บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์

4.1 ผลของความเข้มข้นของสารละลายกรดแอสคอร์บิคและเวลาในการแช่ต่อการลดการเกิดสีน้ำตาลในแอปเปิลที่ผ่านการเตรียมด้วยสนามไฟฟ้าความเข้มสูงกระตุ้นเป็นจังหวะ

ระหว่างการเตรียมแอปเปิลโดยการหั่นได้เกิดสีน้ำตาลขึ้นที่ผิวของแอปเปิล ซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาสีน้ำตาลที่เร่งด้วยเอนไซม์ เนื่องจากเนื้อเยื่อเซลล์พืชเสียหายจากการหั่น โดยเอนไซม์พอลิฟีนอลออสซิเดส (PPO) ทำปฏิกิริยาออกซิเดชันได้เป็นสารประกอบเชิงซ้อนสีน้ำตาล นอกจากนั้นในการทดลอง ได้มีการศึกษานำสนามไฟฟ้าความเข้มสูงกระตุ้นเป็นจังหวะ (PEF) มาทำการเตรียมขั้นต้นก่อนกระบวนการทำแห้งแบบออสโมติกเพื่อเพิ่มอัตราการถ่ายเทมวล แต่เมื่อนำแอปเปิลสดที่ผ่านการหั่นมาทำการเตรียมโดยผ่าน PEF ชิ้นแอปเปิลได้เกิดสีน้ำตาลเพิ่มมากขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับแอปเปิลสด (ดังแสดงในตาราง 4.1) โดยทำการวิเคราะห์การเกิดสีน้ำตาลของชิ้นแอปเปิลโดยการวัดสี L* a* และ b* คำนวณหาค่าดัชนีการเกิดสีน้ำตาล (Browning index, BI) จากสมการ (3.1) และ (3.2) โดยแสดงผลการทดลองดังนี้

ตาราง 4.1 ค่าดัชนีการเกิดสีน้ำตาล (BI) ของแอปเปิลสดและแอปเปิลที่ผ่านเตรียมด้วย PEF เมื่อเวลาผ่านไป

เวลา (นาที)	ค่า BI	
	แอปเปิลสด	ผ่านการเตรียมด้วย PEF
0	25.659^{a}±1.193	44.148^{a}±7.345
20	26.235^{a}±2.263	50.093^{a}±8.246
40	25.885^{a}±1.577	54.681^{a}±9.575
60	25.847^{a}±1.528	56.825^{a}±10.279

หมายเหตุ : 1) ตัวอักษรที่ไม่แตกต่างกันในแต่ละคอลัมน์ หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p>0.05$)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

จากตาราง 4.1 แสดงค่าดัชนีการเกิดสีน้ำตาลของแอปเปิลสดและแอปเปิลที่ผ่านการเตรียมด้วย PEF พบว่าแอปเปิลสดมีค่าดัชนีสีน้ำตาลที่เวลา 0 นาทีเท่ากับ 25.659±1.193 และเมื่อทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 60 นาที ค่าดัชนีการเกิดสีน้ำตาลของแอปเปิลสดมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) และเมื่อพิจารณาแอปเปิลที่ผ่านการเตรียมด้วย PEF มีค่าดัชนีการเกิดสีน้ำตาลเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับแอปเปิลสด ที่เวลา 0 นาที แอปเปิลที่ผ่านการเตรียมด้วย PEF มีค่าเท่ากับ 44.148±7.345 สาเหตุที่แอปเปิลที่ผ่านการเตรียมด้วย PEF มีสีน้ำตาลเกิดขึ้นมากกว่าแอปเปิลสดเพราะการทำงานของ PEF เข้าไปทำลายเยื่อหุ้มเซลล์ของแอปเปิล องค์ประกอบภายในเซลล์จึงถูกปลดปล่อยออกมาอยู่นอกเซลล์และทำปฏิกิริยาออกซิเดชันระหว่างสารประกอบฟีนอลและเอนไซม์ PPO เนื่องจากลักษณะเฉพาะของแอปเปิลมีรูพรุน ภายในเซลล์จึงมีช่องว่างระหว่างเซลล์ซึ่งประกอบไปด้วยอากาศแทรกอยู่เป็นจำนวนมาก ดังนั้นจึงเกิดสีน้ำตาลทั้งภายในเซลล์และที่ผิวของแอปเปิล และเมื่อเวลาผ่านไป 60 นาที แอปเปิลที่ผ่านการเตรียมด้วย PEF มีค่าดัชนีการเกิดสีน้ำตาลไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

ดังนั้นได้มีการศึกษาการยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลโดยการแช่ชิ้นแอปเปิลในสารละลายกรดแอสคอร์บิค เพื่อให้ประสิทธิภาพการทำงานของกรดแอสคอร์บิคมีประสิทธิภาพมากขึ้น ได้นำเทคนิคการแทรกซึมภายใต้สุญญากาศ (vacuum impregnation, VI) มาทำการเตรียมร่วมกับการแช่สารละลายกรดแอสคอร์บิค VI จะช่วยผลักดันสารละลายกรดแอสคอร์บิคเข้าไปแทนที่อากาศที่แทรกอยู่ในช่องว่างระหว่างเซลล์ในเนื้อเยื่อแอปเปิลมากขึ้น โดยแสดงเป็นค่าดัชนีการเกิดสีน้ำตาลของแอปเปิลที่ผ่านการยับยั้งปฏิกิริยาสีน้ำตาลโดยการแช่แอปเปิลในสารละลายกรดแอสคอร์บิคเข้มข้น 3 ระดับ ได้แก่ 1 2 และ 3 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักร่วมกับเทคนิค VI ดังแสดงในตาราง 4.2

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 4.2 ค่าดัชนีการเกิดสีน้ำตาลของแอปเปิลที่ผ่านการยับยั้งปฏิกิริยาสีน้ำตาลในสารละลายกรดแอสคอร์บิคที่ความเข้มข้นต่างๆ ร่วมกับเทคนิค VI เมื่อเวลาผ่านไป

สารละลายกรดแอสคอร์บิคเข้มข้น (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก)	เวลา (นาที)	**ค่า BI** ผ่านการเตรียมด้วย VI
1	0	22.971^{a}±1.420
	20	22.114^{ab}±1.330
	40	21.411^{ab}±1.113
	60	20.864^{b}±1.159
2	0	26.908^{a}±2.749
	20	25.396^{a}±3.230
	40	24.107^{a}±2.766
	60	23.841^{a}±1.159
3	0	21.443^{a}±1.576
	20	19.910^{ab}±3.230
	40	19.244^{b}±2.767
	60	18.728^{b}±2.948

หมายเหตุ : 1) ตัวอักษรที่แตกต่างกันในคอลัมน์ หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p \leq 0.05$)

จากตาราง 4.2 แสดงค่าดัชนีการเกิดสีน้ำตาลของแอปเปิลที่ผ่านการยับยั้งปฏิกิริยาสีน้ำตาลโดยแช่ในสารละลายกรดแอสคอร์บิคร่วมกับเทคนิค VI พบว่า แอปเปิลที่แช่ในสารละลายกรดแอสคอร์บิคเข้มข้น 1 และ 3 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักร่วมกับเทคนิค VI มีค่าดัชนีการเกิดสีน้ำตาลลดลงเมื่อเวลาผ่านไป 60 นาที อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ส่วนแอปเปิลที่แช่ในสารละลายกรดแอสคอร์บิคเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักร่วมกับเทคนิค VI มีค่าดัชนีการเกิดสีน้ำตาลไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) เมื่อเวลาผ่านไป 60 นาที เหตุผลที่แอปเปิลที่แช่ในสารละลายกรดแอสคอร์บิคเข้มข้น 1 และ 3 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักร่วมกับเทคนิค VI มีค่าดัชนีการเกิดสีน้ำตาลลดลง อาจเนื่องมาจากการทำงานของสารละลายกรดแอสคอร์บิคซึ่งเป็นสารรีดิวส์ซิงเอเจนต์ ซึ่งมีหน้าที่เข้าไปยับยั้งการปฏิกิริยาออกซิเดชันของเอนไซม์ PPO ของแอปเปิล และจากการผลักดันสารละลายกรดแอสคอร์บิคเข้าไปในช่องว่างระหว่างเซลล์ภายในเนื้อเยื่อแอปเปิลมากขึ้นโดยเทคนิค VI ทำให้เซลล์ของแอปเปิลมีสภาพแต่งไปด้วยสารละลายกรดแอสคอร์บิค เมื่อทำการวัดค่าสีแอปเปิลจะมีค่าความสว่างมากขึ้น จากการแปรค่าเป็นดัชนีการเกิดสีน้ำตาล เมื่อเวลาผ่านไปแอปเปิลมีแนวโน้มการเกิดสีน้ำตาลลดลง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ในการศึกษาเปรียบเทียบการเพิ่มประสิทธิภาพของสารละลายกรดแอสคอร์บิคต่อการยับยั้งปฏิกิริยาสีน้ำตาลของแอปเปิลที่ผ่านการเตรียมขั้นต้นด้วย PEF ร่วมกับเทคนิค VI และไม่ใช้เทคนิค VI โดยแสดงค่าดัชนีการเกิดสีน้ำตาลของแอปเปิลที่แช่ในสารละลายกรดแอสคอร์บิคเข้มข้น 1 2 และ 3 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ร่วมกับ VI แล้วจึงนำชิ้นแอปเปิลมาผ่าน PEF หลังจากนั้นนำแอปเปิลไปแช่ในสารลายกรดแอสคอร์บิคอีกครั้งที่ความเข้มข้นเดียวกันในสภาวะความดันบรรยากาศเป็นเวลา 3 4 และ 5 นาที เปรียบเทียบกับแอปเปิลที่ผ่านการเตรียมด้วย PEF แล้วแช่ในสารละลายกรดแอสคอร์บิคเข้มข้น 1 2 และ 3 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักที่ความดันบรรยากาศเป็นเวลา 3 4 และ 5 นาที เพื่อหาความเข้มข้นสารละลายกรดแอสคอร์บิคและเวลาในการแช่ที่เหมาะสมต่อการยับยั้งปฏิกิริยาสีน้ำตาลได้อย่างมีประสิทธิภาพ ดังแสดงในตาราง 4.3

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 4.3 ค่าดัชนีการเกิดสีน้ำตาลของแอปเปิลที่ผ่านการเตรียมด้วย PEF แล้วแช่ในสารละลายกรดแอสคอร์บิคเปรียบเทียบกับแอปเปิล

สารละลายกรดแอสคอร์บิคเข้มข้น (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก)	เวลา (นาที)	ค่า BI					
		ผ่านการเตรียมด้วย PEF แล้วแช่ในสารละลายกรดแอสคอร์บิค			ผ่านการเตรียมด้วย VI และ PEF แล้วแช่ในสารละลายกรดแอสคอร์บิค		
		เวลาในการแช่ (นาที)			เวลาในการแช่ (นาที)		
		3	4	5	3	4	5
1	0	35.009^{a}±4.896	33.993^{c}±5.312	38.620^{a}±8.124	23.812^{b}±3.056	26.016^{b}±1.691	23.773^{b}±1.811
	20	40.344^{a}±8.647	44.337^{b}±6.668	46.754^{ab}±9.760	25.960^{ab}±3.056	27.865^{ab}±1.695	25.812^{ab}±2.125
	40	44.337^{a}±9.778	52.808^{ab}±7.582	54.118^{b}±9.834	27.297^{ab}±3.110	28.863^{ab}±1.951	26.881^{ab}±2.106
	60	46.665^{a}±10.799	58.629^{a}±8.007	57.808^{b}±11.322	28.641^{a}±3.396	30.710^{a}±2.686	27.757^{a}±2.993
2	0	40.750^{a}±13.161	40.175^{a}±8.710	45.115^{a}±10.111	23.357^{a}±1.773	20.954^{b}±1.508	21.718^{c}±1.211
	20	45.501^{a}±14.733	45.158^{ab}±6.358	48.762^{a}±9.818	24.847^{a}±2.550	22.140^{ab}±1.598	23.634^{b}±0.622
	40	48.769^{a}±14.593	49.121^{ab}±6.161	52.204^{a}±10.176	24.954^{a}±3.023	23.264^{a}±1.667	24.222^{ab}±1.012
	60	51.242^{a}±15.609	51.741^{b}±6.024	56.325^{a}±8.650	25.557^{a}±2.014	23.537^{a}±1.668	25.100^{a}±1.034
3	0	31.398^{b}±2.812	37.968^{a}±4.703	39.100^{a}±2.501	20.304^{a}±1.310	20.425^{a}±3.674	18.919^{a}±3.210
	20	33.005^{ab}±2.979	39.934^{a}±4.860	40.186^{a}±2.417	21.300^{a}±1.230	21.723^{a}±4.453	21.072^{a}±2.953
	40	35.260^{ab}±2.929	40.234^{a}±5.831	41.338^{a}±2.342	21.485^{a}±1.356	22.348^{a}±4.660	21.926^{a}±3.109
	60	37.701^{a}±4.480	41.918^{a}±7.618	43.232^{a}±4.229	22.027^{a}±1.258	22.398^{a}±4.668	22.396^{a}±3.112

หมายเหตุ : 1) ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแต่ละคอลัมน์ หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p \leq 0.05$)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

จากตาราง 4.3 เมื่อพิจารณาแอปเปิลที่ผ่านการเตรียมด้วย PEF แล้วแช่ในสารละลายกรดแอสคอร์บิคที่ระดับความเข้มข้น 1 2 และ 3 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก เป็นเวลา 3 4 และ 5 นาที พบว่า ที่ความเข้มข้นสารละลายกรดแอสคอร์บิคเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก แช่แอปเปิลเป็นเวลา 3 นาที เมื่อเวลาผ่านไป 60 นาที ค่าดัชนีการเกิดสีน้ำตาลไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) แต่เมื่อแช่แอปเปิลเป็นเวลา 4 และ 5 นาที ค่าดัชนีการเกิดสีน้ำตาลมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) อาจเนื่องมาจากสารละลายกรดแอสคอร์บิคมีความเข้มข้นเจือจางเกินไป ไม่เพียงพอต่อการยับยั้งปฏิกิริยาสีน้ำตาลในแอปเปิล จึงทำให้แอปเปิลมีสีน้ำตาลเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาผ่านไป และอาจเนื่องมาจากการแช่แอปเปิลในสารละลายกรดแอสคอร์บิคช่วยยับยั้งปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่ผิวของแอปเปิลเท่านั้น แต่ภายในเซลล์ของแอปเปิลเอนไซม์ PPO ยังทำงานอยู่ ถึงแม้จะแช่แอปเปิลในสารละลายกรดแอสคอร์บิคนานขึ้นก็ไม่สามารถยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลภายในเซลล์ของชิ้นแอปเปิลได้ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Son *et al*. (2001) กล่าวว่า การแช่แอปเปิลในสารละลายกรดแอสคอร์บิคเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ไม่เพียงพอต่อการยับยั้งปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล เมื่อเวลาผ่านไปแอปเปิลจะกลับมาคล้ำอีก และเมื่อพิจารณาสารละลายกรดแอสคอร์บิคเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก แช่เป็นเวลา 3 และ 5 นาที ให้ค่าดัชนีการเกิดสีน้ำตาลของแอปเปิลไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) เมื่อเวลาผ่านไปเป็นเวลา 60 นาที ส่วนการแช่ในสารละลายกรดแอสคอร์บิคเป็นเวลา 4 นาที มีค่าดัชนีการเกิดสีน้ำตาลเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) เมื่อเวลาผ่านไป 60 นาที อาจเนื่องมาจากการเพิ่มความเข้มข้นสารละลายกรดแอสคอร์บิคสามารถยับยั้งปฏิกิริยาสีน้ำตาลที่ผิวของแอปเปิลได้ และเมื่อเวลาผ่านไปแอปเปิลไม่มีแนวโน้มการเกิดสีน้ำตาล ส่วนการแช่ในสารละลายกรดแอสคอร์บิคเข้มข้น 3 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักให้ผลการทดลองใกล้เคียงกับการแช่ในสารละลายกรดแอสคอร์บิคเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก คือ เมื่อเวลาผ่านไปค่าดัชนีการเกิดสีน้ำตาลไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) แต่ในการแช่แอปเปิลที่ผ่านการเตรียมด้วย PEF ในสารละลายกรดแอสคอร์บิคเข้มข้น 2 และ 3 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก เป็นเวลา 3 4 และ 5 นาที พบว่าแอปเปิลมีค่าดัชนีการเกิดสีน้ำตาลค่อนข้างสูงอยู่เมื่อเปรียบเทียบกับแอปเปิลสด แต่ก็มีค่าน้อยกว่าแอปเปิลที่ผ่านการเตรียมด้วย PEF (ตาราง 4.1) ดังนั้นการแช่แอปเปิลในสารละลายกรดแอสคอร์บิคเพื่อยับยั้งปฏิกิริยาสีน้ำตาลโดยไม่ผ่านการใช้เทคนิค VI ร่วมด้วย ไม่เพียงพอต่อการยับยั้งปฏิกิริยาสีน้ำตาลในแอปเปิลได้ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Oms-Oliu *et al*. (2006) ที่กล่าวว่า การแช่ลูกแพร์สดที่ผ่านการหั่นในสารละลายกรดแอสคอร์บิคเพียงอย่างเดียวไม่สามารถป้องกันการดำของลูกแพร์ได้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

พิจารณาแอปเปิลที่ผ่านการแช่ในสารละลายกรดแอสคอร์บิคที่ระดับความเข้มข้น 1 2 และ 3 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ร่วมกับเทคนิค VI แล้วนำแอปเปิลไปผ่านการเตรียมด้วย PEF และแช่ในสารละลายกรดแอสคอร์บิคที่ความเข้มข้นเดียวกันที่สภาวะความดันบรรยากาศเป็นเวลา 3 4 และ 5 นาที พบว่า ในสารละลายกรดแอสคอร์บิคเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก เมื่อเวลาผ่านไป 60 นาที แอปเปิลมีค่าดัชนีการเกิดสีน้ำตาลเพิ่มขึ้นเล็กน้อยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) และเวลาที่ใช้ในการแช่สารละลายกรดแอสคอร์บิคทั้งสามเวลามีแนวโน้มการเกิดสีน้ำตาลเป็นไปในทิศทางเดียวกัน เมื่อพิจารณาสารละลายกรดแอสคอร์บิคเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก เวลาที่ใช้แช่ในสารละลาย 3 นาที พบว่าเมื่อเวลาผ่านไป 60 นาที แอปเปิลมีค่าดัชนีการเกิดสีน้ำตาลไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) และมีค่าดัชนีการเกิดสีน้ำตาลน้อยกว่าแอปเปิลที่ผ่านการเตรียมด้วย PEF และแช่ในสารละลายกรดแอสคอร์บิคเพียงอย่างเดียว (ไม่ใช้เทคนิค VI) ที่ความเข้มข้นสารละลายกรดแอสคอร์บิคและเวลาที่ใช้แช่เดียวกัน (Ruhiye, 2003) และเมื่อพิจารณาสารละลายกรดแอสคอร์บิคเข้มข้น 3 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก เวลาที่ใช้แช่ในสารละลาย 3 4 และ 5 นาที พบว่าเมื่อเวลาผ่านไป 60 นาที ค่าดัชนีการเกิดสีน้ำตาลในแอปเปิลไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) แสดงว่าเวลาที่ใช้แช่ในสารละลายกรดแอสคอร์บิคเข้มข้น 3 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ไม่ส่งผลต่อเพิ่มขึ้นของดัชนีการเกิดสีน้ำตาลเมื่อเวลาผ่านไปที่อุณหภูมิห้อง

จากผลการทดลองเพื่อศึกษาการยับยั้งปฏิกิริยาสีน้ำตาลในแอปเปิลที่ผ่านการเตรียมด้วย PEF เพื่อเพิ่มอัตราการถ่ายเทมวลก่อนกระบวนการทำแห้งแบบออสโมติก โดยพิจารณาผลของความเข้มข้นสารละลายกรดแอสคอร์บิคและเวลาในการแช่แอปเปิลในสารละลายกรดแสคอร์บิคร่วมกับการใช้เทคนิค VI และไม่ใช้เทคนิค VI พบว่าการใช้เทคนิค VI ในกระบวนการยับยั้งปฏิกิริยาสีน้ำตาล สามารถลดการเกิดสีน้ำตาลในแอปเปิลได้อย่างมีประสิทธิภาพ และให้ค่าการเกิดสีน้ำตาลลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างที่ไม่ใช้เทคนิค VI ผลของความเข้มข้นสารละลายกรดแอสคอร์บิคต่อการยับยั้งปฏิกิริยาสีน้ำตาล พบว่า เมื่อเพิ่มความเข้มข้นสารละลายกรดแอสคอร์บิค ค่าดัชนีการเกิดสีน้ำตาลในแอปเปิลมีค่าไม่แตกต่างกันเมื่อเวลาผ่านไปที่อุณหภูมิห้อง และสารละลายกรดแอสคอร์เข้มข้น 2 และ 3 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก มีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงการเกิดสีน้ำตาลเมื่อเวลาผ่านไปใกล้เคียงกัน อีกทั้งการเพิ่มเวลาที่ใช้แช่ไม่ส่งผลต่อการลดลงของสีน้ำตาลในแอปเปิล ดังนั้นสภาวะที่เหมาะสมในการยับยั้งปฏิกิริยาในแอปเปิล คือการแช่แอปเปิลในสารละลายกรดแอสคอร์บิคเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักร่มกับการใช้เทคนิค VI และแช่ทิ้งไว้ที่ความดันบรรยากาศเป็นเวลา 3 นาที

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.2 ผลของความเข้มข้นสารละลายซูโครส อุณหภูมิ และความเข้มสนามไฟฟ้ากระตุ้นเป็นจังหวะต่อกระบวนการทำแห้งแบบออสโมติกของแอปเปิล

ในการทดลองหาสภาวะที่เหมาะสมของแอปเปิลต่ออัตราการถ่ายเทมวลในกระบวนการทำแห้งแบบออสโมติก มีการวางแผนการทดลองแบบ central composite design ได้ 17 สิ่งทดลอง ดังแสดงในตาราง 3.1 แต่ละสิ่งทดลองใช้แอปเปิลจำนวน 40 กรัม ทำการเปรียบเทียบอัตราการถ่ายเทมวลระหว่างแอปเปิลที่ผ่านการเตรียมขั้นต้น (แช่สารละลายกรดแอสคอร์บิคเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ด้วยเทคนิค VI และ PEF และนำแอปเปิลไปแช่ในสารละลายกรดแอสคอร์บิคที่ความเข้มข้นเดียวกันเป็นเวลา 3 นาที) กับแอปเปิลสด ปัจจัยที่ศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมของแอปเปิลในกระบวนการทำแห้งแบบออสโมติก ได้แก่ ความเข้มสนามไฟฟ้า 0.5 0.75 และ 1.0 กิโลโวลต์ต่อเซนติเมตร ความเข้มข้นสารละลายซูโครส 50 60 และ 70 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และอุณหภูมิในการแช่ 30 40 และ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง อัตราส่วนแอปเปิลต่อสารละลายเท่ากับ 1:4 โดยน้ำหนัก นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์หาปริมาณความชื้น ปริมาณการสูญเสียน้ำ ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น ดัชนีการเกิดสีน้ำตาล ค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้ และค่าความแข็ง โดยแสดงผลการทดลองดังนี้

ตาราง 4.4 แสดงอัตราการถ่ายเทมวลของแอปเปิลในกระบวนการทำแห้งแบบออสโมติก ที่ระดับความเข้มข้นสารละลายซูโครส 70 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และอุณหภูมิที่ใช้แช่ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง

ตัวอย่าง	ปริมาณการสูญเสียน้ำ^{ns} (เปอร์เซ็นต์)	ปริมาณของแข็งเพิ่มขึ้น (เปอร์เซ็นต์)	ปริมาณความชื้น (เปอร์เซ็นต์)
แอปเปิลสด	57.47±0.02	2.31^{b}±0.01	71.49^{a}±4.64
แอปเปิลที่ผ่านการเตรียมขั้นต้น			
-PEF=0.5กิโลโวลต์ต่อเซนติเมตร	63.65±3.70	13.93^{ab}±4.65	51.16^{b}±1.96
-PEF=1.0กิโลโวลต์ต่อเซนติเมตร	59.24±14.69	24.70^{a}±14.98	48.92^{b}±0.84

หมายเหตุ : 1) ตัวอักษรที่แตกต่างกันในคอลัมน์ หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p \leq 0.05$)

2) ตัวอักษร ^{ns} ในคอลัมน์ หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p > 0.05$)

จากตาราง 4.4 แสดงอัตราการถ่ายเทมวลในกระบวนการทำแห้งแบบออสโมติกของแอปเปิลสดเปรียบเทียบกับแอปเปิลที่ผ่านการเตรียมด้วย PEF ที่ระดับความเข้มสนามไฟฟ้า 0.5

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

และ 1.0 กิโลโวลต์ต่อเซนติเมตร พบว่าปริมาณการสูญเสียน้ำมีค่าเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยหลังการเตรียมแอปเปิลด้วย PEF และปริมาณของแข็งเพิ่มขึ้นหลังการเตรียมแอปเปิลด้วย PEF ซึ่งปริมาณของแข็งทั้งหมดที่เพิ่มขึ้นมากนั้นอาจเนื่องมาจากการทำงานของ PEF จึงทำให้ของแข็งในสารละลายซูโครสออสโมซิสเข้าไปในชิ้นแอปเปิลมากขึ้น ส่วนปริมาณความชื้นของแอปเปิลที่ผ่านการเตรียมด้วย PEF มีค่าลดลงเมื่อความเข้มสนามไฟฟ้าให้สูงขึ้น และมีค่าปริมาณความชื้นต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับแอปเปิลสด

ตาราง 4.5 แสดงค่าการตอบสนองที่ได้จากการวางแผนการทดลองแบบ CCD ปัจจัยที่ศึกษา 3 ปัจจัยมี 17 สิ่งทดลอง

ปัจจัยที่ศึกษา			ค่าการตอบสนอง					
			อัตราการถ่ายเทมวล					
X_1	X_2	X_3	ปริมาณการสูญเสียน้ำ (เปอร์เซ็นต์)	ปริมาณของแข็งทั้งหมด (เปอร์เซ็นต์)	ความชื้น (เปอร์เซ็นต์)	a_w	ดัชนีการเกิดสีน้ำตาล	ความแข็ง (นิวตัน)
50	30	0.50	24.01	22.66	66.30	0.806	24.634	10.207
50	30	1.00	35.33	19.56	66.25	0.836	32.198	11.041
50	50	0.50	22.67	33.13	60.34	0.832	25.237	10.829
50	50	1.00	33.94	30.97	58.91	0.794	25.471	10.197
70	30	0.50	43.75	18.91	60.64	0.817	19.517	16.122
70	30	1.00	57.19	13.08	60.56	0.772	18.330	17.250
70	50	0.50	63.65	13.93	51.16	0.763	20.867	21.242
70	50	1.00	59.24	24.70	48.92	0.784	19.641	20.879
60	40	0.75	51.68	15.76	59.95	0.709	25.778	13.198
60	40	0.75	48.30	17.73	60.21	0.771	27.122	14.114
60	40	0.75	42.41	25.44	57.53	0.806	25.130	15.687
43.18	40	0.75	30.39	20.89	66.99	0.820	42.765	17.282
76.82	40	0.75	45.08	29.20	54.53	0.791	27.325	17.731
60	23.18	0.75	46.61	15.63	64.51	0.831	33.756	18.621
60	56.82	0.75	56.87	22.12	50.91	0.778	23.225	20.018
60	40	0.33	51.142	15.33	60.15	0.784	29.544	16.550
60	40	1.17	49.473	18.34	59.50	0.794	35.740	22.187

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

จากตาราง 4.5 แสดงค่าการตอบสนองที่ได้จากการวางแผนการทดลองแบบ CCD ปัจจัยศึกษามีอยู่ 3 ปัจจัย ได้แก่ ความเข้มข้นสารละลายซูโครส อุณหภูมิ และความเข้มสนามไฟฟ้ากระตุ้นเป็นจังหวะ พบว่าแอปเปิลหลังการออสโมติกมีปริมาณการสูญเสียน้ำสูงที่สุดเท่ากับ 63.65 เปอร์เซ็นต์ คือ แช่แอปเปิลในสารละลายซูโครสเข้มข้น 70 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส และความเข้มสนามไฟฟ้า 0.5 กิโลโวลต์ต่อเซนติเมตร และปริมาณการสูญเสียน้ำต่ำที่สุดเท่ากับ 22.67 เปอร์เซ็นต์ คือ แช่แอปเปิลในสารละลายซูโครสเข้มข้น 50 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส และความเข้มสนามไฟฟ้า 0.5 กิโลโวลต์ต่อเซนติเมตร ซึ่งที่สภาวะเดียวกันนี้ทำให้ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้นมีค่าสูงสุดเท่ากับ 33.13 เปอร์เซ็นต์ และปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้นมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 13.08 เปอร์เซ็นต์ ที่สารละลายซูโครสเข้มข้น 70 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส และความเข้มสนามไฟฟ้า 1.0 กิโลโวลต์ต่อเซนติเมตร ส่วนความชื้นมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 48.92 เปอร์เซ็นต์ ที่สารละลายซูโครสเข้มข้น 70 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส และความเข้มสนามไฟฟ้า 1.0 กิโลโวลต์ต่อเซนติเมตร และมีความชื้นสูงที่สุดเท่ากับ 66.99 เปอร์เซ็นต์ ที่สารละลายซูโครสเข้มข้น 43.18 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส และความเข้มสนามไฟฟ้า 0.75 กิโลโวลต์ต่อเซนติเมตร

เมื่อพิจารณาค่า a_w ในตาราง 4.5 พบว่าค่า a_w จะมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 0.709 ที่ปัจจัยสารละลายซูโครสเข้มข้น 60 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส และความเข้มสนามไฟฟ้า 0.75 กิโลโวลต์ต่อเซนติเมตร และมีค่า a_w สูงสุดเท่ากับ 0.836 ที่ปัจจัยสารละลายซูโครสเข้มข้น 50 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส และความเข้มสนามไฟฟ้า 1.0 กิโลโวลต์ต่อเซนติเมตร แสดงว่าค่า a_w จะมีค่าต่ำเมื่อแช่แอปเปิลในสารละลายซูโครสเข้มข้นและอุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น และเมื่อพิจารณาดัชนีการเกิดสีน้ำตาล พบว่าแอปเปิลจะมีค่าดัชนีการเกิดสีน้ำตาลต่ำสุดเท่ากับ 18.330 สารละลายซูโครสเข้มข้น 70 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส และความเข้มสนามไฟฟ้า 1.0 กิโลโวลต์ต่อเซนติเมตร และมีค่าดัชนีการเกิดสีน้ำตาลสูงสุดเท่ากับ 42.765 ที่ความเข้มข้นสารละลายซูโครส 43.18 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส และความเข้มสนามไฟฟ้า 0.75 กิโลโวลต์ต่อเซนติเมตร แสดงว่าการเพิ่มความเข้มข้นสารละลายซูโครสและความเข้มสนามไฟฟ้ามีส่วนช่วยปรับปรุงสีในแอปเปิลให้มีสีน้ำตาลลดลงได้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 4.6 แสดงสมการความสัมพันธ์ของปัจจัยที่ศึกษาต่อการทำนายค่าการตอบสนอง

สมการที่	สมการทำนายค่าการตอบสนอง	lack of fit	
		F-value	Prob>F
4.1	$WL = -156.612+5.458X_1-1.399X_2+82.539X_3-0.044X_1^2+6.085\times10^{-3}X_2^2 +1.590X_3^2+0.031X_1X_2-0.678X_1X_3-0.895X_2X_3$	3.95	0.2142
4.2	$SG = 100.263 - 2.558X_1 + 0.666X_2 - 50.211X_3+0.023X_1^2+1.342\times10^{3}X_2^2 -9.375X_3^2 - 0.019X_1X_2+0.510X_1X_3+0.877X_2X_3$	1.63	0.4230
4.3	$MC = 76.490-0.689X_1+1.366X_2-6.936X_3+6.378\times10^{-3}X_1^2-4.412\times10^{-3}X_2^2 +4.911X_3^2-0.017\times10^{-3}X_1X_2+0.256X_1X_3-0.475X_2X_3$	0.98	0.5750
4.4	$a_w = 1.632-0.017X_1-0.013X_2-0.120X_3+1.431\times10^{-4}X_1^2+1.390\times10^{-4}X_2^2 +0.133X_3^2-8.333\times10^{-7}X_1X_2-2.100\times10^{-3}X_1X_3+1.267\times10^{-3}X_2X_3$	0.14	0.9649
4.5	$BI = 71.5803-1.8453X_1+0.3928X_2+42.6862X_3+0.0115X_1^2-0.0116X_2^2 +4.8755X_3^2+0.0110X_1X_2-0.5105X_1X_3-0.3684X_2X_3$	59.57	0.0166
4.6	$HD = -4.603-0.253X_1+0.075X_2+3.242X_3$	8.52	0.1097

เมื่อ WL คือ ปริมาณการสูญเสียน้ำ และ SG คือ ปริมาณของแข็งทั้งหมด

MC คือ ปริมาณความชื้น และ a_w คือ วอเตอร์แอคทิวิตี้

BI คือ ดัชนีการเกิดสีน้ำตาล และ HD คือ ความแข็ง

X_1 คือ ความเข้มข้นสารละลายซูโครส (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก)

X_2 คือ อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)

X_3 คือ ความเข้มสนามไฟฟ้ากระตุ้นเป็นจังหวะ (กิโลโวลต์ต่อเซนติเมตร)

เมื่อนำข้อมูลจากตารางที่ 4.5 ไปทำการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปัจจัยทั้งสามที่มีผลต่อค่าตอบสนองอัตราการถ่ายเทมวล ทำให้ได้สมการความสัมพันธ์ในรูปแบบควอดราติก (quadratic model) ดังแสดงในตาราง 4.6 ซึ่งสมการที่ได้ (สมการที่ 4.1 ถึง 4.3) นำไปใช้ในการอธิบายผลการทดลองได้ใกล้เคียงค่าจริง (จากการทดลอง) ในค่าตอบสนองต่ออัตราการถ่ายเทมวล พบว่า ค่าที่ได้จากการทำนายมีปริมาณการสูญเสียน้ำใกล้เคียงค่าที่ได้จากการทดลอง 21.42 เปอร์เซ็นต์ ค่าความไม่เหมาะสมของแบบจำลองกับผลการทดลอง (lack of fit) พบว่าไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$) แสดงว่าปริมาณการสูญเสียน้ำที่ได้จากการทดลองมีความเหมาะสมกับรูปแบบควอดราติกที่ใช้ในการทดสอบ และเมื่อแทนค่าปัจจัยศึกษาที่มีผลต่อปริมาณการสูญเสียน้ำ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สูงที่สุด ที่ระดับความเข้มข้นสารละลายซูโครส 70 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส และความเข้มสนามไฟฟ้า 0.5 กิโลโวลต์ต่อเซนติเมตร ในสมการ 4.1 พบว่าเปอร์เซ็นต์ที่ได้จากการทำนายมีค่าเท่ากับ 59.17 ซึ่งแตกต่างจากค่าที่ได้จากการทดลอง (63.65) เท่ากับ 4.48 แสดงว่าปริมาณการสูญเสียน้ำจากการทำนายมีค่าใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการทดลองจริง

ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น ค่าที่ได้จากการทำนายมีค่าใกล้เคียงค่าที่ได้จากการทดลอง 42.30 เปอร์เซ็นต์ ค่าความไม่เหมาะสมของแบบจำลองกับผลการทดลอง พบว่าไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) แสดงว่าปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้นจากการทดลองมีความเหมาะสมกับรูปแบบควอดราติกที่ใช้ในการทดสอบ และเมื่อแทนค่าปัจจัยที่ความเข้มข้นสารละลายซูโครส 70 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส และความเข้มสนามไฟฟ้า 0.5 กิโลโวลต์ต่อเซนติเมตร ในสมการ 4.2 พบว่าเปอร์เซ็นต์ที่ได้จากการทำนายมีค่าเท่ากับ 14.40 ซึ่งแตกต่างจากค่าที่ได้จากการทดลอง (13.93) เท่ากับ 0.47 แสดงว่าปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้นจากการทำนายมีค่าใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการทดลอง

และค่าการทำนายความชื้นใกล้เคียงค่าที่ได้จากการทดลอง 57.50 เปอร์เซ็นต์ ค่าความไม่เหมาะสมของแบบจำลองกับผลการทดลอง พบว่าไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) แสดงว่าความชื้นจากการทดลองมีความเหมาะสมกับรูปแบบควอดราติกที่ใช้ในการทดสอบ จากสมการ 4.3 แทนค่าปัจจัยที่ศึกษา ที่ระดับความเข้มข้นสารละลายซูโครส 70 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส และความเข้มสนามไฟฟ้า 0.5 กิโลโวลต์ต่อเซนติเมตร พบว่าปริมาณความชื้นที่ได้จากการทำนายมีค่าเท่ากับ 51.22 เปอร์เซ็นต์ซึ่งแตกต่างจากค่าที่ได้จากการทดลอง (51.16 เปอร์เซ็นต์) เท่ากับ 0.06 แสดงว่าความชื้นจากการทำนายมีค่าใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการทดลองเช่นกัน

ดังนั้นสมการทำนายค่าตอบสนองที่ 4.1 ถึง 4.3 มีความเหมาะสมในการอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยที่ศึกษา ได้แก่ ความเข้มข้นสารละลายซูโครส อุณหภูมิ และความเข้มสนามไฟฟ้า ต่ออัตราการถ่ายเทมวลของแอปเปิลหลังกระบวนการออสโมติกดีไฮเรชันในรูปแบบควอดราติก

เมื่อพิจารณาค่าการทำนาย a_w (สมการที่ 4.4) มีความใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการทดลอง 96.49 เปอร์เซ็นต์ ค่าความไม่เหมาะสมของแบบจำลองกับผลการทดลอง พบว่าไม่มีนัยสำคัญทาง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สถิติ ($p \geq 0.05$) แสดงว่าค่า a_w ที่ได้จากการทดลองมีความเหมาะสมกับรูปแบบควอดราติกที่ใช้ในการทดสอบ

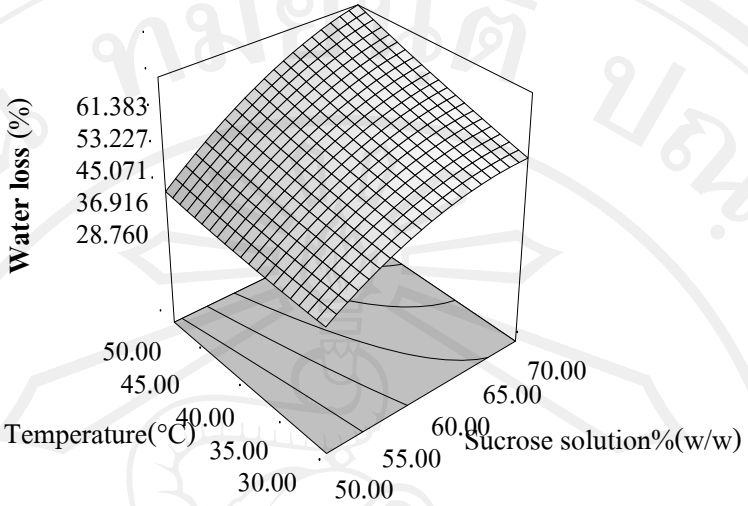
ส่วนค่าดัชนีการเกิดสีน้ำตาล (สมการที่ 4.5) มีความใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการทดลองเพียง 1.66 เปอร์เซ็นต์ แสดงว่าค่าดัชนีการเกิดสีน้ำตาลที่ได้จากการทดลองไม่มีความเหมาะสมกับรูปแบบควอดราติกที่ใช้ในการทดสอบ ดังนั้นจึงลองทำการทดสอบเชิงเส้นตรง พบว่าค่าดัชนีการเกิดสีน้ำตาลก็ไม่มีความเหมาะสมกับแบบที่ทดสอบเช่นเดียวกัน ทำให้ไม่สามารถนำไปวิเคราะห์หาพื้นผิวตอบสนองด้วยกราฟพื้นผิวตอบสนองได้

และเมื่อพิจารณาค่าความแข็ง ทำการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปัจจัยทั้งสามที่มีผลต่อค่าความแข็งในรูปแบบควอดราติกพบว่า ค่าความแข็งที่ได้ไม่มีความเหมาะสมกับรูปแบบควอดราติกที่ใช้ในการทดสอบ ดังนั้นจึงเปลี่ยนรูปแบบการทดสอบเป็นแบบเส้นตรง ดังแสดงในสมการที่ 4.6 ค่าความแข็งจากการทำนายมีความใกล้เคียงกับค่าจากการทดลอง 10.97 เปอร์เซ็นต์ และค่าความไม่เหมาะสมของแบบจำลองกับผลการทดลอง พบว่าไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) แสดงว่าค่าความแข็งจากการทดลองมีความเหมาะสมกับรูปแบบเส้นตรงที่ใช้ในการทดสอบ

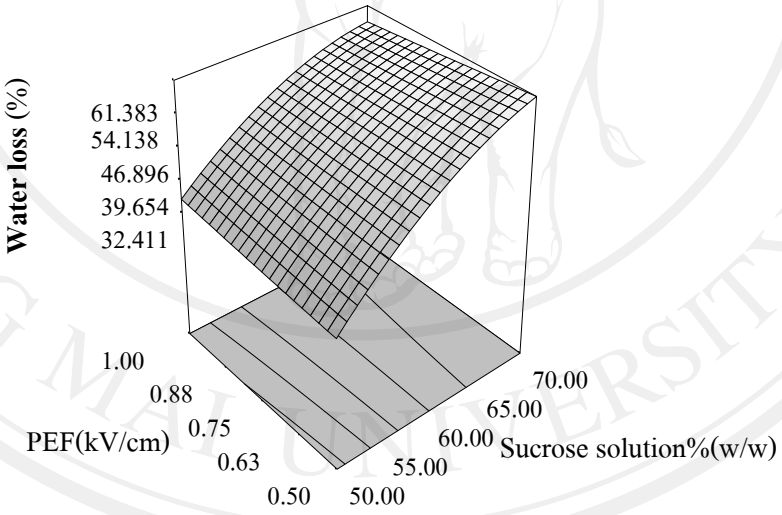
นำสมการจากตาราง 4.6 มาทำนายค่าการตอบสนอง ได้แก่ปริมาณการสูญเสียน้ำ ปริมาณการเพิ่มขึ้นของของแข็ง ความชื้น วอเตอร์แอคทิวิตี้ ดัชนีการเกิดสีน้ำตาล และค่าความแข็ง โดยโปรแกรมทางสถิติและประมวลผลด้วยวิธีการพื้นผิวตอบสนอง (response surface) แสดงเป็นกราฟพื้นผิวตอบสนอง ดังแสดงในภาพ 4.1 ถึง 4.9 ทำการหาจุดที่เหมาะสมที่สุดด้วยวิธีการพื้นผิวตอบสนองจากแผนการทดลองแบบ CCD

