บทที่ 4
ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 องค์ประกอบทางเคมีของกล้วยไข่

จากการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของกล้วยไข่พันธุ์กำแพงเพชร ที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 30 35 40 45 50 และ 55 วันหลังจากวันตัดปลี แสดงดังตาราง 16

ตาราง 16 องค์ประกอบทางเคมีของกล้วยไข่พันธุ์กำแพงเพชรที่มีอายุการเก็บเกี่ยวต่างกัน

อายุการเก็บเกี่ยว (วัน)	องค์ประกอบทางเคมี (ร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง)					
	ความชื้น	โปรตีน	ไขมัน	เส้นใย	เถ้า	คาร์โบไฮเดรต
30	68.99±0.52^{a}	5.13±0.67^{a}	0.45±0.03^{a}	7.59±0.44^{a}	2.33±0.02^{c}	84.52±1.05^{c}
35	69.27±0.55^{a}	4.67±0.75^{ab}	0.33±0.03^{b}	7.96±0.57^{a}	2.12±0.04^{cd}	85.51±1.34^{bc}
40	65.39±0.42^{b}	4.02±0.05^{bc}	0.24±0.03^{c}	7.61±0.28^{a}	1.98±0.27^{de}	86.15±0.53^{b}
45	60.90±0.32^{c}	4.47±0.31^{bc}	0.19±0.04^{d}	5.40±0.16^{b}	1.85±0.11^{e}	88.09±0.54^{a}
50	69.23±1.30^{a}	4.53±0.06^{bc}	0.38±0.02^{b}	5.67±0.05^{b}	2.65±0.16^{b}	86.72±0.45^{ab}
55	68.53±0.04^{a}	4.93±0.12^{ab}	0.49±0.02^{a}	5.26±0.18^{b}	3.20±0.03^{a}	86.18±0.05^{b}

*อักษรที่แตกต่างกันตามแนวตั้งแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p \leq 0.05$)

จากองค์ประกอบทางเคมีของกล้วยไข่พันธุ์กำแพงเพชรที่มีอายุการเก็บเกี่ยวต่างกัน พบว่า ปริมาณความชื้นของกล้วยไข่มีปริมาณร้อยละ 60.90 ถึง 69.27 โดยอายุการเก็บเกี่ยว 30 และ 35 วันหลังจากวันหลังตัดปลีมีปริมาณความชื้นสูง ลดลงเมื่ออายุการเก็บเกี่ยว 40 และ 45 วัน และเพิ่มขึ้นอีกเมื่ออายุการเก็บเกี่ยว 50 และ 55 วัน โปรตีนมีปริมาณร้อยละ 4.02 ถึง 5.13 อายุการเก็บเกี่ยว 30 และ 35 วันมีปริมาณสูง ลดลงเมื่ออายุการเก็บเกี่ยว 40 45 และ 50 วัน และเพิ่มขึ้นเมื่ออายุการเก็บเกี่ยว 55 วัน ไขมันมีปริมาณร้อยละ 0.19 ถึง 0.49 เมื่ออายุการเก็บเกี่ยว 30 วันมีปริมาณสูง ลดลงเมื่ออายุการเก็บเกี่ยว 35 40 45และ50 วัน เพิ่มสูงขึ้นเมื่ออายุการเก็บเกี่ยว 55 วัน เส้นใยมีปริมาณร้อยละ 5.26 ถึง 7.96 อายุการเก็บเกี่ยว 30 35 และ 40 วัน มีปริมาณสูง ลดลงเมื่ออายุการเก็บเกี่ยว 45 50 และ 55 วัน เถ้ามีปริมาณร้อยละ 1.85 ถึง 3.20 อายุการเก็บเกี่ยว 30 35 40 45 และ 50 วัน มีปริมาณเถ้าต่ำ และเพิ่มสูงขึ้นที่อายุการเก็บเกี่ยว 55 วัน และคาร์โบไฮเดรตปริมาณร้อยละ 84.52 ถึง 88.09 อายุการเก็บเกี่ยว 30 35 และ 40 วัน มีปริมาณเพิ่มสูงขึ้นจนกระทั่งอายุการเก็บเกี่ยวที่ 45 วันมีปริมาณสูงสุด และลดลงอีกครั้งที่อายุการเก็บเกี่ยว 55 วัน ปริมาณเถ้าที่เพิ่มขึ้นเมื่อกล้วยมีความแก่มากขึ้นเนื่องมาจากผลกล้วยเกิดการสะสมแร่ธาตุต่างๆ เริ่มตั้งแต่ดอกบานจนกระทั่งเก็บเกี่ยว แร่ธาตุต่างๆที่พบในกล้วยได้แก่ โปแตสเซียม แมกนีเซียม ฟอสฟอรัส และแคลเซียม (เบญจมาศ ศิลาย้อย, 2545) เมื่อกล้วยมีอายุการเก็บมากขึ้นจะเกิดการ

สังเคราะห์โปรตีนขึ้นมาใหม่ ซึ่งโปรตีนส่วนใหญ่ทำหน้าที่เป็นเอนไซม์เร่งปฏิกิริยาทางเคมีที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสารต่างๆ ในกระบวนการสุก (ชลิด เขาวงศ์ทอง, 2548) ปริมาณเส้นใย และคาร์โบไฮเดรตมีปริมาณลดลงเนื่องจากผลกล้วยจะสะสมอาหารในรูปของแป้ง โดยจะสะสมอยู่ในผลิดผลภายใน plastid ที่เรียกเฉพาะว่า amyloplast แต่เมื่อผลสุกแป้งจะถูกเปลี่ยนไปอยู่ในรูปของน้ำตาล เมื่อผลกล้วยไข่สุกปริมาณของแป้งจึงลดลงมาก (เบญจมาศ ศิลาย้อย, 2545) โดยจะเริ่มลดลงหลังอายุการเก็บเกี่ยว 50 วัน

จากผลการวิจัยอายุการเก็บ 45 วันหลังจากวันตัดปลีมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตสูงปริมาณร้อยละ 88.09 และปริมาณความชื้นต่ำปริมาณร้อยละ 60.90 เหมาะสำหรับนำมาผลิตเป็นแป้งกล้วยไข่ และมีรายงานวิจัยพบว่าการเก็บเกี่ยวกล้วยเพื่อใช้ในการผลิตแป้ง มีดัชนีที่สามารถบอกอายุการเก็บเกี่ยว คือการวัดความยาวเส้นรอบวง ร่วมกับการพิจารณาเหลี่ยมของผล และการนับจำนวนวันหลังจากออกปลีเป็นดัชนีได้ (สุดาทิพย์ อินทร์ชื่น, 2552)

4.2 ผลของวิธีการผลิตแป้งที่มีต่อสมบัติของแป้งกล้วยไข่

จากการนำกล้วยไข่พันธุ์กำแพงเพชรที่มีอายุการเก็บ 45 วันหลังจากวันตัดปลี มาผลิตเป็นแป้งกล้วยไข่ โดยแปรผันวิธีการผลิตแป้ง 2 วิธีคือวิธีการผลิตแบบบดแห้งและบดเปียกดัดแปลงจากวิธีการของปิยวรรณ ศุภวิทิตพัฒนา (2544) จากนั้นทำตรวจสอบสมบัติของแป้งกล้วยไข่ได้ผลดังนี้

4.2.1 สมบัติทางกายภาพของแป้งกล้วยไข่

4.2.1.1 ปริมาณผลผลิต

จากการศึกษาปริมาณผลผิตของแป้งกล้วยไข่ที่ผลิตโดยวิธีการผลิตแบบบดแห้งและการผลิตแบบบดเปียกในด้านปริมาณผลผลิต แสดงดังตาราง 17 พบว่าวิธีการผลิตแบบบดแห้งให้ปริมาณผลผลิตแป้งมากกว่าวิธีการผลิตแบบบดเปียก โดยได้ปริมาณผลผลิตเฉลี่ยร้อยละ 36.30 เนื่องจากวิธีการผลิตแบบบดเปียกทำให้องค์ประกอบบางชนิดที่ละลายน้ำได้ถูกแยกออกไปพร้อมกับน้ำ ทั้งนั้นเนื่องจากในวิธีการผลิตแบบบดเปียกเป็นการโม่วัตถุดิบพร้อมกับน้ำ ทำให้โปรตีนที่ละลายน้ำได้ น้ำตาล และ Nonstarch-Bound Lipids บางส่วนถูกชะล้างออกไปกับน้ำระหว่างการบด (Medcalf and Lund, 1985; Juliano and Hicks, 1996)

ตาราง 17 ปริมาณผลผลิตของแป้งกล้วยไข่พันธุ์กำแพงเพชรอายุการเก็บเกี่ยว 45 วันหลังจากวันตัดปลีผลิตโดยวิธีการผลิตแบบบดแห้งและบดเปียก

วิธีการผลิต	ปริมาณผลผลิต (ร้อยละ)
บดแห้ง	36.30±0.21[a]
บดเปียก	32.42±0.47[b]

*อักษรที่แตกต่างกันตามแนวตั้งแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p \leq 0.05$)

4.2.1.2 ค่าสี

การวัดสีของแป้งกล้วยไข่ที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 45 วันหลังจากวันตัดปลี พบว่าวิธีการผลิตแบบบดแห้งและแบบบดเปียกมีผลต่อค่า L a และ b โดยค่า L แสดงถึงความสว่าง มีค่าสูงสุดเท่ากับ 100 แสดงถึงสีขาวและต่ำสุดเท่ากับ 0 แสดงถึงสีดำ ค่า a ที่เป็นค่าบวก (+) หมายถึงสีแดง ถ้าเป็นค่าลบ (-) หมายถึงสีเขียว ค่า b ถ้าเป็นค่าบวก (+) หมายถึงสีเหลือง ถ้าเป็นค่าลบ (-) หมายถึงสีน้ำเงินสีของแป้งกล้วยไข่ที่ผลิตจากวิธีการผลิตแบบบดแห้งและแบบบดเปียกมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) (ตาราง 18) โดยแป้งกล้วยไข่จากวิธีการผลิตแบบบดแห้งมีค่า L และ b มากกว่า แต่มีค่า a ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) กับแป้งกล้วยไข่ที่ผลิตจากวิธีการผลิตแบบบดเปียก แสดงว่าแป้งกล้วยไข่ที่ผลิตจากวิธีการผลิตแบบบดแห้งมีสีเหลืองมากกว่า ทั้งนี้เนื่องจากรงควัตถุที่มีในเนื้อกล้วยไข่ถูกชะล้างออกไปพร้อมกับน้ำในระหว่างวิธีการผลิตแบบบดเปียก ซึ่งภายหลังการเก็บเกี่ยวผลิตผลมีการเปลี่ยนแปลงสีเกิดขึ้น โดยสารสีเขียวคลอโรฟิลล์จะหายไปและมักปรากฏสีเหลืองคาโรทีนขึ้นแทนซึ่งสารสีต่างๆ ที่มีอยู่ละลายในน้ำ (จริงแท้ ศิริพานิช, 2549) ผลการทดลองนี้สอดคล้องกับรายงานการศึกษาของมนทกานต์ เบญจพลากร (2549) ซึ่งพบว่าแป้งเกาลัดจากการโม่แห้งมีค่า b มากกว่า และสอดคล้องกับรายงานการศึกษาของ Mukprasirt and Sajjaanantakul (2004) พบว่าแป้งเมล็ดขนุนจากการโม่แห้งมีสีเหลืองมากกว่า

ตาราง 18 ค่าสีของแป้งกล้วยไข่พันธุ์กำแพงเพชรอายุการเก็บเกี่ยว 45 วันหลังจากวันตัดปลี ผลิตโดยวิธีการผลิตแบบบดแห้งและแบบบดเปียก

วิธีการผลิต	L	a[ns]	b
บดแห้ง	88.20±0.13[a]	0.74±0.46	15.00±0.41[a]
บดเปียก	85.74±0.13[b]	1.16±0.24	9.82.±0.29[b]

*อักษรที่แตกต่างกันตามแนวตั้งแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p \leq 0.05$)

[ns] แสดงความไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p > 0.05$) ของค่าเฉลี่ยในแนวตั้ง

4.2.2 สมบัติทางเคมีของแป้งกล้วยไข่

จากการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของแป้งกล้วยไข่ที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 45 วันหลังจากวันตัดปลีที่ผลิตโดยวิธีการผลิตแบบบดแห้งและแบบบดเปียก (ตาราง 19) พบว่าวิธีการผลิตแป้งต่างกันมีผลต่อปริมาณโปรตีนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) แต่ไม่มีผลต่อปริมาณความชื้น ไขมัน เส้นใย เถ้า คาร์โบไฮเดรตอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ซึ่งผลการทดลองนี้สอดคล้องกับรายงานของ Mukprasirt and Sajjaanantakul (2004) และมนทกานต์ เบญจพลากร (2549) ซึ่งพบว่าการโม่แห้งจะให้แป้งข้าวเหนียว แป้งเมล็ดขนุน และแป้งเกาลัดมีปริมาณโปรตีนสูง

กว่าการโม่เปียก ทั้งนี้เนื่องจากในกระบวนการโม่เปียกเป็นการโม่วัตถุดิบพร้อมกับน้ำทำให้โปรตีนที่ละลายน้ำได้บางส่วนถูกชะล้างออกไปกับน้ำในระหว่างการโม่

ตาราง 19 องค์ประกอบทางเคมีแป้งกล้วยไข่พันธุ์กำแพงเพชรอายุการเก็บเกี่ยว 45 วันหลังจากวันดัดปลีผลิตโดยวิธีการผลิตแบบบดแห้งและแบบบดเปียก

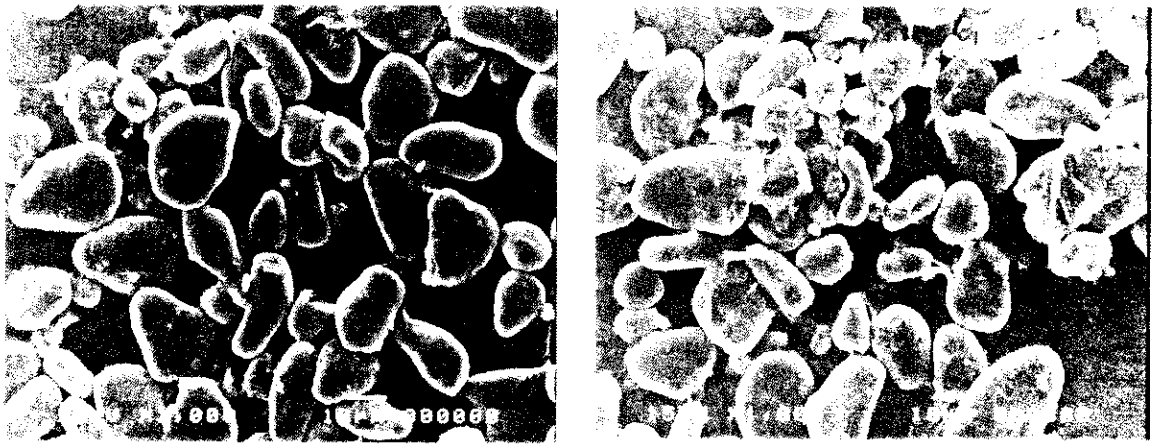
วิธีการผลิต	องค์ประกอบทางเคมี (ร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง)					
	ความชื้น^{ns}	โปรตีน	ไขมัน^{ns}	เส้นใย^{ns}	เถ้า^{ns}	คาร์โบไฮเดรต^{ns}
บดแห้ง	7.56±2.62	3.66±0.21^{a}	0.35±0.08	3.20±0.37	2.25±0.21	88.45±0.29
บดเปียก	7.19±0.19	3.02±0.75^{b}	0.35±0.07	2.91±0.38	2.25±0.12	88.72±0.41

*อักษรที่แตกต่างกันตามแนวตั้งแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p \leq 0.05$)

^{ns}แสดงความไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p > 0.05$) ของค่าเฉลี่ยในแนวตั้ง

4.2.3 ลักษณะของเม็ดแป้งกล้วยไข่

จากการศึกษาลักษณะเม็ดแป้งของแป้งกล้วยไข่ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบแสงส่องกราด (SEM) พบว่าวิธีการผลิตมีผลต่อลักษณะของเม็ดแป้ง คือวิธีการผลิตแบบบดแห้งลักษณะของเม็ดแป้งผิวเรียบ ยาวรี แต่วิธีการผลิตแบบบดเปียกลักษณะของเม็ดแป้งผิวไม่เรียบ ยาวรี (ภาพ 9) ซึ่งสอดกับการรายงานผลการวิจัยของไพลำภา นิ่มสังข์ และคณะ. (2550) จากการวิจัยใช้กล้วยสามสายพันธุ์ ได้แก่ AA group (กล้วยไข่; KH), AAA group (กล้วยหอมทอง; HT) และ ABB group (กล้วยน้ำว้า; NW) เมื่อตรวจสอบลักษณะเม็ดสตาร์ชด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบแสงส่องกราด พบว่าเม็ดสตาร์ชจากกล้วยไข่มีผิวเรียบ และยาวรี นอกจากนี้จากภาพ 9 ยังแสดงให้เห็นว่า เม็ดแป้งกล้วยไข่ที่ได้จากวิธีการผลิตแบบบดแห้งโดยส่วนใหญ่มีขนาดเล็กกว่าเม็ดแป้งกล้วยไข่ที่ได้จากวิธีการผลิตแบบบดเปียก ทั้งนี้อาจเนื่องจากวิธีการผลิตแบบบดแห้งไม่มีน้ำช่วยหล่อลื่นทำให้ใบมีดของเครื่องบดเกิดการเสียดสีกับเม็ดแป้งโดยตรงทำให้เกิดการลดขนาดของเม็ดแป้งมากกว่าวิธีการผลิตแบบบดเปียก



วิธีการผลิตแบบบดแห้ง วิธีการผลิตแบบบดเปียก

ภาพ 9 ลักษณะเม็ดแป้งกล้วยไข่พันธุ์กำแพงเพชรอายุการเก็บเกี่ยว 45 วันหลังจากวันตัดปลีผลิตโดยวิธีการผลิตแบบบดแห้งและบดเปียก (กำลังขยาย 1,000 เท่า)

4.2.4 สมบัติการสุกของแป้งกล้วยไข่

จากการศึกษาสมบัติการสุกของแป้งกล้วยไข่ ซึ่งเป็นสมบัติเฉพาะตัวที่สำคัญของแป้งที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ พบว่าวิธีการผลิตแป้งกล้วยไข่ที่แตกต่างกันมีผลต่อค่า Peak Viscosity แสดงถึงค่าความหนืดเมื่อแป้งพองตัวสูงสุดของน้ำแป้ง Trough แสดงถึงค่าความหนืดต่ำสุดของน้ำแป้ง Breakdown แสดงถึงความแตกต่างของความหนืดสูงสุดและความหนืดต่ำสุด และ Setback แสดงถึงค่าความหนืดเมื่อน้ำแป้งคืนตัว การที่เม็ดแป้งพองตัวเต็มที่และแตกออกสามารถอุ้มน้ำและไม่มีการดูดน้ำเข้ามาอีกที่เรียกว่าการคืนตัว (กล้าณรงค์ ศรีรอต และเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ, 2550) แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยแป้งกล้วยไข่ที่ผลิตโดยวิธีการผลิตแบบบดเปียกจะมีค่า Peak Viscosity สูงกว่าแป้งกล้วยไข่ที่ผลิตโดยวิธีการผลิตแบบบดแห้ง (ตาราง 20) ทั้งนี้เนื่องจากแป้งกล้วยไข่ที่ผลิตโดยวิธีการผลิตแบบบดแห้งมีปริมาณโปรตีนมากกว่าแป้งกล้วยไข่ที่ผลิตโดยวิธีการผลิตแบบบดเปียก โปรตีนจะไปขัดขวางการพองตัวของเม็ดสตาร์ชทำให้แป้งมีค่า Peak Viscosity ต่ำ (มนทกานต์ เบญจพลากร, 2549) ผลการวิจัยดังกล่าวสอดคล้องกับรายงานของ Mukprasirt and Sajjaanantakul (2004) พบว่าแป้งเมล็ดขนุนจากการโม่แห้งมีค่าต่ำกว่าแป้งเมล็ดขนุนจากการโม่เปียก นอกจากนี้การโม่แห้งทำให้เม็ดสตาร์ชเกิดการเสียหายมาก แป้งกล้วยไข่ที่ผลิตจากวิธีการผลิตบดแห้งจึงมี Peak Viscosity และ Trough ต่ำ

ค่า Breakdown และ Setback มีความสัมพันธ์กับปริมาณอะมิโลสซึ่งวิธีการผลิตแบบบดแห้งมีปริมาณอะมิโลสสูงกว่าวิธีการผลิตแบบบดเปียกส่งผลทำให้การคงตัวของเม็ดแป้งและการคืนตัวของเม็ดแป้งเกิดเร็ว (กล้าณรงค์ ศรีรอต และเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ, 2550)

สำหรับค่า Pasting Temperature เป็นอุณหภูมิที่ทำให้แป้งพองตัว ความร้อนจะไปทำลายพันธะไฮโดรเจน ทำให้ร่างแหไมเซลล์ภายในเม็ดสตาร์ชมีความแข็งแรงลดลง เม็ดสตาร์ชจึง

ดูดน้ำและพองตัว (กล้าณรงค์ ศรีรอด และเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ, 2550) จากผลการศึกษาพบว่า (ตาราง 20) วิธีการผลิตไม่มีผลต่อค่า pasting temperature อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

ตาราง 20 สมบัติการสุกของแป้งกล้วยไข่พันธุ์กำแพงเพชรที่ผลิตจากอายุการเก็บเกี่ยว 45 วัน หลังจากวันตัดปลีที่ผลิตโดยวิธีการผลิตแบบบดแห้งและบดเปียก

วิธีการผลิต	ค่าสมบัติการสุก					
	Peak Viscosity (RVU)	Trough (RVU)	Breakdown (RVU)	Final Viscosity (RVU)	Setback (RVU)	Pasting Temperature^{ns} (°C)
บดแห้ง	237.83±4.36^{b}	144.96±0.18^{b}	92.88±4.54^{a}	212.83±2.59^{b}	67.88±2.42^{b}	79.68 ± 0.39
บดเปียก	256.00±0.26^{a}	177.33±0.34^{a}	78.67±0.12^{b}	265.08±2.12^{a}	87.75±1.78^{a}	79.90 ± 0.00

*อักษรที่แตกต่างกันตามแนวตั้งแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p \leq 0.05$)

^{ns}แสดงความไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p > 0.05$) ของค่าเฉลี่ยในแนวตั้ง

4.2.5 สมบัติทางความร้อนของแป้งกล้วยไข่

จากการศึกษาสมบัติทางความร้อนของแป้งกล้วยไข่ที่ผลิตจากวิธีการผลิตแบบบดแห้ง และบดเปียกด้วยเครื่อง Differential Scanning Calorimeter (DSC) พบว่า วิธีการผลิตไม่มีผลต่อค่า Onset temperature (T_o) แสดงถึงค่าของอุณหภูมิที่เริ่มเกิดเจลาทิไนซ์ของแป้ง Peak Temperature (T_p) แสดงถึงค่าของอุณหภูมิที่ทำให้แป้งดูดความร้อนมากที่สุดขณะเกิดเจลาทิไนซ์ Conclusion Temperature (T_c) แสดงถึงค่าอุณหภูมิสุดท้ายที่แป้งเกิดเจลาทิไนซ์ และ Enthalpy (ΔH) แสดงถึงการเกิดเจลาทิไนเซชันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) (ตาราง 21) แต่จากตารางจะพบว่าค่าที่วัดได้แป้งกล้วยไข่จากวิธีการผลิตแบบบดแห้งมีค่า T_o และ T_p สูงกว่า แต่ค่า ΔH ต่ำกว่าแป้งกล้วยไข่จากวิธีการผลิตแบบบดเปียก ความแตกต่างนี้เกิดจากวิธีการผลิตแบบบดแห้งอาจทำลายโครงสร้างที่เป็นผลึกของเม็ดแป้ง ดังนั้นพลังงานความร้อนที่จำเป็นสำหรับการเกิดเจลาทิไนเซชันมีค่าต่ำกว่าสอดคล้องรายงานการวิจัยของ Chen, J.J., Lu, S., and Lii, C.Y. (1999) ที่พบว่าแป้งข้าวเหนียวที่ได้จากการโม่แห้งมีค่า T_o และ T_p สูงกว่า แต่ค่า ΔH ต่ำกว่าแป้งที่ได้จากการโม่เปียก เมื่อพิจารณาค่า T_o และค่า Pasting Temperature พบว่าค่า T_o ของแป้งกล้วยไข่มีค่าต่ำกว่าค่า Pasting temperature เนื่องจากค่า Pasting Temperature เป็นอุณหภูมิที่สารละลายน้ำแป้งเริ่มมีการเปลี่ยนแปลงความหนืด ซึ่งความหนืดจะเกิดเมื่อเม็ดแป้งเริ่มดูดน้ำและพองตัวได้ระดับหนึ่ง ในขณะที่ T_o วัดจากการเปลี่ยนแปลงด้านความร้อนคือ เมื่อแป้งเริ่มเกิดเจลต้องมีการดูด

ความร้อนเข้าไปในระบบโดยความหนืดอาจยังไม่มีการเปลี่ยนแปลง จึงทำให้ค่า T_o ต่ำกว่า Pasting Temperature (Jane *et al.*, 1999)

ตาราง 21 สมบัติทางความร้อนของแป้งกล้วยไข่พันธุ์กำแพงเพชรอายุการเก็บเกี่ยว 45 วัน หลังจากวันตัดปลีที่ผลิตโดยวิธีการผลิตแบบบดแห้งและแบบบดเปียก

วิธีการผลิต	T_o^{ns} (° C)	T_p^{ns} (° C)	T_c^{ns} (° C)	ΔH^{ns} (mJ)
บดแห้ง	73.41 ± 0.09	77.69 ± 0.25	84.53 ± 0.37	51.17 ± 1.04
บดเปียก	72.76 ± 0.41	76.74 ± 0.38	83.33 ± 0.16	60.44 ± 5.58

^{ns} แสดงความไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p > 0.05$) ของค่าเฉลี่ยในแนวตั้ง

4.2.6 ปริมาณอะมิโลส

จากการศึกษาวิธีการผลิตแป้งกล้วยมีผลต่อปริมาณอะมิโลสของแป้งกล้วยไข่อายุการเก็บเกี่ยว 45 วันหลังจากวันตัดปลีมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยวิธีการผลิตแบบบดแห้งและแบบบดเปียก พบว่าแป้งกล้วยไข่ที่ผลิตโดยวิธีการผลิตแบบบดแห้งมีปริมาณอะมิโลสมากกว่า แป้งกล้วยไข่ที่ผลิตโดยวิธีการผลิตแบบบดเปียก (ตาราง 22) เนื่องจากอะมิโลสสามารถรวมตัวเป็นสารประกอบเชิงซ้อนกับไอโอดีน และสารประกอบอินทรีย์อื่นๆ เช่น บิวทานอล กรดไขมัน สารลดตึงผิว ฟีนอล และไฮโดรคาร์บอน ซึ่งสารประกอบเชิงซ้อนเหล่านี้จะไม่ละลายน้ำ (กล้าณรงค์ ศรีรอต และเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ, 2550) ดังนั้นวิธีการผลิตแบบบดแห้งสารประกอบเชิงซ้อนที่มีอยู่ในกล้วยไข่มีความสามารถรวมตัวกับไอโอดีนได้ดีกว่าวิธีการผลิตแบบบดเปียก

ตาราง 22 ปริมาณอะมิโลสของแป้งกล้วยไข่พันธุ์กำแพงเพชรอายุการเก็บเกี่ยว 45 วัน หลังจากวันตัดปลีที่ผลิตโดยวิธีการผลิตแบบบดแห้งและแบบบดเปียก

วิธีการผลิต	ปริมาณอะมิโลส (ร้อยละ)
บดแห้ง	23.29 ± 0.14^a
บดเปียก	21.91 ± 0.12^b

*อักษรที่แตกต่างกันตามแนวตั้งแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p \leq 0.05$)

จากการศึกษาสมบัติทางกายภาพของแป้งกล้วยไข่ ปริมาณผลผลิต ค่าสี สมบัติทางเคมีของแป้งกล้วยไข่ และปริมาณอะมิโลส พบว่าแป้งกล้วยไข่ที่ผลิตโดยวิธีการผลิตแบบบดแห้งมีปริมาณผลผลิต โปรตีน และอะมิโลสสูงกว่าแป้งกล้วยไข่ที่ผลิตโดยวิธีการผลิตแบบบด

เปียก ดังนั้นในการวิจัยตอนต่อไปจึงเลือกวิธีการผลิตแป้งกล้วยไข่โดยวิธีการบดแห้ง ซึ่งมีขั้นตอนการผลิตแป้งที่สะดวกกว่า อย่างไรก็ตามวิธีการผลิตแบบบดเปียกสามารถใช้ในการผลิตแป้งกล้วยไข่ได้เช่นกัน

4.3 สมบัติของแป้งกล้วยไข่และแป้งทางการค้า

นำตัวอย่างแป้งที่มีจำหน่ายในประเทศไทย ได้แก่ แป้งมันสำปะหลัง แป้งข้าวเหนียว แป้งข้าวโพด แป้งข้าวเจ้า แป้งท้าวยายม่อม แป้งขนมปัง แป้งสาลีอเนกประสงค์ และแป้งเด็กมาตรวจสอบสมบัติทางกายภาพ สมบัติทางเคมี ลักษณะของเม็ดแป้ง การสุกของแป้ง สมบัติทางความร้อน ปริมาณอะมิโลสจากนั้นนำผลการตรวจสอบสมบัติต้านต่าง ๆ ของแป้งกล้วยไข่ที่ผลิตจากกล้วยไข่พันธุ์กำแพงเพชรอายุการเก็บเกี่ยว 45 วันหลังจากวันตัดปลีด้วยผลิตโดยวิธีการผลิตแบบบดแห้งมาเปรียบเทียบกับแป้งดังกล่าว

4.3.1 สมบัติทางกายภาพของแป้งกล้วยไข่และแป้งทางการค้า

4.3.1.1 ค่าสี

ค่าสีของแป้งกล้วยไข่และแป้งชนิดมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) (ตาราง 23) พบว่าแป้งกล้วยไข่มีค่า L ต่ำกว่าแป้งทางการค้า ค่า b มากกว่าแป้งทางการค้า แสดงว่าแป้งกล้วยไข่สีเหลืองและคล้ำกว่า อาจเนื่องมาจากกล้วยไข่มีรงควัตถุที่ให้สีเหลืองมากกว่าวัตถุดิบของแป้งทางการค้าจึงทำให้แป้งกล้วยไข่มีสีเหลืองมากกว่าแป้งทางการค้า และการผลิตแป้งกล้วยไม่มีการใช้สารเคมีในการฟอกสีและกลิ่นของแป้ง ในขณะที่แป้งที่จำหน่ายทางการค้ามีกระบวนการตังกล่าวเพื่อให้ได้แป้งที่มีความขาว

ตาราง 23 ค่าสีของแป้งกล้วยไข่และแป้งทางการค้า

ตัวอย่าง	L	a	b
แป้งกล้วยไข่	88.28±0.13^{h}	0.74±0.46^{bc}	15.00±0.4^{a}
แป้งมันสำปะหลัง	97.76±0.19^{b}	0.06±0.89^{e}	2.56±0.89^{g}
แป้งข้าวเหนียว	96.02±0.13^{de}	-0.56±0.21^{cd}	4.82±0.22^{d}
แป้งข้าวโพด	98.10±0.10^{a}	-1.12±0.22^{b}	4.46±0.26^{e}
แป้งข้าวเจ้า	96.16±0.15^{d}	-0.48±0.84^{cde}	3.22±0.15^{f}
แป้งท้าวยายม่อม	96.54±0.25^{c}	-0.14±0.54^{de}	3.54±0.15^{f}
แป้งขนมปัง	90.74±0.89^{g}	2.48±0.11^{a}	8.28±0.13^{b}
แป้งสาลีอเนกประสงค์	94.70±0.57^{f}	0.06±0.54^{e}	5.34±0.30^{c}
แป้งเด็ก	95.76±0.15^{e}	2.34±0.87^{a}	3.54±0.31^{f}

* อักษรที่แตกต่างกันตามแนวตั้งแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p \leq 0.05$)

4.3.2 สมบัติทางเคมีของแป้งกล้วยไข่และแป้งทางการค้า

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของแป้งกล้วยไข่และแป้งทางการค้าพบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) (จากตาราง 24) แป้งกล้วยไข่มีปริมาณเส้นใยและเถ้ามากกว่า (ตาราง 24) แป้งทางการค้าเนื่องจากปัจจุบันแป้งทางการค้ามีการผลิตโดยวิธีการผลิตทันสมัยมีความบริสุทธิ์ของแป้งสูง (กล้าณรงค์ ศรีรอต และเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ, 2546) แป้งกล้วยที่ผลิตได้ในการวิจัยครั้งนี้เป็นแป้งที่เรียกว่า ฟลาวร์ (Flour) มีส่วนประกอบของคาร์โบไฮเดรต โปรตีนและไขมันรวมอยู่ในแป้งโปรตีนของแป้งกล้วยไข่ไม่แตกต่างกับแป้งข้าวเหนียว แป้งข้าวโพด แป้งข้าวเจ้าและแป้งท้าวยายม่อม ไขมันของแป้งกล้วยไข่ไม่แตกต่างกับแป้งขนมปัง แป้งมันสำปะหลัง และแป้งเค้กอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

ตาราง 24 องค์ประกอบทางเคมีของแป้งกล้วยไข่และแป้งทางการค้า

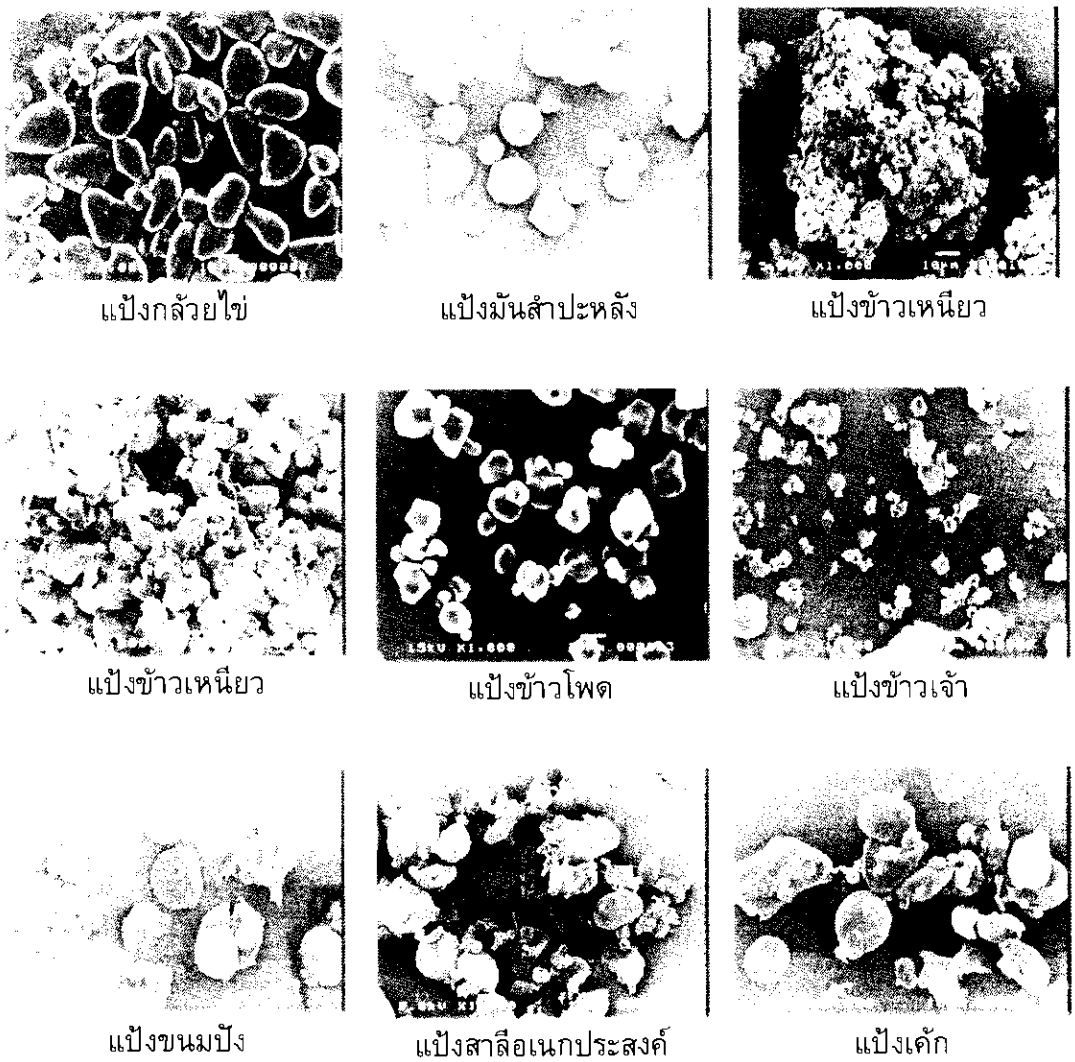
ชนิดแป้ง	องค์ประกอบทางเคมี (ร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง)					
	ความชื้น	โปรตีน	ไขมัน	เส้นใย	เถ้า	คาร์โบไฮเดรต
แป้งกล้วยไข่	7.56± 2.27 ^{c}	3.67±0.18 ^{d}	0.35 ±0.66 ^{cd}	3.20±0.32 ^{a}	2.25±0.18 ^{a}	88.78±0.25 ^{c}
แป้งมันสำปะหลัง	11.94± 0.57 ^{b}	1.38e±1.59 ^{e}	0.26±0.12 ^{d}	1.04±0.21 ^{cd}	0.17±0.06 ^{f}	97.34±1.86 ^{a}
แป้งข้าวเหนียว	12.03± 1.14 ^{b}	3.43±1.28 ^{d}	1.00±0.21 ^{a}	0.07±0.04 ^{f}	0.88±0.26 ^{b}	94.16±1.66 ^{b}
แป้งข้าวโพด	11.70± 0.43 ^{b}	2.38±0.92 ^{de}	0.66±0.36 ^{b}	1.21±0.15 ^{bc}	0.11±0.01 ^{f}	95.74±1.01 ^{ab}
แป้งข้าวเจ้า	10.85± 0.81 ^{b}	2.93±0.81 ^{de}	0.86±0.15 ^{a}	0.92±0.26 ^{de}	0.34±0.03 ^{e}	94.95±0.95 ^{ab}
แป้งท้าวยายม่อม	14.16± 1.44 ^{a}	2.69±0.77 ^{de}	0.87±0.14 ^{a}	1.33±0.13 ^{b}	0.14±0.03 ^{f}	94.7±0.85 ^{ab}
แป้งขนมปัง	15.27± 2.85 ^{a}	17.92±0.14 ^{a}	0.48±0.03 ^{c}	0.81±0.05 ^{e}	0.63±0.05 ^{c}	75.79 ±0.37 ^{e}
แป้งสาลีอเนกประสงค์	11.61± 0.41 ^{b}	16.17±0.78 ^{b}	0.87±0.15 ^{a}	0.24±0.29 ^{f}	0.14±0.03 ^{f}	74.06±0.88 ^{b}
แป้งเค้ก	10.67± 0.3 5 ^{b}	9.04±0.15 ^{c}	0.36±0.03 ^{cd}	0.74±0.04 ^{e}	0.47±0.03 ^{d}	78.66±0.16 ^{e}

* อักษรที่แตกต่างกันตามแนวตั้งแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p \leq 0.05$)

4.3.3 ลักษณะของเม็ดแป้งกล้วยไข่และแป้งทางการค้า

จากการศึกษาลักษณะเม็ดแป้งของแป้งชนิดต่างๆด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบแสงส่องกราด (SEM) (ภาพ 10) พบว่ารูปร่างเม็ดแป้งของแป้งกล้วยไข่ใกล้เคียงกับแป้งสาลีมากที่สุด โดยมีลักษณะรูปร่างยาวรี สอดคล้องกับรายงานของไพลำภา นิ่มสังข์, มาศอุบล ทองงาม และอรอนงค์ นัยวิกุล (2550) รายงานว่าเม็ดสตาร์ชจากกล้วยไข่มีผิวเรียบมีลักษณะยาวรี แป้งมันสำปะหลังและแป้งท้าวยายม่อมมีรูปร่างกลม และมีรอยตัด แป้งข้าวเหนียว แป้งข้าวโพด และแป้งข้าวเจ้ามีรูปร่างหลายเหลี่ยม สอดคล้องกับกล้าณรงค์ ศรีรอต และเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ (2546)

การที่เม็ดแป้งมีรูปร่างและลักษณะแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับวัตถุดิบที่ใช้ผลิตแป้ง สัดส่วนของปริมาณอะมิโลสและอะมิโลเพกทิน



ภาพ 10 ลักษณะเม็ดแป้งของแป้งกล้วยไข่และแป้งทางการค้าโดยส่องกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนรอนชนิดแบบแสงส่องกราด (SEM) (กำลังขยาย 1,000 เท่า)

4.3.4 สมบัติการสุกของแป้งกล้วยไข่และแป้งทางการค้า

จากการศึกษาสมบัติแป้งสุกของแป้งกล้วยไข่และแป้งชนิดอื่น (ตาราง 25) พบว่าแป้งกล้วยไข่ แป้งมันสำปะหลัง แป้งข้าวเหนียว แป้งข้าวโพด แป้งข้าวเจ้า แป้งท้าวยายม่อม แป้งขนมปัง แป้งสาลีอเนกประสงค์และแป้งเค้กมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) แป้งกล้วยไข่มีค่า Trough สูงกว่าแป้งทางการค้า Breakdown และ Pasting Temperature ค่อนข้างต่ำ สำหรับค่า Final Viscosity ไม่แตกต่างกับแป้งข้าวโพด และ Setback ไม่แตกต่างกับแป้งมันสำปะหลัง แป้งขนมปังและแป้งเค้กอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

สมบัติการสุกของแป้งเป็นสมบัติเฉพาะตัวที่สำคัญของแป้งชนิดนั้น และปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อสมบัติการสุกของแป้ง ได้แก่ชนิดแป้งและวิธีการผลิตแป้ง (กล้าณรงค์ ศรีรอต และเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ, 2546) แป้งที่ผลิตทางการค้ามีความทันสมัยและให้แป้งที่มีความบริสุทธิ์ได้ตามวัตถุประสงค์ของการนำแป้งไปใช้ในผลิตภัณฑ์นั้นๆ

ตาราง 25 สมบัติแป้งสุกแป้งกล้วยไข่และแป้งทางการค้า

ชนิดแป้ง	Peak Viscosity (RVU)	Trough (RVU)	Breakdown (RVU)	Final Viscosity (RVU)	Setback (RVU)	Pasting Temperature (°C)
1	237.83± 4.36 ^{c}	144.96±0.18 ^{a}	92.88±4.54 ^{d}	212.83±2.59 ^{b}	67.88±2.42 ^{de}	79.68 ± 0.39 ^{e}
2	364.21±2.77 ^{a}	106.46±0.06 ^{e}	257.75±2.71 ^{a}	176.17±1.41 ^{c}	69.71±1.47 ^{de}	66.15 ± 0.28 ^{h}
3	288.75±1.65 ^{b}	130.71±1.94 ^{c}	158.04±0.29 ^{b}	173.38±1.47 ^{c}	42.67±0.47 ^{f}	66.65 ± 0.07 ^{h}
4	199.46±0.29 ^{d}	123.63±3.95 ^{d}	75.83±3.65 ^{e}	216.21±0.06 ^{b}	92.58±3.89 ^{b}	75.90± 0.57 ^{f}
5	179.08±1.53 ^{e}	139.46±0.29 ^{b}	39.63±1.24 ^{g}	319.88±2.30 ^{a}	180.42±2.59 ^{a}	88.50 ± 0.21 ^{a}
6	185.58±6.13 ^{e}	52.25±2.71 ^{h}	133.33±3.42 ^{c}	90.88±3.71 ^{f}	38.63 ±1.00 ^{f}	69.13 ± 0.04 ^{g}
7	119.36±1.83 ^{f}	63.46±0.29 ^{f}	55.92±1.53 ^{f}	128.71±0.53 ^{e}	65.25±0.24 ^{e}	84.45 ± 0.92 ^{d}
8	99.79±0.95 ^{g}	57.00±0.82 ^{g}	42.79±1.12 ^{g}	134.21±0.53 ^{d}	77.21±0.29 ^{c}	87.05 ± 0.57 ^{b}
9	104.21±4.30 ^{g}	62.79±0.18 ^{f}	41.42±4.12 ^{g}	135.42±4.48 ^{d}	72.63±4.30 ^{cd}	85.68 ± 0.46 ^{c}

* อักษรที่แตกต่างกันตามแนวตั้งแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p \leq 0.05$)

หมายเหตุ 1 หมายถึง แป้งกล้วยไข่
2 หมายถึง แป้งมันสำปะหลัง
3 หมายถึง แป้งข้าวเหนียว
4 หมายถึง แป้งข้าวโพด
5 หมายถึง แป้งข้าวเจ้า
6 หมายถึง แป้งท้าวยายม่อม
7 หมายถึง แป้งขนมปัง
8 หมายถึง แป้งสาลีอเนกประสงค์
9 หมายถึง แป้งเด็ก

4.3.5 สมบัติทางความร้อนแป้งกล้วยไข่และแป้งทางการค้า

จากการศึกษาสมบัติความร้อนแป้งกล้วยไข่และแป้งชนิดอื่น (ตาราง 26) พบว่า สมบัติทางความร้อนของแป้งกล้วยไข่มีอุณหภูมิเริ่มเกิดเจลาติไนเซชัน (Onset Temperature, T_o) อุณหภูมิสูงสุด (Peak Temperature, T_p) อุณหภูมิสุดท้าย (Conclusion Temperature,T_c) มีค่าไม่แตกต่างกับแป้งข้าวเจ้าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ส่วนค่าพลังงาน (Enthalpy, ΔH) ของแป้งกล้วยไข่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) กับแป้งข้าวโพด และแป้งท้าวยายม่อม จากค่า T_o, T_p, T_c และ ΔH โดยที่อุณหภูมิและพลังงานในการเกิดเจลาทิไนเซชัน จะบอกถึงความแตกต่างของโครงสร้างเม็ดแป้งในพืชชนิดต่างๆ โดยแป้งที่มีอุณหภูมิและพลังงานในการเกิดเจลาติไนเซชันสูง แสดงว่ามีความเป็นผลึกมากหรือโครงสร้างที่คงทนต่อการเกิดเจลาทิไนเซชันได้มากกว่า (มนทกานต์ เบญจพลากร, 2549)

ตาราง 26 สมบัติทางความร้อนของอุณหภูมิการเกิดเจลาติไนเซชันแป้งกล้วยไข่และแป้งทางการค้าวิเคราะห์ด้วยเครื่อง DSC

ตัวอย่าง	T_o (°C)	T_p (°C)	T_c (°C)	ΔH (mJ)
แป้งกล้วยไข่	73.41±0.92^{a}	77.69±0.25^{a}	84.53±0.37^{a}	-51.17±1.04^{ab}
แป้งมันสำปะหลัง	60.13±0.19^{c}	67.46±0.11^{e}	76.84±0.86^{ab}	-44.07±0.42^{bc}
แป้งข้าวเหนียว	60.65±0.49^{c}	68.66±1.13^{d}	76.25±0.30^{ab}	-39.97±0.49^{c}
แป้งข้าวโพด	67.80±0.51^{b}	72.43±0.27^{b}	58.96±27.70^{b}	-50.56±0.31^{ab}
แป้งข้าวเจ้า	73.87±0.13^{a}	77.48±0.08^{a}	82.12±0.01^{a}	-10.63±0.69^{d}
แป้งท้าวยายม่อม	65.01±0.18^{b}	70.77±0.10^{c}	80.41±0.01^{ab}	-57.72±0.95^{a}
แป้งขนมปัง	56.99±0.57^{d}	64.52±0.30^{f}	72.07±0.19^{ab}	-38.37±0.32^{c}
แป้งสาลีอเนกประสงค์	58.51±0.19^{d}	64.43±0.23^{f}	69.42±0.33^{ab}	-15.89±0.00^{d}
แป้งเค้ก	56.95±1.18^{e}	63.75±0.30^{f}	69.72±0.67^{ab}	-35.31±0.57^{c}

*อักษรที่แตกต่างกันตามแนวตั้งแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p \leq 0.05$)

4.3.6 ปริมาณอะมิโลสแป้งกล้วยไข่และแป้งทางการค้า

จากการศึกษาปริมาณอะมิโลสของแป้งกล้วยไข่และแป้งทางการค้ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) (ตาราง 27) แป้งกล้วยไข่มีปริมาณอะมิโลสต่ำแสดงถึงกำลังในการพองตัวที่ดีมีความสัมพันธ์กับค่า Peak Viscosity แป้งกล้วยไข่มีค่าของ Peak Viscosity ที่สูง ซึ่งค่าปริมาณอะมิโลสแตกต่างกันมากจากวัตถุดิบที่มาผลิตแป้งที่ต่างกันทำให้มีอัตราส่วนของอะมิโลสแตกต่างกัน (กล้าณรงค์ ศรีรอด และเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ, 2550)

ตาราง 27 ปริมาณอะมิโลสของแป้งกล้วยไข่และแป้งทางการค้า

ตัวอย่าง	ปริมาณอะมิโลส (ร้อยละ)
แป้งกล้วยไข่	23.29±0.14[f]
แป้งมันสำปะหลัง	42.87±0.44[b]
แป้งข้าวเหนียว	6.92±0.37[g]
แป้งข้าวโพด	48.84±0.38[a]
แป้งข้าวเจ้า	41.40±0.34[bc]
แป้งท้าวยายม่อม	40.81±0.46[c]
แป้งขนมปัง	38.60±0.33[d]
แป้งสาลีอเนกประสงค์	39.85±3.00[cd]
แป้งเค้ก	34.92±0.38[e]

* อักษรที่แตกต่างกันตามแนวตั้งแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p \leq 0.05$)

จากการศึกษาสมบัติทางกายภาพ สมบัติทางเคมี ลักษณะของเม็ดแป้ง สมบัติการสุกของแป้ง สมบัติทางความร้อน ปริมาณอะมิโลสของแป้งกล้วยไข่และทางการค้า จากสมบัติต่างๆ จึงนำแป้งกล้วยไข่ไปใช้ในการผลิตแป้งชุบทอด ซึ่งเติมใช้แป้งสาลี และแป้งข้าวโพดเป็นองค์ประกอบหลัก (Baixauli *et al.*, 2003; Akdeniz, Sahin and Sumnu, 2006; Dogan *et al.*, 2005; Chen, Kang and Chen, 2008) เนื่องจากแป้งกล้วยไข่มีค่า Final Viscosity และใช้พลังงานในการเกิดเจลาทิไนเซชัน (Enthalpy, ΔH) ไม่แตกต่างกับแป้งข้าวโพด มีค่า Setback ไม่แตกต่างจากแป้งสาลีและมีรูปร่างเม็ดแป้งคล้ายกับแป้งสาลี

4.4 ผลของการนำแป้งกล้วยไข่ไปใช้ประโยชน์ในการทำผลิตภัณฑ์อาหาร

นำแป้งกล้วยไข่มาใช้ในการทำแป้งชุบทอด โดยแปรผันอัตราส่วนของแป้งขนมปัง : แป้งข้าวโพด : แป้งกล้วยไข่ 5 อัตราส่วนคือ 1:1:0, 1:1:1, 1:0:1, 0:1:1 และ 0:0:1 ในการทำแครอทชุบแป้งทอด จากนั้นนำผลิตภัณฑ์ดังกล่าวมาตรวจสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสการเกาะติดของแป้งชุบทอดหลังทอด ความหนาแน่นของแป้งทอด ค่าสีของเปลือกแป้งชุบทอด และลักษณะเนื้อสัมผัสของแป้งชุบทอด

4.4.1 การทดสอบทางประสาทสัมผัส

การทดสอบทางประสาทสัมผัสโดยผู้ทดสอบชิมด้วยวิธีการให้คะแนนแบบ 9 point hedonic scale (ตาราง 28) ในตัวอย่างแป้งชุบทอดคะแนนของแป้งชุบทอดที่ใช้อัตราส่วนแป้งขนมปัง : แป้งข้าวโพด : แป้งกล้วยไข่ คืออัตราส่วนของแป้งเท่ากับ 1:0:1 ที่มีคุณลักษณะด้านสี การเกาะติด กลิ่นรส ความกรอบ ความชอบรวมได้รับคะแนนมากที่สุด คะแนนที่ได้รับอยู่ในช่วง 7 แสดงถึง ความชอบปานกลาง

แป้งกล้วยไข่มีสีเหลือง เมื่อหลังทอดสีผลิตภัณฑ์ที่ได้สีเหลืองทอง (Golden Brown) ซึ่งเป็นสีของแป้งชุบทอดที่ผู้บริโภคส่วนมากยอมรับ (ปิยวรรณ ฉ่ำมิ่งขวัญ, 2549) ปริมาณอะมิโลสที่มีอยู่ในแป้งกล้วยไข่มีปริมาณต่ำ จึงมีผลให้การเกาะติดที่ดีและกำลังการพองตัวดี (กล้าณรงค์ ศรีรอต และเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ, 2550) มีผลต่อความกรอบของแป้งชุบทอด กลิ่นรสของผักและผลไม้เกิดจากสารประกอบหลายประเภทที่ในผักและผลไม้ เช่นกรดอินทรีย์ น้ำตาลและสารที่ระเหยได้ (รัชนี ตัณฑะพาณิชกุล, 2542) จึงมีผลต่อกลิ่นรสของแป้งชุบทอดมีกลิ่นกล้วยไข่ที่ผลิตภัณฑ์

ตาราง 28 คะแนนการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของแป้งชุบทอดที่แปรผันอัตราส่วนแป้ง

ชนิดแป้ง			คะแนนการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส				
ขนมปัง :	ข้าวโพด :	กล้วยไข่	สี	การเกาะติด	กลิ่นรส	ความกรอบ	ความชอบรวม
1	1	0	6.43±1.50^{b}	6.10±1.81^{bc}	6.07±1.72^{b}	6.43±1.30^{b}	6.60±1.43^{bc}
1	1	1	6.17±1.02^{b}	5.60±1.71^{c}	6.13±1.25^{b}	4.97±1.52^{c}	6.17±1.12^{c}
1	0	1	7.43±1.17^{a}	7.00±0.79^{a}	7.40±1.16^{a}	7.70±1.11^{a}	7.43±1.07^{a}
0	1	1	6.47±1.11^{b}	6.67±1.30^{ab}	6.97±1.22^{a}	7.27±1.20^{a}	7.23±0.82^{a}
0	0	1	6.47±1.02^{b}	7.23±0.94^{a}	7.00±1.29^{a}	7.33±1.15^{a}	7.13±0.97^{ab}

* อักษรที่แตกต่างกันตามแนวตั้งแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p \leq 0.05$)

4.4.2 การเกาะติดของแป้งชุบทอดหลังทอด (Coating)

จากการทดสอบการเกาะติดของแป้งชุบทอดหลังทอด (ตาราง 29) มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) จากตัวอย่างแป้งชุบทอดที่แปรผันอัตราส่วนผสมแป้งขนมปัง : แป้งข้าวโพด : แป้งกล้วยไข่ พบว่าแป้งผสมอัตราส่วน 1:1:1, 1:0:1, 0:0:1 มีค่าการเกาะติดของแป้งชุบทอดหลังทอดสูงที่สุดร้อยละ 74.38 - 78.67 แป้งผสมอัตราส่วน 0:1:1 มีค่าการเกาะติดของแป้งชุบทอดหลังทอดลดลงมาร้อยละ 58.16 และแป้งผสมอัตราส่วน 1:1:0 จากผลดังกล่าวสามารถสรุปได้ว่าแป้งกล้วยไข่ช่วยเพิ่มความสามารถในการเกาะติดของแป้งชุบทอดหลังทอดน้อยที่สุดร้อยละ 1:1:0

ตาราง 29 การเกาะติดของแป้งชุบทอดหลังทอดที่แปรผันอัตราส่วนผสมแป้ง

ชนิดแป้ง			การเกาะติดของแป้งชุบทอดหลังทอด (Coating) (ร้อยละ)
ขนมปัง :	ข้าวโพด :	กล้วยไข่	
1	1	0	40.29±8.17[c]
1	1	1	74.84±5.18[a]
1	0	1	74.38±7.52[a]
0	1	1	58.16±6.14[b]
0	0	1	78.67±3.58[a]

* อักษรที่แตกต่างกันตามแนวตั้งแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p \leq 0.05$)

4.4.3 ค่าความหนาแน่นของก้อนแป้งทอด (Bulk Density)

ค่าความหนาแน่นของก้อนแป้งทอดจากตัวอย่างแป้งชุบทอดที่ผลิตโดยแป้งผสมระหว่างแป้งขนมปัง : แป้งข้าวโพด : แป้งกล้วยไข่ พบว่าค่าความหนาแน่นของก้อนแป้งทอดมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยแป้งชุบทอดอัตราส่วน 1:1:1 และ 1:0:1 ได้ก้อนแป้งทอดที่มีความหนาแน่นสูงที่สุด (ตาราง 30) ซึ่งความหนาแน่นของก้อนแป้งทอด สามารถบอกแนวโน้มในการพองตัวของผลิตแป้งชุบทอดได้ ถ้าความหนาแน่นของก้อนแป้งทอดมีค่าน้อยแสดงว่าก้อนแป้งทอดมีแนวโน้มในการพองตัวสูง (วนิดา เผอิญโชค, 2547) ดังนั้นเมื่อแป้งชุบทอดมีส่วนผสมของแป้งกล้วยไข่ทำให้ค่าความหนาแน่นของก้อนแป้งมีค่าสูง การพองลดลง แต่แป้งกล้วยไข่ผสมรวมกับแป้งข้าวโพดค่าความหนาแน่นของก้อนแป้งลดลง

ตาราง 30 ค่าความหนาแน่นของก้อนแป้งทอดที่แปรผันอัตราส่วนผสมแป้ง

ชนิดแป้ง			ค่าความหนาแน่นของก้อนแป้งทอด (Bulk Density) (กรัม/มิลลิตร)
ขนมปัง :	ข้าวโพด :	กล้วยไข่	
1	1	0	39.90±0.85[d]
1	1	1	81.67±1.80[a]
1	0	1	82.27±4.11[a]
0	1	1	61.67±1.80[c]
0	0	1	73.07±1.03[b]

* อักษรที่แตกต่างกันตามแนวตั้งแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p \leq 0.05$)

4.4.4 ค่าสีของเปลือกแป้งชุบทอด

ค่าสี (L a b) ของแป้งชุบทอดที่ผลิตโดยการแปรผันอัตราส่วนผสมแป้งขนมปัง : แป้งข้าวโพด : แป้งกล้วยไข่ พบว่าค่า L aและb มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) (ตาราง 31) ค่า L อยู่ในช่วง 43.49 - 53.62 โดยที่อัตราส่วนผสม 1:1:0 และ 1:1:1 มีค่า L สูงสุด, อัตราส่วนผสม 1:0:1 และ 0:1:1 มีค่า L ลดลงมา และอัตราส่วนผสม 0:0:1 มีค่า L น้อยที่สุด ซึ่งแสดงว่าเมื่อนำแป้งกล้วยไข่มาผสมในแป้งชุบทอดมีผลให้ค่า L ลดลง ดังนั้นแป้งกล้วยไข่มีผลต่อเปลือกแป้งชุบทอดทำให้มีสีคล้ำมากขึ้น

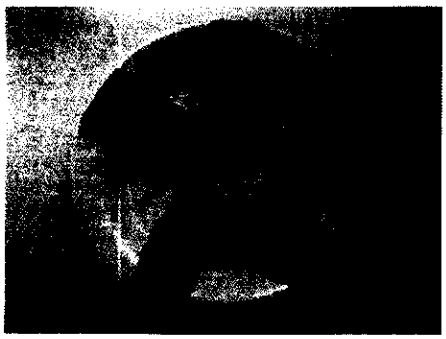
ค่า a และค่า b ของแป้งชุบทอดทุกสูตรมีค่าเป็นบวก (+) ซึ่งค่า a จะให้สีแดง และค่า b จะให้สีเหลือง พบว่าค่า a อยู่ในช่วง 3.77 - 7.18 โดยที่อัตราส่วนผสม 1:1:0 มีค่าสูงสุด, อัตราส่วนผสม 0:1:1 และ 0:0:1 มีค่ารองลงมา และอัตราส่วนผสม 1:1:1 และ 1:0:1 มีค่าน้อยที่สุด

ค่า b อยู่ในช่วง 8.07-12.97 โดยที่อัตราส่วนผสม 1:1:0 มีค่า b สูงสุด อัตราส่วนผสม 1:1:1, 1:0:1 และ 0:1:1 มีค่ารองลงมา และอัตราส่วนผสม 0:0:1 มีค่าน้อยที่สุด แสดงว่าเมื่อนำแป้งกล้วยไข่มาผสมทำให้สีเปลือกแป้งชุบทอดมีค่า a และ b ลดลง จากภาพรวมสีของเปลือกแป้งชุบทอดในผลิตภัณฑ์แครอททุกสูตรมีแนวโน้มมีสีเหลืองปนอยู่มาก ซึ่งเป็นสีของลักษณะผลิตภัณฑ์แป้งชุบทอดซึ่งมีสีเหลืองทอง (ปิยวรรณ ฉ่ำมิ่งขวัญ, 2549) (ภาพ 11)

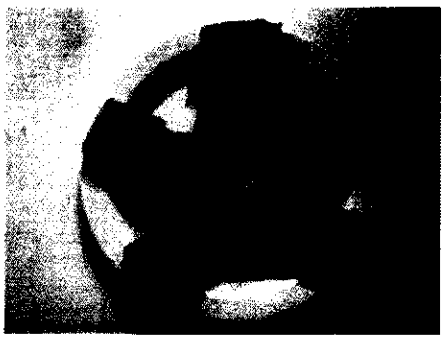
ตาราง 31 ค่าสีของเปลือกแป้งชุบทอดในผลิตภัณฑ์แป้งชุบทอดที่แปรผันอัตราส่วนผสมแป้ง

ชนิดแป้ง			L	a	b
ขนมปัง :	ข้าวโพด :	กล้วยไข่			
1	1	0	53.62±3.95^{a}	7.18±0.92^{a}	12.97±1.68^{a}
1	1	1	52.24±2.73^{ab}	3.77±0.42^{c}	9.97±0.87^{b}
1	0	1	49.51±3.25^{b}	3.85±0.75^{c}	10.93±1.35^{b}
0	1	1	48.53±1.57^{b}	5.59±0.93^{b}	10.73±1.09^{b}
0	0	1	43.49±2.00^{c}	5.51±1.53^{b}	8.07±1.71^{c}

* อักษรที่แตกต่างกันตามแนวตั้งแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p \leq 0.05$)



อัตราส่วนแป้งผสม 1:1:0



อัตราส่วนแป้งผสม 1:1:1

อัตราส่วนแป้งผสม 1:0:1

อัตราส่วนแป้งผสม 0:1:1

อัตราส่วนแป้งผสม 0:0:1

ภาพ 11 ผลิตภัณฑ์แป้งชุบทอดที่แปรผันอัตราส่วนผสม
แป้งขนมปัง : แป้งข้าวโพด : แป้งกล้วยไข่

4.4.5 ลักษณะเนื้อสัมผัสของแป้งชุบทอด

จากการทดสอบลักษณะเนื้อสัมผัสของแป้งชุบทอดที่ผลิตโดยแปรผันอัตราส่วนผสมแป้งวัดค่าความแข็ง (Hardness) (ตาราง 32) แป้งชุบทอดมีผลให้ค่าความแข็งของแครอทชุบแป้งทอดลดลงโดยเฉพาะตัวอย่างที่ใช้อัตราส่วนแป้งขนมปัง : แป้งข้าวโพด : แป้งกล้วยไข่เป็น 1:0:1 มีค่าความแข็งน้อยที่สุดเมื่อเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างผลการ

ประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้วยการใช้ผู้ทดสอบชิมกับค่าเนื้อสัมผัสที่ตรวจสอบด้วยการใช้เครื่องวัดเนื้อสัมผัส พบว่าผู้ทดสอบชิมให้คะแนนความชอบด้านความกรอบเพิ่มขึ้น เมื่อมีการใช้แป้งกล้วยไข่ในแป้งชุบทอดสอดคล้องกับค่าความแข็ง ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่าผู้ทดสอบชิมใช้ลักษณะความกรอบของแป้งชุบทอดในการตัดสินการให้คะแนนความชอบรวมผลิตภัณฑ์แป้งชุบทอดและแสดงว่าแป้งกล้วยไข่ช่วยให้ผลิตภัณฑ์แครอทชุบแป้งทอดมีความกรอบเพิ่มขึ้น

ตาราง 32 ค่าเนื้อสัมผัสของแป้งชุบทอดในผลิตภัณฑ์แครอทที่แปรผันอัตราส่วนผสมแป้ง

ชนิดแป้ง			
ขนมปัง:	**ข้าวโพด:**	**กล้วยไข่**	**Hardness (g)**
1	1	0	299.33±56.65[a]
1	1	1	149.93±29.42[c]
1	0	1	62.10±0.91[d]
0	1	1	203.61±36.03[bc]
0	0	1	261.77±28.61[ab]

* อักษรที่แตกต่างกันตามแนวตั้งแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p \leq 0.05$)

เมื่อพิจารณาสมบัติของแป้งชุบทอดในด้านต่างๆ สามารถสรุปได้ว่าอัตราส่วนผสมระหว่างแป้งขนมปัง : แป้งข้าวโพด : แป้งกล้วยไข่ ที่เหมาะสมในการผลิตแป้งชุบทอดคือ 1:0:1 เนื่องจากได้รับคะแนนการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสทุกคุณลักษณะสูงที่สุด และผลิตภัณฑ์มีการเกาะติดของแป้งชุบทอดหลังทอด และความหนาแน่นของก้อนแป้งสูงที่สุด มีค่าความแข็งของผลิตภัณฑ์น้อยที่สุด