บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

1. การเตรียมแป้งจากมันเทศพันธุ์เกษตร

มันเทศสดพันธุ์พื้นเมืองที่นำมาใช้ในการวิจัยครั้งนี้คือพันธุ์เกษตร ซึ่งเป็นพันธุ์ที่พบทั่วไปในท้องตลาดและปลูกมากในแถบภาคกลาง และภาคตะวันออก ลักษณะของมันเทศพันธุ์เกษตร คือมีเปลือกสีชมพูปนม่วง เนื้อในสีเหลืองอ่อน หัวโตใหญ่ เมื่อนำมาผลิตแป้งตามวิธีของ ลัดดา จุฑาพานิช และ พรพรรณ์ ศรีสุข (2535) พบว่า ปริมาณแป้งมันเทศปอกเปลือกที่ผลิตได้ 14.81 % ซึ่งเป็นค่าที่ใกล้เคียงกับของกุลยา ลิ้มรุ่งเรืองรัตน์ (2535) ที่ผลิตแป้งจากมันเทศพันธุ์เกษตรได้ 16.44 % ค่าที่ได้แตกต่างกันบ้างเนื่องจากมันเทศที่ใช้มีความสมบูรณ์ของพืชหัวและขนาดหัวมันเทศแตกต่างกัน ทำให้มีการสูญเสียเนื่องจากการปอกเปลือกและตกแต่งแตกต่างกัน ส่วนปริมาณแป้งมันเทศไม่ปอกเปลือกผลิตได้ 20.84 % ซึ่งสูงกว่าแป้งมันเทศปอกเปลือกประมาณ 6 % เนื่องจากไม่ผ่านการปอกเปลือก ในขั้นการเตรียมมันเทศเพื่อผลิตแป้ง มีแต่เพียงขั้นคัดชิ้นเสียและตกแต่งเท่านั้น ทำให้ลดการสูญเสียลงได้ถึง 30 % จากน้ำหนักมันเทศสดเริ่มต้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของสุภารัตน์ เรืองมณีไพฑูรย์ และคณะ (2530) และกุลยา ลิ้มรุ่งเรืองรัตน์ (2535) ที่พบว่ามีการสูญเสียเนื่องจากการปอกเปลือกและตกแต่งของมันเทศอยู่ในช่วง 30-40 % และ 21.11 % ตามลำดับ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับขนาดของหัวมันเทศ โดยสุภารัตน์ เรืองมณีไพฑูรย์ และคณะ (2530) พบว่ามันเทศหัวขนาดเล็กจะสูญเสียเนื่องจากการปอกเปลือกและตกแต่งมากกว่ามันเทศหัวขนาดใหญ่ ดังนั้นการผลิตแป้งมันเทศไม่ปอกเปลือก สามารถลดการสูญเสียและประหยัดเวลาขั้นตอนการปอกเปลือกลงได้

เมื่อนำแป้งมันเทศปอกเปลือก แป้งมันเทศไม่ปอกเปลือก แป้งข้าวเจ้า แป้งข้าวเหนียว และแป้งมันสำปะหลัง มาวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี พบว่าปริมาณคาร์โบไฮเดรท ไขมัน เถ้า และความชื้นของแป้งมันเทศปอกเปลือก และแป้งมันเทศไม่ปอกเปลือกใกล้เคียงกัน ยกเว้นปริมาณโปรตีน และปริมาณเส้นใย (ตารางที่ 2) ซึ่งสมบัติทางเคมีที่วิเคราะห์ได้ใกล้เคียงกับการทดลองของกุลยา ลิ้มรุ่งเรืองรัตน์ (2535) ซึ่งวิเคราะห์ได้ค่าต่าง ๆ ดังนี้ ปริมาณความชื้น 5.20-6.23 % ปริมาณโปรตีน 2.35-3.58 % ปริมาณไขมัน 0.13-0.50 % ปริมาณเถ้า 1.63-2.69 %

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2 องค์ประกอบทางเคมีของแป้งมันเทศปอกเปลือก แป้งมันเทศไม่ปอกเปลือก แป้งข้าวเจ้า แป้งข้าวเหนียว และแป้งมันสำปะหลัง

ชนิดแป้ง	องค์ประกอบทางเคมี					
	คาร์โบไฮเดรท (% db.)	โปรตีน (% db.)	ไขมัน (% db.)	เถ้า (% db.)	ความชื้น (%)	เส้นใย (% db.)
แป้งมันเทศปอกเปลือก	90.38	4.06±0.01	0.70±0.10	2.43±0.02	4.01±0.01	2.43±0.01
แป้งมันเทศไม่ปอกเปลือก	90.45	2.57±0.04	0.82±0.04	2.64±0.04	4.18±0.08	3.52±0.01
แป้งข้าวเจ้า	93.23	5.50±0.13	0.53±0.05	0.42±0.01	12.56±0.26	0.32±0.01
แป้งข้าวเหนียว	94.06	4.98±0.22	0.30±0.02	0.32±0.04	12.60±0.26	0.34±0.01
แป้งมันสำปะหลัง	99.11	0.07±0.01	0.34±0.11	0.29±0.03	13.80±0.14	0.19±0.01

และปริมาณเส้นใย 2.35-2.78 % โดยน้ำหนักแห้ง ส่วนคาร์โบไฮเดรทของแป้งข้าวเจ้าและแป้งข้าวเหนียวใกล้เคียงกัน แต่ต่างจากแป้งมันสำปะหลังประมาณ 5-6 % ซึ่งปริมาณคาร์โบไฮเดรทของแป้งมันสำปะหลังที่วิเคราะห์ได้ สอดคล้องกับปริมาณคาร์โบไฮเดรทที่ Badrie และ Mellowes (1992a) วิเคราะห์ซึ่งเท่ากับ 99.06 % ส่วนปริมาณโปรตีนในแป้งข้าวเจ้า และแป้งข้าวเหนียวสูงกว่าแป้งมันสำปะหลัง ในขณะที่ปริมาณไขมัน เถ้า ความชื้น และเส้นใยไม่ต่างกันมาก

2. ผลของชนิดแป้งที่ใช้ร่วมกับแป้งมันเทศ, อุณหภูมิในการผลิต และความเร็วสกรูอัด

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนผลของชนิดแป้งที่ใช้ร่วมกับแป้งมันเทศ 3 ชนิดได้แก่ แป้งข้าวเจ้า แป้งข้าวเหนียว และแป้งมันสำปะหลัง อุณหภูมิในการผลิตโซนที่สาม 3 ระดับ ได้แก่ 100, 110 และ 120 °C และความเร็วของสกรูอัด 4 ระดับ ได้แก่ 90, 120, 150 และ 180 รอบ/นาที ต่อค่าอัตราการพองตัว ค่าแรงตัดขาด และค่าสี (L,a,b) พบว่าทุกตัวแปรมีผลต่อค่าอัตราการพองตัว ค่าแรงตัดขาด ค่าสี (L,a,b) และอิทธิพลร่วมของตัวแปรเหล่านี้ ยกเว้นความเร็วสกรูอัดที่ไม่มีผลต่อค่าอัตราการพองตัว อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($P \leq 0.05$)(ตารางที่ 17-21ในภาคผนวก ค)

เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยอัตราการพองตัวของชนิดแป้งที่ใช้ร่วมกับแป้งมันเทศ (ตารางที่ 3) พบว่าในช่วงอุณหภูมิ 100 ถึง 120 °C แป้งมันสำปะหลังให้ค่าอัตราการพองตัวสูงกว่าแป้งข้าวเหนียว และแป้งข้าวเจ้า ตามลำดับ ที่ทุกความเร็วสกรูอัด ในช่วง 90 ถึง 180 รอบ/นาที ซึ่งจากการวิเคราะห์ Amylograph ของแป้งมันเทศที่ใช้ร่วมกับแป้งข้าวเจ้า แป้งข้าวเหนียว และแป้งมันสำปะหลังที่ระดับปริมาณแป้งผสม 40 % ได้ผลดังรูปที่ 2 และ ตารางที่ 4

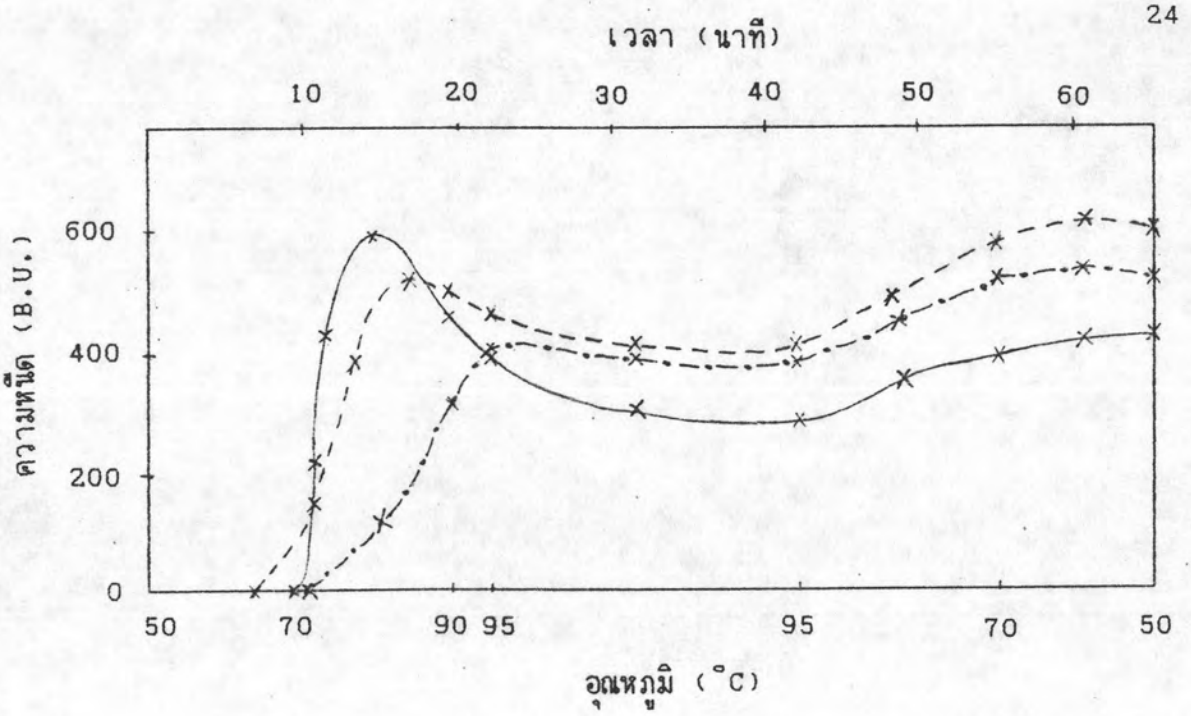
จากตารางที่ 4 จะเห็นว่าอุณหภูมิในการเกิดเจลของแป้งมันเทศที่ใช้ร่วมกับแป้งข้าวเหนียว จะเกิดเจลาติไนซ์ง่ายกว่าแป้งมันเทศที่ใช้ร่วมกับแป้งมันสำปะหลัง และแป้งมันเทศที่ใช้ร่วมกับแป้งข้าวเจ้า ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดเจลาติไนเซชันคือขนาดเม็ดแป้ง ปริมาณอะไมโลส การจัดเรียงตัวภายในเม็ดแป้ง ซึ่งรวมถึงความแข็งแรงของโครงสร้างภายในเม็ดแป้ง (Tian, Rickard and Blanshard, 1991) โดยอะไมโลสจะเกี่ยวข้องกับความแข็งแรงของเม็ดแป้ง เม็ดแป้งที่มีปริมาณอะไมโลสสูง ต้องใช้อุณหภูมิสูงเพื่อทำให้เม็ดแป้งพองตัวจึงมีผลให้อุณหภูมิในการเกิดเจลในแป้งมันเทศที่ใช้ร่วมกับแป้งข้าวเจ้า และแป้งมันเทศที่ใช้ร่วมกับแป้งมันสำปะหลัง ซึ่งมีปริมาณอะไมโลสอยู่ในช่วง 16-18 % จึงสูงกว่าในแป้งมันเทศที่ใช้

ตารางที่ 3 อัตราการพองตัวของผลิตภัณฑ์จากแป้งมันเทศผสมแป้งข้าวเจ้า แป้งมันเทศผสมแป้งข้าวเหนียว และแป้งมันเทศผสมแป้งมันสำปะหลัง โดยมีปริมาณแป้งผสม 40 % ที่อุณหภูมิในการผลิตและความเร็วของสกรูอัดต่างๆ