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.2.1 ปริมาณการสูญเสียน้ำ (water loss)

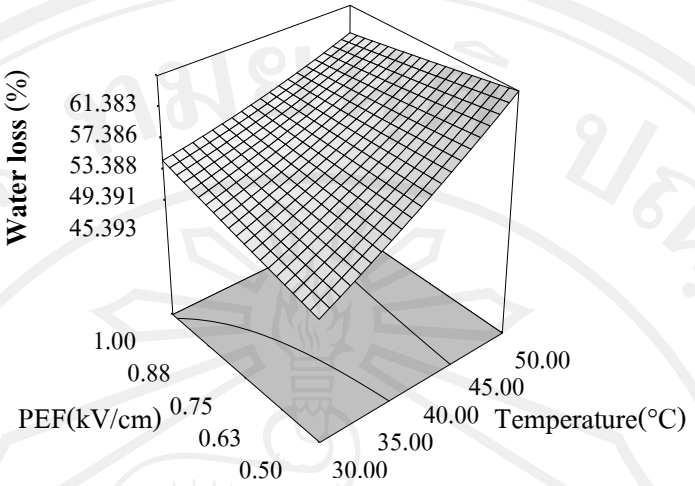


ภาพ 4.1 อิทธิพลร่วมของความเข้มข้นสารละลายซูโครสและอุณหภูมิที่ความเข้มสนามไฟฟ้า 0.5 กิโลโวลต์ต่อเซนติเมตร ต่อปริมาณการสูญเสียน้ำของแอปเปิลหลังผ่านการทำแห้งแบบออสโมติก



ภาพ 4.2 อิทธิพลร่วมของความเข้มข้นสารละลายซูโครสและความเข้มสนามไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ต่อปริมาณการสูญเสียน้ำของแอปเปิลหลังผ่านการทำแห้งแบบออสโมติก

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพ 4.3 อิทธิพลร่วมของอุณหภูมิและความเข้มสนามไฟฟ้าที่ความเข้มข้นสารละลายซูโครส 70 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ต่อปริมาณการสูญเสียน้ำของแอปเปิลหลังผ่านการทำแห้งแบบออสโมติก

จากภาพ 4.1 แสดงอิทธิพลร่วมของความเข้มข้นสารละลายซูโครสและอุณหภูมิที่ความเข้มสนามไฟฟ้า 0.5 กิโลโวลต์ต่อเซนติเมตร ต่อปริมาณการสูญเสียน้ำของแอปเปิลหลังผ่านการทำแห้งแบบออสโมติก พบว่า เมื่อสารละลายซูโครสมีความเข้มข้นและอุณหภูมิที่ใช้แช่สูงขึ้นจะส่งผลทำให้แอปเปิลมีปริมาณการสูญเสียน้ำเพิ่มสูงขึ้น แสดงว่าอัตราการถ่ายเทมวลมีผลมาจากอิทธิพลร่วมระหว่างความเข้มข้นสารละลายซูโครสและอุณหภูมิของสารละลาย เนื่องจากความดันออสโมติกระหว่างสารละลายซูโครสกับภายในเซลล์แอปเปิลสูงขึ้น จึงทำให้แรงขับดันสูงขึ้น อัตราการถ่ายเทมวลจึงสูงขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Sablani และ Rahman ได้ศึกษาลของความเข้มข้นสารละลายที่มีผลต่อการถ่ายเทมวลของมะม่วงในกระบวนการทำแห้งแบบออสโมติก พบว่าเมื่อความเข้มข้นสารละลายเพิ่มสูงขึ้น ค่าสัมประสิทธ์การเคลื่อนที่ของน้ำจะมีค่าสูงขึ้น ประกอบกับอุณหภูมิของสารละลายที่ใช้แช่เมื่อเพิ่มสูงขึ้น ส่งผลทำให้การเคลื่อนที่ของของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดในสารละลายซูโครสที่อยู่ภายนอกเคลื่อนที่เข้าสู่ชิ้นแอปเปิลได้ง่ายขึ้น เนื่องจากที่อุณหภูมิสูงขึ้นทำให้สารละลายซูโครสมีความหนืดลดลง การเคลื่อนที่ของของแข็งจึงเป็นไปได้ง่ายและดีกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับอุณภูมิต่ำ ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิจัยของ Chenlo *et al*. (2007) ที่ได้ศึกษาการดึงน้ำออกด้วยวิธีการออสโมซิสเกาลัด โดยแช่เกาลัดในสารละลายซูโครส พบว่า ที่ความเข้มข้นของสารละลายซูโครสเท่ากัน อุณหภูมิในการออสโมซิสแตกต่างกัน ส่งผลให้ปริมาณน้ำที่สูญเสียแตกต่างกัน โดยการเพิ่มอุณหภูมิขึ้นมีผลให้ปริมาณน้ำที่สูญเสียสูงขึ้น และจากการศึกษาของ Kaymak-Ertekin และ Sultanoglu (2000) ได้ศึกษาผลของความเข้มข้นสารละลายออสโมติกและอุณหภูมิในการแช่ที่มีผลต่อการสูญเสียน้ำของชิ้นแอปเปิล พบว่าเมื่อความเข้มข้น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

และอุณหภูมิสารละลายออสโมติกเพิ่มขึ้น มีผลให้การสูญเสียน้ำของชิ้นแอปเปิลเพิ่มขึ้น และการใช้สารละลายผสมซูโครสกับแดกซ์โตรส จะทำให้อัตราการออสโมซิสที่เกิดขึ้นเท่ากับการใช้สารละลายแดกซ์โตรสอย่างเดียว แต่สูงกว่าการใช้สารละลายซูโครส นอกจากนั้น Kolawole *et al.* (2007) ได้ศึกษากลไกการถ่ายเทมวลของแตงโมระหว่างกระบวนการทำแห้งแบบออสโมติก ที่อุณหภูมิ 20 30 และ 40 องศาเซลเซียส ในสารละลายซูโครสเข้มข้น 40 50 และ 60 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก เป็นเวลา 10 ชั่วโมง โดยศึกษากลไกการถ่ายเทมวลได้ใช้กฎข้อที่สองของฟิกค์ พบว่า เมื่ออุณหภูมิในการแช่แตงโมสูงขึ้นและความเข้มข้นสารละลายซูโครสเพิ่มขึ้น ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของน้ำมีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 1.030×10^{-8} ถึง 3.549×10^{-9} ตารางเมตรต่อวินาที และ Tonon *et al.* (2007) ได้ศึกษาผลกระทบของการทำแห้งด้วยกระบวนการออสโมติก โดยศึกษาผลของอุณหภูมิ 20 ถึง 40 องศาเซลเซียส ต่ออัตราการถ่ายเทมวลของมะเขือเทศเชอรี่ พบว่าเมื่ออุณภูมิของสารละลายออสโมติกสูงขึ้น ทำให้การลดลงของปริมาณน้ำในมะเขือเทศเชอรี่จะเร็วขึ้น เนื่องจากความหนืดของสารละลายออสโมติกจะลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ทำให้อัตราการไหลเวียนของสารละลายออสโมติกเพิ่มมากขึ้น จึงส่งผลต่อการลดปริมาณน้ำในมะเขือเทศเชอรี่

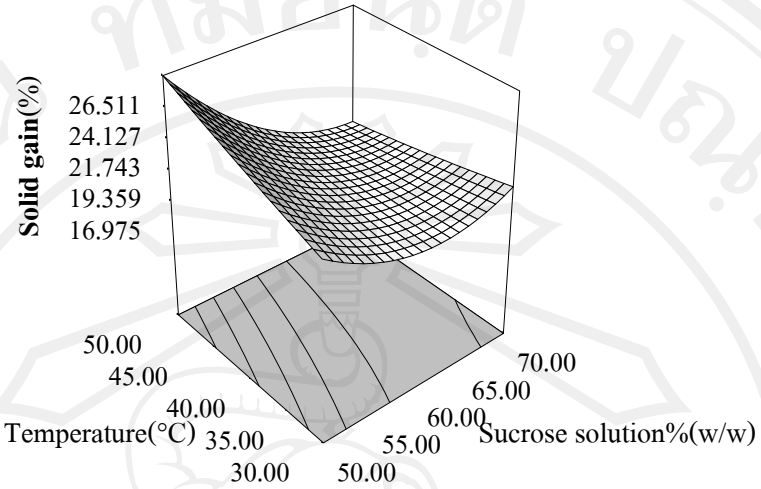
จากภาพ 4.2 แสดงอิทธิพลร่วมของความเข้มข้นสารละลายซูโครสและความเข้มสนามไฟฟ้าที่อุณหภูมิในการแช่ 50 องศาเซลเซียส ต่อปริมาณการสูญเสียน้ำของแอปเปิลหลังผ่านการทำแห้งแบบออสโมติก พบว่า เมื่อความเข้มข้นสารละลายซูโครสเพิ่มขึ้นส่งผลให้แอปเปิลมีการสูญเสียน้ำเพิ่มขึ้น และมีอิทธิพลมากกว่าความเข้มสนามไฟฟ้า ซึ่งการเพิ่มความเข้มสนามไฟฟ้าไม่ส่งผลให้แอปเปิลมีปริมาณการสูญเสียน้ำเพิ่มขึ้น ดังนั้นความเข้มข้นสารละลายซูโครสมีผลต่อการสูญเสียน้ำในแอปเปิลมากกว่า

จากภาพ 4.3 แสดงอิทธิพลร่วมของอุณหภูมิและความเข้มสนามไฟฟ้าที่ความเข้มข้นสารละลายซูโครส 70 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ต่อปริมาณการสูญเสียน้ำของแอปเปิลหลังผ่านการทำแห้งแบบออสโมติก พบว่า ปริมาณการสูญเสียน้ำเพิ่มสูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น และการเพิ่มความเข้มสนามไฟฟ้าไม่ส่งผลทำให้การสูญเสียน้ำมีค่าเพิ่มขึ้น ดังนั้นความเข้มข้นสารละลายซูโครสจึงมีอิทธิพลต่อการสูญเสียน้ำในแอปเปิลมากกว่าความเข้มสนามไฟฟ้า

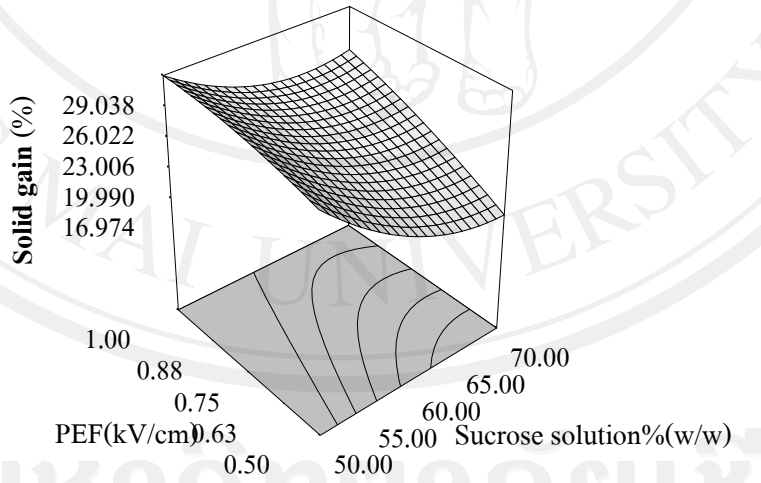
ดังนั้นปัจจัยที่ส่งผลทำให้ปริมาณการสูญเสียน้ำในแอปเปิลหลังกระบวนการทำแห้งแบบออสโมติก คือ ความเข้มข้นสารละลายซูโครสและอุณหภูมิ ส่วนความเข้มสนามไฟฟ้าส่งผลต่อการเพิ่มปริมาณการสูญเสียน้ำไม่มากนัก แต่การกระตุ้นแอปเปิลด้วย PEF ในช่วงเริ่มต้นกระบวนการทำแห้งแบบออสโมติช่วยเพิ่มความสามารถในการถ่ายเทมวล ทำให้ค่าอัตราการถ่ายเทมวลสูงขึ้นเมื่อเทียบกับแอปเปิลสด

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.2.2 ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้น (solid gain)

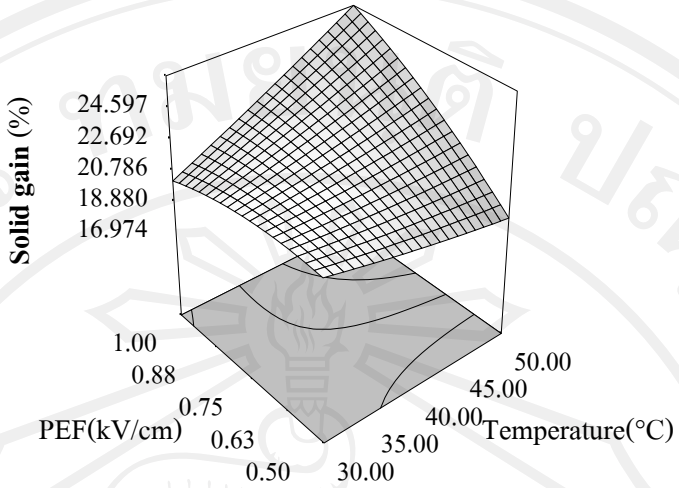


ภาพ 4.4 อิทธิพลร่วมของความเข้มข้นสารละลายซูโครสและอุณหภูมิที่ความเข้มสนามไฟฟ้า 0.5 กิโลโวลต์ต่อเซนติเมตร ต่อปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้นของแอปเปิลหลังผ่านการทำแห้งแบบออสโม-ติก



ภาพ 4.5 อิทธิพลร่วมของความเข้มข้นสารละลายซูโครสและความเข้มสนามไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ต่อปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้นของแอปเปิลหลังผ่านการทำแห้งแบบออสโมติก

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพ 4.6 อิทธิพลร่วมของอุณหภูมิและความเข้มสนามไฟฟ้าที่ความเข้มข้นสารละลายซูโครส 70 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ต่อปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้นของแอปเปิลหลังผ่านการทำแห้งแบบออสโม-ติก

จากภาพ 4.4 แสดงอิทธิพลร่วมของความเข้มข้นสารละลายซูโครสและอุณหภูมิที่ความเข้มสนามไฟฟ้า 0.5 กิโลโวลต์ต่อเซนติเมตร ต่อปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้นของแอปเปิลหลังผ่านการทำแห้งแบบออสโมติก พบว่า เมื่อความเข้มข้นสารละลายซูโครสเพิ่มสูงขึ้น การเพิ่มขึ้นของปริมาณของแข็งมีค่าลดลง อาจเนื่องมาจากในกระบวนการทำแห้งแบบออสโมติกนี้เป็นกระบวนการที่เริ่มต้นจากผิวหน้าของชิ้นแอปเปิล หากความเข้มข้นของสารละลายซูโครสมากเกินไป อัตราการถ่ายเทมวลในช่วงแรกที่มีค่าสูงจะส่งผลให้การเคลื่อนที่ของน้ำในเซลล์แอปเปิลออกมามาก และในขณะเดียวกันของแข็งปริมาณสูงที่อยู่ในสารละลายซูโครสจะเกิดการถ่ายเทเข้าสู่เซลล์บริเวณผิวหน้า ทำให้เกิดการขัดขวางของการเคลื่อนที่ของน้ำและของแข็งในเซลล์ชั้นในจึงทำให้การเคลื่อนที่ของของแข็งมีค่าลดลง ส่วนผลของปัจจัยอุณหภูมิของสารละลายที่ใช้แช่ต่อการเพิ่มขึ้นของปริมาณของแข็ง พบว่า เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นทำให้ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้นมีค่าเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากอุณหภูมิมีผลโดยตรงต่อกลไกการถ่ายเทมวล (Baret *et al*., 2001) ดังนั้นเมื่ออุณหภูมิของกระบวนการสูงขึ้น ก็จะทำให้ของแข็งในสารละลายซูโครสมีความสามารถในการละลายได้มากขึ้น มีผลให้แรงดันออสโมซิสที่เกิดขึ้นมีค่าสูงขึ้นด้วย จึงทำให้การเคลื่อนที่ของตัวถูกละลายเข้าไปในชิ้นผลไม้เกิดได้สูงขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับ Yang *et al*. (1992) ได้เปรียบเทียบกลไกการถ่ายเทมวลในระบวนการทำห้งแบบออสโมติกของสตรอเบอรีในสารละลายซูโครสที่อุณหภูมิ 25 และ 50 องศาเซลเซียส พบว่าที่อุณหภูมิสูงจะทำให้เกิดการเพิ่มขึ้นของของแข็ง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เพิ่มขึ้น ดังนั้นอุณหภูมิจึงส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของปริมาณของแข็งมากกว่าความเข้มข้นสารละลายซูโครส

จากภาพ 4.5 แสดงอิทธิพลร่วมของความเข้มข้นสารละลายซูโครสและความเข้มสนามไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ต่อปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้นของแอปเปิลหลังผ่านการทำแห้งแบบออสโมติก พบว่า เมื่อเพิ่มความเข้มสนามไฟฟ้าให้สูงขึ้นทำให้ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้นมีค่าเพิ่มขึ้น อาจเนื่องมาจากการทำงานของ PEF ที่ทำให้เซลล์เนื้อเยื่อของแอปเปิลเกิดความเสียหาย ของแข็งที่ละลายได้ในสารละลายซูโครสจึงเคลื่อนที่เข้าไปในเนื้อเยื่อแอปเปิลได้มากขึ้น ส่วนการเพิ่มความเข้มข้นสารละลายซูโครสไม่ส่งผลให้ค่าปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้นมีค่าเพิ่มขึ้น ดังนั้นความเข้มสนามไฟฟ้าจึงมีผลต่อการเพิ่มปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดในแอปเปิลมากกว่าความเข้มข้นสารละลายซูโครส

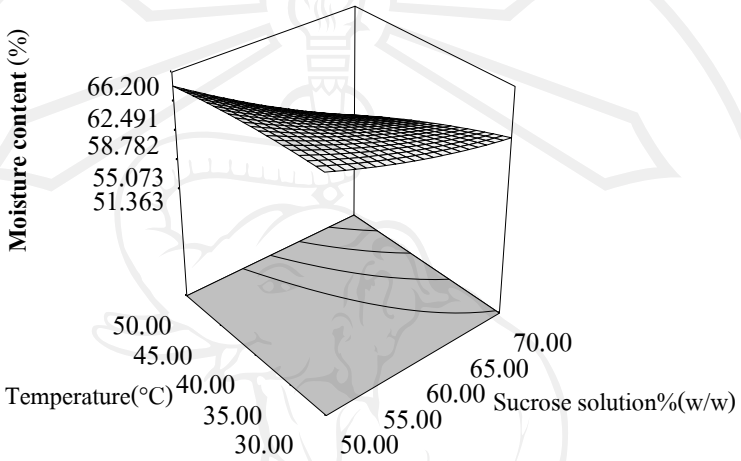
จากภาพ 4.6 แสดงอิทธิพลร่วมของอุณหภูมิและความเข้มสนามไฟฟ้าที่ความเข้มข้นสารละลายซูโครส 70 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ต่อปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้นของแอปเปิลหลังผ่านการทำแห้งแบบออสโมติก พบว่า ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้นมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มสนามไฟฟ้าและอุณหภูมิสารละลายที่ใช้เพิ่มขึ้น เนื่องการเพิ่มความเข้มสนามไฟฟ้าทำให้โครงสร้างภายในแอปเปิลเปลี่ยนแปลง ในเนื้อเยื่อเซลล์มีช่องว่างมากขึ้นทำให้ของแข็งในสารละลายซูโครสเคลื่อนที่เข้าเซลล์แอปเปิลมากขึ้น และอุณหภูมิสูงขึ้นทำให้ของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดในสารละลายซูโครสเคลื่อนที่ได้ง่ายขึ้น เนื่องจากมีความหนืดลดลง จึงทำให้ปริมาณของแข็งมีค่าเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Sablani and Rahman ได้ศึกษาผลของอุณหภูมิของสารละลายที่มีผลต่อการถ่ายเทมวลของมะม่วงในกระบวนการออสโมติก พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลของของแข็งมีค่าเพิ่มสูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิของสารละลายมีค่าเพิ่มสูงขึ้น

โดยทั่วไปอุณหภูมิสารละลายที่สูงขึ้นจะมีผลทำให้ปริมาณของแข็งเพิ่มขึ้น เนื่องจากที่อุณหภูมิสูงทำให้ความหนืดของสารละลายมีค่าลดลง ส่งผลให้อัตราการถ่ายเทมวลเพิ่มขึ้น สอดคล้องกับงานวิจัยของ Khoyi *et al.* (2007) พบว่า การแช่เนื้ออะพริคอตในสารละลายซูโครสความเข้มข้น 70 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ที่อุณหภูมิ 30 ถึง 50 องศาเซลเซียส ไม่มีผลต่อปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้นเนื่องจาก สารละลายยังมีความหนืดสูง และหากเพิ่มอุณหภูมิสารละลายให้สูงกว่า 50 องศาเซลเซียส สารละลายซูโครสจะมีความหนืดลดลง หากเพิ่มอุณหภูมิของสารละลายที่ใช้แช่สูงเกิน 70 องศาเซลเซียส จะทำให้การซึมผ่านของตัวถูกละลายเข้าไปในเนื้อผลไม้เพิ่มขึ้นด้วย (รัตนาและพิไลรัก, 2541) นอกจากนี้ Lazerides *et al.* (1995) ได้ศึกษาการถ่ายเทมวลระหว่างออสโมซิสในแอปเปิล โดยแช่ในสารละลายซูโครสเข้มข้น 45 ถึง 65 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักเป็น

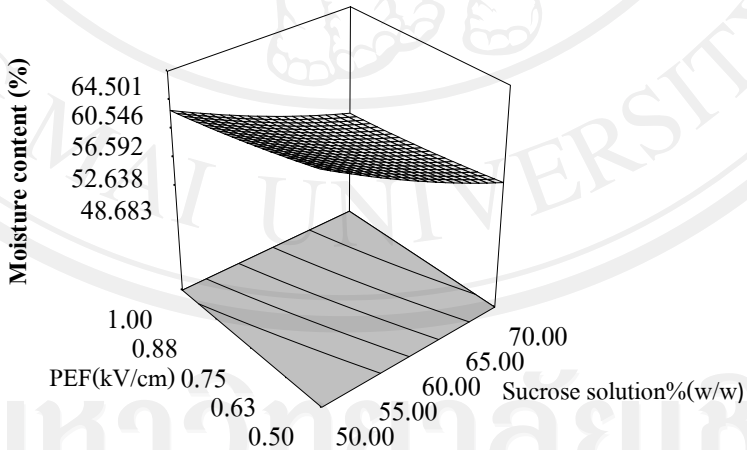
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เวลา 6 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 20 30 40 และ 50 องศาเซลเซียส พบว่าสารละลายที่มีความเข้มข้นมากขึ้นและอุณหภูมิสูงขึ้น จะทำให้ปริมาณของแข็งเพิ่มขึ้น

4.2.3 ปริมาณความชื้น (moisture content)

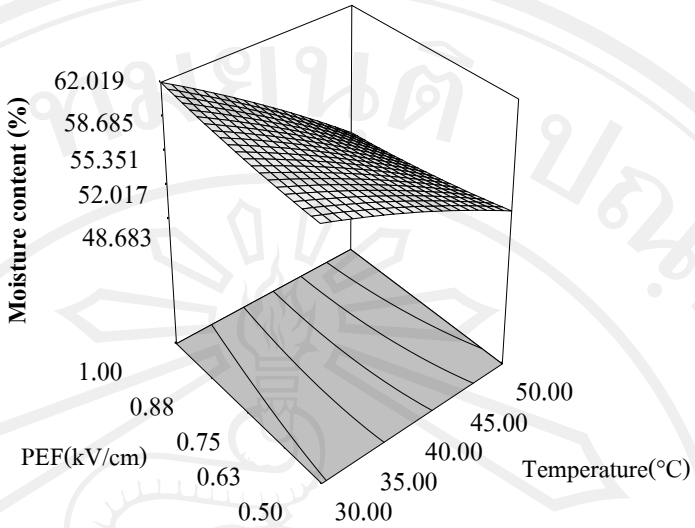


ภาพ 4.7 อิทธิพลร่วมของความเข้มข้นสารละลายซูโครสและอุณหภูมิที่ความเข้มสนามไฟฟ้า 0.5 กิโลโวลต์ต่อเซนติเมตร ต่อความชื้นของแอปเปิลหลังผ่านการทำแห้งแบบออสโมติก



ภาพ 4.8 อิทธิพลร่วมของความเข้มข้นสารละลายซูโครสและความเข้มสนามไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ต่อความชื้นของแอปเปิลหลังผ่านการทำแห้งแบบออสโมติก

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



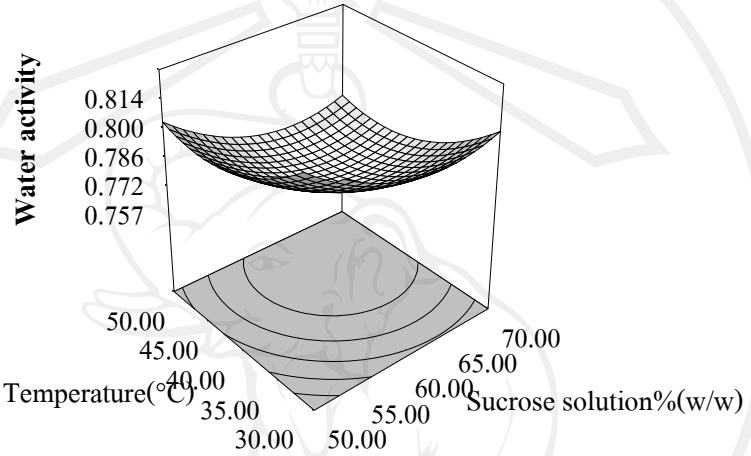
ภาพ 4.9 อิทธิพลร่วมของอุณหภูมิและความเข้มสนามไฟฟ้าที่ความเข้มข้นสารละลายซูโครส 70 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ต่อความชื้นของแอปเปิลหลังผ่านการทำแห้งแบบออสโมติก

จากภาพ 4.7 แสดงอิทธิพลร่วมของความเข้มข้นสารละลายซูโครสและอุณหภูมิที่ความเข้มสนามไฟฟ้า 0.5 กิโลโวลต์ต่อเซนติเมตร ต่อความชื้นของแอปเปิลหลังผ่านการทำแห้งแบบออสโมติก พบว่า เมื่อความเข้มข้นสารละลายซูโครสและอุณหภูมิมีค่าเพิ่มขึ้น ความชื้นมีแนวโน้มลดลง เนื่องจากความชื้นแปรผันตามปริมาณน้ำที่มีอยู่ในแอปเปิล เมื่อผ่านการทำแห้งแบบออสโมติกในสารละลายซูโครสเข้มข้นและอุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น แอปเปิลจะมีการสูญเสียน้ำมากขึ้นและส่งผลให้แอปเปิลมีค่าความชื้นลดลง ส่วนใหญ่ค่าความชื้นจะมีค่าต่ำที่สุดที่บริเวณผิวหน้าของชิ้นตัวอย่างที่สัมผัสกับสารละลายซูโครสจนถึงระยะความลึกประมาณ 2 ถึง 3 มิลลิเมตร โดยบริเวณนี้จะได้รับการสูญเสียน้ำที่สุด (นวภัทรา, 2552) และเมื่อพิจารณาภาพ 4.8 แสดงอิทธิพลร่วมของความเข้มข้นสารละลายซูโครสและความเข้มสนามไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ต่อความชื้นของแอปเปิลหลังผ่านการทำแห้งแบบออสโมติก พบว่า เมื่อความเข้มข้นสารละลายซูโครสและความเข้มสนามไฟฟ้ามีค่าเพิ่มขึ้น ค่าความชื้นมีแนวโน้มลดลง และจากภาพ 4.9 แสดงอิทธิพลร่วมของอุณหภูมิและความเข้มสนามไฟฟ้าที่ความเข้มข้นสารละลายซูโครส 70 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ต่อความชื้นของแอปเปิลหลังผ่านการทำแห้งแบบออสโมติก พบว่า เมื่ออุณหภูมิและความเข้มสนามไฟฟ้ามีค่าเพิ่มขึ้น ค่าความชื้นมีแนวโน้มลดลงเช่นเดียวกัน แสดงว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นสารละลายซูโครส อุณหภูมิที่ใช้แช่และความเข้มสนามไฟฟ้าให้มีค่าสูงขึ้นส่งผลต่อค่าความชื้นหลังการทำแห้งแบบออสโมติกของแอปเปิลมีค่าลดลง เนื่องจากเมื่อแช่แอปเปิลในสารละลายออสโมติกที่ความเข้มข้นสูงสามารถกำจัดน้ำออกไปได้มากด้วยความ

