น้ำจืดวัยอ่อน โดยมีการจัดชุดการทดลองแบบ 4×5 แฟคทอเรียลในแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ (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 นอกจากนี้ยังพบอิทธิพลร่วมระหว่างระดับสาหร่ายคลอเรลล่าอบแห้งกับอัตราการปล่อยอีกด้วย ผลการทดลองนี้แสดงให้เห็นว่า สามารถใช้คลอเรลล่าอบแห้งเป็นแหล่งอาหารสำหรับเลี้ยงไรแดงแบบหมวมวลในสถานะที่ขาดแคลนคลอเรลล่าสด

คำสำคัญ : ไรแดง; สาหร่ายคลอเรลล่าอบแห้ง; การเพาะเลี้ยงแบบหมวมวล

Abstract

This study was carried out to investigate the performance of powdered dried *Chlorella* sp. as a food source in mass cultivation of water flea (*Moina macrocopa*) which is the primary important food sources for 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 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, significantly interaction between PDC level and stocking density were found. These results revealed that stored PDC could be used as food source for mass culture of *M. macrocopa* when lived *Chlorella* sp. is limited or unavailable.

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

1. บทนำ

การจัดการกระบวนการเพาะเลี้ยงทั้งระบบ เพื่อนำไปสู่ความสำเร็จนั้นมีขั้นตอนต่าง ๆ เข้ามาเกี่ยวข้องมากมาย ขั้นตอนหนึ่งที่มีความสำคัญไม่น้อย คือ การอนุบาลลูกสัตว์น้ำวัยอ่อน ให้มีอัตราการรอดสูง แข็งแรง ปลอดโรค เมื่อนำไปเลี้ยงแล้วมีการเจริญเติบโตได้ดีและเป็นที่ต้องการของเกษตรกร [1] ในขั้นตอนของการอนุบาลต้องอาศัยปัจจัยสำคัญหลายอย่าง โดยเฉพาะอย่างยิ่ง การจัดหาอาหารสัตว์น้ำวัยอ่อนที่ถูกต้อง มีความหนาแน่นเหมาะสมกับชนิด อายุ และขนาดของลูกสัตว์น้ำที่เพาะเลี้ยง เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและผลกำไรให้กับโรงเพาะฟัก [2] ในปัจจุบันนิยมใช้อาหารที่มีชีวิต (live feed) หลากหลายชนิด เพราะ

ให้ผลดีตามความต้องการดังกล่าว

ไรแดง (*Moina macrocopa*) เป็นแพลงก์ตอนสัตว์ขนาดเล็ก มีขนาดประมาณ 0.4-1.8 มิลลิเมตร เป็นสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังในกลุ่ม crustacean (กลุ่มเดียวกับ กุ้ง ปู และแมลงต่าง ๆ) เป็นอาหารมีชีวิตที่สำคัญและนิยมนำมาใช้เพื่อการอนุบาลลูกสัตว์น้ำจืด และสัตว์น้ำกร่อยบางชนิด ได้แก่ ปลานิล [3] ปลากระพงขาว [4] ปลาดุก ปลาแรด เป็นต้น รวมถึงปลาสวยงามอีกหลายชนิด ทำให้เป็นที่ต้องการของตลาด แต่ผลผลิตยังมีไม่เพียงพอกับความต้องการ ในอดีตนิยมเก็บรวบรวมจากแหล่งน้ำธรรมชาติ หรือโรงฆ่าสัตว์ แต่คุณภาพ และปริมาณไม่มีความสม่ำเสมอ อีกทั้งอาจเป็นพาหะนำโรคมารูปลาทูที่เลี้ยงอีกด้วย [5]

ปัจจุบันจึงมีการทดลองเพาะเลี้ยงกันอย่างแพร่หลาย โดยใช้อาหารชนิดต่าง ๆ เนื่องจากไรแดงมีลักษณะการกินอาหารโดยการกรอกกินแบบไม่เลือก [6] จึงสามารถกินอาหารที่มีอนุภาคขนาดเล็กหลายชนิด เช่น สารอินทรีย์ขนาดเล็ก แบคทีเรีย แพลงก์ตอนพืช ยีสต์ และโปรโตซัว [7-9] แต่ที่มีความเหมาะสมและได้รับความนิยม คือ การใช้สาหร่ายขนาดเล็กคลอเรลล่า (*Chlorella* sp.) [1,10-11]