อุณหภูมิ (°C)	ความเร็ว (รอบ/นาที)	ค่าอัตราการพองตัว (เท่า) ของเอกซ์ทรูเดท แป้งมันเทศผสมกับ		
		แป้งข้าวเจ้า	แป้งข้าวเหนียว	แป้งมันสำปะหลัง
100	90	$3.04\pm0.03^{a,B}$	$3.02\pm0.01^{a,B}$	$3.46\pm0.01^{b,B}$
	120	$3.01\pm0.00^{a,B}$	$3.06\pm0.03^{a,B}$	$3.50\pm0.02^{b,B}$
	150	$3.02\pm0.02^{a,B}$	$3.12\pm0.03^{a,B}$	$3.54\pm0.05^{b,B}$
	180	$2.95\pm0.01^{a,B}$	$3.16\pm0.02^{a,B}$	$3.57\pm0.01^{b,B}$
110	90	$3.43\pm0.03^{a,A}$	$3.36\pm0.01^{a,A}$	$3.53\pm0.07^{b,A}$
	120	$3.38\pm0.04^{a,A}$	$3.41\pm0.00^{a,A}$	$3.70\pm0.14^{b,A}$
	150	$3.31\pm0.01^{a,A}$	$3.48\pm0.01^{a,A}$	$3.80\pm0.09^{b,A}$
	180	$3.19\pm0.00^{a,A}$	$3.78\pm0.04^{b,A}$	$3.82\pm0.04^{b,A}$
120	90	$3.06\pm0.01^{a,B}$	$3.01\pm0.01^{a,B}$	$3.46\pm0.05^{b,B}$
	120	$3.01\pm0.00^{a,B}$	$3.02\pm0.02^{a,B}$	$3.48\pm0.04^{b,B}$
	150	$2.96\pm0.01^{a,B}$	$3.04\pm0.01^{a,C}$	$3.51\pm0.01^{b,B}$
	180	$2.92\pm0.01^{a,B}$	$3.04\pm0.01^{a,C}$	$3.58\pm0.03^{b,B}$

หมายเหตุ -ตัวอักษรภาษาไทยที่แตกต่างกันในแนวนอน หมายถึงค่าเฉลี่ยที่ชนิดแป้งที่ใช้ร่วมกับแป้งมันเทศต่างกันของแต่ละอุณหภูมิและความเร็วสกรูอัดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$)

-ตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์ใหญ่ที่แตกต่างกันในแนวตั้ง หมายถึงค่าเฉลี่ยที่อุณหภูมิในการผลิตต่างกันของแต่ละชนิดแป้งที่ใช้ร่วมกับแป้งมันเทศและความเร็วสกรูอัดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$)



รูปที่ 2 อะไมโลกราฟของสารละลายแป้งผสมเข้มข้น 13 % ของแป้งมันเทศที่ใช้ร่วมกับแป้งชนิดต่าง ๆ ที่ปริมาณแป้งผสม 40 %

ตารางที่ 4 อุณหภูมิในการเกิดเจล ค่าความหนืดสูงสุด ค่าความหนืดลดลง และค่าการคืนตัวของแป้งมันเทศที่ใช้ร่วมกับแป้งข้าวเจ้า แป้งข้าวเหนียว และแป้งมันสำปะหลังที่ระดับปริมาณแป้งผสม 40 %

ชนิดแป้งที่ใช้ร่วมกับแป้งมันเทศ	อุณหภูมิในการเกิดเจล (°C)	ความหนืดสูงสุด (B.U.)	ความหนืดลดลง (B.U.)	ค่าการคืนตัว (B.U.)
ข้าวเจ้า	72-92	390	0	150
ข้าวเหนียว	64-82	510	50	90
มันสำปะหลัง	68-79	590	210	170

ร่วมกับแป้งข้าวเหนียว นอกจากนี้ขนาดเม็ดแป้งก็มีผลต่ออุณหภูมิในการเกิดเจล โดยเม็ดแป้งที่มีขนาดเล็ก อุณหภูมิในการเกิดเจลจะสูงกว่า ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองที่ได้ เนื่องจากแป้งข้าวเจ้ามีขนาดเม็ดแป้งเล็กสุด ในระหว่าง heating-cooling cycle (รูปที่ 2) พบว่ารูปแบบของ Brabender viscoamylograph ของแป้งผสมโดยรวมมีลักษณะเดียวกัน คือเมื่อเพิ่มอุณหภูมิจนถึงอุณหภูมิในการเกิดเจล ความหนืดจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจนถึงจุดสูงสุด หลังจากนั้นความหนืดก็ลดลงในช่วงให้ความร้อน (Heating Cycle) จนถึงอุณหภูมิ 95 °C สำหรับแป้งมันสำปะหลัง และแป้งข้าวเหนียว โดยกราฟที่ได้จากเม็ดแป้งมันสำปะหลัง และแป้งข้าวเหนียว จะมีการพองตัวสูง ซึ่งเป็นลักษณะของแป้งจากพืชราก เช่นแป้งมันฝรั่ง แป้งมันสำปะหลัง และแป้ง waxy จากธัญชาติ เช่นแป้งข้าวเหนียว เมื่อให้ความร้อนกับน้ำแป้ง เม็ดแป้งจะมีการพองตัวมาก ทำให้แรงที่ยึดกันภายในโมเลกุลอ่อนตัวลง และเม็ดแป้งจะแตกออกเมื่อได้รับแรงเฉือน ดังนั้นลักษณะกราฟของความหนืดจึงสูงชัน แล้วลดลงระหว่างการต้มสุก ในขณะที่กราฟของเม็ดแป้งจากข้าวเจ้าจะมีการพองตัวปานกลาง ซึ่งเป็นลักษณะกราฟจากแป้งธัญชาติทั่วไป เนื่องจากเม็ดแป้งจะไม่พองตัวมากถึงกับแตกออก ลักษณะกราฟของความหนืดจึงสูงชันน้อยกว่า และเกิดการสลายตัวระหว่างการต้มสุกน้อยกว่า ทำให้ความหนืดค่อนข้างคงที่ (Schoch and Maywald, 1968) ซึ่งค่าความหนืดสูงสุด (Peak Viscosity) เกี่ยวข้องกับปริมาณโปรตีน โดยโปรตีนจะขัดขวางการพองตัวของเม็ดแป้ง เนื่องจากโปรตีนจะหุ้มอยู่รอบๆ เม็ดแป้ง ทำให้การซึมผ่านของน้ำเข้าสู่เม็ดแป้งลดน้อยลง และมีผลทำให้จำกัดขนาดเม็ดแป้งที่จะสามารถพองตัวด้วย ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองที่พบว่า ค่าความหนืดสูงสุดของแป้งมันเทศที่ใช้ร่วมกับแป้งข้าวเจ้าต่ำสุด ทั้งนี้เนื่องจากแป้งข้าวเจ้ามีปริมาณโปรตีนสูงกว่าแป้งข้าวเหนียว และแป้งมันสำปะหลัง ตามลำดับ เมื่อให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 95 °C ต่อเป็นเวลา 20 นาที พบว่าความหนืดมีแนวโน้มลดลงเล็กน้อยสำหรับแป้งมันสำปะหลัง และแป้งข้าวเหนียว ส่วนแป้งข้าวเจ้าความหนืดคงที่ตลอดช่วง แสดงว่าแป้งข้าวเจ้าทนต่อการกวนได้ดี และเมื่อลดอุณหภูมิ (Cooling Cycle) จาก 95 °C เป็น 50 °C แป้งทั้งสามชนิดจะมีความหนืดเพิ่มขึ้น แสดงว่าเมื่อปล่อยให้ paste เย็นลงจะเกิดเจลขึ้น เมื่อสังเกตค่าความหนืดลดลง (Breakdown) ของแป้งผสม ซึ่งเป็นค่าที่ได้จากความแตกต่างของความหนืดสูงสุดกับความหนืดสุดท้ายที่อุณหภูมิ 95 °C นาน 20 นาที ค่านี้แสดงถึงความคงตัว (Stability) ของน้ำแป้ง ต่อการสลายตัวในระหว่างให้ความร้อน แป้งที่มีความสามารถในการพองตัวสูง จะสลายตัวง่าย หรือมีความคงตัวต่ำในขณะที่ให้

ความร้อน จากการทดลองพบว่าแป้งมันสำปะหลังให้ค่าความหนืดลดลงสูงสุด เพราะว่ามีการพองตัวสูง ทำให้ขณะที่ให้ความร้อนความหนืดจะลดลงอย่างมากจึงเกิดการสลายตัวง่าย (Mazurs, Schoch and Kite, 1957) ส่วนค่าการคืนตัว (Setback) ซึ่งเป็นค่าความแตกต่างระหว่างความหนืดที่อุณหภูมิ 50 °C กับความหนืดสูงสุด ค่าการคืนตัวสูง เป็นผลจากการที่อะไมโลสและอะไมโลเพคตินจับกันมาก ทำให้เจลที่ได้มีความเหนียวหนืดมากขึ้น ผลจากการจับกันของโมเลกุลทั้งสองทำให้น้ำที่เคยจับกันอยู่ก่อนถูกกีดกันออกไป และส่วนที่จับกันจะมีลักษณะเหมือนผลึก ดังนั้นจาก amylograph แสดงให้เห็นว่า แป้งมันเทศที่ใช้ร่วมกับแป้งมันสำปะหลังมีค่าความหนืดสูง แสดงว่าเม็ดแป้งเกิดการพองตัวดีกว่าแป้งมันเทศที่ใช้ร่วมกับแป้งข้าวเหนียว และแป้งมันเทศที่ใช้ร่วมกับแป้งข้าวเจ้า (รูปที่ 2) ดังนั้นถ้าสภาวะที่ใช้ในการผลิตเหมาะสมแป้งที่เจลาติไนซ์จะให้โดที่มีความยืดหยุ่นมาก ซึ่งจะสามารถพองตัวได้ง่ายทันทีหลังจากผ่านเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ เนื่องจากความแตกต่างระหว่างความดันภายในชิ้นอาหาร และความดันภายนอกชิ้นอาหาร ไอน้ำที่อยู่ในรูปไอน้ำร้อนยิ่งยวดจะระเหยอย่างรวดเร็ว ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่พองตัว (Harper, 1979; Maga, 1991)

จากการแปรอุณหภูมิในการผลิตโซนที่สามพบว่า แป้งมันเทศที่ใช้ร่วมกับแป้งมันสำปะหลังที่อุณหภูมิในการผลิต 100 °C ให้ค่าอัตราการพองตัวสูงกว่าแป้งมันเทศที่ใช้ร่วมกับแป้งข้าวเหนียว และแป้งข้าวเจ้า ตามลำดับ และเมื่ออุณหภูมิในการผลิตสูงขึ้นถึง 110 °C อัตราการเพิ่มขึ้นของค่าอัตราการพองตัวของแป้งข้าวเหนียวสูงกว่าแป้งข้าวเจ้า และแป้งมันสำปะหลัง เมื่ออุณหภูมิในการผลิตสูงขึ้นเป็น 120 °C แป้งทั้งสามชนิดให้ค่าอัตราการพองตัวลดลง และได้ค่าอัตราการพองตัวใกล้เคียงกับที่อุณหภูมิในการผลิต 100 °C อัตราการพองตัวสูงสุดในแป้งทั้งสามชนิดมีแนวโน้มอย่างเดียวกัน คือ เกิดที่อุณหภูมิในการผลิต 110 °C โดยค่าอัตราการพองตัวสูงสุดคือแป้งมันเทศที่ใช้ร่วมกับแป้งมันสำปะหลัง รองลงมา คือ แป้งมันเทศที่ใช้ร่วมกับแป้งข้าวเหนียวและแป้งมันเทศที่ใช้ร่วมกับแป้งข้าวเจ้าตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับผลงานวิจัยของ Mercier และ Feillet (1975) ที่พบว่าเมื่ออุณหภูมิในการผลิตเพิ่มขึ้นในช่วง 65 - 250 °C ค่าอัตราการพองตัวของ corn grits จะสูงสุดที่อุณหภูมิ 180 - 200 °C หลังจากอุณหภูมินั้นแล้วจะให้ค่าอัตราการพองตัวลดลง เนื่องจากอุณหภูมิเป็นตัวให้ความร้อนแก่แป้ง ทำให้แป้งเกิดเจลาติไนซ์และเริ่มการเปลี่ยนแปลงสภาพ ดังนั้นถ้าอุณหภูมิในการผลิตเหมาะสม แป้งที่เกิดเจลาติไนซ์จะให้โดที่ยืดหยุ่นมาก การพองตัวจึงสูงสุด

จากการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยค่าแรงตัดขาดของชนิดแป้งที่ใช้ร่วมกับแป้งมันเทศ (ตารางที่ 5) พบว่าในช่วงอุณหภูมิ 100 ถึง 120 °C เมื่อความเร็วสกรูอัดคงที่ในช่วง 90-180 รอบ/นาที เอกซ์ทรูเดทจากแป้งมันเทศที่ใช้ร่วมกับแป้งมันสำปะหลังให้ค่าเฉลี่ยแรงตัดขาดสูงกว่าเอกซ์ทรูเดทจากแป้งมันเทศที่ใช้ร่วมกับแป้งข้าวเจ้า และเอกซ์ทรูเดทจากแป้งมันเทศที่ใช้ร่วมกับแป้งข้าวเหนียว ตามลำดับ นอกจากนี้ผู้ทดสอบมีข้อคิดเห็นว่าเอกซ์ทรูเดทจากแป้งมันเทศที่ใช้ร่วมกับแป้งมันสำปะหลัง จะมีลักษณะกรอบเหนียว ส่วนเอกซ์ทรูเดทจากแป้งมันเทศที่ใช้ร่วมกับแป้งข้าวเจ้า มีลักษณะกรอบแข็ง และเอกซ์ทรูเดทจากแป้งมันเทศที่ใช้ร่วมกับแป้งข้าวเหนียวจะมีลักษณะกรอบร่วน ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของพอใจ ลิ้มพันธ์อุดม (2531) ที่พบว่าเอกซ์ทรูเดทจากแป้งข้าวเจ้าจะให้ค่าแรงตัดขาดสูงกว่าเอกซ์ทรูเดทจากแป้งข้าวเหนียว เนื่องจากเอกซ์ทรูเดทจากแป้งข้าวเจ้ามีลักษณะกรอบแข็ง ส่วนเอกซ์ทรูเดทจากแป้งข้าวเหนียวมีลักษณะกรอบร่วน นอกจากนี้ยังพบว่าแป้งทั้งสามชนิด เมื่ออุณหภูมิในการผลิตเพิ่มขึ้นจาก 100 เป็น 120 °C ค่าเฉลี่ยแรงตัดขาดจะลดลง ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิจัยของ Mercier และ Feillet (1975) ที่พบว่าในผลิตภัณฑ์จาก corn grits เมื่ออุณหภูมิในการผลิตสูงขึ้นจาก 65 เป็น 250 °C ค่าความแข็งแรงในการแตกหักจะลดลง ซึ่งก็หมายถึงค่าแรงตัดขาดลดลงนั่นเอง Park และคณะ (1993) ก็พบว่าในผลิตภัณฑ์จาก defatted soy flour, corn starch และ raw beef เมื่ออุณหภูมิในการผลิตเพิ่มขึ้นจาก 140 เป็น 160 °C ค่าแรงตัดขาดจะลดลง

เมื่อศึกษาถึงผลของความเร็วสกรูอัดต่อค่าแรงตัดขาด พบว่าแป้งที่ใช้ร่วมกับแป้งมันเทศทั้งสามชนิด ที่อุณหภูมิในการผลิตคงที่ เมื่อความเร็วสกรูอัดสูงขึ้นจาก 90 เป็น 180 รอบ/นาที ค่าเฉลี่ยแรงตัดขาดจะลดลงเนื่องจากตัวสกรูซึ่งเป็นเกลียวหมุนอยู่ภายในปลอกเหล็กผนังสองชั้น (Barrel) มีหน้าที่หมุนผลักพาวัตถุที่อยู่ภายในเครื่องออกไปข้างหน้าผ่านรูเปิดพิเศษบนหน้าแปลน (Die) ออกมาดังนั้นเมื่อความเร็วของสกรูอัดสูงขึ้น จะเกิดแรงเสียดทานระหว่างวัตถุอาหารต่อวัตถุอาหาร หรือระหว่างวัตถุอาหารกับผนังของบาเรลมากขึ้น ความร้อนที่ได้จากแรงเสียดทานจะสูงมากขึ้น ความดันก็สูงขึ้นด้วย เมื่อผลิตภัณฑ์ผ่านรูเปิดออกมา จะเกิดความแตกต่างระหว่างความดันภายในชิ้นอาหารและความดันภายนอกชิ้นอาหาร ไอน้ำที่อยู่ในรูปไอน้ำร้อนยิ่งยวดจะระเหยอย่างรวดเร็ว ทำให้โครงสร้างภายในผลิตภัณฑ์โปร่งพรุน แรงที่ใช้ตัดขาดผลิตภัณฑ์จึงต่ำกว่าที่ความเร็วของสกรูอัดต่ำ

ตารางที่ 5 ค่าแรงตัดขาดของผลิตภัณฑ์จากแป้งมันเทศผสมแป้งข้าวเจ้า แป้งมันเทศผสมแป้งข้าวเหนียว และแป้งมันเทศผสมแป้งมันสำปะหลัง โดยมีปริมาณแป้งผสม 40 % ที่อุณหภูมิในการผลิต และความเร็วของสกรูอัดต่าง ๆ

อุณหภูมิ (°C)	ความเร็ว (รอบ/นาที)	ค่าแรงตัดขาด (นิวตัน) เอกซ์ทรูเดท แป้งมันเทศผสมกับ		
		แป้งข้าวเจ้า	แป้งข้าวเหนียว	แป้งมันสำปะหลัง
100	90	$13.42\pm0.95^{a,A,a}$	$9.62\pm0.42^{a,A,a}$	$15.32\pm0.77^{a,A,a}$
	120	$8.78\pm0.04^{a,A,b}$	$9.58\pm0.01^{a,A,a}$	$11.58\pm0.88^{a,A,b}$
	150	$8.03\pm0.64^{a,A,b}$	$6.83\pm0.52^{a,AB,b}$	$8.82\pm1.08^{a,A,c}$
	180	$7.00\pm0.43^{a,A,c}$	$5.14\pm0.51^{a,A,c}$	$6.89\pm0.35^{a,A,d}$
110	90	$11.06\pm0.18^{a,B,a}$	$9.58\pm0.19^{a,A,a}$	$11.08\pm0.52^{a,B,a}$
	120	$8.92\pm0.06^{a,A,b}$	$7.66\pm0.30^{a,B,b}$	$7.82\pm0.22^{a,B,b}$
	150	$6.34\pm0.19^{a,B,c}$	$7.27\pm0.21^{a,A,b}$	$6.46\pm0.09^{a,B,c}$
	180	$5.24\pm0.09^{a,B,d}$	$5.10\pm0.83^{a,A,c}$	$5.70\pm0.04^{a,B,c}$
120	90	$8.52\pm0.03^{a,C,a}$	$7.46\pm0.26^{a,B,a}$	$11.48\pm0.39^{a,B,a}$
	120	$6.74\pm0.46^{a,B,b}$	$6.67\pm0.27^{a,B,ab}$	$7.57\pm0.16^{a,B,b}$
	150	$5.86\pm0.19^{a,B,b}$	$5.97\pm0.23^{a,B,b}$	$6.30\pm0.25^{a,B,c}$
	180	$4.64\pm0.37^{a,B,c}$	$4.19\pm0.16^{a,A,c}$	$5.58\pm0.32^{a,B,c}$

หมายเหตุ -ตัวอักษรภาษาไทยที่แตกต่างกันในแนวนอน หมายถึงค่าเฉลี่ยที่ชนิดแป้งที่ใช้ร่วมกับแป้งมันเทศต่างกันของแต่ละอุณหภูมิและความเร็วสกรูอัดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$)

-ตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์ใหญ่ที่แตกต่างกันในแนวตั้ง หมายถึงค่าเฉลี่ยที่อุณหภูมิในการผลิตต่างกันของแต่ละชนิดแป้งที่ใช้ร่วมกับแป้งมันเทศและความเร็วสกรูอัดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$)

-ตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กที่แตกต่างกันในแนวตั้ง หมายถึงค่าเฉลี่ยที่ความเร็วสกรูอัดต่างกันของแต่ละชนิดแป้งที่ใช้ร่วมกับแป้งมันเทศและอุณหภูมิในการผลิตแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$)

จากการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยค่าความสว่าง(L)ของชนิดแป้งที่ใช้ร่วมกับแป้งมันเทศ (ตารางที่ 6) พบว่าในช่วงอุณหภูมิ 100 ถึง 120 °C เมื่อความเร็วสกรูอัดคงที่ในช่วง 90-180 รอบ/นาที เอกซ์ทรูเดทจากแป้งมันเทศที่ใช้ร่วมกับแป้งมันสำปะหลัง จะให้ค่าเฉลี่ยของค่าความสว่าง (L) สูงกว่าเอกซ์ทรูเดทจากแป้งมันเทศที่ใช้ร่วมกับแป้งข้าวเหนียว และเอกซ์ทรูเดทจากแป้งมันเทศที่ใช้ร่วมกับแป้งข้าวเจ้า อาจเนื่องจากแป้งมันสำปะหลังให้ลักษณะแป้งสุกที่ใสกว่าแป้งข้าวเหนียว และแป้งข้าวเจ้าที่ให้ลักษณะแป้งสุกที่ขุ่นแน่นกว่า ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของจามรี จันทร์เมลือง และ นารี โตอุส่าห์ (2527) ที่พบว่าแป้งมันสำปะหลังเมื่อสุก จะมีลักษณะใส ส่วนแป้งข้าวเจ้า จะให้แป้งสุกที่มีลักษณะแข็งขุ่น

จากการแปรอุณหภูมิในการผลิต (ตารางที่ 6) พบว่าแป้งทั้งสามชนิด เมื่ออุณหภูมิในการผลิตเพิ่มขึ้นจาก 100 เป็น 120 °C ค่าความสว่าง (L) มีแนวโน้มลดลง เนื่องจากเมื่ออุณหภูมิในการผลิตสูงขึ้น วัตถุดิบคือแป้ง ซึ่งนอกจากมีองค์ประกอบทางเคมีส่วนใหญ่เป็นแป้งแล้วยังมีน้ำตาลและกรดอะมิโนรวมอยู่ด้วย และที่สำคัญแป้งมันเทศมีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์อยู่ค่อนข้างสูงคือประมาณ 3.10-7.96 % โดยน้ำหนักแห้ง(สุภารัตน์ เรืองมณีไพฑูรย์ และคณะ, 2530) จึงสามารถเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาล Maillard reaction ซึ่งปฏิกิริยา Maillard เกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาระหว่างสารประกอบอะมิโนของโปรตีนธรรมชาติกับน้ำตาลรีดิวซ์ที่เกิดขึ้นระหว่างให้ความร้อน (Badrie and Mellowes, 1992b)

เมื่อศึกษาถึงผลของความเร็วสกรูอัดต่อค่าความสว่าง (L) (ตารางที่ 6) พบว่าแป้งที่ใช้ร่วมกับแป้งมันเทศทั้งสามชนิด เมื่อความเร็วสกรูอัดสูงขึ้นจาก 90 เป็น 180 รอบ/นาที ค่าเฉลี่ยค่าความสว่าง (L) มีแนวโน้มลดลง เนื่องจากการเพิ่มความเร็วสกรูอัดก็เป็นการให้ความร้อนแก่วัตถุดิบทางหนึ่งที่จะทำให้สารตั้งต้นในปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลเกิดปฏิกิริยาขึ้น ส่งผลให้ค่าสีความสว่างลดลง

นอกจากนี้ยังมีค่าสีแดง(a)ซึ่งเป็นผลจากการเปลี่ยนแปลงทางด้านสีที่เกิดขึ้นเนื่องจากวัตถุดิบได้รับความร้อน ทำให้องค์ประกอบทางเคมีต่าง ๆ ภายในวัตถุดิบเกิดปฏิกิริยาต่าง ๆ เช่น non-enzymic browning, caramelization ส่งผลให้สีของผลิตภัณฑ์เข้มขึ้น ดังนั้นการที่ค่าสีแดง (a) เปลี่ยนแปลงก็เนื่องมาจากเกิดการเปลี่ยนแปลงในกระบวนการผลิต (Hutchings, 1994)

ตารางที่ 6 ค่าความสว่าง (L) ของผลิตภัณฑ์จากแป้งมันเทศผสมแป้งข้าวเจ้า แป้งมันเทศผสมแป้งข้าวเหนียว และแป้งมันเทศผสมแป้งมันสำปะหลัง โดยมีปริมาณแป้งผสม 40 % ที่อุณหภูมิในการผลิตและความเร็วของสกรูอัดต่างๆ

อุณหภูมิ (°C)	ความเร็ว (รอบ/นาที)	ค่าความสว่าง (L) ของเอกซ์ทรูเดท แป้งมันเทศผสมกับ		
		แป้งข้าวเจ้า	แป้งข้าวเหนียว	แป้งมันสำปะหลัง
100	90	$66.90\pm0.30^{a,B,a}$	$70.78\pm0.74^{a,A,a}$	$71.52\pm0.15^{a,A,a}$
	120	$62.88\pm0.18^{a,B,b}$	$63.56\pm0.84^{a,B,b}$	$66.24\pm0.18^{a,A,b}$
	150	$62.16\pm0.78^{a,A,b}$	$64.50\pm0.23^{a,A,b}$	$68.02\pm0.71^{a,A,b}$
	180	$61.54\pm0.42^{a,B,b}$	$60.70\pm2.97^{a,A,c}$	$66.78\pm0.20^{a,A,b}$
110	90	$68.94\pm0.16^{a,A,a}$	$68.98\pm0.91^{a,B,a}$	$70.09\pm0.85^{a,AB,a}$
	120	$65.16\pm0.11^{a,A,b}$	$68.70\pm0.14^{a,A,a}$	$66.78\pm1.32^{a,A,b}$
	150	$63.01\pm0.09^{a,A,c}$	$64.60\pm1.22^{a,A,b}$	$66.70\pm0.47^{a,AB,b}$
	180	$65.33\pm0.01^{a,A,b}$	$66.00\pm0.96^{a,A,b}$	$66.76\pm0.59^{a,A,b}$
120	90	$67.04\pm0.44^{a,B,a}$	$67.08\pm0.57^{a,C,a}$	$69.40\pm0.50^{a,B,a}$
	120	$63.26\pm0.08^{a,B,b}$	$63.16\pm0.50^{a,B,b}$	$64.30\pm0.32^{a,B,b}$
	150	$61.23\pm0.45^{a,A,c}$	$63.38\pm0.01^{a,A,b}$	$65.21\pm0.49^{a,B,b}$
	180	$61.76\pm0.69^{a,B,bc}$	$62.12\pm1.51^{a,B,b}$	$64.34\pm1.04^{a,B,b}$

หมายเหตุ -ตัวอักษรภาษาไทยที่แตกต่างกันในแนวนอน หมายถึงค่าเฉลี่ยที่ชนิดแป้งที่ใช้ร่วมกับแป้งมันเทศต่างกันของแต่ละอุณหภูมิและความเร็วสกรูอัดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$)

-ตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์ใหญ่ที่แตกต่างกันในแนวตั้ง หมายถึงค่าเฉลี่ยที่อุณหภูมิในการผลิตต่างกันของแต่ละชนิดแป้งที่ใช้ร่วมกับแป้งมันเทศและความเร็วสกรูอัดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$)

-ตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กที่แตกต่างกันในแนวตั้ง หมายถึงค่าเฉลี่ยที่ความเร็วสกรูอัดต่างกันของแต่ละชนิดแป้งที่ใช้ร่วมกับแป้งมันเทศและอุณหภูมิในการผลิตแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$)

จากการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยค่าสีแดง (a) ของชนิดแป้งที่ใช้ร่วมกับแป้งมันเทศ(ตารางที่ 7) พบว่าในช่วงอุณหภูมิ 100 ถึง 120 °C เมื่อความเร็วสกรูอัดคงที่ในช่วง 90-180 รอบ/นาที เอกซ์ทรูเดทจากแป้งมันเทศที่ใช้ร่วมกับแป้งข้าวเจ้ามีแนวโน้มให้ค่าสีแดง (a) สูงกว่าเอกซ์ทรูเดทจากแป้งมันเทศที่ใช้ร่วมกับแป้งข้าวเหนียว และเอกซ์ทรูเดทจากแป้งมันเทศที่ใช้ร่วมกับแป้งมันสำปะหลังตามลำดับ เนื่องจากแป้งข้าวเจ้ามีปริมาณโปรตีนอยู่สูงถึง 5.50 % โดยน้ำหนักแห้ง ในขณะที่แป้งข้าวเหนียว และแป้งมันสำปะหลังมีปริมาณโปรตีนอยู่ 4.98 และ 0.07 ตามลำดับ (ตารางที่ 2) ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิจัยของ Badrie และ Mellowes (1992b)ที่พบว่าในผลิตภัณฑ์จากแป้งมันสำปะหลัง เมื่อเพิ่มปริมาณโปรตีนจากแป้งถั่วเหลืองทีละ 5 จนถึง 25 % ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีสีเข้มขึ้น ซึ่งเป็นผลจากการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาล ดังนั้นการที่แป้งข้าวเจ้ามีปริมาณโปรตีนอยู่สูงทำให้เกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลได้มากกว่าแป้งข้าวเหนียวและแป้งมันสำปะหลัง ค่าสีแดง (a) จึงสูงกว่า

จากการศึกษาผลของอุณหภูมิในการผลิต พบว่าที่ความเร็วสกรูอัดคงที่ อุณหภูมิในการผลิต 100 และ 120 °C ในแป้งทั้งสามชนิด ค่าสีแดง (a) มีแนวโน้มใกล้เคียงกัน ยกเว้นที่อุณหภูมิ 110 °C มีแนวโน้มให้ค่าสีแดง (a) ต่ำสุดอาจเนื่องจากที่อุณหภูมิ 110 °C เป็นภาวะที่เหมาะสมในการผลิต อัตราการพองตัวสูงสุด ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีค่าสีแดงต่ำสุด ส่วนผลของความเร็วสกรูอัด พบว่า เมื่อความเร็วสกรูอัดเพิ่มขึ้น แป้งทั้งสามชนิดมีแนวโน้มให้ค่าสีแดง (a) เพิ่มขึ้น

จากการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยค่าสีเหลือง (b) ของชนิดแป้งที่ใช้ร่วมกับแป้งมันเทศ (ตารางที่ 8) พบว่าในช่วงอุณหภูมิ 100 ถึง 120 °C เมื่อความเร็วสกรูอัดคงที่ในช่วง 90-180 รอบ/นาที เอกซ์ทรูเดทจากแป้งมันเทศที่ใช้ร่วมกับแป้งข้าวเจ้ามีแนวโน้มให้ค่าสีเหลือง (b) สูงกว่าเอกซ์ทรูเดทจากแป้งมันเทศที่ใช้ร่วมกับแป้งข้าวเหนียว และเอกซ์ทรูเดทจากแป้งมันเทศที่ใช้ร่วมกับแป้งมันสำปะหลัง เนื่องจากค่าสีเหลือง (b) ก็เป็นผลมาจากปฏิกิริยาสีน้ำตาลเช่นกัน ทำให้ได้ผลสอดคล้องกับค่าสีแดง (a) ส่วนผลของอุณหภูมิในการผลิต พบว่าที่อุณหภูมิในการผลิต 100 และ 120 °C แป้งทั้งสามชนิดมีแนวโน้มให้ค่าสีเหลือง (b) ไม่แตกต่างกัน ส่วนที่อุณหภูมิ 110 °C ผลิตภัณฑ์มีค่าสีเหลือง (b) ต่ำสุด เหตุผลเช่นเดียวกับผลของอุณหภูมิต่อค่าสีแดง (a) เมื่อแปรความเร็วสกรูอัด พบว่าเมื่อความเร็วสกรูอัดสูงขึ้น ค่าสีเหลือง (b)มีแนวโน้มสูงกว่าที่ความเร็วสกรูอัดต่ำแต่ไม่ชัดเจน สาเหตุก็เช่นเดียวกับผลของอุณหภูมิ คือการเพิ่มความเร็วสกรูอัด เป็นการให้ความร้อนแก่วัตถุดิบทางหนึ่งที่เร่งปฏิกิริยาการเกิดสี

ตารางที่ 7 ค่าสีแดง (a) ของผลิตภัณฑ์จากแป้งมันเทศผสมแป้งข้าวเจ้า แป้งมันเทศผสมแป้งข้าวเหนียว และแป้งมันเทศผสมแป้งมันสำปะหลัง โดยมีปริมาณแป้งผสม 40 % ที่อุณหภูมิในการผลิต และความเร็วของสกรูอัดต่าง ๆ

อุณหภูมิ (°C)	ความเร็ว (รอบ/นาที)	ค่าสีแดง (a) ของเอกซ์ทรูเดท แป้งมันเทศผสมกับ		
		แป้งข้าวเจ้า	แป้งข้าวเหนียว	แป้งมันสำปะหลัง
100	90	$10.19\pm0.49^{n,A,b}$	$7.54\pm0.72^{n,B,c}$	$7.13\pm0.03^{n,B,b}$
	120	$12.01\pm0.30^{n,A,a}$	$11.52\pm1.14^{n,A,b}$	$9.70\pm0.04^{n,A,a}$
	150	$12.50\pm0.37^{n,AB,a}$	$11.71\pm0.51^{n,A,b}$	$9.26\pm0.24^{n,B,a}$
	180	$12.44\pm0.25^{n,A,a}$	$12.90\pm1.34^{n,A,a}$	$9.70\pm0.33^{n,B,a}$
110	90	$8.74\pm0.29^{n,B,b}$	$8.11\pm0.69^{n,B,b}$	$6.96\pm0.02^{n,B,c}$
	120	$9.76\pm0.02^{n,B,b}$	$8.44\pm0.08^{n,B,b}$	$8.51\pm0.08^{n,B,b}$
	150	$12.02\pm0.18^{n,AB,a}$	$10.30\pm0.57^{n,B,a}$	$8.77\pm0.28^{n,B,ab}$
	180	$11.38\pm0.53^{n,A,a}$	$9.68\pm0.02^{n,B,a}$	$9.78\pm0.06^{n,B,a}$
120	90	$9.81\pm0.01^{n,A,c}$	$9.23\pm0.07^{n,A,b}$	$8.08\pm0.04^{n,A,c}$
	120	$11.88\pm0.41^{n,A,b}$	$12.04\pm0.04^{n,A,a}$	$10.26\pm0.43^{n,A,b}$
	150	$13.08\pm0.29^{n,A,a}$	$11.84\pm0.04^{n,A,a}$	$10.34\pm0.09^{n,A,ab}$
	180	$12.36\pm0.23^{n,A,ab}$	$12.66\pm0.62^{n,A,a}$	$11.19\pm0.32^{n,A,a}$

หมายเหตุ -ตัวอักษรภาษาไทยที่แตกต่างกันในแนวนอน หมายถึงค่าเฉลี่ยที่ชนิดแป้งที่ใช้ร่วมกับแป้งมันเทศต่างกันของแต่ละอุณหภูมิและความเร็วสกรูอัดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$)

-ตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์ใหญ่ที่แตกต่างกันในแนวตั้ง หมายถึงค่าเฉลี่ยที่อุณหภูมิในการผลิตต่างกันของแต่ละชนิดแป้งที่ใช้ร่วมกับแป้งมันเทศและความเร็วสกรูอัดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$)

-ตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กที่แตกต่างกันในแนวตั้ง หมายถึงค่าเฉลี่ยที่ความเร็วสกรูอัดต่างกันของแต่ละชนิดแป้งที่ใช้ร่วมกับแป้งมันเทศและอุณหภูมิในการผลิตแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$)

ตารางที่ 8 ค่าสีเหลือง (b) ของผลิตภัณฑ์จากแป้งมันเทศผสมแป้งข้าวเจ้า แป้งมันเทศผสมแป้งข้าวเหนียว และแป้งมันเทศผสมแป้งมันสำปะหลังโดยมีปริมาณแป้งผสม 40 % ที่อุณหภูมิในการผลิต และความเร็วของสกรูอัดต่าง ๆ

อุณหภูมิ (°C)	ความเร็ว (รอบ/นาที)	ค่าสีเหลือง (b) ของเอกซ์ทรูเดทแป้งมันเทศผสมกับ แป้งข้าวเจ้า	แป้งข้าวเหนียว	แป้งมันสำปะหลัง
100	90	$39.10\pm1.08^{n,A,a}$	$36.76\pm0.71^{n,B,b}$	$36.10\pm0.28^{n,B,b}$
	120	$39.09\pm0.00^{n,A,a}$	$39.74\pm0.49^{n,A,a}$	$39.02\pm0.06^{n,A,a}$
	150	$39.07\pm0.45^{n,A,a}$	$39.02\pm0.32^{n,A,a}$	$37.98\pm0.71^{n,B,a}$
	180	$38.60\pm0.30^{n,AB,a}$	$38.96\pm0.99^{n,A,a}$	$38.08\pm0.04^{n,B,a}$
110	90	$36.34\pm0.43^{n,B,b}$	$35.46\pm1.84^{n,B,b}$	$35.09\pm0.14^{n,B,b}$
	120	$37.04\pm0.20^{n,B,b}$	$34.76\pm0.23^{n,B,b}$	$37.19\pm0.23^{n,B,a}$
	150	$39.11\pm0.10^{n,A,a}$	$37.42\pm1.03^{n,B,a}$	$36.92\pm0.22^{n,B,a}$
	180	$37.09\pm0.45^{n,B,b}$	$35.61\pm0.74^{n,B,b}$	$37.70\pm0.46^{n,B,a}$
120	90	$38.26\pm0.79^{n,A,a}$	$38.40\pm0.10^{n,A,b}$	$38.41\pm2.11^{n,A,a}$
	120	$39.14\pm0.53^{n,A,a}$	$40.23\pm0.11^{n,A,a}$	$39.04\pm0.06^{n,A,a}$
	150	$39.66\pm0.15^{n,A,a}$	$40.00\pm0.11^{n,A,a}$	$39.58\pm0.04^{n,A,a}$
	180	$39.14\pm0.39^{n,A,a}$	$40.45\pm0.24^{n,A,a}$	$39.71\pm0.01^{n,A,a}$

หมายเหตุ -ตัวอักษรภาษาไทยที่แตกต่างกันในแนวนอน หมายถึงค่าเฉลี่ยที่ชนิดแป้งที่ใช้ร่วมกับแป้งมันเทศต่างกันของแต่ละอุณหภูมิและความเร็วสกรูอัดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$)

-ตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์ใหญ่ที่แตกต่างกันในแนวตั้ง หมายถึงค่าเฉลี่ยที่อุณหภูมิในการผลิตต่างกันของแต่ละชนิดแป้งที่ใช้ร่วมกับแป้งมันเทศและความเร็วสกรูอัดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$)

-ตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กที่แตกต่างกันในแนวตั้ง หมายถึงค่าเฉลี่ยที่ความเร็วสกรูอัดต่างกันของแต่ละชนิดแป้งที่ใช้ร่วมกับแป้งมันเทศและอุณหภูมิในการผลิตแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$)

น้ำตาล ซึ่งอุณหภูมิในการผลิตจะให้ผลที่ชัดเจนกว่า

จากการศึกษาผลของชนิดแป้งที่ใช้ร่วมกับแป้งมันเทศ, อุณหภูมิในการผลิตโซนที่สาม และความเร็วสกรูอัด ต่อค่าอัตราการพองตัว ค่าแรงตัดขาด และค่าสี (L,a,b) ในการทดลองขั้นแรกนี้ ทำให้เลือกแป้งมันสำปะหลังมาใช้ร่วมกับแป้งมันเทศ เนื่องจากแป้งมันสำปะหลังมีราคาถูก หาได้ง่าย และมีสมบัติเด่นคือให้ค่าอัตราการพองตัวสูง ซึ่งเป็นสิ่งสำคัญในการผลิตผลิตภัณฑ์อาหารว่างจากกระบวนการเอกซ์ทรูชัน ส่วนอุณหภูมิในการผลิตโซนที่สามที่เหมาะสมในช่วงอุณหภูมิ 100-120 °C ซึ่งเป็นช่วงอุณหภูมิต่ำและสูงของอุณหภูมิ 110 °C และความเร็วสกรูอัดที่เหมาะสมคืออยู่ในช่วง 90-150 รอบ/นาที

3. <u>ภาวะที่เหมาะสมในการผลิตอาหารว่างจากแป้งมันเทศ</u>

จากการศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการผลิตตามข้อ 4 ในขั้นวิธีดำเนินการวิจัย พบว่าผลของชนิดแป้งมันเทศ 2 ชนิด ได้แก่ แป้งมันเทศชนิดปอกเปลือก และแป้งมันเทศชนิดไม่ปอกเปลือก ปริมาณแป้งมันสำปะหลัง 3 ระดับ ได้แก่ 10, 30 และ 50 % โดยน้ำหนักส่วนผสม อุณหภูมิในการผลิตโซนที่สาม 3 ระดับ ได้แก่ 100, 110 และ 120 °C มีผลต่อค่าอัตราการพองตัว ค่าแรงตัดขาด และค่าสี (L,a,b) ดังแสดงในตารางที่ 9 และ 10

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนผลของชนิดแป้งมันเทศ ปริมาณแป้งมันสำปะหลังที่ใช้ร่วม อุณหภูมิในการผลิตโซนที่สามและความเร็วสกรูอัด พบว่าทุกตัวแปร และอิทธิพลร่วมของตัวแปรเหล่านี้ มีผลต่อค่าอัตราการพองตัว ค่าแรงตัดขาด และค่าสี (L,a,b) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) (ตารางที่ 22-26 ในภาคผนวก ค)

เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยอัตราการพองตัวของแป้งมันเทศ 2 ชนิด (ตาราง 9 และ 10) พบว่าในช่วงอุณหภูมิ 100-120 °C แป้งมันเทศชนิดไม่ปอกเปลือก ให้ค่าเฉลี่ยอัตราการพองตัวต่ำกว่าแป้งมันเทศชนิดปอกเปลือก ที่ทุกปริมาณแป้งมันสำปะหลังที่ใช้ร่วม ทั้งนี้เนื่องจากแป้งมันเทศชนิดไม่ปอกเปลือกมีปริมาณเส้นใยมากกว่าแป้งมันเทศชนิดปอกเปลือกคือ 3.52 % โดยน้ำหนักแห้ง ในขณะที่แป้งมันเทศชนิดปอกเปลือกมีเส้นใย 2.43 % โดยน้ำหนักแห้ง (ตารางที่ 2) ซึ่งเส้นใยจะไปยับยั้งการพองตัวของผลิตภัณฑ์ที่จะผ่านหัวไดออกมา โดยน้ำจะถูกกักอยู่ภายในโครงร่างของเส้นใย ทำให้มีปริมาณความชื้นเหลืออยู่สูงในผลิตภัณฑ์ มีผลให้การพองตัวลดลง (Camire.et.al, 1990) นอกจากนี้ Badrie และ Mellowes (1992b) ได้ทดลองหาค่าอัตราการพองตัวของผลิตภัณฑ์จากแป้งมันสำปะหลัง พบว่าค่าอัตราการพองตัวลดลง เมื่อปริมาณเส้นใยเพิ่มขึ้นทีละ 2% ในช่วง 0-12 % เนื่องจากเส้นใยจะไปขัดขวางการพอง ทำให้การขยายตัวของผนังเซลลดลง และมีผลให้เกิดการแตกตัวของเซลไอน้ำก่อนเวลาอันควร การพองตัวจึงลดลง

ตารางที่ 9 อัตราการพองตัว ค่าแรงตัดขาด ค่าสี (L,a,b) ของผลิตภัณฑ์จากแป้งมันเทศชนิดปอกเปลือก ผสมแป้งมันสำปะหลังที่ปริมาณแป้งมันสำปะหลัง, อุณหภูมิในการผลิต และความเร็วสกรูอัดต่าง ๆ กัน

ปริมาณแป้งมันสำปะหลัง (%)	อุณหภูมิ (°C)	ความเร็วสกรูอัด (รอบ/นาที)	ค่าอัตราการพองตัว (เท่า)	ค่าแรงตัดขาด (นิวตัน)	ค่าสีความสว่าง (L)	ค่าสีแดง (a)	ค่าสีเหลือง (b)
10	100	90	2.14±0.02	31.00±0.90	66.51±0.10	7.88±0.11	37.83±0.28
		120	2.59±0.05	30.40±0.29	67.75±0.07	7.65±0.16	38.56±0.28
		150	2.85±0.05	22.38±0.04	67.86±0.06	7.03±0.11	35.84±0.29
	110	90	2.48±0.05	31.49±0.25	66.69±0.17	7.92±0.08	38.35±0.47
		120	2.54±0.06	24.32±0.10	67.61±0.17	7.12±0.64	38.37±0.48
		150	2.84±0.08	23.80±0.42	68.04±0.17	7.65±0.07	38.79±0.48
	120	90	2.52±0.08	27.09±0.23	65.39±0.10	8.80±0.11	39.41±0.28
		120	2.69±0.08	24.46±0.51	66.84±0.10	8.08±0.11	38.52±0.28
		150	2.91±0.05	23.93±0.27	67.34±0.08	7.65±0.13	38.76±0.30
30	100	90	2.39±0.05	21.90±0.25	71.83±0.10	5.76±0.13	35.12±0.28
		120	2.87±0.05	20.04±0.16	70.48±0.19	6.16±0.06	36.85±0.49
		150	3.15±0.04	17.73±0.17	68.45±0.07	7.64±0.03	38.70±0.01
	110	90	2.68±0.04	21.48±0.07	69.78±0.09	6.84±0.05	36.94±0.05
		120	2.82±0.04	21.35±0.04	69.77±0.03	6.56±0.05	37.16±0.05
		150	3.24±0.06	18.42±0.06	68.40±0.07	7.48±0.04	37.56±0.05
	120	90	2.60±0.05	21.80±0.08	70.10±0.06	6.72±0.05	37.49±0.01
		120	2.83±0.06	19.88±0.37	69.34±0.06	7.15±0.04	38.05±0.03
		150	3.14±0.06	17.15±0.18	67.53±0.03	8.13±0.05	38.54±0.01

ตารางที่ 9 (ต่อ)

ปริมาณแป้งมันสำปะหลัง (%)	อุณหภูมิ (°C)	ความเร็วสกรูอัด (รอบ/นาที)	ค่าอัตราการพองตัว (เท่า)	ค่าแรงตัดขาด (นิวตัน)	ค่าสีความสว่าง (L)	ค่าสีแดง (a)	ค่าสีเหลือง (b)
50	100	90	3.00±0.05	16.82±0.08	72.63±0.04	5.87±0.10	35.78±0.03
		120	3.12±0.08	14.13±0.04	70.64±0.03	6.30±0.03	36.92±0.03
		150	3.63±0.08	10.22±0.11	68.65±0.07	7.42±0.06	35.18±0.01
	110	90	3.11±0.07	16.40±0.08	70.47±0.04	7.01±0.01	37.71±0.01
		120	3.54±0.07	13.52±0.14	69.81±0.01	7.24±0.04	37.70±0.03
		150	3.77±0.06	8.29±0.23	69.02±0.03	7.60±0.28	35.16±0.23
	120	90	3.22±0.06	15.79±0.30	72.85±0.07	5.12±0.03	29.84±0.06
		120	3.54±0.07	10.86±0.13	68.01±0.01	7.34±0.06	33.80±0.03
		150	3.64±0.07	8.82±0.13	62.96±0.08	10.10±0.07	36.81±0.01

ตารางที่ 10 อัตราการพองตัว ค่าแรงตัดขาด ค่าสี (L,a,b) ของผลิตภัณฑ์จากแป้งมันเทศชนิดไม่ปอกเปลือก ผสมแป้งมันสำปะหลังที่ปริมาณแป้งมันสำปะหลัง, อุณหภูมิในการผลิต และความเร็วสกรูอัดต่าง ๆ กัน

ปริมาณแป้งมันสำปะหลัง (%)	อุณหภูมิ (°C)	ความเร็วสกรูอัด (รอบ/นาที)	ค่าอัตราการพองตัว (เท่า)	ค่าแรงตัดขาด (นิวตัน)	ค่าสีความสว่าง (L)	ค่าสีแดง (a)	ค่าสีเหลือง (b)
10	100	90	2.02±0.01	29.23±0.34	62.70±0.04	8.06±0.08	34.78±0.30
		120	2.24±0.01	27.06±0.11	64.72±0.05	7.36±0.16	33.58±0.09
		150	2.32±0.01	26.81±0.13	62.51±0.27	8.47±0.07	35.05±0.07
	110	90	2.04±0.02	24.90±0.30	61.28±0.05	8.20±0.01	34.50±0.04
		120	2.24±0.02	22.56±0.04	62.55±0.14	8.04±0.05	34.42±0.16
		150	2.27±0.02	21.62±0.13	62.22±0.14	8.33±0.14	35.16±0.05
	120	90	2.16±0.04	30.13±0.59	63.74±0.06	8.04±0.02	34.94±0.02
		120	2.24±0.04	26.26±0.44	61.64±0.11	8.78±0.06	35.05±0.07
		150	2.32±0.04	24.16±0.05	63.52±0.11	8.18±0.07	34.26±0.19
30	100	90	1.82±0.10	25.10±0.14	66.98±0.04	6.91±0.06	33.18±0.04
		120	2.06±0.04	24.29±0.72	68.52±0.28	6.52±0.12	32.51±0.03
		150	2.42±0.01	21.88±0.02	65.75±0.07	7.76±0.28	34.32±0.02
	110	90	1.86±0.04	23.52±0.03	68.08±0.12	6.37±0.14	32.78±0.14
		120	2.08±0.06	22.76±0.08	68.18±0.06	6.72±0.05	33.36±0.06
		150	2.19±0.07	22.18±0.30	67.63±0.42	6.72±0.39	33.50±0.25
	120	90	1.81±0.08	21.90±0.64	65.77±0.21	7.34±0.30	33.27±0.21
		120	2.11±0.04	21.28±0.25	68.14±0.09	6.65±0.10	33.18±0.09
		150	2.46±0.05	20.01±0.07	66.65±0.07	7.45±0.21	34.04±0.06

ตารางที่ 10 (ต่อ)

ปริมาณแป้งมันสำปะหลัง (%)	อุณหภูมิ (°C)	ความเร็วสกรูอัด (รอบ/นาที)	ค่าอัตราการพองตัว (เท่า)	ค่าแรงตัดขาด (นิวตัน)	ค่าสีความสว่าง (L)	ค่าสีแดง (a)	ค่าสีเหลือง (b)
50	100	90	2.66±0.04	19.20±0.25	71.22±0.04	5.72±0.13	31.49±0.28
		120	2.95±0.04	18.06±0.26	68.05±0.07	7.06±0.08	32.95±0.10
		150	3.21±0.08	16.69±0.03	66.30±0.14	8.45±0.11	35.44±0.11
	110	90	2.81±0.06	16.43±0.10	72.65±0.07	5.16±0.06	31.08±0.11
		120	3.02±0.08	14.34±0.26	68.28±0.25	6.50±0.43	33.74±0.10
		150	3.16±0.05	12.02±0.06	65.44±0.09	8.83±0.04	35.34±0.03
	120	90	2.84±0.04	13.72±0.06	72.77±0.21	5.16±0.08	29.85±0.13
		120	3.12±0.05	11.16±0.27	68.00±0.07	7.34±0.13	33.80±0.06
		150	3.22±0.06	10.41±0.40	62.93±0.08	10.12±0.06	36.78±0.11

จากการแปรอุณหภูมิในการผลิต พบว่าแป้งมันเทศชนิดปอกเปลือกและแป้งมันเทศชนิดไม่ปอกเปลือกที่อุณหภูมิในการผลิต 120 °C มีแนวโน้มทำให้ผลิตภัณฑ์มีค่าอัตราการพองตัวสูงกว่าที่อุณหภูมิในการผลิต 110 และ 100 °C ตามลำดับ เนื่องจากอุณหภูมิเป็นตัวให้ความร้อนแก่แป้ง เมื่อความร้อนเพิ่มสูงขึ้นโอกาสที่แป้งจะเกิดเจลาติไนซ์จึงเพิ่มขึ้น การพองตัวจึงสูงขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่าปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์ที่ได้มีแนวโน้มต่ำลง(ตารางที่ 11)เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ซึ่งถ้าพิจารณาจากหลักสมดุลมวลสาร คือ มวลเข้า-มวลออก+มวลที่เกิดขึ้น = มวลที่สะสม มวลเข้า คือ ปริมาณความชื้นเริ่มต้นของทุกตัวอย่างเท่ากันคือ 11 % เมื่อผ่านกระบวนการผลิต มวลที่เกิดขึ้นไม่มี มวลที่สะสมคือปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์ที่ได้ ส่วนมวลออกคือปริมาณความชื้นที่ระเหยกลายเป็นไอ ในช่วงที่เอกซ์ทรูเดทผ่านหัวไดออกมา เนื่องจากความแตกต่างระหว่างความดันภายในชิ้นอาหาร และความดันภายนอกชิ้นอาหาร เมื่อไอน้ำในรูปไอน้ำร้อนยิ่งยวดระเหยอย่างรวดเร็ว ทำให้ผลิตภัณฑ์พองตัวขึ้นมา ดังนั้นการที่ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีปริมาณความชื้นต่ำ แสดงว่าปริมาณความชื้นอีกส่วนที่มากกว่าเกิดการระเหยกลายเป็นไอทำให้เกิดโครงสร้างผลิตภัณฑ์พองตัวสูง

ส่วนผลของปริมาณแป้งมันสำปะหลังต่อค่าอัตราการพองตัว พบว่าแป้งมันเทศทั้ง 2 ชนิด ที่ทุกอุณหภูมิในการผลิตที่ใช้ร่วมกับแป้งมันสำปะหลังปริมาณ 10 และ 30 % มีค่าอัตราการพองตัวใกล้เคียงกัน ซึ่งต่างจากที่ปริมาณแป้งมันสำปะหลัง 50 % อาจเนื่องจากที่ปริมาณแป้งมันสำปะหลัง 10 และ 30 % แป้งมันเทศยังมีปริมาณสูง ดังนั้นผลของปริมาณแป้งมันสำปะหลังจึงเห็นไม่ชัดเจน ส่วนเมื่อปริมาณแป้งมันสำปะหลัง 50 % จะให้ค่าอัตราการพองตัวสูงกว่าที่ปริมาณแป้งมันสำปะหลัง 10 และ 30 % ทั้งนี้เนื่องจากการพองตัวของผลิตภัณฑ์ขึ้นอยู่กับปริมาณแป้ง (starch) ในวัตถุดิบ ดังนั้นการเพิ่มปริมาณแป้งมันสำปะหลังในแป้งมันเทศจะทำให้มีแป้งที่จะเกิดเจลาติไนซ์มากขึ้นการพองตัวจึงสูงขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของ Badrie and Mellowes (1992a) ที่พบว่าการเพิ่มปริมาณ cassava starch ในผลิตภัณฑ์จาก cassava flour จะให้ค่าอัตราการพองตัวสูงขึ้น เนื่องจาก cassava starch มีปริมาณคาร์โบไฮเดรทรวม 88.9-90.2% ซึ่งสูงกว่า cassava flour ที่มี 85.2-86.1% โดยแป้งมันเทศชนิดปอกเปลือกจะให้ค่าอัตราการพองตัวสูงสุดที่อุณหภูมิในการผลิต 110 °C, ปริมาณแป้งมันสำปะหลัง 50 % และความเร็วสกรูอัด 150 รอบ/นาที และเมื่อเพิ่มความเร็วสกรูอัดจาก 90 รอบ/นาที เป็น 150 รอบ/นาที ที่ทุกชนิดแป้งมันเทศ ปริมาณแป้งมันสำปะหลังและอุณหภูมิในการผลิต พบว่าค่าอัตราการพองตัวมีแนวโน้มสูงขึ้น เนื่องจากตัวสกรู

ตารางที่ 11 ปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์จากแป้งมันเทศชนิดปอกเปลือก และชนิดไม่ปอกเปลือก

ปริมาณแป้งมันสำปะหลัง (%)	อุณหภูมิ (°C)	ความเร็วสกรูอัด (รอบ/นาที)	ความชื้น (%) ของผลิตภัณฑ์จากแป้งมันเทศ	
			ชนิดปอกเปลือก	ชนิดไม่ปอกเปลือก
10	100	90	6.76±0.08	6.82±0.05
		120	6.52±0.06	6.52±0.09
		150	6.48±0.06	6.40±0.11
	110	90	6.76±0.06	6.84±0.06
		120	6.59±0.01	6.62±0.06
		150	6.42±0.05	6.45±0.04
	120	90	6.63±0.11	6.83±0.03
		120	6.48±0.08	6.72±0.06
		150	6.42±0.06	6.52±0.06
30	100	90	6.84±0.04	7.18±0.11
		120	6.46±0.04	6.62±0.08
		150	5.49±0.08	5.92±0.08
	110	90	6.42±0.09	6.95±0.08
		120	6.02±0.06	6.78±0.06
		150	5.39±0.13	5.98±0.08
	120	90	6.64±0.09	7.07±0.04
		120	6.40±0.03	6.56±0.06
		150	5.98±0.05	5.50±0.04

ตารางที่ 11 (ต่อ)

ปริมาณแป้งมันสำปะหลัง (%)	อุณหภูมิ (°C)	ความเร็วสกรูอัด (รอบ/นาที)	ความชื้น (%) ของผลิตภัณฑ์จากแป้งมันเทศ	
			ชนิดปอกเปลือก	ชนิดไม่ปอกเปลือก
50	100	90	6.52±0.06	6.88±0.06
		120	5.36±0.02	6.58±0.15
		150	5.24±0.04	5.77±0.07
	110	90	6.18±0.06	6.40±0.11
		120	5.68±0.06	5.59±0.16
		150	5.32±0.06	5.33±0.07
	120	90	5.78±0.08	5.89±0.04
		120	5.29±0.10	5.36±0.01
		150	5.21±0.10	5.28±0.09

ซึ่งเป็นเกลียวหมุนอยู่ภายในปลอกเหล็กผนังสองชั้น (Barrel) มีหน้าที่หมุนผลักพาวัตถุที่อยู่ภายในเครื่องออกไปข้างหน้าผ่านรูเปิดพิเศษบนหน้าแปลน(Die)ออกมา ดังนั้นเมื่อความเร็วของสกรูอัดสูงขึ้นจะเกิดแรงเสียดทานระหว่างวัตถุอาหารต่อวัตถุอาหาร หรือระหว่างวัตถุอาหารกับผนังของบาเรลมากขึ้น ความร้อนที่ได้จากแรงเสียดทานจะสูงมากขึ้น ทำให้แป้งมีโอกาสเกิดเจลาติไนซ์ได้มากขึ้น อัตราการพองตัวจึงมีแนวโน้มสูงขึ้น

เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยค่าแรงตัดขาดของแป้งมันเทศทั้ง 2 ชนิด (ตารางที่ 9 และ 10) พบว่าในช่วงอุณหภูมิ 100-120 °C แป้งมันเทศชนิดไม่ปอกเปลือกมีค่าเฉลี่ยค่าแรงตัดขาดสูงกว่าแป้งมันเทศชนิดปอกเปลือก ที่ทุกปริมาณแป้งมันสำปะหลัง และความเร็วสกรูอัด ซึ่งเนื่องจากเส้นใยที่มีอยู่ในแป้งมันเทศชนิดไม่ปอกเปลือกทำให้เกิดโครงสร้างผนังเซลที่หนาและแข็ง (Badrie and Mellowes,1992b) ประกอบกับปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากแป้งมันเทศชนิดไม่ปอกเปลือกสูงกว่าในแป้งมันเทศชนิดปอกเปลือก (ตารางที่ 11) จึงทำให้แรงที่ใช้ตัดขาดผลิตภัณฑ์สูงกว่าในแป้งมันเทศชนิดปอกเปลือก

จากการแปรอุณหภูมิในการผลิตพบว่าแป้งมันเทศทั้ง 2 ชนิด ที่อุณหภูมิ 100 °C มีแนวโน้มให้ค่าแรงตัดขาดสูงกว่าที่อุณหภูมิ 120 °C เนื่องจากเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นเม็ดแป้งเกิดเจลาติไนซ์เพิ่มขึ้น ประกอบกับความดันก็สูงขึ้นด้วย เมื่อผลิตภัณฑ์ผ่านรูเปิดออกมาจะเกิดความแตกต่างระหว่างความดันภายในชิ้นอาหาร และความดันภายนอกชิ้นอาหาร ไอน้ำในรูปไอน้ำร้อนยิ่งยวดจะระเหยอย่างรวดเร็ว ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีอัตราการพองตัวสูง โครงสร้างภายในผลิตภัณฑ์จึงโปร่งพรุน แรงที่ใช้ตัดขาดผลิตภัณฑ์จึงต่ำ Park และคณะ (1993) พบว่าการเพิ่มอุณหภูมิในการผลิตผลิตภัณฑ์จากแป้งข้าวโพด (corn starch) จะทำให้ค่าแรงตัดขาดลดลง ส่วนผลของปริมาณแป้งมันสำปะหลังต่อค่าแรงตัดขาด พบว่าในแป้งมันเทศทั้งสองชนิด ที่ทุกอุณหภูมิในการผลิต และความเร็วสกรูอัด การเพิ่มปริมาณแป้งมันสำปะหลังเป็น 50 % มีแนวโน้มให้ค่าแรงตัดขาดต่ำกว่าปริมาณแป้งมันสำปะหลัง 30 และ 10 % ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากเหตุผลเช่นเดียวกับผลต่อค่าอัตราการพองตัว ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Park และคณะ (1993) ที่พบว่าเมื่อเพิ่มระดับปริมาณแป้งข้าวโพด จาก 0 ถึง 40 % จะให้ค่าแรงตัดขาดลดลง

เมื่อศึกษาถึงผลของความเร็วสกรูอัดต่อค่าแรงตัดขาด พบว่าเมื่อความเร็วสกรูอัดสูงขึ้นจาก 90 เป็น 150 รอบ/นาที ที่ทุกชนิดแป้งมันเทศ ปริมาณแป้งมันสำปะหลังและอุณหภูมิในการผลิตทำให้ค่าแรงตัดขาดมีแนวโน้มลดต่ำลง เนื่องจากเมื่อความเร็วสกรูอัดสูงขึ้น ความร้อนและความดันสูงขึ้น ผลิตภัณฑ์ที่ได้โปร่งพรุนมากขึ้น แรงที่ใช้ตัดขาด

ผลิตภัณฑ์จึงต่ำกว่าที่ความเร็วสกรูอัดต่ำ

เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยค่าความสว่าง (L) ของชนิดแป้งมันเทศ พบว่าในช่วงอุณหภูมิ 100-120 °C แป้งมันเทศชนิดปอกเปลือกให้ค่าเฉลี่ยค่าความสว่าง (L) สูงกว่าแป้งมันเทศชนิดไม่ปอกเปลือก เนื่องจากแป้งมันเทศชนิดไม่ปอกเปลือกจะมีลักษณะเนื้อแป้งสีเหลืองออกคล้ำกว่าแป้งมันเทศชนิดปอกเปลือก เพราะมีส่วนของเปลือกซึ่งมีสีชมพูปนม่วง ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่ออกคล้ำกว่า ค่าความสว่างจึงต่ำกว่าแป้งมันเทศชนิดปอกเปลือก

เมื่อแปรอุณหภูมิในการผลิต พบว่าแป้งมันเทศทั้งสองชนิดที่อุณหภูมิในการผลิต 120 °C ให้ค่าความสว่าง (L) ต่ำกว่าที่อุณหภูมิในการผลิต 110 และ 100°C เนื่องจากอุณหภูมิในการผลิตจะไปเร่งปฏิกิริยาระหว่างไขมัน โปรตีน และคาร์โบไฮเดรท และผลิตภัณฑ์จากการแตกตัวของสารเหล่านี้ มีผลทำให้ผลิตภัณฑ์มีสีคล้ำขึ้น(Bruechert et al., 1988) ซึ่งในการผลิตวัตถุดิบส่วนใหญ่นอกจากแป้งแล้ว ยังมีน้ำตาลรีดิวซ์และกรดอะมิโนรวมอยู่ด้วย จึงสามารถเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาล (Maillard Reaction) นอกจากนี้แป้งมันเทศยังมีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ประมาณ 3.10-7.96 % โดยน้ำหนักแป้ง (สุภารัตน์ เรืองมณีไพฑูรย์ และคณะ, 2530) จึงมีโอกาสเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลได้มากเมื่ออุณหภูมิในการผลิตสูงขึ้น

เมื่อศึกษาผลของปริมาณแป้งมันสำปะหลังพบว่าการเพิ่มปริมาณแป้งมันสำปะหลังจาก 10 เป็น 50 % จะช่วยเพิ่มค่าความสว่าง (L) ซึ่งอาจเนื่องจากแป้งมันสำปะหลังเมื่อเกิดเจลาติไนซ์หรือสุกจะให้ลักษณะแป้งสุกที่ใส ทำให้การเพิ่มปริมาณแป้งมันสำปะหลังมีผลต่อค่าความสว่าง ส่วนผลของความเร็วสกรูอัดพบว่า การเพิ่มความเร็วสกรูอัดจาก 90 เป็น 150 รอบ/นาที มีแนวโน้มให้ค่าความสว่าง (L) ลดลง เนื่องจากการเพิ่มความเร็วสกรูอัดเป็นการเพิ่มแรงเสียดทานมีผลทำให้ความร้อนสูงขึ้น เกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีลักษณะคล้ำ ค่าความสว่าง (L) จึงลดลง

จากการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยสีแดง (a) ของชนิดแป้งมันเทศ พบว่าในช่วงอุณหภูมิ 100-120 °C แป้งมันเทศชนิดไม่ปอกเปลือกให้ค่าสีแดง (a) สูงกว่าค่าสีแดง (a) ในแป้งมันเทศชนิดปอกเปลือกที่ทุกปริมาณแป้งมันสำปะหลัง เนื่องจากแป้งมันเทศชนิดไม่ปอกเปลือก มีส่วนของเส้นใยในปริมาณสูงกว่า เนื้อแป้งมีสีคล้ำกว่า ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีสีคล้ำกว่าผลิตภัณฑ์จากแป้งมันเทศชนิดปอกเปลือก

เมื่อศึกษาถึงผลของอุณหภูมิในการผลิต พบว่าแป้งมันเทศทั้งสองชนิดที่อุณหภูมิในการผลิต 120 °C มีแนวโน้มให้ค่าสีแดง (a) สูงกว่าที่อุณหภูมิในการผลิต 110

และ 100 °C เนื่องจากค่าสีแดง (a) เป็นสีในโทนเข้ม ซึ่งถ้าผลิตภัณฑ์มีค่าสีแดง (a) สูง ผลิตภัณฑ์จะออกสีเข้ม ดังนั้นการเพิ่มอุณหภูมิจึงเป็นการเร่งการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาล ทำให้ที่อุณหภูมิสูง ค่าสีแดง (a) มีแนวโน้มสูงกว่าที่อุณหภูมิต่ำ

เมื่อพิจารณาผลของปริมาณแป้งมันสำปะหลัง พบว่าการเพิ่มปริมาณแป้งมันสำปะหลังจาก 10 เป็น 50 % จะทำให้ค่าสีแดง (a) ลดลง ที่ทุกชนิดแป้งมันเทศ อุณหภูมิในการผลิต และความเร็วสกรูอัด เนื่องจากการเพิ่มปริมาณแป้งมันสำปะหลังผลิตภัณฑ์ที่ได้มีค่าความสว่าง (L) สูง จึงส่งผลให้ค่าสีแดง (a) ต่ำลง

ส่วนผลของความเร็วสกรูอัด พบว่าการเพิ่มความเร็วสกรูอัดจาก 90 เป็น 150 รอบ/นาที มีแนวโน้มทำให้ค่าสีแดง (a) เพิ่มขึ้น เนื่องจากการเพิ่มความเร็วสกรูอัด มีผลให้ความร้อนสูงขึ้นจึงเร่งปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล ส่งผลให้ค่าสีแดง (a) สูงขึ้นเช่นกัน

จากการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยค่าสีเหลือง (b) ของชนิดแป้งมันเทศ พบว่าในช่วงอุณหภูมิ 100-120 °C แป้งมันเทศชนิดปอกเปลือกให้ค่าสีเหลือง (b) สูงกว่าแป้งมันเทศชนิดไม่ปอกเปลือกที่ทุกปริมาณแป้งมันสำปะหลัง และความเร็วสกรูอัด อาจเนื่องจากในแป้งมันเทศชนิดไม่ปอกเปลือกมีปริมาณโปรตีน (2.57 % โดยน้ำหนักแห้ง) ต่ำกว่าปริมาณโปรตีนในแป้งมันเทศชนิดปอกเปลือก (4.09 % โดยน้ำหนักแห้ง) (ตารางที่ 2)ทำให้แป้งมันเทศชนิดปอกเปลือกมีโอกาสเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลได้มากกว่าแป้งมันเทศชนิดไม่ปอกเปลือก ส่งผลให้ค่าสีเหลือง (b) ในแป้งมันเทศชนิดปอกเปลือกสูงกว่าในแป้งมันเทศชนิดไม่ปอกเปลือก ประกอบกับเนื้อแป้งมันเทศชนิดไม่ปอกเปลือกคล้ำเนื่องจากมีส่วนของเส้นใยมากกว่า ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิจัยของ Badrie และ Mellowes(1992b)ที่พบว่าเมื่อเพิ่มรำข้าวสาลีซึ่งเป็นส่วนเส้นใยลงในแป้งมันสำปะหลังจะทำให้ค่าสีเหลือง (b) ของผลิตภัณฑ์ลดลง

ส่วนผลของอุณหภูมิในการผลิต พบว่าแป้งมันเทศทั้งสองชนิดที่อุณหภูมิในการผลิต 120 °C มีแนวโน้มให้ค่าสีเหลือง (b) สูงกว่า ที่อุณหภูมิในการผลิต 110 และ 100 °C เพราะอุณหภูมิเป็นตัวเร่งการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาล เมื่อเพิ่มปริมาณแป้งมันสำปะหลังจาก 10 เป็น 50 % และเมื่อลดความเร็วสกรูอัดจาก 150 เป็น 90 รอบ/นาที มีแนวโน้มให้ค่าสีเหลือง (b) ลดลง เหตุผลเช่นเดียวกับค่าสีแดง (a)

เมื่อนำผลิตภัณฑ์ที่ได้มาทดสอบผลทางประสาทสัมผัส วางแผนการทดลองแบบ Balance Incomplete Block Design (BIB) (สุรพล อุปดิสสกุล, 2537) โดยตรวจสอบทางประสาทสัมผัสด้านลักษณะการพองตัว หมายถึงการให้ผู้ทดสอบพิจารณา

ความโปร่งพรุนของผลิตภัณฑ์ โดยถ้าผลิตภัณฑ์มีลักษณะแน่นตัน หมายถึงผลิตภัณฑ์พองตัวน้อย แต่ถ้าผลิตภัณฑ์มีลักษณะโปร่งพรุน มีช่องอากาศภายในมาก หมายถึงผลิตภัณฑ์พองตัวมาก สี ความกรอบ โดยใช้ scoring test คะแนนเต็ม 10 คะแนน และการยอมรับรวมของผลิตภัณฑ์โดยใช้ 9-point hedonic scale (ภาคผนวก ค) ได้ผลดังตารางที่ 12 และเมื่อวิเคราะห์ความแปรปรวนของแต่ละตัวอย่างในลักษณะการพองตัวของผลิตภัณฑ์ สี ความกรอบ และการยอมรับรวม ได้ผลดังตารางที่ 13

จากตารางที่ 13 ลักษณะทางประสาทสัมผัสทางด้านการพองตัวของผลิตภัณฑ์สีเหลือง ความกรอบ และการยอมรับรวมในผลิตภัณฑ์จากแป้งมันเทศชนิดปอกเปลือก มีความแตกต่างกันในแต่ละตัวอย่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ส่วนในผลิตภัณฑ์จากแป้งมันเทศชนิดไม่ปอกเปลือก ลักษณะทางประสาทสัมผัสทุกด้านยกเว้นการพองตัวของผลิตภัณฑ์ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) และเมื่อพิจารณาผลการทดลองในตารางที่ 12 จะพบว่าคะแนนทางประสาทสัมผัสทั้ง 4 ด้านในผลิตภัณฑ์จากแป้งมันเทศชนิดปอกเปลือก อุณหภูมิการผลิต 120 °C และปริมาณแป้งมันสำปะหลัง 50 % มีแนวโน้มสูงกว่าคะแนนในผลิตภัณฑ์จากแป้งมันเทศชนิดปอกเปลือก อุณหภูมิในการผลิต 100-110 °C และปริมาณแป้งมันสำปะหลัง 10-30 % ตามลำดับ

จากตารางที่ 12 ในผลิตภัณฑ์จากแป้งมันเทศชนิดปอกเปลือกและชนิดไม่ปอกเปลือกคะแนนสูงสุดทางประสาทสัมผัสด้านการพองตัวคือ 8.78 และ 8.31 (โปร่งพรุนค่อนข้างมาก) ทางด้านสี คือ 8.03 และ 8.44 (สีเหลืองออกเข้ม) ทางด้านความกรอบคือ 9.26 (กรอบค่อนข้างมาก) และ 8.60 (กรอบปานกลางค่อนไปทางมาก) และด้านการยอมรับรวมคือ 7.60 และ 7.62 (ยอมรับปานกลาง) ตามลำดับ

เนื่องจากไม่มีเกณฑ์ทางกายภาพที่พอจะเป็นเกณฑ์ในการหาภาวะที่เหมาะสม จึงต้องอาศัยเกณฑ์ทางประสาทสัมผัสมาช่วยในการหาภาวะที่เหมาะสมที่ผู้บริโภคยอมรับ จึงได้นำค่าอัตราการพองตัว ค่าแรงตัดขาด ค่าสี (L,a,b) ซึ่งเป็นค่าทางกายภาพมาหาความสัมพันธ์กับค่าทางประสาทสัมผัส คือ การพองตัว ความกรอบ ค่าสี และการยอมรับรวม โดยการหาค่าสัมประสิทธ์สหสัมพันธ์(r) ได้ผลดังตารางที่ 14

ตารางที่ 12 การประเมินผลทางประสาทสัมผัสทางด้านความโปร่งพรุน สี และความกรอบ โดยใช้ scoring test คะแนนเต็ม 10 คะแนน และการยอมรับรวม โดยใช้ 9-point hedonic scale test

ชนิดแป้งมันเทศ	ปริมาณแป้งมันสำปะหลัง (%)	อุณหภูมิ (°C)	ความเร็วสกรูอัด (รอบ/นาที)	ความโปร่งพรุน	สี	ความกรอบ	การยอมรับรวม
ปอกเปลือก	10	100	90	1.64	3.00	1.36	1.85
			120	3.17	3.25	0.84	1.49
			150	4.37	5.60	2.32	2.88
		110	90	2.77	3.81	1.48	2.67
			120	3.02	4.88	1.82	1.81
			150	4.88	6.16	3.58	4.33
		120	90	4.73	6.23	2.13	2.67
			120	3.14	4.02	2.65	3.10
			150	5.37	6.37	2.98	3.28
	30	100	90	2.30	6.51	1.54	1.70
			120	5.77	5.20	5.12	4.61
			150	6.41	6.92	5.68	5.29
		110	90	3.88	2.74	3.25	3.81
			120	5.64	4.09	4.38	4.47
			150	6.74	6.52	5.74	5.94
		120	90	3.82	3.41	3.76	3.19
			120	5.73	4.94	5.52	5.15
			150	6.32	7.83	6.00	5.63

ตารางที่ 12 (ต่อ)

ชนิดแป้งมันเทศ	ปริมาณแป้งมันสำปะหลัง (%)	อุณหภูมิ (°C)	ความเร็วสกรูอัด (รอบ/นาที)	ความโปร่งพรุน	สี	ความกรอบ	การยอมรับรวม
ปอกเปลือก	50	100	90	5.25	5.98	6.34	5.79
			120	6.27	5.16	7.83	6.04
			150	8.42	7.91	8.30	5.85
		110	90	6.52	5.98	7.00	6.97
			120	8.08	7.76	8.08	7.13
			150	9.12	7.15	9.26	7.60
		120	90	6.38	3.79	6.86	6.70
			120	7.70	7.13	7.65	7.33
			150	8.78	8.03	9.01	6.95
ไม่ปอกเปลือก	10	100	90	2.24	3.36	1.12	1.99
			120	2.08	3.69	1.12	2.19
			150	4.06	5.53	1.79	3.03
		110	90	1.74	4.16	0.49	1.80
			120	2.93	5.60	0.68	2.10
			150	3.94	5.73	1.26	2.67
		120	90	2.32	3.76	1.11	1.96
			120	3.73	5.58	2.48	3.42
			150	2.24	5.07	2.43	3.88

ตารางที่ 12 (ต่อ)

ชนิดแป้งมันเทศ	ปริมาณแป้งมันสำปะหลัง (%)	อุณหภูมิ (°C)	ความเร็วสกรูอัด (รอบ/นาที)	ความโปร่งพรุน	สี	ความกรอบ	การยอมรับรวม
ไม่ปอกเปลือก	30	100	90	0.73	1.62	1.68	1.42
			120	1.15	0.90	1.72	1.87
			150	4.51	4.51	2.33	3.28
		110	90	1.39	1.33	1.71	1.67
			120	2.11	1.44	2.50	1.69
			150	3.00	3.26	3.30	3.47
		120	90	0.78	1.08	1.48	1.87
			120	1.91	1.59	2.13	2.70
			150	3.93	4.02	4.36	3.71
	50	100	90	5.08	3.09	4.70	4.72
			120	7.10	7.32	6.64	6.60
			150	8.31	8.44	8.60	6.49
		110	90	5.54	4.44	6.21	5.33
			120	6.74	6.71	6.76	6.76
			150	8.22	7.96	7.81	7.62
		120	90	4.66	2.62	7.01	5.17
			120	7.25	6.49	7.59	6.74
			150	7.41	7.68	7.60	6.87

หมายเหตุ scoring scale: 1 หมายถึง โปร่งพรุนน้อย, สีเหลืองออกขาว หรือกรอบน้อย
10 หมายถึง โปร่งพรุนมาก, สีเหลืองเข้มมาก หรือกรอบมาก

hedonic scale: 1 หมายถึง ไม่ยอมรับรวมมากที่สุด
9 หมายถึง ยอมรับรวมมากที่สุด

ตารางที่ 13 ความแปรปรวนของความโปร่งพรุน ค่าสี ความกรอบ และการยอมรับรวมของผลิตภัณฑ์จากแป้งมันเทศชนิดปอกเปลือก และชนิดไม่ปอกเปลือก

ชนิดแป้งมันเทศ	ลักษณะที่ตรวจสอบ	ค่า F.ratio
ปอกเปลือก	ความโปร่งพรุนของผลิตภัณฑ์	2.768*
	สีเหลือง	1.786*
	ความกรอบ	4.451*
	การยอมรับรวม	3.528*
ไม่ปอกเปลือก	ความโปร่งพรุนของผลิตภัณฑ์	1.469
	สีเหลือง	3.384*
	ความกรอบ	4.982*
	การยอมรับรวม	3.629*

หมายเหตุ * มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $P \leq 0.05$ เมื่อเทียบกับ ค่า F จากตารางที่ $\alpha=0.05$, d.f.(27,189)=1.50

ตารางที่ 14 ค่าสัมประสิทธ์สหสัมพันธ์ระหว่างอัตราการพองตัว ค่าแรงตัดขาด ค่าสี (L,a,b) จากลักษณะทางกายภาพ และค่าความโปร่งพรุน ความกรอบ ค่าสี และการยอมรับรวมของผลิตภัณฑ์ทางประสาทสัมผัส

er	cf	L	a	b	ap	cri	col	acc
er	-0.793*	0.398*	0.018	0.242*	0.948*	0.889*	0.776*	0.850*
cf		-0.381*	0.123	0.195*	-0.812*	-0.910*	-0.554*	-0.833*
L			0.833*	-0.127	0.273*	0.446*	-0.145*	0.351*
a				0.474*	0.105	-0.098	0.465*	-0.023
b					0.166	-0.040	0.379*	0.002
ap						0.910*	0.844*	0.897*
cri							0.654*	0.934*
col								0.700*
acc								

หมายเหตุ er = อัตราการพองตัว
cf = แรงตัดขาด
L = ค่าสีความสว่าง
a = ค่าสีแดง
b = ค่าสีเหลือง
ap = ความโปร่งพรุน
cri = ความกรอบ
col = สี
acc = การยอมรับรวม

* มีความสัมพันธ์เชิงเส้นกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยจากตารางค่า r ต่ำสุดที่ให้ความสัมพันธ์เชิงเส้นคือ 0.195,df=108

จากตารางที่ 14 พบว่าค่าสัมประสิทธ์สหสัมพันธ์ระหว่างค่าทางกายภาพและค่าทางประสาทสัมผัสมีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ค่าสัมประสิทธ์สหสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราการพองตัวและค่าการพองตัวคือ 0.948 และค่าสัมประสิทธ์สหสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงตัดขาดกับความกรอบคือ -0.910 ให้ค่าสัมประสิทธ์สหสัมพันธ์ที่สูง แสดงว่าค่าทางกายภาพมีความสัมพันธ์เชิงเส้นต่อค่าทางประสาทสัมผัสสูง โดยที่ถ้าค่าอัตราการพองตัวทางกายภาพเพิ่มขึ้น ค่าการพองตัวทางประสาทสัมผัสก็มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นด้วย ส่วนกรณีเมื่อค่าแรงตัดขาดทางกายภาพเพิ่มขึ้น ความกรอบทางประสาท

สัมผัสก็มีแนวโน้มลดลง ส่วนค่าสีแดง (a) และค่าสีเหลือง (b) ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์กับค่าสีทางประสาทสัมผัสในระดับต่ำ คือ 0.465 และ 0.379 ตามลำดับ แสดงว่ามีความสัมพันธ์เชิงเส้นต่ำ และจากการสอบถามทางประสาทสัมผัสของค่า ideal จากผู้ทดสอบจำนวน 36 คน ต่อลักษณะการพองตัว สี และความกรอบ พบว่าคะแนนทางด้านลักษณะการพองตัวที่ผู้บริโภคต้องการ คือ 8.55 ทางด้านสีเหลือง คือ 7.32 และทางด้านความกรอบคือ 8.90 เมื่อพิจารณาในทุก ๆ ด้านประกอบกัน รวมทั้งค่าการยอมรับรวมประกอบด้วย พบว่าจุดที่ให้ค่าทางประสาทสัมผัสใกล้เคียงกับค่า ideal และให้ค่าการยอมรับรวมสูงคือ ที่ตัวอย่างในภาวะปริมาณแป้งมันสำปะหลัง 50 % อุณหภูมิในการผลิต 110 °C และความเร็วสกรูอัด 150 รอบ/นาที ทั้งในผลิตภัณฑ์จากแป้งมันเทศชนิดปอกและไม่ปอกเปลือก โดยในผลิตภัณฑ์จากแป้งมันเทศชนิดปอกเปลือก ที่ภาวะดังกล่าวมีค่าทางกายภาพดังนี้อัตราการพองตัว 3.77 ค่าแรงตัดขาด 8.29 นิวตัน ค่าสี (L,a,b) 69.02, 7.60 และ 35.16 ตามลำดับ ส่วนในผลิตภัณฑ์จากแป้งมันเทศชนิดไม่ปอกเปลือก ที่ภาวะดังกล่าวมีค่าทางกายภาพดังนี้อัตราการพองตัว 3.16 ค่าแรงตัดขาด 12.02 นิวตัน ค่าสี (L,a,b) 65.44, 8.83 และ 35.34 ตามลำดับ ซึ่งถือเป็นภาวะที่เหมาะสมในการผลิตของแป้งมันเทศชนิดปอกเปลือกและชนิดไม่ปอกเปลือก ตามลำดับ

4. <u>เปรียบเทียบผลิตภัณฑ์จากแป้งมันเทศชนิดปอกเปลือกและชนิดไม่ปอกเปลือก</u>

เมื่อนำผลิตภัณฑ์จากแป้งมันเทศชนิดปอกเปลือก และชนิดไม่ปอกเปลือกจากภาวะที่เหมาะสมในการผลิตจากข้อ 4 ในขั้นดำเนินการวิจัยมาเปรียบเทียบลักษณะทางกายภาพ ได้ผลดังตารางที่ 15

<u>ตารางที่ 15</u> ลักษณะทางกายภาพของผลิตภัณฑ์จากแป้งมันเทศทั้ง 2 ชนิด

ชนิดแป้งมันเทศ	อัตราการพองตัว	ค่าแรงตัดขาด (นิวตัน)	ค่าความสว่าง (L)	ค่าสีแดง (a)	ค่าสีเหลือง (b)
ปอกเปลือก	3.77±0.06	8.29±0.23	69.02±0.03	7.60±0.28	35.16±0.23
ไม่ปอกเปลือก	3.16±0.05	12.02±0.06	65.44±0.09	8.83±0.04	35.34±0.03

จากตารางที่ 15 พบว่าอัตราการพองตัว และค่าความสว่าง (L) ในผลิตภัณฑ์จากแป้งมันเทศชนิดปอกเปลือก ให้ค่าดังกล่าวสูงกว่าในผลิตภัณฑ์จากแป้งมันเทศชนิดไม่ปอกเปลือก ส่วนค่าแรงตัดขาด ค่าสีแดง (a) และค่าสีเหลือง (b) ในผลิตภัณฑ์จากแป้งมันเทศชนิดปอกเปลือกต่ำกว่าแป้งมันเทศชนิดไม่ปอกเปลือก แสดงให้เห็นว่าองค์ประกอบทางเคมีของแป้งมันเทศคือปริมาณเส้นใย (ตารางที่ 2) มีผลต่อลักษณะทางกายภาพเป็นอย่างมาก ทั้งนี้เนื่องจากแป้งมันเทศชนิดปอกเปลือกมีปริมาณเส้นใยต่ำกว่าแป้งมันเทศชนิดไม่ปอกเปลือก จึงส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีค่าอัตราการพองตัวสูง ค่าแรงตัดขาดต่ำ ค่าความสว่าง (L) สูง ค่าสีแดง (a) และค่าสีเหลือง (b) ต่ำ

ส่วนทางด้านประสาทสัมผัสด้านความโปร่งพรุน สีเหลือง ความกรอบ และการยอมรับรวมของผลิตภัณฑ์ได้ผลดังตารางที่ 16

ตารางที่ 16 ผลทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์จากแป้งมันเทศทั้ง 2 ชนิด

ชนิดแป้งมันเทศ	ความโปร่งพรุน *	สี *	ความกรอบ *	การยอมรับรวม **
ปอกเปลือก	9.12	7.15	9.26	7.60
ไม่ปอกเปลือก	8.22	7.96	7.81	7.62

หมายเหตุ * โดยใช้ scoring test คะแนนเต็ม 10 คะแนน
1 หมายถึง โปร่งพรุนน้อย, สีเหลืองออกขาว หรือ กรอบน้อย
10 หมายถึง โปร่งพรุนมาก, สีเหลืองเข้มมาก หรือ กรอบมาก

** โดยใช้ 9-point hedonic scale
1 หมายถึง ไม่ยอมรับมากที่สุด
9 หมายถึง ยอมรับมากที่สุด

จากตารางที่ 16 เมื่อนำค่า ideal พิจารณาประกอบ พบว่าผลิตภัณฑ์จากแป้งมันเทศชนิดปอกเปลือกให้คะแนนความโปร่งพรุน และความกรอบ ในเกณฑ์ที่สูงกว่าผลิตภัณฑ์จากแป้งมันเทศชนิดไม่ปอกเปลือก ส่วนทางด้านสี ผลิตภัณฑ์จากแป้งมันเทศชนิดไม่ปอกเปลือกได้คะแนนอยู่ในเกณฑ์สูงกว่าผลิตภัณฑ์จากแป้งมันเทศชนิดปอกเปลือก อาจเนื่องมาจากแป้งมันเทศชนิดไม่ปอกเปลือกมีลักษณะแป้งที่สีคล้ำ ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้เมื่อตรวจสอบทางประสาทสัมผัสได้ค่าสูงกว่าเล็กน้อย ซึ่งเป็นลักษณะสีเหลืองออกคล้ำ

โดยสรุป ผลิตภัณฑ์จากแป้งมันเทศชนิดปอกเปลือกให้คะแนนการยอมรับรวมจากผู้ทดสอบไม่แตกต่างจากผลิตภัณฑ์จากแป้งมันเทศชนิดไม่ปอกเปลือก