บทที่ 4
ผลการทดลองและวิจารณ์

4.1 ศึกษาคุณภาพทางกายภาพและทางเคมีของเนื้อลิ้นจี่

วิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพของลิ้นจี่พันธุ์ฮงฮวย โดยวัดสีของเนื้อลิ้นจี่ ได้ค่าสี L เท่ากับ 43.79 ค่าสี C เท่ากับ 2.85 และค่าสี h เท่ากับ 114.9 สำหรับผลการวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีแสดงดังตารางที่ 4.1

ตาราง 4.1 ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีของเนื้อลิ้นจี่พันธุ์ฮงฮวย

องค์ประกอบทางเคมี	ปริมาณ
โปรตีน (g/100g)	0.95±0.60
เส้นใย (g/100g)	0.04±0.70
กรดแอสคอร์บิก (mg/100g)	20.54±1.28
ความเป็นกรดด่าง (pH)	4.62±0.27
ปริมาณกรดทั้งหมดในรูปกรดมาลิก (%)	0.31±0.42
ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ ($^{\circ}$Brix)	16.00±1.41
น้ำตาลรีดิวซ์ (g/100g)	8.92±0.25
น้ำตาลทั้งหมด (g/100g)	12.89±0.44

การวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมีของเนื้อลิ้นจี่ สามารถบอกระยะความแก่อ่อนของผลลิ้นจี่ที่นำมาใช้ในงานทดลองได้ โดยความแก่อ่อนของลิ้นจี่จะมีผลต่อความผันแปรของการเติมกรดซิตริกและน้ำตาลในขั้นตอนกระบวนการผลิตของการเตรียมน้ำเชื่อม เพื่อปรับค่าสมดุลย์ของผลิตภัณฑ์ลิ้นจี่ให้มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้เท่ากับ 21 $^{\circ}$Brix และ pH เท่ากับ 3.8 และจากการวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีของเนื้อลิ้นจี่ พบว่าลิ้นจี่มีผลที่แก่สมบูรณ์เต็มที่ สอดคล้องกับงานทดลองของเบญจมาศ (2544) ที่ศึกษาส่วนประกอบทางเคมีของลิ้นจี่พันธุ์ฮงฮวยที่มีผลแก่เต็มที่ และผลที่แก่ไม่เต็มที่ โดยการวิเคราะห์ผลแก่เต็มที่พบว่าค่าความเป็นกรดด่าง (pH) เท่ากับ 4.70 ปริมาณกรดทั้งหมดในรูปกรดมาลิกเท่ากับ 0.48% ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ เท่ากับ 16.50 $^{\circ}$Brix น้ำตาลรีดิวซ์เท่ากับ 9.88% น้ำตาลทั้งหมดเท่ากับ 12.35% และผลการวิเคราะห์ลิ้นจี่ผลแก่ไม่เต็มที่ พบว่าค่า

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

pH เท่ากับ 4.28 ปริมาณกรดทั้งหมดในรูปกรดมาลิกเท่ากับ 0.55% ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ เท่ากับ 16.50 ^{o}Brix น้ำตาลรีดิวซ์เท่ากับ 9.71% และน้ำตาลทั้งหมดเท่ากับ 12.06% เช่นเดียวกับงานทดลองของศุภรัตน์ (2544) ได้วิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมีของลิ้นจี่พันธุ์ฮงฮวย พบว่าปริมาณน้ำตาลกลูโคส เท่ากับ 3.31% ปริมาณน้ำตาลฟรุคโตส เท่ากับ 6.77% ปริมาณน้ำตาลซูโครส เท่ากับ 4.99% ปริมาณกรดแอสคอร์บิก เท่ากับ 17.98 mg/ 100g และปริมาณโปรตีนเท่ากับ 1.05% ซึ่งสอดคล้องกับผลในตาราง 4.1

4.2 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ลิ้นจี่

4.2.1 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ในระหว่างการเก็บรักษา

4.2.1.1 การวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ลิ้นจี่ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (28±2^{o}C) และอุณหภูมิ 37^{o}C

4.2.1.1.1 ความเป็นสุญญากาศ

ความเป็นสุญญากาศที่อุณหภูมิห้อง (28±2^{o}C) และอุณหภูมิ 37^{o}C มีค่าไม่แตกต่างกัน โดยมีค่า 10.0 – 14.0 นิ้วของปรอท ซึ่งเป็นไปตามข้อกำหนดความเป็นสุญญากาศ 10-15 นิ้วของปรอท จากการไล่อากาศนาน 8 นาที วัดอุณหภูมิกึ่งกลางกระป๋องประมาณ 80 - 85^{o}C ความเป็นสุญญากาศมีความสัมพันธ์กับปริมาณกาซออกซิเจนในอาหารกระป๋อง โดยค่าความเป็นสุญญากาศขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพการไล่อากาศ รวมถึงปัจจัยอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง เช่น ลักษณะของชิ้นอาหาร และวิธีการไล่อากาศร่วมกับการปิดฝาในขณะร้อนมีแนวโน้มที่จะกำจัดปริมาณกาซออกซิเจนออกได้มากขึ้น โดยปกติค่าสุญญากาศไม่ควรต่ำกว่า 5 นิ้วของปรอท (กรมพาณิชย์สัมพันธ์, 2531) เช่นเดียวกับกรมส่งเสริมอุตสาหกรรม (2539) รายงานว่าในอุตสาหกรรมกระป๋องส่วนมากจะกำหนดให้ความเป็นสุญญากาศที่ 10-20 นิ้วของปรอท แสดงไว้ในภาคผนวก ง

4.2.1.1.2 ช่องว่างเหนืออาหารภายในภาชนะบรรจุ

ช่องว่างเหนืออาหารภายในกระป๋อง (head space) พบว่าการเก็บรักษาที่ระยะเวลาต่างๆ และอุณหภูมิในการเก็บรักษาไม่มีผลทำให้ช่องว่างเหนืออาหารมีความแตกต่างกัน โดยกระป๋องดีบุกและกระป๋องเคลือบแลคเกอร์ มีค่าใกล้เคียงกันและไม่แตกต่างกัน มีค่าเท่ากับ 5.0 – 9.5 มิลลิเมตร (mm) ส่วนภาชนะบรรจุกระป๋องและขวดแก้วมีช่องว่างเหนืออาหารแตกต่างกัน ซึ่งขวดแก้วมีค่ามากที่สุดเท่ากับ 15.0 – 19.5 มิลลิเมตร อาจเนื่องจากลักษณะรูปร่างของกระป๋องและขวดแก้วมีความแตกต่างกัน โดยเฉพาะขวดแก้วปริมาณปากขวดที่มีส่วนของแก้วยื่นออกมาจากคอขวดเพื่อยึดฝาให้แน่น การควบคุมช่องว่างเหนืออาหารภายในกระป๋องมีความสำคัญต้องให้มีความสม่ำเสมอ ถ้าช่อง

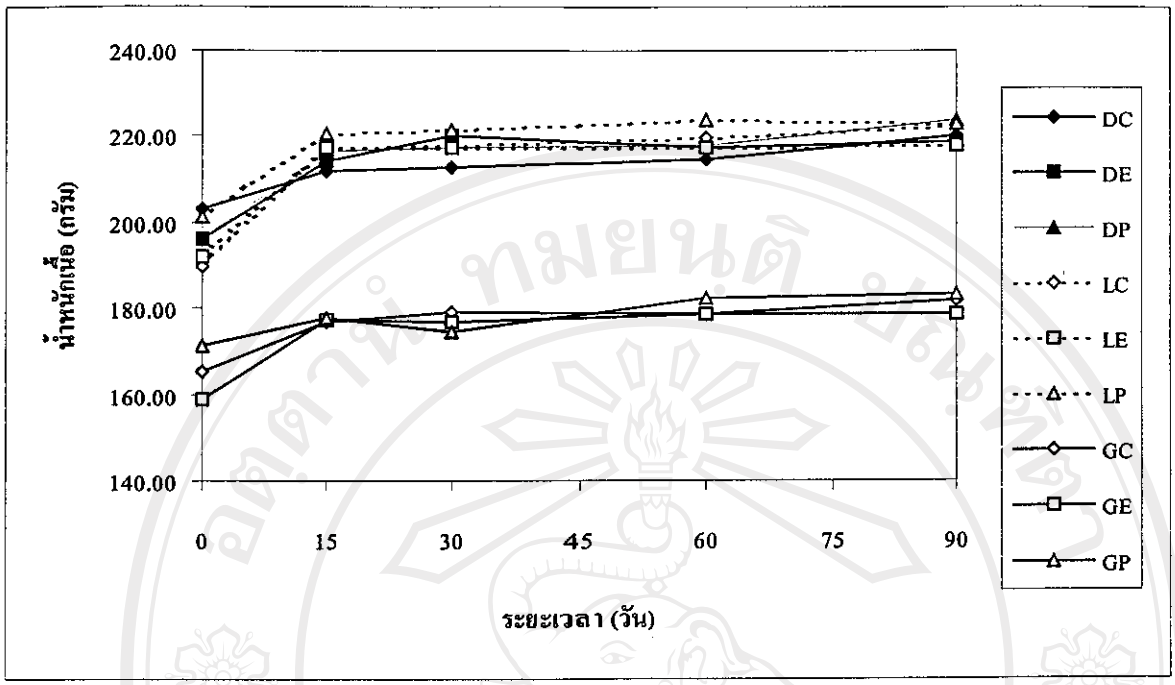
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ว่างเหนืออาหารภายในกระป๋องมากเกินไปอาจจะทำให้ไล่อากาศไม่หมดส่งผลเสียต่อผลิตภัณฑ์ภายใน ซึ่งในการบรรจุน้ำเชื่อมจะต้องท่วมผลไม้และต้องเหลือที่ว่างเหนือผิวของกระป๋องเพื่อเป็นเนื้อที่ของอาหารสำหรับขยายตัวในระหว่างการฆ่าเชื้อและทำให้เกิดสภาวะสุญญากาศขึ้นหลังจากปิดฝากระป๋อง สภาพของสุญญากาศนี้ช่วยลดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของอาหารจากปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ และโดยทั่วไปจะควบคุมปริมาณของก๊าซออกซิเจนในช่องว่างเหนืออาหารภายในกระป๋องอยู่ในช่วง 6.3 – 9.5 มิลลิเมตร ถ้ามีออกซิเจนมากเกินไปจะทำให้ผลิตภัณฑ์อาหารเกิดการเปลี่ยนสีหรือเสื่อมคุณภาพเร็วกว่ากำหนด (กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม, 2539) แสดงไว้ในภาคผนวก ง

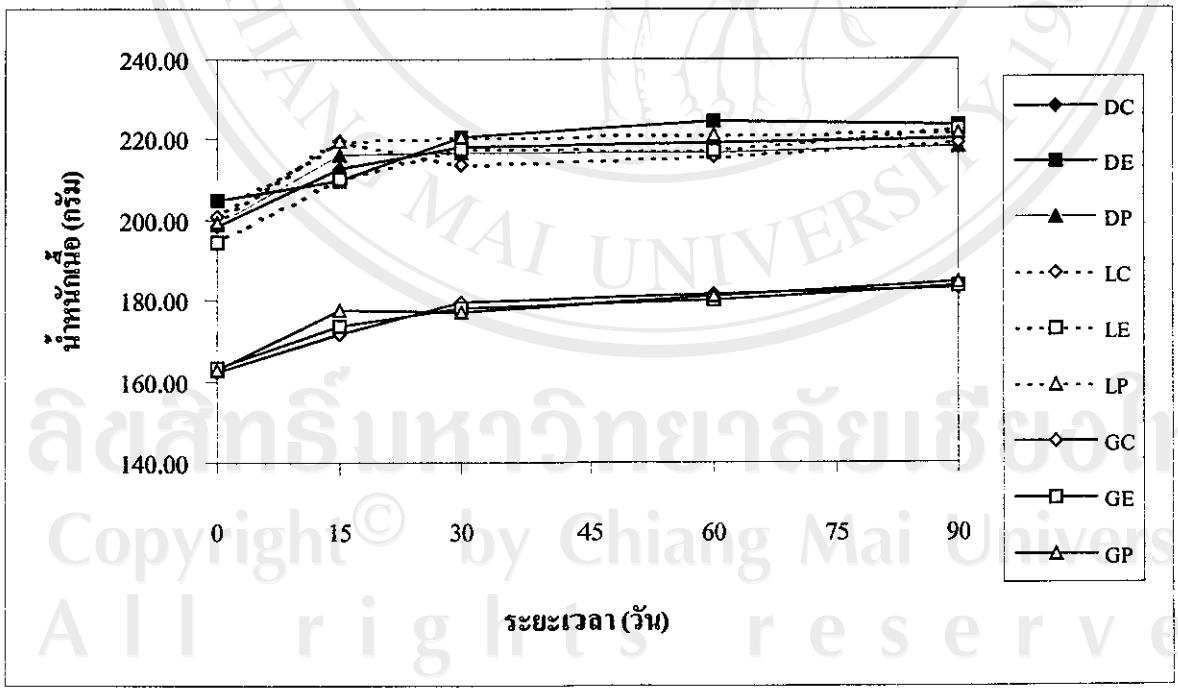
4.2.1.1.3 น้ำหนักเนื้อลิ้นจี่ (Drain weight) และน้ำหนักสุทธิ (Net weight)

ผลของความร้อนในกระบวนการฆ่าเชื้อทำให้น้ำหนักเนื้อลิ้นจี่ (Drain weight) ลดลงหลังจากผลิตวันแรก ทั้งนี้เกิดจากการสูญเสียน้ำของเนื้อลิ้นจี่ และจากการชั่งน้ำหนักเนื้อลิ้นจี่บรรจุขวดแก้วเท่ากับ 200 กรัม และกระป๋องเท่ากับ 250 กรัม มีการสูญเสียน้ำหนักเนื้อ 14-24% และเมื่อระยะเวลาเก็บรักษานานขึ้นมีผลทำให้การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักเนื้อลิ้นจี่มีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น สำหรับน้ำหนักสุทธิ (Net weight) เป็นน้ำหนักรวมของเนื้อลิ้นจี่และน้ำเชื่อม (ภาคผนวก ง) ซึ่งในการเติมน้ำเชื่อมลงกระป๋องได้มีการชั่งน้ำหนักและควบคุมระดับช่องว่างเหนืออาหาร (head space) น้อยกว่า 10 มิลลิเมตร จึงมีผลทำให้น้ำหนักสุทธิแต่ละทรีทเมนท์มีความแตกต่างกันตามลักษณะของภาชนะบรรจุ เมื่อลิ้นจี่ในน้ำเชื่อมที่มีความเข้มข้นสูงกว่าจึงทำให้เกิดการแพร่ของน้ำออกจากเซลล์ ปริมาตรของสิ่งที่มีอยู่ภายในเซลล์ลดลงส่งผลให้แรงเต่งของเซลล์ลดลงและเกิดการเหี่ยวย่นของผลไม้ (สินธนา, 2542) ซึ่งเห็นได้ชัดเจนหลังจากเก็บรักษาวันแรก และเมื่อเพิ่มเวลาการเก็บรักษา น้ำหนักของลิ้นจี่เพิ่มขึ้นมากในระยะเวลา 15 วัน หลังจากนั้นน้ำหนักของเนื้อลิ้นจี่เพิ่มขึ้นเล็กน้อย ส่งผลให้ลักษณะเนื้อสัมผัสของเนื้อลิ้นจี่มีความเต่งมากขึ้นจากวันแรก ทั้งนี้เป็นเพราะน้ำเชื่อมช่วยควบคุมแรงดันออสโมติกของเซลล์ให้คงที่ ภายหลังจากที่เกิดการแพร่ของน้ำและสารต่างๆ ออกจากเนื้อเยื่อผลไม้เข้าสู่น้ำเชื่อมแล้ว ขณะเดียวกันเกิดการแพร่ของน้ำเชื่อมเข้าสู่เนื้อเยื่อของผลไม้จนเกิดสมดุลย์ของแรงดันออสโมติก จึงทำให้เนื้อลิ้นจี่มีลักษณะดีขึ้น และมีแนวโน้มของน้ำหนักเนื้อลิ้นจี่เพิ่มขึ้นจากการเก็บรักษาที่ระยะเวลานานขึ้น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



รูป 4.1 การเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักเนื้อลิ้นจี่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (28±2°C) ที่ระยะเวลาต่างๆ



ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

รูป 4.2 การเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักเนื้อลิ้นจี่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 37° C ที่ระยะเวลาต่างๆ

จากรูป 4.1 – 4.2 พบว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 37°C ไม่มีผลแตกต่างจากการเก็บที่อุณหภูมิห้อง (28±2°C) ซึ่งแนวโน้มของข้อมูลเป็นลักษณะเดียวกัน คือในวันแรกมีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักเนื้อลิ้นจี่มาก แต่เมื่อเก็บรักษาที่ระยะเวลานานขึ้นมีผลให้น้ำหนักเนื้อลิ้นจี่เพิ่มขึ้นจากวันแรก และทำให้น้ำหนักเนื้อเพิ่มขึ้นเล็กน้อยหลังจากเก็บรักษาไว้ตั้งแต่ 30 วัน ขึ้นไป จากข้อมูลสรุปได้ว่าการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ลิ้นจี่ที่ระยะเวลาต่างๆ ที่อุณหภูมิห้อง (28±2°C) และอุณหภูมิ 37°C พบว่าน้ำหนักเนื้อลิ้นจี่ในกระป๋องหรือในขวดแก้วมีน้ำหนักน้อยกว่าน้ำหนักเนื้อลิ้นจี่ที่บรรจุ เนื่องจากเกิดการสูญเสียน้ำและสารอาหารบางส่วนออกจากเนื้อเยื่อลิ้นจี่ในระหว่างการฆ่าเชื้อและการเก็บรักษา ซึ่งจากข้อมูลของงานทดลองนี้สามารถนำไปเป็นแนวทางในการประมาณน้ำหนักของลิ้นจี่สดที่บรรจุในภาชนะ เพื่อให้เป็นไปตามฉลากที่ระบุไว้ข้างกระป๋องของข้อกำหนดการแสดงน้ำหนักสุทธิบนฉลากอาหารของคณะกรรมการอาหารและยา ตามประกาศกระทรวงสาธารณสุขฉบับที่ 144 พ.ศ. 2535 เรื่องอาหารในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิทซึ่งได้กำหนดการมีน้ำหนักเนื้ออาหารไว้สำหรับผลไม้กระป๋องชนิดทั้งผลมีเนื้อผลไม้ไม่น้อยกว่า 40% ของน้ำหนักสุทธิ (ส่วนพัฒนามาตรฐานอาหารและสนับสนุนการกำกับดูแล, 2545) นอกจากนี้ปริมาตรบรรจุอาหารในกระป๋องยังมีผลต่อการถ่ายเทความร้อนระหว่างกระบวนการฆ่าเชื้อด้วยเช่นกัน ดังนั้นในการบรรจุต้องคำนึงถึงการตรวจสอบน้ำหนักบรรจุก่อนการบรรจุจริงและมีการควบคุมปริมาตรของผลไม้ในแต่ละกระป๋องอย่างเข้มงวด

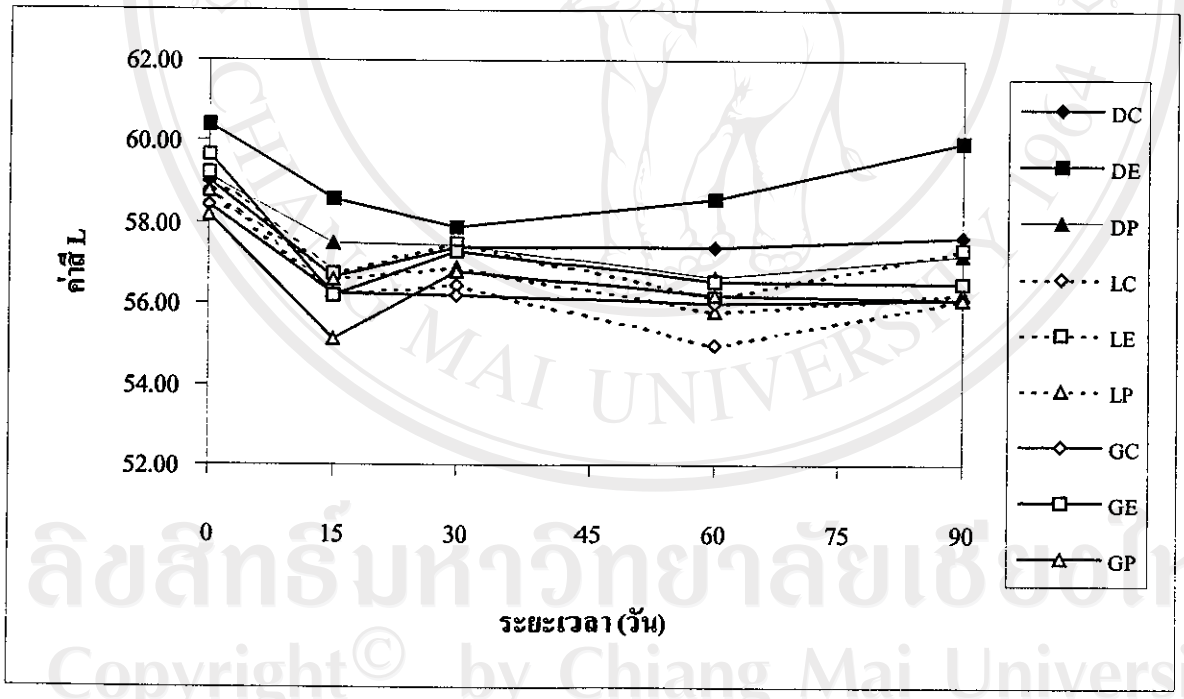
4.2.1.1.4 คุณภาพด้านสี

การวัดค่าสีเนื้อลิ้นจี่บรรจุกระป๋องเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (28±2°C) และอุณหภูมิ 37°C โดยค่าสี L (Lightness) แสดงถึงความสว่างมีค่าระหว่าง 0 (มืด) ถึง 100 (สว่างมาก) ค่า C (Chroma) แสดงถึงความเข้มของสีนั้น ส่วนค่า h (hue) แสดงเฉดสีต่างๆ วัดเป็นองศาโดย h = 0° มีสีแดง, h = 90° มีสีเหลือง, h = 180° มีสีเขียว และ h = 270° มีสีน้ำเงิน

จากรูป 4.3 ถึง 4.5 การเปลี่ยนแปลงค่าสีของเนื้อลิ้นจี่กระป๋องที่อุณหภูมิห้อง (28±2°C) พบว่าระยะเวลาการเก็บรักษาที่เพิ่มขึ้น ค่าสี L และค่าสี h มีแนวโน้มของเนื้อลิ้นจี่ลดลง ส่วนค่าสี C มีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงไม่ชัดเจนมากนัก โดยที่เวลาเก็บรักษาวันแรก เนื้อลิ้นจี่ทั้ง 9 ทรีทเมนต์ ไม่มีความแตกต่างกัน พบค่าสี L อยู่ในช่วง 58.20-60.41 ค่าสี C อยู่ในช่วง 5.25-6.05 และ ค่าสี h อยู่ในช่วง 128.44-136.26 เมื่อเวลาเก็บรักษา 90 วัน พบว่าค่าสี L อยู่ในช่วง 56.10-59.95 ค่าสี C อยู่ในช่วง 5.42-7.15 และค่าสี h อยู่ในช่วง 115.42-126.69 ผลิตภัณฑ์ที่เก็บรักษาจึงมีความสว่างของเนื้อลิ้นจี่ลดลง และเฉดสีของเนื้อลิ้นจี่เปลี่ยนจากเฉดสีเขียวเหลืองเป็นเฉดสีเหลืองน้ำตาล ทำให้ผลิตภัณฑ์มีสีเข้มหรือคล้ำลง สำหรับ ทรีทเมนต์ที่มีค่าสี L มากที่สุด ที่ระยะเวลา 90 วัน คือ ลิ้นจี่บรรจุกระป๋องดีบุกและเติมโซเดียมอิริทอร์เบท 0.20% (DE) เท่ากับ 59.95 และรองลงมาคือ ลิ้นจี่บรรจุกระป๋องดีบุกและ

