รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

ผลของความแก่อ่อนและสภาวะการอบแห้งด้วยตู้อบแห้งแบบสุญญากาศที่มีต่อคุณภาพของส้มแขกแห้ง

Effects of Maturity and Vacuum Drying Conditions on Qualities of Dried Som-Khaek (*Garcinia atroviridis* Griff. ex.T Anderson)

คณะนักวิจัย

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อัญชลี ศิริโชติ

บุปผา จองปัญญาเลิศ

โครงการวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากงบประมาณแผ่นดินประจำปี 2556

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ประจำปีงบประมาณ 2556 รหัสโครงการ AGR560104S-0

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากงบประมาณแผ่นดินประจำปี 2556 มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ประจำปีงบประมาณ 2556 รหัสโครงการ AGR560104S-0 คณะผู้วิจัยใคร่ขอขอบพระคุณ ณ โอกาสนี้ คณะผู้วิจัยใคร่ขอขอบพระคุณผู้ทรงคุณวุฒิ ที่กรุณาให้คำแนะนำเพื่อให้งานวิจัยนี้ สำเร็จลงได้ด้วยความเรียบร้อยและใคร่ขอขอบคุณภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ ศูนย์นวัตกรรมเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา ที่ให้การสนับสนุนในเรื่องสถานที่ เครื่องมือ อุปกรณ์ ตลอดจนนักวิทยาศาสตร์ที่ให้เทคนิคในการวิเคราะห์ สนับสนุนงานวิจัยนี้ให้ดำเนินงานสำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

คณะผู้วิจัยยังใคร่ขอขอบคุณเจ้าของสวนส้มแขกในเขตอำเภอนาหม่อมและเขตตำบลทุ่งตำเสา อำเภอหาดใหญ่ ที่ให้ความอนุเคราะห์อนุญาตให้ใช้พื้นที่ปลูกทำวิจัยในครั้งนี้และขอขอบคุณผู้ทดสอบทางประสาทสัมผัสทุกท่านที่กรุณาสละเวลา ให้ความร่วมมือในการประเมินผลิตภัณฑ์ในระหว่างการทำวิจัยของโครงการนี้ ณ โอกาสนี้

คณะผู้วิจัย

ธันวาคม 2559

บทคัดย่อ

ส้มแขก (*Garcinia atroviridis* Griff. ex.T Anderson) เป็นพืชสมุนไพรไทยที่พบมากในภาคใต้ของประเทศไทย การอบแห้งเป็นทางเลือกสำคัญในการลดการสูญเสียหลังเก็บเกี่ยว อีกทั้งสามารถนำสารสำคัญของผลส้มแขกมาใช้ประโยชน์และเพิ่มมูลค่า การศึกษาระยะความแก่อ่อนที่มีต่อคุณภาพของส้มแขกสด ทำการเก็บเกี่ยวผลส้มแขกระยะที่ผลมีสีเขียวและระยะที่ผลมีสีเหลือง นับวันหลังติดผล 90 และ 102 วัน ตามลำดับ และนำวิเคราะห์คุณภาพภายหลังการเก็บเกี่ยวพบว่า ส้มแขกสดจากระยะที่ผลมีสีเขียวมีปริมาณความชื้น ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้ ต่ำกว่าส้มแขกสดจากระยะที่ผลมีสีเหลือง ส้มแขกสดจากระยะที่ผลมีสีเขียวและสีเหลือง มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (ฐานแห้ง) และกิจกรรมการต้านอนุมูล DPPH รายงานค่าในรูป EC_{50} เท่ากับ 1.51±0.04, 1.54±0.02 มก.สมมูลของกรดแกลลิก/ก.ตัวอย่างฐานแห้ง และ 2.33±0.22, 2.62±0.19 มก./มล. ตามลำดับ ปริมาณกรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริก และกรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริกแลกโตน เท่ากับ 24.96±0.09 และ 24.17±0.11 ก./100ก. ตัวอย่างในฐานแห้ง และ 16.50±0.01 และ 15.55±0.27 ก./100ก. ตัวอย่างในฐานแห้ง ตามลำดับ

การศึกษาผลของการแช่ในสารละลายพรีทรีทเมนต์ต่อคุณภาพของชิ้นส้มแขกอบแห้ง โดยนำผลส้มแขกสดหลังการเก็บเกี่ยว แต่ละระยะความแก่อ่อน มาล้างทำความสะอาด ตัดตามแนวตั้งของผล ขนาดชิ้นความหนา 1.0-1.4 มม. นำชิ้นส้มแขกแต่ละระยะความแก่อ่อน แช่ในสารละลายพรีทรีทเมนต์ดังนี้ สารละลาย 0.5% เกลือแกง (NaCl), 0.5% แคลเซียมคลอไรด์ ($CaCl_2$) และสารละลายผสมของ 0.5% NaCl และสารละลาย 0.5% $CaCl_2$ เป็นเวลา 5 และ 10 นาที และชุดควบคุมเตรียมโดยไม่ผ่านการแช่สารละลาย (2x4x2) นำมาอบแห้งด้วยตู้อบแห้งลมร้อนที่อุณหภูมิ 50°C จนชิ้นส้มแขกมีปริมาณความชื้น 7% พบว่าสารละลาย 0.5% $CaCl_2$ แช่เป็นเวลา 5 นาที เหมาะต่อการใช้ปรับสภาพของส้มแขกก่อนการอบแห้ง โดยชิ้นส้มแขกอบแห้งจากระยะที่ผลมีสีเขียวและสีเหลืองที่ได้มีค่าความสว่าง (L*) เท่ากับ 69.05±1.17 และ 67.43±1.23 มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดเท่ากับ 1.26±0.02 และ 1.65±0.02 มก.สมมูลของกรดแกลลิก ต่อ ก.ตัวอย่าง (ฐานแห้ง) กิจกรรมการต้านอนุมูล DPPH (EC_{50}) เท่ากับ 2.08±0.39 และ 3.82±0.26 มก.ต่อมล. ปริมาณกรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริกและกรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริกแลกโตนเท่ากับ 12.22±0.02 และ 13.06±0.05 ก./100 ก.ตัวอย่างฐานแห้ง และ 3.96±0.03 และ 3.32±0.08 ก./100 ก.ตัวอย่างฐานแห้ง ตามลำดับ

การศึกษาผลของอุณหภูมิการอบแห้งด้วยตู้อบแบบสุญญากาศต่อคุณภาพของชิ้นส้มแขกอบแห้ง นำชิ้นส้มแขกที่ผ่านการแช่สารละลาย 0.5% $CaCl_2$ แต่ละชุดการทดลองนำมาอบแห้งแบบสุญญากาศ (Vacuum oven) ที่อุณหภูมิแตกต่างกัน 3 ระดับได้แก่ 40, 50 60 องศาเซลเซียส (22 มิลลิเมตรปรอท) อบแห้งจนมีปริมาณความชื้นเป้าหมายเป็น 7% พบว่า การอบแห้งที่อุณหภูมิ 40, 50 และ 60 องศาเซลเซียส จนกระทั่งชิ้นส้มแขกแห้งมีปริมาณความชื้นประมาณ 7% ใช้เวลาในการอบแห้งเท่ากับ 14.8, 10.0 และ 5.4 ชั่วโมง ตามลำดับ งานวิจัยนี้พบว่า ที่อุณหภูมิอบแห้ง 50 องศาเซลเซียสให้ชิ้นส้มแขกอบแห้งที่ได้มีปริมาณของกรด (-)-ไฮดร็อกซีซิตริก และกรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริกแลกโตนที่เหมาะสมกว่าชุดการทดลองอื่น

การศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพชิ้นส้มแขกอบแห้งจากระยะผลที่มีสีเขียวและสีเหลือง ที่ผ่านการแช่และไม่ใช่สารละลาย 0.5% $CaCl_2$ อบแห้งด้วยตู้อบแห้งแบบสุญญากาศ (pilot scale vacuum dryer) ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ค่าสุญญากาศ 70 มิลลิเมตรปรอทเป็นเวลา 5 ชั่วโมง ระหว่างเก็บรักษาในถุงไนลอน (Nylon, ทางการค้าในที่นี้หมายถึง Nylon/LLDPE) และพอลิเอทิลีน (PE) ที่อุณหภูมิ 28 และ 4 องศาเซลเซียส พบว่า ระยะเวลาเก็บรักษาเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของชิ้นส้มแขกอบแห้ง ในขณะที่ชนิดบรรจุภัณฑ์ Nylon และ PE มีผลกระทบเล็กน้อย โดยชิ้นส้มแขกอบแห้งทุกชุดการทดลองที่บรรจุในถุง Nylon และ PE เก็บรักษาที่ 28 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 3.5 เดือน มีค่า L* และ b* ลดลง ในขณะที่ a* เพิ่มขึ้น ($p<0.05$) แสดงให้ว่าตัวอย่างมีสีคล้ำขึ้น ปริมาณความชื้นมีค่าเพิ่มขึ้น ในขณะที่ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดลดลง ($p<0.05$) ส่วนคะแนนเฉลี่ยคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านคุณลักษณะโดยรวมยังมีค่าลดลง ($p<0.05$) เช่นกัน และชิ้นส้มแขกอบแห้งทุกชุดการทดลองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 4 เดือน มีการเปลี่ยนแปลงคุณภาพโดยเฉพาะด้านสีน้อยกว่าชิ้นส้มแขกอบแห้งที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส ส่วนปริมาณความชื้นมีค่าเพิ่มขึ้น ในขณะที่ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดลดลง ($p<0.05$) เช่นเดียวกัน ส่วนคุณลักษณะทางประสาทสัมผัส พบว่า คะแนนเฉลี่ยด้านคุณลักษณะโดยรวมของชิ้นส้มแขกอบแห้งทุกชุดการทดลองมีค่าไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติจากเมื่อเริ่มเก็บรักษา ในขณะที่ค่ากิจกรรมการต้านอนุมูล DPPH ของชิ้นส้มแขกอบแห้งจากทั้งสองอุณหภูมิเก็บรักษา มีค่าผันแปรในระหว่างการเก็บ ยังพบว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสให้ปริมาณสารสำคัญคงเหลือ (เปรียบเทียบกับค่าเริ่มต้น) ของกรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริกที่ดีกว่าการเก็บที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส โดยเมื่อสิ้นสุดการเก็บรักษา 4 เดือน พบว่าในถุง PE ให้ปริมาณคงเหลือจากมากสุด(1), อันดับรองสองอันดับ (2), และ (3) ดังนี้ จากระยะที่ผลมีสีเหลือง (1) แช่สารละลาย0.5% $CaCl_2$, (2) ไม่แช่สารละลาย 0.5% $CaCl_2$, และ (3) ระยะที่ผลมีสีเขียวไม่แช่สารละลาย 0.5% $CaCl_2$ โดยมีปริมาณ (กรัมต่อ 100 กรัม ตัวอย่าง, ฐานแห้ง) ของกรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริกและกรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริกแลกโตนเท่ากับ (1) 22.02±0.09 และ 4.35± 0.01, (2) 23.12±0.09 และ 3.26±0.04, และ (3) 14.48±0.56 และ 15.86±0.59 ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่า ชิ้นส้มแขกอบแห้งทุกชุดการทดลองที่บรรจุในถุง Nylon และ PE เมื่อสิ้นสุดการเก็บรักษามีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ยีสต์ และรา เป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนเรื่องผักและผลไม้แห้ง

คำสำคัญ ส้มแขกแห้ง ส้มแขกระยะที่ผลมีสีเขียว ส้มแขกระยะที่ผลมีสีเหลือง อบแห้งสุญญากาศ
กรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริก

Abstract

Som-Khaek (*Garcinia atroviridis* Griff. ex.T Anderson) is a Thai medicinal plant found most in the south region of Thailand. Drying is the major option applied for postharvest loss reduction and gaining the benefits of the major constituents and value-added product from Som-khaek. The study of fruit maturity effected on qualities of fresh Som-khaek fruit was conducted. Som-khaek fruit at the maturity of greenish fruit and yellowish ripe fruit counted from the date after fruit set at 90 and 102 days, respectively, were harvested and immediately followed by the analyses of each fruit maturity. It was found that fresh greenish fruit contained the contents of moisture, the total soluble solids, the total titratable acidity lower than those of fresh ripe yellowish ones. Fresh greenish and ripe yellowish fruits had the total phenolic content and DPPH scavenging activity expressed as EC_{50} of 1.51±0.04 and 1.54±0.02 mg GAE/g sample (db) and 2.33±0.22 and 2.62±0.19 mg/ml, respectively. The contents (g/100g sample, db) of (-)-hydroxycitric acid, and (-)-hydroxycitric acid lactone were 24.96±0.09 and 24.17±0.11, and 16.50±0.01 and 15.55±0.27, respectively.

The effects of soaking in various pretreatment solutions on qualities of dried sliced Som-khaek pieces were also performed. Fresh Som-khaek fruits from each maturity stage were washed and vertically cut into pieces of 1.0-1.4 mm. thickness. Then soaking into the pretreatment solutions of 0.5% NaCl, 0.5% $CaCl_2$ and the mixture solution of 0.5% NaCl and 0.5% $CaCl_2$ for 5 and 10 minutes each with no soaking any solution using as a control (2x4x2). All soaked samples were subsequently dried in an air dryer at 50°C until obtaining the moisture content of 7%. It was found that the soaking solution of 0.5% $CaCl_2$ for 5 minutes was the most appropriate for pretreating the Som-khaek slices prior to drying. Also, dried slices from greenish and ripe yellowish fruits had the L* values of 69.05±1.17 and 67.43±1.23, the total phenolic contents of 1.26±0.02 and 1.65±0.02 mg GAE/g sample (db), respectively, DPPH scavenging activity expressed as EC_{50} of 2.08±0.39 and 3.82±0.26 mg/ml, respectively. The contents (g/100g sample, db) of (-)-hydroxycitric acid, and (-)-hydroxycitric acid lactone were 12.22±0.02 and 13.06±0.05, and 3.96±0.03 and 3.32±0.08, respectively.

The effects of drying temperatures of a vacuum dryer on qualities of dried Som-khaek slices were also conducted. Som-khaek slices from each maturity after soaking with 0.5% $CaCl_2$ solution for 5 minutes were immediately dried in a vacuum oven at three different temperatures including 40, 50 and 60°C for 14.8, 10.0 and 5.4 hours, respectively, or until obtaining the moisture content of 7%. It was found that drying temperature at 50°C

provided the dried slices attaining the appropriate amounts of (-)-hydroxycitric acid and (-)-hydroxycitric acid lactone as compared to other treatments.

The quality changes of dried Som-khaek slices from greenish and ripe yellowish fruits, with soaking into the solution of 0.5% $CaCl_2$ prior to drying in the Pilot scale vacuum dryer at 50°C and 70 mmHg for 5 hours, packed in Nylon (commercial Nylon/LLDPE) and polyethylene (PE) bags during storage at 28°C and 4°C were performed. It was found that a storage period was the major factor effected on qualities of dried slices. Whereas packaging types of Nylon and PE bags provided slightly effected on those. Dried Som-khaek from all treatments packed in Nylon and PE bags stored at 28°C for 3.5 months had the lower values of L* and b*, whereas the increase ($p<0.05$) in the a* value was observed. This implied that all samples had darker in their color and also increasing in their moisture contents, while reducing ($p<0.05$) in the total phenolic content was detected as well. The observed average scores of sensory evaluation based on the overall characteristics of dried Som-khaek was also lowering ($p<0.05$) in values. In addition, dried slices from all treatments stored at 4°C for 4 months had quality changes, especially in color values, less than those stored at 28°C. The increasing in the moisture content and the lowering ($p<0.05$) in the total phenolic content were also observed. Furthermore, the average sensory evaluated scores based on the overall characteristics of all treatments were not significantly different as compared to those of the initial ones. In addition, the DPPH scavenging activity values of all treatments varied throughout the whole storage period. The storage at 4°C for 4 months also provided the attained (-)-hydroxycitric acid contents (compared to the initial ones) greater than those of the others. This, a PE bag provided treatments attained the greatest (1) and serially other two greater (2), (3) amounts of (-)-hydroxycitric acid and (-)-hydroxycitric acid lactone as follows: the ripe yellowish fruit (1) with soaking, and (2) without soaking into the solution of 0.5% $CaCl_2$, (3) the greenish fruit without soaking into the solution of 0.5% $CaCl_2$. These amounts (g/100g sample, db) mentioned above were (1) 22.02±0.09 and 4.35±0.01, (2) 23.12±0.09 and 3.26±0.04, and (3) 14.48±0.56 and 15.86±0.59, respectively. Last, all treatments at the end of each storage contained the total aerobic plate counts, yeast and mold counts in the accepted amounts following by the announcement level of the Thai Community Product Standard: Dried fruits and vegetables.

Keywords: Som-Khaek, Green *Garcinia atroviridis* fruit period,
Yellow *Garcinia atroviridis* fruit period, Vacuum drying, (-)-hydroxycitric acid

สารบัญ

เนื้อเรื่อง	หน้าที่
กิตติกรรมประกาศ	i
บทคัดย่อ	ii
Abstract	iv
สารบัญตาราง	vii
สารบัญภาพ	x
สารบัญตารางภาคผนวก	ix
สารบัญภาพภาคผนวก	xiv
บทนำ	1
วัตถุประสงค์โครงการวิจัย	1
การตรวจเอกสาร	2
วิธีการทดลอง	9
ผลการทดลองและวิจารณ์	13
สรุปผลการทดลอง	85
เอกสารอ้างอิง	89
ภาคผนวก ก	95
ข้อเสนอแนะ	95
ประโยชน์ที่ได้รับ	95
การนำเสนอผลงานทางวิชาการ	95
ภาคผนวก ข	96
ภาคผนวก ค	98
ภาคผนวก ง	99
ภาคผนวก จ	103
ประวัติผู้วิจัย	104

รายการตาราง

ตารางที่		หน้าที่
1	จำนวนวันหลังติดผลค่าเฉลี่ยขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางและน้ำหนักต่อผลส้มแขกที่ระยะความแก่อ่อนแตกต่างกัน	13
2	ค่าสี (L*, a*, b*) ของส้มแขกระยะที่ผลมีสีเขียวและสีเหลือง	16
3	ค่าสี (Hue angle) และความแน่นเนื้อแสดงในรูปค่าแรงกด (นิวตัน) ของส้มแขกระยะที่ผลมีสีเขียวและสีเหลือง	16
4	ค่าปริมาณความชื้น (%) ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (%บริกส์) ค่าพีเอชและปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ในรูปกรดซิตริก (%) ปริมาณเถ้าทั้งหมดและเถ้าที่ไม่ละลายในกรด (%) ของส้มแขกระยะที่ผลมีสีเขียวและสีเหลือง	17
5	ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (mesophile) ยีสต์และราของส้มแขกระยะที่ผลมีสีเขียวและสีเหลือง	19
6	ผลของระยะความแก่อ่อนและสารละลายที่ใช้พรีทรีทเมนต์ต่อค่าสี (L*, a* และ b*) ของส้มแขกที่ทำแห้งแบบสุญญากาศ	20
7	สภาวะการอบแห้งแบบสุญญากาศอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสของชิ้นส้มแขกระยะที่ผลมีสีเขียว	24
8	สภาวะการอบแห้งแบบสุญญากาศอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสของชิ้นส้มแขกระยะที่ผลมีสีเหลือง	25
9	ค่า % ผลได้ (%yield) จากการอบแห้งชิ้นส้มแขกด้วยตู้อบแห้งแบบสุญญากาศที่อุณหภูมิ 40, 50 และ 60 องศาเซลเซียส ของชิ้นส้มแขกที่มีระยะความแก่อ่อนต่างกัน	25
10	ผลของระยะความแก่อ่อน การแช่สารละลาย 0.5% $CaCl_2$ และอุณหภูมิอบแห้งด้วยตู้อบสุญญากาศต่อค่าแรงตัดและค่าสี (L*, a* และ b*) ของชิ้นส้มแขกอบแห้ง	27
11	ปริมาณความชื้นของชิ้นส้มแขกอบแห้งจากส้มแขกที่มีระยะความแก่อ่อนต่างกัน การแช่สารละลาย 0.5% $CaCl_2$ และการอบแห้งที่อุณหภูมิแตกต่างกัน	28
12	สภาวะการอบแห้งส้มแขกด้วยตู้อบแห้งแบบสุญญากาศที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสของชิ้นส้มแขกจากระยะที่ผลมีสีเขียวในขั้นตอนการเก็บรักษา	32
13	สภาวะการอบแห้งส้มแขกด้วยตู้อบแห้งแบบสุญญากาศที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสของชิ้นส้มแขกจากระยะที่ผลมีสีเหลืองในขั้นตอนเก็บรักษา	33

รายการตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้าที่
14	ปริมาณโลหะหนักของชิ้นส้มแขกอบแห้งจากระยะที่ผลมีสีเขียวและสีเหลือง	34
15	ค่าสีและค่าแรงตัดของชิ้นส้มแขกอบแห้งจากระยะที่ผลมีสีเขียว แช่สารละลาย 0.5% $CaCl_2$ เก็บที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียสในถุง Nylon และ PE	38
16	ค่าสีและค่าแรงตัดของชิ้นส้มแขกอบแห้งจากระยะที่ผลมีสีเขียว ไม่แช่สารละลาย 0.5% $CaCl_2$ เก็บที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส ในถุง Nylon และ PE	38
17	ค่าสีและค่าแรงตัดของชิ้นส้มแขกอบแห้งจากระยะที่ผลมีสีเหลือง แช่สารละลาย 0.5% $CaCl_2$ เก็บที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียสในถุง Nylon และ PE	39
18	ค่าสีและค่าแรงตัดของชิ้นส้มแขกอบแห้งจากระยะที่ผลมีสีเหลือง ไม่แช่สารละลาย 0.5% $CaCl_2$ เก็บที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส ในถุง Nylon และ PE	39
19	ค่าสีและค่าแรงตัดของชิ้นส้มแขกอบแห้งจากระยะที่ผลมีสีเขียว แช่สารละลาย 0.5% $CaCl_2$ เก็บที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ในถุง Nylon และ PE	42
20	ค่าสีและค่าแรงตัดของชิ้นส้มแขกอบแห้งจากระยะที่ผลมีสีเขียว ไม่แช่สารละลาย 0.5% $CaCl_2$ เก็บที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสในถุง Nylon และ PE	42
21	ค่าสีและค่าแรงตัดของชิ้นส้มแขกอบแห้งจากระยะที่ผลมีสีเหลือง แช่สารละลาย 0.5% $CaCl_2$ เก็บที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ในถุง Nylon และ PE	43
22	ค่าสีและค่าแรงตัดของชิ้นส้มแขกอบแห้งจากระยะที่ผลมีสีเหลือง ไม่แช่สารละลาย 0.5% $CaCl_2$ เก็บที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ในถุง Nylon และ PE	43
23	คะแนนเฉลี่ยคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของชิ้นส้มแขกอบแห้งจากระยะที่ผลมีสีเขียว แช่สารละลาย 0.5% $CaCl_2$ เก็บที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส ในถุง Nylon และ PE	72
24	คะแนนเฉลี่ยคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของชิ้นส้มแขกอบแห้งจากระยะที่ผลมีสีเขียว ไม่แช่สารละลาย 0.5% $CaCl_2$ เก็บที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส ในถุง Nylon และ PE	73
25	คะแนนเฉลี่ยคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของชิ้นส้มแขกอบแห้งจากระยะที่ผลมีสีเหลือง แช่สารละลาย 0.5% $CaCl_2$ เก็บที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส ในถุง Nylon และ PE	74
26	คะแนนเฉลี่ยคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของชิ้นส้มแขกอบแห้งจากระยะที่ผลมีสีเหลือง ไม่แช่สารละลาย 0.5% $CaCl_2$ เก็บที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส ในถุง Nylon และ PE	75

รายการตาราง (ต่อ)

ตารางที่ **หน้าที่**

27 คะแนนเฉลี่ยคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของชิ้นส้มแขกอบแห้งจากระยะที่ผลมีสีเขียว แช่สารละลาย 0.5% $CaCl_2$ เก็บที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ในถุง Nylon และ PE 77

28 คะแนนเฉลี่ยคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของชิ้นส้มแขกอบแห้งจากระยะที่ผลมีสีเขียว ไม่แช่สารละลาย 0.5% $CaCl_2$ เก็บที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ในถุง Nylon และ PE 78

29 คะแนนเฉลี่ยคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของชิ้นส้มแขกอบแห้งจากระยะที่ผลมีสีเหลือง แช่สารละลาย0.5% $CaCl_2$ เก็บที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ในถุง Nylon และ PE 80

30 คะแนนเฉลี่ยคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของชิ้นส้มแขกอบแห้งจากระยะที่ผลมีสีเหลือง ไม่แช่สารละลาย 0.5% $CaCl_2$ เก็บที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ในถุง Nylon และ PE 81

31 ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ยีสต์และรา ของชิ้นส้มแขกอบแห้งจากระยะที่ผลมีสีเขียว แช่สารละลาย 0.5% $CaCl_2$ เก็บที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียสใน ถุง Nylon และ PE 83

32 ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ยีสต์และรา ของชิ้นส้มแขกอบแห้งจากระยะที่ผลมีสีเขียว ไม่แช่สารละลาย 0.5% $CaCl_2$ เก็บที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส ในถุง Nylon และ PE 83

33 ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ยีสต์และรา ของชิ้นส้มแขกอบแห้งจากระยะที่ผลมีสีเหลือง แช่สารละลาย 0.5% $CaCl_2$ เก็บที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส ในถุง Nylon และ PE 83

34 ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ยีสต์และรา ของชิ้นส้มแขกอบแห้งจากระยะที่ผลมีสีเหลือง ไม่แช่สารละลาย 0.5% $CaCl_2$ เก็บที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส ในถุง Nylon และ PE 83

35 ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ยีสต์และรา ของชิ้นส้มแขกอบแห้งจากระยะที่ผลมีสีเขียว แช่สารละลาย 0.5% $CaCl_2$ เก็บที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ในถุง Nylon และ PE 84

36 ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ยีสต์และรา ของชิ้นส้มแขกอบแห้งจากระยะที่ผลมีสีเขียว ไม่แช่สารละลาย 0.5% $CaCl_2$ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ในถุง Nylon และ PE 84

37 ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ยีสต์และรา ของชิ้นส้มแขกอบแห้งจากระยะที่ผลมีสีเหลือง แช่สารละลาย0.5% $CaCl_2$ เก็บที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสในถุง Nylon และ PE 84

38 ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ยีสต์และรา ของชิ้นส้มแขกอบแห้งจากระยะที่ผลมีสีเหลือง ไม่แช่สารละลาย 0.5% $CaCl_2$ เก็บที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ในถุง Nylon และ PE 84

ตารางภาคผนวก ค ที่ 1 ค่าสีของชิ้นส้มแขกอบแห้งด้วยตู้อบแห้งแบบลมร้อนชนิดถาดหมุนที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส 98

รายการภาพประกอบ

ภาพที่		หน้าที่
1	การเจริญเติบโตของผลส้มแขกตั้งแต่ดอกบานจนเข้าสู่ระยะที่ผลมีสีเขียว ระยะที่ผลมีสีเหลือง (n=6; ระยะที่ผลมีสีเขียวของระยะแก่จัด 90 วัน; ระยะที่ผลมีสีเหลืองจากระยะแก่จัดเปลี่ยนเป็นสีเหลืองทั้งผล 102 วัน)	13
2	ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด กิจกรรมการต้านอนุมูล DPPH ปริมาณกรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริกและกรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริกแลกโตนของส้มแขกระยะที่ผลมีสีเขียวและสีเหลือง [(1) ส้มแขกระยะที่ผลมีสีเขียว ระยะที่ผลมีสีเหลือง [n=6]; (2) ตัวอักษรที่กำกับแตกต่างกันหมายถึงค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ [$p<0.05$]; (3) ns หมายถึงค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ]	18
3	ผลของระยะความแก่อ่อนและสารละลายที่ใช้พรีทรีทเมนต์ต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของชิ้นส้มแขกอบแห้ง [(1) NaCl= โซเดียมคลอไรด์; $CaCl_2$=แคลเซียมคลอไรด์; (2) ตัวอักษรที่กำกับแตกต่างกันคือค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)]	21
4	ผลของระยะความแก่อ่อนและสารละลายที่ใช้พรีทรีทเมนต์ต่อกิจกรรมการต้านอนุมูลDPPH ของชิ้นส้มแขกอบแห้ง [(1) NaCl=โซเดียมคลอไรด์; $CaCl_2$=แคลเซียมคลอไรด์; (2) ตัวอักษรที่กำกับแตกต่างกันคือค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)]	22
5	ผลของระยะความแก่อ่อนและสารละลายที่ใช้พรีทรีทเมนต์ต่อปริมาณกรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริกของชิ้นส้มแขกอบแห้ง [(1) NaCl=โซเดียมคลอไรด์; $CaCl_2$=แคลเซียมคลอไรด์; (2) ตัวอักษรที่กำกับแตกต่างกันคือค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)]	23
6	ผลของระยะความแก่อ่อนและสารละลายที่ใช้พรีทรีทเมนต์ต่อปริมาณกรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริกแลกโตนของชิ้นส้มแขกอบแห้ง [(1) NaCl=โซเดียมคลอไรด์; $CaCl_2$=แคลเซียมคลอไรด์; (2) ตัวอักษรที่กำกับแตกต่างกันคือค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)]	23
7	ผลของความแก่อ่อน การแช่สารละลาย0.5% $CaCl_2$ และอุณหภูมิอบแห้งแบบสุญญากาศต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของชิ้นส้มแขกอบแห้ง [ตัวอักษรที่กำกับแตกต่างกันคือค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($p<0.05$)	29

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพที่ **หน้าที่**

8 ผลของความแก่อ่อน การแช่สารละลาย 0.5% $CaCl_2$ และอุณหภูมิอบแห้งแบบสุญญากาศต่อกิจกรรมการต้านอนุมูล DPPH ของชิ้นส้มแขกอบแห้ง [ตัวอักษรที่กำกับแตกต่างกันคือค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)] 29

9 ผลของความแก่อ่อน การแช่สารละลาย 0.5% $CaCl_2$ และอุณหภูมิอบแห้งแบบสุญญากาศที่มีต่อปริมาณกรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริกของชิ้นส้มแขกอบแห้ง [ตัวอักษรที่กำกับแตกต่างกันคือ ค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)] 31

10 ผลของความแก่อ่อน การแช่สารละลาย 0.5%$CaCl_2$ และอุณหภูมิอบแห้งแบบสุญญากาศที่มีต่อปริมาณกรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริกแลกโตนของชิ้นส้มแขกอบแห้ง [ตัวอักษรที่กำกับแตกต่างกันคือค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)] 31

11 ผลของความแก่อ่อนและการแช่สารละลาย 0.5%$CaCl_2$ ที่มีต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของส้มแขกสด [(1) $CaCl_2$=แคลเซียมคลอไรด์; (2) ตัวอักษรที่กำกับแตกต่างกันคือค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)] 35

12 ผลของความแก่อ่อนและการแช่สารละลาย 0.5%$CaCl_2$ ต่อกิจกรรมการต้านอนุมูล DPPH ของส้มแขกสด [(1) $CaCl_2$=แคลเซียมคลอไรด์; (2) ตัวอักษรที่กำกับแตกต่างกันคือค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)] 35

13 การเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นของชิ้นส้มแขกอบแห้งจากระยะที่ผลมีสีเขียวที่แช่และไม่แช่สารละลาย 0.5% $CaCl_2$ เก็บที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียสในถุง Nylon และถุง PE 45

14 การเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นของชิ้นส้มแขกอบแห้งจากระยะที่ผลมีสีเหลืองที่แช่และไม่แช่สารละลาย 0.5% $CaCl_2$ เก็บที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส ในถุง Nylon และถุง PE 45

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพที่		หน้าที่
15	การเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นของชิ้นส้มแขกอบแห้งจากระยะที่ผลมีสีเขียวที่แช่และไม่แช่สารละลาย 0.5% $CaCl_2$ เก็บที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ในถุง Nylon และถุง PE	46
16	การเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นของชิ้นส้มแขกอบแห้งจากระยะที่ผลมีสีเขียวที่แช่และไม่แช่สารละลาย 0.5% $CaCl_2$ เก็บที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ในถุง Nylon และถุง PE	46
17	ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของชิ้นส้มแขกอบแห้งจากระยะที่ผลมีสีเขียวแช่สารละลาย 0.5% $CaCl_2$ เก็บที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส [(1) ค่าเฉลี่ย n=6; (2) ตัวอักษรพิมพ์เล็กที่กำกับในชนิดบรรจุภัณฑ์เดียวกันแตกต่างกันคือค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ [$p<0.05$]; (3) ตัวอักษรพิมพ์ใหญ่ที่กำกับในระยะเวลาเก็บเดียวกันแต่ละคุณลักษณะแตกต่างกันคือค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)]	48
18	ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของชิ้นส้มแขกอบแห้งจากระยะที่ผลมีสีเขียวไม่แช่สารละลาย 0.5% $CaCl_2$ เก็บที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส [(1) ค่าเฉลี่ย n=6; (2) ตัวอักษรพิมพ์เล็กที่กำกับในชนิดบรรจุภัณฑ์เดียวกันแตกต่างกันคือค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ [$p<0.05$]; (3) ตัวอักษรพิมพ์ใหญ่ที่กำกับในระยะเวลาเก็บเดียวกันแต่ละคุณลักษณะแตกต่างกันคือค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)]	48
19	ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของชิ้นส้มแขกอบแห้งจากระยะที่ผลมีสีเหลืองแช่สารละลาย 0.5% $CaCl_2$ เก็บที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส [(1) ค่าเฉลี่ย n=6 ; (2) ตัวอักษรพิมพ์เล็กที่กำกับในชนิดบรรจุภัณฑ์เดียวกันแตกต่างกันคือค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ [$p<0.05$]; (3) ตัวอักษรพิมพ์ใหญ่ที่กำกับในระยะเวลาเก็บเดียวกันแต่ละคุณลักษณะแตกต่างกันคือค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)]	49
20	ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของชิ้นส้มแขกอบแห้งจากระยะที่ผลมีสีเหลืองไม่แช่สารละลาย 0.5% $CaCl_2$ เก็บที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส [(1) ค่าเฉลี่ย n=6 ; (2) ตัวอักษรพิมพ์เล็กที่กำกับในชนิดบรรจุภัณฑ์เดียวกันแตกต่างกันคือค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกัน	49

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพที่ **หน้าที่**

อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ [$p<0.05$]; (3) ตัวอักษรพิมพ์ใหญ่ที่กำกับในระยะเวลาเก็บเดียวกันแต่ละคุณลักษณะแตกต่างกันคือค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)]

21 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของชิ้นส้มแขกอบแห้งจากระยะที่ผลมีสีเขียว แช่สารละลาย 0.5% $CaCl_2$ เก็บที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส [(1) ค่าเฉลี่ย n=6; (2) ตัวอักษรพิมพ์เล็กที่กำกับในชนิดบรรจุภัณฑ์เดียวกันแตกต่างกันคือค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ [$p<0.05$]; (3) ตัวอักษรพิมพ์ใหญ่ที่กำกับในระยะเวลาเก็บเดียวกันแต่ละคุณลักษณะแตกต่างกันคือค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)] 51

22 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของชิ้นส้มแขกอบแห้งจากระยะที่ผลมีสีเขียว ไม่แช่สารละลาย 0.5% $CaCl_2$ เก็บที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส [(1) ค่าเฉลี่ย n=6; (2) ตัวอักษรพิมพ์เล็กที่กำกับในชนิดบรรจุภัณฑ์เดียวกันแตกต่างกันคือค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ [$p<0.05$]; (3) ตัวอักษรพิมพ์ใหญ่ที่กำกับในระยะเวลาเก็บเดียวกันแต่ละคุณลักษณะแตกต่างกันคือค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)] 51

23 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของชิ้นส้มแขกอบแห้งจากระยะที่ผลมีสีเหลือง แช่สารละลาย 0.5% $CaCl_2$ เก็บที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส [(1) ค่าเฉลี่ย n=6; (2) ตัวอักษรพิมพ์เล็กที่กำกับในชนิดบรรจุภัณฑ์เดียวกันแตกต่างกันคือค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ [$p<0.05$]; (3) ตัวอักษรพิมพ์ใหญ่ที่กำกับในระยะเวลาเก็บเดียวกันแต่ละคุณลักษณะแตกต่างกันคือค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)] 52

24 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของชิ้นส้มแขกอบแห้งจากระยะที่ผลมีสีเหลือง ไม่แช่สารละลาย 0.5% $CaCl_2$ เก็บที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส [(1) ค่าเฉลี่ย n=6; (2) ตัวอักษรพิมพ์เล็กที่กำกับในชนิดบรรจุภัณฑ์เดียวกันแตกต่างกันคือค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ [$p<0.05$]; (3) ตัวอักษรพิมพ์ใหญ่ที่กำกับในระยะเวลาเก็บเดียวกันแต่ละคุณลักษณะแตกต่างกันคือค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)] 52

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพที่		หน้าที่
25	กิจกรรมการต้านอนุมูล DPPH ของชิ้นส้มแขกอบแห้งจากระยะที่ผลมีสีเขียวแช่สารละลาย 0.5% $CaCl_2$ เก็บที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส [(1) ค่าเฉลี่ย n=6; (2) ตัวอักษรพิมพ์เล็กที่กำกับในชนิดบรรจุภัณฑ์เดียวกันแตกต่างกันคือค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$); (3) ตัวอักษรพิมพ์ใหญ่ที่กำกับในระยะเวลาเก็บเดียวกัน แต่ละคุณลักษณะแตกต่างกันคือค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)]	55
26	กิจกรรมการต้านอนุมูล DPPH ของชิ้นส้มแขกอบแห้งจากระยะที่ผลมีสีเขียวไม่แช่สารละลาย 0.5% $CaCl_2$ เก็บที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส (1) ค่าเฉลี่ย n=6; (2) ตัวอักษรพิมพ์เล็กที่กำกับในชนิดบรรจุภัณฑ์เดียวกันแตกต่างกันคือค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ [$p<0.05$]; (3) ตัวอักษรพิมพ์ใหญ่ที่กำกับในระยะเวลาเก็บเดียวกัน แต่ละคุณลักษณะแตกต่างกันคือค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)]	55
27	กิจกรรมการต้านอนุมูล DPPH ของชิ้นส้มแขกอบแห้งจากระยะที่ผลมีสีเหลืองแช่สารละลาย 0.5% $CaCl_2$ เก็บที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส [(1) ค่าเฉลี่ย n=6; (2) ตัวอักษรพิมพ์เล็กที่กำกับในชนิดบรรจุภัณฑ์เดียวกันแตกต่างกันคือค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ [$p<0.05$]; (3) ตัวอักษรพิมพ์ใหญ่ที่กำกับในระยะเวลาเก็บเดียวกัน แต่ละคุณลักษณะแตกต่างกันคือค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)]	56
28	กิจกรรมการต้านอนุมูล DPPH ของชิ้นส้มแขกอบแห้งจากระยะที่ผลมีสีเหลืองไม่แช่สารละลาย 0.5% $CaCl_2$ เก็บที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส [(1) ค่าเฉลี่ย n=6; (2) ตัวอักษรพิมพ์เล็กที่กำกับในชนิดบรรจุภัณฑ์เดียวกันแตกต่างกันคือค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ [$p<0.05$]; (3) ตัวอักษรพิมพ์ใหญ่ที่กำกับในระยะเวลาเก็บเดียวกัน แต่ละคุณลักษณะแตกต่างกันคือค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)]	56

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพที่ **หน้าที่**

29 กิจกรรมการต้านอนุมูล DPPH ของชิ้นส้มแขกอบแห้งจากระยะที่ผลมีสีเขียว แช่สารละลาย 0.5% $CaCl_2$ เก็บที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส [(1) ค่าเฉลี่ย n=6; (2) ตัวอักษรพิมพ์เล็กที่กำกับในชนิดบรรจุภัณฑ์เดียวกันแตกต่างกันคือค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ [p<0.05]; (3) ตัวอักษรพิมพ์ใหญ่ที่กำกับในระยะเวลาเก็บเดียวกัน แต่ละคุณลักษณะแตกต่างกันคือค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)] 58

30 กิจกรรมการต้านอนุมูล DPPH ของชิ้นส้มแขกอบแห้งจากระยะที่ผลมีสีเขียว ไม่แช่สารละลาย 0.5% $CaCl_2$ เก็บที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส [(1) ค่าเฉลี่ย n=6; (2) ตัวอักษรพิมพ์เล็กที่กำกับในชนิดบรรจุภัณฑ์เดียวกันแตกต่างกันคือค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ [p<0.05]; (3) ตัวอักษรพิมพ์ใหญ่ที่กำกับในระยะเวลาเก็บเดียวกัน แต่ละคุณลักษณะแตกต่างกันคือค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)] 58

31 กิจกรรมการต้านอนุมูล DPPH ของชิ้นส้มแขกอบแห้งจากระยะที่ผลมีสีเหลือง แช่สารละลาย 0.5% $CaCl_2$ เก็บที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส [(1) ค่าเฉลี่ย n=6; (2) ตัวอักษรพิมพ์เล็กที่กำกับในชนิดบรรจุภัณฑ์เดียวกันแตกต่างกันคือค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ [p<0.05]; (3) ตัวอักษรพิมพ์ใหญ่ที่กำกับในระยะเวลาเก็บเดียวกัน แต่ละคุณลักษณะแตกต่างกันคือค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)] 59

32 กิจกรรมการต้านอนุมูล DPPH ของชิ้นส้มแขกอบแห้งจากระยะที่ผลมีสีเหลือง ไม่แช่สารละลาย 0.5% $CaCl_2$ เก็บที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส [(1) ค่าเฉลี่ย n=6; (2) ตัวอักษรพิมพ์เล็กที่กำกับในชนิดบรรจุภัณฑ์เดียวกันแตกต่างกันคือค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ [p<0.05]; (3) ตัวอักษรพิมพ์ใหญ่ที่กำกับในระยะเวลาเก็บเดียวกัน แต่ละคุณลักษณะแตกต่างกันคือค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)] 59

33 ปริมาณกรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริกของชิ้นส้มแขกอบแห้งจากระยะที่ผลมีสีเขียว แช่สารละลาย 0.5% $CaCl_2$ เก็บที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส [(1) ค่าเฉลี่ย n=6; (2) ตัวอักษรพิมพ์เล็กที่กำกับในชนิดบรรจุภัณฑ์เดียวกันแตกต่างกันคือค่าเฉลี่ย 61

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพที่		หน้าที่
	มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ [$p<0.05$]; (3) ตัวอักษรพิมพ์ใหญ่ที่กำกับในระยะเวลาเก็บเดียวกันแต่ละคุณลักษณะแตกต่างกันคือค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)]	
34	ปริมาณกรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริกของชิ้นส้มแขกอบแห้งจากระยะที่ผลมีสีเขียว ไม่แช่สารละลาย 0.5% $CaCl_2$ เก็บที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส [(1) ค่าเฉลี่ย n=6; (2) ตัวอักษรพิมพ์เล็กที่กำกับในชนิดบรรจุภัณฑ์เดียวกันแตกต่างกันคือค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ [$p<0.05$]; (3) ตัวอักษรพิมพ์ใหญ่ที่กำกับในระยะเวลาเก็บเดียวกัน แต่ละคุณลักษณะแตกต่างกันคือค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)]	61
35	ปริมาณกรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริกของชิ้นส้มแขกอบแห้งจากระยะที่ผลมีสีเหลือง แช่สารละลาย 0.5% $CaCl_2$ เก็บที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส [(1) ค่าเฉลี่ย n=6; (2) ตัวอักษรพิมพ์เล็กที่กำกับในชนิดบรรจุภัณฑ์เดียวกันแตกต่างกันคือค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ [$p<0.05$]; (3) ตัวอักษรพิมพ์ใหญ่ที่กำกับในระยะเวลาเก็บเดียวกัน แต่ละคุณลักษณะแตกต่างกันคือค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)]	62
36	ปริมาณกรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริกของชิ้นส้มแขกอบแห้งจากระยะที่ผลมีสีเหลือง ไม่แช่สารละลาย 0.5% $CaCl_2$ เก็บที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส [(1) ค่าเฉลี่ย n=6; (2) ตัวอักษรพิมพ์เล็กที่กำกับในชนิดบรรจุภัณฑ์เดียวกันแตกต่างกันคือค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ [$p<0.05$]; (3) ตัวอักษรพิมพ์ใหญ่ที่กำกับในระยะเวลาเก็บเดียวกัน แต่ละคุณลักษณะแตกต่างกันคือค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)]	62
37	ปริมาณกรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริกของชิ้นส้มแขกอบแห้งจากระยะที่ผลมีสีเขียว แช่สารละลาย 0.5% $CaCl_2$ เก็บที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส [(1) ค่าเฉลี่ย n=6; (2) ตัวอักษรพิมพ์เล็กที่กำกับในชนิดบรรจุภัณฑ์เดียวกันแตกต่างกันคือค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ [$p<0.05$]; (3) ตัวอักษรพิมพ์ใหญ่ที่กำกับในระยะเวลาเก็บเดียวกัน แต่ละคุณลักษณะแตกต่างกันคือค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมี	64

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพที่		หน้าที่
	นัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)]	
38	ปริมาณกรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริกของชิ้นส้มแขกอบแห้งจากระยะที่ผลมีสีเขียว ไม่แช่สารละลาย 0.5% $CaCl_2$ เก็บที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส [(1) ค่าเฉลี่ย n=6; (2) ตัวอักษรพิมพ์เล็กที่กำกับในชนิดบรรจุภัณฑ์เดียวกันแตกต่างกันคือค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ [p<0.05]; (3) ตัวอักษรพิมพ์ใหญ่ที่กำกับในระยะเวลาเก็บเดียวกัน แต่ละคุณลักษณะแตกต่างกันคือค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)]	64
39	ปริมาณกรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริกของชิ้นส้มแขกอบแห้งจากระยะที่ผลมีสีเหลือง แช่สารละลาย 0.5% $CaCl_2$ เก็บที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส [(1) ค่าเฉลี่ย n=6; (2) ตัวอักษรพิมพ์เล็กที่กำกับในชนิดบรรจุภัณฑ์เดียวกันแตกต่างกันคือค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ [p<0.05]; (3) ตัวอักษรพิมพ์ใหญ่ที่กำกับในระยะเวลาเก็บเดียวกัน แต่ละคุณลักษณะแตกต่างกันคือค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)]	65
40	ปริมาณกรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริกของชิ้นส้มแขกอบแห้งจากระยะที่ผลมีสีเหลือง ไม่แช่สารละลาย 0.5% $CaCl_2$ เก็บที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส [(1) ค่าเฉลี่ย n=6; (2) ตัวอักษรพิมพ์เล็กที่กำกับในชนิดบรรจุภัณฑ์เดียวกันแตกต่างกันคือค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ [p<0.05]; (3) ตัวอักษรพิมพ์ใหญ่ที่กำกับในระยะเวลาเก็บเดียวกัน แต่ละคุณลักษณะแตกต่างกันคือค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)]	65
41	ปริมาณกรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริกแลกโตนของชิ้นส้มแขกอบแห้งจากระยะที่ผลมีสีเขียว แช่สารละลาย 0.5% $CaCl_2$ เก็บที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส [(1) ค่าเฉลี่ย n=6; (2) ตัวอักษรพิมพ์เล็กที่กำกับในชนิดบรรจุภัณฑ์เดียวกันแตกต่างกันคือค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ [p<0.05]; (3) ตัวอักษรพิมพ์ใหญ่ที่กำกับในระยะเวลาเก็บเดียวกันแต่ละคุณลักษณะแตกต่างกันคือค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)]	67

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพที่ **หน้าที่**

42 ปริมาณกรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริกแลกโตนของชิ้นส้มแขกอบแห้งจากระยะที่ผลมีสีเขียว ไม่แช่สารละลาย 0.5% $CaCl_2$ เก็บที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส [(1) ค่าเฉลี่ย n=6; (2) ตัวอักษรพิมพ์เล็กที่กำกับในชนิดบรรจุภัณฑ์เดียวกันแตกต่างกันคือค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ [$p<0.05$]; (3) ตัวอักษรพิมพ์ใหญ่ที่กำกับในระยะเวลาเก็บเดียวกัน แต่ละคุณลักษณะแตกต่างกันคือค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)] 67

43 ปริมาณกรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริกแลกโตนของชิ้นส้มแขกอบแห้งจากระยะที่ผลมีสีเหลือง แช่สารละลาย 0.5% $CaCl_2$ เก็บที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส[(1) ค่าเฉลี่ย n=6; (2) ตัวอักษรพิมพ์เล็กที่กำกับในชนิดบรรจุภัณฑ์เดียวกันแตกต่างกันคือค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ [$p<0.05$]; (3) ตัวอักษรพิมพ์ใหญ่ที่กำกับในระยะเวลาเก็บเดียวกัน แต่ละคุณลักษณะแตกต่างกันคือค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) 68

44 ปริมาณกรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริกแลกโตนของชิ้นส้มแขกอบแห้งจากระยะที่ผลมีสีเหลือง ไม่แช่สารละลาย 0.5% $CaCl_2$ เก็บที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส [(1) ค่าเฉลี่ย n=6; (2) ตัวอักษรพิมพ์เล็กที่กำกับในชนิดบรรจุภัณฑ์เดียวกันแตกต่างกันคือค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ [$p<0.05$]; (3) ตัวอักษรพิมพ์ใหญ่ที่กำกับในระยะเวลาเก็บเดียวกัน แต่ละคุณลักษณะแตกต่างกันคือค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)] 68

45 ปริมาณกรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริกแลกโตนของชิ้นส้มแขกอบแห้งจากระยะที่ผลมีสีเขียว แช่สารละลาย 0.5% $CaCl_2$ เก็บที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส [(1) ค่าเฉลี่ย n=6; (2) ตัวอักษรพิมพ์เล็กที่กำกับในชนิดบรรจุภัณฑ์เดียวกันแตกต่างกันคือค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ [$p<0.05$]; (3) ตัวอักษรพิมพ์ใหญ่ที่กำกับในระยะเวลาเก็บเดียวกัน แต่ละคุณลักษณะแตกต่างกันคือค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)] 70

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพที่ **หน้าที่**

46 ปริมาณกรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริกแลกโตนของชิ้นส้มแขกอบแห้งจากระยะที่ผลมีสีเขียว ไม่แช่สารละลาย 0.5% $CaCl_2$ เก็บที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส [(1) ค่าเฉลี่ย n=6; (2) ตัวอักษรพิมพ์เล็กที่กำกับในชนิดบรรจุภัณฑ์เดียวกันแตกต่างกันคือค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ [$p<0.05$]; (3) ตัวอักษรพิมพ์ใหญ่ที่กำกับในระยะเวลาเก็บเดียวกัน แต่ละคุณลักษณะแตกต่างกันคือค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)] 70

47 ปริมาณกรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริกแลกโตนของชิ้นส้มแขกอบแห้งจากระยะที่ผลมีสีเหลือง แช่สารละลาย 0.5% $CaCl_2$ เก็บที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส [(1) ค่าเฉลี่ย n=6; (2) ตัวอักษรพิมพ์เล็กที่กำกับในชนิดบรรจุภัณฑ์เดียวกันแตกต่างกันคือค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ [$p<0.05$]; (3) ตัวอักษรพิมพ์ใหญ่ที่กำกับในระยะเวลาเก็บเดียวกัน แต่ละคุณลักษณะแตกต่างกันคือค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)] 71

48 ปริมาณกรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริกแลกโตนของชิ้นส้มแขกอบแห้งจากระยะที่ผลมีสีเหลือง ไม่แช่สารละลาย 0.5% $CaCl_2$ เก็บที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส [(1) ค่าเฉลี่ย n=6; (2) ตัวอักษรพิมพ์เล็กที่กำกับในชนิดบรรจุภัณฑ์เดียวกันแตกต่างกันคือค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ [$p<0.05$]; (3) ตัวอักษรพิมพ์ใหญ่ที่กำกับในระยะเวลาเก็บเดียวกัน แต่ละคุณลักษณะแตกต่างกันคือค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)] 71

ภาพภาคผนวก ข ที่ 1 แสดงกิจกรรมต่างๆ ในระหว่างดำเนินการทำวิจัย 96

ภาพภาคผนวก ง ที่ 1 โครมาโทแกรมของกรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริก และกรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริกแลกโตนในชิ้นส้มแขกอบแห้งจากระยะที่ผลมีสีเขียวหรือระยะแก่จัด แช่สารละลาย 0.5% $CaCl_2$ เป็นเวลา 5 นาที (ก) และระยะที่ผลมีสีเหลืองหรือระยะสุก แช่สารละลาย 0.5% $CaCl_2$ เป็นเวลา 5 นาที (ข) อบแห้งด้วยตู้อบสุญญากาศที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ความดันสุญญากาศ 70 มิลลิเมตรปรอท 102

บทนำ

ส้มแขกเป็นไม้ป่าที่มีค่าทางเศรษฐกิจชนิดใหม่ของประเทศไทย พบการกระจายพันธุ์ทั่วไปในป่าธรรมชาติทางภาคใต้ตอนล่างของประเทศ เป็นพันธุ์ไม้ที่ประชาชนในท้องถิ่นช่วยกันอนุรักษ์และรู้จักใช้ประโยชน์ในรูปแบบต่างๆมาเป็นเวลานานแล้ว (ศูนย์วิจัยและศึกษาธรรมชาติป่าพรุสิรินธร, 2543) ในปี พ.ศ. 2549 ได้มีรายงานว่าส้มแขกแห้ง มีความต้องการทางการตลาดค่อนข้างสูงและเพิ่มขึ้นทั้งภายในและต่างประเทศ และกรมส่งเสริมการเกษตรได้ส่งเสริมให้เกษตรกรในพื้นที่ 3 จังหวัดชายแดนภาคใต้ ได้แก่ ยะลา ปัตตานีและนราธิวาส มีการขยายพื้นที่ปลูกส้มแขกเพิ่มมากขึ้น โดยแนะนำให้ปลูกแซมในสวนผลไม้ สวนยางพาราและพื้นที่ว่างในบริเวณบ้านเพื่อให้มีผลผลิตเพียงพอกับความต้องการของตลาด ซึ่งขณะนี้ประเทศไทยมีพื้นที่ปลูกส้มแขกประมาณ 1,170 ไร่ ได้ผลผลิตส้มแขกตากแห้งปีละกว่า 1,700 ตัน ปัจจุบันมีการสร้างเครือข่ายตลาดส้มแขกขึ้นใน 3 จังหวัดดังกล่าว โดยเกษตรกรจะจำหน่ายผลผลิตสดให้กับกลุ่มผู้ผลิตส้มแขกตากแห้ง ขณะเดียวกันยังมีการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ส้มแขกหลากหลายรูปแบบ โดยกลุ่มแม่บ้านเกษตรกรผู้ผลิตส้มแขกจัดส่งให้กับตลาด ทั้งผลิตภัณฑ์ส้มแขกตากแห้ง ส้มแขกบดผง และเครื่องดื่มน้ำส้มแขก เป็นต้น ซึ่งผลิตภัณฑ์ดังกล่าว เป็นที่นิยมของผู้บริโภค (ข่าวเกษตร, 2549) โดยสารสำคัญในส้มแขกคือ กรดไฮดร็อกซีซิตริกที่มีคุณสมบัติเกี่ยวข้องกับการลดความอ้วนของผู้บริโภคได้ (ชยันต์ พิเชียรสุนทร, 2539) ตลาดมีความต้องการสูงมาก นอกจากตลาดภายในประเทศแล้ว ยังมีการส่งออกไปต่างประเทศด้วย โดยมีตลาดส่งออกหลักได้แก่ ประเทศมาเลเซีย ประเทศสาธารณรัฐสิงคโปร์ สาธารณรัฐอินโดนีเซีย สาธารณรัฐจีนและสาธารณรัฐประชาชนจีน ซึ่งผู้นำเข้ามีการสั่งซื้อผ่านพ่อค้าท้องถิ่นและกลุ่มผู้ผลิตโดยตรง ถือเป็นพืชเศรษฐกิจที่ช่วยให้เกษตรกรมีรายได้เพิ่มขึ้น (ข่าวเกษตร, 2549) อย่างไรก็ดีการศึกษาการทำแห้งส้มแขกด้วยตู้อบแห้งแบบสุญญากาศยังมีน้อยมาก งานวิจัยนี้จึงทำการศึกษาผลของความแก่อ่อนและสภาวะการอบแห้งด้วยตู้อบแห้งแบบสุญญากาศที่มีต่อคุณภาพของส้มแขกแห้งเพื่อสามารถผลิตส้มแขกแห้งที่มีคุณภาพ โดยเน้นปริมาณสารสำคัญคงเหลือในผลิตภัณฑ์ส้มแขกแห้งที่ผลิตได้

วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ดังนี้

1. ศึกษาผลของความแก่อ่อนที่มีต่อคุณภาพของส้มแขกสดและส้มแขกอบแห้ง
2. ศึกษาสภาวะการอบแห้ง ด้วยตู้อบแห้งสุญญากาศที่มีต่อกระบวนการอบแห้งส้มแขก เพื่อคัดเลือกสภาวะการอบแห้งที่เหมาะสม ที่ให้สารสำคัญคงเหลือในส้มแขกมากที่สุด
3. ศึกษาชนิดบรรจุภัณฑ์และอุณหภูมิการเก็บที่มีต่อคุณภาพของส้มแขกอบแห้งในระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 4 เดือน
4. ทราบอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ส้มแขกอบแห้งและสารสำคัญที่คงอยู่ในผลิตภัณฑ์ส้มแขกอบแห้งภายหลังเก็บรักษาเป็นเวลา 4 เดือน

การตรวจเอกสาร

ส้มแขก (Som-Khaek)

เนื่องจากส้มแขกเป็นสมุนไพรที่มีกรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริก [(-)-hydroxycitric acid, HCA] ซึ่งมีคุณสมบัติในการยับยั้งการสร้างไขมันในร่างกาย ช่วยลดคอเลสเทอรอลและลดความอยากรับประทานอาหาร จึงนิยมนำมาผลิตเป็นผลิตภัณฑ์อาหารเสริมลดน้ำหนัก ส่งผลให้สมุนไพรส้มแขกมีอนาคตสดใส ตลาดมีความต้องการสูงขึ้นทั้งภายในและต่างประเทศ กรมส่งเสริมการเกษตรจึงได้ส่งเสริมให้เกษตรกรในพื้นที่ 3 จังหวัดชายแดนภาคใต้ คือยะลา ปัตตานี และนราธิวาส ขยายพื้นที่ปลูกส้มแขกเพิ่มมากขึ้น โดยแนะนำให้ปลูกแซมในสวนผลไม้และสวนยางพารา ประเทศไทยมีพื้นที่ปลูกส้มแขกประมาณ 1,170 ไร่ ได้ผลผลิตส้มแขกตากแห้งปีละกว่า 1,700 ตัน มีการสร้างเครือข่ายตลาดส้มแขกขึ้นใน 3 จังหวัดชายแดนภาคใต้โดยเกษตรกรจะจำหน่ายผลผลิตสดให้กับกลุ่มผู้ผลิตส้มแขกตากแห้งและมีกลุ่มแม่บ้านเกษตรกรผู้ผลิตส้มแขกประมาณ 28 กลุ่มที่มีการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ส้มแขกหลากหลายรูปแบบป้อนให้กับตลาด ทั้งผลิตภัณฑ์ ส้มแขกตากแห้ง ส้มแขกบดผง เครื่องดื่มน้ำส้มแขก ส้มแขกกวน ส้มแขกแก้ว แยมส้มแขก ชาชงส้มแขก ส้มแขกแช่อิ่มอบแห้งและส้มแขกแช่อิ่มอบน้ำผึ้ง ซึ่งเป็นสินค้าโอทอป (OTOP) ที่สร้างชื่อเสียง ผลิตภัณฑ์ส้มแขกแคปซูลและส้มแขกบดผง ก็กำลังเป็นที่นิยมของผู้บริโภคที่ต้องการลดความอ้วน ตลาดมีความต้องการสูงมาก นอกจากตลาดภายในประเทศแล้ว ยังมีการส่งออกไปต่างประเทศด้วย ตลาดส่งออกหลัก ได้แก่ ประเทศมาเลเซีย สาธารณรัฐสิงคโปร์ สาธารณรัฐอินโดนีเซีย สาธารณรัฐจีนและสาธารณรัฐประชาชนจีน ซึ่งกรมส่งเสริมการเกษตร ได้เน้นให้เกษตรกรเร่งพัฒนากระบวนการผลิตให้มีคุณภาพ ถูกสุขลักษณะมีความสะอาดและปลอดภัย (ข่าวเกษตร, 2549) ส้มแขก (Som-Khaek) เป็นไม้ยืนต้นจัดอยู่ในวงศ์ Guttiferae ส้มแขกอยู่ในสกุล Garcinia ทั่วโลกพบพืชสกุลนี้ประมาณ 400 ชนิด โดยสำรวจพบในประเทศมาเลเซีย 49 ชนิด (Whitmore, 1972) ส้มแขกมีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Garcinia atroviridis* Griff. ex T. Anders มีชื่อเรียกหลายอย่างเช่นส้มมะวน ส้มพะงุน (ปัตตานี) ส้มมะอ้น (ภาคใต้) ส้มควาย (ตรัง) พบในเขตร้อนแถบทวีปเอเชีย อเมริกาและอัฟริกา ส้มแขกเป็นพืชในวงศ์เดียวกับมังคุด ชะมวง มะดัน มะพูด พะวา เป็นไม้ยืนต้นที่อยู่ในพวกเดียวกันได้แก่ พะวา หรือกะวา (*G. cornia*) ชะมวง (*G. cowa*) มังคุด (*G. mangostana*) ชะมวงน้ำ มะพูดป่า (*G. mervosa*) มะดัน (*G. schomburgkiana*) มะพูด (*G. vilersiana*)

ผลส้มแขกมีลักษณะเป็นผลเดี่ยว ผลแก่มีสีเขียว ผลสุกมีสีเหลือง ผลกว้างประมาณ 6-7 เซนติเมตร ยาวประมาณ 4-5 เซนติเมตร ขั้วผลยาวประมาณ 2 เซนติเมตร มีรกอยู่ตรงกลางมีเมล็ด 11-12 เมล็ด เปลือกผลเป็นร่องตามแนวขั้วไปยังปลายผล มี 8-10 ร่อง ที่ขั้วผลมีกลีบเลี้ยง (calyx) ติดอยู่ 2 ชั้นๆ ละ 4 กลีบ ทั้งสองชั้นเรียงสลับกัน เมล็ดแข็งสมบูรณ์ 2-3 เมล็ดต่อผล ภายในเมล็ดมีใบเลี้ยงอวบหนาเนื่องจากมีอาหารสะสมอยู่มากในการเก็บเกี่ยว ผลส้มแขกนั้นจะเก็บเกี่ยวเมื่อต้นส้มแขกมีอายุประมาณ 7-8 ปี โดยแถบจังหวัดยะลา ผลจะออกในช่วงเดือนกุมภาพันธ์และผลจะสุกในช่วงเดือนพฤษภาคมถึงเดือนมิถุนายน ส่วนแถบจังหวัดนราธิวาส ผลจะออกในช่วงเดือนมิถุนายนถึงเดือนสิงหาคม

ต้นส้มแขกหลังจากปลูกแล้ว 6-7 ปี จะให้ผลผลิตปริมาณค่อนข้างมาก และเนื่องจากผลของส้มแขกมีขนาดใหญ่และสุกไม่พร้อมกัน การเก็บเกี่ยวผลผลิตให้เลือกเฉพาะผลที่แก่พอเหมาะ ซึ่งจะมีสีเขียวเข้มหรือมีสีเหลืองเท่านั้น หากเก็บเกี่ยวในระยะที่ไม่ถูกต้องจะส่งผลให้ได้รับวัตถุดิบที่มีสารสำคัญโดยเฉพาะสารจำพวกกรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริกในปริมาณน้อย คุณภาพไม่ได้มาตรฐาน การปฏิบัติหลังการเก็บเกี่ยวผลส้มแขกนั้น ทำโดยนำผลส้มแขกบรรจุใส่ภาชนะและภาชนะที่ใส่ต้องปราศจากเศษดิน ผงฝุ่น โรคแมลงปราศจาก ชิ้นส่วนของพืชที่ตกค้างอยู่ ภาชนะเหล่านี้ ควรเก็บไว้ที่แห้งและสะอาด จัดส่งผลผลิตไปยังผู้รับซื้อ หรือทำการแปรรูปโดยเร็ว เพื่อป้องกันการเน่าเสีย เนื่องจากผลส้มแขกไม่สามารถเก็บได้นาน จะเก็บได้ประมาณ 1-2 วันเท่านั้นและการเก็บรักษา จะนำผลส้มแขกมาหั่นเป็นชิ้นบางๆและตากแดดร้อนจัดประมาณ 3 วันให้แห้งสนิทเก็บไว้ในภาชนะที่ป้องกันความชื้นพบว่าให้อัตราส่วนผลผลิตสดต่อผลผลิตแห้ง เท่ากับ 4 ต่อ 1 ส่วน ส้มแขกมีแหล่งปลูกที่สำคัญ พบในเขตจังหวัดยะลา ปัตตานีและนราธิวาส โดยให้ผลผลิตสด 3 ตันต่อไร่ (ศูนย์วิจัยพืชยืนต้นและไม้ผลเมืองร้อน, 2554; ศูนย์วิจัยและศึกษาธรรมชาติป่าพรุสิรินธร, 2543.)

องค์ประกอบทางเคมีของส้มแขก

กรดผลไม้สองชนิดที่พบในส้มแขกและทำให้ส้มแขกมีรสเปรี้ยว คือกรดตาร์ตาริก (tartaric acid) และกรดซิตริก (citric acid) [นันทวัน บุณยะประภัศร และอรนุช โชคชัยเจริญพร, 2543] การศึกษาด้วยเทคโนโลยีสมัยใหม่ในปัจจุบันพบว่าส้มแขกมีองค์ประกอบทางเคมีที่ประกอบด้วยไดแอสเตอริโอไอโซเมอร์(diastereoisomer) ของ กรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริก [(-)-hydroxycitric acid; HCA; 1,2-dihydroxypropane-1,2,3-trihydroxylic acid] จำนวน 4 ชนิด คือ กรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริก [(-)-hydroxycitric acid], กรด(-)-อัลโล-ไฮดร็อกซีซิตริก [(-)-allo- hydroxycitric acid], กรด(+)-ไฮดร็อกซีซิตริก [(+)-hydroxycitric acid], และกรด(+)-อัลโล-ไฮดร็อกซีซิตริก [(+)-allo-hydroxycitric acid] ซึ่งจะปะปนกัน โดยมีอนุพันธ์ของกรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริกเป็นองค์ประกอบหลัก ซึ่งจากการวิเคราะห์เชิงปริมาณ พบว่า *G. atroviridis* Griff. ex T. Anders มีกรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริกในปริมาณสูงถึง 30% โดยน้ำหนัก ซึ่งกรดเหล่านี้พบในธรรมชาติในรูปของเกลือแคลเซียม หรือ โปแตสเซียม การตรวจสอบสารเหล่านี้ทั้งในเชิงคุณภาพและเชิงปริมาณ อาจทำได้โดยการใช้เรซินแลกเปลี่ยนแคทไอออน (cation exchange resin) เพื่อเปลี่ยนเกลือ(-)-ไฮดร็อกซีซิเตรท [(-)-hydroxycitrate] ให้เป็นกรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริก จึงนำวิเคราะห์เชิงคุณภาพและปริมาณของกรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริกด้วยเครื่องโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง [High Performance Liquid Chromatography, HPLC] (นันทวัน บุณยะประภัศร และอรนุช โชคชัยเจริญพร, 2543; ชยันต์ พิเชียรสุนทร, 2539)

กรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริกนี้ นอกจากจะพบใน“ส้มแขก” พรรณไม้ปักษ์ใต้ (*G. atroviridis* Griff. ex T. Anders) ของไทยแล้ว ยังอาจพบในพืชอีกหลายชนิดในสกุลเดียวกันนี้ พืชที่พบกรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริกในปริมาณสูงสุดเป็นชนิดที่พบในประเทศอินเดีย ที่มีชื่อทางพฤกษศาสตร์ว่า *G. cambogia* Desr. รู้จักกันในชื่อ “Malabar Tamarind” ซึ่งชาวพื้นเมืองแถบฝั่งทะเลตะวันตกของประเทศอินเดียตอนใต้

นำใช้ประโยชน์เป็นเครื่องปรุงแต่งรสอาหารให้มีรสเปรี้ยวเช่นเดียวกับส้มแขกของไทย ส้มแขกชนิด *G. cambogia* Desr. ของประเทศอินเดียนี้ อาจมีปริมาณกรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริกในปริมาณสูงถึง 40-50% ต่อน้ำหนักแห้งซึ่งเป็นปริมาณที่สูงกว่าแหล่งที่พบใน"ส้มแขก"ของไทย และยังจัดเป็นแหล่งพืชธรรมชาติที่ให้กรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริกในปริมาณสูงที่สุดเท่าที่พบในปัจจุบัน (ชยันต์ พิเชียรสุนทร, 2539) กรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริก สามารถเปลี่ยนเป็นกรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริกแลคโตน [(-)-hydroxycitric acid lactone; (2S,3S)-3-hydroxy-5-oxotetrahydrofuran-2,3-dicarboxylic acid] โดยเฉพาะภายใต้สภาวะการให้ความร้อนจากกระบวนการแปรรูปต่างๆ ได้แก่ การทำให้เข้มข้น กระบวนการระเหย (Jena *et al.*, 2002.) การต้มและการทำแห้ง (Muensritharam *et al.*, 2008) นอกจากนี้ในส้มแขก (*G. atroviridis* Griff. ex T. Anders) ยังมีปริมาณแอลฟา-โทโคเฟอรอล (α-tocopherol) เท่ากับ 9.39±0.42 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม (ฐานแห้ง) และ 7.56±0.34 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม (ฐานเปียก) ของตัวอย่างส้มแขกในส่วนที่บริโภคได้ (Ching and Mohamed, 2001)

ชีวเคมีของกรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริก

กรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริก สามารถลดความอ้วนและคอเลสเทอรอลได้เนื่องจากกรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริกมีคุณสมบัติลดการเปลี่ยนแปลงคาร์โบไฮเดรตเป็นไขมันสะสม โดยออกฤทธิ์ยับยั้งการทำงานของเอ็นไซม์อะเดโนซีนไตรฟอสเฟต ซิเตรทไลเอส (ATP-citrate lyase หรือ citrate-clevage enzyme) ซึ่งทำหน้าที่เปลี่ยนซิเตรท (citrate) ให้เป็นกรดไขมันและคอเลสเทอรอล ในขั้นตอนแรกของการสังเคราะห์ไขมันในร่างกาย โดยกระบวนการดังกล่าวเกิดขึ้นในวัฏจักรเครบส์/วัฏจักรกรดซิตริก (Kreb's cycle/citric acid cycle) เอ็นไซม์อะเดโนซีนไตรฟอสเฟต ซิเตรทไลเอสเป็นเอ็นไซม์สำคัญของกระบวนการในวัฏจักรเครบส์ เมื่ออาหารกลุ่มคาร์โบไฮเดรท ถูกย่อยเพื่อการสร้างเป็นพลังงานนั้น กรดไพรูวิก ก็จะถูกสร้างขึ้นและจับกับสารโคเอ็นไซม์ เอ (Co-enzyme A) เพื่อสร้างเป็นสารอะซีทิลโค เอ (acetyl CoA) อยู่ภายในไมโตคอนเดรียซึ่งเป็นแหล่งพลังงานของเซลล์ เมื่อความต้องการพลังงานของร่างกายลดลง อะซีทิลโค เอ จะถูกเคลื่อนย้ายออกนอกไมโตคอนเดรีย ไปยังไซโทพลาซึมของเซลล์โดยอยู่ในรูปซิเตรทและจะถูกเปลี่ยนเป็นกรดไขมัน หรือคอเลสเทอรอลด้วยเอ็นไซม์อะเดโนซีนไตรฟอสเฟต ซิเตรทไลเอส กรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริกที่พบในส้มแขกนั้นมีคุณสมบัติเป็น "ตัวยับยั้ง (inhibitor)" ที่รุนแรงมากสำหรับเอ็นไซม์อะเดโนซีนไตรฟอสเฟต ซิเตรทไลเอส โดยมีกลไกการยับยั้งเป็นแบบแข่งขัน (competitive inhibitor) กับซิเตรท (Watson *et al.*, 1969) ซึ่งเป็นรูปแบบที่เซลล์ใช้ในการขนส่งวัตถุดิบที่เป็นตัวตั้งต้นในชีวสังเคราะห์ของกรดไขมัน ดังนั้นกรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริกที่สกัดแยกได้จากส้มแขก จึงมีผลในการยับยั้งการสร้างกรดไขมันขึ้นใหม่ในเซลล์ (ชยันต์ พิเชียรสุนทร, 2539; จงจิตร อังคทะวานิช, 2542)

เภสัชวิทยาของกรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริก

กรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริกเป็นยาลดความอ้วน ที่มีผลดีต่อการควบคุมน้ำหนัก เพราะคุณสมบัติในการลดความอยากอาหาร ทำให้การเปลี่ยนคาร์โบไฮเดรทไปเป็นไขมันเกิดน้อยลง โดยเข้าไปยับยั้งการ

ทำงานของเอ็นไซม์อะเดโนซีนไตรฟอสเฟต ซิเตรทไลเอส ส่งผลให้เพิ่มการสะสมพลังงานในรูปไกลโคเจนมากขึ้น (Roongpisuthipong *et al.*, 2007; Preuss *et al.*, 2004; Sullivan and Gruen, 1985) นอกจากนี้ส้มแขกยังมีฤทธิ์ในการต้านการเกิดมะเร็งและยังประกอบด้วยปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมด ปริมาณเคอซีทินและลูทิโอลินเท่ากับ 292.5, 108.0±0.07 และ 107.5±0.05 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (ฐานแห้ง) ตามลำดับ (Miean and Mohamed, 2001) การตรวจสอบความบริสุทธิ์ของพืชสมุนไพรที่จะนำมาพัฒนาเป็นยา มีวิธีที่นิยมใช้ในปัจจุบันดังนี้ การตรวจความบริสุทธิ์ด้วยการหาสิ่งปนเปื้อนควรไม่เกิน 2% ปริมาณความชื้นโดยทั่วไปไม่เกิน 5 % ตรวจการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ ปริมาณเถ้าทั้งหมด และปริมาณเถ้าที่ไม่ละลายในกรด (รัตนา อินทรานุปกรณ์, 2547)

การอบแห้งแบบสุญญากาศ (Fellows, 2009; Brennan, 2006)

ตู้อบแห้งแบบสุญญากาศ ประกอบด้วยส่วนสำคัญได้แก่ ห้องอบแห้ง (vacuum chamber) คอนเดนเซอร์ และ ปั๊มสุญญากาศ ส่วนชั้นวางหรือบรรจุอาหาร จะวางสัมผัสท่อสแตนเลส ซึ่งถูกให้ความร้อนโดยการใช้ไอน้ำหรือน้ำร้อน ไหลเวียนตามท่อสแตนเลสด้านใน ความร้อนจะส่งผ่านสู่ถาดบรรจุอาหารเพื่อทำให้อาหารระเหยน้ำออกจนอาหารแห้ง การทำแห้งภายใต้สภาวะสุญญากาศเหมาะสำหรับอาหารที่มีสารสำคัญที่เป็นองค์ประกอบซึ่งไวต่อการถูกทำลายด้วยความร้อน

บรรจุภัณฑ์อาหารแห้ง (ปุ่น คงเจริญเกียรติ และสมพร คงเจริญเกียรติ, 2541)

บรรจุภัณฑ์อาหารแห้งที่นิยมใช้ได้แก่ ถุงพลาสติกพอลิเอทิลีน (Polyethylene, PE) และถุงไนลอนหรือพอลิแอไมด์ (Nylon หรือ Polyamide) ซึ่งคุณสมบัติการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนและการซึมผ่านของความชื้นของฟิล์มหรือถุงเป็นสิ่งสำคัญมีบทบาทต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของอาหารในระหว่างเก็บรักษา เช่นการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดแอสคอร์บิกหรือไขมันที่เป็นองค์ประกอบในอาหารจากการมีออกซิเจนหรืออากาศภายในถุงบรรจุอาหารและการเปลี่ยนแปลงเนื้อสัมผัสจากการดูดกลับความชื้นของอาหารจากสภาพแวดล้อมที่เก็บรักษาอาหารนั้น แสงที่ส่องผ่านบรรจุภัณฑ์มีส่วนเร่งการเกิดปฏิกิริยาที่นำสู่การเสื่อมเสียได้ การเก็บรักษาอาหารในที่มีความชื้นสัมพัทธ์เดียวกันพบว่าที่อุณหภูมิสูงเช่น 32 องศาเซลเซียส อายุการเก็บรักษาจะสั้นกว่าการเก็บที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส

ผลิตภัณฑ์ส้มแขก

จากมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน ผักและผลไม้แห้ง (มผช. 136/2558) กำหนดให้ผู้ผลิตดำเนินการผลิตภายใต้ข้อกำหนดหลักเกณฑ์วิธีการที่ดีในการผลิตอาหารว่าด้วยสุขลักษณะทั่วไป (GMP) และกำหนดคุณภาพในการผลิตผักและผลไม้แห้งสำคัญๆ ดังนี้ ต้องมีสีดีตามธรรมชาติของผักและผลไม้แห้ง มีปริมาณความชื้นต้องไม่เกิน 12% โดยน้ำหนักและตรวจวิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ต้องไม่เกิน $1x10^6$ โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม ปริมาณยีสต์และรา ต้องไม่เกิน $1x10^3$ โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม

สำหรับการแปรรูปส้มแขก มีหลายวิธีได้แก่ ส้มแขกแห้ง น้ำส้มแขก ส้มแขกแช่อิ่มอบแห้ง เป็นต้น การแปรรูปส้มแขกแห้ง โดยนำผลส้มแขกมาหั่นด้วยมือหรือเครื่องเป็นชิ้นบาง ให้มีขนาดสม่ำเสมอ

จึงนำมาตากแดด ผึ่งลม ในที่สะอาด ไม่ควรตากโดยตรงบนพื้นดินหรือพื้นซีเมนต์ เพื่อป้องกันฝุ่นละออง และเชื้อจุลินทรีย์ต่างๆ หากทำการอบ อุณหภูมิที่เหมาะสมไม่ควรเกิน 60 องศาเซลเซียส ยังพบว่า ผลส้มแขก 100 กิโลกรัม จะได้ส้มแขกแห้งประมาณ 8-12 กิโลกรัม (สำนักงานเกษตรจังหวัดยะลา, 2554) ส่วนส้มแขกแห้งในประเทศมาเลเซียมีชื่อว่า 'asam keping' มีจำหน่ายทั่วไปในท้องตลาดและเป็นที่นิยมนำใช้เป็นส่วนผสมในการปรุงรสเปรี้ยวในอาหารจำพวกเครื่องแกงและน้ำสลัดอาหารทะเล (Mackeen *et al.*, 2000) นอกจากนี้ผลิตภัณฑ์ควบคุมน้ำหนักที่ประกอบด้วยกรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริกจากส้มแขก ในปัจจุบันมีจำหน่ายทั่วไปในท้องตลาดเช่นกัน (Muensritharam *et al.*, 2008)

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Rittirut และ Siripatana (2006) รายงานว่า สภาวะการอบแห้งส้มแขกที่ความหนา 2, 4 และ 6 มิลลิเมตร ด้วยตู้อบแห้งแบบถาดที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 1.2 เมตรต่อวินาที เป็นสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการทำแห้งส้มแขก โดยมีปริมาณความชื้นสุดท้ายของส้มแขกแห้งที่ระดับ 4-6% (ฐานแห้ง) ใช้เวลาในการอบแห้ง 199, 256 และ 427 นาที ตามลำดับ

อีลีหย๊ะ สนิโซ และมะรูดิง กาซา (2552) ศึกษาทดลองหาค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนที่เกิดขึ้นในการทำแห้งชิ้นส้มแขกแบบธรรมชาติด้วยแสงอาทิตย์ โดยใช้ชิ้นส้มแขกที่มีความชื้นเริ่มต้น 85% (ฐานเปียก) ความหนา 8.89 และ16.70 มิลลิเมตร และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 73.10 มิลลิเมตร คำนวณโดยใช้ความสัมพันธ์ของสมการนัสเซลท์นัมเบอร์ (Nusselt number, Nu) ให้ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนซึ่งเป็นค่าเฉพาะของวัสดุแต่ละชนิดที่บ่งบอกคุณสมบัติเฉพาะในการถ่ายโอนมวลน้ำภายในวัสดุสู่ผิวของวัสดุขณะทำแห้ง พบว่าชิ้นส้มแขกที่มีความหนา 8.89 มิลลิเมตรมีค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนแบบธรรมชาติเฉลี่ยเท่ากับ 29.99 วัตต์ต่อตารางเมตร-องศาเซลเซียส ส่วนชิ้นส้มแขกที่มีความหนา 16.70 มิลลิเมตร มีค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนแบบธรรมชาติเฉลี่ยเท่ากับ 29.43 วัตต์ต่อตารางเมตร-องศาเซลเซียส

อรุณพร อิฐรัตน์ และคณะ (2543) ได้ศึกษาฤทธิ์ทางชีวภาพและศึกษาทางเภสัชเวทของสารสกัดจากผลส้มแขก *Garcinia atroviridis* ซึ่งเป็นพืชในวงศ์ Guttiferae จากการศึกษาพบว่าเมื่อสกัดผลส้มแขก ด้วยน้ำ การสกัดในรูปของ pectin, sodium salt, calcium salt สารสกัดในชั้นของเอทานอล (ethanol) และสารสกัดในชั้นของน้ำของกากที่เหลือจากการสกัดด้วยเอทานอล เมื่อทดสอบด้วยวิธี DPPH Radical Scavenging Assay สารสกัดทุกรูปแบบไม่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระที่ระดับความเข้มข้นสูงสุด 2,000 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ไม่มีฤทธิ์ต้านจุลินทรีย์ต่อเชื้อ *Staphylococcus aureus* สายพันธุ์ดื้อยา methicillin และเชื้อ *Shigella sonnei* ที่ระดับความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร (1,000 ไมโครกรัม/disc) เมื่อทดสอบด้วยวิธี Agar Diffusion Method (disc diffusion method) แต่มีฤทธิ์ Cytotoxic เมื่อทดสอบด้วยวิธี Brine Shrimp Lethality Bioassay (LC_{50}<1,000 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร) โดยเฉพาะสารสกัดในชั้นเอทานอลมีฤทธิ์ Cytotoxic มากที่สุด โดยมีค่า LC_{50} = 8.3579 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตรและจากการศึกษาทางเภสัชเวทพบว่า สารสกัดทุกรูปแบบ (ยกเว้นสารสกัดในชั้น

เอทานอล) และผงส้มแขกมีความคงตัวทางกายภาพดีที่สุดเมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส สารสกัดในชั้นเอทานอลและสารส้มแขกแคปซูลมีความคงตัวทางกายภาพดีที่สุดเมื่อเก็บไว้ที่บรรยากาศปกติ มีแสงสว่าง โดยบรรจุในภาชนะปิดสนิท เมื่อตรวจดูส้มแขกด้วยเครื่องจุลทรรศน์พบว่าเนื้อเยื่อส่วนเปลือกแบ่งออกเป็น 3 ชั้น คือ epicarp, mesocarp และ endocarp เนื้อเยื่อที่พบได้แก่ stomata, spiral vessels T-shaped trichomes เม็ดแป้ง oil cells และ mucilage cells แต่ไม่พบ condensed tannin ส้มแขกมีปริมาณเถ้าทั้งหมด เถ้าที่ไม่ละลายในกรด และความชื้นเท่ากับ 11.01%, 18.48% และ 21.77% ตามลำดับ จากการไตเตรทเพื่อหาปริมาณกรดทั้งหมดพบว่า สารสกัดในชั้นน้ำมีปริมาณกรดมากที่สุดเท่ากับ 34.2472 กรัม% และมีค่า pH เท่ากับ 1.664 โดยกรดอินทรีย์ที่เป็นองค์ประกอบในสารสกัดส้มแขก คือ กรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริก

พิมพ์ชนก อุนจะนำ (2548) ได้ศึกษาสาเหตุและบริเวณที่เกิดความสูญเสียจากการผลิตยาสมุนไพรส้มแขกชนิดแคปซูล และทำการประเมินโอกาสทางเทคโนโลยีสะอาด พร้อมทั้งเสนอแนวทางการปรับปรุงกระบวนการผลิต เพื่อลดการสูญเสียวัตถุดิบ น้ำและพลังงาน

สุวรรณี อาจหาญณรงค์ (2539) ได้ศึกษาการใช้ส้มแขกแห้งเป็นสารให้รสเปรี้ยวในต้มยำก้อน โดยพบว่าส้มแขกมีองค์ประกอบทางเคมีซึ่งประกอบด้วยความชื้น โปรตีน ไขมัน เถ้า เยื่อใย และคาร์โบไฮเดรต 8.44, 2.07, 1.62, 1.47, 1.92 และ 84.48% ตามลำดับ จากการพัฒนาสูตรเครื่องต้มยำก้อนด้วยวิธี Ratio Profile Test จึงได้สูตรที่เหมาะโดยใช้ ส้มแขกผง 13.99% ซึ่งผลิตภัณฑ์เครื่องต้มยำก้อนที่พัฒนาได้มีคุณลักษณะและคุณภาพคือ ลักษณะเป็นก้อนสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาด 2.70×3.30×1.30 เซนติเมตร น้ำหนักเฉลี่ย 14.30 กรัมต่อก้อน การศึกษาอายุการเก็บรักษาพบว่า ผลิตภัณฑ์เครื่องต้มยำก้อนห่อด้วยอลูมิเนียมฟอยด์ ลามิเนตด้วยพอลิเอทิลีนเก็บที่อุณหภูมิห้องจะมีอายุการเก็บรักษาได้ไม่เกิน 6 สัปดาห์

ในส่วนสิทธิบัตรที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้ ได้แก่ US Patent 5656314 ซึ่งรายงานการวิเคราะห์ปริมาณกรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริกอิสระ (free hydroxycitric acid) กรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริกแลกโตน (lactone of hydroxycitric acid) และ กรดซิตริก โดยใช้เครื่อง HPLC โดยพบว่าสารสกัดจากเปลือกผลส้มแขก เมื่อผ่าน คอลัมภ์แลกเปลี่ยนประจุลบ และผ่านการชะสารสกัดในคอลัมภ์ด้วยโซเดียมหรือโปตัสเซียมไฮดร็อกไซด์ เป็นผลให้เมื่อผ่านสารสกัดด้วยคอลัมภ์แลกเปลี่ยนประจุบวกจะให้สารสกัดเข้มข้น ที่ประกอบด้วยกรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริก (free acid) เมื่อนำวิเคราะห์ปริมาณกรดดังกล่าวในสารสกัดที่ได้ด้วยเครื่อง HPLC พบว่ามีปริมาณกรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริกอิสระ เท่ากับ 23-54% และปริมาณกรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริกแลกโตน เท่ากับ 6-20% (Moffett *et al.*, 1997).

จงจิตร อังคทะวานิช (2542) รายงานว่าเมื่อพิจารณาถึงประสิทธิภาพของสารสกัดจากส้มแขกในการลดน้ำหนักและเนื้อเยื่อไขมันในร่างกายโดยส้มแขกมีกรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริกเป็นสารสำคัญซึ่งออกฤทธิ์ยับยั้งการทำงานของเอ็นไซม์อะเดโนซีนไตรฟอสเฟต ซิเตรทไลเอส พบว่าการวิจัยในสัตว์ทดลองสารสกัดจากส้มแขกสามารถลดการสังเคราะห์กรดไขมันเพิ่มการสังเคราะห์ไกลโคเจน มีผลลดปริมาณอาหารที่บริโภค และทำให้ลดน้ำหนักตัวของสัตว์ทดลอง อย่างไรก็ดีการทดลองทางคลินิกในคน บาง

รายงานที่ยังพบว่าสารสกัดส้มแขกไม่ทำให้น้ำหนักตัวหรือไขมันในร่างกายคนลดลง อาจเป็นเพราะในคนกลไกการสังเคราะห์กรดไขมัน ยังไม่มีความสำคัญมากนัก โดยเฉพาะอย่างยิ่งในคนที่บริโภคไขมันมากกว่า 10% ของพลังงานทั้งหมด พบว่ามีการเปลี่ยนคาร์โบไฮเดรทไปเป็นกรดไขมันเกิดขึ้นน้อยมาก

Heymsfield และคณะ (1998) รายงานว่า กรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริกเป็นสารสกัดสำคัญจากผล *Garcinia cambogia* มีคุณสมบัติในการยับยั้งเอ็นไซม์อะเดโนซีนไตรฟอสเฟต ซิเตรทไลเอส ซึ่งมีบทบาทสำคัญในยับยั้งการสังเคราะห์กรดไขมัน (lipogenesis inhibition) และพบว่าเมื่อออกแบบการทดลองแบบสุ่มดับเบิ้ลไบล์ ใช้ยาหลอกสำหรับกลุ่มควบคุม (randomized double blind placebo-controlled trial) โดยใช้คนจำนวน 84 คน แบ่งกลุ่มทดลองออกเป็น 2 กลุ่มแต่ละกลุ่มได้รับอาหารที่มีกากใยสูงและมีพลังงานต่ำ ขณะที่กลุ่มแรกจำนวน 42 คน ได้รับกรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริกปริมาณ 1,500 มิลลิกรัมต่อวันและกลุ่มที่สองจำนวน 42 คน ได้รับยาหลอกเป็น เวลา 12 สัปดาห์ ตรวจน้ำหนักตัวเริ่มต้นและทุกๆ 2 สัปดาห์และปริมาณไขมันในร่างกายเมื่อเริ่มต้นและสัปดาห์ ที่ 12 พบว่า เมื่อสัปดาห์ที่ 12 กลุ่มที่ได้รับกรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริกมีน้ำหนักตัวลดลงโดยเฉลี่ยเท่ากับ 3.2±3.3 กิโลกรัมไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (p=0.14) กับกลุ่มที่ใช้ยาหลอกซึ่งมีนำหนักลดลงโดยเฉลี่ยเท่ากับ 4.1±3.9 กิโลกรัม ส่วนปริมาณไขมันในร่างกายลดลงทั้งสองกลุ่มที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p=0.08) เช่นกันโดยมีปริมาณไขมันที่ลดลงเท่ากับ 1.44±2.15% และ 2.16±2.06% ตามลำดับ

Mackeen และคณะ (2000) ได้ศึกษาพบว่าสารสกัดหยาบโดยใช้เมทานอลเป็นตัวทำละลายจากส่วนต่างๆ ของส้มแขก (*Garcinia atroviridis*) ได้แก่ ส่วนใบ ผล ราก ลำต้นและเปลือกลำต้นของต้นส้มแขก มีฤทธิ์การต้านแบคทีเรียที่ดีกว่าเชื้อรา โดยเฉพาะสารสกัดหยาบจากส่วนของราก มีฤทธิ์การต้านแบคทีเรียที่ทดสอบได้แก่ *Bacillus subtilis* B28, *B. subtilis* B29 (methicillin-resistant), *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa* UI60690 สูงสุด ให้ค่าปริมาณต่ำสุดที่สามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อ (minimum inhibitory dose, MID) เท่ากับ 15.6 mg per disc. และสารสกัดหยาบจากส่วนของราก ใบ ลำต้นและเปลือกลำต้นของต้นส้มแขก ยกเว้นส่วนของผล ให้ค่ากิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระที่ดีเมื่อเปรียบเทียบกับสารมาตรฐานแอลฟา-โทโคเฟอรอล (α-tocopherol)

Mackeen และคณะ (2002) รายงานว่าอนุพันธ์ของกรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริก 2 ชนิดมีชื่อว่า 2-(butoxycarbonyl methyl)-3-butoxycarbonyl-2-hydroxy-3-propanolide และ 1′,1′′-dibutyl methyl hydroxycitrate สามารถสกัดแยกออกจากผลส้มแขก (*Garcinia atroviridis* fruits) เมื่อทดสอบฤทธิ์ต้านเชื้อราด้วยวิธี TLC bioautography เปรียบเทียบกับฤทธิ์การต้านเชื้อราโดยใช้สาร cycloheximide (MID: 0.5 ug per spot) พบว่ามีฤทธิ์ต้านเชื้อ *C. herbarum* ให้ค่า MID 0.4 และ 0.8 ug per spot ตามลำดับแต่ไม่มีฤทธิ์ในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียจำพวก *Baciilus subtilis*, methicilin-resistant *Staphylococcus aureus, Pseudomonas aeroginosa* และ *Escherichia coli* อีกทั้งเชื้อราจำพวก *Alternaria* sp., *Fusarium moniliforme* และ *Aspergillus ochraceous* รวมถึงยีสต์จำพวก *Candida albicans*

วิธีการทดลอง

1. การเตรียมวัตถุดิบ

แหล่งวัตถุดิบส้มแขก พื้นที่ปลูกเขตจังหวัดสงขลาในเขตอำเภอนาหม่อมและเขตตำบลทุ่งตำเสา อำเภอหาดใหญ่จำนวนทั้งสิ้น 4 ต้น (จาก 5 ต้นทดลอง) ต้นส้มแขกที่มีอายุประมาณ 4-5 ปี จะให้ผลผลิตค่อนข้างมาก ทำการผูกก้านดอกและห่อผลภายหลังการติดผล ทำการวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางผลทุกระยะ 1 เดือนจนกระทั่งผลส้มแขกเจริญเข้าสู่ระยะความแก่อ่อน 2 ระยะดังนี้ ส้มแขกระยะที่ผลมีสีเขียว (สีเขียวเข้มของระยะแก่จัด) และส้มแขกระยะที่ผลมีสีเหลือง (ระยะแก่จัดเริ่มเปลี่ยนเป็นสีเหลืองทั้งผล) ทำการบันทึกข้อมูลจำนวนวันหลังติดผล ค่าเฉลี่ยขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (มิลลิเมตร) และน้ำหนัก (กรัม) ต่อผลส้มแขกที่ระยะความแก่อ่อนทั้งสอง จำนวนผลส้มแขกที่ใช้ในงานทดลองในขั้นตอนนี้จำนวนทั้งสิ้น 85 ผลต่อระยะความแก่อ่อน

2. การเตรียมส้มแขกก่อนการอบแห้ง

2.1 ในขั้นตอนนี้ผลส้มแขกสดจากข้อ 1 นำมาล้างทำความสะอาดและตรวจคุณภาพดังนี้

2.1.1 คุณภาพทางกายภาพ ได้แก่ ตรวจวัดเนื้อสัมผัสอ่านค่าแรงตัด (นิวตัน) ด้วยเครื่องวัดเนื้อสัมผัส (Texture analyzer, TA-XT2i, UK) และค่าสี L* a* b* ด้วยเครื่องวัดค่าสี (Hunter Lab, Color Quest XT, USA) คำนวณค่า Hue angle ค่าสีในระบบ CIE L^* a^* b^* ซึ่ง ค่า L^* แสดงถึงค่าความสว่าง ค่า $+a^*$ แสดงถึงค่าสีแดงและค่า $+b^*$ แสดงถึงค่าสีเหลือง คำนวณหาค่า Hue angle (h°) ซึ่งคำนวณจาก $h^{\circ} = \tan^{-1}(b^*/a^*)$

2.1.2 คุณภาพทางเคมี ได้แก่ ปริมาณความชื้น (%) ปริมาณเถ้าทั้งหมด (%) ปริมาณเถ้าที่ไม่ละลายในกรด(%)ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ (%) ปริมาณกรดทั้งหมดในรูปกรดซิตริก (%) และค่าพีเอช [A.O.A.C., 2000] ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (มิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อกรัมตัวอย่าง , ฐานแห้ง) [Miliauskas *et al.*, 2004] สมบัติการต้านอนุมูล DPPH (EC_{50}, มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร) [Yamasaki *et al.*, 1994] โดยใช้ Butylhydroxytoluene (BHT) เป็นสารมาตรฐานควบคุมผลเชิงบวก (ค่า EC_{50} ของ BHT = 14.28±0.55 µg/ml) ปริมาณสารสำคัญของส้มแขก ได้แก่ กรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริก (%) และกรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริกแลกโตน (%) โดยใช้เครื่อง High Performance Liquid Chromatography (HPLC) [ดัดแปลงจาก Jayaprakasha *et al.*, 2003; Jena *et al.*, 2002]

2.1.3 คุณภาพทางจุลินทรีย์ (โคโลนีต่อกรัม) ได้แก่ ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (USFDA, 2001a) ปริมาณยีสต์และรา (USFDA, 2001b)

2.2 การปรับสภาพสีและเนื้อสัมผัส หรือการพรีทรีทเมนต์ของส้มแขกก่อนการอบแห้ง

2.2.1 ทำการตัดแต่งส้มแขกทั้งสองระยะความแก่อ่อนตามแนวตั้ง (vertical cut) ของผลขนาดความหนา 1.0-1.4 มิลลิเมตร นำชิ้นส้มแขกแช่ในสารละลาย 0.5% โซเดียมคลอไรด์ หรือเกลือแกง (NaCl) สารละลาย 0.5% แคลเซียมคลอไรด์ ($CaCl_2$) สารละลายผสมระหว่างสารละลาย 0.5%

เกลือแกง และ 0.5% แคลเซียมคลอไรด์ และชุดควบคุม (ไม่ผ่านการแช่) เป็นเวลา 5 และ 10 นาที นำอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสด้วยตู้อบแห้งแบบลมร้อนชนิดถาดหมุน เพื่อสามารถควบคุมปัจจัยอุณหภูมิและเวลาในการอบแห้งที่จะมีผลต่อการพรีทรีทเมนต์ ทำการอบแห้งจนกระทั่งชิ้นส้มแขกมีปริมาณความชื้น ประมาณ 7% นำชิ้นส้มแขกแห้งจากการพรีทรีทเมนต์ที่ได้ ตรวจคุณภาพโดยวัดค่าสีด้วยเครื่องวัดค่าสี คัดเลือกเวลาที่เหมาะสมในการแช่สารละลายพรีทรีทเมนต์เพียงหนึ่งระดับเวลา เพื่อศึกษาผลของการปรับสภาพสีและเนื้อสัมผัสหรือการพรีทรีทเมนต์ของส้มแขกทั้งสองระยะความแก่อ่อนด้วยตู้อบแห้งแบบสุญญากาศต่อไป

2.2.2 ทำการตัดแต่งผลส้มแขกในระยะที่ผลมีสีเขียว (สีเขียวเข้มของระยะแก่จัด) และระยะที่ผลมีสีเหลือง (ระยะแก่จัดเริ่มเปลี่ยนเป็นสีเหลืองทั้งผล) ทั้งสองระยะความแก่อ่อนตามแนวตั้ง (vertical cut) ของผล ขนาดความหนาชิ้นละ 1.0-1.4 มิลลิเมตร นำชิ้นส้มแขกแช่ในสารละลาย 0.5% NaCl สารละลาย 0.5 % $CaCl_2$ สารละลายผสมระหว่างสารละลาย 0.5% NaCl และ0.5% $CaCl_2$ และชุดควบคุม (ไม่ผ่านการแช่) เป็นเวลาที่คัดเลือกได้จากข้อ 2.2.1 นำอบแห้งด้วยตู้อบแห้งสุญญากาศ ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ระหว่างอบแห้งทุกๆ 0.5 ชั่วโมง บันทึกค่าสุญญากาศ (มิลลิเมตรปรอท) อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) และค่าความชื้นสัมพัทธ์ (%) อบแห้งจนกระทั่งชิ้นส้มแขกมีปริมาณความชื้นประมาณ 7% คำนวณหา %ผลได้ (%yield) วิเคราะห์คุณภาพทางเคมีของชิ้นส้มแขกแห้งทั้งสองระยะความแก่อ่อนที่ได้ดังนี้ ปริมาณสารประกอบฟีนอลลิกทั้งหมด (Miliauskas *et al.*, 2004) สมบัติการต้านอนุมูล DPPH (Yamasaki *et al.*, 1994) ปริมาณสารสำคัญของส้มแขก ได้แก่ กรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริก กรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริกแลกโตน โดยใช้เครื่อง HPLC (ดัดแปลงจาก Jayaprakasha *et al.*, 2003; Jena *et al.*, 2002)

คัดเลือกชนิดสารละลายที่ใช้ปรับสภาพสีและเนื้อสัมผัส และเวลาในการแช่ที่เหมาะสมเพียงหนึ่งชุดการทดลอง เพื่อทำการศึกษาในขั้นตอนต่อไป

จากผลการทดลองในขั้นตอนนี้ พบว่าได้คัดเลือกสารละลายพรีทรีทเมนต์คือสารละลาย 0.5% $CaCl_2$ เป็นเวลา 5 นาที เป็นชนิดและเวลาในการแช่สารละลายเพื่อปรับสภาพสีและเนื้อสัมผัส หรือการพรีทรีทเมนต์ของส้มแขกก่อนการอบแห้ง

3. การอบแห้งส้มแขกด้วยตู้อบแห้งสุญญากาศ

ในขั้นตอนนี้ ผลส้มแขกจากข้อ 1 ทำการตัดแต่ง แช่ในชนิดของสารละลายที่ใช้ปรับสภาพสีและเนื้อสัมผัส และเวลาที่ใช้แช่ ที่คัดเลือกได้จากข้อ 2.2. นำอบแห้งด้วยตู้อบแห้งสุญญากาศชนิด Laboratory scale vacuum oven ทำการศึกษาดังนี้

3.1 การหาสภาวะที่เหมาะสมในการอบแห้ง

นำส้มแขกระยะที่ผลมีสีเขียว และส้มแขกระยะที่ผลมีสีเหลืองข้อ 1 มาล้างทำความสะอาดและตัดแต่งตามแนวตั้ง (vertical cut) ของผลขนาดความหนาชิ้นละ 1.0-1.4 มิลลิเมตร แช่ในชนิดของสารละลายที่ใช้ปรับสภาพสีและเนื้อสัมผัส และเวลาที่ใช้แช่ ที่คัดเลือกได้จากข้อ 2.2.

ปัจจัยที่ศึกษามี 3 ปัจจัยดังนี้

ก. อุณหภูมิ จำนวน 3 ระดับได้แก่ 40, 50 และ 60 องศาเซลเซียส กำหนดค่าสุญญากาศในการอบแห้งเท่ากับ 25-30 มิลลิเมตรปรอท

ข. เวลาในการอบแห้งจำนวน 1 ระดับขึ้นกับอุณหภูมิและค่าสุญญากาศที่ใช้ในการอบแห้ง

ค. ระยะความแก่อ่อน 2 ระยะดังนี้ ส้มแขกระยะที่ผลมีสีเขียว (สีเขียวเข้มของระยะแก่จัด) และส้มแขกระยะที่ผลมีสีเหลือง (ระยะแก่จัดเริ่มเปลี่ยนเป็นสีเหลืองทั้งผล) ตามรายละเอียดในข้อ 1

ทำการอบแห้งจนกระทั่งตัวอย่างมีปริมาณความชื้น ประมาณ 7% จึงนำตรวจคุณภาพดังนี้

3.1.1 คุณภาพทางกายภาพ ได้แก่ ค่าสี L* a* b* ตรวจวัดเนื้อสัมผัสอ่านค่าแรงตัด (นิวตัน)

3.1.2 คุณภาพทางเคมี ได้แก่ ปริมาณความชื้น (%) ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (มิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อกรัมตัวอย่าง, ฐานแห้ง) สมบัติการต้านอนุมูล DPPH (EC_{50}, มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร) ปริมาณกรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริก (%) และกรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริกแลกโตน (%)

คัดเลือกอุณหภูมิในการอบแห้งด้วยตู้อบแห้งสุญญากาศที่เหมาะสมเพียงหนึ่งระดับเพื่อใช้ในการศึกษาขั้นต่อไป จากผลการทดลองในขั้นตอนนี้พบว่า อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เหมาะสมที่สุดในการอบแห้งส้มแขก

4. การศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของส้มแขกแห้งในบรรจุภัณฑ์

4.1 กระบวนการผลิตส้มแขกแห้ง

นำส้มแขกระยะที่ผลมีสีเขียวและส้มแขกระยะที่ผลมีสีเหลืองจากข้อ 1 มาล้างทำความสะอาดและตัดแต่งตามแนวตั้ง (vertical cut) ของผล ขนาดความหนาชิ้นละ 1.0-1.4 มิลลิเมตร แช่ในชนิดของสารละลายที่ใช้ปรับสภาพสีและเนื้อสัมผัส และเวลาที่ใช้แช่ ที่คัดเลือกได้จากข้อ 2.2. นำอบแห้งด้วยตู้อบแห้งแบบสุญญากาศชนิด Pilot scale vacuum dryer ที่อุณหภูมิ ที่คัดเลือกได้จากข้อ 3.1 ทำการอบแห้งจนกระทั่งชิ้นส้มแขกมีปริมาณความชื้นประมาณ 7% สุ่มตัวอย่างชิ้นส้มแขกอบแห้งที่ได้นำตรวจวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักได้แก่ แคดเมียม ตะกั่ว ปรอท โดยส่งห้องปฏิบัติการกลาง (ประเทศไทย) จำกัด สาขาสงขลา และชิ้นส้มแขกอบแห้งที่ได้นำศึกษาปัจจัยต่างๆดังนี้

ก. ชนิดบรรจุภัณฑ์จำนวน 2 ชนิด ได้แก่ ถุงพลาสติกพอลิเอทิลีน (Polyethylene, PE) และถุงไนลอน (Nylon) ซึ่งทางการค้าหมายถึงถุงชนิด Nylon/Linear low-density polyethylene (Nylon/LLDPE) โดยบรรจุส้มแขกน้ำหนัก 150 กรัมต่อหน่วยบรรจุภัณฑ์ และปิดผนึกถุงภายใต้สภาวะบรรยากาศปกติ

ข. อุณหภูมิเก็บรักษา จำนวน 2 ระดับได้แก่ อุณหภูมิ 28±1 และ 4±1 องศาเซลเซียส

4.2 การตรวจคุณภาพและการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของส้มแขกแห้งในบรรจุภัณฑ์

4.2.1 ชิ้นส้มแขกอบแห้งในบรรจุภัณฑ์เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 28±1 องศาเซลเซียส จากข้อ 4.1 ทำการตรวจคุณภาพดังนี้

4.2.1.1 คุณภาพทางกายภาพ ได้แก่ ค่าสี L* a* b* และค่าแรงตัด (นิวตัน) เมื่อเก็บรักษาไว้เป็นเวลา 0 และ 3.5 เดือน

4.2.1.2 คุณภาพทางเคมี ได้แก่ ปริมาณความชื้น ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดกิจกรรมการต้านอนุมูล DPPH ปริมาณกรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริก และกรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริกแลกโตน เมื่อเก็บรักษาไว้เป็นเวลา 0 และ 3.5 เดือน

4.2.1.3 คุณภาพทางจุลินทรีย์ ได้แก่ ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ปริมาณยีสต์และรา เมื่อเก็บรักษาไว้เป็นเวลา 0 และ 3.5 เดือน

4.2.1.4 คุณภาพทางประสาทสัมผัส (Stone and Sidel, 2004) โดยใช้แบบทดสอบชนิด 9 Point hedonic scale จำนวนผู้ทดสอบ 30 คน พิจารณาคุณลักษณะปรากฏ สี คุณลักษณะโดยรวม เมื่อเก็บรักษาไว้เป็นเวลา 0 1 2 3 และ 3.5 เดือน

4.2.2 ชิ้นส้มแขกอบแห้งในบรรจุภัณฑ์เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4±1 องศาเซลเซียส จากข้อ 4.1 ทำการตรวจคุณภาพดังนี้

4.2.2.1 คุณภาพทางกายภาพ ได้แก่ ค่าสี L* a* b* และค่าแรงตัด (นิวตัน) เมื่อเก็บรักษาไว้เป็นเวลา 0 2 และ 4 เดือน

4.2.2.2 คุณภาพทางเคมี ได้แก่ ปริมาณความชื้น ปริมาณสารประกอบฟีนอลลิกทั้งหมดกิจกรรม การต้านอนุมูล DPPH ปริมาณกรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริก และกรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริกแลกโตน เมื่อเก็บรักษาไว้เป็นเวลา 0 2 และ 4 เดือน

4.2.2.3 คุณภาพทางจุลินทรีย์ ได้แก่ ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ปริมาณยีสต์และรา เมื่อเก็บรักษาไว้เป็นเวลา 0 2 และ 4 เดือน

4.2.2.4 คุณภาพทางประสาทสัมผัส (Stone and Sidel, 2004) โดยใช้แบบทดสอบชนิด 9 Point hedonic scale จำนวนผู้ทดสอบ 30 คน พิจารณาคุณลักษณะปรากฏ สี คุณลักษณะโดยรวม เมื่อเก็บรักษาไว้เป็นเวลา 0 1 2 3 และ 4 เดือน และพิจารณาคุณลักษณะด้านกลิ่นเมื่อเก็บรักษาไว้เป็นเวลา 0 และ 4 เดือน

5. วางแผนการทดลองเพื่อวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

การทดลองในข้อ 2.1 วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดยใช้ t-test การทดลองในข้อ 2.2.1 2.2.2 3.1 3.2 4.2.1 และ 4.2.2 วางแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด (CRD) ส่วนการวิเคราะห์ข้อมูลการทดสอบทางประสาทสัมผัส ในข้อ 4.2.1.4 และ 4.2.2.4 วางแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ ทำการทดลอง 2 ชุดการทดลอง ชุดการทดลองละ 2 ซ้ำ วิเคราะห์ 3 ครั้ง ทำการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance, ANOVA) และทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยใช้ Duncan's Multiple Range Test จากโปรแกรม SPSS for Windows version 17 EDU

การทดลองในข้อที่ 3 ใช้ตู้อบแห้งสุญญากาศชนิด Laboratory scale vacuum oven โดยออกแบบการอบแห้งที่เปรียบเทียบระหว่างส้มแขกชิ้นบางที่แช่และไม่แช่สารละลาย 0.5% $CaCl_2$ กับชุดควบคุม ส่วนการทดลองในข้อที่ 4 ใช้ตู้อบแห้งสุญญากาศชนิด Pilot scale vacuum dryer ที่มีข้อจำกัดในเรื่องพื้นที่อบแห้ง จึงออกแบบการอบแห้งที่ควบคุมความสม่ำเสมอของแต่ละชุดทดลอง จึงไม่มีการเปรียบเทียบกันระหว่างตัวอย่างทดลองกับชุดควบคุม

ผลการทดลองและวิจารณ์

1. การเตรียมวัตถุดิบ

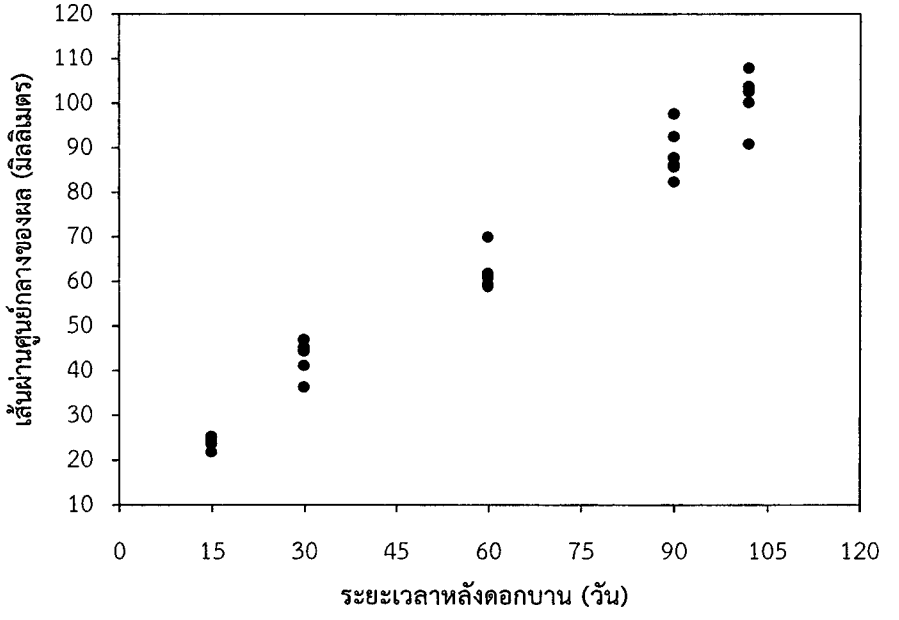
ผลการทดลองพบว่า ส้มแขกระยะที่ผลมีสีเขียวหรือระยะแก่จัดมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางและน้ำหนักต่อผลน้อยกว่าส้มแขกระยะที่ผลมีสีเหลืองหรือระยะสุก ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 จำนวนวันหลังติดผล ค่าเฉลี่ยขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางและน้ำหนักต่อผลส้มแขกที่ระยะความแก่อ่อนแตกต่างกัน

ระยะความแก่อ่อน	จำนวนวันนับจากหลังติดผล (วัน)	ค่าโดยเฉลี่ย	
		ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (มิลลิเมตร)	น้ำหนักต่อผล (กรัม)
ผลสีเขียว	90-105	302.39±86.06	93.61±7.92
ผลสีเหลือง	94-114	343.87±95.99	94.48±7.42

หมายเหตุ ข้อมูลรวบรวมจากต้นส้มแขกทดลองจำนวน 4 ต้น (n=85 ต่อระยะความแก่อ่อน)

เมื่อสุ่มตัวอย่างแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเส้นผ่านศูนย์กลางของผลและระยะเวลานับจากหลังดอกบานผลส้มแขกมีการเจริญเติบโตตั้งแต่ 15 วันและทุกๆ 30 วันจนกระทั่งผลส้มแขกเข้าสู่ระยะสีเขียวหรือระยะแก่จัด และจนกระทั่งผลส้มแขกเปลี่ยนเป็นสีเหลืองสุก ดังแสดงในภาพที่ 1



ภาพที่ 1 การเจริญเติบโตของผลส้มแขกตั้งแต่ดอกบานจนเข้าสู่ระยะที่ผลมีสีเขียว ระยะที่ผลมีสีเหลือง (n=6; ระยะที่ผลมีสีเขียวของระยะแก่จัด 90 วัน; ระยะที่ผลมีสีเหลืองจากระยะแก่จัดเปลี่ยนเป็นสีเหลืองทั้งผล 102 วัน)

2. การเตรียมส้มแขกก่อนการอบแห้ง

2.1 คุณภาพทางภายภาพของผลส้มแขกสดที่ระยะความแก่อ่อนแตกต่างกัน

ผลการทดลองพบว่า ส้มแขกระยะที่ผลมีสีเขียวเมื่อเข้าสู่ระยะที่ผลมีสีเหลืองมีค่า L*, a* และ b* ในส่วนขั้วผล กลางผล และท้ายผลเพิ่มขึ้น ($p<0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 2 แสดงให้เห็นว่าผลส้มแขกมีความสว่างของสีเพิ่มขึ้น ค่าเฉดสีเขียวลดลง และค่าเฉดสีเหลืองเพิ่มสูงขึ้น สอดคล้องกับค่า Hue angle โดยส้มแขกระยะที่ผลมีสีเหลืองมีค่า Hue angle ในช่วง 94.61 ถึง 96.43 ซึ่งอยู่ในเฉดสีเหลือง (McGuire, 1992) ดังแสดงในตารางที่ 3 เนื่องจากรงควัตถุที่เป็นองค์ประกอบในพืช ได้แก่ คลอโรฟิลล์ ซึ่งเป็นรงควัตถุที่ให้สีเขียว และแคโรทีนอยด์ซึ่งเป็นรงควัตถุที่ให้สีเหลือง ส้ม แดง หรือชมพู ซึ่งในระหว่างการสุกของผลไม้จะเกิดการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ในขณะที่แคโรทีนอยด์ถูกสร้างขึ้นมาหรือมีปริมาณคงที่ (จริงแท้ ศิริพานิช, 2550) จึงทำให้สีของผลส้มแขกที่ระยะความแก่อ่อนของผลที่มีสีเขียวและผลที่มีสีเหลืองมีความแตกต่างกัน นอกจากนี้ยังพบว่าค่าความแน่นเนื้อของส้มแขกระยะที่ผลมีสีเหลืองมีค่าน้อยกว่าผลส้มแขกระยะที่ผลมีสีเขียว ดังแสดงในตารางที่ 3 อาจเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงของพอลิแซคคาไรด์ที่เป็นองค์ประกอบในผนังเซลล์ (Toivonen and Brummell, 2008) เช่น การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของเพกทินไปอยู่ในรูปที่สามารถละลายน้ำได้โดยเอนไซม์เพกทิเนส (จริงแท้ ศิริพานิช, 2544)

2.2 คุณภาพทางเคมีของผลส้มแขกสดที่ระยะความแก่อ่อนแตกต่างกัน

ผลการทดลองพบว่า ส้มแขกระยะที่ผลมีสีเขียวเมื่อเข้าสู่ระยะที่ผลมีสีเหลืองมีค่าความชื้นเพิ่มขึ้น แต่มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดลดลง ในขณะที่ค่าพีเอชเพิ่มขึ้น สอดคล้องกับปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้ลดลง ($p<0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 4 ดังจะเห็นได้ว่าปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้เป็นองค์ประกอบหลักในปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดของส้มแขกทั้งสองระยะความแก่อ่อน เนื่องจากมีค่าที่ใกล้เคียงกัน ทั้งนี้ปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้ของส้มแขกเมื่อเข้าสู่ระยะผลสีเหลืองมีค่าลดลง อาจเนื่องมาจากกรดอินทรีย์ที่สะสมอยู่ในแวคิวโอลถูกใช้ไปในกระบวนการหายใจ (จริงแท้ ศิริพานิช, 2544) โดยกรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริกเป็นกรดที่พบมากในส้มแขก นอกจากนี้ยังพบกรดอินทรีย์ชนิดอื่นๆ เช่น กรดมาลิก และกรดซิตริก (Parthasarathi *et al.*, 2013) Rittirut และ Siripatana (2006) รายงานว่า ส้มแขกระยะที่ผลมีสีเขียวมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดและกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้ในรูปกรดซิตริกเท่ากับ 6.34±0.25 %บริกส์ และ 5.54±0.13% ตามลำดับ งานวิจัยนี้ยังพบว่า ส้มแขกทั้งสองระยะความแก่อ่อนมีปริมาณเถ้าทั้งหมดใกล้เคียงกัน แต่ส้มแขกระยะที่ผลมีสีเขียวมีปริมาณเถ้าที่ไม่ละลายในกรดต่ำกว่าส้มแขกระยะที่ผลมีสีเหลือง

เมื่อพิจารณาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และกิจกรรมการต้านอนุมูล DPPH พบว่าส้มแขกทั้งสองระยะความแก่อ่อนมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังแสดงในภาพที่ 2ก กิจกรรมการต้านอนุมูล DPPH รายงานค่าในรูป EC_{50} ซึ่งหมายถึง ความเข้มข้นของสารตัวอย่างที่ไปลดปริมาณอนุมูล DPPH ลง 50% โดยสารใดๆ ที่มีค่า EC_{50} ต่ำ แสดงว่าสาร

นั้นมีความสามารถในการต้านอนุมูล DPPH ที่สูง พบว่า ส้มแขกระยะที่ผลมีสีเขียวมีค่า EC_{50} ต่ำกว่าส้มแขกระยะที่ผลมีสีเหลือง ($p<0.05$) แสดงให้เห็นว่ามีกิจกรรมการต้านอนุมูล DPPH ที่สูงกว่า ดังแสดงในภาพที่ 2ข Al-Mansoub และคณะ (2014) รายงานว่าส้มแขกและเมล็ดในระยะผลแก่ (unripe fruit with seed) มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าส้มแขกและเมล็ดในระยะผลสุก (ripe fruit with seed) ซึ่งผลส้มแขกประกอบด้วยสารที่มีคุณสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ ได้แก่ สารประกอบฟีนอลิก (Nursakinah *et al.*, 2012) สารในกลุ่มฟลาโวนอยด์ เช่น ไมริซีติน (myricetin) เคอร์ซีติน (quercitin) และ ลูเตโอลิน (luteolin) เป็นต้น (Miean and Mohamed, 2001) ส่วน Nursakinah และคณะ (2012) รายงานว่าสารสกัดน้ำ (น้ำกลั่น, 10% w/v) จากชิ้นผลส้มแขกอบแห้งที่อุณหภูมิสกัด 60 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 6 ชั่วโมงมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกสูงกว่าสารสกัดจากชุดการทดลองอื่นและสอดคล้องกับคุณสมบัติการต้านอนุมูล DPPH ที่วิเคราะห์ได้

นอกจากนี้ยังพบว่า ระยะความแก่อ่อนมีผลต่อปริมาณกรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริก และกรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริกแลกโตน ดังแสดงในภาพที่ 2ค และ 2ง โดยพบว่าส้มแขกระยะที่ผลมีสีเขียวมีปริมาณปริมาณกรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริก และกรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริกแลกโตนสูงกว่า ($p<0.05$) ส้มแขกระยะที่ผลมีสีเหลือง ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้ดังได้รายงานไว้ในข้างต้น

2.3 คุณภาพทางจุลินทรีย์ของผลส้มแขกสดที่ระยะความแก่อ่อนแตกต่างกัน

ผลการทดลองพบว่า ส้มแขกระยะที่ผลมีสีเหลืองมีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (mesophile) ยีสต์และรา เท่ากับ 6.7×10 และ 4.7×10^{2} โคโลนี/กรัม ตามลำดับ ในขณะที่วิเคราะห์ไม่พบจุลินทรีย์ทั้งหมด ยีสต์และราในส้มแขกระยะที่ผลมีสีเขียว ดังแสดงในตารางที่ 5 อย่างไรก็ตามส้มแขกทั้งสองระยะความแก่อ่อนมีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ยีสต์และราต่ำกว่าที่มาตรฐานกำหนด ซึ่งกำหนดให้ผักและผลไม้พร้อมบริโภค ต้องมีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ไม่เกิน 1.0×10^{6} โคโลนี/กรัม ยีสต์ ไม่เกิน 1.0×10^{4} โคโลนี/กรัม และรา ไม่เกิน 500 โคโลนี/กรัม (กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์, 2553)

ตารางที่ 2 ค่าสี (L*, a*, b*) ของส้มแขกระยะที่ผลมีสีเขียวและสีเหลือง

ระยะความแก่อ่อน	L*			a*			b*		
	ส่วนขั้ว	ส่วนกลาง	ท้ายผล	ส่วนขั้ว	ส่วนกลาง	ท้ายผล	ส่วนขั้ว	ส่วนกลาง	ท้ายผล
ผลสีเขียว	54.80±2.62^{b}	55.77±2.81^{b}	55.99±2.64^{b}	-9.05±0.80^{b}	-8.99±0.74^{b}	-9.03±0.88^{b}	19.48±2.79^{b}	20.37±2.40^{b}	21.19±2.89^{b}
ผลสีเหลือง	61.27±1.29^{a}	61.53±1.47^{a}	62.33±1.61^{a}	-2.38±1.82^{a}	-2.74±1.98^{a}	-3.31±1.91^{a}	29.51±1.85^{a}	30.18±1.83^{a}	29.85±1.68^{a}

หมายเหตุ (1) ผลสีเขียวหรือระยะที่ผลมีสีเขียว ผลสีเหลืองหรือระยะที่ผลมีสีเหลือง[n=6]; (2) ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน [n=6]; ตัวอักษรที่กำกับในสดมภ์เดียวกันแตกต่างกัน หมายถึง ค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ [p<0.05]

ตารางที่ 3 ค่าสี (Hue angle) และความแน่นเนื้อแสดงในรูปค่าแรงกด (นิวตัน) ของส้มแขกระยะที่ผลมีสีเขียวและสีเหลือง

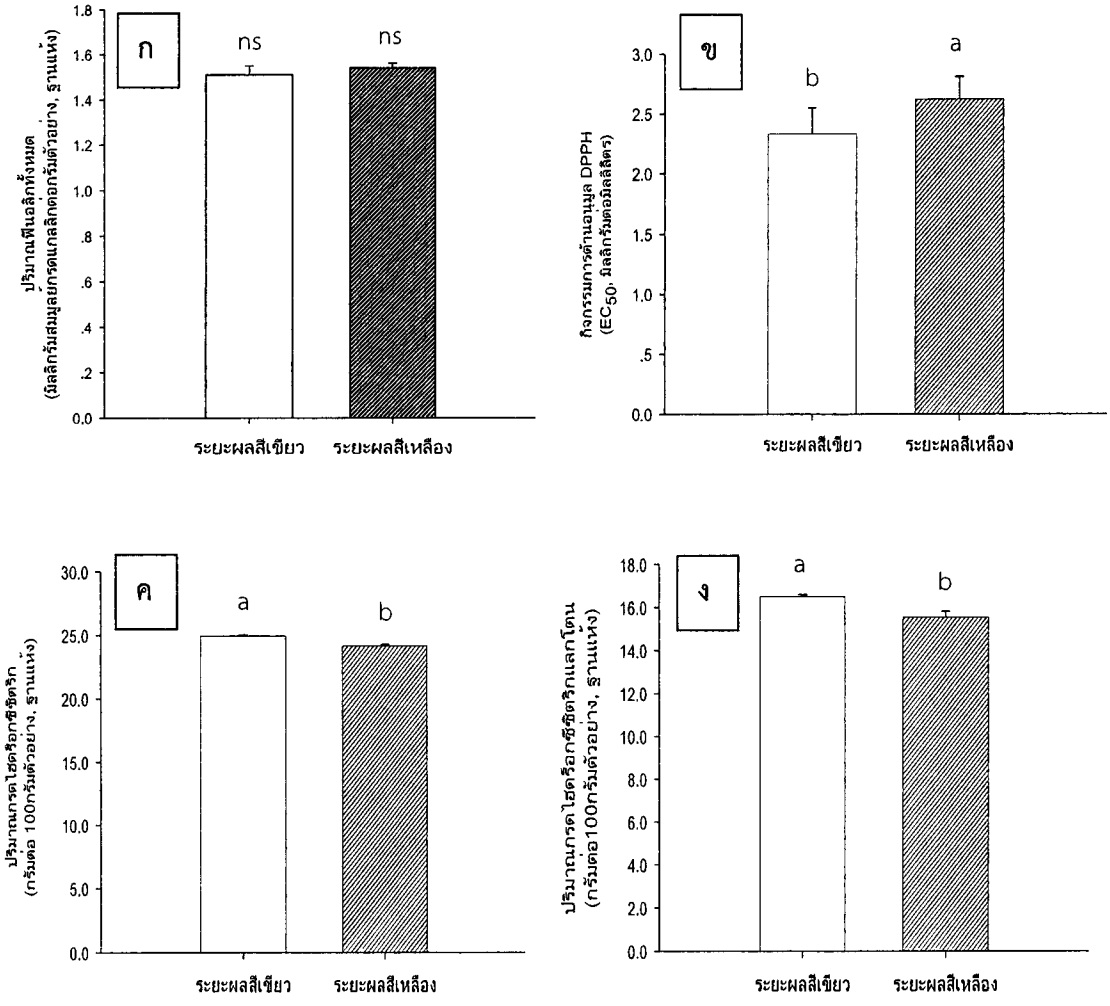
ระยะความแก่อ่อน	Hue angle			ค่าแรงกด (นิวตัน)
	ส่วนขั้ว	ส่วนกลาง	ท้ายผล	
ผลสีเขียว	115.17±3.18^{a}	114.01±2.98^{a}	113.27±2.56^{a}	13.44±0.90^{a}
ผลสีเหลือง	94.61±3.54^{b}	95.32±4.20^{b}	96.43±3.92^{b}	10.81±1.27^{b}

หมายเหตุ (1) ผลสีเขียวหรือระยะที่ผลมีสีเขียว ผลสีเหลืองหรือระยะที่ผลมีสีเหลือง [n=6]; (2) ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน [n=6]; (3) ตัวอักษรที่กำกับในสดมภ์เดียวกันแตกต่างกัน หมายถึง ค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ [p<0.05] Hue angle (h^{O}) = $\tan^{-1}$ (b*/a*)

ตารางที่ 4 ค่าปริมาณความชื้น (%) ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (%บริกส์) ค่าพีเอชและปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ในรูปกรดซิตริก (%) ปริมาณเถ้าทั้งหมดและเถ้าที่ไม่ละลายในกรด (%) ของส้มแขกระยะที่ผลมีสีเขียวและสีเหลือง

ระยะความแก่อ่อน	ปริมาณความชื้น (%)	ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (%บริกส์)	ค่าพีเอช	ปริมาณกรดที่ไทเทรตได้ (%)	ปริมาณเถ้าทั้งหมด (%)	ปริมาณเถ้าที่ไม่ละลายในกรด (%)
ผลสีเขียว	88.26±0.09[b]	6.27±0.05[a]	2.08±0.01[b]	5.09±0.13[a]	1.71	0.17
ผลสีเหลือง	89.60±0.45[a]	5.05±0.05[b]	2.10±0.00[a]	4.15±0.07[b]	1.72	0.23

หมายเหตุ (1) ผลสีเขียวหรือระยะที่ผลมีสีเขียว ผลสีเหลืองหรือระยะที่ผลมีสีเหลือง [n=6]; (2) ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน [n=6]; (3) ตัวอักษรที่กำกับในสดมภ์เดียวกันแตกต่างกัน หมายถึงค่าเฉลี่ยมี ความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ [$p<0.05$]



ภาพที่ 2 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด กิจกรรมการต้านอนุมูล DPPH ปริมาณกรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริกและปริมาณกรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริกแลกโตนของส้มแขกระยะที่ผลมีสีเขียวและสีเหลือง [(1) ส้มแขกระยะที่ผลมีสีเขียว และระยะที่ผลมีสีเหลือง [n=6]; (2) ตัวอักษรที่กำกับแตกต่างกันหมายถึงค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ [$p<0.05$]; (3) ns หมายถึงค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ]

ตารางที่ 5 ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (mesophile) ยีสต์และราของส้มแขกระยะที่ผลมีสีเขียวและสีเหลือง

ระยะความแก่อ่อน	ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (โคโลนี/กรัม)	ปริมาณยีสต์และรา (โคโลนี/กรัม)
ผลสีเขียว	< 10	< 10
ผลสีเหลือง	6.7×10	4.7×10^{2}

หมายเหตุ (1) ผลสีเขียวหรือระยะที่ผลมีสีเขียว ผลสีเหลืองหรือระยะที่ผลมีสีเหลือง; (2) < 10 หมายถึง ไม่พบโคโลนีของจุลินทรีย์บนจานเพาะเชื้อ (petri dishes)

2.4 ผลของการปรับสภาพสีและเนื้อสัมผัส หรือการพรีทรีทเมนต์ของส้มแขกก่อนการอบแห้ง

2.4.1 ค่าสีของชิ้นส้มแขกอบแห้ง

การทดลองดังกล่าวพบว่าเวลาในการแช่สารละลายพรีทรีทเมนต์ในขั้นตอนนี้ สามารถใช้เวลาที่ 5 นาที เนื่องจากตัวอย่างชิ้นส้มแขกอบแห้งจากการศึกษาดังกล่าวให้ค่าสีที่พิจารณาจากค่า L* พบว่า ชิ้นส้มแขกจากระยะที่ผลมีสีเขียวที่แช่ในสารละลายพรีทรีทเมนต์เป็นเวลา 10 นาที ให้ค่า L* ของชิ้นส้มแขกอบแห้งสูงกว่า ค่า L* ของชิ้นส้มแขกจากระยะที่ผลมีสีเขียวและผ่านการแช่ในสารละลายพรีทรีทเมนต์เป็นเวลา 5 นาที ในขณะที่ชิ้นส้มแขกจากระยะที่ผลมีสีเหลืองที่แช่ในสารละลายพรีทรีทเมนต์เป็นเวลา 5 นาที ให้ ค่า L* ของชิ้นส้มแขกอบแห้งที่สูงกว่าค่า L* ของชิ้นส้มแขกระยะที่ผลมีสีเหลืองและผ่านการแช่ในสารละลายพรีทรีทเมนต์เป็นเวลา 10 นาที (ผลการทดลองแสดงในภาคผนวก) ขั้นตอนนี้จึงคัดเลือกระยะเวลาในการแช่สารละลายพรีทรีทเมนต์เป็นเวลา 5 นาที เพื่อศึกษาผลของการปรับสภาพสีและเนื้อสัมผัส หรือการพรีทรีทเมนต์ของส้มแขกทั้งสองระยะความแก่อ่อน ที่มีต่อการอบแห้งด้วยตู้อบแห้งแบบสุญญากาศต่อไป

ผลการทดลองพบว่า ชิ้นส้มแขกอบแห้งจากทั้งสองระยะความแก่อ่อนมีค่าความสว่าง (L*) อยู่ในช่วง 63.72-69.05 ซึ่งสูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับผลการทดลองของสุธีรา เสาวภาคย์ และคณะ (2557) ที่รายงานว่า ชิ้นส้มแขกจากผลที่มีสีเขียว-เหลืองที่ผ่านการอบแห้งแบบลมร้อนอุณหภูมิ 45, 65 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20, 8 ชั่วโมง มีค่าความสว่าง เท่ากับ 57.94, 55.30 ตามลำดับ ทั้งนี้เป็นเพราะวิธีการอบแห้งที่แตกต่างกัน จึงมีผลต่อค่าความสว่างของชิ้นส้มแขกอบแห้งที่ได้ เมื่อพิจารณาความแก่อ่อนของส้มแขกในระยะเดียวกัน พบว่า ชิ้นส้มแขกอบแห้งที่ผ่านการพรีทรีทเมนต์ในสารละลาย 0.5% $CaCl_2$ มีแนวโน้มของค่า L* สูงกว่าชุดการทดลองอื่น ในขณะที่ชิ้นส้มแขกอบแห้งจากระยะที่ผลมีสีเหลืองชุดควบคุมและชุดที่ผ่านการพรีทรีทเมนต์ในสารละลาย 0.5% NaCl + 0.5% $CaCl_2$ มีค่า L* ต่ำกว่าชุดการทดลองอื่น ($p<0.05$) เมื่อพิจารณาค่า a* พบว่า ชิ้นส้มแขกอบแห้งจากระยะที่ผลมีสีเขียวทุกชุดการทดลองมีค่า a* ต่ำกว่าชิ้นส้มแขกอบแห้งจากระยะที่ผลมีสีเหลือง ส่วนค่า b* พบว่า ชิ้นส้มแขกอบแห้งจากระยะที่ผลมีสีเหลืองทุกชุดการทดลองมีค่า b* สูงกว่าชิ้นส้มแขกอบแห้งจากระยะที่ผลมีสีเขียว ยกเว้นชิ้นส้มแขกอบแห้งที่ผ่านการพรีทรีทเมนต์ในสารละลาย 0.5% NaCl + 0.5% $CaCl_2$ นอกจากนี้ยังพบว่าชิ้นส้มแขกอบแห้งที่มีความแก่อ่อนระยะเดียวกัน เมื่อผ่านการพรีทรีทเมนต์มีผลทำให้ค่า a* และ b* มีแนวโน้มต่ำกว่าชุดควบคุม ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 6 ความแก่อ่อนของส้มแขกสามารถแบ่งเป็นระยะตามการเปลี่ยนค่าสีของผลส้มแขก เนื่องจากรงควัตถุที่เป็น

องค์ประกอบในพืช ได้แก่ คลอโรฟิลล์ซึ่งเป็นรงควัตถุที่ให้สีเขียว และแคโรทีนอยด์ซึ่งเป็นรงควัตถุที่ให้สีเหลือง ส้ม แดง หรือชมพู ซึ่งในระหว่างการสุกของผลไม้จะเกิดการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ในขณะที่แคโรทีนอยด์ถูกสร้างขึ้นมาหรือมีปริมาณคงที่ (จริงแท้ ศิริพานิช, 2550) จึงทำให้สีของผลส้มแขกระยะที่ผลมีสีเขียวและระยะที่ผลมีสีเหลืองมีความแตกต่างกัน งานวิจัยนี้ยังพบว่าการพรีทรีทเมนต์มีผลต่อค่าสีของชิ้นส้มแขกอบแห้ง เมื่อพิจารณาที่ระยะความแก่อ่อนเดียวกัน การพรีทรีทเมนต์ชิ้นส้มแขกในสารละลาย 0.5% $CaCl_2$ เป็นผลให้ค่าความสว่างของชิ้นส้มแขกอบแห้งมีค่ามากที่สุด (ให้สีน้ำตาลอ่อนที่สุด) ทั้งนี้สารละลาย $CaCl_2$ สามารถลดกิจกรรมของเอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดส (Gomes *et al.*, 2014) จึงอาจเป็นสาเหตุหนึ่งในการลดการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลของชิ้นส้มแขกในช่วงก่อนหรือระหว่างการทำแห้งได้

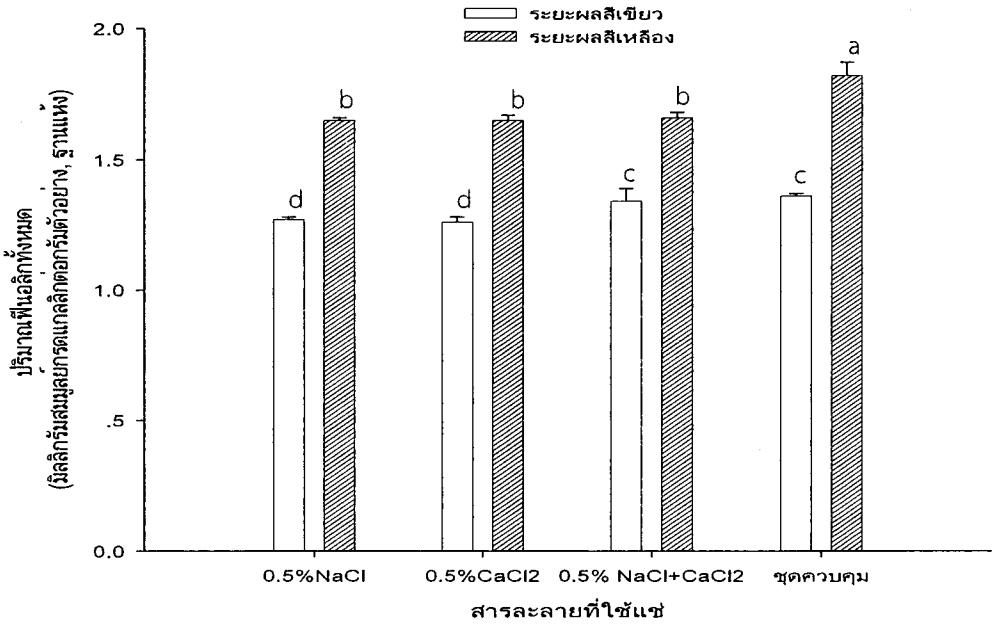
ตารางที่ 6 ผลของระยะความแก่อ่อนและสารละลายที่ใช้พรีทรีทเมนต์ต่อค่าสี (L*, a* และ b*) ของส้มแขกที่อบแห้งแบบสุญญากาศ

ระยะความแก่อ่อน	สารละลายที่ใช้พรีทรีทเมนต์	ระยะเวลาแช่ (นาที)	ค่าสี		
			L*	a*	b*
ผลสีเขียว	0.5%NaCl	5	67.33 ± 1.89^{ab}	-2.80 ± 0.65^{cd}	12.58 ± 0.95^{b}
ผลสีเขียว	0.5%$CaCl_2$	5	69.05 ± 1.17^{a}	-3.50 ± 0.37^{e}	12.62 ± 2.57^{b}
ผลสีเขียว	0.5%NaCl+0.5%$CaCl_2$	5	67.17 ± 2.06^{ab}	-3.17 ± 0.23^{de}	12.00 ± 1.63^{b}
ผลสีเขียว	ชุดควบคุม	5	68.28 ± 1.35^{ab}	-2.60 ± 0.28^{c}	16.28 ± 1.16^{a}
ผลสีเหลือง	0.5%NaCl	5	66.95 ± 1.52^{b}	-1.25 ± 0.38^{b}	17.92 ± 1.84^{a}
ผลสีเหลือง	0.5%$CaCl_2$	5	67.43 ± 1.23^{ab}	-1.08 ± 0.50^{b}	16.03 ± 1.22^{a}
ผลสีเหลือง	0.5%NaCl+0.5%$CaCl_2$	5	63.72 ± 1.51^{c}	-1.17 ± 0.37^{b}	13.25 ± 2.57^{b}
ผลสีเหลือง	ชุดควบคุม	5	64.93 ± 1.27^{c}	-0.32 ± 0.21^{a}	17.05 ± 1.03^{a}

หมายเหตุ (1) ผลสีเขียวหรือระยะที่ผลมีสีเขียว ผลสีเหลืองหรือระยะที่ผลมีสีเหลือง; (2) สารละลาย 0.5% NaCl หมายถึง 0.5% สารละลายโซเดียมคลอไรด์; (3) สารละลาย 0.5% $CaCl_2$ หมายถึง 0.5% สารละลายแคลเซียมคลอไรด์; (4) สารละลาย 0.5% NaCl+ 0.5% $CaCl_2$ หมายถึงสารละลาย 0.5% โซเดียมคลอไรด์ร่วมกับ 0.5% แคลเซียมคลอไรด์โดยน้ำหนัก; (5) ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน [n=6]; ตัวอักษรที่กำกับในสดมภ์เดียวกันแตกต่างกันหมายถึงค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ [$p<0.05$]; (6) อบแห้งด้วยตู้อบสุญญากาศอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ค่าสุญญากาศ 70 มิลลิเมตรปรอท

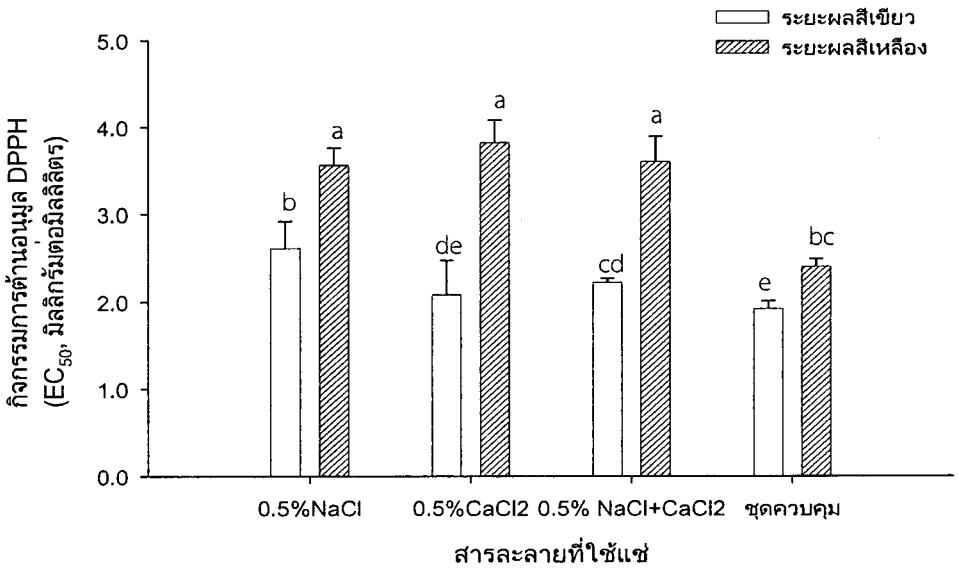
2.4.2 คุณภาพทางเคมีของชิ้นส้มแขกอบแห้ง

เมื่อพิจารณาสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดพบว่า ชิ้นส้มแขกอบแห้งจากระยะที่ผลมีสีเหลืองมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดสูงกว่าชิ้นส้มแขกอบแห้งจากระยะที่ผลมีสีเขียว (p<0.05) ทั้งนี้ชิ้นส้มแขกอบแห้งจากระยะความแก่อ่อนเดียวกันที่ผ่านการพรีทรีทเมนต์ทุกชุดการทดลองมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม ดังแสดงในภาพที่ 3



ภาพที่ 3 ผลของระยะความแก่อ่อนและสารละลายที่ใช้พรีทรีทเมนต์ต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของชิ้นส้มแขกอบแห้ง [(1) NaCl= โซเดียมคลอไรด์; $CaCl_2$=แคลเซียมคลอไรด์; (2) ตัวอักษรที่กำกับแตกต่างกันคือค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)]

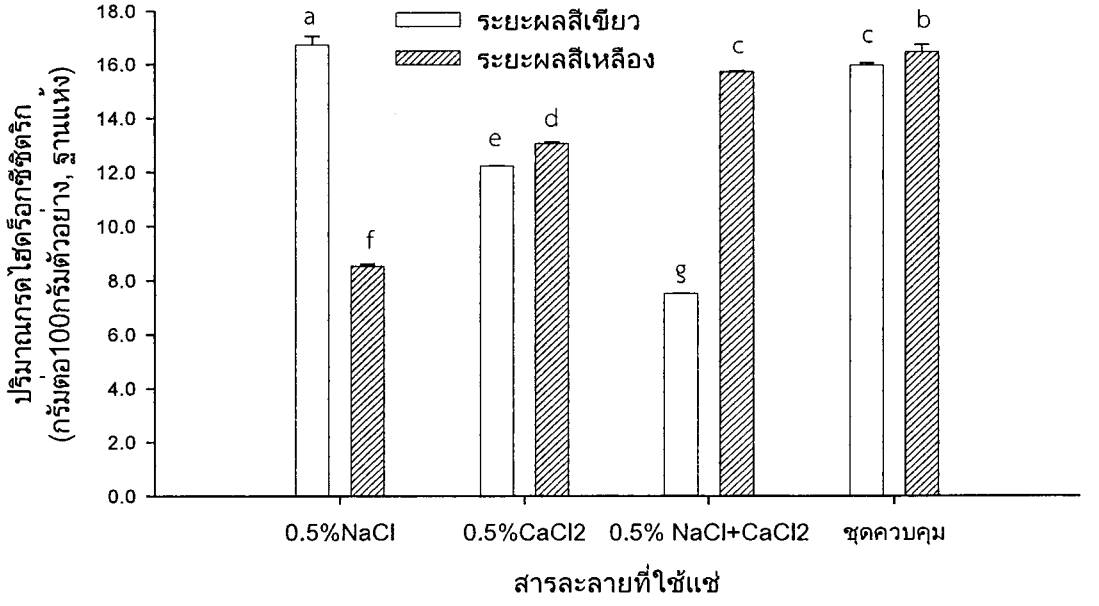
เมื่อพิจารณากิจกรรมการต้านอนุมูล DPPH พบว่า ชิ้นส้มแขกอบแห้งจากระยะที่ผลมีสีเขียวมีความสามารถในการต้านอนุมูล DPPH ที่สูงกว่าชิ้นส้มแขกอบแห้งจากระยะที่ผลมีสีเหลือง นอกจากนี้ยังพบว่า ชิ้นส้มแขกที่ระยะความแก่อ่อนเดียวกันที่ผ่านการพรีทรีทเมนต์ทุกชุดการทดลองมีความสามารถในการต้านอนุมูล DPPH ลดลง ยกเว้นชิ้นส้มแขกอบแห้งจากระยะที่ผลมีสีเขียวและผ่านการพรีทรีทเมนต์ด้วยสารละลาย 0.5% $CaCl_2$ ที่มีความสามารถในการต้านอนุมูล DPPH ไม่แตกต่างจากชิ้นส้มแขกอบแห้งจากระยะที่ผลมีสีเขียวชุดควบคุม ดังแสดงในภาพที่ 4 ทั้งนี้ผลส้มแขกประกอบด้วยสารที่มีคุณสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ ได้แก่ สารประกอบฟีนอลิก และสารในกลุ่มฟลาโวนอยด์ ซึ่งสารเหล่านี้มีคุณสมบัติที่ไม่เสถียรความร้อนจากการอบแห้งอาจมีผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างโมเลกุลของสารเหล่านี้ได้เช่นกัน เป็นผลให้ปริมาณการเพิ่มขึ้นหรือลดลงของสารประกอบฟีนอลิกไม่จำเป็นต้องมีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกับคุณสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ (Abdullah *et al.*, 2013) ซึ่ง Ikram และคณะ (2009) ก็รายงานว่าสารสกัดจากเนื้อผลส้มแขกผงแห้งด้วยตัวทำละลายเมทานอลมีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด ไม่จำเป็นต้องสอดคล้องทิศทางเดียวกับคุณสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ



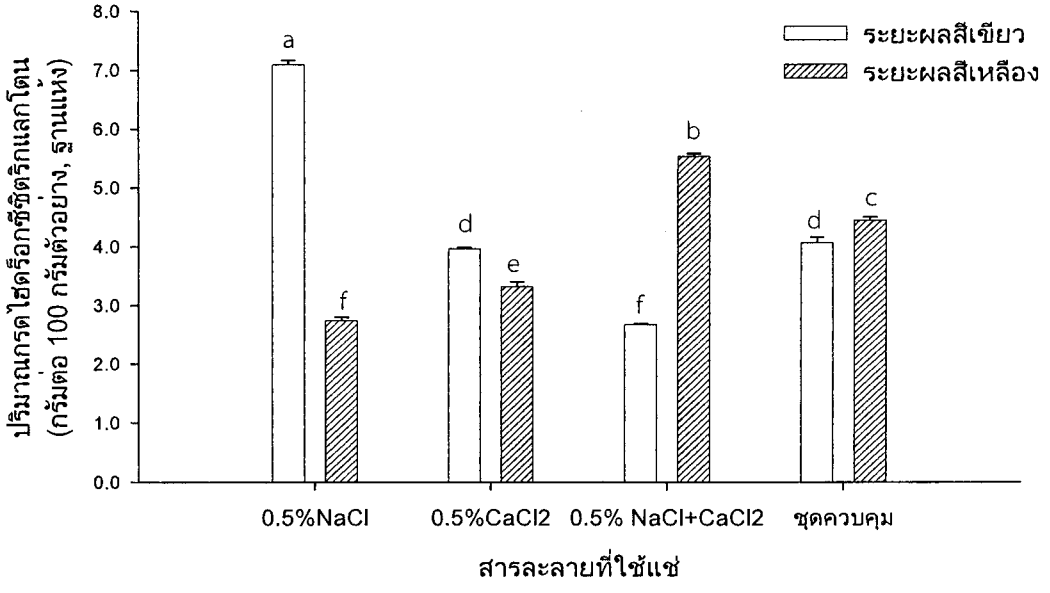
ภาพที่ 4 ผลของระยะความแก่อ่อนและสารละลายที่ใช้พรีทรีทเมนต์ต่อกิจกรรมการต้านอนุมูล DPPH ของชิ้นส้มแขกอบแห้ง [(1) NaCl= โซเดียมคลอไรด์; $CaCl_2$=แคลเซียมคลอไรด์; (2) ตัวอักษรที่กำกับแตกต่างกันคือค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)]

โดยความผันแปรอาจเกิดจากการมีปริมาณสารรีดิวซ์ซิ่งที่สูง ได้แก่ กรดแอสคอร์บิก แร่ธาตุและรงควัตถุแคโรทีนอยด์หรือการมีปริมาณโปรตีนที่สูง ตลอดจนสภาวะแวดล้อมที่มีผลต่อการเจริญของพืช อีกทั้งในผลส้มแขกยังพบว่า มีวิตามินอีหรือแอลฟา-โทโคเฟอรอลเป็นองค์ประกอบเช่นกัน (Ching and Mohamed, 2001)

เมื่อพิจารณาปริมาณกรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริกและกรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริกแลกโตนพบว่าชิ้นส้มแขกอบแห้งจากระยะที่ผลมีสีเหลืองมีปริมาณกรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริกสูงกว่าชิ้นส้มแขกอบแห้งจากระยะที่ผลมีสีเขียว ชิ้นส้มแขกอบแห้งที่ระยะความแก่อ่อนเดียวกันที่ผ่านการพรีทรีทเมนต์ทุกชุดการทดลองมีปริมาณกรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริกลดลง ยกเว้นชิ้นส้มแขกอบแห้งจากระยะที่ผลมีสีเขียวที่ผ่านการพรีทรีทเมนต์ในสารละลาย 0.5% NaCl มีปริมาณกรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริกสูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับชุดการทดลองอื่น ($p<0.05$) ดังแสดงในภาพที่ 5 ส่วนปริมาณกรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริกแลกโตน มีความผันแปรขึ้นอยู่กับระยะความแก่อ่อนและการพรีทรีทเมนต์ ชิ้นส้มแขกอบแห้งจากระยะที่ผลมีสีเขียวที่ผ่านการพรีทรีทเมนต์ด้วยสารละลาย 0.5% NaCl มีปริมาณสารกรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริกแลกโตนสูงที่สุด ในขณะที่ปริมาณกรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริกแลกโตนของชิ้นส้มแขกอบแห้งที่ผ่านการพรีทรีทเมนต์ในสารละลาย 0.5% $CaCl_2$ มีแนวโน้มต่ำกว่าชุดการทดลองอื่น ดังแสดงในภาพที่ 6 ทั้งนี้ กรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริกเป็นสารที่ไวต่อการเกิดปฏิกิริยาแลคโตไนเซชั่นและเปลี่ยนเป็นกรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริกแลกโตน ได้ระหว่างทำแห้ง การปรับให้กรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริกอยู่ในรูปของเกลือโซเดียมหรือแคลเซียมจะช่วยทำให้สารกรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริกมีความคงตัว ลดการเกิดปฏิกิริยาแลคโตไนเซชั่นได้ (Jena *et al.*, 2002)



ภาพที่ 5 ผลของระยะความแก่อ่อนและสารละลายที่ใช้พรีทรีทเมนต์ต่อปริมาณกรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริกของชิ้นส้มแขกอบแห้ง [(1) NaCl= โซเดียมคลอไรด์; $CaCl_2$=แคลเซียมคลอไรด์; (2) ตัวอักษรที่กำกับแตกต่างกันคือค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)]



ภาพที่ 6 ผลของระยะความแก่อ่อนและสารละลายที่ใช้พรีทรีทเมนต์ต่อปริมาณกรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริกแลกโตนของชิ้นส้มแขกอบแห้ง [(1) NaCl= โซเดียมคลอไรด์; $CaCl_2$=แคลเซียมคลอไรด์; (2) ตัวอักษรที่กำกับแตกต่างกันคือค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)]

ส่วน Rao และคณะ (2010) รายงานว่าเมื่อทดลองกับหนูทดลองเพศผู้สายพันธุ์ Wistar albino strain แล้วพบว่ากรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริกแลกโตนมีคุณสมบัติในการลดความอยากอาหารในหนูทดลองได้ดีกว่ากรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริก โดยกรดเมื่ออยู่ในระบบเมทาบอลิซึมของหนูทดลอง อาจเปลี่ยนเป็นกรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริกและมีกลไกการลดความอยากอาหารเช่นเดียวกับกรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริก งานวิจัยนี้เมื่อพิจารณาปริมาณกรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริกและกรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริกแลกโตนของชิ้นส้มแขกอบแห้งจากทั้งสองระยะความแก่อ่อนเปรียบเทียบกับชุดควบคุม จึงเห็นว่า การพรีทรีทเมนต์ด้วยสารละลาย 0.5% $CaCl_2$ เหมาะสมที่สุดต่อการปรับสภาพของชิ้นส้มแขกก่อนการอบแห้ง

3. การอบแห้งส้มแขกด้วยตู้อบแห้งสุญญากาศ

3.1 การหาสภาวะที่เหมาะสมในการอบแห้ง

ชิ้นส้มแขกทั้งสองระยะความแก่อ่อนที่ผ่านการแช่สารละลาย 0.5% $CaCl_2$ เป็นเวลา 5 นาทีและสะเด็ดน้ำ จึงนำศึกษาการอบแห้งส้มแขกด้วยตู้อบแห้งสุญญากาศ (vacuum oven) ที่อุณหภูมิแตกต่างกัน 3 ระดับคือ 40, 50 และ 60 องศาเซลเซียส ซึ่งพบว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสเป็นสภาวะที่เหมาะสมในการอบแห้งส้มแขกทั้งสองระยะความแก่อ่อนซึ่งสภาวะการอบแห้งด้วยตู้อบแห้งสุญญากาศ (pilot scale vacuum dryer) ของส้มแขกระยะที่ผลมีสีเขียวและสีเหลือง โดยใช้อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ค่าสุญญากาศ 70 มิลลิเมตรปรอท ดังตารางที่ 7 และ 8 ตามลำดับ โดยชิ้นส้มแขกอบแห้งจากระยะที่ผลมีสีเขียวและสีเหลืองที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 40 ถึง 60 องศาเซลเซียส มีค่า %ผลได้ในช่วง 8.39-11.26 และ 9.22-13.03 ตามลำดับ ดังตารางที่ 9

ตารางที่ 7 สภาวะการอบแห้งแบบสุญญากาศอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสของชิ้นส้มแขกระยะที่ผลมีสีเขียว

สภาวะการอบแห้งส้มแขกระยะที่ผลมีสีเขียว (pilot scale vacuum dryer)			
เวลา (ชั่วโมง)	ค่าสุญญากาศ (มิลลิเมตรปรอท)	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ความชื้นสัมพัทธ์ (%)
0 (เริ่มต้น)	70	31.8	17.0
0.5	70	40.3	6.0
1.0	70	42.7	6.0
1.5	70	46.0	5.0
2.0	70	48.0	5.0
2.5	70	49.4	5.0
3.0	70	50.8	4.0
3.5	72	51.4	4.0
4.0	72	50.0	4.0
4.5	72	47.1	5.0
5.0 (สิ้นสุด)	72	45.0	5.0

ตารางที่ 8 สภาวะการอบแห้งแบบสุญญากาศอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสของชิ้นส้มแขกระยะที่ผลมีสีเหลือง

สภาวะการอบแห้งส้มแขกระยะที่ผลมีสีเหลือง (pilot scale vacuum dryer)			
เวลา (ชั่วโมง)	ค่าสุญญากาศ (มิลลิเมตรปรอท)	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ความชื้นสัมพัทธ์ (%)
0 (เริ่มต้น)	71	29.7	11.0
0.5	71	37.7	5.0
1.0	71	44.0	5.0
1.5	70	46.3	5.0
2.0	70	48.0	5.0
2.5	70	48.9	5.0
3.0	70	49.2	5.0
3.5	72	49.5	4.0
4.0	72	48.5	4.0
4.5	70	45.4	4.0
5.0 (สิ้นสุด)	70	44.1	4.0

ตารางที่ 9 ค่า% ผลได้ (%yield) จากการอบแห้งชิ้นส้มแขกด้วยตู้อบแห้งแบบสุญญากาศที่อุณหภูมิ 40, 50 และ 60 องศาเซลเซียส ของชิ้นส้มแขกที่มีระยะความแก่อ่อนต่างกัน

ระยะความแก่อ่อน	% ผลได้จากการอบแห้ง
ระยะที่ผลมีสีเขียว	8.39-11.26
ระยะที่ผลสีมีเหลือง	9.22-13.03

3.1.1 คุณภาพทางกายภาพ

ผลการทดลองพบว่า ค่า L* a* และ b* ของชิ้นส้มแขกอบแห้งมีความผันแปรตามระยะความแก่อ่อน การแช่สารละลาย 0.5% $CaCl_2$ และอุณหภูมิอบแห้ง โดยค่า L* และ b* ของชิ้นส้มแขกอบแห้งจากระยะความแก่อ่อนเดียวกันที่ผ่านการแช่สารละลาย 0.5% $CaCl_2$ มีแนวโน้มสูงกว่าชิ้นส้มแขกอบแห้งที่ไม่แช่สารละลาย 0.5% $CaCl_2$ (ชุดควบคุม) นอกจากนี้ค่า L* และ b* ของชิ้นส้มแขกอบแห้งที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสมีแนวโน้มสูงกว่าชิ้นส้มแขกอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส แสดงให้ว่าชิ้นส้มแขกอบแห้งมีสีคล้ำที่น้อยกว่า อย่างไรก็ตามชิ้นส้มแขกจากระยะที่ผลมีสีเขียวและเหลือง ผ่านการแช่สารละลาย 0.5% $CaCl_2$ และอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส มีค่า L* สูงที่สุดเท่ากับ 72.15±2.16 และ 72.23±1.46 ตามลำดับ ทั้งนี้การเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ด การเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลเนื่องจากเอนไซม์ การสลายตัวของรงควัตถุ และการเกิดออกซิเดชันของกรดแอสคอร์บิก สามารถมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าสีของส้มแขกได้ในระหว่างการทำแห้ง

(Chong *et al.*, 2013; Guiné and Barroca, 2012; Maskan, 2001) เมื่อพิจารณาค่าแรงตัดของชิ้นส้มแขกอบแห้ง พบว่า ค่าแรงตัดของชิ้นส้มแขกอบแห้งจากระยะที่ผลมีสีเหลืองมีแนวโน้มสูงกว่าชิ้นส้มแขกอบแห้งจากระยะที่ผลมีสีเขียว อย่างไรก็ตามชิ้นส้มแขกจากระยะที่ผลมีสีเขียวอบแห้งที่อุณหภูมิแตกต่างกันมีค่าแรงตัดใกล้เคียงกัน ในขณะที่ชิ้นส้มแขกจากระยะที่ผลมีสีเหลืองอบแห้งที่อุณหภูมิแตกต่างกันมีค่าแรงตัดที่แตกต่างกัน โดยค่าแรงตัดของชิ้นส้มแขกอบแห้งที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสมีแนวโน้มสูงกว่าชิ้นส้มแขกอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นอกจากนี้ชิ้นส้มแขกจากระยะที่ผลมีสีเหลืองแช่และไม่แช่สารละลาย 0.5% $CaCl_2$ อบแห้งที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส มีค่าแรงตัดสูงกว่าชุดการทดลองอื่น โดยมีค่าเท่ากับ 51.93±5.45 และ 42.07±5.63 นิวตัน ตามลำดับ ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 10

3.1.2 คุณภาพทางเคมี

ปริมาณความชื้นของชิ้นส้มแขกอบแห้งทุกชุดการทดลองอยู่ในช่วง 7.19 – 13.50% ระยะความแก่อ่อน การแช่ละลาย 0.5% $CaCl_2$ และสภาวะในการอบแห้งด้วยตู้อบสุญญากาศมีผลต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด กิจกรรมการต้านอนุมูล DPPH และปริมาณสารสำคัญของชิ้นส้มแขกอบแห้ง เมื่อพิจารณาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด พบว่า ชิ้นส้มแขกอบแห้งจากระยะที่ผลมีสีเหลืองมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดสูงกว่าชิ้นส้มแขกอบแห้งจากระยะที่ผลมีสีเขียว ชิ้นส้มแขกอบแห้งจากระยะความแก่อ่อนและอบแห้งในสภาวะเดียวกันที่ผ่านการแช่สารละลาย 0.5% $CaCl_2$ มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม ยกเว้นชิ้นส้มแขกอบแห้งจากระยะที่ผลมีสีเหลืองและอบแห้งที่อุณหภูมิ 40 และ 50 องศาเซลเซียส นอกจากนี้ยังพบว่า ชิ้นส้มแขกชุดการทดลองที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดสูงกว่าชุดการทดลองอื่น ดังแสดงในภาพที่ 7 สารประกอบฟีนอลิกเป็นสารที่ไวต่อความร้อนซึ่งการอบแห้งเป็นระยะเวลานานทำให้เกิดการออกซิเดชันและเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางเคมีไปเป็นสารประกอบชนิดอื่นได้ (Goula *et al.*, 2016; Nunes *et al.*, 2016) นอกจากนี้เอนไซม์ยังมีผลต่อการสลายตัวของสารประกอบฟีนอลิกเช่นกัน โดยเฉพาะเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสและเปอร์ออกซิเดส (Nunes *et al.*, 2016)

กิจกรรมการต้านอนุมูล DPPH รายงานค่าในรูป EC_{50} ผลการทดลองพบว่า เมื่อเปรียบเทียบภายใต้สภาวะการอบแห้งเดียวกัน ชิ้นส้มแขกอบแห้งจากระยะที่ผลมีสีเหลืองมีกิจกรรมการต้านอนุมูล DPPH สูงกว่าชิ้นส้มแขกอบแห้งจากระยะที่ผลมีสีเขียว และชิ้นส้มแขกอบแห้งที่ผ่านการแช่สารละลาย 0.5% $CaCl_2$ มีกิจกรรมการต้านอนุมูล DPPH ต่ำกว่าชิ้นส้มแขกอบแห้งที่ไม่ผ่านการแช่สารละลาย 0.5% $CaCl_2$ นอกจากนี้ยังพบว่า สภาวะในการอบแห้งมีผลต่อกิจกรรมการต้านอนุมูล DPPH เช่นกัน โดยชิ้นส้มแขกชุดการทดลองที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส มีกิจกรรมการต้านอนุมูล DPPH สูงกว่าชุดการทดลองอื่น ($p<0.05$) สอดคล้องกับปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ดังแสดงในภาพที่ 8 ทั้งนี้สารประกอบฟีนอลิกมีบทบาทสำคัญในเป็นสารต้านอนุมูลอิสระโดยการให้ไฮโดรเจนอะตอมหรืออิเล็คตรอนแก่อนุมูลอิสระทำให้อนุมูลอิสระมีความเสถียรมากขึ้น (Surveswaran *et al.*, 2007)

ตารางที่ 10 ผลของระยะความแก่อ่อน การแช่สารละลาย 0.5%$CaCl_2$ และอุณหภูมิอบแห้งด้วยตู้อบสุญญากาศต่อค่าแรงตัดและค่าสี (L*, a* และ b*) ของชิ้นส้มแขกอบแห้ง

ระยะความแก่อ่อน	การแช่สารละลาย 5 นาที	อุณหภูมิอบแห้ง (องศาเซลเซียส)	ค่าแรงตัด (นิวตัน)	ค่าสี		
				L*	a*	b*
ระยะผลสีเขียว	แช่ 0.5% $CaCl_2$	40	31.28±4.92^{de}	71.15±1.23^{ab}	-2.73±0.27^{g}	17.75±2.19^{cd}
ระยะผลสีเขียว	ชุดควบคุม	40	39.83±7.42^{bc}	70.15±1.76^{ab}	-2.67±0.19^{g}	17.33±1.48^{cd}
ระยะผลสีเหลือง	แช่ 0.5% $CaCl_2$	40	51.93±5.45^{a}	70.53±1.39^{ab}	0.37±0.10^{c}	25.15±2.03^{a}
ระยะผลสีเหลือง	ชุดควบคุม	40	42.07±5.63^{b}	70.38±2.15^{ab}	1.38±0.31^{b}	20.92±1.00^{b}
ระยะผลสีเขียว	แช่ 0.5% $CaCl_2$	50	28.66±4.78^{e}	72.15±2.16^{a}	-1.73±0.20^{f}	14.97±1.93^{e}
ระยะผลสีเขียว	ชุดควบคุม	50	30.92±2.51^{de}	67.28±3.26^{cd}	-0.33±0.16^{d}	11.30±0.57^{f}
ระยะผลสีเหลือง	แช่ 0.5% $CaCl_2$	50	41.22±2.75^{b}	72.23±1.46^{a}	2.88±0.35^{a}	26.18±1.92^{a}
ระยะผลสีเหลือง	ชุดควบคุม	50	37.33±4.33^{bcd}	68.87±2.08^{bc}	1.28±0.35^{b}	19.40±1.44^{bc}
ระยะผลสีเขียว	แช่ 0.5% $CaCl_2$	60	32.34±5.36^{de}	71.72±3.06^{ab}	-1.30±0.28^{e}	15.97±1.88^{de}
ระยะผลสีเขียว	ชุดควบคุม	60	37.60±4.13^{bcd}	64.97±2.57^{d}	-1.55±0.23^{ef}	14.43±1.39^{e}
ระยะผลสีเหลือง	แช่ 0.5% $CaCl_2$	60	33.66±5.10^{cde}	64.93±2.59^{d}	1.40±0.44^{b}	19.32±2.01^{bc}
ระยะผลสีเหลือง	ชุดควบคุม	60	34.35±6.49^{cde}	64.63±2.04^{d}	1.17±0.49^{b}	19.10±1.84^{bc}

หมายเหตุ (1) ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน; (2) ตัวอักษรที่กำกับในสดมภ์เดียวกันแตกต่างกันหมายถึงค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ [$p<0.05$]

ตารางที่ 11 ปริมาณความชื้นของชิ้นส้มแขกอบแห้งจากส้มแขกที่มีระยะความแก่อ่อนต่างกัน การแช่สารละลาย 0.5% $CaCl_2$ และการอบแห้งที่อุณหภูมิแตกต่างกัน

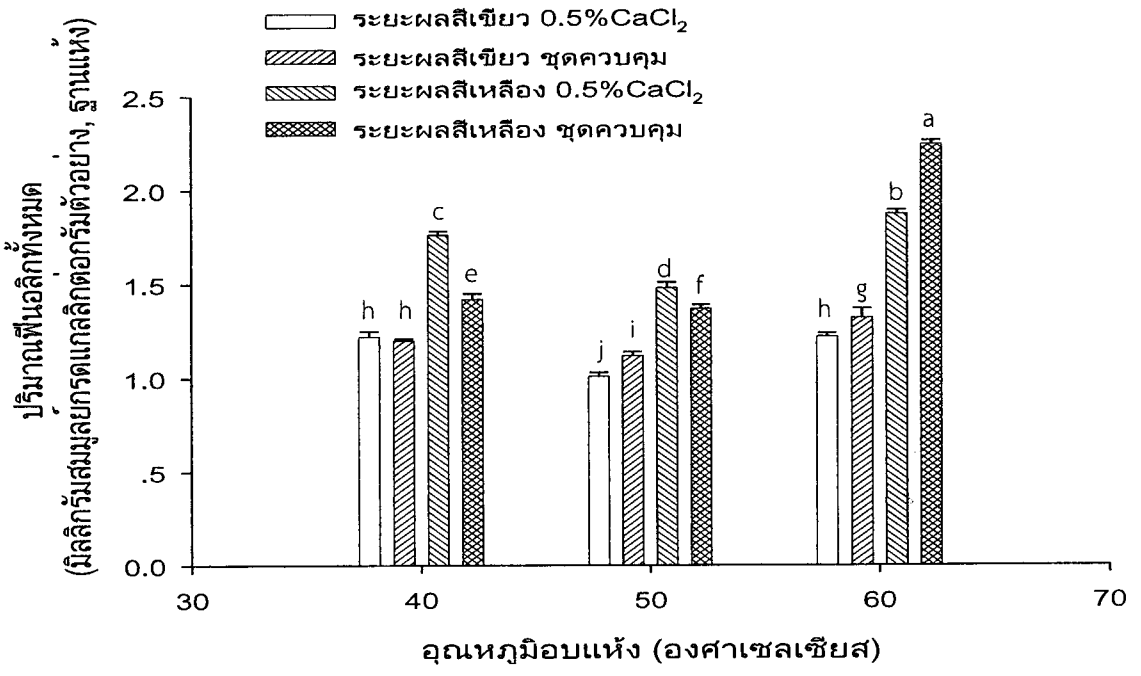
ระยะความแก่อ่อน	การแช่สารละลาย	อุณหภูมิอบแห้ง (องศาเซลเซียส)	ปริมาณความชื้น (%)
ระยะผลสีเขียว	แช่ 0.5% $CaCl_2$	40	11.48±0.16
ระยะผลสีเขียว	ชุดควบคุม	40	9.04±1.12
ระยะผลสีเหลือง	แช่ 0.5% $CaCl_2$	40	12.27±0.84
ระยะผลสีเหลือง	ชุดควบคุม	40	9.83±0.94
ระยะผลสีเขียว	แช่ 0.5% $CaCl_2$	50	12.39±0.30
ระยะผลสีเขียว	ชุดควบคุม	50	10.12±0.40
ระยะผลสีเหลือง	แช่ 0.5% $CaCl_2$	50	7.98±0.51
ระยะผลสีเหลือง	ชุดควบคุม	50	8.25±0.21
ระยะผลสีเขียว	แช่ 0.5% $CaCl_2$	60	10.87±0.49
ระยะผลสีเขียว	ชุดควบคุม	60	7.19±0.55
ระยะผลสีเหลือง	แช่ 0.5% $CaCl_2$	60	13.50±1.05
ระยะผลสีเหลือง	ชุดควบคุม	60	9.92±0.14

หมายเหตุ (1) ปริมาณความชื้น ค่าเฉลี่ยมาจากการวิเคราะห์ 2 ครั้ง

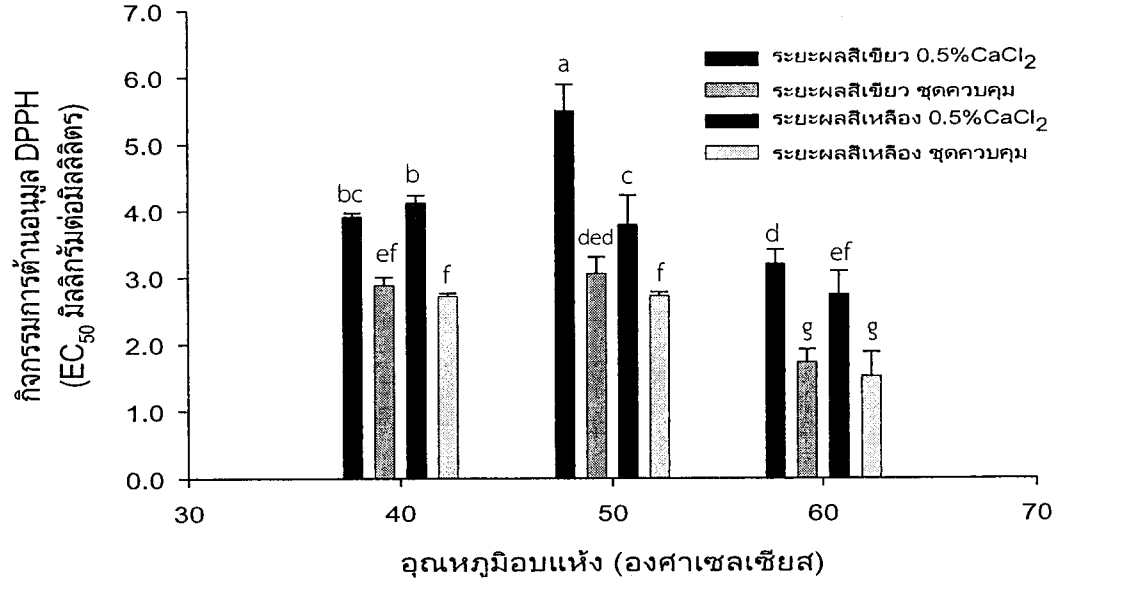
(2) ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

(3) ตู้อบแห้งสุญญากาศชนิด Laboratory scale vacuum oven

(4) สภาวะอบแห้งแบบสุญญากาศที่อุณหภูมิ 40, 50 และ 60 องศาเซลเซียส ค่าสุญญากาศแต่ละอุณหภูมิ เท่ากับ 20 มิลลิเมตรปรอท เวลาในการอบแห้งเท่ากับ 14.8, 10.0 และ 5.4 ชั่วโมง ตามลำดับ กำหนดเป้าหมายปริมาณความชื้นสุดท้ายเท่ากับ 7%

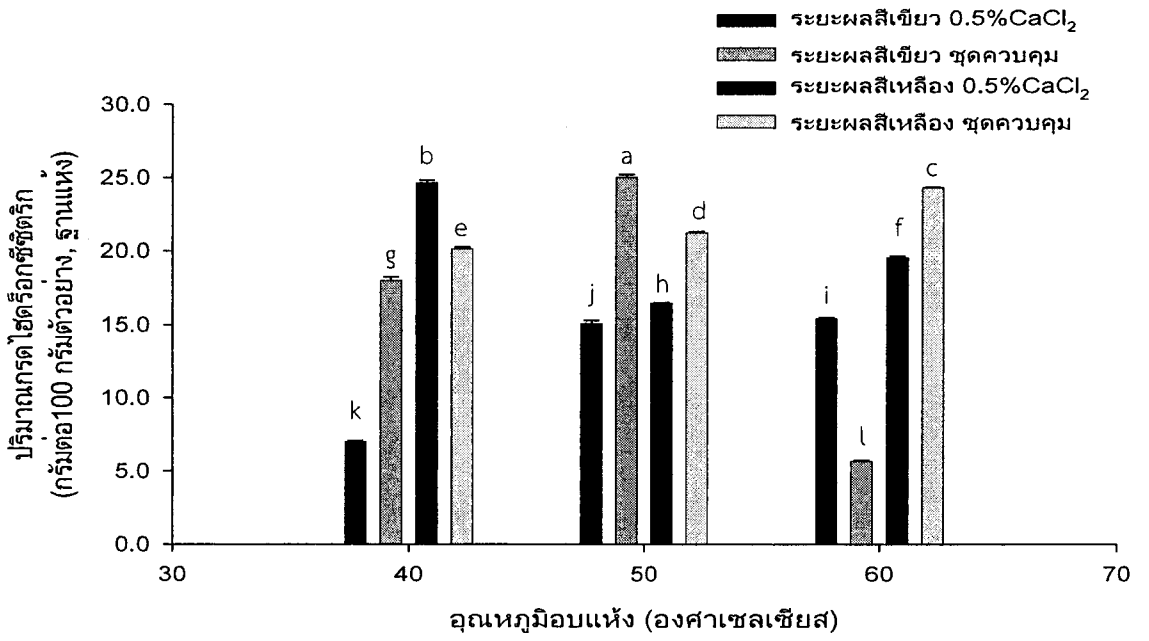


ภาพที่ 7 ผลของความแก่อ่อน การแช่สารละลาย 0.5% $CaCl_2$ และอุณหภูมิอบแห้งแบบสุญญากาศต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของชิ้นส้มแขกอบแห้ง [ตัวอักษรที่กำกับแตกต่างกันคือค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)]

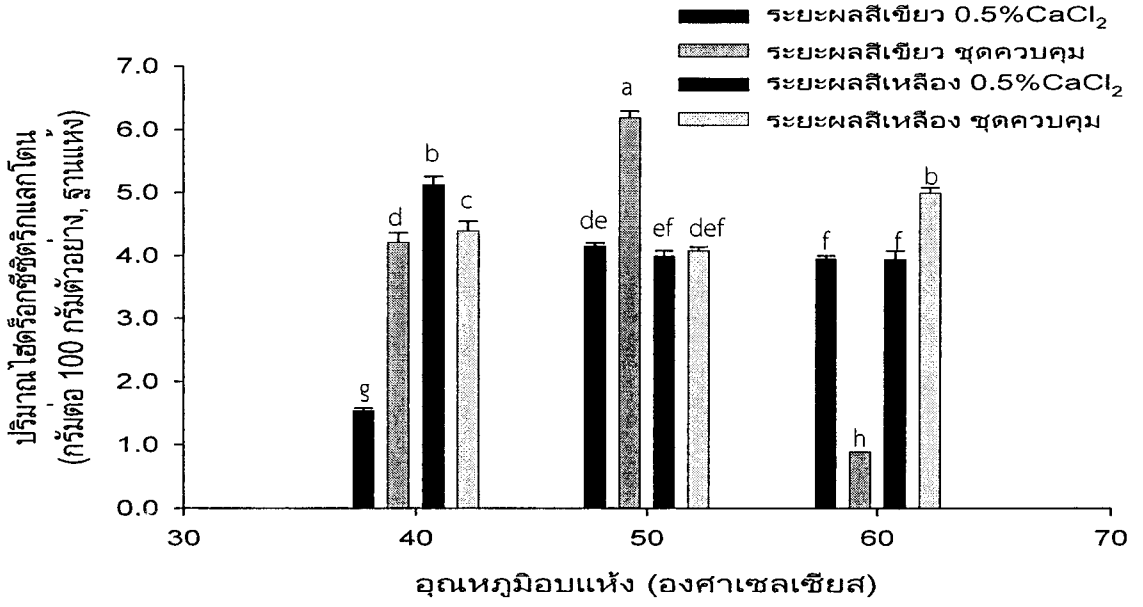


ภาพที่ 8 ผลของความแก่อ่อน การแช่สารละลาย 0.5% $CaCl_2$ และอุณหภูมิอบแห้งแบบสุญญากาศต่อกิจกรรมการต้านอนุมูล DPPH ของชิ้นส้มแขกอบแห้ง [ตัวอักษรที่กำกับแตกต่างกันคือค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)]

เมื่อพิจารณาปริมาณกรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริกพบว่าภายใต้อุณหภูมิการอบแห้งเดียวกัน (ภาพที่ 9) ชิ้นส้มแขกอบแห้งจากระยะผลสีเหลืองมีปริมาณกรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริกสูงกว่าชิ้นส้มแขกอบแห้งจากระยะผลสีเขียว ชิ้นส้มแขกอบแห้งจากระยะผลสีเขียว การแช่สารละลาย 0.5% $CaCl_2$ มีผลให้ปริมาณกรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริกมีแนวโน้มลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม ยกเว้นการอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ส่วนชิ้นส้มแขกอบแห้งจากระยะผลสีเหลืองพบว่าการแช่สารละลาย 0.5% $CaCl_2$ อบแห้งที่อุณหภูมิ 50 และ 60 องศาเซลเซียสมีผลให้ปริมาณกรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริกมีแนวโน้มลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม ยกเว้นที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสให้ชิ้นส้มแขกอบแห้งจากระยะผลสีเหลืองจากชุดควบคุมมีปริมาณกรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริกที่ต่ำกว่าจากชิ้นส้มแขกอบแห้งที่แช่ในสารละลาย 0.5% $CaCl_2$ ส่วนอุณหภูมิในการอบแห้งที่ต่างกันพบว่ามีผลต่อปริมาณกรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริกของชิ้นส้มแขกอบแห้ง ชิ้นส้มแขกอบแห้งจากระยะผลสีเขียวชุดควบคุม อบแห้งที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส มีปริมาณกรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริกสูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับชิ้นส้มแขกอบแห้งจากอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส แต่ชิ้นส้มแขกอบแห้งจากระยะผลสีเหลืองชุดควบคุม อบแห้งที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส มีปริมาณกรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริกที่ต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับชิ้นส้มแขกอบแห้งระยะผลสีเหลืองชุดควบคุมจากอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จากการทดลองในขั้นตอนนี้พบว่าเมื่อพิจารณาค่าผลต่างของปริมาณกรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริกที่ลดลงของชิ้นส้มแขกอบแห้งจากระยะผลสีเหลืองเปรียบเทียบระหว่างชุดควบคุมกับการแช่สารละลาย 0.5% $CaCl_2$ อบแห้งที่อุณหภูมิ 50 และ 60 องศาเซลเซียส พบว่าชิ้นส้มแขกอบแห้งจากระยะผลสีเหลืองที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ให้ค่าผลต่างของปริมาณกรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริกดังกล่าวน้อยกว่าชิ้นส้มแขกอบแห้งจากระยะผลสีเหลืองที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ดังนั้นอุณหภูมิอบแห้งที่ 50 องศาเซลเซียส จึงส่งผลต่อการลดลงของปริมาณกรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริกที่น้อยกว่าที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ส่วนที่อุณหภูมิอบแห้ง 40 องศาเซลเซียสนั้น ถึงแม้ค่าผลต่างของปริมาณกรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริกของชิ้นส้มแขกอบแห้งจากระยะผลสีเหลืองเปรียบเทียบระหว่างชุดควบคุมกับการแช่สารละลาย 0.5% $CaCl_2$ มีค่าเพิ่มขึ้น แต่ชิ้นส้มแขกแห้งจากระยะผลสีเหลืองแช่สารละลาย 0.5% $CaCl_2$ อบแห้งที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส มีปริมาณของกรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริกแลกโตนมากกว่าชุดการทดลองอื่นๆ สำหรับปริมาณกรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริกแลกโตน (ภาพที่ 10) ผลการทดลองพบว่าปริมาณกรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริกแลกโตนจากชิ้นส้มแขกอบแห้งระยะผลสีเหลืองที่แช่สารละลาย 0.5% $CaCl_2$ ทำการอบแห้งที่อุณหภูมิสูงขึ้นจาก 40 องศาเซลเซียสเปรียบเทียบกับที่อุณหภูมิ 50 และ 60 องศาเซลเซียสมีผลให้ปริมาณกรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริกแลกโตนมีปริมาณลดลง ทั้งนี้อาจเป็นเพราะอุณหภูมิอบแห้งที่เพิ่มขึ้น มีผลให้ระยะเวลาในการอบแห้งเพื่อให้ได้ปริมาณความชื้นสุดท้ายของชิ้นส้มแขกอบแห้งเป็น 7% ที่เท่ากันนั้นจะใช้เวลาอบแห้งน้อยลงหรืออาจกล่าวได้ว่าอุณหภูมิที่สูงกว่า เวลาการอบแห้งที่ใช้จะสั้นกว่าเช่นกัน นอกจากนี้ผลการทดลองยังพบว่า ปริมาณกรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริกแลกโตนของชิ้นส้มแขกอบแห้งจากระยะผลสีเหลือง แช่สารละลาย 0.5% $CaCl_2$ และชุดควบคุม อบแห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส และชิ้นส้มแขกอบแห้งจากระยะผลสีเหลือง แช่สารละลาย 0.5% $CaCl_2$ อบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ทั้งสามชุดการทดลองมีค่าปริมาณกรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริกแลกโตนที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จากผลการทดลองในขั้นตอนนี้ จึงเลือกการแช่สารละลาย 0.5% $CaCl_2$ เป็นเวลา 5 นาทีอบแห้งแบบสุญญากาศที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสสำหรับตอนต่อไป



ภาพที่ 9 ผลของความแก่อ่อน การแช่สารละลาย 0.5% $CaCl_2$ และอุณหภูมิอบแห้งแบบสุญญากาศที่มีต่อปริมาณกรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริกของชิ้นส้มแขกอบแห้ง [ตัวอักษรที่กำกับแตกต่างกันคือค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)]



ภาพที่ 10 ผลของความแก่อ่อน การแช่สารละลาย 0.5% $CaCl_2$ และอุณหภูมิอบแห้งแบบสุญญากาศที่มีต่อปริมาณกรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริกแลกโตนของชิ้นส้มแขกอบแห้ง [ตัวอักษรที่กำกับแตกต่างกันคือค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)]

4. การศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของส้มแขกแห้งในบรรจุภัณฑ์

งานวิจัยนี้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของส้มแขกอบแห้งในบรรจุภัณฑ์ โดยใช้ส้มแขกระยะที่ผลมีสีเขียวและสีเหลือง นำมาตัดแต่งตามแนวตั้ง (vertical cut) ของผล ขนาดความหนาชิ้นละ 1.0-1.4 มิลลิเมตร แช่ในสารละลาย 0.5% $CaCl_2$ เป็นระยะเวลา 5 นาที และชุดที่ไม่แช่สารละลาย (ชุดควบคุม) นำอบแห้งด้วยตู้อบแห้งแบบสุญญากาศ (pilot scale vacuum dryer) ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ค่าสุญญากาศ 70 มิลลิเมตรปรอท ซึ่งสภาวะในการอบแห้งดังแสดงในตารางที่ 12 และ13 ทำการอบแห้งจนกระทั่งชิ้นส้มแขกมีปริมาณความชื้นประมาณ 7% นำชิ้นส้มแขกอบแห้งที่ได้มาบรรจุในบรรจุภัณฑ์ภัณฑ์จำนวน 2 ชนิด ได้แก่ ถุงพลาสติกพอลิเอทิลีน (Polyethylene, PE) และถุงไนลอน (Nylon, Nylon/Linear low-density polyethylene, Nylon/LLDPE) โดยบรรจุน้ำหนัก 150 กรัมต่อหน่วยบรรจุภัณฑ์ และทำการศึกษาอุณหภูมิเก็บรักษาจำนวน 2 ระดับ ได้แก่ อุณหภูมิ 28±1 และ 4±1 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 12 สภาวะการอบแห้งส้มแขกด้วยตู้อบแห้งแบบสุญญากาศที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสของชิ้นส้มแขกจากระยะที่ผลมีสีเขียวในขั้นตอนเก็บรักษา

สภาวะการอบแห้งส้มแขก ระยะที่ผลมีสีเขียว			
เวลา (ชั่วโมง)	ค่าสุญญากาศ (มิลลิเมตรปรอท)	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ความชื้นสัมพัทธ์ (%)
0 (เริ่มต้น)	70	40.4	7
0.5	70	41.8	5
1.0	70	46.4	5
1.5	70	47.1	5
2.0	70	48.3	5
2.5	70	49.7	5
3.0	70	50.3	5
3.5	70	50.4	4
4.0	70	50.3	4
4.5	71	50.0	4
5.0 (สิ้นสุด)	71	49.9	4

ตารางที่ 13 สภาวะการอบแห้งส้มแขกด้วยตู้อบแห้งแบบสุญญากาศที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสของชิ้นส้มแขกจากระยะที่ผลมีสีเหลืองในขั้นตอนเก็บรักษา

สภาวะการอบแห้งส้มแขก ระยะที่ผลมีสีเหลือง			
เวลา (ชั่วโมง)	ค่าสุญญากาศ (มิลลิเมตรปรอท)	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ความชื้นสัมพัทธ์ (%)
0 (เริ่มต้น)	70	33.0	14
0.5	70	39.0	6
1.0	70	41.8	6
1.5	70	45.9	5
2.0	70	47.3	5
2.5	70	48.7	5
3.0	70	49.6	5
3.5	70	50.3	4
4.0	70	50.7	4
4.5	70	50.3	4
5.0 (สิ้นสุด)	70	50.0	4

ผลการวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนัก ได้แก่ แคดเมียม ปรอท และตะกั่ว ในชิ้นส้มแขกอบแห้ง ดังแสดงในตารางที่ 14 พบว่า ชิ้นส้มแขกอบแห้งจากระยะที่ผลมีสีเขียวมีปริมาณแคดเมียม และตะกั่ว เท่ากับ 0.014 และ 0.165 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ส่วนชิ้นส้มแขกอบแห้งจากระยะที่ผลมีสีเขียวมีปริมาณแคดเมียม และตะกั่ว เท่ากับ 0.008 และ 0.196 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ทั้งนี้วิเคราะห์ไม่พบสารปรอทในชิ้นส้มแขกอบแห้งทั้งสองระยะความแก่อ่อน อาจเนื่องมาจากมีปริมาณปรอทต่ำกว่าค่าที่วิเคราะห์ได้หรืออาจไม่มีสารปรอทในชิ้นส้มแขกอบแห้ง ซึ่งปริมาณโลหะหนักที่วิเคราะห์ได้เป็นไปตามประกาศสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา เรื่อง หลักเกณฑ์การพิจารณาขึ้นทะเบียนตำรับยาแผนโบราณเกี่ยวกับมาตรฐานการปนเปื้อนเชื้อจุลินทรีย์และโลหะหนัก ที่กำหนดให้มีปริมาณสารหนู ไม่เกิน 4.0 มิลลิกรัม/กิโลกรัม แคดเมียม ไม่เกิน 0.3 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ตะกั่ว ไม่เกิน 10.0 มิลลิกรัม/กิโลกรัม (สำนักยา, 2547)

ตารางที่ 14 ปริมาณโลหะหนักของชิ้นส้มแขกอบแห้งจากระยะที่ผลมีสีเขียวและสีเหลือง

ชิ้นส้มแขกอบแห้ง	ชนิดโลหะหนัก	ปริมาณ (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)
ระยะที่ผลมีสีเขียว	แคดเมียม (cadmium)[1]	0.014
	ตะกั่ว (lead)[2]	0.165
	ปรอท (mercury)[3]	Not detected
ระยะที่ผลมีสีเหลือง	แคดเมียม (cadmium)[1]	0.008
	ตะกั่ว (lead)[2]	0.196
	ปรอท (mercury)[3]	Not detected

อ้างอิง : ห้องปฏิบัติการกลาง (ประเทศไทย) จำกัด สาขาสงขลา

In house method based on AOAC (2005)

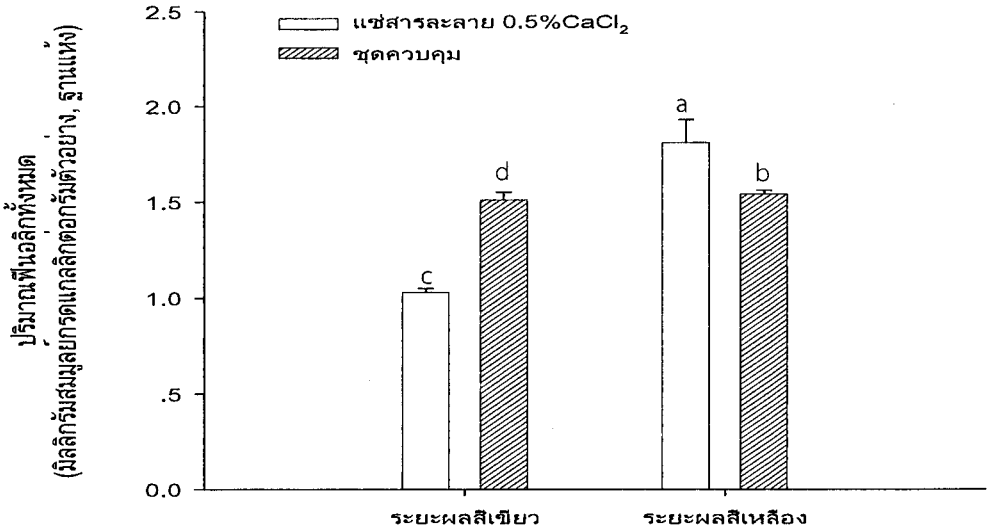
[1]999.10 Current through Revision 3, 2010 ; LOD = 0.001

[2]986.15 Current through Revision 3, 2010 ; LOD = 0.018

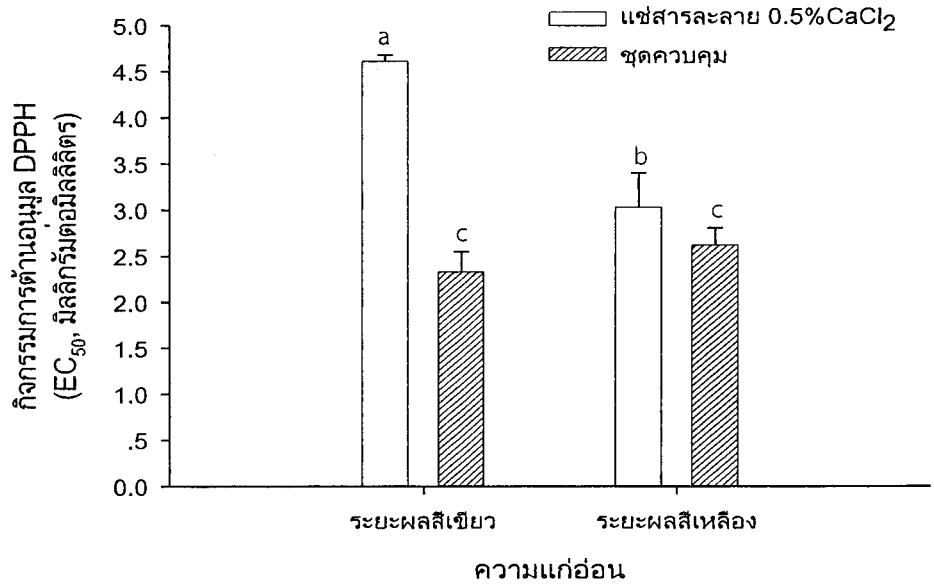
[3]974.14 Current through Revision 3, 2010 ; LOD = 0.010

ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในชิ้นส้มแขกสดทั้งสองระยะความแก่อ่อนที่ผ่านการแช่และไม่แช่สารละลาย 0.5% $CaCl_2$ ดังแสดงในภาพที่ 11 ผลการทดลองพบว่า ชิ้นส้มแขกสดทั้งสองระยะความแก่อ่อนที่ไม่ผ่านการแช่สารละลาย 0.5% $CaCl_2$ มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ชิ้นส้มแขกสดระยะที่ผลมีสีเขียวเมื่อผ่านการแช่สารละลาย 0.5% $CaCl_2$ มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดต่ำกว่าชุดที่ไม่แช่สารละลาย 0.5% $CaCl_2$ ($p<0.05$) ในขณะที่ชิ้นส้มแขกสดระยะที่ผลมีสีเหลืองที่ผ่านการแช่สารละลาย มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดสูงกว่าชุดที่ไม่แช่สารละลาย 0.5% $CaCl_2$ ($p<0.05$)

กิจกรรมการต้านอนุมูล DPPH ในชิ้นส้มแขกสดทั้งสองระยะความแก่อ่อนที่ผ่านการแช่และไม่แช่สารละลาย 0.5% $CaCl_2$ ดังแสดงในภาพที่ 12 ผลการทดลองพบว่า ชิ้นส้มแขกสดทั้งสองระยะความแก่อ่อนที่ไม่ผ่านการแช่สารละลาย 0.5% $CaCl_2$ มีกิจกรรมการต้านอนุมูล DPPH ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติสอดคล้องกับปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด ชิ้นส้มแขกสดระยะที่ผลมีสีเขียวและสีเหลืองเมื่อผ่านการแช่สารละลาย 0.5% $CaCl_2$ มีค่า EC_{50} สูงกว่า ซึ่งหมายถึง มีกิจกรรมการต้านอนุมูล DPPH ต่ำกว่าชุดที่ไม่แช่สารละลาย 0.5% $CaCl_2$ ($p<0.05$)



ภาพที่ 11 ผลของความแก่อ่อนและการแช่สารละลาย 0.5% $CaCl_2$ ที่มีต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของส้มแขกสด [(1) $CaCl_2$=แคลเซียมคลอไรด์; (2) ตัวอักษรที่กำกับแตกต่างกันคือค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)]



ภาพที่ 12 ผลของระยะความแก่อ่อนและการแช่สารละลาย 0.5%$CaCl_2$ ต่อกิจกรรมการต้านอนุมูล DPPH ของส้มแขกสด [(1) $CaCl_2$=แคลเซียมคลอไรด์; (2) ตัวอักษรที่กำกับแตกต่างกันคือค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)]

การเปลี่ยนแปลงค่าสีและค่าแรงตัดของชิ้นส้มแขกอบแห้งจากระยะที่ผลมีสีเขียวที่แช่สารละลาย 0.5% $CaCl_2$ ระหว่างเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียสในถุง Nylon และ PE ดังแสดงในตารางที่ 15 ผลการทดลองพบว่า ชิ้นส้มแขกอบแห้งที่เก็บในถุง Nylon และ PE มีค่า L* และ b* ลดลง ($p<0.05$) แสดงให้เห็นว่าชิ้นส้มแขกอบแห้งที่เก็บรักษาเป็นระยะเวลา 3.5 เดือน มีสีคล้ำขึ้น ในขณะที่ a* มีค่าเพิ่มขึ้น ($p<0.05$) แสดงให้เห็นว่าสีของชิ้นส้มแขกมีการเปลี่ยนแปลงจากเฉดสีเขียวเป็นแดง เมื่อพิจารณาผลของบรรจุภัณฑ์ต่อค่าสีของชิ้นส้มแขกอบแห้ง พบว่า ชิ้นส้มแขกอบแห้งที่เก็บรักษาในถุง Nylon และ PE เป็นเวลา 3.5 เดือน มีค่า L* และ b* ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ชิ้นส้มแขกอบแห้งที่เก็บรักษาในถุง Nylon มีค่า a* สูงกว่าชิ้นส้มแขกอบแห้งที่เก็บรักษาในถุง PE การเปลี่ยนแปลงของสีชิ้นส้มแขกอบแห้งในระหว่างการเก็บรักษาอาจเป็นผลเนื่องมาจากการเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ด ซึ่งเป็นปฏิกิริยาระหว่างหมู่คาร์บอนิลจากโมเลกุลของน้ำตาลรีดิวซิ่งกับหมู่แอลฟา-อะมิโน ของกรดอะมิโน หรือโปรตีน และเกิดปฏิกิริยาต่อเนื่องจนได้สารเมลานอยดินซึ่งมีสีน้ำตาล (Eskin *et al.*, 2013) ส่วนการเกิดออกซิเดชันของกรดแอสคอร์บิกในสภาวะที่มีออกซิเจนไปเป็นกรดดีไฮโดรแอสคอร์บิก (dehydroascorbic acid) และเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสไปเป็นกรด 2,3-ไดคีโตกูโลนิก (2,3-diketogulonic acid) จากนั้นจะไปรวมตัวกับกรดอะมิโนส่งผลให้เกิดสารประกอบที่มีสีน้ำตาลในผลิตภัณฑ์เช่นกัน (Udomkun *et al.*, 2016; Eskin *et al.*, 2013) นอกจากนี้การสลายตัวของรงควัตถุที่มีอยู่ในผลิตภัณฑ์ เช่น คลอโรฟิลล์ และแคโรทีนอยด์ระหว่างการเก็บรักษาก็มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าสีเช่นกัน Udomkun และคณะ (2016) รายงานว่า การเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ด การเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลเนื่องจากเอนไซม์ และการออกซิเดชันของกรดแอสคอร์บิกมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าสีของชิ้นมะละกออบแห้ง ทั้งนี้ปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าสีของผลิตภัณฑ์ ได้แก่ สภาวะในการเก็บรักษา ระยะเวลาเก็บรักษา การพรีทรีทเมนต์ ออกซิเจน และแสง เป็นต้น (Koca *et al.*, 2007; Hymavathi and Khader, 2005; Negi and Roy, 2001) เมื่อพิจารณาค่าแรงตัดชิ้นส้มแขกอบแห้งในระหว่างเก็บรักษา พบว่า ชิ้นส้มแขกอบแห้งที่เก็บรักษาเป็นระยะเวลา 0 และ 3.5 เดือน มีค่าแรงตัดไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ นอกจากนี้ยังพบว่า ชนิดของบรรจุภัณฑ์ที่ใช้เก็บรักษาไม่มีผลต่อค่าแรงตัดของชิ้นส้มแขกอบแห้งเช่นกัน

การเปลี่ยนแปลงค่าสีและค่าแรงตัดของชิ้นส้มแขกอบแห้งจากระยะที่ผลมีสีเขียวที่ไม่แช่สารละลาย 0.5% $CaCl_2$ ระหว่างเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียสในถุง Nylon และ PE ดังแสดงในตารางที่ 16 ผลการทดลองพบว่า ชิ้นส้มแขกอบแห้งที่เก็บในถุง Nylon และ PE มีค่า L* และ b* ลดลง ($p<0.05$) แสดงให้เห็นว่าชิ้นส้มแขกอบแห้งที่เก็บรักษาเป็นระยะเวลา 3.5 เดือน มีสีคล้ำขึ้น ในขณะที่ a* มีค่าเพิ่มขึ้น ($p<0.05$) แสดงให้เห็นว่าสีของชิ้นส้มแขกมีการเปลี่ยนแปลงจากเฉดสีเขียวเป็นแดง เมื่อพิจารณาผลของบรรจุภัณฑ์ต่อค่าสีของชิ้นส้มแขกอบแห้ง พบว่า ชิ้นส้มแขกอบแห้งที่เก็บรักษาในถุง PE เป็นเวลา 3.5 เดือน มีค่า L*, a* และ b* สูงกว่า ($p<0.05$) ชิ้นส้มแขกอบแห้งที่เก็บรักษาในถุง Nylon เมื่อพิจารณาค่าแรงตัดชิ้นส้มแขกอบแห้งในระหว่างเก็บรักษา พบว่า ชิ้นส้มแขกอบแห้งที่เก็บรักษาเป็นระยะเวลา 0 และ 3.5 เดือน มีค่าแรงตัดไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ นอกจากนี้ยังพบว่า ชนิดของบรรจุภัณฑ์ที่ใช้เก็บรักษาไม่มีผลต่อค่าแรงตัดของชิ้นส้มแขกอบแห้งเช่นกัน

การเปลี่ยนแปลงค่าสีและค่าแรงตัดของชิ้นส้มแขกอบแห้งจากระยะที่ผลมีสีเหลืองที่แช่สารละลาย 0.5% $CaCl_2$ ระหว่างเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียสในถุง Nylon และ PE ดังแสดงในตารางที่ 17 ผลการทดลองพบว่า ชิ้นส้มแขกอบแห้งที่เก็บในถุง Nylon และ PE มีค่า L* และ b* ลดลง ($p<0.05$) แสดงให้เห็นว่าชิ้นส้มแขกอบแห้งที่เก็บรักษาเป็นระยะเวลา 3.5 เดือน มีสีคล้ำขึ้น ในขณะที่ a* มีค่าเพิ่มขึ้น ($p<0.05$) แสดงให้เห็นว่าสีของชิ้นส้มแขกมีการเปลี่ยนแปลงจากเฉดสีเขียวเป็นแดง เมื่อพิจารณาผลของบรรจุภัณฑ์ต่อค่าสีของชิ้นส้มแขกอบแห้ง พบว่า ชิ้นส้มแขกอบแห้งเก็บรักษาในถุง Nylon และ PE เป็นเวลา 3.5 เดือน มีค่า L* ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ชิ้นส้มแขกอบแห้งที่เก็บรักษาในถุง Nylon มีค่า a* และ b* สูงกว่าชิ้นส้มแขกอบแห้งเก็บรักษาในถุง PE ($p<0.05$) เมื่อพิจารณาค่าแรงตัดชิ้นส้มแขกอบแห้งในระหว่างเก็บรักษา พบว่า ชิ้นส้มแขกอบแห้งที่เก็บรักษาเป็นระยะเวลา 3.5 เดือน มีค่าแรงตัดน้อยกว่าชิ้นส้มแขกที่เก็บรักษาเป็นระยะเวลา 0 เดือน ($p<0.05$) อย่างไรก็ชิ้นส้มแขกอบแห้งที่เก็บรักษาในถุง Nylon และ PE เป็นระยะเวลา 3.5 เดือน มีค่าแรงตัดไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

การเปลี่ยนแปลงค่าสีและค่าแรงตัดของชิ้นส้มแขกอบแห้งจากระยะที่ผลมีสีเหลืองที่ไม่แช่สารละลาย 0.5% $CaCl_2$ ระหว่างเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียสในถุง Nylon และ PE ดังแสดงในตารางที่ 18 ผลการทดลองพบว่า ชิ้นส้มแขกอบแห้งที่เก็บในถุง Nylon และ PE มีค่า L* และ b* ลดลง ($p<0.05$) แสดงให้เห็นว่าชิ้นส้มแขกอบแห้งที่เก็บรักษาเป็นระยะเวลา 3.5 เดือน มีสีคล้ำขึ้น ในขณะที่ a* มีค่าเพิ่มขึ้น ($p<0.05$) แสดงให้เห็นว่าสีของชิ้นส้มแขกมีการเปลี่ยนแปลงจากเฉดสีเขียวเป็นแดง เมื่อพิจารณาผลของบรรจุภัณฑ์ต่อค่าสีของชิ้นส้มแขกอบแห้ง พบว่า ชิ้นส้มแขกอบแห้งเก็บรักษาในถุง Nylon เป็นระยะเวลา 3.5 เดือน มีค่า L* a* และ b* สูงกว่า ชิ้นส้มแขกอบแห้งเก็บรักษาในถุง PE ($p<0.05$) เมื่อพิจารณาค่าแรงตัดชิ้นส้มแขกอบแห้งในระหว่างเก็บรักษา พบว่า ชิ้นส้มแขกอบแห้งที่เก็บรักษาเป็นระยะเวลา 0 และ 3.5 เดือน มีค่าแรงตัดไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ นอกจากนี้ยังพบว่า ชิ้นส้มแขกอบแห้งที่เก็บรักษาในถุง Nylon และ PE เป็นระยะเวลา 3.5 เดือน มีค่าแรงตัดไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ตารางที่ 15 ค่าสีและค่าแรงตัดของชิ้นส้มแขกอบแห้งจากระยะที่ผลมีสีเขียว แช่สารละลาย 0.5% $CaCl_2$ เก็บที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียสในถุง Nylon และ PE

ระยะเวลาเก็บ	L*		a*		b*		ค่าแรงตัด (นิวตัน)	
รักษา (เดือน)	Nylon	PE	Nylon	PE	Nylon	PE	Nylon^{ns}	PE^{ns}
0	68.55±1.85^{aA}	69.86±1.44^{aA}	-1.60±0.22^{bA}	-1.68±0.13^{bA}	8.99±1.24^{aA}	9.22±1.15^{aA}	34.95±0.47^{A}	34.95±0.47^{A}
3.5	61.87±0.89^{bA}	62.38±1.89^{bA}	1.50±0.19^{aA}	0.49±0.11^{aB}	7.22±0.39^{bA}	7.07±0.45^{bA}	35.68±11.88^{A}	26.51±8.33^{A}

หมายเหตุ (1) ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน [n=6]; (2) ns = ค่าเฉลี่ยที่กำกับในสดมภ์เดียวกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ; (3) ตัวอักษรพิมพ์เล็กที่กำกับในสดมภ์เดียวกันแตกต่างกันคือค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ [p<0.05]; (4) ตัวอักษรพิมพ์ใหญ่ที่กำกับในแถวเดียวกันของแต่ละคุณลักษณะแตกต่างกันหมายถึงค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ [p<0.05]

ตารางที่ 16 ค่าสีและค่าแรงตัดของชิ้นส้มแขกอบแห้งจากระยะที่ผลมีสีเขียว ไม่แช่สารละลาย 0.5% $CaCl_2$ เก็บที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส ในถุง Nylon และ PE

ระยะเวลาเก็บ	L*		a*		b*		ค่าแรงตัด (นิวตัน)	
รักษา (เดือน)	Nylon	PE	Nylon	PE	Nylon	PE	Nylon^{ns}	PE^{ns}
0	61.11±2.20^{aA}	62.16±1.98^{aA}	-1.08±0.29^{bA}	-1.12±0.26^{bA}	11.24±1.32^{aA}	11.80±1.22^{aA}	32.95±0.97^{A}	33.45±1.84^{A}
3.5	56.90±1.14^{bB}	60.00±0.48^{bA}	1.80±0.47^{aB}	3.35±0.12^{aA}	6.25±1.03^{bB}	9.36±0.57^{bA}	30.86±5.29^{A}	33.26±8.15^{A}

หมายเหตุ (1) ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน [n=6]; (2) ns = ค่าเฉลี่ยที่กำกับในสดมภ์เดียวกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ; (3) ตัวอักษรพิมพ์เล็กที่กำกับในสดมภ์เดียวกันแตกต่างกันคือค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ [p<0.05]; (4) ตัวอักษรพิมพ์ใหญ่ที่กำกับในแถวเดียวกันของแต่ละคุณลักษณะแตกต่างกันหมายถึงค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ [p<0.05]

ตารางที่ 17 ค่าสีและค่าแรงตัดของชิ้นส้มแขกอบแห้งจากระยะที่ผลมีสีเหลือง แช่สารละลาย 0.5% $CaCl_2$ เก็บที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียสในถุง Nylon และ PE

ระยะเวลาเก็บรักษา (เดือน)	L*		a*		b*		ค่าแรงตัด (นิวตัน)	
	Nylon	PE	Nylon	PE	Nylon	PE	Nylon	PE
0	66.62 ± 1.74^{aA}	66.19 ± 1.00^{aA}	-0.89 ± 0.10^{bA}	-0.90 ± 0.10^{bA}	12.33 ± 1.42^{aA}	11.96 ± 1.09^{aA}	30.66 ± 1.81^{aA}	30.66 ± 1.81^{aA}
3.5	62.93 ± 1.73^{bA}	61.57 ± 2.31^{bA}	2.39 ± 0.35^{aA}	0.40 ± 0.12^{aB}	8.29 ± 0.88^{bA}	6.82 ± 0.19^{bB}	18.47 ± 0.52^{bA}	21.12 ± 3.64^{bA}

หมายเหตุ (1) ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน [n=6]; (2) ns = ค่าเฉลี่ยที่กำกับในสดมภ์เดียวกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ; (3) ตัวอักษรพิมพ์เล็กที่กำกับในสดมภ์เดียวกันแตกต่างกันคือค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ [$p<0.05$]; (4) ตัวอักษรพิมพ์ใหญ่ที่กำกับในแถวเดียวกันของแต่ละคุณลักษณะแตกต่างกันหมายถึงค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ [$p<0.05$]

ตารางที่ 18 ค่าสีและค่าแรงตัดของชิ้นส้มแขกอบแห้งจากระยะที่ผลมีสีเหลือง ไม่แช่สารละลาย 0.5% $CaCl_2$ เก็บที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส ในถุง Nylon และ PE

ระยะเวลาเก็บรักษา (เดือน)	L*		a*		b*		ค่าแรงตัด (นิวตัน)	
	Nylon	PE	Nylon	PE	Nylon	PE	Nylon^{ns}	PE^{ns}
0	66.19 ± 1.77^{aA}	66.19 ± 1.77^{aA}	-0.32 ± 0.12^{bA}	-0.32 ± 0.12^{bA}	14.07 ± 1.20^{aA}	14.07 ± 1.20^{aA}	40.11 ± 1.56^{A}	34.33 ± 4.05^{A}
3.5	59.01 ± 1.32^{bA}	54.45 ± 1.49^{bB}	2.68 ± 0.28^{aA}	1.14 ± 0.25^{aB}	9.02 ± 0.55^{bA}	5.65 ± 0.49^{bB}	33.60 ± 4.94^{A}	35.85 ± 4.92^{A}

หมายเหตุ (1) ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน [n=6]; (2) ns = ค่าเฉลี่ยที่กำกับในสดมภ์เดียวกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ; (3) ตัวอักษรพิมพ์เล็กที่กำกับในสดมภ์เดียวกันแตกต่างกันคือค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ [$p<0.05$]; (4) ตัวอักษรพิมพ์ใหญ่ที่กำกับในแถวเดียวกันของแต่ละคุณลักษณะแตกต่างกันหมายถึงค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ [$p<0.05$]

การเปลี่ยนแปลงค่าสีและค่าแรงตัดของชิ้นส้มแขกอบแห้งจากระยะที่ผลมีสีเขียวที่แช่สารละลาย 0.5% $CaCl_2$ ระหว่างเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสในถุง Nylon และ PE ดังแสดงในตารางที่ 19 ผลการทดลองพบว่า ค่าสี (L* a* และ b*) ของชิ้นส้มแขกอบแห้งที่เก็บรักษาในถุง Nylon และ PE มีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยในระหว่างการเก็บรักษา อย่างไรก็ตามค่า L* a* และ b* ของชิ้นส้มแขกอบแห้งที่เก็บรักษาเป็นระยะเวลา 0 และ 4 เดือน มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ยกเว้นชิ้นส้มแขกอบแห้งที่เก็บรักษาในถุง PE เป็นระยะเวลา 4 เดือน ที่มีค่า L* ต่ำกว่าเมื่อเริ่มเก็บรักษา ($p<0.05$) เมื่อพิจารณาผลของชนิดบรรจุภัณฑ์ที่ใช้เก็บรักษาต่อค่าสีของชิ้นส้มแขก พบว่า ชิ้นส้มแขกอบแห้งที่เก็บรักษาในถุง Nylon เป็นระยะเวลา 4 เดือน มีค่า L* a* และ b* ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติจากชิ้นส้มแขกอบแห้งที่เก็บรักษาในถุง PE เมื่อพิจารณาค่าแรงตัดของชิ้นส้มแขกอบแห้งในระหว่างเก็บรักษา พบว่า ชิ้นส้มแขกอบแห้งที่เก็บรักษาในถุง Nylon เป็นระยะเวลา 4 เดือน มีค่าแรงตัดสูงกว่าชิ้นส้มแขกอบแห้งเมื่อเริ่มเก็บรักษา ($p<0.05$) ในขณะที่ค่าแรงตัดของชิ้นส้มแขกอบแห้งที่เก็บรักษาในถุง PE เป็นระยะเวลา 0, 2 และ 4 เดือน มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น แต่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ อย่างไรก็ตามชิ้นส้มแขกอบแห้งที่เก็บรักษาในถุง Nylon และ PE เป็นระยะเวลา 4 เดือน มีค่าแรงตัดไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

การเปลี่ยนแปลงค่าสีและค่าแรงตัดของชิ้นส้มแขกอบแห้งจากระยะที่ผลมีสีเขียวที่ไม่แช่สารละลาย 0.5% $CaCl_2$ ระหว่างเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสในถุง Nylon และ PE ดังแสดงในตารางที่ 19 ผลการทดลองพบว่า L* ของชิ้นส้มแขกอบแห้งที่เก็บรักษาในถุง Nylon มีค่าเพิ่มขึ้นในระหว่างเก็บรักษา แสดงให้เห็นว่าชิ้นส้มแขกมีความสว่างมากขึ้น ในขณะที่ค่า L* ของชิ้นส้มแขกที่เก็บรักษาในถุง PE เป็นระยะเวลา 0, 2 และ 4 เดือน มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น แต่ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ค่า a* ของชิ้นส้มแขกอบแห้งทั้งสองชุดการทดลองมีค่าลดลงในระหว่างเก็บรักษา ($p<0.05$) และมีค่าเป็นลบ (-) แสดงให้เห็นว่าชิ้นส้มแขกอบแห้งยังอยู่ในเฉดสีเขียว ในขณะที่ b* ของชิ้นส้มแขกอบแห้งทั้งสองชุดการทดลองที่เก็บรักษาเป็นระยะเวลา 0, 2 และ 4 เดือน มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อพิจารณาผลของชนิดบรรจุภัณฑ์ที่ใช้เก็บรักษาต่อค่าสีของชิ้นส้มแขกอบแห้ง พบว่า ชิ้นส้มแขกอบแห้งที่เก็บรักษาในถุง Nylon และ PE เป็นระยะเวลา 4 เดือน มีค่า L* a* และ b* ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อพิจารณาค่าแรงตัดของชิ้นส้มแขกอบแห้งในระหว่างการเก็บรักษา พบว่า ค่าแรงตัดของชิ้นส้มแขกอบแห้งทั้งสองชุดการทดลองมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามค่าแรงตัดของชิ้นส้มแขกอบแห้งที่เก็บรักษาเป็นระยะเวลา 0 และ 4 เดือน มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และยังพบว่าชิ้นส้มแขกอบแห้งที่เก็บรักษาในถุง Nylon และ PE เป็นระยะเวลา 4 เดือน มีค่าแรงตัดไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

การเปลี่ยนแปลงค่าสีและค่าแรงตัดของชิ้นส้มแขกอบแห้งจากระยะที่ผลมีสีเหลืองที่แช่สารละลาย 0.5% $CaCl_2$ ระหว่างเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสในถุง Nylon และ PE ดังแสดงในตารางที่ 21 ผลการทดลองพบว่า L* ของชิ้นส้มแขกอบแห้งที่เก็บรักษาในถุง Nylon เป็นระยะเวลา 0, 2 และ 4 เดือน มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น แต่มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในขณะที่ L* ของชิ้นส้มแขกอบแห้งที่เก็บรักษาในถุง PE มีค่าเพิ่มขึ้น ($p<0.05$) a* ของชิ้นส้มแขกอบแห้งทั้งสองชุดการทดลองมีค่าลดลงในเดือนที่ 2 ($p<0.05$) และมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยในเดือนที่ 4 ของการเก็บรักษา ส่วนค่า b* ของชิ้นส้มแขกอบแห้งทั้งสองชุดการทดลองที่เก็บรักษาเป็นระยะเวลา 0, 2 และ 4 เดือน มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อพิจารณาผลของชนิดบรรจุภัณฑ์ที่ใช้เก็บรักษาต่อค่าสีของชิ้นส้มแขกอบแห้ง พบว่า ชิ้นส้มแขกอบแห้งที่เก็บรักษาในถุง Nylon และ PE เป็นระยะเวลา 4 เดือน มีค่า L* a* และ b* ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อพิจารณาค่าแรงตัดของชิ้นส้มแขกอบแห้งในระหว่างการเก็บรักษา พบว่า ค่าแรงตัดของชิ้นส้มแขกอบแห้งทั้งสองชุดการทดลองมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามค่าแรงตัดของชิ้นส้มแขกอบแห้งที่เก็บรักษาเป็นระยะเวลา 0 และ 4 เดือน มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และยังพบว่าชิ้นส้มแขกอบแห้งที่เก็บรักษาในถุง Nylon และ PE เป็นระยะเวลา 4 เดือน มีค่าแรงตัดไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

การเปลี่ยนแปลงค่าสีและค่าแรงตัดของชิ้นส้มแขกอบแห้งจากระยะที่ผลมีสีเหลืองที่ไม่แช่สารละลาย 0.5% $CaCl_2$ ระหว่างเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสในถุง Nylon และ PE ดังแสดงในตารางที่ 22 ผลการทดลองพบว่า L* ของชิ้นส้มแขกอบแห้งทั้งสองชุดการทดลองที่เก็บรักษาเป็นระยะเวลา 0, 2 และ 4 เดือน มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ a* ของชิ้นส้มแขกอบแห้งทั้งสองชุดการทดลองมีค่าลดลงในเดือนที่ 2 ($p<0.05$) และมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยในเดือนที่ 4 ของการเก็บรักษา ในขณะที่ b* ของชิ้นส้มแขกอบแห้งที่เก็บรักษาในถุง Nylon เป็นระยะเวลา 0, 2 และ 4 เดือน มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วน b* ของชิ้นส้มแขกอบแห้งที่เก็บรักษาในถุง PE มีค่าเพิ่มขึ้นในเดือนที่ 2 ($p<0.05$) และมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยในเดือนที่ 4 ของการเก็บรักษา อย่างไรก็ตามค่า b* ของชิ้นส้มแขกดังกล่าวที่เก็บรักษาในเดือนที่ 0 และ 4 ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อพิจารณาผลของชนิดบรรจุภัณฑ์ที่ใช้เก็บรักษาต่อค่าสีของชิ้นส้มแขกอบแห้ง พบว่า ชิ้นส้มแขกอบแห้งที่เก็บรักษาในถุง Nylon และ PE เป็นระยะเวลา 4 เดือน มีค่า L* a* และ b* ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อพิจารณาค่าแรงตัดของชิ้นส้มแขกอบแห้งในระหว่างการเก็บรักษา พบว่า ค่าแรงตัดของชิ้นส้มแขกอบแห้งที่เก็บรักษาในถุง Nylon เป็นระยะเวลา 0, 2 และ 4 เดือน มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น แต่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในขณะที่ค่าแรงตัดของชิ้นส้มแขกอบแห้งที่เก็บรักษาในถุง PE เป็นระยะเวลา 4 เดือน มีค่าไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติจากเดือนที่ 0 ของการเก็บรักษา อย่างไรก็ตาม ชิ้นส้มแขกอบแห้งที่เก็บรักษาในถุง Nylon เป็นระยะเวลา 4 เดือน มีค่าแรงตัดสูงกว่าชิ้นส้มแขกอบแห้งที่เก็บรักษาในถุง PE ($p<0.05$) เมื่อเปรียบเทียบค่าแรงตัดของชิ้นส้มแขกอบแห้งจากทั้งสองระยะความแก่อ่อนเก็บรักษาในถุง Nylon และ PE พบว่า ที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียสมีแนวโน้มลดลงเด่นชัดกว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 19 ค่าสีและค่าแรงตัดของชิ้นส้มแขกอบแห้งจากระยะที่ผลมีสีเขียว แช่สารละลาย 0.5% $CaCl_2$ เก็บที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ในถุง Nylon และ PE

ระยะเวลาเก็บ	L*		a*		b*		ค่าแรงตัด (นิวตัน)	
รักษา (เดือน)	Nylon	PE	Nylon	PE^{ns}	Nylon^{ns}	PE	Nylon	PE^{ns}
0	68.55±1.85^{aA}	69.86±1.44^{aA}	-1.60±0.22^{aA}	-1.68±0.13^{A}	8.99±1.24^{A}	9.22±1.15^{bA}	36.86±2.55^{bA}	36.86±2.55^{A}
2	65.51±1.85^{bB}	70.28±1.44^{aA}	-2.42±0.41^{bB}	-1.72±0.27^{A}	10.22±1.56^{B}	11.42±1.69^{aA}	46.05±3.04^{aA}	40.36±3.22^{B}
4	69.79±2.87^{aA}	67.39±1.02^{bA}	-2.11±0.66^{abA}	-2.22±0.62^{A}	10.80±0.89^{A}	9.42±1.27^{bA}	42.66±5.87^{aA}	42.60±5.12^{A}

หมายเหตุ (1) ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน [n=6]; (2) ns = ค่าเฉลี่ยที่กำกับในสดมภ์เดียวกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ; (3) ตัวอักษรพิมพ์เล็กที่กำกับในสดมภ์เดียวกันแตกต่างกันคือค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ [p<0.05]; (4) ตัวอักษรพิมพ์ใหญ่ที่กำกับในแถวเดียวกันของแต่ละคุณลักษณะแตกต่างกันคือค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ [p<0.05]

ตารางที่ 20 ค่าสีและค่าแรงตัดของชิ้นส้มแขกอบแห้งจากระยะที่ผลมีสีเขียว ไม่แช่สารละลาย 0.5% $CaCl_2$ เก็บที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสในถุง Nylon และ PE

ระยะเวลาเก็บ	L*		a*		b*		ค่าแรงตัด (นิวตัน)	
รักษา (เดือน)	Nylon	PE^{ns}	Nylon	PE	Nylon^{ns}	PE^{ns}	Nylon^{ns}	PE
0	61.11±2.20^{bA}	62.16±1.98^{A}	-1.08±0.29^{aA}	-1.12±0.26^{aA}	11.24±1.32^{A}	11.80±1.22^{A}	36.48±4.73^{A}	36.48±4.73^{bA}
2	63.25±2.32^{bA}	65.05±2.96^{A}	-2.22±0.64^{bA}	-1.72±0.21^{bA}	11.19±1.11^{A}	12.15±1.72^{A}	37.42±5.78^{B}	46.36±5.64^{aA}
4	66.76±2.74^{aA}	66.61±3.74^{A}	-2.25±0.40^{bA}	-2.66±0.61^{cA}	12.57±1.90^{A}	11.53±1.45^{A}	42.35±3.32^{A}	39.83±6.31^{abA}

หมายเหตุ (1) ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน [n=6]; (2) ns = ค่าเฉลี่ยที่กำกับในสดมภ์เดียวกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ; (3) ตัวอักษรพิมพ์เล็กที่กำกับในสดมภ์เดียวกันแตกต่างกันคือค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ [p<0.05]; (4) ตัวอักษรพิมพ์ใหญ่ที่กำกับในแถวเดียวกันของแต่ละคุณลักษณะแตกต่างกันคือค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ [p<0.05]

ตารางที่ 21 ค่าสีและค่าแรงตัดของชิ้นส้มแขกอบแห้งจากระยะที่ผลมีสีเหลือง แช่สารละลาย 0.5% $CaCl_2$ เก็บที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ในถุง Nylon และ PE

ระยะเวลาเก็บ	L*		a*		b*		ค่าแรงตัด (นิวตัน)	
รักษา (เดือน)	Nylon^{ns}	PE	Nylon	PE	Nylon^{ns}	PE^{ns}	Nylon^{ns}	PE^{ns}
0	66.62±1.74^{A}	66.19±1.00^{bA}	-0.89±0.10^{aA}	-0.90±0.10^{aA}	12.33±1.42^{A}	11.96±1.09^{A}	35.08±6.23^{A}	35.08±6.23^{A}
2	69.54±1.99^{A}	69.99±2.92^{aA}	-1.58±0.14^{bA}	-1.52±0.27^{bA}	12.19±1.81^{A}	12.59±1.53^{A}	39.24±5.35^{A}	40.42±6.22^{A}
4	69.39±3.53^{A}	70.22±2.45^{aA}	-1.46±0.32^{bA}	-1.25±0.58^{abA}	12.76±1.99^{A}	13.25±2.64^{A}	35.94±3.78^{A}	39.53±6.11^{A}

หมายเหตุ (1) ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน [n=6]; (2) ns = ค่าเฉลี่ยที่กำกับในสดมภ์เดียวกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ; (3) ตัวอักษรพิมพ์เล็กที่กำกับในสดมภ์เดียวกันแตกต่างกันคือค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ [p<0.05]; (4) ตัวอักษรพิมพ์ใหญ่ที่กำกับในแถวเดียวกันของแต่ละคุณลักษณะแตกต่างกันคือค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ [p<0.05]

ตารางที่ 22 ค่าสีและค่าแรงตัดของชิ้นส้มแขกอบแห้งจากระยะที่ผลมีสีเหลือง ไม่แช่สารละลาย 0.5% $CaCl_2$ เก็บที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ในถุง Nylon และ PE

ระยะเวลาเก็บ	L*		a*		b*		ค่าแรงตัด (นิวตัน)	
รักษา (เดือน)	Nylon^{ns}	PE^{ns}	Nylon	PE	Nylon^{ns}	PE	Nylon^{ns}	PE
0	66.19±1.77^{A}	66.19±1.77^{A}	-0.32±0.12^{aA}	-0.32±0.12^{aA}	14.07±1.20^{A}	14.07±1.20^{bA}	37.93±4.75^{A}	37.93±4.75^{bA}
2	65.45±2.59^{A}	66.98±1.75^{A}	-0.74±0.18^{bA}	-0.65±0.20^{bA}	12.85±1.50^{B}	17.59±2.22^{aA}	44.08±6.07^{A}	47.34±5.04^{aA}
4	66.61±1.90^{A}	66.80±4.48^{A}	-0.74±0.27^{bA}	-0.54±0.28^{abA}	14.05±1.65^{A}	15.71±2.97^{abA}	41.71±3.26^{A}	35.89±2.41^{bB}

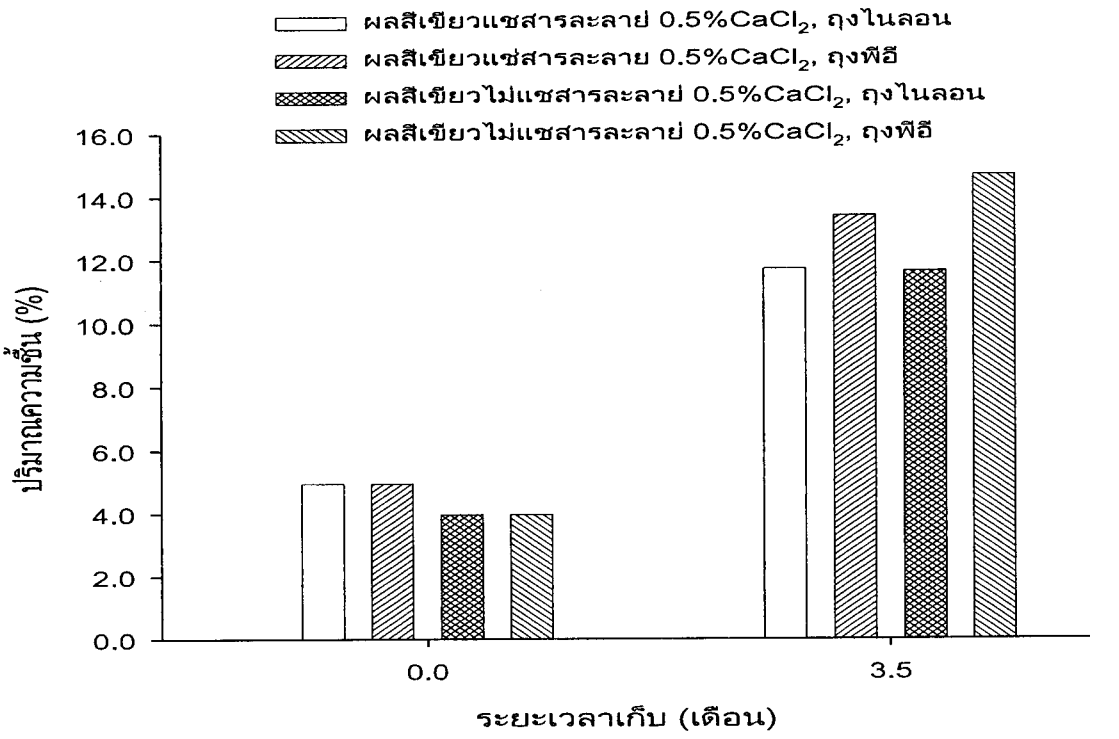
หมายเหตุ (1) ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน [n=6]; (2) ns = ค่าเฉลี่ยที่กำกับในสดมภ์เดียวกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ; (3) ตัวอักษรพิมพ์เล็กที่กำกับในสดมภ์เดียวกันแตกต่างกันคือค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ [p<0.05]; (4) ตัวอักษรพิมพ์ใหญ่ที่กำกับในแถวเดียวกันของแต่ละคุณลักษณะแตกต่างกันคือค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ [p<0.05]

ปริมาณน้ำหรือความชื้นมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทั้งทางกายภาพ เคมี รวมถึงการสลายตัวของสารสำคัญในสมุนไพร โดยทั่วไปกำหนดให้สมุนไพรมีปริมาณความชื้นไม่เกิน 8% (คณะอนุกรรมการพัฒนาบัญชียาหลักแห่งชาติ, 2556)

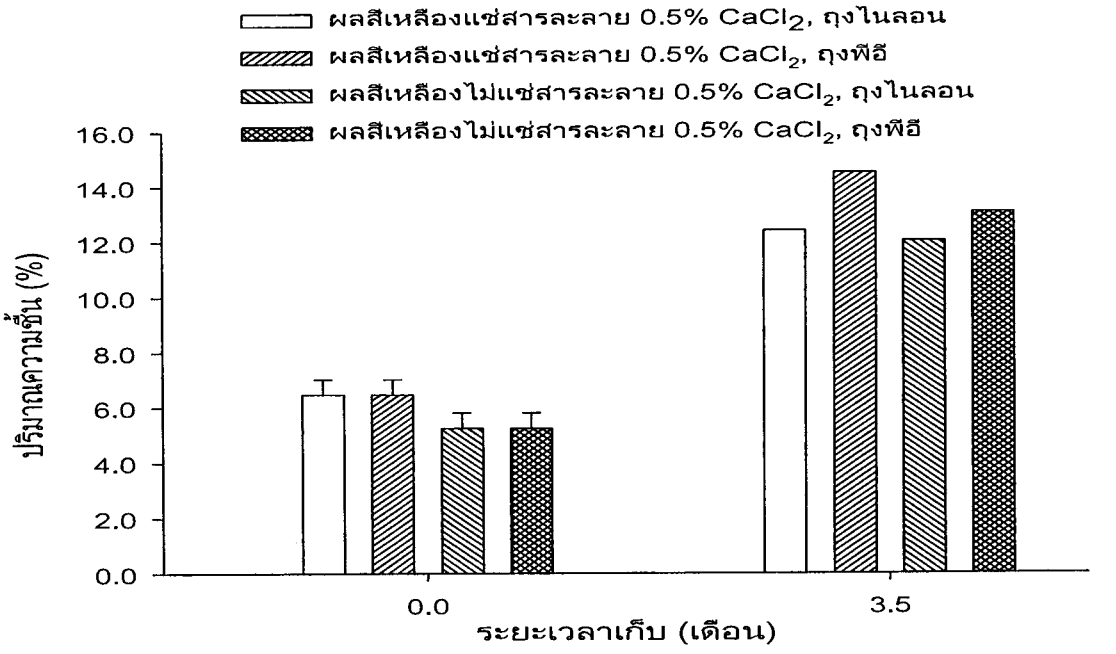
เมื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นของชิ้นส้มแขกอบแห้งที่เก็บรักษาในถุง Nylon และ PE ที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 0 และ 3.5 เดือน พบว่า ชิ้นส้มแขกอบแห้งทุกชุดการทดลองที่เก็บรักษาเป็นระยะเวลา 3.5 เดือน มีปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้นจากเมื่อเริ่มเก็บรักษา โดยชิ้นส้มแขกอบแห้งจากระยะที่ผลมีสีเขียวที่เก็บรักษาในถุง Nylon และ PE มีปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้นจาก 3.96- 4.94% ไปเป็น 11.64-14.68% ผลการทดลองดังแสดงในภาพที่ 13 ส่วนชิ้นส้มแขกอบแห้งจากระยะที่ผลมีสีเหลืองที่เก็บรักษาในถุง Nylon และ PE มีปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้นจาก 5.23-6.46% ไปเป็น 12.03-14.52% ผลการทดลองดังแสดงในภาพที่ 14 นอกจากนี้ยังพบว่า ชิ้นส้มแขกอบแห้งทุกชุดการทดลองที่เก็บรักษาในถุง PE มีปริมาณความชื้นสูงกว่าชิ้นส้มแขกอบแห้งที่เก็บรักษาในถุง Nylon

เมื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นของชิ้นส้มแขกอบแห้งที่เก็บรักษาในถุง Nylon และ PE ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 0, 2 และ 4 เดือน พบว่า ชิ้นส้มแขกอบแห้งทุกชุดการทดลองที่เก็บรักษาเป็นระยะเวลา 4 เดือน มีปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้นจากเมื่อเริ่มเก็บรักษา ($p<0.05$) โดยชิ้นส้มแขกอบแห้งจากระยะที่ผลมีสีเขียวที่เก็บรักษาในถุง Nylon และ PE มีปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้นจาก 4.06-4.36% ไปเป็น 8.97-10.68% ผลการทดลองดังแสดงในภาพที่ 15 ส่วนชิ้นส้มแขกอบแห้งจากระยะที่ผลมีสีเหลืองที่เก็บรักษาในถุง Nylon และ PE มีปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้นจาก 5.14-6.53% ไปเป็น 9.78-12.58% ผลการทดลองดังแสดงในภาพที่ 16 นอกจากนี้ยังพบว่า เมื่อเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 4 เดือน ชิ้นส้มแขกอบแห้งที่เก็บรักษาในถุง PE มีปริมาณความชื้นสูงกว่าชิ้นส้มแขกอบแห้งที่เก็บรักษาในถุง Nylon ยกเว้นชิ้นส้มแขกอบแห้งจากระยะที่ผลมีสีเขียวและแช่ในสารละลาย 0.5%$CaCl_2$ เก็บรักษาในถุง Nylon และ PE ซึ่งมีปริมาณความชื้นไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

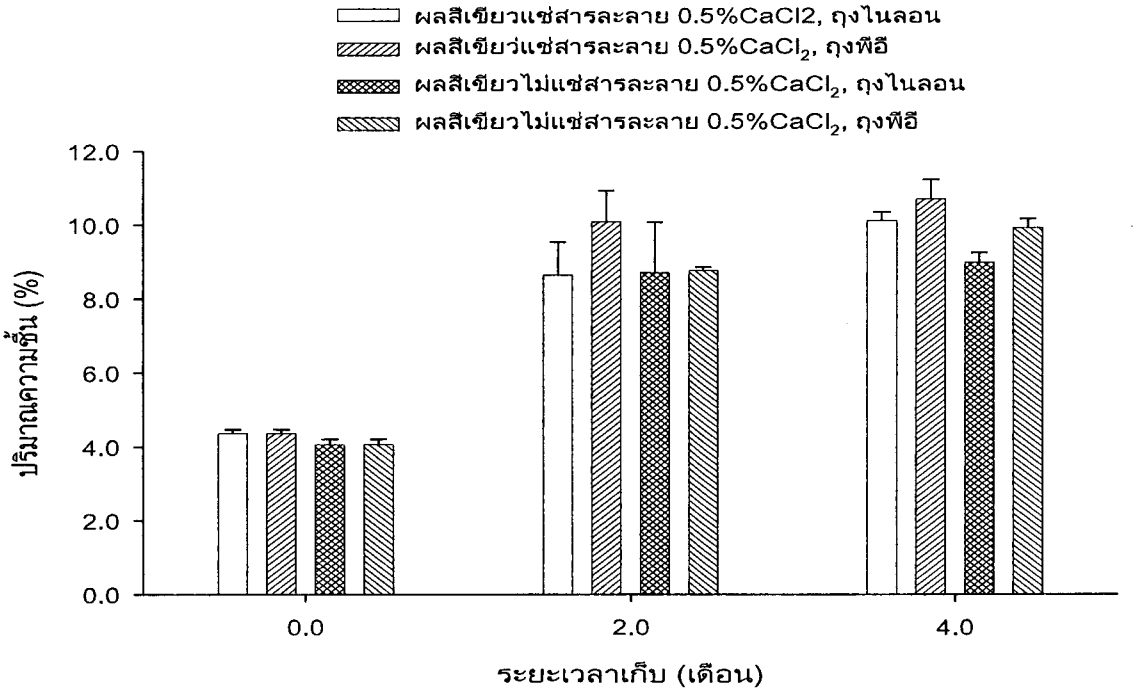
ดังจะเห็นได้ว่าชิ้นส้มแขกอบแห้งทุกชุดการทดลองมีปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้นในระหว่างการเก็บรักษา โดยมีปัจจัยหลักเนื่องมาจากการแพร่ของไอน้ำจากสภาพแวดล้อมภายนอกผ่านฟิล์มบรรจุภัณฑ์ไปสู่ชิ้นส้มแขกอบแห้ง คุณสมบัติการซึมผ่านของไอน้ำของบรรจุภัณฑ์จึงมีบทบาทต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นของชิ้นส้มแขกแห้ง ถุงไนลอนที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็นชนิด Nylon/LLDPE (ทางการค้าเรียกว่าถุง Nylon) จึงเป็นไปได้ที่ทำให้สามารถป้องกันการซึมผ่านของไอน้ำได้ดีกว่าถุง PE ทำให้ชิ้นส้มแขกอบแห้งที่บรรจุในถุง Nylon เมื่อสิ้นสุดการเก็บรักษามีปริมาณความชื้นต่ำกว่าชิ้นส้มแขกอบแห้งที่บรรจุในถุง PE ซึ่งปริมาณความชื้นที่เพิ่มขึ้นในระหว่างการเก็บรักษามีส่วนเกี่ยวข้องต่อการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและเคมีส่งผลต่อคุณภาพของชิ้นส้มแขกอบแห้ง อย่างไรก็ดี Udomkun และคณะ (2016) รายงานว่า ปริมาณความชื้นของชิ้นมะละกออบแห้งที่เพิ่มขึ้นในระหว่างการเก็บรักษามีความสัมพันธ์กับการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลที่เพิ่มขึ้น และการลดลงของสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และปริมาณกรดแอสคอร์บิก



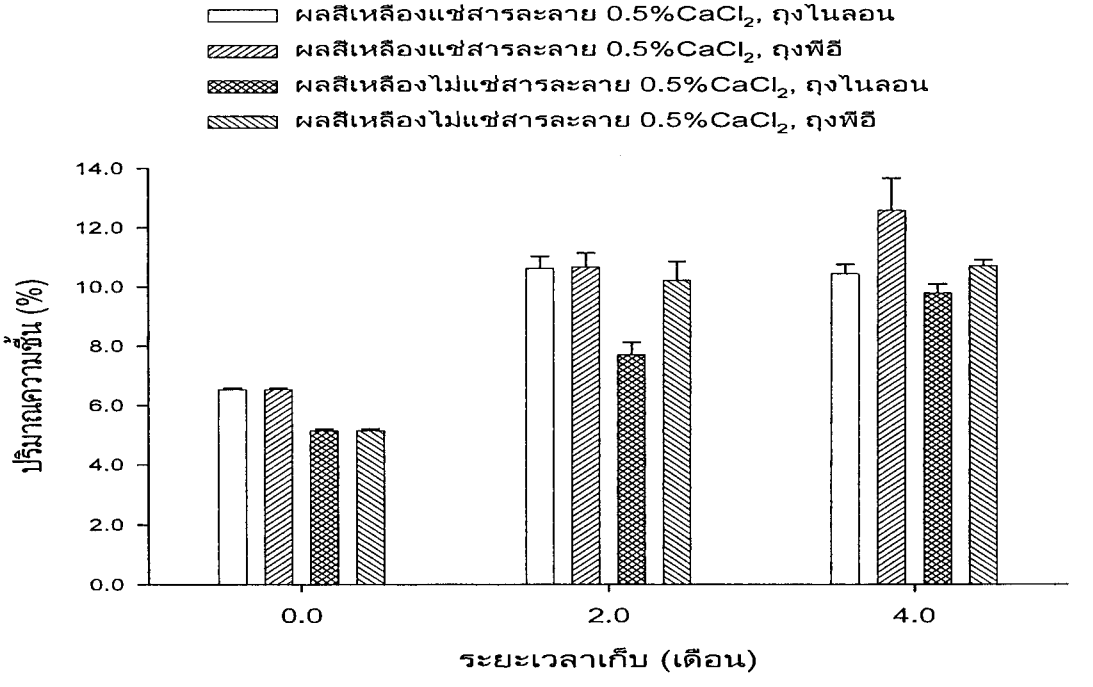
ภาพที่ 13 การเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นของชิ้นส้มแขกอบแห้งจากระยะที่ผลมีสีเขียวที่แช่และไม่แช่สารละลาย 0.5% $CaCl_2$ เก็บที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส ในถุง Nylon และถุง PE



ภาพที่ 14 การเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นของชิ้นส้มแขกอบแห้งจากระยะที่ผลมีสีเหลืองที่แช่และไม่แช่สารละลาย 0.5% $CaCl_2$ เก็บที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส ในถุง Nylon และถุง PE



ภาพที่ 15 การเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นของชิ้นส้มแขกอบแห้งจากระยะที่ผลมีสีเขียวที่แช่และไม่แช่สารละลาย 0.5% $CaCl_2$ เก็บที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ในถุง Nylon และ และถุง PE

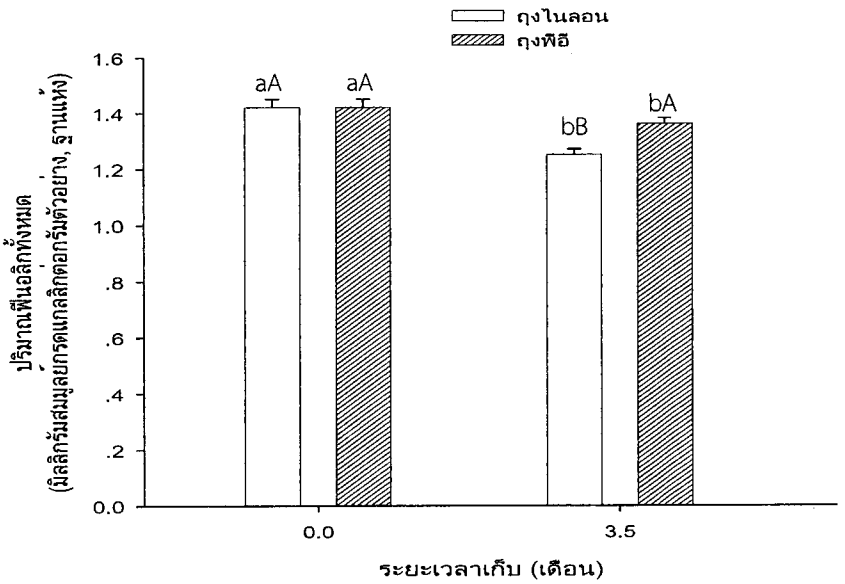


ภาพที่ 16 การเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นของชิ้นส้มแขกอบแห้งจากระยะที่ผลมีสีเหลืองที่แช่และไม่แช่สารละลาย 0.5% $CaCl_2$ เก็บที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ในถุง Nylon และถุง PE

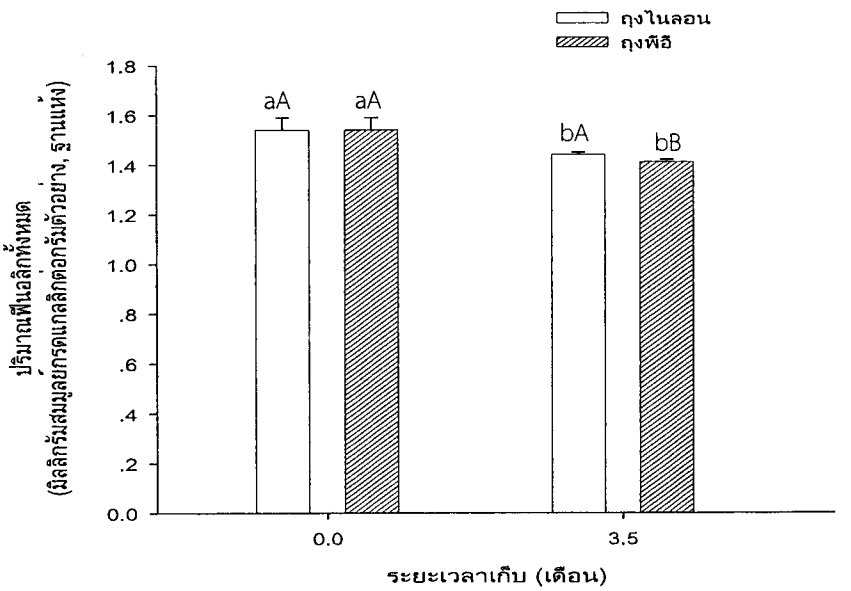
เมื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของชิ้นส้มแขกอบแห้งจากระยะที่ผลมีสีเขียว บรรจุในถุง Nylon และ PE เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 0 และ 3.5 เดือน ผลการทดลองพบว่า ชิ้นส้มแขกอบแห้งจากระยะที่ผลมีสีเขียวที่แช่สารละลาย 0.5% $CaCl_2$ เก็บรักษาในถุง Nylon และ PE เป็นระยะเวลา 3.5 เดือน มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดลดลง ($p<0.05$) จากเมื่อเริ่มเก็บรักษา เท่ากับ 11.97 และ 4.22% ตามลำดับ และยังพบว่าชิ้นส้มแขกที่เก็บรักษาในถุง PE มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดสูงกว่าชิ้นส้มแขกที่เก็บรักษาในถุง Nylon ($p<0.05$) ดังแสดงในภาพที่ 17 ส่วนชิ้นส้มแขกอบแห้งจากระยะที่ผลมีสีเขียวที่ไม่แช่สารละลาย 0.5% $CaCl_2$ เก็บรักษาในถุง Nylon และ PE เป็นระยะเวลา 3.5 เดือน มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดลดลง ($p<0.05$) จากเมื่อเริ่มเก็บรักษา เท่ากับ 6.94 และ 8.44% ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 18 และยังพบว่าชิ้นส้มแขกที่เก็บรักษาในถุง Nylon มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดสูงกว่าชิ้นส้มแขกที่เก็บรักษาในถุง PE ($p<0.05$)

เมื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของชิ้นส้มแขกอบแห้งจากระยะที่ผลมีสีเหลือง บรรจุในถุง Nylon และ PE เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 0 และ 3.5 เดือน ผลการทดลองพบว่า ชิ้นส้มแขกอบแห้งจากระยะที่ผลมีสีเหลืองที่แช่สารละลาย 0.5% $CaCl_2$ เก็บรักษาในถุง Nylon และ PE เป็นระยะเวลา 3.5 เดือน มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกลดลง ($p<0.05$) จากเมื่อเริ่มเก็บรักษา เท่ากับ 7.33 และ 2.67% ตามลำดับ และยังพบว่าชิ้นส้มแขกที่เก็บรักษาในถุง PE มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดสูงกว่าชิ้นส้มแขกที่เก็บรักษาในถุง Nylon ($p<0.05$) ดังแสดงในภาพที่ 19 ส่วนชิ้นส้มแขกอบแห้งจากระยะที่ผลมีสีเหลืองที่ไม่แช่สารละลาย 0.5% $CaCl_2$ เก็บรักษาในถุง Nylon และ PE เป็นระยะเวลา 3.5 เดือน มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดลดลง ($p<0.05$) จากเมื่อเริ่มเก็บรักษา เท่ากับ 6.55 และ 13.10% ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 20 และยังพบว่าชิ้นส้มแขกที่เก็บรักษาในถุง Nylon มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดสูงกว่าชิ้นส้มแขกที่เก็บรักษาในถุง PE ($p<0.05$)

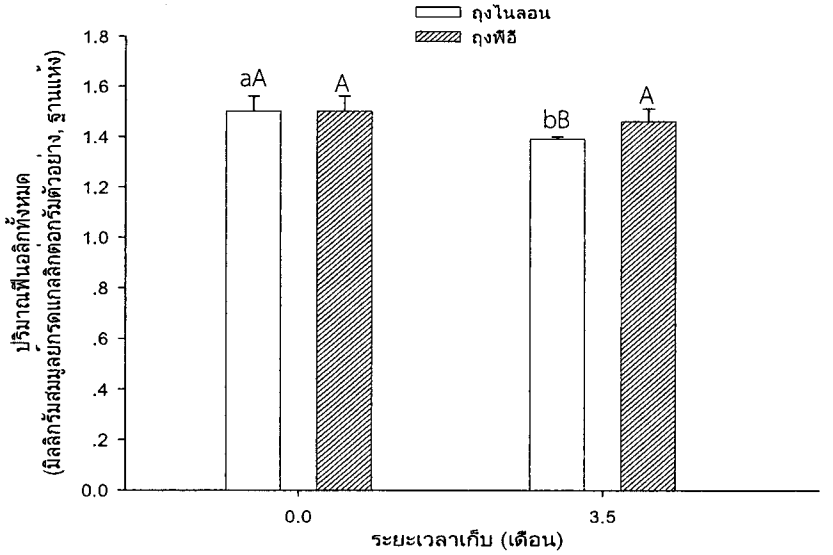
ดังจะเห็นได้ว่าระยะเวลาเก็บรักษาและชนิดของฟิล์มบรรจุภัณฑ์มีผลต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในชิ้นส้มแขกอบแห้ง โดยเมื่อระยะเวลาเก็บรักษานานขึ้นทำให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลลิกทั้งหมดลดลง ($p<0.05$) อาจเนื่องมาจากการเกิดออกซิเดชันของสารประกอบฟีนอลิกและเปลี่ยนแปลงเป็นสารประกอบอื่น นอกจากนี้สารประกอบฟีนอลิกสามารถเกิดการรวมตัวกับโมเลกุลอื่นๆ เช่น โปรตีน พอลิแซ็กคาไรด์ อัลคาลอยด์ได้เป็นผลทำให้สารประกอบฟีนอลิกมีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างไป (วิวัฒน์ หวังเจริญ, 2545) อย่างไรก็ตามการสลายตัวของสารประกอบฟีนอลิกมีปัจจัยหลักเนื่องมาจากอุณหภูมิในการเก็บรักษา ค่าพีเอช ออกซิเจน และแสง (Udomkun *et al.*, 2016) Sablani (2006) รายงานว่า ปริมาณความชื้นที่เพิ่มขึ้นไปมีผลต่อการเร่งการสลายตัวของสารประกอบฟีนอลิก เช่นเดียวกับ Udomkun และคณะ (2016) ที่พบว่า ชิ้นมะละกออบแห้งมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดลดลงในระหว่างเก็บรักษาซึ่งมีความสัมพันธ์กับปริมาณความชื้นที่เพิ่มขึ้น ($R^2>0.95$) นอกจากนี้ยังพบว่า ฟิล์มบรรจุภัณฑ์ชนิด aluminum laminated polyethylene ที่มีสมบัติการซึมผ่านของแก๊สออกซิเจนและไอน้ำที่ต่ำกว่าฟิล์มบรรจุภัณฑ์ชนิด polyamide/polyethylene จึงสามารถชะลอการสลายตัวของสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในชิ้นมะละกออบแห้งได้ดีกว่า



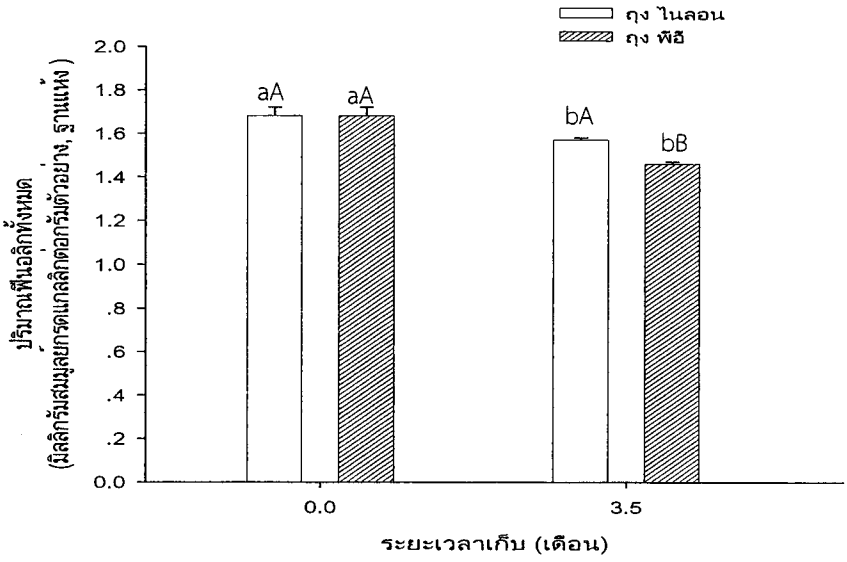
ภาพที่ 17 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของชิ้นส้มแขกอบแห้งจากระยะที่ผลมีสีเขียว แช่สารละลาย 0.5% $CaCl_2$ เก็บที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส [(1) ค่าเฉลี่ย n=6; (2) ตัวอักษรพิมพ์เล็กที่กำกับในชนิดบรรจุภัณฑ์เดียวกันแตกต่างกันคือค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ [$p<0.05$]; (3) ตัวอักษรพิมพ์ใหญ่ที่กำกับในระยะเวลาเก็บเดียวกัน แต่ละคุณลักษณะแตกต่างกันคือค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)]



ภาพที่ 18 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของชิ้นส้มแขกอบแห้งจากระยะที่ผลมีสีเขียว ไม่แช่สารละลาย 0.5% $CaCl_2$ เก็บที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส [(1) ค่าเฉลี่ย n=6; (2) ตัวอักษรพิมพ์เล็กที่กำกับในชนิดบรรจุภัณฑ์เดียวกันแตกต่างกันคือค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ [$p<0.05$]; (3) ตัวอักษรพิมพ์ใหญ่ที่กำกับในระยะเวลาเก็บเดียวกัน แต่ละคุณลักษณะแตกต่างกันคือค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)]



ภาพที่ 19 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของชิ้นส้มแขกอบแห้งจากระยะที่ผลมีสีเหลือง แช่สารละลาย 0.5% $CaCl_2$ เก็บที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส [(1) ค่าเฉลี่ย n=6 ; (2) ตัวอักษรพิมพ์เล็กที่กำกับในชนิดบรรจุภัณฑ์เดียวกันแตกต่างกันคือค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ [p<0.05]; (3) ตัวอักษรพิมพ์ใหญ่ที่กำกับในระยะเวลาเก็บเดียวกัน แต่ละคุณลักษณะแตกต่างกันคือค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)]

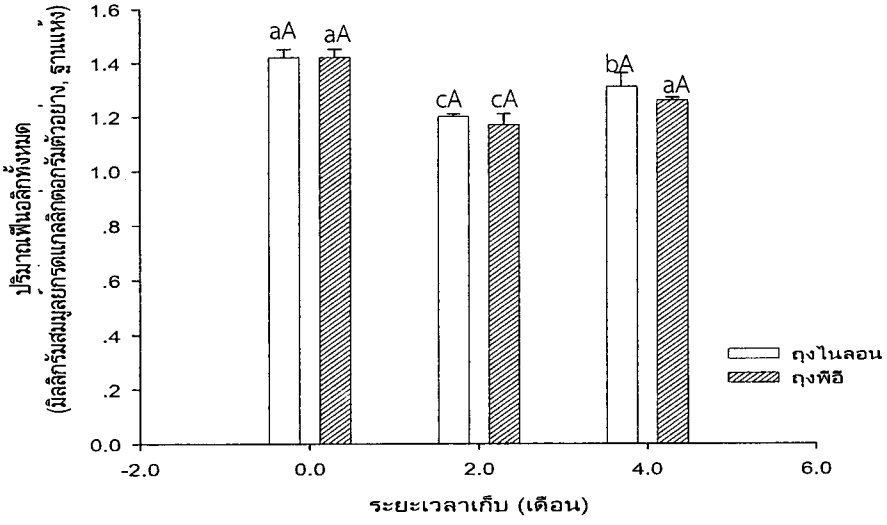


ภาพที่ 20 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของชิ้นส้มแขกอบแห้งจากระยะที่ผลมีสีเหลือง ไม่แช่สารละลาย 0.5% $CaCl_2$ เก็บที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส [(1) ค่าเฉลี่ย n=6 ; (2) ตัวอักษรพิมพ์เล็กที่กำกับในชนิดบรรจุภัณฑ์เดียวกันแตกต่างกันคือค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ [p<0.05]; (3) ตัวอักษรพิมพ์ใหญ่ที่กำกับในระยะเวลาเก็บเดียวกัน แต่ละคุณลักษณะแตกต่างกันคือค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)]

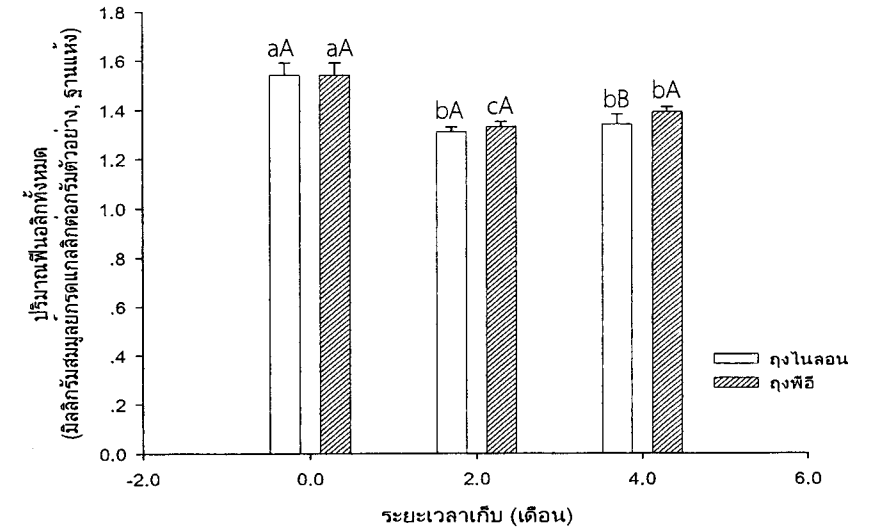
เมื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของชิ้นส้มแขกอบแห้งจากระยะที่ผลมีสีเขียว บรรจุในถุง Nylon และ PE เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 0, 2 และ 4 เดือน ผลการทดลองพบว่า ชิ้นส้มแขกอบแห้งจากระยะที่ผลมีสีเขียวที่แช่สารละลาย 0.5% $CaCl_2$ เก็บรักษาในถุง Nylon และ PE เป็นระยะเวลา 4 เดือน มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดลดลง ($p<0.05$) จากเมื่อเริ่มเก็บรักษา เท่ากับ 7.75 และ 11.27% ตามลำดับ ทั้งนี้ชิ้นส้มแขกที่เก็บรักษาในถุง PE มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับชิ้นส้มแขกที่เก็บรักษาในถุง Nylon ดังแสดงในภาพที่ 21 ชิ้นส้มแขกอบแห้งจากระยะที่ผลมีสีเขียวที่ไม่แช่สารละลาย 0.5% $CaCl_2$ เก็บรักษาในถุง Nylon และ PE เป็นระยะเวลา 4 เดือน มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดลดลง ($p<0.05$) จากเมื่อเริ่มเก็บรักษา เท่ากับ 12.99% และ 9.74% ตามลำดับ และยังพบว่าชิ้นส้มแขกที่เก็บรักษาในถุง PE มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดสูงกว่าชิ้นส้มแขกที่เก็บรักษาในถุง Nylon ($p<0.05$) ดังแสดงในภาพที่ 22

เมื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของชิ้นส้มแขกอบแห้งจากระยะที่ผลมีระยะสีเหลือง บรรจุในถุง Nylon และ PE เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 0, 2 และ 4 เดือน ผลการทดลองพบว่า ชิ้นส้มแขกอบแห้งจากระยะที่ผลมีสีเหลืองที่แช่สารละลาย 0.5% $CaCl_2$ เก็บรักษาในถุง Nylon และ PE เป็นระยะเวลา 4 เดือน มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดลดลง ($p<0.05$) จากเมื่อเริ่มเก็บรักษา เท่ากับ 10.67 และ 14.00% ตามลำดับ และยังพบว่าชิ้นส้มแขกที่เก็บรักษาในถุง Nylon มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดสูงกว่าชิ้นส้มแขกที่เก็บรักษาในถุง PE ($p<0.05$) ดังแสดงในภาพที่ 23 ชิ้นส้มแขกอบแห้งจากระยะที่ผลมีสีเหลืองที่ไม่แช่สารละลาย 0.5% $CaCl_2$ เก็บรักษาในถุง Nylon และ PE เป็นระยะเวลา 4 เดือน มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดลดลง ($p<0.05$) จากเมื่อเริ่มเก็บรักษา เท่ากับ 7.73 และ 14.29% ตามลำดับ และยังพบว่าชิ้นส้มแขกที่เก็บรักษาในถุง Nylon มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดสูงกว่าชิ้นส้มแขกที่เก็บรักษาในถุง PE ($p<0.05$) ดังแสดงในภาพที่ 24

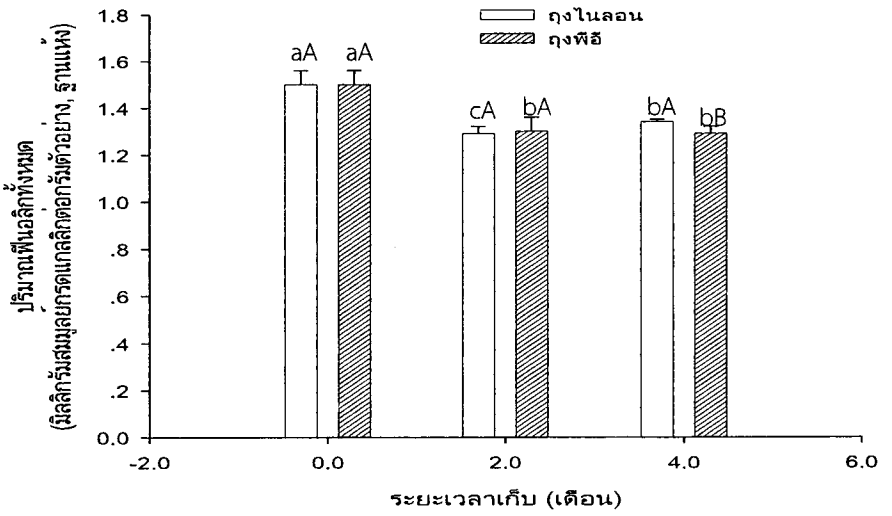
ดังจะเห็นได้ว่าระยะเวลาเก็บรักษาและชนิดของฟิล์มบรรจุภัณฑ์มีผลต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในชิ้นส้มแขกอบแห้ง โดยเมื่อระยะเวลาเก็บรักษานานขึ้นทำให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลลิกทั้งหมดลดลง ($p<0.05$) อาจเนื่องมาจากการเกิดออกซิเดชันของสารประกอบฟีนอลิกและเปลี่ยนแปลงเป็นสารประกอบอื่น นอกจากนี้สารประกอบฟีนอลิกสามารถเกิดการรวมตัวกับโมเลกุลอื่นๆ เช่น โปรตีน พอลิแซ็กคาไรด์ อัลคาลอยด์ได้ เป็นผลทำให้สารประกอบฟีนอลิกมีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างไป (วิวัฒน์ หวังเจริญ, 2545) อย่างไรก็ตามการสลายตัวของสารประกอบฟีนอลิกมีปัจจัยหลักเนื่องมาจากอุณหภูมิในการเก็บรักษา ค่าพีเอช ออกซิเจน และแสง (Udomkun *et al.*, 2016)



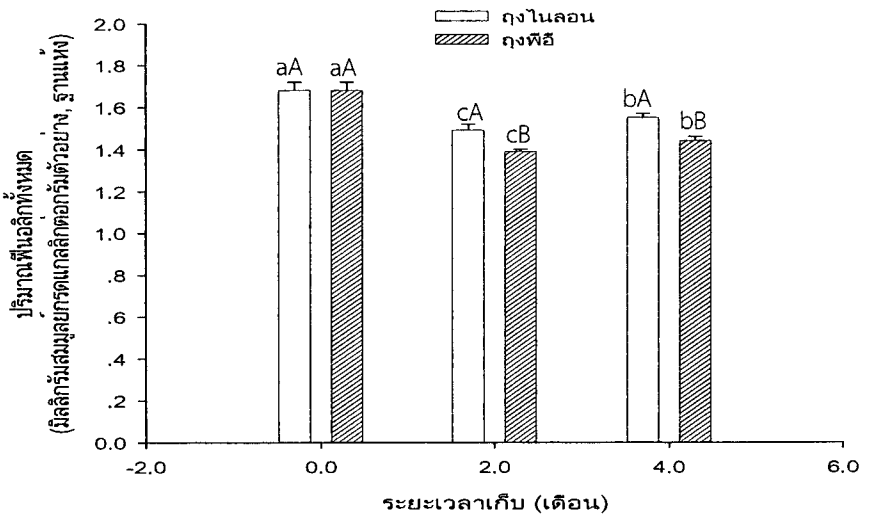
ภาพที่ 21 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของชิ้นส้มแขกอบแห้งจากระยะที่ผลมีสีเขียว แช่สารละลาย 0.5% $CaCl_2$ เก็บที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส [(1) ค่าเฉลี่ย n=6; (2) ตัวอักษรพิมพ์เล็กที่กำกับในชนิดบรรจุภัณฑ์เดียวกันแตกต่างกันคือค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ [$p<0.05$]; (3) ตัวอักษรพิมพ์ใหญ่ที่กำกับในระยะเวลาเก็บเดียวกัน แต่ละคุณลักษณะแตกต่างกันคือค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)]



ภาพที่ 22 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของชิ้นส้มแขกอบแห้งจากระยะที่ผลมีสีเขียว ไม่แช่สารละลาย 0.5% $CaCl_2$ เก็บที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส [(1) ค่าเฉลี่ย n=6; (2) ตัวอักษรพิมพ์เล็กที่กำกับในชนิดบรรจุภัณฑ์เดียวกันแตกต่างกันคือค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ [$p<0.05$]; (3) ตัวอักษรพิมพ์ใหญ่ที่กำกับในระยะเวลาเก็บเดียวกัน แต่ละคุณลักษณะแตกต่างกันคือค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)]



ภาพที่ 23 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของชิ้นส้มแขกอบแห้งจากระยะที่ผลมีสีเหลือง แช่สารละลาย 0.5% $CaCl_2$ เก็บที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส [(1) ค่าเฉลี่ย n=6; (2) ตัวอักษรพิมพ์เล็กที่กำกับในชนิดบรรจุภัณฑ์เดียวกันแตกต่างกันคือค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ [$p<0.05$]; (3) ตัวอักษรพิมพ์ใหญ่ที่กำกับในระยะเวลาเก็บเดียวกัน แต่ละคุณลักษณะแตกต่างกันคือค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)]



ภาพที่ 24 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของชิ้นส้มแขกอบแห้งจากระยะที่ผลมีสีเหลือง ไม่แช่สารละลาย 0.5% $CaCl_2$ เก็บที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส [(1) ค่าเฉลี่ย n=6; (2) ตัวอักษรพิมพ์เล็กที่กำกับในชนิดบรรจุภัณฑ์เดียวกันแตกต่างกันคือค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ [$p<0.05$]; (3) ตัวอักษรพิมพ์ใหญ่ที่กำกับในระยะเวลาเก็บเดียวกัน แต่ละคุณลักษณะแตกต่างกันคือค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)]

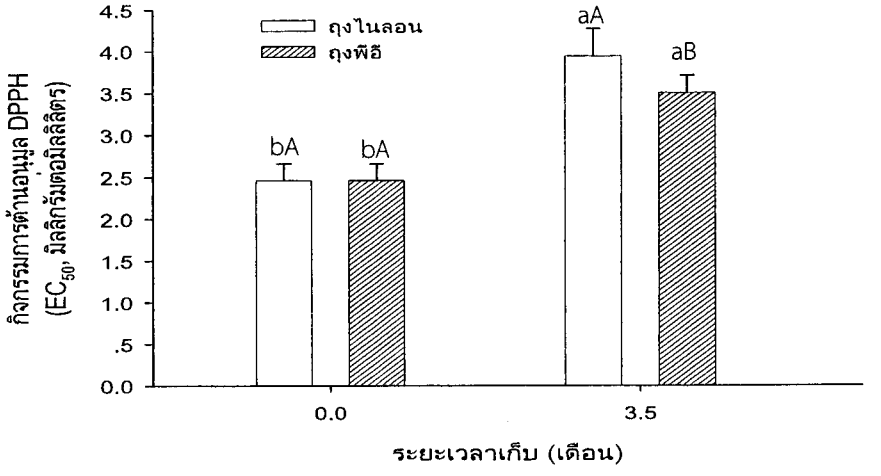
เมื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงกิจกรรมการต้านอนุมูล DPPH ของชิ้นส้มแขกอบแห้งจากระยะที่ผลมีสีเขียว บรรจุในถุง Nylon และ PE เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 0 และ 3.5 เดือน ผลการทดลองพบว่า EC_{50} ของชิ้นส้มแขกอบแห้งจากระยะที่ผลมีสีเขียวที่แช่สารละลาย 0.5% $CaCl_2$ เก็บรักษาในถุง Nylon และ PE เป็นระยะเวลา 3.5 เดือน มีค่าเพิ่มขึ้น ($p<0.05$) แสดงให้เห็นว่า มีกิจกรรมในการต้านอนุมูล DPPH ที่ลดลง ($p<0.05$) และยังพบว่าชิ้นส้มแขกอบแห้งที่เก็บรักษาในถุง PE มีกิจกรรมการต้านอนุมูล DPPH ที่สูงกว่าชิ้นส้มแขกอบแห้งที่เก็บรักษาในถุง Nylon ($p<0.05$) ดังแสดงในภาพที่ 25 ส่วนชิ้นส้มแขกอบแห้งจากระยะที่ผลมีสีเขียวที่ไม่แช่สารละลาย 0.5% $CaCl_2$ เก็บรักษาในถุง Nylon และ PE เป็นระยะเวลา 3.5 เดือน มีกิจกรรมการต้านอนุมูล DPPH ที่เพิ่มขึ้น ($p<0.05$) และยังพบว่าชิ้นส้มแขกอบแห้งที่เก็บรักษาในถุง Nylon มีกิจกรรมการต้านอนุมูล DPPH ที่สูงกว่าชิ้นส้มแขกอบแห้งที่เก็บรักษาในถุง PE ($p<0.05$) ดังแสดงในภาพที่ 26

เมื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงกิจกรรมการต้านอนุมูล DPPH ของชิ้นส้มแขกอบแห้งจากผลที่มีระยะสีเหลือง บรรจุในถุง Nylon และ PE เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 0 และ 3.5 เดือน ผลการทดลองพบว่า ค่า EC_{50} ของชิ้นส้มแขกอบแห้งจากระยะที่ผลมีสีเหลืองที่แช่สารละลาย 0.5% $CaCl_2$ เก็บรักษาในถุง Nylon เป็นระยะเวลา 3.5 เดือน มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น แต่มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในขณะที่ชิ้นส้มแขกที่เก็บรักษาในถุง PE มีค่า EC_{50} เพิ่มขึ้น ($p<0.05$) แสดงให้เห็นว่า มีกิจกรรมในการต้านอนุมูล DPPH ที่ลดลง ($p<0.05$) ดังแสดงในภาพที่ 27 ส่วนชิ้นส้มแขกอบแห้งจากระยะที่ผลมีสีเหลืองที่ไม่แช่สารละลาย 0.5% $CaCl_2$ เก็บรักษาในถุง Nylon และ PE เป็นระยะเวลา 3.5 เดือน มีกิจกรรมการต้านอนุมูล DPPH ที่เพิ่มขึ้น ($p<0.05$) และยังพบว่าชิ้นส้มแขกอบแห้งที่เก็บรักษาในถุง Nylon มีกิจกรรมการต้านอนุมูล DPPH ที่สูงกว่าชิ้นส้มแขกอบแห้งที่เก็บรักษาในถุง PE ($p<0.05$) ดังแสดงในภาพที่ 28

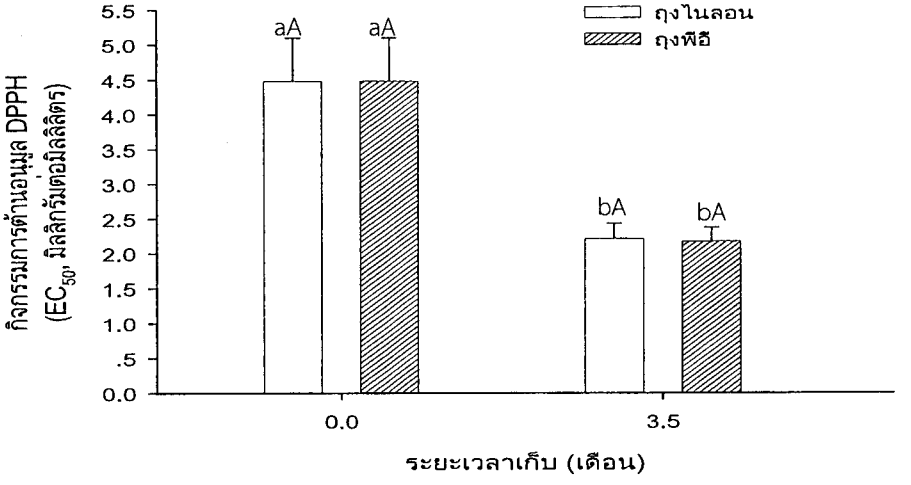
สารประกอบฟีนอลิกมีบทบาทสำคัญในเป็นสารต้านอนุมูลอิสระโดยการให้ไฮโดรเจนอะตอมหรืออิเล็คตรอนแก่อนุมูลอิสระทำให้อนุมูลอิสระมีความเสถียรมากขึ้น จึงมีรายงานวิจัยที่แสดงให้เห็นว่า ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกมีความสัมพันธ์ที่สูงและเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ (Udomkun *et al.*, 2016; Abdullah *et al.*, 2013; Stratil *et al.*, 2006; Huang *et al.*, 2005) อย่างไรก็ตามความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระยังขึ้นอยู่กับจำนวนหมู่ไฮดรอกซิลของสารประกอบฟีนอลิกอิสระและชนิดของพันธะระหว่างโครงสร้างโมโนเมอร์ (Murcia *et al.*, 2009) นอกจากนี้ยังมีรายงานว่าสารประกอบที่เกิดจากปฏิกิริยาเมลลาร์ด หรือ Maillard reaction product (MRP) ก็มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระเช่นกัน (Murcia *et al.*, 2009; Manzocco *et al.*, 2001) เป็นผลให้ปริมาณการเพิ่มขึ้นหรือลดลงของสารประกอบฟีนอลิกไม่จำเป็นต้องมีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกับกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ อย่างไรก็ตามไอออนที่มีประจุบวกสอง เช่น Ca^{2+} และ Mg^{2+} มีความสามารถในการจับ MRP (O'Brien and Morrissey, 1997) ซึ่งอาจมีผลต่อกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระได้ งานวิจัยนี้พบว่า ระยะเวลาเก็บรักษามีผลต่อกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระของชิ้นส้มแขกอบแห้ง โดยชิ้นส้มแขกอบแห้งจากระยะที่ผลมีสีเขียวและเหลืองที่แช่ในสารละลาย 0.5% $CaCl_2$ เก็บรักษาในถุง Nylon และ PE เป็นระยะเวลา 3.5 เดือน มีปริมาณ

สารประกอบฟีนอลิกลดลง ซึ่งสอดคล้องกับกิจกรรมการต้านอนุมูล DPPH ที่ลดลง ส่วน MRP ที่เกิดจากปฏิกิริยาเมลลาร์ดในระหว่างเก็บรักษาอาจถูกจับโดย Ca^{2+} ที่คงอยู่ในชิ้นส้มแขกอบแห้ง ในขณะที่ชุดการทดลองที่ไม่แช่สารละลาย 0.5% $CaCl_2$ เก็บรักษาในถุง Nylon และ PE เป็นระยะเวลา 3.5 เดือน มีกิจกรรมการต้านอนุมูล DPPH เพิ่มขึ้น อาจเป็นผลเนื่องมาจาก MRP ที่เกิดขึ้นในระหว่างการเก็บรักษา นอกจากนี้ยังพบว่า ชนิดของฟิล์มบรรจุภัณฑ์ที่ใช้เก็บรักษาชิ้นส้มแขกอบแห้งยังมีผลต่อกิจกรรมการต้านอนุมูล DPPH เช่นกัน

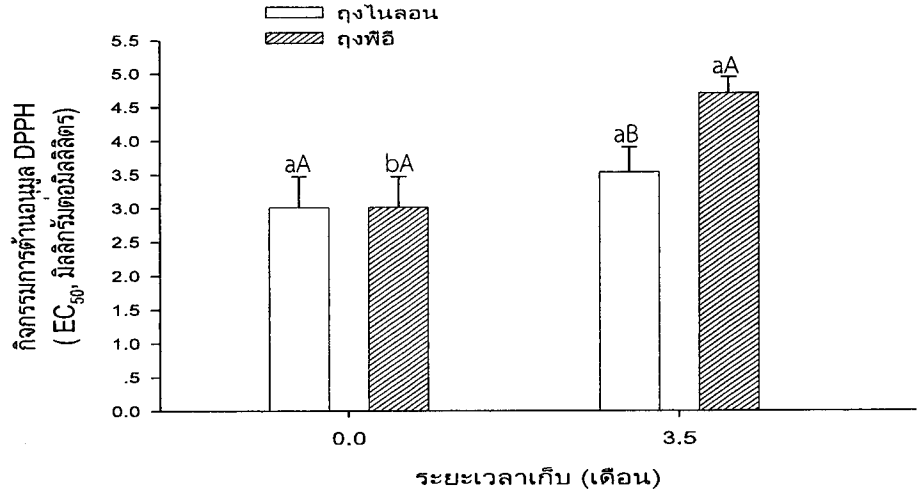
นอกจากนี้ปุ่น คงเจริญเกียรติ และสมพร คงเจริญเกียรติ (2541) รายงานว่าอาหารที่มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพอันเนื่องมาจากการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันและการดูดกลับความชื้นจากสภาพแวดล้อมของอาหารนั้น คุณสมบัติการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนและไอน้ำ (water vapor) จึงเป็นปัจจัยสำคัญกำหนดการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของอาหารที่บรรจุอยู่ในถุงนั้น Evergreen Packaging and Printing Co., Ltd. (2016) รายงานว่าฟิล์มพอลิแอไมด์ (หรือ Nylon) และ PE มีค่าการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจน (O_2 transmission rate) เท่ากับ 60 และ 4,000 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อตารางเมตรต่อวัน และค่าการซึมผ่านของไอน้ำ (water vapor transmission rate) เท่ากับ 300 และ 18 กรัมต่อตารางเมตรต่อวัน ตามลำดับ อย่างไรก็ดีในงานวิจัยนี้ถุงพอลิแอไมด์หรือถุง Nylon ที่ใช้เป็นชนิดเคลือบด้วยฟิล์ม LLDPE (Nylon/LLDPE) ดังนั้นค่าการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนและการซึมผ่านไอน้ำของถุงไนลอนที่ใช้ในงานวิจัยนี้จึงควรมีค่าที่ต่ำกว่าค่าดังกล่าวข้างต้นของฟิล์มพอลิแอไมด์ คุณสมบัติการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนและไอน้ำ มีบทบาทสำคัญต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของอาหารในระหว่างเก็บรักษา (ปุ่น คงเจริญเกียรติ และสมพร คงเจริญเกียรติ, 2541) ได้แก่ การออกซิเดชันของสารประกอบฟีนอลิก วิตามินซีหรือกรดแอสคอร์บิก วิตามินอีหรือแอลฟา-โทโคเฟอรอล และรงควัตถุฟลาโวนอยด์ ซึ่งสารเหล่านี้พบได้ในผลส้มแขก (Miean and Mohamed, 2001; Ching and Mohamed, 2001; Ikram *et al.*, 2009; Nursakinah *et al.*, 2012; Hamidon *et al.*, 2017) เช่นกัน ตลอดจนการดูดกลับความชื้นของอาหารแห้งที่ส่งผลโดยตรงต่อค่าแรงตัดที่วัดได้ซึ่งมีแนวโน้มลดลงเมื่อระยะเวลาการเก็บเพิ่มขึ้น (ปุ่น คงเจริญเกียรติ และสมพร คงเจริญเกียรติ, 2541)



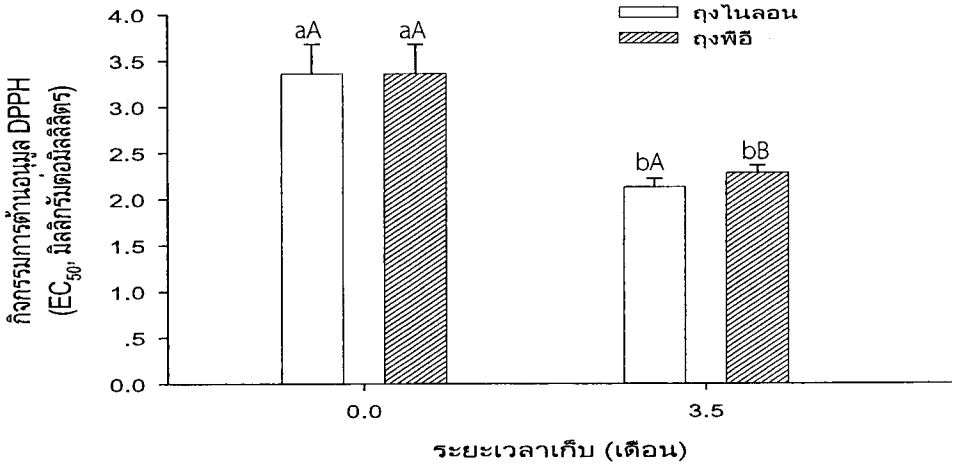
ภาพที่ 25 กิจกรรมการต้านอนุมูล DPPH ของชิ้นส้มแขกอบแห้งจากระยะที่ผลมีสีเขียว แช่สารละลาย 0.5% $CaCl_2$ เก็บที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส [(1) ค่าเฉลี่ย n=6; (2) ตัวอักษรพิมพ์เล็กที่กำกับในชนิดบรรจุภัณฑ์เดียวกันแตกต่างกันคือค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05); (3) ตัวอักษรพิมพ์ใหญ่ที่กำกับในระยะเวลาเก็บเดียวกัน แต่ละคุณลักษณะแตกต่างกันคือค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)]



ภาพที่ 26 กิจกรรมการต้านอนุมูล DPPH ของชิ้นส้มแขกอบแห้งจากระยะที่ผลมีสีเขียว ไม่แช่สารละลาย 0.5% $CaCl_2$ เก็บที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส (1) ค่าเฉลี่ย n=6; (2) ตัวอักษรพิมพ์เล็กที่กำกับในชนิดบรรจุภัณฑ์เดียวกันแตกต่างกันคือค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ [p<0.05]; (3) ตัวอักษรพิมพ์ใหญ่ที่กำกับในระยะเวลาเก็บเดียวกันแต่ละคุณลักษณะแตกต่างกันคือค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)]



ภาพที่ 27 กิจกรรมการต้านอนุมูล DPPH ของชิ้นส้มแขกอบแห้งจากระยะที่ผลมีสีเหลือง แช่สารละลาย 0.5% $CaCl_2$ เก็บที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส [(1) ค่าเฉลี่ย n=6; (2) ตัวอักษรพิมพ์เล็กที่กำกับในชนิดบรรจุภัณฑ์เดียวกันแตกต่างกันคือค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ [p<0.05]; (3) ตัวอักษรพิมพ์ใหญ่ที่กำกับในระยะเวลาเก็บเดียวกัน แต่ละคุณลักษณะแตกต่างกันคือค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)]

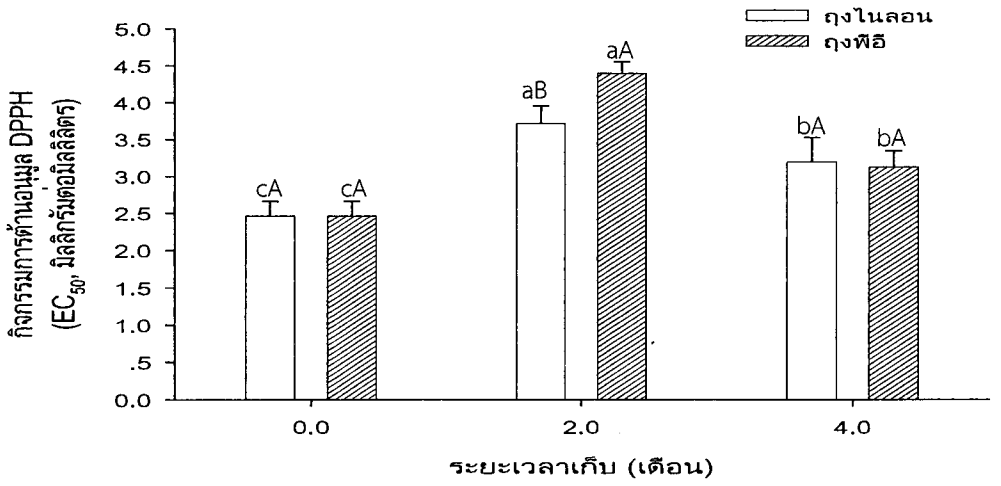


ภาพที่ 28 กิจกรรมการต้านอนุมูล DPPH ของชิ้นส้มแขกอบแห้งจากระยะที่ผลมีสีเหลือง ไม่แช่สารละลาย 0.5% $CaCl_2$ เก็บที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส [(1) ค่าเฉลี่ย n=6; (2) ตัวอักษรพิมพ์เล็กที่กำกับในชนิดบรรจุภัณฑ์เดียวกันแตกต่างกันคือค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ [p<0.05]; (3) ตัวอักษรพิมพ์ใหญ่ที่กำกับในระยะเวลาเก็บเดียวกัน แต่ละคุณลักษณะแตกต่างกันคือค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)]

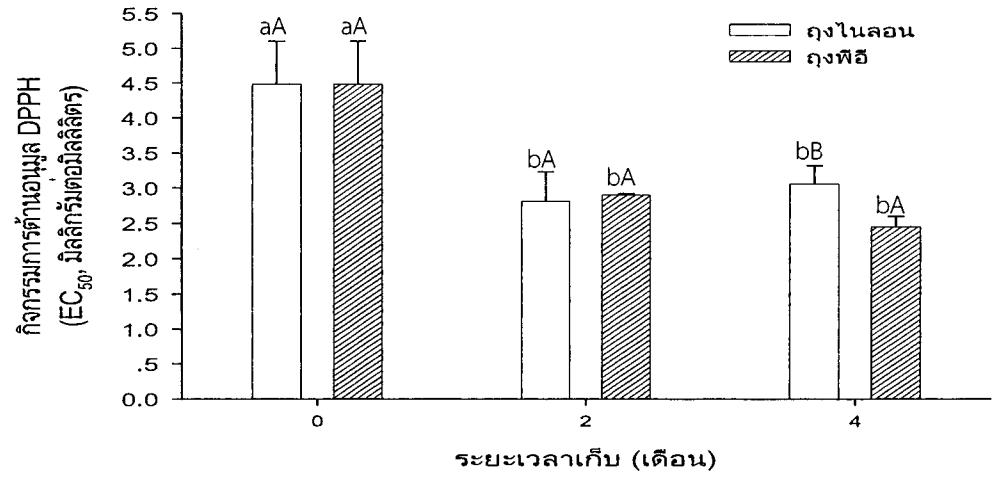
เมื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงกิจกรรมการต้านอนุมูล DPPH ของชิ้นส้มแขกอบแห้งจากระยะที่ผลมีสีเขียว บรรจุในถุง Nylon และ PE เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 0, 2 และ 4 เดือน ผลการทดลองพบว่า EC_{50} ของชิ้นส้มแขกอบแห้งจากระยะที่ผลมีสีเขียวที่แช่สารละลาย 0.5% $CaCl_2$ เก็บรักษาในถุง Nylon และ PE เป็นระยะเวลา 4 เดือน มีค่าเพิ่มขึ้น ($p<0.05$) แสดงให้เห็นว่า มีกิจกรรมในการต้านอนุมูล DPPH ที่ลดลง ($p<0.05$) และยังพบว่าชิ้นส้มแขกอบแห้งที่เก็บรักษาในถุง Nylon และ PE มีกิจกรรมการต้านอนุมูล DPPH ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังแสดงในภาพที่ 29 ส่วนชิ้นส้มแขกอบแห้งจากระยะที่ผลมีสีเขียวที่ไม่แช่สารละลาย 0.5% $CaCl_2$ เก็บรักษาในถุง Nylon และ PE เป็นระยะเวลา 4 เดือน มีกิจกรรมการต้านอนุมูล DPPH ที่เพิ่มขึ้น ($p<0.05$) และยังพบว่าชิ้นส้มแขกอบแห้งที่เก็บรักษาในถุง PE มีกิจกรรมการต้านอนุมูล DPPH ที่สูงกว่าชิ้นส้มแขกอบแห้งที่เก็บรักษาในถุง Nylon ($p<0.05$) ดังแสดงในภาพที่ 30

เมื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงกิจกรรมการต้านอนุมูล DPPH ของชิ้นส้มแขกอบแห้งจากระยะที่ผลมีสีเหลือง บรรจุในถุง Nylon และ PE เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 0, 2 และ 4 เดือน ผลการทดลองพบว่า EC_{50} ของชิ้นส้มแขกอบแห้งจากระยะที่ผลมีสีเหลืองที่แช่สารละลาย 0.5% $CaCl_2$ เก็บรักษาในถุง Nylon และ PE เป็นระยะเวลา 4 เดือน มีค่าเพิ่มขึ้น ($p<0.05$) แสดงให้เห็นว่า มีกิจกรรมในการต้านอนุมูล DPPH ที่ลดลง ($p<0.05$) และยังพบว่าชิ้นส้มแขกอบแห้งที่เก็บรักษาในถุง Nylon และ PE มีกิจกรรมการต้านอนุมูล DPPH ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังแสดงในภาพที่ 31 ส่วนชิ้นส้มแขกอบแห้งจากระยะที่ผลมีสีเหลืองที่ไม่แช่สารละลาย 0.5% $CaCl_2$ เก็บรักษาในถุง Nylon และ PE เป็นระยะเวลา 4 เดือน มีกิจกรรมการต้านอนุมูล DPPH ที่เพิ่มขึ้น ($p<0.05$) และยังพบว่าชิ้นส้มแขกอบแห้งที่เก็บรักษาในถุง Nylon มีกิจกรรมการต้านอนุมูล DPPH ที่สูงกว่าชิ้นส้มแขกอบแห้งที่เก็บรักษาในถุง PE ($p<0.05$) ดังแสดงในภาพที่ 32

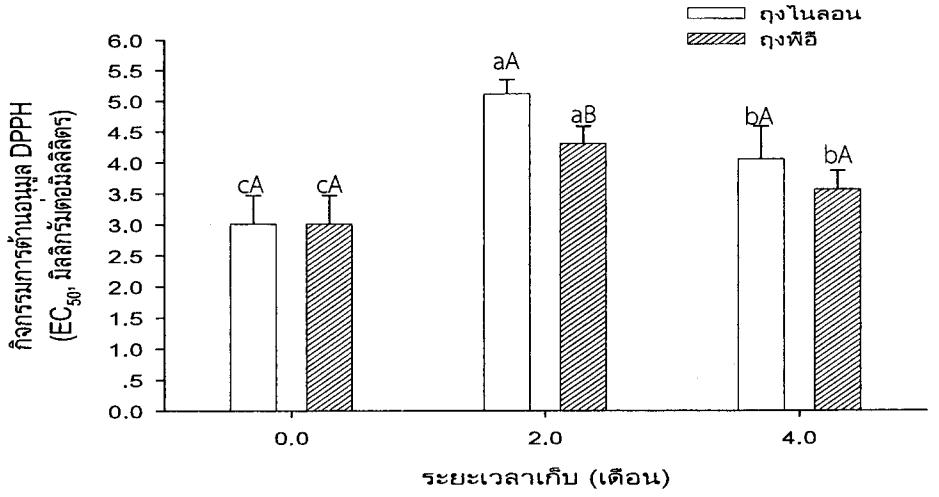
งานวิจัยนี้พบว่า ระยะเวลาเก็บรักษามีผลต่อกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระของชิ้นส้มแขกอบแห้ง โดยชิ้นส้มแขกอบแห้งจากระยะที่ผลมีสีเขียวและสีเหลืองที่แช่ในสารละลาย 0.5% $CaCl_2$ เก็บรักษาในถุง Nylon และ PE เป็นระยะเวลา 4 เดือน มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกลดลง ซึ่งสอดคล้องกับกิจกรรมการต้านอนุมูล DPPH ที่ลดลง ส่วน MRP ที่เกิดจากปฏิกิริยาเมลลาร์ดในระหว่างเก็บรักษาอาจถูกจับโดย Ca^{2+} ที่คงอยู่ในชิ้นส้มแขกอบแห้ง ในขณะที่ชุดการทดลองที่ไม่แช่สารละลาย 0.5% $CaCl_2$ เก็บรักษาในถุง Nylon และ PE เป็นระยะเวลา 4 เดือน มีกิจกรรมการต้านอนุมูล DPPH เพิ่มขึ้น อาจเป็นผลเนื่องมาจาก MRP ที่เกิดขึ้นในระหว่างการเก็บรักษา นอกจากนี้ยังพบว่า ชนิดของฟิล์มบรรจุภัณฑ์ที่ใช้เก็บรักษาชิ้นส้มแขกอบแห้งยังมีผลต่อกิจกรรมการต้านอนุมูล DPPH เช่นกัน



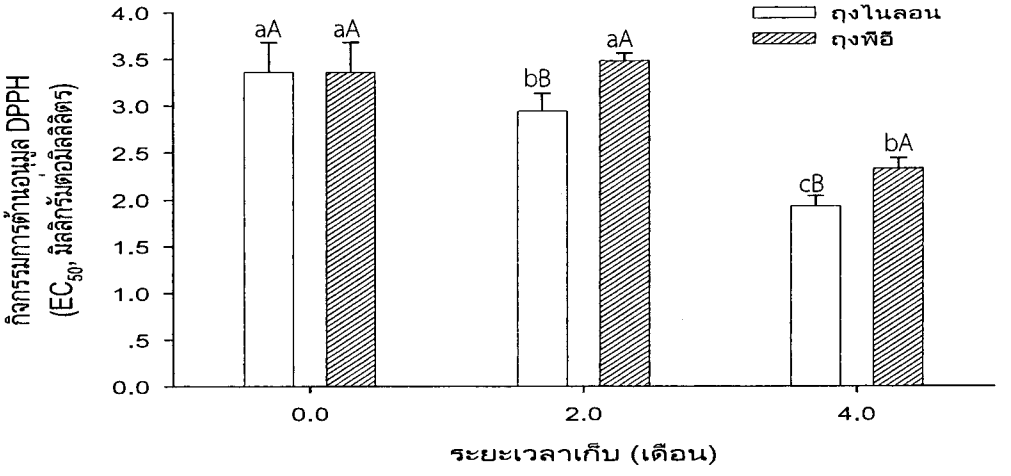
ภาพที่ 29 กิจกรรมการต้านอนุมูล DPPH ของชิ้นส้มแขกอบแห้งจากระยะที่ผลมีสีเขียว แช่สารละลาย 0.5% $CaCl_2$ เก็บที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส [(1) ค่าเฉลี่ย n=6; (2) ตัวอักษรพิมพ์เล็กที่กำกับในชนิดบรรจุภัณฑ์เดียวกันแตกต่างกันคือค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ [p<0.05]; (3) ตัวอักษรพิมพ์ใหญ่ที่กำกับในระยะเวลาเก็บเดียวกัน แต่ละคุณลักษณะแตกต่างกันคือค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)]



ภาพที่ 30 กิจกรรมการต้านอนุมูล DPPH ของชิ้นส้มแขกอบแห้งจากระยะที่ผลมีสีเขียว ที่ไม่แช่สารละลาย 0.5% $CaCl_2$ เก็บที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส [(1) ค่าเฉลี่ย n=6; (2) ตัว อักษรพิมพ์เล็กที่กำกับในชนิดบรรจุภัณฑ์เดียวกันแตกต่างกันคือค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ [p<0.05]; (3) ตัวอักษรพิมพ์ใหญ่ที่กำกับในระยะเวลาเก็บเดียวกัน แต่ละคุณลักษณะแตกต่างกันคือค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)]



ภาพที่ 31 กิจกรรมการต้านอนุมูล DPPH ของชิ้นส้มแขกอบแห้งจากระยะที่ผลมีสีเหลือง แช่สารละลาย 0.5% $CaCl_2$ เก็บที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส [(1) ค่าเฉลี่ย n=6; (2) ตัวอักษรพิมพ์เล็กที่กำกับในชนิดบรรจุภัณฑ์เดียวกันแตกต่างกันคือค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ [p<0.05]; (3) ตัวอักษรพิมพ์ใหญ่ที่กำกับในระยะเวลาเก็บเดียวกัน แต่ละคุณลักษณะแตกต่างกันคือค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)]

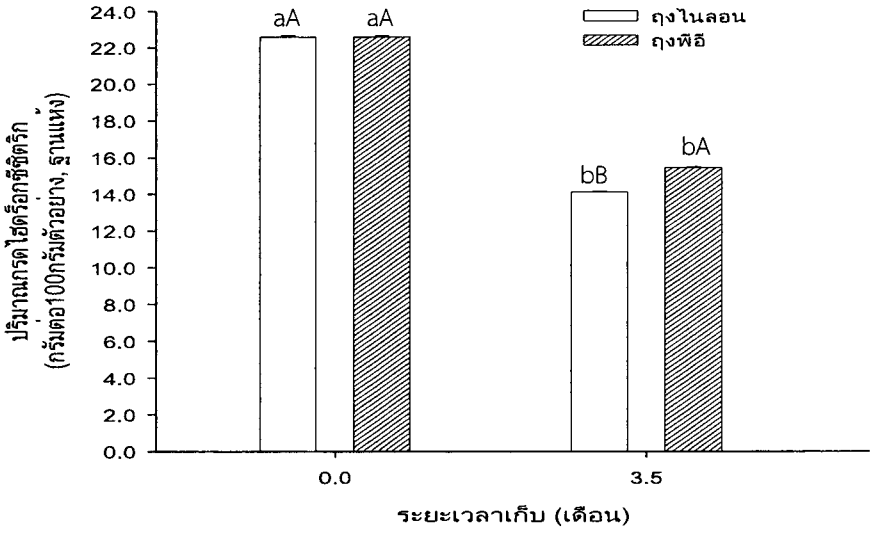


ภาพที่ 32 กิจกรรมการต้านอนุมูล DPPH ของชิ้นส้มแขกอบแห้งจากระยะที่ผลมีสีเหลือง ไม่แช่สารละลาย 0.5% $CaCl_2$ เก็บที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส [(1) ค่าเฉลี่ย n=6; (2) ตัวอักษรพิมพ์เล็กที่กำกับในชนิดบรรจุภัณฑ์เดียวกันแตกต่างกันคือค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ [p<0.05]; (3) ตัวอักษรพิมพ์ใหญ่ที่กำกับในระยะเวลาเก็บเดียวกัน แต่ละคุณลักษณะแตกต่างกันคือค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)]

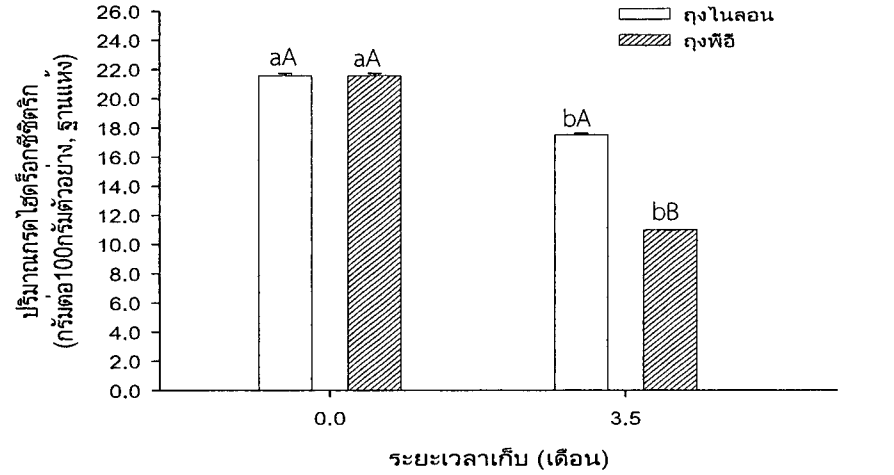
เมื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณกรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริก ของชิ้นส้มแขกอบแห้งจากระยะที่ผลมีสีเขียว บรรจุในถุง Nylon และ PE เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 0 และ 3.5 เดือน ผลการทดลองพบว่า ปริมาณกรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริกของชิ้นส้มแขกอบแห้งจากระยะที่ผลมีสีเขียวที่แช่สารละลาย 0.5% $CaCl_2$ เก็บรักษาในถุง Nylon และ PE เป็นระยะเวลา 3.5 เดือน มีค่าลดลง ($p<0.05$) สอดคล้องกับค่ากิจกรรมในการต้านอนุมูล DPPH ที่ลดลง และยังพบว่าชิ้นส้มแขกอบแห้งที่เก็บรักษาในถุง Nylon และ PE มี ปริมาณกรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริก แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในระยะ 3.5 เดือน ดังแสดงในภาพที่ 33 ส่วนชิ้นส้มแขกอบแห้งจากระยะที่ผลมีสีเขียวที่ไม่แช่สารละลาย 0.5% $CaCl_2$ เก็บรักษาในถุง Nylon และ PE เป็นระยะเวลา 3.5 เดือน มีปริมาณกรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริก ที่ลดลง ($p<0.05$) และยังพบว่าชิ้นส้มแขกอบแห้งที่เก็บรักษาในถุง PE มีปริมาณกรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริก ที่สูงกว่าชิ้นส้มแขกอบแห้งที่เก็บรักษาในถุง Nylon ($p<0.05$) ดังแสดงในภาพที่ 34

เมื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณกรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริกของชิ้นส้มแขกอบแห้งจากระยะที่ผลมีสีเหลือง บรรจุในถุง Nylon และ PE เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 0 และ 3.5 เดือน ผลการทดลองพบว่าปริมาณกรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริก ของชิ้นส้มแขกอบแห้งจากระยะที่ผลมีสีเหลืองที่แช่สารละลาย 0.5% $CaCl_2$ เก็บรักษาในถุง Nylon และ PE เป็นระยะเวลา 3.5 เดือน มีค่าเพิ่มขึ้น ($p<0.05$) และยังพบว่าชิ้นส้มแขกอบแห้งที่เก็บรักษาในถุง Nylon และ PE มีปริมาณกรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริกที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยชิ้นส้มแขกอบแห้งที่เก็บรักษาในถุง PE มีปริมาณกรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริก ที่สูงกว่า ($p<0.05$) ชิ้นส้มแขกอบแห้งที่เก็บรักษาในถุง Nylon ($p<0.05$) ดังแสดงในภาพที่ 35 ส่วนชิ้นส้มแขกอบแห้งจากระยะที่ผลมีสีเหลืองที่ไม่แช่สารละลาย 0.5% $CaCl_2$ เก็บรักษาในถุง Nylon และ PE เป็นระยะเวลา 3.5 เดือน มีปริมาณกรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริกที่ลดลง ($p<0.05$) และยังพบว่าชิ้นส้มแขกอบแห้งที่เก็บรักษาในถุง Nylon มีปริมาณกรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริก ที่สูงกว่าชิ้นส้มแขกอบแห้งที่เก็บรักษาในถุง PE ($p<0.05$) ดังแสดงในภาพที่ 36

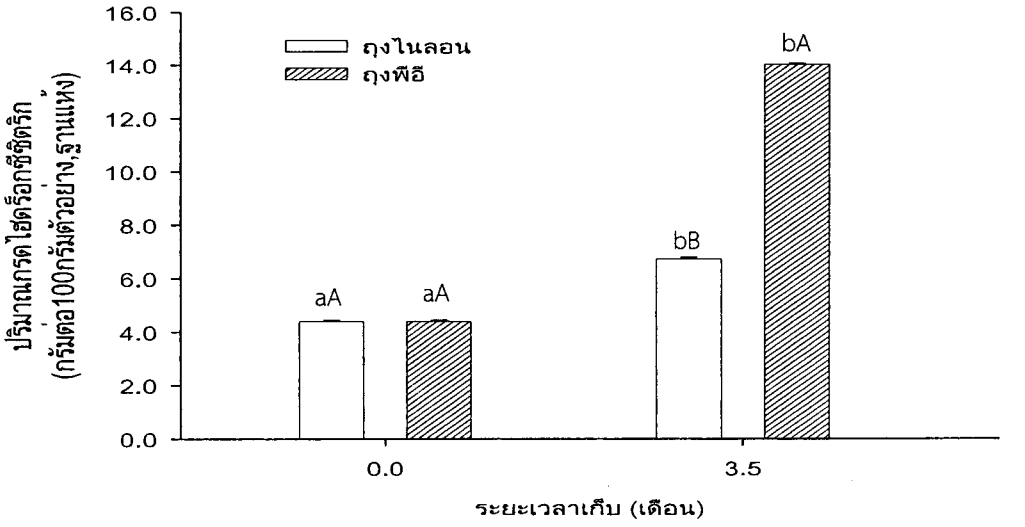
งานวิจัยนี้พบว่า ระยะเวลาเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส มีผลต่อปริมาณกรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริกชิ้นส้มแขกอบแห้ง โดยชิ้นส้มแขกอบแห้งจากระยะที่ผลมีสีเขียวและเหลืองที่แช่และไม่แช่ในสารละลาย 0.5% $CaCl_2$ เก็บรักษาในถุง Nylon และ PE เป็นระยะเวลา 3.5 เดือน ปริมาณปริมาณกรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริกมีแนวโน้มลดลง ซึ่งสอดคล้องกับกิจกรรมการต้านอนุมูล DPPH ที่ลดลง ยกเว้นชิ้นส้มแขกแห้งจากระยะผลสีเหลืองที่แช่ในสารละลาย 0.5% $CaCl_2$ ที่มีปริมาณเพิ่มขึ้นเมื่อเก็บรักษาในถุง Nylon และ PE เป็นระยะเวลา 3.5 เดือน ทั้งนี้กรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริกยังมีความไวต่อการเกิดปฏิกิริยาแลคโตไนเซชั่น (lactonization) ได้เป็นกรด (-)-ไฮดร็อกซีซิตริกแลกโตนในระหว่างทำแห้งและกรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริกแลกโตนซึ่งมีฤทธิ์ทางชีวภาพที่ต่ำกว่ากรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริก การปรับให้กรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริกอยู่ในรูปของเกลือแคลเซียมจะช่วยทำให้กรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริกมีความคงตัว ลดการเกิดแลคโตไนเซชั่นได้ (Parthasarathi *et al.*, 2013; Muensritharam *et al.*, 2008; Jena *et al.*, 2002) และ Rao และคณะ (2010) ยังรายงานว่าภายใต้สภาวะที่เป็นกรด (acidic condition) หรือใน aqueous medium กรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริกแลกโตนจะรักษาสมดุลของโครงสร้างโมเลกุลกับกรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริก ซึ่งอาจมีผลต่อปริมาณกรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริกได้



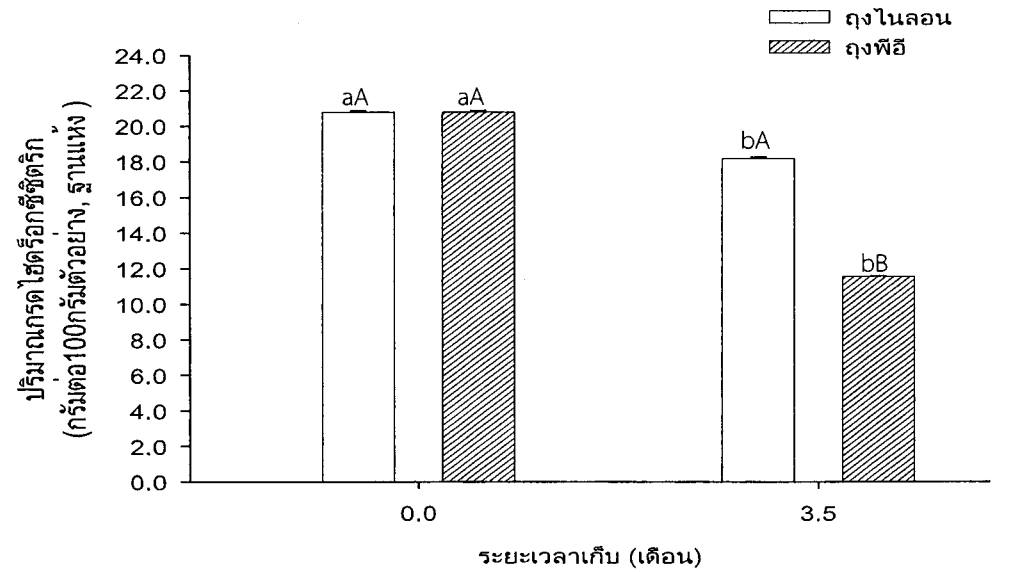
ภาพที่ 33 ปริมาณกรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริกของชิ้นส้มแขกอบแห้งจากระยะที่ผลมีสีเขียว แช่สารละลาย 0.5% $CaCl_2$ เก็บที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส [(1) ค่าเฉลี่ย n=6; (2) ตัวอักษรพิมพ์เล็กที่กำกับในชนิดบรรจุภัณฑ์เดียวกันแตกต่างกันคือค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ [$p<0.05$]; (3) ตัวอักษรพิมพ์ใหญ่ที่กำกับในระยะเวลาเก็บเดียวกัน แต่ละคุณลักษณะแตกต่างกันคือค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)]



ภาพที่ 34 ปริมาณกรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริกของชิ้นส้มแขกอบแห้งจากระยะที่ผลมีสีเขียว ไม่แช่สารละลาย 0.5% $CaCl_2$ เก็บที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส [(1) ค่าเฉลี่ย n=6; (2) ตัวอักษรพิมพ์เล็กที่กำกับในชนิดบรรจุภัณฑ์เดียวกันแตกต่างกันคือค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ [$p<0.05$]; (3) ตัวอักษรพิมพ์ใหญ่ที่กำกับในระยะเวลาเก็บเดียวกัน แต่ละคุณลักษณะแตกต่างกันคือค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)]



ภาพที่ 35 ปริมาณกรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริกของชิ้นส้มแขกอบแห้งจากระยะที่ผลมีสีเหลือง แช่สารละลาย 0.5% $CaCl_2$ เก็บที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส [(1) ค่าเฉลี่ย n=6; (2) ตัวอักษรพิมพ์เล็กที่กำกับในชนิดบรรจุภัณฑ์เดียวกันแตกต่างกันคือค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ [$p<0.05$]; (3) ตัวอักษรพิมพ์ใหญ่ที่กำกับในระยะเวลาเก็บเดียวกันแต่ละคุณลักษณะแตกต่างกันคือค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($p<0.05$)]

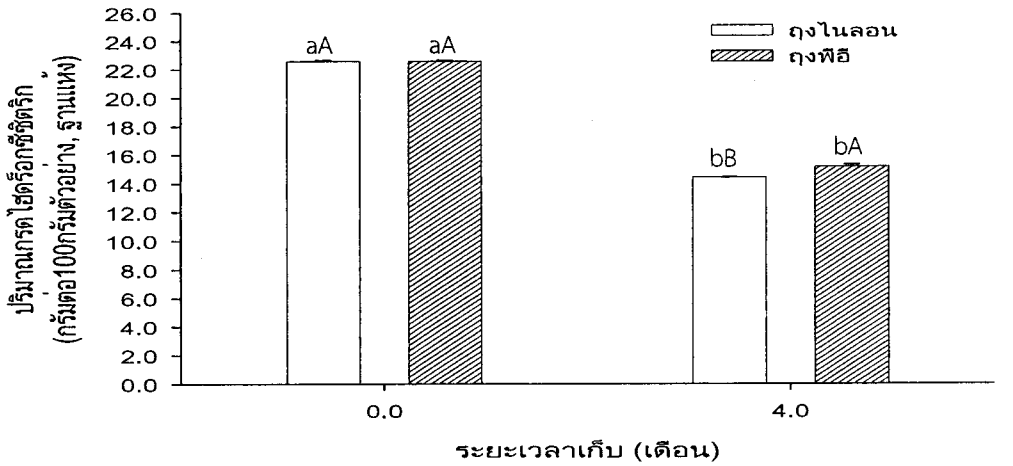


ภาพที่ 36 ปริมาณกรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริกของชิ้นส้มแขกอบแห้งจากระยะที่ผลมีสีเหลือง ไม่แช่สารละลาย 0.5% $CaCl_2$ เก็บที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส [(1) ค่าเฉลี่ย n=6; (2) ตัวอักษรพิมพ์เล็กที่กำกับในชนิดบรรจุภัณฑ์เดียวกันแตกต่างกันคือค่าเฉลี่ยมีความแตกต่าง กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ [$p<0.05$]; (3) ตัวอักษรพิมพ์ใหญ่ที่กำกับในระยะเวลาเก็บเดียวกัน แต่ละคุณลักษณะแตกต่างกันคือค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)]

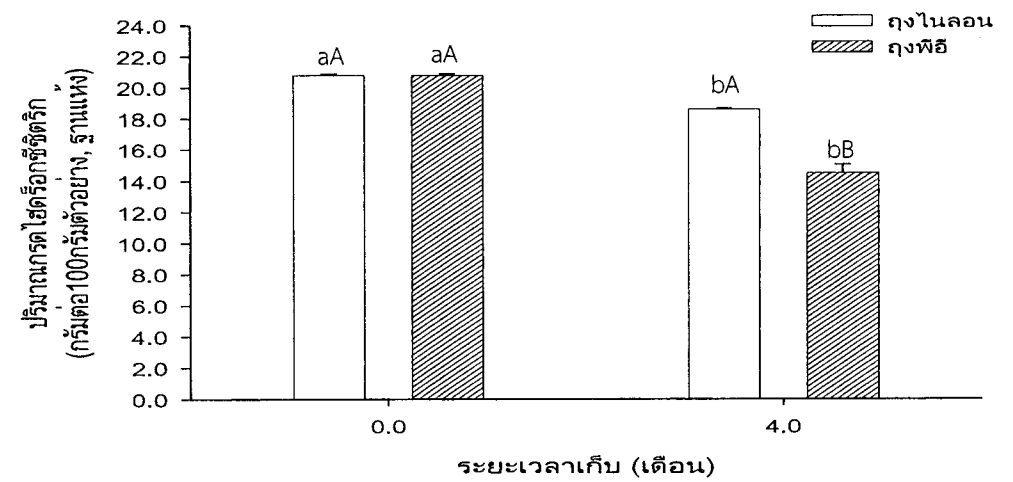
เมื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณกรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริก ของชิ้นส้มแขกอบแห้งจากระยะที่ผลมีสีเขียว บรรจุในถุง Nylon และ PE เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 0 และ 4 เดือน ผลการทดลองพบว่า ปริมาณกรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริกของชิ้นส้มแขกอบแห้งจากระยะที่ผลมีสีเขียวที่แช่สารละลาย 0.5% $CaCl_2$ เก็บรักษาในถุง Nylon และ PE เป็นระยะเวลา 4 เดือน มีค่าลดลง ($p<0.05$) สอดคล้องกับค่ากิจกรรมในการต้านอนุมูล DPPH ที่ลดลงเช่นกัน และยังพบว่าชิ้นส้มแขกอบแห้งที่เก็บรักษาในถุง Nylon และ PE มี ปริมาณกรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริก แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในระยะ 4 เดือน ดังแสดงในภาพที่ 37 ส่วนชิ้นส้มแขกอบแห้งจากระยะที่ผลมีสีเขียวที่ไม่แช่สารละลาย 0.5% $CaCl_2$ เก็บรักษาในถุง Nylon และ PE เป็นระยะเวลา 4 เดือน มีปริมาณกรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริก ที่ลดลง ($p<0.05$) และยังพบว่าชิ้นส้มแขกอบแห้งที่เก็บรักษาในถุง Nylon มีปริมาณกรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริก ที่สูงกว่าชิ้นส้มแขกอบแห้งที่เก็บรักษาในถุง PE ($p<0.05$) ดังแสดงในภาพที่ 38

เมื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณกรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริกของชิ้นส้มแขกอบแห้งจากระยะที่ผลมีสีเหลือง บรรจุในถุง Nylon และ PE เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 0 และ 4 เดือน ผลการทดลองพบว่าปริมาณกรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริก ของชิ้นส้มแขกอบแห้งจากระยะที่ผลมีสีเหลืองที่แช่สารละลาย 0.5% $CaCl_2$ เก็บรักษาในถุง Nylon และ PE เป็นระยะเวลา 4 เดือน มีค่าเพิ่มขึ้น ($p<0.05$) และยังพบว่าชิ้นส้มแขกอบแห้งที่เก็บรักษาในถุง Nylon และ PE มีปริมาณกรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริกที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยชิ้นส้มแขกอบแห้งที่เก็บรักษาในถุง PE มีปริมาณกรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริก ที่สูงกว่า ($p<0.05$) ชิ้นส้มแขกอบแห้งที่เก็บรักษาในถุง Nylon ($p<0.05$) ดังแสดงในภาพที่ 39 ส่วนชิ้นส้มแขกอบแห้งจากระยะที่ผลมีสีเหลืองที่ไม่แช่สารละลาย 0.5% $CaCl_2$ เก็บรักษาในถุง Nylon เป็นระยะเวลา 4 เดือน มีปริมาณกรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริกที่เพิ่มขึ้น ($p<0.05$) แต่เก็บรักษาในถุง PE เป็นระยะเวลา 4 เดือน มีปริมาณกรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริกที่เพิ่มขึ้นแต่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ และยังพบว่าชิ้นส้มแขกอบแห้งจากระยะที่ผลมีสีเหลืองที่ไม่แช่สารละลาย 0.5% $CaCl_2$ ที่เก็บรักษาในถุง Nylon มีปริมาณกรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริกที่สูงกว่าชิ้นส้มแขกอบแห้งที่เก็บรักษาในถุง PE ($p<0.05$) ดังแสดงในภาพที่ 40

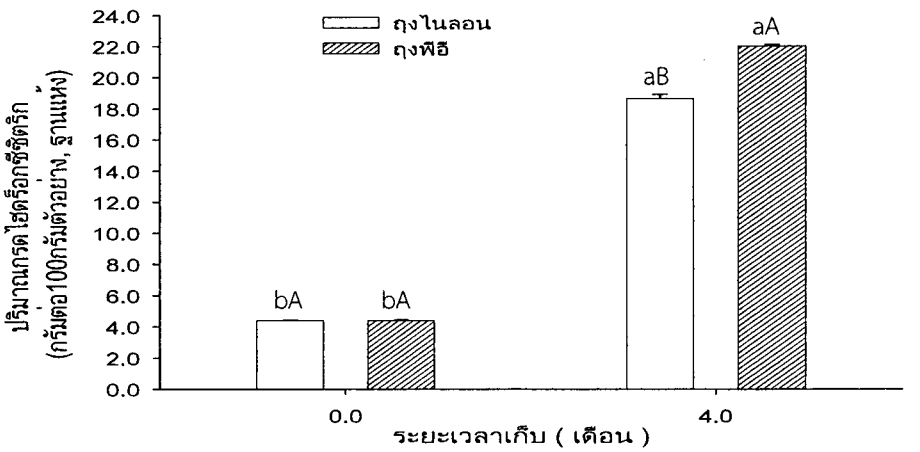
งานวิจัยนี้พบว่า ระยะเวลาเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส มีผลต่อปริมาณกรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริกชิ้นส้มแขกอบแห้ง โดยชิ้นส้มแขกอบแห้งจากระยะที่ผลมีสีเขียวที่แช่และไม่แช่ในสารละลาย 0.5% $CaCl_2$ เก็บรักษาในถุง Nylon และ PE เป็นเวลา 4 เดือน ปริมาณปริมาณกรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริกมีแนวโน้มลดลง ซึ่งสอดคล้องกับกิจกรรมการต้านอนุมูล DPPH ที่ลดลง ส่วนชิ้นส้มแขกแห้งจากระยะผลสีเหลืองที่แช่ในสารละลาย 0.5% $CaCl_2$ ที่มีปริมาณเพิ่มขึ้นเมื่อเก็บรักษาในถุง Nylon และ PE เป็นเวลา 4 เดือน ทั้งนี้กรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริกที่อยู่ในรูปของเกลือแคลเซียมจะช่วยทำให้กรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริกมีความคงตัว การเกิดแลคโตไนเซชั่นเกิดได้ดีภายใต้สภาวะการให้ความร้อน การเก็บที่อุณหภูมิต่ำจึงอาจมีผลช่วยลดการเกิดแลคโตไนเซชั่นได้ (Jena *et al.*, 2002) ส่วน Vinh (2012) พบว่าผล *G. oblongifolia* ในระยะสุก ส่วนเนื้อผลจะพบปริมาณกรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริกและกรดซิตริกค่อนข้างมาก กรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริกอิสระละลายน้ำได้ง่ายตลอดจนกรดอินทรีย์อื่นๆในเนื้อผลอาจช่วยป้องกันการเกิดแลคโตไนเซชั่นได้ (Anthony, 2003) ในผลส้มแขกก็เช่นเดียวกันกรดแอสคอร์บิก กรดมาลิก กรดซิตริกอาจมีผลต่อปริมาณกรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริกที่วิเคราะห์ได้



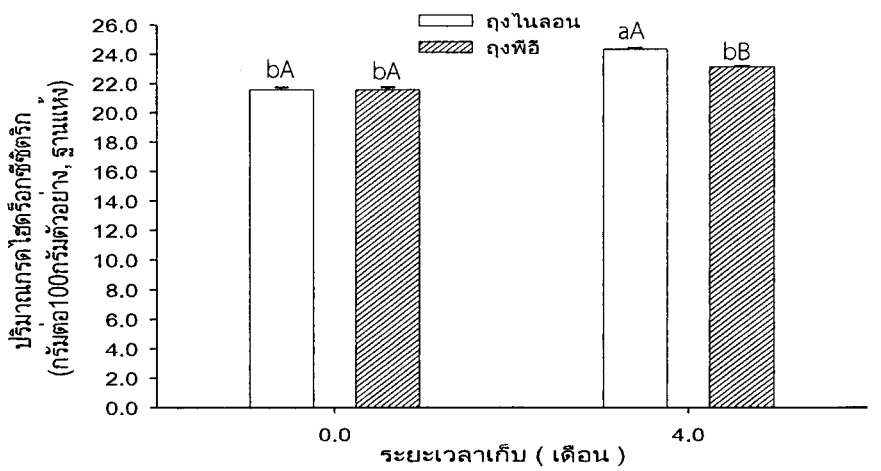
ภาพที่ 37 ปริมาณกรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริกของชิ้นส้มแขกอบแห้งจากระยะที่ผลมีสีเขียว แช่สารละลาย 0.5% $CaCl_2$ เก็บที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส [(1) ค่าเฉลี่ย n=6; (2) ตัว อักษรพิมพ์เล็กที่กำกับในชนิดบรรจุภัณฑ์เดียวกันแตกต่างกันคือค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ [$p<0.05$]; (3) ตัวอักษรพิมพ์ใหญ่ที่กำกับในระยะเวลาเก็บเดียวกัน แต่ละคุณลักษณะแตกต่างกันคือค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)]



ภาพที่ 38 ปริมาณกรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริกของชิ้นส้มแขกอบแห้งจากระยะที่ผลมีสีเขียว ไม่แช่สารละลาย 0.5% $CaCl_2$ เก็บที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส [(1) ค่าเฉลี่ย n=6; (2) ตัว อักษรพิมพ์เล็กที่กำกับในชนิดบรรจุภัณฑ์เดียวกันแตกต่างกันคือค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ [$p<0.05$]; (3) ตัวอักษรพิมพ์ใหญ่ที่กำกับในระยะเวลาเก็บเดียวกัน แต่ละคุณลักษณะแตกต่างกันคือค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)]



ภาพที่ 39 ปริมาณกรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริกของชิ้นส้มแขกอบแห้งจากระยะที่ผลมีสีเหลือง แช่สารละลาย 0.5% $CaCl_2$ เก็บที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส [(1) ค่าเฉลี่ย n=6; (2) ตัวอักษรพิมพ์เล็กที่กำกับในชนิดบรรจุภัณฑ์เดียวกันแตกต่างกันคือค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ [$p<0.05$]; (3) ตัวอักษรพิมพ์ใหญ่ที่กำกับในระยะเวลาเก็บเดียวกัน แต่ละคุณลักษณะแตกต่างกันคือค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)]

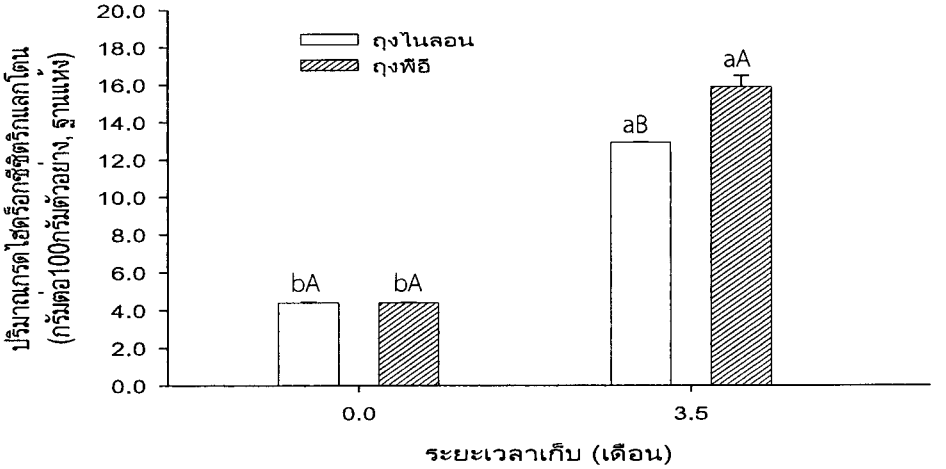


ภาพที่ 40 ปริมาณกรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริกของชิ้นส้มแขกอบแห้งจากระยะที่ผลมีสีเหลือง ไม่แช่สารละลาย 0.5% $CaCl_2$ เก็บที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส [(1) ค่าเฉลี่ย n=6; (2) ตัวอักษรพิมพ์เล็กที่กำกับในชนิดบรรจุภัณฑ์เดียวกันแตกต่างกันคือค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ [$p<0.05$]; (3) ตัวอักษรพิมพ์ใหญ่ที่กำกับในระยะเวลาเก็บเดียวกัน แต่ละคุณลักษณะแตกต่างกันคือค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)]

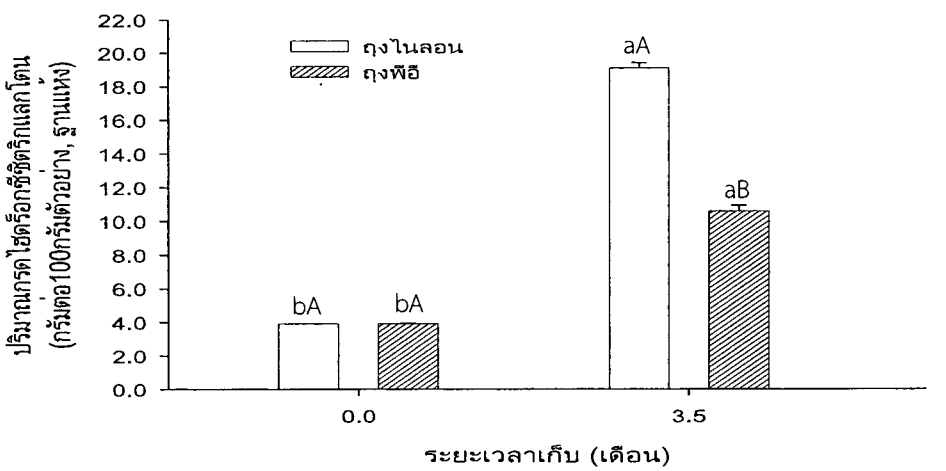
เมื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณกรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริกแลกโตนของชิ้นส้มแขกอบแห้งจากระยะที่ผลมีสีเขียว บรรจุในถุง Nylon และ PE เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 0 และ 3.5 เดือน ผลการทดลองพบว่า ปริมาณกรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริกแลกโตนของชิ้นส้มแขกอบแห้งจากระยะที่ผลมีสีเขียวที่แช่สารละลาย 0.5% $CaCl_2$ เก็บรักษาในถุง Nylon และ PE เป็นเวลา 3.5 เดือน มีค่าเพิ่มขึ้น ($p<0.05$) และยังพบว่าชิ้นส้มแขกอบแห้งที่เก็บรักษาในถุง Nylon และ PE มีปริมาณกรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริกแลกโตนแตกต่างกัน ($p<0.05$) ในระยะ 3.5 เดือน โดยในถุง PE มีปริมาณกรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริกแลกโตนที่สูงกว่าชิ้นส้มแขกอบแห้งที่เก็บรักษาในถุง Nylon ($p<0.05$) ดังแสดงในภาพที่ 41 ส่วนชิ้นส้มแขกอบแห้งจากระยะที่ผลมีสีเขียวที่ไม่แช่สารละลาย 0.5% $CaCl_2$ เก็บรักษาในถุง Nylon และ PE เป็นเวลา 3.5 เดือน มีปริมาณกรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริกแลกโตนที่เพิ่มขึ้น ($p<0.05$) และยังพบว่าชิ้นส้มแขกอบแห้งที่เก็บรักษาในถุง Nylon มีปริมาณกรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริกแลกโตนที่สูงกว่าชิ้นส้มแขกอบแห้งที่เก็บรักษาในถุง PE ($p<0.05$) ดังภาพที่ 42

เมื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณกรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริกแลกโตนของชิ้นส้มแขกอบแห้งจากระยะที่ผลมีสีเหลือง บรรจุในถุง Nylon และ PE เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 0 และ 3.5 เดือน ผลการทดลองพบว่าปริมาณกรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริกแลกโตนของชิ้นส้มแขกอบแห้งจากระยะที่ผลมีสีเหลืองที่แช่สารละลาย 0.5% $CaCl_2$ เก็บรักษาในถุง Nylon และ PE เป็นเวลา 3.5 เดือน มีค่าเพิ่มขึ้น ($p<0.05$) และยังพบว่าชิ้นส้มแขกอบแห้งที่เก็บรักษาในถุง Nylon และ PE มีปริมาณกรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริกแลกโตน ที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยชิ้นส้มแขกอบแห้งที่เก็บในถุง Nylon มีปริมาณกรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริกแลกโตนที่สูงกว่า ($p<0.05$) ตัวอย่างที่เก็บในถุง PE ดังภาพที่ 43 ส่วนชิ้นส้มแขกอบแห้งจากระยะที่ผลมีสีเหลืองที่ไม่แช่สารละลาย 0.5% $CaCl_2$ เก็บรักษาในถุง Nylon และ PE เป็นเวลา 3.5 เดือน มีปริมาณกรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริกแลกโตนที่เพิ่มขึ้น ($p<0.05$) และยังพบว่าชิ้นส้มแขกอบแห้งที่เก็บรักษาในถุง Nylon มีปริมาณกรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริกแลกโตนที่สูงกว่าชิ้นส้มแขกอบแห้งที่เก็บรักษาในถุง PE ($p<0.05$) ดังภาพที่ 44

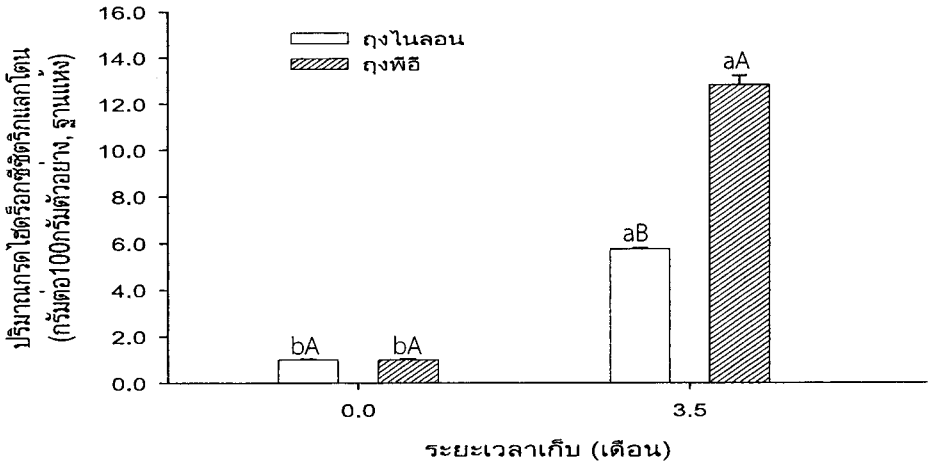
งานวิจัยนี้พบว่า ระยะเวลาเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส มีผลต่อปริมาณกรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริกแลกโตนของชิ้นส้มแขกอบแห้ง โดยชิ้นส้มแขกอบแห้งจากระยะที่ผลมีสีเขียวและเหลืองที่แช่และไม่แช่ในสารละลาย 0.5% $CaCl_2$ เก็บรักษาในถุง Nylon และ PE เป็นระยะเวลา 3.5 เดือน ปริมาณปริมาณกรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริกแลกโตนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น กรด (-)-ไฮดร็อกซีซิตริกแลกโตนมีฤทธิ์ทางชีวภาพที่ต่ำกว่ากรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริก (Jena *et al.*, 2002) จึงสอดคล้องกับกิจกรรมการต้านอนุมูล DPPH ที่ลดลง การปรับให้กรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริกอยู่ในรูปของเกลือแคลเซียมจะช่วยทำให้กรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริกมีความคงตัว มีคุณสมบัติไม่ละลายน้ำ ลดการเกิดแลคโตไนเซชั่นได้ อย่างไรก็ดี Rao และคณะ (2010) ยังรายงานว่าภายใต้สภาวะที่เป็นกรด (acidic condition) หรือใน aqueous medium กรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริกแลกโตนจะรักษาสมดุลของโครงสร้างโมเลกุลกับกรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริก ซึ่งอาจมีผลต่อปริมาณกรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริกและปริมาณกรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริกแลกโตนที่วิเคราะห์ได้ ซึ่ง Hamidon และคณะ (2017) รายงานว่าผลส้มแขกมีกรดอินทรีย์หลายชนิดได้แก่กรดซิตริก กรดตาร์ตาริก กรดมาลิก กรดแอสคอร์บิก กรดโดเดคาโนอิก ที่สำคัญคือกรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริก กรดเหล่านี้อาจเป็นผลให้เนื้อผลส้มแขกแม้อบแห้งแล้วยังมีสภาวะเป็นกรดได้



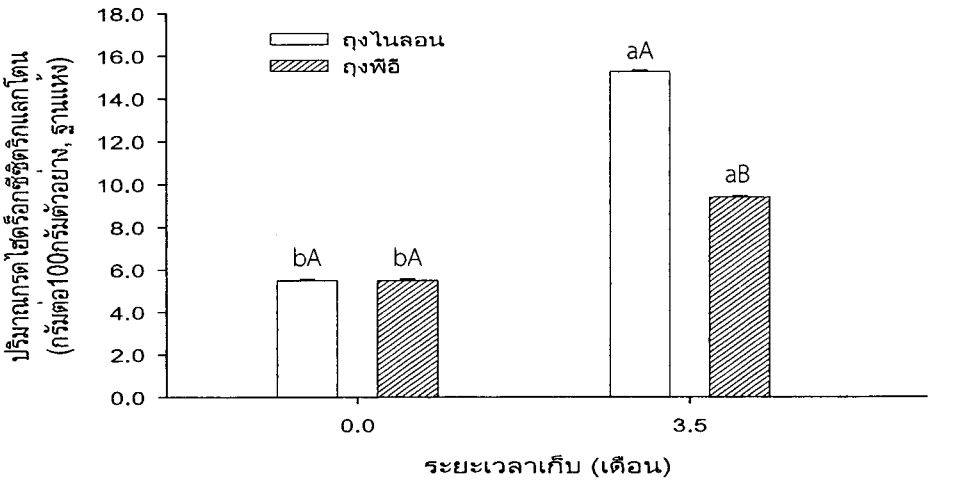
ภาพที่ 41 ปริมาณกรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริกแลกโตนของชิ้นส้มแขกอบแห้งจากระยะที่ผลมีสีเขียว แช่สารละลาย 0.5% $CaCl_2$ เก็บที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส [(1) ค่าเฉลี่ย n=6; (2) ตัวอักษรพิมพ์เล็กที่กำกับในชนิดบรรจุภัณฑ์เดียวกันแตกต่างกันคือค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ [p<0.05]; (3) ตัวอักษรพิมพ์ใหญ่ที่กำกับในระยะเวลาเก็บเดียวกัน แต่ละคุณลักษณะแตกต่างกันคือค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)]



ภาพที่ 42 ปริมาณกรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริกแลกโตนของชิ้นส้มแขกอบแห้งจากระยะที่ผลมีสีเขียว ไม่แช่สารละลาย 0.5% $CaCl_2$ เก็บที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส [(1) ค่าเฉลี่ย n=6; (2) ตัวอักษรพิมพ์เล็กที่กำกับในชนิดบรรจุภัณฑ์เดียวกันแตกต่างกันคือค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ [p<0.05]; (3) ตัวอักษรพิมพ์ใหญ่ที่กำกับในระยะเวลาเก็บเดียวกัน แต่ละคุณลักษณะแตกต่างกันคือค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)]



ภาพที่ 43 ปริมาณกรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริกแลกโตนของชิ้นส้มแขกอบแห้งจากระยะที่ผลมีสีเหลือง แช่สารละลาย 0.5% $CaCl_2$ เก็บที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส [(1) ค่าเฉลี่ย n=6; (2) ตัวอักษรพิมพ์เล็กที่กำกับในชนิดบรรจุภัณฑ์เดียวกันแตกต่างกันคือค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ [p<0.05]; (3) ตัวอักษรพิมพ์ใหญ่ที่กำกับในระยะเวลาเก็บเดียวกัน แต่ละคุณลักษณะแตกต่างกันคือค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)]

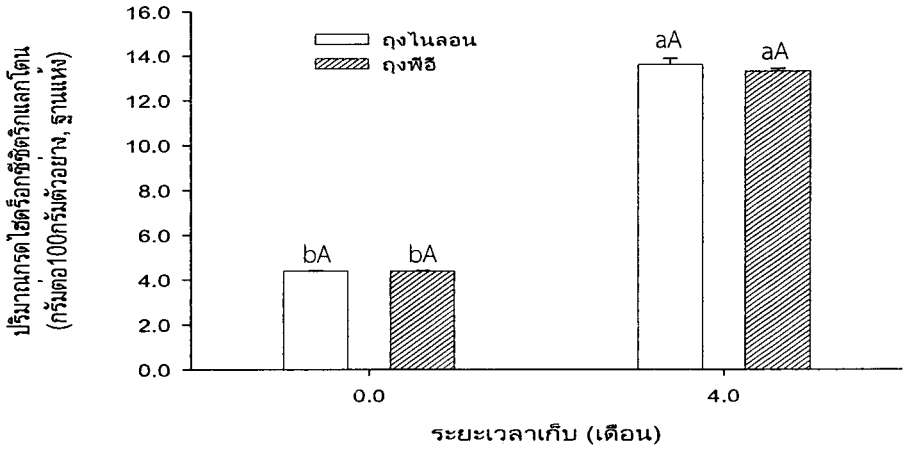


ภาพที่ 44 ปริมาณกรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริกแลกโตนของชิ้นส้มแขกอบแห้งจากระยะที่ผลมีสีเหลือง ไม่แช่สารละลาย 0.5% $CaCl_2$ เก็บที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส [(1) ค่าเฉลี่ย n=6; (2) ตัวอักษรพิมพ์เล็กที่กำกับในชนิดบรรจุภัณฑ์เดียวกันแตกต่างกันคือค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ [p<0.05]; (3) ตัวอักษรพิมพ์ใหญ่ที่กำกับในระยะเวลาเก็บเดียวกัน แต่ละคุณลักษณะแตกต่างกันคือค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ(p<0.05)]

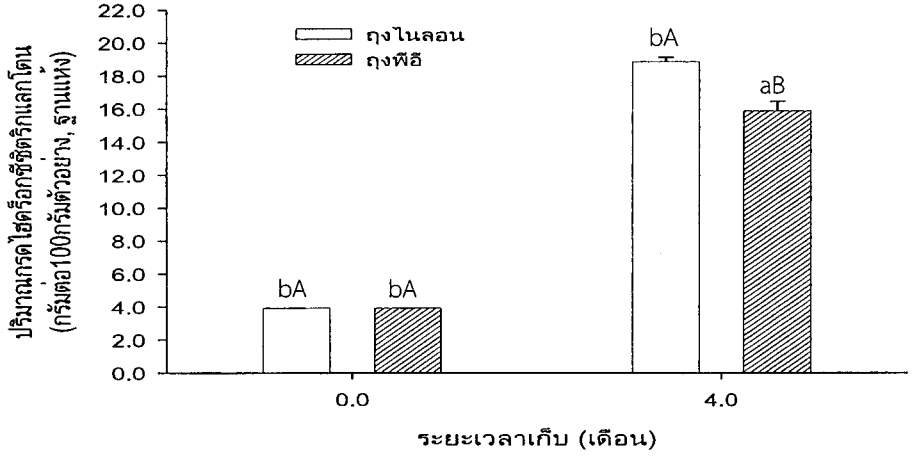
เมื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณกรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริกแลกโตนของชิ้นส้มแขกอบแห้งจากระยะที่ผลมีสีเขียว บรรจุในถุง Nylon และ PE เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 0 และ 4 เดือน ผลการทดลองพบว่า ปริมาณกรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริกแลกโตนของชิ้นส้มแขกอบแห้งจากระยะที่ผลมีสีเขียวที่แช่สารละลาย 0.5% $CaCl_2$ เก็บรักษาในถุง Nylon และ PE เป็นระยะเวลา 4 เดือน มีค่าเพิ่มขึ้น ($p<0.05$) และยังพบว่าชิ้นส้มแขกอบแห้งที่เก็บรักษาในถุง Nylon และ PE มี ปริมาณกรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริกแลกโตนไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในระยะ 4 เดือน ดังแสดงในภาพที่ 45 ส่วนชิ้นส้มแขกอบแห้งจากระยะที่ผลมีสีเขียวที่ไม่แช่สารละลาย 0.5% $CaCl_2$ เก็บรักษาในถุง Nylon และ PE เป็นระยะเวลา 4 เดือน มีปริมาณกรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริกแลกโตนที่เพิ่มขึ้น ($p<0.05$) และยังพบว่าชิ้นส้มแขกอบแห้งที่เก็บรักษาในถุง Nylon มีปริมาณกรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริกแลกโตนที่สูงกว่าชิ้นส้มแขกอบแห้งที่เก็บรักษาในถุง PE ($p<0.05$) ดังแสดงในภาพที่ 46

เมื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณกรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริกแลกโตนของชิ้นส้มแขกอบแห้งจากระยะที่ผลมีสีเหลือง บรรจุในถุง Nylon และ PE เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 0 และ 4 เดือน ผลการทดลองพบว่าปริมาณกรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริกแลกโตนของชิ้นส้มแขกอบแห้งจากระยะที่ผลมีสีเหลืองที่แช่สารละลาย 0.5% $CaCl_2$ เก็บรักษาในถุง Nylon และ PE เป็นระยะเวลา 4 เดือน มีค่าเพิ่มขึ้น ($p<0.05$) และยังพบว่าชิ้นส้มแขกอบแห้งที่เก็บรักษาในถุง Nylon และ PE มีปริมาณกรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริกแลกโตนที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยชิ้นส้มแขกอบแห้งที่เก็บรักษาในถุง Nylon มีปริมาณกรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริกแลกโตนที่สูงกว่า ($p<0.05$) ชิ้นส้มแขกอบแห้งที่เก็บรักษาในถุง PE ($p<0.05$) ดังแสดงในภาพที่ 47 ส่วนชิ้นส้มแขกอบแห้งจากระยะที่ผลมีสีเหลืองที่ไม่แช่สารละลาย 0.5% $CaCl_2$ เก็บรักษาในถุง Nylon และถุง PE เป็นระยะเวลา 4 เดือน มีปริมาณกรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริกแลกโตนที่ลดลง ($p<0.05$) ยังพบว่าชิ้นส้มแขกอบแห้งจากระยะที่ผลมีสีเหลืองที่ไม่แช่สารละลาย 0.5% $CaCl_2$ ที่เก็บรักษาในถุง Nylon มีปริมาณกรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริกแลกโตนที่สูงกว่าชิ้นส้มแขกอบแห้งที่เก็บรักษาในถุง PE ($p<0.05$) ดังแสดงในภาพที่ 48

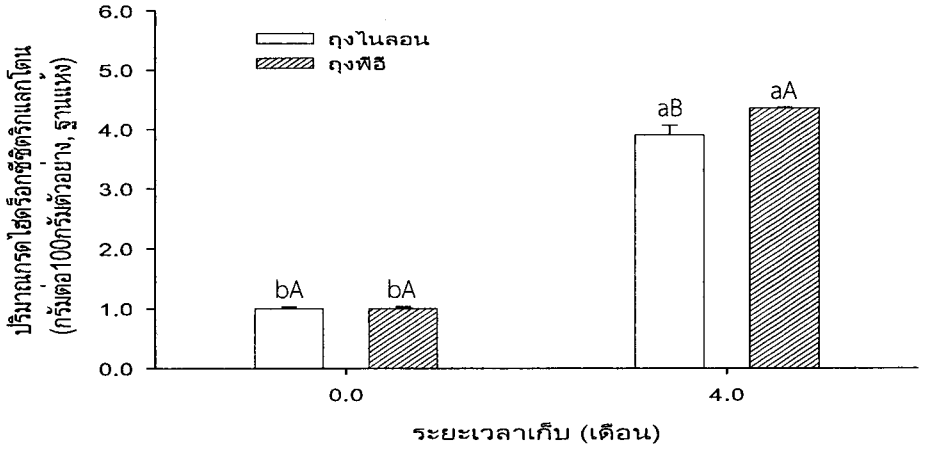
งานวิจัยนี้พบว่า ระยะเวลาเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส มีผลต่อปริมาณกรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริกแลกโตนของชิ้นส้มแขกอบแห้ง โดยชิ้นส้มแขกอบแห้งจากระยะที่ผลมีสีเขียวที่แช่และไม่แช่ในสารละลาย 0.5% $CaCl_2$ เก็บรักษาในถุง Nylon และ PE เป็นระยะเวลา 4 เดือน ปริมาณปริมาณกรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริกแลกโตนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ส่วนชิ้นส้มแขกแห้งจากระยะผลสีเหลืองที่แช่ในสารละลาย 0.5% $CaCl_2$ มีปริมาณกรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริกแลกโตนเพิ่มขึ้นเมื่อเก็บรักษาในถุง Nylon และ PE เป็นระยะเวลา 4 เดือน แต่ชิ้นส้มแขกแห้งจากระยะผลสีเหลืองที่ไม่แช่ในสารละลาย 0.5% $CaCl_2$ มีปริมาณกรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริกแลกโตนลดลง เมื่อเก็บรักษาในถุง Nylon และ PE เป็นระยะเวลา 4 เดือน การเก็บในที่อุณหภูมิต่ำอาจส่งผลลดการเกิดการเกิดแลคโตไนเซชั่นของกรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริกเป็นกรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริกแลกโตนได้ (Vinh, 2012) ซึ่งจะเห็นว่าปริมาณกรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริกของชิ้นส้มแขกแห้งจากระยะผลสีเหลืองที่แช่ในสารละลาย 0.5% $CaCl_2$ ในถุงทั้งสองชนิดที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส 4 เดือนมีปริมาณกรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริกเพิ่มขึ้นเช่นกัน



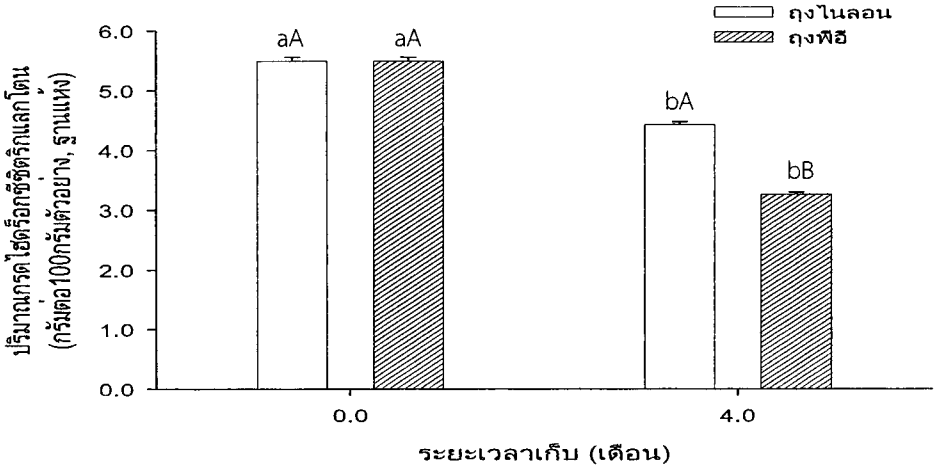
ภาพที่ 45 ปริมาณกรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริกแลกโตนของชิ้นส้มแขกอบแห้งจากระยะที่ผลมีสีเขียว แช่สารละลาย 0.5% $CaCl_2$ เก็บที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส [(1) ค่าเฉลี่ย n=6; (2) ตัวอักษรพิมพ์เล็กที่กำกับในชนิดบรรจุภัณฑ์เดียวกันแตกต่างกันคือค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ [p<0.05]; (3) ตัวอักษรพิมพ์ใหญ่ที่กำกับในระยะเวลาเก็บเดียวกัน แต่ละคุณลักษณะแตกต่างกันคือค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)]



ภาพที่ 46 ปริมาณกรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริกแลกโตนของชิ้นส้มแขกอบแห้งจากระยะที่ผลมีสีเขียว ไม่แช่สารละลาย 0.5% $CaCl_2$ เก็บที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส [(1) ค่าเฉลี่ย n=6; (2) ตัวอักษรพิมพ์เล็กที่กำกับในชนิดบรรจุภัณฑ์เดียวกันแตกต่างกันคือค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ [p<0.05]; (3) ตัวอักษรพิมพ์ใหญ่ที่กำกับในระยะเวลาเก็บเดียวกัน แต่ละคุณลักษณะแตกต่างกันคือค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)]



ภาพที่ 47 ปริมาณกรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริกแลกโตนของชิ้นส้มแขกอบแห้งจากระยะที่ผลมีสีเหลือง แช่สารละลาย 0.5% $CaCl_2$ เก็บที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส [(1) ค่าเฉลี่ย n=6; (2) ตัวอักษรพิมพ์เล็กที่กำกับในชนิดบรรจุภัณฑ์เดียวกันแตกต่างกันคือค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ [p<0.05]; (3) ตัวอักษรพิมพ์ใหญ่ที่กำกับในระยะเวลาเก็บเดียวกัน แต่ละคุณลักษณะแตกต่างกันคือค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)]



ภาพที่ 48 ปริมาณกรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริกแลกโตนของชิ้นส้มแขกอบแห้งจากระยะที่ผลมีสีเหลือง ไม่แช่สารละลาย 0.5% $CaCl_2$ เก็บที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส [(1) ค่าเฉลี่ย n=6; (2) ตัวอักษรพิมพ์เล็กที่กำกับในชนิดบรรจุภัณฑ์เดียวกันแตกต่างกันคือค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ [p<0.05]; (3) ตัวอักษรพิมพ์ใหญ่ที่กำกับในระยะเวลาเก็บเดียวกัน แต่ละคุณลักษณะแตกต่างกันคือค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)]

คะแนนเฉลี่ยคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของชิ้นส้มแขกอบแห้งจากระยะที่ผลมีสีเขียวและแช่สารละลาย 0.5% $CaCl_2$ บรรจุในถุง Nylon และ PE เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 0, 1, 2, 3 และ 3.5 เดือน ดังแสดงในตารางที่ 23 ผลการทดลองพบว่า คะแนนเฉลี่ยด้านลักษณะปรากฏของชิ้นส้มแขกอบแห้งที่เก็บรักษาในถุง Nylon และ PE มีแนวโน้มลดลง ($p<0.05$) ในเดือนที่ 2 ของการเก็บรักษา เมื่อพิจารณาคุณลักษณะด้านสี พบว่า คะแนนเฉลี่ยด้านสีของชิ้นส้มแขกอบแห้งที่เก็บรักษาในถุง Nylon มีแนวโน้มลดลง ($p<0.05$) ในเดือนที่ 2 ของการเก็บรักษา และมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยจนถึงสิ้นสุดระยะเวลาเก็บรักษา ในขณะที่คะแนนเฉลี่ยด้านสีชิ้นส้มแขกอบแห้งที่เก็บรักษาในถุง PE มีแนวโน้มลดลงเล็กน้อยในระหว่างการเก็บรักษา แต่มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อพิจารณาด้านคุณลักษณะโดยรวม พบว่า คะแนนเฉลี่ยคุณลักษณะโดยรวมของชิ้นส้มแขกอบแห้งที่เก็บรักษาในถุง Nylon และ PE มีแนวโน้มลดลง ($p<0.05$) ในเดือนที่ 2 ของการเก็บรักษา และมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยจนถึงสิ้นสุดระยะเวลาเก็บรักษา งานวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่าชนิดของฟิล์มบรรจุภัณฑ์ที่ใช้เก็บรักษาชิ้นส้มแขกอบแห้งมีผลต่อคะแนนเฉลี่ยในทุกคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ระยะเวลาเก็บรักษาเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อคุณภาพของชิ้นส้มแขกอบแห้งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังจะเห็นได้ว่าชิ้นส้มแขกอบแห้งที่เก็บรักษานานขึ้นทำให้มีสีคล้ำขึ้นจึงทำให้คะแนนเฉลี่ยทางคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสที่ลดลง

ตารางที่ 23 คะแนนเฉลี่ยคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของชิ้นส้มแขกอบแห้งจากระยะที่ผลมีสีเขียว แช่สารละลาย 0.5% $CaCl_2$ เก็บที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส ในถุง Nylon และ PE

ระยะเวลาเก็บรักษา (เดือน)	ลักษณะปรากฏ		สี		คุณลักษณะโดยรวม	
	Nylon	PE	Nylon	PE^{ns}	Nylon	PE
0	7.03±1.19^{aA}	6.63±1.25^{aB}	6.83±1.37^{aA}	6.37±1.35^{B}	6.87±1.22^{aA}	6.43±1.25^{abB}
1	7.03±1.27^{aA}	6.50±1.50^{aB}	6.87±1.31^{aA}	6.73±1.39^{A}	6.93±0.87^{aA}	6.80±0.89^{aA}
2	6.13±1.38^{bA}	6.17±1.12^{abA}	6.20±1.24^{abA}	6.30±1.06^{A}	6.27±1.23^{bA}	6.40±1.04^{abA}
3	6.23±1.19^{bA}	6.03±1.07^{abA}	5.70±1.56^{bB}	5.97±1.40^{A}	5.97±1.45^{bA}	6.00±1.26^{bcA}
3.5	5.80±1.40^{bA}	5.70±1.29^{bA}	6.03±1.27^{bA}	5.93±1.28^{A}	5.87±1.14^{bA}	5.70±1.21^{cA}

หมายเหตุ (1) ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน; (2) ns หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่กำกับในสดมภ์เดียวกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ; (3) ตัวอักษรพิมพ์เล็กที่กำกับในสดมภ์เดียวกันแตกต่างกัน หมายถึง ค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ [$p<0.05$]; (4) ตัวอักษรพิมพ์ใหญ่ที่กำกับในแถวเดียวกันของแต่ละคุณลักษณะแตกต่างกันหมายถึงค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ [$p<0.05$]; (5) เครื่องหมาย - หมายถึง ไม่ได้ทำการประเมินคุณลักษณะทางประสาทสัมผัส

คะแนนเฉลี่ยคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของชิ้นส้มแขกอบแห้งจากระยะที่ผลมีสีเขียวและไม่แช่สารละลาย 0.5% $CaCl_2$ บรรจุในถุง Nylon และ PE เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 0, 1, 2, 3 และ 3.5 เดือน ดังแสดงในตารางที่ 24 ผลการทดลองพบว่า คะแนนเฉลี่ยด้านสีของชิ้นส้มแขกอบแห้งที่เก็บรักษาในถุง Nylon และ PE มีแนวโน้มลดลง ($p<0.05$) ในเดือนที่ 3 ของการเก็บรักษา เมื่อพิจารณาคุณลักษณะด้านสี พบว่า คะแนนเฉลี่ยด้านสีของชิ้นส้มแขกอบแห้งที่เก็บรักษาในถุง Nylon มีค่าลดลง ($p<0.05$) ในเดือนที่ 3 ของการเก็บรักษา และมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยจนถึงสิ้นสุดระยะเวลาเก็บรักษา ในขณะที่คะแนนเฉลี่ยด้านสีของชิ้นส้มแขกอบแห้งที่เก็บรักษาในถุง PE ตลอดการเก็บรักษา มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อพิจารณาด้านคุณลักษณะโดยรวม พบว่า คะแนนเฉลี่ยคุณลักษณะโดยรวมของชิ้นส้มแขกอบแห้งที่เก็บรักษาในถุง Nylon และ PE มีแนวโน้มลดลงในเดือนที่ 3 ของการเก็บรักษา อย่างไรก็ตามชิ้นส้มแขกอบแห้งที่เก็บรักษาในถุง Nylon และ PE เป็นระยะเวลา 0 และ 3.5 เดือน มีคะแนนเฉลี่ยคุณลักษณะโดยรวมไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ งานวิจัยนี้พบว่าชนิดของฟิล์มบรรจุภัณฑ์ที่ใช้เก็บรักษาชิ้นส้มแขกอบแห้งมีผลต่อคะแนนเฉลี่ยในทุกคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ระยะเวลาเก็บรักษาเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อคุณภาพของชิ้นส้มแขกอบแห้งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังจะเห็นได้ว่าชิ้นส้มแขกอบแห้งที่เก็บรักษานานขึ้นทำให้มีสีคล้ำขึ้นจึงทำให้คะแนนเฉลี่ยทางคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสที่ลดลง

ตารางที่ 24 คะแนนเฉลี่ยคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของชิ้นส้มแขกอบแห้งจากระยะที่ผลมีสีเขียว ไม่แช่สารละลาย 0.5% $CaCl_2$ เก็บที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส ในถุง Nylon และ PE

ระยะเวลาเก็บรักษา (เดือน)	ลักษณะปรากฏ		สี		คุณลักษณะโดยรวม	
	Nylon	PE	Nylon	PE^{ns}	Nylon	PE
0	6.57 ± 1.43^{bA}	6.17 ± 1.21^{abA}	6.40 ± 1.16^{bA}	5.90 ± 1.45^{A}	6.23 ± 1.10^{bcA}	5.97 ± 1.00^{abA}
1	7.30 ± 1.09^{aA}	6.57 ± 1.28^{aB}	7.07 ± 1.14^{aA}	6.43 ± 1.33^{B}	7.00 ± 0.79^{aA}	6.37 ± 0.89^{aB}
2	6.73 ± 1.11^{abA}	6.40 ± 0.86^{aA}	6.67 ± 1.30^{abA}	5.93 ± 1.36^{B}	6.73 ± 1.20^{abA}	6.20 ± 1.03^{aB}
3	6.10 ± 1.12^{bcA}	5.67 ± 1.12^{bB}	5.57 ± 1.17^{cA}	5.53 ± 1.07^{A}	5.70 ± 1.12^{cA}	5.57 ± 1.04^{bA}
3.5	5.73 ± 1.68^{cA}	5.53 ± 1.57^{bA}	5.60 ± 1.50^{cA}	5.63 ± 1.45^{A}	5.73 ± 1.55^{cA}	5.60 ± 1.54^{bA}

หมายเหตุ (1) ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน; (2) ns หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่กำกับในสดมภ์เดียวกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ; (3) ตัวอักษรพิมพ์เล็กที่กำกับในสดมภ์เดียวกันแตกต่างกัน หมายถึง ค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ [$p<0.05$]; (4) ตัวอักษรพิมพ์ใหญ่ที่กำกับในแถวเดียวกันของแต่ละคุณลักษณะแตกต่างกันหมายถึงค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ [$p<0.05$]; (5) เครื่องหมาย- หมายถึงไม่ได้ทำการประเมินคุณลักษณะทางประสาทสัมผัส

คะแนนเฉลี่ยคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของชิ้นส้มแขกอบแห้งจากระยะที่ผลมีสีเหลืองและแช่สารละลาย 0.5%$CaCl_2$ บรรจุในถุง Nylon และ PE เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 0, 1, 2, 3 และ 3.5 เดือน ดังแสดงในตารางที่ 25 ผลการทดลองพบว่า คะแนนเฉลี่ยด้านลักษณะปรากฏของชิ้นส้มแขกอบแห้งที่เก็บรักษาในถุง Nylon และ PE มีค่าลดลง ($p<0.05$) ในเดือนที่ 1 ของการเก็บรักษา และมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยจนสิ้นสุดระยะเวลาเก็บรักษา เมื่อพิจารณาคุณลักษณะด้านสี พบว่า คะแนนเฉลี่ยด้านลักษณะปรากฏของชิ้นส้มแขกอบแห้งที่เก็บรักษาในถุง Nylon และ PE มีค่าลดลง ($p<0.05$) ในเดือนที่ 1 ของการเก็บรักษา และมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยจนสิ้นสุดระยะเวลาเก็บรักษา เมื่อพิจารณาด้านคุณลักษณะโดยรวมพบว่า คะแนนเฉลี่ยคุณลักษณะโดยรวมของชิ้นส้มแขกอบแห้งที่เก็บรักษาในถุง Nylon และ PE มีแนวโน้มลดลง ($p<0.05$) ในเดือนที่ 1 ของการเก็บรักษา งานวิจัยนี้พบว่า ชนิดของฟิล์มบรรจุภัณฑ์ที่ใช้เก็บรักษาชิ้นส้มแขกอบแห้งมีผลต่อคะแนนเฉลี่ยในทุกคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ระยะเวลาเก็บรักษาเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อคุณภาพของชิ้นส้มแขกอบแห้งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังจะเห็นได้ว่าชิ้นส้มแขกอบแห้งที่เก็บรักษานานขึ้นทำให้มีสีคล้ำขึ้นจึงทำให้คะแนนเฉลี่ยทางคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสที่ลดลง

ตารางที่ 25 คะแนนเฉลี่ยคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของชิ้นส้มแขกอบแห้งจากระยะที่ผลมีสีเหลือง แช่สารละลาย 0.5% $CaCl_2$ เก็บที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส ในถุง Nylon และ PE

ระยะเวลาเก็บรักษา (เดือน)	ลักษณะปรากฏ		สี		คุณลักษณะโดยรวม	
	Nylon	PE	Nylon	PE	Nylon	PE
0	6.83 ± 1.88^{aA}	6.40 ± 1.69^{aB}	6.60 ± 1.89^{aA}	6.30 ± 1.78^{aB}	6.23 ± 1.59^{aA}	5.80 ± 1.45^{aB}
1	5.67 ± 1.47^{bA}	5.43 ± 1.28^{bA}	5.37 ± 1.45^{bA}	4.97 ± 1.22^{bA}	5.60 ± 1.35^{abA}	5.40 ± 1.28^{abA}
2	4.57 ± 1.55^{cA}	4.70 ± 1.39^{bA}	4.70 ± 1.58^{bA}	4.77 ± 1.41^{bA}	4.70 ± 1.62^{cA}	4.77 ± 1.45^{bA}
3	5.27 ± 1.44^{bcA}	5.20 ± 1.21^{bA}	4.80 ± 1.19^{bA}	5.00 ± 1.02^{bA}	4.87 ± 1.36^{bcA}	5.10 ± 1.03^{abA}
3.5	5.20 ± 1.90^{bcA}	4.90 ± 1.92^{bB}	4.73 ± 1.86^{bA}	4.60 ± 1.85^{bA}	4.93 ± 1.93^{bcA}	4.70 ± 1.86^{bA}

หมายเหตุ (1) ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน; (2) ns หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่กำกับในสดมภ์เดียวกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ; (3) ตัวอักษรพิมพ์เล็กที่กำกับในสดมภ์เดียวกันแตกต่างกัน หมายถึง ค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ [$p<0.05$]; (4) ตัวอักษรพิมพ์ใหญ่ที่กำกับในแถวเดียวกันของแต่ละคุณลักษณะแตกต่างกันหมายถึงค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ [$p<0.05$]; (5) เครื่องหมาย - หมายถึง ไม่ได้ทำการประเมินคุณลักษณะทางประสาทสัมผัส

คะแนนเฉลี่ยคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของชิ้นส้มแขกอบแห้งจากระยะที่ผลมีสีเหลืองและไม่แช่สารละลาย 0.5% $CaCl_2$ บรรจุในถุง Nylon และ PE เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 0, 1, 2, 3 และ 3.5 เดือน ดังแสดงในตารางที่ 26 ผลการทดลองพบว่า คะแนนเฉลี่ยด้านลักษณะปรากฏของชิ้นส้มแขกอบแห้งที่เก็บรักษาในถุง Nylon และ PE มีแนวโน้มลดลง ($p<0.05$) ในเดือนที่ 3 ของการเก็บรักษา อย่างไรก็ตามชิ้นส้มแขกอบแห้งที่บรรจุในถุง Nylon เมื่อเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 0 และ 3.5 เดือน มีคะแนนเฉลี่ยด้านลักษณะปรากฏไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อพิจารณาคุณลักษณะด้านสี พบว่า คะแนนเฉลี่ยด้านสีของชิ้นส้มแขกอบแห้ง มีแนวโน้มลดลง ($p<0.05$) ในเดือนที่ 3 ของการเก็บรักษา อย่างไรก็ตามชิ้นส้มแขกอบแห้งทั้งสองชุดการทดลองที่เก็บรักษาเป็นระยะเวลา 3.5 เดือน มีคะแนนเฉลี่ยด้านสีไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติจากเมื่อเริ่มเก็บรักษา เมื่อพิจารณาด้านคุณลักษณะโดยรวม พบว่า ชิ้นส้มแขกอบแห้งที่เก็บรักษาในถุง Nylon และ PE มีแนวโน้มลดลง ($p<0.05$) ในเดือนที่ 3 ของการเก็บรักษา อย่างไรก็ตามชิ้นส้มแขกอบแห้งที่บรรจุในถุง Nylon เมื่อเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 0 และ 3.5 เดือน มีคะแนนเฉลี่ยด้านคุณลักษณะโดยรวมไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ชิ้นส้มแขกอบแห้งที่บรรจุในถุง PE เมื่อเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 3.5 เดือน มีคะแนนเฉลี่ยด้านคุณลักษณะโดยรวมลดลงจากเมื่อเริ่มเก็บรักษา นอกจากนี้ยังพบว่า ชิ้นส้มแขกอบแห้งที่เก็บรักษาในถุง Nylon เป็นระยะเวลา 3.5 เดือน มีคะแนนเฉลี่ยด้านลักษณะปรากฏและคุณลักษณะโดยรวมสูงกว่าชิ้นส้มแขกอบแห้งที่เก็บรักษาในถุง PE

ตารางที่ 26 คะแนนเฉลี่ยคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของชิ้นส้มแขกอบแห้งจากระยะที่ผลมีสีเหลือง ไม่แช่สารละลาย 0.5% $CaCl_2$ เก็บที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส ในถุง Nylon และ PE

ระยะเวลาเก็บรักษา (เดือน)	ลักษณะปรากฏ		สี		คุณลักษณะโดยรวม	
	Nylon	PE	Nylon	PE	Nylon	PE
0	6.23 ± 1.72^{bA}	6.07 ± 1.55^{bcA}	6.10 ± 1.71^{bA}	5.93 ± 1.48^{bcA}	5.97 ± 1.35^{bA}	5.83 ± 1.21^{bA}
1	7.50 ± 0.90^{aA}	6.93 ± 0.94^{aB}	6.97 ± 1.43^{aA}	6.77 ± 1.30^{aA}	7.03 ± 1.00^{aA}	6.63 ± 0.93^{aB}
2	7.23 ± 1.14^{aA}	6.63 ± 1.35^{abB}	6.90 ± 1.18^{aA}	6.40 ± 1.30^{abB}	7.03 ± 1.30^{aA}	6.50 ± 1.33^{aB}
3	5.43 ± 1.01^{cA}	5.47 ± 1.25^{cdA}	5.13 ± 1.17^{cA}	5.27 ± 1.39^{cA}	5.13 ± 1.01^{cA}	5.13 ± 1.36^{cA}
3.5	5.83 ± 1.21^{bcA}	5.03 ± 1.47^{dB}	5.50 ± 1.36^{bcA}	5.30 ± 1.15^{cA}	5.73 ± 1.20^{bA}	$5.33\pm1.15b^{cB}$

หมายเหตุ (1) ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน; (2) ns หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่กำกับในสดมภ์เดียวกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ; (3) ตัวอักษรพิมพ์เล็กที่กำกับในสดมภ์เดียวกันแตกต่างกัน หมายถึง ค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ [$p<0.05$]; (4) ตัวอักษรพิมพ์ใหญ่ที่กำกับในแถวเดียวกันของแต่ละคุณลักษณะแตกต่างกันหมายถึงค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ [$p<0.05$]; (5) เครื่องหมาย - หมายถึง ไม่ได้ทำการประเมินคุณลักษณะทางประสาทสัมผัส

คะแนนเฉลี่ยคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของชิ้นส้มแขกอบแห้งจากระยะที่ผลมีสีเขียวและแช่สารละลาย 0.5% $CaCl_2$ บรรจุในถุง Nylon และ PE เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 0, 1, 2, 3 และ 4 เดือน ดังแสดงในตารางที่ 27 ผลการทดลองพบว่า คะแนนเฉลี่ยด้านลักษณะปรากฏ ด้านสี ด้านกลิ่น และด้านคุณลักษณะโดยรวมของชิ้นส้มแขกอบแห้งที่บรรจุในถุง Nylon และ PE เก็บรักษาเป็นระยะเวลา 4 เดือน มีค่าไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติจากเมื่อเริ่มเก็บรักษา นอกจากนี้ยังพบว่า ชนิดของฟิล์มบรรจุภัณฑ์ที่ใช้เก็บรักษาชิ้นส้มแขกอบแห้งมีผลต่อคะแนนเฉลี่ยในทุกคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แสดงให้เห็นว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส สามารถชะลอการเปลี่ยนคุณภาพของชิ้นส้มแขกอบแห้งได้ โดยชิ้นส้มแขกอบแห้งสามารถเก็บรักษาในถุง Nylon หรือ PE ได้ไม่น้อยกว่า 4 เดือน

คะแนนเฉลี่ยคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของชิ้นส้มแขกอบแห้งจากระยะที่ผลมีสีเขียวและไม่แช่สารละลาย 0.5% $CaCl_2$ บรรจุในถุง Nylon และ PE เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 0, 1, 2, 3 และ 4 เดือน ดังแสดงในตารางที่ 28 ผลการทดลองพบว่า คะแนนเฉลี่ยด้านลักษณะปรากฏ ด้านสี ด้านกลิ่น และด้านคุณลักษณะโดยรวมของชิ้นส้มแขกอบแห้งที่บรรจุในถุง Nylon และ PE เก็บรักษาเป็นระยะเวลา 4 เดือน มีค่าไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติจากเมื่อเริ่มเก็บรักษา นอกจากนี้ยังพบว่า ชนิดของฟิล์มบรรจุภัณฑ์ที่ใช้เก็บรักษาชิ้นส้มแขกอบแห้งมีผลต่อคะแนนเฉลี่ยในทุกคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แสดงให้เห็นว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส สามารถชะลอการเปลี่ยนคุณภาพของชิ้นส้มแขกอบแห้งได้ โดยชิ้นส้มแขกอบแห้งสามารถเก็บรักษาในถุง Nylon หรือ PE ได้ไม่น้อยกว่า 4 เดือน

ตารางที่ 27 คะแนนเฉลี่ยคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของชิ้นส้มแขกอบแห้งจากระยะที่ผลมีสีเขียว แช่สารละลาย 0.5% $CaCl_2$ เก็บที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ในถุง Nylon และ PE

ระยะเวลาเก็บรักษา (เดือน)	ลักษณะปรากฏ		สี		กลิ่น		คุณลักษณะโดยรวม	
	Nylon^{ns}	Nylon^{ns}	Nylon^{ns}	PE^{ns}	Nylon^{ns}	PE^{ns}	Nylon	PE
0	6.53±1.43^{A}	6.30±1.44^{abA}	6.43±1.45^{A}	6.20±1.40^{A}	7.13±1.28^{A}	6.60±1.33^{A}	6.73±1.28^{abA}	6.33±1.27^{bA}
1	7.03±1.19^{A}	6.97±1.10^{aA}	6.97±1.25^{A}	6.87±1.28^{A}	-	-	7.20±0.92^{aA}	7.10±0.88^{aA}
2	6.17±1.34^{A}	5.90±1.58^{bB}	6.00±1.36^{A}	6.03±1.63^{A}	-	-	6.03±1.30^{cA}	6.10±1.35^{bA}
3	6.60±1.30^{A}	6.90±0.88^{aA}	6.57±1.30^{A}	6.50±1.28^{A}	-	-	6.67±1.06^{abcA}	6.70±0.88^{abA}
4	6.23±1.25^{A}	6.33±1.24^{abA}	6.10±1.60^{A}	6.13±1.55^{A}	7.25±1.06^{A}	6.75±1.29^{A}	6.23±1.30^{bcA}	6.33±1.40^{bA}

หมายเหตุ (1) ค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน; (2) ns หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่กำกับในสดมภ์เดียวกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ; (3) ตัวอักษรพิมพ์เล็กที่กำกับในสดมภ์เดียวกันแตกต่างกันหมายถึงค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ [p<0.05]; (4) ตัวอักษรพิมพ์ใหญ่ที่กำกับในแถวเดียวกันของแต่ละคุณลักษณะแตกต่างกันหมายถึงค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ [p<0.05]; (5) เครื่องหมาย- หมายถึงไม่ได้ทำการประเมินคุณลักษณะทางประสาทสัมผัส

ตารางที่ 28 คะแนนเฉลี่ยคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของชิ้นส้มแขกอบแห้งจากระยะที่ผลมีสีเขียว ไม่แช่สารละลาย 0.5% $CaCl_2$ เก็บที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ในถุง Nylon และ PE

ระยะเวลาเก็บรักษา (เดือน)	ลักษณะปรากฏ		สี		กลิ่น		คุณลักษณะโดยรวม	
	Nylon	PE	Nylon	PE	Nylon^{ns}	PE^{ns}	Nylon	PE
0	7.23±1.17^{aA}	6.23±1.52^{bB}	6.90±1.18^{abA}	6.03±1.30^{bcB}	6.75±0.90^{A}	6.50±0.90^{A}	6.87±1.20^{bcA}	6.13±1.11^{bcB}
1	7.57±0.97^{aA}	7.03±1.13^{aB}	7.27±1.28^{abA}	6.67±1.47^{abB}	-	-	7.40±1.00^{abA}	6.70±1.09^{abB}
2	6.40±1.57^{bA}	6.13±1.61^{bA}	6.07±1.87^{cA}	5.87±1.81^{cA}	-	-	6.27±1.74^{cA}	6.03±1.63^{cA}
3	7.60±0.86^{aA}	7.07±0.94^{aB}	7.57±1.04^{aA}	7.00±1.02^{aB}	-	-	7.67±0.84^{aA}	7.03±0.85^{aB}
4	7.00±1.08^{aA}	6.43±0.97^{abB}	6.83±1.05^{bA}	6.03±1.22^{bcB}	6.00±1.41^{A}	6.50±1.17^{A}	7.07±1.01^{abA}	6.33±1.12^{bcB}

หมายเหตุ (1) ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน; (2) ns หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่กำกับในสดมภ์เดียวกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ; (3) ตัวอักษรพิมพ์เล็กที่กำกับในสดมภ์เดียวกันแตกต่างกันหมายถึงค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ [$p<0.05$]; (4) ตัวอักษรพิมพ์ใหญ่ที่กำกับในแถวเดียวกันของแต่ละคุณลักษณะแตกต่างกันหมายถึงค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ [$p<0.05$]; (5) เครื่องหมาย- หมายถึงไม่ได้ทำการประเมินคุณลักษณะทางประสาทสัมผัส

คะแนนเฉลี่ยคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของชิ้นส้มแขกอบแห้งจากระยะที่ผลมีสีเหลืองและแช่สารละลาย 0.5% $CaCl_2$ บรรจุในถุง Nylon และ PE เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 0, 1, 2, 3 และ 4 เดือน ดังแสดงในตารางที่ 29 ผลการทดลองพบว่า คะแนนเฉลี่ยด้านลักษณะปรากฏของชิ้นส้มแขกอบแห้งที่บรรจุในถุง Nylon และ PE มีแนวโน้มลดลงเล็กน้อยในระหว่างเก็บรักษา แต่อย่างไรก็ตามส้มแขกอบแห้งทั้งสองชุดการทดลองที่เก็บรักษาเป็นระยะเวลา 4 เดือน มีคะแนนเฉลี่ยด้านลักษณะปรากฏไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติจากเมื่อเริ่มเก็บรักษา เมื่อพิจารณาคุณลักษณะด้านสี พบว่า คะแนนเฉลี่ยด้านสีของชิ้นส้มแขกอบแห้งที่บรรจุในถุง Nylon และ PE มีแนวโน้มลดลง ($p<0.05$) ในเดือนที่ 1 ของการเก็บรักษา ส้มแขกทั้งสองชุดการทดลองที่เก็บรักษาเป็นระยะเวลา 4 เดือน มีคะแนนเฉลี่ยด้านสีต่ำกว่าเมื่อเริ่มเก็บรักษา เมื่อพิจารณาคุณลักษณะด้านกลิ่นและคุณลักษณะโดยรวม พบว่า ชิ้นส้มแขกอบแห้งทั้งสองชุดการทดลองที่เก็บรักษาเป็นระยะเวลา 4 เดือน มีคะแนนเฉลี่ยด้านกลิ่นและคุณลักษณะโดยรวมไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติจากเมื่อเริ่มเก็บรักษา แสดงให้เห็นว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส สามารถชะลอการเปลี่ยนคุณภาพของชิ้นส้มแขกอบแห้งได้ นอกจากนี้ยังพบว่า ชนิดของฟิล์มบรรจุภัณฑ์ที่ใช้เก็บรักษาชิ้นส้มแขกอบแห้งมีผลต่อคะแนนเฉลี่ยในทุกคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ยกเว้นคุณลักษณะด้านกลิ่น

คะแนนเฉลี่ยคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของชิ้นส้มแขกอบแห้งจากระยะที่ผลมีสีเหลืองและไม่แช่สารละลาย 0.5% $CaCl_2$ บรรจุในถุง Nylon และ PE เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 0, 1, 2, 3 และ 4 เดือน ดังแสดงในตารางที่ 30 ผลการทดลองพบว่า คะแนนเฉลี่ยด้านลักษณะปรากฏ ด้านสี ด้านกลิ่น และด้านคุณลักษณะโดยรวมของชิ้นส้มแขกอบแห้งที่บรรจุในถุง Nylon และ PE เก็บรักษาเป็นระยะเวลา 4 เดือน มีค่าไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติจากเมื่อเริ่มเก็บรักษา นอกจากนี้ยังพบว่า ชนิดของฟิล์มบรรจุภัณฑ์ที่ใช้เก็บรักษาชิ้นส้มแขกอบแห้งมีผลต่อคะแนนเฉลี่ยในทุกคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แสดงให้เห็นว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส สามารถชะลอการเปลี่ยนคุณภาพของชิ้นส้มแขกอบแห้งได้ โดยชิ้นส้มแขกอบแห้งสามารถเก็บรักษาในถุง Nylon หรือ PE ได้ไม่น้อยกว่า 4 เดือน

ตารางที่ 29 คะแนนเฉลี่ยคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสชิ้นส้มแขกอบแห้งจากระยะที่ผลมีสีเหลือง แช่สารละลาย 0.5% $CaCl_2$ เก็บที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ในถุง Nylon และ PE

ระยะเวลาเก็บรักษา (เดือน)	ลักษณะปรากฏ		สี		กลิ่น		คุณลักษณะโดยรวม	
	Nylon	PE	Nylon	PE	Nylon^{ns}	PE^{ns}	Nylon	PE
0	6.97±1.85^{aA}	6.67±1.67^{aA}	6.73±1.80^{aA}	6.67±1.77^{aA}	7.08±0.67^{A}	6.67±0.78^{A}	6.33±1.58^{aA}	6.20±1.47^{aA}
1	5.87±1.33^{bA}	5.50±1.48^{bB}	5.57±1.41^{bA}	4.97±1.33^{bcB}	-	-	5.83±1.44^{aA}	5.47±1.36^{aA}
2	5.03±1.38^{cA}	4.57±1.65^{cA}	4.90±1.32^{cA}	4.60±1.52^{cA}	-	-	5.10±1.42^{bA}	4.63±1.61^{bB}
3	6.27±1.17^{abA}	5.60±1.35^{bB}	6.07±1.11^{abA}	5.43±1.28^{bB}	-	-	6.17±1.18^{aA}	5.47±1.33^{aB}
4	6.30±1.09^{abA}	5.90±1.21^{abA}	5.87±1.20^{bA}	5.67±1.30^{bA}	7.00±1.13^{A}	5.75±1.96^{B}	6.03±1.22^{aA}	5.63±1.33^{aA}

หมายเหตุ (1) ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน; (2) ns หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่กำกับในสดมภ์เดียวกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ; (3) ตัวอักษรพิมพ์เล็กที่กำกับในสดมภ์เดียวกันแตกต่างกันหมายถึงค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ [$p<0.05$]; (4) ตัวอักษรพิมพ์ใหญ่ที่กำกับในแถวเดียวกันของแต่ละคุณลักษณะแตกต่างกันหมายถึงค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ [$p<0.05$]; (5) เครื่องหมาย- หมายถึงไม่ได้ทำการประเมินคุณลักษณะทางประสาทสัมผัส

ตารางที่ 30 คะแนนเฉลี่ยคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของชิ้นส้มแขกอบแห้งจากระยะที่ผลมีสีเขียว ไม่แช่สารละลาย 0.5% $CaCl_2$ เก็บที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ในถุง Nylon และ PE

ระยะเวลาเก็บรักษา (เดือน)	ลักษณะปรากฏ		สี		กลิ่น		คุณลักษณะโดยรวม	
	Nylon	PE	Nylon^{ns}	PE	Nylon^{ns}	PE^{ns}	Nylon	PE
0	6.63±1.45^{bA}	6.13±1.43^{bB}	6.50±1.50^{A}	5.97±1.61^{bB}	6.42±0.79^{A}	6.33±0.49^{A}	6.40±1.45^{bA}	5.93±1.44^{cB}
1	7.37±0.93^{aA}	6.87±0.97^{aB}	7.13±1.41^{A}	6.80±1.42^{aB}	-	-	7.03±0.85^{aA}	6.70±0.84^{bB}
2	7.43±1.04^{aA}	7.10±1.06^{aB}	7.27±0.94^{A}	7.27±0.94^{aA}	-	-	7.40±0.97^{aA}	7.30±0.88^{aA}
3	6.97±1.07^{abA}	6.77±0.94^{aA}	7.00±0.79^{A}	6.73±0.78^{aB}	-	-	7.00±0.79^{aA}	6.63±0.85^{bB}
4	6.93±0.83^{abA}	6.83±0.70^{aA}	7.07±0.87^{A}	6.83±0.79^{aA}	6.33±0.78^{A}	6.42±1.38^{A}	6.97±0.96^{aA}	6.87±0.90^{abA}

หมายเหตุ (1) ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน; (2) ns หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่กำกับในสดมภ์เดียวกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ; (3) ตัวอักษรพิมพ์เล็กที่กำกับในสดมภ์เดียวกันแตกต่างกันหมายถึงค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ [$p<0.05$]; (4) ตัวอักษรพิมพ์ใหญ่ที่กำกับในแถวเดียวกันของแต่ละคุณลักษณะแตกต่างกันหมายถึงค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ [$p<0.05$]; (5) เครื่องหมาย - หมายถึงไม่ได้ทำการประเมินคุณลักษณะทางประสาทสัมผัส

คุณภาพทางจุลินทรีย์ชิ้นส้มแขกอบแห้งจากระยะที่ผลมีสีเขียวที่แช่สารละลาย 0.5% $CaCl_2$ และไม่แช่สารละลาย 0.5% $CaCl_2$ บรรจุในถุง Nylon และ PE เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 0 และ 3.5 เดือน ดังแสดงในตารางที่ 31 และ 32 คุณภาพทางจุลินทรีย์ชิ้นส้มแขกอบแห้งจากระยะที่ผลมีสีเหลืองที่แช่สารละลาย 0.5% $CaCl_2$ และไม่แช่สารละลาย 0.5% $CaCl_2$ บรรจุในถุง Nylon และ PE เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 0 และ 3.5 เดือน ดังแสดงในตารางที่ 33 และ 34 พบว่า ชิ้นส้มแขกอบแห้งทุกชุดการทดลองมีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ยีสต์ และรา เป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนเลขที่ มผช.136/2558 เรื่อง ผักและผลไม้แห้ง ซึ่งกำหนดให้มีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดไม่เกิน 1×10^6 โคโลนี/กรัม ปริมาณยีสต์และราไม่เกิน 1×10^3 โคโลนี/กรัม (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม, 2558)

คุณภาพทางจุลินทรีย์ชิ้นส้มแขกอบแห้งจากระยะที่ผลมีสีเขียวที่แช่สารละลาย 0.5% $CaCl_2$ และไม่แช่สารละลาย 0.5% $CaCl_2$ บรรจุในถุง Nylon และ PE เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 0 และ 4เดือน ดังแสดงในตารางที่ 35 และ 36 คุณภาพทางจุลินทรีย์ชิ้นส้มแขกอบแห้งจากระยะที่ผลมีสีเหลืองที่แช่สารละลาย 0.5% $CaCl_2$ และไม่แช่สารละลาย 0.5% $CaCl_2$ บรรจุในถุง Nylon และ PE เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 0 และ 4 เดือน ดังแสดงในตารางที่ 37 และ 38 พบว่า ชิ้นส้มแขกอบแห้งทุกชุดการทดลองมีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ยีสต์ และรา เป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนเลขที่ มผช.136/2558 เรื่อง ผักและผลไม้แห้ง ซึ่งกำหนดให้มีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดไม่เกิน 1×10^6 โคโลนี/กรัม ปริมาณยีสต์และราไม่เกิน 1×10^3 โคโลนี/กรัม (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม, 2558)

ชิ้นส้มแขกอบแห้งมีปริมาณความชื้นที่ต่ำจึงไม่เหมาะสมต่อการเจริญของจุลินทรีย์และเก็บรักษาในบรรจุภัณฑ์สามารถป้องกันการปนเปื้อนจุลินทรีย์จากสิ่งแวดล้อมได้ เช่นเดียวกับ สุธีรา เสาวภาคย์ และคณะ (2557) ที่รายงานว่า ชิ้นส้มแขกอบแห้งที่มีปริมาณความชื้น และค่า a_w ในช่วง 6.12-6.61% และ 0.43-0.44 ตามลำดับ มีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดน้อยกว่า 25 โคโลนีต่อกรัม และวิเคราะห์ไม่พบยีสต์และราในตัวอย่าง เนื่องมาจากการเจริญของจุลินทรีย์จะถูกยับยั้งเมื่อค่า a_w ของอาหารต่ำกว่า 0.6

ตารางที่ 31 ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ยีสต์และรา ของชิ้นส้มแขกอบแห้งจากระยะที่ผลมีสีเขียว แช่สารละลาย 0.5% $CaCl_2$ เก็บที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียสใน ถุง Nylon และ PE

ระยะเวลาเก็บรักษา (เดือน)	ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (โคโลนี/กรัม)		ปริมาณยีสต์ (โคโลนี/กรัม)		ปริมาณเชื้อรา (โคโลนี/กรัม)	
	Nylon	PE	Nylon	PE	Nylon	PE
0	<10	<10	<10	<10	<10	<10
3.5	<10	<10	<10	<10	<10	<10

หมายเหตุ : < 10 หมายถึง ไม่พบโคโลนีของจุลินทรีย์บนจานเชื้อ (Petri dishes)

ตารางที่ 32 ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ยีสต์และราของชิ้นส้มแขกอบแห้งจากระยะที่ผลมีสีเขียว ไม่แช่สารละลาย 0.5% $CaCl_2$ เก็บที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส ในถุง Nylon และ PE

ระยะเวลาเก็บรักษา (เดือน)	ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (โคโลนี/กรัม)		ปริมาณยีสต์ (โคโลนี/กรัม)		ปริมาณเชื้อรา (โคโลนี/กรัม)	
	Nylon	PE	Nylon	PE	Nylon	PE
0	<10	<10	<10	<10	<250	<250
3.5	<10	<10	<10	<10	<10	<10

หมายเหตุ : < 10 หมายถึง ไม่พบโคโลนีของจุลินทรีย์บนจานเพาะเชื้อ (Petri dishes)

ตารางที่ 33 ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ยีสต์และรา ของชิ้นส้มแขกอบแห้งจากระยะที่ผลมีสีเหลือง แช่สารละลาย 0.5% $CaCl_2$ เก็บที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส ในถุง Nylon และ PE

ระยะเวลาเก็บรักษา (เดือน)	ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (โคโลนี/กรัม)		ปริมาณยีสต์ (โคโลนี/กรัม)		ปริมาณเชื้อรา (โคโลนี/กรัม)	
	Nylon	PE	Nylon	PE	Nylon	PE
0	<10	<10	<10	<10	<10	<10
3.5	<10	<10	<10	<10	<10	<10

หมายเหตุ : < 10 หมายถึงไม่พบโคโลนีของจุลินทรีย์บนจานเพาะเชื้อ (Petri dishes)

ตารางที่ 34 ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ยีสต์และรา ของชิ้นส้มแขกอบแห้งจากระยะที่ผลมีสีเหลือง ไม่แช่สารละลาย 0.5% $CaCl_2$ เก็บที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส ในถุง Nylon และ PE

ระยะเวลาเก็บรักษา (เดือน)	ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (โคโลนี/กรัม)		ปริมาณยีสต์ (โคโลนี/กรัม)		ปริมาณเชื้อรา (โคโลนี/กรัม)	
	Nylon	PE	Nylon	PE	Nylon	PE
0	<10	<10	<10	<10	<10	<10
3.5	<10	<10	<10	<10	<10	<10

หมายเหตุ : < 10 หมายถึงไม่พบโคโลนีของจุลินทรีย์บนจานเพาะเชื้อ (Petri dishes)

ตารางที่ 35 ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ยีสต์และรา ของชิ้นส้มแขกอบแห้งจากระยะที่ผลมีสีเขียว แช่สารละลาย 0.5% $CaCl_2$ เก็บที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ในถุง Nylon และ PE

ระยะเวลาเก็บรักษา (เดือน)	ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (โคโลนี/กรัม)		ปริมาณยีสต์ (โคโลนี/กรัม)		ปริมาณเชื้อรา (โคโลนี/กรัม)	
	Nylon	PE	Nylon	PE	Nylon	PE
0	<10	<10	<10	<10	<10	<10
4	<10	<10	<10	<10	<10	<10

หมายเหตุ : < 10 หมายถึงไม่พบโคโลนีของจุลินทรีย์บนจานเพาะเชื้อ (Petri dishes)

ตารางที่ 36 ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ยีสต์และรา ของชิ้นส้มแขกอบแห้งจากระยะที่ผลมีสีเขียว ไม่แช่สารละลาย 0.5% $CaCl_2$ เก็บที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ในถุง Nylon และ PE

ระยะเวลาเก็บรักษา (เดือน)	ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (โคโลนี/กรัม)		ปริมาณยีสต์ (โคโลนี/กรัม)		ปริมาณเชื้อรา (โคโลนี/กรัม)	
	Nylon	PE	Nylon	PE	Nylon	PE
0	<10	<10	<250	<250	<10	<10
4	<10	<10	<10	<10	<250	<10

หมายเหตุ : < 10 หมายถึงไม่พบโคโลนีของจุลินทรีย์บนจานเพาะเชื้อ (Petri dishes)

ตารางที่ 37 ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ยีสต์และรา ของชิ้นส้มแขกอบแห้งจากระยะที่ผลมีสีเหลือง แช่สารละลาย 0.5% $CaCl_2$ เก็บที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสในถุง Nylon และ PE

ระยะเวลาเก็บรักษา (เดือน)	ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (โคโลนี/กรัม)		ปริมาณยีสต์ (โคโลนี/กรัม)		ปริมาณเชื้อรา (โคโลนี/กรัม)	
	Nylon	PE	Nylon	PE	Nylon	PE
0	<10	<10	<10	<10	<10	<10
4	<10	<10	<10	<10	<10	<10

หมายเหตุ : < 10 หมายถึงไม่พบโคโลนีของจุลินทรีย์บนจานเพาะเชื้อ (Petri dishes)

ตารางที่ 38 ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ยีสต์และรา ของชิ้นส้มแขกอบแห้งจากระยะที่ผลมีสีเหลือง ไม่แช่สารละลาย 0.5% $CaCl_2$ เก็บที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ในถุง Nylon และ PE

ระยะเวลาเก็บรักษา (เดือน)	ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (โคโลนี/กรัม)		ปริมาณยีสต์ (โคโลนี/กรัม)		ปริมาณเชื้อรา (โคโลนี/กรัม)	
	Nylon	PE	Nylon	PE	Nylon	PE
0	<10	<10	<10	<10	<10	<10
4	<10	<10	<10	<250	<10	<10

หมายเหตุ : < 10 หมายถึงไม่พบโคโลนีของจุลินทรีย์บนจานเพาะเชื้อ (Petri dishes)

สรุปผลการทดลอง

1. ระยะความแก่อ่อนมีผลต่อคุณภาพของส้มแขกสด โดยส้มแขกสดจากระยะที่ผลมีสีเขียวจะมีปริมาณความชื้น ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้ ต่ำกว่าส้มแขกสดจากระยะที่ผลมีสีเหลือง ส้มแขกสดจากระยะที่ผลมีสีเขียวและสีเหลือง มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและกิจกรรมการต้านอนุมูล DPPH รายงานค่าในรูป EC_{50} เท่ากับ 1.51±0.04, 1.54±0.02 มก.สมมูลของกรดแกลลิก/ก.ตัวอย่างฐานแห้ง และ 2.33±0.22, 2.62±0.19 มก./มล. ตามลำดับ ปริมาณกรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริกและกรด (-)-ไฮดร็อกซีซิตริกแลกโตน เท่ากับ 24.96±0.09, 24.17±0.11 ก./100ก.ตัวอย่างในฐานแห้ง และ 16.50±0.01, 15.55±0.27 ก./100ก.ตัวอย่างในฐานแห้ง ตามลำดับ

2. การปรับสภาพสีและเนื้อสัมผัสของชิ้นส้มแขกสดทั้งสองระยะความแก่อ่อนโดยการแช่ในสารละลายพรีทรีทเมนต์มีผลต่อคุณภาพของชิ้นส้มแขกอบแห้ง ซึ่งระยะเวลาที่เหมาะสมในการแช่ เท่ากับ 5 นาที ก่อนการอบแห้งด้วยตู้อบแห้งแบบสุญญากาศ

3. ระยะความแก่อ่อนและสารละลายพรีทรีทเมนต์มีผลต่อคุณภาพของชิ้นส้มแขกอบแห้ง โดยชิ้นส้มแขกอบแห้งจากระยะที่ผลมีสีเหลืองมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและปริมาณกรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริกสูงกว่า แต่มีกิจกรรมการต้านอนุมูล DPPH ต่ำกว่าชิ้นส้มแขกอบแห้งจากระยะที่ผลมีสีเขียว ส่วนสารละลายพรีทรีทเมนต์มีผลทำให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด กิจกรรมการต้านอนุมูล DPPH ปริมาณกรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริกของชิ้นส้มแขกอบแห้งลดลง อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาในด้านความคงตัวของกรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริกและปริมาณกรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริกแลกโตนของชิ้นส้มแขกอบแห้งทั้งสองระยะความแก่อ่อน การพรีทรีทเมนต์ด้วยสารละลาย 0.5% $CaCl_2$ เป็นเวลา 5 นาที จึงเหมาะต่อการใช้ปรับสภาพของชิ้นส้มแขกก่อนการอบแห้งเพื่อรักษาความสว่าง (L*) และปริมาณกรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริกของชิ้นส้มแขกอบแห้งที่ได้

4. การศึกษาผลของอุณหภูมิการอบแห้งด้วยตู้อบแบบสุญญากาศต่อคุณภาพของชิ้นส้มแขกอบแห้ง พบว่า การอบแห้งชิ้นส้มแขกที่อุณหภูมิ 40, 50 และ 60 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการอบแห้งเท่ากับ 14.8, 10.0 และ 5.4 ชั่วโมง ตามลำดับ งานวิจัยนี้พบว่า อุณหภูมิที่เหมาะสมในการอบแห้งส้มแขกทุกชุดการทดลองเท่ากับ 50 องศาเซลเซียส ซึ่งชิ้นส้มแขกอบแห้งที่ได้มีสัดส่วนของกรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริก และกรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริกแลกโตนที่เหมาะสมกว่าชุดการทดลองอื่น โดยชิ้นส้มแขกจากระยะที่ผลมีสีเขียวและเหลือง ผ่านการแช่สารละลาย 0.5% $CaCl_2$ และอบแห้งภายใต้สภาวะดังกล่าว มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและกิจกรรมการต้านอนุมูล DPPH เท่ากับ 1.01±0.02, 1.48±0.03 มก.สมมูลของกรดแกลลิก/ก.ตัวอย่างฐานแห้ง และ 5.50±0.39, 3.79±0.44 มก./มล. ตามลำดับ ปริมาณกรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริกและกรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริกแลกโตน เท่ากับ 15.07±0.23, 16.47±0.03 ก./100ก.ตัวอย่างในฐานแห้ง และ 4.15±0.05, 3.99±0.09 ก./100ก.ตัวอย่างในฐานแห้ง ตามลำดับ

5. การศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพชิ้นส้มแขกอบแห้งระหว่างเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 และ 28 องศาเซลเซียส พบว่า ระยะเวลาเก็บรักษาเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของชิ้นส้มแขกอบแห้ง ในขณะที่ฟิล์มบรรจุภัณฑ์ Nylon และ PE มีผลกระทบเล็กน้อย และยังพบว่าชิ้นส้มแขกอบแห้งทุกชุดการทดลองที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส มีการเปลี่ยนแปลงคุณภาพโดยเฉพาะด้านสีน้อยกว่าชิ้นส้มแขกอบแห้งที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส และเก็บรักษาได้นานกว่า

6. ชิ้นส้มแขกอบแห้งจากระยะที่ผลมีสีเขียวและแช่สารละลาย 0.5% $CaCl_2$ เก็บรักษาในถุง Nylon และ PE ที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 3.5 เดือน มีปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้น L* และ b* มีค่าลดลง ในขณะที่ a* มีค่าเพิ่มขึ้น แสดงให้เห็นว่าชิ้นส้มแขกอบแห้งมีสีคล้ำขึ้น ชิ้นส้มแขกอบแห้งที่เก็บรักษาในถุง Nylon และ PE มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดลดลง ($p<0.05$) เท่ากับ 11.97 และ 4.22% ตามลำดับ และกิจกรรมการต้านอนุมูล DPPH มีค่าลดลง ($p<0.05$) ส่วนปริมาณกรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริกเท่ากับ 14.11 และ 15.44 ก./100ก.ตัวอย่างในฐานแห้ง ตามลำดับ และมีปริมาณกรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริกแลกโตนเท่ากับ 12.92 และ 15.89 ก./100ก.ตัวอย่างในฐานแห้ง ตามลำดับ การเก็บรักษาในถุง PE ซึ่งมีค่าอัตราการซึมผ่านของไอน้ำที่สูงกว่าถุง Nylon อาจมีส่วนในการเร่งการดูดความชื้นกลับของชิ้นส้มแขกและเร่งการสลายตัวของกรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริกในระหว่างเก็บรักษา ส่วนคะแนนเฉลี่ยด้านคุณลักษณะโดยรวมของชิ้นส้มแขกอบแห้งเก็บรักษาในถุง Nylon และ PE เป็นระยะเวลา 3.5 เดือน มีค่าลดลง ($p<0.05$) จากเมื่อเริ่มเก็บรักษา โดยมีค่าในระดับที่ผู้ทดสอบระบุไม่ได้ว่าชอบหรือไม่ชอบเท่ากับ 5.87±1.14 และ 5.70±1.21 ตามลำดับ

7. ชิ้นส้มแขกอบแห้งจากระยะที่ผลมีสีเขียวและไม่แช่สารละลาย 0.5% $CaCl_2$ เก็บรักษาในถุง Nylon และ PE ที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 3.5 เดือน มีปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้น L* และ b* มีค่าลดลง ในขณะที่ a* มีค่าเพิ่มขึ้น แสดงให้เห็นว่าชิ้นส้มแขกอบแห้งมีสีคล้ำขึ้น ชิ้นส้มแขกอบแห้งที่เก็บรักษาในถุง Nylon และ PE มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดลดลง ($p<0.05$) เท่ากับ 6.94 และ 8.44% ตามลำดับ ในขณะที่กิจกรรมการต้านอนุมูล DPPH มีค่าเพิ่มขึ้น ($p<0.05$) ปริมาณกรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริกลดลง มีค่าเท่ากับ 18.15 และ 11.54 ก./100ก.ตัวอย่างในฐานแห้ง ตามลำดับ และมีปริมาณกรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริกแลกโตน เท่ากับ 19.09 และ 10.59 ก./100ก.ตัวอย่างในฐานแห้ง ตามลำดับ การเก็บรักษาในถุง Nylon พบว่า ชิ้นส้มแขกจะมีปริมาณกรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริกที่สูงกว่า ($p<0.05$) การเก็บรักษาในถุง PE ทำนองเดียวกันคุณสมบัติของถุง Nylon มีอัตราการซึมผ่านของไอน้ำที่ต่ำกว่าถุง PE จึงช่วยป้องกันการดูดกลับความชื้นกลับของชิ้นส้มแขกและลดการสลายตัวของกรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริกในระหว่างเก็บรักษา นอกจากนี้คะแนนเฉลี่ยด้านคุณลักษณะโดยรวมของชิ้นส้มแขกอบแห้งเก็บรักษาในถุง Nylon และ PE เป็นระยะเวลา 3.5 เดือน มีแนวโน้มลดลงจากเมื่อเริ่มเก็บรักษา โดยมีค่าเท่ากับ 5.73±1.55 และ 5.60±1.54 ตามลำดับ

8. ชิ้นส้มแขกอบแห้งจากระยะที่ผลมีสีเหลืองและแช่สารละลาย 0.5% $CaCl_2$ เก็บรักษาในถุง Nylon และ PE ที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 3.5 เดือน มีปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้น L* และ b* มีค่าลดลง ในขณะที่ a* มีค่าเพิ่มขึ้น แสดงให้เห็นว่าชิ้นส้มแขกอบแห้งมีสีคล้ำขึ้น ชิ้นส้มแขกอบแห้งที่เก็บรักษาในถุง Nylon และ PE มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดลดลง ($p<0.05$) เท่ากับ 7.33 และ 2.67% ตามลำดับและกิจกรรมการต้านอนุมูล DPPH มีค่าลดลง ($p<0.05$) เช่นกัน ส่วนปริมาณกรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริก

เท่ากับ 6.73 และ 14.01 ก./100ก.ตัวอย่างในฐานแห้ง ตามลำดับ และมีปริมาณกรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริกแลกโตนเท่ากับ 5.75 และ 12.80 ก./100ก.ตัวอย่างในฐานแห้ง ตามลำดับ ส่วนคะแนนเฉลี่ยด้านคุณลักษณะโดยรวมของชิ้นส้มแขกอบแห้งเก็บในถุง Nylon และ PE เป็นระยะเวลา 3.5 เดือน มีค่าลดลง (p<0.05) จากเมื่อเริ่มเก็บรักษา โดยมีค่าในระดับที่ผู้ทดสอบไม่ชอบเล็กน้อยเท่ากับ 4.93±1.93 และ 4.70±1.86 ตามลำดับ

9. ชิ้นส้มแขกอบแห้งจากระยะที่ผลมีสีเหลืองและไม่แช่สารละลาย 0.5% $CaCl_2$ เก็บรักษาในถุง Nylon และ PE ที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 3.5 เดือน มีปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้น L* และ b* มีค่าลดลง ในขณะที่ a* มีค่าเพิ่มขึ้น แสดงให้เห็นว่าชิ้นส้มแขกอบแห้งมีสีคล้ำขึ้น ชิ้นส้มแขกอบแห้งที่เก็บรักษาในถุง Nylon และ PE มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดลดลง (p<0.05) เท่ากับ 6.55 และ 13.10% ตามลำดับ ในขณะที่กิจกรรมการต้านอนุมูล DPPH มีค่าเพิ่มขึ้น (p<0.05) ส่วนปริมาณกรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริกเท่ากับ 17.52 และ 10.98 ก./100ก.ตัวอย่างในฐานแห้ง ตามลำดับ และมีปริมาณกรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริกแลกโตน เท่ากับ 15.25 และ 9.39 ก./100ก.ตัวอย่างในฐานแห้ง ตามลำดับและคะแนนเฉลี่ยด้านคุณลักษณะโดยรวมของชิ้นส้มแขกอบแห้งเก็บรักษาในถุง Nylon และ PE เป็นระยะเวลา 3.5 เดือน มีค่าลดลง (p<0.05) จากเมื่อเริ่มเก็บรักษา โดยมีค่าเท่ากับ 5.73±1.20 และ 5.33±1.15 ตามลำดับ

10. ชิ้นส้มแขกอบแห้งจากระยะที่ผลมีสีเขียวและแช่สารละลาย 0.5% $CaCl_2$ เก็บรักษาในถุง Nylon และ PE ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 4 เดือน มีปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้น ค่าสี L*, a* และ b* มีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย ชิ้นส้มแขกอบแห้งที่เก็บรักษาในถุง Nylon และ PE มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดลดลง (p<0.05) เท่ากับ 7.75 และ 11.27% ตามลำดับ และกิจกรรมการต้านอนุมูล DPPH มีค่าลดลง (p<0.05) เช่นกัน ส่วนปริมาณกรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริกเท่ากับ 14.43 และ 15.17 ก./100ก.ตัวอย่างในฐานแห้ง ตามลำดับ และมีปริมาณกรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริกแลกโตนเท่ากับ 13.59 และ 13.29 ก./100ก.ตัวอย่างในฐานแห้ง ตามลำดับ นอกจากนี้คะแนนเฉลี่ยด้านคุณลักษณะโดยรวมของชิ้นส้มแขกอบแห้งเก็บรักษาในถุง Nylon และ PE เป็นระยะเวลา 4 เดือน มีค่าไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติจากเมื่อเริ่มเก็บรักษา โดยมีค่าในระดับที่ผู้ทดสอบชอบเล็กน้อยเท่ากับ 6.23±1.30 และ 6.33±1.40 ตามลำดับ

11. ชิ้นส้มแขกอบแห้งจากระยะที่ผลมีสีเขียวและไม่แช่สารละลาย 0.5% $CaCl_2$ เก็บรักษาในถุง Nylon และ PE ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 4 เดือน มีปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้น ค่าสี L*, a* และ b* มีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย ชิ้นส้มแขกอบแห้งที่เก็บรักษาในถุง Nylon และ PE มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดลดลง (p<0.05) เท่ากับ 12.99% และ 9.74% ตามลำดับ ในขณะที่กิจกรรมการต้านอนุมูล DPPH มีค่าเพิ่มขึ้น (p<0.05) ส่วนปริมาณกรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริก เท่ากับ 18.59 และ 14.48 ก./100ก.ตัวอย่างในฐานแห้ง ตามลำดับ และมีปริมาณกรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริกแลกโตน เท่ากับ 18.85 และ 15.86 ก./100ก.ตัวอย่างในฐานแห้ง ตามลำดับ นอกจากนี้คะแนนเฉลี่ยด้านคุณลักษณะโดยรวมของชิ้นส้มแขกอบแห้งเก็บรักษาในถุง Nylon และ PE เป็นระยะเวลา 4 เดือน มีค่าไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติจากเมื่อเริ่มเก็บรักษา โดยมีค่าในระดับที่ผู้ทดสอบชอบปานกลางถึงชอบเล็กน้อยเท่ากับ 7.07±1.01 และ 6.33±1.12 ตามลำดับ

12. ชิ้นส้มแขกอบแห้งจากระยะที่ผลมีสีเหลืองและแช่สารละลาย 0.5% $CaCl_2$ เก็บรักษาในถุง Nylon และ PE ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 4 เดือน มีปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้น ค่าสี L*, a* และ b*

มีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย ชิ้นส้มแขกอบแห้งที่เก็บรักษาในถุง Nylon และ PE มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดลดลง ($p<0.05$) เท่ากับ 10.67 และ 14.00% ตามลำดับ และกิจกรรมการต้านอนุมูล DPPH มีค่าลดลง ($p<0.05$) เช่นกัน ส่วนปริมาณกรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริก เท่ากับ 18.65 และ 22.02 ก./100ก.ตัวอย่างในฐานแห้ง ตามลำดับ และมีปริมาณกรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริกแลกโตน เท่ากับ 3.90 และ 4.35 ก./100ก.ตัวอย่างในฐานแห้ง ตามลำดับและคะแนนเฉลี่ยด้านคุณลักษณะโดยรวมของชิ้นส้มแขกอบแห้งเก็บรักษาในถุง Nylon และ PE เป็นระยะเวลา 4 เดือน มีค่าไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติจากเมื่อเริ่มเก็บรักษา โดยมีค่าในระดับที่ผู้ทดสอบชอบเล็กน้อยถึงระบุไม่ได้ว่าชอบหรือไม่ชอบเท่ากับ 6.03±1.22 และ 5.63±1.33 ตามลำดับ

13. ชิ้นส้มแขกอบแห้งจากระยะที่ผลมีสีเหลืองและไม่แช่สารละลาย 0.5% $CaCl_2$ เก็บรักษาในถุง Nylon และ PE ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 4 เดือน มีปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้น ค่าสี L*, a* และ b* มีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย ชิ้นส้มแขกอบแห้งที่เก็บรักษาในถุง Nylon และ PE มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดลดลง ($p<0.05$) เท่ากับ 7.73 และ 14.29% ตามลำดับ ในขณะที่กิจกรรมการต้านอนุมูล DPPH มีค่าเพิ่มขึ้น ($p<0.05$) ส่วนปริมาณกรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริกเท่ากับ 24.33 และ 23.12 ก./100ก.ตัวอย่างในฐานแห้ง ตามลำดับ และมีปริมาณกรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริกแลกโตนเท่ากับ 4.43 และ 3.26 ก./100ก.ตัวอย่างในฐานแห้ง ตามลำดับ คะแนนเฉลี่ยด้านคุณลักษณะโดยรวมของชิ้นส้มแขกอบแห้งเก็บรักษาในถุง Nylon และ PE เป็นเวลา 4 เดือน มีค่าไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติจากเมื่อเริ่มเก็บรักษาโดยมีค่าในระดับที่ผู้ทดสอบชอบเล็กน้อยเท่ากับ 6.77±0.96 และ 6.87±0.90 ตามลำดับ

14. การพรีทรีทเมนต์ชิ้นส้มแขกด้วยสารละลาย 0.5% $CaCl_2$ ก่อนการอบแห้ง มีผลต่อกิจกรรมการต้านอนุมูล DPPH ของชิ้นส้มแขกอบแห้งในระหว่างเก็บรักษา โดยพบว่า กิจกรรมการต้านอนุมูล DPPH ของชิ้นส้มแขกอบแห้งทุกชุดการทดลองที่แช่สารละลาย 0.5% $CaCl_2$ มีค่าลดลง ในขณะที่กิจกรรมการต้านอนุมูล DPPH ชิ้นส้มแขกอบแห้งทุกชุดการทดลองที่ไม่แช่สารละลาย 0.5% $CaCl_2$ มีค่าเพิ่มขึ้น

15. ชิ้นส้มแขกอบแห้งทุกชุดการทดลองที่เก็บรักษาในถุง Nylon และ PE ที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 3.5 เดือน และที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 4 เดือน มีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ยีสต์ และรา เป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน เรื่องผักและผลไม้แห้ง

16. ผลส้มแขกจากระยะผลสีเหลือง ตัดชิ้นบางและผ่านการแช่สารละลาย 0.5% $CaCl_2$ เป็นเวลา 5 นาที อบแห้งด้วยตู้อบแห้งสุญญากาศอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ค่าสุญญากาศ 70 มิลลิเมตรปรอท เป็นเวลา 5 ชั่วโมง เก็บรักษาในถุง Nylon และถุง PE ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 4 เดือนเป็นสภาวะที่เหมาะต่อการเก็บ โดยชิ้นส้มแขกแห้งยังมีปริมาณสารสำคัญ (ก./100ก.ตัวอย่างฐานแห้ง,%) ได้แก่ กรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริกเท่ากับ 18.65±0.27 และ 22.02±0.09% และกรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริกแลกโตน เท่ากับ 3.90±0.16 และ 4.35±0.01% ตามลำดับ ชิ้นส้มแขกแห้งเก็บในถุง PE ให้ปริมาณสารสำคัญคงเหลือที่ค่อนข้างสูงกว่า ในขณะที่ผลิตภัณฑ์สมุนไพรผงแห้งบรรจุแคปซูลทางการค้ามีปริมาณกรด (-)-ไฮดร็อกซีซิตริกและกรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริกแลกโตน เท่ากับ 1.36±0.01 และ 2.54±0.06 % ตามลำดับ (Muensritharam *et al.*, 2008)

เอกสารอ้างอิง

กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์. 2553. ประกาศกรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ เรื่อง เกณฑ์คุณภาพทางจุลชีววิทยาของอาหารและภาชนะสัมผัสอาหาร ฉบับที่ 2 (ออนไลน์). สืบค้นจาก: http://dmsc2.dmsc.moph.go.th/webroot/BQSF/File/VARITY/dmscguideline.pdf. (9 ธันวาคม 2559).

ข่าวเกษตร ขยายพื้นที่ปลูกส้มแขกใน 3 จังหวัดภาคใต้ (ออนไลน์). 2549. สืบค้นจาก : http://www.dailynews.co.th/dailynews/pages/front_th/popup_news/Default.aspx?newsid=97790&newsType=1&template=1 (20 มิถุนายน 2554)

คณะอนุกรรมการพัฒนาบัญชียาหลักแห่งชาติ. 2556. คู่มือการผลิตและประกันคุณภาพเภสัชตำรับโรงพยาบาลจากสมุนไพรในบัญชียาหลักแห่งชาติ พุทธศักราช 2555. ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย. นนทบุรี.

จงจิตร อังคทะวานิช 2542. ส้มแขกกับการลดน้ำหนัก ว.อาหารและยา 6 (2): 16-19.

จริงแท้ ศิริพานิช. 2544. สรีรวิทยาและเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวผักและผลไม้. พิมพ์ครั้งที่ 4. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ.

จริงแท้ ศิริพานิช. 2550. ชีววิทยาหลังการเก็บเกี่ยวและการวายของพืช. พิมพ์ครั้งที่ 2. ศูนย์ส่งเสริมและฝึกอบรมการเกษตรแห่งชาติ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. นครปฐม.

ชยันต์ พิเชียรสุนทร. 2539. ส้มแขก. ฉลาดบริโภค วารสารเพื่อผู้บริโภค ฉบับกาญจนาภิเษก. 21 : 54-57

นันทวัน บุณยะประภัศร และอรนุช โชคชัยเจริญพร. 2543. สมุนไพรไม้พื้นบ้าน (4). ประชาชน. กรุงเทพฯ

ปุ่น คงเจริญเกียรติ และสมพร คงเจริญเกียรติ. 2541. บรรจุภัณฑ์อาหาร พิมพ์ครั้งที่ 1 บริษัทโรงพิมพ์หยี่เฮง จำกัด. กรุงเทพฯ.

พิมพ์ชนก อุนจะนำ. 2548. การประเมินโอกาสทางเทคโนโลยีสะอาดในการผลิตยาสมุนไพรส้มแขกชนิดแคปซูล. วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

รัตนา อินทรานุปกรณ์. 2547. การตรวจสอบและการสกัดแยกสาระสำคัญจากสมุนไพร สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. กรุงเทพฯ.

วิวัฒน์ หวังเจริญ. 2545. บทบาทของสารประกอบฟีนอลต่อสุขภาพ. อาหาร. 32: 245-253.

ศูนย์วิจัยพืชยืนต้นและไม้ผลเมืองร้อน โครงการสถานีวิจัยและศูนย์วิจัยฝ่ายวิจัยและบริการ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. 2554. ส้มแขก (ออนไลน์). สืบค้นจาก : http://natres.psu.ac.th/researchcenter/tropicalfruit/fruit/gamboge.htm (20 มิถุนายน 2554)

ศูนย์วิจัยและศึกษาธรรมชาติป่าพรุสิรินธร 2543. ไม้ส้มแขก (*Garcinia atroviridis* Griff.) ไม้ป่าเศรษฐกิจชนิดใหม่ของภาคใต้ เอกสารเผยแพร่ทางวิชาการ ศูนย์วิจัยและศึกษาธรรมชาติป่าพรุสิรินธร โครงการศูนย์ศึกษาการพัฒนาพิกุลทองอันเนื่องมาจากพระราชดำริ (งานป่าไม้) ฉบับที่ 2/2543 เมษายน 2543, หน้า 1-20.

สุวรรณี อาจหาญณรงค์. 2539. การใช้ส้มแขกแห้งเป็นสารให้รสเปรี้ยวในต้มยำก้อน. ปริญญาคหกรรมศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สุธีรา เสาวภาคย์, ธรรมรัตน์ สัมมะวัฒนา และ ศิริพร อาจณรงค์. 2557. ผลของอุณหภูมิอบแห้งต่อคุณภาพของส้มแขกแห้ง. ว. วิทย์ กษ. (พิเศษ) 45: 37-40.

สำนักงานเกษตรจังหวัดยะลา. 2554. ส้มแขก (ออนไลน์) .สืบค้นจาก www.yala.doae.go.th/data/somkak 1.doc (20 มิถุนายน 2554)

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม. 2558. มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน ผักและผลไม้แห้ง (มผช. 136/2558). สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม. กรุงเทพฯ.

สำนักยา. 2547. ประกาศสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา เรื่อง หลักเกณฑ์การพิจารณาขึ้นทะเบียนตำรับยาแผนโบราณเกี่ยวกับมาตรฐานการปนเปื้อนเชื้อจุลินทรีย์และโลหะหนัก (ออนไลน์). สืบค้นจาก: http://drug.fda.moph.go.th/zone_law/files/หลักเกณฑ์การพิจารณาขึ้นทะเบียนตำรับยาแผนโบราณ.pdf (13

อรุณพร อิฐรัตน์ ถนอมจิต สุภาวิตา ปราณี รัตนสุวรรณ และเบญจวรรณ ขวัญแก้ว. 2543. การศึกษาฤทธิ์ทางชีวภาพและการศึกษาทางเภสัชเวทของสารสกัดจากผลส้มแขก *Garcinia atroviridis*. รายการวิจัย. คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

อีลีหย๊ะ สนิโซ และมะรูดิง กาซา. 2552. สัมประสิทธิ์การพาความร้อนแบบธรรมชาติของการทำแห้งส้มแขก. ว.วิจัยและพัฒนา มจธ. 32 : 435.

Abdullah, A.R., Bakhari, N.A. and Osman, H. 2013. Study on the relationship of the phenolic, flavonoid and tannin content to the antioxidant activity of *Garcinia atroviridis*. Universal J. Appl. Sci. 1: 95-100.

Al-Mansoub, M.A., Asmawi, M.Z. and Murugaiyah, V. 2014. Effect of extraction solvents and plant parts used on the antihyperlipidemic and antioxidant effects of *Garcinia atroviridis* : A comparative study. J. Sci. Food. Agric. 94: 1552-1558.

Antony, B. 2003. Studies on hydroxy citric acid in garcinia. Ph.D. Dissertation. Mahatma Gandhi University.

A.O.A.C. 2000. Official Method of Analysis. 17th ed. The Association of Official Analysis Chemists. Inc, Arlington.

Brennan, J.G. 2006. Food Processing Handbook. Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim. p.95.

Ching, L. S. and Mohamed, S. 2001. Alpha-Tocopherol Content in 62 Edible Tropical Plants. J. Agric. Food Chem. 49: 3101-3105.

Chong, C.H., Law, C.L., Figiel, A., Wojdylo, A. and Oziemblowski, M. 2013. Colour, phenolic content and antioxidant capacity of some fruits dehydrated by a combination of different methods. Food Chem. 141: 3889-3896.

Eskin, N.A.M., Ho, C.-T. and Shahidi, F. 2013. Browning Reaction in Foods. In Biochemistry of Foods. 3rd ed. (Eskin, N.A.M., and Shahidi, F., eds.). p. 245-289. Academic Press. London.

Evergreen Packaging and Printing Co., Ltd. 2016. Oxygen Transmission Rate and Water Vapor Transmission Rate of common used plastic film (Online). Available http://www.evergreen-packaging.org/common-plastic-film.html (16 December 2016)

Fellows, P.J. 2009. Food Processing Technology: Principles and Practice. 3rd Edition, Woodhead Publishing Limited and CRC Press LLC, Cambridge. p.514.

Gomes, M.H., Vieira, T., Fundo, J.F. and Almeida, D.P.F. 2014. Polyphenoloxidase activity and browning in fresh-cut 'Rocha' pear as affected by pH, phenolic substrates, and antibrowning additives. Postharvest Biol. Technol. 91: 32-38

Goula, A.M., Thymiatis, K. and Kaderides, K. 2016. Valorization of grape pomace: Drying behavior and ultrasound extraction of phenolics. Food Bioprod. Process. 100: 132-144.

Guiné, R.P.F. and Barroca, M.J. 2012. Effect of drying treatments on texture and color of vegetables (pumpkin and green pepper). Food Bioprod. Process. 90:58-63.

Hamidon, H., Susanti, D., Taher, M. and Zakaria, Z.A. 2017. *Garcinia atroviridis* – A review on phytochemicals and pharmacological properties. Marmara Pharmaceutical J. 21: 38-47. DOI: 10.12991/marupj.259879

Heymsfield, S.B., Allison, D.B., Vasselli, J.R., Piertrobelli, A., Greenfield, D. and Nunez, C. 1998. *Garcinia cambogia* (hydroxycitric acid) as a potential antiobesity agent. JAMA 280(18): 1596-1600.

Huang, D., Ou, B. and Prior, R. L. 2005. The chemistry behind antioxidant capacity assays. J. Agric. Food Chem. 53: 1841-1856

Hymavathi, T.V. and Khader, V. 2005. Carotene, ascorbic acid and sugar content of vacuum dehydrated ripe mango powders stored in flexible packaging material. J. Food Compos. Anal. 18: 181-192.

Ikram, E.H.K., Eng, K.H., Jalil, A.M.M., Ismail, A., Idris, S., Azlan, A., Nazri, H.S.M., Diton, N.A.M. and Mokhtar, R.A.M. 2009. Antioxidant capacity and total phenolic content of Malaysian underutilized fruits. J. Food Compos. Anal. 22: 388–393.

Jayaprakasha, G.K., Jena, B.S. and Sakariah, K.K. 2003. Improved liquid chromatographic method for determination of organic acids in leaves, pulp, fruits and rinds of *Garcinia*. J. AOAC Int. 86: 1063-1068.

Jena, B.S., Jayaprakasha, G.K., Singh, R.P. and Sakariah, K.K. 2002. Reviews: Chemistry and biochemistry of (-)-hydroxycitric acid from Garcinia. J. Agric. Food Chem. 50: 10-22.

Koca, N., Burdurlu, H.S. and Karadeniz, F. 2007. Kinetics of colour changes in dehydrated carrots. J. Food Eng. 78: 449-455.

Mackeen, M.M., Ali, A.M., Lajis, N.H., Kawazu, K., Hassan, Z., Amran, M., Habsah, M., Mooi, L.Y. and Mohamed, S.M. 2000. Antimicrobial, antioxidant, antitumour-promoting and cytotoxic activities of different plant part extracts of *Garcinia atroviridis* Griff. ex T. Anders. Journal of Ethnopharmacology. 72: 395-402.

Mackeen, M.M., Ali, A.M., Lajis, N.H., Kawazu, K., Kikuzaki, H. and Nakatani, N. 2002. Antifungal Garcinia Acid Esters from the Fruits of *Garcinia atroviridis*. Zeitschrift für Naturforschung C . A Journal of Biosciences : 57c, 291-295. Available Online. http://www.znaturforsch.com/ac/v57c/c57c.htm. (Download March 29, 2014)

Manzocco, L., Calligaris, S., Mastrocola, D., Nicoli, M.C. and Lerici, C.R. 2001. Review of non-enzymatic browning and antioxidant capacity in processed foods. Trends Food Sci. Tech. 11: 340-346.

Maskan, M. 2001. Kinetics of colour change of kiwifruits during hot air and microwave drying. J. Food Eng. 48:169-175.

McGuire, R.G. 1992. Reporting of objective color measurements. HortScience. 27: 1254-1255.

Miean, K.H. and Mohamed, S. 2001. Flavonoid (Myricetin, Quercetin, Kaempferol, Luteolin and Apigenin) Content of Edible Tropical Plants. J. Agric. Food Chem. 49 : 3106-3112.

Miliauskus, G., Venskutonis, P.R. and Van Beck, T.A. 2004. Screening of radical scavenging activity of some medical and aromatic plant extracts. Food Chem. 85: 231-237.

Moffett, S.A., Bhandari, A.K., Ravindranath, B.and Balasubramanvam, K. 1997. Hydroxycitric Acid Concentrate and Food Products Prepared Therefrom. US Patent 5656314.

Muensritharam, L., Tolieng, V., Chaichantipyuth, C., Petsom,A. and Nhujak, T. 2008. Capillary zone electrophoresis for separation and analysis of hydroxycitric acid and hydroxycitric acid lactone: Application to herbal products of *Garcinia atroviridis* Griff. J. Ethnopharmacol. 72: 395-402.

Murcia, M.A., Jiménez-Monreal, A.M., García-Diz, L., Carmona, M, Maggi, L. and Martínez-Tomé. 2009. Antioxidant activity of minimally processed (in modified atmospheres), dehydrated and ready-to-eat vegetables. Food Chem. Toxicol. 47: 2103-2110.

Negi, P.S. and Roy, S.K. 2001. Effect of drying condition on quality of green leaves during long term storage. Food Res. Int. 34: 283-287.

Nunes, J.C., Lago, M.G., Castelo-Branco, V.N., Oliveira, F.R., Torres, A.G., Perrone, D. and Monteiro, M. 2016. Effect of drying method on volatile compounds, phenolic profile and antioxidant capacity of guava powders. Food Chem. 197: 881-890.

Nursakinah, I., Zulkhairi, H.A., Norhafizah, M., Hasnah, B., Zamree, Md. S., Farrah Shafeera, I. Razif, D. and Hamzah Fansuri, H. 2012. Nutritional content and *in vitro* antioxidant potential of *Garcinia atroviridis* (*Asam gelugor*) leaves and fruits. Mal. J. Nutr. 18: 363-371.

O'Brien, J. and Morrissey, P.A. 1997. Metal ion complexation by products of the Maillard reaction. Food Chem. 58: 17-27.

Parthasarathi, S., Ezhilarasi, P.N., Jena, B.S., and Anandharamakrishnan, C. 2013. A comparative study on conventional and microwave-assisted extraction for microencapsulation of *Garcinia* fruit extract. Food Bioprod. Process. 91:103-110.

Preuss H.G., Rao, C.V, Garis, R., Bramble, J.D., Ohia, S.E., Bagchi, M. and Bagchi, D. 2004. An overview of the safety and efficacy of a novel, natural(-)-hydroxycitric acid extract (HCA-SX) for weight management. Journal of Medicine. 35(1-6):33-48.

Rao, G.V., Karunakara, A.C., Babu, R.R.S., Ranjit, D. and Reddy, G.C. 2010. Hydroxycitric acid lactone and its salts: Preparation and appetite suppression studies. Food Chem. 120: 235–239.

Rittirut, W. and Siripatana, C. 2006. Drying Characteristics of *Garcinia atroviridis*. Walailak J Sci & Tech. 3(1): 13-32

Roongpisuthipong C, Kantawan R, Roongpisuthipong W. 2007. Reduction of adipose tissue and body weight: effect of water soluble calcium hydroxycitrate in *Garcinia atroviridis* on the short term treatment of obese women in Thailand. Asia Pac J. Clin. Nutr. 16: 25–29.

Sablani, S. 2006. Drying of fruits and vegetabels: Retention of nutritional/functional quality. Dry. Technol. 24: 123-135.

Stratil, P., Klejdus, B. and Kubáň, V. 2006. Determination of total content of phenolic compounds and their antioxidant activity in vegetables-evaluation of spectrophotometric methods. J. Agric. Food Chem. 54: 607-616.

Stone, H. and Sidel, J. L. 2004. Sensory Evaluation Practices. 3rd ed. Elsevier Academic Press, San Diego.

Sullivan, A.C. and Gruen, R.K. 1985. Mechanisms of Appetite Modulation by Drugs. Federation Proc. 44: 139-144.

Surveswaran, S., Cai Y. Z., Corke, H. and Sun, M. 2007. Systematic evaluation of natural phenolic antioxidants from 133 Indian medicinal plants. Food Chem. 102: 938-953.

Toivonen, P.M.A. and Brummell, D.A. 2008. Biochemical bases of appearance and texture changes in fresh-cut fruit and vegetables-Review. Postharvest. Biol. Technol. 48:1-14.

Udomkun, P., Nagle, M., Argyropoulos, D., Mahayothee, B., Latif, S and Müller, J. 2016. Compositional and functional dynamics of dried papaya as affected by storage time and packaging material. Food Chem. 196: 712-719.

USFDA. 2001a. Aerobic Plate Count in Bacteriological Analytical Manual (Online). Available: http://www.cfsan.fda.gov/~ebam/bam-3.html (30 April 2013)

USFDA. 2001b. Yeasts, Molds and Mycotoxins in Bacteriological Analytical Manual (Online). Available: http://www.cfsan.fda.gov/~ebam/bam-18.html (30 April 2013)

Vinh, D.Q. 2012. Study on extraction, conversion of hydroxycitric acid from leaves and fruit rinds of *Garcinia oblongifolia* Champ. ex Benth and its application to produce weight-loss products. Ph.D. Dissertation. University of Da Nang.

Watson, J.A., Fang, M., Lowenstein, J.M. 1969. Tricarbalylate and hydroxycitrate: substrate and inhibitor of ATP: citrate oxaloacetate lyase. Arch Biochem Biophys. 35: 209-217.

Whitmore, T. C. 1972. Tree Flora of Malaya. Vol 2. Longman. Kuala Lumper.

Yamasaki, K., Hashimoto, A., Kokusenya, Y., Miyamoto, T. and Sato, T. 1994. Electrochemical method for estimating the antioxidative effects of methanol extracts of crude drugs. Chem. Pharm. Bull. 42:1663-1665.

ภาคผนวก ก

ข้อเสนอแนะ

ส้มแขกเป็นพืชสมุนไพรที่มีผลแต่ละฤดูกาลค่อนข้างมาก และต้นส้มแขกแต่ละต้นที่ออกผลจะสุกไม่พร้อมกัน การสุกของผลยังมีผลจากปัจจัยภูมิอากาศ เช่น อากาศร้อนหรือฝนตก จะทำให้ผลส้มแขกเปลี่ยนสีหรือเน่าเสียบนต้นเร็วขึ้น จึงเป็นอุปสรรคสำคัญต่อการควบคุมความสม่ำเสมอของผลส้มแขกที่ทำวิจัยได้ ส่วนความจุของตู้อบแห้งแบบสุญญากาศ (pilot scale vacuum dryer) ยังเป็นข้อจำกัดในการทดลอง ด้วยตัวอย่างปริมาณมาก จึงเป็นสิ่งที่ผู้ทำวิจัยต่อไปจะต้องคำนึงถึงด้วย

ประโยชน์ที่ได้รับ

(1) งานวิจัยนี้ได้รับประโยชน์ดังนี้

1. ทราบผลของความแก่อ่อน ได้แก่ ระยะที่ผลมีสีเขียว (สีเขียวเข้มของระยะแก่จัด) และระยะที่ผลมีสีเหลือง (ระยะแก่จัดเริ่มเปลี่ยนเป็นสีเหลืองทั้งผลหรือระยะสุก) ที่มีต่อคุณภาพทั้งส้มแขกสด ส้มแขกแห้ง
2. ทราบสภาวะการอบแห้งด้วยตู้อบแห้งสุญญากาศที่เหมาะสมต่อกระบวนการอบแห้งส้มแขก เพื่อให้มีปริมาณสารสำคัญคงเหลือในส้มแขกมากที่สุด
3. ทราบชนิดบรรจุภัณฑ์และอุณหภูมิการเก็บที่มีต่อคุณภาพของส้มแขกแห้งในระหว่างการเก็บรักษา 4 เดือน
4. ทราบอายุการเก็บรักษาและปริมาณสารสำคัญที่คงอยู่ในผลิตภัณฑ์ส้มแขกแห้ง เมื่อสิ้นสุดการเก็บรักษา โดยงานวิจัยนี้ทำการศึกษาในระยะเวลา 4 เดือน

(2) บทความที่ได้รับการตีพิมพ์แล้ว

Sirichote, A., Puengphian, C. and Jongpanyalert, B. 2015. Fruit quality of *Garcinia atroviridis* Griff. as affected by maturity and vacuum drying. Acta Hortic.1088, 591-594. DOI: 10.17660/ActaHortic.2015.1088.109 http://dx.doi.org/10.17660/ActaHortic.2015.1088.109

ชัยรัตน์ พึ่งเพียร บุปผา จองปัญญาเลิศ และ อัญชลี ศิริโชติ. 2559. ผลของระยะความแก่อ่อนและสารละลายพรีทรีทเมนต์ก่อนการอบแห้งแบบสุญญากาศที่มีต่อคุณภาพของส้มแขก (*Garcinia atroviridis* Griff. ex.T Anderson) อบแห้ง. วารสารพืชศาสตร์สงขลานครินทร์ปีที่ 3 (ฉบับพิเศษ III): M07/25-30. (ISSN 2351-0846)

(3) การประชุมวิชาการ

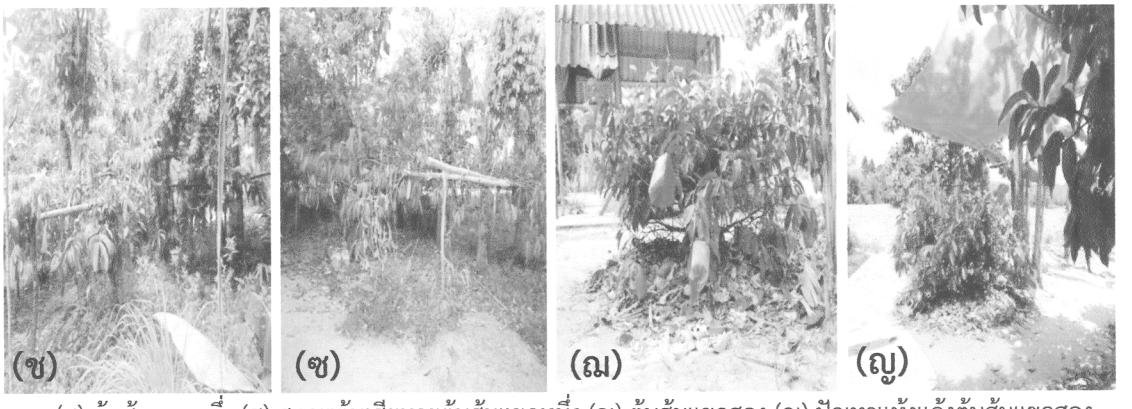
Sirichote, A., Puengphian, C. and Jongpanyalert, B. 2015. Fruit quality of *Garcinia atroviridis* Griff. as affected by maturity and vacuum drying. In Proceedings of the 2nd ISHS Southeast Asia Symposium on Quality Management in Postharvest System. Lane Xang Hotel, Vientiane, Lao PDR. 4-6 December 2013. P. 95.

ชัยรัตน์ พึ่งเพียร บุปผา จองปัญญาเลิศ และ อัญชลี ศิริโชติ. 2559. ผลของระยะความแก่อ่อนและสารละลายพรีทรีทเมนต์ก่อนการอบแห้งแบบสุญญากาศที่มีต่อคุณภาพของส้มแขก (*Garcinia atroviridis* Griff. ex.T Anderson) อบแห้ง. การประชุมวิชาการพืชสวนแห่งชาติ ครั้งที่ 15. ณ โรงแรมลีการ์เดนส์ พลาซ่า จังหวัดสงขลา. 9-12 พฤศจิกายน 2559. หน้า 265.

ภาคผนวก ข

กิจกรรมต่างๆ ในระหว่างดำเนินการวิจัย

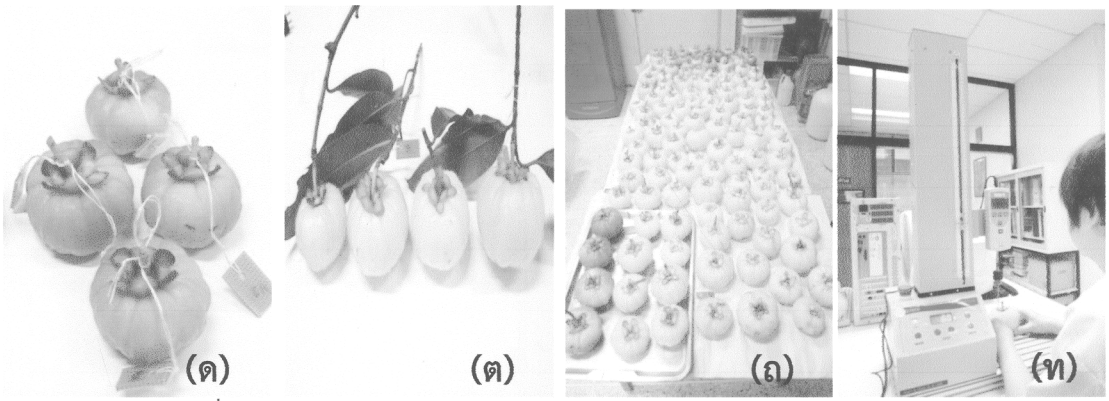
(ก) ระยะติดผล (ข) – (ค) ระยะเจริญของผลส้มแขก (ง)- (ฉ) ระยะผลสีเขียวและระยะผลสีเหลืองของผลส้มแขก



(ช) ต้นส้มแขกหนึ่ง (ซ) สภาพต้นเสียหายต้นส้มแขกหนึ่ง (ฌ) ต้นส้มแขกสอง (ญ) ปัญหาแห้งแล้งต้นส้มแขกสอง

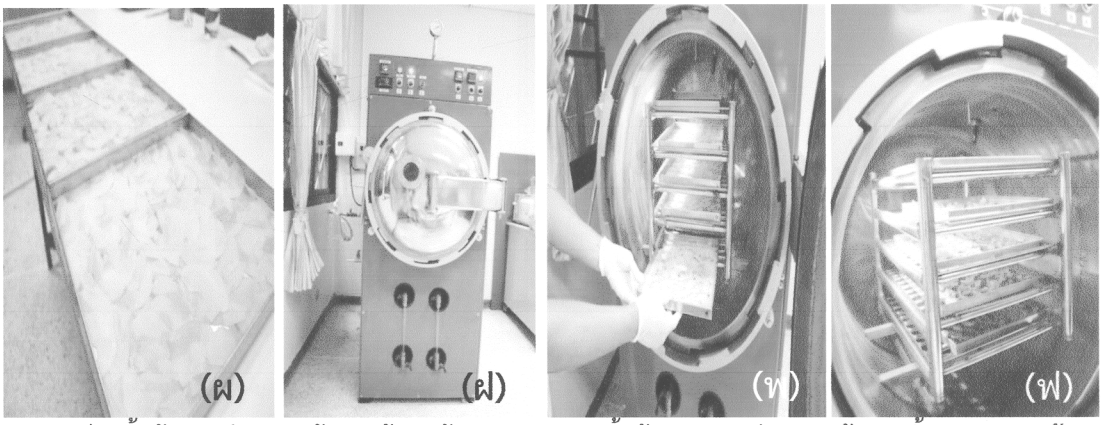
(ฎ) ต้นส้มแขกสาม (ฏ) ติดตั้งราวไม้ค้ำ ยกกิ่งต้นส้มแขกสี่ (ฐ) ต้นส้มแขกห้า และ (ฑ) การเก็บเกี่ยวผลส้มแขก

ภาพภาคผนวก ข ที่ 1 แสดงกิจกรรมต่างๆ ในระหว่างดำเนินการทำวิจัย

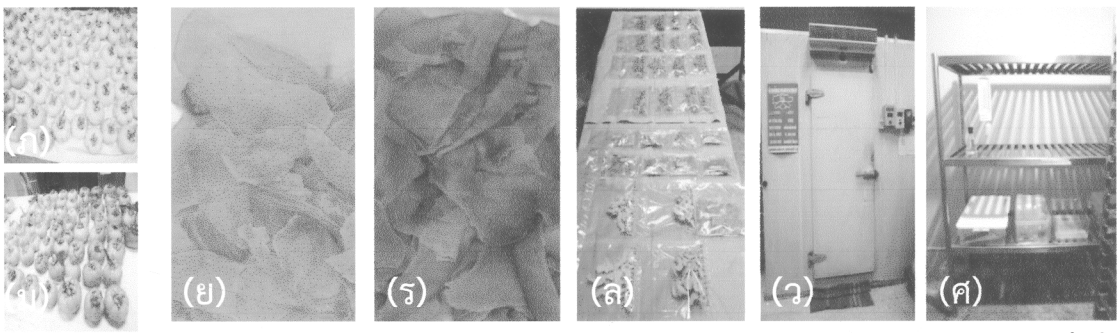


ผลส้มแขกหลังเก็บเกี่ยว (ด) ระยะสีเขียวแก่ (ต) ระยะสีเหลือง (ถ) วัตถุดิบงานทดลอง และ (ท) การวัดค่าแรงกด

(ธ) และ (น) การเตรียมส้มแขกหั่นชิ้น (บ) ชิ้นส้มแขกจากผลสีเขียว และ (ป) ชิ้นส้มแขกจากผลสีเหลือง



(ผ) เตรียมชิ้นส้มแขกก่อนอบแห้ง (ฝ) ตู้อบแห้งสุญญากาศและชิ้นส้มแขก (พ) ก่อนอบแห้ง (ฟ) สิ้นสุดการอบแห้ง



(ภ)-(ม) ส้มแขกผลสีเหลือง-สีเขียว (ย)-(ร) ส้มแขกแห้งผลสีเหลือง-สีเขียว (ล) การเก็บรักษาส้มแขกแห้ง (ว)-(ศ) เก็บที่ $4^{o}C$

ภาพภาคผนวก ข ที่ 1 แสดงกิจกรรมต่างๆ ในระหว่างดำเนินการทำวิจัย (ต่อ)

ภาคผนวก ค

การศึกษาผลของระยะความแก่อ่อนและเวลาแช่สารละลายพรีทรีทเมนต์ที่มีต่อชิ้นส้มแขกอบแห้ง

ตารางภาคผนวก ค ที่ 1 ค่าสีของชิ้นส้มแขกอบแห้งด้วยตู้อบแห้งแบบลมร้อนชนิดถาดหมุนที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส

ระยะความแก่อ่อน	ชนิดสารละลายที่ใช้พรีทรีทเมนต์	ระยะเวลาแช่ (นาที)	ค่าสี		
			L*	a*	b*
ผลสีเขียว	ชุดควบคุม	5	67.79±4.03^{cde}	-2.91±0.94^{e}	11.64±2.03^{fg}
ผลสีเขียว	0.5% NaCl	5	66.43±1.03^{de}	-2.72±0.38^{e}	12.09±2.16^{efg}
ผลสีเขียว	0.5% $CaCl_2$	5	66.68±2.31^{de}	-3.04±0.82^{e}	13.19±1.97^{bcdef}
ผลสีเขียว	0.5% NaCl+0.5% $CaCl_2$	5	64.64±3.64^{efg}	-2.67±0.74^{de}	14.69±2.34^{bcd}
ผลสีเขียว	ชุดควบคุม	10	76.16±1.51^{b}	-3.98±0.39^{f}	17.94±1.33^{a}
ผลสีเขียว	0.5% NaCl	10	70.73±4.63^{c}	-4.49±1.94^{fg}	13.57±1.35^{bcdef}
ผลสีเขียว	0.5% $CaCl_2$	10	79.71±2.95^{a}	-4.56±0.46^{fg}	14.06±1.41^{bcde}
ผลสีเขียว	0.5% NaCl+0.5% $CaCl_2$	10	79.16±3.10^{ab}	-4.92±0.36^{g}	15.12±1.08^{bcdef}
ผลสีเหลือง	ชุดควบคุม	5	62.12±3.14^{g}	-0.64±0.59^{a}	15.03±2.57^{bc}
ผลสีเหลือง	0.5% NaCl	5	65.32±5.01^{efg}	-1.42±0.48^{bc}	10.80±4.01^{g}
ผลสีเหลือง	0.5% $CaCl_2$	5	68.87±2.87^{cd}	-1.12±0.51^{ab}	13.98±1.97^{bcdef}
ผลสีเหลือง	0.5% NaCl+0.5% $CaCl_2$	5	64.72±2.79^{efg}	-1.93±0.47^{cd}	13.06±2.08^{bcdefg}
ผลสีเหลือง	ชุดควบคุม	10	62.50±2.84^{fg}	-0.91±0.68^{ab}	15.33±2.95^{bcdef}
ผลสีเหลือง	0.5% NaCl	10	64.46±3.62^{efg}	-1.20±0.54^{abc}	13.17±2.15^{b}
ผลสีเหลือง	0.5% $CaCl_2$	10	65.48±3.56^{efg}	-1.53±0.60^{bc}	12.83±1.58^{cdefg}
ผลสีเหลือง	0.5% NaCl+0.5% $CaCl_2$	10	65.76±3.22^{def}	-2.33±0.51^{de}	12.47±1.47^{defg}

หมายเหตุ: 1. แสดงผลของระยะความแก่อ่อน สารละลายที่ใช้พรีทรีทเมนต์และระยะเวลาแช่ต่อค่าสี (L*, a* และ b*) ของส้มแขกที่อบแห้งด้วยตู้อบแห้งแบบลมร้อนชนิดถาดหมุนอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส

2. ผลสีเขียว หมายถึง ระยะที่ผลส้มแขกมีสีเขียว (สีเขียวเข้มของระยะแก่จัด) ผลสีเหลือง หมายถึง ระยะที่ผลส้มแขกมีสีเหลือง (ระยะแก่จัดเริ่มเปลี่ยนเป็นสีเหลืองทั้งผลหรือระยะสุก)
3. ค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
4. ตัวอักษรที่กำกับในสดมภ์เดียวกันแตกต่างกัน หมายถึง ค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ภาคผนวก ง

วิธีการวิเคราะห์กรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริกและกรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริกแลกโตน (ดัดแปลงวิธีการจาก Jena *et al.*, 2002)

ขั้นตอนการสกัด

1. บดตัวอย่างส้มแขกแห้งด้วยไนโตรเจนเหลว ชั่งตัวอย่างให้มีน้ำหนักที่แน่นอนประมาณ 2 กรัม ใส่ในกระดาษกรองเบอร์ 1 (ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 125 มิลลิเมตร) และห่อตามวิธีการเช่นเดียวกับการสกัดไขมัน

2. เติมเมทานอล (AR Grade, J.T. Baker, 99.8%) ปริมาตร 250 มิลลิลิตร ลงในขวดก้นกลม

3. ทำการสกัดด้วยชุด Soxhlet apparatus บนเตาควบคุมอุณหภูมิ โดยควบคุมให้เมทานอลชะผ่านตัวอย่างด้วยอัตรา 60-80 หยด/นาที ใช้เวลาในการสกัดนาน 8 ชั่วโมง

4. นำตัวอย่างที่สกัดได้ไประเหยเมทานอลด้วยเครื่อง Rotary vacuum evaporator (Büchi Rotavapor, R-205) ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ความดัน 337 มิลลิบาร์

หมายเหตุ: ได้ทำการทดลองเบื้องต้นชนิดของตัวทำละลาย 2 ชนิด ได้แก่ เมทานอลและแอซีโตน (AR Grade, J.T. Baker, 99.5%) ด้วยวิธีการสกัดโดยดัดแปลงจาก Jayaprakasha และคณะ (2003) ตามขั้นตอนดังกล่าวข้างต้น ทำการสกัด 2 ซ้ำการทดลอง พบว่า ภายใต้สภาวะการวิเคราะห์เดียวกันสารสกัดส้มแขกที่ได้จากตัวทำละลายเมทานอลมีปริมาณกรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริกแลกโตน ซึ่งพิจารณาจากพื้นที่ใต้กราฟเมื่อวิเคราะห์ด้วย HPLC เท่ากับ 1.64×10^{5} mAU*s ซึ่งสูงกว่าสารสกัดที่ได้จากการสกัดด้วยตัวทำละลายแอซีโตน ที่มีพื้นที่ใต้กราฟ เท่ากับ 1.29×10^{5} mAU*s ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงคัดเลือกตัวทำละลายเมทานอลเพื่อใช้ในการสกัดกรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริก และกรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริกแลกโตนจากตัวอย่างส้มแขกแห้ง

ขั้นตอนการผ่านผงถ่าน

1. ปิเปตตัวอย่างสารสกัดที่ผ่านการระเหยเมทานอลออกแล้ว ปริมาตร 1 มิลลิลิตร พร้อมกับชั่งน้ำหนักที่แน่นอน 4 ตำแหน่ง ลงในหลอดทดลองฝาเกลียว จากนั้นเติมน้ำ HPLC grade (RCI Labscan, Thailand) ปริมาตร 1 มิลลิลิตร

2. เติมผงถ่านน้ำหนัก 0.02 กรัม จากนั้นนำไปให้ความร้อนในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ โดยควบคุมอุณหภูมิให้เท่ากับ 95 องศาเซลเซียส ให้ความร้อนนาน 30 นาที จากนั้นนำมาหล่อเย็นในน้ำจนตัวอย่างมีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิบรรยากาศปกติ

3. กรองตัวอย่างผ่านกระดาษกรองเบอร์ 41 และชะหลอดทดลองด้วยน้ำ HPLC grade 2 มิลลิลิตร ผ่านกระดาษกรองเช่นเดียวกัน

4. ชั่งน้ำหนักตัวอย่างทั้งหมดที่ได้

ขั้นตอนการ Activated resin

1. ชั่งตัวอย่าง Resin (Dowex® 50WX8 hydrogen form, Sigma-Aldrich, USA) น้ำหนัก 1.50 กรัม ลงในบีกเกอร์

2. เติม 5% HCl (Labscan, Thailand) ปริมาตร 8 มิลลิลิตร ตั้งกวนบนเครื่อง Stirrer นาน 45 นาที จากนั้นจึงดูดเอาส่วน HCl ออก

3. เติมน้ำ HPLC grade ปริมาตร 8 มิลลิลิตร ตั้งกวนบนเครื่อง Stirrer นาน 45 นาที

4. บรรจุ Activated resin ลงในคอลัมน์ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (วงใน) 13.0 มิลลิเมตร โดยปรับอัตราการไหลของน้ำให้อยู่ในช่วง 1.5 มิลลิลิตร/นาที เพื่อควบคุมความสูงของ Resin ภายในคอลัมน์ โดยความสูงของ Resin ประมาณ 5.0-6.5 เซนติเมตร

5. ชะคอลัมน์ด้วยน้ำ HPLC grade ประมาณ 10 ครั้ง ครั้งละ 5 มิลลิลิตร หรือจนค่า pH ของน้ำที่ชะผ่านมีค่าประมาณ 4.5-4.8 จึงนำไปใช้ในการวิเคราะห์ทันที

การชะตัวอย่างผ่านคอลัมน์

1. ปิเปตตัวอย่างที่ผ่านผงถ่าน ปริมาตร 1 มิลลิลิตร ลงในบีกเกอร์ จากนั้นเติมน้ำ HPLC grade 2 มิลลิลิตร

2. บรรจุตัวอย่างลงในคอลัมน์ที่มี Activated resin ซึ่งปรับอัตราการไหลอยู่ในช่วง 1.5 มิลลิลิตร/นาที ชะตัวอย่างผ่าน Resin จำนวน 3 รอบ จากนั้นเก็บตัวอย่างในขวดปรับปริมาตร (Volumetric flask) ขนาด 10 มิลลิลิตร

3. ชะคอลัมน์ด้วยน้ำ HPLC grade 4 มิลลิลิตรและเก็บน้ำที่ชะผ่านลงในขวดปรับปริมาตรในข้อ 2 จากนั้นปรับปริมาตรด้วยน้ำ HPLC grade ให้ครบ 10 มิลลิลิตร

4. กรองตัวอย่างที่ได้ผ่าน Nylon Membrane ขนาด 0.22 ไมครอน เก็บในขวดแก้วสีชา (Amber vial) ขนาด 2 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส จนกว่านำไปวิเคราะห์ (ไม่เกิน 20 ชั่วโมงโดยประมาณ)

การเตรียมสารมาตรฐานกรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริก

1. ชั่งกรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริก [(-)-Hydroxycitric acid calcium salt, $(C_6H_5O_8)_2Ca_3$, Wako Pure Chemical Industries, Ltd, Japan] ให้ได้น้ำหนักที่แน่นอน 0.0250 กรัม ละลายในน้ำ HPLC grade 4 มิลลิลิตร

2. บรรจุตัวอย่างลงในคอลัมน์ที่มี Activated resin นาที ชะตัวอย่างผ่าน Resin จำนวน 3 รอบ จากนั้นเก็บตัวอย่างในขวดปรับปริมาตร ขนาด 10 มิลลิลิตร

3. ชะคอลัมน์ด้วยน้ำ HPLC grade 6 มิลลิลิตรและเก็บน้ำที่ชะผ่านลงในขวดปรับปริมาตรในข้อ 2 จากนั้นปรับปริมาตรด้วยน้ำ HPLC grade ให้ครบ 10 มิลลิลิตร

4. กรองตัวอย่างที่ได้ผ่าน Nylon membrane ขนาด 0.22 ไมครอน เก็บในขวดแก้วสีชา และนำไปวิเคราะห์ด้วย HPLC ทันที

การเตรียมสารมาตรฐานกรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริกแลกโตน

ทำการเจือจางกรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริกแลกโตน [(+)-Garcinia acid, $C_6H_6O_7$, Sigma-Aldrich, USA] ด้วยเอทานอล และกรองผ่าน Nylon membrane ขนาด 0.22 ไมครอน เก็บในขวดแก้วสีชา และนำไปวิเคราะห์ด้วย HPLC ทันที

การวิเคราะห์กรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริกและกรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริกแลกโตนในเชิงปริมาณด้วย HPLC

1. ทำการเจือจางตัวอย่างให้มีความเข้มข้นที่เหมาะสมด้วยน้ำ HPLC grade

2. ทำการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง HPLC ด้วยสภาวะที่กำหนดดังนี้

เครื่องมือ HPLC รุ่น 1100, Agilent Technologies, Germany

เทคนิคการทดสอบ Reverse phase high performance liquid chromatography

คอลัมน์ : LiChrospher ® 100 RP-18 4.0x250 มิลลิเมตร, 5 ไมโครเมตร

อัตราการไหล : 0.8 มิลลิลิตร/นาที

อุณหภูมิคอลัมน์ : 25 องศาเซลเซียส

เฟสเคลื่อนที่ : H_2O (+$HClO_4$ pH 2.5)

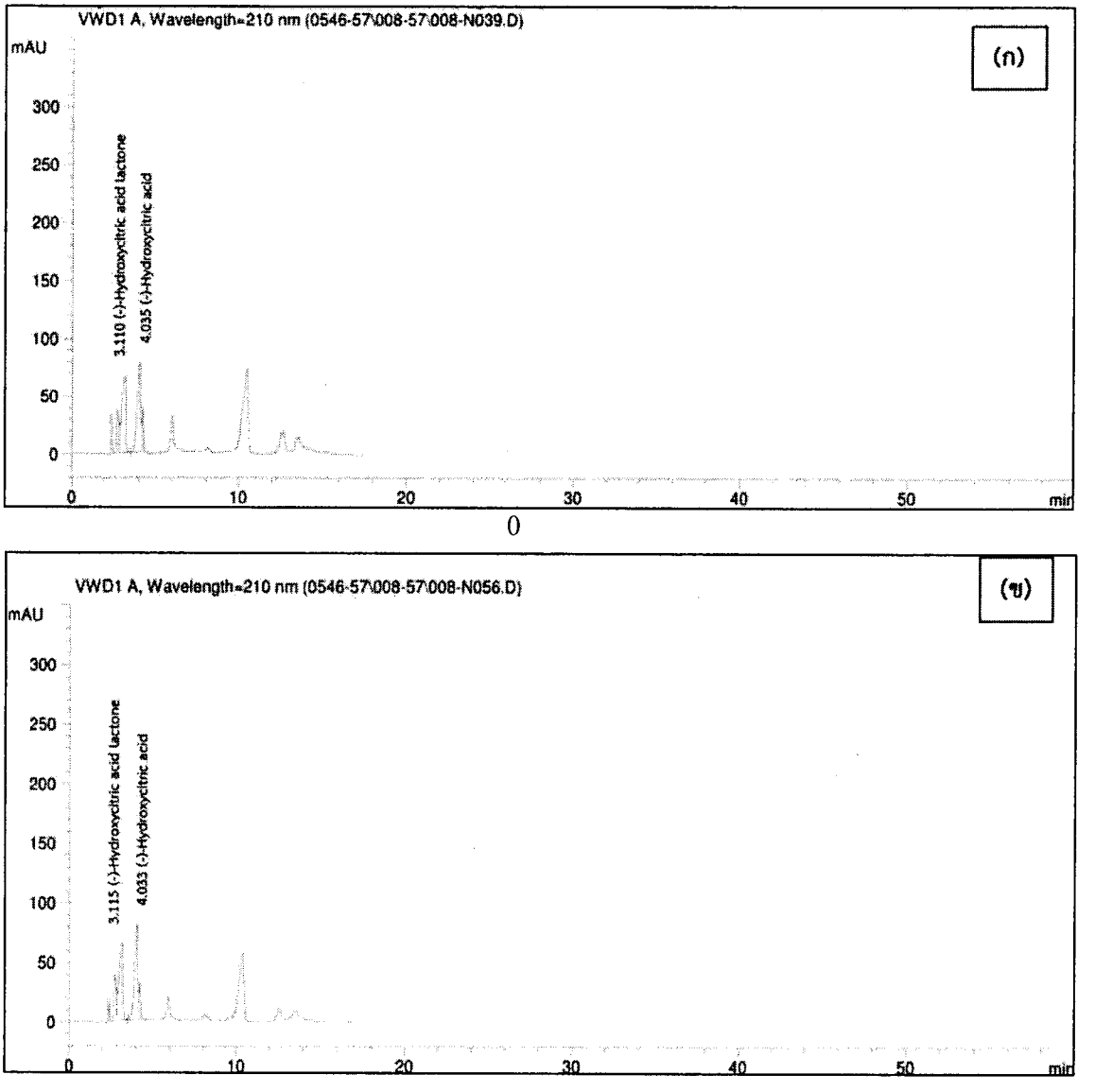
ดีเทคเตอร์ : Variable wavelength detector ตรวจวัดที่ความยาวคลื่น 210 นาโนเมตร

ปริมาตรที่วิเคราะห์ : 20 ไมโครลิตร

สารมาตรฐานกรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริก ความเข้มข้นในช่วง 125-2000 พีพีเอ็ม

สารมาตรฐานกรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริกแลกโตน ความเข้มข้นในช่วง 100-1000 พีพีเอ็ม

3. คำนวณปริมาณกรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริก และกรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริกแลกโตน โดยเปรียบเทียบพื้นที่ใต้กราฟที่วิเคราะห์ได้กับกราฟมาตรฐานของกรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริก และกรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริกแลกโตน ตามลำดับ และรายงานค่าในหน่วย กรัม/100 กรัม ตัวอย่างฐานแห้ง (%)



ภาพภาคผนวก ง ที่ 1 โครมาโทแกรมของกรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริก และกรด(-)-ไฮดร็อกซีซิตริกแลกโตนในชิ้นส้มแขกอบแห้งจากระยะที่ผลมีสีเขียวหรือระยะแก่จัด แช่สารละลาย 0.5% $CaCl_2$ เป็นเวลา 5 นาที (ก) และระยะที่ผลมีสีเหลืองหรือระยะสุก แช่สารละลาย 0.5% $CaCl_2$ เป็นเวลา 5 นาที (ข) อบแห้งด้วยตู้อบสุญญากาศที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ความดันสุญญากาศ 70 มิลลิเมตรปรอท

ภาคผนวก จ

ชุดที่.....

แบบประเมินทางประสาทสัมผัส
ผลิตภัณฑ์ส้มแขกแห้ง

ชื่อผู้ทดสอบชิม.....วันที่.....เวลา.....

คำอธิบาย : กรุณาทดสอบชิมตัวอย่างที่เสนอให้ เรียงตามรหัสตัวอย่าง โดยให้คะแนนตามความชอบของตัวอย่างในแต่ละคุณลักษณะที่ใกล้เคียงกับความรู้สึกของท่านมากที่สุด โดยกำหนดคะแนนความชอบดังต่อไปนี้

1 = ไม่ชอบมากที่สุด
2 = ไม่ชอบมาก
3 = ไม่ชอบปานกลาง
4 = ไม่ชอบเล็กน้อย
5 = ไม่สามารถระบุได้ว่าชอบหรือไม่ชอบ
6 = ชอบเล็กน้อย
7 = ชอบปานกลาง
8 = ชอบมาก
9 = ชอบมากที่สุด

คุณลักษณะ	รหัสตัวอย่าง			
	.....	.....	.....	.....
ลักษณะปรากฏ				
สี				
กลิ่น				
คุณลักษณะโดยรวม				

หมายเหตุ : คุณลักษณะโดยรวม พิจารณาจากลักษณะปรากฏ สี กลิ่นของส้มแขกแห้ง

ข้อเสนอแนะ.....

.....

ขอบคุณ

ประวัติผู้วิจัย

หัวหน้าโครงการ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อัญชลี ศิริโชติ

Assist. Prof. Dr. Anchalee Sirichote

ตำแหน่งปัจจุบัน ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ระดับ 8

สถานที่ทำงาน ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา 90110

โทรศัพท์ 074-286331 โทรสาร 074-558866 E-mail: anchalee.s@psu.ac.th

ประวัติการศึกษา

พ.ศ.	วุฒิปริญญา	สาขาวิชา	สถาบัน
2544	Ph.D.	Food Science	Washington State University
2529	วท.ม.	เทคโนโลยีอาหาร	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
2525	วท.บ.	อุตสาหกรรมเกษตร	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ผู้ร่วมโครงการ

นางบุปผา จองปัญญาเลิศ

Mrs. Booppa Jongpanyalert

ตำแหน่งปัจจุบัน นักวิทยาศาสตร์ชำนาญการ ระดับ 8

สถานที่ทำงาน คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา 90110

โทรศัพท์ (074) 286322 โทรสาร (074) 558866 E-mail booppa.j@psu.ac.th

ประวัติการศึกษา

พ.ศ.	วุฒิปริญญา	สาขาวิชา	สถาบัน
2537	วท.ม.	เทคโนโลยีอาหาร	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
2531	วท.บ.	อุตสาหกรรมเกษตร	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ผู้ช่วยวิจัย

นายชัยรัตน์ พึ่งเพียร

Mr. Chairat Puengphian

สถานที่ทำงาน คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา 90110

โทรศัพท์ 089-6488464 โทรสาร (074) 558866E-mail chairat.pue@gmail.com

ประวัติการศึกษา

พ.ศ.	วุฒิปริญญา	สาขาวิชา	สถาบัน
2552	วท.ม.	เทคโนโลยีอาหาร	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
2549	วท.บ.	อุตสาหกรรมเกษตร	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์