

## บทที่ 5

### สรุปผล อภิปรายผลและข้อเสนอแนะ

#### สรุปผล

จากการศึกษาผลของสูตรอาหารผสมระหว่างสูตรอาหารเคมีกับน้ำหมักเคยอดต่อปริมาณโปรตีนและPhycocyanin ประกอบด้วยส่วนผสมของอาหารเคมี (Zarrouk's medium) กับน้ำหมักเคย (KF) จำนวน 13 ทริตเมนต์ ได้แก่ อาหารสูตร Zarrouk ดัดแปลง 100%, 75%, 50% และ 25% ผสมกับน้ำหมักเคย 0.5%, 0.3% และ 0.1% โดยมีอาหารสูตร Zarrouk เป็นสูตรควบคุม ความหนาแน่นเซลล์เริ่มต้น (OD, 560nm) 0.55 ทดลองในสภาพกึ่งธรรมชาติ ความเข้มแสง 7,570 ถึง > 50,000 ลักซ์ (Lux) พบว่าการเลี้ยงสไปรูลิน่าในสูตรอาหารต่างชนิดกัน มีความหนาแน่นเซลล์สูงสุด (OD<sub>max</sub>, 560nm) ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) แต่มีน้ำหนักรวม ปริมาณโปรตีน Chlorophyll a Carotenoids และ Phycocyanin แตกต่างกันทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) จึงสามารถสรุปได้ว่า

1. การเจริญเติบโตของสไปรูลิน่าที่เลี้ยงด้วยสูตร Zarrouk และน้ำหมักจากเคยในสัดส่วนที่ต่างกัน พบว่ามีระยะเวลาในการเจริญเติบโตจนความหนาแน่นเซลล์สูงสุด (OD<sub>max</sub>, 560nm) 18 - 20 วัน มีเพียงสไปรูลิน่าด้วยในอาหารสูตร Zarrouk ดัดแปลง 100% ผสมน้ำหมักเคย 0.3% ที่มีการเจริญเติบโตสูงสุดในวันที่ 24 ความหนาแน่นเซลล์สูงสุด (OD<sub>max</sub>, 560nm) ของสไปรูลิน่าที่เลี้ยงด้วยอาหารแต่ละสูตรมีค่าไม่แตกต่างกัน โดยพบว่ามีค่าเท่ากับ 2.886 - 3.420 และสไปรูลิน่าที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตร Zarrouk ดัดแปลง 75% ผสมน้ำหมักเคย 0.3% มีค่าความหนาแน่นเซลล์สูงที่สุด (3.420) ส่วนสไปรูลิน่าในสูตร Zarrouk ดัดแปลง 50% ผสมน้ำหมักเคย 0.1% มีค่าความหนาแน่นเซลล์ต่ำสุด (2.886) ในขณะที่ Zarrouk ปกติมีค่า 3.314

2. น้ำหนักแห้งของสไปรูลิน่าเมื่อสิ้นสุดการทดลอง พบว่ามีค่า 1.70 - 2.64 มิลลิกรัม/ลิตร โดยสไปรูลิน่าที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตร Zarrouk ดัดแปลง 100% ผสมน้ำหมักเคย 0.5% มีน้ำหนักแห้งสูงสุด (2.64 มิลลิกรัม/ลิตร) รองลงมา ได้แก่ สไปรูลิน่าที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตร Zarrouk ดัดแปลง 75% ผสมน้ำหมักเคย 0.3% (2.58 มิลลิกรัม/ลิตร) ซึ่งมีค่าไม่แตกต่างทางสถิติจากน้ำหนักแห้งของสไปรูลิน่าที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตร Zarrouk ปกติ แต่แตกต่างจากที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตร Zarrouk ดัดแปลง 50% ผสมน้ำหมักเคย 0.1% และ สูตร Zarrouk ดัดแปลง 25% ผสมน้ำหมักเคย 0.5% และ 0.1%

3. ปริมาณโปรตีนของสไปรูลิน่าที่เลี้ยงด้วยสูตรอาหารต่าง ๆ มีค่า 58.75 - 73.11 % สไปรูลิน่าที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตร Zarrouk ดัดแปลง 50% ผสมน้ำหมักเคย 0.3% มีปริมาณโปรตีนสูงสุด 73.11% ซึ่งไม่แตกต่างจากปริมาณโปรตีนที่พบในสไปรูลิน่าที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตร Zarrouk ปกติ

แต่มีค่าสูงกว่าที่พบในสไปรูลิน่าที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตร Zarrouk ดัดแปลง 25% ผสมน้ำหมักเคย 0.1% และ 0.5% ที่มีปริมาณโปรตีนต่ำแตกต่างจากสูตรอื่น ๆ

4. ปริมาณ Chlorophyll a, Carotenoids และ Phycocyanin ของสไปรูลิน่าที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตรต่าง ๆ มีค่า 22.64 – 27.35, 6.87 – 9.01 และ 20.09 – 32.55 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ โดยพบว่าสไปรูลิน่าที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตร Zarrouk ดัดแปลง 100% ผสมน้ำหมักเคย 0.5% และ 0.3% มีปริมาณ Chlorophyll a และ Carotenoids สูงที่สุด แต่มีค่าไม่แตกต่างทางสถิติจากที่พบในสไปรูลิน่าที่เลี้ยงในอาหารสูตร Zarrouk ปกติ ส่วนสไปรูลิน่าที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตร Zarrouk ดัดแปลง 75% ผสมน้ำหมักเคย 0.5% มี phycocyanin สูงที่สุด ในขณะที่สไปรูลิน่าที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตร Zarrouk ดัดแปลง 50% และ 25% ผสมน้ำหมักเคย 0.1% มีปริมาณรงควัตถุชนิดต่าง ๆ ในปริมาณที่ต่ำกว่าสไปรูลิน่าที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตรอื่น ๆ

5. อุณหภูมิและความเป็นกรด-เป็นด่าง (pH) ของอาหารสูตรทดลองระหว่างการเลี้ยงสไปรูลิน่า มีค่า 28.8 – 37.5 องศาเซลเซียส และ 8.96 – 11.20 ตามลำดับ

6. สามารถเลี้ยงสไปรูลิน่าด้วยอาหารสูตร Zarrouk ดัดแปลงผสมน้ำหมักเคยโดยลดสัดส่วนของอาหารสูตร Zarrouk ดัดแปลงได้ถึงระดับการใช้ Zarrouk ดัดแปลง 50% ผสมน้ำหมักเคย 0.3% ซึ่งจะให้น้ำหนักแห้ง ปริมาณโปรตีน รงควัตถุ (Chlorophyll a, Carotenoids และ Phycocyanin) ไม่แตกต่างกันหรือดีกว่า ที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตร Zarrouk ปกติ จึงสามารถสรุปได้ว่า น้ำหมักเคยสามารถนำมาทดแทนธาตุอาหารรอง (A5 และ B6) ในอาหารสูตร Zarrouk ได้โดยไม่ส่งผลกระทบต่อการศึกษาเจริญเติบโต ปริมาณโปรตีน และปริมาณ Phycocyanin

## อภิปรายผล

จากผลการศึกษาพบว่าระยะเวลาในการเลี้ยงจนการเจริญเติบโตสูงสุดใช้ (ความหนาแน่นเซลล์สูงสุด) 18 - 24 วัน ซึ่งพบว่าสไปรูลิน่าในอาหารอินทรีย์ของ สุวรรณิ ไทยอุดมทรัพย์ (2553) ที่ใช้เวลาเลี้ยงเพียง 8 วัน เนื่องจากในระหว่างที่ทำการทดลองมีฝนตกเป็นระยะตลอดการทดลองทำให้สไปรูลิน่าได้รับแสงเพียงช่วงสั้น ๆ ในแต่ละวัน และบางช่วงเวลาสไปรูลิน่าได้รับแสงที่มีความเข้มสูงเกินกว่าความเข้มแสงที่เหมาะสม คือ 4,000 – 5,000 ลักซ์ (Nakamura, 1982) อาจส่งผลให้สไปรูลิน่าชะงักการเจริญเติบโตในช่วงเวลาดังกล่าว (Ogbonna and Tanaka, 2000) จึงต้องใช้เวลาในการเจริญเติบโตนานกว่าปกติ ในขณะที่อุณหภูมิ มีค่าเท่ากับ 28.8 – 37.5 องศาเซลเซียส และความเป็นกรด-เป็นด่าง (pH) มีค่าเท่ากับ 8.96 – 11.20 อยู่ในระดับที่สไปรูลิน่าสามารถเจริญเติบโตได้อย่างหนาแน่น (Venkataraman, 1983) สำหรับและความหนาแน่นเซลล์สูงสุด (OD, 560nm) ของสไปรูลิน่าที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตร Zarrouk ปกติ และสูตร Zarrouk ดัดแปลงผสมน้ำหมักเคยในสัดส่วนที่ต่างกัน มีค่า 2.886 – 3.420 ซึ่งมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ

( $p > 0.05$ ) จึงกล่าวได้ว่าการลดสัดส่วนของอาหารสูตร Zarrouk ดัดแปลงที่ผสมน้ำหมักเคยในสัดส่วนที่แตกต่างกัน ไม่ส่งผลต่อการเจริญเติบโตของสไปรูลิน่า แต่ส่งผลต่อน้ำหนักแห้ง ปริมาณโปรตีน และรงควัตถุชนิดต่าง ๆ

น้ำหนักแห้งของสไปรูลิน่าจากการเลี้ยงในอาหารสูตร Zarrouk ดัดแปลง ผสมน้ำหมักเคยในสัดส่วนต่าง ๆ มีค่าไม่แตกต่างทางสถิติจากที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตร Zarrouk ปกติ โดยมีค่า 2.14 – 2.64 มิลลิกรัม/ลิตร ยกเว้นสไปรูลิน่าที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตร Zarrouk ดัดแปลง 50% ผสมน้ำหมักเคย 0.1% และ Zarrouk ดัดแปลง 25% ที่ผสมน้ำหมักเคยทุกอัตราส่วน มีน้ำหนักแห้งน้อยเมื่อเทียบกับอาหารสูตร Zarrouk ดัดแปลงไม่ต่ำกว่า 50% ผสมน้ำหมักเคย 0.3% และ 0.5% ซึ่ง Kand & Nagarajan (2013) กล่าวว่า การเพิ่มความเข้มข้นของไนโตรเจนในอาหารเลี้ยงสไปรูลิน่า จะส่งผลให้สไปรูลิน่ามีมวลชีวภาพ โปรตีน Phycocyanin และไขมัน เพิ่มขึ้นด้วย โดยได้ทำการทดลองเลี้ยงสไปรูลิน่าในอาหารสูตร Zarrouk ที่มีความเข้มข้นของ  $\text{NaNO}_3$  แตกต่างกัน 4 ระดับ ได้แก่ 0.01 M, 0.02 M, 0.03 M และ 0.04 M พบว่าที่ความเข้มข้น 0.04 M ทำให้สไปรูลิน่ามีน้ำหนักแห้ง ปริมาณโปรตีน Phycocyanin และไขมัน สูงที่สุด อย่างไรก็ตามนอกจากปริมาณของไนโตรเจนในสูตรอาหารแล้ว แหล่งของไนโตรเจนยังมีผลต่อมวลชีวภาพของสไปรูลิน่าด้วยเช่นเดียวกัน โดย Ajanyan, Selvaraju & Thirugnanamoorthy (2012) พบว่าการใช้ยูเรียเป็นแหล่งไนโตรเจน ทำให้สไปรูลิน่ามีมวลชีวภาพสูงกว่าการใช้  $\text{KNO}_3$  เป็นแหล่งไนโตรเจน นอกจากนี้แล้วการนำสูตรอาหารอินทรีย์จากของเหลือทางการเกษตรบางชนิดมาเลี้ยงสไปรูลิน่า มีแนวโน้มทำให้มวลชีวภาพของสไปรูลิน่าสูงกว่าใช้อาหารสูตร Zarrouk อีกด้วย ดังเช่นการศึกษาของ Rajeswari & Deepika (2017) ทดลองทำน้ำหมักจากน้ำเศษพืช รุท ไบองุ่น รากสน รำละเอียด และแกลบ และนำมาใช้เลี้ยงสไปรูลิน่า พบว่ามีน้ำหนักแห้งสูงกว่า สไปรูลิน่าที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตร Zarrouk ซึ่งไม่สอดคล้องกับการศึกษาของ สุวรรณิ ไทยอุดมทรัพย์ (2553) ที่พบว่าการเลี้ยงสไปรูลิน่าในอาหารที่มีน้ำหมักเป็นส่วนประกอบเจริญได้ดีกว่าเมื่อเพาะเลี้ยงด้วยอาหารสูตร Zarrouk ปกติ และสูตรดัดแปลง (ไม่มี A5 และ B6) ทุกสูตรอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากมีปริมาณธาตุอาหารต่ำกว่า และยังพบว่าการผสมน้ำหมักปลาหู 0.1% ลงในอาหารสูตร Zarrouk ดัดแปลง ทำให้สไปรูลิน่าเจริญเติบโตได้ดีกว่าเมื่อไม่มีน้ำหมักอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.01$ ) แต่ยังคงต่ำกว่าเมื่อใช้อาหารสูตร Zarrouk ปกติ โดยกล่าวว่า น้ำหมักอินทรีย์จากสัตว์ มีสารช่วยในการเจริญเติบโต (growth promoting factors) ช่วยให้การใช้อาหารหลักที่มีอยู่มีประสิทธิภาพมากขึ้น (สุวรรณิ ไทยอุดมทรัพย์, 2553) ซึ่งในการศึกษานี้พบว่าสามารถมีเพียงสไปรูลิน่าที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตร Zarrouk ดัดแปลง 25% ร่วมกับน้ำหมักเคยในสัดส่วนต่าง ๆ และอาหารสูตร Zarrouk ดัดแปลง 50% ร่วมกับน้ำหมักเคย 0.1% เท่านั้น ที่มีน้ำหนักแห้งน้อย ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากปริมาณไนโตรเจนซึ่งเป็นธาตุอาหารหลักในการเจริญเติบโตมีน้อยเกินไปไม่เพียงพอต่อการเจริญเติบโต แม้จะมีการเติมน้ำหมักจากเคยแล้วยังทำให้น้ำหนักแห้งมีค่าค่อนข้างต่ำอยู่



สไปรูลิน่าที่เลี้ยงในอาหารสูตร Zarrouk ดัดแปลงที่มีการเติมน้ำหมักเคย มีโปรตีนไม่แตกต่างจากสไปรูลิน่าที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตร Zarrouk ปกติ และพบว่าสไปรูลิน่าที่เลี้ยงในอาหารสูตร Zarrouk ดัดแปลง 25% ผสมน้ำหมักเคย 0.5% และ 0.1% มีปริมาณโปรตีนต่ำเมื่อเทียบกับสูตรอื่น ๆ คือมีค่า 58.75 – 59.10 % ของน้ำหนักแห้ง โดยสไปรูลิน่าที่เลี้ยงในอาหารสูตร Zarrouk ปกติ มีค่าเท่ากับ 66.73% ทั้งนี้อาจเป็นเพราะอาหารสูตร Zarrouk ดัดแปลง 25% มีความเข้มข้นของไนโตรเจนต่ำมากเมื่อเทียบกับความเข้มข้นของไนโตรเจนในอาหารสูตร Zarrouk ปกติ ซึ่งสอดคล้องกับ Nagarajan (2013) กล่าวว่าสไปรูลิน่าที่เลี้ยงในอาหารสูตรที่มีความเข้มข้นของไนโตรเจนสูงจะมีปริมาณโปรตีนสูงกว่าเลี้ยงในอาหารสูตรที่มีความเข้มข้นของไนโตรเจนต่ำกว่า

สำหรับปริมาณรงควัตถุ พบว่าการเพาะเลี้ยงสไปรูลิน่าในอาหารสูตร Zarrouk ดัดแปลง ร่วมกับน้ำหมักจากเคย ทำให้สไปรูลิน่ามีปริมาณ Chlorophyll a, Carotenoids และ Phycocyanin ใกล้เคียงหรือสูงกว่าการเพาะเลี้ยงในอาหารสูตร Zarrouk ปกติ สไปรูลิน่าที่เพาะเลี้ยงในอาหารสูตร Zarrouk ดัดแปลง ผสมน้ำหมักจากเคย มี Phycocyanin 20.09 – 32.55 มิลลิกรัม/ลิตร สูงกว่าที่พบในสไปรูลิน่าที่การเพาะเลี้ยงในอาหารสูตร Zarrouk ปกติ ยกเว้นที่เลี้ยงในอาหารสูตร Zarrouk ดัดแปลง 25% ผสมน้ำหมักเคย 0.1% และ Zarrouk ดัดแปลง 75% ผสมน้ำหมักเคย 0.1% (20.09 และ 21.15 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ) สอดคล้องกับการศึกษาของสุวรรณิ ไทยอุดมทรัพย์ (2553) ซึ่งพบว่า การเลี้ยงสไปรูลิน่าในอาหารสูตร Zarrouk ดัดแปลง ร่วมกับน้ำหมักจากสัตว์ จะมีปริมาณ Phycocyanin สูงกว่าที่เลี้ยงในอาหารสูตรเคมีเพียงอย่างเดียว และการศึกษาของ อภิขญา ใจดวง และ รัฐภูมิ พรหมนะ (2562) ทำการเพาะเลี้ยงสไปรูลิน่าที่เลี้ยงในอาหารสูตร Zarrouk และอาหารสูตรเคมี ซึ่งมีการลดปริมาณ  $\text{NaNO}_3$  ลงจาก 2.5 มิลลิกรัม/ลิตร เหลือ 1.5 มิลลิกรัม/ลิตร ส่งผลให้สไปรูลิน่าที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตรที่มีการลดปริมาณ  $\text{NaNO}_3$  ลง แม้จะเติม N-P-K แล้ว ยังพบว่าปริมาณ Phycocyanin มีค่าต่ำกว่าสไปรูลิน่าที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตร Zarrouk ปกติ อย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ )

จะเห็นได้ว่าทั้งน้ำหนักแห้ง ปริมาณโปรตีน และรงควัตถุ (Chlorophyll a, Carotenoids และ Phycocyanin) ที่พบในสไปรูลิน่าที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตร Zarrouk ดัดแปลง 100%, 75% และ 50% ร่วมกับน้ำหมักเคย 0.5%, 0.3% และ 0.1% มีค่าไม่แตกต่างทางสถิติจากที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตร Zarrouk ปกติ ยกเว้นสไปรูลิน่าที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตร Zarrouk ดัดแปลง 25% ซึ่งมีน้ำหนักแห้ง ปริมาณโปรตีน และรงควัตถุต่าง ๆ ต่ำกว่าสูตรอื่น ๆ อาจกล่าวได้ว่าน้ำหมักจากเคยมีธาตุอาหารหลัก ธาตุอาหารเสริม และสารควบคุมการเจริญเติบโต ซึ่งเป็นธาตุอาหารที่มักพบในน้ำหมักชีวภาพ โดยเฉพาะการหมักในสภาพสโต (อัญชูลี ชินสุข, 2557) มีส่วนสำคัญอาหารสูตร Zarrouk ดัดแปลง สามารถใช้เลี้ยงสไปรูลิน่าได้อย่างมีคุณภาพเทียบเท่าหรืออาจดีกว่าอาหารสูตร Zarrouk ปกติ ยกเว้นอาหารสูตร Zarrouk ดัดแปลง 25% อย่างไรก็ตามจากการศึกษาในครั้งนี้สรุปได้ว่าการใช้อาหารสูตร

Zarrouk ตัดแปลง 50% ผสมน้ำหมักเคย 0.3% เป็นสัดส่วนที่เหมาะสมสำหรับการเลี้ยงสไปรูลิน่า เนื่องจากสามารถทำให้การเจริญเติบโตไม่แตกต่างจากอาหารสูตร Zarrouk ปกติ ทั้งในด้านน้ำหนักแห้ง ปริมาณโปรตีน รงควัตถุ (Chlorophyll a, Carotenoids และ Phycocyanin) และยังช่วยลดต้นทุนและผลกระทบจากการใช้สารเคมีได้เป็นอย่างดี

### ข้อเสนอแนะ

ควรมีการศึกษาในห้องปฏิบัติการที่มีการควบคุมความเข้มแสงและอุณหภูมิเพิ่มเติม จะช่วยให้ได้ผลการศึกษาที่ดีขึ้น เนื่องจากในระหว่างเลี้ยงมีฝนตกตลอดระยะเวลาที่ทำการทดลองอาจส่งผลกระทบต่อสไปรูลิน่าเจริญเติบโตได้ไม่เต็มที่เท่าที่ควร



ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี