บทที่ 5
สรุปผล อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาเทคนิคการเพาะเลี้ยง การเก็บเกี่ยว และการเก็บรักษา สาหร่ายสไปรูไลนาสด เพื่อเพิ่มผลผลิตและอาหารปลอดภัย โดยมีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาเทคนิคการเพาะเลี้ยงและการเก็บรักษาสาหร่ายสไปรูไลนาสดใน 5 จังหวัด ปรับปรุงเทคนิคการเพาะเลี้ยงและการเก็บเกี่ยวให้มีคุณภาพและปลอดภัยต่อผู้บริโภค ศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวจนถึงผู้บริโภค และเพื่อผลิตเครื่องมือที่ใช้ในการเพาะเลี้ยงให้เหมาะสมกับอุตสาหกรรมขนาดย่อม ซึ่งแบ่งการศึกษาออกเป็น 6 ขั้นตอน ผลปรากฏดังนี้

ตอนที่ 1 ศึกษาเทคนิคการเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูไลนาสดในจังหวัดสงขลา และจังหวัดอื่น รวม 10 แห่ง ขอบเขตการศึกษา ได้แก่ สภาพทั่วไปของการเพาะเลี้ยง ปัญหาที่พบ ลักษณะโรงเรือน ภาชนะหรือบ่อเพาะเลี้ยง และอุปกรณ์ สูตรอาหารในการเพาะเลี้ยง พันธุ์สาหร่าย ปัจจัยการเพาะเลี้ยง การเก็บเกี่ยว การล้างสาหร่าย และผลผลิตในการเพาะเลี้ยง ผลการศึกษาพบว่า สภาพทั่วไปของการเพาะเลี้ยง แบ่งได้ 3 ลักษณะ คือ บ่อกลางแจ้ง กึ่งโรงเรือน และโรงเรือนปิด ภาชนะในการเพาะเลี้ยงมี 2 แบบ คือ ใช้ถังพลาสติกและบ่อคอนกรีต ขนาดของบ่อคอนกรีต บ่อ กว้าง ยาว ลึก 2x2x1 - 3x5x0.7 เมตร ถังพลาสติกในการเพาะเลี้ยงมีตั้งแต่ 100 - 800 ลิตร อุปกรณ์ที่ให้ออกซิเจน คือ เครื่องเป่าลม พันธุ์สาหร่ายมี 2 พันธุ์ คือ เส้นตรง และเกลียว ปริมาณหัวเชื้อ ที่มีความเข้มข้น 1-2 ช้อนชาต่อลิตร ปริมาณที่ใช้ 1.7-5 ลิตร ต่อปริมาณอาหารเพาะเลี้ยง 100 ลิตร สูตรปุ๋ยเพาะเลี้ยง ใช้สูตร 9 ตัว ของ ธิดา (ธิดา, 2546) ค่าความเป็นกรดด่างของอาหารเพาะเลี้ยง มีตั้งแต่ 8-11 อุณหภูมิ 28-36 องศาเซลเซียส การเก็บเกี่ยวและการล้าง เวลาเก็บเกี่ยวทำตอนเช้าตรู่ โดยเก็บหมดบ่อ หรือเก็บบางส่วน ใช้ผ้ากรองขนาด 60 ไมครอน ส่วนใหญ่ล้างสาหร่ายให้น้ำไหลผ่าน ปริมาณน้ำที่ใช้มากล้างจนสะอาด โดยการใช้มือสัมผัสน้ำล้าง ว่ามีเมือกหรือไม่ ผลผลิตการเลี้ยงต่อน้ำ 1 ตัน ได้ผลผลิตสูงสุด 0.5-3.3 กิโลกรัม ปัญหาที่ พบ ได้แก่ ผลผลิตที่ได้ไม่สม่ำเสมอ ใช้เวลาในการเก็บและล้างนาน ใช้น้ำในการล้างมาก อายุการใช้งานของวัสดุเพาะเลี้ยงสั้น มีการปนเปื้อนจากสิ่งมีชีวิตอื่นๆ สาหร่ายมีคุณภาพไม่แน่นอน มีการเน่าเสียง่าย

ตอนที่ 2 การศึกษาคุณภาพสาหร่ายสดจากแหล่งสำรวจ โดยการใช้กล้องจุลทรรศน์ พบว่ารูปร่างสาหร่ายที่นำมาเพาะเลี้ยงส่วนใหญ่เป็นสาหร่ายเส้นตรงยาว และมีสาหร่ายรูปร่างเกลียวปะปนบ้างเล็กน้อย ประมาณร้อยละ 0.1 แหล่งเพาะเลี้ยงที่เป็นสาหร่ายรูปร่างเกลียวเป็นส่วนใหญ่คิดเป็น

ร้อยละ 99.4 มีอยู่แห่งเดียวคือ สงขลา 4 การตรวจสอบคุณภาพทางจุลชีววิทยาพบว่าจำนวนจุลินทรีย์รวมต่ำสุด $2.5x10^3$ และสูงสุด $8.9x10^3$ ส่วนเชื้อราพบจำนวน $10\text{-}1.5x10^3$ ค่า MPN/g ของ Coliform และ *E.coli* น้อยกว่า 3 ทุกตัวอย่าง ไม่พบ *Vibrio parahaemolyticus* และ *Staphylococcus aureus* ต่อกรัมตัวอย่าง จากทุกแหล่งสำรวจ

ผลการวิเคราะห์ทางเคมี ได้แก่ เถ้า โปรตีน ไขมัน ลิปิด ความชื้น เส้นใย คาร์โบไฮเดรต สาหร่ายสดจากแหล่งสำรวจต่างๆ มีความชื้น ต่ำสุดร้อยละ 80.78 สูงสุดร้อยละ 94.48 ปริมาณโปรตีน แตกต่างกันมากตั้งแต่ร้อยละ 37.33-67.52 ปริมาณลิปิดของตัวอย่างสาหร่ายมีค่าร้อยละ 0.168-0.780 เถ้า ร้อยละ 1.25-5.46 ปริมาณเส้นใยร้อยละ 1.13-15.12 คาร์โบไฮเดรตร้อยละ 26.32-54.21 คลอโรฟิลล์รวมพบว่าแตกต่างกัน โดยมีค่าต่ำสุดและสูงสุด คือ 1,000 และ 5,816 มิลลิกรัม/กรัมน้ำหนักสด และ คลอโรฟิลล์เอ มีค่าต่ำสุดและสูงสุด คือ 0.007 และ 0.037 มิลลิกรัม/กรัมน้ำหนักสด สำหรับปริมาณไฟโคไซยานินจากแหล่งสำรวจมีค่าต่ำสุด และสูงสุด 0.737 และ 15.856 มิลลิกรัม/กรัมน้ำหนักสด องค์ประกอบ เบต้าแคโรทีนมีค่าระหว่าง 0.053-0.150 มิลลิกรัม/100 กรัม

ปริมาณแร่ธาตุและโลหะหนัก พบว่าสาหร่ายมีเหล็กและแคลเซียมสูง ส่วนการวิเคราะห์โลหะหนัก ไม่พบแคดเมียมในตัวอย่างใดๆ พบตะกั่วในตัวอย่างสาหร่ายสดเพียง 1 แห่ง จากตัวอย่าง 6 แห่ง แต่ปริมาณที่พบน้อยกว่ามาตรฐาน

การตรวจประเมินทางประสาทสัมผัสของตัวอย่างจำนวน 6 แห่ง พบว่า สาหร่ายส่วนใหญ่มีสีเขียวเข้มและเป็นมันวาว มีกลิ่นสาหร่ายเล็กน้อย

ตอนที่ 3 ศึกษาสูตรอาหารที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของสาหร่าย 5 ตำรับการทดลอง พบว่า สูตรอาหารที่ให้ผลผลิตสูงสุดคือ สูตรที่ปรับปรุงจากสูตร 9 ตัว ธิดา (2546) การใช้สารเคมีเกรดการค้ากับการใช้สารเคมีวิเคราะห์ให้ผลผลิตไม่มีความแตกต่างกัน ทั้งปริมาณและคุณภาพ

ตอนที่ 4 ศึกษาการล้างสาหร่าย 2 แบบ คือ แบบที่ 1 ให้น้ำไหลผ่านเป็นเวลาที่แตกต่างกัน และ แบบที่ 2 แช่สาหร่าย ในน้ำที่มีปริมาณและเวลาแตกต่างกัน พบว่า สาหร่ายที่ล้างโดยวิธีการให้น้ำไหลผ่าน เป็นเวลา 30-60 นาที ปริมาณน้ำ 5.5 ลิตร/นาที ทำให้สาหร่ายสะอาด ส่วนการใช้วิธีแช่ไม่สามารถล้างสาหร่ายให้สะอาดได้

ตอนที่ 5 การออกแบบและสร้างเครื่องมือในการเพาะเลี้ยง สามารถออกแบบและสร้างเครื่องมือในการเพาะเลี้ยง เป็นโรงเรือนถาวร มีหลังคาเป็นพลาสติกใส สลับกับกระเบื้องทึบ ผนังทั้งสีด้านกั้นด้วยตาข่ายเหล็ก พื้นเทคอนกรีต บ่อเพาะเลี้ยงเป็นบ่อคอนกรีตขนาด 4 ตัน จำนวน 1 บ่อ มีใบพัดกวนน้ำ 1 ชุด ชุดเก็บสาหร่าย 1 ชุด ใช้ระบบน้ำล้น เครื่องล้างสาหร่าย 1 เครื่อง ใช้ระบบให้น้ำไหลผ่านและเขย่า มีระบบน้ำวนนำน้ำกลับมาใช้งานได้อีก ทำการทดลองเครื่องมือโดยการเพาะเลี้ยง

สาหร่ายและเก็บผลผลิต พบว่า โรงเรือนสามารถควบคุมอุณหภูมิ แสง ได้อย่างเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตและเพิ่มผลผลิตอย่างรวดเร็ว โดยใช้เวลา 5-10 วัน สาหร่ายมีเส้นยาว สามารถเก็บผลผลิตได้ทุกวัน วันละ 1 กิโลกรัม ติดต่อกันเป็นเวลา 10 วัน/1 บ่อ ระบบการเก็บสาหร่าย สะดวก รวดเร็ว ลดแรงงานคน ลดค่าใช้จ่าย เครื่องล้าง ให้ผลผลิตที่สะอาดและรวดเร็ว สามารถผลิตเป็นอุตสาหกรรมขนาดย่อมได้

ศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของสาหร่ายที่เก็บในตู้เย็นใต้ช่องแช่แข็ง ในน้ำแข็ง และในช่องแช่แข็ง พบว่า สาหร่ายในตู้เย็นใต้ช่องแช่แข็งมีการเปลี่ยนแปลงช้าที่สุด การเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางประสาทสัมผัส ที่ชัดเจน คือมีกลิ่นสาหร่ายมากขึ้น สีเป็นสีน้ำเงิน เนื้อยุ่ย เหลว ภายใน 7 วัน

อภิปรายผล

การเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูไลนาสดเพื่อเพิ่มผลผลิต ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการคือ

1. ปัจจัยภายนอก ได้แก่

อุณหภูมิ อุณหภูมิอยู่ระหว่าง 27-32 องศาเซลเซียส อุณหภูมิ สูง 40-45 องศาเซลเซียส ทำให้สาหร่ายตาย จากการเพาะเลี้ยงของพังงา ที่มีอุณหภูมิสูงในตอนกลางวัน อากาศเย็น มีหมอกในตอนเช้า ทำให้สาหร่ายได้ผลผลิตต่ำ อุณหภูมิขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมของโรงเรือน ลักษณะของโรงเรือน ถังและบ่อเพาะเลี้ยง

ความเข้มของแสง จากการเพาะเลี้ยง มีความเข้มแสงอยู่ระหว่าง 7,000-130,800 ลักซ์ ค่าความเป็นกรดด่างที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 8.25-9.23 สอดคล้องกับรายงานการทดลอง ของ ธิดา (ธิดา,2546) และ ยุวดี (ยุวดี,2544)

2. อาหารในการเพาะเลี้ยง อาหารที่เพาะเลี้ยง เป็นอาหารที่มีสารอาหารครบ ได้แก่อาหารสูตร 9 ตัว ให้ผลผลิตสูงกว่าอาหารสูตร 3 ตัว ความเข้มข้นของอาหารมีผลต่อการเจริญเติบโต ความเป็นกรดด่างอยู่ระหว่าง 8.25-9.23 การเพาะเลี้ยงสาหร่ายเมื่อมีอายุมากขึ้นจะทำให้ค่าความเป็นกรดด่างสูงขึ้น

3. ชนิดของสาหร่าย ผลผลิตของสาหร่ายขึ้นอยู่กับชนิดของสาหร่าย จากการศึกษาพบว่าสาหร่ายที่มีรูปร่างเกลียวเส้นสั้น ให้ผลผลิตสูง เลี้ยง 14 วัน ให้ผลผลิต 3,333 กิโลกรัม/ตัน แต่สาหร่ายเส้นตรงยาวให้ผลผลิต น้อยกว่า ดังนั้นควรคัดเลือกสายพันธุ์ที่เจริญเติบโตดีมาทำการเพาะเลี้ยง

คุณภาพของผลผลิต และความปลอดภัยต่อผู้บริโภค จากการศึกษาพบว่าคุณภาพของผลผลิตขึ้นอยู่กับ ปัจจัยหลายอย่าง เช่น

1. ชนิดของสาหร่าย สาหร่ายที่นำมาเพาะเลี้ยงเพื่อบริโภคสด มีรูปร่างอยู่ 2 แบบ คือ เป็นเส้นตรงสายยาว และเป็นเกลียวสายสั้น สาหร่ายเส้นตรงมีความยาวมาก ถึง 560 ไมโครเมตร ผลการศึกษาพบว่า สาหร่ายที่เป็นเกลียว สายสั้น ไม่เหมาะในการรับประทานสด เพราะระคายเคืองคอ มีกลิ่นคาว เนื้อสาหร่ายหยาบ ล้างให้สะอาดได้ยากกว่าพันธุ์เส้นตรง

2. อาหารเพาะเลี้ยง อาหารเพาะเลี้ยงที่เหมาะสมควรเป็นอาหารที่มีสารเคมีเพียงพอต่อการเจริญเติบโตของสาหร่าย ที่นิยมได้แก่ อาหารสูตร 9 ตัว ของธิดา แต่การเพาะเลี้ยงสาหร่ายติดต่อกันนานโดยไม่ได้ล้างบ่อ ทำให้สาหร่ายเจริญเติบโตช้า เส้นสั้นทั้งนี้เนื่องจาก สาหร่ายมีอายุเพียง 1-2 สัปดาห์ และสารอาหารหมด มีของเสียอยู่ในบ่อเลี้ยงมาก มีจุลินทรีย์ชนิดอื่นเจริญเพิ่มมากขึ้น เห็นได้จากการตรวจสอบผลผลิตของ สงขลา 4 และนครศรีธรรมราช ที่มีการเลี้ยงสาหร่ายในบ่อเพาะและเก็บอย่างต่อเนื่อง ไม่ได้เก็บหมดบ่อ ต่างจากการเก็บหมดบ่อ อาหารเพาะเลี้ยงสูตร 9 ตัว สามารถปรับปรุงโดยการเพิ่มปริมาณปุ๋ยให้มากขึ้นได้ในปริมาณที่พอเหมาะ ทำให้สาหร่ายเจริญและให้ผลผลิตเพิ่มขึ้น การใช้ปุ๋ยที่เป็นสารเคมีเกรดการค้าสามารถนำมาเพาะเลี้ยงสาหร่ายได้ผลดี เช่นเดียวกับสารเคมีเกรดวิเคราะห์ เห็นได้จากผลการทดลอง ได้ผลผลิตไม่แตกต่างกัน และไม่พบโลหะหนัก คือ แคดเมียมและตะกั่ว ในสาหร่ายที่เพาะเลี้ยงในบ่อทดลองของมหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา

3. การเก็บสาหร่าย การเก็บสาหร่ายที่ใช้แรงคนเก็บ มีผลเสียหลายประการ คือ การปนเปื้อนจากวัสดุต่าง เสียเวลาในการเก็บ เพราะใช้สวิงเก็บ เก็บได้เพียงเล็กน้อย เก็บได้ไม่ทั่วทั้งบ่อ การใช้เครื่องดูดน้ำได้ผลดี เร็ว แต่ทำให้สาหร่ายส่วนหนึ่งช้ำ สายหัก เซลล์แตก ดังนั้นวิธีที่เหมาะคือการใช้กาลักน้ำ แต่การใช้กาลักน้ำเก็บช้า อาจเกิดตะกอนขึ้นมาพร้อมกับสาหร่าย การใช้แอร์ลิป สามารถเก็บสาหร่ายได้ง่ายไม่ต้องใช้แรงคน แต่ต้องใช้เวลานาน ดังนั้นการสร้างชุดเก็บสาหร่ายโดยวิธีใช้ระบบน้ำล้น ปรากฏว่าสามารถเก็บผลได้เร็ว ไม่ต้องใช้ไฟฟ้า ไม่ต้องใช้แรงคน สาหร่ายเก็บได้ทั่วทั้งบ่อ และไม่เกิดตะกอน ผ้ากรองที่ใช้ที่เหมาะสมคือผ้ากรองที่มีขนาดรู 60 ไมครอน และควรกรองหยาบด้วยโดยใช้ผ้ากรองขนาด 500-600 ไมครอน เพื่อกรองเศษวัสดุที่ไม่ต้องการ

4. การล้างสาหร่าย ที่เหมาะสมคือการปล่อยให้น้ำไหลผ่าน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำ และเวลาที่ใช้ในการล้าง การใช้เวลาล้านนานเกิน 30นาที มีผลต่อคุณภาพของสาหร่าย ทำให้สาหร่ายช้ำและเซลล์แตก เป็นผลให้สารประกอบภายในเซลล์กระจายออกนอกเซลล์ น้ำที่ผ่านการล้างจึงมีสีเขียว เมื่อนำมาวิเคราะห์ พบว่า น้ำที่ผ่านการล้างโดยใช้เวลานาน 120 นาที มีค่า TKN 1.12 มิลลิกรัม/ลิตร สูงกว่าการล้างที่ใช้เวลา 30 นาที

5. การเก็บรักษา สาหร่ายสดมีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว เนื่องจากในสาหร่ายมีสารอาหารจำนวนมาก โดยเฉพาะกรดอะมิโน เป็นผลให้สาหร่ายมีกลิ่นคาว การคาวของสาหร่ายเนื่องจากเซลล์สาหร่ายแตก ดังนั้นการนำสาหร่ายเก็บในช่องแช่แข็ง ทำให้น้ำในเซลล์เป็นน้ำเข็ง ทำให้ผนังเซลล์แตก สารอาหารภายในเซลล์จึงกระจายออกจากเซลล์ ส่วนการเก็บในตู้เย็นใต้ช่องแช่แข็ง มีการเปลี่ยนแปลงของสาหร่ายช้ากว่าเก็บในช่องแช่แข็ง ดังนั้นการเก็บสาหร่ายสดเพื่อการบริโภคที่เหมาะสมควรเก็บในตู้เย็นใต้ช่องแช่แข็ง อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส

ข้อเสนอแนะ

1. ในการเพาะเลี้ยงเพื่อเก็บสาหร่ายทุกวัน วันละ 1 กิโลกรัม ควรสร้างบ่อขนาด 4 ตัน จำนวน 2 บ่อ เพื่อหมุนเวียนเก็บเกี่ยวและพักล้างบ่อ อาจมีถังพลาสติกที่เพาะเลี้ยงได้ 300 ลิตร (ได้ผลผลิต 1 กก.) ประมาณ 10 ถัง และเก็บเกี่ยวหมุนเวียน
2. มีถังสำรองหัวเชื้อ
3. ควรมีการแยก และเพาะเลี้ยงเชื้อในสารปลอดเชื้อ
4. การล้างบ่อนานๆ ครั้ง ทำให้เซลล์อ่อนแอ
5. ควรมีการศึกษาอัตราการเจริญเติบโตของสาหร่ายแต่ละสายพันธุ์
6. ควรทำการทดลองเกี่ยวกับการนำสาหร่ายมาทำแห้ง เพื่อให้คุณภาพไม่เปลี่ยนแปลง

สรุป

การเพิ่มผลผลิตสาหร่ายโดยการออกแบบโรงเรือนที่มีการกระจายแสงสว่างทั่วถึงเพียงพอ มีการระบายอากาศได้ดี เพื่อป้องกันการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว และการนำสูตรปุ๋ยที่ปรับปริมาณสารอาหารบางตัวให้สูงขึ้น มาทำการเพาะเลี้ยงสาหร่ายสไปรูไลนาสด ทำให้ได้ผลผลิตสูงขึ้นเป็น 4 กิโลกรัมต่อตัน การวิเคราะห์ทางเคมีของธาตุโลหะหนัก ไม่พบทั้งแคดเมียมและตะกั่ว