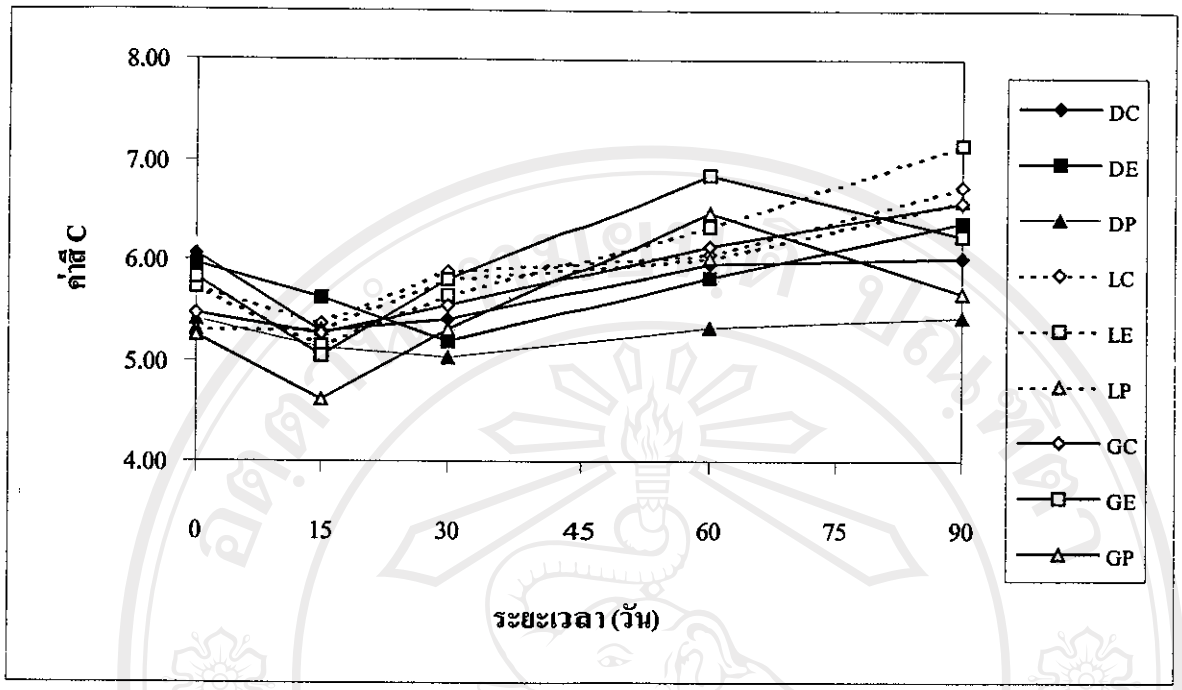
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เติมกรดแอสคอร์บิก 0.20% (DC) ลิ้นจี่บรรจุกระป๋องเคลือบแลคเกอร์และเติมโซเดียมอิริทอร์เบท 0.20% (LE) ลิ้นจี่บรรจุกระป๋องดีบุกและเติมโซเดียมเฮกซะเมตาฟอสเฟต 0.20% (DP) และลิ้นจี่บรรจุขวดแก้วและเติมโซเดียมอิริทอร์เบท (GE) มีค่าเท่ากับ 57.66 57.36 57.22 และ 56.51 ตามลำดับ ส่วนค่าสี h ของทรีทเมนต์ DP DC และ DE เท่ากับ 126.69 125.76 และ 125.06 ตามลำดับ ทรีทเมนต์แต่ละชุดไม่มีความแตกต่างกัน ดังนั้นการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิห้องนาน 90 วัน สรุปได้ว่า สีของเนื้อลิ้นจี่ทรีทเมนต์ DE มีความสว่างมากกว่าทรีทเมนต์อื่นๆ และถ้าเก็บรักษาที่เวลานานขึ้นมีผลทำให้เนื้อลิ้นจี่มีค่าสี L ลดลง ปรากฏว่าผลิตภัณฑ์มีสีคล้ำลงซึ่งสอดคล้องกับงานทดลองของดรุณี (2545) การเปลี่ยนสีของเนื้อลิ้นจี่ชิ้นแตกบรรจุกระป๋องดีบุก 300x407 ระยะเวลา 12 เดือน ที่อุณหภูมิห้อง (28±2°C) พบว่าค่าสี L ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ทำให้สีของผลิตภัณฑ์คล้ำลงตามระยะเวลาการเก็บรักษาที่เพิ่มขึ้น เช่นเดียวกับศุภรัตน์ (2544) ศึกษาลิ้นจี่ในน้ำเชื่อมบรรจุกระป๋องดีบุก 307x409 ที่ระยะเวลา 6 เดือน เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (28±2°C) พบว่าค่าสี L ของผลิตภัณฑ์มีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

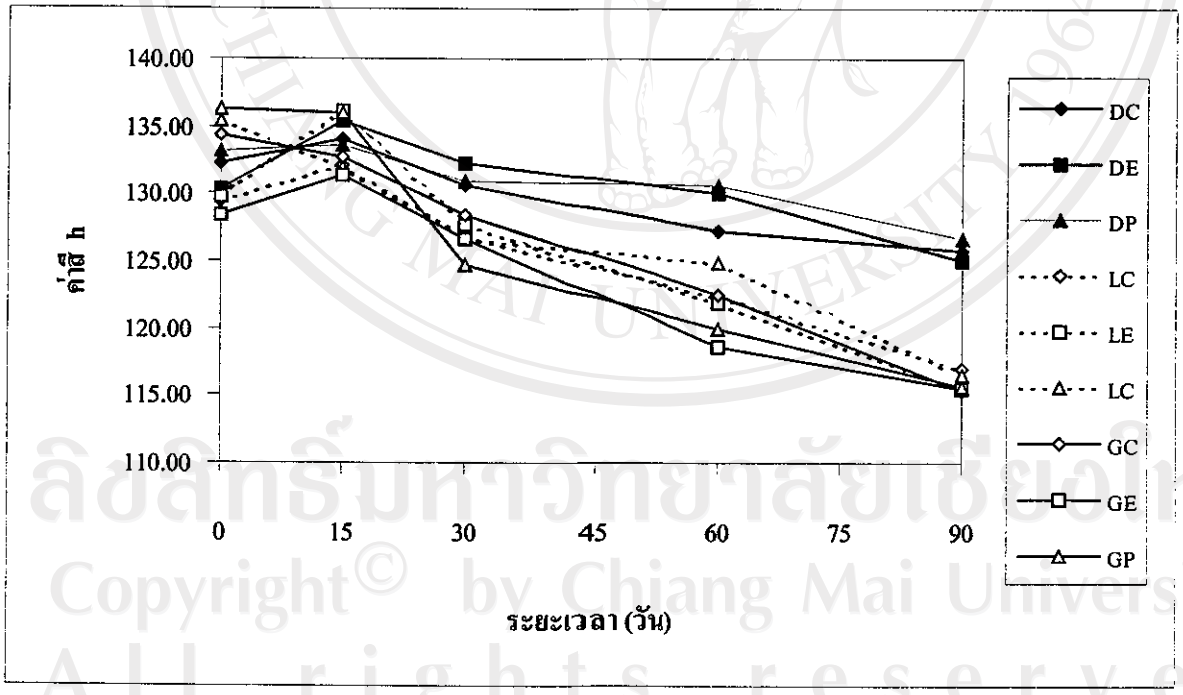


รูป 4.3 การเปลี่ยนแปลงค่าสี L ของเนื้อลิ้นจี่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (28±2°C) ที่ระยะเวลาต่างๆ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



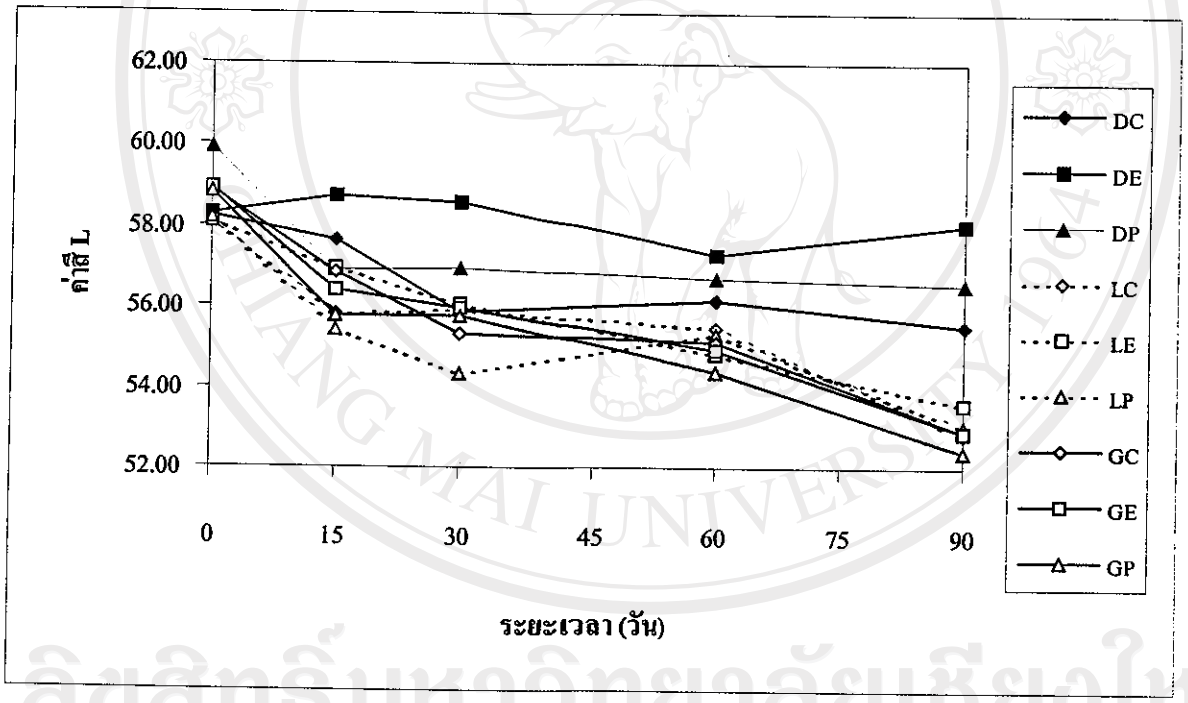
รูป 4.4 การเปลี่ยนแปลงค่าสี C ของเนื้อลิ้นจี่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (28±2°C) ที่ระยะเวลาต่างๆ



รูป 4.5 การเปลี่ยนแปลงค่าสี h ของเนื้อลิ้นจี่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (28±2°C) ที่ระยะเวลาต่างๆ

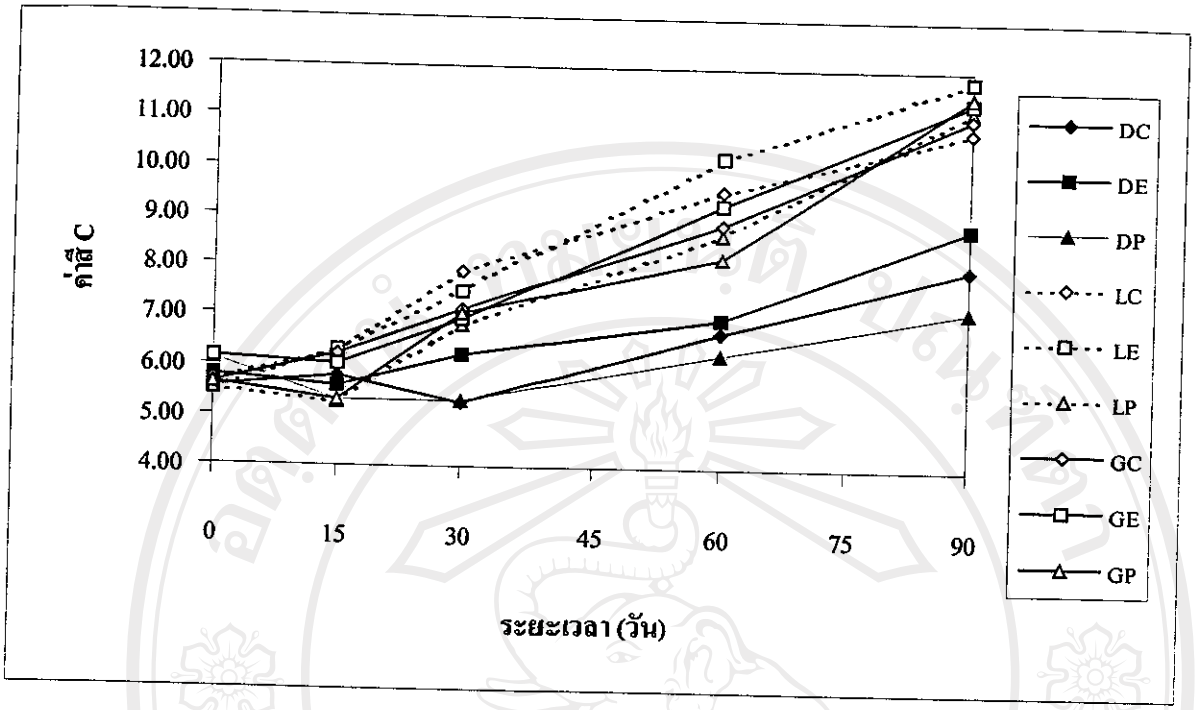
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

จากรูป 4.6 ถึง 4.8 การเปลี่ยนสีของเนื้อลิ้นจี่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 37°C พบว่า ที่ระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ค่าสี L และ h ของเนื้อลิ้นจี่มีแนวโน้มลดลง ส่วนค่าสี C มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ทำให้สีของผลิตภัณฑ์มีสีคล้ำลง โดยที่ระยะเวลา 90 วัน ค่าสี L ของทรีทเมนต์ DE มีค่ามากที่สุดเท่ากับ 58.06 และรองลงมาคือ DP และ DC มีค่าเท่ากับ 56.57 และ 55.53 ตามลำดับ สรุปจากการทดลองทรีทเมนต์ DE มีสีของเนื้อลิ้นจี่สว่างกว่าทรีทเมนต์อื่นๆ เมื่อเปรียบเทียบผลของการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (28±2°C) และอุณหภูมิ 37°C ที่ระยะเวลาเพิ่มขึ้นพบว่า ค่า L และ h มีแนวโน้มลดลงเหมือนกันทั้ง 9 ทรีทเมนต์ และ ค่าสี L ที่มากที่สุดของทั้ง 2 อุณหภูมิ คือทรีทเมนต์ DE แต่การเก็บรักษาที่อุณหภูมิสูงมีผลทำให้ค่าสี L น้อยกว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ เป็นผลให้สีของเนื้อลิ้นจี่คล้ำกว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ ดังนั้นจึงควรเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ไว้ที่อุณหภูมิต่ำ เพื่อช่วยชะลอการเปลี่ยนสีของผลิตภัณฑ์ให้เกิดขึ้นช้า

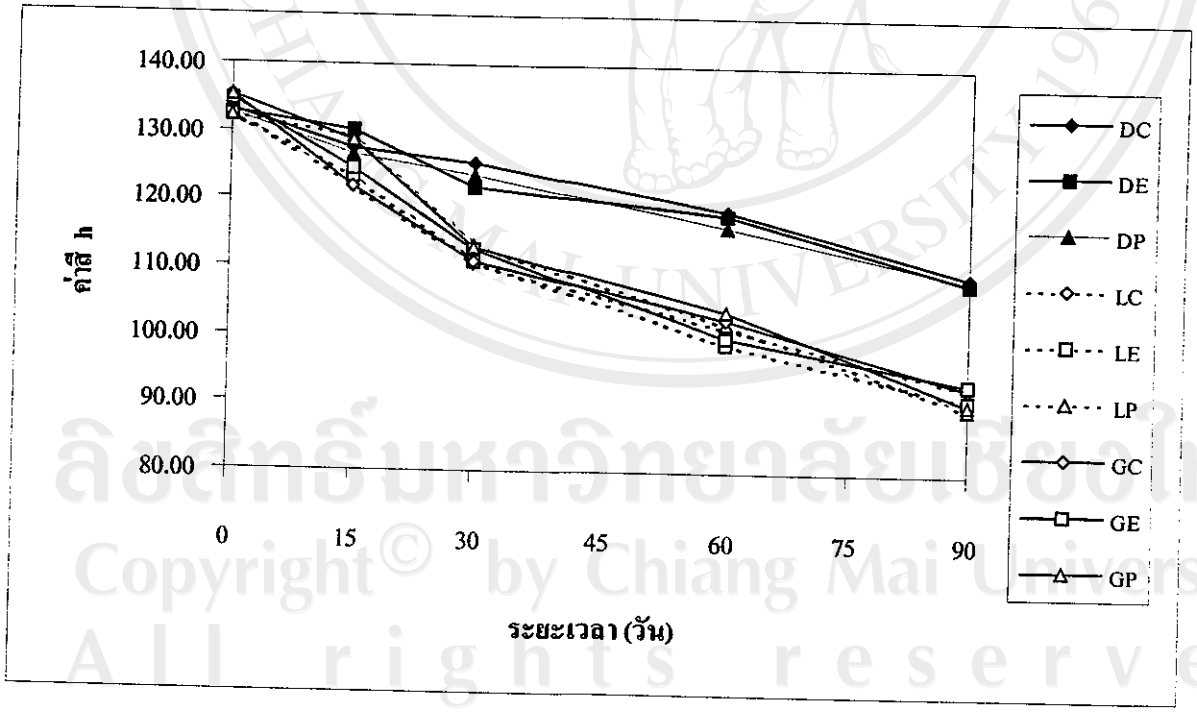


รูป 4.6 การเปลี่ยนแปลงค่าสี L ของเนื้อลิ้นจี่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 37°C ที่ระยะเวลาต่างๆ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



รูป 4.7 การเปลี่ยนแปลงค่าสี C ของเนื้อลิ้นจี่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 37°C ที่ระยะเวลาต่างๆ



รูป 4.8 การเปลี่ยนแปลงค่าสี h ของเนื้อลิ้นจี่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 37°C ที่ระยะเวลาต่างๆ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.2.1.2 คุณภาพทางเคมีของผลิตภัณฑ์ลิ้นจี่ระหว่างเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (28±2°C) และอุณหภูมิ 37°C

4.2.1.2.1 ค่า pH ปริมาณกรดทั้งหมดในรูปกรดซิตริก และปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ (TSS)

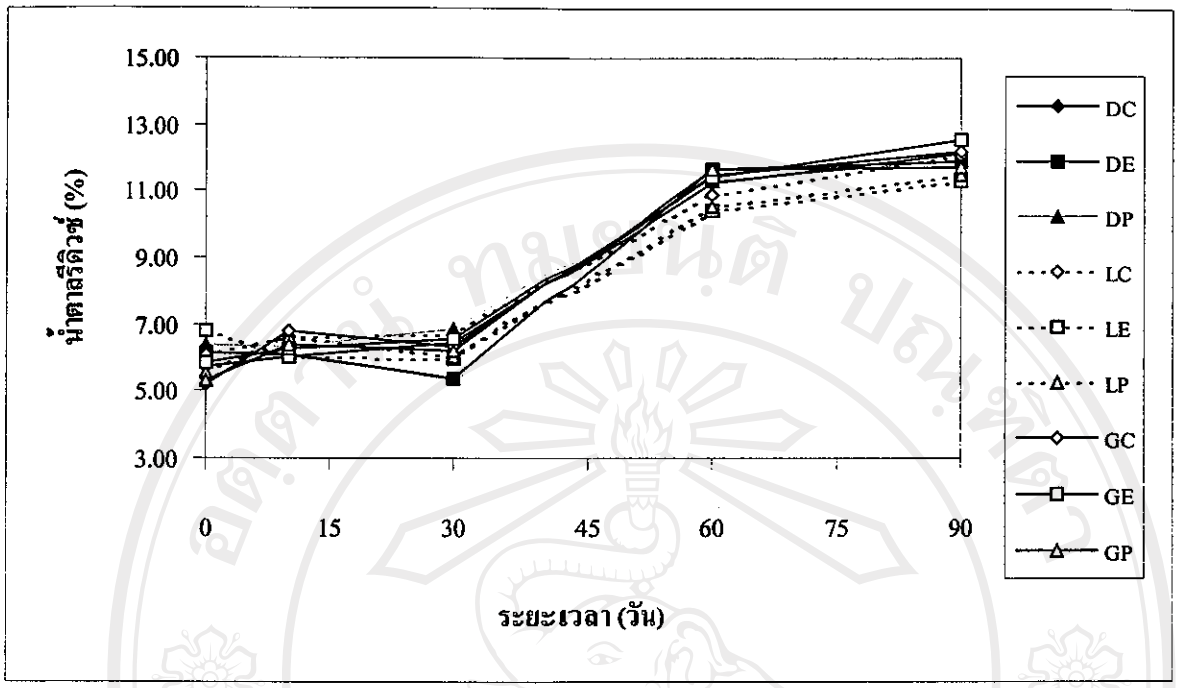
การเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ลิ้นจี่ที่ระยะเวลาต่างๆ ที่อุณหภูมิห้อง (28±2°C) ค่า pH ปริมาณกรดทั้งหมดในรูปกรดซิตริก และปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ (TSS) มีค่าใกล้เคียงกันทุกทรีทเมนต์ไม่มีความแตกต่างกัน โดยค่า pH เท่ากับ 3.71 – 4.02 ปริมาณกรดทั้งหมดในรูปกรดซิตริก เท่ากับ 0.26 – 0.47 และ ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ เท่ากับ 21.5 – 22.5°Brix (ภาคผนวก ง) เป็นเพราะว่าในกระบวนการผลิตลิ้นจี่ขั้นตอนของการเตรียมน้ำเชื่อม มีการควบคุมกำหนดค่าเริ่มต้นเท่ากัน คือ ค่า pH เท่ากับ 3.8 และ ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ เท่ากับ 21°Brix โดยคำนวณจุดสมดุลย์ของเนื้อลิ้นจี่กับน้ำเชื่อมต่อกระป๋องหรือขวดแก้ว (ภาคผนวก ก) จึงทำให้ผลไม่แตกต่างกัน เฉพาะในแต่ละทรีทเมนต์อาจมีความผันแปรของค่าต่างๆ เล็กน้อย ทั้งนี้เกิดจากความแตกต่างของความแก่-อ่อนของผลลิ้นจี่ ซึ่งสังเกตจากขนาดของผลไม่สม่ำเสมอเท่าที่ควร เป็นผลให้ค่าเริ่มต้นของวัตถุดิบมีความแตกต่างกัน สำหรับลิ้นจี่พันธุ์ฮงฮวยที่นำมาทดลองมีค่า pH ประมาณ 4.62 ปริมาณกรดทั้งหมดในรูปกรดมาลิก 0.31% และ ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ ประมาณ 16 °Brix ซึ่งผลลิ้นจี่ที่นำมาทดลองส่วนใหญ่เป็นผลแก่จัดสอดคล้องกับรายงานของ อรอนุช (2535) กล่าวว่า ระดับความแก่อ่อนของผลลิ้นจี่แบ่งเป็นเริ่มแก่ แก่พอดี และแก่จัด โดยมีค่า pH เฉลี่ย เท่ากับ 3.47 3.68 และ 4.03 ตามลำดับ

การเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ลิ้นจี่ตามระยะเวลาต่างๆ ที่อุณหภูมิ 37°C ไม่มีผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงค่า pH ปริมาณกรดทั้งหมดในรูปกรดซิตริก และปริมาณของแข็งที่ละลายได้ โดยมีค่าเท่ากับ 3.71 – 4.02 0.28 – 0.44 และ 21.0 – 22.6 °Brix ตามลำดับ (ภาคผนวก ง) จะเห็นว่าผลที่ได้ไม่แตกต่างจากการเก็บที่ห้อง เช่นเดียวกับงานทดลองของ Kaanane *et al.* (1988) ศึกษาการสูญเสียคุณภาพของน้ำส้มพาสเจอร์ไรส์บรรจุขวด เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 22 35 และ 45 °C ระยะเวลา 14 สัปดาห์ พบว่าค่า pH ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ และปริมาณกรดทั้งหมด ไม่มีความแตกต่างตามเวลาและอุณหภูมิที่ต่างกัน

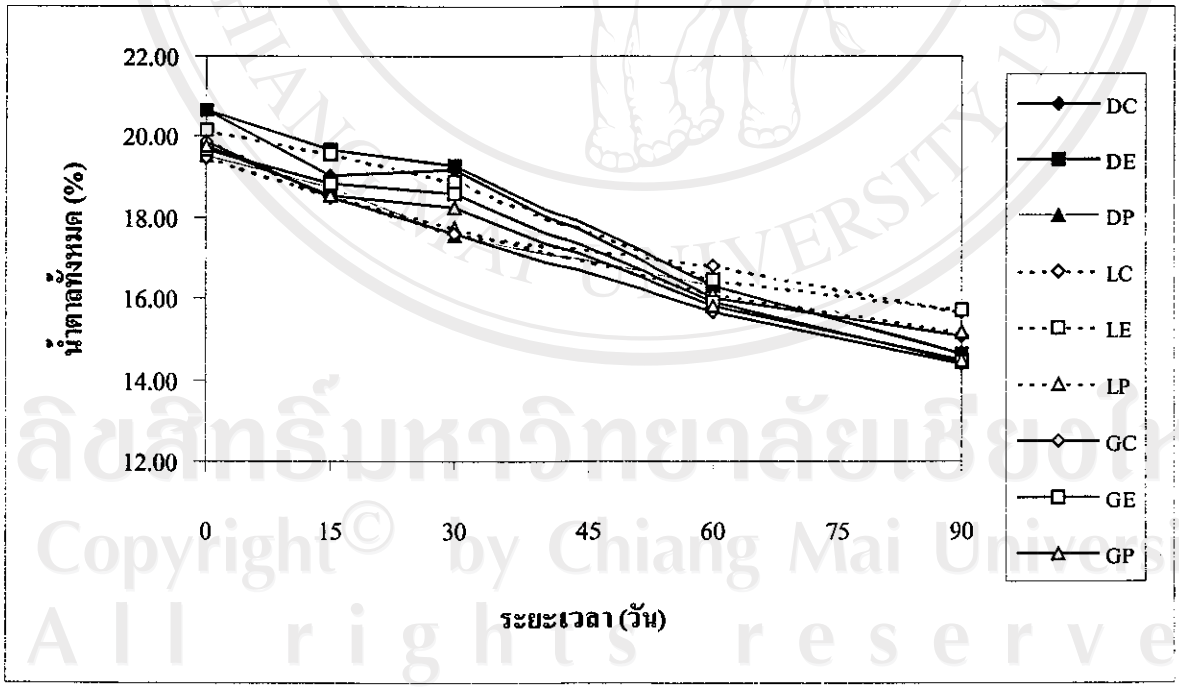
4.2.1.2.2 น้ำตาลรีดิวซ์ และน้ำตาลทั้งหมด

จากรูป 4.9 และ 4.10 ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์และน้ำตาลทั้งหมดของเนื้อลิ้นจี่กระป๋องเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (28±2°C) พบว่าเวลาเก็บรักษาที่นานขึ้นมีแนวโน้มปริมาณของน้ำตาลรีดิวซ์เพิ่มขึ้น ส่วนปริมาณน้ำตาลทั้งหมดมีแนวโน้มลดลง ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์และปริมาณน้ำตาลทั้งหมด

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



รูป 4.9 การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ของเนื้อลิ้นจี่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (28±2°C) ที่ระยะเวลาต่างๆ



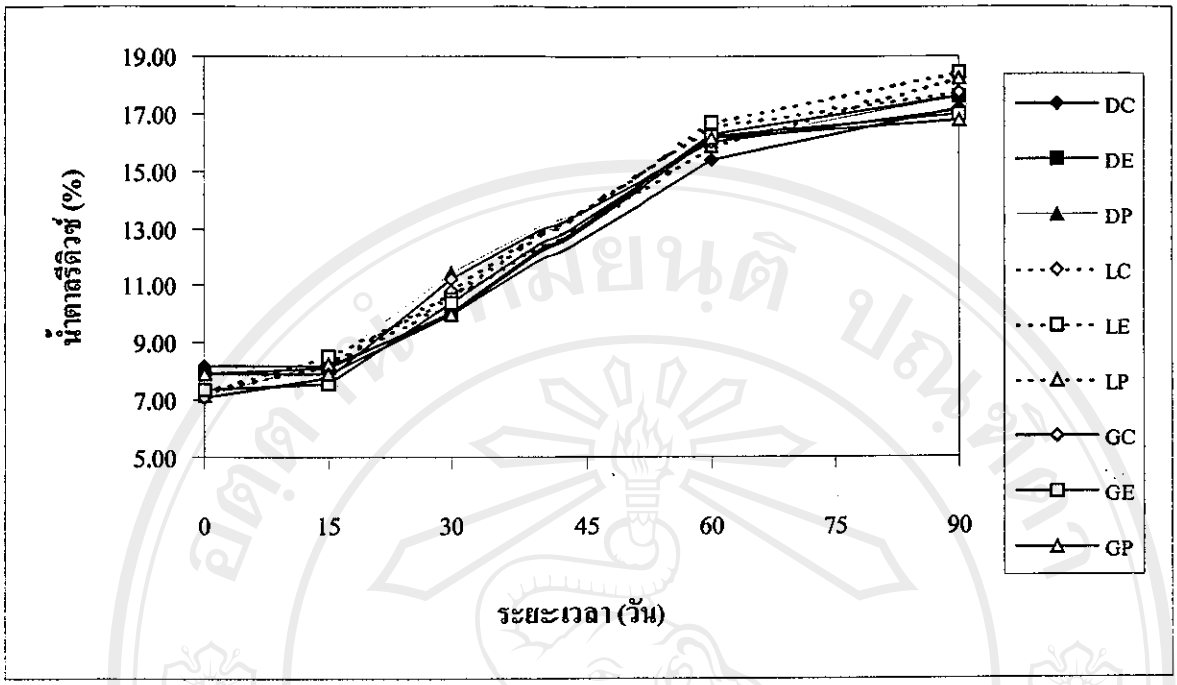
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

รูป 4.10 การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำตาลทั้งหมดของเนื้อลิ้นจี่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (28±2°C) ที่ระยะเวลาต่างๆ

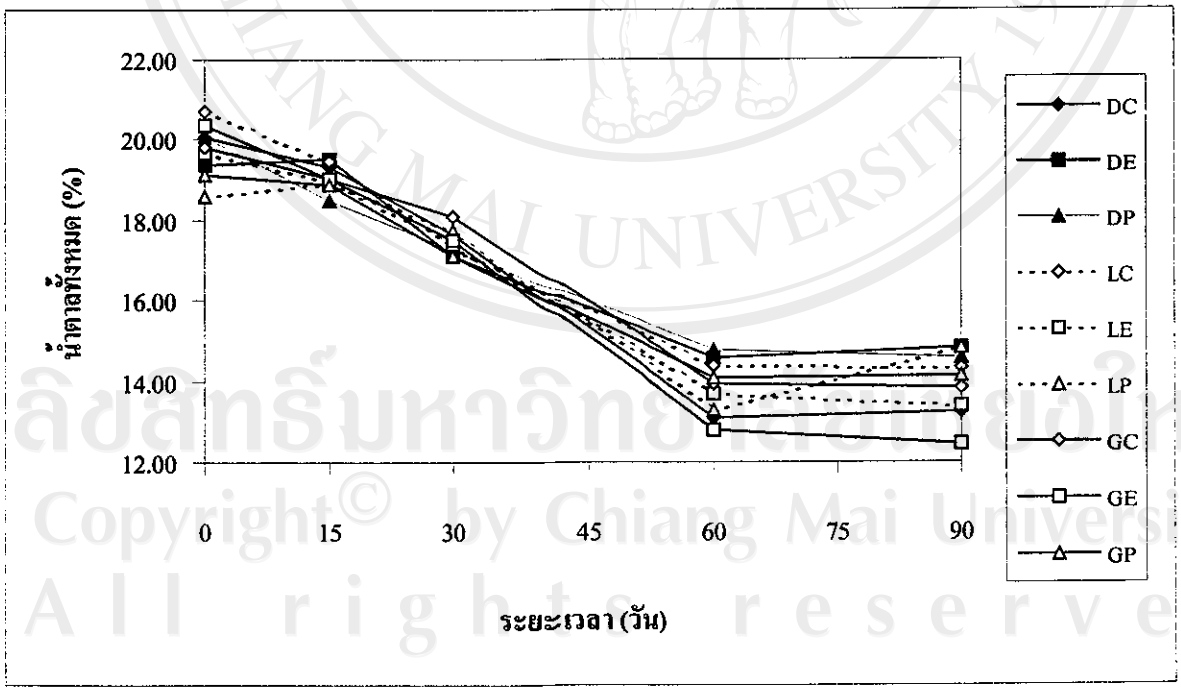
ของทุกทรีทเมนต์ไม่มีความแตกต่างกัน โดยการเก็บรักษาวันแรก มีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์และน้ำตาลทั้งหมดเท่ากับ 5.21-6.78% และ 19.47-20.68% ตามลำดับ หลังจากเก็บรักษานาน 90 วัน มีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์และน้ำตาลทั้งหมดเท่ากับ 11.32-12.58% 14.39-15.69% ตามลำดับ อัตราการเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์และปริมาณน้ำตาลทั้งหมดค่อนข้างช้าและคงที่ในช่วงระยะเวลา 30 วันแรก แต่หลังจากเก็บรักษาไว้ที่ 60 วัน มีการเปลี่ยนแปลงเร็ว อาจเป็นผลมาจากน้ำตาลซูโครสที่ใช้ในการเตรียมน้ำเชื่อม เมื่อผ่านกระบวนการฆ่าเชื้อด้วยความร้อนและประกอบกับกรดที่อยู่ในผลไม้และที่เติมในน้ำเชื่อม ทำให้เกิดการไฮโดรไลส์ของน้ำตาลซูโครสบางส่วนไปเป็นกลูโคสและฟรุคโตส สอดคล้องกับงานของดรุณี (2545) ทดลองลิ้นจี่ชิ้นแตกและตีป่นบรรจุกระป๋อง พบว่าการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ไว้ 2 เดือนแรก ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์มีค่าเพิ่มขึ้น ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดมีค่าลดลง เช่นเดียวกับศุภรัตน์ (2544) ศึกษาลิ้นจี่ในน้ำเชื่อมบรรจุกระป๋องระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 6 เดือน พบน้ำตาลกลูโคสและน้ำตาลฟรุคโตสมีค่าเพิ่มขึ้น ส่วนน้ำตาลซูโครสมีค่าลดลง

จากรูป 4.11 และ 4.12 การเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ที่ระยะเวลาต่างๆ ที่อุณหภูมิ 37°C มีผลทำให้แนวโน้มของปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์เพิ่มขึ้น และแนวโน้มของปริมาณน้ำตาลทั้งหมดลดลงเช่นกัน ผลของแต่ละทรีทเมนต์ไม่มีความแตกต่างกัน โดยการเก็บรักษาวันแรก มีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์และน้ำตาลทั้งหมดเท่ากับ 7.11-8.19% และ 18.59-20.69% ตามลำดับ หลังจากเก็บรักษานาน 90 วัน มีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์และน้ำตาลทั้งหมดเท่ากับ 16.79-18.47% และ 12.43-14.82% ตามลำดับ การเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 37°C มีผลทำให้เกิดการ hydrolysis ของน้ำตาลซูโครสเร็วกว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (28±2°C) คือ 30 วัน ส่วนการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (28±2°C) การ hydrolysis เริ่มที่ 60 วัน แสดงว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิสูงมีผลเร่งให้น้ำตาลซูโครสเปลี่ยนแปลงเร็วกว่าเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ ดังเช่น Hunter *et al.* (1996) ทดลองลูกแพร์ (pear) บรรจุถุงรีทอร์ทเพาท์ในน้ำเชื่อม 18-22 °Brix pH 3.5 และ 4.0 เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 21 และ 38°C ระยะเวลา 12 เดือน พบว่าเวลาและอุณหภูมิการเก็บรักษามีผลต่อการเปลี่ยนแปลงน้ำตาลซูโครส โดยน้ำตาลซูโครสมีค่าคงที่ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงที่อุณหภูมิการเก็บรักษา 4°C แต่ถ้าเก็บที่อุณหภูมิ 38°C น้ำตาลซูโครสมีค่าลดลงมาก ทำให้ปริมาณกลูโคสและฟรุคโตสเพิ่มขึ้น เช่นเดียวกับ Kaanane *et al.* (1988) ศึกษาคุณภาพของน้ำส้ม (orange juice) บรรจุขวดพาสเจอร์ไรส์เก็บที่อุณหภูมิ 4 22.5 35 และ 45°C พบว่าหลังจากเก็บไว้ 30 วัน ที่อุณหภูมิ 45°C ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์เท่ากับปริมาณน้ำตาลทั้งหมดและหลังจากเก็บรักษาไว้ 14 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิ 4°C มีการเพิ่มขึ้นของน้ำตาลรีดิวซ์ 8±5 กรัม/ลิตร ถ้าที่อุณหภูมิ 45°C มีน้ำตาลรีดิวซ์ 50±5 กรัม/ลิตร เป็นต้น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



รูป 4.11 การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ของเนื้อลิ้นจี่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 37°C ที่ระยะเวลาต่างๆ



รูป 4.12 การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำตาลทั้งหมดของเนื้อลิ้นจี่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 37°C ที่ระยะเวลาต่างๆ

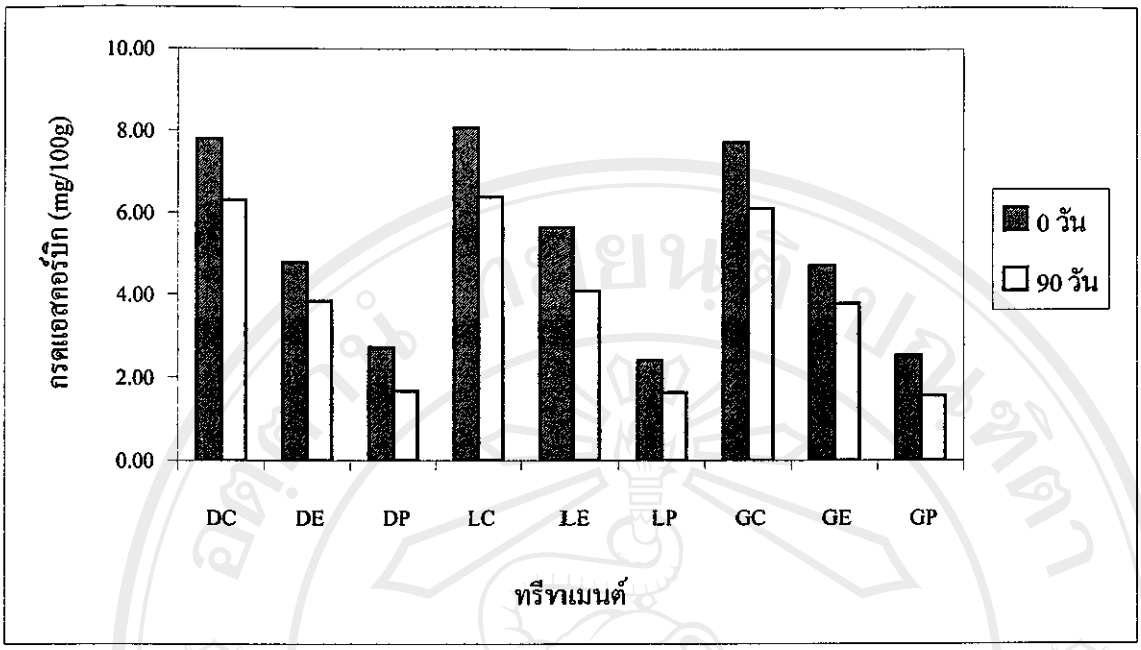
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ไว้เป็นเวลานานที่อุณหภูมิสูง เป็นผลให้ผลิตภัณฑ์มีสีเข้มขึ้น ส่วนใหญ่เกิดจากปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่ไม่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์ (nonenzymatic browning) โดยมีน้ำตาลรีดิวซ์เข้าร่วมทำปฏิกิริยากับส่วนประกอบอื่นๆ ของอาหารในปฏิกิริยาเมลลาร์ด น้ำตาลซูโครสที่อยู่ในผลิตภัณฑ์จะยังไม่สามารถเข้าร่วมในปฏิกิริยาได้จนกว่าน้ำตาลซูโครสจะถูกไฮโดรไลส์เป็นน้ำตาลรีดิวซ์ก่อน (Lee and Nagy, 1988; Garza *et al.*, 1999) Babsky *et al.* (1986) พบว่าน้ำตาลรีดิวซ์ประกอบด้วยกลูโคสและฟรุคโตสในท้อปั่นลดลงจากกระบวนการให้ความร้อนมีความสัมพันธ์โดยตรงต่อการเปลี่ยนสีของผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่ไม่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์และการลดลงของน้ำตาลรีดิวซ์นี้ สามารถเป็นดัชนีชี้บ่งถึงปฏิกิริยาการเปลี่ยนสีได้

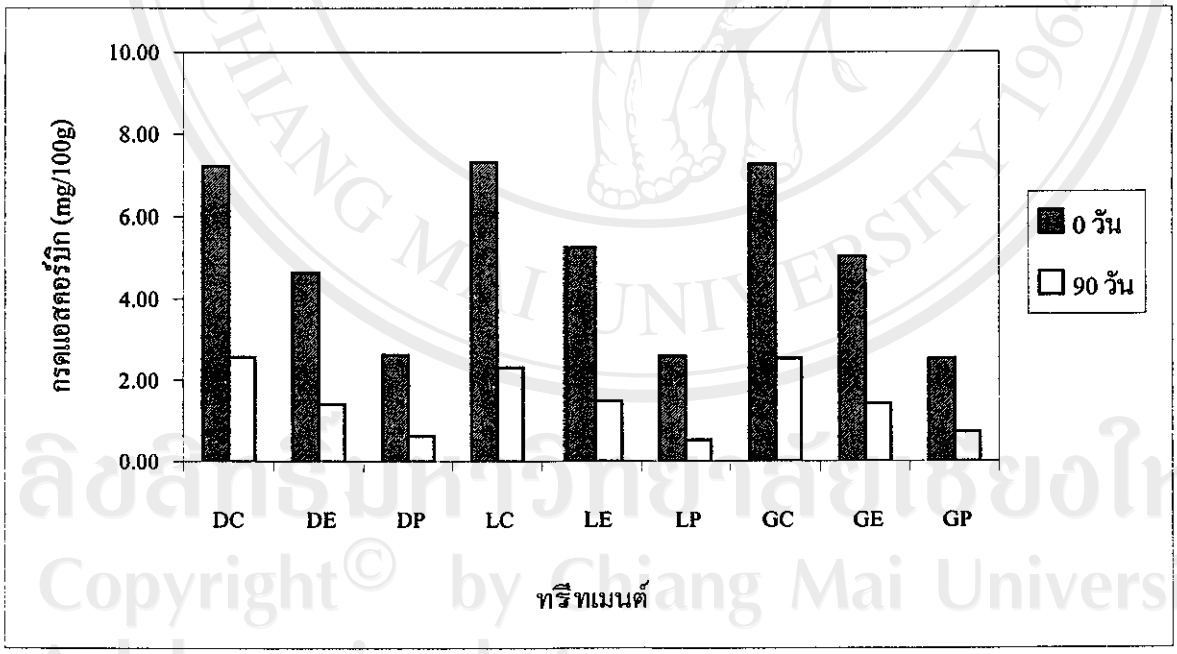
4.2.1.2.3 ปริมาณกรดแอสคอร์บิก

จากรูป 4.13 พบว่าการเติมกรดแอสคอร์บิก โซเดียมอิริทอร์เบท และโซเดียมเฮกซะเมตาฟอสเฟตที่ปริมาณ 0.20% (w/w) ในน้ำเชื่อม มีผลให้ปริมาณกรดแอสคอร์บิกที่เหลืออยู่มีความแตกต่างกัน และปริมาณของกรดแอสคอร์บิกมีแนวโน้มค่าลดลง เมื่อเวลาการเก็บรักษานานขึ้นที่อุณหภูมิห้อง โดยลิ้นจี่ที่มีการเติมกรดแอสคอร์บิก 0.20% (w/w) มีปริมาณกรดแอสคอร์บิกเหลืออยู่มากที่สุด คือทรีทเมนต์ DC LC และ GC ที่เวลา 0 วัน และ 90 วัน มีปริมาณกรดแอสคอร์บิกเหลืออยู่เท่ากับ 7.72 – 7.79 และ 6.11 – 6.38 mg/100g ตามลำดับ รองลงมาได้แก่ลิ้นจี่ที่มีการเติมโซเดียมอิริทอร์เบท 0.20% (w/w) สำหรับภาชนะบรรจุลิ้นจี่ คือ กระป๋องดีบุก กระป๋องเคลือบแลคเกอร์ และขวดแก้ว จากการเติมแอนติออกซิแดนท์มีปริมาณกรดแอสคอร์บิกที่เหลืออยู่ไม่แตกต่างกัน ซึ่งสอดคล้องกับรัตน์จิกา (2535) ผลของการเติมกรดแอสคอร์บิก โซเดียมอิริทอร์เบท และกรดแอสคอร์บิกร่วมกับโซเดียมอิริทอร์เบทในสับปะรดบรรจุกระป๋อง ทำให้ปริมาณกรดแอสคอร์บิกที่ลดลงแตกต่างกัน นอกจากนี้ศุภรัตน์ (2544) และสิรินดา (2538) พบว่าปริมาณกรดแอสคอร์บิกของลิ้นจี่พันธุ์ฮงฮวยและผลไม้ต่างๆ บรรจุกระป๋องมีค่าลดลงตามระยะเวลาการเก็บรักษาที่เพิ่มขึ้น สำหรับลิ้นจี่ในระหว่างการเก็บรักษานาน 6 เดือน ปริมาณของกรดแอสคอร์บิกจากวันเริ่มต้นมีค่า 2.35 mg/100g ลดลงเหลือ 0.57 mg/100 g

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



รูป 4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกรดแอสคอร์บิกที่เหลืออยู่ของเนื้อลิ้นจี่ เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (28±2°C) ที่ระยะเวลาต่างๆ



ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

รูป 4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกรดแอสคอร์บิกที่เหลืออยู่ของเนื้อลิ้นจี่ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 37°C ที่ระยะเวลาต่างๆ

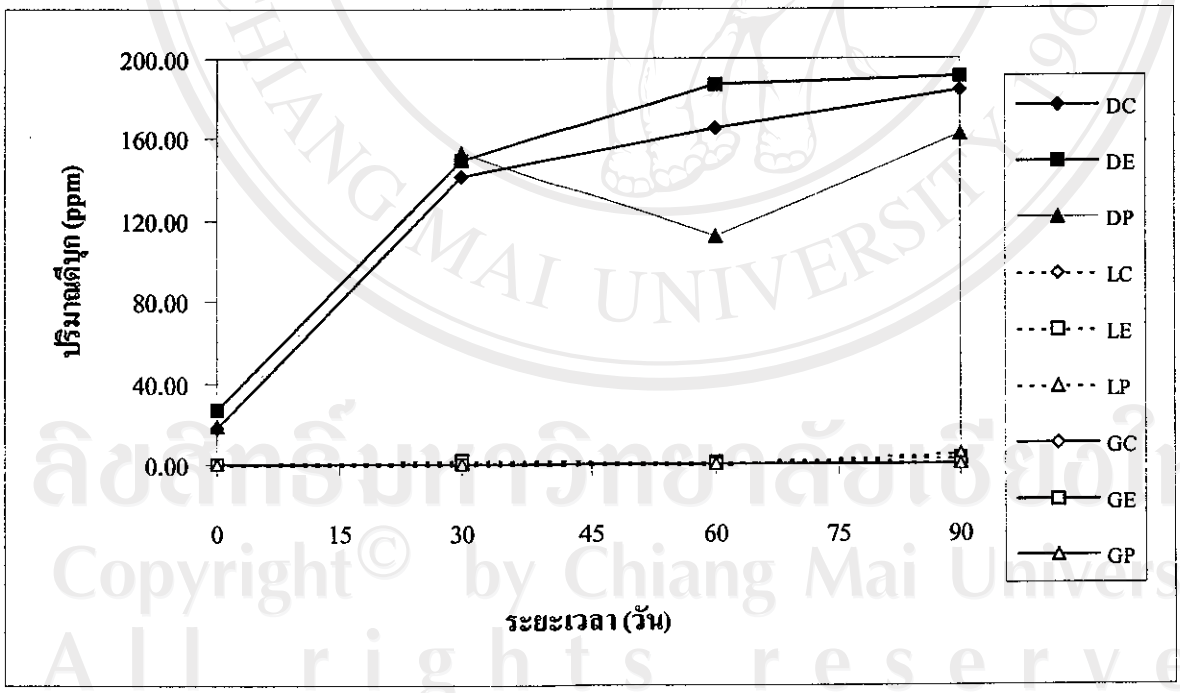
จากรูป 4.14 พบว่าเมื่อเวลาการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ที่ 37°C นานขึ้น ปริมาณกรดแอสคอร์บิกมีค่าลดลงและปริมาณกรดแอสคอร์บิกที่เหลืออยู่มีความแตกต่างกัน โดยทรีทเมนต์ที่มีการเติมกรดแอสคอร์บิก 0.20% (w/w) มีปริมาณกรดแอสคอร์บิกเหลืออยู่มากที่สุดคือ DC LC และ GC ที่เวลา 0 วัน และ 90 วัน มีปริมาณกรดแอสคอร์บิกเหลืออยู่เท่ากับ 7.23 – 7.32 และ 2.31 – 2.53 mg/100g ตามลำดับ รองลงมาได้แก่ลิ้นจี่ที่มีการเติมโซเดียมอิริทอร์เบท 0.20% (w/w) และโซเดียมเฮกซะเมตาฟอสเฟต 0.20% (w/w) การเก็บรักษาที่อุณหภูมิสูงมีผลให้ปริมาณกรดแอสคอร์บิกลดลงหรือเกิดการสลายตัวมากกว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ เนื่องจากอุณหภูมิสูงจะเร่งปฏิกิริยาการสลายตัวของกรดแอสคอร์บิกมากขึ้น กรดแอสคอร์บิกจัดเป็นวิตามินที่ไม่เสถียรถูกออกซิไดส์ได้ง่ายโดยความร้อน ปริมาณออกซิเจน แสงสว่าง ตัวเร่งปฏิกิริยาพวกโลหะหนัก ได้แก่ เหล็ก (Fe^{3+}) และทองแดง (Cu^{2+}) เป็นต้น มีผลให้เปลี่ยนรูปเป็นกรดดีไฮโดรแอสคอร์บิก (dehydroascorbic acid) และหากกรดดีไฮโดรแอสคอร์บิกถูกออกซิไดส์ต่อเป็นกรดไดคีโตกูโลนิก (diketogulonic acid) ทำให้สูญเสียประสิทธิภาพในการเป็นแอนติออกซิแดนท์ซึ่งปฏิกิริยาการใช้ออกซิเจนเป็นปฏิกิริยาที่เกิดเร็วกว่าปฏิกิริยาที่ไม่ใช้ออกซิเจน ส่วนปฏิกิริยาที่ไม่ใช้ออกซิเจนของกรดแอสคอร์บิกจะเกิดการ dehydration และ hydrolysis ต่อไปจนได้สารเฟอเฟอราลและคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งสารเฟอเฟอราลจะเกิดการ polymerize จนได้สารสีเหลือง การสูญเสียของกรดแอสคอร์บิกโดยกลไกที่ไม่ใช้ออกซิเจนพบในสภาวะที่มีความเป็นกรดสูงและมีสารอื่นๆ อยู่ด้วย เช่น น้ำตาลฟรุคโตสและอนุพันธ์ของกรดอะมิโน ซึ่งกลไกนี้ก่อให้เกิดสารสีน้ำตาล (brown pigment) ทำให้ผลิตภัณฑ์มีสีคล้ำ (Dominic, 1989; Richardson and Finley, 1997)

การเก็บผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิสูงและเวลานาน ทำให้เกิดการสลายตัวของกรดแอสคอร์บิกและกระบวนการเปลี่ยนสีตามมา Lee and Negy (1988) ศึกษาการเก็บรักษาน้ำเกรฟฟรุต (grapefruit juice) บรรจุกระป๋องที่อุณหภูมิ 10 20 30 40 และ 50°C ระยะเวลา 15 สัปดาห์ พบปริมาณของ 5-hydroxymethy furfural (HMF) เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญเมื่ออุณหภูมิการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น โดยที่อุณหภูมิ 10°C ปริมาณ HMF ไม่เปลี่ยนแปลง แต่ที่อุณหภูมิ 50°C ปริมาณของ HMF เพิ่มมากขึ้น ซึ่งการเกิด HMF ที่อุณหภูมิต่างๆ มีความสัมพันธ์กับปริมาณกรดแอสคอร์บิกที่ลดลงในผลิตภัณฑ์ คือ อุณหภูมิ 10°C นาน 15 สัปดาห์ ปริมาณกรดแอสคอร์บิกลดลงเล็กน้อย แต่ที่อุณหภูมิ 30°C นาน 15 สัปดาห์ มีปริมาณกรดแอสคอร์บิกลดลง 27% ที่อุณหภูมิ 40°C นาน 9 และ 15 สัปดาห์ มีปริมาณกรดแอสคอร์บิกลดลง 50% และมากกว่า 75% ตามลำดับ และการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 50°C นาน 12 สัปดาห์ มีปริมาณกรดแอสคอร์บิกเหลืออยู่ มากกว่า 20% และที่เวลา 15 สัปดาห์ มีการสูญเสียของกรดแอสคอร์บิก มากกว่า 98%

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.2.1.2.4 ปริมาณดีบุก

ศึกษาปริมาณดีบุกในภาชนะบรรจุลิ้นจี่โดยรักษาที่อุณหภูมิ 37°C เท่านั้น เพราะว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิสูงเป็นการช่วยเร่งปฏิกิริยาเคมีภายในของภาชนะบรรจุและมีผลต่อการละลายของดีบุก ดังรายงานของ Sermsri *et al.* (1982-1985) ว่าอุณหภูมิและอายุการเก็บรักษามีผลต่อปริมาณดีบุกที่ละลายออกมา โดยการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิสูงปริมาณดีบุกจะมีมากกว่าการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิต่ำ จากรูป 4.15 พบว่าลิ้นจี่ในภาชนะบรรจุกระป๋องดีบุก กระป๋องเคลือบแลคเกอร์ มีปริมาณของดีบุกที่ละลายออกมาแตกต่างกันชัดเจน โดยกระป๋องดีบุกมีปริมาณดีบุกมากกว่ากระป๋องเคลือบแลคเกอร์มาก ส่วนลิ้นจี่บรรจุขวดแก้วไม่มีปริมาณของดีบุกที่ละลายออกมา ระยะเวลาการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ที่นานขึ้นมีผลให้ปริมาณการละลายของดีบุกมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น จากการเก็บรักษาที่ 90 วัน พบทรีทเมนต์ที่มีปริมาณดีบุกในเนื้อลิ้นจี่มากที่สุด คือ DE เท่ากับ 190.96 ppm ซึ่งปริมาณดีบุกที่ละลายจากกระป๋องดีบุกอยู่ในเกณฑ์ข้อกำหนดของประกาศกระทรวงสาธารณสุขฉบับที่ 144 พ.ศ. 2535 ที่ยอมให้มีการปนเปื้อนได้ไม่เกิน 250 ppm (ส่วนพัฒนามาตรฐานอาหารและสนับสนุนกำกับดูแล, 2545) ปริมาณดีบุกที่ละลายจากกระป๋องดีบุกในเนื้อลิ้นจี่มีมากกว่าในน้ำเชื่อม อาจเป็นเพราะว่าดีบุกที่ละลายออกมาสามารถซึมเข้าไปในเนื้อลิ้นจี่พร้อมน้ำเชื่อมได้ดี



รูป 4.15 ปริมาณดีบุกของเนื้อลิ้นจี่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 37°C ที่ระยะเวลาต่างๆ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

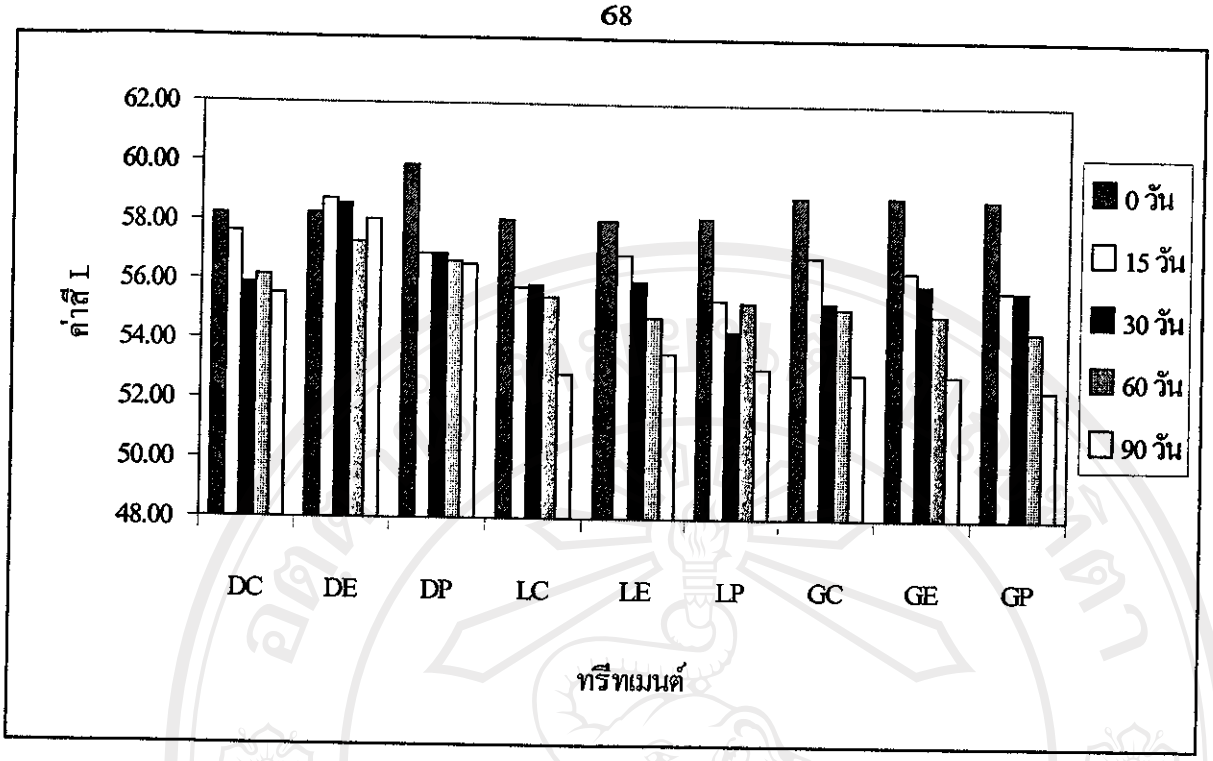
ปริมาณดีบุกจากกระป๋องเคลือบแลคเกอร์ที่ระยะเวลา 0 วัน ไม่พบดีบุกละลายออกมาทั้งในเนื้อลิ้นจี่และน้ำเชื่อม แต่เมื่อเก็บรักษาเป็นเวลานานขึ้น ดีบุกละลายออกมาจากกระป๋องแลคเกอร์ใน 3 ทรีทเมนต์ คือ LC LE และ LP การละลายของดีบุกมีค่าไม่สม่ำเสมอในแต่ละทรีทเมนต์ ทั้งนี้เกิดจากแลคเกอร์ที่เคลือบผิวโลหะซึ่งมีบางส่วนของแลคเกอร์ที่เคลือบไม่ติดหรือหลุดออกไปทำให้ดีบุกเกิดการสัมผัสอาหารและก๊าซออกซิเจน จึงเกิดการกัดกร่อนของดีบุกละลายออกจากกระป๋องแลคเกอร์ แต่การกัดกร่อนของกระป๋องเคลือบแลคเกอร์เกิดขึ้นช้ากว่ากระป๋องดีบุก เนื่องจากกระป๋องจะถูกเคลือบด้วยแลคเกอร์ ซึ่งแลคเกอร์จะทำหน้าที่ป้องกันการเกิดปฏิกิริยาเคมีระหว่างโลหะกับอาหาร จึงทำให้ปริมาณดีบุกที่ละลายจากกระป๋องเคลือบแลคเกอร์มีปริมาณน้อยกว่ากระป๋องดีบุก

4.2.1.3 การเปลี่ยนสีของผลิตภัณฑ์ลิ้นจี่

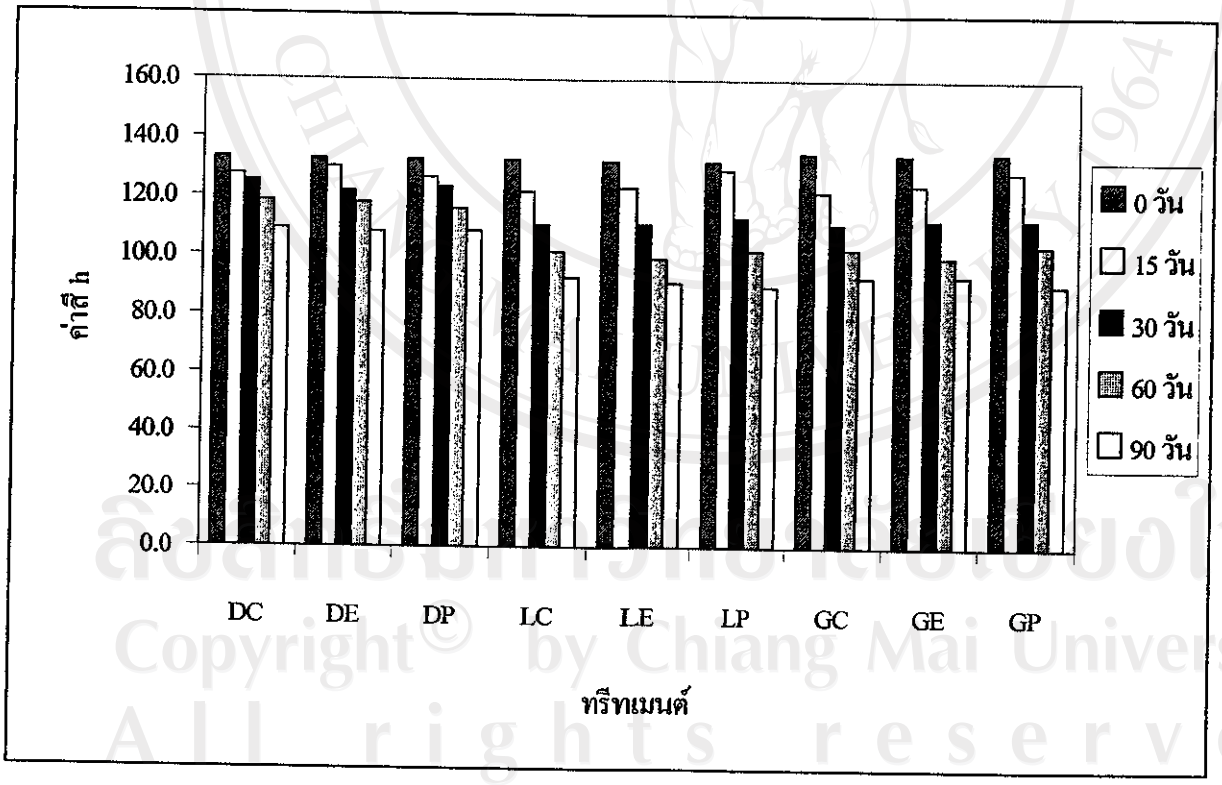
4.2.1.3.1 ความสัมพันธ์ของปริมาณดีบุกที่ละลายจากภาชนะบรรจุต่อการเปลี่ยนสีของผลิตภัณฑ์ลิ้นจี่

ในการทดลองได้เลือกบรรจุภัณฑ์ 3 ชนิด ได้แก่ กระป๋องดีบุก กระป๋องเคลือบแลคเกอร์ และขวดแก้ว เพื่อศึกษาการละลายของดีบุกจากบรรจุภัณฑ์ที่มีผลต่อการเปลี่ยนสีของลิ้นจี่ โดยเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิ 37^{o}C สุ่มตัวอย่างวิเคราะห์ 9 ทรีทเมนต์ ที่ระยะเวลา 0 15 30 60 และ 90 วัน และรูป 4.16 และ 4.17 แสดงการเปลี่ยนสีของเนื้อลิ้นจี่กระป๋องที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 37^{o}C ที่ระยะเวลาต่างๆ รูป 4.18 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณดีบุก (ppm) ในเนื้อลิ้นจี่ของผลิตภัณฑ์ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 37^{o}C ที่ระยะเวลาต่างๆ สามารถนำผลการทดลองมาอธิบายชนิดของภาชนะบรรจุที่มีผลต่อการเปลี่ยนสีดังนี้ เมื่อเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ไว้เป็นเวลานาน 90 วัน พบค่าสี L และ h ลดลง โดยค่าสี L และ h ของเนื้อลิ้นจี่ในกระป๋องดีบุกมากกว่าในกระป๋องเคลือบแลคเกอร์และขวดแก้ว แต่ค่าสี L และ h ของกระป๋องเคลือบแลคเกอร์และขวดแก้วไม่มีความแตกต่างกัน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

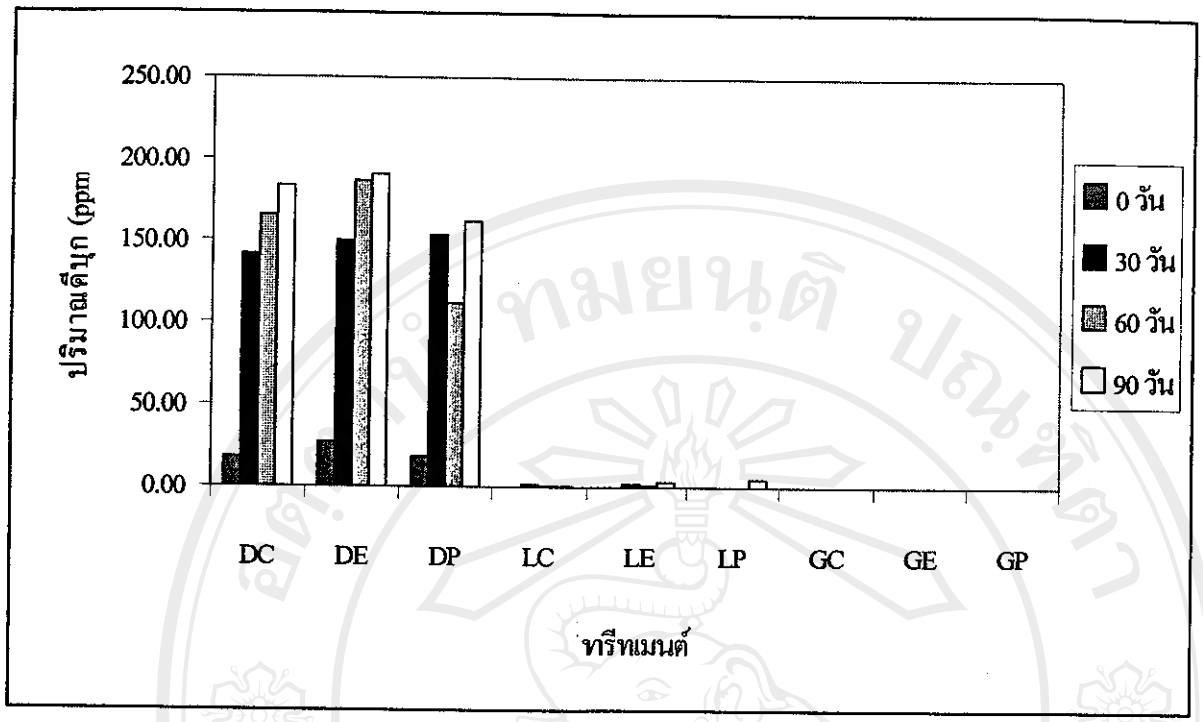


รูป 4.16 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสี L ของเนื้อลิ้นจี่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 37 ^{o}C ที่ระยะเวลาต่างๆ



รูป 4.17 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสี h ของเนื้อลิ้นจี่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 37 ^{o}C ที่ระยะเวลาต่างๆ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



รูป 4.18 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณดีบุกของเนื้อลิ้นจี่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 37 ^{o}C ที่ระยะเวลาต่างๆ

จะเห็นว่าลิ้นจี่ที่บรรจุในกระป๋องดีบุกมีสีสว่างกว่าลิ้นจี่ในกระป๋องเคลือบแลคเกอร์และขวดแก้ว ทั้งนี้อาจเกิดจากปริมาณดีบุกที่ละลายออกมาซึ่งมีมากกว่าในกระป๋องเคลือบแลคเกอร์และขวดแก้วซึ่งช่วยชะลอการเปลี่ยนสี วารุณี (2544) กล่าวว่าการบรรจุผลไม้นิยมใช้กระป๋องดีบุกเพราะว่าปริมาณดีบุกที่ละลายออกมาในผลิตภัณฑ์ช่วยถนอมสีของผลไม้ อรอนุช (2535) ใช้กระป๋องดีบุกและกระป๋องเคลือบแลคเกอร์บรรจุลิ้นจี่และเก็บไว้ นาน 1 ปี ที่อุณหภูมิห้อง พบว่ามีปริมาณดีบุกที่ละลายออกมาเท่ากับ 64.07 และ 4.47 ppm ตามลำดับ ยังพบว่าลิ้นจี่บรรจุกระป๋องเคลือบแลคเกอร์จะเกิดสีคล้ำมากกว่าลิ้นจี่บรรจุกระป๋องดีบุก และยังมีกลิ่นแปลกปลอมจากแลคเกอร์ที่ละลายออกมาด้วย รัตน์จิกา (2535) ใช้กระป๋องดีบุก กระป๋องเคลือบแลคเกอร์ epoxy phenolic 1 ชั้น และ 2 ชั้น บรรจุสับปะรดและเก็บไว้นาน 1 ปี ที่อุณหภูมิห้อง พบว่าปริมาณดีบุกที่ละลายออกมาในกระป๋องเท่ากับ 130 28 และ 32 ppm ตามลำดับ และสับปะรดที่บรรจุในกระป๋องที่เคลือบแลคเกอร์ 1 ชั้น และ 2 ชั้น มีปริมาณ Hydroxymethylfufural (HMF) มากกว่าสับปะรดที่บรรจุในกระป๋องดีบุก พรรัตน์และคณะ (2541) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของมะละกอที่บรรจุกระป๋องดีบุก และกระป๋องเคลือบแลคเกอร์เก็บไว้นาน 1 ปี ที่อุณหภูมิห้อง พบว่าปริมาณการละลายของดีบุกมีค่า 93 และ 4 ppm ตามลำดับ ผู้บริโภคให้การยอมรับผลิตภัณฑ์ในด้านสี กลิ่นรสของมะละกอบรรจุกระป๋องดีบุกมากกว่ามะละกอบรรจุกระป๋องเคลือบแลคเกอร์ และจากการทดลองของ Van Buren and Downing (1969)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

พบว่า ปริมาณอิออนของดีบุก (Sn^{2+}) มีผลทำให้เกิดสีเหลืองสว่างในผลิตภัณฑ์ wax bean กระป๋อง โดย Sn^{2+} จะเพิ่มค่าสีของ L a และ b ทำให้ถั่วมีสีเหลืองสว่างขึ้น ซึ่งปริมาณความเข้มข้นของ Sn^{2+} ที่ 20 – 200 ppm จะมีผลทำให้ค่าสี L a และ b มากกว่าปริมาณของ Sn^{2+} ที่ 0 – 4 ppm จะเห็นได้ว่าปริมาณดีบุกที่ละลายออกมาจากกระป๋องมีผลช่วยทำให้สีของผลิตภัณฑ์ดี ทั้งนี้อาจเกิดจากการที่ดีบุกเข้าไปขวางกระบวนการเปลี่ยนสี (nonenzymatic browning)

4.2.1.3.2 ความสัมพันธ์ของภาชนะบรรจุ ปริมาณกรดแอสคอร์บิก และแอนติออกซิแดนท์ต่อการเปลี่ยนสีของผลิตภัณฑ์ลิ้นจี่

จากความสัมพันธ์ของรูป 4.16 ถึง 4.18 จะเห็นได้ว่า ลิ้นจี่บรรจุภาชนะ 3 ชนิด ได้แก่ กระป๋องดีบุก กระป๋องเคลือบแลคเกอร์ และขวดแก้ว ที่ระยะเวลา 90 วัน มีแนวโน้มของค่าสี L และ h ลดลง และเห็นได้ชัดเจนว่าลิ้นจี่บรรจุกระป๋องเคลือบแลคเกอร์ ขวดแก้ว มีค่า L และ h ลดลงมากกว่าลิ้นจี่บรรจุกระป๋องดีบุก ซึ่งทรีทเมนต์ที่มีค่าสี L และ h มากที่สุดคือ ทรีทเมนต์ DE สำหรับปริมาณการละลายของดีบุกในกระป๋องดีบุกมีมากกว่ากระป๋องเคลือบแลคเกอร์และขวดแก้ว โดยทรีทเมนต์ DE มีปริมาณดีบุกมากที่สุด ผลของการเติมกรดแอสคอร์บิกและโซเดียมอิริทอร์เบทในน้ำเชื่อมทำให้ปริมาณการละลายของดีบุกในกระป๋องดีบุกมีมากกว่าการเติมโซเดียมเฮกซะเมตาฟอสเฟต ซึ่งสอดคล้องกับงานทดลองของ Mahadavieh *et al.* (1974) ที่ศึกษาการเติมกรดแอสคอร์บิกปริมาณ 50 100 และ 200 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม ลงในน้ำมะม่วงเข้มข้นบรรจุกระป๋อง พบว่าการเติมกรดแอสคอร์บิกมากขึ้นทำให้ปริมาณดีบุกที่ละลายออกมาเพิ่มขึ้น เช่นเดียวกับ Hernandez (1961) ทดลองเติมสารที่ได้จากการสลายตัวของกรดแอสคอร์บิก คือกรดดีไฮโดรแอสคอร์บิก (dehydroascorbic acid) และ กรดไดคีโตกูโลนิก (diketogulonic acid) ลงในน้ำมะเขือเทศเข้มข้น (tomato paste) บรรจุกระป๋องดีบุก พบว่าปริมาณดีบุกที่ละลายออกมามีมากขึ้น

จากความสัมพันธ์ของรูป 4.14 และ รูป 4.16 ถึง 4.18 สามารถสรุปได้ว่าลิ้นจี่ที่เติมโซเดียมอิริทอร์เบทในกระป๋องดีบุก (DE) ทำให้เนื้อลิ้นจี่มีสีสว่างมากที่สุด และปริมาณดีบุกที่ละลายออกมามีมากกว่าทรีทเมนต์อื่นๆ คุณสมบัติของโซเดียมอิริทอร์เบทที่นำมาใช้ในผลิตภัณฑ์คือ เป็นสารป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันเช่นเดียวกับกรดแอสคอร์บิก โดยโซเดียมอิริทอร์เบทจะอยู่ในรูปของเกลือเป็นอนุพันธ์ของกรดอิริทอร์บิกซึ่งเป็นไอโซเมอร์ของกรดแอสคอร์บิก มีสูตรโครงสร้างคือ $C_6H_7O_6Na.H_2O$ ส่วนสูตรโครงสร้างของกรดแอสคอร์บิกคือ $C_6H_8O_6$ เมื่อเปรียบเทียบโครงสร้างทางเคมีของทั้งสอง พบว่า ตำแหน่งพันธะคู่ของคาร์บอนที่ 3 มีความแตกต่างกันโดยในสูตรโครงสร้างทางเคมีของโซเดียมอิริทอร์เบทจะมีโมเลกุล Na อยู่คู่กับ O ส่วนกรดแอสคอร์บิกมีโมเกกุล H อยู่คู่กับ O ถ้าหากกรดแอสคอร์บิกถูกออกซิไดส์ด้วยออกซิเจน (O_2) และโลหะ ได้แก่ Sn^{2+} Fe^{3+} จะเห็นโมเลกุลของ H ที่พันธะคู่ของคาร์บอนตำแหน่งที่ 2 และ 3 หลุดออกทั้ง 2 อะตอม เปลี่ยนรูปเป็นกรดดีไฮโดร

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

แอสคอร์บิก (dehydroascorbic acid) ส่วนโครงสร้างทางเคมีของกรดดีไฮโดรแอสคอร์บิกที่เกิดจากโซเดียมอิริทอร์เบทถูกออกซิไดส์ จะมีรูปโครงสร้างที่ไม่สมบูรณ์ เพราะว่าโมเลกุล H ที่พันธะคู่ของคาร์บอนตำแหน่งที่ 2 หลุดเพียงอะตอมเดียว โอกาสที่จะถูกออกซิไดส์ต่อโดยเปลี่ยนรูปเป็นกรดไดคีโตกูโลนิก (diketogulonic acid) จึงยากขึ้น ซึ่งจากกลไกการสลายตัวของกรดแอสคอร์บิกและโซเดียมอิริทอร์เบท จึงเป็นเหตุผลสำคัญที่ทำให้โซเดียมอิริทอร์เบทมีความคงตัวหรือเสถียรมากกว่ากรดแอสคอร์บิก มีประสิทธิภาพป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันใน ผลิตภัณฑ์ได้ดีกว่า เป็นผลให้ผลิตภัณฑ์มีความคงตัวของสีมากขึ้นการเปลี่ยนแปลงของสีจึงเกิดขึ้นช้า แต่ทั้งนี้การใช้โซเดียมอิริทอร์เบทจะให้ผลชะลอการเปลี่ยนสีของผลิตภัณฑ์ลิ้นจี่ได้ดีจะต้องบรรจุในกระป๋องดีบุกเท่านั้น และถ้าหากว่าเติมโซเดียมอิริทอร์เบทในผลิตภัณฑ์ที่บรรจุกระป๋องเคลือบแลคเกอร์และขวดแก้ว ก็มีผลให้ผลิตภัณฑ์เกิดสีคล้ำได้ เมื่อวัดสีค่าสี L ของเนื้อลิ้นจี่ที่อุณหภูมิ 37°C นาน 1 วัน พบว่า ทรีทเมนต์ลิ้นจี่ที่เติมกรดแอสคอร์บิกในกระป๋องดีบุก (DC) และลิ้นจี่ที่เติมกรดโซเดียมอิริทอร์เบท ในกระป๋องดีบุก (DE) มีค่าสี L เท่ากับ 58.23 และ 58.27 ตามลำดับ และที่เวลาเก็บรักษา 90 วัน ทรีทเมนต์ DC และ DE มีค่าสี L เท่ากับ 55.53 และ 58.06 ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าที่เวลานานขึ้น ทรีทเมนต์ DE ยังมีค่าสี L ใกล้เคียงกับการเก็บรักษาที่ 1 วัน โดยที่อุณหภูมิ 37 °C ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนสี แต่การเก็บรักษาที่อุณหภูมิสูงจะมีผลต่อการสลายตัวของกรดแอสคอร์บิกในทรีทเมนต์ที่เติมและไม่เติมกรดแอสคอร์บิกทำให้ผลิตภัณฑ์เกิดสีน้ำตาล

4.2.2 ศึกษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ลิ้นจี่เก็บรักษา 90 วัน

การเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ในระหว่างการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์อุณหภูมิห้อง (28±2°C) และอุณหภูมิ 37°C ที่ระยะเวลาต่างๆ พบว่า ค่าความเป็นสุญญากาศช่องว่างเหนืออาหารภายในภาชนะบรรจุ น้ำหนักเนื้อลิ้นจี่ น้ำหนักสุทธิ ค่าความเป็นกรดด่าง (pH) ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (TSS) และปริมาณกรดทั้งหมดในรูปกรดซิตริก เป็นค่าที่กำหนดไว้เพื่อควบคุมคุณภาพของขั้นตอนการผลิตลิ้นจี่ไม่ให้เกิดความแตกต่างในแต่ละทรีทเมนต์ ซึ่งผลของข้อมูลดังกล่าวได้แสดงไว้ที่ภาคผนวก ง สำหรับข้อมูลที่มีผลต่อการเปลี่ยนสีของผลิตภัณฑ์ลิ้นจี่ คือ การวัดค่าสี ปริมาณกรดแอสคอร์บิก น้ำตาลรีดิวซ์และน้ำตาลทั้งหมดแสดงในตาราง 4.2

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 4.2 คุณภาพทางกายภาพและทางเคมีของผลิตภัณฑ์ลิ้นจี่เก็บรักษา 90 วัน

ปัจจัย	ค่าสี			กรดแอสคอร์บิก	น้ำตาลรีดิวซ์	น้ำตาลทั้งหมด
	L	C	h	(mg/100g)	(%)	(%)
ภาชนะบรรจุ (A)						
• กระป๋องดีบุก (a1)	57.50^{a}±2.26	6.97^{c}±1.47	117.54^{a}±10.12	2.74±1.98	14.74±2.90	14.49±0.90
• กระป๋องเคลือบแลคเกอร์ (a2)	54.87^{b}±2.66	9.04^{a}±2.53	103.72^{c}±13.26	2.74±2.06	14.88±3.44	14.84±1.09
• ขวดแก้ว (a3)	54.48^{b}±2.52	8.73^{b}±2.84	104.91^{b}±13.60	2.69±1.91	14.57±2.55	13.96±1.05
แอนติออกซิแดนท์ (B)						
• กรดแอสคอร์บิก (b1)	55.17^{b}±2.45	8.19^{b}±2.24	108.81±12.83	4.37^{a}±2.00	14.74±2.76	14.42±1.16
• โซเดียมอิริทอร์เบท (b2)	56.38^{a}±3.11	8.62^{a}±2.55	108.12±12.90	2.67^{b}±1.33	14.81±3.10	14.23±1.22
• โซเดียมเฮกซะเมตาฟอสเฟต (b3)	55.26^{b}±2.72	7.93^{b}±2.72	109.24±15.80	1.13^{c}±0.55	14.64±3.10	14.64±0.77
อุณหภูมิของการเก็บรักษา (C)						
• อุณหภูมิห้อง (28±2°C) (c1)	57.03^{a}±2.30	6.30^{b}±1.04	120.13^{a}±6.92	3.93^{a}±1.97	11.93^{b}±0.58	13.95^{b}±1.21
• อุณหภูมิ 37°C (c2)	54.20^{b}±2.57	10.19^{a}±2.02	97.32^{b}±8.78	1.51^{b}±0.81	17.53^{a}±0.67	14.91^{a}±0.60

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 4.2 คุณภาพทางกายภาพและทางเคมีของผลิตภัณฑ์ลิ้นจี่เก็บรักษา 90 วัน (ต่อ)

ปัจจัย	ค่าสี			กรดแอสคอร์บิก	น้ำตาลรีดิวซ์	น้ำตาลทั้งหมด
	L	C	h	(mg/100g)	(%)	(%)
A x B						
a1b1	56.59^{b}±1.95	7.00^{d}±1.25	117.42^{a}±9.35	4.44^{a}±2.20	14.67±2.93	14.14±1.58
a1b2	59.00^{a}±1.99	7.61^{c}±1.56	116.62^{a}±9.55	2.62^{b}±1.43	14.77±3.73	14.71±0.47
a1b3	56.89^{b}±2.07	6.29^{e}±1.30	118.56^{a}±11.49	1.16^{c}±0.62	14.79±3.28	14.62±0.08
a2b1	54.48^{d}±2.44	8.75^{b}±2.28	104.84^{bc}±12.68	4.34^{a}±2.36	14.89±3.31	14.99±1.23
a2b2	55.46^{c}±2.85	9.47^{a}±2.67	103.23^{c}±12.76	2.80^{b}±1.56	14.90±4.15	14.54±6.58
a2b3	54.66^{cd}±2.63	8.91^{b}±2.64	103.10^{c}±14.54	1.08^{c}±0.67	14.87±3.91	14.99±0.43
a3b1	54.51^{d}±2.36	8.81^{b}±2.52	104.16^{bc}±11.82	4.32^{a}±2.08	14.67±2.87	14.12±0.53
a3b2	54.69^{cd}±2.55	8.79^{b}±2.90	104.52^{bc}±11.92	2.60^{b}±1.42	14.77±2.58	13.44±1.22
a3b3	54.24^{d}±2.68	8.58^{b}±3.13	106.05^{b}±16.75	1.14^{c}±0.53	14.27±2.97	14.31±1.30
A x C						
a1c1	58.28^{a}±2.42	5.93^{d}±0.91	126.50^{a}±5.48	3.94^{a}±2.09	12.01^{c}±0.57	14.21±1.20
a2c1	56.57^{b}±1.94	6.82^{c}±0.90	116.33^{b}±4.02	4.04^{a}±2.14	11.62^{c}±0.57	14.19±1.18
a3c1	56.24^{b}±2.00	6.16^{d}±1.13	117.56^{b}±6.04	3.82^{a}±2.07	12.17^{c}±0.56	13.47±1.31
a1c2	56.72^{b}±1.79	8.00^{b}±1.16	108.58^{c}±3.63	1.54^{b}±0.91	17.47^{ab}±0.45	14.78±0.39
a2c2	53.16^{c}±2.14	11.26^{a}±1.44	91.12^{d}±3.92	1.44^{b}±0.84	18.15^{a}±0.48	15.00±0.46
a3c2	52.72^{c}±1.58	11.30^{a}±1.28	92.27^{d}±3.43	1.56^{b}±0.83	16.97^{b}±0.50	14.44±0.38

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 4.2 คุณภาพทางกายภาพและทางเคมีของผลิตภัณฑ์ลิ้นจี่เก็บรักษา 90 วัน (ต่อ)

ปัจจัย	ค่าสี			กรดแอสคอร์บิก	น้ำตาลรีดิวซ์	น้ำตาลทั้งหมด
	L	C	h	(mg/100g)	(%)	(%)
B x C						
b1c1	$56.63^{b}\pm2.00$	$6.44^{c}\pm0.93$	$119.40^{b}\pm6.14$	$6.27^{a}\pm0.30$	$12.13^{b}\pm0.40$	13.80 ± 1.28
b2c1	$57.94^{a}\pm2.39$	$6.58^{c}\pm1.03$	$118.71^{b}\pm6.38$	$3.91^{b}\pm0.45$	$11.94^{b}\pm0.87$	13.55 ± 1.31
b3c1	$56.52^{b}\pm2.25$	$5.89^{d}\pm1.06$	$122.28^{a}\pm7.73$	$1.63^{d}\pm0.22$	$11.73^{b}\pm0.39$	14.51 ± 1.01
b1c2	$53.76^{d}\pm1.98$	$9.94^{b}\pm1.74$	$98.22^{c}\pm8.15$	$2.47^{c}\pm0.31$	$17.36^{a}\pm0.43$	15.03 ± 0.66
b2c2	$54.83^{c}\pm2.98$	$10.66^{a}\pm1.89$	$97.54^{cd}\pm8.20$	$1.44^{d}\pm0.26$	$17.68^{a}\pm0.79$	14.91 ± 0.69
b3c2	$54.00^{d}\pm2.57$	$9.96^{b}\pm2.32$	$96.20^{d}\pm9.92$	$0.63^{e}\pm0.17$	$17.55^{a}\pm0.80$	14.77 ± 0.51
A x B x C						
a1b1c1	$57.66^{bc}\pm1.75$	$6.01^{fgh}\pm0.70$	$125.76^{b}\pm4.62$	$6.31^{a}\pm0.44$	$12.14^{d}\pm0.14$	13.23 ± 1.97
a1b2c1	$59.95^{a}\pm1.93$	$6.37^{fg}\pm0.85$	$125.06^{b}\pm5.12$	$3.84^{b}\pm0.42$	$11.92^{d}\pm1.25$	14.82 ± 0.57
a1b3c1	$57.22^{bcd}\pm2.63$	$5.42^{h}\pm0.93$	$128.68^{a}\pm6.15$	$1.68^{de}\pm0.18$	$11.96^{d}\pm0.00$	14.58 ± 0.08
a2b1c1	$56.11^{cde}\pm1.77$	$6.73^{ef}\pm0.73$	$117.01^{d}\pm3.69$	$6.38^{a}\pm0.30$	$12.06^{d}\pm0.87$	14.34 ± 1.63
a2b2c1	$57.36^{bcd}\pm1.58$	$7.15^{e}\pm0.80$	$115.52^{d}\pm3.33$	$4.10^{b}\pm0.44$	$11.32^{d}\pm0.28$	13.40 ± 1.47
a2b3c1	$56.25^{de}\pm2.25$	$6.59^{ef}\pm1.08$	$116.47^{d}\pm4.91$	$1.64^{de}\pm0.31$	$11.48^{d}\pm0.42$	14.82 ± 0.16
a3b1c1	$56.12^{cde}\pm2.12$	$6.59^{ef}\pm1.18$	$115.42^{d}\pm4.08$	$6.11^{a}\pm0.32$	$12.19^{d}\pm0.20$	13.84 ± 0.62
a3b2c1	$56.51^{cde}\pm2.18$	$6.23^{fg}\pm1.20$	$115.56^{d}\pm5.03$	$3.78^{b}\pm0.72$	$12.58^{d}\pm0.72$	12.43 ± 0.55
a3b3c1	$56.10^{cde}\pm1.74$	$5.67^{gh}\pm0.81$	$121.68^{c}\pm6.68$	$1.56^{def}\pm0.30$	$11.74^{d}\pm0.60$	14.13 ± 2.13

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 4.2 คุณภาพทางกายภาพและทางเคมีของผลิตภัณฑ์ลิ้นจี่เก็บรักษา 90 วัน (ต่อ)

ปัจจัย	ค่าสี			กรดแอสคอร์บิก	น้ำตาลรีดิวซ์	น้ำตาลทั้งหมด
	L	C	h	(mg/100g)	(%)	(%)
A x B x C						
a1b1c2	$55.53^{e}\pm1.52$	$7.99^{d}\pm0.80$	$109.10^{e}\pm3.46$	$2.57^{e}\pm0.55$	$17.19^{abc}\pm0.48$	15.06±0.46
a1b2c2	$58.06^{b}\pm1.58$	$8.85^{c}\pm1.03$	$108.18^{e}\pm3.33$	$1.41^{efg}\pm0.26$	$17.11^{abc}\pm0.42$	14.61±0.53
a1b3c2	$56.57^{cde}\pm1.30$	$7.17^{e}\pm1.00$	$108.44^{e}\pm4.18$	$0.63^{gh}\pm0.17$	$17.61^{abc}\pm0.62$	14.69±0.05
a2b1c2	$52.86^{f}\pm1.87$	$10.78^{b}\pm1.24$	$92.66^{fg}\pm2.02$	$2.31^{cd}\pm0.13$	$17.72^{abc}\pm0.38$	15.65±0.45
a2b2c2	$53.56^{f}\pm2.57$	$11.79^{a}\pm1.60$	$90.94^{fgh}\pm2.31$	$1.49^{def}\pm0.54$	$18.47^{a}\pm0.63$	15.69±0.36
a2b3c2	$53.06^{f}\pm1.95$	$11.22^{ab}\pm1.34$	$89.74^{h}\pm5.80$	$0.52^{h}\pm0.10$	$18.25^{ab}\pm0.18$	15.16±0.63
a3b1c2	$52.90^{f}\pm1.21$	$11.05^{ab}\pm1.08$	$92.90^{fg}\pm1.89$	$2.53^{c}\pm0.27$	$17.15^{abc}\pm0.38$	14.39±0.40
a3b2c2	$52.38^{f}\pm2.10$	$11.49^{ab}\pm1.29$	$90.42^{f}\pm4.16$	$1.42^{efg}\pm0.06$	$16.96^{bc}\pm0.54$	14.44±0.36
a3b3c2	$52.38^{f}\pm2.10$	$11.49^{ab}\pm1.29$	$90.42^{gh}\pm4.16$	$0.73^{fgh}\pm0.24$	$16.79^{c}\pm0.81$	14.49±0.65

หมายเหตุ : เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามแนวตั้งในกลุ่มปัจจัยเดียวกันอักษรที่ต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

จากตาราง 4.2 ผลิตภัณฑ์ลิ้นจี่ที่เก็บรักษา 90 วัน พบว่าปัจจัยภาชนะบรรจุ แอนติออกซิแดนท์ อุณหภูมิของการเก็บรักษา ปฏิสัมพันธ์ของทั้ง 2 ปัจจัยและ 3 ปัจจัย มีผลต่อค่าสี L C และ h ปริมาณกรดแอสคอร์บิก น้ำตาลรีดิวซ์ และน้ำตาลทั้งหมดดังนี้

ปัจจัยภาชนะบรรจุ พบว่าค่าสี L C และ h มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) โดยกระป๋องดีบุกมีค่าสี L และ h มากที่สุด เท่ากับ 57.50 และ 117.54 ตามลำดับ ส่วนค่าสี C ของกระป๋องดีบุกมีค่าน้อยที่สุดเท่ากับ 6.97 แสดงว่าภาชนะบรรจุของกระป๋องดีบุกมีผลต่อสีของเนื้อลิ้นจี่ โดยมีผลให้สีของเนื้อลิ้นจี่คล้ำน้อยกว่าภาชนะบรรจุอื่นๆ ส่วนปริมาณกรดแอสคอร์บิก น้ำตาลรีดิวซ์ และน้ำตาลทั้งหมดมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) โดยมีค่าเท่ากับ 2.69-2.74 mg/100g 14.57-14.88% และ 13.96-14.49% ตามลำดับ

ปัจจัยแอนติออกซิแดนท์ พบว่าค่าสี L C และปริมาณกรดแอสคอร์บิกที่เหลืออยู่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) โดยโซเดียมอิริทอร์เบทมีค่าสี L และ C มากที่สุด มีค่าเท่ากับ 56.38 และ 8.62 ตามลำดับ มีปริมาณกรดแอสคอร์บิกที่เหลืออยู่ 2.67 mg/100g ส่วนค่าสี h ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ และน้ำตาลทั้งหมดมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) โดยมีค่าเท่ากับ 108.12-108.81 14.64-14.81% และ 14.23-14.64% ตามลำดับ แสดงว่าการเติมโซเดียมอิริทอร์เบทมีผลต่อสีของเนื้อลิ้นจี่ช่วยให้ผลิตภัณฑ์มีสีคล้ำน้อยกว่าแอนติออกซิแดนท์อื่นๆ

ปัจจัยอุณหภูมิของการเก็บรักษา พบว่า ค่าสี L C และ h ปริมาณกรดแอสคอร์บิก น้ำตาลรีดิวซ์ และน้ำตาลทั้งหมดมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) โดยการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ($28\pm2^{\circ}C$) มีค่าสี L และ h มากกว่าการเก็บรักษาอุณหภูมิ $37^{\circ}C$ เท่ากับ 57.03 และ 120.13 ตามลำดับ ส่วนค่าสี C น้ำตาลรีดิวซ์และน้ำตาลทั้งหมดมีค่าน้อยกว่าการเก็บรักษาอุณหภูมิ $37^{\circ}C$ เท่ากับ 6.30 11.93% และ 13.95% ตามลำดับ สำหรับปริมาณกรดแอสคอร์บิกที่เหลืออยู่มากกว่าอุณหภูมิ $37^{\circ}C$ เท่ากับ 3.93 mg/100g แสดงว่าการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิ $37^{\circ}C$ มีผลให้ปริมาณกรดแอสคอร์บิกที่เหลืออยู่และปริมาณน้ำตาลทั้งหมดลดลง ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์เพิ่มขึ้นและเนื้อลิ้นจี่มีสีคล้ำมากกว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ($28\pm2^{\circ}C$)

ปฏิสัมพันธ์ 2 ปัจจัย ระหว่างภาชนะบรรจุและแอนติออกซิแดนท์ พบว่า ค่าสี L C และ h และปริมาณกรดแอสคอร์บิกมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) โดยลิ้นจี่บรรจุกระป๋องดีบุกเติมโซเดียมอิริทอร์เบทมีค่าสี L มากที่สุดเท่ากับ 59.00 ค่าสี C มีค่ามากที่สุดในลิ้นจี่บรรจุกระป๋องเคลือบแลคเกอร์เติมโซเดียมอิริทอร์เบทเท่ากับ 9.47 ส่วนค่าสี h พบว่า ลิ้นจี่บรรจุกระป๋องดีบุกเติมแอนติออกซิแดนท์ทั้ง 3 ชนิด มีค่ามากที่สุดเท่ากับ 116.62-118.56 ปริมาณกรดแอสคอร์บิกที่เหลืออยู่ พบว่าการเติมกรดแอสคอร์บิกมีผลให้ปริมาณกรดแอสคอร์บิกที่เหลืออยู่มากที่สุดในภาชนะบรรจุทั้ง 3 ชนิด มีค่าเท่ากับ 4.32-4.44 mg/100g สำหรับผลของปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

และปริมาณน้ำตาลทั้งหมดไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) มีค่าเท่ากับ 14.27-14.90% และ 13.44-14.99% ตามลำดับ จากปฏิสัมพันธ์ของภาชนะบรรจุและแอนติออกซิแดนท์แสดงว่าลิ้นจี่บรรจุกระป๋องดีบุกเติมโซเดียมอิริทอร์เบทมีผลต่อการเปลี่ยนสีของเนื้อลิ้นจี่น้อยที่สุด

ปฏิสัมพันธ์ 2 ปัจจัย ระหว่างภาชนะบรรจุและอุณหภูมิของการเก็บรักษา พบว่า ค่าสี L C และ h ปริมาณกรดแอสคอร์บิก และปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) โดยลิ้นจี่บรรจุกระป๋องดีบุกเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ($28+2^{\circ}C$) มีค่าสี L และ h มากที่สุด เท่ากับ 58.28 และ 126.50 ตามลำดับ ส่วนค่าสี C ในลิ้นจี่บรรจุกระป๋องดีบุก กระป๋องเคลือบแลคเกอร์ และขวดแก้ว เก็บรักษาที่อุณหภูมิ $37^{\circ}C$ มีค่ามากกว่าอุณหภูมิห้อง ($28+2^{\circ}C$) เท่ากับ 8.00-11.30 ปริมาณกรดแอสคอร์บิกและปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในลิ้นจี่บรรจุกระป๋องทั้ง 3 ชนิด เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องมีค่ามากกว่าและน้อยกว่าเก็บรักษาที่อุณหภูมิ $37^{\circ}C$ เท่ากับ 3.82-4.04 mg/100g และ 11.62-12.17% ตามลำดับ สำหรับปริมาณน้ำตาลทั้งหมดไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) เท่ากับ 13.47-15.00%

ปฏิสัมพันธ์ 2 ปัจจัยระหว่างแอนติออกซิแดนท์และอุณหภูมิของการเก็บรักษาพบว่าค่าสี L C และ h ปริมาณกรดแอสคอร์บิก และปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) โดยค่าสีของเนื้อลิ้นจี่ที่เติมโซเดียมอิริทอร์เบทเก็บรักษาอุณหภูมิห้อง ($28\pm2^{\circ}C$) มีค่าสี L มากที่สุดเท่ากับ 57.94 ส่วนค่าสี C และ h ของเนื้อลิ้นจี่ที่เติมแอนติออกซิแดนท์ทั้ง 3 ชนิด โดยเก็บรักษาอุณหภูมิห้อง ($28\pm2^{\circ}C$) มีค่าน้อยกว่าและมากกว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ $37^{\circ}C$ เท่ากับ 5.89-6.58 และ 118.71-122.28 ตามลำดับ ปริมาณกรดแอสคอร์บิกที่มีค่ามากที่สุดคือ การเติมกรดแอสคอร์บิกโดยเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ($28\pm2^{\circ}C$) เท่ากับ 6.27 mg/100g ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ของการเติมแอนติออกซิแดนท์ทั้ง 3 ชนิดเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องมีค่าน้อยกว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ $37^{\circ}C$ เท่ากับ 11.73-12.13% สำหรับปริมาณน้ำตาลทั้งหมดของแอนติออกซิแดนท์ทั้ง 3 ชนิด ในการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ($28\pm2^{\circ}C$) และ $37^{\circ}C$ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) มีค่าเท่ากับ 13.55-15.03%

ปฏิสัมพันธ์ 3 ปัจจัยระหว่างภาชนะบรรจุ แอนติออกซิแดนท์และอุณหภูมิของการเก็บรักษา พบว่าค่าสี L C และ h ปริมาณกรดแอสคอร์บิก และปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) โดยค่าสี L ของลิ้นจี่บรรจุกระป๋องดีบุกเติมโซเดียมอิริทอร์เบทและเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง ($28\pm2^{\circ}C$) มีค่ามากที่สุดเท่ากับ 59.95 ส่วนค่าสี C และ h ของลิ้นจี่บรรจุกระป๋องดีบุกเติมแอนติออกซิแดนท์ทั้ง 3 ชนิด เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง ($28\pm2^{\circ}C$) มีค่าน้อยกว่าและมากกว่าทรีทเมนต์อื่นๆ เท่ากับ 5.42-6.37 และ 125.06-128.68 ตามลำดับ ปริมาณกรดแอสคอร์บิกของการเติมกรดแอสคอร์บิกในภาชนะบรรจุทั้ง 3 ชนิด คือ กระป๋องดีบุก กระป๋องเคลือบ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

แลคเกอร์และขวดแก้ว เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้อง (28+2°C) มีค่ามากที่สุดเท่ากับ 6.11-6.38 mg/100g และปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์บรรจุในภาชนะและแอนติออกซิแดนท์ทั้ง 3 ชนิด โดยเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (28±2°C) จะมีค่าน้อยกว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 37°C เท่ากับ 11.32-12.58% สำหรับปริมาณน้ำตาลทั้งหมดของปฏิสัมพันธ์ 3 ปัจจัย ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) มีค่าเท่ากับ 12.43-15.69%

สาเหตุการเปลี่ยนสีของผลิตภัณฑ์ในระหว่างการเก็บรักษา สันนิษฐานได้ว่าอาจเกิดจากปฏิกิริยาเมลลาร์ด ซึ่งเกิดจากการสลายตัวของกรดแอสคอร์บิกหรือน้ำตาลรีดิวซ์ พบว่ากรดแอสคอร์บิกที่ถูก carboxylation หรือ dehydration สามารถเปลี่ยนเป็นสารเฟอเฟอราล (furfural) ซึ่งสารเฟอเฟอรานี้สามารถเกิด polymerize หรือรวมตัวกับกรดอะมิโนเป็นสารประกอบสีน้ำตาล และเมื่ออายุการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นจะเกิดการ polymerization เพิ่มมากขึ้น ทำให้ผลิตภัณฑ์มีสีคล้ำเพิ่มขึ้น (DeMan, 1990) และการเกิดสีน้ำตาลในอาหารอาจเป็นผลมาจากการเสื่อมสลายของน้ำตาลเอง ถ้าสารประกอบคาร์บอนิลมีความคงตัวต่ำหรือสลายตัวได้ง่าย จะเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดได้ที่อุณหภูมิห้องในระหว่างการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์อาหาร โดยน้ำตาลรีดิวซ์จะรวมตัวกับหมู่อะมิโนได้เป็นกลัยโคซิลเอมีนเกิดปฏิกิริยา dehydration ได้เป็น imines หรือ schiff base และมีการจัดเรียงตัวใหม่ได้ amadoriproduct ซึ่งปฏิกิริยาจะเกิดต่อเนื่องเมื่อมี pH 5 หรือต่ำกว่า จากนั้นจะเกิดปฏิกิริยา dehydration ต่อได้อนุพันธ์ของฟูแรน คือ 5-hydroxymethyl-2 furaldehyde (HMF) ซึ่ง HMF จะเกิด polymerize ได้เป็นสารสีน้ำตาลที่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบอยู่และไม่ละลายน้ำ สารสีน้ำตาลที่เกิดขึ้นเรียกว่าเมลานอยดิน (melanoildins) (นิธิยา, 2543) และในงานวิจัยนี้มีผลวิเคราะห์ปริมาณโปรตีนของเนื้อลิ้นจี่เท่ากับ 0.95mg/100g (ตาราง 4.1) ซึ่งมีปริมาณมากพอที่จะทำปฏิกิริยารวมตัวกับน้ำตาลรีดิวซ์และกรดแอสคอร์บิกได้ การทดลองของ Burdurlu and Karadeniz (2002) พบว่าน้ำแอปเปิลเข้มข้นมีคุณภาพด้อยลง สาเหตุที่สำคัญของการเกิดสีน้ำตาลในผลิตภัณฑ์เกิดจากปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่ไม่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์ (nonenzymatic browning) ซึ่งมีหลายชนิดเช่น ปฏิกิริยาคาราเมลไลเซชัน (caramelization) เกิดขึ้นเมื่อน้ำตาลได้รับความร้อนที่อุณหภูมิสูง ปฏิกิริยาการสลายตัวของกรดแอสคอร์บิกเกิดขึ้นโดยปฏิกิริยาออกซิเดชัน และปฏิกิริยาเมลลาร์ดเกิดขึ้นระหว่าง α–amino group และน้ำตาลรีดิวซ์โดยปฏิกิริยาเมลลาร์ดเป็นสาเหตุของการเกิด 5-HMF และ 5-HMF ที่เกิดขึ้นเป็นผลจากการให้ความร้อนอย่างรุนแรงในระหว่างการผลิตน้ำผลไม้ HMF เกิดขึ้นโดย enolization ของน้ำตาลรีดิวซ์กับกรดอะมิโน หลังจากเกิด amadori rearrangement จากนั้นจะ condense ด้วย nitrogenous compounds และ polymerize ให้สารสีน้ำตาล นอกจากนี้ HMF ยังก่อรูปขึ้นได้ระหว่างการเกิด dehydration ของกลูโคสและฟรุคโตสใน medium ที่เป็นกรด เช่นเดียวกับ Johnson *et al.* (1995) พบว่าปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่ไม่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์ (nonenzymatic browning) ในน้ำส้ม

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

(orange juice) เกิดจากปฏิกิริยาระหว่างน้ำตาล กรดอะมิโน และกรดแอสคอร์บิก ซึ่งการสลายตัวของกรดแอสคอร์บิกในน้ำส้มก่อให้เกิดสารสีน้ำตาล และ Roig *et al.* (1999) ทดลองการเก็บรักษา citrus juice พบว่ามีการเกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่ไม่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์ (nonenzymatic browning) เนื่องจากสารประกอบคาร์บอนิลจากการสลายตัวของกรดแอสคอร์บิก ปฏิกิริยาของ sugar-amino มีผลเพียงเล็กน้อย ผลของการสลายตัวของกรดแอสคอร์บิกอยู่ในรูปของ furaldehyde และ 5-hydroxymethyl -furaldehyde (HMF) ซึ่งเป็นสาเหตุของการเปลี่ยนสีน้ำตาลในผลิตภัณฑ์

จากข้อมูลของตาราง 4.2 พบว่าการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์เป็นเวลา 90 วัน ที่อุณหภูมิ 37°C จะช่วยเร่งการเกิดสีน้ำตาลในปฏิกิริยาของเมลลาร์ดได้มากกว่าผลิตภัณฑ์ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (28±2°C) เป็นผลให้สีของผลิตภัณฑ์มีสีคล้ำลง โดยการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิสูงจะช่วยเร่งปฏิกิริยาเมลลาร์ดและการสลายตัวของกรดแอสคอร์บิกให้เกิดเร็วขึ้น และถ้าอาหารที่ประกอบด้วยน้ำตาลฟรุคโตสจะทำให้อัตราการเปลี่ยนสีเพิ่มเร็วขึ้นเป็น 5-10 เท่า เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นทุกๆ 10°C และมีน้ำตาลรีดิวซ์เพิ่มขึ้น (นิธิยา, 2543) สำหรับการสลายตัวของกรดแอสคอร์บิกพบว่าการเพิ่มอุณหภูมิการเก็บรักษามีผลให้กรดแอสคอร์บิกสลายตัวมากขึ้น ดังนั้นการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิต่ำจะช่วยชะลอปฏิกิริยาเมลลาร์ดให้เกิดช้าลงได้ Gestur *et al.* (1969) พบว่าการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์น้ำแอปเปิลมีสีเข้มขึ้น ถ้าเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 37°C ซึ่งการเปลี่ยนสีของผลิตภัณฑ์เกิดจากปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่ไม่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์ (nonenzymatic browning) ของกรดแอสคอร์บิกที่ถูกออกซิไดส์เป็นกรดดีไฮโดรแอสคอร์บิกและเปลี่ยนเป็นสารสีน้ำตาล เช่นเดียวกับ Babsky *et al.* (1986) ทดลองเก็บน้ำแอปเปิลเข้มข้น ระยะเวลา 111 วัน ที่อุณหภูมิ 37°C พบว่าน้ำตาลซูโครสถูกไฮโดรไลส์เพิ่มขึ้นเป็นผลให้เกิดน้ำตาลรีดิวซ์เพิ่มมากขึ้น ส่วนกรดอะมิโนสูญเสีย 87% และมีปริมาณ hydroxy-methyfurfural (HMF) เพิ่มสูงขึ้น ทำให้ผลิตภัณฑ์มีสีน้ำตาล และ Kaanane *et al.* (1988) ทดลองการเก็บรักษาคุณภาพของน้ำส้ม (orange juice) ที่อุณหภูมิ 4 22.5 35 และ 45°C ระยะเวลา 14 สัปดาห์ พบว่าการเก็บที่อุณหภูมิ 45°C เกิดการเปลี่ยนแปลงของปริมาณกรดแอสคอร์บิก น้ำตาลรีดิวซ์ และเฟอเฟอราล มากกว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ โดยมีปริมาณกรดแอสคอร์บิกเหลืออยู่น้อยกว่า 50% ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์และเฟอเฟอราลเพิ่มขึ้น เป็นผลให้ผลิตภัณฑ์มีสีเข้มกว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ

4.3 ศึกษาผลของการเติมกรดแอสคอร์บิกและการปรับ pH ด้วยกรดซิตริกในผลิตภัณฑ์ลิ้นจี่

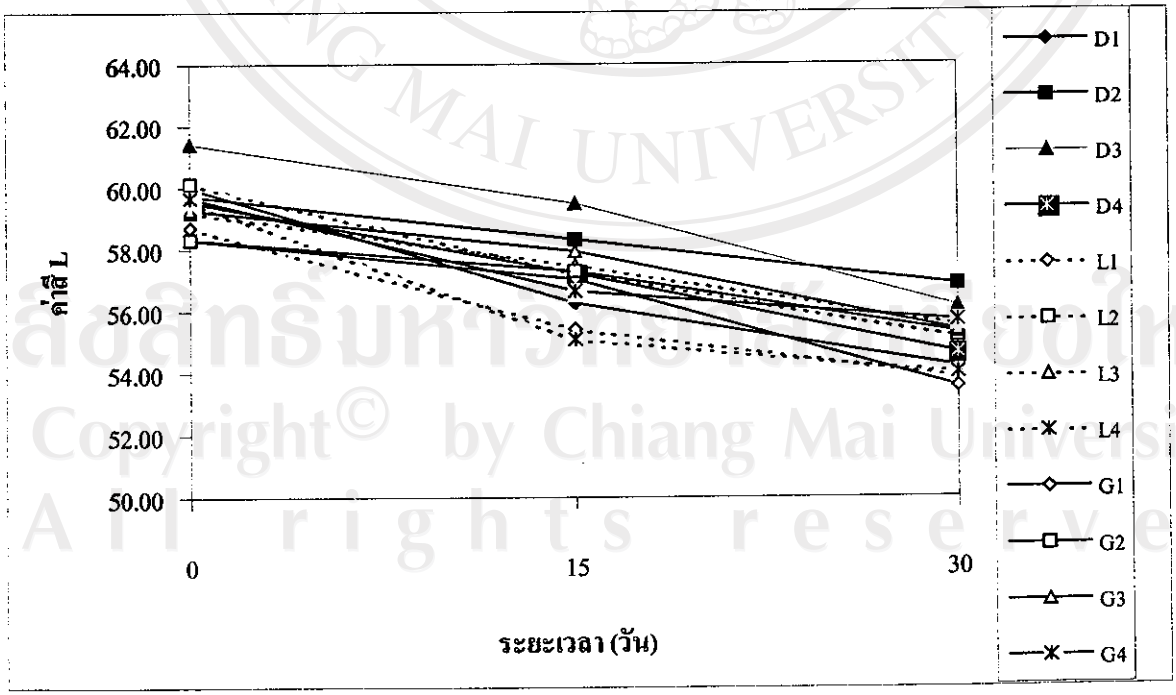
การทดลองตอนนี้เป็นการศึกษาผลการเปลี่ยนสีของผลิตภัณฑ์ โดยการเติมและไม่เติมกรดแอสคอร์บิก การปรับและไม่ปรับ pH โดยแสดงข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนสีของผลิตภัณฑ์คือ การวัดค่าสี ปริมาณกรดแอสคอร์บิกที่เหลืออยู่ ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์และน้ำตาลทั้งหมด ส่วนข้อมูล

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

อื่นๆ ของการวิเคราะห์ผลทางกายภาพและทางเคมีอื่นๆ แสดงไว้ที่ภาคผนวก ง เนื่องจากข้อมูลดังกล่าวเป็นผลของการควบคุมคุณภาพในระหว่างขั้นตอนของการผลิตเพื่อไม่ให้เกิดความแตกต่างกัน

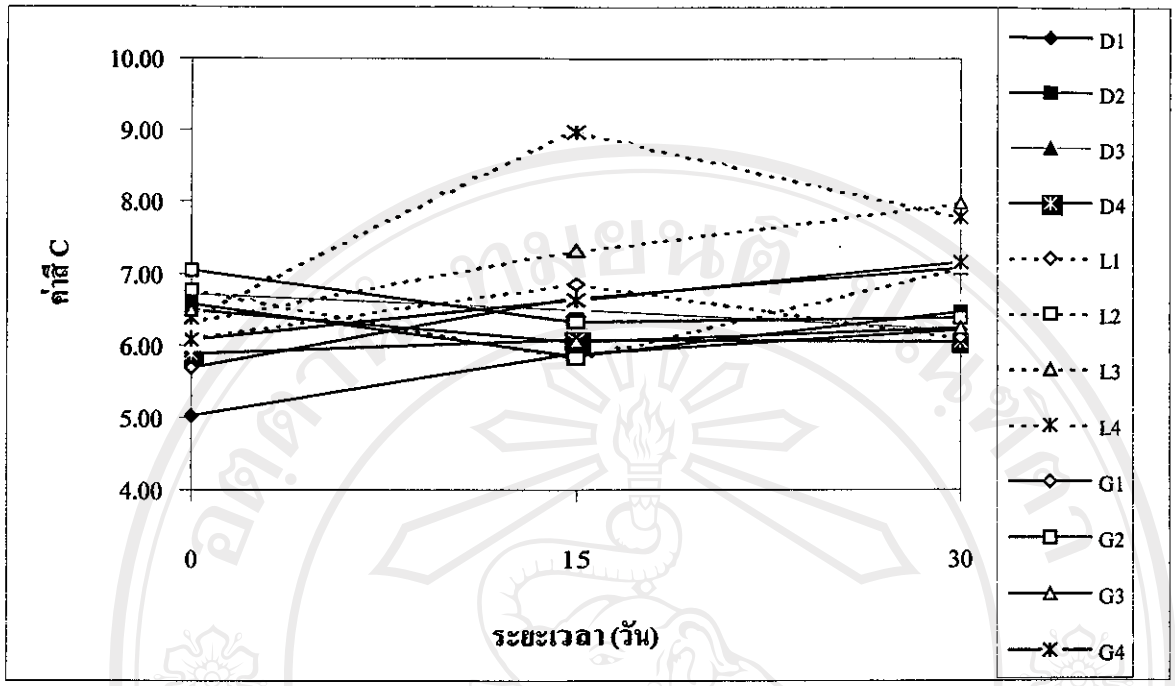
4.3.1 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ในระหว่างการเก็บรักษา

จากรูป 4.19 ถึง 4.21 การเปลี่ยนค่าสีของเนื้อลิ้นจี่ พบว่าที่เวลาการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์นาน 30 วัน มีแนวโน้มของค่าสี L และ h ของเนื้อลิ้นจี่ลดลง ส่วนค่าสี C มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น และจากการเก็บรักษา 0 วัน สีของเนื้อลิ้นจี่ทั้ง 12 ทรีทเมนต์ ไม่มีความแตกต่างกัน โดยค่าสี L เท่ากับ 58.31-61.41 ค่าสี C เท่ากับ 5.02-7.04 และค่าสี h เท่ากับ 120.80-130.05 เมื่อเวลาการเก็บรักษานานขึ้น 30 วัน ค่าสี L และ h ของทุกทรีทเมนต์มีแนวโน้มลดลง พบทรีทเมนต์ที่มีค่าสี L มากที่สุด คือ ลิ้นจี่บรรจุกระป๋องดีบุกเติมกรดแอสคอร์บิก 0.2% ไม่ปรับ pH (D2) เท่ากับ 56.87 รองลงมาคือลิ้นจี่บรรจุกระป๋องดีบุกเติมกรดแอสคอร์บิก 0.2% และปรับ pH ด้วยกรดซิตริก (D3) เท่ากับ 56.13 ส่วนค่าสี C พบลิ้นจี่บรรจุกระป๋องดีบุกไม่เติมกรดแอสคอร์บิกและปรับ pH ด้วยกรดซิตริก (D4) มีค่าน้อยที่สุดเท่ากับ 6.05 สำหรับค่าสี h ของ ทรีทเมนต์ลิ้นจี่บรรจุกระป๋องไม่เติมสารใดและไม่ปรับ pH (D1) มีค่ามากที่สุดเท่ากับ 118.55 รองลงมาคือ ทรีทเมนต์ D2 D3 และ D4 มีค่าเท่ากับ 114.55 112.30 และ 114.45 ตามลำดับ ซึ่งผลจากรูป 4.19 และ 4.21 จะเห็นได้ว่าระยะเวลาการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ที่เพิ่มขึ้นมีแนวโน้มค่าสี L และ h ของเนื้อลิ้นจี่ลดลง ผลิตภัณฑ์จึงมีสีเข้มขึ้น สำหรับสาเหตุของการเกิดสีน้ำตาลในผลิตภัณฑ์ได้กล่าวในหัวข้อ 4.2.2

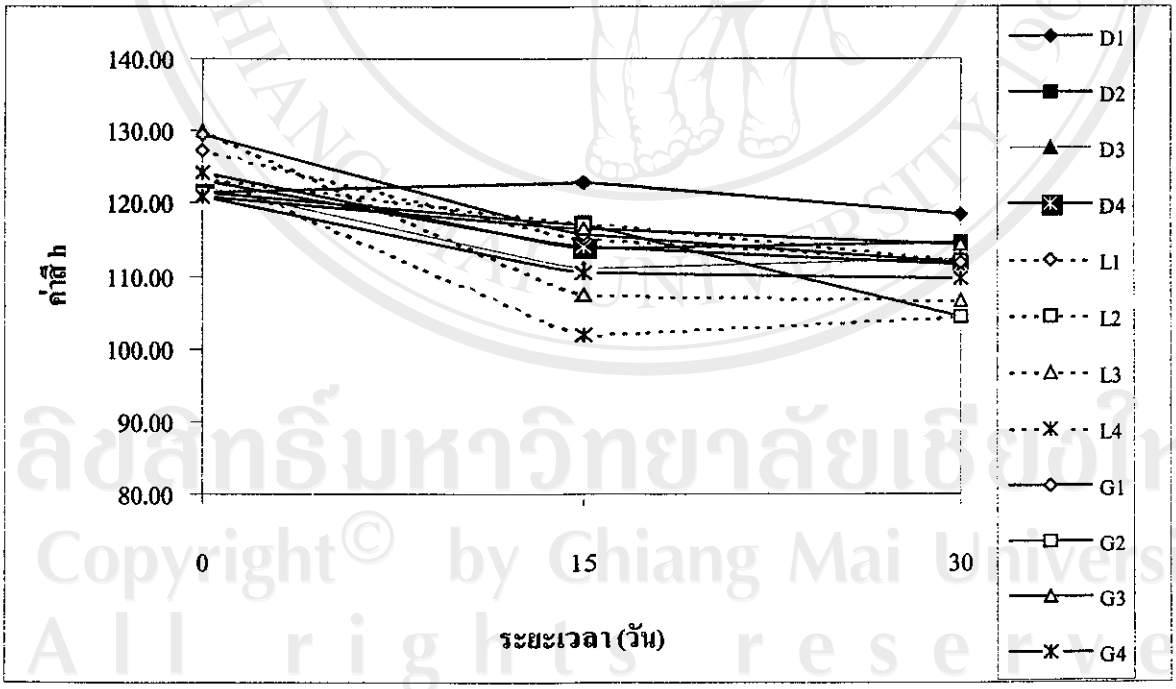


รูป 4.19 การเปลี่ยนแปลงค่าสี L ของเนื้อลิ้นจี่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 37°C เป็นเวลา 30 วัน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



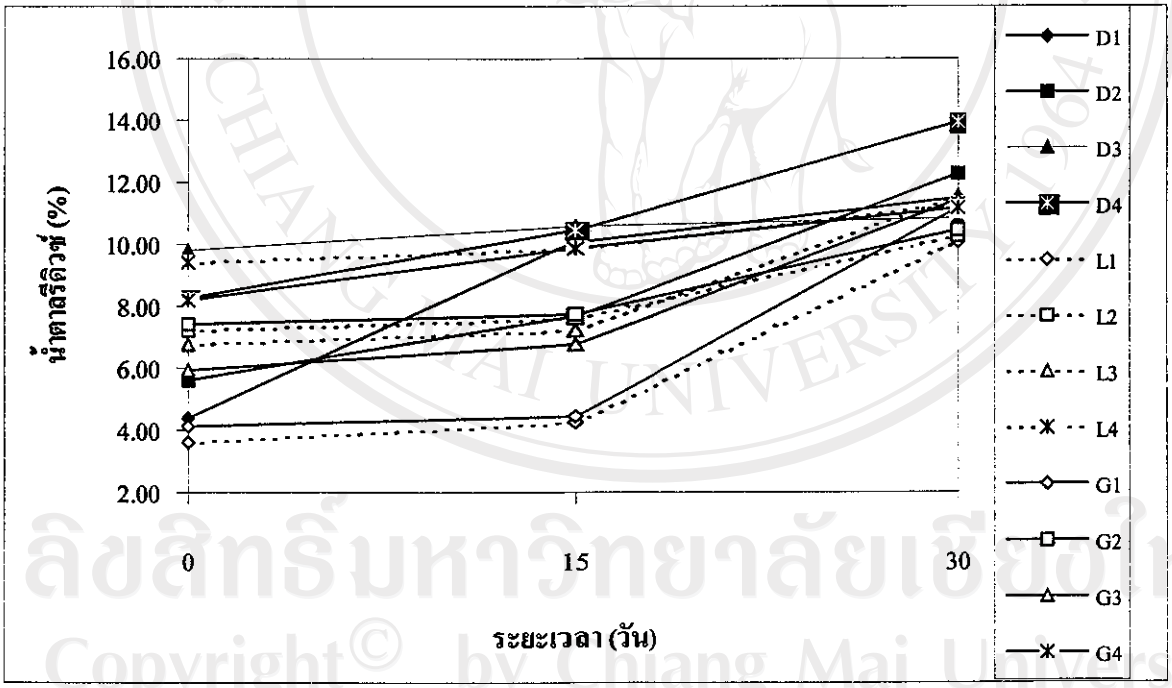
รูป 4.20 การเปลี่ยนแปลงค่าสี C ของเนื้อลิ้นจี่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 37°C เป็นเวลา 30 วัน



รูป 4.21 การเปลี่ยนแปลงค่าสี h ของเนื้อลิ้นจี่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 37°C เป็นเวลา 30 วัน

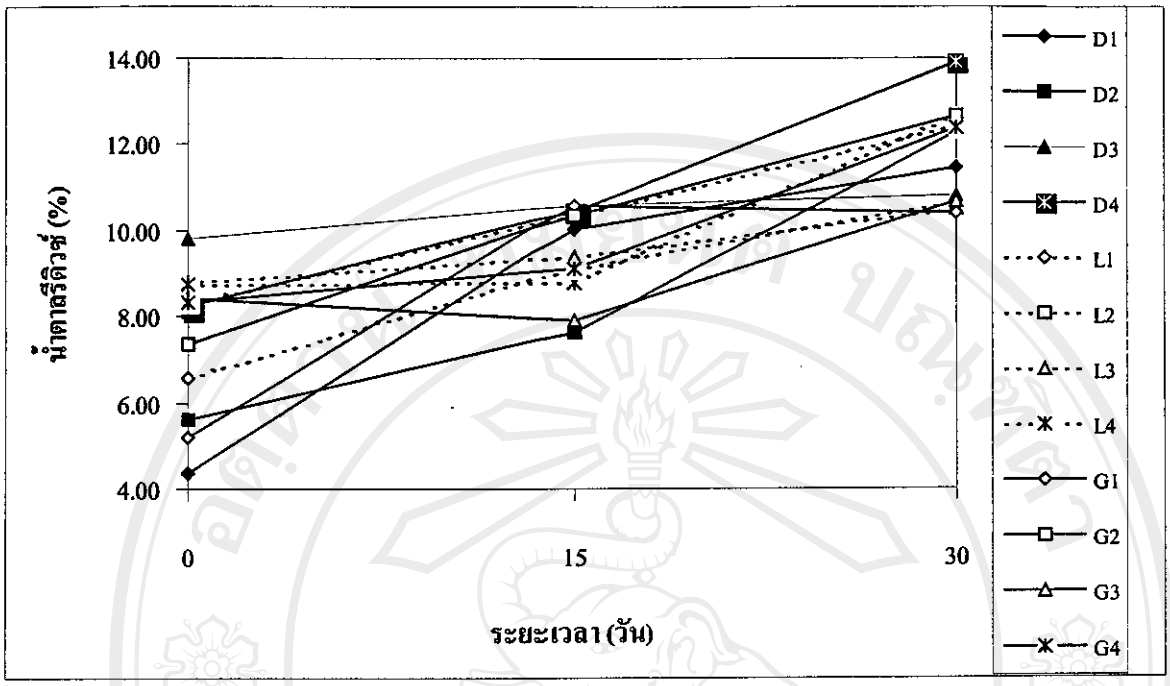
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

จากรูป 4.22 ถึง 4.25 แสดงปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์และน้ำตาลทั้งหมดของเนื้อลิ้นจี่และน้ำเชื่อม พบว่าผลิตภัณฑ์เก็บรักษาที่เวลานานมีผลทำให้ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นและปริมาณน้ำตาลทั้งหมดมีแนวโน้มลดลง ในส่วนของเนื้อลิ้นจี่ที่ 1 วันแรกมีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์และน้ำตาลทั้งหมดเท่ากับ 3.59-9.40 และ 17.72-22.82% ตามลำดับ และที่เวลา 30 วัน มีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์เท่ากับ 10.56-12.80% และน้ำตาลทั้งหมดเท่ากับ 13.98-16.92% สำหรับปริมาณน้ำตาลในน้ำเชื่อมที่ 1 วัน มีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์และน้ำตาลทั้งหมดเท่ากับ 4.37-9.81% และ 20.49-22.35% ตามลำดับ และเก็บรักษา 30 วัน มีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์เท่ากับ 10.42-13.91% และน้ำตาลทั้งหมดเท่ากับ 19.50-20.82% จะเห็นได้ว่าที่เวลาการเก็บรักษานานขึ้นแนวโน้มของทั้ง 4 รูปเป็นลักษณะเดียวกัน คือ น้ำตาลรีดิวซ์เพิ่มขึ้นและน้ำตาลทั้งหมดลดลง ซึ่งสาเหตุเกิดจากน้ำตาลซูโครสอยู่ในสภาวะความเป็นกรดในน้ำเชื่อมถูกไฮโดรไลส์เป็นน้ำตาลรีดิวซ์ มีผลให้น้ำตาลรีดิวซ์เพิ่มขึ้นและน้ำตาลทั้งหมดลดลง ดังกล่าวในหัวข้อ 4.2.1.2.2 เป็นที่น่าสังเกตุว่าปริมาณน้ำตาลทั้งหมดในน้ำเหลือมากกว่าในเนื้อลิ้นจี่ ทั้งนี้อาจเนื่องจากเวลา 30 วัน เป็นเวลาที่ยังไม่ถึงจุดสมดุลย์ในการแพร่ของน้ำตาลต่างๆ

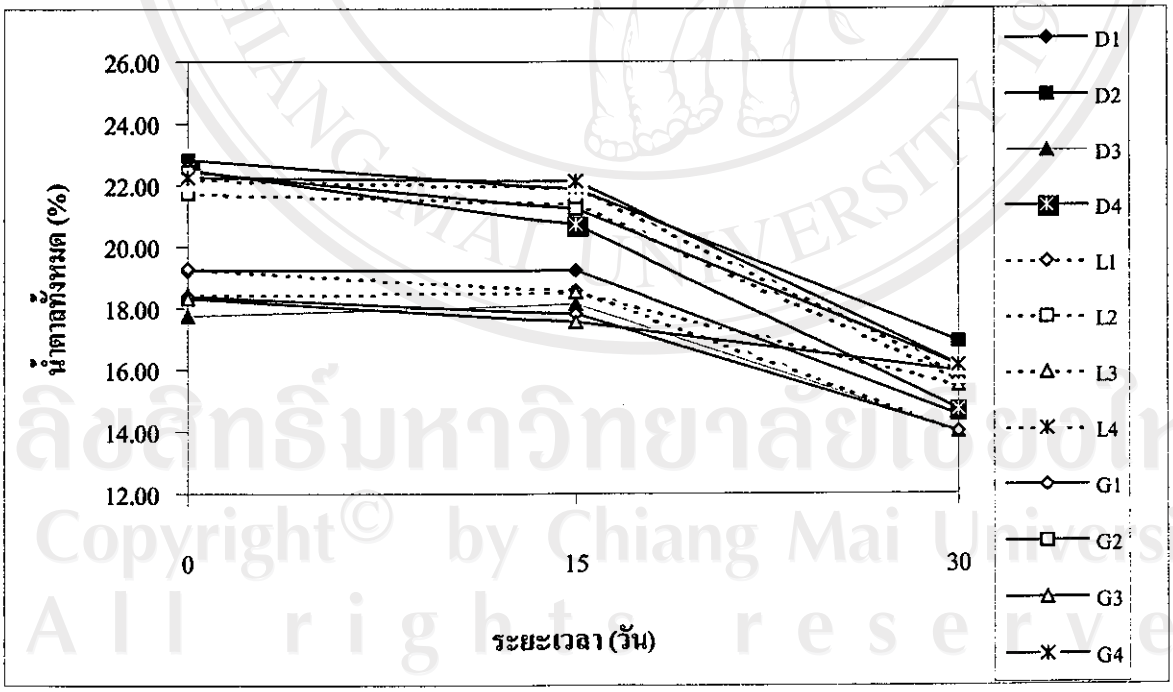


รูป 4.22 การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ของเนื้อลิ้นจี่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 37°C เป็นเวลา 30 วัน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

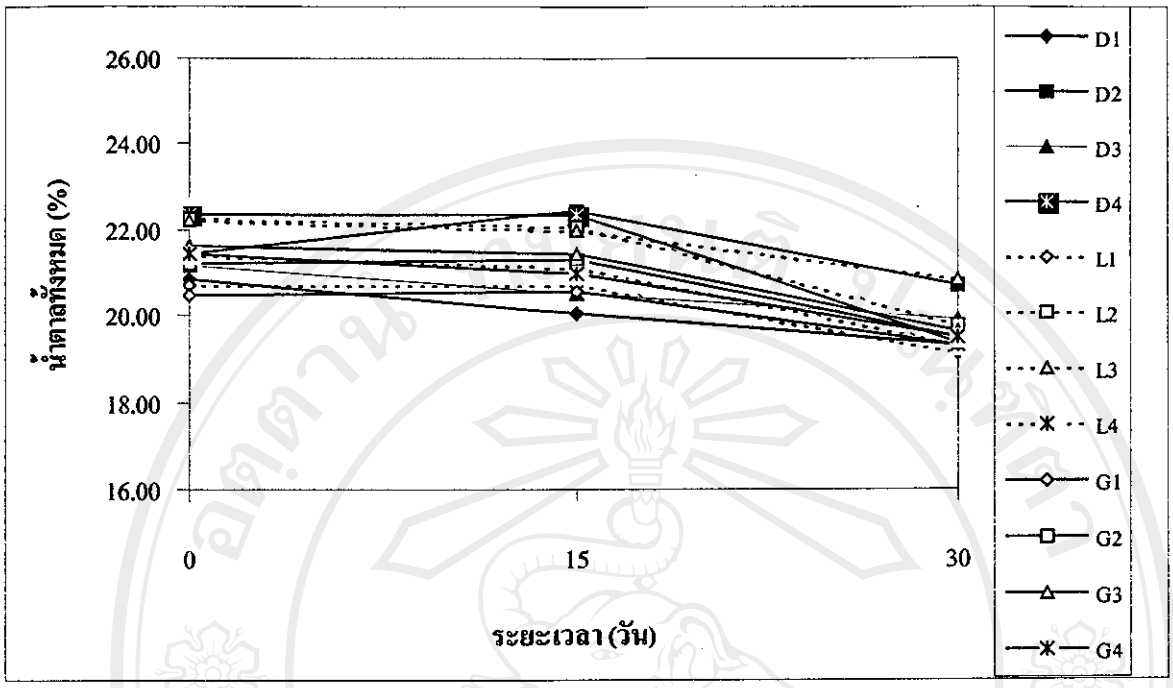


รูป 4.23 การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ของน้ำเชื่อมเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 37°C เป็นเวลา 30 วัน



รูป 4.24 การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำตาลทั้งหมดของเนื้อลิ้นจี่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 37°C เป็นเวลา 30 วัน

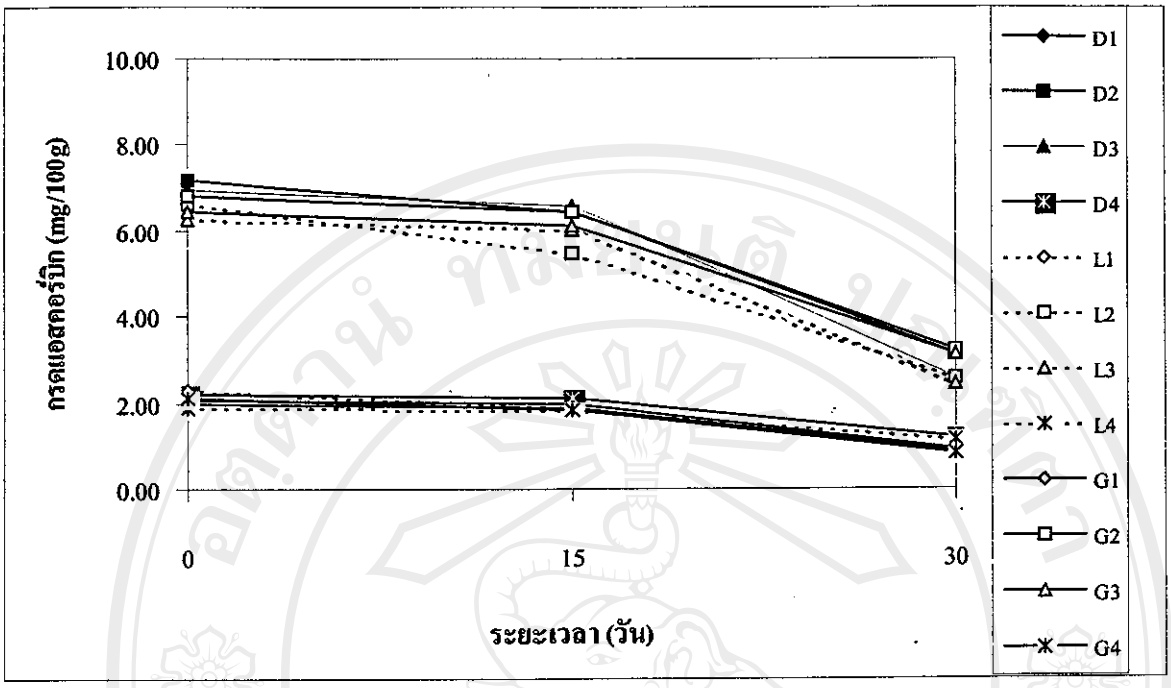
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



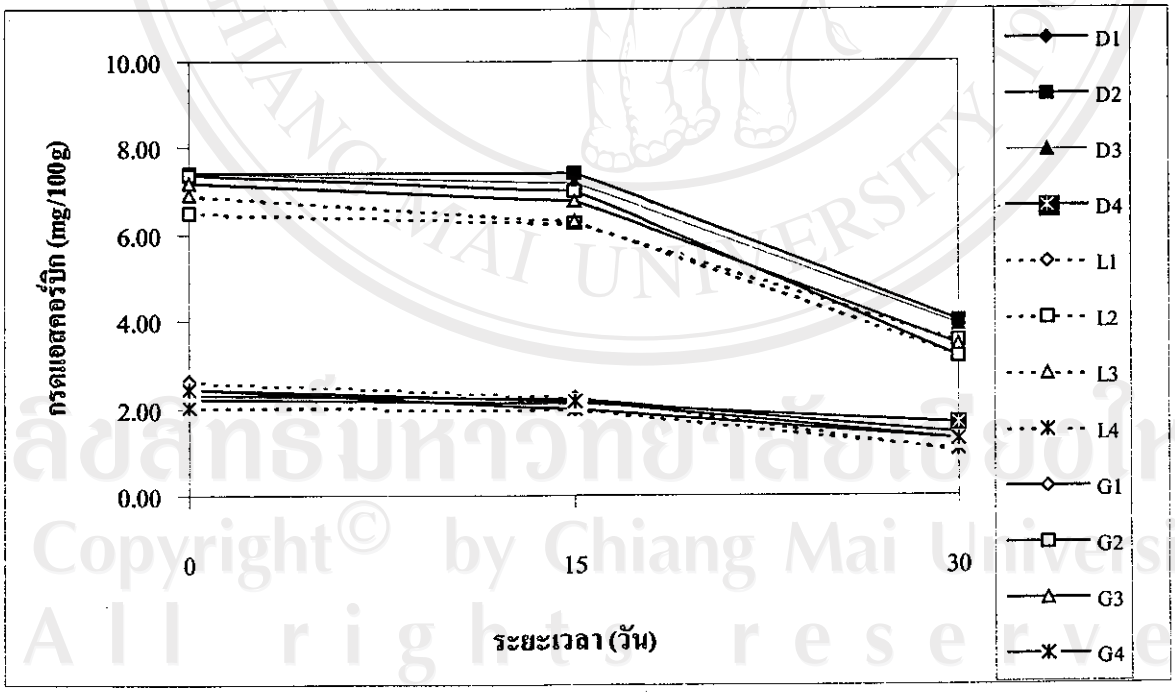
รูป 4.25 การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำตาลทั้งหมดของน้ำเชื่อมเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 37°C เป็นเวลา 30 วัน

จากรูป 4.26 และ 4.27 ปริมาณกรดแอสคอร์บิกที่เหลืออยู่ของเนื้อลิ้นจี่และน้ำเชื่อม พบว่าเวลาการเก็บรักษานานขึ้น มีผลให้ปริมาณกรดแอสคอร์บิกที่เหลืออยู่มีแนวโน้มลดลงทุกๆ ทรีทเมนต์ โดยที่ 1 วันมีปริมาณกรดแอสคอร์บิกเหลืออยู่ในเนื้อลิ้นจี่เท่ากับ 1.89-7.21 mg/100g และในน้ำเชื่อมเท่ากับ 2.05-7.42 mg/100g และการเก็บรักษาที่ 30 วัน มีปริมาณกรดแอสคอร์บิกเหลืออยู่ในเนื้อลิ้นจี่และน้ำเชื่อมเท่ากับ 0.83-3.14 mg/100g และ 1.03-4.01 mg/100g ซึ่งปริมาณของกรดแอสคอร์บิกที่เหลืออยู่ในเนื้อลิ้นจี่และน้ำเชื่อมในแต่ละทรีทเมนต์จะมีค่าใกล้เคียงกันและเมื่อเปรียบเทียบทรีทเมนต์ที่มีการเติมและไม่เติมกรดแอสคอร์บิกในผลิตภัณฑ์ ส่งผลให้เนื้อลิ้นจี่มีค่าสี L แตกต่างกัน โดยลิ้นจี่บรรจุกระป๋องดีบุกเติมกรดแอสคอร์บิก 0.20% และไม่ปรับ pH (D2) และลิ้นจี่บรรจุกระป๋องดีบุกเติมกรดแอสคอร์บิก 0.20% และปรับ pH ด้วยกรดซิตริก (D3) เก็บรักษา 30 วัน พบว่ามีค่าสี L มากที่สุด เป็นผลให้เนื้อลิ้นจี่มีสีสว่างกว่าทรีทเมนต์อื่น ซึ่งผลของการใช้ภาชนะบรรจุโดยเฉพาะกระป๋องดีบุกมีส่วนช่วยทำให้เกิดการเปลี่ยนสีของผลิตภัณฑ์ช้าลง ได้กล่าวไว้ในหัวข้อ 4.2.1.2.4

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



รูป 4.26 ปริมาณกรดแอสคอร์บิกที่เหลืออยู่ของเนื้อลิ้นจี่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 37°C เป็นเวลา 30 วัน



รูป 4.27 ปริมาณกรดแอสคอร์บิกที่เหลืออยู่ของน้ำเชื่อมเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 37°C เป็นเวลา 30 วัน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

จากรูป 4.19 ถึง 4.27 จะเห็นได้ว่าการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ไว้ที่เวลานานและอุณหภูมิการเก็บรักษาสูงทำให้ผลิตภัณฑ์มีแนวโน้มของค่าสี L และ h ลดลง ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์เพิ่มขึ้นและน้ำตาลทั้งหมดลดลง และปริมาณกรดแอสคอร์บิกที่เหลืออยู่ลดลงเป็นผลให้ผลิตภัณฑ์มีสีเข้ม ถึงแม้ว่าการเติมกรดแอสคอร์บิกในผลิตภัณฑ์จะช่วยยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน โดยกรดแอสคอร์บิกที่เติมลงไปจะถูกออกซิไดส์ทำให้ผลิตภัณฑ์มีสีคงตัว แต่กรดแอสคอร์บิกจะไม่เสถียรเมื่ออยู่ในรูปกรดดีไฮโดรแอสคอร์บิก (dehydroascorbic acid) ซึ่งจะถูกออกซิไดส์ได้ง่ายเปลี่ยนรูปเป็นกรดไดคีโตกูโลนิก (diketogulonic acid) และก่อให้เกิดสารสีน้ำตาลขึ้นมาก ในกระบวนการเริ่มต้นของปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล นอกจากการสลายตัวของกรดแอสคอร์บิก แล้วยังมีผลมาจากการสลายตัวของน้ำตาล โดยน้ำตาลรีดิวซ์และกรดอะมิโนเข้าร่วมในปฏิกิริยาเมลลาร์ดเป็นผลให้เกิดสารสีน้ำตาลขึ้นในผลิตภัณฑ์ (นิธิยา, 2543; DeMan, 1990; Ming and Paul, 1987; Dominic, 1989) กรดแอสคอร์บิกจะคงตัวที่สุดที่สภาพความเป็นกรดในกระบวนการผลิตอาหารในขั้นตอนการไล่อากาศหากมีการไล่อากาศออกให้หมดแล้ว รักษาระดับของเหล็กและทองแดงให้น้อยที่สุดจะช่วยรักษาปริมาณกรดแอสคอร์บิกและคุณภาพของผลิตภัณฑ์ไว้ได้ดี ถึงแม้ว่าการเติมกรดแอสคอร์บิกทำให้คุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์ดีขึ้น แต่ปัญหาการเกิดสีน้ำตาลในอาหารจะเกิดตามมากขึ้น ดังนั้นเมื่อมีการใช้กรดแอสคอร์บิกเป็นแอนติออกซิแดนท์ในอาหารจึงควรระมัดระวังในการใช้กรดแอสคอร์บิก เพราะปริมาณที่เติมลงไปจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับระดับปริมาณของออกซิเจนที่มีอยู่ หรือปริมาณ oxidizable substance (Roig *et al*., 1999)

4.3.2 ศึกษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ลิ้นจี่เก็บรักษา 30 วัน

ผลการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ลิ้นจี่ที่เวลา 30 วัน เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 37°C โดยบรรจุในภาชนะบรรจุต่างๆ การเติมกรดแอสคอร์บิก และการปรับค่า pH ของผลิตภัณฑ์ด้วยกรดซิตริก แสดงดังตาราง 4.3

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 4.3 คุณภาพทางกายภาพและทางเคมีของผลิตภัณฑ์ลิ้นจี่เก็บรักษา 30 วัน

ปัจจัย	ค่าสี			pH	กรดแอสคอร์บิก (mg/100g)		น้ำตาลรีดิวซ์ (%)		น้ำตาลทั้งหมด (%)	
	L	C	h		เนื้อลิ้นจี่	น้ำเชื่อม	เนื้อลิ้นจี่	น้ำเชื่อม	เนื้อลิ้นจี่	น้ำเชื่อม
ภาชนะบรรจุ (A)										
• กระป๋องดีบุก (a1)	55.47±1.31	6.35^{b}±0.36	114.21^{a}±3.57	4.08±0.22	1.95^{a}±1.00	2.75^{a}±1.31	11.24±0.99	12.12^{a}±1.25	15.03±1.37	19.82±0.71
• กระป๋องเคลือบแลคเกอร์ (a2)	54.63±0.97	7.23^{a}±0.88	108.70^{b}±4.10	4.04±0.17	1.77^{b}±0.82	2.20^{b}±1.28	10.79±0.82	11.58^{b}±1.08	15.25±0.95	19.70±0.84
• ขวดแก้ว (a3)	54.97±1.22	6.72^{b}±0.45	110.06^{b}±4.97	4.08±0.24	2.02^{a}±1.25	2.31^{b}±1.11	11.04±0.48	11.55^{b}±1.08	15.54±1.13	19.50±0.92
การเติมกรดแอสคอร์บิก (B)										
• เติมกรดแอสคอร์บิก (b1)	55.72^{a}±1.01	6.73±0.73	110.68±4.80	4.04±0.17	2.85^{a}±0.36	3.56^{a}±0.36	11.86±0.54	11.57±0.97	15.68^{a}±1.07	20.05±0.86
• ไม่เติมกรดแอสคอร์บิก (b2)	54.32^{b}±0.89	6.80±0.68	111.30±4.83	4.09±0.23	0.98^{b}±0.14	1.29^{b}±0.31	11.19±0.96	11.93±1.27	14.87^{b}±1.09	19.37±0.58
การปรับค่า pH ของผลิตภัณฑ์ (C)										
• เติมกรดซิตริก (c1)	55.23±0.89	6.98^{a}±0.82	109.77±4.31	3.89^{b}±0.06	1.88±0.92	2.42±1.21	11.53^{a}±7.05	11.83±1.33	15.34±1.00	19.77±0.92
• ไม่เติมกรดซิตริก (c2)	54.82±1.42	6.55^{b}±0.46	112.22±4.98	4.24^{a}±0.12	1.94±1.11	2.42±1.26	10.52^{b}±0.48	11.66±0.92	15.19±1.29	19.62±0.96
A x B										
a1b1	56.50^{a}±0.67	6.34^{bc}±0.38	113.42±3.28	4.06±0.19	2.84^{b}±0.37	3.96^{a}±0.09	10.75±0.35	11.54^{b}±0.87	14.45±1.93	20.31±0.49
a1b2	54.43^{b}±0.83	6.35^{bc}±0.40	115.00±4.17	4.09±0.26	1.05^{a}±0.14	1.54^{c}±0.23	11.74±1.24	12.69^{a}±1.42	14.61±0.44	19.34±0.56
a2b1	55.35^{a}±0.90	7.52^{a}±0.69	109.22±4.32	4.02±0.12	2.52^{c}±0.18	3.38^{b}±0.29	10.92±0.77	11.48^{b}±1.15	15.57±0.45	20.29±0.84
a2b2	53.91^{b}±0.10	6.94^{ab}±1.05	108.18±4.47	4.07±0.23	1.02^{d}±0.16	1.02^{d}±0.17	10.67±0.97	11.68^{b}±1.17	14.93±1.28	19.24±0.48
a3b1	55.32^{ab}±1.13	6.31^{c}±0.18	109.40±6.32	4.04±0.23	3.18^{a}±0.16	3.33^{b}±0.26	10.91±0.58	11.68^{b}±1.16	16.02±0.22	19.57±1.15
a3b2	54.62^{b}±1.37	7.12^{a}±0.13	110.72±4.07	4.11±0.28	0.86^{d}±0.05	1.30^{cd}±0.29	11.16±0.41	11.41^{b}±1.16	15.07±1.53	19.42±0.80

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 4.3 คุณภาพทางกายภาพและทางเคมีของผลิตภัณฑ์ลิ้นจี่เก็บรักษา 30 วัน (ต่อ)

ปัจจัย	ค่าสี			pH	กรดแอสคอร์บิก (mg/100g)		น้ำตาลรีดิวซ์ (%)		น้ำตาลทั้งหมด (%)	
	L	C	h		เนื้อลิ้นจี่	น้ำเชื่อม	เนื้อลิ้นจี่	น้ำเชื่อม	เนื้อลิ้นจี่	น้ำเชื่อม
A x C										
a1c1	55.40±0.98	6.36^{b}±0.41	111.88^{ab}±2.79	3.96^{b}±0.07	1.87±0.82	2.78±1.32	11.87±1.09	12.36±1.79	14.35^{b}±0.76	19.64±0.37
a1c2	55.54±1.73	6.33^{b}±0.36	116.50^{a}±2.73	4.26^{a}±0.13	2.02±1.27	2.72±1.49	10.62±0.29	11.87±0.52	15.71^{a}±1.60	20.01±0.97
a2c1	54.76±1.07	7.88^{a}±0.56	105.42^{c}±2.16	3.91^{b}±0.05	1.79±0.77	2.12±1.30	11.42±0.56	11.59±1.30	15.69^{a}±0.68	20.07±0.87
a2c2	54.50±1.00	6.59^{b}±0.61	111.98^{ab}±2.45	4.18^{a}±0.14	1.75±0.99	2.28±1.46	10.17±0.58	11.57±1.02	14.82^{ab}±1.07	19.45±0.81
a3c1	55.52±0.58	6.70^{b}±0.54	112.00^{abc}±4.22	3.86^{b}±0.05	1.98±1.33	2.37±1.27	11.30±0.29	11.54±0.72	16.03^{a}±1.01	19.59±0.71
a3c2	54.42±1.52	6.72^{b}±0.43	108.12^{bc}±5.47	4.30^{a}±0.07	2.06±1.36	2.26±1.13	10.78+0.53	11.55±1.31	15.05^{ab}±1.35	19.40±1.20
B x C										
b1c1	55.68^{a}±0.69	6.82^{ab}±0.98	111.07^{ab}±4.78	3.90^{b}±0.07	2.72^{b}±0.38	3.53^{a}±0.36	11.30±0.33	10.67^{c}±0.28	15.13^{b}±1.02	20.13±0.76
b2c1	54.78^{ab}±0.87	7.15^{a}±0.68	108.47^{b}±3.72	3.89^{b}±0.04	1.05^{c}±0.18	1.31^{b}±0.34	11.75±0.93	12.99^{a}±0.74	15.58^{ab}±1.02	19.40±0.23
b1c2	55.76^{a}±1.33	6.64^{b}±0.43	110.30^{ab}±5.23	4.19^{a}±0.10	2.98^{a}±0.32	3.58^{a}±0.40	10.41±0.26	12.46^{b}±0.25	16.23^{a}±0.87	19.98±1.02
b2c2	53.87^{b}±0.72	6.46^{b}±0.52	114.13^{a}±4.27	4.30^{a}±0.12	0.90^{c}±0.03	1.26^{b}±0.29	10.63±0.65	10.86^{c}±0.50	14.16^{c}±0.59	19.27±0.81

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 4.3 คุณภาพทางกายภาพและทางเคมีของผลิตภัณฑ์ลิ้นจี่เก็บรักษา 30 วัน (ต่อ)

ปัจจัย	ค่าสี			pH	กรดแอสคอร์บิก (mg/100g)		น้ำตาลรีดิวซ์ (%)		น้ำตาลทั้งหมด (%)	
	L	C	h		เนื้อลิ้นจี่	น้ำเชื่อม	เนื้อลิ้นจี่	น้ำเชื่อม	เนื้อลิ้นจี่	น้ำเชื่อม
A x B x C										
a1b1c1	56.13^{ab}±0.88	6.21^{bc}±0.26	112.30^{abc}±4.67	3.92^{cd}±0.10	2.57^{b}±2.89	3.92^{a}±0.05	10.93^{bcde}±0.12	10.81^{d}±0.05	13.98^{c}±1.00	19.91±0.05
a1b2c1	54.67^{abc}±0.04	6.50^{bc}±0.60	111.45^{abcd}±0.92	3.88^{cd}±0.04	1.17^{c}±0.07	1.65^{c}±0.29	12.80^{a}±0.21	13.91^{a}±0.03	14.72^{bc}±0.42	19.36±0.34
a1b1c2	56.88^{a}±0.16	6.46^{bc}±0.54	114.55^{ab}±2.33	4.21^{ab}±0.14	3.12^{a}±0.14	4.01^{a}±0.12	10.56^{bcde}±0.47	12.28^{b}±0.32	16.92^{a}±1.24	20.70±0.28
a1b2c2	54.20^{bc}±1.34	6.20^{bc}±0.13	118.55^{a}±0.92	4.31^{ab}±0.16	0.93^{c}±0.09	1.43^{cd}±0.14	10.67^{bcde}±0.12	11.46^{c}±0.18	14.51^{bc}±0.60	19.32±0.91
a2b1c1	55.54^{abc}±0.98	7.98^{a}±0.77	106.50^{cd}±2.97	3.92^{cd}±0.06	2.44^{b}±0.26	3.24^{b}±0.27	11.57^{b}±0.13	10.52^{d}±0.52	15.48^{abc}±0.05	20.82±0.04
a2b2c1	53.98^{bc}±0.01	7.78^{a}±0.57	104.35^{d}±0.78	3.90^{cd}±0.07	1.14^{c}±0.10	1.01^{d}±0.11	11.26^{bcd}±0.91	12.67^{b}±0.43	15.89^{abc}±1.01	19.33±0.18
a2b1c2	55.15^{abc}±1.14	7.06^{abc}±0.04	111.95^{abcd}±4.17	4.11^{bc}±0.08	2.60^{b}±0.05	3.53^{ab}±0.29	10.25^{de}±0.11	12.44^{b}±2.00	15.65^{abc}±0.76	19.76±0.98
a2b2c2	53.84^{c}±0.12	6.10^{c}±0.43	112.00^{abcd}±0.85	4.24^{ab}±0.18	0.90^{c}±0.06	1.03^{d}±0.29	10.08^{e}±0.80	10.69^{d}±0.18	13.98^{c}±0.28	19.15±0.80
a3b1c1	55.37^{abc}±0.17	6.24^{bc}±0.15	114.40^{ab}±4.10	3.85^{d}±0.07	3.14^{a}±0.12	3.45^{ab}±0.28	11.40^{bc}±0.26	10.67^{d}±0.19	15.92^{ab}±0.25	19.66±1.18
a3b2c1	55.68^{abc}±0.93	7.16^{ab}±0.11	109.60^{bcd}±3.68	3.88^{cd}±0.04	0.83^{c}±0.07	1.28^{cd}±0.29	11.20^{bcd}±0.38	12.41^{b}±0.14	16.14ab±1.20	19.52±0.28
a3b1c2	55.26^{abc}±1.94	6.38^{bc}±0.24	104.40^{d}±1.70	4.24^{ab}±0.02	3.22^{a}±0.24	3.21^{b}±0.24	10.43^{cde}±0.11	12.38^{b}±0.07	16.11^{ab}±0.22	19.48±1.58
a3b2c2	53.57^{c}±0.55	7.07^{abc}±0.17	111.85^{abcd}±5.59	4.35^{a}±0.07	0.89^{c}±0.02	1.31^{cd}±0.41	11.13^{bcde}±0.59	10.42^{d}±0.12	13.99^{c}±0.96	19.33±1.35

หมายเหตุ : เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามแนวตั้งในกลุ่มปัจจัยเดียวกันอักษรที่ต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

จากตาราง 4.3 ผลิตภัณฑ์ลิ้นจี่ที่เก็บรักษา 30 วัน พบว่า ปัจจัยภาชนะบรรจุ การเติมกรดแอสคอร์บิก และการปรับ pH ของผลิตภัณฑ์ ปฏิสัมพันธ์ของ 2 ปัจจัย และ 3 ปัจจัยมีผลต่อค่าสี L C และ h ค่า pH ปริมาณกรดแอสคอร์บิก น้ำตาลรีดิวซ์และน้ำตาลทั้งหมดดังนี้

ปัจจัยภาชนะ พบว่าค่าสี L ค่า pH ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในเนื้อลิ้นจี่ ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดทั้งในเนื้อลิ้นจี่และน้ำเชื่อมไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) โดยค่าสี L มีค่าเท่ากับ 54.63-55.47 ค่า pH เท่ากับ 4.04-4.08 ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในเนื้อลิ้นจี่เท่ากับ 10.79-11.24% ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดของเนื้อลิ้นจี่และน้ำเชื่อมเท่ากับ 15.03-15.54% และ 19.50-19.82% ตามลำดับ ส่วนค่าสี C และ h ปริมาณกรดแอสคอร์บิกทั้งในเนื้อลิ้นจี่และน้ำเชื่อม ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในน้ำเชื่อมมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) โดยค่าสี C ของกระป๋องเคลือบแลคเกอร์และค่าสี h ของกระป๋องดีบุกมีค่ามากที่สุดเท่ากับ 7.23 และ 114.21 ตามลำดับ ปริมาณกรดแอสคอร์บิกในเนื้อลิ้นจี่ของกระป๋องดีบุก ขวดแก้ว และน้ำเชื่อมของกระป๋องดีบุกมีค่ามากเท่ากับ 1.95-2.02 และ 2.75 mg/100g และปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ใน น้ำเชื่อมของกระป๋องดีบุกมีค่าเท่ากับ 12.12% แสดงว่าภาชนะบรรจุของกระป๋องดีบุกมีผลให้สีของเนื้อลิ้นจี่มีสีคล้ำน้อยกว่าภาชนะบรรจุอื่นๆ

ปัจจัยการเติมกรดแอสคอร์บิก พบว่าค่าสี L ปริมาณกรดแอสคอร์บิกในเนื้อลิ้นจี่และน้ำเชื่อม ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดในเนื้อลิ้นจี่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) โดยการเติมกรดแอสคอร์บิกมีค่ามากกว่าการไม่เติมกรดแอสคอร์บิก สำหรับค่าสี C และ h ค่า pH ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในเนื้อลิ้นจี่และน้ำเชื่อม และปริมาณน้ำตาลทั้งหมดในน้ำเชื่อมมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) โดยมีค่าเท่ากับ 6.73-6.80 110.68-111.30 4.04-4.09 11.19-11.86% 11.57-11.93% และ 19.37-20.05% ตามลำดับ แสดงว่าการเติมกรดแอสคอร์บิกมีผลให้สีของเนื้อลิ้นจี่สีคล้ำน้อยกว่าการไม่เติมกรดแอสคอร์บิก

ปัจจัยการปรับค่า pH ด้วยกรดซิตริก พบว่าค่าสี C ค่า pH และปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในเนื้อลิ้นจี่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) โดยการปรับค่า pH ด้วย กรดซิตริกมีผลให้ค่า pH น้อยกว่าการ ไม่ปรับค่า pH เท่ากับ 3.89 และทำให้ค่าสี C และปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ใน เนื้อลิ้นจี่มีค่ามากกว่าการไม่ปรับ pH เท่ากับ 6.98 และ 11.53% ตามลำดับ ส่วนค่าสี L และ h ปริมาณกรดแอสคอร์บิกในเนื้อลิ้นจี่และน้ำเชื่อม ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในน้ำเชื่อม และปริมาณน้ำตาลทั้งหมดในเนื้อลิ้นจี่และน้ำเชื่อมไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) แสดงว่าการปรับค่า pH ด้วยกรดซิตริกและไม่ปรับ pH ไม่มีผลแตกต่างกันของการเปลี่ยนสีเนื้อลิ้นจี่ที่ระยะเวลา 30 วัน

ปฏิสัมพันธ์ 2 ปัจจัยระหว่างภาชนะบรรจุและการเติมกรดแอสคอร์บิกพบว่า ค่าสี L และ C ปริมาณกรดแอสคอร์บิกในเนื้อลิ้นจี่และน้ำเชื่อม ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในน้ำเชื่อมมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) โดยลิ้นจี่บรรจุกระป๋องดีบุก กระป๋องเคลือบแลคเกอร์และขวดแก้ว

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เติมกรดแอสคอร์บิกมีค่าสี L มากเท่ากับ 55.32-56.50 ปริมาณกรดแอสคอร์บิกที่เหลือในเนื้อลิ้นจี่และน้ำเชื่อมในลิ้นจี่บรรจุภาชนะทั้ง 3 ชนิด ที่เติมกรดแอสคอร์บิกจะมีค่ามากกว่าการไม่เติมกรดแอสคอร์บิกเท่ากับ 2.52-3.18 และ 3.33-3.96 mg/100g ตามลำดับ ส่วนปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ของน้ำเชื่อมในลิ้นจี่บรรจุกระป๋องดีบุกไม่เติมกรดแอสคอร์บิกมีค่ามากที่สุดเท่ากับ 12.69% สำหรับค่าสี h ค่า pH ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ของเนื้อลิ้นจี่และปริมาณน้ำตาลทั้งหมดของเนื้อลิ้นจี่และน้ำเชื่อมไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) แสดงว่าการเติมกรดแอสคอร์บิกในภาชนะบรรจุทั้ง 3 ชนิด มีผลให้ค่าสีของเนื้อลิ้นจี่คล้ำน้อยกว่าการไม่เติมกรดแอสคอร์บิก

ปฏิสัมพันธ์ 2 ปัจจัยระหว่างภาชนะบรรจุและการปรับค่า pH ของผลิตภัณฑ์ พบว่าค่าสี C และ h ค่า pH ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดของเนื้อลิ้นจี่มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) โดยลิ้นจี่บรรจุกระป๋องเคลือบแลคเกอร์ที่ปรับค่า pH ของผลิตภัณฑ์มีค่าสี C มากที่สุดเท่ากับ 7.88 ลิ้นจี่ที่บรรจุกระป๋องดีบุกไม่ปรับค่า pH มีค่าสี h มากเท่ากับ 116.50 ค่า pH ของลิ้นจี่บรรจุภาชนะบรรจุทั้ง 3 ชนิดที่ปรับค่า pH ของผลิตภัณฑ์จะมีค่าน้อยกว่าไม่ปรับค่า pH เท่ากับ 3.86-3.96 สำหรับค่าสี L ปริมาณกรดแอสคอร์บิกของเนื้อลิ้นจี่และน้ำเชื่อม ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ของเนื้อลิ้นจี่และน้ำเชื่อม ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดของเนื้อเชื่อมไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) แสดงว่าการปรับค่า pH ในภาชนะบรรจุทั้ง 3 ชนิด ไม่ทำให้ค่าสี L ของเนื้อลิ้นจี่แตกต่างกันมีค่าเท่ากับ 54.42-55.54 ซึ่งสีของเนื้อลิ้นจี่จะมีสีคล้ำใกล้เคียงกันที่ระยะเวลา 30 วัน

ปฏิสัมพันธ์ 2 ปัจจัยระหว่างการเติมกรดแอสคอร์บิกและการปรับค่า pH ของผลิตภัณฑ์ พบว่าค่าสี L C และ h ค่า pH ปริมาณกรดแอสคอร์บิกของเนื้อลิ้นจี่และน้ำเชื่อม ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ของน้ำเชื่อม และปริมาณน้ำตาลทั้งหมดของเนื้อลิ้นจี่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) ค่าสี L ของการเติมกรดแอสคอร์บิกโดยปรับหรือไม่ปรับ pH จะมีค่ามากเท่ากับ 55.68-55.76 ค่า pH ของการเติมหรือไม่เติมกรดแอสคอร์บิกโดยการปรับค่า pH ของผลิตภัณฑ์จะมีค่าน้อยกว่าการไม่ปรับค่า pH เท่ากับ 3.89-3.90 ปริมาณกรดแอสคอร์บิกที่เหลืออยู่ของการเติมกรดแอสคอร์บิกโดยการปรับหรือไม่ปรับ pH พบในเนื้อลิ้นจี่มีค่าเท่ากับ 2.72-2.98 mg/100g และในน้ำเชื่อมเท่ากับ 3.53-3.58 mg/100g จากผลข้อมูลแสดงว่าการเติมหรือไม่เติมกรดแอสคอร์บิกและการปรับหรือไม่ปรับ pH ของผลิตภัณฑ์มีค่าสีของเนื้อลิ้นจี่แตกต่างกัน โดยค่าสี L มีค่าเท่ากับ 53.87-55.76 ซึ่งค่าจะใกล้เคียงกัน อาจเป็นเพราะว่าระยะเวลาของการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ลิ้นจี่ที่ 30 วัน น้อยไปจึงเกิดการเปลี่ยนแปลงไม่มากนัก

ปฏิสัมพันธ์ 3 ปัจจัยระหว่างภาชนะบรรจุ การเติมกรดแอสคอร์บิก และการปรับค่า pH ของผลิตภัณฑ์ พบว่า ค่าสี L C และ h ค่า pH ปริมาณกรดแอสคอร์บิกของเนื้อลิ้นจี่และน้ำเชื่อม ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ของเนื้อลิ้นจี่และน้ำเชื่อม ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดของเนื้อลิ้นจี่มีความแตกต่าง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) การเปลี่ยนสีของเนื้อลิ้นจี่ของค่าสี L และ h มีความแตกต่างกันโดยลิ้นจี่บรรจุกระป๋องดีบุกเติมกรดแอสคอร์บิกปรับและไม่ปรับ pH ของผลิตภัณฑ์ จะมีค่าสี L มากเท่ากับ 56.88 และ 56.13 ค่าสี h เท่ากับ 114.55 และ 112.30 ตามลำดับ ปริมาณกรดแอสคอร์บิกที่เหลืออยู่พบว่าทรีทเมนต์ของลิ้นจี่บรรจุภาชนะทั้ง 3 ชนิดที่มีการเติมกรดแอสคอร์บิกจะมีผลให้ปริมาณกรดแอสคอร์บิกเหลืออยู่มากกว่าการไม่เติมกรดแอสคอร์บิกซึ่งการปรับหรือไม่ปรับค่า pH ของผลิตภัณฑ์ไม่มีผลต่อปริมาณกรดแอสคอร์บิกโดยในเนื้อลิ้นจี่มีค่าเท่ากับ 2.44-3.22 mg/100g และในน้ำเชื่อมเท่ากับ 3.21-4.01 mg/100g ค่า pH ของผลิตภัณฑ์ที่มีการเติมกรดซิตริกจะเติมหรือไม่เติมกรดแอสคอร์บิกบรรจุในภาชนะบรรจุทั้ง 3 ชนิด จะมีค่า pH น้อยกว่าการไม่ปรับ pH เท่ากับ 3.85-3.92 และปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในลิ้นจี่บรรจุภาชนะกระป๋องดีบุกไม่เติมกรดแอสคอร์บิกและปรับ pH ของผลิตภัณฑ์ด้วยกรดซิตริกจะมีค่ามากที่สุดของเนื้อลิ้นจี่และน้ำเชื่อมเท่ากับ 12.80 และ 13.91% ตามลำดับ

จากตารางของข้อมูลจะพบว่าการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ไว้ที่เวลา 30 วัน ผลของปัจจัยภาชนะบรรจุทั้ง 3 ชนิดไม่มีความแตกต่างของค่าสี L ผลของปัจจัยที่มีการเติมกรดแอสคอร์บิกจะมีผลทำให้ปริมาณกรดแอสคอร์บิกเหลืออยู่มากกว่าการไม่เติมกรดแอสคอร์บิก และผลของปัจจัยที่มีการปรับ pH ของผลิตภัณฑ์ด้วยกรดซิตริกทำให้ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์มากกว่าทรีทเมนต์ที่ไม่เติมกรดซิตริก อาจเป็นเพราะว่าในสภาวะความเป็นกรดสูงจะเร่งปฏิกิริยาการเกิดไฮโดรไลซิสของน้ำตาลได้มากกว่าสภาวะความเป็นกรดต่ำจึงมีผลให้น้ำตาลรีดิวซ์เพิ่มขึ้น ระยะเวลาของการเก็บรักษา 30 วัน มีผลต่อการเปลี่ยนสีของเนื้อลิ้นจี่จากวันแรก แต่ค่าสียังมีความแตกต่างกันยังไม่ชัดเจนที่ระบุว่าทรีทเมนต์ไหนดีที่สุด ซึ่งถ้าหากว่าเก็บรักษาไว้ที่เวลานานขึ้นอาจจะเห็นการเปลี่ยนแปลงของสีเนื้อลิ้นจี่มีความชัดเจนมากกว่านี้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved