การเปรียบเทียบการเจริญ และองค์ประกอบทางเคมีของสาหร่ายอาร์โธรสไปร่า (สไปรูไลน่า) สายพันธุ์ต่างๆ ของประเทศไทย

Comparison of growth and chemical composition of various Thai *Arthrospira* (*Spirulina*) strains

จงกล พรมยะ[1*] ชนกันต์ จิตมนัส[1] และบัญชา ทองมี[1]

[1]คณะเทคโนโลยีการประมง และทรัพยากรทางน้ำ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่ ประเทศไทย 50290

[*]Corresponding Author, E-mail: jongkolp@mju.ac.th

บทคัดย่อ

การทดลองมีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบการเจริญ คุณค่าทางโภชนาการ สารสี ต้นทุนการผลิต และคุณภาพน้ำ ในการเพาะเลี้ยง *Spirulina* (*Arthrospira*) *platensis* สายพันธุ์ต่างๆ ของประเทศไทย ทำการเพาะเลี้ยงในบ่อ raceway ponds วางแผนการทดลองแบบ CRD แบ่งเป็น 3 ชุดการทดลองๆ 3 ซ้ำ ดังนี้ 1) สายพันธุ์ T_1Aspi.CMU1 2) สายพันธุ์ T_2Aspi.MJU1 และ 3) สายพันธุ์ T_3Aspi.MJU2 เก็บข้อมูลทุกๆ 3 วัน ระยะเวลา 15 วัน พบว่าสายพันธุ์ T_1 Aspi.CMU1 มีอัตราการเจริญจำเพาะ และแคโรทีน-นอยด์ สูงกว่าสายพันธุ์อื่น ปริมาณโปรตีนโดยน้ำหนักแห้งสูงในสายพันธุ์ T_3Aspi.MJU2 มีค่า 46.91±0.81 เปอร์เซ็นต์ และสายพันธุ์ T_2Aspi.MJU1 มีผลผลิตโดยน้ำหนักแห้ง 0.35±0.05 กรัม/ลิตร และต้นทุนการผลิต 309.69±38.36 บาท/กิโลกรัม คุณภาพน้ำทั้ง 3 ชุดการทดลองไม่มีความแตกต่างทางสถิติ สรุปได้ว่า สายพันธุ์ T_2 Aspi. MJU1 มีความเหมาะสมต่อการเพาะเลี้ยงเนื่องจาก มีปริมาณผลผลิตโดยน้ำหนักแห้ง และต้นทุนการผลิตดีกว่าสายพันธุ์อื่น

ABSTRACT

The aim of this research was to compare growth, nutrition value, pigments, production cost and water quality of *Spirulina (Arthrospira) platensis* cultured from various Thai strains. The CRD were applied; the experiment was set up in raceway ponds. There were three treatments, with 3 replication each: T_1Aspi.CMU1, T_2Aspi.MJU1 and T_3Aspi.MJU2. The data was collected every 3 days over a 15-day culture period. The results showed that: specific growth rate of T_1Aspi.CMU1 and carotenoid which was higher than other treatments. The dry weight protein was highest in strain T_3 Aspi.MJU2, 46.91±0.81% while T_2 Aspi.MJU1 had greater dry weight product, 0.35±0.05 g/l and product cost (309.69±38.36 baht/Kg). The water quality of *A. platensis* cultured in all experiments was not significant difference. It can be concluded that: T_2 Aspi.MJU1 strain is suitable for culture due to the most dry weight and the lowest cost of production.

คำสำคัญ: สายพันธุ์อาร์โธรสไปร่า การเจริญเติบโต คุณค่าทางโภชนาการ ต้นทุนการผลิต
Keywords: Various *Arthrospira*, Growth, Nutrition value, Production cost

บทนำ

สาหร่าย *Arthrospira* (*Spirulina*) *platensis* อยู่ในดิวิชัน Cyanophyta หรือไซยาโนแทคทีเรีย มีโปรตีน วิตามิน แร่ธาตุ และอาร์โธรสไปร่า สามารถต้านมะเร็ง และต้านจุลชีพ เพราะมีสารไฟโคไซยานิน (phycocyanin) ไฟโคเออริธริน (phycoerythrin) อัลโลไฟโคไซยานิน (allophycocyanin) และสารสีที่มีคุณค่าอื่นๆ (Abdulmumin, 2013) อาร์โธรสไปร่าพบในแหล่งน้ำ ที่มีค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) อยู่ระหว่าง 8.5-11.0 (Habib et al., 2008)

ปัจจุบันการเพาะเลี้ยงสาหร่ายอาร์โธรสไปร่า *Arthrospira* (*Spirulina*) *platensis* มักมีปัญหาในการเก็บเกี่ยวผลผลิต ได้ผลผลิตลดลง เซลล์ของสาหร่ายมีขนาดเล็กลง ซึ่งอาจเกิดจากสภาพแวดล้อม หรือสายพันธุ์ที่เหมาะสมกับสภาพแวดล้อมนั้นหรือไม่ จึงได้มีการวิจัยเพื่อตอบปัญหาดังกล่าว ซึ่งปัจจัยในการดำรงชีวิตของสาหร่าย และสิ่งมีชีวิตอื่นๆ ขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อม ประกอบด้วยปัจจัยทาง กายภาพ เคมี สารอาหาร และแร่ธาตุต่างๆ ซึ่งเป็นปัจจัย จำกัด (limiting factor) มีผลกระทบต่อการเจริญ และการแพร่กระจายของสิ่งมีชีวิต (ธีระ, 2535) มีการสำรวจปริมาณของ แพลงก์ตอนพืช ในบ่อเลี้ยงปลาบึกที่มีการสร้างอาหารธรรมชาติ โดยใส่ปุ๋ยมูลไก่แห้งในอัตรา 20 กิโลกรัม /ไร่ /สัปดาห์ ระยะเวลา 4 เดือน พบแพลงก์ตอนพืช ทั้งหมด 6 ดิวิชัน โดยเรียงจากมากไปหาน้อย ได้แก่ Cyanophyta, Chlorophyta, Chrysophyta, Euglenophyta, Pyrrophyta และ Cryptophyta (ขจรเกียรติ์ และคณะ, 2555) มีการศึกษาความหลากหลายของแพลงก์ตอนในบ่อปลา จำนวน 36 บ่อ ในพื้นที่เมือง Nedumangad และเมือง Panchayat จังหวัด Kerala ประเทศอินเดีย พบแพลงก์ตอนพืช ดิวิชั่น Cyanophyta, Chlorophyta และ Bacillariophyta และชนิดของแพลงก์ตอนพืชที่พบมากในสกุล *Arthrospira* sp., *Scenedesmus* sp. (Asha et al., 2015)

อาร์โธรสไปร่าเป็นสาหร่ายขนาดเล็กสามารถพบได้ในแหล่งน้ำ โดยเฉพาะในบ่อเลี้ยงปลาที่มีสารอาหารค่อนข้างสูง และมีการเจริญที่รวดเร็ว ใช้ระยะเวลาในการเจริญสูงสุด ที่สั้นกว่าพืชชั้นสูงมาก สามารถเพิ่มปริมาณเป็นสองเท่าภายในเวลาเพียง 24 ชั่วโมง (Chisti, 2007) จากการศึกษาชนิดของแพลงก์ตอนพืช และคุณภาพน้ำบางประการ ในบ่อดินที่มีการเลี้ยงปลาดุก ณ สมหมายฟาร์ม ตำบลหนองจ๊อม อำเภอสันทราย จังหวัดเชียงใหม่ ระหว่างเดือน มีนาคม 2551 ถึง เดือน กรกฎาคม 2551 พบชนิดแพลงก์ตอนพืช จากมากไปหาน้อยดังนี้คือ *Arthrospira* sp., *Scenedesmus* sp., *Nostoc* sp., *Merismopedia* sp., *Phacus* sp. ตามลำดับ และมีค่าอุณหภูมิอากาศ 29-31 องศาเซลเซียส อุณหภูมิน้ำ 27-29 องศาเซลเซียส ความเป็นกรด-ด่าง 8.5-8.7 ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ 2-3 มิลลิกรัม/ลิตร ความเป็นด่าง 200-220 มิลลิกรัม/ลิตร แอมโมเนียไนโตรเจน 0.07-0.10 มิลลิกรัม/ลิตร (จงกล, 2552) อาร์โธรสไปร่า นอกจากจะพบในแหล่งน้ำตามธรรมชาติแล้ว ยังสามารถพบได้ในน้ำที่ค่อนข้างเสีย หรือแม้แต่ในระบบบำบัดน้ำเสีย (ยุวดี, 2540)

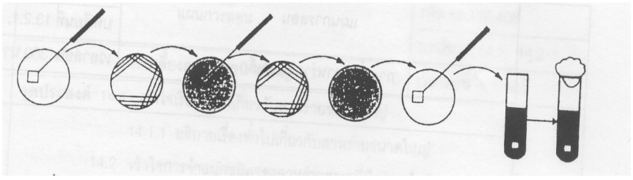
การเพาะเลี้ยง และการใช้ประโยชน์ของสาหร่ายจากแหล่งต่างๆ มีความเหมาะสม เนื่องจากสาหร่ายมีอยู่มากในธรรมชาติ การสังเคราะห์แสงที่เกิดขึ้นบนโลกนั้นเกิดจากสาหร่ายถึง 90 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้การเก็บสาหร่ายจากธรรมชาติมาเป็นอาหารหรือนำมาสกัดผลผลิตต่างๆ มากกว่า 3 ล้านตันต่อปี (Schiewer and Volesky, 2000) สาหร่ายอาร์โธรสไปร่าเจริญได้ดีที่อุณหภูมิ 32–37 องศาเซลเซียส ความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสม 9.5–10 ถ้าแหล่งน้ำที่มีความเค็ม และสภาพค่อนข้างเป็นด่างจะเจริญได้ดี (จงกล และขจรเกียรติ์, 2548) ค่าไนโตรเจนที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของอาร์โธรสไปร่ามีค่าอยู่ระหว่าง 1.3–6.5 มิลลิกรัม/ลิตร และปริมาณออร์โธฟอสเฟตที่เหมาะสมมีค่าระหว่าง 0.1–2 มิลลิกรัม/ลิตร (ศิริเพ็ญ, 2537) การเพาะเลี้ยงอาร์โธรสไปร่ามีขั้นตอนการเพาะเลี้ยง และการเก็บผลผลิตค่อนข้างง่าย ได้มีการส่งเสริมการเพาะเลี้ยงแก่เกษตรกร เพื่อเป็นอาหารสัตว์ใช้สารอาหาร Zarrouk's medium ปรับปรุง (modified Zm) มีสารอาหาร ดังนี้ $NaHCO_3$ 6 กรัม/ลิตร $NaNO_3$ 0.5 กรัม/ลิตร NaCl 1 กรัม/ลิตร $MgSO_4$ 1 กรัม/ลิตร และ N:P:K (16:16:16) 0.6 กรัม/ลิตร (จงกล และขจรเกียติ, 2548) สาหร่ายที่มีถิ่นกำเนิดต่างกัน นำ ไปเพาะเลี้ยง หรือนำไปแพร่พันธุ์เจริญในสภาพแวดล้อมที่เหมาะสม จะสามารถปกคลุม

สิ่งมีชีวิตอื่น และเจริญได้ดี สามารถนำสาหร่ายดังกล่าวไปใช้ประโยชน์ได้ (คณะทำงานชนิดพันธุ์ต่างถิ่น, 2550) ซึ่งสาหร่ายอาร์โธรสไปร่ามีการเพาะเลี้ยงในบ่อระบบเปิด (open pond) และบ่อแบบน้ำไหลเวียน (raceway pond) (Milledge, 2010) ดังนั้นจากผลงานวิจัย ดังกล่าวข้างต้น คณะผู้วิจัย จึงนำสาหร่ายอาร์โธรสไปร่าสายพันธุ์ต่างๆ ของประเทศไทย เช่น จากบ่อเลี้ยงปลานิลของเกษตร อำเภอพาน จังหวัดเชียงราย สายพันธุ์ Aspi.MJU1 และอาร์โธรสไปร่าจากบ่อเลี้ยงปลาดุกเชิงพาณิชย์ ณ สมหมายฟาร์ม อำเภอสันทราย จังหวัดเชียงใหม่ สายพันธุ์ Aspi.MJU2 เปรียบเทียบกับสายพันธุ์ Aspi.CMU1 เป็นสายพันธุ์ที่นำมาจากภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ เป็นสายพันธุ์ที่เพาะเลี้ยงอยู่เดิม นำไปเพาะเลี้ยงในบ่อแบบน้ำไหลเวียน (raceway pond) ที่สภาพแวดล้อมและสูตรอาหารเดียวกันโดยใช้สูตรอาหาร modified Zm (จงกล และขจรเกรียติ, 2548) เพื่อเปรียบเทียบการเจริญ คุณค่าทางโภชนาการ แคโรทีนอยด์ และต้นทุนการผลิต ของอาร์โธรสไปร่าสายพันธุ์ต่างๆ ของประเทศไทย เพื่อแก้ปัญหาผลผลิตลดลง เซลล์ของสาหร่ายมีขนาดเล็กลง และส่งเสริมการเพาะเลี้ยงอาร์โธรสไปร่าสายพันธุ์ใหม่เป็นประโยชน์ต่อการผลิตอาหารสัตว์น้ำ และเพิ่มผลผลิตเชิงพาณิชย์ต่อไป

อุปกรณ์และวิธีดำเนินการวิจัย

1. นำสายพันธุ์อาร์โธรสไปร่า จากบ่อปลานิลจำนงฟาร์ม อำเภอพาน จังหวัดเชียงราย (Aspi.MJU1) และบ่อปลาดุกสมหมายฟาร์ม อำเภอสันทราย จังหวัดเชียงใหม่ (Aspi.MJU2) มาคัดแยกเชื้อด้วยกล้องจุลทรรศน์ เลือกตัวอย่างอาร์โธรสไปร่าโดยไม่มีสาหร่ายชนิดอื่นปนนำมาเพาะเลี้ยงในอาหารวุ้นสูตร Zarrouk's medium ณ ห้องปฏิบัติการเพาะเลี้ยงสาหร่ายและแพลงก์ตอน คณะเทคโนโลยีการประมงและทรัพยากรทางน้ำ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่

2. เตรียมอาหารแข็งโดยใช้อาหารสูตร Zarrouk's medium จากนั้นนำตัวอย่างอาร์โธรสไปร่ามาเพาะเลี้ยงบนอาหารแข็ง โดยทำในตู้ปลอดเชื้อแล้วนำไปเพาะเลี้ยงในห้องปฏิบัติการจนกระทั่ง เห็นกลุ่มเซลล์ย้ายเชื้อจากอาหารแข็งในชุดที่ 1 ไปชุดที่ 2 โดยเลือกเอากลุ่มเซลล์ที่อยู่เดี่ยวๆ ทำเช่นนี้เรื่อยไปจนกระทั่งได้อาร์โธรสไปร่าเพียงชนิดเดียว นำไปเพาะเลี้ยงในอาหารเหลว โดยย้ายเชื้อจากอาหารแข็งในจานแก้วลงสู่อาหารเหลวใช้สูตรอาหาร Zarrouk's medium ในหลอดทดลองปริมาตรอาหารเหลว 10 มิลลิลิตร (รูปที่ 1)



รูปที่ 1 การแยกเชื้อบริสุทธิ์ (ลัดดา, 2542)

3. เตรียมอาหารสูตร Zarrouk's medium ปริมาตรอาหารเหลว 90 มิลลิลิตร และเติมเชื้ออาร์โธรสไปร่าแต่ละสายพันธุ์ ในข้อ 2 ปริมาตร 10 มิลลิลิตร เพาะเลี้ยงในขวดรูปชมพู่ (Erlenmeyer flask) ขนาด 250 มิลลิลิตร ให้อากาศต่อเนื่องตลอดเวลาที่อุณหภูมิห้องมีการติดหลอดไฟฟลูออเรซเซนต์ ที่เปิดอยู่ตลอดเวลา เพาะเลี้ยงเป็นระยะเวลา 10-15 วัน เพื่อเป็นเชื้อสาหร่ายตั้งต้นต่อไป

4. นำเชื้ออาร์โธรสไปร่าใน ข้อ 3. ไปขยายเพาะเลี้ยงสูตรอาหาร modified Zm (จงกล และขจรเกรียติ, 2548) ในภาชนะที่ใหญ่ขึ้นไปเรื่อยๆ ใช้ขวดน้ำขนาด 500 ซีซี. และขยายต่อในขวดน้ำเกลือขนาด 1 ลิตร ขยายต่อในโหลแก้วขนาด 10 ลิตร แต่ละขั้นตอนให้อากาศต่อเนื่องตลอดเวลาที่อุณหภูมิห้อง มีการติดหลอดไฟฟลูออเรซเซนต์ ที่เปิดอยู่ตลอดเวลา (รูปที่ 2) เพาะเลี้ยงเป็นระยะเวลา 10 วัน เพื่อเป็นสาหร่ายตั้งต้นต่อไป

รูปที่ 2 การขยายเชื้ออาร์โธรสไปร่าให้ได้ปริมาณมาก

5. จากนั้นนำสายพันธุ์อาร์โธรสไปร่าแต่ละสายพันธุ์เพาะเลี้ยงในบ่อพลาสติกระบบ raceway ponds กลางแจ้ง (รูปที่ 3) โดยวางแผนการทดลองแบบ CRD เพาะเลี้ยงในสูตรอาหาร modified Zm (จงกล และขจรเกรียติ, 2548) แบ่งเป็น 3 ชุดการทดลองๆ 3 ซ้ำ ดังนี้

ชุดการทดลองที่ 1 เพาะเลี้ยงอาร์โธรสไปร่าสาย พันธุ์ (T_1 Aspi.CMU1) รูปที่ 4

ชุดการทดลองที่ 2 เพาะเลี้ยงอาร์โธรสไปร่าสายพันธุ์ (T_2 Aspi.MJU1) รูปที่ 5

ชุดการทดลองที่ 3 เพาะเลี้ยงอาร์โธรสไปร่าสายพันธุ์ (T_3 Aspi.MJU2) รูปที่ 6

6. โดยแต่ละบ่อมีปริมาตรน้ำ 100 ลิตร โดยใช้เชื้อสาหร่ายอาร์โธรสไปร่าตั้งต้น 10 ลิตรต่อน้ำที่มีสารอาหาร 90 ลิตร ซึ่งในการเพาะเลี้ยงนี้จะเพาะเลี้ยงในสภาวะปกติ มีระบบหมุนเวียนน้ำเพื่อให้มีการสัมผัสกันอย่างทั่วถึงระหว่าง สาหร่าย อาหารและแสง ในการทดลองใช้เชื้ออาร์โธรสไปร่า (ข้อที่ 4) ความหนาแน่นของเซลล์เริ่มต้น ในการเพาะเลี้ยงที่ค่า optical density (OD) เท่ากับ 0.30 โดยวัดจากเครื่อง Spectrophotometer รุ่น DR 2000 ที่ความยาวคลื่นแสง 560 นาโนเมตร ในระหว่างการเพาะเลี้ยงวัดการเจริญทุกๆ 3 วัน ระยะเวลาการเพาะเลี้ยง 15 วัน เพื่อให้ได้ค่า OD เท่ากับ 0.8-1 เก็บผลผลิตอาร์โธรสไปร่าในรูปสาหร่ายสด (จงกล และขจรเกรียติ, 2548)

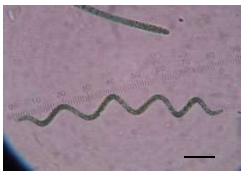
7. การวิเคราะห์หาอัตราการเจริญเติบโตของเซลล์จำเพาะ คำนวณได้จากสมการดังนี้ $\mu = \ln (N_2) - \ln (N_1)/t_2-t_1$ โดย μ คือ อัตราการเจริญของเซลล์จำเพาะ (ต่อวัน); N_1 คือ ความเข้มข้นของเซลล์ทีเวลา t_1 (เซลล์ ต่อมิลลิลิตร); N_2 = ความเข้มข้นของเซลล์ทีเวลา t_2 (เซลล์ต่อมิลลิลิตร); t_1 = เวลาเก็บตัวอย่างครั้งที่ 1 (วัน); t2 = เวลาเก็บตัวอย่างครั้งที่ 2 (วัน) โดยที่เวลา t_1, t_2 จะเป็นช่วงเวลาที่เซลล์เจริญอยู่ในช่วง Log phase (วิเชียร, 2539)

8. นำผลผลิตอาร์โธรสไปร่าสดไปอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 48 ชั่วโมง นำไปวิเคราะห์วัตถุแห้ง (Dry matter basic) โปรตีน ไขมัน เยื่อใย เถ้า ความชื้น คาร์โบไฮเดรต ปริมาณแคโรทีนอยด์ ปริมาณ ไฟโคไซยานิน และต้นทุนการผลิต (Berns et al., 1963; Jauncey and Ross, 1982 and AOAC., 1990)

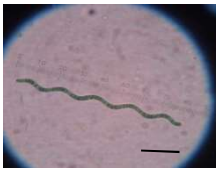
9. วิเคราะห์คุณภาพน้ำทางกายภาพ และเคมี ในแต่ละชุดการทดลอง ทุก 3 วัน ได้แก่ อุณหภูมิน้ำ โดยใช้ Thermometer ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ใช้ pH meter (Schott-Gerate CG 840) ค่าปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (Dissolved oxygen; DO) โดยวิธี Azide modification และค่าแอมโมเนีย-ไนโตรเจน (Ammonia-nitrogen; NH_3–N) วิธี Direct Nesslerization (Traichaiyaporn, 2000)

10. นำข้อมูลแต่ละปัจจัยวิเคราะห์ทางสถิติโดยวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ศึกษาความแตกต่างของแต่ละทรีตเมนต์ เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของทรีตเมนต์วิธีของ Tukey'sTest ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%($p<0.05$)

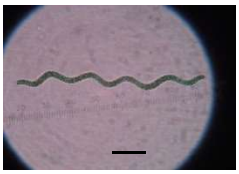
รูปที่ 3 บ่อ raceway ponds



รูปที่ 4 Aspi.CMU1 scale bar = 33 μm



รูปที่ 5 Aspi.MJU1 scale bar = 48 μm



รูปที่ 6 Aspi.MJU2 scale bar = 31 μm

ผลการวิจัย

1. ค่าอัตราการเจริญของเซลล์จำเพาะ (specific growth rates) พบว่าสายพันธุ์ T_1Aspi.CMU1 มีค่า 0.10±0.03 หน่วยต่อวัน ดีกว่าสายพันธุ์อื่น อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) (ตารางที่ 1)

2. ปริมาณผลผลิตของสาหร่ายโดยน้ำหนักแห้ง (dry weight product) พบว่าสายพันธุ์ T_2Aspi.MJU1 มีค่า 0.35±0.05 กรัม/ลิตร มีค่ามากกว่าสายพันธุ์อื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) (ตารางที่ 1)

3. ปริมาณแคโรทีนอยด์ พบว่าอาร์โธรสไปร่าสายพันธุ์ T_1Aspi.CMU1 มีค่า 6.75±0.30 มิลลิกรัม/กรัม ซึ่งมีค่ามากกว่าอาร์โธรสไปร่าสายพันธุ์อื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ซี-ไฟโคไซยานิน พบว่า อาร์โธรสไปร่าทั้ง 3 สายพันธุ์ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ (ตารางที่ 1)

4. คุณค่าทางโภชนาการ เช่น วัตถุแห้ง ความชื้น ไขมัน ทั้ง 3 สายพันธุ์ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ (ตารางที่ 2) ค่าโปรตีน พบว่าสายพันธุ์ T_3Aspi.MJU2 มีค่า 46.91±0.81 เปอร์เซ็นต์ มากกว่าสายพันธุ์อื่น เถ้า พบว่าสายพันธุ์ T_1Aspi. CMU1 และT_3Aspi.MJU2 มีค่า 4.02±0.19 และ 3.96±0.16 เปอร์เซ็นต์ มากกว่าสายพันธุ์ T_2 Aspi.MJU1 เยื่อใย พบว่าสายพันธุ์ T_1Aspi.CMU1 มีค่า 1.97±0.03 เปอร์เซ็นต์ มากกว่าสายพันธุ์อื่น และค่าคาร์โบไฮเดรต พบว่า สายพันธุ์ T_2 Aspi.MJU1 มีค่า 24.97±1.46 เปอร์เซ็นต์ และสายพันธุ์ T_1 Aspi.CMU1 มีค่า 24.48±1.44 เปอร์เซ็นต์ มากกว่าสายพันธุ์ T_3 Aspi.MJU2 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) (ตารางที่ 2)

5. ต้นทุนการผลิต อาร์โธรสไปร่า โดยน้ำหนักแห้ง พบว่าสายพันธุ์ T_2Aspi.MJU1 มีค่า 309.69±38.36 บาท/กิโลกรัม ต่ำกว่าสายพันธุ์อื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) (ตารางที่ 2)

6. คุณภาพน้ำทางกายภาพและเคมี ในบ่อเพาะเลี้ยงอาร์โธรสไปร่าระบบ raceway pond ทั้ง 3 ชุดการทดลอง มีค่าอุณหภูมิของน้ำอยู่ระหว่าง 28.42±0.43-28.58±0.29 องศาเซลเซียส ค่าpH อยู่ระหว่าง 9.68±0.02-9.70±0.02 ค่า DO อยู่ระหว่าง 5.14±0.11-5.23±0.10 มิลลิกรัม/ลิตร และค่า NH_3–N อยู่ระหว่าง 0.56±0.04-0.57±0.05 มิลลิกรัม/ลิตร คุณภาพน้ำทุกปัจจัยจากการทดลอง ทั้ง 3 ชุดการทดลอง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

ตารางที่ 1 อัตราการเจริญจำเพาะ ผลผลิตสาหร่ายโดยน้ำหนักแห้ง แคโรทีนอยด์ และซี-ไฟโคไซยานิน ของอาร์โธรสไปร่าที่เพาะเลี้ยงบ่อ raceway ponds แต่ละชุดการการทดลอง ระยะเวลา 15 วัน

ปัจจัยในการทดลอง	(T_1) Aspi. CMU1	(T_2) Aspi. MJU1	(T_3) Aspi. MJU2
อัตราการเติบโตจำเพาะ (หน่วย/วัน)	$0.10±0.03^{a}$	$0.06±0.03^{c}$	$0.08±0.01^{b}$
ผลผลิตสาหร่ายโดยน้ำหนักแห้ง (กรัม/ลิตร)	$0.33±0.01^{b}$	$0.35±0.05^{a}$	$0.29±0.03^{b}$
แคโรทีนอยด์ (มิลลิกรัม/ลิตร)	$6.75±0.30^{a}$	$5.79±0.35^{b}$	$5.98±0.28^{b}$
ซี-ไฟโคไซยานิน (มิลลิกรัม/ลิตร)	$8.75±0.17^{ns}$	$9.59±0.84^{ns}$	$9.49±0.55^{ns}$

หมายเหตุ: อักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันในแนวนอน หมายความว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) และ ns หมายความว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$)

ตารางที่ 2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแห้ง ค่าวัตถุแห้ง ความชื้น ไขมัน โปรตีน เถ้า เยื่อใย คาร์โบไฮเดรต และต้นทุนการผลิตของอาร์-โธรสไปร่าที่เพาะเลี้ยงในบ่อแบบ raceway ponds แต่ละชุดการทดลอง ระยะเวลา 15 วัน

ปัจจัยในการทดลอง	(T_1) Aspi. CMU1	(T_2) Aspi. MJU1	(T_3) Aspi. MJU2
ค่าวัตถุแห้ง (เปอร์เซ็นต์)	76.13±0.88^{ns}	76.72±1.76^{ns}	75.39±1.17^{ns}
ความชื้น (เปอร์เซ็นต์)	23.87±0.88^{ns}	23.28±1.77^{ns}	24.61±1.17^{ns}
ไขมัน (เปอร์เซ็นต์)	3.17±0.88^{ns}	3.18±1.76^{ns}	3.04±1.67^{ns}
โปรตีน (เปอร์เซ็นต์)	42.49±1.27^{b}	43.85±0.54^{b}	46.91±0.81^{a}
เถ้า (เปอร์เซ็นต์)	4.02±0.19^{a}	3.35±0.55^{b}	3.96±0.16^{a}
เยื่อใย (เปอร์เซ็นต์)	1.97±0.03^{a}	1.37±0.11^{c}	1.56±0.35^{b}
คาร์โบไฮเดรต (เปอร์เซ็นต์)	24.48±1.44^{a}	24.97±1.46^{a}	19.93±1.69^{b}
ต้นทุนการผลิต (บาท/กิโลกรัม)	355.95±17.35^{a}	309.69±38.36^{b}	377.82±43.38^{a}

หมายเหตุ: อักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันในแนวนอน หมายความว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) และ ns หมายความว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$)

วิจารณ์ผลการวิจัย

1. ผลการวิเคราะห์ อัตราการเจริญเติบโตของเซลล์จำเพาะ พบว่าสายพันธุ์ T_1 Aspi. CMU1 มีค่า 0.10±0.03 ต่อวัน มากกว่าสายพันธุ์อื่นๆ ซึ่งค่าอัตราการเติบโตจำเพาะจากการวิจัยในครั้งนี้น้อยกว่าการวิจัยของ Chen et al. (2011) ได้นำสายพันธุ์สาหร่าย *A. platensis* จากทะเลสาบ Chitu ในประเทศเอธิโอเปีย มาเพาะเลี้ยงในระบบ photobioracter มีการควบคุมความเค็ม ในช่วง 13-88 กรัม/ลิตร โดยสารอาหารจำพวก $NaHCO_3$ พบว่า อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะสูงสุดเท่ากับ 2.14 หน่วยต่อวัน ที่ความเค็มอยู่ระหว่าง 33-51 กรัม/ลิตร ซึ่งถ้ามีการเพิ่มความเค็มมากกว่า 51 กรัม/ลิตร จะทำให้อัตราการเติบโตจำเพาะลดลงมีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 0.10- 0.33 ต่อวัน ซึ่งคล้ายกับการทดลองในครั้งนี้มีการเติมสาร $NaHCO_3$ และ NaCl ค่อนข้างมาก

2. ผลการวิเคราะห์ปริมาณผลผลิตของสาหร่ายโดยน้ำหนักแห้ง จากงานวิจัยนี้พบว่าสายพันธุ์ T_2 Aspi. MJU1 มีค่า 0.35±0.05 กรัม/ลิตร ซึ่งมีค่ามากกว่าสายพันธุ์อื่น ใกล้เคียงกับงานวิจัยของ Cruz-Martinez et al. (2015) ในการเพาะเลี้ยงอาร์โธรสไปร่าที่ความเข้มแสง 148 ไมโครโปรตอน/ตารางเมตร/วินาที และมีแอมโมเนียมไนเตรต เข้มข้น 9.7 ไมโครโมล ได้ผลผลิตสาหร่ายแห้ง 0.38±0.03 กรัม/ลิตร

3. ปริมาณแคโรทีนอยด์โดยน้ำหนักแห้ง จากงานวิจัยนี้พบว่าสาหร่ายอาร์โธรสไปร่าสายพันธุ์ T_1 Aspi.CMU1 มีค่าเท่ากับ 6.75±0.30 มิลลิกรัม/กรัม ซึ่งค่าดังกล่าวมากกว่าอาร์-โธรสไปร่าสายพันธุ์อื่น และจากผลงานวิจัยนี้แคโรทีนอยด์ มีค่ามากกว่าการทดลองของ จงกลและชนกันต์ (2558) เพาะเลี้ยงอาร์โธรสไปร่าในสารอาหารที่มีสารไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบมีแคโรทีนอยด์เท่ากับ 2.23±0.02 มิลลิกรัม/กรัม ค่า ซี-ไฟโคไซยานิน ทั้ง 3 ชุดการทดลองไม่มีความแตกต่างทางสถิติ มีค่าอยู่ระหว่าง 8.75±0.17-9.59±0.84 มิลลิกรัม/กรัม จากผลการทดลองในครั้งนี้ ซีไฟโคไซยานิน มีค่าน้อยกว่า การเพาะเลี้ยง *A. platensis* โดยใช้น้ำทิ้งจากโรงอาหาร 100% พบว่า ซีไฟโค-ไซยานิน 17.95 มิลลิกรัม/กรัม (จงกล และศิริเพ็ญ, 2553) จากผลการวิจัยในครั้งนี้กับงานวิจัยอื่น มีค่าแคโรทีนอยด์ และซีไฟโคไซยานิน มีค่าต่างกัน อาจเป็นผลมาจากปริมาณสารอาหารที่เพาะเลี้ยงสาหร่ายอาร์โธรสไปร่า แตกต่างกัน (Habib et al., 2008)

4. คุณค่าทางโภชนาการ ผลการวิเคราะห์วัตถุแห้ง (Dry matter basic) จากการวิจัยนี้ พบว่าสายพันธุ์ T_1 Aspi. CMU1, T_2 Aspi.MJU1 และ T_3 Aspi.MJU2 มีค่า 76.13±0.88, 76.72±1.76 และ 75.39±1.17 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ทั้ง 3 ชุดการทดลอง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ แต่ค่าวัตถุแห้งมากกว่างานวิจัยของ ITRAD (2009) ได้นำอาร์โธรสไปร่าจากธรรมชาติ ในประเทศชาดมาวิเคราะห์ได้ค่าวัตถุแห้งเท่ากับ 70 เปอร์เซ็นต์ อาจ เป็นเพราะสูตรอาหารจากงานวิจัยนี้ มีการใช้โซเดียมไปคาร์บอเนต เพื่อเป็นแหล่งคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ทำให้สามารถรักษาระดับ pH อยู่ระหว่าง 8.5–10 ทำให้อาร์โธร-สไปร่าเจริญได้ดี และไม่มีสิ่งมีชีวิตอื่นเจือปน (Nakamura, 1982; Venkataraman, 1983) ผลการวิเคราะห์ความชื้นจากการวิจัยนี้ พบว่าสายพันธุ์ T_1 Aspi.CMU1, T_2 Aspi.MJU1 และ T_3 Aspi.

MJU2 มีค่า 23.87±0.89, 23.28±1.77 และ 24.61±1.17 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับทั้ง 3 ชุดการทดลอง มีค่าความชื้นไม่แตกต่างกัน อาจเป็นผลจากการสะสมของมวลชีวภาพ และแร่ธาตุในอาร์โธรสไปร่าที่คล้ายกัน (Habib et al., 2008)

ค่าไขมันจากการวิจัยนี้ พบว่าสายพันธุ์ T_1 Aspi.CMU1, T_2 Aspi.MJU1 และ T_3 Aspi.MJU2 มีค่า 3.17±0.88, 3.18±1.76 และ 3.04±1.67 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าทั้ง 3 สายพันธุ์มีค่าไขมันไม่ต่างกัน มีรายงานว่าไซยาโนแบคทีเรียจะไม่มีการเปลี่ยนแปลงปริมาณไขมัน และกรดไขมันที่เพาะเลี้ยงในสูตรอาหารที่สารไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบหลัก (Ungsethaphand et al., 2009) แต่จากงานวิจัยในครั้งนี้ค่าไขมันใกล้เคียงกับการทดลองของ Taha et al. (2013) มีการนำน้ำในบ่อปลานิลมาเพาะเลี้ยง *A. platensis* ควบคุม pH ที่ 9 อุณหภูมิน้ำ 35 องศาเซนเซียส ความเข้มแสงที่ 4,000 ลักษ์ พบว่าสาหร่ายมีไขมัน 3.7 เปอร์เซ็นต์ ค่าโปรตีนของอาร์โธรสไปร่า จากการวิจัยนี้ พบว่าสายพันธุ์ T_3 Aspi.MJU2 มีค่า 46.91±0.81 เปอร์เซ็นต์ มากกว่าสายพันธุ์อื่นๆ ใกล้เคียงกับงานวิจัยของ Marrez et al. (2014) ในการเพาะเลี้ยงสาหร่ายอาร์โธรสไปร่าแต่ละฤดูกาลมีค่าโปรตีน 49.47 เปอร์เซ็นต์

ค่าเถ้าของอาร์โธรสไปร่า จากการวิจัยนี้พบว่า สายพันธุ์ T_1 Aspi.CMU1 และT_3 Aspi.MJU2 มีค่า 4.02±0.19 และ 3.96±0.16 เปอร์เซ็นต์ มากกว่าสายพันธุ์ T_2 Aspi.MJU1 จากผลการวิจัยของ Marrez et al. (2014) มีปริมาณเถ้าของอาร์โธรสไปร่า เฉลี่ยอยู่ระหว่าง 4-10 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งใกล้เคียงกับผลการวิจัยนี้ ค่าเยื่อใยของอาร์โธรสไปร่า จากการวิจัยนี้ พบว่าสายพันธุ์ T_1 Aspi.CMU1 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.97±0.03 เปอร์เซ็นต์ มากกว่าสายพันธุ์อื่น จากผลการวิจัยของ Marrez et al. (2014) เยื่อใยมีค่าเฉลี่ย 2.44 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งใกล้เคียงกับผลการวิจัยนี้ ค่าคาร์โบไฮเดรตของอาร์โธรสไปร่า จากการวิจัยนี้ พบว่า สายพันธุ์ T_2 Aspi.MJU1 มีค่า 24.97±1.46 เปอร์เซ็นต์ และสายพันธุ์ T_1 Aspi.CMU1 มีค่า 24.48 ±1.44 เปอร์เซ็นต์ มากกว่าสายพันธุ์ T_3 Aspi.MJU2 ซึ่งใกล้เคียงกับผลการวิจัยของ Marrez et al. (2014) ค่าคาร์โบไฮเดรตของสาหร่ายอาร์โธรสไปร่า เฉลี่ยเท่ากับ 22.80 เปอร์เซ็นต์ และคล้ายกันกับผลการวิจัยของ Madkour et al. (2012) ที่รายงานว่าคาร์โบไฮเดรตมีค่าอยู่ระหว่าง 23.2-24.5 เปอร์เซ็นต์

5. ผลการวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตอาร์โธรสไปร่าแห้ง จากการวิจัยนี้ พบว่าสายพันธุ์ T_2 Aspi. MJU1 มีค่า 309.69±38.36 บาท/กิโลกรัม มีต้นทุนต่ำกว่าสายพันธุ์อื่นๆ ซึ่งใกล้เคียงกับผลการวิจัยของ จงกลและชนกันต์ (2558) เรื่องกรรมวิธีการคงสภาพสาหร่ายสไปรูลิน่าสด เพื่อเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการในอาหารปลาแฟนซีคาร์ฟ ซึ่งสไปรูลิน่าสดที่นำมาได้จากการเพาะเลี้ยงในน้ำทิ้งโรงอาหาร ผสมสารอาหารสูตร modified Zm (จงกลและขจรเกรียติ, 2548) มีต้นทุนการผลิตอาร์โธสไปร่าแห้งเท่ากับ 308.30±2.50 บาท/กิโลกรัม

6. ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำทางกายภาพและเคมี ในบ่อเพาะเลี้ยงอาร์โธรสไปร่า ระบบ raceway pond จากการวิจัยนี้ พบว่า อุณหภูมิของน้ำ มีค่าอยู่ระหว่าง 28.42±0.43-28.58±0.29 องศาเซลเซียส การทดลองนี้มีค่าใกล้เคียงกับการเพาะเลี้ยงสาหร่ายอาร์โธสไปร่าในน้ำทิ้งโรงอาหาร มีอุณหภูมิของน้ำอยู่ที่ 28.20 องศาเซลเซียล (จงกลและศิริเพ็ญ, 2553) อย่างไรก็ตามสาหร่ายอาร์โธรสไปร่าจะเจริญได้ดีที่อุณหภูมิเฉลี่ย 28-34 องศาเซลเซียล อุณหภูมิที่ต่ำกว่า 20 องศาเซลเซียล หรือสูงกว่า 37 องศาเซลเซียล ไม่เหมาะต่อการเจริญของอาร์โธรสไปร่า อุณหภูมิที่ สูงกว่า 40 องศาเซลเซียล และอุณหภูมิต่ำกว่า 15 องศาเซลเซียล จะเป็นอันตรายต่อเซลล์ของอาร์โธรสไปร่า (Richmond et al., 1993)

ค่า pH ทั้ง 3 ชุดการทดลองมีค่าอยู่ระหว่าง 9.68±0.02-9.70±0.02 และการวิจัยนี้มีค่า pH ใกล้เคียงกับการวิจัยของ Albert et al. (2012) ได้มีการวิเคราะห์คุณภาพน้ำจากการเลี้ยงสาหร่าย *A. platensis* ที่เพาะเลี้ยงเป็นอาหารของคนและสัตว์ พบว่า คุณภาพน้ำมีค่า pH อยู่ระหว่าง 9.98-10.01 ค่า DO ทั้ง 3 ชุดการทดลองมีค่าอยู่ระหว่าง 5.14±0.11-5.23±0.10 มิลลิกรัม /ลิตร ซึ่งค่าดังกล่าวใกล้เคียงกับ การเพาะเลี้ยงอาร์-โธรสไปร่า ในสูตรน้ำทิ้งโรงอาหาร 100 เปอร์เซ็นต์ มีค่า DO เท่ากับ 6.12 ± 0.12 มิลลิกรัม/ลิตร (จงกลและ ศิริเพ็ญ, 2553) และใกล้เคียงกับการเพาะเลี้ยงอาร์โธรสไปร่า ในน้ำทิ้งจากโรงงานขนมจีน มีค่า DO เท่ากับ 5.57 มิลลิกรัม/ลิตร (สุมนทิพย์, 2553) ค่า NH_3–N ทั้ง 3 ชุดการทดลอง มีค่าอยู่ระหว่าง 0.56±0.04-0.57±0.05 มิลลิกรัม/ลิตร ใกล้เคียงกับการเพาะเลี้ยงอาร์โธร-สไปร่าในอาหารอินทรีย์ โดยใช้อาหาร Zarrouk 's Medium สูตรปกติ 100 เปอร์เซ็นต์ มีค่า 0.49±0.02 มิลลิกรัม/ลิตร (สุวรรณี, 2552)

สรุปผลการวิจัย

จากผลการทดลองสรุปได้ว่า การเพาะเลี้ยงอาร์โธรสไปร่าแต่ละสายพันธุ์ในบ่อแบบ raceway ponds พบว่าสายพันธุ์ T_1 Aspi. CMU1 มีค่าอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ แคโรทีนอยด์ ดีกว่าสายพันธุ์อื่นๆ แต่ปริมาณโปรตีนสายพันธุ์ T_3 Aspi.MJU2 มากกว่าสายพันธุ์อื่นๆ และสายพันธุ์ T_2 Aspi. MJU1 มีปริมาณผลผลิตโดยน้ำหนักแห้ง และต้นทุนการผลิตดีกว่าสายพันธุ์อื่น คุณภาพน้ำทางกายภาพและเคมี ทั้ง 3 ชุดการทดลองไม่มีความแตกต่างทางสถิติ และจากสมมุติฐานการเพาะเลี้ยงอาร์โธรสไปร่ามีปัญหาผลผลิตลดลง เซลล์มีขนาดเล็กลง อาจเกิดจากสภาพแวดล้อม หรือสายพันธุ์ที่เหมาะสม จากการทดลองนี้สายพันธุ์ T_2 Aspi. MJU1 มีปริมาณผลผลิตโดยน้ำหนักแห้ง และต้นทุนการผลิตดีกว่าสายพันธุ์อื่น จึงเป็นสายพันธุ์ที่เหมาะสมในการส่งเสริมการเพาะเลี้ยงแก่เกษตรกรและผู้สนใจต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

ทุนสนับสนุนการวิจัยจากสำนักวิจัยและส่งเสริมวิชาการ การเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) และคณะเทคโนโลยีการประมง และทรัพยากรทางน้ำ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ อำเภอสันทราย จังหวัดเชียงใหม่

เอกสารอ้างอิง

ขจรเกียรติ์ ศรีนวลสม บัญญัติ มนเทียรอาสน์ และ จงกล พรมยะ. (2555). ความหลากชนิด ปริมาณแพลงก์ตอนพืช และคุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงปลาบึก (*Pangasianodon gigas*) ด้วยระบบการเลี้ยงที่แตกต่างกัน. วารสารวิทยาศาสตร์ มข. 40(1): 121-134.

คณะทำงานชนิดพันธุ์ต่างถิ่น. (2550). ชนิดพันธุ์ต่างถิ่นที่ส่งผลกระทบต่อสภาพแวดล้อม, แหล่งข้อมูล: https://sites.google.com/site/ttttttttttttt111233333/home/chnid-phanthu-tang-thin-thi-sng-phlk-ra-thb-tx-sphaph-waedlxm. ค้นเมื่อวันที่ 10 ตุลาคม 2559

จงกล พรมยะ และขจรเกียรติ แซ่ตัน. (2548). การเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูลินาเพื่อสุขภาพ. พิมพ์ครั้งที่ 1. เชียงใหม่: ภาคเทคโนโลยีการประมง คณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่. 40 หน้า.

จงกล พรมยะ. (2552). การเพาะเลี้ยงสาหร่าย.พิมพ์ครั้งที่ 1. เชียงใหม่: คณะเทคโนโลยีการประมง และทรัพยากรทางน้ำมหาวิทยาลัยแมโจ้. เชียงใหม่. 228 หน้า.

จงกล พรมยะ และศิริเพ็ญ ตรัยไชยาพร. (2553). การผลิตรงควัตถุ กรดไขมัน คุณค่าทางโภชนาการและต้นทุนการผลิต ในการเพาะเลี้ยง *Spirulina* (*Arthrospira*)*plateneis*(Nordtedt) Geiteler: โดยใช้น้ำทิ้งจากโรงอาหาร. วารสารวิจัยคณะเทคโนโลยีการประมง 4(2): 44–53.

จงกล พรมยะ และชนกันต์ จิตมนัส. (2558). กรรมวิธีการคงสภาพสาหร่ายสไปรูลิน่าสด เพื่อเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการในอาหารปลาแฟนซีคาร์ฟ.วารสารการพัฒนาชุมชนและคุณภาพชีวิต. 3 (2): 215-228.

ธีระ เล็กชลยุทธ. (2535). นิเวศวิทยาแหล่งน้ำ. คณะประมง. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ . 165 หน้า.

ยวุดี พีรพรพิศาล. (2540). การเพาะเลี้ยงสาหร่ายเกลียวทอง*Spirulina (Arthrospira) platensis*) ในระดับอตุสาหกรรมขนาดย่อม. ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

ลัดดา วงศ์รัตน์. (2542). แพลงก์ตอนพืช. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 851 หน้า.

วิเชียร กิจปรีชาวนิช. (2539). เอกสารคำสอนวิชาสรีรวิทยาของจุลินทรีย์. ภาควิชาจุลชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพ.

ศิริเพ็ญ ตรัยไชยาพร. (2537). สาหร่ายวิทยาประยุกต์. ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. หน้า 149-159

สุมนทิพย์ บุนนาค . (2553). การบำบัดน้ำทิ้งจากโรงงานขนมจีน โดยใช้สาหร่ายอาร์โธรสไปร่า . ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น. แหล่งข้อมูล: http://www.manager.co.th/Local/ ViewNews.aspx?NewsID=9530000011366. ค้นเมื่อ วันที่ 29 พฤษภาคม 2559.

สุวรรณี ไทยอุดมทรัพย์. (2552). การเพาะเลี้ยงอาร์โธรสไปร่าในอาหารอินทรีย์. วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาวาริชศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, แหล่งข้อมูล: http://kb.psu.ac.th/psukb/handle/2010/7588. สืบค้นเมื่อ วันที่ 26 มิถุนายน 2559

อดุลย์ คำไพ. 2556. ผลการเจริญเติบโตของสาหร่ายสไปรูลิน่า *Spirulina* (*Arthrospira*) *platensis* จากถิ่นกำเนิดที่ต่างกัน. ปริญญาวิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาการประมง. คณะเทคโนโลยีการประมงและทรัพยากรทางน้ำ. มหาวิทยาลัยแม่โจ้. เชียงใหม่: 40 หน้า

Abdulmumin, A.N. (2013). *Spirulina* (*Arthrospira*): An Important Source of Nutritional and Medicinal Compounds, Journal of Marine Biology 2013(2013). Article ID 325636: 8.

AOAC. (1990). Official Method of Analysis of the Association of official Analytical CheMists, Washington D.C. pp.1015.

Asha, C.V., Cleetus, R.I., Suson, P.S. and Nandan, S.B. (2015). Environmental factors structuring the Fish assemblage distribution and Production potential in Vembanad estuarine system, India. International Journal of Marine Science 5 (23): 1-13.

Berns, D.S., Crespi, H.L. and Katz, J.J. (1963). Isolation amino acid composition and some physico-chemical properties of the protein deuterio-phycocyanin. Journal of American Chem. Soc. 85: 8–14

Chen, C.Y., Yeh, K.L., Aisyah, R., Lee, D.J. and Chang, J.S. (2011). Cultivation photobioreactor design and harvesting of microalgae for biodiesel production. Bioresource Technology 102(1):71–81

Chisti, Y. (2007). Biodiesel from microalgae. Biotechnology Advances 25: 294–306.

Cruz-Martínez, C. , Jesus, C.K. C., Matsudo, M.C., Danesi, E.D.G., Sato, S., Carvalho, J.C.M. (2015). Growth and composition of *Arthrospira (Spirulina) platensis* in a tubular photobioreactor using ammonium nitrate as the nitrogen source in a fed-batch process. Available from: http://www.scielo.br/scielo.php. Cited 2016 December 21

Habib, M.A.B., Parvin, M., Huntington, T.C. and Hasan, M.R. (2008). A review on culture, production and use of *Spirulina* (*Arthrospira*) as food for humans and feeds for domestic animals and fish. FAO Fisheries and Aquaculture Circular. No. 1034. Rome, FAO. 2008. pp. 33

ITRAD. (2009). Report No1. Laboratory of water, soil and plants analyses. pp. 15.

Jauncey, K., and Ross, B. (1982). A guide to Tilapia feeds and feeding, Institute of Aquaculture, University of Stirling, Stirling. pp. 111.

Madkour, F., Kamil, E. and Nasr, S. (2012). Production and nutritive value of *Arthrospira platensis* in reduced cost media. Egypt. J. Aquat. Res. 38: 51-77.

Marrez, D.A., Mohamed, M.N., Yousef, Y. S., Zakaria, Y.D. and Aziz M.H. (2014). Evaluation of Chemical Composition for *Spirulina* (*Arthrospira*) *platensis* in Different Culture Media. RJPBCS 5(4): 1161-1171.

Milledge, J.J. (2010). Commercial application of microalgae other than as biofuels: a brief review. Environmental Science and Bio/Technology 10 (1): 31-41.

Nakamura, H. (1982). *Arthrospira* (*Spirulina*): Food for Hungry World, Boulder Creek, California: University of the Tress, Prss. pp. 120.

Richmond, A., Boussiba, S., Vonshak, A. and Kopel, R. (1993). A new tubular for mass production of microalgae outdoors. J. of Applied phycology 5: 327- 332.

Schiewer, S. and Volesky, B. (2000). Biosorption by marine algae. In: Valdes JJ (ed) Remediation. Kluwer, Dordrecht. (In press)

Taha, O., Ibrahim, E., Abou, E.K.W. and Mahmoud, A. (2013). Optimum conditions on biomass and bioactive materials of the Cyanobacterium *Spirulina* (*Arthrospira*) *platensis* grown on Nile water based medium. 4th International Conference on Chemical, Ecology and Environmental Sciences (ICCEES'2013) 6-7 October 2013. Dubai, (UAE).

Traichaiyaporn, S., (2000). Water quality analysis. Edition 2nd, Department of Biology, Faculty of Science, Chiang Mai University, Thailand. pp. 125.

Ungsethaphand, T., Peerapornpisal, Y. and Whagh-chai, N. (2009). Maejo Int. J. Sci. Technol. 3(3): 379-387.

Venkataraman, L.V. (1983). A monograph on *Spirulina* (*Arthrospira*) *platensis*. Central Food Technological Research Institute, Mysore.

❑❑❑❑❑