บทที่ 4
ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 ผลของชนิดสารละลายแช่อิ่มที่มีต่อคุณภาพทางเคมีกายภาพและการยอมรับของผลิตภัณฑ์แครอทแช่อิ่มอบแห้ง

เมื่อนำแครอทมาแช่ในสารละลายออสโมติกตามสูตรที่ได้จากการวางแผนการทดลองแบบ CCD เป็นเวลา 6 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำไปอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง แล้ววิเคราะห์สมบัติทางเคมี กายภาพ และประสาทสัมผัส ได้ผลดังตารางที่ 4.1 พบว่าตัวอย่างแครอทแช่อิ่มอบแห้งจากการทดลองทั้งหมดมีค่า water activity (a_w) ความชื้น ปริมาณของแข็งทั้งหมด อยู่ในช่วง 0.36-0.52, 19.23-40.85% และ 59.15-80.77% ตามลำดับ ซึ่งค่า a_w ความชื้นและปริมาณของแข็งของตัวอย่างในการทดลองนี้มีค่าอยู่ในช่วงของอาหารประเภท Intermediate Moisture Food (IMF) คือ มีช่วงค่า a_w ต้องไม่สูงเกิน 0.6 ปริมาณความชื้นและปริมาณของแข็งเท่ากับ 15-50% และ 50-85% ตามลำดับ (บุษกร, 2547)

จากผลการวิเคราะห์ทางกายภาพในตารางที่ 4.2 พบว่าเนื้อสัมผัสของตัวอย่างแครอทแช่อิ่มอบแห้งซึ่งแสดงผลเป็นค่าแรงสูงสุด (N) ในการตัดชิ้นตัวอย่างด้วยเครื่อง Texture Analyser นั้นมีค่าอยู่ในช่วง 27.51-79.71 N ส่วนค่าสี L* a* และ b* นั้นมีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยเมื่อสารละลายออสโมติกที่มีสัดส่วนของน้ำตาล แบะแซ และ กลีเซอรอลต่างๆ กันคือ มีค่าสี L* a* และ b* อยู่ในช่วง 46.57-53.55 26.05-32.52 และ 31.53-36.78 ตามลำดับ

จากผลการวิเคราะห์ทางประสาทสัมผัสของตัวอย่างแครอทแช่อิ่มอบแห้งทั้ง 18 ตัวอย่าง ได้ผลดังตารางที่ 4.3 พบว่าระดับความชอบรวมที่ผู้ทดสอบชิมอยู่ที่เฉยๆ (4.1-5.0) – ชอบเล็กน้อย (5.1-6.7) โดยการทดลองที่ใช้สูตรสารละลายออสโมติกที่มีระดับความเข้มข้นของน้ำตาล 40% (w/w) แบะแซ 20% (w/w) และกลีเซอรอล 40% (w/w) ได้คะแนนความชอบรวมสูงที่สุดในขณะที่การทดลองที่ใช้สารละลายออสโมติกที่มีระดับความเข้มข้นของน้ำตาล 20% (w/w) แบะแซ40% (w/w) และกลีเซอรอล 20% (w/w) ได้คะแนนความชอบรวมต่ำที่สุด

ระดับความชอบของผู้ทดสอบที่มีต่อสี กลิ่นแครอท รสหวาน และเนื้อสัมผัสของตัวอย่างแครอทแช่อิ่มอบแห้งอยู่ในช่วง 5.4-7.7, 5.0-6.2, 5.1-6.4 และ 5.0-6.9 ตามลำดับ และพบอีกว่าระดับความชอบทางด้านต่างๆ ที่ผู้ทดสอบชิมมีต่อตัวอย่างจากแต่ละการทดลอง เป็นไปในทิศทางเดียวกัน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

คือหากตัวอย่างในการทดลองหนึ่งๆได้รับคะแนนความชอบด้านสีสูง ก็จะมีคะแนนความชอบด้านกลิ่น รสหวานและเนื้อสัมผัสสูงเช่นกัน

ตารางที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีของแครอทแช่อิ่มอบแห้ง

สิ่งทดลอง*	ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมี		
	a_w	ความชื้น (%)	ของแข็ง (%)
1	0.37± 0.00	27.52 ± 0.18	72.49 ± 0.18
2	0.43 ± 0.00	19.36 ± 1.84	80.64 ± 1.84
3	0.38 ± 0.00	30.73 ± 0.35	69.27 ± 0.35
4	0.52 ± 0.01	24.75 ± 0.57	75.26 ± 0.57
5	0.38 ± 0.00	35.29 ± 0.37	64.71 ± 0.37
6	0.42 ± 0.00	22.89 ± 0.21	77.11 ± 0.21
7	0.36 ± 0.00	39.69 ± 2.91	60.31 ± 2.19
8	0.38 ± 0.00	27.90 ± 0.08	72.10 ± 0.08
9	0.36 ± 0.00	28.31 ± 0.34	71.70 ± 0.34
10	0.49 ± 0.00	33.36 ± 0.07	66.64 ± 0.07
11	0.49 ± 0.00	32.56 ± 0.07	67.44 ± 0.07
12	0.47 ± 0.00	33.56 ± 0.32	66.44 ± 0.32
13	0.48 ± 0.00	26.41 ± 0.06	73.60 ± 0.06
14	0.40 ± 0.00	35.60 ± 0.16	64.402 ± 0.16
15	0.47 ± 0.00	27.19 ± 0.04	72.81 ± 0.04
16	0.47± 0.00	40.24 ± 1.62	59.76 ± 1.62
17	0.40± 0.00	40.85 ± 0.23	59.15 ± 0.23
18	0.47± 0.00	19.23 ± 0.20	80.77 ± 0.20

* สิ่งทดลองที่ 1-18 หมายถึงสิ่งทดลองที่ประกอบไปด้วยส่วนผสมของน้ำตาลทราย แบะแซ และกลีเซอรอลในสัดส่วนต่างๆ ดังตารางที่ 3.1

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.2 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพของแครอทแช่อิ่มอบแห้ง

สิ่งทดลอง*	ผลการวิเคราะห์ทางกายภาพ			
	แรงตัดขาด (N)	L*	a*	b*
1	37.64 ± 3.01	47.40 ± 1.51	28.73 ± 0.08	33.67 ± 0.35
2	8.93 ± 3.71	50.28 ± 0.31	30.33 ± 0.87	33.76 ± 0.51
3	3.65 ± 1.87	47.49 ± 0.96	29.44 ± 0.38	37.20 ± 0.31
4	32.33 ± 1.35	47.12 ± 1.19	28.33 ± 0.85	33.78 ± 0.71
5	39.25 ± 2.78	51.25 ± 0.93	30.46 ± 0.96	35.49 ± 0.80
6	79.71 ± 5.66	49.18 ± 0.40	29.67 ± 0.22	32.63 ± 0.25
7	64.82 ± 5.99	50.34 ± 0.36	30.97 ± 0.20	37.54 ± 0.49
8	54.88 ± 1.15	49.56 ± 0.41	32.52 ± 1.29	36.79 ± 0.43
9	68.31 ± 3.28	49.72 ± 0.75	28.34 ± 0.53	31.12 ± 0.41
10	46.44 ± 2.34	49.23 ± 0.60	32.15 ± 0.63	36.52 ± 0.57
11	51.74 ± 1.64	46.57 ± 0.49	28.76 ± 0.84	37.03 ± 0.76
12	27.51 ± 3.29	48.23 ± 1.37	28.72 ± 0.69	31.53 ± 1.30
13	52.93 ± 1.65	50.77 ± 0.13	29.14 ± 0.71	35.00 ± 0.68
14	59.79 ± 2.05	50.74 ± 0.46	28.41 ± 0.37	35.65 ± 0.45
15	43.64 ± 2.43	50.03 ± 0.59	28.19 ± 0.70	35.28 ± 0.28
16	65.32 ± 1.43	50.93 ± 1.18	26.05 ± 0.85	36.27 ± 0.53
17	44.32 ± 1.81	47.11 ± 0.86	30.69 ± 0.76	36.11 ± 1.13
18	69.43 ± 1.12	53.55 ± 0.28	30.93 ± 0.15	36.78 ± 0.86

* สิ่งทดลองที่ 1-18 หมายถึงสิ่งทดลองที่ประกอบไปด้วยส่วนผสมของน้ำตาลทรายแบะแซ และกลีเซอรอลในสัดส่วนต่างๆ ดังตารางที่ 3.1

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.3 ผลการวิเคราะห์ทางประสาทสัมผัสของแครอทแช่อิ่มอบแห้ง

สิ่งทดลอง *	ผลการวิเคราะห์ทางประสาทสัมผัส				
	ความชอบด้านสี	ความชอบกลิ่นแครอท	ความชอบรสหวาน	ความชอบเนื้อสัมผัส	ความชอบรวม
1	6.6 ± 1.5	5.7 ± 1.3	6.0 ± 1.6	6.1 ± 1.7	6.0 ± 1.4
2	6.5 ± 1.5	5.3 ± 1.3	6.0 ± 1.6	5.5 ± 1.6	5.9 ± 1.4
3	7.2 ± 1.3	5.1 ± 1.2	6.4 ± 1.2	6.9 ± 1.0	6.7 ± 1.1
4	6.1 ± 1.7	5.2 ± 1.3	6.1 ± 1.5	6.7 ± 1.4	6.5 ± 1.1
5	7.1 ± 1.6	5.5 ± 1.2	6.0 ± 1.4	6.0 ± 1.2	6.2 ± 1.2
6	5.9 ± 1.8	5.1 ± 1.3	5.1 ± 1.3	5.1 ± 1.4	5.1 ± 1.3
7	6.6 ± 1.6	5.8 ± 1.3	6.1 ± 1.5	6.1 ± 1.7	6.1 ± 1.3
8	5.9 ± 1.5	5.8 ± 1.4	5.8 ± 1.4	5.4 ± 1.6	5.7 ± 1.3
9	5.4 ± 1.7	5.5 ± 1.5	5.9 ± 1.5	5.0 ± 1.5	5.3 ± 1.5
10	6.9 ± 1.7	6.2 ± 1.2	6.0 ± 1.5	6.5 ± 1.1	6.5 ± 1.0
11	7.3 ± 1.3	5.9 ± 1.2	6.1 ± 1.5	6.6 ± 1.1	6.4 ± 1.1
12	6.6 ± 1.4	5.6 ± 1.4	5.4 ± 1.7	5.8 ± 1.4	5.6 ± 1.3
13	6.2 ± 1.3	5.8 ± 1.5	5.9 ± 1.5	5.6 ± 1.9	5.8 ± 1.5
14	5.7 ± 1.7	5.5 ± 1.8	5.1 ± 1.1	5.5 ± 1.7	5.4 ± 1.1
15	7.0 ± 0.9	5.8 ± 1.3	5.7 ± 1.6	5.7 ± 1.6	6.1 ± 1.2
16	7.7 ± 0.8	5.5 ± 1.8	6.4 ± 1.7	6.8 ± 1.7	6.7 ± 1.5
17	6.8 ± 1.4	5.0 ± 1.6	6.1 ± 1.2	6.3 ± 1.5	6.3 ± 0.9
18	6.7 ± 1.5	5.5 ± 1.5	5.7 ± 1.6	5.3 ± 1.8	5.9 ± 1.4

* สิ่งทดลองที่ 1-18 หมายถึงสิ่งทดลองที่ประกอบไปด้วยส่วนผสมของน้ำตาลทราย แบะแซ และกลีเซอรอลในสัดส่วนต่างๆ ดังตารางที่ 3.1

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

จากการเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ทางเคมี กายภาพ และประสาทสัมผัสของตัวอย่างแครอทแช่อิ่มอบแห้ง (ตารางที่ 4.1-4.3) พบว่า ผู้ทดสอบจะชอบแครอทแช่อิ่มอบแห้งที่มีความสว่าง (L* =50.93) มากกว่าตัวอย่างที่มีสีเข้ม (L* =49.72) นอกจากนั้นพบว่าปริมาณความชื้น ของแข็ง และค่า a_w ไม่มีความสัมพันธ์กับค่าสีในผลิตภัณฑ์เนื่องจากหากสังเกตจากตารางที่ 4.1-4.3 แล้วเมื่อดูที่สิ่งทดลองที่มีความชอบด้านสีมากที่สุดและต่ำที่สุดแล้วจะพบว่า มีคุณสมบัติทางเคมีใกล้เคียงกัน เมื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างผลการวิเคราะห์ทางเนื้อสัมผัสด้วยเครื่องมือและการทดสอบทางประสาทสัมผัสพบว่าผู้ทดสอบชิมชอบตัวอย่างแครอทแช่อิ่มอบแห้งที่มีเนื้อสัมผัสนิ่มมากกว่าที่มีเนื้อสัมผัสแข็ง

เมื่อนำค่าวิเคราะห์ทางเคมี กายภาพ และทางประสาทสัมผัสที่ได้ จากการทดลองทั้งหมดไปวิเคราะห์หาความสัมพันธ์โดยใช้สมการถดถอยกับสูตรของสารละลายออสโมติกพบว่า สูตรสารละลายออสโมติก มีอิทธิพลต่อ ความชื้น ปริมาณของแข็งทั้งหมด ค่าเนื้อสัมผัส และค่าความชอบด้านรสหวาน ซึ่งความสัมพันธ์ดังกล่าว เป็นแบบ quadratic โดยมีสัมประสิทธิ์ของสมการถดถอย (R^2) ตั้งแต่ 0.75 ขึ้นไป โดยค่า R^2 ดังกล่าวของสมการบ่งบอกความแม่นยำและถูกต้องของสมการในการคาดคะเนผล ซึ่งหากมีค่ามากแสดงว่ามีความแม่นยำในการทำนายสูง โดยสมการความสัมพันธ์ของตัวแปรต้นและตัวแปรตามแสดงในตารางที่ 4.4 แต่มีสมการเนื้อสัมผัสที่มีค่า R^2 ต่ำ (0.66) แต่นำมาใช้ในการทำนายเนื่องจากเป็นการวิเคราะห์ทางกายภาพด้วยเครื่องมือซึ่งมีความแม่นยำในการวิเคราะห์สูง ดังนั้น จึงสามารถยอมรับความแม่นยำของการคาดคะเนในระดับนี้ได้ หลังจากนั้น นำสมการดังกล่าวข้างต้นไปแทนค่าในโปรแกรม statistica เพื่อแสดงความสัมพันธ์แบบพื้นที่การตอบสนอง แล้วจึงวิเคราะห์ระดับของสูตรสารละลายออสโมติกที่เหมาะสมที่สุด

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.4 สมการถดถอยแสดงความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติแครอทแช่อิ่มอบแห้งและสูตรของสารละลายออสโมติก

ปัจจัย	สมการ	ค่า R^2
ความชื้น	$32.095-2.848A-2.926B+5.469C-.994A^2-3.433x10^{-2}B^2-1.344C^2+.101AB-1.256AC+.348BC+.195ABC$	0.91
ของแข็งทั้งหมด	$67.905+2.848A+2.926B-5.469C+.994A^2+3.421x10^{-2}B^2-1.344C^2-.101AB+1.256AC-.348BC-.195ABC$	0.91
เนื้อสัมผัส	$48.988-14.948A-.773B-4.766C-1.436A^2-2.101B^2-1.255C^2+1.417AB+3.819AC+.874BC+13.471ABC.$	0.66
ความชอบรสหวาน	$5.833+.201A-.179B+.170C-9.205x10^{-2}A^2+9.352x10^{-2}B^2+4.934E-2C^23.125x10^{-2}AB-.131AC+3.125x10^{-2}BC-0.119ABC$	0.81

โดย A= น้ำตาลซูโครส B= แบะแซ C=กลีเซอรอล

4.1.1 อิทธิพลของสัดส่วนน้ำตาล แบะแซและกลีเซอรอลในสารละลายออสโมติกที่มีต่อปริมาณความชื้นของแครอทแช่อิ่มอบแห้ง

เมื่อนำสมการถดถอยแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสูตรของสารละลายออสโมติกและปริมาณความชื้นมาแทนค่าและสร้างกราฟ 3 มิติแสดงความสัมพันธ์ได้ผลดังรูปที่ 4.1-4.3

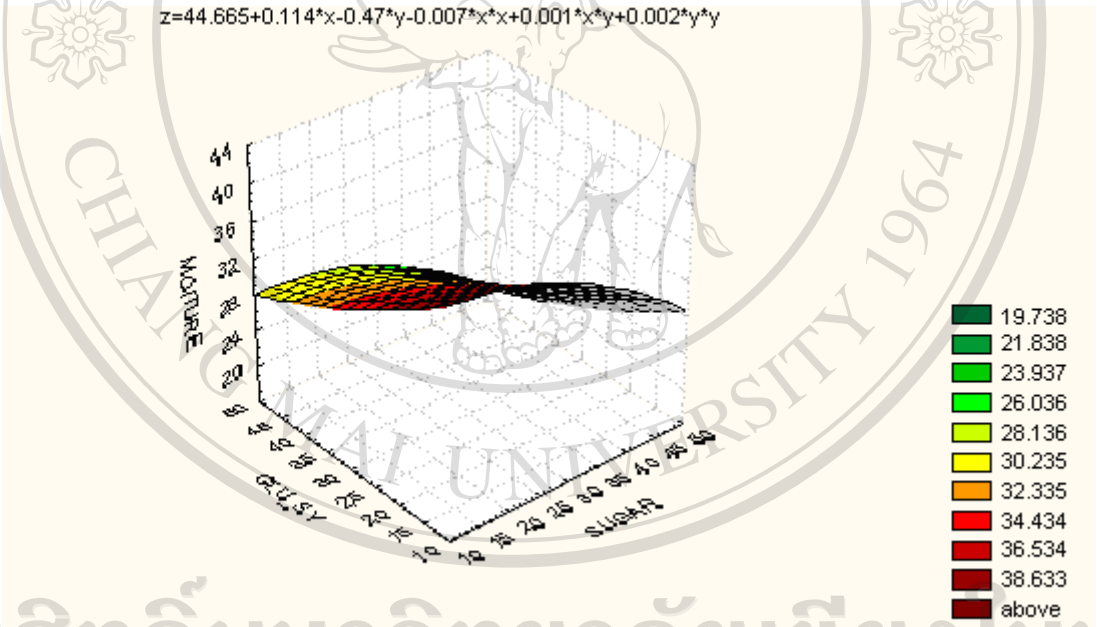
จากรูปที่ 4.1 แสดงให้เห็นว่า เมื่อแช่ตัวอย่างชิ้นแครอทในสารละลายออสโมติกที่มีระดับน้ำตาลและแบะแซสูงจะทำให้ได้ตัวอย่างแครอทอบแห้งที่มีปริมาณความชื้นต่ำทั้งนี้เนื่องจากน้ำตาลมีโมเลกุลเล็กและเมื่อละลายในระดับความเข้มข้นที่สูงขึ้นจะทำให้เกิดความแตกต่างของแรงดันออสโมติกมากขึ้นส่งผลให้เกิดการแพร่ของน้ำออกจากชิ้นอาหารเพิ่มขึ้น ตัวอย่างแครอทอบแห้งจะมีปริมาณความชื้นสุดท้ายเพิ่มมากขึ้นเมื่อนำไปแช่สารละลายออสโมติกที่มีส่วนผสมของแบะแซ 40% (w/w) และน้ำตาล 20% (w/w) ดังนั้นเมื่อต้องการให้ตัวอย่างแช่อิ่มอบแห้งมีปริมาณความชื้นสุดท้ายต่ำนั้นสามารถใช้สารละลายออสโมติกที่มีน้ำตาลในระดับสูงและแบะแซในระดับต่ำหรือสูงก็ได้

รูปที่ 4.2 แสดงให้เห็นว่าเมื่อแช่ตัวอย่างแครอทที่มีส่วนผสมของน้ำตาลและกลีเซอรอลในสารละลายออสโมติก 20% (w/w) สามารถช่วยให้ปริมาณความชื้นสุดท้ายในแครอทอบแห้งเหลือน้อยที่สุด การแช่ตัวอย่างในสารละลายที่มีระดับความเข้มข้นของกลีเซอรอลเดียวกันและมีระดับความเข้มข้นของน้ำตาลต่างๆกัน ไม่ทำให้ความชื้นสุดท้ายของแครอทแห้งแตกต่างกันมากนัก

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

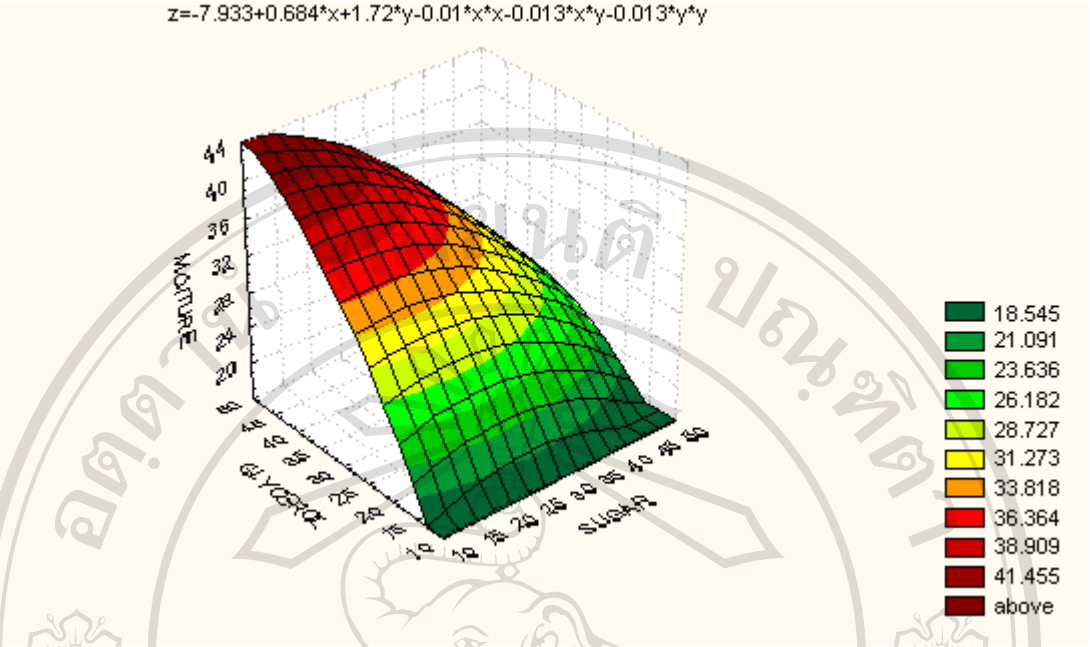
รูปที่ 4.3 แสดงให้เห็นว่า เมื่อใช้กลีเซอรอลร่วมกับแบะแซ เมื่อใช้แบะแซ 40% (w/w) ก็จะลดค่าความชื้นได้ต่ำลง แต่หากใช้ร่วมกับกลีเซอรอล 40% (w/w) แล้วพบว่าไม่สามารถลดความชื้นได้ต่ำดังนั้นจากผลการทดลองดังกล่าวเลือกใช้แบะแซ 40% (w/w) ร่วมกับกลีเซอรอล 20% (w/w) เพื่อให้ได้แครอทอบแห้งที่มีความชื้นต่ำ

จากรูปที่ 4.1 - 4.3 จะเห็นว่าน้ำตาลมีผลต่อค่าความชื้นมากที่สุด ดังนั้นเพื่อให้ได้ตัวอย่างแครอทที่มีระดับความชื้นสุดท้ายต่ำตามวัตถุประสงค์ของกระบวนการทำแห้งนั้นจะต้องเลือกใช้สารละลายออสโมติกที่เหมาะสมคือ น้ำตาลในระดับสูง40 % (w/w) แบะแซในระดับสูง 40% (w/w) และ กลีเซอรอลในระดับต่ำ 20%(w/w)

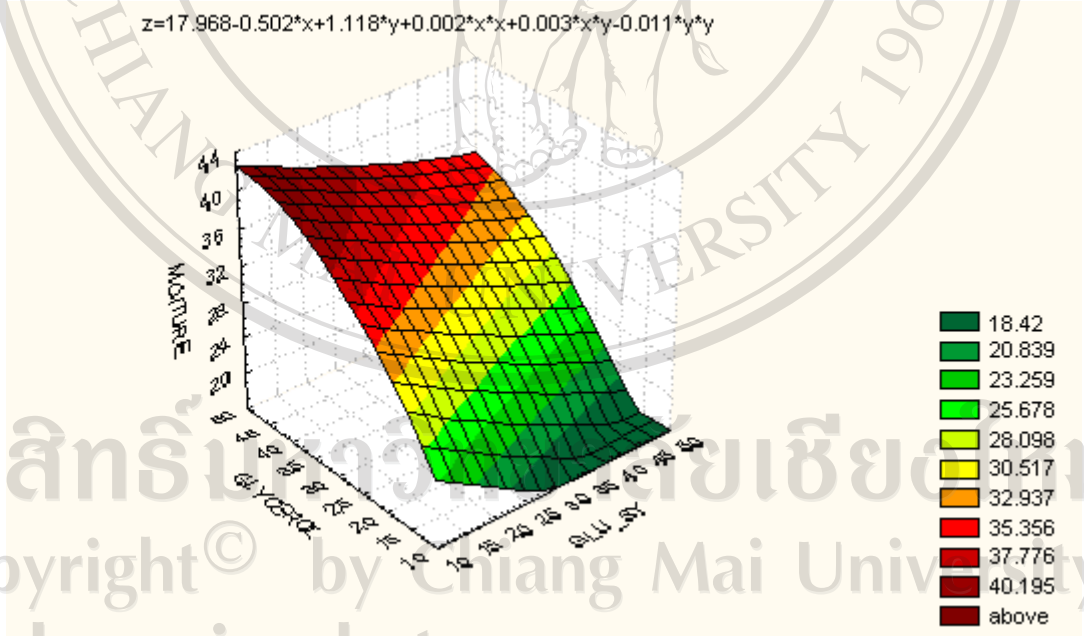


รูปที่ 4.1 อิทธิพลร่วมของระดับน้ำตาลและแบะแซในสารละลายออสโมติกที่มีต่อปริมาณความชื้น (%)สุดท้ายของแครอทแช่อิ่มอบแห้ง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



รูปที่ 4.2 อิทธิพลร่วมของระดับน้ำตาลและกลีเซอรอลในสารละลายออสโมติกที่มีต่อปริมาณความชื้น (%) สุดท้ายของแครอทแช่อิ่มอบแห้ง



รูปที่ 4.3 อิทธิพลร่วมของระดับแบะแซและกลีเซอรอลในสารละลายออสโมติกที่มีต่อปริมาณความชื้น (%) สุดท้ายของ แครอทแช่อิ่มอบแห้ง

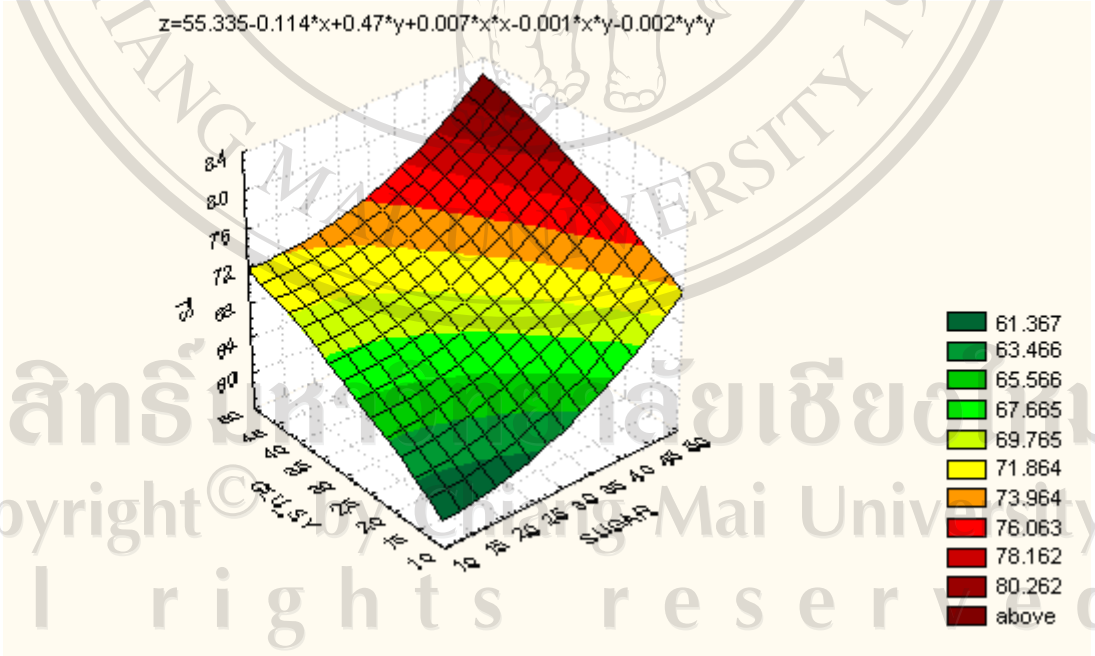
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.1.2 อิทธิพลของสัดส่วนน้ำตาลแบะแซ และกลีเซอรอลในสารละลายออสโมติกที่มีต่อปริมาณของแข็งในแครอทแช่อิ่มอบแห้ง

เมื่อนำสมการถดถอยแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสูตรของสารละลายออสโมติกและปริมาณของแข็งมาแทนค่าและสร้างกราฟ 3 มิติแสดงความสัมพันธ์ได้ผลดังรูปที่ 4.4-4.6

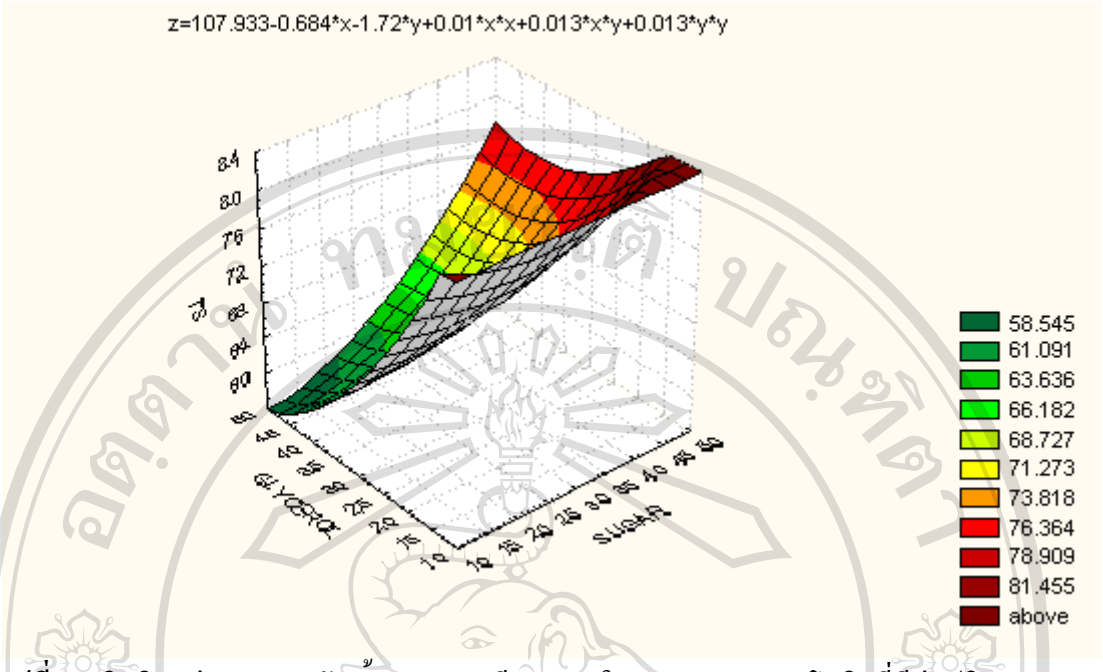
จากรูปที่ 4.4 พบว่าปริมาณของแข็งทั้งหมด (TS) ในตัวอย่างแครอทแช่อิ่มอบแห้งจะเพิ่มขึ้นเมื่อระดับความเข้มข้นของน้ำตาลและแบะแซในสารละลายออสโมติกเพิ่มขึ้น ซึ่งจะให้ผลทางตรงกันข้ามกับความชื้น กล่าวคือ ปริมาณความชื้นสุดท้ายของตัวอย่างจะลดลงเมื่อใช้สารละลายออสโมติกที่มีระดับน้ำตาลและแบะแซสูงขึ้น ในขณะเดียวกันหากใช้น้ำตาลในระดับความเข้มข้นสูงขึ้นและกลีเซอรอลในระดับความเข้มข้นต่ำลงจะทำให้ได้ปริมาณของแข็งในตัวอย่างอบแห้งเพิ่มขึ้น ดังรูปที่ 4.5

จากการศึกษาอิทธิพลร่วมของระดับความเข้มข้นของกลีเซอรอลและแบะแซในสารละลายออสโมติกที่มีต่อปริมาณของแข็งทั้งหมดในตัวอย่างแครอทแช่อิ่มอบแห้ง พบว่าปริมาณของแข็งทั้งหมดจะเพิ่มขึ้นเมื่อใช้แบะแซในระดับความเข้มข้นเพิ่มขึ้นและกลีเซอรอลที่ระดับความเข้มข้นต่ำลง ดังแสดงในรูปที่ 4.6

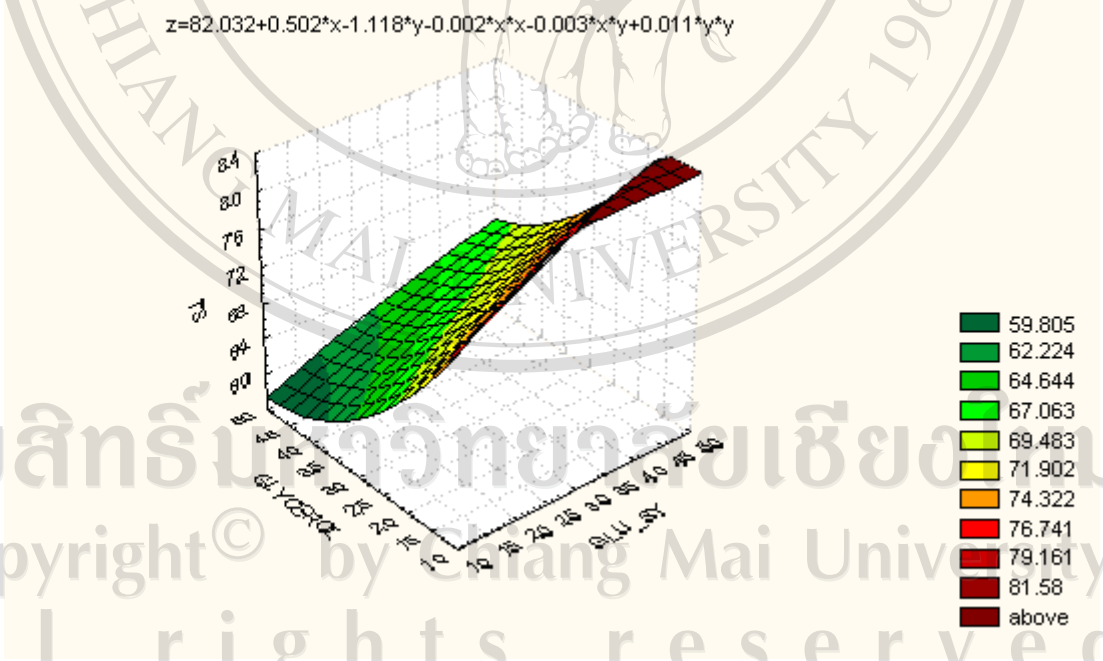


รูปที่ 4.4 อิทธิพลร่วมของระดับน้ำตาลและแบะแซในสารละลายออสโมติกที่มีต่อปริมาณของแข็ง (%)ของแครอทแช่อิ่มอบแห้ง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



รูปที่ 4.5 อิทธิพลร่วมของระดับน้ำตาลและกลีเซอรอลในสารละลายออสโมติกที่มีต่อปริมาณของแข็ง (%) ของแครอทแช่อิ่มอบแห้ง



รูปที่ 4.6 อิทธิพลร่วมของระดับกลีเซอรอลและแบะแซในสารละลายออสโมติกที่มีต่อปริมาณของแข็ง (%) ของแครอทแช่อิ่มอบแห้ง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

จากผลการทดลองที่แสดงในรูปที่ 4.4-4.6 นั้นพบว่าน้ำตาลและแบะแซมีอิทธิพลมากต่อการเพิ่มปริมาณของแข็งทั้งหมดในระหว่างกระบวนการออสโมซิสมากกว่ากลีเซอรอล ซึ่งในกระบวนการอบแห้งนั้นต้องการปริมาณของแข็งทั้งหมดมากเพื่อให้อาหารมีสเถียรภาพในระหว่างการเก็บรักษา จึงสามารถเลือกสูตรสารละลายออสโมติกที่เหมาะสมที่ทำให้ได้ค่าของแข็งที่สูงที่สุด คือ น้ำตาลและแบะแซในระดับสูง (40 % (w/w)) และ กลีเซอรอลในระดับต่ำ (20% (w/w))

4.1.3 อิทธิพลของสัดส่วนน้ำตาลแบะแซ และกลีเซอรอลในสารละลายออสโมติกที่มีต่อแรงตัดขาด (Max force) แครอทแช่อิ่มอบแห้ง

เมื่อนำสมการถดถอยแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสูตรของสารละลายออสโมติกและแรงตัดขาด (Max force) มาแทนค่าและสร้างกราฟ 3 มิติแสดงความสัมพันธ์ได้ผลดังรูปที่ 4.7-4.9

จากผลการทดลองในรูปที่ 4.7 จะเห็นว่าระดับความเข้มข้นของน้ำตาลในสารละลายออสโมติกนั้นมีอิทธิพลต่อเนื้อสัมผัสของแครอทแช่อิ่มอบแห้งมากกว่าระดับความเข้มข้นของแบะแซเมื่อใช้ น้ำตาลในระดับความเข้มข้นที่สูงขึ้นจะทำให้เนื้อสัมผัสของแครอทแช่อิ่มอบแห้งนิ่มขึ้นในขณะที่ ระดับความเข้มข้นของแบะแซที่เพิ่มขึ้นหรือลดลงไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงเนื้อสัมผัสของแครอทแช่อิ่มอบแห้ง ทั้งนี้เนื่องจาก แบะแซไม่เป็นสารในกลุ่ม Humectant หรือ Softener ดังนั้นจึงไม่ช่วยในเรื่องเนื้อสัมผัส (สุวรรณา, 2543)

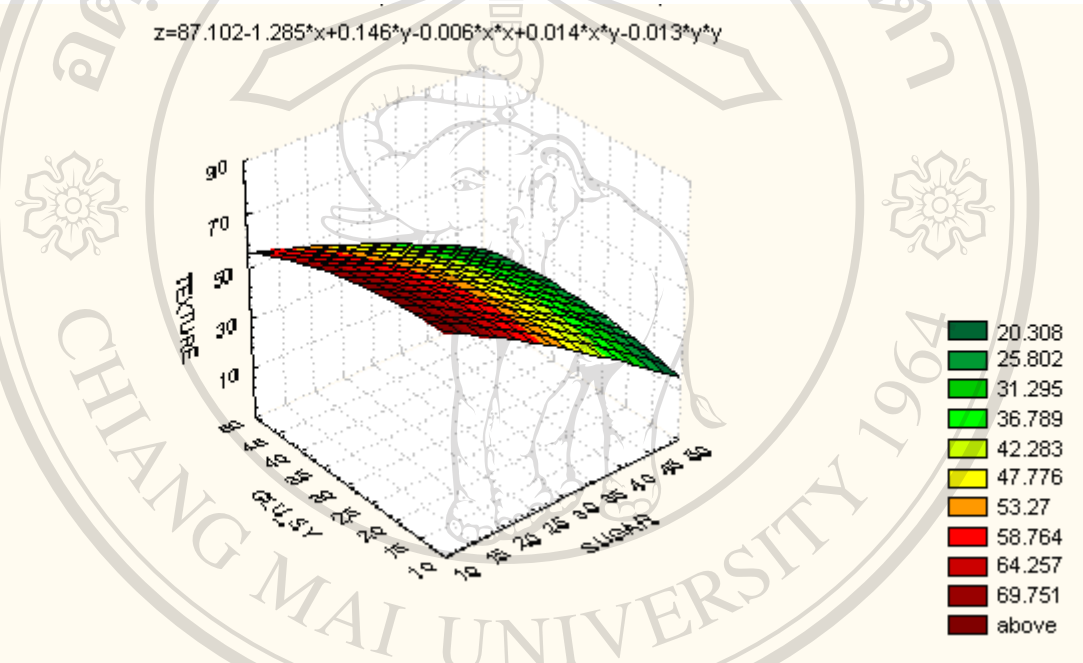
ในขณะเดียวกัน เมื่อวิเคราะห์อิทธิพลร่วมของระดับน้ำตาลและกลีเซอรอลที่มีต่อเนื้อสัมผัสของแครอทแช่อิ่มอบแห้งพบว่า เมื่อใช้น้ำตาลและกลีเซอรอล ที่ระดับความเข้มข้นสูงขึ้น จะทำให้เนื้อสัมผัสของตัวอย่างแห้งนิ่มขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 4.8 ทั้งนี้เนื่องจากกลีเซอรอลมีคุณสมบัติในการเป็นสาร Humectant และ Softener ทำให้เนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความนุ่มและชุ่มชื้นขึ้น เมื่อใช้ในปริมาณมากขึ้น (ณัฐยา, 2544)

จากรูปที่ 4.9 จะเห็นว่าระดับความเข้มข้นของกลีเซอรอล และ แบะแซมีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงเนื้อสัมผัสของแครอทแช่อิ่มอบแห้งน้อยมากดังนั้นสามารถเลือกใช้สารละลายออสโมติกที่มีกลีเซอรอลและแบะแซในระดับความเข้มข้นใดก็ได้ในขอบเขตของการทดลอง

จากรูปที่ 4.7 4.8 และ 4.9 แสดงความสัมพันธ์ของค่าแรงที่ใช้ในการตัดชิ้นแครอทแช่อิ่มอบแห้งกับสารให้ความหวาน 3 ชนิด พบว่าแครอทต้องมีเนื้อสัมผัสที่นิ่มจึงจะได้รับการยอมรับจากผู้บริโภคในระดับสูงขึ้น น้ำตาลและกลีเซอรอล มีผลต่อ เนื้อสัมผัสแครอทแช่อิ่มอบแห้งมากที่สุด ไม่ว่าจะใช้น้ำตาลกับกลีเซอรอลในระดับความเข้มข้นใดก็ตามจะทำให้ค่าแรงที่ใช้ในการตัดชิ้นแครอทมีค่าน้อย ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเนื้อสัมผัสของแครอทแช่อิ่มอบแห้งนั้นมีความนุ่มมากกว่า ถ้าหากสารละลายออสโมติกมีความเข้มข้นของแบะแซสูงแต่กลีเซอรอลต่ำ จะทำให้ค่าแรงที่ใช้ในการ

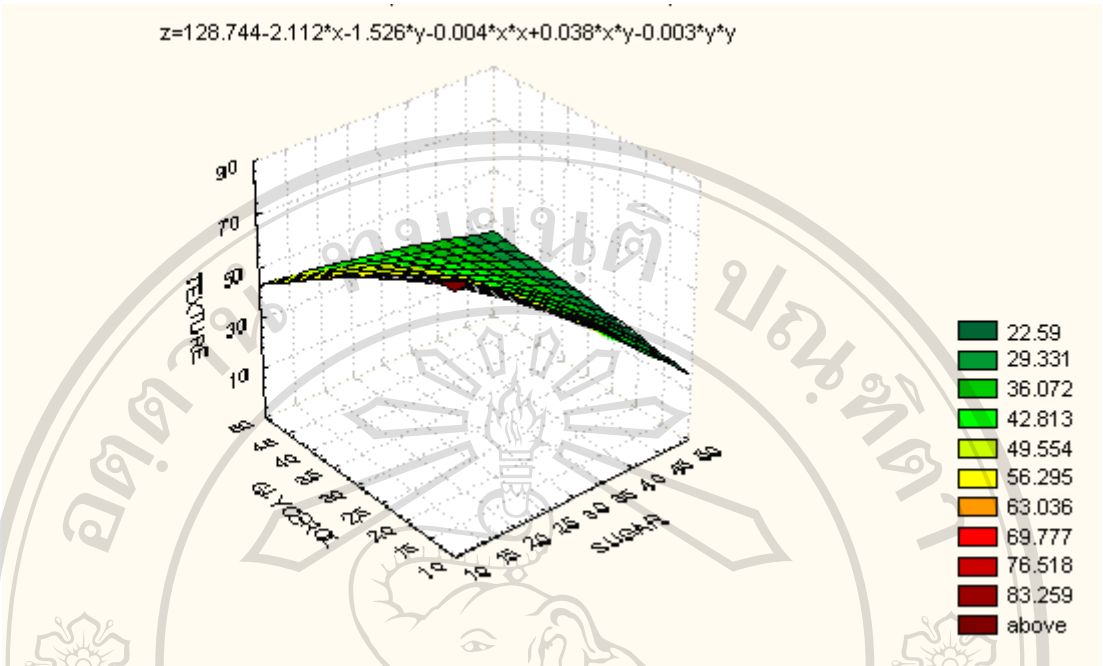
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สรุประดับความเข้มข้นของ น้ำตาล แบะแซและกลีเซอรอลในสารละลายออสโมติกที่มีผลดีต่อเนื้อสัมผัสของแครอทแช่อิ่มอบแห้ง จึงสามารถเลือกสารละลายออสโมติกที่เหมาะสมคือ มีน้ำตาล แบะแซ และกลีเซอรอล ที่ระดับความเข้มข้น (40% (w/w)) และ (40% (w/w)) หรือ (20% (w/w)) และ (40% (w/w)) ตามลำดับ

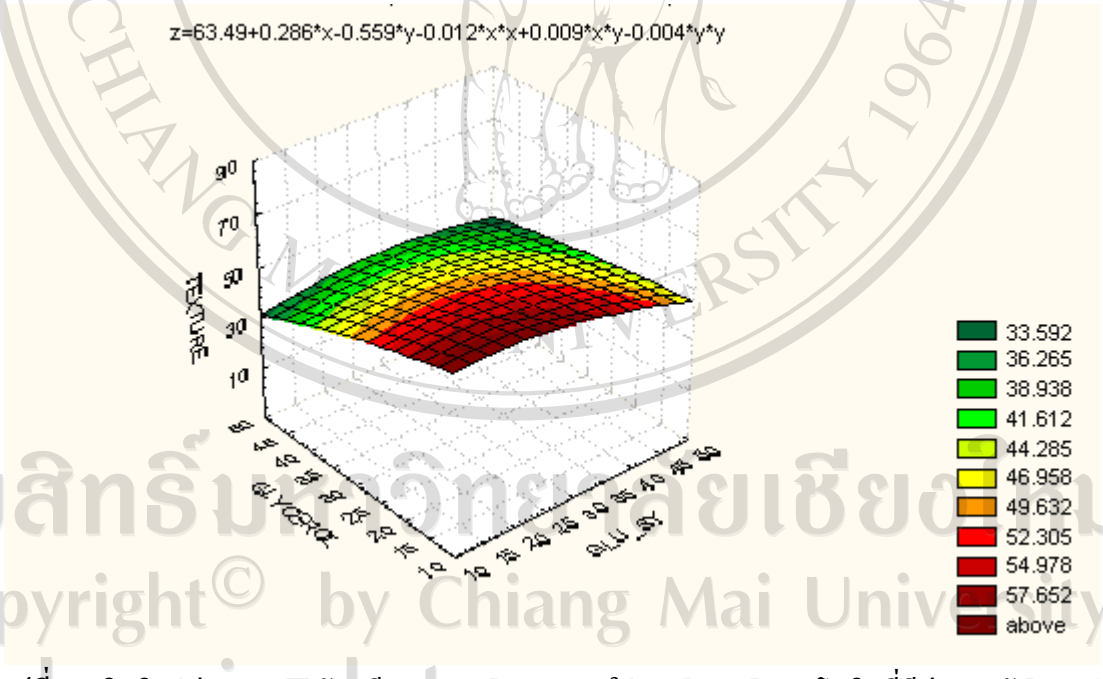


รูปที่ 4.7 อิทธิพลร่วมของระดับน้ำตาลและแบะแซในสารละลายออสโมติกที่มีต่อแรงตัดขาด (Max force) ของแครอทแช่อิ่มอบแห้ง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



รูปที่ 4.8 อิทธิพลร่วมของระดับน้ำตาลและกลีเซอรอลในสารละลายออสโมติกที่มีต่อแรงตัดขาด (Max force) ของแครอทแช่อิ่มอบแห้ง



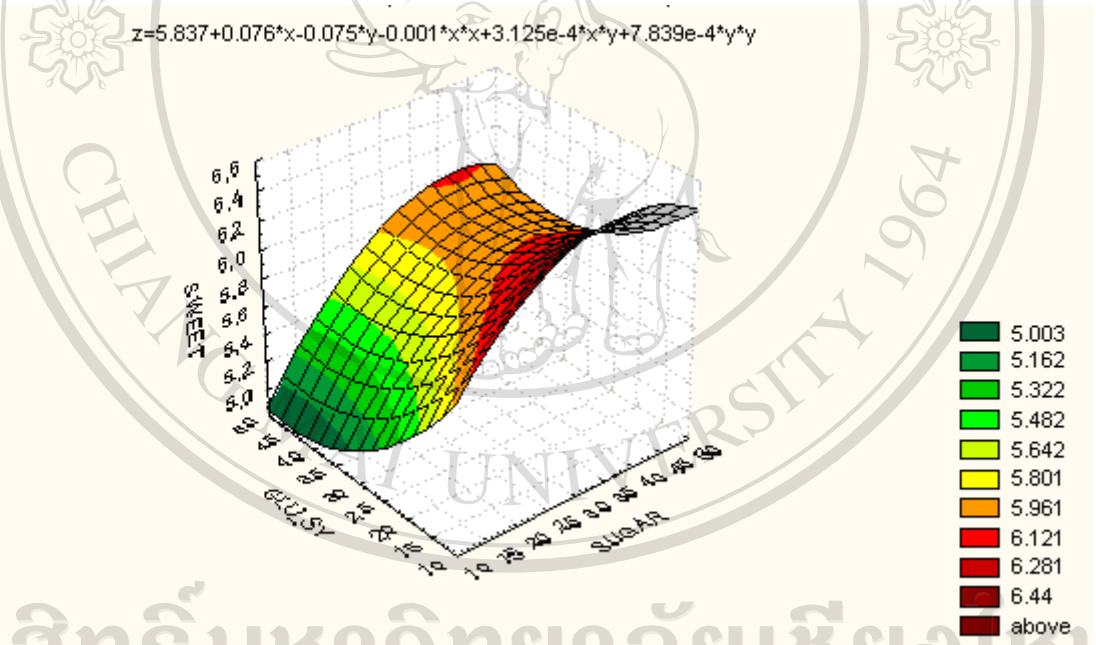
รูปที่ 4.9 อิทธิพลร่วมของระดับกลีเซอรอลและแบะแซในสารละลายออสโมติกที่มีต่อแรงตัดขาด (Max force) ของแครอทแช่อิ่มอบแห้ง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.1.5 อิทธิพลของสัดส่วนน้ำตาล แบะแซ และกลีเซอรอลในสารละลายออสโมติกที่มีต่อระดับความชอบด้านรสหวานของแครอทแช่อิ่มอบแห้ง

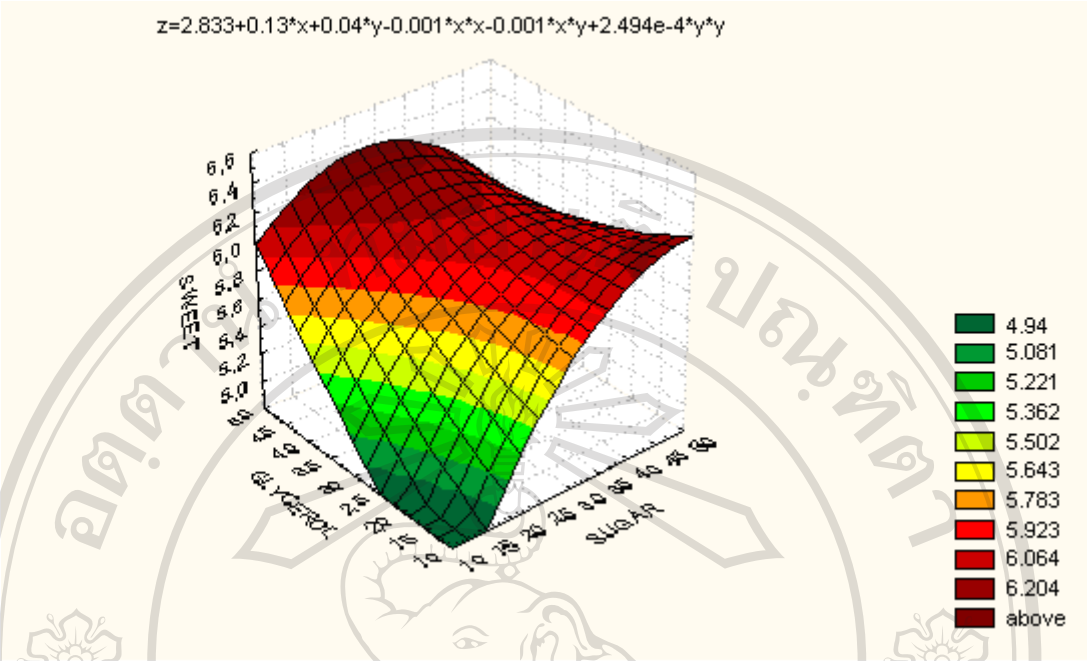
เมื่อนำสมการถดถอยแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสูตรของสารละลายออสโมติกและระดับความชอบรวม มาแทนค่าและสร้างกราฟ 3 มิติแสดงความสัมพันธ์ได้ผลดังรูปที่ 4.7-4.9

จากกราฟที่ 4.10 พบว่าน้ำตาลมีอิทธิพลต่อระดับความชอบด้านรสหวานของตัวอย่าง แครอทแช่อิ่มอบแห้ง จะพบว่าเมื่อน้ำตาลเพิ่มมากขึ้นและแบะแซในระดับต่ำระดับความชอบจะมากขึ้น ระดับความชอบจะมีค่าเพิ่มมากขึ้นเล็กน้อยเมื่อมีการลดปริมาณของแบะแซลง ทั้งนี้เนื่องจากแบะแซ มีรสหวานน้อยกว่าน้ำตาลซูโครส (สุวรรณา, 2543) เมื่อใส่ในปริมาณมากทำให้ความหวานของน้ำตาลลดลงได้ เนื่องจากอาจจะมีผลในการกลบเกลื่อนรสชาติของน้ำตาล แต่เมื่อใส่ในปริมาณที่น้อยลงความหวานของน้ำตาลจะมีความโดดเด่นมากขึ้น

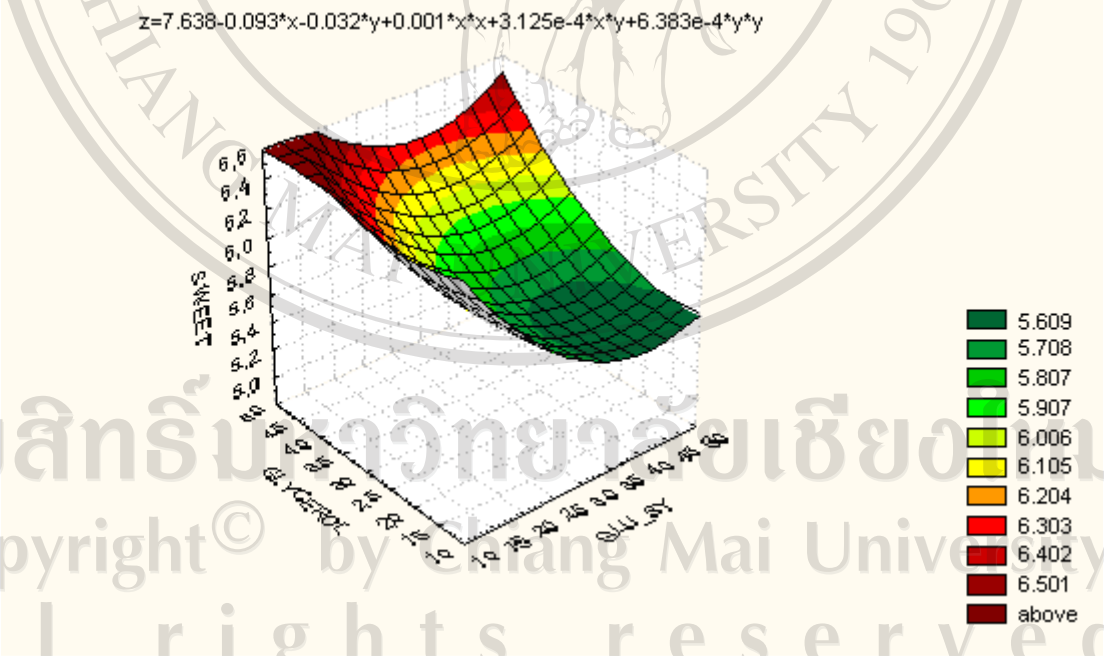


รูปที่ 4.10 อิทธิพลร่วมของระดับน้ำตาลและแบะแซในสารละลายออสโมติกที่มีต่อระดับความชอบด้านรสหวานของแครอทแช่อิ่มอบแห้ง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



รูปที่ 4.11 อิทธิพลร่วมของระดับน้ำตาลและกลีเซอรอลในสารละลายออสโมติกที่มีต่อระดับความชอบด้านรสหวานของแครอทแช่อิ่มอบแห้ง



ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

รูปที่ 4.12 อิทธิพลร่วมของระดับแบะแซและกลีเซอรอลในสารละลายออสโมติกที่มีต่อระดับความชอบด้านรสหวานของแครอทแช่อิ่มอบแห้ง

อิทธิพลร่วมระหว่าง กลีเซอรอลและน้ำตาล ต่อความชอบทางด้านรสหวาน พบว่ากลีเซอรอลจะมีส่วนช่วยให้ระดับความชอบด้านรสหวานเพิ่มขึ้น จากรูปที่ 4.11 จะพบว่าเมื่อใช้น้ำตาลและกลีเซอรอลที่ระดับความเข้มข้นสูงขึ้นจะทำให้คะแนนความชอบด้านรสหวานของตัวอย่างแครอทแช่อิ่มอบแห้งเพิ่มขึ้น เนื่องจากกลีเซอรอลไม่มีรสชาติจึงทำให้น้ำตาลมีอิทธิพลมากต่อความชอบรสหวาน

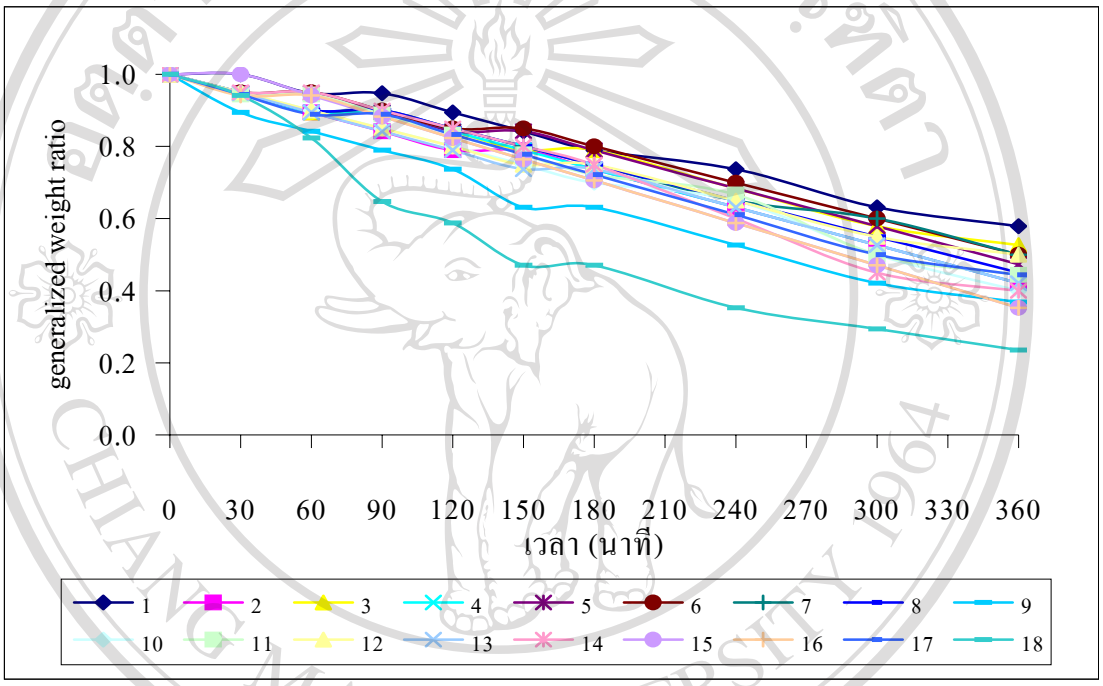
เมื่อวิเคราะห์อิทธิพลร่วมระหว่างกลีเซอรอลและแบะแซที่มีต่อคะแนนความชอบด้านรสหวานของตัวอย่างแครอท พบว่าคะแนนความชอบจะเพิ่มขึ้นเมื่อใช้กลีเซอรอล 40% (w/w) ร่วมกับแบะแซใน20% (w/w) (รูปที่ 4.12) ทั้งนี้เกิดจากบทบาทของกลีเซอรอล ร่วมกับแบะแซ ว่าจะช่วยเสริมหรือลดรสหวานซึ่งได้จากน้ำตาล

จากรูปที่ 4.10 4.11 และ4.12 พบว่า น้ำตาลและกลีเซอรอลมีผลต่อค่าความชอบด้านรสหวานมากที่สุด เนื่องจากน้ำตาลทรายมีรสหวาน ในขณะที่กลีเซอรอลนั้นไม่มีรสชาติ และแบะแซมีรสหวานเล็กน้อย เมื่อเพิ่มปริมาณกลีเซอรอลกับน้ำตาลจะทำให้ระดับความชอบด้านรสหวานมากที่สุด เมื่อสารละลายออสโมติกมีกลีเซอรอลในระดับต่ำและแบะแซระดับสูงจะทำให้ความชอบด้านรสหวานต่ำลง และ คะแนนความชอบจะเพิ่มขึ้นเมื่อใช้สารละลายออสโมติกที่มีน้ำตาลสูงแต่แบะแซต่ำจากผลการทดลอง สามารถสรุปได้ว่าผู้ทดสอบชิมชอบตัวอย่างแครอทที่มีรสหวาน เมื่อมีน้ำตาลเพิ่มมากขึ้นคะแนนความชอบจะเพิ่มขึ้น ดังนั้น ควรเลือกใช้สารละลายออสโมติกที่มี น้ำตาล แบะแซ และกลีเซอรอล ที่ระดับความเข้มข้นสูง 40% (w/w), ต่ำ 20% (w/w) และสูง 40% (w/w) ตามลำดับ

4.2 พฤติกรรมการอบแห้งของแครอทแช่อิ่ม

จากการแช่ตัวอย่างชิ้นแครอทในสารละลายออสโมติกที่วางแผนการทดลองแบบ CCD ที่มีส่วนผสมของน้ำตาล แบะแซ และ กลีเซอรอลในสัดส่วนต่างๆ เป็นเวลา 6 ชั่วโมง แล้วนำไปอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่ อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง สุ่มตัวอย่างทุกๆ 30 นาที เป็นเวลา 3 ชั่งโมง หลังจากนั้นสุ่มตัวอย่างทุกๆ 60 นาที จนครบ 6 ชั่วโมง มาชั่งน้ำหนักเพื่อศึกษาพฤติกรรมการอบแห้ง ได้ผลดังแสดงในรูปที่ 4.13 พบว่ามีการลดลงของน้ำหนักอย่างสม่ำเสมอ ในทุกการทดลองยกเว้น การทดลองที่ 9 และ 18 ซึ่งมีการลดลงของน้ำหนักที่รวดเร็วกว่า ทั้งนี้อาจเป็นผลเนื่องมาจากการจัดวางตัวอย่างโดยผู้ทดลองได้แบ่งการทดลองเป็น 2 กลุ่ม โดยพบว่าสิ่งทดลองที่ 9 และ 18 นั้นจะอยู่ที่ถาดสุดท้ายซึ่งผู้ทดลองได้จัดวางถาดละ 2 สิ่งทดลอง แต่ สิ่งทดลองดังกล่าววางเพียงสิ่งทดลองเดียว จึงอาจทำให้มีพื้นที่ในการสัมผัสลมร้อนได้เร็วกว่าสิ่งทดลองอื่นๆ โดยเวลาที่ใช้ในการอบแห้งคือ 6 ชั่วโมง เมื่อพิจารณาผลการวิเคราะห์คุณภาพของตัวอย่างที่ได้จากการ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



รูปที่ 4.13 พฤติกรรมการทำแห้งของแครอทแช่อิ่มอบแห้งที่วางแผนการทดลองแบบ CCD

4.3 การเลือกสูตรของสารละลายออสโมติกที่เหมาะสมที่สุดในการทำแครอทแช่อิ่มอบแห้ง

เนื่องจากพฤติกรรมการอบแห้งของแครอทที่ผ่านการออสโมซิสนั้นไม่แตกต่างกันจึงไม่นำมาพิจารณาในการเลือกสูตรของสารละลายออสโมติกที่เหมาะสมดังนั้นจึงพิจารณาเลือกสูตรจากผลการวิเคราะห์ทางเคมี กายภาพ และประสาทสัมผัสซึ่งได้แสดงผลสรุปในตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 แสดงระดับความเข้มข้นของสารแต่ละชนิดในสารละลายออสโมติกที่ทำให้ได้แครอทแช่อิ่มอบแห้งมีคุณภาพตามที่ต้องการคือ มีค่าความชื้นต่ำ ค่าของแข็งสูง เนื้อสัมผัสนิ่มความชอบด้านรสหวานสูง ดังนั้นควรใช้สารละลายออสโมติกที่มีน้ำตาลทราย 40% (w/w) เนื่องจากมีผลต่อทุกปัจจัยที่ศึกษา กลีเซอรอล 40% (w/w) เนื่องจากมีผลต่อปัจจัยส่วนใหญ่ โดยเฉพาะเนื้อสัมผัสทำให้เนื้อสัมผัสนุ่ม จึงควรจะใช้ในปริมาณสูงเพื่อเพิ่มระดับการยอมรับของผลิตภัณฑ์ แครอทแช่อิ่มอบแห้ง และ แบะแซ 20% (w/w) เนื่องจากแม้ว่าจะมีผลต่อค่าของแข็งทั้งหมดแต่เมื่อ วิเคราะห์จากผลที่มีต่อค่าความชื้น พบว่ามีผลต่อความสามารถในการลดความชื้น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.5 สูตรของสารละลายออสโมติกที่เหมาะสมเพื่อให้ได้คุณภาพด้านต่างๆของแครอทแช่อิ่มอบแห้งที่ดี

ชนิดของสารละลาย	ระดับที่เหมาะสมสำหรับคุณภาพด้านต่างๆ			
	ความชื้น	ปริมาณของแข็ง	เนื้อสัมผัส	ความชอบรสหวาน
น้ำตาล	40% (w/w)	40% (w/w)	40% (w/w)	40% (w/w)
แบะแซ	40% (w/w)	40% (w/w)	20% (w/w)	20% (w/w)
กลีเซอรอล	20% (w/w)	20% (w/w)	40% (w/w)	40% (w/w)

4.4 อิทธิพลของอุณหภูมิในการออสโมซิสต่อคุณภาพด้านต่างๆของแครอทแช่อิ่มอบแห้ง

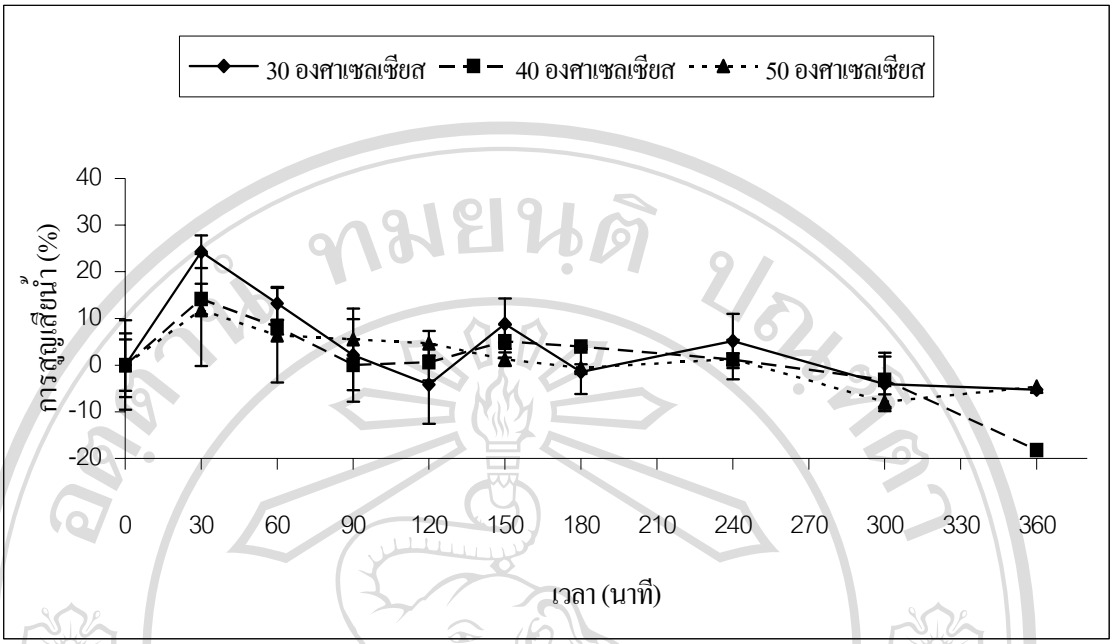
เมื่อนำสูตรของสารละลายออสโมติกที่เหมาะสมจากขั้นตอนที่ 4.3 คือมีน้ำตาล 40% (w/w) แบะแซ 20% (w/w) และ กลีเซอรอล 40% (w/w) มาทดลองเพื่อศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิต่อการเกิดออสโมซิสของชิ้นแครอท ได้ผลดังต่อไปนี้

4.4.1 พฤติกรรมการเกิดออสโมซิสที่อุณหภูมิต่างๆ

จากการสุ่มตัวอย่างแครอทระหว่างการออสโมซิส ที่อุณหภูมิต่างๆ แล้ววิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของน้ำหนัก

พบว่าแครอทจะเกิดการสูญเสียน้ำสูงสุดในช่วง 30 นาทีแรกทั้ง 3 ระดับอุณหภูมิที่ใช้ในกระบวนการออสโมซิสหลังจากนั้นจึงมีการลดอัตราการสูญเสียลงอย่างรวดเร็วและมีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยเมื่อเวลาผ่านช่วง 60 นาทีแรกไปแล้ว (รูปที่ 4.14) โดยจะเห็นได้ว่าเมื่อแช่แครอทที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส จะทำให้สูญเสียน้ำมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับอุณหภูมิในการแช่ที่ 40 และ 50 องศาเซลเซียส และก็พบว่าอุณหภูมิที่ 40 องศาเซลเซียสมีการสูญเสียมากกว่าที่ 50 องศาเซลเซียส ในช่วงแรกของกระบวนการออสโมซิสที่อุณหภูมิในช่วง 30 –50 องศาเซลเซียส จะมีการสูญเสียน้ำอย่างรวดเร็ว เมื่อเวลาผ่านไปการแลกเปลี่ยนมวลก็ลดลงหลังจาก 60 นาทีแรกพบว่าแนวโน้มของอัตราการสูญเสียน้ำมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา ทั้งนี้เนื่องจากประสิทธิภาพในการถ่ายเทมวลนั้นสูงสุดเมื่อเวลา 30 นาที และลดลงหลังจากนั้น

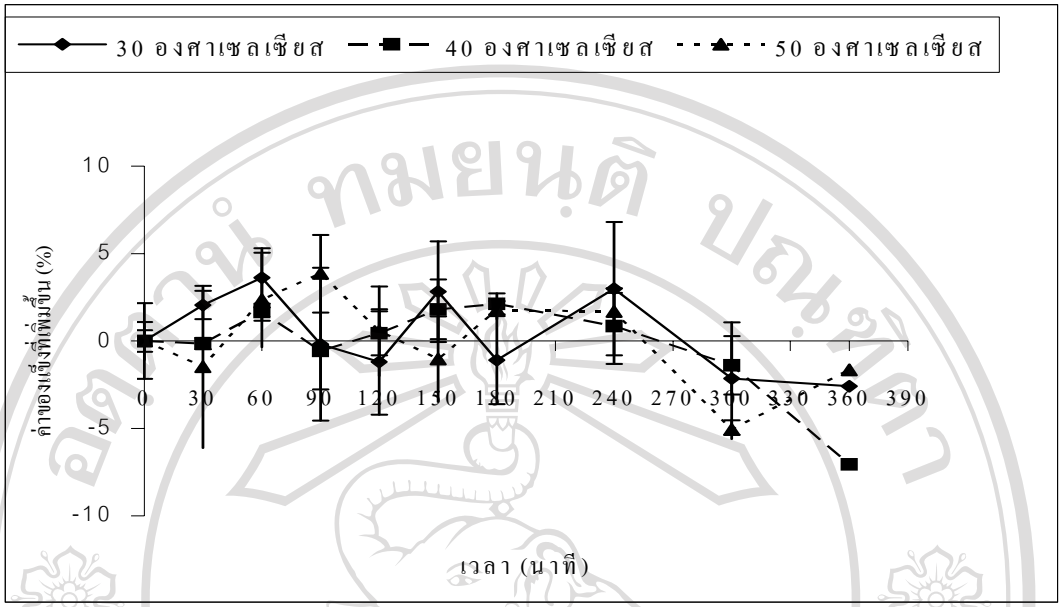
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



รูปที่ 4.14 ค่า การสูญเสียน้ำ (water loss) ในระหว่างกระบวนการออสโมซิสที่อุณหภูมิต่างๆ

เมื่อวิเคราะห์การเพิ่มขึ้นของปริมาณของแข็ง (solid gain) ระหว่างกระบวนการออสโมซิส พบว่าปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้นมีค่าสูงสุดที่ 60 นาทีแรกในสารละลายทั้ง 3 อุณหภูมิ (รูปที่ 4.15) แต่มีการเปลี่ยนแปลงของปริมาณแข็งที่เพิ่มขึ้นน้อยมากอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ นอกจากนั้นยังพบว่าเกิดการเพิ่มน้ำหนักและสูญเสียของแข็งในชิ้นแครอทตลอกเวลาระหว่างการออสโมซิส เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณการสูญเสียน้ำพบว่า ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้นมีอิทธิพลน้อยมากต่อการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักตัวอย่างระหว่างกระบวนการออสโมซิส

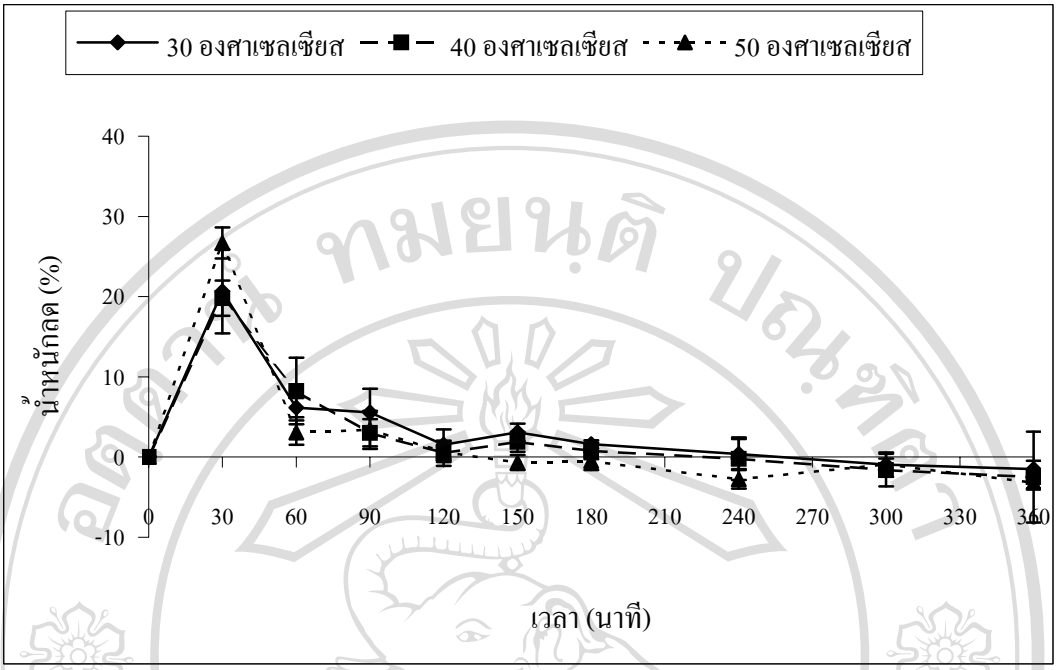
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



รูปที่ 4.15 ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้นในระหว่างกระบวนการออสโมซิสที่อุณหภูมิต่างๆ

เมื่อวิเคราะห์น้ำหนักลด (%) พบว่าแครอทสูญเสียน้ำหนักมากที่สุดในช่วง 60 นาทีแรกที่อุณหภูมิสารละลายออสโมติกทั้ง 3 ระดับ (รูปที่ 4.16) โดยมีค่าเปอร์เซ็นต์น้ำหนักลดสูงที่สุดที่เวลา 30 นาที หลังจากนั้นเปอร์เซ็นต์ น้ำหนักลดจะลดลงอย่างช้าๆ จนหลังจากเวลา 120 นาที แครอทที่แช่ในสารละลายออสโมติกที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสจะมีน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (เปอร์เซ็นต์น้ำหนักลดมีค่าติดลบ) แสดงให้เห็นว่าอาจเริ่มมีการแพร่ของโมเลกุลของตัวถูกละลายเข้าไปในชิ้นแครอท เนื่องจากเซลล์แครอทเริ่มมีการขยายตัวและเสียสภาพมากขึ้น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



รูปที่ 4.16 ค่าการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักในระหว่างกระบวนการออสโมซิสที่อุณหภูมิต่างๆ

4.4.2 สัมประสิทธิ์การแพร่

จากผลการทดลองในตอนที่ 4.4.1 แสดงให้เห็นว่าการถ่ายเทมวลนั้นเกิดขึ้นมากที่สุดในช่วง 30 นาทีแรกของกระบวนการออสโมซิสและสิ้นสุดในเวลา 60 นาทีดังนั้นการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของโมเลกุลน้ำและตัวถูกละลายในสารละลายออสโมติกจึงคลอบคลุมเวลาเพียง 60 นาที แรกของกระบวนการเท่านั้น ซึ่งได้ผลการคำนวณดังแสดงในตารางที่ 4.6

ซึ่งจะพบว่าอุณหภูมิของสารละลายออสโมติกมีผลต่อการแพร่ของน้ำและตัวถูกละลายเมื่ออุณหภูมิของสารละลายเพิ่มสูงขึ้นค่า D ของน้ำและของของแข็งก็จะมีค่ามากขึ้นตามลำดับ เมื่อมีค่า D ของน้ำสูงแสดงว่าเกิดการแพร่ของน้ำออกจากผลิตภัณฑ์ระหว่างการออสโมซิสได้ง่าย ในขณะที่ค่า D ของแข็งสูง แสดงว่ามีการแพร่ของโมเลกุลของตัวถูกละลายเข้าไปในผลิตภัณฑ์มาก ซึ่งถ้าหากมีการแพร่ของสารละลายเข้าไปที่ผิวของชิ้นแครอทในปริมาณมาก อาจทำให้เกิดการอุดตันท่อในชิ้นแครอททำให้น้ำแพร่ออกมาได้ช้าลง ดังนั้นจึงต้องการสิ่งทดลองที่มีค่า D ของน้ำที่มีค่าสูงเพื่อที่จะสามารถกำจัดน้ำออกจากชิ้นแครอทให้มากที่สุดดังนั้นจึงลดระยะเวลาในการอบแห้งซึ่งเมื่อค่า D ของแข็งมากจะมีผลต่อเนื้อสัมผัสอาจจะทำให้แข็งมากขึ้นหรือเหนียวมากขึ้น นอกจากนี้วัตถุประสงค์ของการทำออสโมซิสคือต้องการกำจัดน้ำให้มากที่สุดมากกว่าการเพิ่มปริมาณของแข็งที่ซึมผ่านเข้าไปในเซลล์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ค่าที่คำนวณได้จากการทดลองนี้สูงกว่าค่าที่ได้จากผลการทดลองของ Rastogi and Raghavarao (1997) คือมีค่า D ของน้ำอยู่ในช่วง 0.311 x 10^{-9} - 0.734 x 10^{-9} m^2/s ทั้งนี้เนื่องจากสารละลายที่เลือกใช้คนละชนิดกันและประกอบกับในการทดลองนี้มีการใช้กลีเซอรอลร่วมด้วยซึ่งกลีเซอรอลจะเป็นตัวหล่อลื่นโมเลกุลเนื่องจากเป็นสารในกลุ่มไขมัน จึงทำให้มีค่า D สูงกว่าค่าที่ได้จากการทดลองของ Rastogi and Raghavarao (1997) ที่ใช้เพียงน้ำตาลซูโครสที่ความเข้มข้น 50 ^{o}Brix เพียงอย่างเดียว ซึ่งการใช้น้ำตาลเพียงอย่างเดียวในกระบวนการออสโมซิสจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงน้ำอย่างรวดเร็วในช่วงแรกแต่เมื่อเวลาผ่านไปจะเกิดผลึกน้ำตาลเคลือบอยู่บริเวณผิวของผลิตภัณฑ์ทำให้ลดอัตราการแพร่ นอกจากนี้ในการทดลองนี้พบว่าค่าประสิทธิภาพของการทำออสโมซิสในสารละลายที่มีอุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ค่าที่ได้เมื่ออุณหภูมิของสารละลายออสโมติกเท่ากับ 40 และ 50 องศาเซลเซียส คือ 0.46 และ 0.50 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.6 ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้น (D water) และสารละลาย (D solid) และดัชนีประสิทธิภาพการลดความชื้นด้วยการออสโมซิสที่อุณหภูมิต่างๆ ที่เวลา 60 นาที

อุณหภูมิในการแช่	ค่า D water (m^2/s)	ค่า D solid (m^2/s)	ค่าประสิทธิภาพในการทำออสโมติกดีไฮเดรชัน
30 องศาเซลเซียส	3.15^{ns} x 10^{-10}	2.44^{ns} x 10^{-9}	0.13^{a}
40 องศาเซลเซียส	1.67^{ns} x 10^{-9}	3.64^{ns} x 10^{-9}	0.46^{b}
50 องศาเซลเซียส	2.53^{ns} x 10^{-9}	5.03^{ns} x 10^{-9}	0.50^{b}

หมายเหตุ : เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามแนวนอน อักษรภาษาอังกฤษกำกับต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

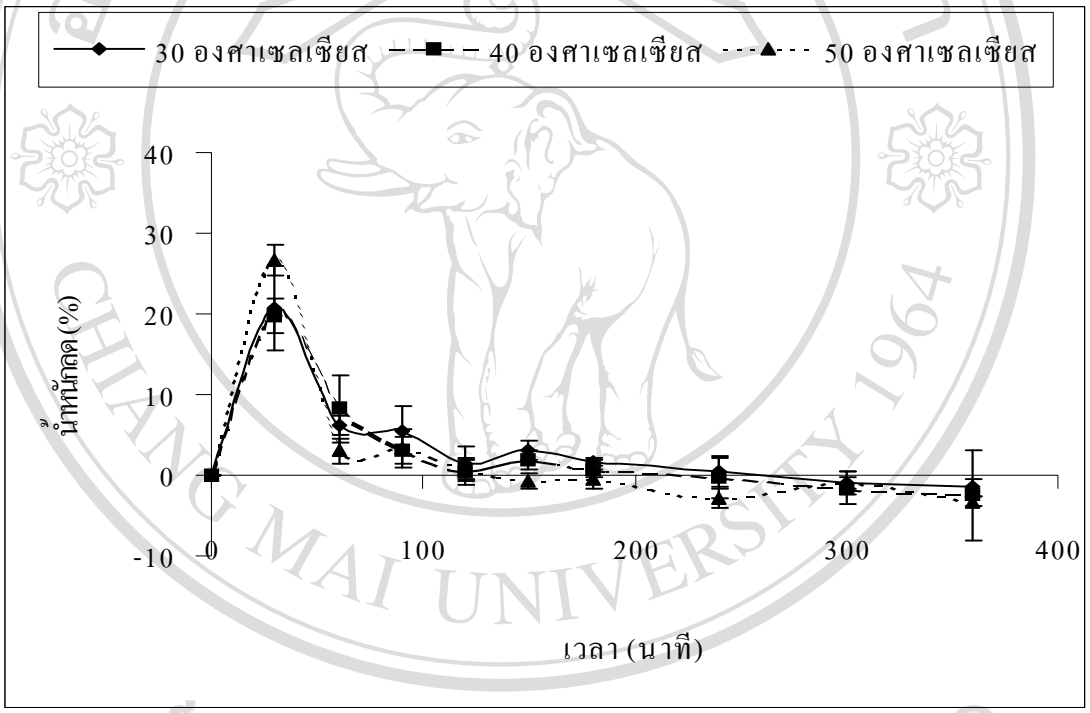
ns หมายถึง เปรียเทียบค่าเฉลี่ยตามแนวนอน ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.4.2 พฤติกรรมการอบแห้ง

จากการนำตัวอย่างแครอทที่ผ่านการออสโมซิสที่อุณหภูมิต่างๆ ไปอบแห้งในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมงแล้วบันทึกการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักทุกๆ 30 นาทีได้ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนัก (Generalized weight) ดังรูปที่ 4.17

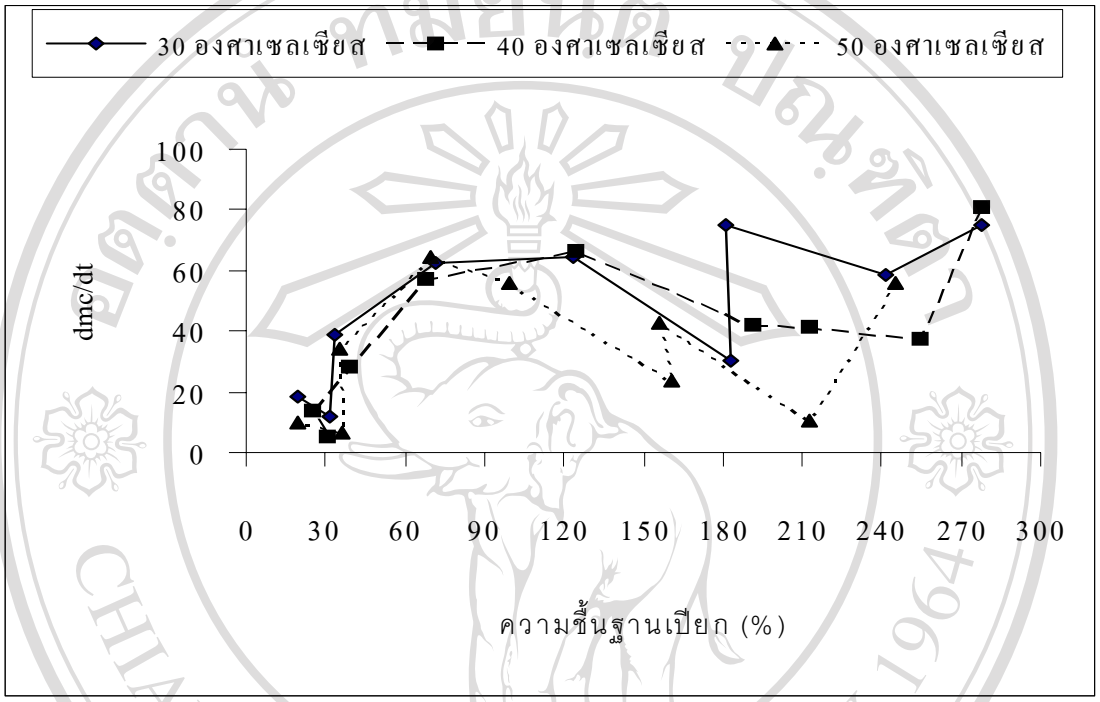
จากรูปที่ 4.17 พบว่าอุณหภูมิของสารละลายออสโมติกไม่มีผลต่อพฤติกรรมการอบแห้งของผลิตภัณฑ์ แครอทแช่อิ่มโดยพบว่าการลดลงของน้ำหนักที่ไม่แตกต่างกันในระหว่างการอบแห้ง น้ำหนักของตัวอย่างเริ่มคงที่เมื่ออบแห้งเป็นเวลา 240 นาที เมื่อนำผลการทดลองมาคำนวณหาอัตรา การอบแห้ง (Drying rate curve) ได้ผลดังรูปที่ 4.18



รูปที่ 4.17 การสูญเสียน้ำหนัก (Generalized Weight) ระหว่างการอบแห้งของแครอทที่ผ่านกระบวนการออสโมซิสที่อุณหภูมิต่างๆ

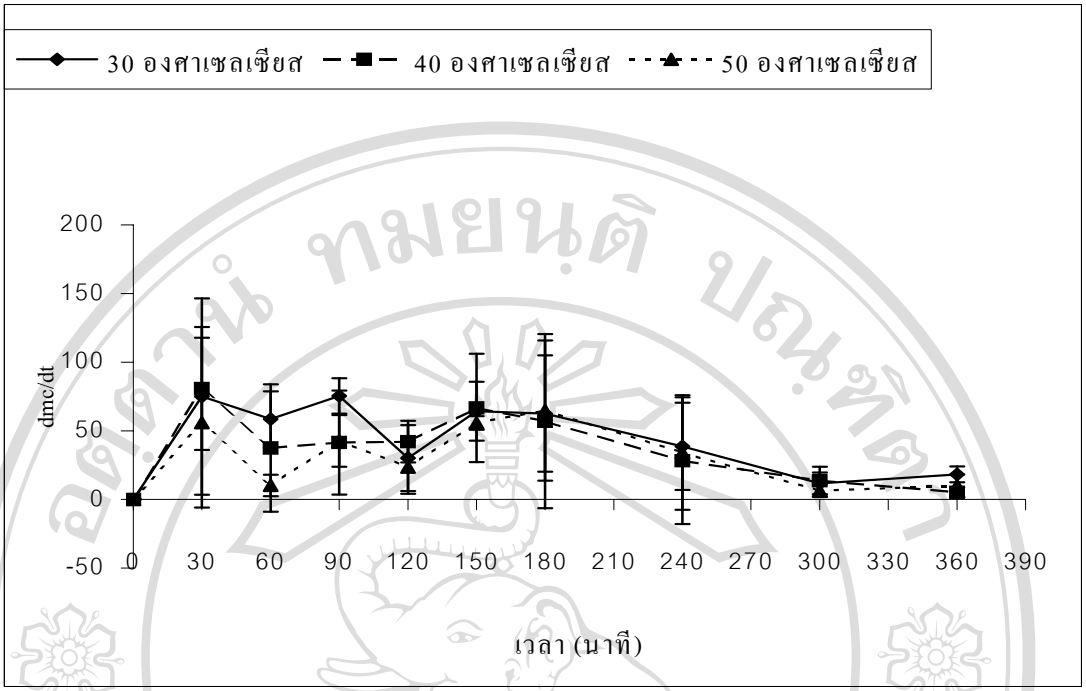
รูปที่ 4.18 จะเห็นว่าอัตราการทำแห้งของแครอทที่ผ่านการออสโมซิสที่อุณหภูมิต่างๆ มีความแตกต่างกันในช่วงแรกของการอบแห้ง แต่จะไม่แตกต่างกันหลังจากเวลา 90 นาทีของการอบแห้งสามารถแบ่งกราฟการอบแห้งออกเป็น 2 ช่วงคือ ช่วงแรกจากเวลา 0-90 นาที และช่วงที่ 2 จากเวลา 90-360 นาที (รูปที่ 4.19)ในช่วงแรกจะเห็นว่าในขณะที่ตัวอย่างยังมีความชื้นสูง อัตราการอบแห้งมีการเปลี่ยนแปลงอย่างไม่มีทิศทาง โดยปกติแล้วอาหารที่มีความชื้นสูงจะแสดงอัตราการอบแห้งที่สูงและคงที่ในช่วงแรก ซึ่งเรียกว่า ช่วงอัตราการอบแห้งคงที่ แต่ในกรณีของแครอทแช่อิ่ม

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

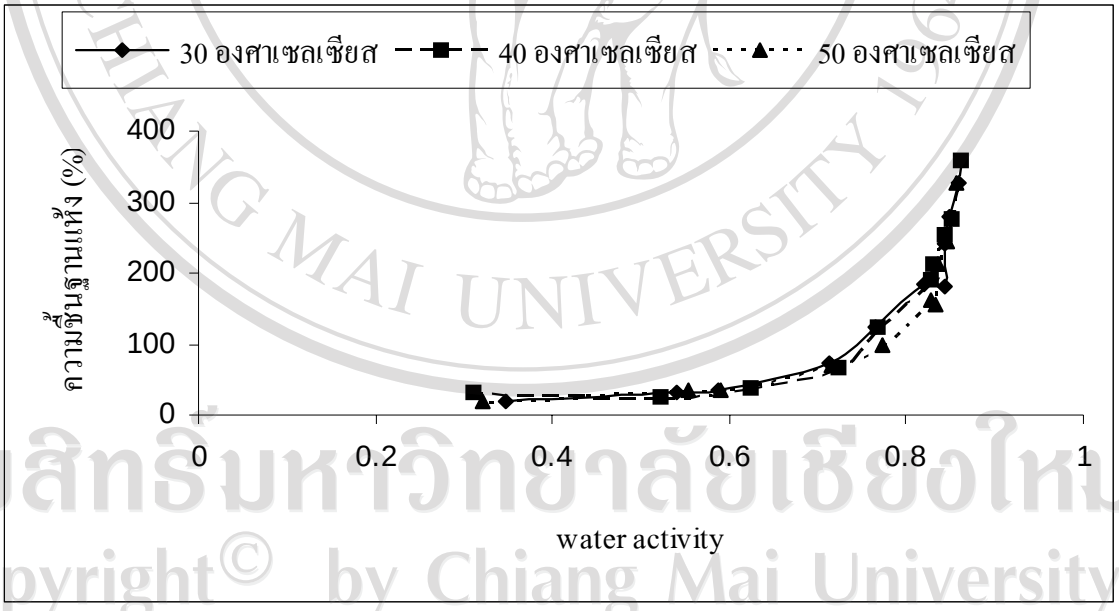


รูปที่ 4.18 อัตราการทำแห้งของแครอทแช่อิ่มอบแห้งที่แช่ในสารละลายที่อุณหภูมิต่างๆ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



รูปที่ 4.19 อัตราการทำแห้งเมื่อเวลาต่างๆของแครอทแช่อิ่มอบแห้งที่แช่ในสารละลายอุณหภูมิต่างๆ



รูปที่ 4.20 กราฟ desorption Isotherm ของแครอทแช่อิ่มอบแห้งที่แช่ในสารละลายที่อุณหภูมิต่างๆ ระหว่างการอบแห้งแบบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ในระหว่างการอบแห้งได้สุ่มตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์หาปริมาณความชื้นและค่า a_w แล้วนำผลการวิเคราะห์มาสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นและค่า a_w ได้กราฟที่เรียกว่ากราฟดีซอร์ปชันไอโซเทอร์ม (desorption isotherm) ดังแสดงในรูปที่ 4.20 จะเห็นว่าลักษณะ desorption isotherm ของแครอทอบแห้งที่ผ่านการออสโมซิสที่อุณหภูมิต่างๆนั้นใกล้เคียงกันโดยจะเห็นได้ว่าการลดลงของปริมาณความชื้นจากค่าเริ่มต้นถึงความชื้นประมาณ 170 dry basis มีผลต่อค่า a_w น้อย ซึ่งแสดงให้เห็นว่าแครอทยังมีปริมาณความชื้นอิสระค่อนข้างสูงอยู่ หลังจากนั้นการลดลงของความชื้นจะทำให้ค่า a_w ลดลง จนถึงค่า a_w ประมาณ 0.6 หลังจากนั้นค่า a_w จะลดลงโดยที่ปริมาณความชื้นลดลงน้อยมากซึ่งลักษณะ desorption isotherm นี้มีรูปร่างคล้ายตัว J และ ซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะของอาหารที่มีน้ำตาลมากนั่นเอง

จากกราฟ Desorption isotherm นี้จะทำให้สามารถควบคุมการอบแห้งให้ได้อาหารที่มีค่า a_w อยู่ในช่วงที่ปลอดภัยได้ โดยดูจากเวลาที่จะสามารถลดปริมาณความชื้นลงให้ถึงระดับที่จะทำให้ค่า a_w น้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.6 เป็นต้น

4.4.3 คุณสมบัติของแครอทแช่อิ่มอบแห้ง

หากนำตัวอย่างแครอทแช่อิ่มอบแห้งไปวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีและกายภาพได้ผลดังตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีและกายภาพ ของแครอทแช่อิ่มอบแห้ง

อุณหภูมิในการแช่อิ่ม (องศาเซลเซียส)	ผลวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีและกายภาพ						
	a_w	ความชื้น (%w/w)	ของแข็ง (%w/w)	ความแข็ง (N)	L*	a*	b*
30	$0.35^{ns} \pm 0.04$	$20.94^{ns} \pm 0.66$	$79.06^{ns} \pm 0.66$	$59.04^{ns} \pm 9.09$	$46.78^{ns} \pm 4.58$	$23.82^{a} \pm 1.56$	$29.12^{ns} \pm 3.61$
40	$0.31^{ns} \pm 0.04$	$18.50^{ns} \pm 0.89$	$81.50^{ns} \pm 0.89$	$52.08^{ns} \pm 10.5$	$49.10^{ns} \pm 1.34$	$26.68^{b} \pm 1.62$	$31.28^{ns} \pm 1.24$
50	$0.32^{ns} \pm 0.03^{s}$	$19.56^{ns} \pm 1.93$	$80.44^{ns} \pm 1.93$	$44.91^{ns} \pm 3.27$	$47.62^{ns} \pm 3.03$	$25.89^{ab} \pm 0.52$	$29.95^{ns} \pm 2.25$

หมายเหตุ : เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามแนวนอน อักษรภาษาอังกฤษกำกับต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ns หมายถึง เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามแนวนอน ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

จากผลการทดลองในตารางที่ 4.11 จะพบว่าอุณหภูมิของสารละลายที่ใช้ในการแช่แครอทสำหรับอบแห้งนั้นไม่มีผลต่อคุณสมบัติด้านต่างๆ

จากการศึกษาการเกิดออสโมซิสที่อุณหภูมิต่างๆ โดยใช้สูตรสารละลายออสโมติกที่เหมาะสมแล้วนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง ผลการทดลองแสดงไว้ในตารางที่ 4.11 พบว่า ที่อุณหภูมิของสารละลายออสโมติกในช่วง 30-50 องศาเซลเซียสไม่มีผลต่อคุณสมบัติทางเคมี และกายภาพของแครอทแช่อิ่มอบแห้งยกเว้นค่าสีแดง (a*) โดยพบว่าค่าสีแดง (a*) ตัวอย่างแครอทอบแห้งที่ผ่านการแช่อิ่มที่อุณหภูมิ 30 และ 40 องศาเซลเซียสนั้นแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) โดยตัวอย่างแครอทแช่อิ่มอบแห้งมีค่า a_w, ปริมาณความชื้น, ปริมาณของแข็ง, เนื้อสัมผัสและค่าความสว่าง (L*) อยู่ในช่วง 0.31-0.35, 18.5-20.94%, 79.06-81.50%, 44.91-59.04 N และ 46.78-49.10 ตามลำดับ

ดังนั้นจึงเลือกอุณหภูมิที่เหมาะสมจากค่าความชื้นที่ต่ำที่สุดซึ่งก็คือที่อุณหภูมิของสารละลายออสโมติก 40 องศาเซลเซียส ซึ่งมีค่าประสิทธิภาพการออสโมซิสจะต่ำกว่าที่ 50 องศาเซลเซียส แต่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

4.5 การเปรียบเทียบวิธีการอบแห้งแครอทแช่อิ่ม

ได้นำตัวอย่างแครอทแช่อิ่มโดยใช้สูตรและอุณหภูมิของสารละลายออสโมติกที่เหมาะสมไปอบแห้งด้วยวิธีอบแห้งแบบต่างๆแล้วเปรียบเทียบคุณภาพทางเคมี กายภาพ และประสาทสัมผัสได้ผลดังตารางที่ 4.8

4.5.1 คุณสมบัติทางเคมี กายภาพ และประสาทสัมผัส

จากตาราง 4.8 พบว่า ปริมาณความชื้นของแครอทแช่อิ่มอบแห้งด้วยวิธีต่างๆแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยพบว่าการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง มีความชื้นน้อยที่สุดคือ 8.47% ในขณะที่ การทำแห้งแบบลมร้อน มีความชื้นต่ำรองลงมาคือ 15.46% และต่ำสุดก็คือการทำแห้งแบบไมโครเวฟ โดยมีความชื้นเท่ากับ 30.62% โดยทั่วไปนั้นนิยมจะใช้การอบแห้งแบบไมโครเวฟร่วมกับวิธีการทำแห้งแบบอื่นเพื่อลดพลังงานและเวลาในการทำแห้งลงแต่ไม่นิยมนำมาใช้อบแห้งเพียงอย่างเดียว เนื่องจากมีปัญหาในเรื่องของแผ่นแมกนิตรอนที่ใช้จะมีความสามารถในการทนความร้อนได้ไม่สูงมากนัก หากผลิตภัณฑ์มีปริมาณน้ำตาลที่สูงแล้วจะมีผลต่อการลดการสูญเสียของน้ำทำให้ไม่สามารถลดปริมาณความชื้นได้มากเท่ากับวิธีการอบแห้งวิธีอื่น และหากใช้เวลาอบเพิ่มขึ้นก็จะทำให้ผลิตภัณฑ์เกิดการไหม้ได้ ส่วนปริมาณของแข็งในตัวอย่างที่ได้จากวิธีการอบแห้งต่างๆนั้น แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) คือมีค่าเท่ากับ 91.53, 84.54 และ 69.36 %

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

จากการนำผลิตภัณฑ์แครอทแช่อิ่มอบแห้งที่ผ่านกระบวนการอบแห้งด้วยวิธีต่างๆ มาทำการตรวจหาจำนวนเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด และ จำนวนยีสต์ราทั้งหมดโดยวิธีของ AOAC (2000) พบว่าไม่พบการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ ยีสต์และรา ที่ระดับ 10^{-1}, 10^{-2} และ 10^{-3} ตามลำดับซึ่งตรงกับมาตราฐานของผลิตภัณฑ์อบแห้งที่กระทรวงอุตสาหกรรมกำหนด (ภาคผนวก ข)

ได้นำแครอทที่ผ่านการแช่อิ่มอบแห้งด้วยวิธีต่างๆ มาทดสอบทางประสาทสัมผัส โดยวิธี 9 point hedonic scale พบว่า ผู้ทดสอบชิมให้คะแนนความชอบด้านสีของแครอทที่ผ่านการทำแห้งแบบไมโครเวฟมากที่สุด ตามด้วยการทำแห้งแบบลมร้อน และ การทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง โดยได้ค่าความชอบเท่ากับ 7.59, 6.07 และ 3.06 ตามลำดับทั้งนี้อาจเนื่องจากการทำแห้งแบบไมโครเวฟเป็นการให้ความร้อนกระจายตัวสม่ำเสมอและทั่วถึงทั้ง ผลิตภัณฑ์ทำให้มีสีที่สม่ำเสมอ (กิตติพงษ์, มปป) และการอบแห้งแครอทแช่อิ่มด้วยไมโครเวฟและลมร้อนไม่ทำให้คะแนนความชอบด้านสีแตกต่างกัน ($p \geq 0.05$) แครอทแช่อิ่มอบแห้งด้วยไมโครเวฟได้คะแนนความชอบด้านกลิ่นมากที่สุด

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ความชอบด้านรสหวานก็ได้ผลเช่นเดียวกันกับความชอบด้านกลิ่นแครอทและสีแครอท โดยมีคะแนนความชอบดังนี้ 5.94, 5.88 และ 4.00 สำหรับตัวอย่างที่ผ่านการอบแห้งด้วยไมโครเวฟลมร้อนและเยือกแข็ง ตามลำดับจากคะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัส พบว่ามีผลเช่นเดียวกับค่าความชอบด้านอื่นๆ เมื่อดูจากตารางจะพบว่า ค่าแรงที่ใช้ในการตัดชิ้นแครอทที่ผ่านการทำแห้งแบบไมโครเวฟมีค่าต่ำที่สุด แสดงให้เห็นว่าผู้บริโภคชอบผลิตภัณฑ์ที่มีเนื้อสัมผัสที่นิ่มมากกว่าเนื้อสัมผัสที่แข็ง ซึ่งสอดคล้องกับตอนที่ 4.1 จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของคะแนนความชอบในด้านสี กลิ่น รสหวานและเนื้อสัมผัส ผู้ทดสอบชิมชอบแครอทที่ผ่านการอบแห้งแบบไมโครเวฟและลมร้อน มากกว่า แครอทที่ผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ความชอบรวมพบว่าผู้ทดสอบทุกคนชอบแครอทแช่อิ่มอบแห้งที่ผ่านการทำแห้งแบบไมโครเวฟมากที่สุด อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยได้คะแนนความชอบรวมเท่ากับ 7.00 ชอบแครอทแช่อิ่มอบแห้งที่ผ่านการทำแห้งแบบลมร้อน และแครอทแช่อิ่มอบแห้งที่ผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งรองลงมาตามลำดับ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.8 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมี กายภาพ และจุลชีววิทยาของแครอทแช่อิ่มที่ผ่านกระบวนการอบแห้งวิธีต่างๆ

คุณสมบัติ	วิธีการอบแห้ง		
	ลมร้อน	แช่เยือกแข็ง	ไมโครเวฟ
คุณสมบัติทางเคมี			
a_w	0.34 ± 0.05^{b}	0.15 ± 0.00^{a}	0.49 ± 0.00^{c}
MC (%w/w)	15.46 ± 0.79^{b}	8.47 ± 0.35^{a}	30.62 ± 0.57^{c}
Solid (%w/w)	84.54 ± 0.79^{b}	91.53 ± 0.35^{c}	69.38 ± 0.57^{a}
คุณสมบัติทางกายภาพ			
แรงตัดขาด (N)	61.57 ± 2.88^{b}	142.38 ± 11.14^{c}	47.02 ± 1.64^{a}
L*	52.62 ± 1.21^{a}	61.77 ± 6.05^{b}	50.84 ± 3.42^{a}
a*	26.71 ± 1.66^{ab}	24.91 ± 1.09^{a}	29.03 ± 0.86^{b}
b*	30.69 ± 4.31^{ns}	35.33 ± 2.48^{ns}	36.00 ± 3.07^{ns}
คุณสมบัติทางจุลชีววิทยา			
จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด (CFU/g)	$< 10^{ns}$	$<10^{ns}$	$<10^{ns}$
จำนวน ยีสต์และรา (CFU/g)	$<10^{ns}$	$<10^{ns}$	$<10^{ns}$
คุณสมบัติทางประสาทสัมผัส			
ความชอบด้านสี	$6.47^{b} + 1.81$	$3.06^{a} + 1.82$	$7.59^{b} + 1.33$
ความชอบด้านกลิ่น	$5.59^{b} + 1.06$	$3.29^{a} + 1.69$	$6.12^{b} + 1.27$
ความชอบด้านรสหวาน	$5.88^{b} + 1.17$	$4.00^{a} + 1.32$	$5.94^{b} + 1.20$
ความชอบด้านเนื้อสัมผัส	$6.12^{b} + 0.99$	$3.53^{a} + 1.62$	$6.53^{b} + 1.28$
ความชอบรวม	$6.18^{b} + 1.01$	$3.24^{a} + 1.25$	$7.00^{c} + 1.22$

หมายเหตุ : เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามแนวนอน อักษรภาษาอังกฤษกำกับต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ns หมายถึง เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามแนวนอน ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.5.2 ผลของวิธีการอบแห้งต่อปริมาณแคโรทีน

จากการทดลองได้สูตรของสารละลายออสโมติกที่เหมาะสมร่วมกับอุณหภูมิที่เหมาะสมในการแช่แครอทแช่อิ่มอบแห้งจึงนำมาทำการอบแห้งด้วยวิธีการต่างๆประกอบด้วย การอบแห้งแบบลมร้อน การอบแห้งแบบ แช่เยือกแข็ง และแบบไมโครเวฟนำสิ่งทดลองทั้งหมดมาทำการวิเคราะห์หาปริมาณแคโรทีนอยด์และเบต้าแคโรทีนทั้งหมด โดย UV-vis spectrophotometer (AOAC, 2000)

ตารางที่ 4.9 ปริมาณแคโรทีนอยด์ทั้งหมดและ เบต้าแคโรทีนของแครอทแช่อิ่มอบแห้งที่ผ่านกระบวนการอบแห้งแบบต่างๆ

สิ่งทดลอง	แคโรทีนอยด์ทั้งหมด (mg/g solid)	เบต้าแคโรทีน (mg/g solid)
แครอทสด	$3.14^{a} \pm 0.14$	$3.31^{a} \pm 0.11$
แครอทแช่อิ่มอบแห้งที่ผ่านการอบแห้งแบบลมร้อน	$0.11^{b} \pm 0.01$	$0.11^{b} \pm 0.01$
แครอทแช่อิ่มอบแห้งที่ผ่านการอบแห้งแบบแช่เยือกแข็ง	$0.11^{b} \pm 0.01$	$0.11^{b} \pm 0.01$
แครอทแช่อิ่มอบแห้งที่ผ่านการอบแห้งแบบไมโครเวฟ	$0.14^{b} \pm 0.01$	$0.17^{b} \pm 0.01$

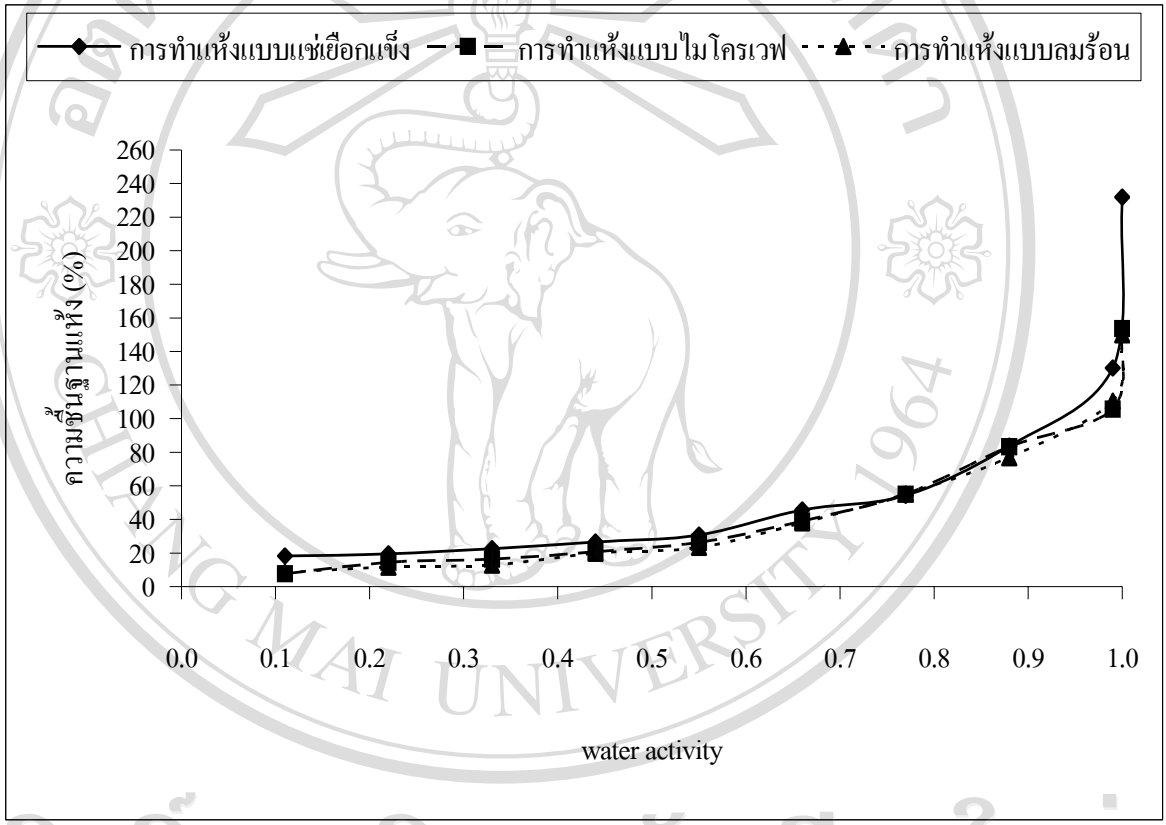
หมายเหตุ : เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามแนวตั้ง อักษรภาษาอังกฤษกำกับต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

จากตารางที่ 4.9 พบว่า แครอทแช่อิ่มอบแห้งที่ผ่านกระบวนการอบแห้งทุกวิธีมีปริมาณแคโร ทีนอยด์และเบต้าแคโรทีนลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ ($p \leq 0.05$) เมื่อเทียบกับแครอทสด เมื่อเปรียบเทียบระหว่างวิธีการอบแห้งต่างๆ พบว่า การอบแห้งแบบไมโครเวฟทำให้มีปริมาณแคโรทีนอยด์ทั้งหมด และเบต้าแคโรทีนสูงกว่า การอบแห้งแบบแช่เยือกแข็งและการอบแห้งแบบลมร้อน ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Lin et al. (1998) เนื่องจากการทำแห้งแบบไมโครเวฟเป็นการทำแห้งที่ให้ความร้อนทั่วถึงทั้งชิ้นและภายใต้ความดันสูงทำให้ลดการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่นกับอากาศ (นิธิยา, 2543) ได้ทำให้คงเหลือปริมาณของแคโรทีนอยด์และเบต้าแคโรทีนมากกว่าการทำแห้งวิธีอื่นๆ ส่วนการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง และแบบลมร้อนไม่มีความแตกต่างกัน และจากการ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

4.5.3 Adsorption Isotherm ของแครอทแช่อิ่มอบแห้ง

ได้นำตัวอย่างแครอทที่ผ่านการอบแห้งชนิดต่างๆแล้วมาเก็บในโถที่มีการควบคุมค่า water activity ต่างๆกัน ตั้งแต่ 0.1-1.0 ณ อุณหภูมิห้องเก็บไว้เป็นเวลา 2 สัปดาห์แล้วนำมาวิเคราะห์หาค่าความชื้นและสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ความชื้น และ a_w ได้ดังรูปที่ 4.21



รูปที่ 4.21 กราฟ sorption isotherm ของแครอทแช่อิ่มอบแห้งที่ผ่านกระบวนการอบแห้งแบบต่างๆ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

จากรูปที่ 4.21 ตัวอย่างแครอทแช่อิ่มอบแห้งด้วยวิธีต่างๆ มีลักษณะ sorption Isotherm ที่ไม่แตกต่างกันแต่พบว่าที่ a_w สูงนั้นแครอทแช่อิ่มอบแห้งที่ผ่านการอบแห้งแบบแช่เยือกแข็งมีค่าความชื้นสูงที่สุด เนื่องจากแครอทที่ผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งจะมีความสามารถในการดูดความชื้นจากสิ่งแวดล้อมได้ดีกว่า สาเหตุมาจากการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งนั้นเป็นการเปลี่ยนสถานะของน้ำจากของแข็งกลายเป็นไอทำให้เกิดช่องว่างหรือรูอากาศเกิดขึ้นในอาหารทำให้อาหารสามารถที่จะดูดจับกับความชื้นได้ดีกว่า ทำให้ค่าความชื้นที่ได้มีค่าสูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับการทำแห้งแบบอื่นๆ ที่ระดับ a_w เดียวกัน หลังจากนั้นความชื้นจะลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อ a_w ลดลง

–

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved