บทที่ 4

ผลการศึกษาและอภิปรายผล

4.1 สมบัติทางเคมีกายภาพของส้มแขกสด

ส้มแขกสดที่ใช้ในงานวิจัยนี้เลือกลักษณะผลแก่จัดถึงสุกที่มีเปลือกสีเขียวเหลือง (ภาพที่ 4-1) อ่านค่าสีเปลือกโดยใช้แผ่นเทียบสี RHS colour chart ได้จาก แผ่นสี yellow-green group ช่วง 149A ถึง 149D 150A ถึง 150C และ 154B ถึง 154C (ภาพผนวก ก-3) สำหรับสมบัติทางเคมีกายภาพอื่นๆ ของผลส้มแขกสดแสดงดังตารางที่ 4-1

ภาพที่ 4-1 ผลส้มแขกสดและลักษณะภายในผล

Prince of Songkla University Pattani Campus

ตารางที่ 4-1 สมบัติทางเคมีกายภาพของผลส้มแขกสด

สมบัติทางเคมีกายภาพ	ค่าที่วัดได้	จำนวนซ้ำ (n)
น้ำหนัก/ผล (กรัม)	250-500	20
ปริมาณความชื้น (%)	86.38±0.16	5
วอเตอร์แอคติวิตี้	0.99±0.001	3
ปริมาณของแข็งทั้งหมด (%)	13.62±0.16	5
ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ (องศาบริกซ์)	5.24±0.01	5
ความเป็นกรดด่าง	1.80±0.04	5
ปริมาณกรดทั้งหมดในรูปกรดซิตริก (%)	5.20±2.04	3
ปริมาณไขมัน (%)	0.10±0.06	3
ปริมาณโปรตีน (%)	0.27±0.03	3
ปริมาณเถ้า (%)	0.26±0.04	3
ปริมาณคาร์โบไฮเดรต (%)	10.63±0.46	3
ความแข็งของผล (นิวตัน)	13.19±1.42	6
ค่าสีเนื้อในผล L* (ความสว่าง)	54.64±1.09	6
a* (สีแดง-เขียว)	-2.43±0.32	6
b* (สีเหลือง-น้ำเงิน)	10.97±1.56	6

ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากการวิเคราะห์ n ซ้ำ

จากตารางที่ 4-1 พบว่า ผลส้มแขกสดมีปริมาณความชื้น และค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ (Aw) สูง จึงมีโอกาสเสื่อมเสียทั้งจากจุลินทรีย์และจากปฏิกิริยาเคมีได้ง่าย

สมบัติทางเคมีกายภาพของผลส้มแขกสดที่วัดได้พบว่ามีทั้งใกล้เคียงและแตกต่างจากรายงานอื่นๆ กล่าวคือ ปริมาณความชื้นของผลส้มแขกสดจากการทดลองนี้ วัดได้เฉลี่ยร้อยละ 86.38 ซึ่งใกล้เคียงกับรายงานของ Rittirut และ Siripatana (2006) ที่วัดได้เฉลี่ยร้อยละ 86.47 แต่น้อยกว่าที่ปิยุกฤษณ์ (2556) รายงานว่าผลส้มแขกสดที่มีสีเหลือง เนื้อผล มีปริมาณความชื้นร้อยละ 90.89 ทั้งนี้ปริมาณความชื้นของผลขึ้นกับระยะความสุกของผล โดยผลที่มีสีเขียวจะมีปริมาณความชื้นน้อยกว่าผลที่มีสีเหลืองซึ่งสุกมากกว่า

ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ในผลส้มแขกที่ใช้ในการทดลองนี้มีค่าเฉลี่ย 5.24 องศาบริกซ์ และปริมาณกรดทั้งหมดในรูปกรดซิตริกร้อยละ 5.20 ซึ่งต่ำกว่าที่ Rittirut และ Siripatana (2006) รายงานไว้ว่าผลส้มแขกสดมีปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ 6.34 องศาบริกซ์ และปริมาณกรดทั้งหมดในรูปกรดซิตริกร้อยละ 5.54 ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ส่วนใหญ่ในผลไม้

Prince of Songkla University Pattani Campus

คือน้ำตาล ค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้จึงบอกถึงปริมาณน้ำตาลในผลไม้นั้น ทั้งนี้ขึ้นกับระยะของการสุก โดยทั่วไปเมื่อผลไม้สุกมากขึ้นจะมีค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้มากขึ้นและปริมาณกรดลดลง ในผลไม้หลายชนิด อัตราส่วนปริมาณน้ำตาลต่อกรด (sugar/acid ratio) หรือ อัตราส่วนบริกซ์ต่อกรด (brix/acid ratio) มีความสัมพันธ์กับอายุของผลไม้ และใช้เป็นดัชนีในการเก็บเกี่ยวผลไม้หลายชนิดได้ (จริงแท้, 2538) ผลไม้ที่มีค่าบริกซ์ต่อกรดมากกว่าแสดงว่ามีความเข้มข้นของน้ำตาลมากกว่านั่นคือมีความหวานมากกว่าและมีความฝาดน้อยกว่า (Paul, 2007) นอกจากกรดซิตริกแล้วในผลส้มแขกยังมีกรดอินทรีย์อื่นๆ ได้แก่ กรดเพนตาดีคาโนอิค (pentadecanoic acid) กรดออกตาดีคาโนอิค (octadecanoic acid) และกรดโดคีคาโนอิค (dodecanoic acid) (สถาบันการแพทย์แผนไทย, 2557) ผลส้มแขกมีค่าความเป็นกรดด่างต่ำ (pH 1.80) ซึ่งต่ำกว่าค่าความเป็นกรดด่างของน้ำมะนาว (pH 2.06) (ปิยุกฤษณ์, 2556) จึงมีรสชาติเปรี้ยว

4.2 ผลการทดสอบกิจกรรมเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสในเนื้อผลส้มแขก

การทดสอบกิจกรรมเอนไซม์เปอร์ออกซิเดส (peroxidase test) ในการแปรรูปอาหารมีวัตถุประสงค์เพื่อทดสอบความเหมาะสมของการลวกในการเตรียมขั้นต้นก่อนการแปรรูป ผลการทดสอบกิจกรรมเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสจากผลส้มแขกสด ได้ผลการทดสอบเป็นลบ คือตัวอย่างที่ทดสอบไม่มีการเปลี่ยนแปลงสี ดังภาพที่ 4-2 ทั้งนี้อาจเนื่องจากผลส้มแขกมีความเป็นกรดด่างต่ำ (1.8) ซึ่งเป็นสภาวะไม่เหมาะสมต่อกิจกรรมของเอนไซม์เปอร์ออกซิเดส ผลการทดลองนี้แสดงว่าเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสไม่ได้เป็นสาเหตุการเกิดสีน้ำตาลของผลส้มแขก

ค่าความเป็นกรดด่างที่เหมาะสมต่อกิจกรรมของเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสอยู่ในช่วงค่อนข้างเป็นกลาง เช่น ค่าความเป็นกรดด่างที่เหมาะสมต่อการทำงานของเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสในผลมะเดื่อคือ 6 (นิธิยา, 2551) ในผลแอปเปิลคือ 5-6 ใน black bean (*Phaseolus vulgaris*) คือ 6.4-6.8 เอนไซม์เปอร์ออกซิเดส เป็นเอนไซม์ในกลุ่ม oxidoreductase มีผลต่อการสูญเสียกลิ่นรสของน้ำผลไม้ระหว่างการเก็บรักษาและมีผลต่อการเกิดสีน้ำตาลในผลแอปเปิล ในการทดสอบกิจกรรมของเอนไซม์ เปอร์ออกซิเดสทำปฏิกิริยากับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ซึ่งเป็นตัวรับอิเลคตรอนและออกซิไดซ์สารประกอบ donor ทำให้เกิดสีกับผลิตภัณฑ์ (Hammer, 1993)

Prince of Songkla University Pattani Campus

ภาพที่ 4-2 ผลการทดสอบกิจกรรมเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสในผลส้มแขกสดเปรียบเทียบกับผลแอปเปิลที่ใช้เป็นตัวอย่างควบคุม ①ส้มแขกสด ②แอปเปิล

4.3 ผลการเตรียมส้มแขกขั้นต้นก่อนทำแห้ง

ผลส้มแขกขนาดชิ้นหนาประมาณ 0.5 เซนติเมตร เมื่อนำไปผ่านวิธีการเตรียมขั้นต้น 9 ชุดทดลอง ก่อนทำแห้งด้วยเครื่องอบลมร้อนแบบถาดที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 1.5 เมตร/วินาที จนตัวอย่างมีความชื้นไม่เกินร้อยละ 7 (น้ำหนักเปียก) แสดงกราฟการทำแห้งในภาพที่ 4-3 และ 4-4

ผลการตรวจสอบปริมาณความชื้นของส้มแขกในระหว่างการทำแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส (ภาพที่ 4-3) พบว่า ทั้ง 9 ชุดทดลอง มีปริมาณความชื้นลดลงตามระยะเวลาการทำแห้งจนตัวอย่างมีปริมาณความชื้นไม่เกินร้อยละ 7 (น้ำหนักเปียก) ใช้เวลา 10-11.5 ชั่วโมง ซึ่งใกล้เคียงกันทุกชุดทดลอง ทั้งนี้อาจเนื่องจากชิ้นส้มแขกในการทดลองมีความหนาของชิ้นไม่มาก (0.5 เซนติเมตร) ทำให้วิธีการเตรียมขั้นต้นในการทดลองนี้ไม่มีผลให้การลดลงของปริมาณความชื้นและอัตราการทำแห้งของอาหารแต่ละชุดทดลองแตกต่างกัน

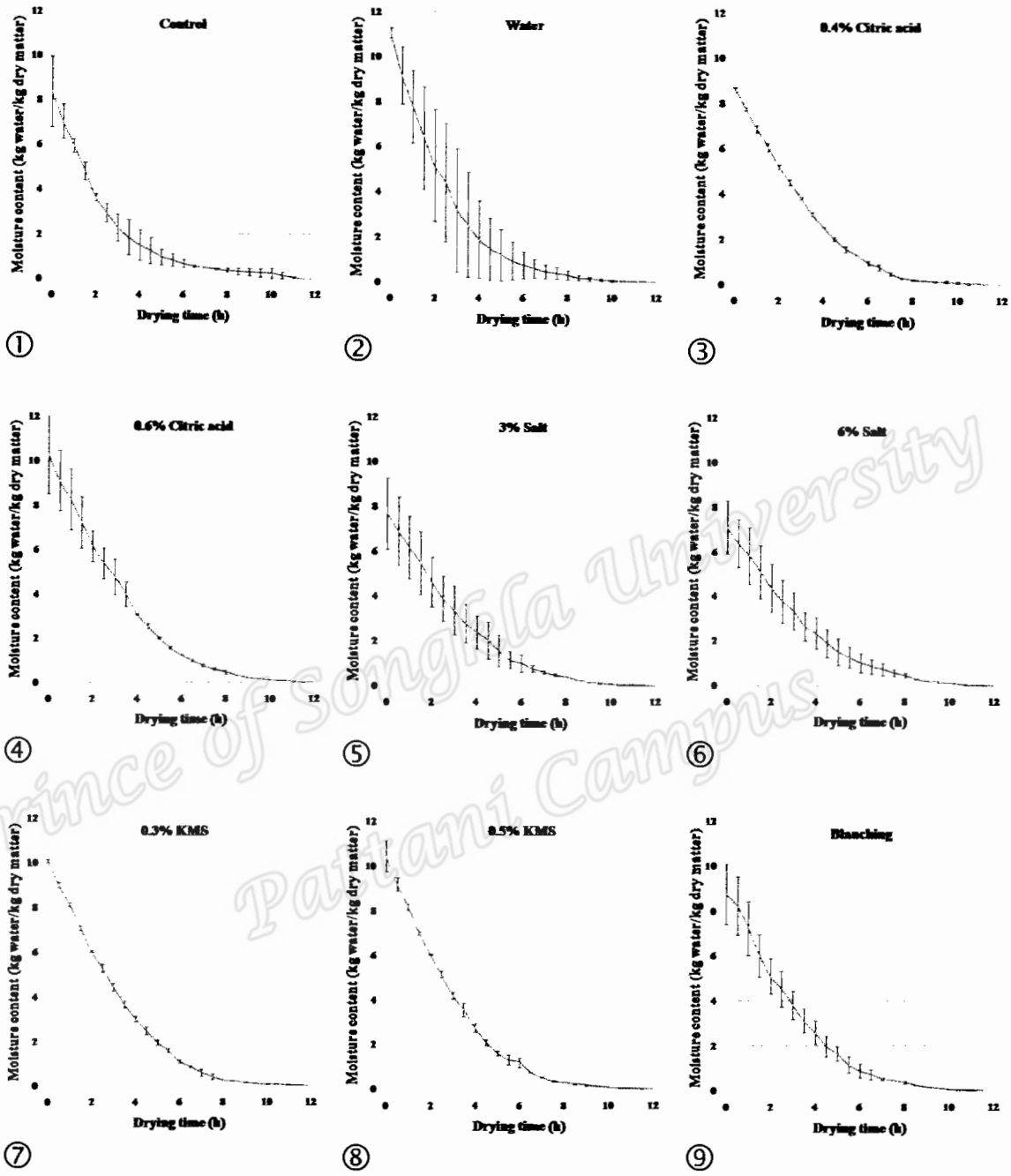
อัตราการทำแห้งอาหารภายใต้สภาวะบรรยากาศ เป็นผลจากการสัมผัสอากาศร้อนของอาหารและการให้ความร้อนในกระบวนการทำแห้ง การเปลี่ยนแปลงอัตราทำแห้งของส้มแขกซึ่งเป็นผลจากการถ่ายเทมวล คือสารสูญเสียความชื้นออกจากชิ้นส้มแขกระหว่างกระบวนการทำแห้ง จากเส้นกราฟอัตราการทำแห้ง (ภาพที่ 4-4) ในช่วงแรกเป็นช่วงเริ่มต้นการทำแห้ง ชิ้นส้มแขกที่มีอุณหภูมิเริ่มต้นที่อุณหภูมิห้อง (30±2 องศาเซลเซียส) และมีความชื้นสูง เมื่อนำเข้าตู้อบแห้งทำให้มีการลดลงของความชื้นในช่วงแรกอย่างรวดเร็ว แต่สังเกตไม่พบช่วงอัตราการทำแห้งคงที่ (constant rate period) การทำแห้งส่วนใหญ่อยู่ในช่วงอัตราการทำแห้งลดลง (falling rate period) การเปลี่ยนแปลงอัตราการทำแห้งของอาหารลักษณะนี้แสดงให้เห็นว่า การแพร่ (diffusion) ของน้ำออกจากอาหารเป็นกลไกทางกายภาพเป็นหลักที่ทำให้น้ำเคลื่อนที่ออกจากอาหาร (Doymaz, 2008;

Prince of Songkla University Pattani Campus

Falade and Abbo, 2007) ผลการทดลองในลักษณะนี้พบในการทำแห้งผักผลไม้หลายชนิดด้วยตู้อบลมร้อน เช่น การทำแห้งแอปเปิลแดง (Amasya red apple) ที่อุณหภูมิ 55 ถึง 75 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 2 เมตร/วินาที (Doymaz, 2010) การทำแห้งกระเทียมต้น (leek) หั่นชิ้น ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 2.5 เมตร/วินาที (Doymaz, 2008) การทำแห้งอินทผลัม (date palm) ที่อุณหภูมิ 50-80 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 1.5 เมตร/วินาที (Falade and Abbo, 2007) การทำแห้งมะม่วงหั่นชิ้นหนา 3 มิลลิเมตร ที่อุณหภูมิ 60, 70 และ 80 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 1.5 เมตร/วินาที (Akoy *et al.*, 2008) การทำแห้งกระเจี๊ยบเขียวหั่นชิ้น ที่อุณหภูมิ 40 ถึง 90 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 1 เมตร/วินาที (Wankhade *et al.*, 2013) ทั้งนี้เนื่องจากผักผลไม้มีโครงสร้างภายในเป็นรูพรุน

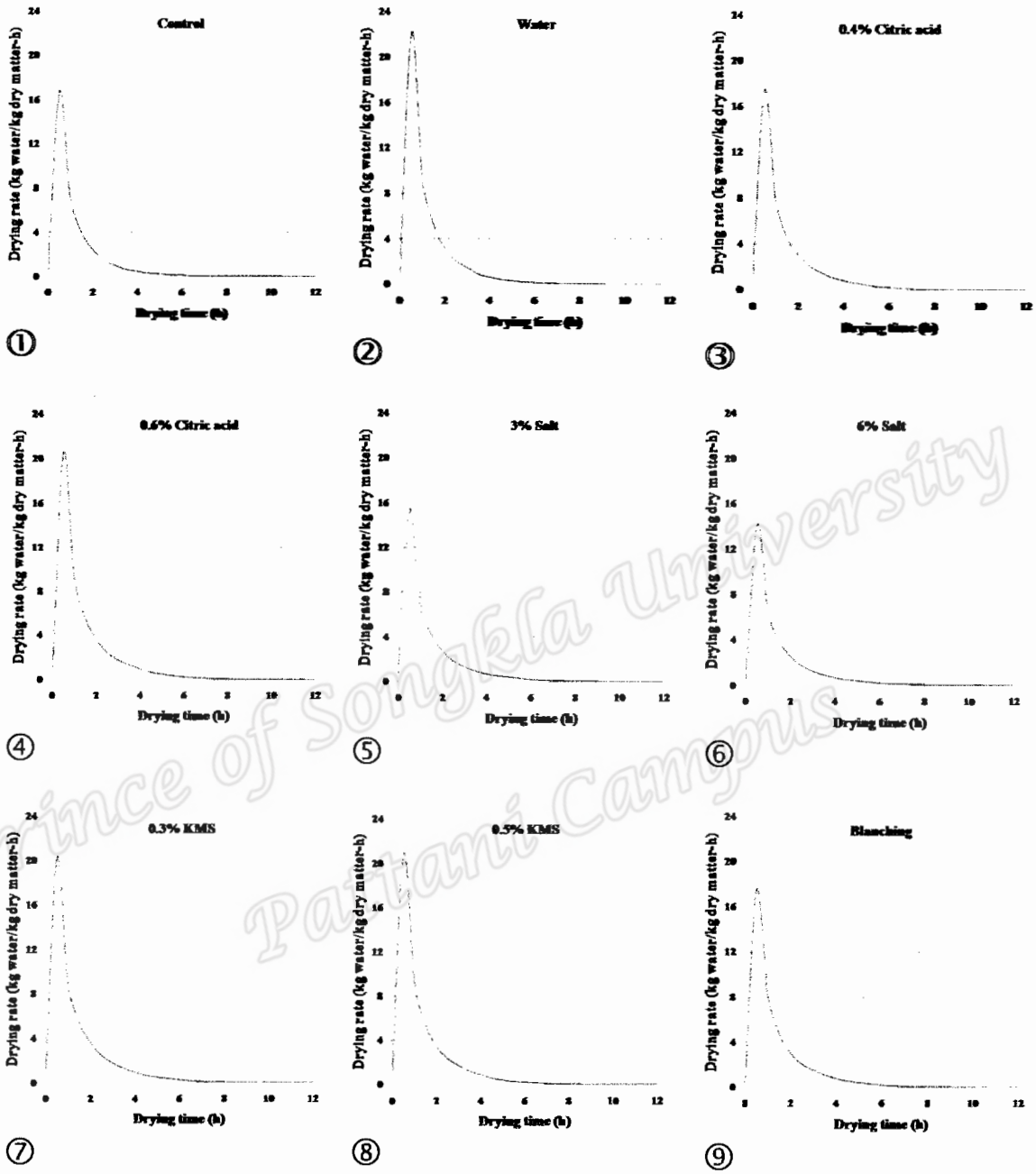
อย่างไรก็ตามสภาวะการทำแห้งที่แตกต่างกันมีผลให้กราฟอัตราการทำแห้งของอาหารชนิดเดียวกันแตกต่างกันได้ ดังเช่นที่ Rittirut และ Siripatana (2006) รายงานว่า การทำแห้งส้มแขกด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 65 และ 75 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 1.2 เมตร/วินาที กราฟอัตราการทำแห้งส่วนใหญ่จะอยู่ในช่วงการทำแห้งลดลง แต่การทำแห้งที่อุณหภูมิและความเร็วลมต่ำ เช่นที่ 55 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 0.5 เมตร/วินาที กับชิ้นส้มแขกหนา 4 มิลลิเมตร มีค่าอัตราการทำแห้งในช่วงคงที่ประมาณ 0.09 กิโลกรัมน้ำ/นาที.ตารางเมตร

Prince of Songkla University Pattani Campus



Prince of Songkla University Pattani Campus

ภาพที่ 4-3 กราฟการทำแห้งส้มแขกด้วยตู้อบลมร้อนแบบถาดที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส ①ชุดควบคุม ②แช่น้ำเปล่า ③แช่สารละลายกรดซิตริกความเข้มข้นร้อยละ 0.4 ④แช่สารละลายกรดซิตริกความเข้มข้นร้อยละ 0.6 ⑤แช่สารละลายเกลือความเข้มข้นร้อยละ 3 ⑥แช่สารละลายเกลือความเข้มข้นร้อยละ 6 ⑦แช่สารละลาย KMS ความเข้มข้นร้อยละ 0.3 ⑧แช่สารละลาย KMS ความเข้มข้นร้อยละ 0.5 ⑨ลวกในน้ำเดือด ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากการทดลอง 2 ซ้ำ



Prince of Songkla University Pattani Campus

ภาพที่ 4-4 กราฟอัตราการทำแห้งส้มแขกด้วยตู้อบลมร้อนแบบถาดที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส
①ชุดควบคุม ② แช่น้ำเปล่า ③แช่สารละลายกรดซิตริกความเข้มข้นร้อยละ 0.4
④แช่สารละลายกรดซิตริกความเข้มข้นร้อยละ 0.6 ⑤แช่สารละลายเกลือความเข้มข้นร้อยละ 3
⑥แช่สารละลายเกลือความเข้มข้นร้อยละ 6 ⑦แช่สารละลาย KMS ความเข้มข้นร้อยละ 0.3
⑧แช่สารละลาย KMS ความเข้มข้นร้อยละ 0.5 ⑨ลวกในน้ำเดือด
ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากการทดลอง 2 ซ้ำ

เวลาในการทำแห้งและค่าสีของส้มแขกแห้ง แสดงในตารางที่ 4-2 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติค่าสีพบว่า ค่าความสว่าง (L*) มีความแตกต่างระหว่างชุดทดลองอย่างมีนัยสำคัญ ส่วนค่าสีแดง-เขียว (a*) และสีเหลือง-น้ำเงิน (b*) ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ระหว่างชุดทดลอง

ตารางที่ 4-2 เวลาในการทำแห้งส้มแขกที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียสและค่าสีของส้มแขกแห้ง

ชุดทดลอง	เวลาทำแห้ง (ชั่วโมง)	ค่าสี		
		L*	a* ns	b* ns
Tr1 Control	11.5	44.38±2.21^{d}	2.18±0.46	7.86±5.22
Tr2 Water	11.5	53.15±5.68^{c}	2.24±1.75	10.26±2.90
Tr3 Citric.4	11.0	58.95±5.82^{abc}	3.24±0.53	9.42±3.26
Tr4 Citric.6	11.5	57.48±8.15^{bc}	2.55±0.57	8.84±4.33
Tr5 Salt 3	11.0	58.57±4.54^{abc}	2.18±0.26	9.90±0.28
Tr6 Salt 6	11.0	59.39±10.14^{abc}	2.24±0.99	9.36±1.99
Tr7 KMS 0.3	11.0	65.18±4.63^{a}	2.64±0.32	12.48±4.26
Tr8 KMS 0.5	10.5	63.82±2.93^{ab}	2.20±0.33	12.04±3.70
Tr9 Blanched	10.0	54.12±1.32^{c}	2.17±0.65	4.38±1.54

ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากการทดลอง 2 ซ้ำ

ns = ค่าเฉลี่ยในสดมภ์เดียวกันไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$)

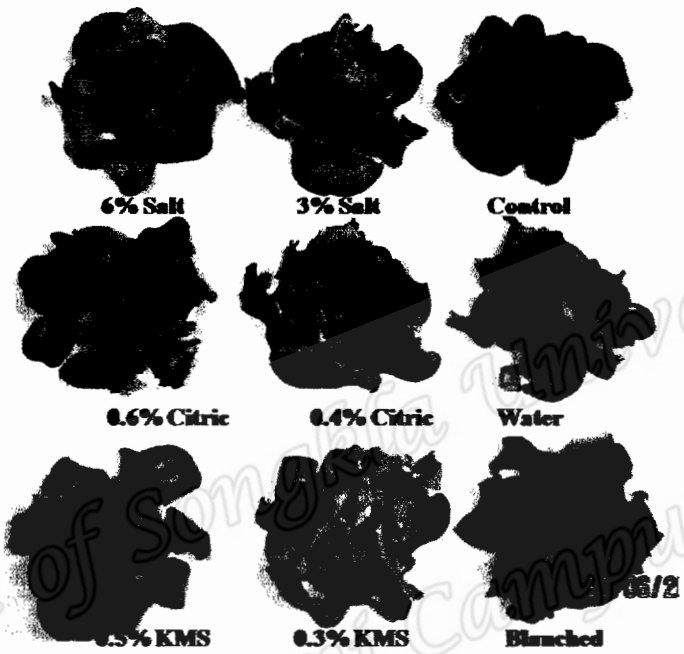
ค่าเฉลี่ยในสดมภ์เดียวกันที่มีตัวอักษรกำกับ ($^{a, b, c, d}$) ต่างกันมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ชุดทดลองแช่สารละลาย KMS ร้อยละ 0.3 (Tr 7) มีค่าความสว่างมากที่สุด แต่ไม่แตกต่างทางสถิติ ($p > 0.05$) กับชุดทดลองที่แช่สารละลาย KMS ร้อยละ 0.5 (Tr 8) เกลือร้อยละ 3 (Tr 5) และร้อยละ 6 (Tr 6) และกรดซิตริกร้อยละ 0.4 (Tr 4) สำหรับชุดควบคุมมีสีคล้ำกว่าชุดทดลองอื่นๆ (ภาพที่ 4-5)

สารละลายโพแตสเซียมเมตาไบซัลไฟต์สามารถยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลทั้งจากปฏิกิริยาเอนไซม์และการเกิดสีน้ำตาลที่ไม่ได้เกิดจากเอนไซม์ โดยไบซัลไฟต์จะทำปฏิกิริยากับหมู่คาร์บอนิลของน้ำตาลรีดิวซ์ (reducing sugar) ทำให้ผลิตภัณฑ์เกิดสีน้ำตาลช้าลง ทำให้สามารถยับยั้งสีน้ำตาลที่เกิดขึ้นได้ (Negi and Roy, 2000) แม้ว่าชุดทดลองที่แช่สารละลายโพแตสเซียมเมตาไบซัลไฟต์ จะแสดงประสิทธิภาพสูงสุดในการยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลแต่ให้ผลไม่แตกต่างทางสถิติกับชุดทดลองที่ใช้สารละลายเกลือและกรดซิตริก

Prince of Songkla University Pattani Campus

จากผลการทดลองนี้พิจารณาคัดเลือกชุดทดลองแช่สารละลายเกลือร้อยละ 3 ก่อนทำแห้งเพื่อศึกษาในตอนต่อไป เพราะเป็นวิธีที่ไม่ต้องใช้สารเคมีที่อาจเป็นอันตรายถ้าใช้ไม่ถูกวิธี นอกจากนี้เกลือเป็นวัสดุที่หาง่าย ราคาถูก การใช้เกลือแช่ผลส้มแขกก่อนตากแห้งเป็นวิธีที่ผู้ประกอบการแปรรูปส้มแขกบางพื้นที่ทำกันอยู่แล้ว



ภาพที่ 4-5 ส้มแขกแห้งจากการเตรียมขั้นต้นวิธีต่างๆ ก่อนทำแห้ง

4.4 ผลการศึกษาอุณหภูมิในการทำแห้งส้มแขก

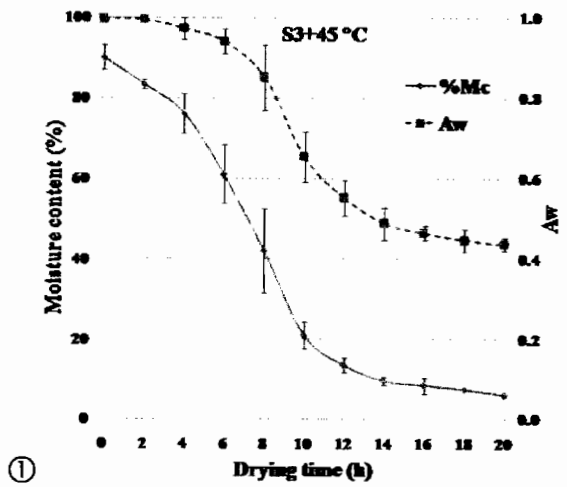
จากการเตรียมส้มแขกขั้นต้นก่อนอบแห้งตามวิธีที่คัดเลือกจากผลการทดลองข้อ 4.3 คือแช่น้ำเกลือเข้มข้นร้อยละ 3 นาน 60 นาที แล้วอบแห้ง ที่อุณหภูมิแตกต่างกัน 3 ระดับ 45, 55 และ 65 องศาเซลเซียส ความเร็วลมวัดที่ช่องอากาศออกจากเครื่อง 1.5 เมตร/วินาที สุ่มตัวอย่างมาวัดปริมาณความชื้นและค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ (Aw) ทุก 2 ชั่วโมง พบการลดลงของปริมาณความชื้น และค่า Aw ระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 45, 55 และ 65 องศาเซลเซียส แสดงดังภาพที่ 4-6

การทำแห้งส้มแขกด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิสูงใช้เวลาน้อยกว่าการทำแห้งที่อุณหภูมิต่ำกว่า คือการทำแห้งที่อุณหภูมิ 45, 55 และ 65 องศาเซลเซียส ใช้เวลา 20, 12 และ 8 ชั่วโมง ตามลำดับ (ภาพที่ 4-6) ซึ่งสอดคล้องกับรายงานการทำแห้งผักผลไม้หลายชนิด เช่น การทำแห้งส้มแขกขนาดชิ้นหนา 2 มิลลิเมตร ที่อุณหภูมิ 55, 65 และ 75 องศาเซลเซียส ใช้เวลา 199, 159 และ 99 นาที ตามลำดับ (Rittirut and Siripatana, 2006) การทำแห้งกระเจี๊ยบเขียวหั่นชิ้น ที่อุณหภูมิ 40, 60

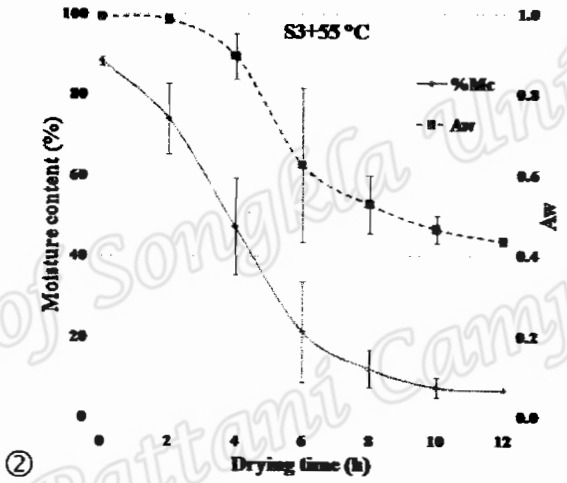
Prince of Songkla University Pattani Campus

และ 90 องศาเซลเซียส อุณหภูมิการทำแห้งที่เพิ่มขึ้น 10 องศาเซลเซียส มีผลให้อัตราการทำแห้งลดลงร้อยละ 20, 14.58 และ 5.13 ตามลำดับทั้งนี้การเพิ่มอุณหภูมิจาก 40 เป็น 60 องศาเซลเซียส ทำให้อัตราการทำแห้งลดลงมากกว่าการเพิ่มอุณหภูมิ 60 เป็น 90 องศาเซลเซียส (Wankhade *et al.*, 2013) อุณหภูมิสูงทำให้การถ่ายเทมวลในการทำแห้งอาหารเร็วขึ้นเพราะทำให้น้ำในอาหารเปลี่ยนสถานะจากของเหลวกลายเป็นไอได้เร็วขึ้น อย่างไรก็ตามการใช้อุณหภูมิสูงเกินไปอาจทำให้อัตราการทำแห้งน้อยกว่าการใช้อุณหภูมิต่ำกว่า ดังรายงานของ Falade and Abbo (2007) ที่พบว่าการทำแห้งผลอินทผลัมที่อุณหภูมิช่วง 50-70 องศาเซลเซียส อุณหภูมิเพิ่มขึ้นมีผลโดยตรงต่อการทำให้ปริมาณความชื้นในอินทผลัมลดลงและอัตราการทำแห้งเพิ่มขึ้น แต่เส้นกราฟการทำแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส แสดงการลดลงของความชื้นมากกว่าการทำแห้งที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ทั้งนี้อาจเป็นผลจากการเกิดผิวเปลือกแข็ง (case hardening) ของอาหารเมื่อใช้อุณหภูมิทำแห้งสูงเกินไป

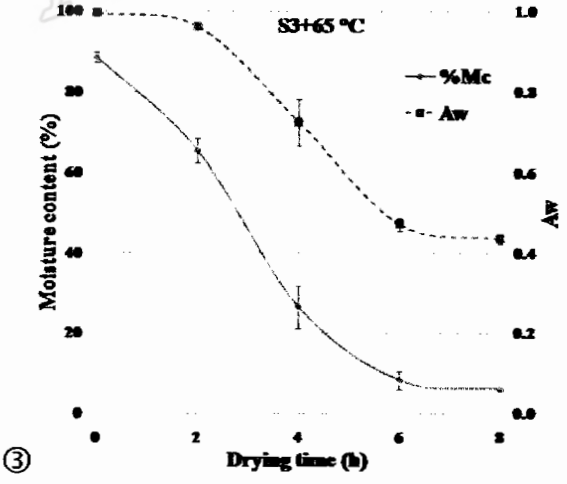
Prince of Songkla University Pattani Campus



①



②



③

ภาพที่ 4-6 การลดลงของปริมาณความชื้นและค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ของส้มแขกจากการทำแห้งที่ 45, 55 และ 65 องศาเซลเซียส (①45°C ②55°C และ ③65°C)
ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากการทดลอง 3 ซ้ำ

Prince of Songkla University Pattani Campus

ส้มแขกแห้งจากการทำแห้งทุกระดับอุณหภูมิที่ศึกษา มีค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ (Aw) อยู่ในช่วง 0.43-0.44 ซึ่งต่ำกว่าระดับจุลินทรีย์ที่ทำให้อาหารเสื่อมเสีย ทั้งแบคทีเรีย ยีสต์และรา จะสามารถเจริญเติบโตได้ กล่าวคือกิจกรรมของจุลินทรีย์เกือบทั้งหมดถูกยับยั้งที่ Aw ต่ำกว่า 0.6 เชื้อราส่วนใหญ่ถูกยับยั้งการเจริญเติบโตที่ค่า Aw ต่ำกว่า 0.7 เชื้อยีสต์จะไม่สามารถเจริญเติบได้ที่ค่า Aw ต่ำกว่า 0.8 และแบคทีเรียส่วนใหญ่ ไม่สามารถเจริญเติบโตได้ที่ Aw ต่ำกว่า 0.9 (Fellows, 2000)

ค่าความสว่าง (L*), ค่าสีแดง-เขียว (a*) และสีเหลือง-น้ำเงิน (b*) ของตัวอย่างส้มแขกแห้งที่ผ่านการทำแห้งที่อุณหภูมิ 45, 55 และ 65 องศาเซลเซียส อยู่ในช่วง 55.30-57.94, 1.22-1.47 และ 9.52-13.00 ตามลำดับ ซึ่งไม่แตกต่างกันทางสถิติระหว่างชุดทดลอง (ตารางที่ 4-3) ทั้งนี้อุณหภูมิการทำแห้งที่ใช้อาจไม่แตกต่างกันมาก จึงไม่มีผลทำให้สีของผลิตภัณฑ์แตกต่างกัน ในกรณีที่อุณหภูมิการทำแห้งแตกต่างกันมากอาจมีผลทำให้ค่าสีผลิตภัณฑ์ต่างกันได้ ดังมีรายงานว่า การทำแห้งกระเจี๊ยบเขียวที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีสีดีกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างที่ทำแห้งที่อุณหภูมิ 60 และ 90 องศาเซลเซียส (Wankhade, *et. al*, 2013) สำหรับการทำแห้งชิ้นมะม่วงที่อุณหภูมิ 60, 70 และ 80 องศาเซลเซียส เวลาและอุณหภูมิการทำแห้งมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าสีของชิ้นมะม่วงแห้ง คือชิ้นมะม่วงจากการทำแห้งที่ 80 องศาเซลเซียสซึ่งใช้เวลาในการทำแห้ง 3 ชั่วโมง มีสีเปลี่ยนแปลงน้อยที่สุด รองลงมาคือการทำแห้งที่ 70 และ 60 องศาเซลเซียส ซึ่งใช้เวลาในการทำแห้ง 5 และ 7 ชั่วโมง ตามลำดับ (Akoy *et al*., 2008)

ตารางที่ 4-3 สมบัติทางเคมีกายภาพของส้มแขกแห้งจากการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนแบบถาดที่อุณหภูมิ 45, 55 และ 65 องศาเซลเซียส

สมบัติทางเคมีกายภาพ	อุณหภูมิทำแห้ง (องศาเซลเซียส)		
	45	**55**	**65**
ปริมาณความชื้น (ร้อยละ)	6.12±0.45	6.61±0.00	6.20±0.48
Aw	0.44±0.02	0.43±0.01	0.44±0.01
ค่าสี L* ^{ns}	57.94±0.49	56.98±1.78	55.30±1.39
a* ^{ns}	1.33±0.75	1.22±0.25	1.47±0.26
b* ^{ns}	13.00±0.35	9.52±2.15	10.84±0.38

ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการทดลอง 3 ซ้ำ

ns = ค่าเฉลี่ยในแถวเดียวกันไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$)

Prince of Songkla University Pattani Campus

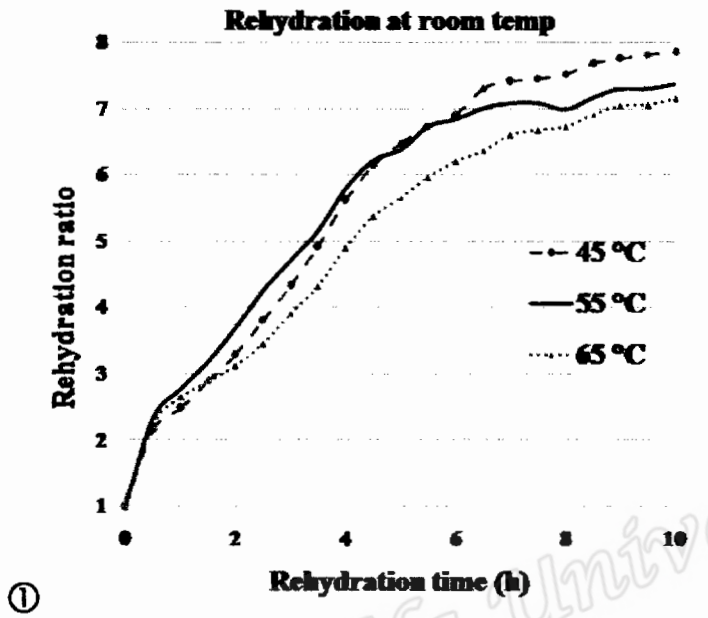
ผลการทดสอบการดูดคืนน้ำ (rehydration test) ของส้มแขกแห้งที่อุณหภูมิห้อง (30±2 องศาเซลเซียส) และที่ 100 องศาเซลเซียส แสดงดังภาพที่ 4-7 พบว่าอัตราส่วนการดูดคืนน้ำที่อุณหภูมิห้องใช้เวลาประมาณ 10 ชั่วโมง และที่ 100 องศาเซลเซียส ใช้เวลา 20 นาที ส้มแขกดูดคืนน้ำได้น้ำหนักมากที่สุด อัตราส่วนการดูดคืนน้ำของส้มแขกที่ผ่านการทำแห้งที่อุณหภูมิ 45, 55 และ 65 องศาเซลเซียส ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติระหว่างชุดทดลอง ทั้งนี้อาจเนื่องจากช่วงอุณหภูมิการทำแห้งนี้ไม่ทำให้เนื้อเยื่อของส้มแขกแตกต่างกันจึงดูดคืนน้ำได้ไม่แตกต่างกัน

อัตราส่วนการดูดคืนน้ำ (คิดจากน้ำหนักสัมพัทธ์) ของส้มแขกทั้งที่อุณหภูมิห้องและที่ 100 องศาเซลเซียส เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วและการดูดคืนน้ำที่อุณหภูมิสูงใช้เวลาน้อยกว่าการดูดคืนน้ำที่อุณหภูมิต่ำ ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Doymaz (2010) ที่พบว่าแอปเปิลแดงที่ผ่านการทำแห้งที่ 65 องศาเซลเซียส มีการดูดคืนน้ำที่ 70 องศาเซลเซียสได้เร็วกว่าการดูดคืนน้ำที่ 30 องศาเซลเซียส ทั้งนี้อาจเป็นเพราะที่อุณหภูมิสูงน้ำแพร่เข้าสู่เนื้ออาหารได้เร็วกว่าการดูดคืนน้ำส้มแขกแห้งที่อุณหภูมิห้อง อย่างไรก็ตาม แม้ว่าการดูดคืนน้ำของส้มแขกแห้งที่อุณหภูมิห้องจะใช้เวลานานกว่าการดูดคืนน้ำที่ 100 องศาเซลเซียส แต่ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าส้มแขกที่ผ่านการดูดคืนน้ำที่อุณหภูมิห้องมีอัตราส่วนการดูดคืนน้ำสูงกว่าที่ 100 องศาเซลเซียส

มีรายงานการทำแห้งชิ้นมะม่วงที่อุณหภูมิ 60, 70 และ 80 องศาเซลเซียส ซึ่งพบว่าเวลาและอุณหภูมิทำแห้งมีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อการดูดคืนน้ำของชิ้นมะม่วง (Akoy *et al.*, 2008) กล่าวคือ ชิ้นมะม่วงที่ผ่านการทำแห้งที่ 80 องศาเซลเซียส ซึ่งใช้เวลาการทำแห้ง 3 ชั่วโมง มีอัตราการดูดคืนน้ำดีที่สุด รองลงมาคือการทำแห้งที่ 70 และ 60 องศาเซลเซียส ซึ่งใช้เวลาในการทำแห้ง 5 และ 7 ชั่วโมง ตามลำดับ

อัตราส่วนการดูดคืนน้ำเป็นตัวแปรหนึ่งที่ใช้ในการพิจารณาสมบัติของอาหารแห้งซึ่งแสดงการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและทางเคมีระหว่างการทำแห้งซึ่งเป็นผลมาจากสภาวะการทำแห้ง การเตรียมขั้นต้นก่อนการทำแห้งและองค์ประกอบของอาหาร (Doymaz, 2010) ความร้อนในการทำแห้งทำให้การดูดคืนน้ำและความยืดหยุ่นของผนังเซลล์ลดลง ทำให้โปรตีนจับตัวกันและลดความ สามารถในการอุ้มน้ำ อาจใช้อัตราเร็วและระดับของการดูดคืนน้ำเป็นตัวชี้วัดคุณภาพอาหารได้ อาหารที่ผ่านการทำแห้งในสภาวะที่เหมาะสมจะเกิดการเสียหายน้อยกว่าและดูดคืนน้ำได้เร็วกว่าอาหารที่ทำแห้งที่สภาวะเหมาะสมน้อยกว่า (วิไล, 2543; Fellows, 2000)

Prince of Songkla University Pattani Campus



Prince of Songkla University Pattani Campus

ภาพที่ 4-7 อัตราส่วนการดูดคืนน้ำของส้มแขกแห้ง ที่อุณหภูมิห้อง ①และ 100 องศาเซลเซียส② ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากการทดลอง 3 ซ้ำ

4.5 สมบัติทางเคมีกายภาพของส้มแขกแห้งจากชุดทดลองเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์จากตลาด

การเปรียบเทียบสมบัติทางเคมีกายภาพและจุลินทรีย์ของผลิตภัณฑ์ส้มแขกแห้งจากการทดลองและจากตัวอย่างส้มแขกแห้งที่สุ่มซื้อจากตลาด 4 ตัวอย่าง แสดงดังตารางที่ 4-4 4-5 และ 4-6 พบว่าผลิตภัณฑ์จากตลาดมีปริมาณความชื้น และค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ สูงกว่าผลิตภัณฑ์จากชุดทดลอง และปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์จากตลาดสูงกว่าที่กำหนดในเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนส้มแขกแห้ง สำหรับปริมาณกรดทั้งหมดมีค่าใกล้เคียงกัน (ตารางที่ 4-4)

จากการวัดค่าสี L*, a* และ b* ของส้มแขกแห้งจากตลาด 4 ตัวอย่าง พบว่าผลิตภัณฑ์จากจากตลาดทั้ง 4 ตัวอย่างมีค่าความสว่าง (L*) และค่าสีเหลือง (b*) น้อยกว่าทุกตัวอย่างจากชุดทดลอง (ตารางที่ 4-5) ซึ่งสังเกตได้อย่างชัดเจนว่าตัวอย่างจากตลาดมีสีน้ำตาลคล้ำกว่าทุกตัวอย่างในชุดการทดลอง

ตารางที่ 4-4 สมบัติทางเคมีกายภาพของส้มแขกแห้งจากชุดทดลองและจากตลาด

ส้มแขกแห้ง	ความชื้น (%)	Aw	ปริมาณกรดทั้งหมด (%)	ความแข็ง (นิวตัน)	Bulk density (มล./กรัม)
45°C	6.12±0.45	0.44±0.02	1.55±0.57	34.90±1.56	7.61±0.50
55°C	6.61±0.00	0.43±0.01	1.28±0.09	41.11±7.36	8.76±0.74
65°C	6.20±0.48	0.44±0.01	1.47±0.35	39.06±2.97	9.19±1.15
ตลาด1 (เบตง)	23.72±0.81	0.76±.01	-	20.22±4.40	7.04±1.11
ตลาด2 (นาประดู่)	13.96±0.80	0.66±.03	-	35.12±8.23	6.67±0.65
ตลาด3 (โคกโพธิ์)	19.44±0.07	0.60±.00	1.31±0.00	30.92±6.10	7.71±0.53
ตลาด4 (เบตง2)	21.34±0.21	0.60±.00	1.41±0.00	22.77±6.10	7.88±0.37

ตัวอย่างจากชุดทดลอง ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการทดลอง 3 ซ้ำ
ตัวอย่างตลาด ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการวัด 3 ซ้ำ ยกเว้นค่าความแข็งวัดจากตัวอย่างไม่น้อยกว่า 6 ตัวอย่าง

Prince of Songkla University Pattani Campus

ตารางที่ 4-5 ค่าสีของส้มแขกแห้งจากชุดทดลองและจากตลาด

ส้มแขกแห้ง	ค่าสี		
	L*	a*	b*
45°C	57.94±0.49	1.33±0.75	13.00±0.35
55°C	56.98±1.78	1.22±0.25	9.52±2.15
65°C	55.30±1.39	1.47±0.26	10.84±0.38
ตลาด1 (เบตง)	48.85±0.37	1.28±0.29	-0.43±0.20
ตลาด2 (นาประดู่)	49.57±1.21	1.96±0.87	0.49±1.08
ตลาด3 (โคกโพธิ์)	50.38±0.63	5.04±0.69	4.24±0.64
ตลาด4 (เบตง2)	54.74±0.61	6.52±0.48	9.68±1.06
ตัวอย่างจากการทดลอง	ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการทดลอง 3 ซ้ำ		
ตัวอย่างตลาด	ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการวัด 3 ซ้ำ		

ตารางที่ 4-6 ผลการตรวจสอบปริมาณจุลินทรีย์ในส้มแขกแห้งจากชุดทดลองและจากตลาด

ส้มแขกแห้ง	จุลินทรีย์ทั้งหมด (cfu/g)	ยีสต์และรา (cfu/g)	โคลิฟอร์ม (MPN/g)
45°C	น้อยกว่า 25	ไม่พบ	ไม่พบ
55°C	น้อยกว่า 25	ไม่พบ	ไม่พบ
65°C	น้อยกว่า 25	ไม่พบ	ไม่พบ
ตลาด1 (เบตง)	น้อยกว่า 25	ไม่พบ	ไม่พบ
ตลาด2 (นาประดู่)	น้อยกว่า 25	ไม่พบ	ไม่พบ
ตลาด3 (โคกโพธิ์)	30	น้อยกว่า 3.0	ไม่พบ
ตลาด4 (เบตง2)	น้อยกว่า 25	น้อยกว่า 3.0	ไม่พบ
มผช. 476/2547	ไม่เกิน $1x10^4$	ไม่เกิน 10	

ตัวอย่างผลิตภัณฑ์จากตลาดแม้ว่ามีความชื้นสูงกว่าที่กำหนดใน มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนส้มแขกแห้ง (มผช. 476/2547) แต่พบ 2 ตัวอย่าง (ตลาด3-โคกโพธ์ และตลาด4-เบตง2) ใน 4 ตัวอย่าง มีค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ ไม่เกิน 0.6 และเมื่อตรวจสอบปริมาณจุลินทรีย์พบว่า ส้มแขกแห้งทุกตัวอย่างมีคุณภาพทางจุลินทรีย์อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนส้มแขกแห้ง จึงเป็นข้อสังเกตว่า

Prince of Songkla University Pattani Campus

ในมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนส้มแขกแห้งกำหนดปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์ส้มแขกแห้งไว้ต่ำ คือ ไม่เกินร้อยละ 7 โดยน้ำหนัก และไม่ได้กำหนดค่าวอเตอร์แอกติวิตี้ของผลิตภัณฑ์ ในขณะที่เกณฑ์กำหนดของผลิตภัณฑ์ในมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนผลไม้แห้ง (มผช. 136/2546) กำหนดปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์ผลไม้แห้ง ไม่เกินร้อยละ 18 โดยน้ำหนัก และวอเตอร์แอคติวิตี้ ต้องไม่เกิน 0.75 ซึ่งตัวอย่างส้มแขกแห้งที่เตรียมในชุดการทดลองให้มีความชื้นต่ำกว่าร้อยละ 7 ต้องใช้เวลานานในการทำแห้ง ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีลักษณะแข็ง (ความแข็งได้ 34-41 นิวตัน) ทำให้ต้องใช้เวลานานในการดูดคืนน้ำ ดังนั้นหากใช้เกณฑ์ปริมาณความชื้นและค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ ในการควบคุมคุณภาพผลิตภัณฑ์ส้มแขกแห้งตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ผลไม้แห้ง จะสามารถลดเวลาการทำแห้งลงได้และยังคงได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพทางจุลินทรีย์อยู่ในเกณฑ์ มผช. 476/2547

การแปรรูปส้มแขกตามกระบวนการในงานวิจัยนี้ ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ส้มแขกแห้ง สามารถใช้เป็นผลิตภัณฑ์คืนรูปเพื่อเป็นส่วนประกอบอาหาร หรือเป็นวัตถุดิบเพื่อแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์อื่น เช่น การผลิตสารสกัดจากส้มแขก การแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์สมุนไพร ผลิตภัณฑ์เสริมอาหาร และผลิตภัณฑ์อาหารเสริมเพื่อสุขภาพ

Prince of Songkla University Pattani Campus