อย่างไรก็ตาม การผลิตสาหร่ายคลอเรลล่าต้องอาศัยปัจจัยหลายอย่าง และผลผลิตที่ได้ไม่แน่นอนขึ้นอยู่กับสภาพอากาศเป็นปัจจัยสำคัญ เนื่องจากคลอเรลล่าเป็นสาหร่ายชนิดหนึ่ง นอกจากต้องการสารอาหารหลัก (N-P-K) เพื่อการเจริญเติบโตแล้ว ต้องอาศัยแสงแดดเป็นปัจจัยหลักอีกด้วย [12] การผลิตสาหร่ายชนิดนี้จึงมีปัญหาในบางช่วงหรือบางฤดูกาลที่แสงแดดน้อยโดยเฉพาะฤดูฝน ส่งผลให้อาหารสำหรับการเลี้ยงไรแดงขาดแคลน ปริมาณไรแดงจึงไม่เพียงพอ กับความต้องการ แต่ในบางเวลาที่มีแสงแดดมากและยาวนานในรอบวัน การผลิตสาหร่ายคลอเรลล่าจะมีมากเกินไปเกินความต้องการ และต้องปล่อยทิ้งอย่างเสียเปล่า หากมีการนำมาผลิตเป็นสาหร่ายอบแห้งเก็บไว้ น่าจะสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในอนาคต [13] ดังนั้น การศึกษานี้จึงทดสอบความเป็นไปได้ในการนำสาหร่ายคลอเรลล่าอบแห้งมาเป็นอาหารสำหรับการผลิตไรแดงแบบหมวมวลในเชิงพาณิชย์ต่อไป

2. อุปกรณ์และวิธีการ

2.1 การเพาะเลี้ยงสาหร่ายคลอเรลล่า

เตรียมน้ำสะอาดที่ผ่านการฆ่าเชื้อโรคด้วยคลอรีน และเตรียมอาหารโดยใช้สูตรที่ดัดแปลงมาจากกรมประมงโดยมีส่วนประกอบ (ต่อน้ำ 1 ลิตร) คือ ปุ๋ยยูเรีย $[\text{CO}(\text{NH}_2)_2]$ 0.30 กรัม ปุ๋ยนาสูตร (16-20-0) 0.15 กรัม รำละเอียด 0.50 กรัม และปูนขาว 0.09

กรัม นำหัวเชื้อสาหร่ายคลอเรลล่าจากศูนย์วิจัยและพัฒนาประมงน้ำจืดกาญจนบุรี จังหวัดกาญจนบุรี มาเพาะขยายในโหลแก้วขนาด 10 ลิตร และนำไปเพาะขยายในถังไฟเบอร์กลาสขนาด 600 ลิตร (มีการให้อากาศและใช้แสงธรรมชาติ)

2.2 การเตรียมสาหร่ายคลอเรลล่าอบแห้ง

เมื่อสาหร่ายที่เพาะเลี้ยงเจริญเติบโตถึงระยะ log phase นำมาตกตะกอนด้วยสาร poly aluminium chloride (PAC) ที่ความเข้มข้น 250 ppm เป็นเวลา 30 นาที สาหร่ายจะแยกชั้นกันให้ดูดส่วนใสด้านบนออก นำส่วนที่มีสีเขียวเข้มไปทำแห้งโดยใช้เครื่อง spray dry ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส และนำไปเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส

2.3 การวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาศาสตร์ของสาหร่ายคลอเรลล่า

สำหรับสาหร่ายคลอเรลล่าสดจะนำสาหร่ายใส่ถาดแล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จนสาหร่ายแห้งจึงนำไปวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาศาสตร์พร้อมกับสาหร่ายคลอเรลล่าอบแห้ง โดยวิเคราะห์ โปรตีน ไขมัน เถ้า ความชื้น และเยื่อใย ตามวิธีการของ AOAC [5] และคาร์โบไฮเดรตคำนวณจาก $\% \text{NFE} = 100 - \% \text{Ash} - \% \text{Fiber} - \% \text{Protein} - \% \text{Lipid}$

2.4 การเตรียมไรแดง

นำพ่อแม่พันธุ์ไรแดงจากศูนย์วิจัยและพัฒนาประมงน้ำจืดกำแพงเพชร จังหวัดกำแพงเพชร มาเพาะขยายเพื่อเพิ่มจำนวนในถังไฟเบอร์กลาสขนาด 600 ลิตร โดยใช้แหล่งอาหารเป็นสาหร่ายคลอเรลล่าสด

2.5 การวางแผนการทดลอง

การทดลองครั้งนี้มีการจัดชุดการทดลองแบบ 4x5 แฟคทอเรียลในแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ศึกษา 2 ปัจจัย คือ (1) ระดับความเข้มข้นของ

