



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

การพัฒนากระบวนการผลิตสาหร่ายพวงองุ่นในน้ำเกลือบรรจุขวด

Process development of bottled Green Caviar in brine

ผศ.ดร.วิชมณี ยืนยงพุทธกาล

ผศ.ดร.ธีรรัตน์ อธิธิโสภณกุล

ดร.นิสานารถ กระแสร์ชล

หัวหน้าโครงการวิจัย

ผู้ร่วมวิจัย

ผู้ร่วมวิจัย

โครงการวิจัยประเภทงบประมาณเงินรายได้
(เงินอุดหนุนจากรัฐบาล) ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2562
มหาวิทยาลัยบูรพา

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

การพัฒนากระบวนการผลิตสาหร่ายพวงองุ่นในน้ำเกลือบรรจุขวด

Process development of bottled Green Caviar in brine

ผศ.ดร.วิชมณี ยืนยงพุทธกาล¹

ผศ.ดร.ธีรรัตน์ อธิธิโสภณกุล²

ดร.นิสานารถ กระแสร์ชล¹

หัวหน้าโครงการวิจัย

ผู้ร่วมวิจัย

ผู้ร่วมวิจัย

¹ภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

²คณะเทคโนโลยีและนวัตกรรมผลิตภัณฑ์การเกษตร มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

กันยายน 2562

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากงบประมาณเงินรายได้จากเงินอุดหนุนรัฐบาล (งบประมาณแผ่นดิน) ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2562 มหาวิทยาลัยบูรพา ผ่านสำนักงานคณะกรรมการการวิจัยแห่งชาติ เลขที่สัญญา 11.1/2562 คณะผู้วิจัยขอขอบคุณมา ณ โอกาสนี้

ขอขอบคุณผู้ช่วยวิจัย ได้แก่ นางสาวพรชนก เฉลิมชัยพัฒนศิริ และนางสาวนันทวรรณ ปัญญาธรรม ขอขอบคุณภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา ที่ให้ความอนุเคราะห์อุปกรณ์และเครื่องมือสำหรับการทำงานวิจัย รวมถึงขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ และนิสิตภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร รวมถึงผู้เกี่ยวข้องทุกท่านที่มีส่วนให้ความช่วยเหลือในการทำวิจัย

คณะผู้วิจัย
กันยายน 2562

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์หลักเพื่อศึกษาการผลิตสาหร่ายพวงองุ่นในน้ำเกลือบรรจุขวด จากการศึกษาผลของการเตรียมขั้นต้นด้วยการลวกในน้ำ การแช่ในสารละลายแมกนีเซียมคาร์บอเนต และการลวกในสารละลายแมกนีเซียมคาร์บอเนตต่อสีของสาหร่ายพวงองุ่นในน้ำเกลือบรรจุขวด พบว่า หลังการเตรียมขั้นต้นทุกวิธีสามารถรักษาสีของสาหร่ายพวงองุ่นไว้ได้ โดยมีค่า a^* อยู่ในช่วง -4.62 ถึง -7.65 แต่เมื่อนำมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์สาหร่ายพวงองุ่นในน้ำเกลือบรรจุขวด พบว่า สาหร่ายพวงองุ่นทุกสิ่งทดลองมีสีเขียวมะกอก โดยมีค่า a^* อยู่ในช่วง 1.28 ถึง 1.79 จากการศึกษาผลของความเข้มข้นของเกลือโซเดียมคลอไรด์ (1% 4% และ 8%) และซิงก์อะซิเตท (0 ppm และ 75 ppm) ที่ใช้เตรียมสารละลายน้ำเกลือปรับกรดต่อคุณภาพของสาหร่ายพวงองุ่นในน้ำเกลือบรรจุขวดระหว่างการเก็บรักษา พบว่า มีอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยด้านความเข้มข้นของเกลือโซเดียมคลอไรด์กับความเข้มข้นของซิงก์อะซิเตทต่อค่าสี L^* a^* b^* และ ΔE ของสาหร่ายพวงองุ่นในน้ำเกลือบรรจุขวด ($p \leq 0.05$) แต่ไม่มีอิทธิพลร่วมต่อ ค่า pH และปริมาณกรดทั้งหมด ($p > 0.05$) และพบว่าความเข้มข้นของเกลือโซเดียมคลอไรด์มีผลต่อค่า a_w และค่าความแน่นเนื้อ ($p \leq 0.05$) การใช้เกลือโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้น 4% และ 8% ร่วมกับซิงก์อะซิเตท 75 ppm มีผลให้สาหร่ายพวงองุ่นในน้ำเกลือหลังการผลิตมีสีเขียวมากที่สุด ($p \leq 0.05$) โดยมีค่าสี a^* อยู่ในช่วง -1.58 ถึง -1.81 แต่เมื่อเก็บรักษาตั้งแต่ 1- 5 สัปดาห์ พบว่า สาหร่ายพวงองุ่นมีสีเขียวมะกอก โดยมีค่าสี a^* อยู่ในช่วง 1.25 ถึง 1.75 อย่างไรก็ตามผลิตภัณฑ์ทุกสิ่งทดลองมีความปลอดภัยสำหรับการบริโภค ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี พบว่า ผลิตภัณฑ์สาหร่ายพวงองุ่นในน้ำเกลือบรรจุขวดที่ใช้เกลือโซเดียมคลอไรด์ 8% ร่วมกับซิงก์อะซิเตท 75 ppm มีปริมาณความชื้น โปรตีน ไขมัน ใยหยาบ ใยหยาบแห้ง สมบัติการต้านอนุมูลอิสระ และปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดน้อยกว่าสาหร่ายพวงองุ่นสด ($p \leq 0.05$)

Abstract

The main objective of this research was to study the production of bottled Green Caviar (*Caulerpa lentillifera*) in brine. Effect of pretreatments as following; water blanching, magnesium carbonate soaking and magnesium carbonate blanching on color of bottled Green Caviar in brine were studied. Green Caviar after took all pretreatments able to maintain the color with a^* value in the range of -4.62 to -7.65. Further processing for bottled Green Caviar in brine product made all treatments appeared olive green color with a^* value in the range of 1.28 to 1.79. The effects of sodium chloride concentrations (1% 4% and 8%) and zinc acetate (0 ppm and 75 ppm) used for acid-saline solution preparation on the quality of Green Caviar in brine during storage were evaluated. The interaction effect of sodium chloride concentration and zinc acetate concentration on color value L^* a^* b^* and ΔE of bottled Green Caviar in brine were observed ($p \leq 0.05$), whereas there was no interaction effect on pH and total acidity content ($p > 0.05$). It was found that the concentration of sodium chloride effect on a_w and firmness value ($p \leq 0.05$). The application of 4% and 8% sodium chloride concentrations combined with 75 ppm zinc acetate resulted highest green color of Green Caviar in the brine product ($p \leq 0.05$) with a^* color value in the range of -1.58 to -1.81. The product stored for 1-5 weeks showed the olive green color with a^* value in the range of 1.25 to 1.75. However, all products are safe for consumption. The results of chemical composition analysis showed that the bottled Green Caviar in brine using 8% sodium chloride combined with 75 ppm zinc acetate had the content of moisture, protein, fat, crude fiber, ash, antioxidant properties and total phenolic content less than fresh Green Caviar ($p \leq 0.05$).

สารบัญ

| | หน้า |
|-------------------------------------|-------|
| บทคัดย่อ | ก |
| abstract | ข |
| สารบัญ..... | ค |
| | |
| บทที่ | |
| 1 บทนำ..... | 1 |
| 2 การตรวจเอกสาร | 2-7 |
| 3 วิธีดำเนินการทดลอง..... | 8-12 |
| 4 ผลการทดลองและวิจารณ์..... | 13-36 |
| 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ | 37-38 |
| บรรณานุกรม | 39-40 |
| ประวัติผู้วิจัย..... | 41-42 |

บทที่ 1

บทนำ

ที่มาและความสำคัญของงานวิจัย

สาหร่ายพวงองุ่น (*Caulerpa lentillifera*) มีลักษณะเป็นเม็ดกลมใสและเป็นช่อคล้ายพวงองุ่นหรือคล้ายไขปลาคาร์เวียร์ สาหร่ายพวงองุ่นมีรสชาติดีและมีคุณค่าทางอาหารสูง สามารถนำมารับประทานสดเหมือนผักสด และสามารถนำมาปรุงอาหารได้หลากหลาย รวมทั้งสาหร่ายพวงองุ่นประกอบด้วยวิตามินและแร่ธาตุที่สำคัญ มีกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวที่มีพันธะคู่หลายตำแหน่งในปริมาณสูง เป็นแหล่งที่ดีของกรดอะมิโนจำเป็นและสารพฤกษเคมีที่ช่วยป้องกันการเกิดโรค (Ratana-arporn and Chirapart, 2006; นิสราภรณ์ ภัคดีพันธ์, 2554)

สาหร่ายพวงองุ่นเป็นสาหร่ายทะเลชนิดหนึ่งที่มีการประมงส่งเสริมให้เพาะเลี้ยงในเพื่อจำหน่ายในเชิงพาณิชย์ เนื่องจากเป็นชนิดสาหร่ายที่นิยมบริโภค สามารถทำการเพาะเลี้ยงได้ง่ายและมีลู่ทางการขยายสู่ตลาด แต่พบปัญหาว่าสาหร่ายพวงองุ่นมีอายุหลังการเก็บเกี่ยวสั้น และมีการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพจนไม่คงลักษณะสด (Vargas et al., 2009) การนำสาหร่ายพวงองุ่นมาแปรรูปเพื่อถนอมอาหารให้มีอายุการเก็บมากขึ้นก็เป็นอีกแนวทางหนึ่งที่แก้ปัญหาดังกล่าวได้ งานวิจัยนี้สนใจนำสาหร่ายพวงองุ่นมาแปรรูปในรูปแบบเติมน้ำเกลือแล้วบรรจุขวด เนื่องจากในสภาพปกติสาหร่ายพวงองุ่นในน้ำเกลือบรรจุขวดจัดเป็นอาหารที่มีความเป็นกรดต่ำ เนื่องจากมีค่า pH มากกว่า 4.6 และมีค่า a_w มากกว่า 0.85 การแปรรูปแล้วบรรจุในขวดแก้ว จึงจัดเป็นผลิตภัณฑ์อาหารในภาวะบรรจุที่ปิดสนิทจึงต้องเข้มงวดกับการฆ่าเชื้อให้เพียงพอในวิธีที่ถูกต้อง ตามประกาศของกระทรวงสาธารณสุขฉบับที่ 355 และ 349 ปี พ.ศ.2556 กำหนดให้สามารถมีกระบวนการปรับค่า pH ให้ไม่เกิน 4.6 จัดเป็นอาหารปรับกรด (acidified food) ซึ่งต้องผ่านกรรมวิธีที่ใช้ทำลายหรือยับยั้งการขยายพันธุ์ของจุลินทรีย์ด้วยความร้อน ภายหลังหรือก่อนบรรจุหรือผนึก และสามารถเก็บรักษาไว้ในอุณหภูมิปกติ (กระทรวงสาธารณสุข, 2556) จึงเป็นหลักการและแนวทางที่จะนำมาใช้ในงานวิจัยนี้ และการเตรียมสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ที่มีความเข้มข้นที่เหมาะสมก็มีส่วนช่วยในการยืดอายุการเก็บได้ด้วย เนื่องจากเกลือโซเดียมคลอไรด์มีสมบัติช่วยยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ได้ โดยเกลือจะรวมกับน้ำในอาหารและดึงน้ำออกจากเซลล์ของจุลินทรีย์ได้ อย่างไรก็ตามความเข้มข้นของเกลือโซเดียมคลอไรด์ที่ใช้อาจมีผลต่อการยอมรับทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภคด้วยเช่นกัน

วัตถุประสงค์

- 1) เพื่อศึกษาผลของการเตรียมขั้นต้นต่อคุณภาพของสาหร่ายพวงองุ่น
- 2) เพื่อศึกษาผลของความเข้มข้นของเกลือโซเดียมคลอไรด์และซิงก์อะซิเตตต่อคุณภาพของสาหร่ายพวงองุ่นในน้ำเกลือบรรจุขวดระหว่างการเก็บรักษา
- 3) เพื่อเปรียบเทียบองค์ประกอบทางเคมีและสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระของสาหร่ายพวงองุ่นสดและสาหร่ายพวงองุ่นในน้ำเกลือบรรจุขวดที่พัฒนาได้
- 4) เพื่อถ่ายทอดเทคโนโลยีและความรู้ที่ได้จากงานวิจัย

บทที่ 2 การตรวจเอกสาร

1. สาหร่ายพวงองุ่น

สาหร่ายพวงองุ่นเป็นสาหร่ายทะเลสีเขียว (Green algae) ที่มีการแพร่กระจายอยู่ในเขต Tropical และ Subtropical พบได้ในประเทศอินโดนีเซีย ฟิลิปปินส์ ไทย เวียดนามและญี่ปุ่น นอกจากนี้ยังแพร่กระจายไปเขตร้อน ได้แก่ เคนยา มาดากัสการ์ มอริเชียส โมแซมบิก โซมาเลีย แอฟริกาใต้ แทนซาเนีย และปาปัวนิวกินี เจริญเติบโตได้ดีในน้ำที่มีสารอาหารบริบูรณ์และแสงแดด มีลักษณะคล้ายองุ่นสีเขียวสดมีคุณค่าทางอาหารสูง จัดเป็นอาหารทะเลที่สำคัญในญี่ปุ่นและฟิลิปปินส์ มีทั้งการเก็บเกี่ยวจากธรรมชาติและจากการเลี้ยงในบ่อดิน (นิสรารณณ์ ภัคดีพันธ์, 2554) ลักษณะของสาหร่ายพวงองุ่นแสดงดังภาพที่ 2-1



ภาพที่ 2-1 ลักษณะสาหร่ายพวงองุ่น
ที่มา : สุปล ตันสุวรรณ และคณะ (2555)

สาหร่ายพวงองุ่นเป็นหนึ่งในสาหร่ายที่รับประทานได้ของประเทศไทย สำหรับรูปแบบการบริโภคที่นิยมคือ รับประทานสดเหมือนผักสด รับประทานกับสลัดซูชิ ใช้เป็นส่วนประกอบของอาหารญี่ปุ่น เช่น แซลมอนโรล (Salmon roll) และอาหารทะเลต่าง ๆ ใช้ตกแต่งจานอาหารและสามารถนำมาปรุงอาหารเหมือนไขปลาคาร์เวียร์ สาหร่ายชนิดนี้อุดมด้วยแร่ธาตุและวิตามินหลายชนิดที่สำคัญ ได้แก่ วิตามินบี 2 วิตามินอี และวิตามินซี รวมทั้งมีเกลือแร่ที่สำคัญ ได้แก่ ไอโอดีน ฟอสฟอรัส ซิงก์ แคลเซียม แมกนีเซียม เหล็ก แมงกานีส และโคบอลต์ มีกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวที่มีพันธะคู่หลายตำแหน่ง (Polyunsaturated fatty acid : PUFA) ปริมาณสูง นอกจากนี้สาหร่ายพวงองุ่นยังมีกรดอะมิโนจำเป็นเกือบ 40% ของกรดอะมิโนรวม ซึ่งใกล้เคียงกับในไข่และถั่วเหลือง และยังมี

กรดอะมิโนชนิด Aspartic และ Glutamic สูงประมาณ 25% ของปริมาณกรดอะมิโนทั้งหมด ทำให้สำหรับมีกลิ่นรสเฉพาะตัว สำหรับพวงองุ่นมีรสชาติดีและมีคุณค่าทางอาหารสูงจึงจัดเป็น 1 ใน 5 อาหารแนะนำสำหรับผู้ที่เป็นโรคไตและโรคหัวใจ และจัดว่าเป็นอาหารสุขภาพชาวญี่ปุ่นเชื่อว่าการรับประทานสำหรับทะเลช่วยให้หายป่วยได้เร็วขึ้น เนื่องจากมีวิตามินและเกลือแร่สูง เป็นแหล่งสำคัญของแมกนีเซียมที่ช่วยลดความดันโลหิตและป้องกันโรคหัวใจล้มเหลวช่วยต้านมะเร็ง มีไอโอดีนสูงจึงช่วยผู้ป่วยที่เป็นโรคไทรอยด์ (Ratana-arporn and Chirapart, 2006) จากการรวบรวมข้อมูลคุณค่าทางโภชนาการของสำหรับพวงองุ่น จากการรายงานในประเทศและต่างประเทศอาจมีความแตกต่างกันบ้าง แสดงดังตารางที่ 2-1 และ 2-2

ตารางที่ 2-1 คุณค่าทางโภชนาการของสำหรับพวงองุ่น (ในประเทศไทย)

| องค์ประกอบทางเคมี | มิลลิกรัม/ 100 กรัม น้ำหนักแห้ง |
|--------------------------------|---------------------------------|
| โปรตีน | 12.49 |
| ไขมัน | 0.86 |
| เยื่อใย | 3.17 |
| เถ้า | 24.2 |
| คาร์โบไฮเดรต | 59.27 |
| ความชื้น | 25.31 |
| เกลือแร่ | มิลลิกรัม/ 100 กรัม น้ำหนักแห้ง |
| ฟอสฟอรัส | 1030 |
| โปแตสเซียม | 970 |
| แคลเซียม | 780 |
| แมกนีเซียม | 630 |
| ซิงก์ | 2.6 |
| แมงกานีส | 7.9 |
| เหล็ก | 9.3 |
| ไมโครกรัม/100 กรัม น้ำหนักแห้ง | |
| ทองแดง | 2200 |
| ไอโอดีน | 1424 |
| วิตามิน | มิลลิกรัม /100 กรัม น้ำหนักสด |
| อี | 2.22 |
| ซี | 1.00 |
| โทอะมิน | 0.05 |
| ไรโบฟลาวิน | 0.02 |
| ไนอะซิน | 1.09 |

ตารางที่ 2-2 คุณค่าทางโภชนาการของสาหร่ายพวงองุ่น (ในต่างประเทศ)

| องค์ประกอบทางเคมี | กรัม 100/กรัม น้ำหนักแห้ง |
|--------------------------|--------------------------------|
| โปรตีน | 8.55 |
| ไขมัน | 1.92 |
| เยื่อใย | 3.87 |
| เถ้า | 56.84 |
| คาร์โบไฮเดรต | 32.69 |
| พลังงานรวม)Kcal100/g(| 182 |
| น้ำหนักแห้ง (g/100 g สด) | 4.68 |
| วิตามิน | มิลลิกรัม 100/กรัม น้ำหนักสด |
| อี | 0.13 |
| ซี | 1.00 |
| โทอะมิน | 0.03 |
| ไรโบฟลาวิน | 0.02 |
| Beta-carotene (A) | 0.035 |
| เกลือแร่ | มิลลิกรัม 100/กรัม น้ำหนักแห้ง |
| ฟอสฟอรัส | 106 |
| โปแตสเซียม | 855.6 |
| แคลเซียม | 748.4 |
| แมกนีเซียม | 1505 |
| ซิงก์ | 5.66 |
| แมงกานีส | 56.879 |
| เหล็ก | 5.627 |
| ไอโอดีน | 1.319 |
| โลหะหนัก | มิลลิกรัม 100/กรัม น้ำหนักแห้ง |
| อาร์เซนิก | <0.01 |
| แคดเมียม | <0.001 |
| ตะกั่ว | <0.01 |

Kanavouras et al., (2005); Valemei, D. (2011)

2. การป้องกันการเปลี่ยนแปลงสีของคลอโรฟิลล์

คลอโรฟิลล์เป็นรงควัตถุหรือสารสี (pigment) ที่มีสีเขียวอยู่ในคลอโรพลาสต์ (chloroplast) มีความสำคัญในกระบวนการสังเคราะห์แสงของพืช เพื่อสร้างเป็นน้ำตาลกลูโคส ซึ่งเป็นสารอาหารที่ให้พลังงานในเซลล์ของพืช คลอโรฟิลล์มีโครงสร้างเป็นวงโพพริน (prophyrin) ประกอบด้วยวงแหวนไพร์โรล (pyrrole) 4 วง เรียงติดกัน มี Mg^{+2} อยู่ตรงกลาง คลอโรฟิลล์มักอยู่ใน

คลอโรพลาสต์ที่อยู่ใกล้กับผนังเซลล์ พบในทุกส่วนของพืชที่มีสีเขียว การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางเคมีของคลอโรฟิลล์ อาจเกิดได้จากหลายสาเหตุ แต่ในการประกอบอาหารส่วนใหญ่จะเกิดจากปฏิกิริยาฟีโอไฟทินในเซซัน (pheophytinization) ซึ่งเป็นการแทนที่แมกนีเซียมในคลอโรฟิลล์ด้วยไฮโดรเจน เกิดได้ดีในสภาวะที่เป็นกรดและทำให้เกิดสีเขียวมะกอกของฟีโอไฟทิน (pheophytin) นอกจากนี้ยังมีการแตกออกของหมู่ไฟทอล ซึ่งจะเกิดคลอโรฟิลไลด์ (chlorophyllides) เนื่องจากเอนไซม์คลอโรฟิลเลส (chlorophyllase) คลอโรฟิลไลด์จะให้สีเขียวเช่นเดียวกับคลอโรฟิลล์แต่จะสามารถละลายในน้ำได้ดีกว่าคลอโรฟิลล์ แนวทางการป้องกันการเปลี่ยนแปลงสีของคลอโรฟิลล์มีดังนี้ (เยาวดี รุ่งเรือง, 2552)

1) การปรับสภาวะให้เป็นด่าง (alkalizing treatment)

เมื่อคลอโรฟิลล์อยู่ในสภาวะที่เป็นกรดจะละลายน้ำได้เล็กน้อย โมเลกุลของคลอโรฟิลล์จะถูกเปลี่ยนเป็นฟีโอไฟทิน ที่มีสีเขียวมะกอกซึ่งเป็นสีที่ผู้บริโภคไม่ให้การยอมรับ การลดความเป็นกรดจะทำให้แมกนีเซียมไอออนในคลอโรฟิลล์ไม่หลุดออกจากวงแหวนพอร์ไพรินจึงทำให้คลอโรฟิลล์มีความคงตัวในด่างและให้สีเขียวที่สว่าง ดังนั้นหากมีการควบคุม ความเป็นกรด-ด่างในกระบวนการผลิตและการเก็บรักษาให้เหมาะสมจึงเป็นวิธีที่ดีในการรักษาสีเขียวของคลอโรฟิลล์

2) การลวก (blanching)

เป็นการให้ความร้อนยังทำให้โปรตีนในพืชเกิดการเสียสภาพ ซึ่งส่งผลให้คลอโรฟิลล์สัมผัสกับกรดมากขึ้นทำให้แมกนีเซียมไอออนหลุดออกจากโครงสร้างของคลอโรฟิลล์โดยที่ไฮโดรเจนไอออนเข้าไปแทนที่ เกิดเป็นอนุพันธ์ของคลอโรฟิลล์ที่เรียกว่าฟีโอไฟทิน ดังนั้นการให้ความร้อนกับวัตถุดิบจะส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างโมเลกุลคลอโรฟิลล์ด้วย อย่างไรก็ตามการลวกมีประโยชน์สำคัญในการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ได้ การลวกในสารละลายต่างก็เป็นอีกวิธีหนึ่งที่สามารถรักษาคลอโรฟิลล์ได้ โดยคลอโรฟิลล์มีความคงตัวในด่าง การเติมเกลือของด่างลงในน้ำลวกผักเพื่อปรับไม่ให้ค่า pH ของน้ำลวกลดลง จะสามารถยับยั้งการเกิดฟีโอไฟทินได้ จึงช่วยรักษาสีเขียวของผักเอาไว้ได้ เกลือของด่างที่นิยมใช้ คือ แคลเซียมไฮดรอกไซด์ แมกนีเซียมไฮดรอกไซด์ และ แมกนีเซียมคาร์บอเนต (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2549)

3) การแปรรูปโดยใช้อุณหภูมิสูงระยะเวลาสั้น

การใช้อุณหภูมิสูงและระยะเวลาสั้นในการลวกผัก จะช่วยรักษาวิตามิน กลิ่น รสชาติและสีเขียวไว้ได้ ดังนั้นการใช้อุณหภูมิสูงและระยะเวลาสั้นจึงช่วยทำให้ผลิตภัณฑ์ผักรักษาสีเขียวหรือปริมาณคลอโรฟิลล์ไว้ได้นาน แต่จะสูญเสียได้ในระหว่างการเก็บรักษา ตัวอย่างเช่น ภายหลังจากเก็บรักษา 3 เดือน สีของคลอโรฟิลล์จะเหมือนกันไม่ว่าจะใช้กระบวนการแปรรูปที่อุณหภูมิสูงหรือก็ตาม เพราะระหว่างการเก็บรักษาจะมีกรดอินทรีย์เกิดขึ้น เช่น กรดไพโรลิโคนคาร์บอกซิลิก ซึ่งจะเร่งการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ได้ กระบวนการแปรรูปที่ใช้ความร้อนสูงและระยะเวลาสั้นจะทำให้เกิดกรดอินทรีย์ในระหว่างการเก็บรักษามากกว่าวิธีอื่น จึงไม่มีผลต่อติดต่อกับคุณภาพของคลอโรฟิลล์เมื่อเก็บรักษาเป็นเวลานาน (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2549)

4) การทำให้เกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับโลหะ (metallo complex)

การเปลี่ยนรูปคลอโรฟิลล์ธรรมชาติ (native chlorophyll) ให้เป็นอนุพันธ์คลอโรฟิลล์ที่มีสีเขียว (green metallocomplexes of chlorophyll derivatives) หรือการทำ re-greening โดย

ปฏิกิริยากับเกลือโลหะ เช่น ซิงค์ (Zinc) หรือทองแดง (Copper) ใช้เพื่อรักษาสีเขียวในผักบรรจุกระป๋อง (ปรรัตน์ ศุภมิตรโยธิน, 2556) ทองแดงไอออน (Cu^{+2}) หรือซิงค์ (Zn^{+2}) สามารถเข้าไปแทนที่แมกนีเซียมไอออนในโมเลกุลของคลอโรฟิลล์ได้เป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่มีความคงตัวมาก ดังนั้นการทำให้สีเขียวของผักใบคงอยู่หรือกลับคืนมาระหว่างการเก็บรักษา จะต้องทำให้เกิดสารประกอบเชิงซ้อนของทองแดงหรือซิงค์กับไฟโอไฟติน (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2549)

3. การแปรรูปอาหารโดยให้ความร้อนฆ่าเชื้อในภาชนะบรรจุปิดสนิท

ตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข จำแนกอาหารในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิทตามค่า pH เป็น 3 ประเภท (ปรรัตน์ ศุภมิตรโยธิน, 2556; กระทรวงสาธารณสุข, 2556) ได้แก่

1) อาหารที่มีความเป็นกรดต่ำ (low acid food) คือ อาหารที่มีค่าความเป็นกรด-ด่างมากกว่า 4.6 และมีค่า a_w มากกว่า 0.85

2) อาหารที่ปรับสภาพกรด (acidified low-acid food) คือ อาหารที่ตามธรรมชาติของผลิตภัณฑ์ ที่มีค่าความเป็นกรด-ด่าง มากกว่า 4.6 แต่ในการผลิตมีการปรับสภาพความเป็นกรดของอาหาร โดยการลวกหรือ แช่ชิ้นอาหารในสารละลายกรด หรือเติมกรด หรือเติมอาหารที่มีความเป็นกรด จนทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่าง ไม่เกิน 4.6 และมีค่า a_w มากกว่า 0.85

3) อาหารที่มีความเป็นกรด (acid food) คือ อาหารที่มีค่าความเป็นกรด-ด่างไม่เกิน 4.6 และมีค่า a_w มากกว่า 0.85

สำหรับอาหารที่เป็นกรด เชื้อจุลินทรีย์ *Clostridium botulinum* ไม่สามารถเจริญและสร้างสารพิษ สามารถให้ความร้อนที่อุณหภูมิต่ำกว่าน้ำเดือด (100 องศาเซลเซียส) หรือการต้มให้เดือดแล้วทำให้เย็นก็เพียงพอ แต่อาหารที่เป็นกรดต่ำจำเป็นต้องใช้ความร้อนสูงถึง 116 หรือ 121 องศาเซลเซียสเป็นระยะเวลาหนึ่ง ดังนั้นการปฏิบัติทางการค้าจึงมีการเติมสารเพื่อปรับค่า pH ให้เป็นกรดเพื่อหลีกเลี่ยงการใช้ความร้อนสูงเวลานาน เพราะมีผลต่อคุณค่าทางโภชนาการของอาหารนั้น การให้ความร้อนในอาหารแบ่งออกตามความร้อน คือ การพาสเจอร์ไรส์ การสเตอริไลส์ และกระบวนการฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิสูง (ปรรัตน์ ศุภมิตรโยธิน, 2556)

อาหารในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิท ตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 144 (พ.ศ. 2556) เรื่อง อาหารในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิท หมายความว่า

- อาหารที่ผ่านกรรมวิธีที่ใช้ทำลายหรือยับยั้งการขยายพันธุ์ของจุลินทรีย์ด้วยความร้อน ภายหลังหรือก่อนการบรรจุหรือปิดผนึก ซึ่งเก็บรักษาไว้ในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิทที่เป็นโลหะหรือวัสดุอื่นที่คงรูปสามารถป้องกันมิให้อากาศภายนอกเข้าไปในภาชนะบรรจุได้ และสามารถเก็บรักษาไว้ในอุณหภูมิปกติ

- อาหารในภาชนะบรรจุชนิดลามิเนต (laminated) ฉาบ เคลือบ อัด หรือติดด้วยโลหะหรือสิ่งอื่นใด หรืออาหารในภาชนะบรรจุที่เป็นขวดแก้วที่ฝามียางหรือวัสดุอื่นผนึก หรืออาหารในภาชนะบรรจุอื่น ซึ่งสามารถป้องกันมิให้ความชื้นหรืออากาศผ่านซึมเข้าภายในภาชนะบรรจุได้ในภาวะปกติ และสามารถเก็บรักษาไว้ในอุณหภูมิปกติ

กระทรวงสาธารณสุข (2556) กล่าวว่า อาหารในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิท ชนิดที่มีความเป็นกรดต่ำ และชนิดที่ปรับกรด ใช้เทคโนโลยีการผลิตในระบบการผลิตแบบสเตอริไรซ์อาหารหลังจากที่บรรจุลงในบรรจุภัณฑ์ที่ปิดสนิทแล้ว โดยสิ่งที่ต้องคำนึงถึงมีดังนี้

1) การรับวัตถุดิบ ส่วนผสมในการผลิต และบรรจุภัณฑ์

ในการคัดเลือกวัตถุดิบ ส่วนผสมที่ใช้ในการผลิตและบรรจุภัณฑ์ต้องมีการควบคุมคุณภาพและความปลอดภัย มีการเก็บรักษาและนำไปใช้อย่างเหมาะสม บรรจุภัณฑ์ที่ใช้ต้องมีความสามารถในการทนความร้อนสูงได้เนื่องจากต้องนำบรรจุภัณฑ์เข้าฆ่าเชื้อไปพร้อมกับอาหารด้วย

2) การเตรียมวัตถุดิบ

อาหารแต่ละประเภทมีกรรมวิธีในการเตรียมแตกต่างกัน เช่น การคัดเลือก แยกขนาด ปอกเปลือก ตัดแต่งให้ได้ขนาดที่ต้องการ ล้างทำความสะอาดอย่างเหมาะสม และนำไปแปรรูปตามกระบวนการผลิตของผลิตภัณฑ์ชนิดนั้น ๆ

3) การบรรจุ

ปริมาณอาหารที่บรรจุในแต่ละบรรจุภัณฑ์ และช่องว่างเหนืออาหารในบรรจุภัณฑ์หากบรรจุแน่นเกินไป หรือช่องว่างเหลือน้อยเกินไป จะมีผลให้การแทรกผ่านความร้อนเป็นไปได้ช้า จึงจำเป็นต้องควบคุมให้เป็นไปตามกรรมวิธีการผลิต

4) การเตรียมน้ำปรุง หรือ การปรุงผสม

มีการควบคุมการชั่ง ตวง หรือวัด ส่วนผสมอย่างเหมาะสม และตรวจสอบอัตราส่วนของส่วนผสมให้ตรงตามข้อกำหนด

5) การไล่อากาศภายในบรรจุภัณฑ์

วิธีการไล่อากาศ หรือการควบคุมปริมาณอากาศภายในบรรจุภัณฑ์ก่อนการปิดผนึก ในระหว่างการฆ่าเชื้อ อากาศภายในบรรจุภัณฑ์จะขยายตัวทำให้เกิดแรงดันภายในสูงมากจนอาจทำให้ถุงแตก หรือรอยปิดผนึกปริแตก

6) การปิดผนึก

วิธีหรือเครื่องมือที่ใช้ในการปิดผนึกจะแตกต่างกันขึ้นกับชนิดและรูปร่างของบรรจุภัณฑ์ที่ใช้ เช่น การปิดผนึกแบบม้วนตะเข็บ (Double Seam) สำหรับบรรจุภัณฑ์ที่เป็นโลหะ การปิดผนึกด้วยความร้อน (Heat sealing) สำหรับบรรจุภัณฑ์ที่เป็นพลาสติก เช่น ถุง หรือ ถาด เป็นต้น

7) การฆ่าเชื้อด้วยความร้อน

นการฆ่าเชื้อ อุณหภูมิและเวลาเป็นสิ่งสำคัญในขั้นตอนการฆ่าเชื้อเพื่อกำจัดสปอร์ของแบคทีเรียที่เป็นอันตรายก่อให้เกิดการเน่าเสีย อุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการฆ่าเชื้ออาหารแต่ละชนิดจะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับปริมาณและชนิดของส่วนผสมอาหาร

8) การทำให้เย็น

เป็นการทำให้อาหารเย็นลงอย่างรวดเร็วจนถึงระดับอุณหภูมิ 35 – 45 องศาเซลเซียส ทั้งนี้เนื่องจากถ้าทำให้เย็นช้าจะเปิดโอกาสให้แบคทีเรียที่เจริญเติบโตได้ที่อุณหภูมิสูง (Thermophilic Bacteria) เจริญเติบโตได้ และเป็นการป้องกันไม่ให้อาหารได้รับความร้อนมากเกินไป

9) การเก็บรักษาและการขนส่ง

การเก็บรักษาผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปในสภาพที่เหมาะสม สามารถป้องกันการปนเปื้อน การเสื่อมสลาย ควรเก็บไว้ในที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า 35 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่แบคทีเรียชนิดทนร้อนไม่สามารถเจริญได้ นอกจากนั้นต้องหลีกเลี่ยงพื้นที่ที่มีความชื้นสูง เพื่อช่วยลดการควบแน่นสภาพไอน้ำในอากาศกลายเป็นหยดน้ำเกาะผิวด้านนอกของภาชนะบรรจุที่ปิดสนิท

บทที่ 3

วิธีดำเนินการทดลอง

วัตถุดิบและสารเคมี

1. สาหร่ายพวงองุ่น (*Caulerpa lentillifera*) รั้งจากฟ็อกส์ฟาร์มอาหารทะเล จังหวัดเพชรบุรี
2. กรดซิตริก (Citric acid) บริษัท Mallinckrodt Baker, ประเทศฟิลิปปินส์
3. คลอรีน (Chlorine) บริษัท Acuchor, ประเทศญี่ปุ่น
4. โซเดียมคลอไรด์ (Sodium chloride) เกรดทางการค้า ตราปรุ้งทิพย์ บริษัทอุตสาหกรรมเกลือบริสุทธิ์, ประเทศไทย
5. แมกนีเซียมคาร์บอเนต (Magnesium carbonate) บริษัท Fluka chemie ประเทศสวิตเซอร์แลนด์
6. ซิงก์อะซิเตท (Zinc acetate) บริษัท Ajax Finechem Pty Ltd. ประเทศออสเตรเลีย

อุปกรณ์และเครื่องมือ

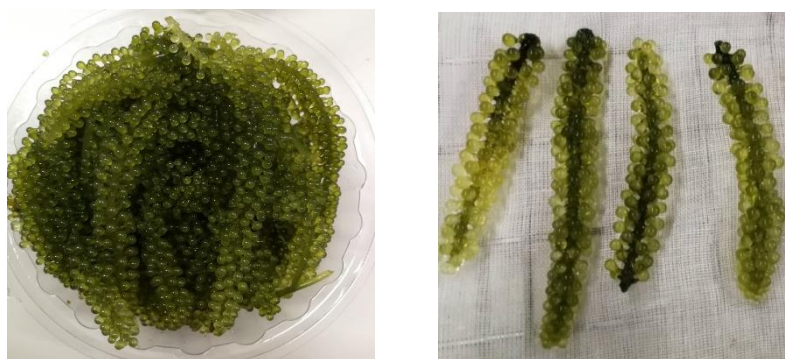
1. เครื่องวัดค่าสี (Colorimeter) Hunter LAB Minican XP Plus, ประเทศสหรัฐอเมริกา
2. เครื่องซาลิโนมิเตอร์ (Salinity meter) ATAGO S-28, ประเทศญี่ปุ่น
3. เครื่องชั่งน้ำหนักทศนิยม 2 ตำแหน่ง Sortorius BA610 ประเทศเยอรมนี
4. เครื่องชั่งน้ำหนักทศนิยม 4 ตำแหน่ง Sortorius BA211S ประเทศเยอรมนี
5. เครื่องวัดค่าพีเอช (pH meter) ยี่ห้อ SCHOTT รุ่นLAB 850
6. เครื่องวัดแอกติวิตี (Water Activity) Novasina ; LabMaster
7. เครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส (Texture analyzer) Stable Micro System รุ่น TA.XT plus ประเทศอังกฤษ
8. อุปกรณ์สำหรับทดสอบทางประสาทสัมผัส
9. อุปกรณ์เครื่องแก้ว
10. อุปกรณ์งานครัว
11. ขวดแก้วพร้อมฝา ขนาดบรรจุ 180 มิลลิลิตร

วิธีดำเนินการทดลอง

ตอนที่ 1 การศึกษาผลของการเตรียมขั้นต้นต่อคุณภาพของสาหร่ายพวงองุ่น

การเตรียมสาหร่ายพวงองุ่น

ใช้สาหร่ายพวงองุ่นเกรดสำหรับการจำหน่ายสด (อายุประมาณ 2 เดือน) ที่เลี้ยงในบ่อเลี้ยงระบบปิด คัดเลือกสาหร่ายพวงองุ่นที่มีลักษณะช่อที่สมบูรณ์ มีเม็ดสีเขียวเรียงตัวกันแน่น ไม่มีตำหนิ ความยาวช่อประมาณ 7 เซนติเมตร ล้างน้ำสะอาด แช่ในสารละลายคลอรีนความเข้มข้น 0.002% เป็นเวลา 5 นาที กำหนดอัตราส่วนระหว่างสาหร่ายพวงองุ่นต่อสารละลายคลอรีนที่ใช้แช่ เท่ากับ 1:3 เมื่อครบเวลาแช่ สะเด็ดน้ำโดยวางบนตะแกรง ลักษณะของสาหร่ายพวงองุ่นที่ใช้แสดงดังภาพที่ 3-1



ภาพที่ 3-1 ลักษณะของสาหร่ายพวงองุ่นที่ใช้ในงานวิจัย

การเตรียมขั้นต้น

1. การเตรียมขั้นต้นโดยการลวกในน้ำ (Water - blanching)

นำสาหร่ายพวงองุ่นที่เตรียมไว้ ลวกในน้ำอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 นาที กำหนดอัตราส่วนระหว่างปริมาณน้ำที่ใช้ลวกต่อสาหร่าย 3:1 เมื่อครบกำหนดเวลา ทำให้เย็นทันทีโดยแช่ในน้ำเย็น อุณหภูมิ 4 ± 2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 นาที แล้วล้างสาหร่ายด้วยน้ำสะอาด สะเด็ดน้ำให้แห้งโดยวางบนตะแกรง

2. การเตรียมขั้นต้นโดยการแช่ในสารละลายแมกนีเซียมคาร์บอเนต ($MgCO_3$ - soaking)

นำสาหร่ายพวงองุ่นที่เตรียมไว้ แช่ในสารละลายแมกนีเซียมคาร์บอเนตความเข้มข้น 0.06% เป็นเวลา 1 นาที กำหนดอัตราส่วนระหว่างปริมาณสารละลายแมกนีเซียมคาร์บอเนตที่ใช้แช่ต่อสาหร่าย 3:1 เมื่อครบกำหนดเวลา นำมาแช่ในน้ำเย็น อุณหภูมิ 4 ± 2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 นาที แล้วล้างสาหร่ายด้วยน้ำสะอาด สะเด็ดน้ำให้แห้งโดยวางบนตะแกรง

3. การเตรียมขั้นต้นโดยการลวกในสารละลายแมกนีเซียมคาร์บอเนต ($MgCO_3$ - blanching)

นำสาหร่ายพวงองุ่นที่เตรียมไว้ ลวกในสารละลายแมกนีเซียมคาร์บอเนต ความเข้มข้น 0.06% ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 นาที กำหนดอัตราส่วนระหว่างปริมาณสารละลายแมกนีเซียมคาร์บอเนตที่ใช้ลวกต่อสาหร่าย 3:1 เมื่อครบกำหนดเวลา ทำให้เย็นทันทีโดยแช่ในน้ำเย็น อุณหภูมิ 4 ± 2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 นาที

การปรับด้วยกรด การบรรจุขวด และการให้ความร้อน

นำสาหร่ายพวงองุ่นที่ไม่ผ่าน (ตัวควบคุม) และผ่านการเตรียมขั้นต้นด้วยวิธีต่างๆ มาแปรเป็นสาหร่ายพวงองุ่นในน้ำเกลือบรรจุขวด โดยนำสาหร่ายพวงองุ่นมาบรรจุใส่ในขวดแก้วขนาดปริมาตร 180 มิลลิลิตร ที่ผ่านการทำความสะอาดและลวกน้ำร้อนแล้ว โดยกำหนดปริมาณสาหร่ายพวงองุ่น 70 กรัม ต่อขวด (หรือประมาณ 3 ใน 4 ของขวด) เรียงขวดในลังถึง เตรียมสารละลายผสมระหว่างเกลือโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้น 1% กับกรดซิตริกความเข้มข้น 0.03% นำมาให้ความร้อนจนเดือด ซึ่งจะได้สารละลายผสมที่มีค่า pH ประมาณ 3.5-3.6 แล้วบรรจุลงในขวดขณะร้อน กำหนดปริมาตร 110 มิลลิลิตร/ขวด ให้ความร้อนโดยการต้ม โดยนำสาหร่ายพวงองุ่นที่บรรจุขวดและเติมเกลือแล้วมาต้มทั้งขวด โดยต้มในน้ำที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที เมื่อครบเวลานำออกจากหม้อต้มและปิดฝาให้แน่นแล้วคว่ำขวดลง ลดอุณหภูมิขวดสาหร่ายที่ผ่านการต้มลงทันที โดยการฉีดน้ำที่ขวดสาหร่ายเป็นเวลาประมาณ 5 นาที แล้วนำขวดสาหร่ายไปแช่ในอ่างน้ำ (อุณหภูมิห้อง) เป็นเวลา 10 นาที และนำขวดสาหร่ายไปแช่ในอ่างน้ำเย็นอุณหภูมิ 4±2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที จนอุณหภูมิลดลงถึงอุณหภูมิห้อง

การคืนรูปสาหร่ายพวงองุ่นในน้ำเย็น

การคืนรูปสาหร่ายพวงองุ่นในน้ำเย็นจะทำให้สาหร่ายมีลักษณะคล้ายของสด มีเนื้อสัมผัสแน่น และกรอบมากขึ้น จึงเป็นวิธีการเตรียมสำหรับเตรียมที่แนะนำก่อนบริโภคสาหร่ายพวงองุ่นดำเนินการโดยนำสาหร่ายพวงองุ่นออกจากน้ำเกลือ นำมาล้างน้ำเกลือออกโดยแช่ในน้ำ (อุณหภูมิห้อง) เป็นเวลา 30 วินาที แล้วนำมาแช่ต่อในน้ำเย็นอุณหภูมิ 4±2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 นาที กำหนดใช้อัตราส่วนสาหร่ายพวงองุ่นต่อน้ำที่ใช้แช่ เท่ากับ 1:3

การวิเคราะห์คุณภาพ

1. ค่าสี วัดด้วยเครื่องวัดสี (Colorimeter) รายงานเป็นค่า L^* a^* และ b^*

สุ่มตัวอย่างสาหร่ายพวงองุ่นสดและหลังการเตรียมขั้นต้น รวมทั้งผลิตภัณฑ์สาหร่ายพวงองุ่นในน้ำเกลือบรรจุขวดทั้งก่อนและหลังการคืนรูปในน้ำเย็นมาวัดค่าสี รวมทั้งคำนวณค่าความแตกต่างของสี (ΔE) ของสาหร่ายพวงองุ่น ซึ่งเป็นความแตกต่างของสีเมื่อเปรียบเทียบกับสาหร่ายสด

2. ค่า pH วัดด้วยเครื่องวัดค่า pH

สุ่มตัวอย่างสาหร่ายพวงองุ่นสดและสาหร่ายพวงองุ่นในน้ำเกลือบรรจุขวดทั้งก่อนคืนรูปและหลังการคืนรูป มาวัดค่า pH วัดโดยการนำสาหร่ายพวงองุ่นและน้ำเกลือมาตีปั่นให้เป็นเนื้อเดียวกัน

เกณฑ์ในการเลือก

เลือกวิธีการเตรียมขั้นต้นที่ทำให้ได้สาหร่ายพวงองุ่นมีค่า ΔE น้อยที่สุด โดยพิจารณาจากค่าสีของสาหร่ายพวงองุ่นในน้ำเกลือบรรจุขวดทั้งก่อนและหลังการคืนรูปในน้ำเย็น

การวิเคราะห์ทางสถิติ

ทดลอง 3 ซ้ำ วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล (ANOVA) โดยวางแผนการทดลองแบบ CRD ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยใช้ วิธี Tukey test ด้วยโปรแกรม Minitab Version 17

ตอนที่ 2 การศึกษาผลของความเข้มข้นของเกลือโซเดียมคลอไรด์และซิงก์อะซิเตตต่อคุณภาพของสาหร่ายพวงองุ่นในน้ำเกลือบรรจุขวดระหว่างการเก็บรักษา

ในขั้นตอนนี้ต้องการแปรปัจจัยที่ศึกษา 2 ปัจจัย จัดสิ่งทดลองแบบ Factorial 2 x 3 ได้ 6 สิ่งทดลอง โดยมีรายละเอียดดังนี้

ปัจจัยที่ 1 คือ ความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์ คือ 1% ,4% และ 8%

ปัจจัยที่ 2 คือ ความเข้มข้นของซิงก์อะซิเตต คือ 0 ppm และ 75 ppm

การปรับด้วยกรดและการเติมซิงก์อะซิเตต

ดำเนินการโดยการเตรียมสารละลายผสมระหว่างเกลือโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้นตามที่กำหนด (1% ,4% และ 8%) กับกรดซิตริกความเข้มข้น 0.03% และเติมสารละลายซิงก์อะซิเตตความเข้มข้นตามที่กำหนด (0 ppm และ 75 ppm) จะได้สารละลายผสมที่มีค่า pH ประมาณ 3.5-3.6 แล้วนำมาให้ความร้อนจนเดือด (อุณหภูมิประมาณ 95 ± 2 องศาเซลเซียส)

การบรรจุขวดและการให้ความร้อน

นำสาหร่ายพวงองุ่นที่ผ่านการเตรียมขั้นต้นตามที่เลือกได้จากตอนที่ 1 มาบรรจุขวดและให้ความร้อนตามรายละเอียดเหมือนตอนที่ 1 แล้วเก็บที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 5 สัปดาห์

การวิเคราะห์คุณภาพ

สุ่มตัวอย่างสาหร่ายพวงองุ่นในน้ำเกลือบรรจุขวด เมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 0 1 2 3 4 และ 5 สัปดาห์ มาวิเคราะห์คุณภาพในด้านต่างๆ ดังนี้

1. ค่าสี วัดด้วยเครื่องวัดสี (Colorimeter) รายงานเป็นค่า L^* a^* และ b^*

สุ่มตัวอย่างสาหร่ายพวงองุ่นในน้ำเกลือบรรจุขวดทั้งก่อนและหลังการคืนรูปในน้ำเย็น รวมทั้งค่าสีของสารละลายน้ำเกลือ วัดค่าสี รวมทั้งคำนวณค่าความแตกต่างของสี (ΔE) ของสาหร่ายพวงองุ่นซึ่งเป็นความแตกต่างของสีระหว่างสาหร่ายพวงองุ่นในน้ำเกลือบรรจุขวดเมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 0 สัปดาห์ และที่เวลาต่างๆ

2. ค่า pH วัดด้วยเครื่องวัดค่า pH

สุ่มตัวอย่างสาหร่ายพวงองุ่นในน้ำเกลือบรรจุขวด มาวัดค่า pH วัดโดยการนำสาหร่ายพวงองุ่นและน้ำเกลือมาตีปั่นให้เป็นเนื้อเดียวกัน

3. ค่า a_w

สุ่มตัวอย่างสาหร่ายพวงองุ่นในน้ำเกลือบรรจุขวด มาวัดด้วยเครื่อง Novasina; Lab Master

4. เนื้อสัมผัส ด้วยเครื่อง Texture analyzer

5. ปริมาณกรดทั้งหมด (AOAC, 1990)

6. จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด (BAM, 2001)

7. จำนวนโคลิฟอร์ม โดยวิธี MPN (BAM, 2002)

8. จำนวนยีสต์และรา (BAM, 2001)

9. การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส โดยประเมินด้านสี รสชาติ กลิ่น และเนื้อสัมผัสของตัวอย่างสาหร่ายพวงองุ่นในน้ำเกลือบรรจุขวดทั้ง 6 สิ่งทดลองและตัวอย่างสดเมื่อนำมาคืนรูป (เลียนแบบพฤติกรรมกรรมการบริโภคจริง) ด้วยวิธี scoring test แบบให้คะแนน 5 คะแนน โดย 1= เข้ม

น้อยที่สุด และ 5= เข้มมากที่สุด โดยใช้ผู้ทดสอบกึ่งฝึกฝน (semi-trained panel) ซึ่งเป็นผู้ที่คุ้นเคยหรือยินดีในการบริโภคสาหร่ายพวงองุ่นในน้ำเกลือบรรจุขวด จำนวน 10 คน

เกณฑ์ในการเลือก

พิจารณาเลือกสิ่งทดลองที่มีความปลอดภัยสำหรับการบริโภคตามเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนที่คล้ายกับสาหร่ายพวงองุ่นในน้ำเกลือ คือ ผลิตภัณฑ์สะเดาในน้ำเกลือ (มผช. 1208/2559) ที่กำหนดไว้ว่าจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดต้องไม่เกิน 1×10^3 โคโลนี ต่อตัวอย่าง 1 กรัม โคลิฟอร์มโดย วิธี MPN ต้องน้อยกว่า 3 MPN ต่อตัวอย่าง 1 กรัม จำนวนยีสต์และราต้องไม่เกิน 100 โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม รวมทั้งพิจารณาคะแนนทางประสาทสัมผัสร่วมด้วย

การวิเคราะห์ทางสถิติ

ทดลอง 3 ซ้ำ วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล (ANOVA) โดยวางแผนการทดลองแบบ Factorial in CRD (Completely Randomized Design) สำหรับทุกค่า ยกเว้นการทดสอบทางประสาทสัมผัสวางแผนการทดลองแบบ Factorial in RCBD (Randomized Complete Block Design) วิเคราะห์ผลที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Tukey's โดยใช้โปรแกรม Minitab version 17

ตอนที่ 3 การเปรียบเทียบองค์ประกอบทางเคมีและสมบัติการต้านอนุมูลอิสระของสาหร่ายพวงองุ่นสดและสาหร่ายพวงองุ่นในน้ำเกลือบรรจุขวดที่พัฒนาได้

นำสาหร่ายพวงองุ่นสดและสาหร่ายพวงองุ่นในน้ำเกลือบรรจุขวดที่พัฒนาได้และหลังการคืนรูป มาวิเคราะห์คุณภาพในด้านต่างๆ ดังนี้

1. องค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณ ได้แก่ ความชื้น โปรตีน ไขมัน กากใยหยาบ เถ้า และคาร์โบไฮเดรต (AOAC, 2000)
2. ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (ดัดแปลงจาก Karagozler et al., 2008)
3. สมบัติการต้านอนุมูลอิสระ โดยการทดสอบประสิทธิภาพการจับกับอนุมูลอิสระ DPPH (DPPH free radical scavenging activity test) (ดัดแปลงจาก Karagozler et al., 2008)

การวิเคราะห์ทางสถิติ

วิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยใช้ T-test ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ด้วยโปรแกรม Minitab Version 17

ตอนที่ 4 การถ่ายทอดเทคโนโลยีและความรู้ที่ได้จากงานวิจัย

ถ่ายทอดผลการวิจัยในรูปแบบขององค์ความรู้ เช่น การตีพิมพ์ผลงานวิจัยในวารสารทางวิชาการ หรือการส่งผลงานเข้าร่วมการประชุมวิชาการ/สัมมนาทางวิชาการ รวมทั้งการเข้าร่วมในการจัดนิทรรศการทางวิชาการต่างๆ เพื่อเผยแพร่ผลงานวิจัย

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์

ตอนที่ 1 ผลของการเตรียมขั้นต้นต่อคุณภาพของสาหร่ายพวงองุ่น

จากการเตรียมขั้นต้นสาหร่ายพวงองุ่น 3 วิธี ได้แก่ การลวกในน้ำ (Water - blanching) การแช่ในสารละลายแมกนีเซียมคาร์บอเนต ($MgCO_3$ - soaking) และการลวกในสารละลายแมกนีเซียมคาร์บอเนต ($MgCO_3$ - blanching) เปรียบเทียบกับสาหร่ายพวงองุ่นสด (Fresh) ที่ไม่ผ่านการเตรียมขั้นต้น เมื่อนำมาวิเคราะห์คุณภาพโดยสุ่มตัวอย่างสาหร่ายพวงองุ่นที่ผ่านการเตรียมขั้นต้นและผลิตภัณฑ์สาหร่ายพวงองุ่นในน้ำเกลือบรรจุขวด ทั้งก่อนและหลังการคั้นรูปในน้ำเย็น ผลการทดลองมีรายละเอียดดังนี้

4.1.1 ค่าสี

ผลการวิเคราะห์สีรายงานเป็น ค่าสี $L^* a^* b^*$ และ ΔE ของสาหร่ายพวงองุ่นที่ผ่านการเตรียมขั้นต้น ผลิตภัณฑ์สาหร่ายพวงองุ่นในน้ำเกลือบรรจุขวดทั้งก่อนและหลังการคั้นรูปในน้ำเย็น แสดงดังตารางที่ 4-1, 4-2 และ 4-3 ตามลำดับ รวมทั้งลักษณะของสาหร่ายพวงองุ่นที่ผ่านการเตรียมขั้นต้น ผลิตภัณฑ์สาหร่ายพวงองุ่นในน้ำเกลือบรรจุขวดทั้งก่อนและหลังการคั้นรูปในน้ำเย็น แสดงดังภาพที่ 4-1, 4-2 และ 4-3 ตามลำดับ

1) ค่าสีของสาหร่ายพวงองุ่นที่ผ่านการเตรียมขั้นต้น

จากตารางที่ 4-1 แสดงผลการวิเคราะห์ค่าสีของสาหร่ายพวงองุ่นที่ผ่านการเตรียมขั้นต้นด้วยวิธีต่างๆ พบว่า ค่าสี $L^* a^* b^*$ และ ΔE มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) สำหรับค่าสี L^* แสดงถึงความสว่าง พบว่า สาหร่ายพวงองุ่นที่ผ่านการเตรียมขั้นต้นด้วยวิธี Water - Blanching และ $MgCO_3$ - Blanching มีค่าสี L^* เท่ากับ 18.43 และ 18.75 ตามลำดับ ซึ่งน้อยกว่าค่าสี L^* ของสาหร่ายพวงองุ่นสด (20.43) ($p \leq 0.05$) ในขณะที่สาหร่ายที่ผ่านเตรียมขั้นต้นด้วยวิธี $MgCO_3$ - Soaking ที่มีค่าสี L^* เท่ากับ 19.81 ซึ่งไม่แตกต่างกับค่าสี L^* ของสาหร่ายพวงองุ่นสด ($p > 0.05$) แสดงให้เห็นว่าการเตรียมขั้นต้นด้วยวิธีที่การลวกทั้ง Water - Blanching และ $MgCO_3$ - Blanching มีผลให้สาหร่ายพวงองุ่นมีความสว่างลดลง ในขณะที่การแช่ตามวิธี $MgCO_3$ - Soaking ไม่มีผลต่อความสว่างของสาหร่ายพวงองุ่น

สำหรับค่าสี a^* ทุกสิ่งทดลองมีค่าเป็นลบ (-) แสดงถึงสีเขียว พบว่า สาหร่ายพวงองุ่นที่ผ่านการเตรียมขั้นต้นด้วยวิธีต่างๆ มีค่าสี a^* ((-4.62) - (-7.65)) ซึ่งแสดงถึงความมีสีเขียวมากกว่าค่าสี a^* ของสาหร่ายพวงองุ่นสด (-2.01) ($p < 0.05$) ส่วนค่าสี b^* ทุกสิ่งทดลองมีค่าเป็นบวก (+) แสดงถึงสีเหลือง พบว่า สาหร่ายพวงองุ่นที่ผ่านการเตรียมขั้นต้นด้วยวิธีต่างๆ มีค่าสี b^* (11.46-13.24) ซึ่งแสดงถึงความมีสีเหลืองมากกว่าค่าสี b^* ของสาหร่ายพวงองุ่นสด (8.26) แสดงให้เห็นว่าการเตรียมขั้นต้นทุกวิธีมีผลให้สาหร่ายพวงองุ่นมีความเป็นสีเขียวเหลืองเพิ่มขึ้น โดยสอดคล้องกับสีที่สังเกตเห็นด้วยตาเปล่าที่พบว่า หลังการเตรียมขั้นต้นสาหร่ายพวงองุ่นทุกสิ่งทดลองมีแนวโน้มสีเขียวสดมากขึ้นกว่าสาหร่ายพวงองุ่นสด

ตารางที่ 4-1 ค่าสี L* a* b* และ ΔE ของสาหร่ายพวงองุ่นที่ผ่านการเตรียมขั้นต้น

| วิธีการเตรียมขั้นต้น | ค่าสีเฉลี่ย ± S.D. | | | ΔE [#] |
|-------------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|------------------------|
| | L* | a* | b* | |
| Fresh | 20.43±0.11 ^a | -2.01±0.00 ^a | 8.26±0.14 ^c | - |
| Water - Blanching | 18.75±0.19 ^b | -7.65±0.02 ^d | 11.46±0.57 ^b | 6.71±0.23 ^a |
| MgCO ₃ - Soaking | 19.81±0.20 ^a | -4.62±0.04 ^b | 12.86±0.08 ^a | 5.33±0.18 ^b |
| MgCO ₃ - Blanching | 18.43±0.28 ^b | -6.64±0.02 ^c | 13.24±0.19 ^a | 7.09±0.10 ^a |

หมายถึง ความแตกต่างของค่าสีของสาหร่ายพวงองุ่นหลังเตรียมขั้นต้นเปรียบเทียบกับสาหร่ายสด
a, b, c, d หมายถึง ค่าที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

จากผลการทดลอง พบว่า การเตรียมขั้นต้นสาหร่ายพวงองุ่นทั้ง 3 วิธี สามารถรักษาสีของสาหร่ายพวงองุ่นไว้ได้ อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาค่า ΔE ซึ่งเป็นความแตกต่างของสีเมื่อเปรียบเทียบกับสาหร่ายพวงองุ่นสด พบว่า การเตรียมขั้นต้นด้วยวิธี MgCO₃ – Soaking ทำให้สาหร่ายพวงองุ่นมีค่า ΔE น้อยที่สุดเท่ากับ 5.33 ($p < 0.05$) รองลงมาคือ การเตรียมขั้นต้นด้วยวิธี Water – blanching และ MgCO₃ – blanching ที่มีค่า ΔE เท่ากับ 6.71 และ 7.09 ซึ่งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) อาจเนื่องมาจากวิธี MgCO₃ – Soaking เป็น alkalizing treatment ที่สามารถลดโอกาสการหลุดออกของแมกนีเซียมไอออนจากวงแหวนโพรไพร์ไรด์ได้ดีที่สุดหรือกล่าวได้ว่าเป็นสถานะที่ใช้สารเคมีในการรักษาโครงสร้างของคลอโรฟิลล์ให้เสถียรได้ดีที่สุด ไม่มีความเสี่ยงจากการได้รับความร้อนจากการลวกมากเกินไป ค่า ΔE สอดคล้องกับค่าสี a* ที่แสดงให้เห็นว่าสาหร่ายพวงองุ่นที่ผ่านการเตรียมขั้นต้นด้วยวิธี MgCO₃ – Soaking มีสีเขียวใกล้เคียงกับสาหร่ายสดมากที่สุด

2) ค่าสีของผลิตภัณฑ์สาหร่ายพวงองุ่นในน้ำเกลือบรรจุขวด

จากตารางที่ 4-2 และ 4-3 แสดงผลการวิเคราะห์ค่าสีของผลิตภัณฑ์สาหร่ายพวงองุ่นในน้ำเกลือบรรจุขวดทั้งก่อนและหลังการคั้นรูปในน้ำเย็นเมื่อใช้สาหร่ายพวงองุ่นที่ผ่านการเตรียมขั้นต้นด้วยวิธีต่างๆ พบว่า ค่าสี L* a* b* และ ΔE มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

สำหรับค่าสี L* แสดงถึงความสว่าง พบว่า สาหร่ายพวงองุ่นที่ผ่านการเตรียมขั้นต้นด้วยวิธี Water - Blanching และ MgCO₃ - Blanching มีค่าสี L* เท่ากับ 18.43 และ 18.75 ตามลำดับ ซึ่งน้อยกว่าค่าสี L* ของสาหร่ายพวงองุ่นสด (20.43) ($p \leq 0.05$) ในขณะที่สาหร่ายที่ผ่านเตรียมขั้นต้นด้วยวิธี MgCO₃ – Soaking ที่มีค่าสี L* เท่ากับ 19.81 ซึ่งไม่แตกต่างกับค่าสี L* ของสาหร่ายพวงองุ่นสด ($p > 0.05$) แสดงให้เห็นว่าการเตรียมขั้นต้นด้วยวิธีที่การลวกทั้ง Water - Blanching และ MgCO₃ - Blanching มีผลให้สาหร่ายพวงองุ่นมีความสว่างลดลง ในขณะที่การแช่ตามวิธี MgCO₃ – Soaking ไม่มีผลต่อความสว่างของสาหร่ายพวงองุ่น

ตารางที่ 4-2 ค่าสี L* a* b* และ ΔE ของผลิตภัณฑ์สาหร่ายพวงองุ่นในน้ำเกลือบรรจุขวด ก่อนการคั้นรูป

| วิธีการเตรียมชิ้นต้น | ค่าสีเฉลี่ย \pm S.D. | | | |
|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|------------------------------|
| | L* | a* | b* | $\Delta E^{\#}$ |
| Fresh ¹ | 21.64 \pm 0.11 ^c | -4.60 \pm 0.00 ^d | 13.42 \pm 0.14 ^{ab} | - |
| No Pretreatment ² | 21.69 \pm 0.11 ^c | 1.28 \pm 0.01 ^c | 11.71 \pm 0.17 ^c | 6.02 \pm 0.02 ^c |
| Water- Blanching | 22.82 \pm 0.53 ^b | 1.58 \pm 0.01 ^b | 13.08 \pm 0.15 ^{bc} | 6.45 \pm 0.29 ^b |
| MgCO ₃ - Soaking | 24.49 \pm 0.26 ^a | 1.79 \pm 0.02 ^a | 12.37 \pm 0.33 ^{cd} | 7.06 \pm 0.14 ^a |
| MgCO ₃ - Blanching | 22.26 \pm 0.20 ^b | 1.49 \pm 0.03 ^b | 13.15 \pm 0.08 ^a | 6.14 \pm 0.15 ^c |

หมายถึง ความแตกต่างของค่าสีของผลิตภัณฑ์สาหร่ายพวงองุ่นเปรียบเทียบกับสาหร่ายสด (Fresh)

¹ หมายถึง สาหร่ายพวงองุ่นสด

² หมายถึง ผลิตภัณฑ์สาหร่ายพวงองุ่นในน้ำเกลือที่ไม่ผ่านการเตรียมชิ้นต้น

a, b, c, d หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

จากตารางที่ 4-2 เมื่อพิจารณาผลการวิเคราะห์ค่าสี L* a* b* ของผลิตภัณฑ์สาหร่ายพวงองุ่นในน้ำเกลือบรรจุขวดก่อนการคั้นรูปในน้ำเย็น พบว่า มีแนวโน้มค่าสีที่แตกต่างไปจากสาหร่ายพวงองุ่นที่ผ่านการเตรียมชิ้นต้น (ตารางที่ 4-1) โดยเฉพาะค่าสี a* ที่พบว่าผลิตภัณฑ์สาหร่ายพวงองุ่นในน้ำเกลือทุกสิ่งทดลองมีค่าสี a* เป็นบวก (+) แสดงถึงสีแดง ซึ่งแตกต่างจากสาหร่ายสดและสาหร่ายที่ผ่านการเตรียมชิ้นต้นที่ทุกสิ่งทดลองมีค่าสี a* เป็นบวก (-) แสดงถึงสีเขียว ส่วนค่าสี L* มีค่าอยู่ในช่วง 21.69 – 24.49 และค่าสี b* มีค่าอยู่ในช่วง 11.71-13.15 ซึ่งค่า L* มีแนวโน้มมากขึ้นและค่า b* มีแนวโน้มลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับสาหร่ายสดและสาหร่ายที่ผ่านการเตรียมชิ้นต้น โดยสอดคล้องกับสีที่สังเกตเห็นด้วยตาเปล่าที่พบว่าผลิตภัณฑ์สาหร่ายพวงองุ่นในน้ำเกลือบรรจุขวดทุกสิ่งทดลองมีแนวโน้มสีให้เขียวน้อยลงกลายเป็นสีเขียวมะกอกและมีความสว่างและมีความเป็นสีเหลืองมากขึ้น

จากตารางที่ 4-3 เมื่อพิจารณาผลการวิเคราะห์ค่าสี L* a* b* ของผลิตภัณฑ์สาหร่ายพวงองุ่นในน้ำเกลือบรรจุขวดหลังการคั้นรูปในน้ำเย็น ซึ่งเป็นวิธีเตรียมตัวอย่างก่อนบริโภคสาหร่ายพวงองุ่นของผู้บริโภค พบว่า การล้างน้ำและแช่สาหร่ายพวงองุ่นในน้ำเย็นเป็นเวลา 2 นาที ยังคงมีแนวโน้มค่าสีคล้ายกับผลิตภัณฑ์สาหร่ายพวงองุ่นในน้ำเกลือบรรจุขวดก่อนการคั้นรูป คือ ค่าสี a* ของผลิตภัณฑ์สาหร่ายพวงองุ่นในน้ำเกลือทุกสิ่งทดลองยังคงมีค่าสี a* เป็นบวก (+) แสดงถึงสีแดง อย่างไรก็ตามการคั้นรูปทำให้สาหร่ายพวงองุ่นดูดน้ำกลับเข้ามาในเซลล์ได้ จึงทำให้มีแนวโน้มทำให้มีความสว่างมากขึ้น โดยค่าสี L* อยู่ในช่วง 23.75-25.93 และมีสีออกเหลืองเพิ่มขึ้น โดยค่าสี b* อยู่ในช่วง 13.41-16.39

ตารางที่ 4-3 ค่าสี L* a* b* และ ΔE ของผลิตภัณฑ์สาหร่ายพวงองุ่นในน้ำเกลือบรรจุขวดหลังการคั้นรูป

| วิธีการเตรียมขั้นต้น | ค่าสีเฉลี่ย ± S.D. | | | |
|-------------------------------|-------------------------|--------------------------|-------------------------|------------------------|
| | L* | a* | b* | ΔE [#] |
| Fresh ¹ | 21.64±0.11 ^c | -4.60±0.00 ^c | 13.62±0.14 ^b | - |
| No Pretreatment ² | 23.75±0.05 ^b | 1.75±0.11 ^b | 13.41±0.17 ^b | 7.27±0.25 ^a |
| Water- Blanching | 25.93±0.18 ^a | 1.84±0.04 ^b | 15.41±0.17 ^a | 7.71±0.22 ^a |
| MgCO ₃ - Soaking | 25.37±0.26 ^b | 1.97±0.01 ^a | 15.69±0.15 ^a | 7.66±0.14 ^a |
| MgCO ₃ - Blanching | 24.05±0.20 ^b | 1.85±0.02 ^{a,b} | 16.39±0.11 ^a | 7.50±0.28 ^a |

หมายถึง ความแตกต่างของค่าสีของผลิตภัณฑ์สาหร่ายพวงองุ่นเปรียบเทียบกับสาหร่ายสด (Fresh)

¹ หมายถึง สาหร่ายพวงองุ่นสด

² หมายถึง ผลิตภัณฑ์สาหร่ายพวงองุ่นในน้ำเกลือที่ไม่ผ่านการเตรียมขั้นต้น

a, b, c, d หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

จากผลการทดลอง พบว่า แม้การเตรียมขั้นต้นสาหร่ายพวงองุ่นทั้ง 3 วิธี สามารถรักษาสีของสาหร่ายพวงองุ่นไว้ได้แต่เมื่อนำมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์สาหร่ายพวงองุ่นในน้ำเกลือบรรจุขวด พบว่าทุกสิ่งทดลองไม่สามารถรักษาสีเขียวสดของสาหร่ายพวงองุ่นไว้ได้ โดยมีค่าสี a* เปลี่ยนไปเป็นเฉดสีแดงหรือเกิดสีเขียวมะกอก อย่างไรก็ตามมีความจำเป็นที่จะต้องแปรรูปสาหร่ายพวงองุ่นโดยผ่านกระบวนการปรับกรดให้มีค่า pH ต่ำกว่า 4.6 และให้ความร้อนอุณหภูมิสูงถึง 100 เป็นเวลา 10 นาที เพื่อให้ผลิตภัณฑ์มีความปลอดภัยสำหรับการบริโภคเป็นไปตามหลักการการแปรรูปอาหารในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิท ให้เป็นไปตามประกาศของกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 355 และ 349 ปี พ.ศ.2556 ที่กำหนดให้ปรับกรดให้ค่า pH ให้ไม่เกิน 4.6 จึงจะจัดเป็นอาหารปรับกรด (acidified food) และเมื่อผ่านกรรมวิธีที่ใช้ทำลายหรือยับยั้งการขยายพันธุ์ของจุลินทรีย์ด้วยความร้อน ภายหลังหรือก่อนบรรจุหรือผนึกจะสามารถเก็บรักษาไว้ในอุณหภูมิปกติได้ (กระทรวงสาธารณสุข, 2556)

จากตารางที่ 4-2 และ 4-3 เมื่อพิจารณาค่า ΔE ซึ่งเป็นความแตกต่างของสีเมื่อเปรียบเทียบกับสาหร่ายพวงองุ่นสด พบว่า สิ่งทดลอง No pretreatment ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์สาหร่ายพวงองุ่นที่ไม่ผ่านการเตรียมขั้นต้นทั้งก่อนและหลังการคั้นรูป มีค่า ΔE น้อยที่สุด เท่ากับ 6.02 และ 7.27 ตามลำดับ ($p \leq 0.05$) รวมทั้งมีค่าสี a* ซึ่งแสดงความเป็นสีแดงต่ำที่สุด เท่ากับ 1.28 และ 1.75 ตามลำดับ ($p \leq 0.05$) แม้สิ่งทดลอง Water - blanching และ MgCO₃ - Blanching หลังการคั้นรูปมีค่าสี a* ซึ่งไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับสิ่งทดลอง No pretreatment ($p > 0.05$) ก็ตามแต่เมื่อพิจารณาผลิตภัณฑ์สาหร่ายพวงองุ่นก่อนการคั้นรูปพบว่า สิ่งทดลอง No pretreatment มีค่า a*

เท่ากับ 1.28 แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) จึงแสดงให้เห็นว่ายังคงมีสีที่แตกต่างจากสาหร่ายพวงองุ่นสดมากกว่า และจากข้อสังเกตของผลการทดลองที่พบว่า สาหร่ายพวงองุ่นที่ผ่านการเตรียมขั้นต้นด้วยวิธี $MgCO_3$ - Soaking มีสีเขียวใกล้เคียงกับสาหร่ายสดมากที่สุด แต่เมื่อนำมาแปรรูปตามกระบวนการปรับกรดและให้ความร้อน พบว่า ผลผลิตสีของสาหร่ายพวงองุ่น $MgCO_3$ - Soaking ทั้งก่อนและหลังการคั้นรูป มีค่า ΔE เท่ากับ 7.06 และ 7.66 ตามลำดับ ซึ่งมากกว่าสิ่งทดลอง No pretreatment ($p \leq 0.05$) จึงแสดงให้เห็นว่ายังคงมีสีที่แตกต่างจากสาหร่ายพวงองุ่นสดมากกว่า ที่เป็นเช่นนี้อาจเนื่องมาจากสภาวะ alkalizing treatment ที่เกิดขึ้นระหว่างการแช่ถูกชะไปหรือกลายเป็นสภาวะกรดเมื่อสาหร่ายพวงองุ่นแช่อยู่ในน้ำเกลือที่มีการปรับด้วยกรด จึงทำให้แมกนีเซียมไอออนในคลอโรฟิลล์หลุดออกจากวงแหวนโพรไพรีนและเปลี่ยนโครงสร้างไปเป็นฟีโอไฟทิน (pheophytin) ที่มีสีเขียวมะกอกได้

จากผลการทดลองในตอนต้นที่ 1 ของโครงการวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่าแม้ใช้การเตรียมขั้นต้นมาช่วยรักษาสีของสาหร่ายพวงองุ่นไว้ได้ก่อนการแปรรูป แต่เมื่อนำวัตถุดิบมาแปรรูปต่อด้วยกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับการคงอยู่ของสีเป็นอย่างมากทั้งในด้านปริมาณกรดและการให้ความร้อน การเตรียมขั้นต้นที่กำหนดไว้ทั้งการลวกในน้ำ (Water - blanching) การแช่ในสารละลายแมกนีเซียมคาร์บอเนต ($MgCO_3$ - soaking) และการลวกในสารละลายแมกนีเซียมคาร์บอเนต ($MgCO_3$ - blanching) จึงยังไม่เพียงพอและไม่จำเป็นที่จะต้องมีการเตรียมขั้นต้น

4.1.2 ค่า pH

จากการสุ่มตัวอย่างสาหร่ายผลิตผลิตภัณฑ์สาหร่ายพวงองุ่นในน้ำเกลือบรรจุขวดทุกสิ่งทดลอง มาวัดค่า pH แสดงผลดังตารางที่ 4-4 พบว่า ค่า pH ของผลิตภัณฑ์สาหร่ายพวงองุ่นในน้ำเกลือบรรจุขวดมีค่า pH อยู่ในช่วง 3.35-4.22 ซึ่งมีค่า pH ไม่เกิน 4.6 จึงจัดเป็นอาหารปรับกรด (acidified food) ซึ่งเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนดไว้ (กระทรวงสาธารณสุข, 2556) ในการดำเนินการเตรียมน้ำเกลือมีการปรับกรดด้วยกรดซิตริกที่มีค่า pH ประมาณ 3.5-3.6 จากผลการทดลอง พบว่า สิ่งทดลอง No pretreatment และ Water-blanching สามารถควบคุม pH ให้ต่ำกว่า 4.6 ได้มากกว่า (pH 3.55-3.65) เนื่องจากสาหร่ายพวงองุ่นไม่ผ่านการใช้สภาวะต่างจากสารละลายแมกนีเซียมคาร์บอเนต ในขณะที่สิ่งทดลอง $MgCO_3$ - Soaking และ $MgCO_3$ - Blanching มีการใช้สารละลายแมกนีเซียมคาร์บอเนตซึ่งมีฤทธิ์เป็นด่างร่วมด้วย เมื่อเติมน้ำเกลือที่มีความเป็นกรดส่งผลทำให้ค่า pH เพิ่มขึ้น (pH 4.19-4.22)

ตารางที่ 4-4 ค่า pH ของผลิตภัณฑ์สำหรับพวงองุ่นในน้ำเกลือบรรจุขวด

| วิธีการเตรียมขั้นต้น | ค่า pH เฉลี่ย \pm S.D. |
|-------------------------------|------------------------------|
| Fresh ¹ | 5.75 \pm 0.01 ^a |
| No Pretreatment ² | 3.55 \pm 0.02 ^c |
| Water- Blanching | 3.65 \pm 0.01 ^c |
| MgCO ₃ – Soaking | 4.19 \pm 0.03 ^b |
| MgCO ₃ - Blanching | 4.22 \pm 0.01 ^b |

¹ หมายถึง สำหรับพวงองุ่นสด

² หมายถึง ผลิตภัณฑ์สำหรับพวงองุ่นในน้ำเกลือที่ไม่ผ่านการเตรียมขั้นต้น

a, b, c, หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตอนที่ 2 ผลของความเข้มข้นของเกลือโซเดียมคลอไรด์และซิงก์อะซิเตตต่อคุณภาพของสำหรับพวงองุ่นในน้ำเกลือบรรจุขวดระหว่างการเก็บรักษา

จากตารางที่ 4-5 แสดงการสรุปผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนจากการศึกษาผลของความเข้มข้นของเกลือโซเดียมคลอไรด์ [NaCl] และความเข้มข้นของซิงก์อะซิเตต [Zn] ต่อ ค่า pH ปริมาณกรดทั้งหมด ค่า a_w และค่าความแน่นเนื้อ ของสำหรับพวงองุ่นในน้ำเกลือบรรจุขวดเมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 0, 1, 2, 3, 4 และ 5 สัปดาห์

4.2.1 คุณภาพด้านเคมีกายภาพ

1) ค่าสี

ผลการวิเคราะห์สีรายงานเป็น ค่าสี L^* a^* b^* และ ΔE ของสำหรับพวงองุ่นในน้ำเกลือบรรจุขวด (ก่อนการคั้นรูปในน้ำเย็น) ระหว่างการเก็บรักษา แสดงดังภาพที่ 4-1, 4-2 4-3 และ 4-4 ตามลำดับ และค่าสี L^* a^* b^* และ ΔE ของสำหรับพวงองุ่นในน้ำเกลือบรรจุขวด (หลังการคั้นรูปในน้ำเย็น) ระหว่างการเก็บรักษา แสดงดังภาพที่ 4-5, 4-6 4-7 และ 4-8 ตามลำดับ

เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงค่าสี L^* และ b^* ระหว่างการเก็บรักษา พบว่า สำหรับพวงองุ่นในน้ำเกลือบรรจุขวดทุกสิ่งทดลอง (ก่อนการคั้นรูป) มีแนวโน้มค่าลดลงทั้งค่าสี L^* และ b^* ซึ่งแสดงถึงค่าความสว่างและความเป็นที่เหลืองที่ลดลง อย่างไรก็ตามมีการเปลี่ยนแปลงไม่มากนัก โดยที่ 0 สัปดาห์ มีค่าสี L^* และ b^* อยู่ในช่วง 19.52-26.04 และ 9.42-15.68 ตามลำดับ และเมื่อเก็บไว้ 5 สัปดาห์ มีค่าสี L^* และ b^* อยู่ในช่วง 18.88-23.24 และ 6.87-10.59 ตามลำดับ สำหรับสำหรับพวงองุ่นหลังการคั้นรูปพบว่า ค่าสี L^* มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น และค่าสี b^* มีแนวโน้มลดลง อย่างไรก็ตามมีการเปลี่ยนแปลงไม่มากนัก เมื่อพิจารณาร่วมกับค่า ΔE ซึ่งเป็นค่าความแตกต่างของสีเมื่อเปรียบเทียบกับสำหรับพวงองุ่นในน้ำเกลือบรรจุขวดหลังการผลิต สำหรับทั้งก่อนและหลังการคั้นรูป พบว่า เมื่อเก็บรักษา 1 สัปดาห์ สิ่งทดลอง 4%NaCl-75Zn และ 8%NaCl-75Zn มีค่า ΔE สูงที่สุด เท่ากับ 3.8 (ก่อนคั้นรูป) และ 4.9 (หลังการคั้นรูป) ทั้งนี้เนื่องมาจากหลังการผลิต (0 สัปดาห์) สำหรับพวงองุ่นในสิ่งทดลองดังกล่าวมีสีออกเขียวจากการเกิด green metallo complexes มากที่สุด เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงค่า ΔE ตลอดการเก็บของทุกสิ่งทดลอง พบว่า ΔE มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 4-4 สรุปผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนจากการศึกษาผลของความเข้มข้นของเกลือโซเดียมคลอไรด์ [NaCl] และความเข้มข้นของซิงก์อะซิเตท [Zn] ต่อคุณภาพด้านสีทั้งก่อนและหลังการคั้นรูปสาหร่ายพวงอุ้งนในน้ำเกลือบรรจุขวดเมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 0, 1, 2, 3, 4 และ 5 สัปดาห์

| เวลา (สัปดาห์) | ปัจจัยที่ศึกษา | ก่อนการคั้นรูป | | | | หลังการคั้นรูป | | | |
|-------------------|----------------|----------------|------------|------------|-----------------|----------------|------------|------------|-----------------|
| | | ค่าสี L* | ค่าสี a* | ค่าสี b* | $\Delta E^{\#}$ | ค่าสี L* | ค่าสี a* | ค่าสี b* | $\Delta E^{\#}$ |
| 0 | [NaCl] | sig | sig | sig | - | sig | sig | sig | - |
| | [Zn] | sig | sig | sig | - | sig | sig | sig | - |
| | [NaCl]*[Zn] | sig | sig | sig | - | sig | sig | sig | - |
| 1 | [NaCl] | sig | sig | sig | sig | sig | sig | sig | sig |
| | [Zn] | sig | sig | sig | sig | sig | sig | sig | ns |
| | [NaCl]*[Zn] | sig | sig | sig | sig | sig | sig | sig | sig |
| 2 | [NaCl] | sig | sig | sig | sig | sig | sig | sig | sig |
| | [Zn] | sig | sig | sig | sig | sig | sig | sig | ns |
| | [NaCl]*[Zn] | sig | sig | sig | sig | sig | sig | sig | sig |
| 3 | [NaCl] | sig | sig | sig | sig | sig | sig | sig | sig |
| | [Zn] | sig | sig | sig | sig | sig | sig | sig | ns |
| | [NaCl]*[Zn] | sig | sig | sig | sig | sig | sig | sig | sig |
| 4 | [NaCl] | sig | sig | sig | sig | sig | sig | sig | sig |
| | [Zn] | sig | sig | sig | sig | sig | sig | sig | ns |
| | [NaCl]*[Zn] | sig | sig | sig | sig | sig | sig | sig | sig |
| 5 | [NaCl] | sig | sig | sig | sig | sig | sig | sig | sig |
| | [Zn] | sig | sig | sig | sig | sig | sig | sig | ns |
| | [NaCl]*[Zn] | sig | sig | sig | sig | sig | sig | sig | sig |

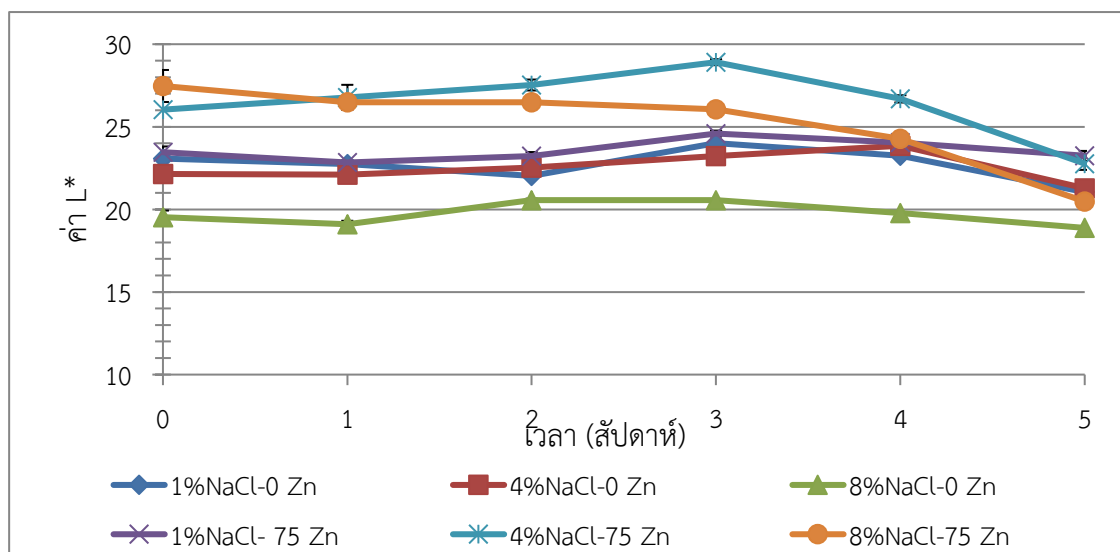
sig หมายถึง ปัจจัยมีอิทธิพลต่อค่าสีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ns หมายถึง ปัจจัยไม่มีอิทธิพลต่อค่าสีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

หมายถึง ความแตกต่างของค่าสีของผลิตภัณฑ์สาหร่ายพวงอุ้งนที่เก็บเวลาต่างๆ เปรียบเทียบกับที่เก็บ 0 สัปดาห์

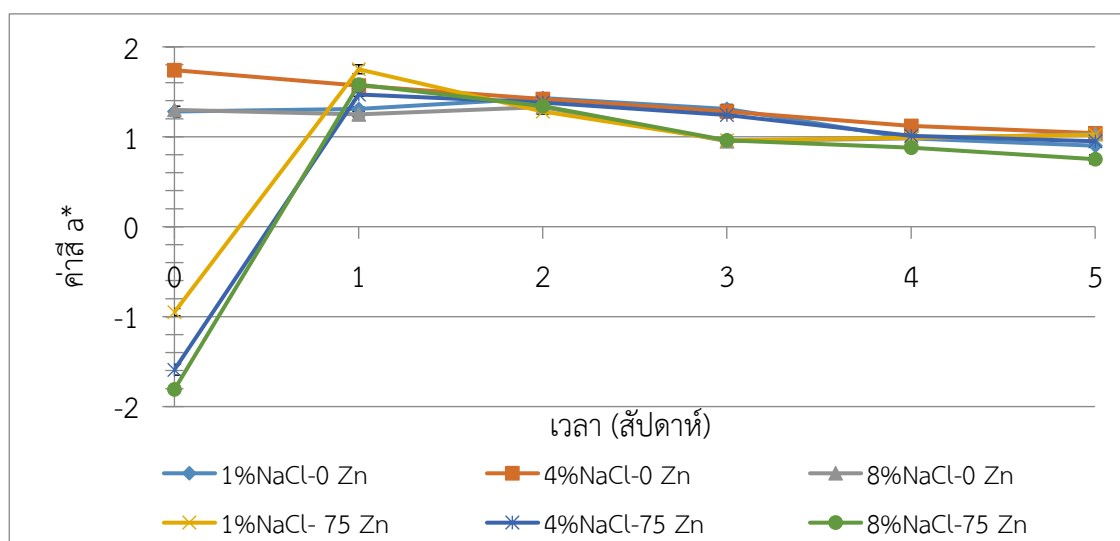
ตารางที่ 4- 5 สรุปผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนจากการศึกษาผลของความเข้มข้นของเกลือโซเดียมคลอไรด์ [NaCl] และความเข้มข้นของซิงก์อะซิเตท [Zn] ต่อค่า pH ปริมาณกรดทั้งหมด ค่า a_w และค่าความแน่นเนื้อ ของสาหร่ายพวงองุ่นในน้ำเกลือบรรจุขวดเมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 0, 1, 2, 3, 4 และ 5 สัปดาห์

| เวลา (สัปดาห์) | ปัจจัยที่ศึกษา | ค่า pH | ปริมาณกรดทั้งหมด | ค่า a_w | ค่าความแน่นเนื้อ |
|----------------|----------------|--------|------------------|------------|------------------|
| 0 | [NaCl] | ns | ns | sig | sig |
| | [Zn] | ns | ns | ns | ns |
| | [NaCl]*[Zn] | ns | ns | ns | ns |
| 1 | [NaCl] | ns | ns | sig | sig |
| | [Zn] | ns | ns | ns | ns |
| | [NaCl]*[Zn] | ns | ns | ns | ns |
| 2 | [NaCl] | ns | ns | sig | sig |
| | [Zn] | ns | ns | ns | ns |
| | [NaCl]*[Zn] | ns | ns | ns | ns |
| 3 | [NaCl] | ns | ns | sig | sig |
| | [Zn] | ns | ns | ns | ns |
| | [NaCl]*[Zn] | ns | ns | ns | ns |
| 4 | [NaCl] | ns | ns | sig | sig |
| | [Zn] | ns | ns | ns | ns |
| | [NaCl]*[Zn] | ns | ns | ns | ns |
| 5 | [NaCl] | ns | ns | sig | sig |
| | [Zn] | ns | ns | ns | ns |
| | [NaCl]*[Zn] | ns | ns | ns | ns |

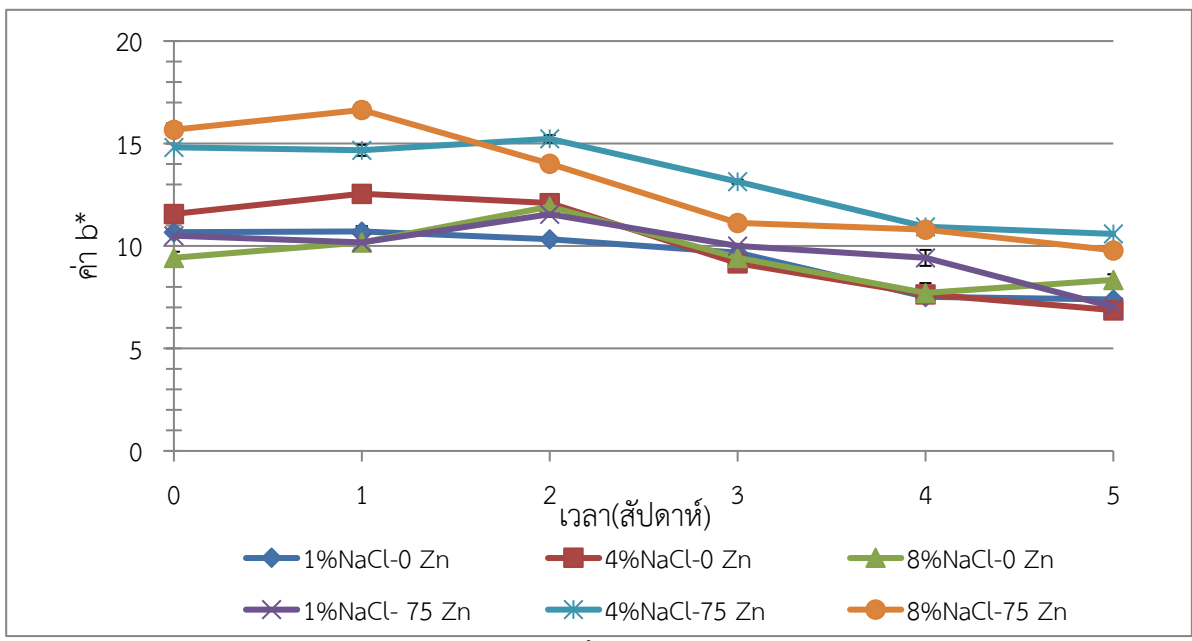
sig หมายถึง ปัจจัยมีอิทธิพลต่อค่าสื่ออย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ns หมายถึง ปัจจัยไม่มีอิทธิพลต่อค่าสื่ออย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)



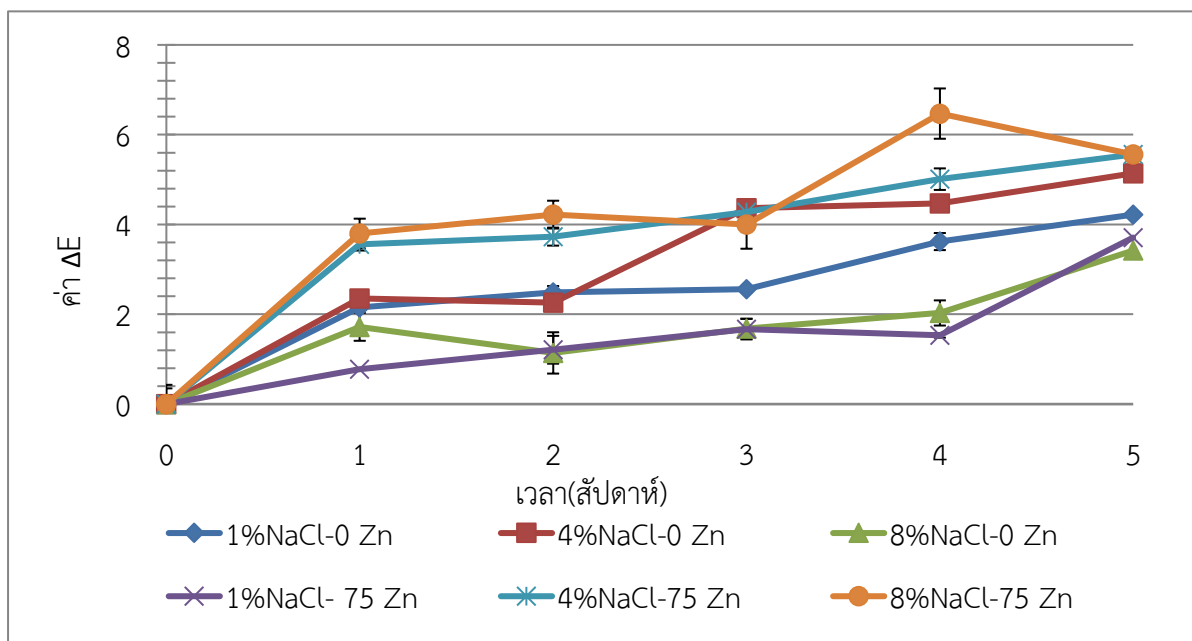
ภาพที่ 4-1 ค่าสี L* ของสาหร่ายพวงองุ่นในน้ำเกลือบรรจุขวด (ก่อนการคืนรูป) ระหว่างการเก็บที่แปรความเข้มข้นของเกลือโซเดียมคลอไรด์ [NaCl] และความเข้มข้นของซิงก์อะซีเตท [Zn] ระดับต่างๆ



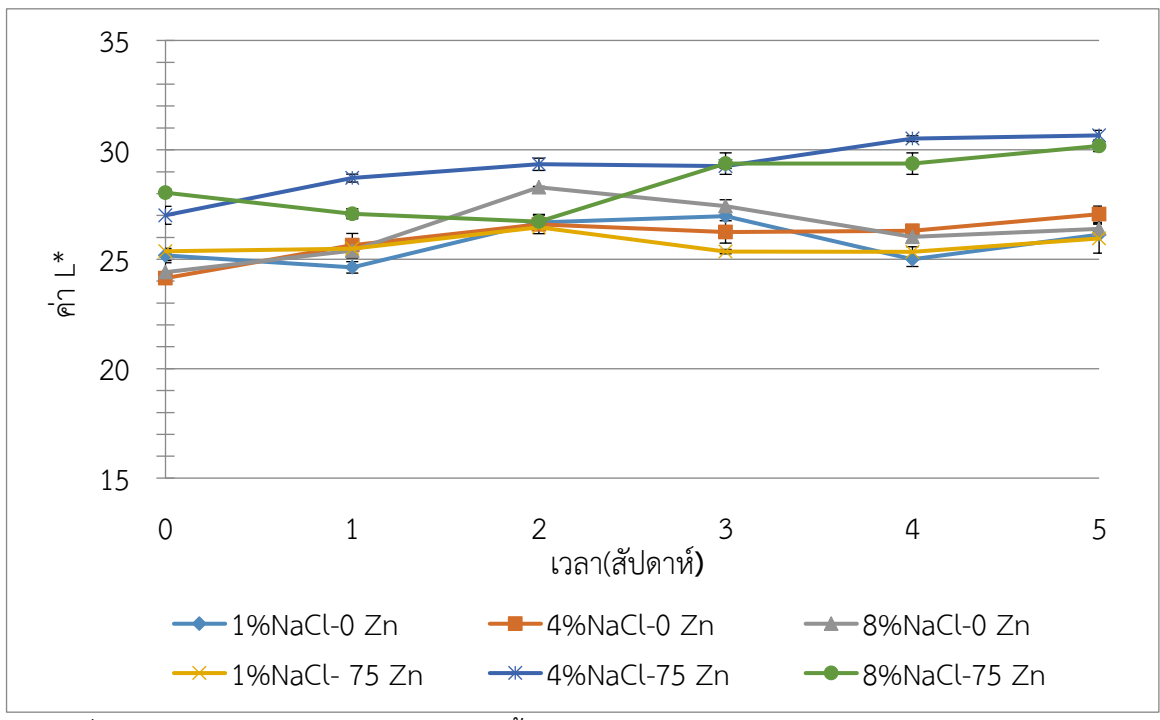
ภาพที่ 4-2 ค่าสี a* ของสาหร่ายพวงองุ่นในน้ำเกลือบรรจุขวด (ก่อนการคืนรูป) ระหว่างการเก็บที่แปรความเข้มข้นของเกลือโซเดียมคลอไรด์ [NaCl] และความเข้มข้นของซิงก์อะซีเตท [Zn] ระดับต่างๆ



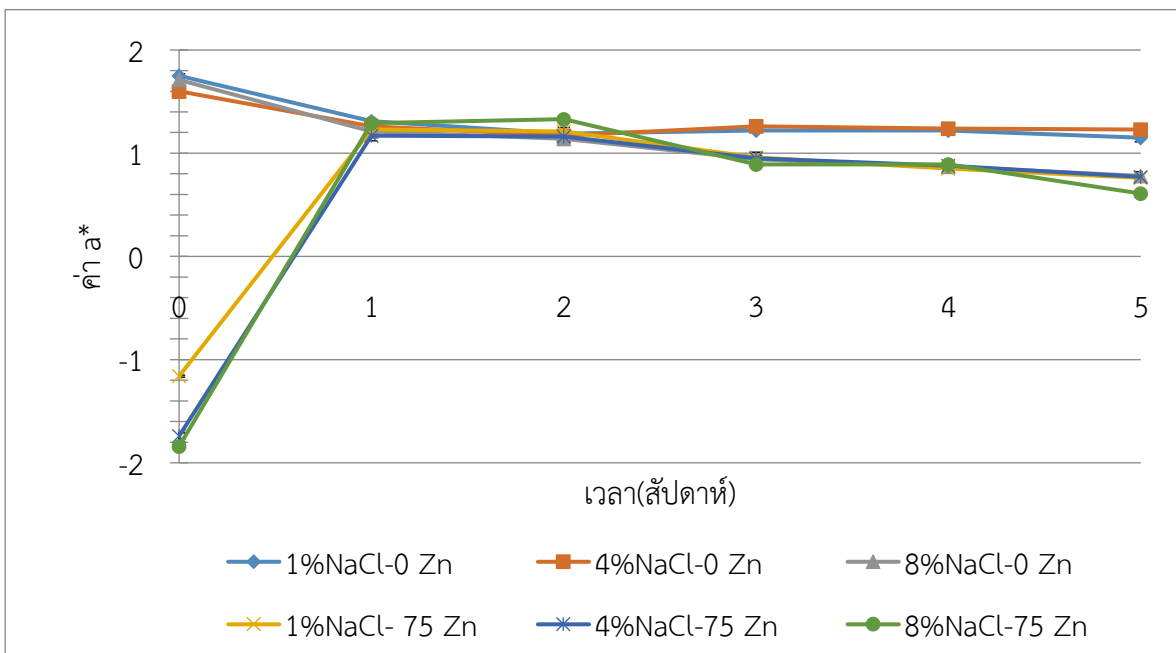
ภาพที่ 4-3 ค่าสี b* ของสาหร่ายพวงองุ่นในน้ำเกลือบรรจุขวด (ก่อนการคั้นรูป) ระหว่างการเก็บที่แปรความเข้มข้นของเกลือโซเดียมคลอไรด์ [NaCl] และความเข้มข้นของซิงก์อะซิเตท [Zn] ระดับต่างๆ



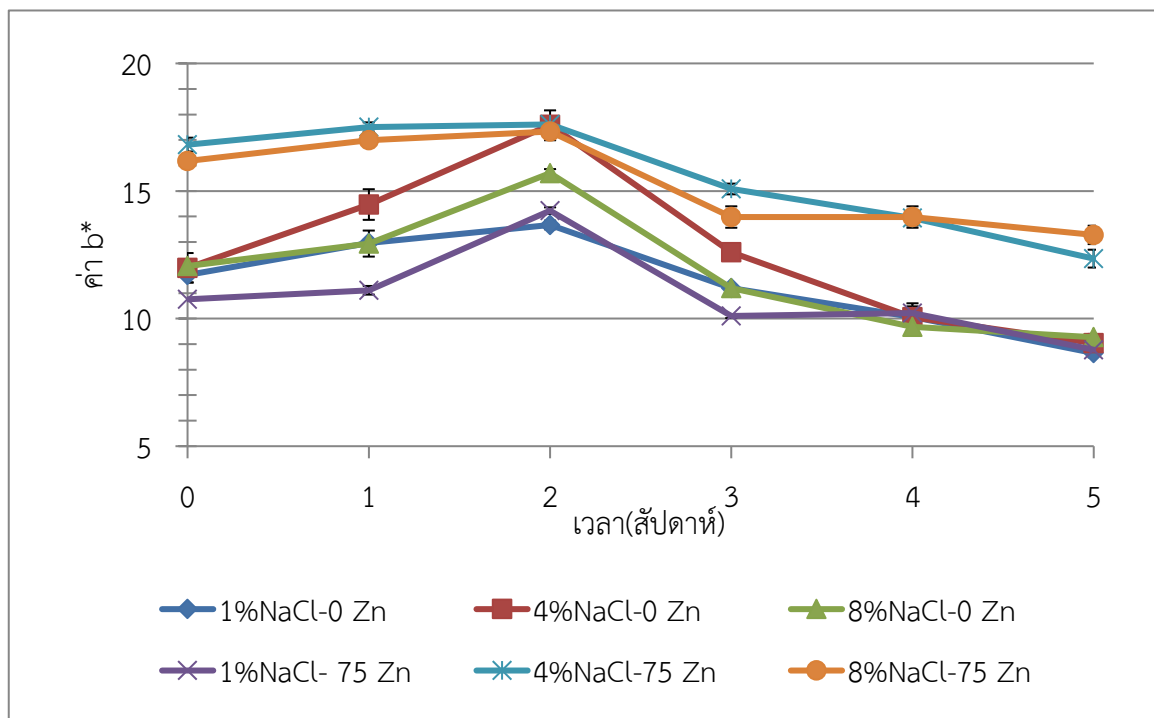
ภาพที่ 4-4 ค่าสี ΔE ของสาหร่ายพวงองุ่นในน้ำเกลือบรรจุขวด (ก่อนการคั้นรูป) ระหว่างการเก็บที่แปรความเข้มข้นของเกลือโซเดียมคลอไรด์ [NaCl] และความเข้มข้นของซิงก์อะซิเตท [Zn] ระดับต่างๆ



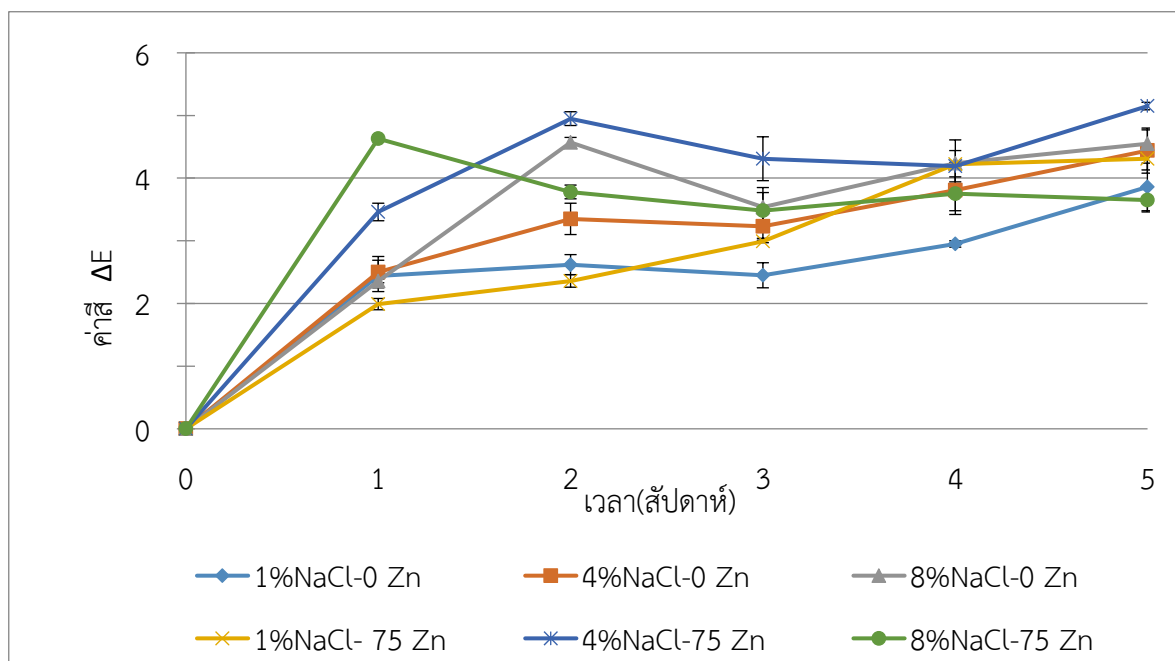
ภาพที่ 4-5 ค่าสี L* ของสาหร่ายพวงองุ่นในน้ำเกลือบรรจุขวด (หลังการคั้นรูป) ระหว่างการเก็บที่แปรความเข้มข้นของเกลือโซเดียมคลอไรด์ [NaCl] และความเข้มข้นของซิงก์อะซิเตท [Zn] ระดับต่างๆ



ภาพที่ 4-6 ค่าสี a* ของสาหร่ายพวงองุ่นในน้ำเกลือบรรจุขวด (หลังการคั้นรูป) ระหว่างการเก็บที่แปรความเข้มข้นของเกลือโซเดียมคลอไรด์ [NaCl] และความเข้มข้นของซิงก์อะซิเตท [Zn] ระดับต่างๆ



ภาพที่ 4-7 ค่าสี b^* ของสาหร่ายพวงองุ่นในน้ำเกลือบรรจุขวด (หลังการคืนรูป) ระหว่างการเก็บที่แปรความเข้มข้นของเกลือโซเดียมคลอไรด์ [NaCl] และความเข้มข้นของซิงก์อะซิเตท [Zn] ระดับต่างๆ



ภาพที่ 4-8 ค่าสี ΔE ของสาหร่ายพวงองุ่นในน้ำเกลือบรรจุขวด (หลังการคืนรูป) ระหว่างการเก็บที่แปรความเข้มข้นของเกลือโซเดียมคลอไรด์ [NaCl] และความเข้มข้นของซิงก์อะซิเตท [Zn] ระดับต่างๆ

2) ปริมาณกรดทั้งหมดและค่า pH

ผลการวิเคราะห์ปริมาณกรดทั้งหมดและค่า pH ของสาหร่ายพวงองุ่นในน้ำเกลือบรรจุขวดทุกสิ่งทดลองระหว่างการเก็บรักษา แสดงดังภาพที่ 4-9 และ 4-10 โดยในการวิเคราะห์ปริมาณกรดทั้งหมดและค่า pH ของงานวิจัยนี้ได้เตรียมตัวอย่างโดยใช้ผลิตภัณฑ์ทั้งขวดซึ่งมีทั้งส่วนเนื้อสาหร่ายพวงองุ่นและส่วนน้ำเกลือมาตีปั่นให้เป็นเนื้อเดียวกันแล้วจึงวิเคราะห์

จากภาพที่ 4-9 พบว่า ตลอดเวลาการเก็บรักษา ปริมาณกรดทั้งหมดของทุกสิ่งทดลอง อยู่ในช่วง 0.43% – 0.59% ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) และจากภาพที่ 4-10 พบว่า ตลอดเวลาการเก็บรักษา ค่า pH อยู่ในช่วง 3.57- 3.78 ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

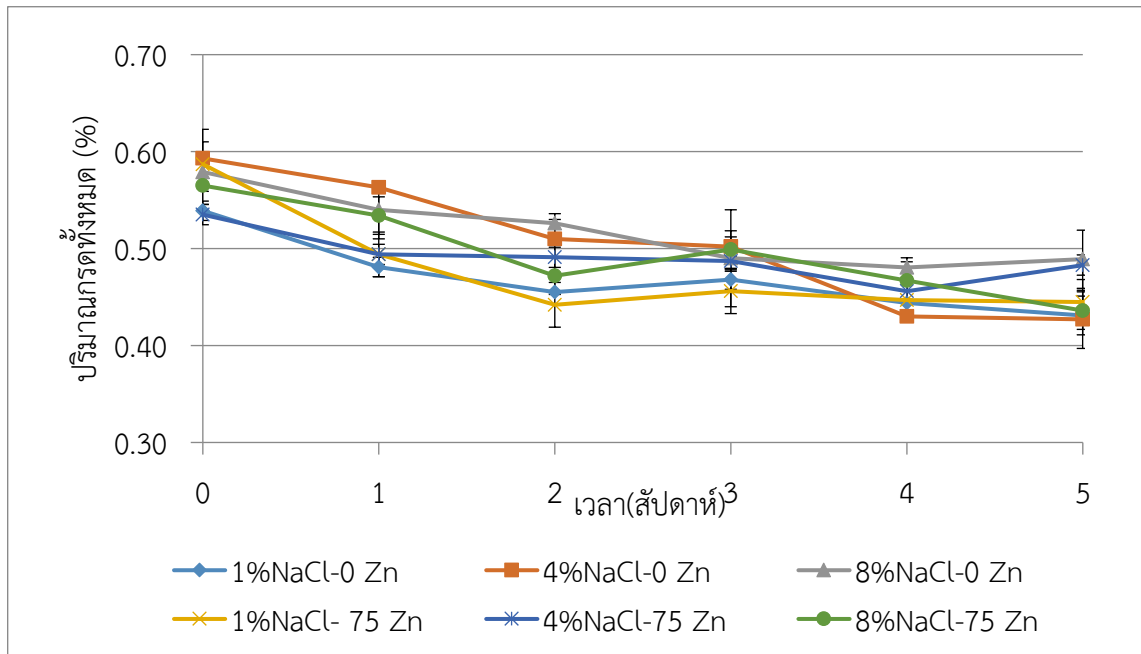
3) ค่า a_w

ค่า a_w เป็นปัจจัยสำคัญที่มีอิทธิพลต่อคุณภาพและการเน่าเสียของอาหารเพราะความชื้นในอาหารและค่า a_w จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของปฏิกิริยาทางเคมีหรือปฏิกิริยาที่เร่งด้วยเอนไซม์อย่างช้าๆ และมีการเจริญของจุลินทรีย์เกิดขึ้น ซึ่งเป็นต้นเหตุที่ทำให้อาหารเน่าเสียได้ (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2549) จากภาพที่ 4-11 พบว่า ตลอดการเก็บรักษาทุกสิ่งทดลองมีค่า a_w อยู่ในช่วง 0.93 – 0.96 ผลิตภัณฑ์สาหร่ายพวงองุ่นในน้ำเกลือบรรจุขวดจึงจัดเป็นอาหารที่มีความชื้นสูงหรือมีปริมาณน้ำมากกว่าส่วนที่เป็นของแข็ง (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2549) โดยค่า a_w นี้เป็นไปตามประกาศของกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 355 และ 349 ปี พ.ศ.2556 ที่กำหนดว่าอาหารปรับกรดที่ต้องมีค่า pH ไม่เกิน 4.6 และมีค่า a_w มากกว่า 0.85 (กระทรวงสาธารณสุข, 2556) และจากผลการทดลองพบแนวโน้มว่า สิ่งทดลองที่ใช้เกลือโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้นมาก (8%) มีแนวโน้มค่า a_w ต่ำที่สุด ตลอดการเก็บรักษาอยู่ในช่วง 0.93 – 0.94

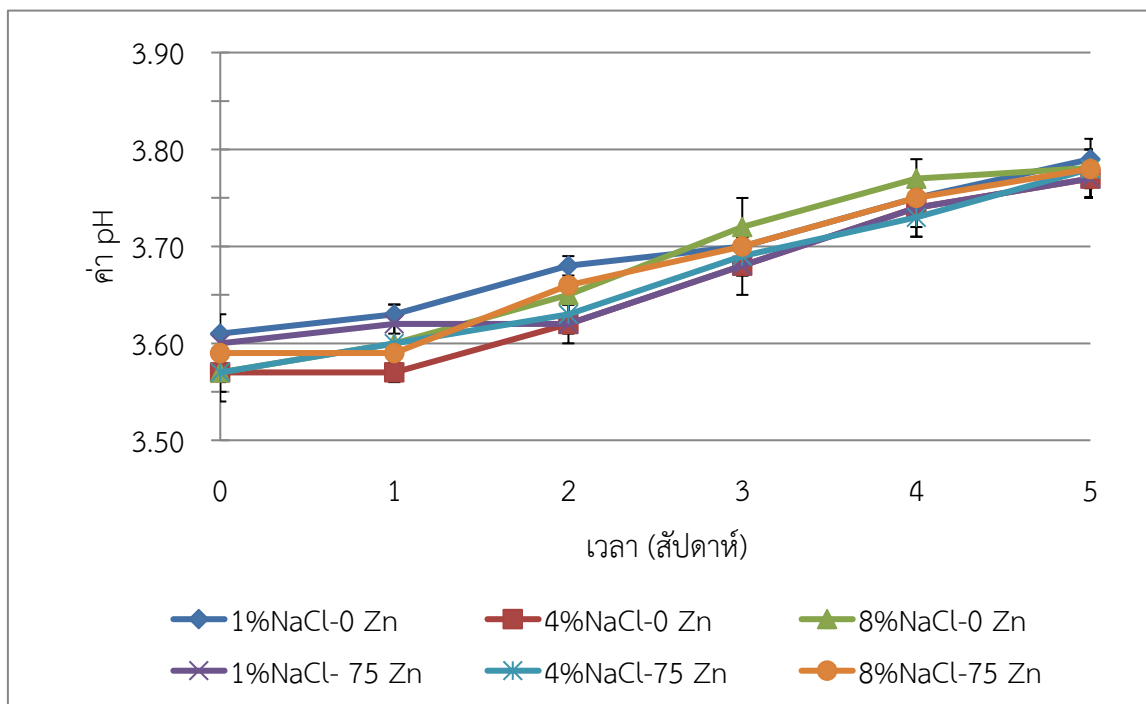
4) ค่าความแน่นเนื้อ

ค่าความแน่นเนื้อสามารถวัดได้โดยใช้เครื่อง texture analyzer ซึ่งหมายถึงแรงที่สูงที่สุดที่ใช้ในการกดลงบนชิ้นอาหารตามระยะทางที่กำหนด ซึ่งแสดงถึงความแข็งหรือความนุ่มของผลิตภัณฑ์อาหาร ถ้าอาหารที่มีความแข็งมาก แรงที่ใช้ฟันกัดอาหารในครั้งแรกก็จะมีค่ามาก (Alvarez et al., 1995) ในโครงการวิจัยนี้วิเคราะห์ความแน่นเนื้อเมื่อนำสาหร่ายพวงองุ่นในน้ำเกลือมาคั้นรูปในน้ำเย็นตามวิธีการเตรียมที่แนะนำก่อนบริโภคสาหร่ายพวงองุ่น ผลการวิเคราะห์ค่าความแน่นเนื้อของสาหร่ายพวงองุ่นในน้ำเกลือบรรจุขวดทุกสิ่งทดลอง แสดงดังภาพที่ 4-12

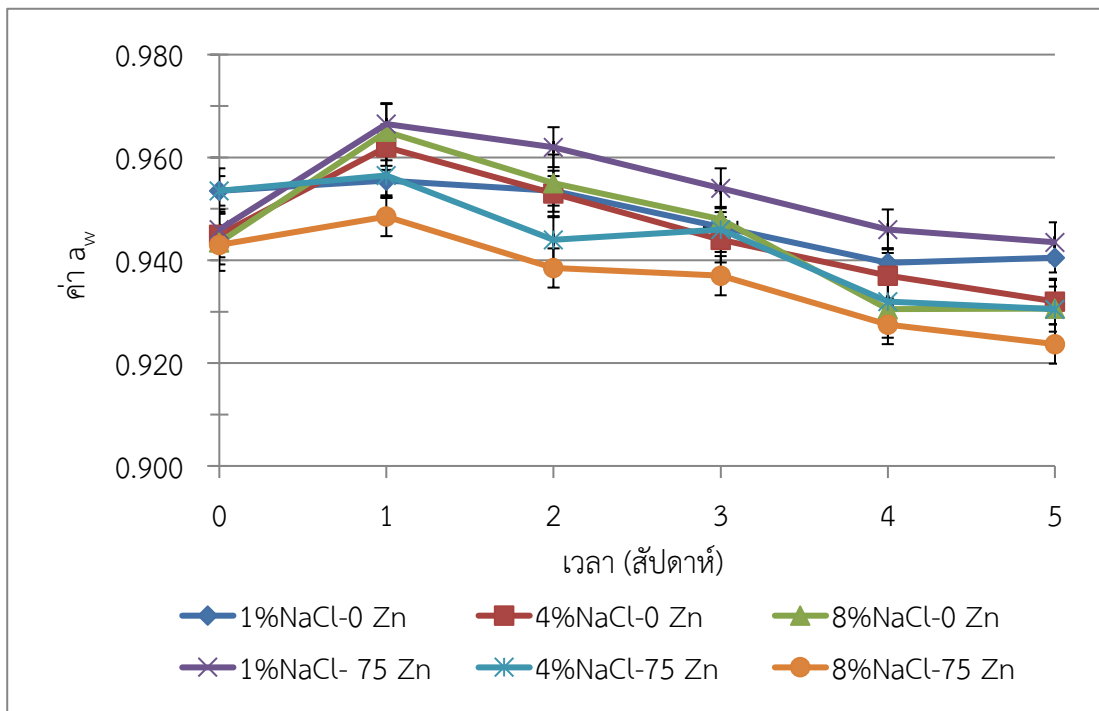
จากผลการทดลอง พบว่า ที่ระยะเวลา 0 สัปดาห์ (หลังการผลิต) ทุกสิ่งทดลองมีค่าความแน่นเนื้อแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) จากผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนที่พบว่าปัจจัยหลักด้านความเข้มข้นของเกลือโซเดียมคลอไรด์มีผลต่อค่าความแน่นเนื้อ พบว่า การใช้เกลือโซเดียมคลอไรด์มาก (8%NaCl-0Zn, 8%NaCl-75Zn) มีผลให้มีค่าความแน่นเนื้อต่ำที่สุดอยู่ในช่วง 0.47-0.80 kg force และการใช้เกลือโซเดียมคลอไรด์น้อย (1%NaCl-0Zn, 1%NaCl-75Zn) มีผลให้มีค่าความแน่นเนื้อสูงที่สุดอยู่ในช่วง 0.69-2.29 kg force ($p\leq 0.05$)



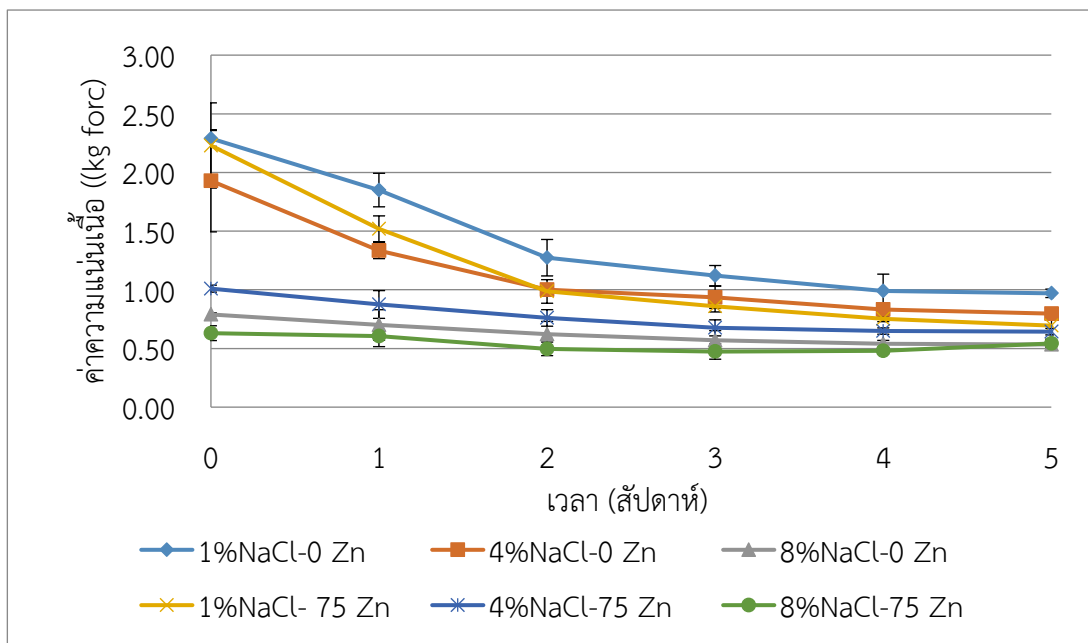
ภาพที่ 4-9 ปริมาณการตั้งยอด (%) ของสาหร่ายพวงองุ่นในน้ำเกลือบรรจุขวดระหว่างการเก็บที่แปรความเข้มข้นของเกลือโซเดียมคลอไรด์ [NaCl] และความเข้มข้นของซิงก์อะซิเตท [Zn] ระดับต่างๆ



ภาพที่ 4-10 ค่า pH ของสาหร่ายพวงองุ่นในน้ำเกลือบรรจุขวดระหว่างการเก็บที่แปรความเข้มข้นของเกลือโซเดียมคลอไรด์ [NaCl] และความเข้มข้นของซิงก์อะซิเตท [Zn] ระดับต่างๆ



ภาพที่ 4-11 ค่า a_w ของสาหร่ายพวงองุ่นในน้ำเกลือบรรจุขวดระหว่างการเก็บที่แปรความเข้มข้นของเกลือโซเดียมคลอไรด์ [NaCl] และความเข้มข้นของซิงก์อะซิเตท [Zn] ระดับต่างๆ



ภาพที่ 4-12 ค่าความแน่นเนื้อของสาหร่ายพวงองุ่นในน้ำเกลือบรรจุขวด (หลังการคั้นรูป) ระหว่างการเก็บที่แปรความเข้มข้นของเกลือโซเดียมคลอไรด์ [NaCl] และความเข้มข้นของซิงก์อะซิเตท [Zn] ระดับต่างๆ

4.2.2 คุณภาพด้านจุลินทรีย์

1) ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด โคลิฟอร์ม ยีสต์และรา

ผลการวิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด โคลิฟอร์ม ยีสต์และราของสาหร่ายพวงองุ่นในน้ำเกลือบรรจุขวดทุกสิ่งทดลอง ที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 0 1 2 3 4 และ 5 สัปดาห์ แสดงดังตารางที่ 4-6 ตามเกณฑ์มาตรฐานของผลิตภัณฑ์เทียบเคียง ได้แก่ ผลิตภัณฑ์สะเดาในน้ำเกลือ (มผช. 1208/2559) ที่กำหนดไว้ว่าปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดต้องไม่เกิน 1×10^3 โคโลนี/กรัม โคลิฟอร์มโดยวิธี MPN ต้องน้อยกว่า 3 MPN/กรัม ปริมาณยีสต์และราต้องไม่เกิน 1×10^2 โคโลนี/กรัม

จากผลการทดลอง พบว่า ตลอดเวลาการเก็บรักษา 5 สัปดาห์ ผลิตภัณฑ์สาหร่ายพวงองุ่นในน้ำเกลือบรรจุขวดทุกสิ่งทดลองมีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดไม่เกินเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดไว้ โดยมีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดอยู่ในช่วง $1.08 \times 10^1 - 7 \times 50 \times 10^2$ โคโลนี/กรัม โคลิฟอร์มโดยวิธี MPN น้อยกว่า 3 MPN/กรัม และปริมาณยีสต์และรา น้อยกว่า 10 est. โคโลนี/กรัม ซึ่งไม่เกินเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดไว้เช่นกัน แสดงให้เห็นว่ามีความปลอดภัยสำหรับการบริโภค จากผลการทดลอง ยืนยันให้เห็นได้ว่ากระบวนการแปรรูปที่ใช้ โดยเฉพาะในขั้นตอนการปรับกรดให้อยู่ในเกณฑ์อาหารปรับกรดร่วมกับการฆ่าเชื้อที่ใช้ในโครงการวิจัยนี้ เพียงพอสำหรับการยับยั้งการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ที่ไม่ปลอดภัยสำหรับการบริโภคได้ โดยสามารถเก็บผลิตภัณฑ์ไว้ได้ที่อุณหภูมิห้องอย่างน้อย 5 สัปดาห์

ตารางที่ 4-6 ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด โคลิฟอร์ม ยีสต์และราของสาหร่ายพวงองุ่นในน้ำเกลือบรรจุขวดระหว่างการเก็บที่แปรความเข้มข้นของเกลือโซเดียมคลอไรด์ [NaCl] และความเข้มข้นของซิงก์อะซิเตท [Zn] ระดับต่างๆ

| เวลา (สัปดาห์) | สิ่งทดลอง | จุลินทรีย์ทั้งหมด (CFU/g) (เกณฑ์ 1×10^3 CFU/g) | โคลิฟอร์ม (MPN/g) (เกณฑ์ 3 MPN/g) | ยีสต์และรา (CFU/g) (เกณฑ์ 1×10^2 CFU/g) | สรุปตามเกณฑ์ (ผ่าน/ไม่ผ่าน) |
|----------------|---------------|---|---|---|--------------------------------|
| 0 | 1%NaCl-0 Zn | 7.50×10^1 est. | <math><3</math> | <math>< 10</math> est. | ผ่าน |
| | 4%NaCl-0 Zn | 1.08×10^1 est. | <math><3</math> | <math>< 10</math> est. | ผ่าน |
| | 8%NaCl-0 Zn | 2.80×10^1 est. | <math><3</math> | <math>< 10</math> est. | ผ่าน |
| | 1%NaCl- 75 Zn | 2.66×10^1 est. | <math><3</math> | <math>< 10</math> est. | ผ่าน |
| | 4%NaCl-75 Zn | 1.80×10^1 est. | <math><3</math> | <math>< 10</math> est. | ผ่าน |
| | 8%NaCl-75 Zn | 2.66×10^1 est. | <math><3</math> | <math>< 10</math> est. | ผ่าน |
| 1 | 1%NaCl-0 Zn | 2.05×10^2 est. | <math><3</math> | <math>< 10</math> est. | ผ่าน |
| | 4%NaCl-0 Zn | 2.05×10^2 est. | <math><3</math> | <math>< 10</math> est. | ผ่าน |
| | 8%NaCl-0 Zn | 1.58×10^2 est. | <math><3</math> | <math>< 10</math> est. | ผ่าน |
| | 1%NaCl- 75 Zn | 1.28×10^2 est. | <math><3</math> | <math>< 10</math> est. | ผ่าน |
| | 4%NaCl-75 Zn | 1.25×10^2 est. | <math><3</math> | <math>< 10</math> est. | ผ่าน |
| | 8%NaCl-75 Zn | 1.80×10^1 est. | <math><3</math> | <math>< 10</math> est. | ผ่าน |
| 2 | 1%NaCl-0 Zn | 3.7×10^2 est. | <math><3</math> | <math>< 10</math> est. | ผ่าน |
| | 4%NaCl-0 Zn | 3.7×10^2 est. | <math><3</math> | <math>< 10</math> est. | ผ่าน |
| | 8%NaCl-0 Zn | 2.65×10^2 est. | <math><3</math> | <math>< 10</math> est. | ผ่าน |
| | 1%NaCl- 75 Zn | 3.31×10^2 est. | <math><3</math> | <math>< 10</math> est. | ผ่าน |
| | 4%NaCl-75 Zn | 1.78×10^2 est. | <math><3</math> | <math>< 10</math> est. | ผ่าน |
| | 8%NaCl-75 Zn | 5.0×10^1 est. | <math><3</math> | <math>< 10</math> est. | ผ่าน |
| 3 | 1%NaCl-0 Zn | 4.81×10^2 est. | <math><3</math> | <math>< 10</math> est. | ผ่าน |
| | 4%NaCl-0 Zn | 4.70×10^2 est. | <math><3</math> | <math>< 10</math> est. | ผ่าน |

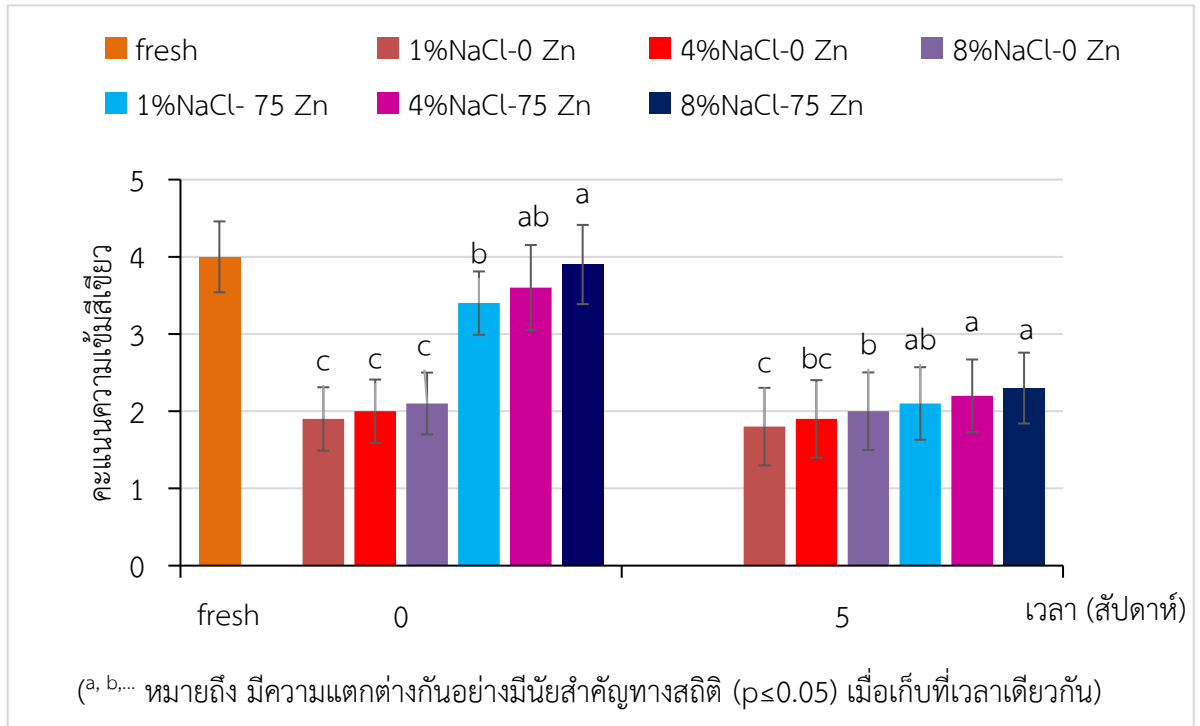
| เวลา (สัปดาห์) | สิ่งทดลอง | จุลินทรีย์ทั้งหมด (CFU/g) (เกณฑ์1×10^3 CFU/g) | โคลิฟอร์ม (MPN/g) (เกณฑ์<math><3</math> MPN/g) | ยีสต์และรา (CFU/g) (เกณฑ์<math><1 \times 10^2</math> CFU/g) | สรุปตามเกณฑ์ (ผ่าน/ไม่ผ่าน) |
|-------------------|---------------|--|---|---|--------------------------------|
| | 8%NaCl-0 Zn | 1.90×10^2 est. | <3 | < 10 est. | ผ่าน |
| | 1%NaCl- 75 Zn | 5.00×10^2 est. | <3 | < 10 est. | ผ่าน |
| | 4%NaCl-75 Zn | 1.46×10^2 est. | <3 | < 10 est. | ผ่าน |
| | 8%NaCl-75 Zn | 8.80×10^1 est. | <3 | < 10 est. | ผ่าน |
| 4 | 1%NaCl-0 Zn | 5.10×10^2 est. | <3 | < 10 est. | ผ่าน |
| | 4%NaCl-0 Zn | 4.70×10^2 est. | <3 | < 10 est. | ผ่าน |
| | 8%NaCl-0 Zn | 3.26×10^2 est. | <3 | < 10 est. | ผ่าน |
| | 1%NaCl- 75 Zn | 6.00×10^2 est. | <3 | < 10 est. | ผ่าน |
| | 4%NaCl-75 Zn | 1.38×10^2 est. | <3 | < 10 est. | ผ่าน |
| | 8%NaCl-75 Zn | 1.50×10^2 est. | <3 | < 10 est. | ผ่าน |
| 5 | 1%NaCl-0 Zn | 6.00×10^2 est. | <3 | < 10 est. | ผ่าน |
| | 4%NaCl-0 Zn | 7.23×10^2 est. | <3 | < 10 est. | ผ่าน |
| | 8%NaCl-0 Zn | 2.96×10^2 est. | <3 | < 10 est. | ผ่าน |
| | 1%NaCl- 75 Zn | 7.50×10^2 est. | <3 | < 10 est. | ผ่าน |
| | 4%NaCl-75 Zn | 1.38×10^2 est. | <3 | < 10 est. | ผ่าน |
| | 8%NaCl-75 Zn | 1.50×10^2 est. | <3 | < 10 est. | ผ่าน |

4.2.3 คุณภาพทางประสาทสัมผัส

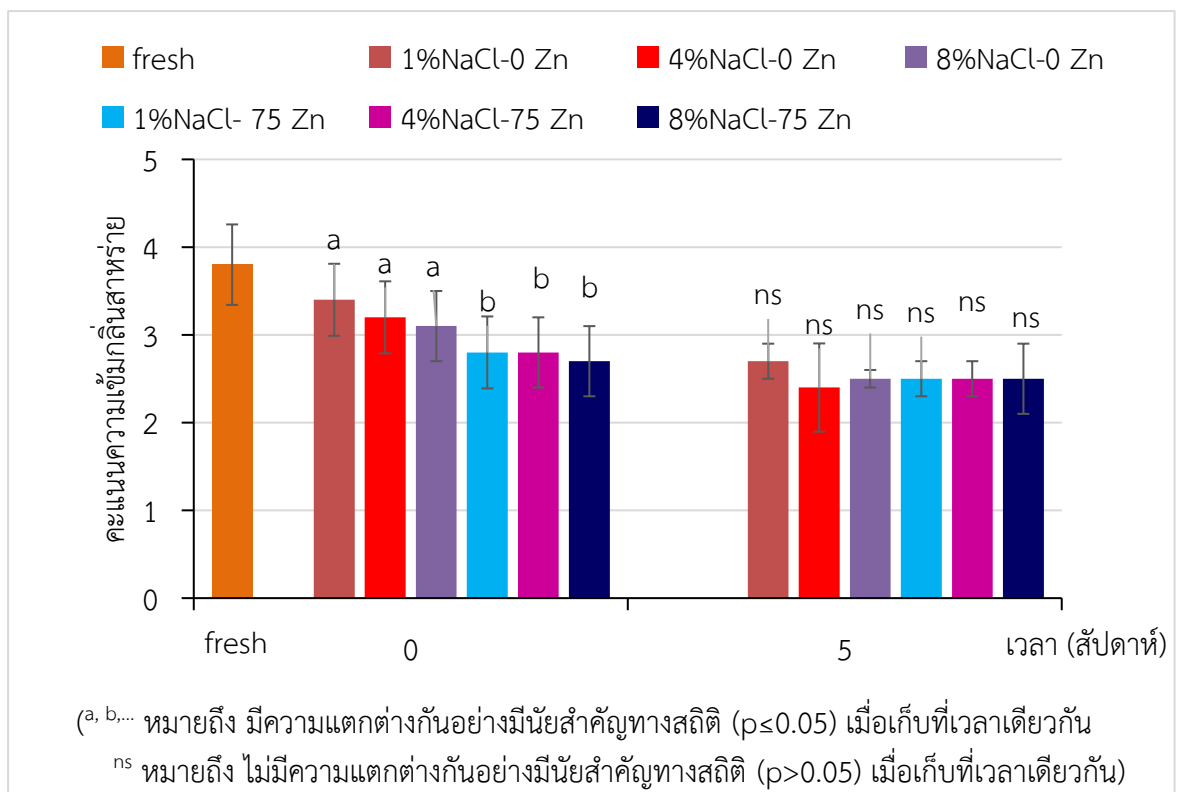
จากผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้วยวิธี scoring test โดยใช้ผู้ทดสอบกึ่งฝึกฝน (semi-trained panel) จำนวน 10 คน การฝึกฝนผู้ทดสอบดำเนินการโดยใช้สาหร่ายพวงองุ่นสดและผลิตภัณฑ์สาหร่ายพวงองุ่นในน้ำเกลือบรรจุขวดเป็นตัวอย่างอ้างอิง นำมาคั้นรูปด้วยน้ำเย็นก่อนการทดสอบเลียนแบบพฤติกรรมผู้บริโภค โดยคัดเลือกผู้ทดสอบที่มีความยินดีให้เวลาในการฝึกฝนและทดสอบ ไม่เป็นผู้แพ้สาหร่าย และคุ้นเคยกับการบริโภคสาหร่าย ฝึกฝนให้ผู้ทดสอบเข้าใจและสามารถจดจำคุณลักษณะของสาหร่ายพวงองุ่นในด้านต่างๆ เช่น สี กลิ่น รสชาติ และเนื้อสัมผัส ทดสอบความแม่นยำในการใช้สเกลของกลุ่มผู้ทดสอบโดยพิจารณาจากค่า SD ของค่าเฉลี่ยแต่ละคุณลักษณะที่ทดสอบไม่ควรเกิน 1 คะแนน จึงถือว่าผู้ทดสอบทั้งหมดมีความเข้าใจ สามารถจดจำ และสามารถให้คะแนนตามสเกลที่กำหนดได้ โดยผู้ทดสอบได้ลงความเห็นว่าคุณลักษณะที่สำคัญของตัวอย่างสาหร่ายพวงองุ่นมีดังนี้คือ สีเขียว กลิ่นสาหร่าย รสเค็ม และความแน่นกรอบ กำหนดให้คะแนนตั้งแต่ 1 ถึง 5 คะแนน โดย 1 คะแนน หมายถึง มีความเข้มของคุณลักษณะที่ทดสอบน้อยที่สุด และ 5 คะแนน หมายถึง มีความเข้มของคุณลักษณะที่ทดสอบมากที่สุด

ผลการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของตัวอย่างสาหร่ายพวงองุ่นในน้ำเกลือบรรจุขวดที่แปรความเข้มข้นของเกลือโซเดียมคลอไรด์และความเข้มข้นของซิงก์อะซิเตทระดับต่างๆ ทั้ง 6 สิ่งทดลอง เมื่อเก็บรักษาไว้ที่ 0 และ 5 สัปดาห์ รวมทั้งตัวอย่างสาหร่ายพวงองุ่นสด หลังการคั้นรูปในน้ำเย็น สำหรับคุณลักษณะด้านสีเขียว กลิ่นสาหร่าย รสเค็ม และความแน่นกรอบ แสดงดังภาพที่ 4-13 4-14 4-15 และ 4-16 ตามลำดับ

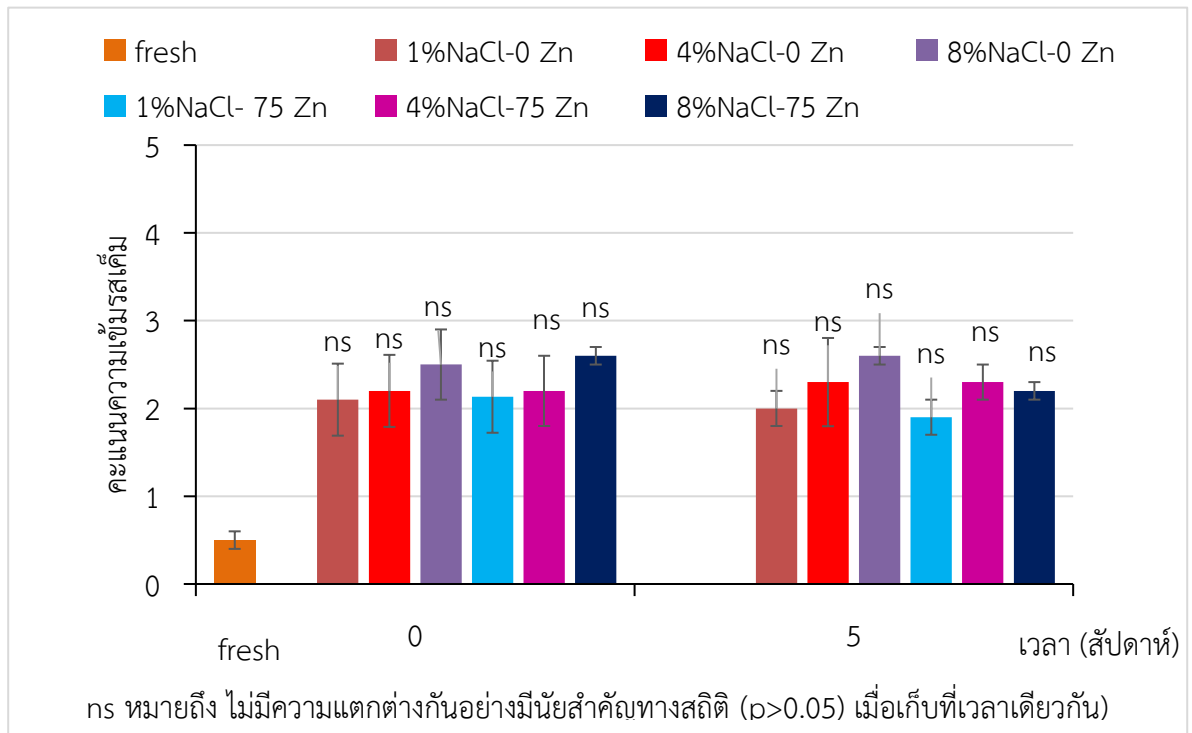
จากเกณฑ์ในการเลือกสิ่งทดลองที่กำหนดไว้ว่า ต้องเป็นสิ่งทดลองที่มีความปลอดภัยสำหรับการบริโภคตามเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนที่คล้ายกับสาหร่ายพวงองุ่นในน้ำเกลือ คือ ผลิตภัณฑ์สะเดาในน้ำเกลือ (มผช.1208/2559) รวมทั้งพิจารณาคะแนนประเมินทางประสาทสัมผัสร่วมด้วย จากผลการทดลองจึงเลือกสิ่งทดลอง 8%NaCl-75Zn สำหรับการศึกษาระดับชั้นต่อไป ตัวอย่างผลิตภัณฑ์แสดงดังภาพที่ 4-17 ซึ่งเป็นการใช้ความเข้มข้นของเกลือโซเดียมคลอไรด์ 8% ร่วมกับซิงก์อะซิเตท 75 ppm สำหรับการเตรียมสารละลายน้ำเกลือที่ปรับกรด เนื่องจากเป็นสิ่งทดลองที่มีความปลอดภัยสำหรับการบริโภคตามเกณฑ์ที่กำหนด และมีแนวโน้มที่จะสามารถรักษาสีและเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์สาหร่ายพวงองุ่นไว้ได้ดีที่สุด



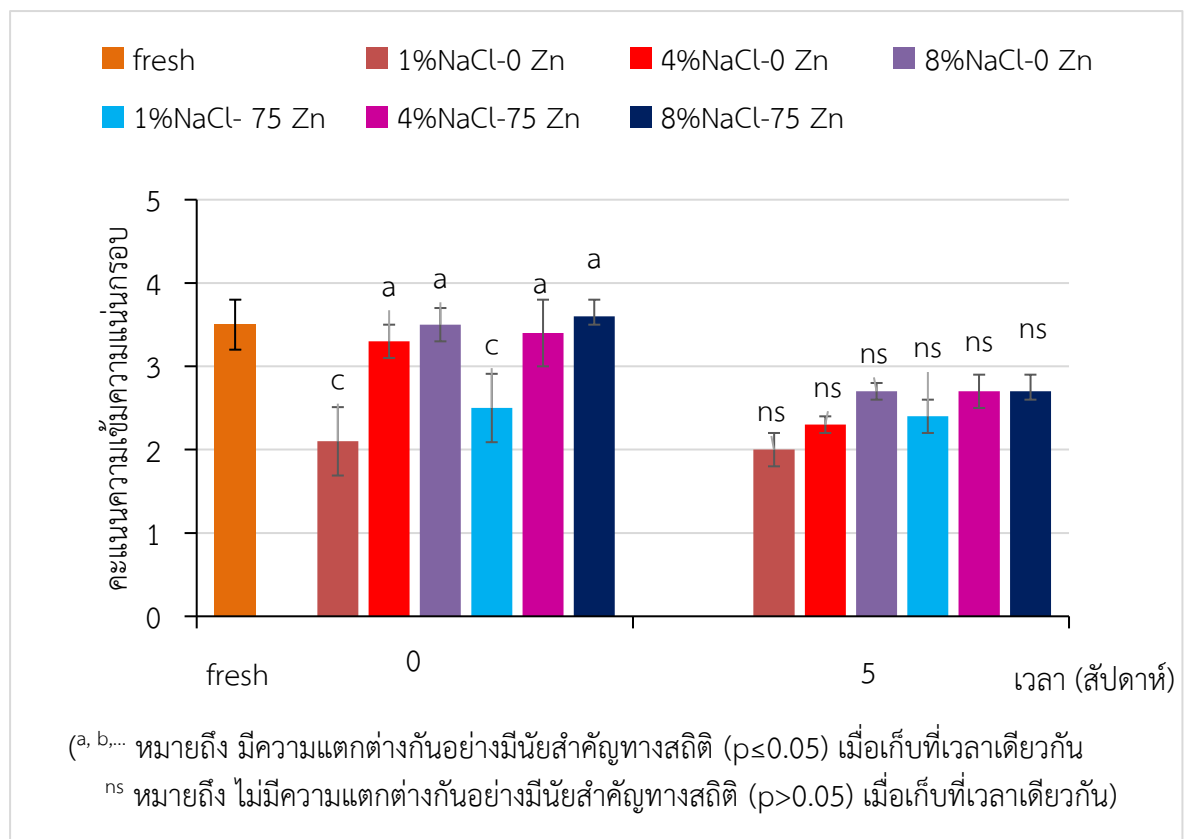
ภาพที่ 4-13 คะแนนความแข็งสีเขียวจากการประเมินทางประสาทสัมผัสของสาหร่ายพวงองุ่น
ในน้ำเกลือบรรจุขวด (หลังการคั้นรูป)



ภาพที่ 4-14 คะแนนความเข้มกลิ่นสาหร่ายจากการประเมินทางประสาทสัมผัสของสาหร่ายพวงองุ่น
ในน้ำเกลือบรรจุขวด (หลังการคั้นรูป)



ภาพที่ 4-15 คะแนนความชื้นที่เพิ่มขึ้นจากการประเมินทางประสาทสัมผัสของสาหร่ายพวงองุ่นในน้ำเกลือบรรจุขวด (หลังการคั้นรูป)



ภาพที่ 4-16 คะแนนความเข้มความแน่นกรอบจากการประเมินทางประสาทสัมผัสของสาหร่ายพวงองุ่นในน้ำเกลือบรรจุขวด (หลังการคั้นรูป)



ภาพที่ 4-17 ผลิตภัณฑ์สำหรับวางองุ่นในน้ำเกลือขวดที่ใช้เกลือโซเดียมคลอไรด์ 8% ร่วมกับซิงค์อะซิเตท 75 ppm

ตอนที่ 3 ผลการเปรียบเทียบองค์ประกอบทางเคมีและสมบัติการต้านอนุมูลอิสระของสำหรับวางองุ่นสดและสำหรับวางองุ่นในน้ำเกลือบรรจุขวดที่พัฒนาได้

จากการผลิตสำหรับวางองุ่นในน้ำเกลือบรรจุขวดโดยใช้น้ำเกลือที่ปรับกรดซึ่งเตรียมโดยใช้เกลือโซเดียมคลอไรด์ 8% และซิงค์อะซิเตท 75 ppm แล้วนำมาวิเคราะห์คุณภาพเปรียบเทียบกับสำหรับวางองุ่นสด ได้แก่ องค์ประกอบทางเคมีประมาณ ได้ผลแสดงดังตารางที่ 4-8 รวมทั้งการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ได้ผลแสดงดังตารางที่ 4-9

จากตารางที่ 4-9 พบว่า สำหรับวางองุ่นในน้ำเกลือบรรจุขวดที่พัฒนาได้มีปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมดน้อยกว่าสำหรับวางองุ่นสด ($p \leq 0.05$) เนื่องมาจากสำหรับวางองุ่นผ่านกระบวนการแปรรูปต่างๆ ทั้งการฆ่าเชื้อโดยการต้มให้ความร้อน การปรับสภาพะมีการให้เป็นกรด การแช่อยู่ในสารละลายเกลือที่ปรับกรด จึงมีโอกาทำให้เซลล์ของสำหรับวางองุ่นถูกทำลาย สารฟีนอลิกที่อยู่ในเซลล์จึงมีโอกาที่สัมผัสความร้อน กรด และสารเคมีต่างๆ จึงมีโอกาถูกทำลายหรือสูญเสียได้มาก (วันเพ็ญ แสงทองพนิจ และคณะ, 2558) ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดและสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ มักมีความเกี่ยวข้องสัมพันธ์กัน เนื่องจากสารประกอบฟีนอลิกส่วนใหญ่มีสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ โดยสามารถทำหน้าที่เป็นสารต้านหรือชะลอการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารอนุมูลได้ สารเหล่านี้มีกลไกในการต้านอนุมูลอิสระหลายแบบ เช่น ดักจับ (scavenge) อนุมูลอิสระโดยตรง ยับยั้งการสร้างอนุมูลอิสระหรือเข้าจับ (chelate) กับโลหะเพื่อป้องกันการสร้างอนุมูลอิสระ สำหรับวิจัยนี้วิเคราะห์สมบัติการต้านอนุมูลอิสระ DPPH พบว่า สำหรับวางองุ่นในน้ำเกลือบรรจุขวดที่พัฒนาได้มีสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ DPPH น้อยกว่าสำหรับวางองุ่นสด ($p \leq 0.05$) ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด

ตารางที่ 4-8 องค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณของสาหร่ายพวงองุ่นสดและสาหร่ายพวงองุ่นในน้ำเกลือบรรจุขวดที่พัฒนาได้

| องค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณ | คำนวณเป็นน้ำหนักฐานเปียก (g/100g wet basis) | | คำนวณเป็นน้ำหนักฐานแห้ง (g/100g dry basis) | |
|----------------------------|---|-----------------------------------|--|-----------------------------------|
| | สาหร่ายพวงองุ่นสด | สาหร่ายพวงองุ่นในน้ำเกลือบรรจุขวด | สาหร่ายพวงองุ่นสด | สาหร่ายพวงองุ่นในน้ำเกลือบรรจุขวด |
| ปริมาณความชื้น | 94.51±0.04 ^a | 91.84±0.06 ^b | | |
| ปริมาณโปรตีน | 0.86±0.01 ^a | 0.83±0.01 ^b | 15.73±0.18 ^a | 10.12±0.04 ^b |
| ปริมาณไขมัน | 0.07±0.01 ^a | 0.03±0.01 ^b | 1.20±0.10 ^a | 0.42±0.06 ^b |
| ปริมาณกากใยหยาบ | 0.48±0.01 ^a | 0.21±0.01 ^b | 8.74±0.14 ^a | 2.61±0.11 ^b |
| ปริมาณเถ้า | 1.68±0.01 ^a | 1.05±0.01 ^b | 30.59±0.19 ^a | 12.82±0.11 ^b |
| ปริมาณคาร์โบไฮเดรต | 2.49±0.01 ^b | 6.04±0.01 ^a | 43.74±0.32 ^b | 74.03±0.46 ^a |

^{a, b} หมายถึง ค่าเฉลี่ยจากการคำนวณในฐานน้ำหนักเดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

ตารางที่ 4-9 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและสมบัตการต้านอนุมูลอิสระของสาหร่ายพวงองุ่นสดและสาหร่ายพวงองุ่นในน้ำเกลือบรรจุขวดที่พัฒนาได้

| คุณภาพ | สาหร่ายพวงองุ่นสด | สาหร่ายพวงองุ่น ในน้ำเกลือบรรจุขวด |
|---|-------------------------|---------------------------------------|
| ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (mgGAE/100g) | 10.41±0.09 ^a | 8.86±0.05 ^b |
| สมบัตการต้านอนุมูลอิสระ DPPH (%inhibition) | 16.26±0.34 ^a | 6.46±0.06 ^b |

^{a, b} หมายถึง ค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตอนที่ 4 ผลการถ่ายทอดเทคโนโลยีและความรู้ที่ได้จากการวิจัย

ถ่ายทอดผลการวิจัยในรูปแบบขององค์ความรู้โดยการตีพิมพ์ผลงานวิจัยในวารสารทางวิชาการ รวมทั้งเข้าร่วมในการจัดนิทรรศการทางวิชาการ ตัวอย่างเช่น เข้าร่วมถ่ายทอดเทคโนโลยีผลงานวิจัยส่วนหนึ่งในโครงการ Science Project Exhibition ครั้งที่ 2 เมื่อวันที่ 20 เมษายน พ.ศ. 2562 ณ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

1) จากการศึกษาการเตรียมขั้นต้นด้วยวิธีการลวกในน้ำ (Water - blanching) การแช่ในสารละลายแมกนีเซียมคาร์บอเนต ($MgCO_3$ - soaking) การลวกในสารละลายแมกนีเซียมคาร์บอเนต ($MgCO_3$ - blanching) ต่อสีของสาหร่ายพวงองุ่นในน้ำเกลือบรรจุขวด พบว่า หลังการเตรียมขั้นต้นทุกวิธีสาหร่ายพวงองุ่นมีแนวโน้มสีเขียวสดมากขึ้นกว่าสาหร่ายพวงองุ่นสด $MgCO_3$ - soaking ทำให้สาหร่ายพวงองุ่นมีค่า ΔE น้อยที่สุดเท่ากับ 5.33 ($p \leq 0.05$) เมื่อนำมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์สาหร่ายพวงองุ่นในน้ำเกลือที่ปรับกรดบรรจุขวด พบว่า ทุกสิ่งทดลองไม่สามารถรักษาสีเขียวสดของสาหร่ายพวงองุ่นไว้ได้ โดยมีค่าสี a^* เปลี่ยนไปเป็นเฉดสีแดงหรือเกิดสีเขียวมะกอก โดยผลิตภัณฑ์สาหร่ายพวงองุ่นที่ไม่ผ่านการเตรียมขั้นต้น (No pretreatment) ทั้งก่อนและหลังการคั้นรูป มีค่า ΔE น้อยที่สุดเท่ากับ 5.24 และ 5.19 ตามลำดับ ($p \leq 0.05$) รวมทั้งมีค่าสี a^* ซึ่งแสดงความเป็นสีแดงต่ำที่สุดเท่ากับ 2.84 และ 2.65 ตามลำดับ ($p \leq 0.05$)

2) จากการศึกษาผลของความเข้มข้นของเกลือโซเดียมคลอไรด์ (1% 4% และ 8%) และซิงก์อะซิเตท (0 ppm และ 75 ppm) ต่อคุณภาพของสาหร่ายพวงองุ่นในน้ำเกลือบรรจุขวดระหว่างการเก็บรักษา ผลการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ พบว่า มีอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยด้านความเข้มข้นของเกลือโซเดียมคลอไรด์กับความเข้มข้นของซิงก์อะซิเตทต่อค่าสี L^* a^* b^* และ ΔE ของสาหร่ายพวงองุ่นในน้ำเกลือบรรจุขวด ($p \leq 0.05$) แต่ไม่มีอิทธิพลร่วมต่อ ค่า pH และปริมาณกรดทั้งหมด ($p > 0.05$) และพบว่าความเข้มข้นของเกลือโซเดียมคลอไรด์มีผลต่อค่า a_w และค่าความแน่นเนื้อ ($p \leq 0.05$)

ผลการวิเคราะห์ค่าสีของผลิตภัณฑ์สาหร่ายพวงองุ่นในน้ำเกลือบรรจุขวดหลังการผลิต พบว่า การใช้เกลือโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้น 4% และ 8% ร่วมกับซิงก์อะซิเตท 75 ppm มีผลให้สาหร่ายพวงองุ่นในน้ำเกลือหลังการผลิตมีสีเขียวมากที่สุด ($p \leq 0.05$) โดยมีค่าสี a^* อยู่ในช่วง -1.58 ถึง -1.81 แต่เมื่อเก็บรักษาตั้งแต่ 1- 5 สัปดาห์ พบว่า สาหร่ายพวงองุ่นมีสีเขียวมะกอก โดยมีค่าสี a^* อยู่ในช่วง 1.25 ถึง 1.75 โดยตลอดการเก็บรักษา 5 สัปดาห์ ทุกสิ่งทดลองมีค่า ΔE แนวโน้มเพิ่มขึ้น ส่วนปริมาณกรดทั้งหมดของทุกสิ่งทดลอง อยู่ในช่วง 0.43% - 0.59% ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) และมี ค่า pH อยู่ในช่วง 3.57- 3.78 ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ค่า a_w อยู่ในช่วง 0.93 - 0.96 โดยสิ่งทดลองที่ใช้เกลือโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้นมาก (8%) มีแนวโน้มค่า a_w ต่ำที่สุดโดยอยู่ในช่วง 0.93 - 0.94 ค่าความแน่นเนื้อตลอดการเก็บรักษาทุกสิ่งทดลองมีแนวโน้มลดลง

ผลการวิเคราะห์คุณภาพด้านจุลินทรีย์ตลอดเวลาการเก็บรักษา 5 สัปดาห์ พบว่า ผลิตภัณฑ์สาหร่ายพวงองุ่นในน้ำเกลือบรรจุขวดทุกสิ่งทดลองมีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดไม่เกินเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดไว้ โดยมีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดอยู่ในช่วง 1.08×10^1 - 7×10^2 โคโลนี/กรัม โคลิฟอร์ม โดยวิธี MPN น้อยกว่า 3 MPN/กรัม และปริมาณยีสต์และรา น้อยกว่า 10 est. โคโลนี/กรัม ผลการ

ประเมินทางประสาทสัมผัส พบว่า สิ่งทดลองที่ใช้เกลือโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้น 8% ร่วมกับ ซิงก์อะซิเตท 75 ppm มีแนวโน้มคะแนนความชุ่มชื้นและความแน่นกรอบมากกว่าสิ่งทดลองอื่น

3) จากผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี พบว่า ผลิตภัณฑ์สำหรับพายพวงอุ้งในน้ำเกลือบรรจุขวดที่ใช้เกลือโซเดียมคลอไรด์ 8% ร่วมกับซิงก์อะซิเตท 75 ppm มีปริมาณความชื้น โปรตีน ไขมัน คากใยหยาบ เถ้า สมบัติการต้านอนุมูลอิสระและปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดน้อยกว่าสำหรับพายพวงอุ้งสด ($p \leq 0.05$)

5.2 ข้อเสนอแนะ

1) วิเคราะห์ปริมาณซิงก์ของผลิตภัณฑ์สุดท้าย เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการประเมินความเพียงพอหรือการคงอยู่ในการเติมซิงก์อะซิเตทสำหรับช่วยรักษาสีระหว่างการเก็บ รวมทั้งเป็นข้อมูลในการประเมินความปลอดภัยสำหรับการบริโภคด้วย

2) หากต้องการหลีกเลี่ยงการปรับผลิตภัณฑ์ให้มีความเป็นกรด อาจต้องศึกษาการแปรรูปสำหรับพายพวงอุ้งเพื่อยืดอายุการเก็บและเพิ่มความสะดวกในการบริโภคด้วยวิธีอื่น เช่น การบรรจุในถุงรีทอร์ทเพาซ์ (retort pouch) และฆ่าเชื้อระดับ sterilization

บรรณานุกรม

- กระทรวงสาธารณสุข (2556) ประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 144 เรื่อง อาหารในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิท, สำนักอาหารสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา. กองควบคุมอาหาร.
- กระทรวงสาธารณสุข (2556) ประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 349) เรื่อง วิธีการผลิตเครื่องมือเครื่องใช้ในการผลิตและการเก็บรักษาอาหารในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิทชนิดที่มีความเป็นกรดต่ำและชนิดที่ปรับกรด.สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา. สำนักอาหาร.
- กระทรวงสาธารณสุข (2556) ประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 355) เรื่อง อาหารในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิท.สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา. สำนักอาหาร. (2556)
- นิสราภรณ์ ภักดีพันธ์. (2554). *การเจริญเติบโตและคุณค่าทางอาหารของสาหร่ายพวงองุ่น*. วิทยานิพนธ์การศึกษามหาบัณฑิต, สาขาวิทยาศาสตร์การประมง, บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- นิธิยา รัตนาปนนท์. (2549). *เคมีอาหาร* (พิมพ์ครั้งที่ 2). กรุงเทพฯ: โอเดียนสโตร์.
- ปรรัตน์ ศุภมิตรโยธิน. (2556). *เทคโนโลยีผักและผลไม้*. กรุงเทพฯ: โอเดียนสโตร์.
- วันเพ็ญ แสงทองพินิจ, บาคารีย์ ศรีเจริญและมัทรี กร่างปรีชา. (2560). *ผลของการลวกในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ต่อปริมาณฟีนอลิก และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของไข่น้ำ (Wolffia globosa)*. การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- สุพล ตันสุวรรณ, มณฑกานติ ท้ามตัน และสันติภาพ แซ่เฮ้า. (2555). *สาหร่ายพวงองุ่น*. วันที่ค้นข้อมูล 7 สิงหาคม 2557, เข้าถึงได้จาก http://www.fisheries.go.th/cf-coastal_feed
- มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน. heetdong. มผช. 286/2547. ส านักงานมาตรฐาน ผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม.
- เยาวดี รุ่งเรือง. (2552). *ปัจจัยที่มีผลต่อการสกัดคลอโรฟิลล์และความคงตัวของสารสกัดคลอโรฟิลล์จากผักเหมียง*. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอาหาร มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- AOAC. (1990). Official Method of Analysis (15thed.). Arlington, Viyginia, USA: The Association of official Analysis Chemists.
- AOAC. (2000). Official methods of analysis. Washington, DC: Association of official analytical chemists.
- AOAC. (2002). Official Method of Analysis of AOAC International. 17th ed. Horwitz, William: Association of Official Analytical Chemistrs.
- BAM. (2001). Bacteriological Analytical Manual Online Edition 2001(US-FDA), Total Plate Count or Aerobic Chapter 3

BAM. (2001). Bacteriological Analytical Manual Online Edition 2001(US-FDA), Yeast, Mold and Mycotoxins Chapter18.

Bacteriological Analytical Manual (BAM) online. 2002. *Laboratory Method*. US Food and Drug Administration. Retrieved January 18, 2019, from <http://www.fda.gov/Food/FoodScienceResearch/LaboratoryMethods/ucm064948.htm>

Kanavouras, A., Gazouli, M., Leonidas, L.T., & Petrakis, C. (2005). Evaluation of black table olives in different brines. *Grasas y Aceites*, 56(2), 106-115.

Karagozler, A.A., B. Erdag, Y.C. Emek and D.A. Uygun, 2008. Antioxidant activity and proline content of leaf extracts from *Dorystoechoashastata*. *Food Chemistry* 111, 400-407.

Ratana-arporn D. S., & Chirapart A. L. (2006). Growth Performance of *Caulerpa lentillifera* (lato) in lowered seawater pH. *Annual Review of Nutrition*, 310, 357-382.

Valemei, D. (2011). *Caulerpa Value Chain Review 2011: Fiji & Samoa*. Australian Centre for International Agricultural Research.

Vargas, M., Chiralt, A., Albors, A. & Martinez, C.G. (2009). Effect of chitosan-based edible coating applied by vacuum impregnation on quality preservation of fresh-cut carrot. *Postharvest Biology and Technology*, 51, 263-271