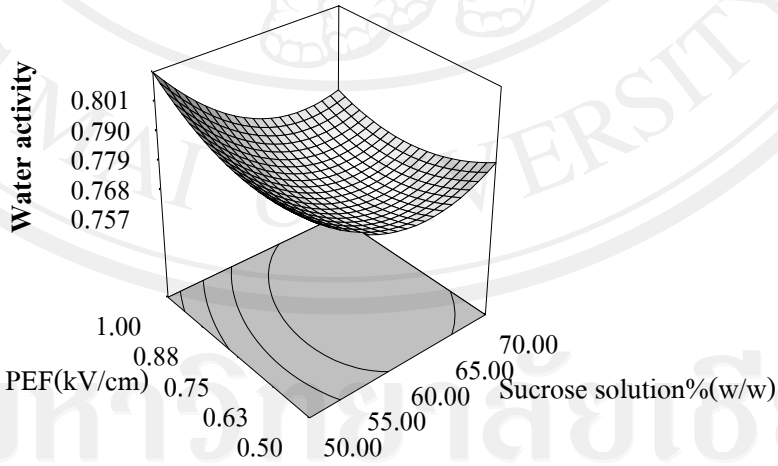
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

แตกต่างของแรงดันออสโมติก ทำให้มีปริมาณความชื้นลดลงมากกว่าแช่ตัวอย่างในสารละลายออสโมติกที่ความเข้มข้นต่ำกว่า (Nieto *et al*., 2004) การทำแห้งโดยอาศัยหลักการออสโมซิสจึงเป็นการกำจัดน้ำบางส่วนออกจากอาหารได้ แอปเปิลจึงมีปริมาณความชื้นสุดท้ายลดลงหลังผ่านกระบวนการทำแห้งแบบออสโมติก

4.2.4 ค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้ (a_w)

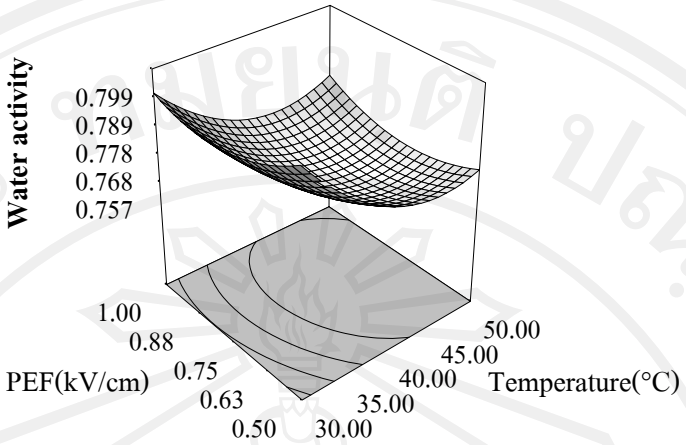


ภาพ 4.10 อิทธิพลร่วมของความเข้มข้นสารละลายซูโครสและอุณหภูมิที่ความเข้มสนามไฟฟ้า 0.75 กิโลโวลต์ต่อเซนติเมตร ต่อค่า a_w ของแอปเปิลหลังผ่านการทำแห้งแบบออสโมติก



ภาพ 4.11 อิทธิพลร่วมของความเข้มข้นสารละลายซูโครสและความเข้มสนามไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 44.53 องศาเซลเซียส ต่อค่า a_w ของแอปเปิลหลังผ่านการทำแห้งแบบออสโมติก

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพ 4.12 อิทธิพลร่วมของอุณหภูมิและความเข้มสนามไฟฟ้าที่ความเข้มข้นสารละลายซูโครส 63.94 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ต่อค่า a_w ของแอปเปิลหลังผ่านการทำแห้งแบบออสโมติก

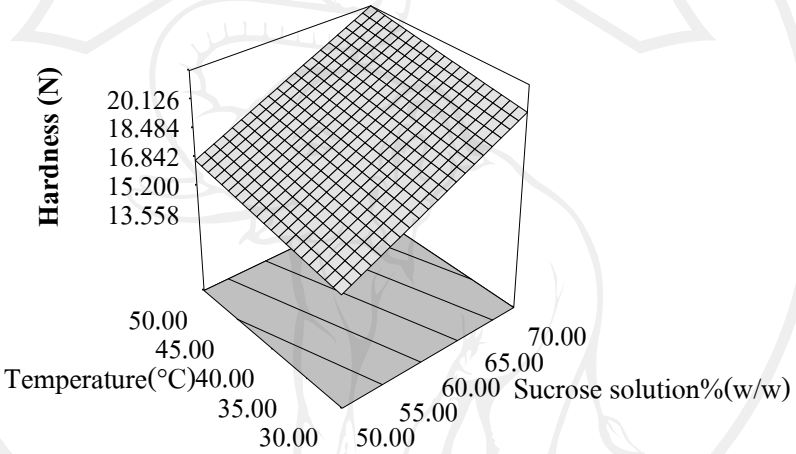
จากสมการที่ 4.4 ทำการหาค่าต่ำสุดด้วยวิธีพื้นผิวตอบสนอง จากการวางแผนแบบ CCD พบว่า สามารถหาจุดที่เหมาะสมที่ให้ค่า a_w ต่ำที่สุดได้ โดยกราฟแสดงจุดตอบสนองต่ำสุด (minimum point) จากภาพ 4.10 ถึง 4.12 สามารถหาจุดตอบสนองต่ำสุดของปัจจัยที่ศึกษาต่อค่า a_w ให้ค่าต่ำสุด คือ สารละลายซูโครสเข้มข้น 63.94 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก อุณหภูมิ 44.53 องศาเซลเซียส และความเข้มสนามไฟฟ้า 0.75 กิโลโวลต์ต่อเซนติเมตร ให้ค่า a_w จากการทำนายที่เหมาะสมที่สุดเท่ากับ 0.757

จากภาพ 4.10 แสดงอิทธิพลร่วมของความเข้มข้นสารละลายซูโครสและอุณหภูมิที่ความเข้มสนามไฟฟ้า 0.75 กิโลโวลต์ต่อเซนติเมตร พบว่า ความเข้มข้นสารละลายซูโครสและอุณหภูมิเพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่า a_w ในแอปเปิลมีค่าลดลง เนื่องจากการออสโมติกแอปเปิลในสารละลายซูโครส เมื่อน้ำเคลื่อนที่ออกจากแอปเปิลทำให้ภายในเซลล์เนื้อเยื่อแอปเปิลมีค่า a_w ลดลง และเมื่อพิจารณาจากภาพ 4.11 แสดงอิทธิพลร่วมของความเข้มข้นสารละลายซูโครสและความเข้มสนามไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 44.53 องศาเซลเซียส พบว่า ค่า a_w มีค่าลดลงเมื่อความเข้มข้นสารละลายซูโครสและความเข้มสนามไฟฟ้าเพิ่มขึ้น เนื่องจากการทำงานของ PEF มีส่วนช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการเคลื่อนที่ของน้ำออกจากแอปเปิล ทำให้แอปเปิลมีค่า a_w ลดลง และพิจารณาภาพ 4.12 แสดงอิทธิพลร่วมของอุณหภูมิและความเข้มสนามไฟฟ้าที่ความเข้มข้นสารละลายซูโครส 63.94 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก พบว่า ค่า a_w มีค่าลดลงเมื่ออุณหภูมิและความเข้มสนามไฟฟ้ามีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากการกระตุ้นแอปเปิลด้วยความเข้มสนามไฟฟ้าความเข้มสูงและการเพิ่มอุณหภูมิในการแช่ให้สูงขึ้นทำให้โครงสร้างภายในแอปเปิลเปลี่ยนแปลง ส่งผลทำให้น้ำในแอปเปิลเคลื่อนที่ออกเป็นจำนวนมากจึงทำให้แอปเปิลมีค่า a_w ลดลง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ค่า a_w มีความสัมพันธ์กับปริมาณความชื้นในแอปเปิล คือ เมื่อแอปเปิลมีความชื้นลดลงค่า a_w จะมีค่าลดลงด้วย ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Bolin and Huxsoll (1993) พบว่า ลูกแพร์ที่ผ่านการแช่ในสารละลายซูโครสความเข้มข้น 60 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ปริมาณความชื้นที่ลดลงในช่วงแรกจากปริมาณความชื้นร้อยละ 85 เป็นร้อยละ 80 มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่า a_w เพียงเล็กน้อยโดยมีค่าอยู่ที่ประมาณ 0.97 และเมื่อปริมาณความชื้นมีค่าลดต่ำลงมากกว่าในช่วงแรกจะทำให้ค่า a_w ลดลงมากขึ้น

4.2.5 ค่าความแข็ง (hardness)



ภาพ 4.13 อิทธิพลร่วมของความเข้มข้นสารละลายซูโครสและอุณหภูมิที่ความเข้มสนามไฟฟ้า 1.0 กิโลโวลต์ต่อเซนติเมตร ต่อค่าความแข็งของแอปเปิลหลังผ่านการทำแห้งแบบออสโมติก

การทดสอบลักษณะเนื้อสัมผัสของแอปเปิลหลังกระบวนการทำแห้งแบบออสโมติกแสดงเป็นค่าความแข็ง ซึ่งเป็นแรงสูงสุดที่ได้จากแรงกดทับ (compression force) เทียบได้กับเป็นการเคี้ยวครั้งแรก เมื่อพิจารณาภาพ 4.13 แสดงอิทธิพลร่วมของความเข้มข้นสารละลายซูโครสและอุณหภูมิที่ความเข้มสนามไฟฟ้า 1.0 กิโลโวลต์ต่อเซนติเมตร ต่อค่าความแข็งของแอปเปิลหลังผ่านการทำแห้งแบบออสโมติก พบว่า เมื่อความเข้มข้นสารละลายซูโครสและอุณหภูมิเพิ่มขึ้นส่งผลทำให้ค่าความแข็งของแอปเปิลมีค่าเพิ่มขึ้น อาจเนื่องมาจากการแช่แอปเปิลที่ผ่านการเตรียมด้วย PEF ในสารละลายซูโครสความเข้มข้นสูงและอุณหภูมิสารละลายที่ใช้แช่สูง ทำให้ในเนื้อเยื่อของแอปเปิลเสียหายและมีเกิดช่องว่างระหว่างเซลล์มากขึ้น จึงทำให้ของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดเคลื่อนที่เข้าไปภายในเนื้อเยื่อมากขึ้น ในขณะเดียวกันได้เกิดการสูญเสียน้ำทำให้ขนาดช่องว่างภายในเซลล์มีขนาดลดลง และของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดเข้าไปแทรกอยู่ภายในช่องว่างระหว่าง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เซลล์ ทำให้เยื่อหุ้มเซลล์มีโครงสร้างที่แข็งแรงขึ้นจึงส่งผลให้เนื้อเยื่อแอปเปิลมีค่าความแข็งเพิ่มขึ้น

4.3 ผลของอุณหภูมิต่อการทำแห้งแอปเปิลด้วยเครื่องทำแห้งลมร้อนแบบถาด

หลังกระบวนการทำแห้งแบบออสโมติกได้พิจารณาเลือกปริมาณการสูญเสียน้ำของแอปเปิลเป็นตัวกำหนดปัจจัยที่เหมาะสมที่สุดสูงสุด ที่ระดับความเข้มข้นสารละลายซูโครส 70 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส และความเข้มสนามไฟฟ้า 0.5 กิโลโวลต์ต่อเซนติเมตร

ศึกษาหาอัตราการทำแห้งโดยเตรียมตัวอย่างแอปเปิล 3 ตัวอย่าง คือ แอปเปิลที่ผ่านเตรียมขั้นต้น (เตรียมแอปเปิลโดยแช่ในสารละลายกรดแอสคอร์บิคเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์ร่วมกับ VI ช่วยลดการเกิดสีน้ำตาล แล้วนำไป PEF ที่ความเข้มสนามไฟฟ้า 0.5 กิโลโวลต์ต่อเซนติเมตร แล้วแช่ในสารละลายกรดแอสคอร์บิคเป็นเวลา 3 นาที หลังจากนั้นนำแอปเปิลไปแช่ในสารละลายออสโมติกเข้มข้น 70 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส) และเตรียมตัวอย่างแอปเปิลสดและแอปเปิลที่ผ่านการทำแห้งแบบออสโมติก (แอปเปิลแช่ในสารละลายซูโครสเข้มข้น 70 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส)

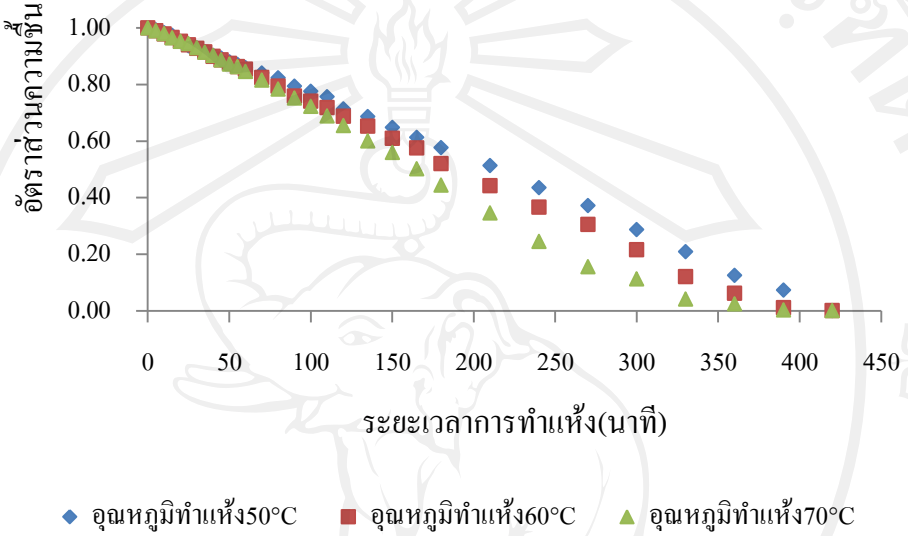
ทำแห้งทั้ง 3 ตัวอย่างที่อุณหภูมิ 50 60 และ 70 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 1.00 เมตรต่อวินาที ทำการชั่งน้ำหนักทุกๆ 5 นาทีเป็นเวลา 1 ชั่วโมง และ ทุกๆ 10 นาทีเป็นเวลา 1 ชั่วโมง และทุกๆ 15 นาทีเป็นเวลา 1 ชั่วโมง และทุกๆ 30 นาทีเป็นเวลา 1 ชั่วโมง และทุกๆ 1 ชั่วโมง จนน้ำหนักของแอปเปิลคงที่ นำผลการทดลองที่ได้มาคำนวณหาอัตราส่วนความชื้น และอัตราการทำแห้งระหว่างการทำแห้ง และวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและเคมี โดยแสดงผลเป็นดัชนีการเกิดสีน้ำตาล และวอเตอร์แอคทิวิตี้ ดังนี้

4.3.1 อัตราส่วนความชื้น

แอปเปิลสดมีค่าความชื้นเริ่มต้นก่อนการทำแห้งเท่ากับ 89.42 เปอร์เซ็นต์ แอปเปิลที่ผ่านการทำแห้งแบบออสโมติกมีค่าความชื้นเริ่มต้นเท่ากับ 66.69 เปอร์เซ็นต์ และแอปเปิลที่ผ่านการเตรียมขั้นมีค่าความชื้นเริ่มต้นเท่ากับ 52.53 เปอร์เซ็นต์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

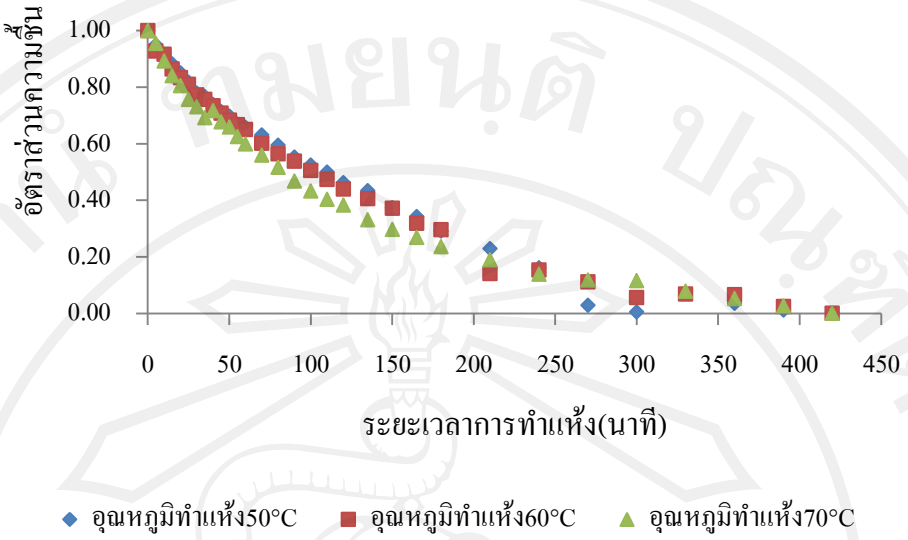
นำข้อมูลปริมาณความชื้นของแอปเปิลที่ได้ระหว่างการทำแห้งมาคำนวณหาอัตราส่วนความชื้น (สมการ 3.6) ของแอปเปิลสด แอปเปิลที่ผ่านการทำแห้งแบบออสโมติก และแอปเปิลที่ผ่านการเตรียมขั้นต้น และตัวแปรที่มีอิทธิพลต่ออัตราส่วนความชื้นคือ อุณหภูมิที่ใช้ในการทำแห้ง ดังแสดงในภาพ 4.14 ถึง 4.16



ภาพ 4.14 อัตราส่วนความชื้นต่อเวลาระหว่างการทำแห้งของแอปเปิลสดที่อุณหภูมิต่างๆ

จากภาพ 4.14 แสดงอัตราส่วนความชื้นของแอปเปิลสดระหว่างการทำแห้งที่อุณหภูมิ 50 60 และ 70 องศาเซลเซียส พบว่าในช่วง 1 ชั่วโมงแรกของการทำแห้ง แอปเปิลสดมีอัตราส่วนความชื้นลดลงอย่างช้าๆ และอัตราส่วนความชื้นในแต่ละอุณหภูมิทำแห้งมีแนวโน้มลดลงใกล้เคียงกัน เมื่อพิจารณาอุณหภูมิทำแห้ง 70 องศาเซลเซียส มีอัตราส่วนความชื้นลดลงเร็วกว่าเล็กน้อยเทื่อเปรียบเทียบกับอุณหภูมิทำแห้ง 60 และ 50 องศาเซลเซียสตามลำดับ แสดงว่าการทำแห้งที่อุณหภูมิสูงส่งผลทำให้แอปเปิลมีแนวโน้มอัตราส่วนความชื้นลดลงเร็วกว่าเมื่อเทียบกับอุณหภูมิต่ำ

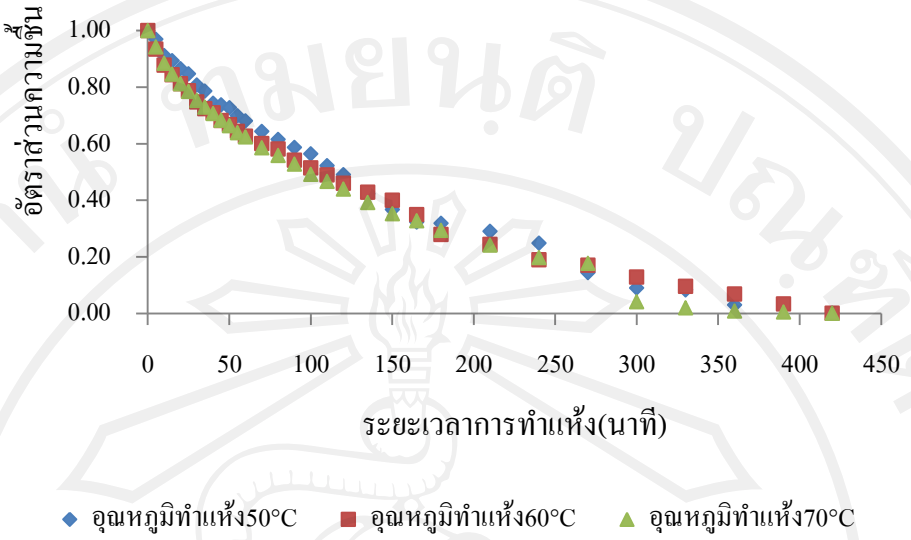
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพ 4.15 อัตราส่วนความชื้นต่อเวลาระหว่างการทำแห้งของแอปเปิลสดที่ผ่านการทำแห้งแบบออสโมติกที่อุณหภูมิต่างๆ

จากภาพ 4.15 แสดงอัตราส่วนความชื้นต่อเวลาระหว่างการทำแห้งของแอปเปิลสดที่ผ่านการทำแห้งแบบออสโมติก ที่อุณหภูมิ 50 60 และ 70 องศาเซลเซียส พบว่า เมื่อเวลาผ่านไป อัตราส่วนความชื้นมีค่าลดลง และ อัตราส่วนความชื้นที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส มีแนวโน้มลดลงเร็วกว่าที่อุณหภูมิ 60 และ 50 องศาเซลเซียสตามลำดับ เนื่องจากการถ่ายเทมวลแปรผันตามอุณหภูมิ คือเมื่ออากาศร้อนสัมผัสกับแอปเปิล ซึ่งโครงสร้างของแอปเปิลมีลักษณะเป็นรูพรุนจะทำให้น้ำที่อยู่ภายในรูพรุนเหล่านั้นเมื่อสัมผัสกับอากาศร้อนที่อุณหภูมิสูง น้ำจะเกิดการระเหยอย่างรวดเร็ว ทำให้ภายในแอปเปิลมีความชื้นลดลงเร็วกว่าที่อุณหภูมิต่ำ ซึ่งกระบวนการทำแห้งแบบออสโมติกมีส่วนช่วยลดปริมาณความชื้นในแอปเปิลส่วนหนึ่งก่อนการทำแห้งเพื่อลดเวลาในการทำแห้งลง แต่แอปเปิลที่ผ่านการทำแห้งแบบออสโมติก มีอัตราส่วนความชื้นเข้าใกล้ศูนย์เมื่อเวลาทำแห้งผ่านไปเกือบ 400 นาที ซึ่งใช้เวลามากกว่าแอปเปิลสด อาจเนื่องมาจากการแช่แอปเปิลในสารละลายซูโครสความเข้มข้นสูง ทำให้ของแข็งเคลื่อนที่เข้าไปในเซลล์เนื้อเยื่อของแอปเปิลและขัดขวางการเคลื่อนที่ของน้ำออกจากเซลล์แอปเปิล ดังนั้นภายในแอปเปิลจึงมีปริมาณความชื้นอยู่ส่วนหนึ่ง เมื่อนำมาทำแห้งจึงใช้เวลานานกว่าแอปเปิลจะมีปริมาณความชื้นคงที่หรืออัตราส่วนความชื้นเข้าใกล้ศูนย์เมื่อเทียบกับแอปเปิลสด

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

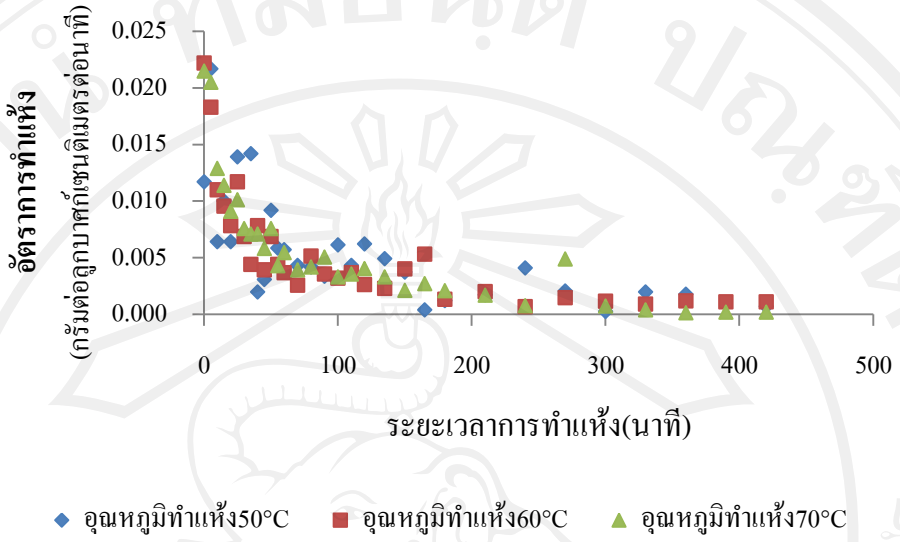


ภาพ 4.16 อัตราส่วนความชื้นต่อเวลาระหว่างการทำแห้งของแอปเปิลผ่านการเตรียมขั้นต้นที่อุณหภูมิต่างๆ

จากภาพ 4.16 แสดงอัตราส่วนความชื้นต่อเวลาระหว่างการทำแห้งของแอปเปิลผ่านการเตรียมขั้นต้น ที่อุณหภูมิ 50 60 และ 70 องศาเซลเซียส พบว่า อัตราส่วนความชื้นมีค่าลดลงเมื่อเวลาผ่านไป และทั้งสามอุณหภูมิมีแนวโน้มของอัตราส่วนความชื้นลดลงใกล้เคียงกัน แต่แอปเปิลที่ผ่านการเตรียมขั้นต้นทำแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส มีอัตราส่วนความชื้นเข้าใกล้ศูนย์เมื่อเวลาผ่านไป 300 นาที ซึ่งมีปริมาณความชื้นคงที่ก่อนอุณหภูมิ 50 และ 60 องศาเซลเซียส แสดงให้เห็นว่าการเตรียมแอปเปิลขั้นต้นก่อนการทำแห้งที่อุณหภูมิสูงสามารถลดเวลาการทำแห้งได้ เนื่องจากการเตรียมขั้นต้นด้วย PEF ในกระบวนการทำแห้งแบบออสโมติก ทำให้แอปเปิลมีความชื้นลดลงมากกว่าแอปเปิลที่ไม่ผ่านการเตรียมด้วย PEF ดังนั้นเมื่อนำมาทำแห้งที่อุณหภูมิสูงจึงสามารถลดเวลาทำแห้งได้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

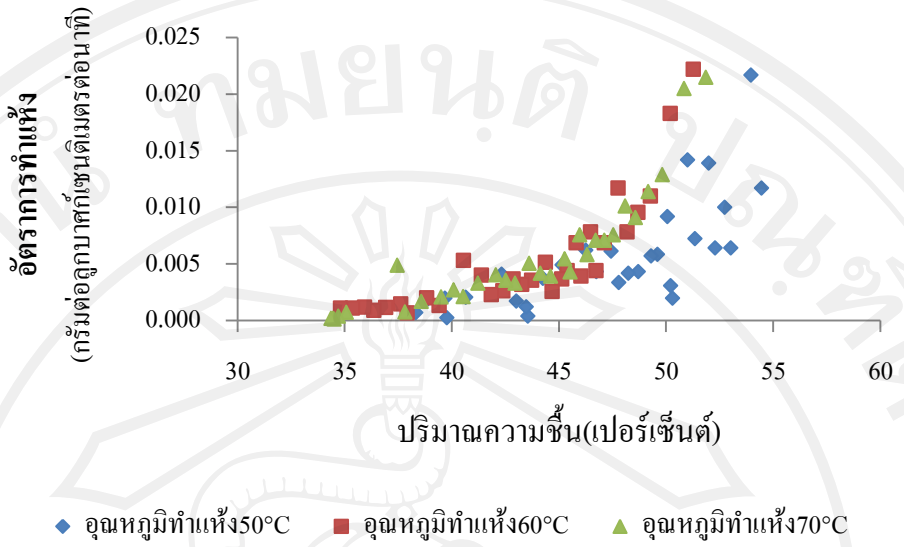
4.3.2 อัตราการทำแห้ง



ภาพ 4.17 อัตราการทำแห้งต่อเวลาระหว่างการทำแห้งของแอปเปิลผ่านการเตรียมขั้นต้นที่อุณหภูมิต่างๆ

จากภาพ 4.17 แสดงอัตราการทำแห้งต่อเวลาระหว่างการทำแห้งของแอปเปิลผ่านการเตรียมขั้นต้นที่อุณหภูมิ 50 60 และ 70 องศาเซลเซียส พบว่า อัตราการทำแห้งมีค่าลดลงเมื่อเวลาผ่านไป และที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส อัตราการทำแห้งมีค่าเข้าใกล้ศูนย์เร็วกว่าอุณหภูมิ 60 และ 50 องศาเซลเซียส ตามลำดับ แสดงว่าการทำแห้งที่อุณหภูมิสูงทำให้อัตราการทำแห้งเกิดขึ้นได้เร็ว เนื่องจากแอปเปิลมีปริมาณความชื้นต่ำส่งผลต่ออัตราการถ่ายเทความร้อน คือ การถ่ายเทความร้อนและมวลจะไม่เกิดขึ้นที่ผิวของแอปเปิลแต่จะเกิดภายในเซลล์แอปเปิลด้วย การเคลื่อนที่ของน้ำจากภายในเซลล์แอปเปิลมายังที่ผิวจะช้ากว่าการพาความชื้นที่ผิวแอปเปิลไปยังอากาศ จึงทำให้อัตราการทำแห้งลดลง และอุณหภูมิที่สูงขึ้นทำให้การแพร่กระจายของน้ำบนผิวอาหารดีขึ้น อัตราการทำแห้งจึงเกิดขึ้นได้เร็ว

