บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์

4.1 การเตรียมเซลล์แบคทีเรียสังเคราะห์แสง

เซลล์แบคทีเรียสังเคราะห์แสง R.Sphaeroides P47 จากการเลี้ยงในอาหารน้ำคั้นเปลือกและแกนสับปะรดที่มีน้ำตาลเริ่มต้นทั้งหมด ประมาณ 100 กรัมต่อลิตร เตรียมโดยนำมาเหวี่ยงด้วยเครื่องเหวี่ยง ปริมาณเซลล์ที่ได้ประมาณ 30.42 กรัมน้ำหนักแห้งต่อลิตร เป็นเซลล์สดสีแดงเข้ม มีปริมาณความชื้นประมาณร้อยละ 82.29

4.2 คุณค่าทางอาหารของเซลล์แบคทีเรียสังเคราะห์แสงและปลาป่น

คุณค่าทางอาหารของเซลล์แบคทีเรียสังเคราะห์แสงในลักษณะเซลล์ สดและปลาป่นที่ใช้ตลอดการทดลอง ได้แสดงผลการวิเคราะห์ ในตารางที่ 4.1 สำหรับวิธีการวิเคราะห์แสดงในภาคผนวก ก.

ตารางที่ 4.1 คุณค่าทางอาหารของเซลล์แบคทีเรียสังเคราะห์แสงและปลาป่นที่ใช้ในการทดลอง

องค์ประกอบ (ร้อยละต่อน้ำหนักแห้ง)	แบคทีเรียสังเคราะห์แสง	ปลาป่น
ความชื้น	82.29	8.55
โปรตีน	62.72	53.97
ไขมัน	3.07	8.12
เยื่อใย	2.95	7.64
เถ้า	3.62	0.36
คาร์โบไฮเดรต	27.63	29.91

4.3 การทดลองเลี้ยงปลาแฟนซีคาร์พเพื่อหาปริมาณเซลล์ที่เหมาะสมในการผสมทำอาหารแบบเม็ดเปียก

การทดลองที่ใช้อาหารผสมเซลล์ต่างกัน 3 ระดับคือ สูตรพื้นฐาน (ไม่ใส่เซลล์) ผสมเซลล์ร้อยละ 6.8 และ 13.6 ตามลำดับ ปลาแฟนซีคาร์พที่ใช้ในการทดลองมีค่าคะแนนเฉลี่ยความเข้มสีผิวเมื่อเริ่มทดลองเท่ากับ 4.33 ,4.25 และ 4.75 ตามลำดับ (ดังแสดงในตารางที่ ข-1 ภาคผนวก) เมื่อนำมาทดสอบทางสถิติแล้วพบว่ามีความแตก ต่างกันทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 5 เปอร์เซนต์ ซึ่งพบว่าเมื่อเลี้ยงปลาด้วยอาหารสูตรที่ 1 ไปเป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์ คะแนนเฉลี่ยความเข้มสีปลาเท่ากับ 3.83, 3.83 และ 4.16 (ตารางที่ ข-4 ภาคผนวก) ซึ่งค่าทั้งสามนี้ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 5 เปอร์เซนต์ (แสดงในตารางที่ ค-4 ภาคผนวก) หลังจากนั้นจึงเริ่มให้อาหารปลาที่ผสมเซลล์แบคทีเรียสังเคราะห์แสงปริมาณต่างกัน 3 ระดับ ผลการทดลองซึ่งได้บันทึกข้อมูลทั้งทางด้านคะแนนความเข้มสีผิว และอัตราการเจริญด้านน้ำหนักและความยาวของปลาทุก 2 สัปดาห์ ดังสรุปได้ในตารางที่ 4.2 และรูปที่ 4-1,4-2,4-3 และ 4-4 ตามลำดับ สำหรับข้อมูลและการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติแสดงในตารางที่ ข-4 ถึง ข-14 และตารางที่ ค-4 ถึง ค-7 (ภาคผนวก)

ตารางที่ 4-2 ค่าคะแนนเฉลี่ยและผลการเปลี่ยนแปลงความเข้มสีผิวปลาแฟนซีคาร์พที่เลี้ยงด้วยอาหารผสมเซลล์แบคทีเรียสังเคราะห์แสงในปริมาณต่างกัน 3 ระดับ (0, 6.8, 13.6) เป็นเวลา 3 เดือน

ระยะเวลา	ค่าคะแนนเฉลี่ย					
	สูตร1 การเพิ่ม/ลดสีผิว*		สูตร2 การเพิ่ม/ลดสีผิว*		สูตร3 การเพิ่ม/ลดสีผิว*	
เริ่มต้นการทดลอง	4.33		4.25		4.75	
สัปดาห์ที่ 2	4.16		4.25		4.67	
สัปดาห์ที่ 4	3.91		3.91		4.41	
สัปดาห์ที่ 6 ↓	3.83		3.83		4.16	
สัปดาห์ที่ 8	3.75	-0.08	4.16	+0.33	4.33	+0.17
สัปดาห์ที่ 10	3.58	-0.25	4.33	+0.50	4.50	+0.34
สัปดาห์ที่ 12	3.58	-0.25	4.41	+0.50	4.90	+0.74

หมายเหตุ ↓จุดเริ่มต้นที่สีผิวปลาทั้ง 3 กลุ่มไม่มีความแตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 5 เปอร์เซนต์ และเริ่มให้อาหารผสมเซลล์ 3 ระดับ

* ใช้ค่าคะแนนสัปดาห์ที่ 6 เป็นเกณฑ์ โดย + = เพิ่ม

\- = ลด

สูตร 1 สูตรพื้นฐาน

สูตร 2 สูตรอาหารผสมเซลล์ร้อยละ 6.8

สูตร 3 สูตรอาหารผสมเซลล์ร้อยละ 13.6

จากตารางที่ 4-2 และรูปที่ 4-2 พบว่าปลาที่เลี้ยงด้วยอาหารผสมเซลล์แบคทีเรียสังเคราะห์แสงปริมาณต่างกัน เป็นเวลา 2 สัปดาห์ ค่าคะแนนเฉลี่ยความเข้มสีผิวของปลาเปลี่ยนจากเดิมคือ 3.83, 3.83, และ 4.16 เป็น 3.75, 4.16 และ 4.33 ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าปลาที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตร 1 (สูตรพื้นฐาน) จะมีค่าคะแนนเฉลี่ยความเข้มสีลดลงเท่ากับ 0.08 ในขณะที่ปลาที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตร 2 และ 3 (ผสมเซลล์ร้อยละ 6.8 และ 13.6) มีค่าคะแนนเฉลี่ยความเข้มสีเพิ่มขึ้นเท่ากับ 0.33 และ 0.17 โดยค่าคะแนนเฉลี่ยความเข้มสีทั้ง 3 ค่านี้มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 5 เปอร์เซนต์ และเมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Least Significant Difference (LSD) ดังแสดงในภาคผนวก ง แล้วพบว่า ค่าคะแนนเฉลี่ยความเข้มสีผิวปลาที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตร3 (ผสมเซลล์ร้อยละ 13.6) แตกต่างจากสูตร 1 (สูตรพื้นฐาน) และสูตร 2 (ผสมเซลล์ร้อยละ 6.8) โดยอาหารปลาสูตร 3 ให้คะแนนเฉลี่ยความเข้มสีสูงที่สุด แสดงว่าเมื่อให้อาหารผสมเซลล์ร้อยละ 13.6 เป็นเวลา 2 สัปดาห์ก็สามารถเพิ่มสีผิวให้กับปลาแฟนซีคาร์พได้

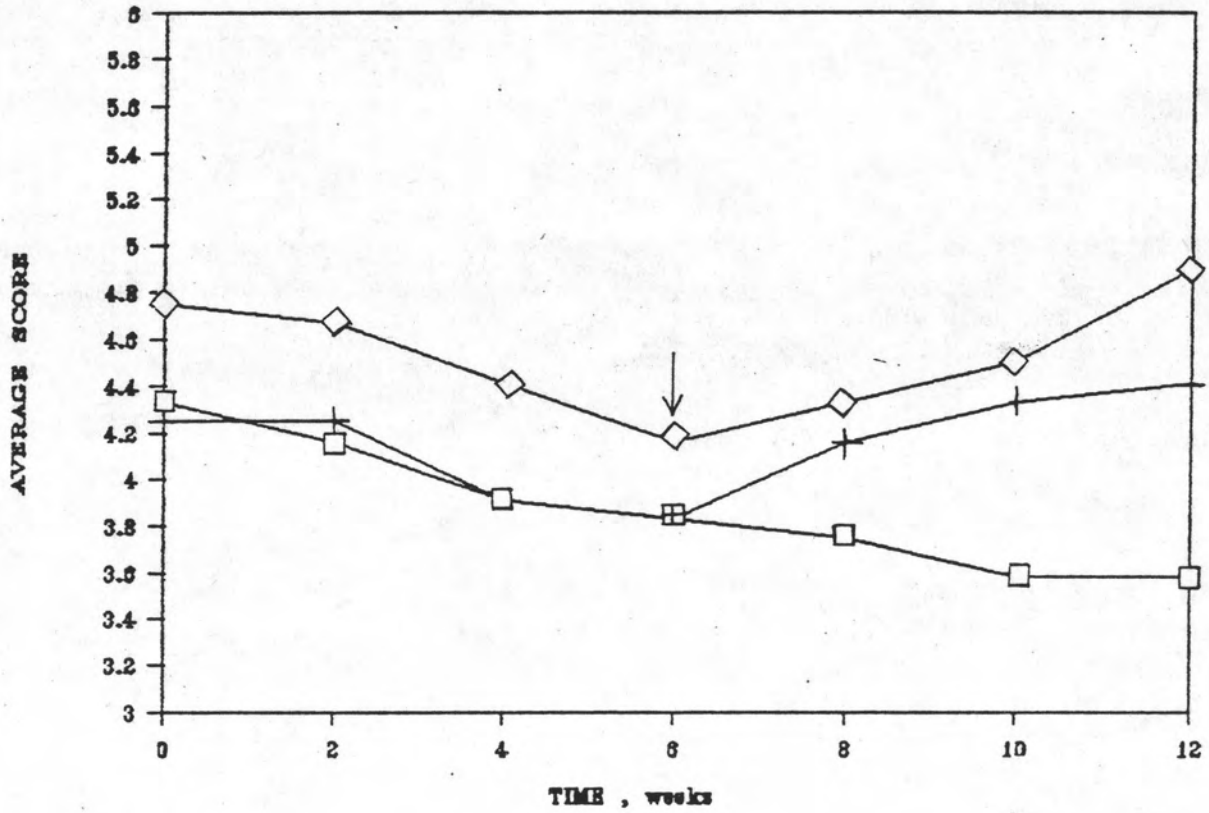
เมื่อทดลองให้อาหารปลาทั้ง 3 สูตรที่ผสมเซลล์ในระดับต่างกัน 3 ระดับจนครบ 4 และ 6 สัปดาห์ พบว่าในสัปดาห์ที่ 4 คะแนนเฉลี่ยความเข้มสีผิวเท่ากับ 3.58, 4.33 และ 4.50 และในสัปดาห์ที่ 6 เท่ากับ 3.58, 4.41 และ 4.90 ตามลำดับ ซึ่งทั้ง 4 และ 6 สัปดาห์ค่าคะแนนเฉลี่ยความเข้มสีผิวมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 5 เปอร์เซนต์ ดังแสดงในตารางที่ ค-6 และ ค-7 (ภาคผนวก) และจากการเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี LSD พบว่าที่สัปดาห์ที่ 4 ค่าคะแนนเฉลี่ยความเข้มสีผิวปลาที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตร 2 และ 3 แตกต่างจากสูตร 1 แต่ระหว่างสูตรที่ 2 และ 3 ไม่มีความแตกต่างกัน ที่สัปดาห์ที่ 6 พบว่าคะแนนเฉลี่ยความเข้มสีผิวของปลาที่เลี้ยงด้วยอาหาร 3 สูตรมีความแตกต่างกันทั้งหมด (ตารางที่ 4-2 และรูปที่ 4-1) แสดงว่า เมื่อเลี้ยงด้วยอาหารผสมเซลล์ปริมาณร้อยละ 6.8 (สูตร 2) เป็นเวลานาน 4 สัปดาห์ก็สามารถเพิ่มสีผิวของปลาแฟนซีคาร์พได้ และเมื่อเลี้ยงจนถึง 6 สัปดาห์อาหารผสมเซลล์ร้อยละ 6.8 และ 13.6 จะให้คะแนนความเข้มสีผิวของปลาในระดับที่ต่างกันทางสถิติถึงระดับนัยสำคัญ 5 เปอร์เซนต์ ผลจากการทดลอง สรุปได้ว่าการผสมเซลล์ในระดับร้อยละ 6.8 และ 13.6 ทั้ง 2 ระดับนี้ จะมีผลในการเพิ่มสีผิวแตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 5 เปอร์เซนต์ ได้ก็ต่อเมื่อเลี้ยงเป็นเวลาตั้งแต่ 4 และ 6 สัปดาห์ตามลำดับ ดังนั้นจึงใช้ปริมาณเซลล์ทั้ง 2 ระดับนี้ ในการทดลองต่อไป

ส่วนผลของอัตราการเจริญเติบโตทางด้านน้ำหนักและความยาวของปลา แสดงไว้ในตารางที่ 4-3 และรูปที่ 4-3 พบว่า ทางด้านน้ำหนักเฉลี่ยของปลาเมื่อเริ่มต้นการทดลองมีค่าเท่ากับ 16.25, 13.37 และ 14.75 กรัม สำหรับปลาทั้ง 3 ชุดการทดลอง ซึ่งน้ำหนักปลาเมื่อเริ่ม

ตารางที่ 4-3 น้ำหนักและความยาวเฉลี่ยของปลาแฟนซีคาร์พที่เลี้ยงด้วยอาหารผสมเซลล์แบคทีเรียสังเคราะห์แสงปริมาณต่างกัน 3 ระดับ (ร้อยละ 0, 6.8, 13.6) เป็นเวลา 3 เดือน (ปลามีอายุตั้งต้น 3 เดือน)

ระยะเวลา	สูตร 1				สูตร 2				สูตร 3			
	น้ำหนัก	น้ำหนักที่เพิ่ม	ความยาว	ความยาวที่เพิ่ม	น้ำหนัก	น้ำหนักที่เพิ่ม	ความยาว	ความยาวที่เพิ่ม	น้ำหนัก	น้ำหนักที่เพิ่ม	ความยาว	ความยาวที่เพิ่ม
เริ่มต้นการทดลอง	16.63		10.52		13.37		9.98		14.75		10.10	
สัปดาห์ที่ 2	17.29	0.66	10.56	0.04	14.83	1.46	10.02	0.04	15.75	1.00	10.15	0.05
สัปดาห์ที่ 4	17.75	1.12	10.60	0.08	15.25	1.88	10.20	0.22	16.08	1.33	10.38	0.28
สัปดาห์ที่ 6	18.83	2.20	10.81	0.29	16.87	3.50	10.33	0.35	17.04	2.29	10.63	0.53
สัปดาห์ที่ 8	20.00	3.37	11.24	0.72	18.79	5.42	10.98	1.00	19.33	4.58	11.16	1.06
สัปดาห์ที่ 10	22.5	5.87	11.59	1.07	21.83	8.46	11.25	1.27	23.37	8.62	11.63	1.53
สัปดาห์ที่ 12	27.33	10.70	12.05	1.53	25.33	11.96	11.84	1.86	27.33	12.85	12.15	2.05

อาหารสูตร 1-3 เช่นเดียวกับในตารางที่ 4-2



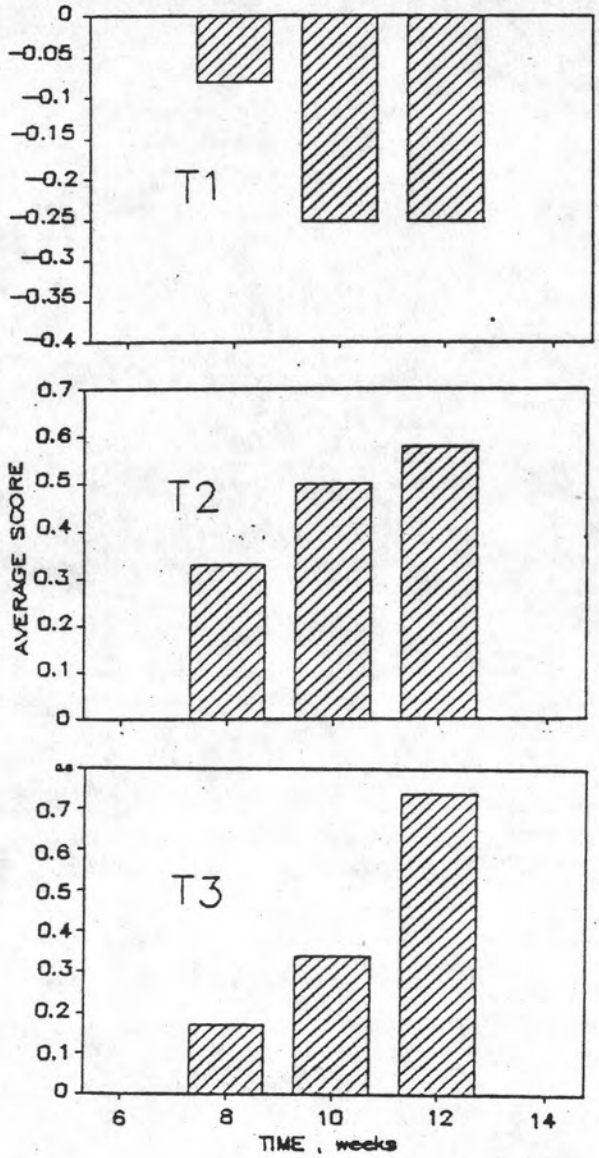
รูปที่ 4-1 เปรียบเทียบคะแนนเฉลี่ยความเข้มสีปลาแฟนซีคาร์พที่เลี้ยงด้วยอาหารผสมเซลล์แบคทีเรียสังคราะห์แสงต่างกัน 3 ระดับ

□ สูตรที่ 1 (สูตรพื้นฐาน)

\+ สูตรที่ 2 (ผสมเซลล์ร้อยละ 6.8)

◇ สูตรที่ 3 (ผสมเซลล์ร้อยละ 13.6)

↓ โดยเริ่มให้อาหารที่แตกต่างที่สัปดาห์ที่ 6



รูปที่ 4-2 เปรียบเทียบค่าคะแนนความเข้มสีที่เพิ่มขึ้นหรือลดลงของปลาแฟนซีคาร์พที่เลี้ยงด้วยอาหารผสมเซลล์แบคทีเรียสังเคราะห์แสงปริมาณต่างกัน 3 ระดับ เป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์

สูตรที่ 1 (สูตรพื้นฐาน)

สูตรที่ 2 (ผสมเซลล์ร้อยละ 6.8)

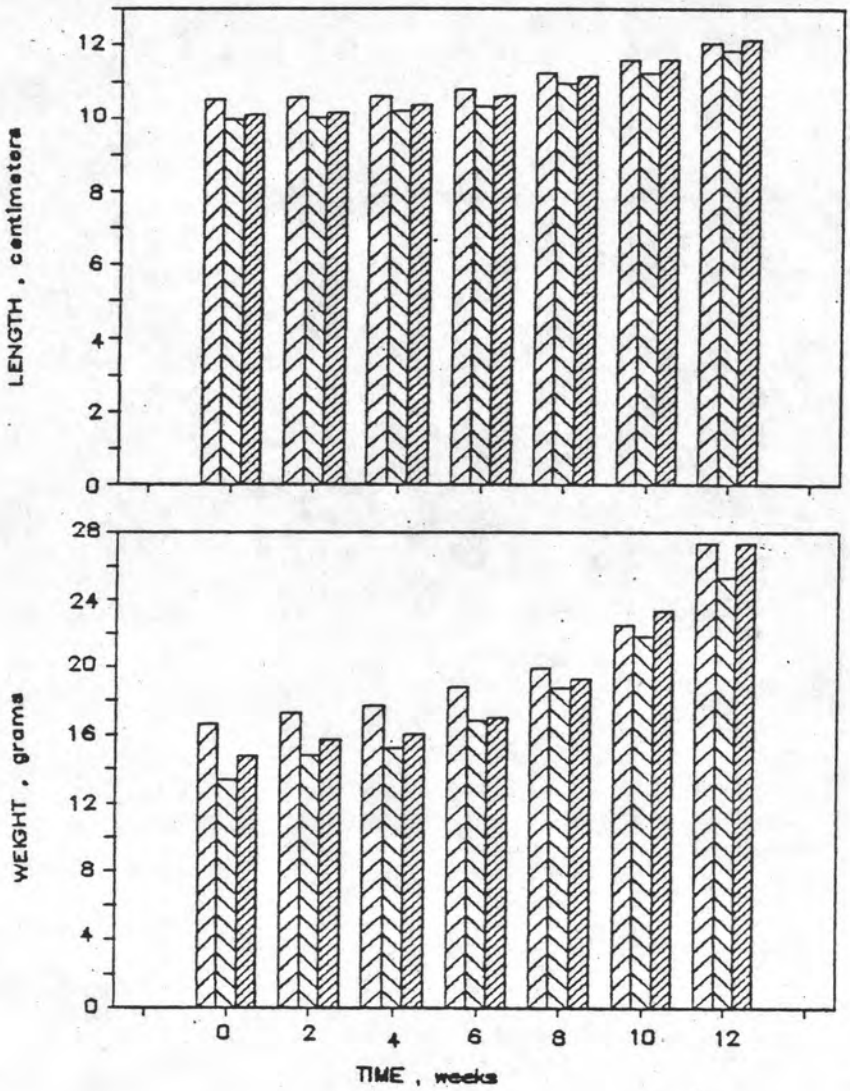
สูตรที่ 3 (ผสมเซลล์ร้อยละ 13.6)

7 18089380

ต้นการทดลองนี้มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 5 เปอร์เซ็นต์ (ในตารางที่ ค-8 ภาคผนวก ค) เมื่อเลี้ยงปลาต่อไปจนครบ 12 สัปดาห์ พบว่าน้ำหนักเฉลี่ยของปลามีค่าเท่ากับ 27.33, 25.33 และ 27.33 กรัม ตามลำดับ เมื่อนำน้ำหนักเฉลี่ยของปลาทั้ง 3 ชุดมาคำนวณหาน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นเทียบกับน้ำหนักของปลาที่เริ่มต้นการทดลอง จะได้น้ำหนักของปลาที่เพิ่มขึ้นจากเริ่มต้นการทดลองจนสิ้นสุดการทดลอง (12 สัปดาห์) เท่ากับ 10.70, 11.96 และ 12.58 กรัม ตามลำดับ (แสดงในตารางที่ 4.3 และรูปที่ 4-4) จากน้ำหนักเฉลี่ยที่เพิ่มขึ้นแสดงให้เห็นว่า อัตราการเพิ่มของน้ำหนักปลาที่เลี้ยงด้วยอาหารต่างกัน 3 สูตร (ผสมเซลล์ ร้อยละ 0, 6.8, 13.6) ในระยะเวลาเท่ากันคือ 12 สัปดาห์มีแนวโน้มต่างกัน โดยปลาที่เลี้ยงด้วยอาหารผสมเซลล์ร้อยละ 13.6 มีอัตราการเพิ่มน้ำหนัก 12.58 กรัม ในเวลา 12 สัปดาห์ ซึ่งมีค่ามากกว่าปลาที่ เลี้ยงด้วยอาหารผสมเซลล์ร้อยละ 6.8 และไม่ผสมเซลล์ (สูตรพื้นฐาน) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 11.96 และ 10.70 กรัมตามลำดับ จะเห็นว่าอัตราการเพิ่มน้ำหนักของปลาที่เลี้ยงด้วยอาหารผสมเซลล์ร้อยละ 13.6 มีแนวโน้มที่จะสูงกว่าอัตราการเพิ่มน้ำหนักของปลาที่เลี้ยงด้วยอาหารผสมเซลล์ร้อยละ 6.8 และปลาที่เลี่ยงด้วยอาหารสูตรพื้นฐาน (ไม่ผสมเซลล์) อย่างไรก็ตามเมื่อนำมาทดสอบความแตกต่างทางสถิติพบว่า น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นของปลาที่เลี้ยงด้วยอาหารทั้ง 3 สูตรนั้นไม่มีความแตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 5 เปอร์เซนต์ (ตารางที่ ค-9 ภาคผนวก ค)

สำหรับผลการเจริญเติบโตทางด้านความยาวของปลา พบว่าเมื่อเริ่มต้นการทดลอง มีค่าเท่ากับ 10.52, 9.98 และ 10.10 เซนติเมตร และเมื่อเลี้ยงจนครบ 12 สัปดาห์ความยาวของปลาเพิ่มขึ้นเป็น 12.05, 11.84 และ 12.15 เซนติเมตร ตามลำดับ

เมื่อนำความยาวเฉลี่ยของปลาทั้ง 3 ชุด มาคำนวณหาความยาวที่เพิ่มขึ้นเทียบกับความยาวของปลาที่เริ่มต้นการทดลอง จะได้ความยาวของปลาที่เพิ่มขึ้นจากเริ่มต้นการทดลองจนสิ้นสุดการทดลอง (12 สัปดาห์) เท่ากับ 1.53, 1.86 และ 2.05 เซนติเมตร (แสดงในตารางที่ 4-3 และรูปที่ 4-4) จากความยาวเฉลี่ยที่เพิ่มขึ้นแสดงให้เห็นว่า อัตราการเพิ่มความยาวของปลาที่เลี้ยงด้วยอาหารที่ต่างกัน 3 สูตร ในระยะเวลา 12 สัปดาห์ ต่างกันเช่นเดียวกับผลการทดลองทางด้านน้ำหนัก โดยปลาที่เลี้ยงด้วยอาหารผสมเซลล์ร้อยละ 13.6 มีแนวโน้มอัตราการเพิ่มความยาวของปลาสูงกว่าปลาที่เลี้ยงด้วยอาหารผสมเซลล์ร้อยละ 6.8 และปลาที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตรพื้นฐาน (ไม่ผสมเซลล์) อย่างไรก็ตามการวิเคราะห์ผลทางสถิติ ก็ให้ผลเช่นเดียวกับทางด้านน้ำหนัก คือความยาวที่เพิ่มขึ้นของปลาที่เลี้ยงด้วยอาหารทั้ง 3 สูตร ไม่มีความแตกต่างกัน (ตารางที่ ค-10 ภาคผนวก ค)

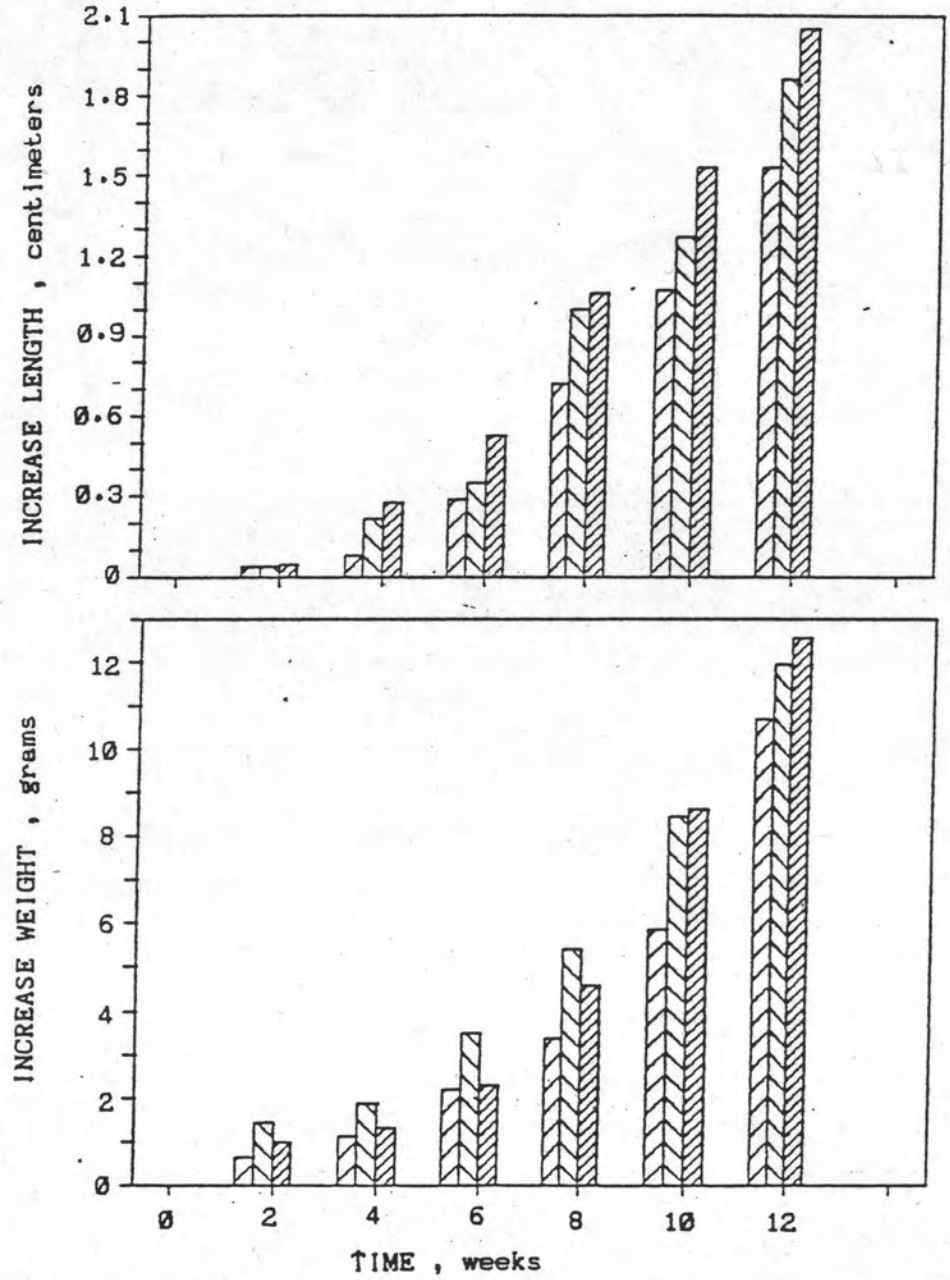


รูปที่ 4-3 เปรียบเทียบน้ำหนักและความยาวของปลาแฟนซีคาร์พที่เลี้ยงด้วยอาหารผสมเซลล์แบคทีเรียสังเคราะห์แสงต่างกัน 3 ระดับ

▨ สูตรที่ 1 (สูตรพื้นฐาน)

▨ สูตรที่ 2 (ผสมเซลล์ร้อยละ 6.8)

▨ สูตรที่ 3 (ผสมเซลล์ร้อยละ 13.6)



รูปที่ 4-4 เปรียบเทียบน้ำหนักและความยาวที่เพิ่มขึ้นของปลาแฟนซีคาร์พที่เลี้ยงด้วยอาหารผสมเซลล์แบคทีเรียสังเคราะห์แสงต่างกัน 3 ระดับ

- สูตรที่ 1 สูตรพื้นฐาน
- สูตรที่ 2 ผสมเซลล์ร้อยละ 6.8
- สูตรที่ 3 ผสมเซลล์ร้อยละ 13.6

ปลาแฟนซีคาร์พสามารถนำโปรตีนและสารอาหารอื่น ๆ ที่อยู่ในเซลล์แบคทีเรียสังเคราะห์แสงไปใช้เพื่อการเจริญเติบโตของตัวปลาได้ แสดงได้จากค่าน้ำหนักและความยาวของปลาที่เลี้ยงด้วยอาหารผสมเซลล์ปริมาณต่างกันในตารางที่ 4-3 และจากค่าอัตราการเพิ่มน้ำหนักและความยาวของปลาในตารางที่ 4-3 และรูปที่ 4-4 แสดงว่าปลาที่เลี้ยงด้วยอาหารผสมเซลล์แบคทีเรียสังเคราะห์แสงปริมาณร้อยละ 13.6 มีแนวโน้มการเพิ่มน้ำหนักและความยาวมากกว่าปลาที่เลี้ยงด้วยอาหารผสมเซลล์ร้อยละ 6.8 และไม่ผสมเซลล์ (สูตรพื้นฐาน) ถึงแม้ว่าค่าที่เพิ่มขึ้นนี้จะไม่ให้ผลที่แตกต่างกันทางสถิติ เนื่องจากการทดลองในครั้งนี้ ระยะเวลาที่เลี้ยงปลาด้วยอาหารที่แตกต่างกันเพียงแค่ 6 สัปดาห์ ซึ่งระยะเวลานี้อาจจะสั้นเกินไปที่จะทำให้อัตราการเจริญของปลาแฟนซีคาร์พอายุ 3 เดือนไม่มากพอที่จะทำให้เห็นผลแตกต่างกันทางสถิติได้ โดยในเรื่องอัตราการเจริญเติบโตนี้มีรายงานเกี่ยวกับการทดลองเลี้ยงลูกปลานิลสีแดงอายุ 7 วัน ด้วยอาหารผสมเซลล์แบคทีเรียสังเคราะห์แสง พบว่าอัตราการเจริญเติบโตของลูกปลานิลสีแดงที่เลี้ยงด้วยอาหารผสมเซลล์แบคทีเรียสังเคราะห์กับอาหารสูตรพื้นฐาน (ไม่ผสมเซลล์) มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 5 เปอร์เซนต์ เมื่อเลี้ยงลูกปลานิลเป็นระยะเวลานาน 6 เดือน (49) ดังนั้นการทดลองนี้จึงยังไม่อาจสรุปได้ถึงความแตกต่างของอัตราการเจริญของปลาแฟนซีคาร์พอายุ 3 เดือนที่เลี้ยงด้วยอาหารผสมเซลล์แบคทีเรียสังเคราะห์แสงปริมาณต่างกันได้ นอกจากนี้อาจเนื่องจากปัจจัยอื่น ๆ เช่น ช่วงอายุของปลาแฟนซีคาร์พที่นำมาทดลองอาจไม่เหมาะสมสำหรับการนำมาทดลองทางด้านอัตราการเจริญเติบโต เพราะช่วงอายุของปลาที่ทดลองคือ อายุ 3 เดือนนี้ เป็นช่วงที่ปลาแฟนซีคาร์พไม่มีการเปลี่ยนแปลงรูปแบบของสีผิวและลวดลายบนลำตัวปลาแล้ว (3) ซึ่งนับว่าเป็นช่วงที่เหมาะสมที่สุดที่จะศึกษาผลของอาหารที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงสีผิวของปลาแฟนซีคาร์พ

4.4 การหาปริมาณแป้งอัลฟ่าที่เหมาะสมเพื่อผลิตอาหารปลาผสมเซลล์อัดเม็ดที่มีความคงทน

ผลการศึกษาหาปริมาณแป้งอัลฟ่าที่เหมาะสมเพื่อใช้ผสมในอาหารปลาผสมเซลล์แบคทีเรียสังเคราะห์แสงแบบเม็ดเบียกให้มีความคงทนในน้ำ พบว่าอาหารปลาที่มีการผสมแป้งอัลฟ่าปริมาณต่าง ๆ กันจะมีความคงทนแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 5 เปอร์เซนต์ ดังตารางที่ 4-4 และรูปที่ 4-1 โดยอาหารปลาที่ผสมเซลล์แบคทีเรียสังเคราะห์แสงร้อยละ 6.8 ที่ไม่มีการเติมแป้งอัลฟ่าจะมีค่าความคงทนในน้ำนิ่งเฉลี่ยเท่ากับ ร้อยละ 69.0064 และความคงทนในน้ำไหลเฉลี่ยเท่ากับ 63.3931 ตามลำดับ ในขณะที่อาหารปลาผสมเซลล์ที่มีการเติมแป้งอัลฟ่าปริมาณร้อยละ 5.0, 7.5 และ 10.0 มีความคงทนในน้ำนิ่งเฉลี่ยเท่ากับ 71.1417, 76.5152, 77.7334

และในน้ำไหลเฉลี่ยเท่ากับ 71.5122, 75.7339, 76.7279 และเมื่อนำมาทดสอบค่า LSR แล้วพบว่าค่าความคงทนของอาหารปลาในน้ำที่ผสมแป้งอัลฟ่าปริมาณร้อยละ 7.5 และ 10.0 ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 5 เปอร์เซนต์ แสดงว่าการใช้แป้งอัลฟ่ามีปริมาณร้อยละ 7.5 และ 10.0 จะให้ผลความคงทนในน้ำเท่ากันทั้งในน้ำนิ่งและน้ำไหล (ดังแสดงไว้ในตารางที่ ค-11 และ ค-12 ภาคผนวก) ดังนั้นจึงเลือกปริมาณแป้งอัลฟ่าร้อยละ 7.5 ผสมในอาหารปลาผสมเซลล์แบคทีเรียสังเคราะห์แสงร้อยละ 6.8 เพื่อใช้ทดลองต่อไป

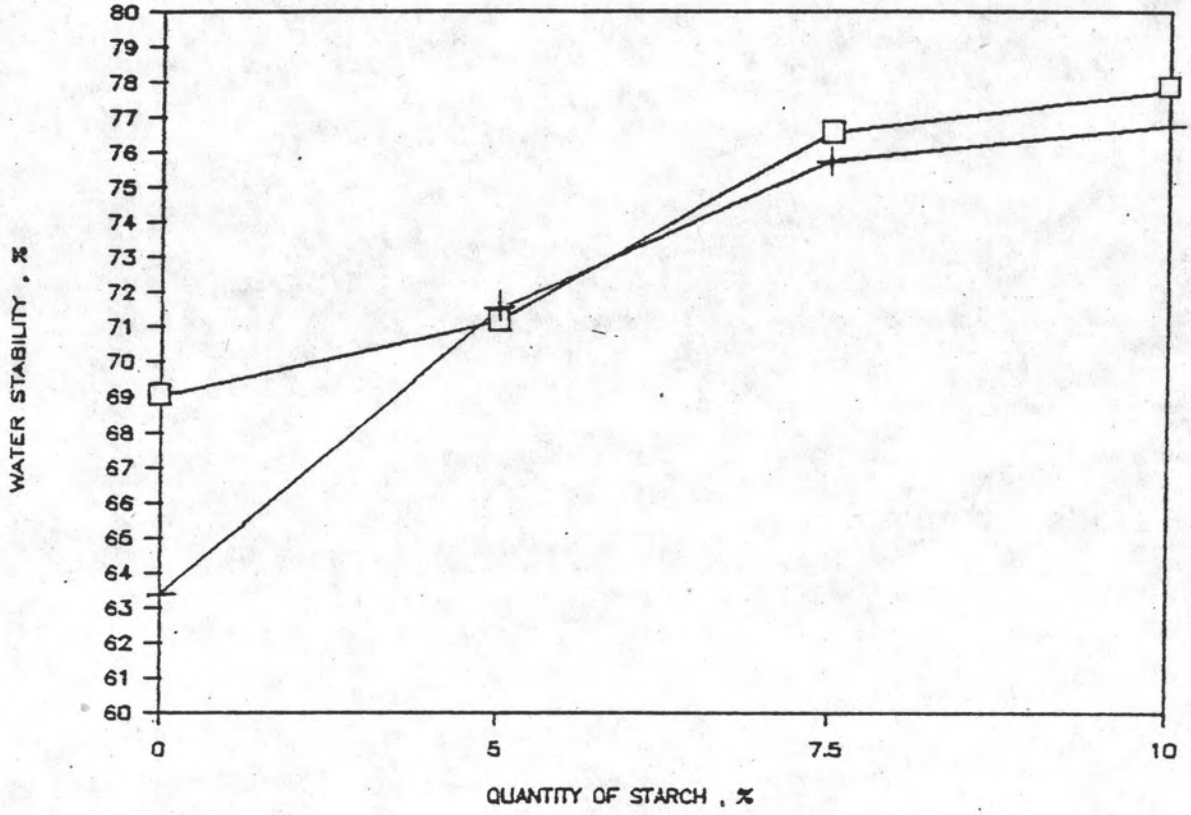
ส่วนผลการทดลองในอาหารปลาผสมเซลล์แบคทีเรียสังเคราะห์แสงร้อยละ 13.6 ดังตารางที่ 4-5 และรูปที่ 4-5 พบว่าให้ผลการทดลองเช่นเดียวกันกับในอาหารปลาที่ผสมเซลล์แบคทีเรียสังเคราะห์แสงร้อยละ 6.8 คือค่าความคงทนของอาหารปลาทั้งในน้ำนิ่งและในน้ำไหลจะแตกต่างกันที่ระดับแป้งอัลฟ่าต่างกัน โดยเมื่อไม่มีการเติมแป้งอัลฟ่าเลยความคงทนในน้ำนิ่งและน้ำไหลมีค่าเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 67.6528 และ 62.3876 ตามลำดับ ในขณะที่เมื่อมีการเติมแป้งอัลฟ่าปริมาณต่างกันคือร้อยละ 5.0, 7.5 และ 10.0 จะให้ความคงทนในน้ำนิ่งเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 69.7974, 73.2500 และ 74.8669 และค่าความคงทนในน้ำไหลเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 66.9861, 70.5479 และ 71.3443 ตามลำดับ เมื่อนำมาทดสอบค่า LSR แล้วพบว่าค่าความคงทนของอาหารปลาในน้ำที่ผสมแป้งอัลฟ่าปริมาณร้อยละ 7.5 และ 10.0 ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 5 เปอร์เซนต์ แสดงว่าการใช้แป้งอัลฟ่าปริมาณร้อยละ 7.5 และ 10.0 จะให้ผลความคงทนในน้ำนิ่งและในน้ำไหลไม่แตกต่างกัน (แสดงไว้ในตารางที่ ค-13 ภาคผนวก) ดังนั้นจึงเลือกปริมาณแป้งอัลฟ่าร้อยละ 7.5 ผสมลงในอาหารผสมเซลล์แบคทีเรียสังเคราะห์แสงร้อยละ 13.6 เพื่อใช้ทดลองต่อไป

จากการทดลองนี้สรุปได้ว่า ปริมาณที่เหมาะสมของแป้งอัลฟ่าที่ผสมลงในอาหารปลาผสมเซลล์แบคทีเรียสังเคราะห์แสงแบบเม็ดเปียกในปริมาณร้อยละ 7.5 นั้น จะทำให้อาหารเม็ดมีความคงทนในน้ำเพิ่มขึ้น โดยแป้งอัลฟ่าจะทำหน้าที่เป็นสารเหนี่ยวยึดเกาะองค์ประกอบในสูตรอาหารให้อยู่ติดกันในลักษณะเม็ดแบบเปียก ซึ่งจะทำให้อาหารยึดเกาะกันดีขึ้นความคงทนของอาหารปลาในน้ำจึงเพิ่มขึ้นและอาหารนี้จะมีโครงสร้างที่แข็งขึ้นเมื่อนำมาอบแห้งด้วยความร้อน (23) ดังนั้นปริมาณแป้งอัลฟ่าร้อยละ 7.5 จึงเป็นปริมาณที่เลือกใช้ในการเตรียมอาหารผสมเซลล์อัดเม็ดแบบเปียกเพื่อใช้ทดลองต่อไป

ตารางที่ 4-4 ค่าเฉลี่ยความคงทนเป็นร้อยละในน้ำนิ่ง (water stability in still water) ในน้ำไหล (flow water) ของอาหารปลาผสมเซลล์แบคทีเรียสังเคราะห์แสงปริมาณร้อยละ 6.8 ที่ผสมแป้งอัลฟ่าปริมาณต่าง ๆ กัน

ปริมาณแป้ง (%)	ค่าเฉลี่ยความคงทนในน้ำ (%)	
	น้ำนิ่ง	น้ำไหล
0	69.0064^{ac}	63.3931^{acm}
5.0	71.1417^{bd}	71.5122^{bdm}
7.5	76.5152^{cd}	75.7339^{cd}
10.0	77.7334^{ab}	76.7279^{ab}

ตัวอักษรที่เหมือนกันมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 5 เปอร์เซนต์



รูปที่ 4-5 เปรียบเทียบความคงทนในน้ำของอาหารปลาแผสมเซลล์แบคทีเรียสังเคราะห์แสง ร้อยละ 6.8 แบบเม็ดเปียกที่ผสมแป้งอัลฟ่าปริมาณต่าง ๆ กัน

□ ความคงทนในน้ำนิ่ง

+ ความคงทนในน้ำไหล

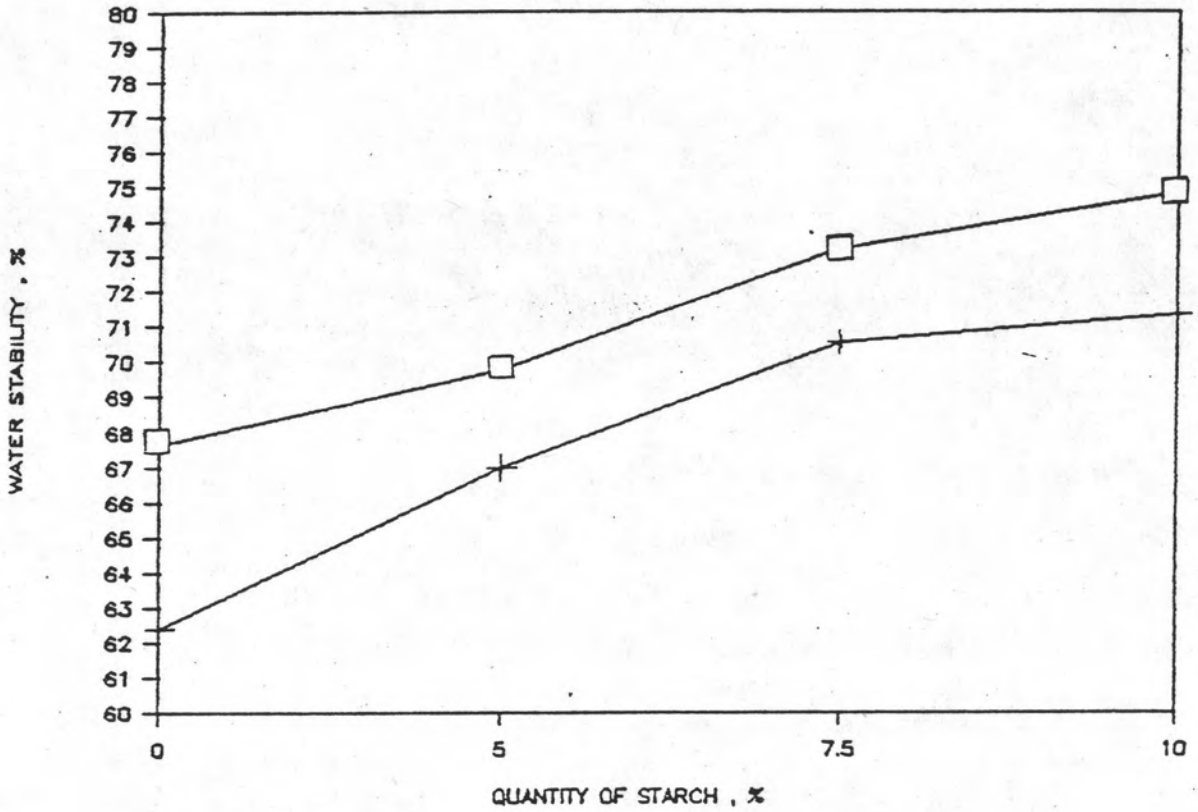
ตารางที่ 4-5 ค่าเฉลี่ยความคงทนเป็นร้อยละในน้ำนิ่ง (water stability in still water) และในน้ำไหล (flow water) ของอาหารปลาผสมเซลล์แบคทีเรียสังเคราะห์แสงปริมาณร้อยละ 13.6 ที่ผสมแป้งอัลฟ่าปริมาณต่าง ๆ กัน

ปริมาณแป้ง (%)	ค่าเฉลี่ยความคงทนในน้ำ (%)	
	น้ำนิ่ง	น้ำไหล
0	67.6528^{ac}	62.3876^{ace}
5.0	69.7974^{bd}	66.9861^{bde}
7.5	73.2500^{cd}	70.6479^{cd}
10.0	74.8669^{ab}	71.3443^{ab}

ตัวอักษรที่เหมือนกันมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 5 เปอร์เซนต์

4.5 การหาอุณหภูมิอบแห้งที่เหมาะสมของอาหารปลาผสมเซลล์อัดเม็ด

นำผลการทดลองที่ได้จากการทดลองในข้อ 4.3 และ 4.4 มาเตรียมอาหารผสมเซลล์แบคทีเรียสังเคราะห์แสงแบบเม็ดเบียกที่มีความชื้นประมาณร้อยละ 20-30 และทดลองอบแห้งที่อุณหภูมิต่าง ๆ กัน 5 ระดับคือ 60, 70, 80, 90 และ 100 องศาเซลเซียส โดยใช้เกณฑ์ที่ปริมาณความชื้นที่เหลืออยู่ในอาหารหลังอบแห้งต้องไม่เกินร้อยละ 10-12 พบว่าอาหารปลาผสมเซลล์ปริมาณร้อยละ 6.8 เมื่ออบแห้งที่อุณหภูมิต่างกันคือ 60, 70, 80, 90 และ 100 องศาเซลเซียส ต้องใช้เวลาประมาณ 3.30, 3.00, 2.40, 1.40 และ 1.00 ชั่วโมงตามลำดับ และสำหรับอาหารผสมเซลล์ร้อยละ 13.6 ต้องใช้เวลา 4.40, 3.30, 3.00, 2.30 และ 2.00 ชั่วโมงตามลำดับ เห็นได้ว่าระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำ 60 °ซ จะใช้เวลาในการอบแห้งนานกว่าที่อุณหภูมิสูง 100 °ซ และระยะเวลาที่ใช้อบแห้งอาหารปลาผสมเซลล์ปริมาณสูง 13.6% จะนานกว่าอาหารผสมเซลล์ปริมาณต่ำ 6.8% ที่ระดับอุณหภูมิเดียวกัน (แสดงในตารางที่ 4-6) เนื่องจากเซลล์ที่ใช้ผสมในอาหารปลาเป็นเซลล์สดที่มีความชื้นประมาณร้อยละ 80



รูปที่ 4-6 เปรียบเทียบความคงทนในน้ำของอาหารปลาผสมเซลล์แบคทีเรียสังเคราะห์แสง ร้อยละ 13.6 แบบเม็ดเปียกที่ผสมแป้งอัลฟ่าปริมาณต่าง ๆ กัน

□ ความคงทนในน้ำนิ่ง

+ ความคงทนในน้ำไหล

(แสดงในตารางที่ 4-1) ดังนั้นปริมาณเซลล์ที่สูงกว่าจึงมีความชื้นในอาหารสูงกว่าปริมาณเซลล์ที่ต่ำกว่าระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้งจึงนานกว่า เมื่อนำอาหารเม็ดที่อบแห้งแล้วมาวิเคราะห์ปริมาณคาโรทินอยด์ จะได้ปริมาณคาโรทินอยด์ในอาหารปลาผสมเซลล์ร้อยละ 6.8 และ 13.6 ก่อนอบแห้งมีค่าเท่ากับ 0.1879 และ 0.3391 มิลลิกรัมต่อกรัมอาหารปลาแห้ง โดยเทียบปริมาณคาโรทินนอยด์ก่อนอบแห้งเท่ากับ 100 เปอร์เซนต์ และเมื่อนำมาอบแห้งที่อุณหภูมิต่างกัน 5 ระดับ จะได้ปริมาณคาโรทินอยด์ที่เหลืออยู่ในอาหารปลาผสมเซลล์ร้อยละ 6.8 เท่ากับ 0.1614, 0.1597, 0.1554, 0.1532 และ 0.1459 มิลลิกรัมต่อกรัมอาหารปลาแห้ง ตามลำดับ หรือคิดเป็น 85.59, 84.99, 82.77, 81.53 และ 77.64 เปอร์เซนต์ ตามลำดับ เมื่อเทียบกับปริมาณคาโรทินอยด์ก่อนอบ ซึ่งพบว่า ปริมาณคาโรทินอยด์ที่เหลืออยู่ในอาหารปลาเมื่ออบแห้งที่ทุกระดับอุณหภูมิแล้วมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 5 เปอร์เซนต์ จากปริมาณคาโรทินอยด์ก่อนอบแห้ง (ดังแสดงในตารางที่ ค-15 ภาคผนวก และรูปที่ 4-7) ดังนั้นจึงเลือกอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งสำหรับอาหารปลาผสมเซลล์ร้อยละ 6.8 ที่ 60 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นอุณหภูมิต่ำสุดที่ใช้และทำให้ปริมาณคาโรทินอยด์ลดลงน้อยที่สุด

สำหรับอาหารปลาผสมเซลล์ร้อยละ 13.6 (แสดงในตารางที่ 4-7) เมื่อนำมาอบแห้งที่อุณหภูมิต่างกัน 5 ระดับแล้ว จะได้คาโรทินอยด์ที่เหลืออยู่ในอาหารเท่ากับ 0.3046, 0.3032, 0.2984, 0.2886, และ 0.2692 มิลลิกรัมต่อกรัมอาหารปลาแห้ง ซึ่งคิดเป็น 89.82, 89.41, 87.99, 85.10 และ 79.38 เปอร์เซนต์ (ตามลำดับ) เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับความแตกต่างของค่าเฉลี่ยแล้วพบว่าปริมาณคาโรทินอยด์ในอาหารปลาที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 60,70 องศาเซลเซียส ไม่มีความแตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 5 เปอร์เซนต์ สำหรับปริมาณคาโรทินนอยด์ในอาหารปลาที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 80,90 และ 100 องศาเซลเซียส มีความแตกต่างกันหมด (แสดงในตารางที่ ค-16 ภาคผนวก และรูปที่ 4-7) ดังนั้นในการอบแห้งอาหารปลาผสมเซลล์แบคทีเรียสังเคราะห์แสงปริมาณร้อยละ 13.6 จึงเลือกช่วงอุณหภูมิประมาณ 60-70 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่อบแห้งแล้วทำให้ปริมาณคาโรทินอยด์ในอาหารปลาผสมเซลล์ลดลงน้อยที่สุด

จากผลการทดลองนี้ แสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งอาหารเม็ดมีผลต่อปริมาณคาโรทินอยด์ในอาหารปลาผสมเซลล์แบคทีเรียสังเคราะห์แสงนี้ โดยมีผลทำให้ปริมาณคาโรทินอยด์ลดน้อยลง เนื่องจากความร้อนจากการอบแห้งทำให้โครงสร้างโมเลกุลของคาโรทินอยด์เปลี่ยนแปลงไปทำให้สีซีดและจางลง (8) ซึ่งจะมีผลต่อการเพิ่มสีผิวของปลาด้วย ดังนั้นจึงควรเลือก

ตารางที่ 4-6 ระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้งอาหารปลาผสมเซลล์แบคทีเรียสังเคราะห์แสงอัดเม็ดแบบเปียกปริมาณร้อยละ 6.8 และ 13.6 ให้ได้ความชื้นปริมาณร้อยละ 10-12 ด้วยอุณหภูมิต่าง ๆ กัน และปริมาณคาโรทีนอยด์ที่เหลืออยู่ในอาหารที่อบแห้งแล้ว

อุณหภูมิ (°ซ)	ระยะเวลาที่ใช้อบแห้ง (ชม.)		ปริมาณคาโรทีนอยด์ที่เหลือ (%)	
	อาหารผสมเซลล์ 6.8%	อาหารผสมเซลล์ 13.6%	อาหารผสมเซลล์ 6.8%	อาหารผสมเซลล์ 13.6%
ก่อนอบแห้ง	-	-	100	100
60	3.30	4.00	85.59	89.82
70	3.00	3.30	84.99	89.41
80	2.40	3.00	82.77	87.99
90	1.40	2.30	81.53	85.10
100	1.00	2.00	77.64	79.38

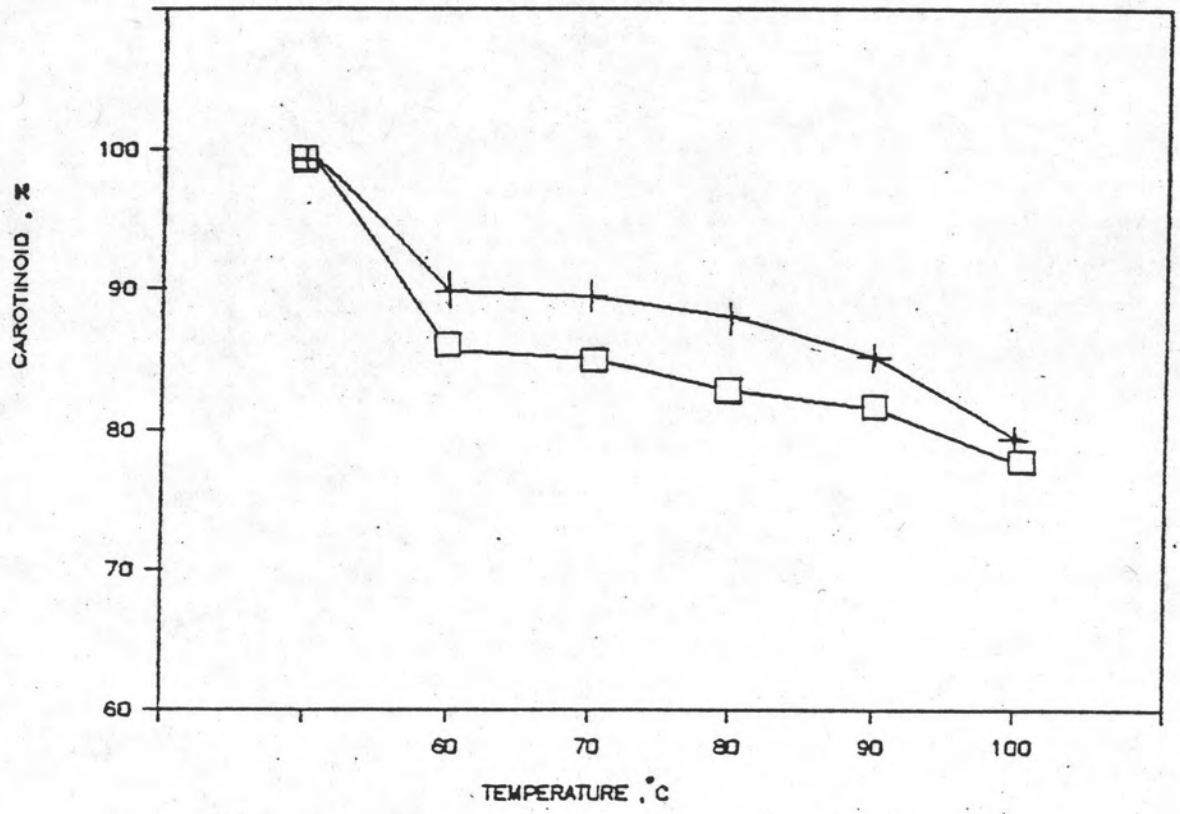
จากผลการทดลองในข้อ 4.3, 4.4 และ 4.5 สรุปได้ว่าการทำอาหารผสมเซลล์แบคทีเรียสังเคราะห์แสงอัดเม็ดเพื่อใช้ในการเร่งสีปลาแฟนซีคาร์พให้มีความคงทนในน้ำและเป็นอาหารปลาแบบเม็ดแห้งสำหรับการเก็บไว้ใช้ได้เป็นเวลานานนั้น อาหารปลานั้นจะมีส่วนประกอบดังตารางที่ 4-8 ดังนี้คือ

ตารางที่ 4-7 ค่าเฉลี่ยปริมาณคาโรทินอยด์ (มิลลิกรัมต่อกรัมอาหารแห้ง) ในอาหารปลาผสมเซลล์แบคทีเรียสังเคราะห์แสงปริมาณร้อยละ 6.8 และ 13.6 แบบเม็ดเปียกที่อบแห้งให้ได้ความชื้นร้อยละ 10-12 ที่อุณหภูมิต่าง ๆ กัน

อุณหภูมิ (°ซ)	ปริมาณคาโรทินอยด์ (มิลลิกรัม/กรัมอาหารแห้ง)	
	สูตรอาหารผสมเซลล์ 6.8%	สูตรอาหารผสมเซลล์ 13.6%
ก่อนอบ	0.1879*	0.3391$^{a-f\ g\ h}$
60	0.1614*	0.3046^{b}
70	0.1597*	0.3032$^{a\ h}$
80	0.1546*	0.2984$^{d\ g}$
90	0.1532*	0.2886^{a-f}
100	0.1456*	0.2692$^{a\ b\ c\ d\ g}$

* มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 5 เปอร์เซนต์
ตัวอักษรที่เหมือนกันมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 5 เปอร์เซนต์

อุณหภูมิที่มีผลทำให้ปริมาณคาโรทินอยด์ลดลงน้อยที่สุด คือเลือกอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส สำหรับอาหารปลาผสมเซลล์แบคทีเรียสังเคราะห์แสงร้อยละ 6.8 และเลือกอุณหภูมิประมาณ 60-70 องศาเซลเซียส สำหรับอาหารปลาผสมเซลล์แบคทีเรียสังเคราะห์แสงร้อยละ 13.6 ทั้งนี้เพราะเนื่องจากเป็นช่วงอุณหภูมิที่ทำให้ปริมาณคาโรทินอยด์ลดลงน้อยที่สุด และยังเป็นช่วงอุณหภูมิที่นิยมใช้ในการอบแห้งแพลงค์ตอนซึ่งมีรายงานว่า ไม่ทำให้สารอาหารเปลี่ยนไป (26)



รูปที่ 4-7 เปรียบเทียบปริมาณคาโรทินอยด์ในอาหารปลาผสมเซลล์แบคทีเรียสังเคราะห์แสงอัดเม็ดเปียกที่อบแห้งด้วยอุณหภูมิต่าง ๆ กัน

□ อาหารปลาผสมเซลล์ร้อยละ 6.8

+ อาหารปลาผสมเซลล์ร้อยละ 13.6

ตารางที่ 4-8 สรุปส่วนผสมของอาหารปลาผสมเซลล์แบคทีเรียสังเคราะห์แสงอบแห้งร้อยละ 6.8 และ 13.6

ส่วนผสม (กรัม)	อาหารปลาผสมเซลล์ 6.8%	อาหารปลาผสมเซลล์ 13.6%
ปริมาณเซลล์สด	38.40	76.79
ปลาป่น	8.00	-
กากถั่วเหลือง	14.00	14.00
กากถั่วลิสง	24.00	24.00
รำละเอียด	30.00	30.00
ปลายข้าว	7.50	7.50
แป้งอัลฟ่า	7.50	7.50
วิตามินและแร่ธาตุ	1.00	1.00
แกลบ	1.19	2.38

ตารางที่ 4-9 สภาวะการอบแห้งของอาหารปลาผสมเซลล์แบคทีเรียสังเคราะห์แสง

สภาวะที่เลือกใช้	อาหารปลาผสมเซลล์ 6.8%	อาหารปลาผสมเซลล์ 13.6%
อุณหภูมิ (°ซ)	60	60-70
ระยะเวลาอบแห้ง (ชม)	3.30	3.30-4.0

4.6 การหาปริมาณเซลล์แบคทีเรียสังเคราะห์แสงที่มีผลต่อการเพิ่มสีผิวปลาแฟนซีคาร์พ

การทดลองนี้ใช้อาหารปลาผสมเซลล์แบคทีเรียสังเคราะห์แสงแบบเม็ดแห้งที่มีความชื้นร้อยละ 10-12 เตรียมได้จากผลการทดลองในข้อ 4.3, 4.4 และ 4.5 โดยการผสมเซลล์แบคทีเรียสังเคราะห์แสงในปริมาณร้อยละ 0, 3.4, 6.8, 10.2 และ 13.6 หรือคิดเป็นปริมาณร้อยละ 0, 25, 50, 75 และ 100 ของปริมาณปลาป่นที่ใช้ในสูตรอาหารพื้นฐาน นำอาหารเม็ดที่เตรียมได้เลี้ยงปลาแฟนซีคาร์พ ที่มีอายุ 3 เดือน ซึ่งมีความเข้มสีผิว ความยาว และน้ำหนักเฉลี่ยเริ่มต้นไม่ความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 5 เปอร์เซนต์ โดยมีค่าเฉลี่ยความเข้มสีผิวปลาทั้ง 5 ชุดการทดลองเท่ากับ 3.91, 4.00, 3.91, 3.83 และ 3.91 ตามลำดับ มีน้ำหนักเฉลี่ยเท่ากับ 8.91, 9.33, 10.20, 10.00 และ 9.75 กรัม ตามลำดับ และมีค่าความยาวเฉลี่ยเท่ากับ 8.35, 8.68, 8.99, 8.80 และ 8.69 เซนติเมตร ตามลำดับ (ดังแสดงในตารางที่ ข-21 จนถึง ข-30 ภาคผนวก ข)

เมื่อให้อาหารผสมเซลล์ปริมาณที่ต่างกันพบว่า เมื่อให้อาหารครบ 4 สัปดาห์ ค่าคะแนนเฉลี่ยความเข้มสีปลามีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 5 เปอร์เซนต์ โดยปลาที่เลี้ยงด้วยอาหารผสมเซลล์ร้อยละ 13.6, 10.2 และ 6.8 มีค่าเฉลี่ยความเข้มสีผิวเท่ากับ 4.00, 4.00 และ 4.00 แตกต่างจากปลาที่เลี้ยงด้วยสูตรพื้นฐานซึ่งมีค่าเฉลี่ยความเข้มสีเท่ากับ 3.41 และปลาที่เลี้ยงด้วยอาหารผสมเซลล์ร้อยละ 13.6 มีความแตกต่างจากปลาที่เลี้ยงด้วยอาหารผสมเซลล์ร้อยละ 3.4 ด้วย (ดังแสดงในตารางที่ ค-19 ภาคผนวก ค) แสดงว่าเมื่อให้อาหารปลาที่มีปริมาณเซลล์ร้อยละ 13.6, 10.2 และ 6.8 เป็นเวลา 4 สัปดาห์ ก็สามารถเพิ่มสีผิวให้กับปลาแฟนซีคาร์พให้แตกต่างจากปลาที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตรพื้นฐานและเมื่อให้อาหารครบ 6 สัปดาห์ พบว่า ค่าคะแนนเฉลี่ยความเข้มสีผิวปลาที่เลี้ยงด้วยอาหารผสมเซลล์ปริมาณร้อยละ 13.6 และ 10.2 มีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 4.33 และ 4.16 และแตกต่างกับปลาที่เลี้ยงด้วยอาหารผสมเซลล์ร้อยละ 3.4 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 3.67 และปลาที่เลี้ยงด้วยอาหารผสมเซลล์ร้อยละ 6.8 มีค่าความเข้มสีเฉลี่ยเท่ากับ 4.00 มีค่าแตกต่างกับปลาที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตรพื้นฐานที่ระดับนัยสำคัญ 5 เปอร์เซนต์ แสดงว่าเมื่อเลี้ยงปลาด้วยอาหารผสมเซลล์แบคทีเรียสังเคราะห์แสงปริมาณร้อยละ 13.6, 10.2 และ 6.8 เป็นเวลานาน 6 สัปดาห์ จะทำให้ปลาแฟนซีคาร์พอายุ 3 เดือน มีความเข้มสีผิวเพิ่มขึ้น เมื่อเทียบกับปลาที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตรพื้นฐาน และปลาที่เลี้ยงด้วยอาหารผสมเซลล์ร้อยละ 13.6 และ 10.2 จะมีความเข้มสีผิวปลาเพิ่มขึ้นมากกว่าปลาที่เลี้ยงด้วยอาหารผสมเซลล์ร้อยละ 3.4 (แสดงในรูปที่ 4-8) ที่ระดับนัยสำคัญ 5 เปอร์เซ็นต์ เมื่อให้อาหารครบ 8

สัปดาห์ พบว่าคะแนนเฉลี่ยความเข้มสีปลาที่เลี้ยงด้วยอาหารผสมเซลล์ปริมาณร้อยละ 13.6, 10.2 และ 6.8 มีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 4.5, 4.33 และ 4.08 ตามลำดับ ซึ่งแตกต่างกับปลาที่เลี้ยงด้วยอาหารผสมเซลล์ร้อยละ 3.4 และสูตรพื้นฐานซึ่งมีค่าเท่ากับ 3.50 และ 3.16 ตามลำดับ (ดังแสดงในตารางที่ 4-9 และรูปที่ 4-7) ที่ระดับนัยสำคัญ 5 เปอร์เซนต์ (แสดงในตารางที่ ค-21 ภาคผนวก)

ตารางที่ 4-10 ค่าคะแนนเฉลี่ยความเข้มสีผิวปลาแฟนซีคาร์พที่เลี้ยงด้วยอาหารผสมเซลล์แบคทีเรียสังเคราะห์แสงปริมาณต่างกัน 5 ระดับ ที่อบแห้งให้มีความชื้นร้อยละ 10-12 เป็นเวลา 2 เดือน

ระยะเวลา	ค่าคะแนนเฉลี่ย									
	สูตร 1	การเพิ่ม/ลดสีผิว*	สูตร 2	การเพิ่ม/ลดสีผิว	สูตร 3	การเพิ่ม/ลดสีผิว	สูตร 4	การเพิ่ม/ลดสีผิว	สูตร 5	การเพิ่ม/ลดสีผิว
เริ่มต้นการทดลอง	3.91		4.00		3.91		3.83		3.91	
สัปดาห์ที่ 2	3.75	-0.16	3.83	-0.17	3.91	0.00	3.91	+0.08	4.00	+0.-0
สัปดาห์ที่ 4	3.41 acd	-0.50	3.75 b	-0.25	4.00 c	+0.09	4.00 d	+0.17	4.00 ab	+0.09
สัปดาห์ที่ 6	3.33 ace	-0.58	3.67 bd	-0.33	4.00 e	+0.09	4.16 cd	+0.33	4.33 ab	+0.42
สัปดาห์ที่ 8	3.16 ace	-0.75	3.50 bdf	-0.50	4.08 ef	+0.17	4.33 cd	+0.50	4.50 ab	+0.59

ตัวหนังสือที่เหมือนกันมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 5 เปอร์เซนต์

* การเพิ่ม/ลดสีผิว = ใช้คะแนนเฉลี่ยเมื่อเริ่มต้นการทดลองเป็นเกณฑ์

\+ = เพิ่มสีผิว

\- = ลดสีผิว

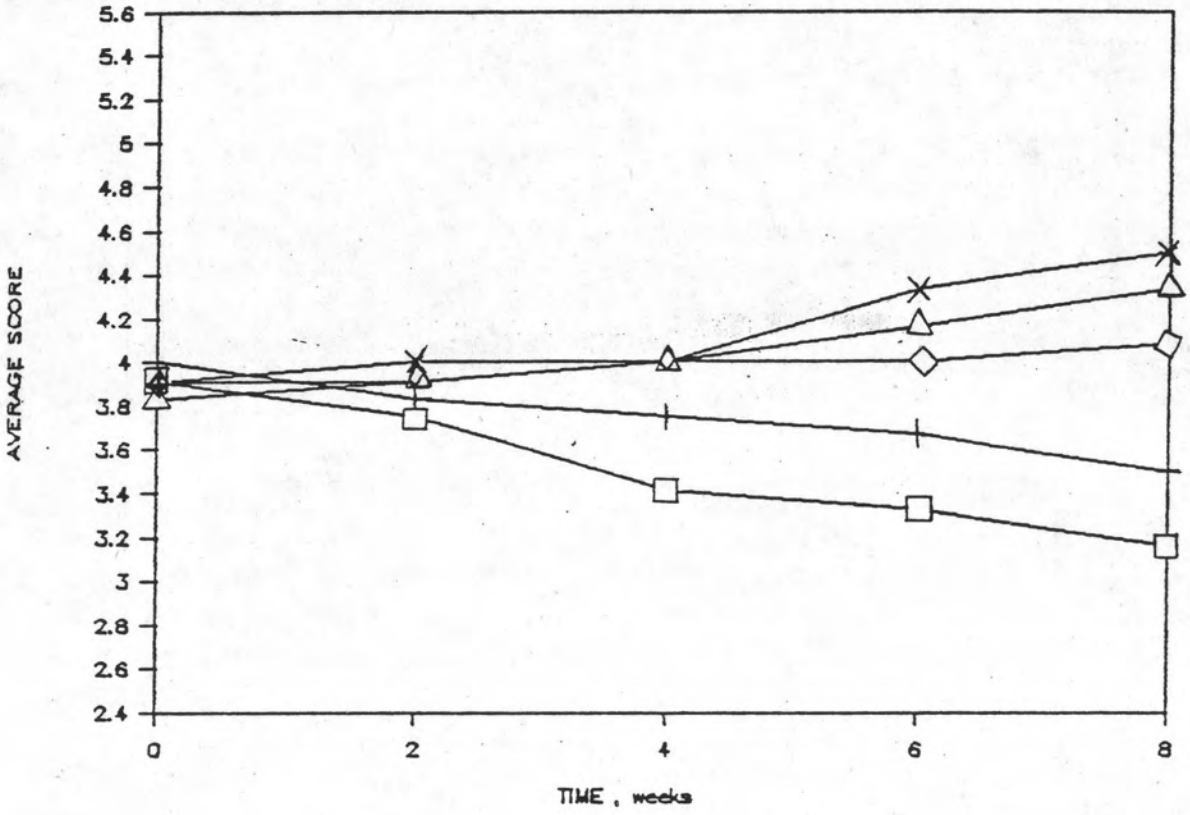
สูตร 1 = สูตรพื้นฐาน (ไม่ผสมเซลล์)

สูตร 2 = ผสมเซลล์ร้อยละ 3.4

สูตร 3 = ผสมเซลล์ร้อยละ 6.8

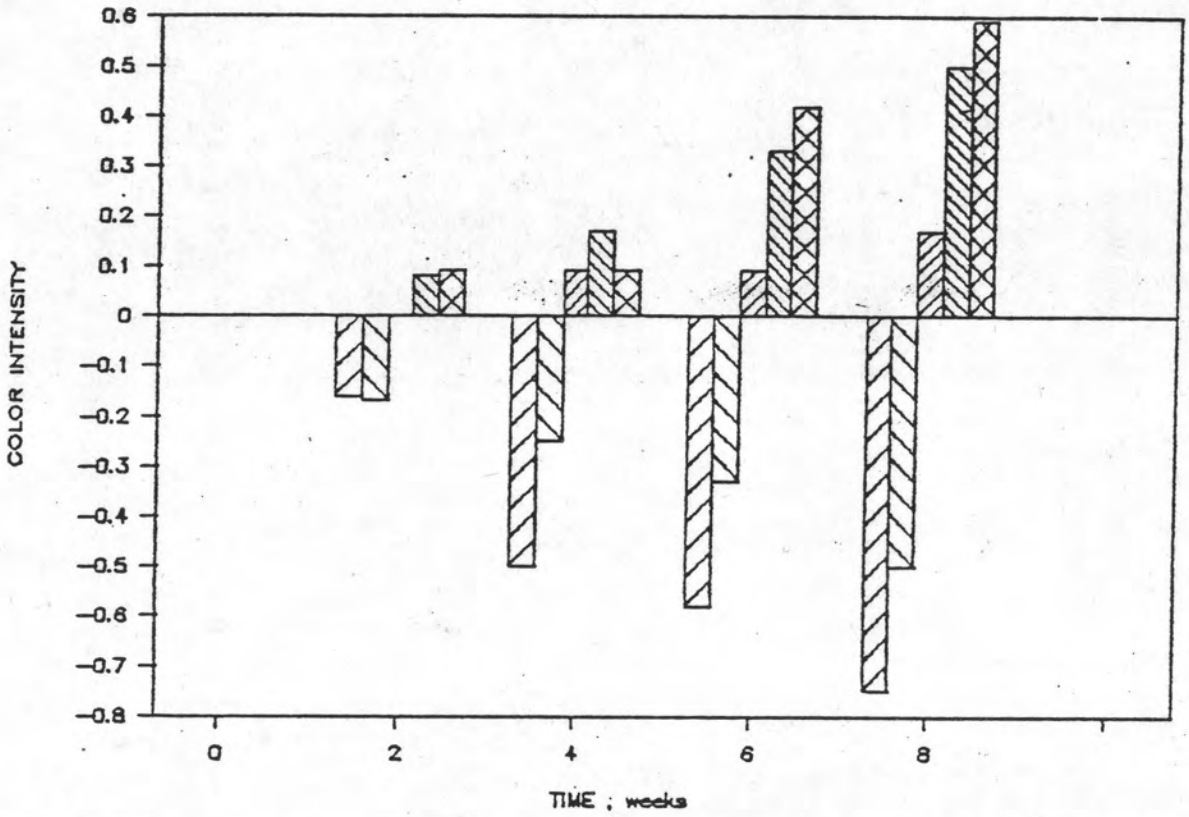
สูตร 4 = ผสมเซลล์ร้อยละ 10.2

สูตร 5 = ผสมเซลล์ร้อยละ 13.6



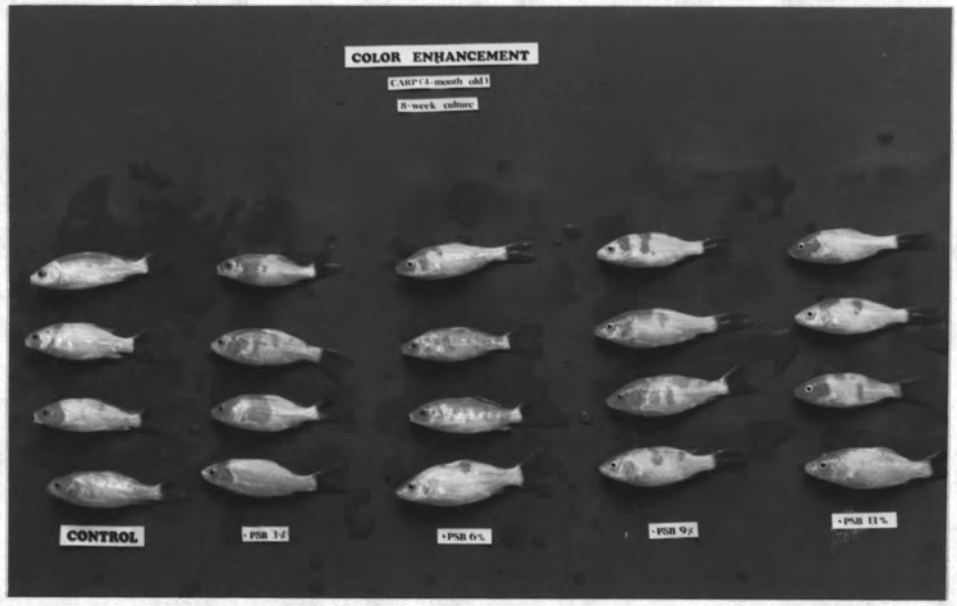
รูปที่ 4-8 เปรียบเทียบค่าคะแนนเฉลี่ยความเข้มสีปลาแฟนซีคาร์พที่เลี้ยงด้วยอาหารผสมเซลล์แบคทีเรียสังเคราะห์แสงอบแห้ง ระดับต่างกัน 5 ระดับ

□ สูตรที่ 1 สูตรพื้นฐาน
+ สูตรที่ 2 ผสมเซลล์ร้อยละ 3.4
◇ สูตรที่ 3 ผสมเซลล์ร้อยละ 6.8
△ สูตรที่ 4 ผสมเซลล์ร้อยละ 10.2
× สูตรที่ 5 ผสมเซลล์ร้อยละ 13.6



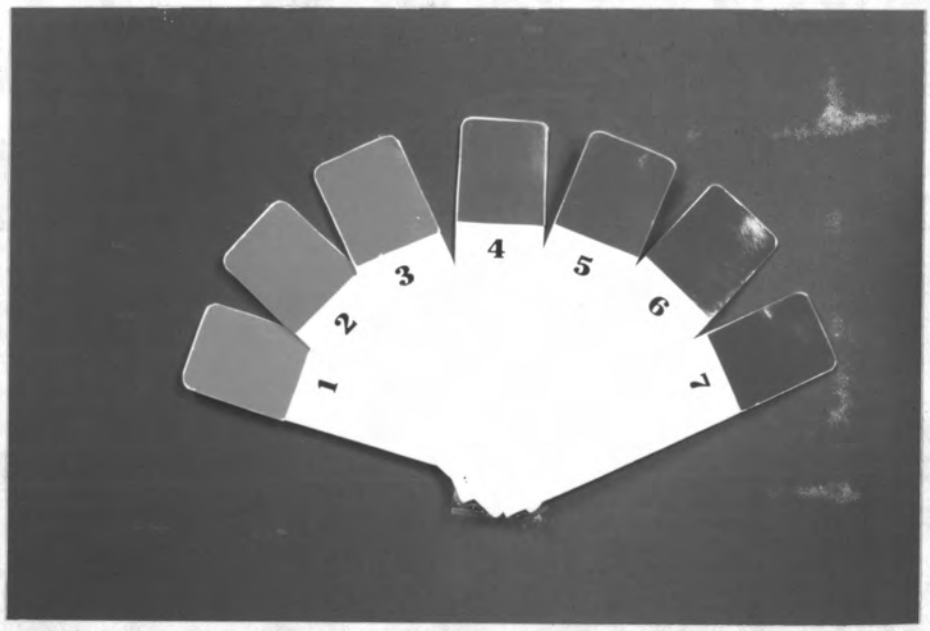
รูปที่ 4-9 เปรียบเทียบค่าคะแนนความเข้มสีผิวที่เพิ่มขึ้นหรือลดลงของปลาแฟนซีคาร์พที่เลี้ยงด้วยอาหารผสมเซลล์แบคทีเรียสังเคราะห์แสงปริมาณต่างกัน 5 ระดับที่อบแห้งให้มีความชื้นร้อยละ 10-12 เป็นเวลา 8 สัปดาห์

- สูตรที่ 1 สูตรพื้นฐาน
- สูตรที่ 2 ผสมเซลล์ร้อยละ 3.4
- สูตรที่ 3 ผสมเซลล์ร้อยละ 6.8
- สูตรที่ 4 ผสมเซลล์ร้อยละ 10.2
- สูตรที่ 5 ผสมเซลล์ร้อยละ 13.6



รูปที่ 4-10 ก ปลาแฟนซีคาร์พที่เลี้ยงด้วยอาหารผสมเซลล์แบคทีเรียสังเคราะห์แสงต่างกัน 5 ระดับ ที่อบแห้งด้วยอุณหภูมิ 60-70 °C ให้ได้ความชื้นร้อยละ 10-12

สูตรที่ 1 สูตรพื้นฐาน สูตรที่ 2 ผสมเซลล์ร้อยละ 3.4
สูตรที่ 3 ผสมเซลล์ร้อยละ 6.8 สูตรที่ 4 ผสมเซลล์ร้อยละ 10.2
สูตรที่ 5 ผสมเซลล์ร้อยละ 13.6



รูปที่ 4-10 ข แถบสีที่ทำขึ้นเพื่อใช้วัดความเข้มสีผิวปลาแฟนซีคาร์พ เรียงลำดับคะแนน

จากผลการทดลองนี้แสดงให้เห็นชัดเจนว่า ปริมาณของเซลล์แบคทีเรียสังเคราะห์แสงมีความสัมพันธ์กับระยะเวลาที่ให้อาหารชนิดนั้น กล่าวคือ ถ้าให้อาหารที่ผสมเซลล์ปริมาณสูง การเร่งสีผิวปลาจะใช้เวลาสั้นกว่า โดยพบว่าปริมาณเซลล์ร้อยละ 13.6 จะให้ผลต่อการเร่งสีผิวเมื่อเลี้ยงเป็นเวลา 4 สัปดาห์ ในขณะที่ถ้าผสมปริมาณเซลล์ร้อยละ 10.2 และ 6.8 ต้องใช้เวลานาน 6 และ 8 สัปดาห์ ตามลำดับ จึงจะเห็นผลการเร่งสี และที่สำคัญที่สุดก็คือถ้าใช้เซลล์ที่ระดับต่ำมากเช่นร้อยละ 3.4 จะไม่มีผลต่อการเร่งสีเลย แต่ในทางตรงข้าม สีผิวจะกลับลดลงกว่าเดิม ซึ่งเช่นเดียวกับสูตรอาหารที่ไม่ได้ผสมเซลล์ (สูตรพื้นฐาน) ดังแสดงในรูปที่ 4-8 ดังนั้นการนำเอาเซลล์แบคทีเรียสังเคราะห์แสงมาใช้ผสมในอาหารปลาเพื่อใช้ในการเร่งสีผิวปลาแฟนซีคาร์พจึงควรคำนึงถึงปริมาณเซลล์ที่ใช้ผสมในอาหารปลาและระยะเวลาที่ให้อาหารเร่งสีนั้นด้วย

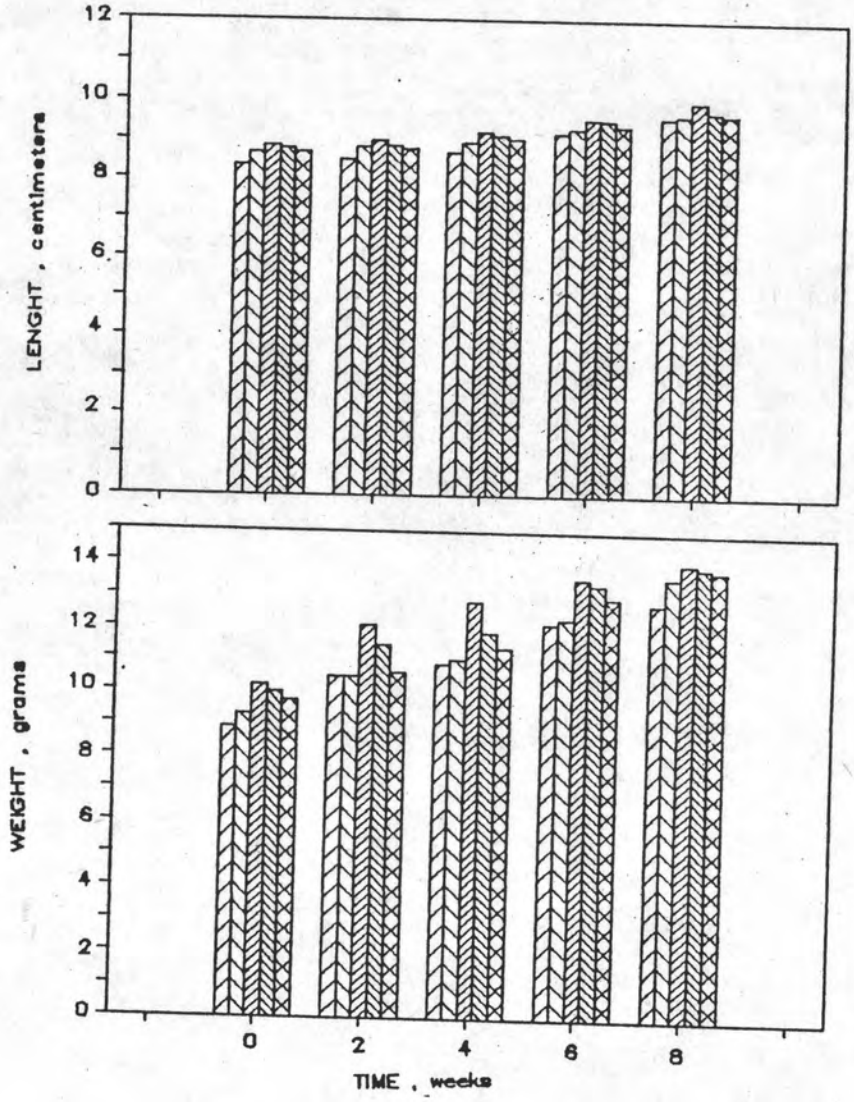
สำหรับอัตราการเจริญเติบโตทางด้านน้ำหนักและความยาวของปลาแฟนซีคาร์พพบว่าเมื่อเริ่มต้นการทดลองมีค่าเท่ากับ 8.91, 9.33, 10.20, 10.00, 9.75 กรัม และเท่ากับ 8.35, 8.68, 8.99, 8.80, 8.69 เซนติเมตร ตามลำดับ เมื่อสิ้นสุดการทดลองมีค่าเฉลี่ยน้ำหนักและความยาวเท่ากับ 12.83, 13.62, 14.08, 13.95, 13.87 กรัม เท่ากับ 9.59, 9.67, 10.02, 9.77, 9.68 เซนติเมตร ตามลำดับ (แสดงในตารางที่ 4-11, รูปที่ 4-10) เมื่อนำน้ำหนักและความยาวเฉลี่ยของปลาทั้ง 5 ชุด มาคำนวณหาน้ำหนักและความยาวเพิ่มขึ้นจะได้ค่าน้ำหนักละความยาวของปลาที่เพิ่มขึ้นเท่ากับ 3.91, 4.30, 3.87, 3.95 และ 4.13 กรัม และเท่ากับ 1.24, 0.99, 1.15, 1.63 และ 0.99 เซนติเมตร ตามลำดับ (แสดงในตารางที่ 4-12 และรูปที่ 4-11) ซึ่งจากอัตราการเพิ่มน้ำหนักและความยาวที่ได้ตลอดระยะเวลา 8 สัปดาห์ พบว่า มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นของปลาทั้ง 5 ชุดการทดลอง แต่ยังไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 5 เปอร์เซนต์ (ตารางที่ ค-23 และ 24 ภาคผนวก) เนื่องจากระยะเวลาที่ใช้เลี้ยงปลาเพียง 8 สัปดาห์ ซึ่งยังอาจจะสั้นเกินไปสำหรับการทดลองผลทางด้านอัตราการเจริญของปลา และยังขึ้นกับปัจจัยอื่นๆ อีก ดังได้กล่าวถึงแล้วทางด้านอัตราการเจริญเติบโตในข้อ 4.3

จากผลการทดลองทั้งหมดสรุปได้ว่า ปริมาณเซลล์แบคทีเรียสังเคราะห์แสงที่ผสมในอาหารปลาอัดเม็ดแห้งและมีผลต่อการเร่งสีปลาแฟนซีคาร์พ ในระยะเวลาที่เลี้ยง 8 สัปดาห์ คือ ปริมาณร้อยละ 13.6, 10.2 และ 6.8 แต่เนื่องจากปริมาณเซลล์ร้อยละ 10.2 ซึ่งใช้เซลล์ปริมาณที่น้อยกว่า และสำหรับการเลือกใช้ปริมาณเซลล์ร้อยละ 6.8 นั้นเนื่องจากพบว่าสามารถเร่งสีผิวปลาแฟนซีคาร์พอายุ 3 เดือนได้โดยมีความแตกต่างจากปลาที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตรพื้นฐาน (ไม่ผสมเซลล์) ในเวลา 6 สัปดาห์ ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าสูตรอาหารเร่งสีผิวปลาแฟนซีคาร์พอายุ

ตารางที่ 4-11 น้ำหนักและความยาวเฉลี่ยของปลาแฟนซีคาร์พที่เลี้ยงด้วยอาหารปลาผสมแบคทีเรียสังเคราะห์แสงต่างกัน 5 ระดับ เป็นเวลา 2 เดือน (อายุปลาเริ่มต้นทดลอง = 3 เดือน)

ระยะเวลา	สูตร 1		สูตร 2		สูตร 3		สูตร 4		สูตร 5	
	น้ำหนัก	ความยาว	น้ำหนัก	ความยาว	น้ำหนัก	ความยาว	น้ำหนัก	ความยาว	น้ำหนัก	ความยาว
เริ่มต้นการทดลอง	8.92	8.35	9.33	8.68	10.21	8.87	10.00	8.80	9.75	8.69
สัปดาห์ที่ 2	10.50	8.52	10.50	8.83	12.13	8.99	11.50	8.85	10.66	8.80
สัปดาห์ที่ 4	10.90	8.69	11.04	8.96	12.67	9.23	11.91	9.14	11.41	9.04
สัปดาห์ที่ 6	12.21	9.20	12.33	9.32	13.50	9.55	13.41	9.52	13.00	9.40
สัปดาห์ที่ 8	12.83	9.59	13.63	9.67	14.80	10.02	13.95	9.77	13.88	9.68

สูตร 1-5 เช่นเดียวกับในตารางที่ 4-9



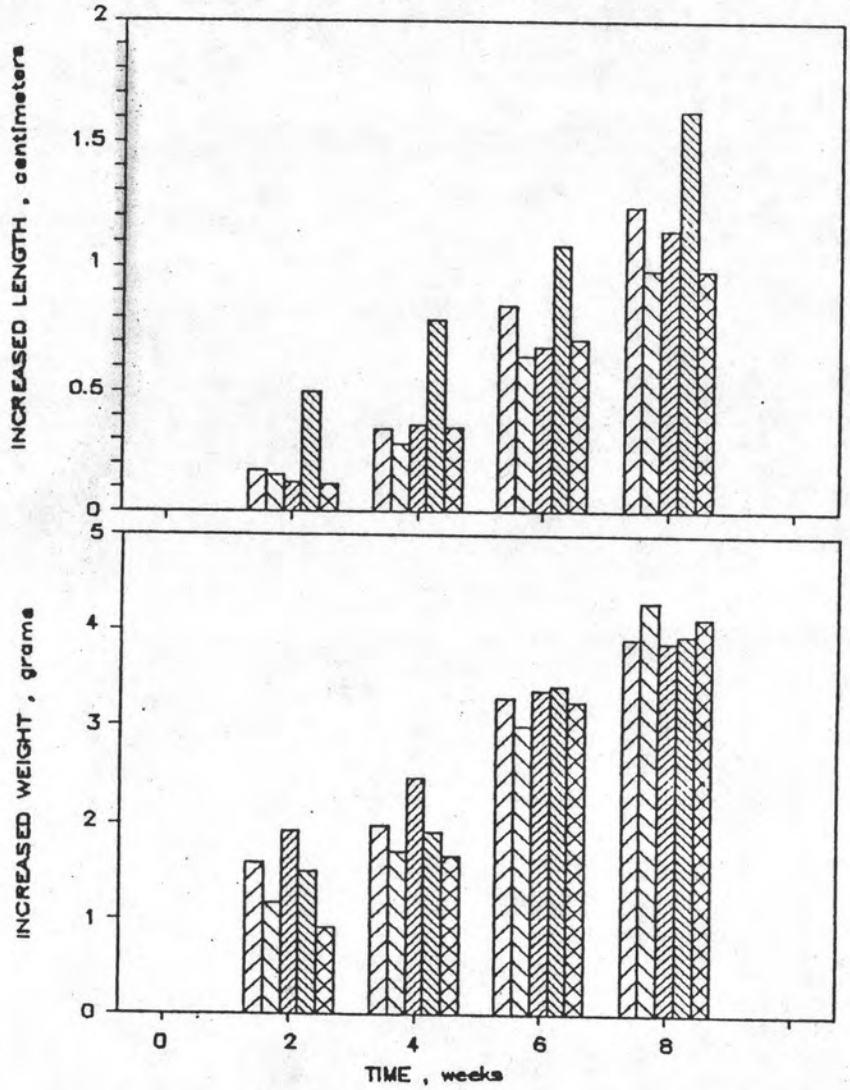
รูปที่ 4-10 เปรียบเทียบน้ำหนักและความยาวของปลาแฟนซีคาร์พที่เลี้ยงด้วยอาหารผสมเซลล์แบคทีเรียสังเคราะห์แสงต่างกัน 5 ระดับ

- สูตรที่ 1 สูตรพื้นฐาน
- สูตรที่ 2 ผสมเซลล์ร้อยละ 3.4
- สูตรที่ 3 ผสมเซลล์ร้อยละ 6.8
- สูตรที่ 4 ผสมเซลล์ร้อยละ 10.2
- สูตรที่ 5 ผสมเซลล์ร้อยละ 13.6

ตารางที่ 4-12 เปรียบเทียบน้ำหนักและความยาวที่เพิ่มขึ้นของปลาแฟนซีคาร์พที่เลี้ยงด้วยอาหารปลาผสมเซลล์แบคทีเรียสังเคราะห์แสงต่างกัน 5 ระดับ เป็นเวลา 2 เดือน

ระยะเวลา	สูตร 1		สูตร 2		สูตร 3		สูตร 4		สูตร 5	
	น.น.	ความยาว	น.น.	ความยาว	น.น.	ความยาว	น.น.	ความยาว	น.น.	ความยาว
สัปดาห์ที่ 2	1.58	0.17	1.17	0.15	1.92	0.12	1.50	0.5	0.91	0.11
สัปดาห์ที่ 4	1.98	0.34	1.17	0.28	2.46	0.36	1.91	0.79	1.66	0.35
สัปดาห์ที่ 6	3.29	0.85	3.00	0.64	3.37	0.68	3.41	1.09	3.25	0.71
สัปดาห์ที่ 8	3.91	1.24	4.30	0.99	3.87	1.15	3.95	1.63	4.13	0.99

สูตร 1-5 เช่นเดียวกับในตารางที่ 4-9



รูปที่ 4-11 เปรียบเทียบน้ำหนักและความยาวที่เพิ่มขึ้นของปลาแฟนซีคาร์พที่เลี้ยงด้วยอาหารผสมเซลล์แบคทีเรียสังเคราะห์แสงต่างกัน 5 ระดับ ที่อบแห้งด้วยอุณหภูมิ 60-70 ° C

- สูตรที่ 1 สูตรพื้นฐาน
- สูตรที่ 2 ผสมเซลล์ร้อยละ 3.4
- สูตรที่ 3 ผสมเซลล์ร้อยละ 6.8
- สูตรที่ 4 ผสมเซลล์ร้อยละ 10.2
- สูตรที่ 5 ผสมเซลล์ร้อยละ 13.6

3 เดือน ให้ได้ผลควรผสมเซลล์แบคทีเรียสังเคราะห์แสงในระดับร้อยละ 6.8 และ 10.2 และเลี้ยงในระยะเวลาไม่ต่ำกว่า 8 และ 6 สัปดาห์ ตามลำดับ

4.8.1 ปริมาณคาโรทินอยด์ทั้งหมด นำอาหารปลาที่เก็บไว้มาวิเคราะห์ปริมาณคาโรทินอยด์ (วิธีการวิเคราะห์แสดงในภาคผนวก)

4.7 การวิเคราะห์คุณค่าทางอาหารของอาหารปลาอัดเม็ดแห้ง

จากผลการทดลองในข้อ 4.6 พบว่าอาหารผสมเซลล์แบคทีเรียสังเคราะห์แสงปริมาณร้อยละ 6.8 และ 10.2 เป็นปริมาณเซลล์ที่เหมาะสมสำหรับใช้ในการเร่งสีผิวปลาแฟนซีคาร์พ 2 ระดับ ดังนั้นจึงนำมาวิเคราะหคุณค่าทางอาหาร ดังแสดงในตารางที่ 4-12 ดังนี้คือ

ตารางที่ 4-13 คุณค่าทางอาหารของอาหารปลาอัดเม็ดแห้งที่ได้จากการทดลองในข้อ 4.6

องค์ประกอบ (ร้อยละต่อน้ำหนักแห้ง)	สูตร 1 (ไม่ผสมเซลล์)	สูตร 3 (ผสมเซลล์ 6.8%)	สูตร 4 (ผสมเซลล์ 10.2%)
ความชื้น	10.83	10.98	11.06
โปรตีน	28.56	28.87	28.76
ไขมัน	7.95	7.57	7.43
เยื่อใย	0.75	0.89	0.90
เถ้า	9.13	9.11	8.95
คาโรทินอยด์ (มิลลิกรัมต่อกรัมอาหารแห้ง)	0.0035	0.1849	0.2052

4.8 การศึกษาอายุการเก็บของอาหารปลาอัดเม็ดแห้ง

ผลการศึกษาอายุการเก็บของอาหารปลาผสมเซลล์แบคทีเรียสังเคราะห์แสงอัดเม็ดอบแห้งในถุงพลาสติก PE (polyethylene) ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลานาน 60 วัน พบว่าเมื่อเวลาในการเก็บนานขึ้น ปริมาณคาโรทินอยด์ในอาหารปลาผสมเซลล์แบคทีเรียสังเคราะห์แสงจะค่อย ๆ ลดน้อยลง (แสดงผลในตารางที่ 4-14 และรูปที่ 4-13) คือปริมาณคาโรทินอยด์ ในอาหารผสมเซลล์ร้อยละ 6.8 และ 10.2 เมื่อเริ่มต้นเท่ากับ 0.1849 และ 0.2052 มิลลิกรัมต่อกรัมอาหารแห้ง และเมื่อก็บที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 60 วัน พบว่า ปริมาณคาโรทินอยด์ลดลงเหลือเท่ากับ 0.1235 และ 0.1386 มิลลิกรัมต่อรัมอาหารแห้ง ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 66.79 และ 67.54 ของปริมาณเมื่อเริ่มต้นตามลำดับ แสดงว่า สภาพแวดล้อมที่เก็บอาหารปลามีผลต่อปริมาณคาโรทินอยด์ที่อยู่ในอาหารปลา ซึ่งได้แก่ แสงสว่าง และอากาศ เนื่องจากถุงพลาสติกชนิด PE เป็นถุงพลาสติกใส แสงสว่างสามารถผ่านไป ทำให้อาหารที่อยู่ภายในได้รับแสงสว่าง (46,47) ซึ่งคาโรทินอยด์เป็นสารที่สลายตัวได้ง่ายเมื่อได้รับแสงสว่างโดยจะเปลี่ยนในรูป cis/trans isomerization นอกจากนี้การเก็บรักษาในสภาพที่มีอากาศหรือปริมาณออกซิเจนจากการอบแห้งอาจมีผลทำให้อาหารมีการเปลี่ยนแปลงเนื่องมาจากเอ็นไซม์ lipoxygenase ซึ่งมีผลต่อปริมาณคาโรทินอยด์ (8) ดังนั้นในการเก็บรักษาอาหารผสมเซลล์แบคทีเรียสังเคราะห์แสงอัดเม็ดจึงควรบรรจุในภาชนะที่ทึบแสง และยอมให้อากาศผ่านเข้าออกได้น้อยลง จะช่วยรักษาปริมาณคาโรทินอยด์ได้ดีขึ้น

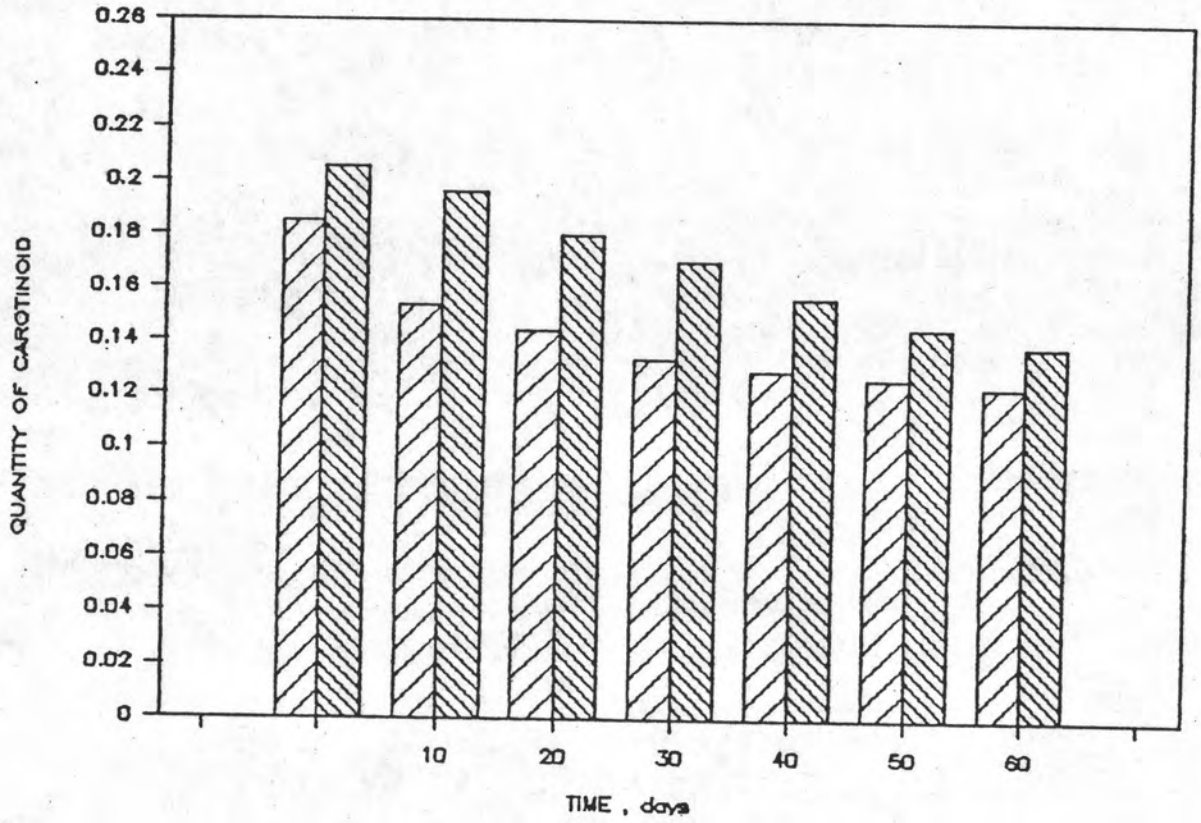
สำหรับการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ ที่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า พบว่าอาหารปลาผสมเซลล์แบคทีเรียสังเคราะห์แสงที่เก็บไว้จะมีสีจางลงเล็กน้อยเมื่อเวลานานขึ้น โดยไม่แสดงลักษณะผิดปกติทั้งทางด้านกลิ่นและลักษณะเนื้อสัมผัส (texture) ของอาหารปลาแต่อย่างใด

ตารางที่ 4-14 ปริมาณคาโรทินอยด์ในอาหารปลาผสมเซลล์แบคทีเรียสังเคราะห์แสงร้อยละ 6.8 และ 10.2 ที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 60-70 องศาเซลเซียส เก็บในถุงพลาสติกชนิด PE ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลานาน 60 วัน

ระยะเวลา	คาโรทินอยด์ในอาหารผสมเซลล์ 6.8%		คาโรทินอยด์ในอาหารผสมเซล 10.2%	
	ปริมาณ (มก/ก.อาหารแห้ง)	%	ปริมาณ (มก./ก.อาหารแห้ง)	%
เริ่มต้น	0.1849	100	0.2052	100
10 วัน	0.1538	83.18	0.1962	95.61
20 วัน	0.1443	78.04	0.1798	85.87
30 วัน	0.1337	72.31	0.1707	83.19
40 วัน	0.1291	69.82	0.1564	76.22
50 วัน	0.1263	68.31	0.1450	70.66
60 วัน	0.1235	66.79	0.1386	67.54

4.8.2 ปริมาณจุลินทรีย์ในอาหารปลา จากผลการทดลองพบว่า ตลอดระยะเวลาที่เก็บอาหารปลาเป็นเวลานาน 60 วันไม่พบลักษณะการเจริญของเส้นใยรา และไม่เห็นการเปลี่ยนแปลงอันเนื่องมาจากการเจริญของแบคทีเรีย เช่น กลิ่นบูดเน่า, เหม็นหืน ลักษณะเมือกหรือสีอื่น ๆ ที่ต่างจากสีอาหาร และจากการตรวจนับปริมาณแบคทีเรีย และปริมาณยีสต์ และราของอาหารเม็ดเมื่อเริ่มต้นได้เท่ากับ 1,076 และ 845 ซีเอฟยู (CFU) ต่ออาหาร 1 กรัม และตรวจนับเมื่อครบ 60 วัน ได้เท่ากับ 1,325 และ 1,169 ซีเอฟยูต่ออาหาร 1 กรัม แสดงว่ามีการเปลี่ยนแปลงปริมาณของแบคทีเรียและปริมาณยีสต์และราเพียงเล็กน้อย โดยที่ปริมาณที่เปลี่ยนไม่ทำให้มีการเปลี่ยนแปลงของอาหารปลา ตลอดระยะเวลาที่ทำการทดลอง

จึงสรุปได้ว่า การลดความชื้นของอาหารปลาให้มีความชื้นประมาณร้อยละ 10-12 ซึ่งเป็นปริมาณความชื้นที่ไม่เหมาะสมต่อการเจริญของจุลินทรีย์ จะทำให้เก็บรักษาอาหารปลาในถุง



รูปที่ 4-13 เปรียบเทียบปริมาณคาโรทินอยด์ ในอาหารปลาผสมเซลล์แบคทีเรียสังเคราะห์แสงอัดเม็ดแห้งที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องในระยะเวลาต่าง ๆ กัน

▱ อาหารปลาผสมเซลล์แบคทีเรียสังเคราะห์แสงร้อยละ 6.8

▱ อาหารปลาผสมเซลล์แบคทีเรียสังเคราะห์แสงร้อยละ 10.2

พลาสติกชนิด PE ที่อุณหภูมิห้องได้นานกว่า 2 เดือน โดยไม่ต้องมีการเติมสารกันบูดใด ๆ ลงในอาหารปลาเลย