สาหร่ายคลอเรลล่าอบแห้ง มี 4 ระดับ ได้แก่ 0.05, 0.10, 0.15 และ 0.20 กรัมต่อลิตร และ (2) อัตราการปล่อยของไรแดง มี 5 ระดับ ได้แก่ 0.10, 0.15, 0.20, 0.25 และ 0.30 กรัมต่อลิตร (น้ำหนักเปียก) ประกอบด้วย 20 ชุดการทดลอง (treatment combinations) โดยจะทดลอง 3 ครั้ง (ซ้ำ) และมีชุดควบคุมเป็นการเลี้ยงไรแดงด้วยสาหร่ายคลอเรลล่าสดที่มีการปล่อยแดง 0.2 กรัมต่อลิตร (น้ำหนักเปียก)

2.6 การเพาะเลี้ยงและการเก็บเกี่ยวไรแดง

เพาะเลี้ยงไรแดงในโหลแก้วขนาด 8 ลิตร ที่มีการให้อากาศตลอดเวลา โดยชุดควบคุมใช้สาหร่ายคลอเรลล่าสด 5 ลิตร และไรแดง ส่วนชุดการทดลองอื่นใช้น้ำที่ผ่านการฆ่าเชื้อ 5 ลิตร ปล่อยไรแดงตามชุดการทดลอง และใส่สาหร่ายคลอเรลล่าอบแห้งตามปริมาณแผนการทดลองวันละครั้ง จากนั้นเก็บเกี่ยวไรแดงทั้งหมดที่ระยะ log phase

2.7 การเก็บข้อมูลและวิเคราะห์ผลทางสถิติ

2.7.1 เก็บข้อมูลคุณภาพน้ำวันละครั้งในตอนเช้า คือ ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ แอมโมเนีย ไนโตรเจน และความเป็นกรด-ด่าง (pH)

2.7.2 ตรวจสอบจำนวนไรแดงทุกวัน และชั่งน้ำหนักเปียกหลังการเก็บเกี่ยว แล้วนำมาคำนวณอัตราการเพิ่มขึ้นของประชากรไรแดง (rate of population increase, r) ตามสูตร คือ $r = \frac{(\ln N_t - \ln N_0)}{t}$ เมื่อ N_t คือ จำนวนไรแดงสุดท้าย, N_0 คือ จำนวนไรแดงเริ่มต้น, t คือ จำนวนวันที่เพาะเลี้ยง

2.7.3 วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลทั้งหมดด้วยวิธี analysis of variance (ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระหว่างชุดทดลองด้วยวิธี Duncan's new multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป R

3. ผลการวิจัยและวิจารณ์

3.1 องค์ประกอบทางเคมีในสาหร่ายคลอเรลล่า

องค์ประกอบทางเคมีของสาหร่ายคลอเรลล่าทั้งที่ผ่านการอบด้วยความร้อน และที่ผ่านเครื่อง spray dry (ตารางที่ 1) ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) ถึงแม้กระบวนการของเครื่อง spray dry ต้องใช้อุณหภูมิที่สูงกว่า แต่ใช้เวลาสั้น จึงไม่ได้ทำลายคุณค่าทางอาหารของสาหร่ายมากนัก โดยโปรตีนที่ยังคงมีค่าสูง และสารอาหารอื่น ๆ ยังมีค่าอยู่ในช่วงปกติที่สามารถตรวจพบในสาหร่ายชนิดนี้ โดยโปรตีนมีค่าอยู่ระหว่าง 42-58 % ไขมัน 10-22 % และคาร์โบไฮเดรต 12-17 % [1,14-16] แต่สิ่งที่จะทำให้คุณค่าทางอาหารของสาหร่ายมีความแตกต่างกันไปก็คือสภาพการเลี้ยง [30]

ตารางที่ 1 องค์ประกอบทางเคมีในสาหร่ายคลอเรลล่า (% น้ำหนักแห้ง)

องค์ประกอบ	สาหร่ายคลอเรลล่าสด	สาหร่ายคลอเรลล่าอบแห้ง
โปรตีน	44.74±3.34	43.46±2.35
ไขมัน	9.34±0.23	8.26±1.77
คาร์โบไฮเดรต	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

3.2 คุณภาพน้ำ

การเก็บข้อมูลพบว่าในวันที่ 1 การใช้สาหร่ายคลอเรลล่าสดมีค่าความเป็นกรดต่าง และปริมาณแอมโมเนียสูงกว่าการใช้สาหร่ายอบแห้งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ทั้งนี้เนื่องจากน้ำ

ที่ใช้เพาะเลี้ยงสาหร่ายคลอเรลล่าสดยังคงมีองค์ประกอบของปุ๋ยปนมา เมื่อเข้าสู่วันที่ 2 สาหร่ายคลอเรลล่าสดมีการดูดซึมแอมโมเนียไปใช้ทำให้มีปริมาณลดลง ส่วนในน้ำที่มีการใช้สาหร่ายอบแห้งเริ่มมีการสะสมของเสียต่าง ๆ ทำให้ค่าแอมโมเนียและไนโตรเจนสูงกว่าในน้ำที่มีสาหร่ายคลอเรลล่าสด (ตารางที่ 2) แต่คุณภาพน้ำในภาพรวมยังถือว่าอยู่ในเกณฑ์ที่ดีเหมาะสมกับการเลี้ยงไรแดง โดยเฉพาะปริมาณ

แอมโมเนียที่เป็นปัจจัยหลักที่จะส่งผลกระทบต่อการเพิ่มจำนวนของไรแดง ซึ่งการศึกษาของ Leung [19] แนะนำว่าควรมีค่าไม่เกิน 4.5 มิลลิกรัมต่อลิตร แต่ถ้าเป็นการใช้สาหร่ายคลอเรลล่าสดในการเพาะเลี้ยงสามารถมีค่าสูงถึง 12 มิลลิกรัมต่อลิตร [17] ซึ่งจากการทดลองครั้งนี้จะเห็นว่ามีความต่ำกว่ามาก อีกทั้งมีการเก็บเกี่ยวไรแดงในวันที่ 2 เท่านั้น คุณภาพน้ำจึงไม่ได้ส่งผลกระทบต่อผลผลิตที่เกิดขึ้น

ตารางที่ 2 คุณภาพน้ำระหว่างการเพาะเลี้ยงไรแดง (ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน)

พารามิเตอร์	สาหร่ายคลอเรลล่าสด		สาหร่ายคลอเรลล่าอบแห้ง	
	วันที่ 1	วันที่ 2	วันที่ 1	วันที่ 2
ปริมาณออกซิเจนละลาย (มก./ลิตร)	7.30±0.44	7.20±0.55	7.54±0.84	7.28±0.84
แอมโมเนีย (มก./ลิตร)	0.568±0.015 ^a	0.476±0.096 ^b	0.107±0.016 ^b	0.784±0.039 ^a
ไนโตรเจน (มก./ลิตร)	0.135±0.002 ^b	0.160±0.002	0.147±0.002 ^a	0.155±0.005
ความเป็นกรด-ด่าง (pH)	8.76±0.09 ^a	8.73±0.04 ^a	7.67±0.13 ^b	7.86±0.05 ^b

*ตัวอักษรที่แตกต่างในแถวเดียวกันแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ระหว่างชุดทดลองของแต่ละวัน

3.3 ผลผลิตของไรแดง

การทดสอบการเลี้ยงเบื้องต้นในครั้งแรกพบว่าไรแดงที่เลี้ยงด้วยสาหร่ายคลอเรลล่าอบแห้ง เริ่มพบการตายในวันที่สามในทุกชุดการทดลอง ส่วนการเลี้ยงด้วยสาหร่ายคลอเรลล่าสดไม่พบตัวตาย ดังนั้นเพื่อให้สามารถเปรียบเทียบผลผลิตกัน จึงเก็บเกี่ยวไรแดงจากทุกชุดการทดลองในวันที่ 2 ซึ่งจะพบว่าผลผลิตของไรแดง ทั้งจำนวนตัว น้ำหนักเปียกเมื่อเก็บเกี่ยว และอัตราการเพิ่มขึ้นของประชากรไรแดง จากการเลี้ยงด้วยสาหร่ายคลอเรลล่าอบแห้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p < 0.001$) กับการเลี้ยงด้วยสาหร่ายคลอเรลล่าสด ส่วนผลผลิตของไรแดงจากการใช้สาหร่ายคลอเรลล่าอบแห้งในระดับต่าง ๆ พบความแตกต่างกันทางสถิติ ($p < 0.05$) และ

พบความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p < 0.001$) ของผลผลิตไรแดงเมื่อมีอัตราการปล่อยพ่อแม่พันธุ์ในระดับที่แตกต่างกัน โดยที่อัตราการเพิ่มขึ้นของประชากรไรแดงยังอยู่ในช่วงปกติที่สามารถพบ ซึ่งผันแปรไปตามชนิด และปริมาณของแหล่งอาหาร อุณหภูมิ และสภาพการเลี้ยง [18,19] นอกจากนี้ยังพบอิทธิพลร่วมกันระหว่างระดับของอาหาร (สาหร่ายคลอเรลล่าอบแห้ง) กับอัตราการปล่อยพ่อแม่พันธุ์ไรแดงอย่างชัดเจน (ตารางที่ 3) ดังนั้นจึงแสดงให้เห็นว่านอกจากคุณภาพและปริมาณของอาหารที่ใช้เลี้ยง จะเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อผลผลิตของไรแดง [20] การปล่อยพ่อแม่พันธุ์ให้เหมาะสมกับปริมาณอาหารเป็นอีกหนึ่งปัจจัยที่จะช่วยกำหนดผลผลิตของไรแดงเช่นกัน

ตารางที่ 3 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของผลผลิตไรแดง

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)

ผลผลิตของไรแดงที่เก็บเกี่ยวได้จากการใช้สาหร่ายคลอเรลล่าอบแห้ง 0.2 กรัมต่อลิตร ที่อัตราการปล่อย 0.2 กรัมต่อลิตร (น้ำหนักเปียก) หรือจำนวน

ตัวเท่ากับ 2,800 ตัวต่อลิตร จะได้ผลผลิตสูงสุด และมีค่าสูงกว่าชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) (ตารางที่ 4) ซึ่งแตกต่างกับการทดลองเลี้ยง

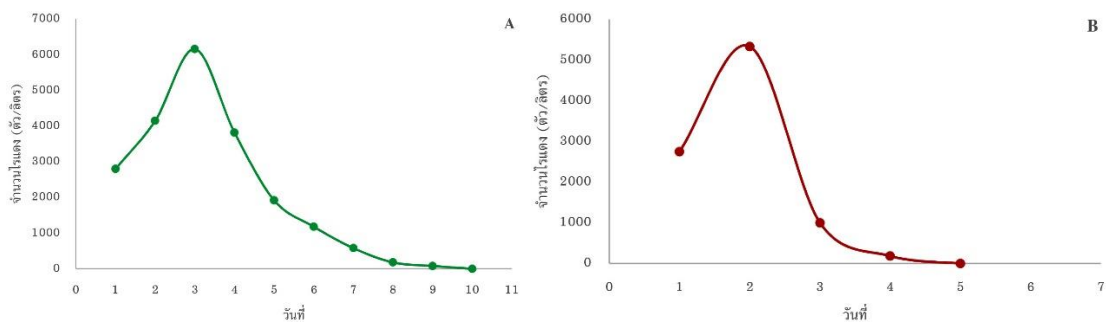
โรติเฟอร์ด้วยสาหร่ายอบแห้งของ Mostary และคณะ [21] ที่ให้ผลผลิตต่ำกว่าการใช้สาหร่ายสด โดยได้อธิบายไว้ว่าอาจมาจากกระบวนการอบแห้งไปทำลายคุณค่าทางอาหารของสาหร่ายให้ลดลง [22] แต่จากการผลการวิเคราะห์คุณค่าทางอาหารข้างต้นจะเห็นว่าไม่มีความแตกต่างกัน จึงไม่ส่งผลกระทบต่อการทำงานของโรติเฟอร์ของไรแดง อีกทั้งเมื่อสาหร่ายถูกทำให้แห้งด้วยความร้อนแล้ว ทำให้ไรแดงสามารถนำสารอาหารไปใช้ในการเจริญเติบโตได้ง่ายกว่าการกินแบบสด [2] ซึ่งน่าจะเป็นการช่วยให้ไรแดงสามารถย่อยเซลล์ของสาหร่ายง่าย เพราะโดยทั่วไปแล้วสัตว์น้ำจะมีความสามารถในการย่อย และใช้ประโยชน์จากพืชได้น้อย เนื่องจากมีผนังเซลล์ที่แข็งแรง แต่ถ้านำไปทำให้สุกด้วยวิธีการต่าง ๆ การย่อยด้วยเอนไซม์หรือการหมักจะช่วยให้สัตว์น้ำใช้ประโยชน์จากวัตถุดิบประเภทพืชได้ดีขึ้น [23,24] จึงทำให้ผลผลิตที่ได้จากการเพาะเลี้ยงด้วยสาหร่ายคลอเรลล่าอบแห้งในครั้งนี้มีค่ามากกว่าการเพาะเลี้ยงด้วยสาหร่ายคลอเรลล่าแบบสด นอกจากนี้

การทดลองนี้แสดงให้เห็นอย่างชัดเจนว่าเมื่อมีปริมาณอาหารเข้มข้นมากเกินไป ไม่ได้เป็นผลดีกับการเพิ่มจำนวนของไรแดง เนื่องจากอนุภาคของอาหารที่มากเกินไปนั้นจะไปอุดตันระยางค์ส่วนอก (thoracic limb) ทำให้ไรแดงต้องสูญเสียพลังงานส่วนหนึ่งเพื่อใช้ในการกำจัดอนุภาคส่วนเกินนั้นออกไป [25] ซึ่งน่าจะมีผลกระทบต่อระบบแลกเปลี่ยนก๊าซของไรแดง ส่งผลให้ไรแดงไม่สามารถใช้พลังงานเพื่อการสืบพันธุ์อย่างเต็มที่ เช่นเดียวกับการเพาะเลี้ยงไรแดงด้วยสาหร่ายที่มีความเข้มข้นสูง ๆ ของ Burak [26] Nandini และ Sarma [18] และ Xi และคณะ [19] หรือแม้กระทั่งการใช้เศษอาหารปลา และมูลปลาที่ระดับความเข้มข้นสูง ๆ ก็ไม่ได้ทำให้จำนวนไรแดงเพิ่มปริมาณได้สูงสุดเช่นกัน [8] เมื่อพิจารณาจากกราฟการเจริญเติบโตของไรแดงที่เลี้ยงด้วยสาหร่ายคลอเรลล่าสด ยังเป็นสิ่งยืนยันได้อย่างชัดเจนว่าปริมาณอาหารที่มากเกินไปทำให้ไรแดงเพิ่มจำนวนได้ช้ากว่าการใช้สาหร่ายคลอเรลล่าอบแห้งที่มีปริมาณเหมาะสมกับอัตราการปล่อยนั่นเอง (รูปที่ 1)

ตารางที่ 4 ผลผลิตของไรแดงจากการเลี้ยง 2 วัน (ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน)

ตัวแปร	ชุดควบคุม	อัตราการปล่อยไรแดง (กรัม/ลิตร)	ปริมาณของสาหร่ายคลอเรลล่าอบแห้ง (กรัม/ลิตร)			
			0.05	0.10	0.15	0.20
จำนวนไรแดง (ตัว/ลิตร)	4153.33±80.83 ^d	0.10	1773.33±213.85 ⁱ	2053.33±213.85 ^{kl}	2286.67±161.66 ^k	2566.67±646.63 ^j
		0.15	2286.67±80.83 ^k	2520.00±140.00 ^l	2893.33±323.32 ^{hi}	3546.67±80.83 ^{is}
		0.20	2986.67±80.83 ^h	3220.00±140.00 ^{sh}	3500.00±0.00 ^{is}	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
น้ำหนักเปียกเมื่อเก็บเกี่ยว (กรัม/ลิตร)	0.297±0.006 ^{de}	0.10	0.123±0.012 ^l	0.137±0.021 ^{kl}	0.153±0.015 ^k	0.167±0.040 ^l
		0.15	0.160±0.000 ^l	0.173±0.006 ^j	0.193±0.023 ^l	0.247±0.015 ^s
		0.20	0.217±0.006 ^h	0.223±0.015 ^h	0.247±0.006 ^s	0.385±0.008 ^a
		0.25	0.267±0.006 ^{is}	0.263±0.006 ^{is}	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 (ตัว/วัน)	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}
		0.15	0.042±0.018 ^{ghi}	0.091±0.028 ^{is}	0.158±0.058 ^{de}	0.262±0.012 ^b
		0.20	0.032±0.014 ^{ghi}	0.070±0.022 ^{fs}	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 ^{gh}	0.153±0.012 ^{de}
		0.30	0.027±0.018 ^{hi}	0.057±0.023 ^{fs}	0.021±0.009 ^{hi}	0.012±0.007 ⁱ

*ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแต่ละกลุ่มของตัวแปรแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ระหว่างชุดการทดลอง



รูปที่ 1 กราฟการเจริญเติบโตของไรแดงเมื่อใช้แหล่งอาหารแตกต่างกัน (A) สำหรับคลอเรลล่าสด (B) สำหรับคลอเรลล่าอบแห้ง

3.4 กราฟการเจริญเติบโตของไรแดง

การเลี้ยงไรแดงด้วยสาหร่ายคลอเรลล่าสด หรือที่เกษตรกรทั่วไปเรียกว่าน้ำเขียว และปล่อยพ่อแม่พันธุ์ไรแดงตามคำแนะนำของกรมประมง [1] ผลการทดลองครั้งนี้ไรแดงจะมีจำนวนตัวสูงสุดในวันที่ 3 ของการเลี้ยง (รูปที่ 1A) แต่การใช้สาหร่ายคลอเรลล่าอบแห้งจะใช้เวลาเพียง 2 วันเท่านั้น (รูปที่ 1B) ซึ่งปกติแล้วไรแดงจะมีช่วงเวลาในการเพิ่มจำนวนอยู่ระหว่าง 2-5 วันโดยประมาณ ขึ้นกับชนิดและปริมาณของอาหารที่ได้รับ [27] การที่ไรแดงเพิ่มจำนวนได้ช้าเมื่อเลี้ยงด้วยสาหร่ายคลอเรลล่าสด ในตอนแรกอาจมาจากปริมาณอาหารที่มากเกินไป อีกทั้งคุณภาพน้ำที่ต่ำกว่าปกติเล็กน้อย ทำให้ไรแดงเกิดความเครียด [28] จึงต้องใช้เวลานานกว่าจะเพิ่มจำนวน และจะตายหมดในวันที่ 10 ถึงแม้ว่าไรแดงสามารถรองรับจุลินทรีย์หรือสารอินทรีย์ขนาดเล็กอื่น ๆ [29] และสาหร่ายคลอเรลล่าสดจะสามารถเพิ่มจำนวน แต่ยังไม่เพียงพอ และไม่ทันกับความต้องการของไรแดงนั่นเอง ในส่วนของการใช้สาหร่ายคลอเรลล่าอบแห้งที่มีปริมาณเหมาะสมทำให้สามารถเพิ่มปริมาณอย่างรวดเร็ว แต่ก็ก็จะตายหมดในระยะเวลาอันสั้นเช่นกัน (วันที่ 5) ถึงแม้ว่าจะมีการเติมสาหร่ายคลอเรลล่าอบแห้งในปริมาณเท่าเดิมในทุกวัน แต่น่าจะไม่เพียงพอใน

วันที่ 2 เพราะมีการตายจำนวนมากในวันที่ 3 และจะมีปริมาณอาหารมากเกินไปในวันที่ 3 ซึ่งปริมาณอาหารจะไม่เหมาะสมกับจำนวนไรแดงนั่นเอง ส่วนช่วงชีวิตของไรแดงที่สั้นลงนั้น น่าจะมาจากปริมาณสาหร่ายคลอเรลล่าอบแห้งที่เติมให้ในทุกวันเป็นสาหร่ายที่ตายแล้วทำให้ตกตะกอนเป็นแหล่งอาหารของจุลินทรีย์ที่อาจเป็นอันตรายกับไรแดงได้ [30] อีกทั้งเกิดการเน่าเสียทำให้คุณภาพน้ำแยกลง แต่จากกราฟในรูปที่ 1B แสดงให้เห็นอีกอย่างหนึ่งว่าการเลี้ยงไรแดงด้วยสาหร่ายคลอเรลล่าอบแห้ง มีความเหมาะสมสำหรับการเลี้ยงแบบเก็บเกี่ยวต่อเนื่อง โดยเก็บเกี่ยวเพียง 50% จะเป็นการลดปริมาณไรแดงลงครึ่งหนึ่ง (ใกล้เคียงกับปริมาณเริ่มต้น) แล้วเติมน้ำใหม่ซึ่งจะเป็นการช่วยปรับปรุงเรื่องคุณภาพน้ำของการเลี้ยงได้อีกทางหนึ่ง และเติมอาหารลงไปเท่าเดิม ซึ่งน่าจะสามารถเก็บเกี่ยวผลผลิตหลายรอบ

4. สรุป

การใช้สาหร่ายคลอเรลล่าอบแห้ง 0.2 กรัมต่อลิตร เลี้ยงไรแดงที่อัตราการปล่อย 2,800 ตัวต่อลิตร (น้ำหนักเปียก 0.2 กรัมต่อลิตร) มีความเหมาะสมอย่างยิ่งเพื่อทดแทนการใช้สาหร่ายคลอเรลล่าสดในสภาวะขาดแคลนหรือไม่เพียงพอ อีกทั้งมีความเหมาะสม

สำหรับการเพาะเลี้ยงแบบเก็บเกี่ยวต่อเนื่อง แต่ควรเพิ่มเติมการศึกษาคุณภาพน้ำระหว่างการเลี้ยง และคุณภาพของไรแดงที่ผลิตได้ ในเรื่องของคุณค่าทางอาหารสำหรับการอนุบาลลูกสัตว์น้ำ

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากงบประมาณรายได้ มหาวิทยาลัยนเรศวร ประจำปีงบประมาณ 2558 (R2558C186) ขอขอบคุณ ดร.ภทริยา พลชา สำหรับคำแนะนำด้านภาษา และขอขอบคุณทุกท่านที่ช่วยสนับสนุนให้งานวิจัยครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

6. รายการอ้างอิง

- [1] ลัดดา วงศ์รัตน์, 2543, คู่มือการเลี้ยงแพลงก์ตอน, คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ, 127 น.
- [2] Mostary, S., Rahman, M.S. and Hossain, M.A., 2007, Culture of rotifer *Brachionus angularis* Hauer feeding with dried chlorella, Univ. J. Zool. Rajshahi Univ. 26: 73-76.
- [3] Islam, M.R., Hassan, M.R., Begum, M., Punom, N.J., Begum, M.K., Sultana, N. and Rahman, M.S., 2017, Effects of feeding zooplankton, *Moina macrocopa* (Strauss, 1820) on the growth of Nile tilapia *Oreochromis niloticus* L., Bangladesh J. Sci. Ind. Res. 52: 81-88.
- [4] 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.
- [5] สำนักวิจัยและพัฒนาประมงน้ำจืด, 2554, การผลิตอาหารมีชีวิตจากห้องปฏิบัติการเพื่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจืด, การจัดการความรู้ (KM) สำนักวิจัยและพัฒนาประมงน้ำจืด ปีงบประมาณ 2554, กรมประมง, กรุงเทพฯ, 18 น.
- [6] Ivleva, I.V., 1973, Mass cultivation of invertebrates: Biology and methods, Israel Program for Scientific.
- [7] Dodson, S.I. and Frey, D.G., 2001, Cladocera and other branchiopoda, pp. 850-914, In Thorp, J.H., Covich, A.P. (Eds.), Ecology and Classification of North American Freshwater Invertebrates, Academic Press, London.
- [8] Loh, J.Y., Ong, H.K.A., Hii, Y.S., Smith, T.J., Lock, M.M. and Khoo, G., 2013, Impact of potential food sources on the life table of the cladoceran, *Moina macrocopa*, Isr. J. Aquacult. Bamid. 65: 1-9.
- [9] Zöllner, E., Santer, B., Boersma, M., Hoppe, H.G. and Jürgens, K., 2003, Cascading predation effects of *Daphnia* and copepods on microbial food web components, Freshw. Biol. 48: 2174-2193.
- [10] Malhotra, Y.R. and Langer, S., 1993, Nutritional and density-dependent responses of some cladocera, Aquacult. Res. 24: 631-640.
- [11] Martínez-Jerónimo, F. and Gutierrez-Valdivia, A., 1991, Fecundity, reproduction, and growth of *Moina macrocopa* fed different algae, Hydrobiologia 222: 49-55.
- [12] Goldman, J.C., 1979, Outdoor algal mass

- cultures – II. Photosynthetic yield limitations, *Water Res.* 13: 119-136.
- [13] Martínez-Jerónimo, F. and Espinosa-Chávez, F., 1994, A laboratory-scale system for mass culture of freshwater microalgae in polyethylene bags, *J. Appl. Phycol.* 6: 423-425.
- [14] Becker, E.W., 2007, Micro-algae as a source of protein, *Biotechnol. Adv.* 25: 207-210.
- [15] Priyadarshani, I. and Rath, B., 2012, Commercial and industrial applications of micro algae – A review, *JABU* 3: 89-100.
- [16] Seyfabadi, J., Ramezanzpour, Z. and Khoeyi, Z.A., 2011, Protein, fatty acid, and pigment content of *Chlorella vulgaris* under different light regimes, *J. Appl. Phycol.* 23: 721-726.
- [17] Mangas-Ramírez, E., Sarma, S.S.S. and 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.
- [18] Nandini, S. and 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.
- [19] Xi, Y.L., Hagiwara, A. and Sakakura, Y., 2005, Combined effects of food level and temperature on life table demography of *Moina macrocopa* Straus (Cladocera), *Int. Rev. Hydrobiol.* 90: 546-554.
- [20] He, Z.H., Qin, J.G., Wang, Y., Jiang, H. and Wen, Z., 2001, Biology of *Moina mongolica* (Moinidae, Cladocera) and perspective as live food for marine fish larvae, *Hydrobiologia* 457: 25-37.
- [21] Mostary, S., Rahman, M.S., Mandal, A.S.M.S., Hasan, K.M.M., Rehena, Z. and Basar, S.M.A., 2010, Culture of *Brachionus plicatilis* feeding with powdered dried *Chlorella*, *Bangladesh Veterinarian* 27: 91-98.
- [22] 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.
- [23] ธนาภรณ์ จิตตपालพงศ์, 2557, การสร้างสูตรอาหารสัตว์น้ำและสูตรอาหารสัตว์น้ำเศรษฐกิจ, ราชการบริหารส่วนกลาง, กรมประมง, กรุงเทพฯ, 62 น.
- [24] 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.
- [25] Porter, K.G., Gerritsen, J. and 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.
- [26] Burak, E.S., 1997, Life tables of *Moina macrocopa* (Straus) in successive generations under food and temperature adaptation, *Hydrobiologia* 360: 101-107.

- [27] 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*, *Aquacult. Res.* 37: 1227-1237.
- [28] Sarma, S.S.S., Elguea-Sánchez, B. and Nandini, S., 2002, Effect of salinity on competition between the rotifers *Brachionus rotundiformis* Tschugunoff and *Hexarthra jenkiniae* (De Beauchamp) (Rotifera), *Hydrobiologia* 474: 183-188.
- [29] Poynton, S.L., Dachsel, P., Lehmann, M.J. and Steinberg, C.E., 2013, Culture of the cladoceran *Moina macrocopa*: Mortality associated with flagellate infection, *Aquaculture* 416: 374-379.
- [30] Abrantes, N. and Gonçalves, F., 2003, The dynamics of *Ceriodaphnia pulchella* (Cladocera) in laboratory, *Acta Oecol.* 24: S245-S249.