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



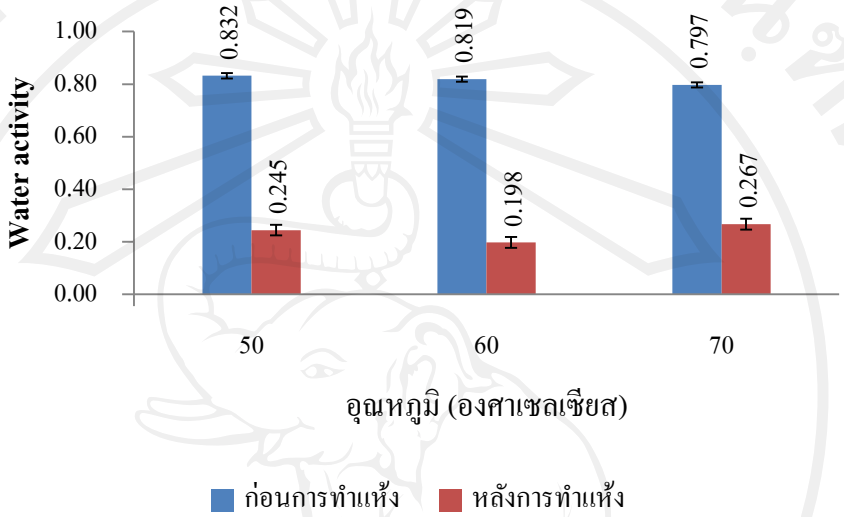
ภาพ 4.18 อัตราการทำแห้งต่อปริมาณความชื้นระหว่างการทำแห้งของแอปเปิลที่ผ่านการเตรียมขั้นต้นที่อุณหภูมิต่างๆ

จากภาพ 4.18 แสดงอัตราการทำแห้งต่อปริมาณความชื้นระหว่างการทำแห้งของแอปเปิลที่ผ่านการเตรียมขั้นต้น ที่อุณหภูมิ 50 60 และ 70 องศาเซลเซียส พบว่า เมื่อแอปเปิลมีปริมาณความชื้นลดลงส่งผลทำให้อัตราการทำแห้งลดลง และมีอัตราการทำแห้งลดลง 2 ช่วง คือช่วงอัตราการทำแห้งลดลงอย่างรวดเร็ว ที่ความชื้นเท่ากับ 55 ถึง 45 เปอร์เซ็นต์ และช่วงอัตราการทำแห้งลดลงอย่างช้าๆ จนเข้าใกล้ศูนย์ ที่ความชื้นเท่ากับ 45 ถึง 34 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากมีปริมาณความชื้นเหลืออยู่ในแอปเปิลน้อย น้ำภายในเซลล์แอปเปิลจึงแพร่ไปยังผิวหน้าได้ไม่ต่อเนื่อง ผิวหน้าของแอปเปิลจึงเริ่มแห้งและทำให้อุณหภูมิที่ผิวสูงขึ้นเรื่อยๆ เมื่อเวลาผ่านไปอัตราการทำแห้งจะลดลงจนถึงความชื้นสมดุล เมื่อพิจารณาที่อุณหภูมิ 70 และ 60 องศาเซลเซียส พบว่า เมื่อปริมาณความชื้นลดลง อัตราส่วนความชื้นจะมีแนวโน้มลดลงใกล้เคียงกัน ดังนั้นการทำแห้งที่อุณหภูมิสูงสามารถลดเวลาในการทำแห้งเป็นผลดีต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของแอปเปิล คือ การทำแห้งที่อุณหภูมิสูงและเร็ว สามารถลดการหดตัวและเกิดเปลือกแข็งที่ผิวของแอปเปิลได้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.3.3 ค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้ (a_w)

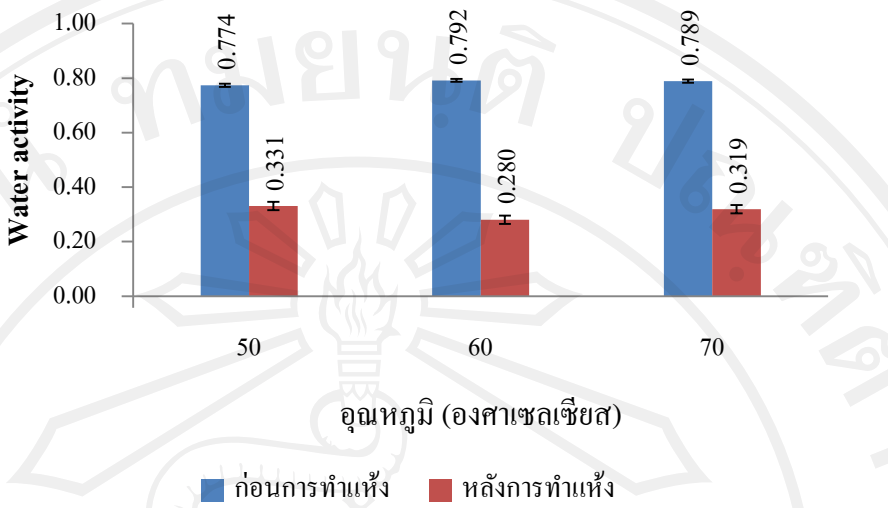
การเปลี่ยนแปลงค่า a_w ของแอปเปิลสด และแอปเปิลที่ผ่านการทำแห้งแบบออสโมติกและแอปเปิลที่ผ่านการเตรียมขั้นต้น ดังแสดงในภาพ 4.19 ถึง 4.21



ภาพ 4.19 ค่า a_w ของแอปเปิลสดก่อนและหลังการทำแห้งที่อุณหภูมิต่างๆ

เมื่อพิจารณาภาพ 4.19 แสดงค่า a_w ของแอปเปิลสดก่อนและหลังการทำแห้งที่อุณหภูมิ 50 60 และ 70 องศาเซลเซียส พบว่า ค่า a_w ของแอปเปิลสดเริ่มต้นก่อนการทำแห้งอยู่ในช่วง 0.797 ถึง 0.832 และเมื่อทำแห้งแอปเปิลสดแล้วมีค่า a_w ลดลงอยู่ในช่วง 0.198 ถึง 0.267 แสดงให้เห็นว่าการทำแห้งที่อุณหภูมิ 50 60 และ 70 องศาเซลเซียสให้ค่า a_w สุดท้ายใกล้เคียงกัน ดังนั้นอุณหภูมิทำแห้งไม่มีผลต่อการลดลงของค่า a_w แต่เป็นเวลาที่ใช้ในการทำแห้ง เพราะเวลาที่ใช้ในการทำแห้งแอปเปิลสดในแต่ละระดับอุณหภูมิใช้เวลาทำให้น้ำหนักของแอปเปิลคงที่ไม่เท่ากัน โดยที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสใช้เวลาทำแห้งนานกว่า 60 และ 70 องศาเซลเซียสตามลำดับ

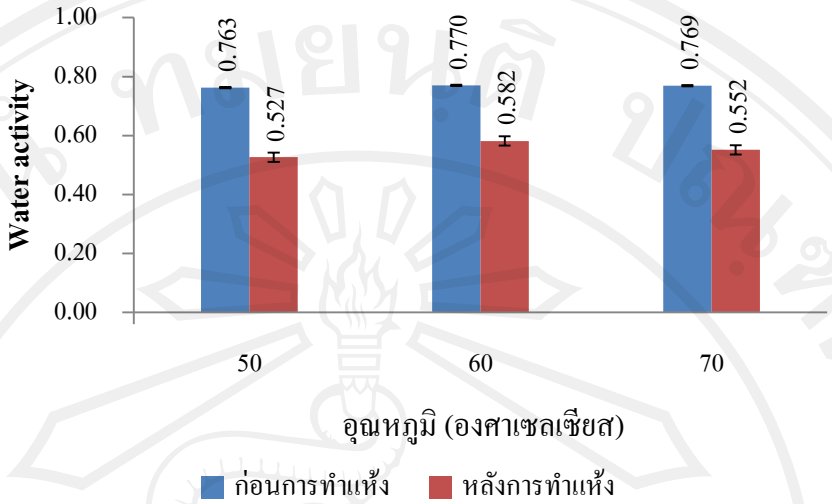
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพ 4.20 ค่า a_w ของแอปเปิลที่ผ่านการทำแห้งแบบออสโมติกก่อนและหลังการทำแห้งที่อุณหภูมิต่างๆ

จากภาพ 4.20 แสดงค่า a_w ของแอปเปิลที่ผ่านการทำแห้งแบบออสโมติกก่อนและหลังการทำแห้งที่อุณหภูมิ 50 60 และ 70 องศาเซลเซียส พบว่า ค่า a_w มีค่าลดลงหลังการทำแห้ง แต่มีอัตราการลดลงของค่า a_w น้อยกว่าแอปเปิลสด เนื่องจากแอปเปิลที่ผ่านการทำแห้งแบบออสโมติกในสารละลายซูโครสข้มข้น 70 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก มีน้ำเหลืออยู่ในแอปเปิลจำนวนหนึ่ง เมื่อนำมาทำแห้ง ของแข็งที่อยู่ในแอปเปิลจากสารละลายซูโครสจะขัดขวางการเคลื่อนที่ของน้ำที่อยู่ภายในเซลล์เนื้อเยื่อ ทำให้น้ำที่อยู่ภายในไม่สามารถระเหยออกมาได้ จึงทำให้ค่า a_w ของแอปเปิลที่ผ่านการทำแห้งแบบออสโมติกหลังการทำแห้งมีค่าสูงกว่าในแอปเปิลสด

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

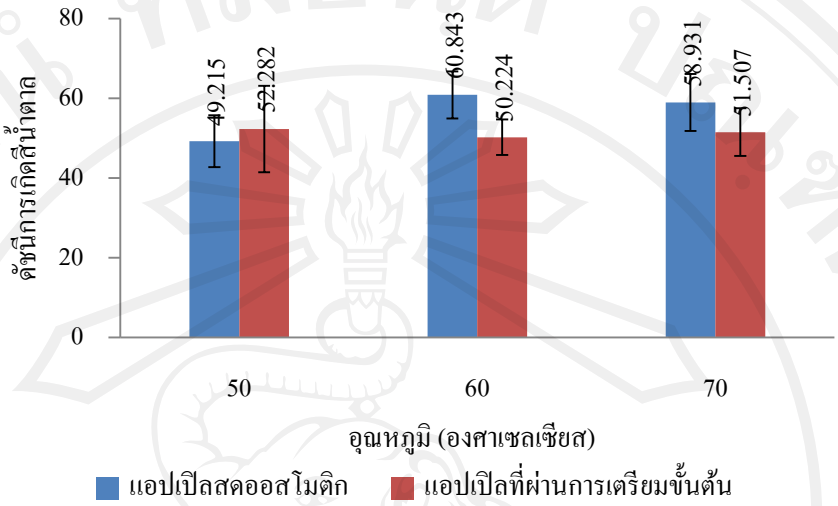


ภาพ 4.21 ค่า a_w ของแอปเปิลที่ผ่านการเตรียมขั้นต้นก่อนและหลังการทำแห้งที่อุณหภูมิต่างๆ

จากภาพ 4.21 แสดงค่า a_w ของแอปเปิลที่ผ่านการเตรียมขั้นต้นก่อนและหลังการทำแห้งที่อุณหภูมิ 50 60 และ 70 องศาเซลเซียส พบว่า ค่า a_w มีค่าลดลงอยู่ในช่วง 0.527 ถึง 0.582 ซึ่งมีค่าสูงกว่าแอปเปิลออสโมติกดีไฮเดชันและแอปเปิลสด อาจเนื่องมาจากการเตรียมขั้นต้นโดยการใช้ PEF ช่วยเพิ่มอัตราการถ่ายเทมวล ทำให้ปริมาณของแข็งในแอปเปิลมีค่าเพิ่มขึ้น ปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้นนี้ทำให้ปริมาณความชื้นที่อยู่ภายในแอปเปิลไม่สามารถระเหยออกไปได้เท่าที่ควร แม้จะใช้เวลาในการทำแห้งนานขึ้น แต่ค่า a_w สุดท้ายหลังการทำแห้งก็มีค่าต่ำกว่า 0.6 ซึ่งถือว่าอยู่ในอยู่ในระดับที่ปลอดภัยของอาหารทำแห้งต่อการเก็บรักษา คือ จุลินทรีย์ไม่สามารถเจริญได้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.3.4 ดัชนีการเกิดสีน้ำตาล



ภาพ 4.22 ค่าดัชนีการเกิดสีน้ำตาลของแอปเปิลหลังการทำแห้งที่อุณหภูมิต่างๆ

จากภาพ 4.22 แสดงค่าดัชนีการเกิดสีน้ำตาลของแอปเปิลสดออสโมติกและแอปเปิลที่ผ่านการเตรียมขั้นต้นหลังการทำแห้งที่อุณหภูมิ 50 60 และ 70 องศาเซลเซียส พบว่า เมื่ออุณหภูมิทำแห้งเพิ่มขึ้น ค่าดัชนีการเกิดสีน้ำตาลของแอปเปิลสดออสโมติกมีค่าเพิ่มขึ้น อาจเนื่องมาจากปฏิกิริยาคาราเมไลเซชัน ซึ่งการทำแห้งที่อุณหภูมิสูงส่งผลทำให้เกิดการสลายโมเลกุลน้ำตาลซูโครสให้แยกออก และเกิดพอลิเมอร์ไลเซชันของสารประกอบคาร์บอนได้เป็นสีน้ำตาล (Wedzicha *et al*., 1984). และเมื่อพิจารณาที่อุณหภูมิทำแห้ง 60 และ 70 องศาเซลเซียส แอปเปิลมีค่าดัชนีการเกิดสีน้ำตาลใกล้เคียงกัน ส่วนแอปเปิลที่ผ่านการเตรียมขั้นต้นมีค่าดัชนีการเกิดสีน้ำตาลน้อยกว่าการออสโมซิสแอปเปิลสด อาจเนื่องมาจากในเนื้อเยื่อแอปเปิลมีสารละลายกรดแอสคอร์บิคแทรกอยู่ภายในช่องว่างระหว่างเซลล์ และอุณหภูมิที่ใช้ในการทำแห้งไม่ส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของค่าดัชนีการเกิดสีน้ำตาล

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved