บทที่ 4
ผลการทดลองและอภิปรายผล

4.1 คุณภาพของเปลือกในเสาวรสพันธุ์สีเหลือง

จากการวิเคราะห์ปริมาณผลผลิตที่ได้ของเสาวรสพันธุ์สีเหลือง ดังตาราง 4.1 พบว่า ค่าน้ำหนักเฉลี่ยทั้งผล 69.85±3.61 กรัม เมื่อแยกแต่ละส่วนมีส่วนเปลือกทั้งหมดร้อยละ 55.61±0.08 และมีส่วนของน้ำเสาวรสร้อยละ 11.32±1.42 ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับการตรวจวัดคุณภาพของเสาวรสพันธุ์สีเหลืองในประเทศอินเดีย และเป็นสายพันธุ์เดียวกันกับในประเทศไทย (Kulkarni and Vijayanand, 2010) ที่มีน้ำหนักเสาวรสเฉลี่ยทั้งผล 55.3±6.03 กรัม น้ำเสาวรสร้อยละ 33.0±0.15 และส่วนเปลือกทั้งหมดร้อยละ 50±1.06 ซึ่งเป็นลักษณะเด่นของเสาวรสพันธุ์สีเหลืองที่จะมีเปลือกหนา

ตาราง 4.1 ปริมาณผลผลิตที่ได้ของเสาวรสพันธุ์สีเหลือง

ส่วนของผลเสาวรส	เสาวรสพันธุ์สีเหลือง
น้ำหนักเสาวรสเฉลี่ยทั้งผล (กรัม)	69.85±3.61
ส่วนเปลือกทั้งหมด (ร้อยละของทั้งผล)	55.61±0.08
ส่วนน้ำ (ร้อยละของทั้งผล)	11.32±1.42
ส่วนเนื้อรวมเมล็ด (ร้อยละของทั้งผล)	33.07±1.45
ส่วนของเปลือกใน (คิดเป็นร้อยละของทั้งผล)	31.70±1.35

ตัวเลขที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (3 ซ้ำการทดลอง)

ปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณน้ำเสาวรส ขึ้นอยู่กับช่วงเวลาของการเก็บเกี่ยวและสภาพเปลือก น้ำเสาวรสจะเพิ่มมากขึ้นเมื่อเปลือกของเสาวรสมีลักษณะเหี่ยว (ลพ, 2545) ในงานวิจัยนี้จะเลือกใช้เปลือกในเสาวรสที่ระยะการเก็บเกี่ยว 60-70 วัน โดยจะสังเกตได้จากผิวของเสาวรสจะมีลักษณะกลมโต ผิวเรียบ และมีสีเหลือง สามารถหาคุณภาพทางเคมีได้จากน้ำเสาวรส ดังตาราง 4.2

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 4.2 คุณภาพทางเคมีของน้ำเสาวรสพันธุ์สีเหลือง

ค่าคุณภาพ	น้ำเสาวรสพันธุ์สีเหลือง
ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)	2.86±0.01
ปริมาณกรดทั้งหมด (as %citric acid)	2.94±0.04
ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (°Brix)	13.87±0.06
อัตราส่วนระหว่างปริมาณของแข็งที่ละลายได้ ต่อปริมาณกรดทั้งหมด (sugar acid ratio)	4.71±0.06

ตัวเลขที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (3 ซ้ำการทดลอง)

ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีของน้ำผลเสาวรส พบว่า ค่าความเป็นกรด-ด่าง 2.86 ซึ่งการวัดค่าความเป็นกรด-ด่างไม่สามารถบอกคุณภาพด้านความสุก แต่บ่งบอกถึงรสเปรี้ยวได้ดี (จริงแท้, 2541) และมีปริมาณกรดทั้งหมดร้อยละ 2.94 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ 13.87 องศาบริกซ์โดยกระบวนการสุกของผลไม้สตาร์ชจะถูกไฮโดรไลซ์เป็นน้ำตาล ซึ่งสามารถวัดปริมาณน้ำตาลเพื่อบ่งชี้ระยะการสุกของผลไม้ได้ (นิธิยา และดนัย, 2548) การวิเคราะห์ปริมาณความเป็นกรดทั้งหมดที่วิเคราะห์ได้จากการไตเตรทน้ำเสาวรสด้วยสารละลายด่างมาตรฐาน จะมีค่าความเป็นกรดทั้งหมดร้อยละ 2.94 ซึ่งในผลไม้ส่วนใหญ่ปริมาณกรดทั้งหมดจะลดลงเมื่อผลไม้แก่และสุก และผลไม้บางชนิดจะมีปริมาณน้ำตาลเพิ่มขึ้นด้วย ดังนั้นจึงใช้อัตราส่วนของปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ต่อปริมาณกรดทั้งหมดที่ไทเทรตได้เป็นอัตราส่วนระหว่างปริมาณของแข็งที่ละลายได้ต่อปริมาณกรดทั้งหมด (sugar acid ratio) ซึ่งมีค่า 4.71 เมื่อผลไม้แก่จัดและเริ่มสุกอัตราส่วนนี้จะเพิ่มขึ้น เนื่องจากปริมาณกรดทั้งหมดลดลง โดยปริมาณของแข็งที่ละลายในน้ำอาจจะไม่เปลี่ยนแปลง หรือมีการเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย อัตราส่วนนี้ยังแปรผันได้ตามพันธุ์ ภูมิอากาศ และการปฏิบัติระหว่างการปลูก (นิธิยา, 2551)

เมื่อนำเปลือกในเสาวรสสดมาวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมี พบว่า เปลือกในเสาวรสสดมีความชื้นเริ่มต้นสูงถึงร้อยละ 92 และมีองค์ประกอบหลักเป็นคาร์โบไฮเดรต มีพลังงาน 31.09 กิโลแคลอรีต่อ 100 กรัม (ดังตาราง 4.3) ซึ่งค่าที่ได้มีค่าใกล้เคียงกับงานวิจัยของณัชชา (2550) ที่พบว่า เปลือกในเสาวรสพันธุ์สีเหลืองมีปริมาณความชื้นร้อยละ 85.52 เถ้าร้อยละ 1.59 ไขมันร้อยละ 1.37 โปรตีนร้อยละ 0.57 และคาร์โบไฮเดรตร้อยละ 10.95

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 4.3 องค์ประกอบทางเคมีของเปลือกในเสาวรสสด

องค์ประกอบทางเคมี	เปลือกในเสาวรสสด
ความชื้น (ร้อยละ)	92.00
เถ้า (ร้อยละ)	0.74
ไขมัน (ร้อยละ)	0.41
โปรตีน (ร้อยละ)	1.52
เส้นใย (crude fiber) (ร้อยละ)	2.79
คาร์โบไฮเดรต (ร้อยละ)	2.54

จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติพบว่าเพกทินที่ได้จากเปลือกในของเสาวรส มีค่าน้ำหนักสมมูล และปริมาณเมทอกซี ดังตาราง 4.4 พบว่า มีน้ำหนักสมมูล 4,186.59 ซึ่งน้ำหนักสมมูลของผลไม้แต่ละชนิดจะแตกต่างกัน เช่น เพกทินจากเปลือกมะนาวมีน้ำหนักสมมูล 864.39 (นัยทัศน์, 2521) เพกทินจากเปลือกฝรั่งมี 1,320.60 (นิภาพร และคณะ, 2545) เพกทินจากจำปาดะมี 1,045 (กฤติกา และเทิดพงษ์, 2543) เพกทินจากเปลือกในเสาวรสพันธุ์สีเหลือง 4,848.48 (วิศนี, 2552) เป็นต้น โดยน้ำหนักสมมูลบ่งบอกถึงอัตราส่วนระหว่างเมธิลเอสเทอร์กับคาร์บอซิล นำไปใช้ในการคำนวณหาค่าปริมาณเมทอกซีในลำดับต่อไป ซึ่งค่าน้ำหนักสมมูลจะแปรผันตรงกับปริมาณเมทอกซี (ปราณี, 2549) เปลือกในเสาวรสมีปริมาณเมทอกซีร้อยละ1.50 จากผลการวิเคราะห์เปลือกในเสาวรสของ Madhav and Pushpalatha (2002) และ Kulkarni and Vijayanand (2010) ให้ค่าน้อยกว่าร้อยละ 10 เช่นกัน ซึ่งจัดเป็นเพกทินเมทอกซีต่ำกล่าวคือมีเมทอกซีน้อยกว่าร้อยละ 50 (เรณู และนราพร, 2540) ผลการทดลองนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Yapo and Koffi (2006) ที่พบว่าเปลือกเสาวรสพันธุ์สีเหลืองในประเทศฝรั่งเศสเป็นเพกทินเมทอกซีต่ำ เช่นเดียวกับเสาวรสพันธุ์สีเหลืองในประเทศไทย (วิศนี, 2552) และเมื่อเปรียบเทียบเยลลีเกรดกับเพกทินทางการค้าเกรด 150 พบว่าเสาวรสพันธุ์ผลสีเหลือง มีค่าเยลลีเกรด 40 ซึ่งค่าเยลลีเกรดนี้จะเป็นตัวที่บอกถึงคุณภาพของการเกิดเจลสำหรับใช้ในผลิตภัณฑ์อาหาร โดยเมื่อเกรดมีค่าสูงปริมาณเปลือกในเสาวรสที่ใช้ก็จะลดลง เพราะสามารถเกิดเจลได้เมื่อใช้ในปริมาณเพียงเล็กน้อย (ฉัตรชัย, 2552)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 4.4 ค่าเยลลีเกรด น้ำหนักสมมูล และปริมาณเมทอกซีของเปลือกในเสาวรสสดพันธุ์สีเหลือง

ค่าคุณภาพ	เปลือกในเสาวรสพันธุ์สีเหลือง
เยลลีเกรด (เทียบกับเพกทินเกรด 150)	40
น้ำหนักสมมูล	4,186.59±129.33
ปริมาณเมทอกซี (ร้อยละ)	1.50±0.05

ตัวเลขที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (3 ซ้ำการทดลอง)

จากการทดลองทำเจลมาตรฐานจากเพกทินมาตรฐานเกรด 150 ชนิดวิเคราะห์ (AR grade) โดยควบคุมให้มีค่าความเป็นกรด-ด่างอยู่ในช่วง 3.0-3.2 และปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดเท่ากับ 65 องศาบริกซ์ แล้วจึงใช้ลักษณะเจลที่ได้รับนั้นเปรียบเทียบเป็นลักษณะเจลในอุดมคติ เพื่อในการผลิตเพกทินเมทอกซีต่ำจากเปลือกในเสาวรสให้มีลักษณะตามต้องการ

ตาราง 4.5 การทดสอบเกรดของเพกทินตามวิธีของ Commercial pectin preparation food*

ชนิดของเพกทิน	เกรดของเยลลี	แรงกด (นิวตัน)
เพกทินมาตรฐาน (AR GRADE)	150	0.076^{c}
เพกทินเมทอกซีต่ำทางการค้า	90	0.138^{a}
	100	0.110^{b}
	110	0.081^{c}
เปลือกในเสาวรส	30	0.117^{ab}
	40	0.061^{c}
	50	0.021^{d}

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งที่ตามด้วยตัวอักษรต่างกัน มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยวิธี LSD

* Ranganna (1986)

การหาเยลลีเกรดของเปลือกในเสาวรสสด ใช้เพกทินมาตรฐานเกรด 150 เป็นตัวควบคุม โดยทำการเตรียมเพกทินเมทอกซีต่ำทางการค้าเป็นเกรด 90, 100, 110 เปลือกในเสาวรส เป็นเกรด 30, 40, 50 ตามวิธีของ Commercial pectin preparation food (ดังตาราง 3.1) เพื่อเปรียบเทียบแรงกดกับเจลมาตรฐานเกรด 150 พบว่าเพกทินมาตรฐานมีค่าแรงกด 0.076 นิวตัน เมื่อเปรียบเทียบกับเพกทินส่วนที่เตรียมจากเกรดต่างๆนั้น เกรดที่จัดอยู่ในกลุ่มเดียวกับเพกทินมาตรฐานคือเพกทิน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เมทอกซีต่ำทางการค้า ที่มีค่าใกล้เคียงกับเพกทินมาตรฐานคือเกรด 110 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.081 นิวตัน เปลือกในเสาวรสเกรด 40 มีค่าเท่ากับ 0.061 นิวตัน (ตาราง 4.5) มีการศึกษาเยลลีเกรดในผลไม้หลายชนิด เช่น เปลือกในเสาวรสพันธุ์สีเหลือง เป็นมีค่าเยลลีเกรดเท่ากับ 60 (วิศนี, 2552) เพกทินที่สกัดได้จากกากฝรั่งค่าเยลลีเกรดเท่ากับ 150-160 (ณรงค์, 2546) ผงเพกทินที่สกัดได้จากเปลือกส้มโอเป็นค่าเยลลีเกรดเท่ากับ 280 (ฉัตรชัย, 2552) ทั้งนี้ค่าเยลลีเกรดจากผลไม้บางชนิดมีค่าเกรดสูงเนื่องจากอยู่ในรูปของสารสกัดเพกทิน ในขณะที่เปลือกในเสาวรสในงานวิจัยนี้มีองค์ประกอบอื่นรวมอยู่ด้วย เช่น โปรตีน เส้นใย ดังตาราง 4.3

4.2 ผลการศึกษาสภาวะการอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนแบบถาด และการอบแห้งด้วยตู้อบแบบสุญญากาศ

4.2.1 การศึกษาหาสภาวะการอบแห้งโดยการอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนแบบถาด

จากการศึกษาสภาวะการอบแห้งโดยการอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนแบบถาด โดยวางแผนแบบ Central Composite Design ปัจจัยที่ศึกษาได้แก่ อุณหภูมิ และเวลา ได้ผลิตภัณฑ์ทั้งหมด 11 สิ่งทดลอง ที่มีจุดซ้ำ 3 จุดที่จุดกลาง พบว่าเปลือกในเสาวรสอบแห้งที่ได้มีค่าปริมาณความชื้นอยู่ในช่วงร้อยละ 1.74-35.57 ค่าวอเตอร์แอกทิวิตีอยู่ในช่วง 0.051-0.898 ปริมาณผลผลิตที่ได้มีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 4.57-12.1 เยลลีเกรดมีค่าเท่ากับ 30 และ 40 น้ำหนักสมมูลมีค่าอยู่ในช่วง 2,356.3-4,410.3 และปริมาณเมทอกซีมีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 0.91-3.57 ดังตาราง 4.6

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 4.6 คุณภาพทางเคมีของเปลือกในเสาวรสที่ผ่านการอบแห้งแบบลมร้อน

สิ่งทดลอง		ปริมาณความชื้น	ค่าวอเตอร์แอกทิวิตี	ปริมาณผลผลิต	เยลลีเกรด	น้ำหนักสมมูล	ปริมาณเมทอกซี
อุณหภูมิ	เวลา	(ร้อยละ)	(a_w)	ที่อบได้ (ร้อยละ)			(ร้อยละ)
60	6	31.43 ± 0.80	0.835 ± 0.001	5.35 ± 0.52	30	4,410.30 ± 108.13	0.91 ± 0.07
80	6	4.16 ± 0.01	0.178 ± 0.003	4.57 ± 0.09	40	3,546.10 ± 332.51	3.57 ± 2.05
60	8	5.31 ± 0.32	0.372 ± 0.028	4.58 ± 0.15	40	3,699.80 ± 144.72	0.93 ± 0.03
80	8	1.74 ± 0.05	0.051 ± 0.003	5.37 ± 0.13	40	2,887.50 ± 46.00	1.26 ± 0.21
55.9	7	35.57 ± 0.10	0.898 ± 0.001	12.10 ± 0.19	30	4,117.65 ± 124.85	0.95 ± 0.11
84.1	7	3.48 ± 0.01	0.080 ± 0.009	5.11 ± 0.13	40	2,356.30 ± 132.08	0.94 ± 0.30
70	5.6	6.16 ± 0.10	0.413 ± 0.017	4.77 ± 0.13	30	4,615.01 ± 144.54	3.40 ± 1.52
70	8.5	5.65 ± 0.90	0.187 ± 0.007	5.96 ± 0.12	40	3,218.30 ± 121.96	1.30 ± 0.40
70	7	3.38 ± 0.06	0.185 ± 0.002	4.86 ± 0.07	40	3,610.60 ± 808.95	2.31 ± 0.43
70	7	3.86 ± 0.04	0.164 ± 0.000	4.60 ± 0.23	40	3,610.60 ± 33.28	2.85 ± 0.27
70	7	3.70 ± 0.14	0.124 ± 0.001	4.94 ± 0.17	40	3,000.30 ± 160.69	3.31 ± 0.83
ค่า p		0.0212	0.0020	0.3952	-	0.0018	0.0310

ตัวเลขที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (3 ซ้ำการทดลอง)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เมื่อนำผลการทดลองทั้งหมดมาวิเคราะห์ความถดถอย เพื่อหาความสัมพันธ์ของอุณหภูมิ และเวลาในการอบเปลือกในเสาวรสที่ส่งผลต่อคุณภาพด้านต่างๆ จะได้สมการถดถอยดังแสดงในตาราง 4.7 จากสมการพบว่า ช่วงระยะเวลาและอุณหภูมิในการอบแห้งส่งผลต่อค่าปริมาณความชื้น ค่าวอเตอร์แอกทิวิตี น้ำหนักสมมูล และปริมาณเมทอกซีอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) แต่ไม่มีผลต่อปริมาณผลผลิตที่ได้อย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) และสมการถดถอยที่ได้นี้มีค่า Adj R^2 อยู่ในช่วงร้อยละ 73.10 ถึง 96.95 โดยค่าที่ Adj R^2 ยิ่งสูงจะหมายความว่าสมการนั้นสามารถทำนายผลการตอบสนองได้ดี (สุจินดา, 2548)

ตาราง 4.7 สมการถดถอยเพื่อใช้ทำนายคุณภาพทางเคมีกายภาพของเปลือกในเสาวรสจากอิทธิพลของอุณหภูมิและเวลาในการอบแห้ง

ค่าคุณภาพ	สมการการทำนาย	Adj R^2	p*
ค่าวอเตอร์แอกทิวิตี	$18.29-0.31(temp)-1.65(time)+1.51x10^{-3}(temp)^2+0.06(time)^2+0.01(temp)(time)$	96.95	0.0020
ปริมาณความชื้น	$754.89-15.64(temp)-45.52(time)+0.07(temp)^2-0.17(time)^2+0.64(temp)(time)$	77.11	0.0212
น้ำหนักสมมูล	$20376.70-37.27(temp)-4282.17(time)-0.70(temp)^2+269.52(time)^2+1.30(temp)(time)$	82.94	0.0105
ปริมาณเมทอกซี	$-80.85+1.75(temp)+6.66(time)-9.34x10^{-3}(temp)^2-0.23(time)^2-0.06(temp)(time)$	73.10	0.0310

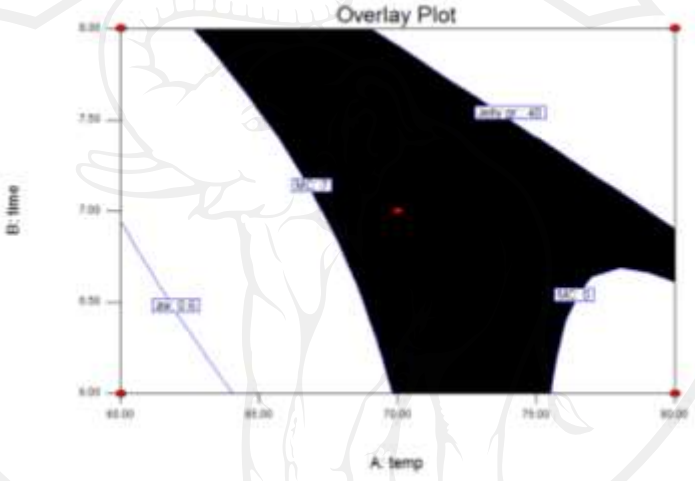
*ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

จากสมการถดถอยของค่าวอเตอร์แอกทิวิตี ปริมาณความชื้น น้ำหนักสมมูล และปริมาณเมทอกซี พบว่า สมการความสัมพันธ์เป็นแบบหุ่นกำลังสอง (quadratic model) ซึ่งสามารถอธิบายความสัมพันธ์เพิ่มเติมได้ว่า ช่วงอุณหภูมิและเวลาในการอบแห้ง ส่งผลต่อค่าคุณลักษณะร่วมกัน ตัวอย่างเช่น สมการถดถอยของค่าปริมาณความชื้นที่พบว่าอุณหภูมิและเวลาในการอบมีผลต่อค่าปริมาณความชื้น โดยมีอิทธิพลหลักมาจากระยะเวลาในการอบ โดยจะมีค่าลดลงเมื่อเวลาการอบเพิ่มขึ้น ส่วนปัจจัยร่วมระหว่างอุณหภูมิและระยะเวลาในการอบมีผลทำให้คุณภาพดังกล่าวเพิ่มขึ้น

จากนั้นนำสมการความสัมพันธ์ที่ได้มาวิเคราะห์หาอุณหภูมิ และเวลาที่เหมาะสมในการอบ โดยใช้โปรแกรม Design Expert version 6.0.10 ทำการวิเคราะห์แบบ Graphical และ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

กำหนดขอบเขตของปัจจัยที่ศึกษาและขอบเขตของคุณภาพที่ต้องการ โดยกำหนดให้มีค่าวอเตอร์แอกทิวิตีน้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.6 ซึ่งเป็นช่วงค่าที่สามารถเก็บอาหารไว้ได้อย่างปลอดภัย โดยแบคทีเรียเกือบทุกชนิดไม่สามารถเจริญเติบโตได้ที่วอเตอร์แอกทิวิตีต่ำกว่า 0.9 และราส่วนใหญ่จะไม่เจริญเติบโตที่ค่าวอเตอร์แอกทิวิตีต่ำกว่า 0.6 (Figura and Teixeira, 2007) และกำหนดให้มีปริมาณความชื้นน้อยกว่าหรือเท่ากับ 7 เทียบเท่ากับผลิตภัณฑ์สมุนไพรอบแห้ง มผช. 996/2548 (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2548) จะทำให้ได้สภาวะที่เหมาะสมในพื้นที่สีดำ ดังภาพ 4.1 มีอุณหภูมิในการอบอยู่ระหว่าง 62.7-80 องศาเซลเซียสและเวลาการอบ 6-8 ชั่วโมง



ภาพ 4.1 ระดับของอุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสม (พื้นที่สีดำ)
ในการผลิตเปลือกในเสาวรสอบแห้งที่ให้ค่าคุณภาพตามที่กำหนด

การทดสอบความถูกต้องของสมการด้วยการเลือกจุดที่อยู่ในช่วงพื้นที่สีดำ มาทำการผลิตเปลือกในเสาวรสอบแห้ง พร้อมทั้งทำการตรวจคุณภาพทางเคมีและกายภาพ เพื่อตรวจสอบการทำนายค่า โดยจุดที่เลือกใช้ในการทดสอบ คือการอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เวลา 6 ชั่วโมง และนำค่าที่ได้จากการทดลองจริงเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการทำนายด้วยสมการ ดังตาราง 4.8 จะเห็นได้ว่าร้อยละความคลาดเคลื่อนของตัวแปรตามต่างๆ มีความแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย คืออยู่ในช่วงร้อยละ 2.40 ถึงร้อยละ 9.06 ซึ่งร้อยละความคลาดเคลื่อนของค่าที่ได้จากการทดลอง และค่าที่ได้จากการทำนายนั้นแตกต่างกันน้อยกว่าร้อยละ 10 จึงเพียงพอต่อการทำนายของสมการ (Hu, 1999)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 4.8 คุณภาพทางเคมีกายภาพของเปลือกในเสาวรสอบแห้งที่ได้จากการทำนายและจากการทดลอง

คุณภาพ	ค่าจากการทดลอง*	ค่าจากการทำนาย	ความคลาดเคลื่อน (ร้อยละ)**
ค่าวอเตอร์แอกทิวิตี	0.344±0.001	0.314	8.72
ปริมาณความชื้น (ร้อยละ)	3.69±0.04	3.83	3.79
ปริมาณผลผลิตที่ได้ (ร้อยละ)	4.27±0.05	4.42	3.51
น้ำหนักสมมูล	4192.36±154.36	4091.86	2.40
ปริมาณเมทอกซี (ร้อยละ)	2.98±0.08	3.25	9.06

*ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน โดยวัดค่า 3 ซ้ำ

**คำนวณร้อยละจากสูตร ร้อยละของความคลาดเคลื่อน = |ค่าจากการทดลอง-ค่าจากการทำนาย| ×100/ค่าจากการทดลอง

4.2.2 การศึกษาหาสภาวะการอบแห้งโดยการอบแห้งด้วยตู้อบแบบสุญญากาศ

ในการศึกษาหาสภาวะการอบแห้งโดยใช้ตู้อบสุญญากาศ ทำการทดลองอบแห้งเปลือกเสาวรสด้วยเครื่องอบแห้งสุญญากาศ อุณหภูมิเริ่มต้นของตัวอย่างมีปริมาณความชื้นร้อยละ 95 วางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) โดยผันแปรอุณหภูมิของการอบแห้ง 40, 50 และ 60 องศาเซลเซียส ซึ่งจะควบคุมค่าวอเตอร์แอกทิวิตีให้ใกล้เคียงกับค่าที่ทำนายได้จากการอบแห้งแบบลมร้อนที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียสนาน 6 ชั่วโมงคือ 0.314±0.300 ซึ่งจะต้องมีค่าไม่เกิน 0.6 จากนั้นทำการวิเคราะห์ ค่าวอเตอร์แอกทิวิตี ปริมาณความชื้น ร้อยละผลผลิตที่ได้ น้ำหนักสมมูล ปริมาณเมทอกซี และเยลลีเกรด

เมื่อทำการวิเคราะห์ค่าวอเตอร์แอกทิวิตี ปริมาณความชื้น ร้อยละผลผลิตที่ได้ น้ำหนักสมมูล ปริมาณเมทอกซี และค่าเยลลีเกรดของเปลือกในเสาวรสอบแห้งด้วยตู้อบสุญญากาศที่อุณหภูมิ 40, 50 และ 60 องศาเซลเซียส และบันทึกเวลาที่ใช้ ดังตาราง 4.9

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 4.9 คุณภาพของเปลือกในเสาวรสอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบสุญญากาศที่อุณหภูมิต่างๆ

คุณภาพ	อุณหภูมิ (ºC) / เวลา (h)		
	40 ºC / 50 h	50 ºC / 30 h	60 ºC / 24 h
ค่าวอเตอร์แอกทิวิตี	0.573±0.008[a]	0.651±0.020[a]	0.339±0.020[b]
ปริมาณความชื้น (ร้อยละ)	2.77±0.48[a]	2.12±0.22[a]	1.01±0.22[b]
ปริมาณผลผลิตที่ได้ (ร้อยละ)	3.91±0.18[a]	4.12±0.19[a]	3.74±0.20[b]
น้ำหนักสมมูล	3,777.9 ±185.05[a]	3,778.9±99.03[a]	3,981.2±31.54[a]
ปริมาณเมทอกซี (ร้อยละ)	2.36±0.04[a]	2.37±0.05[a]	2.28±0.02[b]
เยลลีเกรด	40	40	40

ข้อมูลแสดงในรูปค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

a, b, c แสดงค่าความแตกต่างกันของข้อมูลในแนวแถวอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

จากตาราง 4.9 พบว่าค่าวอเตอร์แอกทิวิตี ปริมาณความชื้น และปริมาณผลผลิตที่ได้ลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ค่าวอเตอร์แอกทิวิตี อยู่ในช่วง 0.339-0.651 ปริมาณความชื้นอยู่ในช่วงร้อยละ 1.01-2.77 และร้อยละผลผลิตที่ได้อยู่ในช่วง 3.91-4.12 โดยที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส มีค่าวอเตอร์แอกทิวิตีและปริมาณความชื้นต่ำที่สุด อีกทั้งมีน้ำหนักสมมูลไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) ปริมาณเมทอกซีลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น เนื่องจากปริมาณเมทอกซีเป็นอัตราส่วนระหว่างน้ำหนักเอสเทอร์และน้ำหนักกรดกาแลกทูโรนิก เมื่อความร้อนเพิ่มสูงขึ้นพันธะไกลโคไซด์ระหว่างกรดกาแลคทูโรนิกจะถูกทำลาย (ปราณี, 2549) แต่ยังอยู่ในช่วงที่เมทอกซีไม่เกิน 50 และมีค่าเยลลีเกรดเท่ากับ 40

จากการศึกษาสามารถเลือกสภาวะที่เหมาะสมของการอบแห้งโดยใช้ตู้อบสุญญากาศโดยเลือกสภาวะการอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสนาน 24 ชั่วโมง เนื่องจากมีค่าวอเตอร์แอกทิวิตีซึ่งเป็นค่าที่ใกล้เคียงกับการทำนายโดยใช้การอบแห้งแบบลมร้อน โดยมีปริมาณความชื้นเท่ากับร้อยละ 1.01 และมีค่าวอเตอร์แอกทิวิตีเท่ากับ 0.339 ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียสนาน 6 ชั่วโมง

4.2.3 การเปรียบเทียบเปลือกในเสาวรสที่ผ่านการอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนแบบถาด และผ่านการอบแห้งด้วยตู้อบสุญญากาศ

จากการอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง และการอบแห้งด้วยตู้อบแบบสุญญากาศที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสนาน 24 ชั่วโมงได้ผลตามตาราง 4.10 พบว่า การอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนจะให้ปริมาณความชื้น ปริมาณผลผลิตที่ได้ และ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ปริมาณเมทอกซีที่สูงกว่า แม้ว่าการอบแบบสุญญากาศเปลือกในเสาวรสอบแห้งจะมีปริมาณค่าวอเตอร์แอกทิวิตีที่ไม่ต่างกับการอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนแบบถาด แต่ใช้เวลาในการอบแห้งมากกว่า ทำให้มีค่าใช้จ่ายในการผลิตสูงกว่า จึงเลือกการอบแห้งแบบลมร้อน

ตาราง 4.10 คุณภาพทางเคมีกายภาพของเปลือกในเสาวรสอบแห้งเพื่อใช้เป็นเพกทินเมทอกซีต่ำที่ได้จากการอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนแบบถาดและผ่านการอบแห้งด้วยตู้อบสุญญากาศ

คุณภาพ	อบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนแบบถาด	อบแห้งด้วยตู้อบสุญญากาศ
ค่าวอเตอร์แอกทิวิตี	0.342±0.002[a]	0.339±0.002[a]
ปริมาณความชื้น (ร้อยละ)	3.39±0.04[a]	1.76±0.03[b]
ปริมาณผลผลิตที่ได้ (ร้อยละ)	4.47±0.03[a]	4.14±0.05[b]
น้ำหนักสมมูล	4,172.26±124.11[a]	3,946.02±374.32[a]
ปริมาณเมทอกซี (ร้อยละ)	2.96±0.04[a]	2.25±0.22[b]
เยลลีเกรด	40	40

*ค่าของข้อมูล คือ ค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (วัดค่า 3 ซ้ำ)

ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวนอน แสดงว่ามีค่าแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

4.3 ผลการเปรียบเทียบคุณภาพของเปลือกในเสาวรสสด เปลือกในเสาวรสอบแห้ง และเพกทินเมทอกซีต่ำทางการค้า และการนำไปใช้ประโยชน์ในรูปแบบแยมลดพลังงาน

เมื่อนำเปลือกในเสาวรสที่ผ่านการอบแห้ง จากการทดลองที่ 2 ด้วยตู้อบลมร้อนด้วยอุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง นำมาตรวจหาองค์ประกอบทางเคมีของเปลือกในเสาวรสอบแห้ง พบว่าเปลือกในเสาวรสอบแห้งมีความชื้นร้อยละ 7.02 เถ้าร้อยละ 8.43 ไขมันร้อยละ 1.29 โปรตีนร้อยละ 7.08 เส้นใยร้อยละ 27.97 และคาร์โบไฮเดรตร้อยละ 76.18 ปริมาณเส้นใย จะจัดอยู่ในกลุ่มเดียวกับคาร์โบไฮเดรต และเปลือกในเสาวรสอบแห้งที่ได้มีพลังงาน 344.65 กิโลแคลอรีต่อ 100 กรัม ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับเปลือกในส้มโอที่เป็นแหล่งของเส้นใยอาหาร ซึ่งมีปริมาณกากใยหยาบร้อยละ 30.86 ± 4.54 และคาร์โบไฮเดรตร้อยละ 51.61 ± 8.16 (สุชาดา, 2554) ดังตาราง 4.11

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 4.11 องค์ประกอบทางเคมีของเปลือกในเสาวรสอบแห้งที่อบแห้งแบบลมร้อนที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียสนาน 6 ชั่วโมง

องค์ประกอบทางเคมี	เปลือกในเสาวรสอบแห้ง
ความชื้น (ร้อยละ)	7.02
เถ้า (ร้อยละ)	8.43
ไขมัน (ร้อยละ)	1.29
โปรตีน (ร้อยละ)	7.08
เส้นใย (crude fiber) (ร้อยละ)	24.97
คาร์โบไฮเดรต (ร้อยละ)	51.21

จากการวิเคราะห์คุณภาพของเปลือกในเสาวรสสด เปลือกในเสาวรสอบแห้ง และเพกทินเมทอกซีต่ำทางการค้า พบว่าเปลือกในเสาวรสสดและเปลือกในเสาวรสอบแห้ง มีค่าเยลลีเกรด ค่าน้ำหนักสมมูล และ ปริมาณเมทอกซี ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) ในขณะที่เพกทินเมทอกซีต่ำทางการค้ามีค่าเยลลีเกรดเท่ากับ 110 และมีปริมาณเมทอกซีแตกต่างจากเปลือกในเสาวรสสดและเปลือกในเสาวรสอบแห้งอย่างมีนัยสำคัญ ($p\leq0.05$) โดยเกรดของเปลือกในเสาวรสจะแสดงคุณภาพในการเกิดเจลซึ่งจะต้องใช้ปริมาณที่มากขึ้นกว่าการใช้เพกทินเมทอกซีต่ำทางการค้า อย่างไรก็ตามการอบแห้งไม่ส่งผลต่อน้ำหนักสมมูลและ ค่าเยลลีเกรด ของเปลือกในเสาวรสอบแห้งแตกต่างจากเปลือกในเสาวรสสด ดัง ตาราง 4.12

ตาราง 4.12 คุณภาพทางเคมีของเปลือกในเสาวรสสด เปลือกในเสาวรสอบแห้ง และเพกทินเมทอกซีต่ำทางการค้า

คุณภาพ	เยลลีเกรด	น้ำหนักสมมูล	ปริมาณเมทอกซี
เปลือกในเสาวรสสด	40	4,186.59±129.33[a]	1.50±0.05[a]
เปลือกในเสาวรสอบแห้ง	40	4,192.36±154.36[a]	2.18±0.08[a]
เพกทินเมทอกซีต่ำทางการค้า	110	3,208.20±42.09[a]	2.90±0.10[b]

*ค่าของข้อมูล คือ ค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (วัดค่า 3 ซ้ำ)

ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้ง แสดงว่ามีค่าแตกต่างกันทางสถิติ ($p\leq0.05$)

เมื่อนำแยมเสาวรสลดพลังงานที่ใช้เปลือกในเสาวรสสด แยมที่ใช้เปลือกในเสาวรสอบแห้ง และแยมที่ใช้เพกทินเมทอกซีต่ำทางการค้ามาทดสอบกับผู้บริโภค โดยทดสอบความ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

แตกต่างโดยรวมของผลิตภัณฑ์ ด้วยการเปรียบเทียบตัวอย่างคู่ (simple paired comparison test) แล้วคำนวณด้วยวิธี Chi-square ได้ผลดังตาราง 4.13

ตาราง 4.13 การทดสอบความแตกต่างทางประสาทสัมผัสของแยมเสาวรสลดพลังงานที่ใช้เปลือกในเสาวรสสด เปลือกในเสาวรสอบแห้ง และเพกทินเมทอกซีต่ำทางการค้า

	แยมเสาวรสลดพลังงาน*		
	A : B	B : C	A : C
Chi-square (จากการคำนวณ)	37.34	48.82	0.96
Chi-square (จากการเปิดตาราง)	3.84	3.84	3.84
p-value	0.05	0.05	0.05

*แยมเสาวรส A = ที่ใช้เปลือกในเสาวรสสด B = ที่ใช้เพกทินเมทอกซีต่ำทางการค้า C = ที่ใช้เปลือกในเสาวรสอบแห้ง

จากตาราง 4.13 พบว่าแยมที่ใช้เปลือกในเสาวรสสด และที่ใช้เพกทินเมทอกซีต่ำทางการค้ามีความแตกต่างกัน เช่นเดียวกับแยมที่ใช้เปลือกในเสาวรสอบแห้ง ต่างจากแยมที่ใช้เพกทินเมทอกซีต่ำทางการค้าอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) อย่างไรก็ตาม แยมที่ใช้เปลือกในเสาวรสอบแห้งและเปลือกในเสาวรสสดไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) แม้ว่าผู้บริโภคที่ผ่านการคัดเลือกและฝึกฝนจะสามารถแยกความแตกต่างระหว่างแยมที่ใช้เปลือกในเสาวรสอบแห้งกับแยมที่ใช้เพกทินเมทอกซีต่ำได้ แต่เมื่อมีการนำมาทดสอบกับผู้บริโภคทั่วไป จำนวน 100 คน

ตาราง 4.14 คะแนนการยอมรับของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์แยมเสาวรสลดพลังงานที่ใช้เปลือกในเสาวรสอบแห้ง และเพกทินเมทอกซีต่ำทางการค้า (n=100)

คุณลักษณะทางประสาทสัมผัส	แยมเสาวรสลดพลังงาน	
	เปลือกในเสาวรสอบแห้ง	เพกทินเมทอกซีต่ำทางการค้า
ความชอบโดยรวม	7.0±1.2[a]	7.2±1.0[a]
สี	7.5±1.0[a]	6.7±1.4[b]
การทา	6.9±1.1[b]	7.4±0.8[a]
กลิ่นเสาวรส	6.8±1.1[a]	6.9±1.2[a]
กลิ่นรสเสาวรส	6.9±1.1[a]	6.8±1.4[a]

*ค่าของข้อมูล คือ ค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากการให้คะแนนการยอมรับ (9-point hedonic scale)

ns = ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ผู้บริโภคให้คะแนนความชอบโดยรวม กลิ่นเสาวรส และกลิ่นรสเสาวรสไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) ส่วนในคุณลักษณะด้านสี ผู้บริโภคให้คะแนนความชอบแยมที่ใช้เปลือกในเสาวรสอบแห้งมากกว่า และคุณลักษณะด้านการทา ผู้บริโภคชอบแยมที่ใช้เพกทินเมทอกซีต่ำมากกว่าและมีคะแนนความชอบโดยรวมของทั้งสองผลิตภัณฑ์อยู่ในระดับชอบปานกลาง

เมื่อนำแยมที่ใช้เปลือกในเสาวรสอบแห้ง และแยมที่ใช้เพกทินเมทอกซีต่ำทางการค้ามาวิเคราะห์คุณภาพด้านเคมีกายภาพ ได้แก่ ค่าวอเตอร์แอกทิวิตี ค่าความเป็นกรด-ด่าง ค่าสี L*, a*, b* ค่าความแน่นเนื้อ ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด และค่าพลังงาน ดังตาราง 4.15

ตาราง 4.15 คุณภาพด้านเคมีกายภาพในผลิตภัณฑ์แยมเสาวรสลดพลังงานที่ใช้เปลือกในเสาวรสสด เปลือกในเสาวรสอบแห้ง และเพกทินเมทอกซีต่ำทางการค้า

คุณภาพ	แยมเสาวรสลดแคลอรี	
	เปลือกในเสาวรสอบแห้ง	เพกทินเมทอกซีต่ำทางการค้า
วอเตอร์แอกทิวิตี	0.797±0.001[a]	0.771±0.000[b]
ค่าความเป็นกรด-ด่าง	2.99±0.01[a]	3.07±0.02[a]
ค่าสี		
L*	21.88±0.16[b]	22.31±0.26[a]
a*	1.93±0.03[b]	2.62±0.07[a]
b*	5.51±0.30[b]	6.20±0.05[a]
ค่าความแน่นเนื้อ (กรัมแรง)	135.30±6.00[a]	87.09±1.71[b]
ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (องศาบริกซ์)	65.3±0.5[a]	65.6±0.6[a]
ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด (ร้อยละ)	32.78±0.16[b]	35.97±0.35[a]
พลังงาน (กิโลแคลอรี/100 กรัม)	144.98±3.35[a]	135.17±1.52[b]

*ค่าของข้อมูล คือ ค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (วัดค่า 3 ซ้ำ)
ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวนอน แสดงว่ามีค่าแตกต่างกันทางสถิติ ($p\leq0.05$)

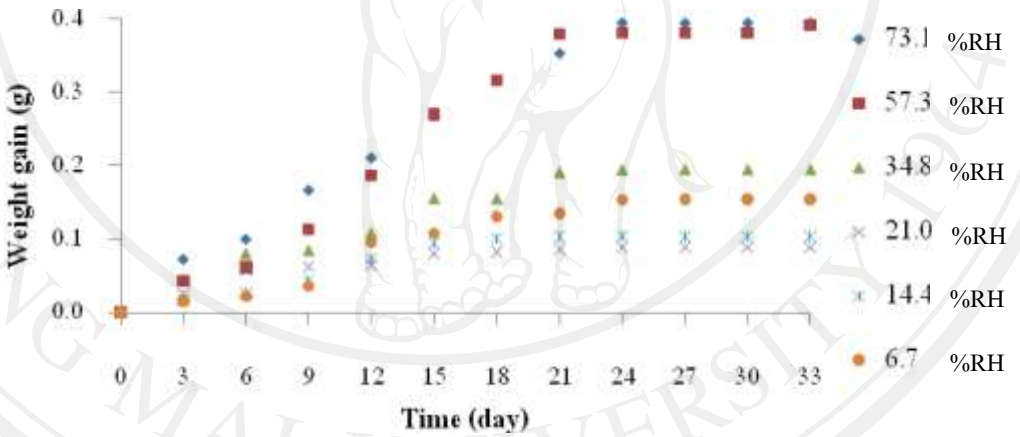
พบว่าแยมเสาวรสลดพลังงานที่ใช้เปลือกในเสาวรสอบแห้ง และเพกทินเมทอกซีต่ำทางการค้า มีค่าวอเตอร์แอกทิวิตี ค่าสี ค่าความแน่นเนื้อ ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด และค่าพลังงานแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p\leq0.05$) ยกเว้นมีค่าความเป็นกรด-ด่าง และปริมาณของแข็งที่ละลายได้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) เมื่อคำนวณหาค่าความแตกต่างของสี (ΔE) เมื่อให้แยมที่ใช้เพกทินเมทอกซีต่ำทางการค้าเป็นค่าสีมาตรฐาน พบว่าแยมที่ใช้เปลือกในเสาวรสอบแห้งมีค่า ΔE เท่ากับ 1.07 ซึ่งแสดงว่าแยมที่ใช้เปลือกในเสาวรสอบแห้งมีสีใกล้เคียงกับแยมที่ใช้เพกทินเมทอกซีต่ำ

4.4 การศึกษาอายุการเก็บรักษาเปลือกในเสาวรสอบแห้งในสภาวะเร่ง

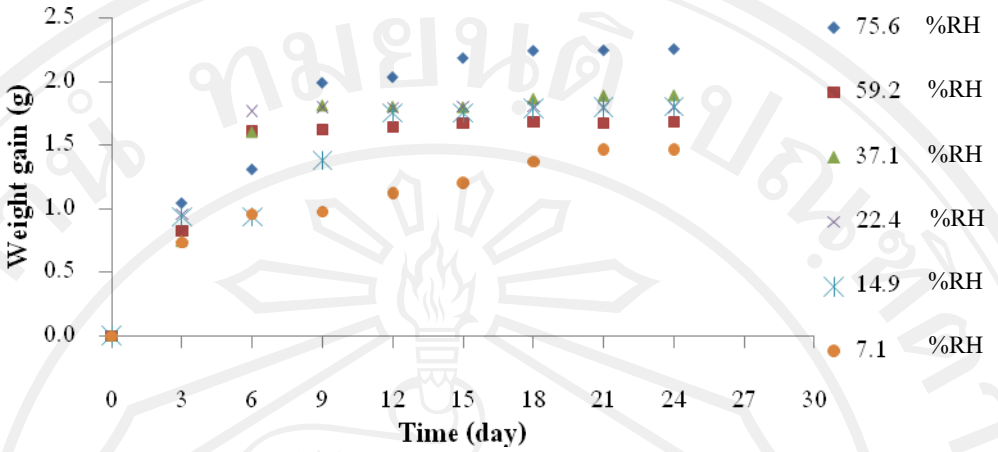
ในการศึกษาอายุการเก็บรักษาเปลือกในเสาวรสอบแห้งในสภาวะเร่งด้วยความชื้น ในรูปแบบของซอร์ปชันไอโซเทอร์ม เพื่อใช้ในการทำนายคุณภาพระหว่างการเก็บรักษาโดยศึกษาอิทธิพลระดับความชื้นสัมพัทธ์ และอุณหภูมิในการเก็บรักษาที่มีต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ โดยใช้วิธีการของ (Al-Muhtaseb *et al.,* 2010) ที่สภาวะสมดุล ค่าวอเตอร์แอกทิวิตีเท่ากับค่าความชื้นสัมพัทธ์/100 ควบคุมระดับความชื้นสัมพัทธ์ 6 ระดับ ร้อยละ 6-76 และศึกษาที่อุณหภูมิ 25 และ 35 องศาเซลเซียส จนตัวอย่างเข้าสู่สภาวะสมดุลโดยมีการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักน้อยมาก ดังภาพ 4.2 และ 4.3



ภาพ 4.2 น้ำหนักของเปลือกในเสาวรสอบแห้งระหว่างการเก็บรักษา
ที่ความชื้นสัมพัทธ์ต่างๆที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

ภาพที่ 4.2 แสดงน้ำหนักของเปลือกในเสาวรสอบแห้งระหว่างการเก็บรักษาที่ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 6.7-73.1 ณ อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส พบว่าน้ำหนักตัวอย่างมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้น โดยที่ความชื้นสัมพัทธ์สูงๆจะมีการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักอย่างรวดเร็วและต่อเนื่อง เมื่อถึงวันที่ 24 น้ำหนักของตัวอย่างที่ระดับความชื้นสัมพัทธ์ต่างๆ เริ่มมีการเปลี่ยนแปลงน้อยมากจนคงที่

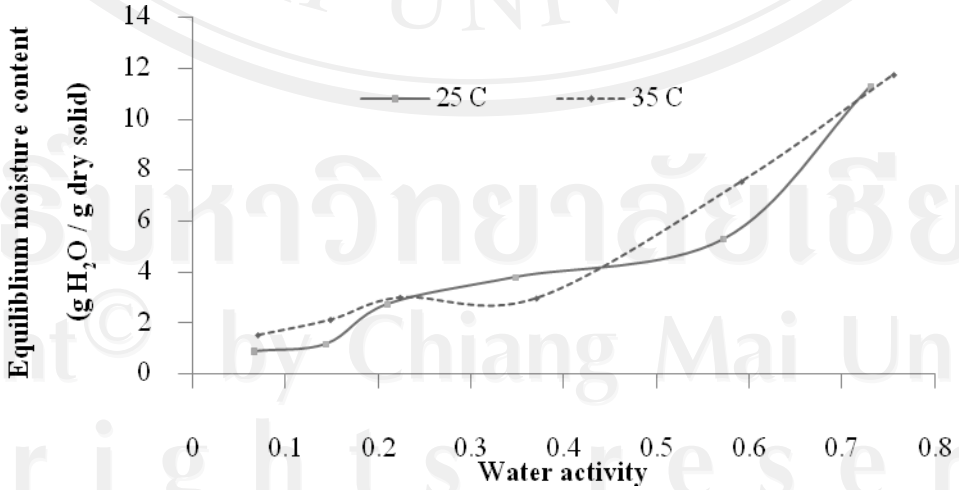
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพ 4.3 น้ำหนักของเปลือกในเสาวรสอบแห้งระหว่างการเก็บรักษาที่ความชื้นสัมพัทธ์ต่างๆที่ 35 องศาเซลเซียส

ภาพที่ 4.3 แสดงน้ำหนักของเปลือกในเสาวรสอบแห้งระหว่างการเก็บรักษาที่ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 7.1-75.6 ณ อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส พบว่าน้ำหนักตัวอย่างมีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว ที่ระดับความชื้นสัมพัทธ์สูงขึ้น จะมีการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักเร็วและต่อเนื่องจนกระทั่งถึงวันที่ 21 น้ำหนักของตัวอย่างที่ระดับความชื้นสัมพัทธ์ต่ำๆ จะมีการเปลี่ยนแปลงน้อยมากจนคงที่

เมื่อสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นที่จุดสมดุล (g H_2O/g dry solid) และค่าวอเตอร์แอกทิวิตีของเปลือกในเสาวรสอบแห้งที่อุณหภูมิ 25 และ 35 องศาเซลเซียส ดังภาพ 4.4



ภาพ 4.4 ลักษณะซอร์ปชันไอโซเทอร์มของเปลือกในเสาวรสอบแห้งที่อุณหภูมิต่างๆ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การวิเคราะห์ซอร์ปชันไอโซเทอร์มหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้น (g H_2O / g dry solid) และ a_w ของเปลือกในเสาวรสผงที่ผ่านกระบวนการอบแห้ง ที่ระดับความชื้นสัมพัทธ์ช่วงร้อยละ 0-73 จากภาพ 4.4 ลักษณะซอร์ปชันไอโซเทอร์มของเปลือกในเสาวรสผงเป็นกระบวนการ adsorption isotherm เนื่องจากมีการดูดซับความชื้นที่สภาวะความชื้น 0.6-0.76 โดยช่วงแรกจะมีค่า EMC (Equilibrium Moisture Content) ต่ำและค่อยๆเพิ่มขึ้น เมื่อค่าวอเตอร์แอกทิวิตีอยู่ที่ระดับ 0.5 มีการเปลี่ยนแปลงของความชื้นอย่างรวดเร็ว สอดคล้องกับงานวิจัยของ Farahnaky *et al.* (2009) ในการศึกษาซอร์ปชันไอโซเทอร์มของมะเดื่ออบแห้ง พบว่าที่ระดับความชื้นสัมพัทธ์สูงๆ ปริมาณความชื้นสมดุลของมะเดื่อจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ซึ่งมีลักษณะเป็นเส้นโค้งใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากข้าว (Sirpatrawan and Jantawan, 2009) องุ่น แอปเปิล และมันฝรั่งอบแห้ง (Kaymark-Ertekin and Gedik, 2004) และมีลักษณะไอโซเทอร์มเป็นรูปซิกมอยด์คล้ายกันกับในผลิตภัณฑ์แป้งข้าวโพด และแครกเกอร์ฟักทอง (Rachtanapun *et al*., 2010)

จากข้อมูลซอร์ปชันไอโซเทอร์มของเปลือกในเสาวรสอบแห้ง นำมาวิเคราะห์หาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ โดยเลือกศึกษาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของ BET และ GAB เพื่อหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่เหมาะสมที่สุด ในการทำนายลักษณะซอร์ปชันไอโซเทอร์มในช่วงที่ไม่มีการวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ ได้ค่าคงที่ของแบบจำลอง BET และ GAB แสดงดังตาราง 4.16

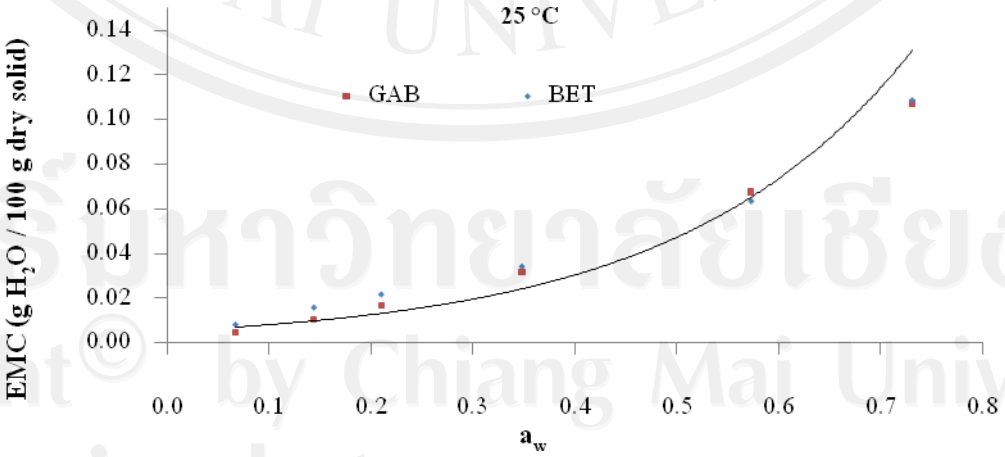
ตาราง 4.16 ค่าสัมประสิทธิ์ในการทำนายคุณภาพของเปลือกในเสาวรสอบแห้งของแบบจำลองคณิตศาสตร์

แบบจำลอง	สัมประสิทธิ์การทำนาย	25 องศาเซลเซียส	35 องศาเซลเซียส
BET	m_o	4.514	9.407
	C_B	0.316	0.299
	R^2	97.474	97.755
	RMSE	0.006	0.005
GAB	m_o	0.661	0.512
	C_G	0.647	0.451
	K_G	0.152	0.362
	R^2	94.337	95.615
	RMSE	0.026	0.008

หมายเหตุ : m_o = monolayer moisture content, C_B, C_G and K_G = *BET* and *GAB* constants, R^2 = Coefficient of determination, *RMSE* = Root mean squares error

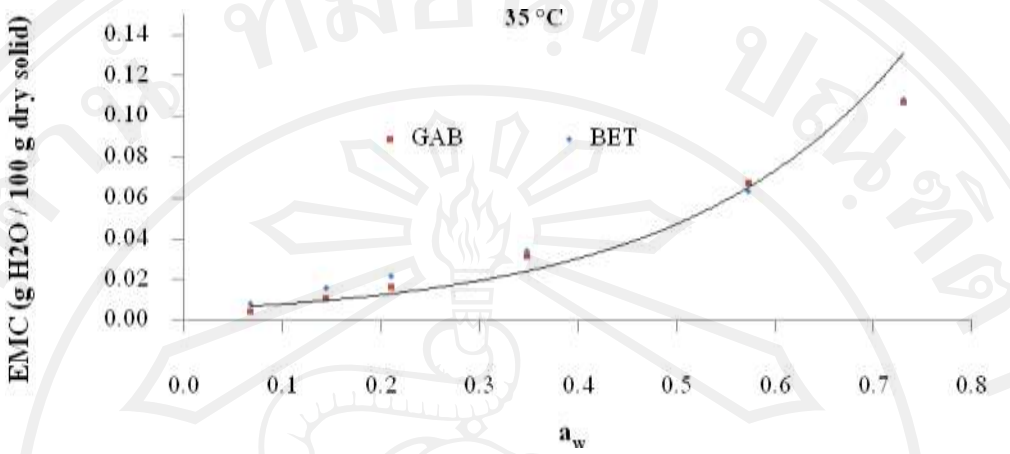
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เมื่อพล็อตกราฟความสัมพันธ์การถดถอยแบบไม่เป็นเส้นตรง (nonlinear regression) ระหว่างปริมาณความชื้นสัมพัทธ์สมดุล (ตัวแปรอิสระ) และค่าวอเตอร์แอกทิวิตีของสภาวะการเก็บเพื่อการประมาณค่าพารามิเตอร์ เพื่อใช้ในการทำนายข้อมูล โดยมีสมการทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ในการอธิบายซอร์ปชันไอโซเทอร์มในอาหาร คือสมการของแบบจำลองของ BET และแบบจำลองของ GAB ที่อุณหภูมิ 25 และ 35 องศาเซลเซียส ซึ่งแสดงดังภาพ 4.5 และ 4.6 ตามลำดับ และนำค่าคงที่ของแบบจำลองซอร์ปชันไอโซเทอร์ม ดังตาราง 4.16 พบว่าแบบจำลองคณิตศาสตร์ของ BET เป็นแบบจำลองที่เหมาะสมที่สุดสำหรับเปลือกในเสาวรสอบแห้ง เนื่องจากมีค่า *RMSE* ต่ำ โดยมีค่าเท่ากับ 0.006 และ 0.005 ที่ 25 และ 35 องศาเซลเซียส ตามลำดับ เนื่องจากสมการเป็นสมการประเภท non-linear และ มีค่า R^2 สูง เท่ากับ 97.474 และ 97.755 ที่ 25 และ 35 องศาเซลเซียส ตามลำดับ แบบจำลองซอร์ปชันไอโซเทอร์มของ GAB มีค่า R^2 เท่ากับ 94.337 และ 95.615 ที่ 25 และ 35 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ซึ่งเป็นตัวบ่งชี้ว่าแบบจำลองที่ใช้ในการทำนายมีประสิทธิภาพดี ให้ความสัมพันธ์สูง (Ross *et al*., 2000) โดยทั่วไปจะพบว่า แบบจำลองของ GAB เป็นแบบจำลองที่เหมาะสมกับอาหารส่วนใหญ่ แต่ในผลิตภัณฑ์พบว่าแบบจำลองของ BET เหมาะสมกว่าแบบจำลองของ GAB เมื่อสังเกตจากภาพ 4.5 และ ภาพ 4.6 พบว่า ค่าวอเตอร์แอกทิวิตีส่วนใหญ่อยู่ในช่วง 0.1-0.5 และมีแนวโน้มที่จะเป็นเส้นตรงซึ่งสอดคล้องกับความสามารถในการทำนายของแบบจำลอง BET และค่า m_o ของแบบจำลอง BET ที่บ่งชี้ด้านมีขั้วของไอน้ำ เมื่อค่า m_o มีปริมาณมากขึ้นบ่งบอกถึงพื้นที่ผิวและลักษณะโครงสร้างที่มีรูพรุนมากขึ้น ซึ่งทำให้ความสามารถในการดูดความชื้นต่ำลงเมื่อมีอุณหภูมิสูงขึ้น เช่นเดียวกับผลิตภัณฑ์เนื้อตุรกีชนิดแห้ง (Gurses and Aktas, 2005)



ภาพ 4.5 ซอร์ปชันไอโซเทอร์มของเปลือกในเสาวรสอบแห้งของแบบจำลองของ BET และ GAB ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพ 4.6 ซอร์ปชันไอโซเทอร์มของเปลือกในเสาวรสอบแห้งของ
แบบจำลองของ BET และ GAB ที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส

เมื่อผลิตภัณฑ์มีการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักน้อยมากจนเริ่มคงที่ จึงนำตัวอย่างผลิตภัณฑ์มาวัดค่าสี เยลลีเกรด โดยจะวัดค่าเยลลีเกรดให้อยู่ในรูปแรงกดของเจล และทดสอบการยอมรับของผู้บริโภค พบว่าค่าสี L* มีค่าลดลงเมื่อความชื้นสัมพัทธ์เพิ่มขึ้น จากการสังเกตพบว่าเปลือกในเสาวรสผงจะมีสีคล้ำเพิ่มมากขึ้น มีการจับตัวกันเป็นก้อน มีลักษณะเป็นของเหลวเหนียว ซึ่งค่าวิกฤตที่ใช้ในการทำนายผลิตภัณฑ์นี้คือ ค่าเยลลีเกรด เนื่องจากค่าเยลลีเกรดจะเป็นตัวที่บ่งบอกถึงคุณภาพของเปลือกในเสาวรสที่จะสามารถใช้แทนเพกทินเมทอกซีต่ำ โดยจะเทียบเท่ากับเพกทินมาตรฐาน

ในการศึกษาอายุการเก็บเปลือกในเสาวรสอบแห้งนี้ใช้ค่าเยลลีเกรดที่ต่ำกว่า 40 เป็นดัชนีในการบ่งบอกการสิ้นสุดอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ เนื่องจากเปลือกในเสาวรสอบแห้งมีค่าเยลลีเกรดเท่ากับ 40 ในตาราง 4.17 ค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าเยลลีเกรด และค่าแรงกดของเจลมีความสัมพันธ์กัน และเมื่อนำไปทดสอบกับผู้บริโภคจำนวน 60 โดยสังเกตจากลักษณะปรากฏและสี ที่ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 57.3 มีค่าเยลลีเกรด 30 ถือเป็นสิ้นสุดของอายุผลิตภัณฑ์ แม้ว่าผู้บริโภคจำนวนร้อยละ 70 จะยอมรับในตัวผลิตภัณฑ์ ทั้งนี้ผลิตภัณฑ์อาจจะมีการเปลี่ยนแปลงในระหว่างที่ระดับความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 34.8 ถึง 57.3 จึงกำหนดให้มีความชื้นวิกฤตอยู่ที่ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 46.05 (วอเตอร์แอกทิวิตีเท่ากับ 0.4605) จากการคำนวณ (34.8+57.3)/2 และเมื่อนำไปหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าวอเตอร์แอกทิวิตีและค่าแรงกดของเจล พบว่า ที่วอเตอร์แอกทิวิตี เท่ากับ 0.4605 จะมีค่าแรงกด 0.055 นิวตัน และจัดอยู่ในเกรด 30

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 4.17 สมบัติทางกายภาพและการยอมรับของผู้บริโภคของเปลือกในเสาวรสผงภายใต้ความชื้นสัมพัทธ์ต่างๆ ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

ความชื้นสัมพัทธ์ (ร้อยละ)	L*	a*	b*	เยลลีเกรด	แรงกดของเจล (นิวตัน)	การยอมรับ (ร้อยละ)
6.7	82.22±0.04^{a}	3.03±0.02^{ab}	19.69±0.08^{b}	40	0.083±0.005^{a}	100
14.4	82.21±0.19^{a}	2.92±0.10^{b}	20.15±0.25^{b}	40	0.079±0.003^{ab}	100
21.0	81.98±0.38^{a}	3.34±0.13^{a}	21.18±0.49^{a}	40	0.075±0.003^{bc}	100
34.8	82.17±0.12^{a}	2.85±0.06^{b}	19.75±0.13^{b}	40	0.073±0.004^{c}	88
57.3	81.74±0.14^{a}	2.64±0.19^{b}	19.36±0.22^{b}	30	0.039±0.003^{d}	70
73.1	80.58±0.17^{b}	3.00±0.06^{ab}	19.31±0.09^{b}	30	0.036±0.002^{d}	44

ค่าของข้อมูล คือ ค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (วัดค่า 3 ซ้ำ)

ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้ง แสดงว่ามีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ผลของระดับความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิในการเก็บรักษา ต่อสมบัติทางกายภาพและทางประสาทสัมผัสที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ดังตาราง 4.18 พบว่าค่าสี L* มีค่าลดลงเมื่อความชื้นสัมพัทธ์เพิ่มขึ้น โดยที่ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 7.1 มีค่า L* สูงที่สุด เมื่อความชื้นสัมพัทธ์มีค่าเพิ่มมากขึ้นผลิตภัณฑ์มีสีคล้ำ ซึ่งจะเห็นได้จาก L* ลดลง ค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าเยลลีเกรดและค่าแรงกดของเจลสัมพันธ์กัน และเมื่อนำไปทดสอบกับผู้บริโภคจำนวน 60 โดยสังเกตจากลักษณะปรากฏและสี ที่ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 75.6 มีค่าเยลลีเกรด 30 ให้เป็นการสิ้นสุดของอายุผลิตภัณฑ์ ผู้บริโภคจำนวนร้อยละ 100 ไม่ยอมรับในตัวผลิตภัณฑ์ แต่ผลิตภัณฑ์อาจจะมีการเปลี่ยนแปลงในระหว่างที่ระดับความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 37.1 ถึง 59.2 ดังนั้นจึงกำหนดให้มีความชื้นวิกฤตอยู่ที่ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 48.15 จากการคำนวณ(37.1+59.2)/2 และเมื่อนำไปหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าวอเตอร์แอกทิวิตีและค่าแรงกดของเจล พบว่า ที่วอเตอร์แอกทิวิตีเท่ากับ 0.4815 จะมีค่าแรงกด 0.058 นิวตันและจัดอยู่ในเกรด 30 ในผลิตภัณฑ์อาหารแห้งมีค่าความชื้นวิกฤติของผลิตภัณฑ์นมผงที่มีค่าวอเตอร์แอกทิวิตีมากกว่า 0.43 (Foster *et al*., 2005) อาหารเช้าธัญพืชมีค่าวอเตอร์แอกทิวิตี อยู่ในช่วงมากกว่า 0.28-0.55 และแครกเกอร์อยู่ในช่วงมากกว่า 0.35 - 0.55 (Labuza and Hyman, 1998)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 4.18 สมบัติทางกายภาพและการยอมรับของผู้บริโภคของเปลือกในเสาวรสผงภายใต้ความชื้นสัมพัทธ์ต่างๆ ที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส

ความชื้นสัมพัทธ์ (ร้อยละ)	L*	a*	b*	เยลลีเกรด	แรงกดของเจล (นิวตัน)	การยอมรับ (ร้อยละ)
7.1	82.84±0.04^{a}	2.90±0.09^{b}	21.41±0.44^{a}	40	0.096±0.003^{a}	100
14.9	82.29±0.53^{b}	2.95±0.17^{ab}	20.82±0.12^{ab}	40	0.084±0.004^{b}	100
22.4	82.41±0.06^{b}	2.88±0.03^{b}	20.24±0.15^{b}	40	0.077±0.004^{bc}	86
37.1	80.86±0.08^{c}	3.45±0.17^{a}	20.43±0.15^{b}	40	0.069±0.005^{d}	84
59.2	81.03±0.11^{c}	3.29±0.09^{a}	20.58±0.43^{ab}	30	0.045±0.004^{e}	86
75.6	77.99±0.32^{c}	3.56±0.14^{a}	20.58±0.19^{ab}	30	0.037±0.003^{f}	0

ค่าของข้อมูล คือ ค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (วัดค่า 3 ซ้ำ)
ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้ง แสดงว่ามีค่าแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ผลของอุณหภูมิการเก็บรักษาที่แตกต่างกัน จะเห็นว่าที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส มีการเพิ่มขึ้นของน้ำหนักที่อย่างรวดเร็วและคงที่ เมื่อนำมาทดสอบสมบัติทางกายภาพและการยอมรับของผู้บริโภค พบว่าเปลือกในเสาวรสอบแห้งมีสีคล้ำมากกว่าที่ 25 องศาเซลเซียส และผู้บริโภคมีการยอมรับในตัวผลิตภัณฑ์ลดลงตั้งแต่ที่ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 22.4 ในขณะที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ที่ระดับความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 21.0 ผู้บริโภคยังให้การยอมรับผลิตภัณฑ์ร้อยละ 100

เมื่อทำนายอายุการเก็บรักษาในสภาวะความชื้นสัมพัทธ์ และอุณหภูมิต่างๆ จากการคำนวณ ดังตาราง 4.19 พบว่า เมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น อายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์จะลดลงทำนองเดียวกันกับการเพิ่มขึ้นของความชื้นสัมพัทธ์ ซึ่งที่ระดับความชื้นสัมพัทธ์สูงจะไปเร่งการเสื่อมเสีย โดยผลิตภัณฑ์จะมีความชื้นสูง มีการจับตัวกันเป็นก้อน ทำให้อายุการเก็บรักษาสั้นลง ซึ่งเปลือกในเสาวรสอบแห้งที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิเพิ่มขึ้นจาก 25 องศาเซลเซียส เป็น 30 และ 35 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์เพิ่มขึ้นจากร้อยละ 70 และร้อยละ 85 มีผลทำให้อายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ลดลง ซึ่งผลิตภัณฑ์มีอายุการเก็บรักษาลดลงจาก 23.5 เดือน เหลือ 7.3 เดือน ที่ 35 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 85 เช่นเดียวกับในผลิตภัณฑ์สตรอเบอรี-ลำไยชนิดแท่ง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25, 35, 45 และ 55 องศาเซลเซียส ผลิตภัณฑ์จะมีอายุการเก็บรักษา 61, 43, 29 และ 19 วันตามลำดับ (บรรณนิสา, 2552)

ตาราง 4.19 การทำนายอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์เปลือกในเสาวรสอบแห้งเพื่อใช้เป็นเพกทินเมทอกซีต่ำ

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ความชื้นสัมพัทธ์ (ร้อยละ)	อายุการเก็บรักษา (เดือน)
25	70	23.5
	85	13.0
30	70	17.6
	85	9.6
35	70	13.2
	85	7.3

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved