รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

เรื่อง

ผลของผงเนื้อตาลสุกที่ทำแห้งด้วยเทคนิคการทำแห้งแบบพ่นฝอย ต่อคุณภาพของขนมตาล

Effect of Spray-Dried Toddy Palm Powder on Quality of Toddy Palm Cake

โดย

ดร.วิจิตรา เหลียวตระกูล (หัวหน้าโครงการ)

นางสาวขนิษฐา กรมศรี และนายปริชญ์ นาควงษ์

คณะเทคโนโลยีการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ

กองทุนส่งเสริมงานวิจัย พ.ศ. 2561

กิตติกรรมประกาศ

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์นี้เป็นการดำเนินโครงการผลของผงเนื้อตาลสุกที่ทำแห้งด้วยเทคนิคการทำแห้งแบบพ่นฝอยต่อคุณภาพของขนมตาล งบประมาณสนับสนุนจากกองทุนส่งเสริมงานวิจัย ประจำปีงบประมาณ 2561 ระยะเวลาดำเนินการวิจัย 1 ปี คณะผู้วิจัยขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิที่สนับสนุนงบประมาณในการดำเนินโครงการ และผู้ทรงคุณวุฒิทุกท่าน ที่ให้คำปรึกษาและให้ข้อเสนอแนะที่เป็นประโยชน์อย่างมากในการดำเนินการวิจัยและการพัฒนาการวิจัยในโครงการให้เป็นไปในทิศทางที่มีประโยชน์อย่างสูงสุด จนกระทั่งการดำเนินโครงการนี้สำเร็จเรียบร้อย คณะผู้วิจัยขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ตลอดจนนักศึกษาที่ให้การช่วยเหลือด้านการทดลอง การวิเคราะห์ การฝึกอบรม และการเตรียมวัสดุอุปกรณ์ จนทำให้ผลงานวิจัยครบถ้วนสมบูรณ์และมีประโยชน์ต่อผู้สนใจต่อไป

กรกฎาคม 2561

ผลของผงเนื้อตาลสุกที่ทำแห้งด้วยเทคนิคการทำแห้งแบบพ่นฝอยต่อคุณภาพของขนมตาล

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาวิธีการทำแห้งเนื้อตาลสุกด้วยเทคนิคการทำแห้งแบบพ่นฝอย ศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของแป้งขนมตาล 4 อัตราส่วน และศึกษาคุณภาพทางกายภาพ เคมี และทางประสาทสัมผัสของขนมตาล จากแป้งขนมตาลสำเร็จรูปที่พัฒนาโดยการใช้ผงตาลจากการทำแห้งแบบพ่นฝอย พบว่า แป้งขนมตาลสำเร็จรูปที่มีส่วนผสมของผงเนื้อตาลสุกที่ทำแห้งด้วยการทำแห้งแบบพ่นฝอยร้อยละ 14 และแป้งข้าวเจ้าร้อยละ 14 (สูตรที่ 4) มีค่าปริมาณน้ำอิสระ (a_w) 0.31 และขนมตาลที่ได้จากแป้งขนมตาลสำเร็จรูปนี้ มีคุณค่าทางโภชนาการ และกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระมากที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) โดยมีปริมาณโปรตีน ไขมัน เยื่อใย และคาร์โบไฮเดรตเท่ากับร้อยละ 2.78, 1.05, 0.32 และ 54.35 ตามลำดับ และมีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดและมีความสามารถในการต้านออกซิเดชัน (Ferric reducing antioxidant power) เป็น 15.80 มิลลิกรัม GA/ 100 กรัม และ 0.20 ตามลำดับ นอกจากนี้ยังได้รับการยอมรับ จากผู้บริโภคมากที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) โดยผู้บริโภคให้คะแนนด้านลักษณะปรากฏ กลิ่น เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมมากกว่าขนมตาลที่ทำจากเนื้อตาลสุก (สูตรควบคุม) ดังนั้น การพัฒนาผลิตภัณฑ์แป้งขนมตาลสำเร็จรูปโดยใช้ผงเนื้อตาลสุกจากการทำแห้งแบบพ่นฝอยนั้น ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ขนมตาลที่มีคุณภาพเหมาะสม และประหยัดเวลาในการแปรรูปขนมตาลลงถึง 4.3 เท่า จากสูตรที่ใช้เนื้อตาลสุกตามวิธีดั้งเดิม

Effect of Spray-Dried Toddy Palm Powder on Quality of Toddy Palm Cake

Abstract

The objectives of this research were to study the drying method of toddy palm by spray drying technique, to study the optimal ratio of flour-mix of toddy palm cake (4 formulas), and to study the physical, chemical and sensory properties of toddy palm cake from developed flour-mix by the use of spray-dried toddy palm. It was found that the flour-mix of toddy palm cake containing 14% spray-dried toddy palm and 14% rice flour (formula 4) was the optimal formula. The water activity (a_w) of this flour-mix was 0.31. The nutritional values and antioxidant activity of the toddy palm cake from this developed flour-mix was the most significant ($p \leq 0.05$), which contained protein, fat, fiber and carbohydrate of 2.78, 1.05, 0.32 and 54.35%, respectively. Its total phenolic content and ferric reducing antioxidant power were 15.80 mg GA / 100 g and 0.20, respectively. In addition, the consumer preferred the formula 4 of toddy palm cake the most ($p \leq 0.05$), which rated appearance, flavor, texture and overall liking more than toddy palm cake made from control formula. Therefore, the quality of toddy palm cake from developed flour-mix using spray-dried toddy palm powder was suitable product, and could be saved processing time in toddy palm cake down to 4.3 times compared to the traditional processing.

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
สารบัญ	ง
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์การศึกษา	1
1.3 ขอบเขตของการศึกษา	2
1.4 สมมุติฐานการศึกษาค้นคว้า	2
1.5 ตัวแปรที่ศึกษาค้นคว้า	2
1.6 นิยามศัพท์เฉพาะ	2
1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 ขนมตาล	4
2.2 ลูกตาล	5
2.3 น้ำตาลทราย	8
2.4 ผงฟู	9
2.5 ยีสต์	9
2.6 เกลือ	10
2.7 แป้ง	10
2.8 แป้งสำเร็จรูป (flour-mix)	12
2.9 เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย	13
2.10 อนุมูลอิสระและสารต้านอนุมูลอิสระ	14
2.11 สารประกอบฟีนอลิก (phenolic compounds)	18
2.12 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	19

สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการ	23
3.1 วัตถุดิบ	23
3.2 อุปกรณ์	23
3.3 สารเคมี	33
3.4 วิธีการทดลอง	24
3.4.1 การทำผงตาลโดยใช้เทคนิคการทำแห้งแบบพ่นฝอย	24
3.4.2 การพัฒนาแป้งขนมตาลสำเร็จรูป	26
3.4.3 การทดสอบคุณสมบัติของขนมตาลจากแป้งขนมตาลสำเร็จรูป	27
บทที่ 4 ผลและวิจารณ์	29
4.1 ผลการทำผงตาลโดยใช้เทคนิคการทำแห้งแบบพ่นฝอย	29
4.2 ผลการพัฒนาแป้งขนมตาลสำเร็จรูป	30
4.3 ผลการทดสอบคุณสมบัติของขนมตาลจากแป้งขนมตาลสำเร็จรูป	33
บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ	37
5.1 สรุปผลการทดลอง	37
5.2 ข้อเสนอแนะ	38
เอกสารอ้างอิง	39
ภาคผนวก	41
ภาคผนวก ก แบบทดสอบทางประสาทสัมผัส	42
ภาคผนวก ข ภาพการดำเนินงานวิจัย	43
ภาคผนวก ค แบบสรุปคุณลักษณะและการใช้ประโยชน์จากการวิจัย	47

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรมมีผลผลิตทางการเกษตรจำนวนมากที่ปลูกโดยเกษตรกร ผลิตผลเหล่านี้บางชนิดได้นำมาใช้ประโยชน์อย่างกว้างขวางแต่บางชนิดก็ยังมิได้นำมาใช้ประโยชน์มากนัก ผลผลิตทางการเกษตรโดยมากมักมีอายุการเก็บรักษาสั้น และมีเฉพาะตามฤดูกาลเท่านั้น ตาลโตนดเป็นพืชชนิดหนึ่งที่สามารถนำมาประกอบอาหารได้ เป็นพืชตระกูลปาล์มที่ให้ผลผลิตตามฤดูกาลสุกตามฤดูกาลมีมากระหว่างเดือนพฤษภาคมถึงเดือนตุลาคม ตาลสุกมีอายุการเก็บรักษาสั้น การเสื่อมเสียเริ่มหลังผลตาลหล่นจากต้น กลิ่นรสผิดปกติและไม่ปลอดภัยต่อการบริโภค จึงสูญเสียไปโดยเปล่าประโยชน์ ส่วนใหญ่เกษตรกรได้ปล่อยให้ผลสุกคาต้น สุกเกินและหล่นเน่าเสียไป นอกจากนี้การขนส่งตาลสุกต้องใช้เนื้อที่มาก ไม่สามารถวางผลตาลซ้อนทับกันได้ ในประเทศไทยใช้เนื้อตาลสุกเป็นส่วนประกอบสำคัญในการทำขนมตาล โดยขนมมีกลิ่นและสีของตาล นอกจากนี้ยังใช้เนื้อตาลสุกตกแต่งสี กลิ่นและรสขนมต่างๆ เพื่อให้แปลกใหม่ออกไป เช่น ขนมบัวลอย ขนมขี้หนู ตะโก้ บัวลอย เป็นต้น แต่การเตรียมเนื้อตาลสุกเพื่อผสมในอาหาร ใช้วิธีการยีเนื้อตาลกับน้ำและกรองน้ำทิ้งซึ่งใช้เวลานาน ส่วนที่ใช้ประโยชน์มากของตาลก็มีเพียงส่วนเมล็ดเท่านั้น ส่วนเนื้อผลสุกมีการนำมาใช้เพียงส่วนหนึ่งเท่านั้น โดยนำมายีเอาเนื้อออกแล้วผสมกับแป้ง น้ำตาล และกะทิ เพื่อใช้ทำขนมตาลหรือผสมกับขนมหวานอื่นๆ เช่น ขนมบัวลอย ขนมขี้หนู ที่ช่วยให้ขนมมีสีและกลิ่นแปลกออกไป จากการที่เนื้อตาลสุกมีวิธีการเตรียมที่ยุ่งยากและอายุการเก็บรักษาสั้น จึงมีงานวิจัยที่ศึกษาการทำแห้งเนื้อตาลสุกด้วยเครื่องอบลมร้อนและนำมาใช้ประโยชน์ เช่น การทำขนมไทย และขนมอบ แต่การทำแห้งเนื้อตาลสุกด้วยเครื่องอบลมร้อนนั้น มีผลทำให้คุณค่าทางโภชนาการและแคโรทีนอยด์ลดน้อยลง ดังนั้นหากสามารถพัฒนาเป็นแป้งขนมตาลสำเร็จรูปได้โดยใช้เทคนิคการทำแห้งแบบพ่นฝอย จะทำให้ช่วยรักษาคุณค่าทางโภชนาการของเนื้อตาลสุกไว้ได้มากกว่าการทำแห้งด้วยเครื่องอบลมร้อน รวมทั้งขนมตาลที่ทำจากแป้งขนมตาลสำเร็จรูปได้โดยใช้เทคนิคการทำแห้งแบบพ่นฝอยนั้น จะยังคงกลิ่นและรสของเนื้อตาลสุกที่ควรจะเป็นไว้ได้ในตัวผลิตภัณฑ์ สามารถเก็บรักษาไว้ได้นาน เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ เช่น การทำขนมตาลจะมีความสะดวกและง่ายขึ้นมาก ซึ่งสอดคล้องกับการดำรงชีวิตของคนไทยในปัจจุบันที่ต้องการความสะดวก สบายและรวดเร็ว ดังนั้นการพัฒนาแป้งขนมตาลสำเร็จรูปโดยใช้เทคนิคการทำแห้งแบบพ่นฝอย ถือเป็นนวัตกรรมในการแปรรูปอาหารชนิดใหม่

1.2 วัตถุประสงค์การศึกษา

1.2.1 เพื่อศึกษาผลของผงเนื้อตาลสุกที่ทำแห้งด้วยเทคนิคการทำแห้งแบบพ่นฝอยต่อคุณภาพทางกายภาพ เคมี และกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระของขนมตาล

1.3 ขอบเขตของการศึกษา

การวิจัยนี้เป็นการศึกษาผลของปริมาณผงเนื้อตาลสุกที่ทำแห้งด้วยเทคนิคการทำแห้งแบบพ่นฝอยต่อคุณภาพทางกายภาพ เคมี และกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระของขนมตาล ดังนี้

1.3.1 การศึกษาเอกสารที่เกี่ยวกับขนมตาลและการทำแห้งแบบพ่นฝอย

1.3.2 ลักษณะขนมตาลและคุณสมบัติของขนมตาล

1.3.3 การใช้เครื่องมือในการทำแห้งแบบพ่นฝอยเพื่อเป็นวัตถุดิบในการพัฒนาแป้งขนมตาลสำเร็จรูป

1.3.4 อัตราส่วนและส่วนผสมในการทำแป้งขนมตาลสำเร็จรูป

1.4 สมมุติฐานการศึกษาค้นคว้า

ถ้าขนมตาลจากแป้งขนมตาลสำเร็จรูปมีคุณสมบัติใกล้เคียงกับขนมตาลจากเนื้อลูกตาลสุกสด จะสามารถพัฒนาแป้งขนมตาลสำเร็จรูปให้สามารถแปรรูปผลิตภัณฑ์ขนมตาลที่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคและมีคุณภาพที่ดี

1.5 ตัวแปรที่ศึกษาค้นคว้า

ต้นแปรต้น		ตัวแปรตาม
ปริมาณผงเนื้อตาลสุกที่ทำแห้งด้วยเทคนิคการทำแห้งแบบพ่นฝอย	→	คุณภาพทางกายภาพ เคมีและกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระของขนมตาล

1.6 นิยามศัพท์เฉพาะ

1.6.1 ขนมตาล หมายถึง ขนมไทยดั้งเดิม เนื้อขนมมีลักษณะเป็นแป้งสีเหลืองเข้ม นุ่ม ฟู มีกลิ่นตาลหอมหวาน ขนมตาลทำจากเนื้อตาลจากผลตาลที่สุกงอม แป้งข้าวเจ้า กะทิ และน้ำตาล ผสมกันตามกรรมวิธี ใส่กระทงใบตอง โรยมะพร้าวขูด และนำไปนึ่งจนสุก

1.6.2 เนื้อตาลสุก หมายถึง เนื้อลูกตาลยีที่เป็นส่วนผสมในการทำขนมตาล ได้จากการนำผลตาลที่สุกจนเหลืองดำ เนื้อข้างในมีสีเหลือง มีกลิ่นแรง ซึ่งส่วนมากจะหล่นจากต้นเอง มาปอกเปลือกออก นำมายีกับน้ำสะอาดให้หมดสีเหลือง นำน้ำที่ยีแล้วใส่ถุงผ้า ผูกไว้ให้น้ำตกเหลือแต่เนื้อลูกตาล

1.6.3 Spray drier (หรือ spray dryer) หมายถึง เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย หรือเครื่องทำแห้งแบบพ่นกระจาย คือ เครื่องทำแห้ง (drier) ที่ใช้ทำแห้ง (dehydration) สำหรับอาหารเหลว เช่น นมผง น้ำผลไม้ กาแฟ ไข่ โดยใช้เครื่องพ่นละออง (atomizer) ทำให้อาหารเหลวเป็นละออง สัมผัสกับกระแสลมร้อนภายในห้องอบแห้ง (drying chamber) ทำให้น้ำในอาหารระเหยออกไปอย่างรวดเร็ว ผลิตภัณฑ์อาหารที่ได้มีลักษณะเป็นผงแห้ง ตกลงสู่ภาชนะรองรับด้านล่าง ผงบางส่วนที่รวมอยู่กับลมร้อนจะถูกแยก

ออกด้วยระบบแยก อาหารผงที่ได้มีความชื้นต่ำ (น้อยกว่าร้อยละ 5) นิยมใช้ในการผลิตอาหารแห้งที่มีลักษณะเป็นผง

1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ผลสำเร็จของโครงการวิจัยนี้คือ องค์ความรู้ผลของปริมาณผงเนื้อตาลสุกที่ทำแห้งด้วยเทคนิคการทำแห้งแบบพ่นฝอยต่อ คุณภาพทางกายภาพ เคมี และกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระของขนมตาล ที่สามารถต่อยอดในการพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์แป้งขนมตาลสำเร็จรูปโดยใช้เทคนิคการทำแห้งแบบพ่นฝอย

1.7.1 ได้ทราบขั้นตอนในการทำขนมตาลและการทำแห้งแบบพ่นฝอย

1.7.2 ได้ทราบถึงแนวทางการนำไปใช้ต่อยอดทางการศึกษา

1.7.3 ทราบถึงวิธีการแก้ไขปัญหาและการนำไปใช้ประโยชน์ของกระบวนการแปรรูปใหม่ๆ

1.7.4 ทราบถึงแนวทางในการประยุกต์ผลิตภัณฑ์และเทคโนโลยี

บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ขนมตาล

ขนมตาลมีส่วนผสมประกอบด้วยแป้งข้าวเจ้า เนื้อตาลสุก น้ำตาล และกะทิ ผสมและหมักไว้จนขึ้นฟู จึงนำไปนึ่งด้วยไฟแรงสูงให้สุก ขนมที่ได้มีรสหวาน มัน มีกลิ่นกะทิและลูกตาลสุก เนื้อพองเบา และมีสีเหลืองเข้มจนถึงส้ม เนื้อตาลสุกได้จากการยีลูกตาลสุกกับน้ำ แล้วก็เอากากใยออกนำไปใส่ผ้ากรองและแขวนไว้ประมาณ 12 ชั่วโมง หรือจนกระทั่งไม่มีน้ำหยดออกมาอีก การกำจัดน้ำออกเป็นขั้นตอนที่จำเป็นเพราะนอกจากจะมีน้ำหนักเกินไปสำหรับทำผลิตภัณฑ์แล้วยังมีรสเฝื่อนไม่น่ารับประทาน การกำจัดน้ำบางรายใช้ของหนักทุบถุงที่บรรจุไว้ ซึ่งก็ได้ผลเช่นเดียวกัน การหมักส่วนผสมไว้ก่อนนำไปนึ่งให้สุกก็เป็นขั้นตอนที่จำเป็น ทั้งนี้เนื่องจากเนื้อลูกตาลสุกมีเชื้อยีสต์มาด้วยหลายชนิด เชื้อเหล่านี้จะเจริญเติบโตสร้างแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ทำให้ขนมตาลขึ้นฟู เนื้อที่พองเบาและนุ่ม อย่างไรก็ตามบางครั้งพบว่าเนื้อลูกตาลสุกก็มีเชื้อยีสต์น้อยทำให้ไม่ขึ้นฟูมากนัก การผลิตขนมตาลบางครั้งจึงมีปัญหา ในปัจจุบันการผลิตขนมตาลจึงนิยมใส่เชื้อยีสต์ลงไปด้วย สำหรับยีสต์ที่พบในเนื้อลูกตาลสุกได้แก่ *Candida Krusei, Saccharomyces* spp., *Kloeckera apiculata* และ *Heseniaspora* spp. ล้วนแต่เป็นยีสต์ที่สามารถหมักน้ำตาลได้ทั้งสิ้นโดยเฉพาะ *Saccharomyces* spp. อย่างไรก็ตาม *Kloeckera* และ *Candida* ก็สามารถสร้างกรดได้ด้วย ถ้าเชื้อชนิดนี้มากทำให้ขนมเปรี้ยวไม่น่ารับประทาน ส่วนสีเหลืองเกิดจากคาโรทีนที่มีอยู่สูงมาก จากการสำรวจตำรับขนมตาลพบว่าส่วนประกอบด้วยเนื้อลูกตาลสุกร้อยละ 16-33 น้ำตาลร้อยละ 93-100 และหัวกะทิร้อยละ 133-160 ของน้ำหนักแป้งข้าวเจ้า (นฤมล, 2520)

ภาพที่ 2.1 ลูกและเนื้อตาลโตนดสุก

2.2 ลูกตาล

ถิ่นกำเนิดตาลยังไม่ทราบแน่ชัดว่าอยู่ที่ใด แต่สันนิษฐานว่าน่าจะอยู่บริเวณตอนใต้ของทวีปเอเชีย แถบด้านตะวันออกของประเทศอินเดีย ต่อมาได้กระจายพันธุ์ออกไปพร้อมๆกับการขยายของพุทธศาสนา ไปยังประเทศต่างๆ เช่น ไทย พม่า กัมพูชา เป็นต้น ตาลมีชื่อเป็นภาษาอังกฤษว่า Palmyra Palm ประเทศมาเลเซียเรียกว่า Hinron ต่อมาได้เปลี่ยนชื่อเป็น Lontar (Whitemore,1979) สำหรับชาวไทยก็เรียกแตกต่างกันไปตามท้องถิ่น คนไทยทางภาคกลางเรียกว่าต้นตาล ส่วนทางภาคใต้เรียกว่าตาลโตนดหรือบางท้องที่แถบจังหวัดยะลาปัตตานีเรียกว่า ปอเก๊าะตา เส้นทางภาคเหนือแถบจังหวัดเชียงใหม่เรียกว่า ปลีตาล ในปัจจุบันประเทศที่ปลูกต่างกันมากได้แก่ ประเทศไทย พม่า นิวกินี ควีนแลนด์ แอฟริกา เป็นต้น (นฤมล, 2520)

2.2.1 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์

ตาลเป็นพืชตระกูล Palm maceae พวกเดียวกับมะพร้าวจาก ชิด สละ สาคู ระกำ และอินทผาลัม (ปิฎฐะ, 2524) มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Borassua laillifer* Linn.ตามที่พบทั่วไปในประเทศแบ่งออกเป็น 2 พันธุ์ คือตาลไข่และตาลหม้อซึ่งทั้ง 2 พันธุ์ มีลักษณะทั่วไปเหมือนกันจะแตกต่างกันที่ลักษณะของผลเท่านั้น (อุดม, 2528) ต้นตาลจะมีลำต้นสูงชะลูดคล้ายต้นมะพร้าว เปลือกลำต้นขรุขระเป็นวงซ้อนกัน เนื่องจากรอยใบที่เคยเกาะติดกับลำต้นซึ่งมีสีคล้ำคล้ายขี้เถ้า ต้นตาลที่เจริญตามปกติจะมีกลุ่มใดอยู่ใกล้ยอด ใบมีลักษณะคล้ายใบพัดสีเขียวเข้ม มีก้านใบเรียกว่าทางใบหรือทางตาล รัชดาหนาและโค้งเล็กน้อย ขอบทั้งสองข้างของทางใบมีหนามแหลมขนาดไม่สม่ำเสมอ ต้นตาล เป็นพืชที่มีดอกแบบไม่สมบูรณ์เพศดอกตัวผู้และตัวเมียแยกกันอยู่คนละต้น จึงเรียกตาลต้นผู้และตาลต้นเมียตามชนิดของดอกที่เกิด ช่อดอกจะแทงออกมาจากต้นระหว่างกาบใบมีลักษณะคล้ายงวง จึงเรียกว่า “ งวงตาล” ตาลต้นเมียจะมีงวงขนาดใหญ่ ชุ่มน้ำหวานมากงวงจากต้นผู้และเป็นส่วนที่จะติดผล แต่ละต้นจะมี 4-5 งวง และเมื่อช่วงติดผลแล้วจะมีชื่อใหม่ว่า “ ทลายผล” แต่ละทลายจะมีผล 15-30 ผล ผลตาลจะมีลักษณะเป็นผลรวม (สมยศ, 2527; Mc Currach, 1960; Kovoor, 1983) มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ยประมาณ 10 เซนติเมตร มีความยาวประมาณ 15 เซนติเมตรผลของตาลไข่มีขนาดเล็กกว่าตันหม้อเล็กน้อยผลอ่อนทั้งพันธ์ มีเปลือกสีเขียวอ่อนเมื่อสุกตาลจะมีสีเหลือง (อุดม, 2528) ถ้าได้ผลมีเมล็ด 3-4 เมล็ดแต่โดยทั่วไปจะมี 3 เมล็ดเมล็ดเหล่านี้จะฝังอยู่ในเนื้อเยื่อชั้น mesocrap เมื่อผลสุกเนื้อเยื่อเหล่านี้จะอ่อนนุ่มมีสีเหลืองสดใสและมีกลิ่นหอม (ปิฎฐะ, 2524; Fox, 1977; Whitemore, 1979) ในเนื้อตาลสุกมีสารแคโรทีนอยด์ (ศิวาพร, 2529) คนไทยนำเนื้อตาลสุกไปทำขนมตาลและใช้ตกแต่งสีขนมอื่นๆ (นฤมล, 2520)

2.2.2 พันธุ์ตาลโตนด (สำนักงานเกษตรจังหวัดเพชรบุรี, 2545) ที่นิยมปลูกมี 3 พันธุ์ด้วยกันคือ

2.2.2.1 ตาลพันธุ์หม้อ เป็นตาลที่มีลำต้นแข็งแรงถ้าดูจากลำต้นภายนอกที่ไม่สามารถแยกได้ว่าเป็นตาลพันธุ์อะไร นอกจากต้นนั้นจะให้ผลแล้ว ตาลหม้อเป็นตาลที่ให้ผลใหญ่ผิวดำเป็นมันเรียบแทบจะไม่มีสีอื่นปน เวลาผลแก่มีรอยขีดตามแนวยาวของผลเปลือกหนาในผลจะมี 2-4 เมล็ด ใน 1 ทะลายจะมีประมาณ 10-20 ผล ส่วนใหญ่จะให้ผลเมื่ออายุ 10 ปีขึ้นไป ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความอุดมสมบูรณ์ของดิน

2.2.2.2 ตาลพันธุ์ไข่ ลำต้นแข็งแรงลูกมีขนาดเล็กสีค่อนข้างเหลืองแบ่งออกเป็น 2 ชนิดด้วยกันไข่เล็ก ผลค่อนข้างเล็กใน 1 ทะลายจะมีผล 20-30 ผล เนื่องจากผลเล็ก จึงทำให้เต้ามีขนาดเล็กตามไปด้วย จะให้ผลเมื่ออายุ 10 ปีขึ้นไปไข่ใหญ่ ผลมีขนาดใหญ่กว่าไข่เล็ก สีค่อนข้างเหลืองใน 1 ทะลายจะมีผล 10-20 ผล เต้ามีขนาดใหญ่กว่าไข่เล็ก 1 ผล จะมี 2-3 เต้า จะให้ผลเมื่ออายุ 10 ปีขึ้นไป

2.2.2.3 ตาลพันธุ์ลูกผสม ลำต้นตรงใหญ่แข็งแรง ลูกค่อนข้างใหญ่เกือบเท่าตาลพันธุ์หม้อสีดำผสมน้ำตาล (เหลืองดำ) ในผลจะมี 2-3 เต้า ให้ผลประมาณ 15-20 ผลต่อทะลายเป็นตาลที่มีจำนวนมากที่สุดในจังหวัดเพชรบุรี ส่วนใหญ่จะให้ผลเมื่ออายุ 15 ปีขึ้นไป

2.2.3 ลักษณะทางสรีรวิทยาและนิเวศวิทยาของตาลโตนด

หลวงสมานวกิจ (2477) ได้บรรยายลักษณะทั่วไปของตาลโตนดไว้ว่าเป็นพืชที่ชอบอากาศร้อนชอบขึ้นในพื้นดินทรายและดินเหนียว แต่ในที่เปียกแฉะเช่น ตามทุ่งนาตาลโตนดก็เจริญงอกงามดี ในที่ดินทรายน้ำกร่อยขึ้นถึงจะยิ่งโตเร็ว และมีน้ำหวานจัดชอบขึ้นมากที่ไม่มีพันธุ์ไม้ปกคลุมลำต้นตาลโตนดเป็นพืชลำต้นเดี่ยว (Single Stem) เป็นพืชที่มีลำต้นจากพื้นดินเพียงต้นเดียวไม่มีหน่อ ลำต้นมีขนาดใหญ่มีเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 2 ½ ฟุต ลำต้นตรงกลมผิวดำเกรียมเป็นเส้นแข็งเหนียว ไม่หักง่ายเนื้อแข็งอยู่ภายนอกแล้วค่อย ๆ อ่อนเข้าสู่ภายในลำต้นเป็นพันธุ์ไม้ที่เจริญภายในส่วนที่งอกเติบโตอยู่ภายในลำต้น

ดอกตาลโตนดเป็นพืชที่ต้นผู้กับต้นเมียแยกกัน ช่อดอกของต้นผู้แตกแขนงออกเป็น 2 – 4 งวงต่อก้านช่อยาววงละประมาณ 30 – 40 เซนติเมตร ในแต่ละงวงจะมีดอกเล็กๆ ต้นผู้ต้นหนึ่งๆ จะมีช่อดอก 3 – 9 ตัวเมียจะออกช่อดอกหลังตัวผู้เล็กน้อย มีประมาณ 10 กว่าช่อขนาดเล็กและชุ่มหวานมากกว่า ในแต่ละช่อจะมีดอกน้อยกว่าตัวผู้ (ประมาณ 10 ดอก ในช่อกลุ่มที่มีงวง 3 งวง) ทั้งต้นผู้และต้นเมียจะทยอยออกช่อดอกเรื่อย ๆ แม้จะมีจำนวนน้อยแต่ก็สามารถเก็บรองน้ำตาลได้ตลอดปี

ผลตาลโตนดจะให้ดอกให้ผลหลายครั้งจนกว่าจะแก่ตายไป ผลอ่อนมีสีเขียวติดอยู่บนทะลายคล้ายมะพร้าว ผลแก่จัดมีสีน้ำตาลเข้มหรือสีดำเป็นมัน ผลโตขนาดเท่าผลส้มโอภายในเป็นเส้นละเอียดเมื่อสุกจะเป็นสีเหลืองแก่ เนื้อประกอบด้วยแป้งและน้ำตาล ทะลายหนึ่งมีประมาณ 10 – 15 ผล ผลหนึ่งจะมีเมล็ด 1 – 4 เมล็ด อยู่ภายใน จะมีลักษณะแบนๆ ยาวประมาณ 3 นิ้ว กว้าง 2 นิ้ว และหนาประมาณ ½ นิ้ว ส่วนประกอบของผลแบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ Exocarp เป็นเปลือกชั้นนอก Mesocarp เป็นส่วนประกอบของเส้นใยสด และ Endocarp เป็นเปลือกหรือกะลาแข็งหุ้มเมล็ดไว้

กีย์ (2526) กล่าวว่าตาลโตนดเป็นพันธุ์ไม้ที่สามารถปรับตัวได้กับสภาพอากาศ และภูมิอากาศแทบทุกชนิดแม้ในเขตละติจุดสูงๆ จะสามารถพบตาลโตนดเจริญอยู่ แม้จะเป็นจำนวนน้อยก็ตาม ในที่ๆมีปริมาณน้ำฝน 400 – 700 มิลลิเมตรต่อปี หรือในเขตชุ่มชื้นมีระดับน้ำฝนมากกว่า 3,000 มิลลิเมตรต่อปี ก็สามารถขึ้นได้ อย่างไรก็ตาม พันธุ์ไม้นี้เป็นพืชที่ชอบแสง รากแขนงที่แตกกระจายหนาแน่น จะช่วยให้ตาลโตนดต้านลมได้ดี และพบว่ามีการใช้ลำต้นไปทำเครื่องใช้ เครื่องเรือน การก่อสร้าง เชื้อเพลิง แป้งสาคู กาว และใช้ทำที่เกาะของหอยนางรม รากใช้เป็นยาขับปัสสาวะ และตาลขโมย ทางตาลใช้เป็นเส้นใยทำเชือก เครื่องจักรสานและใช้ทำรั้วคอกสัตว์เชื้อเพลิง ใบตาลใช้ทำเครื่องพัด จักสาน ใช้เป็นปุ๋ยพืชสด หรือเผาเป็นเถ้าใช้ในแปลงนาเนื่องจากมีธาตุโพแทสเซียมสูงช่อดอกใช้ผลิตน้ำหวานนำมาทำเป็น

น้ำผึ้ง น้ำตาลปึก น้ำตาลแว่น เครื่องดื่ม น้ำส้มสายชู ผลอ่อนใช้ทำอาหารคาว ผลแก่ใช้บริโภคสด เชื่อมบรรจุกระป๋อง ผลแก่ส่วนเนื้อ (Mesocarp) มีสีเหลืองสดนำมาคั้นเอาเส้นใยออก มีกลิ่นหอมใช้ปรุงขนมหวาน เมล็ดใช้เฉพาะจาวตาลหรือใช้เป็นอาหารสัตว์ตากแห้งทำเชื้อเพลิง และเมื่อตาลโตนดมีอายุ 12 – 15 ปี สามารถเริ่มรองน้ำหวานมาทำน้ำตาลโตนดอาจเริ่มปาดตาลเมื่อมีดอกเป็นปีแรก แต่จะได้น้ำหวานในปริมาณน้อยปริมาณความหวานอยู่ระหว่างร้อยละ 9 – 16.5 ตาลต้นหนึ่งรองน้ำหวานได้ติดต่อกันนาน 22 เดือน เป็นอย่างน้อย และรองน้ำหวานได้ทุกปีติดต่อกัน 3 – 4 ช่วงอายุคนหรือประมาณ 80 ปี

2.2.4 องค์ประกอบทางเคมีของเนื้อตาลโตนดสุก

เนื้อตาลโตนดเมื่อสุก ประกอบด้วยแป้งและน้ำตาลเป็นจำนวนมากและแคโรทีนอยด์ ให้สีเหลือง ใช้แต่งสีขนมต่างๆ เช่น ขนมตาล ขนมเค้ก ขนมขี้หนู และไอศกรีม เนื้อตาลสุกประกอบด้วยโปรตีนร้อยละ 0.7 ไขมันร้อยละ 0.1 คาร์โบไฮเดรตร้อยละ 21.0 เกลือแร่ร้อยละ 0.7 และวิตามินซี 2,400 มิลลิกรัม (Kularatnam, 1971) ส่วนกองโภชนาการกรมอนามัย (2530) รายงานว่าเนื้อผลตาลสุกจะมีความชื้นร้อยละ 89.4 ไขมันร้อยละ 0.6 คาร์โบไฮเดรตร้อยละ 8.9 เยื่อใยร้อยละ 0.5 โปรตีนร้อยละ 0.7 แคลเซียม 7 มิลลิกรัม ฟอสฟอรัส 22 มิลลิกรัม และเหล็ก 0.9 มิลลิกรัม

นอกจากนี้เนื้อตาลสุกยังอุดมไปด้วยแคโรทีนอยด์ เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอน กลุ่มอะลิฟาติก หรือกลุ่มอะลิฟาติก อะลิไซคลิก ประกอบด้วย หมู่ไอโซบรีน 8 หมู่ เมททิล 2 หมู่ ซึ่งเป็นสารประกอบกลุ่มสีธรรมชาติที่มีการใช้อย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมอาหารเป็นเมล็ดสีที่ใช้สีเหลืองจนถึงสีแดงพบมากที่สุดในธรรมชาติที่ทั้งพืชและสัตว์ เช่น มะเขือเทศ แครอท ไข่แดง เนย มะม่วง แคนตาลูป มะละกอ ลูกพลับ ท้อพืชตระกูลส้ม พริกหยวกสีแดงเหลือง สับปะรด เป็นต้น น้ำตาลโตนดสดมีค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ 11.6 องศาบริกซ์ ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดร้อยละ 16.8 น้ำตาลรีดิวซิ่งร้อยละ 1.8 และน้ำตาลซูโครสร้อยละ 15.0 เถ้าร้อยละ 0.11– 0.41 โปรตีนร้อยละ 0.23– 0.32 (กนกและคณะ, 2531)

2.2.5 ประโยชน์จากเนื้อตาลสุก

ในประเทศอินเดียและประเทศศรีลังกามีการนำเนื้อตาลสุกมาประกอบอาหารคาวเช่น ทำซุป และอาหารหวาน เช่น เค้ก แยม เป็นต้น (Kularanam, 1971; Fox, 1977) และนำน้ำที่คั้นได้ไปทำเครื่องดื่ม (Kovoor, 1983) ส่วนประเทศฮอนดูรัสได้นำเนื้อตาลสุกไปทำเบียร์ (Fox, 1977)โดยอาศัยยีสต์ที่มีอยู่แล้วตามธรรมชาติ สำหรับประเทศไทยการใช้เนื้อตาลสุกยังอยู่ในวงจำกัดมาก เพียงแต่นำน้ำมาผสมกับแป้งข้าวเจ้า น้ำตาล และกะทิเพื่อทำเป็นขนมตาล นอกจากจะใช้ในรูปของเนื้อตาลสุกสดแล้วยังมีการศึกษานำเนื้อตาลสุกไปทำเป็นผงโดยใช้ตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์ เนื้อตาลสุกผงที่ผลิตได้เก็บได้เพียง 3 สัปดาห์เท่านั้นสีของเนื้อตาลสุกผมจะซีดลงอย่างรวดเร็วจนกระทั่งผู้บริโภคไม่ยอมรับ นอกจากนี้เมื่อนำไปผสมเพื่อทำขนม ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีสีกลิ่นรสเปลี่ยนไปอย่างชัดเจน (เบญจา, 2527) สำหรับผลิตภัณฑ์อื่นๆที่ทำจากเนื้อตาลสุกส่วนใหญ่เป็นขนมหวาน โดยใส่ลงไปเพื่อตกแต่งสีกลิ่นและรสเพื่อให้แปลกออกไป เช่น บัวลอย ขนมขี้หนู ตะโก้ น้ำดอกไม้ เป็นต้น (พเยาว์, 2524; ศิวพร, 2529)

2.3 น้ำตาลทราย

น้ำตาล (Sugar) จัดเป็นสารชีวโมเลกุลคาร์โบไฮเดรตประเภทสารให้พลังงานที่มีรสหวาน ละลายได้ดีในน้ำ นิยมนำมาใช้ประโยชน์ในหลายด้าน อาทิ ใช้ปรุงอาหาร ใช้เป็นอาหารเสริมให้แก่ร่างกาย ชนิดของน้ำตาลที่นำมาใช้ประโยชน์มาก ได้แก่ น้ำตาลซูโครส หรือ น้ำตาลทราย เป็นผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมที่ผลิตจากอ้อย (sugar cane) ในเขตร้อน (ร้อยละ 60) และผลิตจากหัวบีท (beet root) ในเขตอบอุ่น (ประมาณร้อยละ 40) โดยมีกรรมวิธีการผลิตที่คล้ายกัน คือ การสกัดเอาสารละลายน้ำตาล นำมากรองต้มระเหยน้ำออก และสุดท้ายเป็นการตกผลึกได้เป็นก้อนน้ำตาลขนาดเล็ก

น้ำตาลทราย เป็นน้ำตาลไดแซคคาไรด์ (disaccharides) ที่มีรสหวาน ละลายน้ำได้ง่าย ประกอบด้วยโมเลกุลของน้ำตาลกลูโคส และน้ำตาลฟรุกโตส เชื่อมต่อพันธะแบบ glycosidic linkage น้ำตาลทรายสามารถผลิตได้จาก อ้อย เมเปิล บีทรูท และปาล์มชนิดต่างๆ แต่ส่วนมากน้ำตาลทรายที่ผลิตและใช้มากในประเทศไทยผลิตมาจากอ้อย ที่เรียกว่า น้ำตาลทราย หรือ น้ำตาลอ้อย นอกจากนั้น ยังมีการใช้น้ำตาลชนิดอื่น เช่น น้ำตาลปี๊บหรือน้ำตาลปึก ที่ผลิตได้จากมะพร้าวหรือจั่นตาล ซึ่งมีลักษณะสีที่เข้ม และมีกลิ่นหอมกว่าน้ำตาลทราย เมื่อย่อยสลายจะได้น้ำตาลกลูโคส และน้ำตาลฟรุกโทส เป็นน้ำตาลซูโครสนี้อยู่ในรูปผลึก มีสีขาวถึงเหลืองอ่อน มีกากน้ำตาล และความชื้นน้อย เกล็ดน้ำตาลจับตัวไม่แน่น มีความร่วนกว่าน้ำตาลทรายดิบ ใช้การฟอกสีน้ำอ้อยด้วยก๊าซ SO_2 หรือ ก๊าซ CO_2 น้ำตาลชนิดนี้นิยมใช้สำหรับอุตสาหกรรมอาหาร น้ำอัดลม รวมถึงจำหน่ายสำหรับใช้ในครัวเรือน คุณค่าทางโภชนาการของน้ำตาลทรายนั้น พบว่าน้ำตาลทราย 100 กรัม ให้พลังงาน 385 กิโลแคลอรี และมีปริมาณคาร์โบไฮเดรต 99.5 กรัม

2.3.1 สมบัติของน้ำตาลทราย

2.3.1.1 ความหวาน น้ำตาลเป็นสารให้ความหวานที่มีคุณค่าทางโภชนาการ และสามารถแปรเปลี่ยนเป็นพลังงานได้ รสหวานของน้ำตาลเกิดจากรสของต่อมรับรสบริเวณปลายลิ้นด้านบน ค่าความหวานของน้ำตาลจะใช้ค่าความหวานของน้ำตาลซูโคสเป็นมาตรฐานเปรียบเทียบกับความหวานของน้ำตาลอื่นๆ เนื่องจากน้ำตาลซูโครสเป็นน้ำตาลที่หวานมากที่สุดในบรรดาน้ำตาลทุกชนิด รองลงมาจะเป็นน้ำตาลกลูโคส มอลโทส และกาแลคโทส

2.3.1.2 การละลายน้ำ น้ำตาลสามารถละลายได้ดีในน้ำ ปริมาณการละลายได้มากถึงร้อยละ 100 ขึ้นกับความเข้มข้น และอุณหภูมิ หากมีความเข้มข้นมากจะละลายได้น้อยลง หากมีอุณหภูมิสูงจะละลายได้มากขึ้นเช่นกัน ความสามารถในการละลายน้ำของน้ำตาล เรียงลำดับจากมากไปหาน้อย คือ ฟรุตโทส ซูโครส กลูโคสกับมอลโทส และแลคโทส

2.3.1.3 การให้สารสีน้ำตาลในอาหาร สารสีน้ำตาลที่มาจากน้ำตาลเป็นรงควัตถุที่เกิดจากการไหม้ของน้ำตาล แต่ไม่ได้ไหม้สนิทจนเกิดสีดำ ซึ่งการทำให้เกิดการไหม้ของน้ำตาลจนมีสีน้ำตาลหรือน้ำตาลอมดำเป็นวัตถุประสงค์เพื่อให้เกิดสีของน้ำตาลสำหรับผสมหรือผลิตในอุตสาหกรรม

2.3.1.4 การดูดซับความชื้น น้ำตาลแต่ละชนิดจะสามารถดูดความชื้นได้แตกต่างกัน น้ำตาลฟรุตโทสเป็นน้ำตาลที่ดูดความชื้นได้ดีที่สุด รองลงมาเป็น น้ำตาลซูโครส มอลโทส และแลคโทสน้ำตาลเมื่อดูดซับความชื้น และเป็นส่วนผสมในอาหารจะทำให้อาหารมีเนื้อสัมผัสที่นุ่มขึ้นการเก็บรักษาความชื้นจากการดูดซับความชื้นของน้ำตาล ช่วยให้อาหารที่มีส่วนผสมของน้ำตาลมีความชุ่มชื้น ไม่แห้งง่าย และสามารถเก็บรักษาไว้ได้นาน

2.4 ผงฟู

ผงฟู (baking powder) ($NaHCO_3$) เป็นสารเคมีแห้งช่วยทำให้ขึ้นฟู ใช้ในการอบและดับกลิ่น มีหลายรูปแบบ โดยทั่วไปมีฤทธิ์เป็นด่าง เรียกว่า โซเดียมไบคาร์บอเนต (เบกกิ้งโซดา) และในรูปของกรด จะเป็นผลึกเกลือ เกลือที่ใช้ในอุณหภูมิต่ำ ได้แก่ ครีมออฟทาร์ทาร์แคลเซียมฟอสเฟต และ citrate ส่วนเกลือที่ใช้ในอุณหภูมิสูงมักเป็นเกลือของอะลูมิเนียม เช่น แคลเซียมอะลูมิเนียมฟอสเฟตโดยส่วนใหญ่ baking powder ในปัจจุบันเรียกว่า double acting ซึ่งเป็นการรวมระหว่าง เกลือ ซึ่งตัวหนึ่งสามารถทำปฏิกิริยาได้ที่อุณหภูมิห้อง และอีกตัวหนึ่งสามารถทำปฏิกิริยาได้ที่อุณหภูมิสูงกว่า baking powder ที่สามารถใช้ได้เฉพาะอุณหภูมิต่ำเรียกว่า single acting มีลักษณะเป็นผงสีขาว มี 2 ชนิดคือ ผงฟู (Baking Powder) ประกอบด้วย โซเดียมไบคาร์บอเนต (sodium bicarbonate) และสารที่มีฤทธิ์เป็นกรด เช่น ครีมออฟทาร์ทาร์ (cream of tartar, เป็นผลึกผงสีขาวทำมาจากกรดในผลองุ่น), ไดโซเดียมไพโรฟอสเฟต (disodium pyrophosphate) และส่วนที่เป็นแป้งข้าวโพดเพื่อป้องกันไม่ให้สารทั้งสองสัมผัสกันโดยตรง เมื่อผงฟูโดนน้ำจะทำให้เกิดปฏิกิริยาเคมี เกิดเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ทำให้ขนมฟู ซึ่งเป็นแบบกำลังหนึ่ง ส่วนแบบกำลังสองจะมีกรด 2 ตัว และจะมีก๊าซเกิดขึ้น 2 ช่วง ในช่วงการผสมและการอบ และเบคกิ้งโซดา (Baking soda) มีชื่อทางเคมีว่าโซเดียมไบคาร์บอเนต (sodium bicarbonate) จะสลายตัวเมื่อได้รับความร้อน มีผลเสียคือจะมีสารตกค้างซึ่งถ้าใช้เกินจะทำให้เกิดรสเฝื่อน เพื่อทำให้สารตกค้างหมดไปสามารถปรับได้โดยการเติมกรดอาหารลงไป

2.5 ยีสต์

ยีสต์เป็นจุลินทรีย์ชนิดหนึ่งอยู่ในอาณาจักรฟังไจ (fungi) ซึ่งเป็นอาณาจักรเดียวกับรา (mold) ยีสต์ มีเซลล์ชนิดยูคาริโอต (Eukariote) เป็นเซลล์เดี่ยวรูปร่างกลม รูปไข่ หรือเหมือนผลเลมอน มีขนาดใหญ่กว่าแบคทีเรีย (bacteria) มีเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยประมาณ 5 ไมครอน ยีสต์มีการขยายพันธุ์โดยยีสต์ส่วนมากขยายพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศด้วยการแตกหน่อ (budding) แต่ยีสต์บางชนิดอาจขยายพันธ์แบบอาศัยเพศด้วยการสร้างสปอร์ ซึ่งมีชื่อเรียกว่า แอสโคสปอร์ (ascospore) หรือ เบสิดิโอสปอร์ (basidiospore)ชนิดของยีสต์ยีสต์ที่ขยายพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศอย่างเดียวเรียกว่า ดิวเทอโรไมซีส หรือยีสต์เทียม ยีสต์ที่ขยายพันธุ์ได้ทั้งแบบไม่อาศัยเพศก็ได้ และอาศัยเพศโดยการสร้างแอสโคสปอร์เป็นยีสต์แท้อยู่ในกลุ่มแอสโคไมซีส(ascomycete) ได้แก่ *Saccharomyces* ยีสต์เจริญได้ทั้งในสภาวะที่มี

ออกซิเจน และไม่มีออกซิเจน ยีสต์ที่เจริญได้ในภาวะที่มีออกซิเจนเรียกว่า ออกซิเดทีฟยีสต์ (oxidative yeast) โดยเกิดเป็นฟิมส์ที่ผิวหน้าของอาหารเหลว ส่วนยีสต์ที่เจริญได้ทั้งภาวะที่มีออกซิเจนและไม่มีออกซิเจน เจริญได้ทุกส่วนของอาหารจัดเป็นพวกยีสต์เฟอร์เมนเตทีฟ (fermentative yeast) ความสำคัญของยีสต์ต่ออาหาร ยีสต์สายพันธุ์ที่ใช้มากในอาหาร คือ *Saccharomyces cerevisae* โดยยีสต์ใช้สารอินทรีย์เป็นแหล่งพลังงานและแหล่งคาร์บอน เจริญได้ดีในอาหารที่มีน้ำตาลมาก เช่น ผลไม้ ที่มีรสหวาน น้ำผึ้ง แยม สามารถเปลี่ยนน้ำตาลให้เป็น คาร์บอนไดออกไซด์และเอทิลแอลกอฮอล์ในกระบวนการหมัก ใช้ในอุตสาหกรรมเบเกอรี่ เรียกว่า baker yeast โดยใช้ เป็นสารที่ทำให้ขึ้นฟู (leavening agent) ในขนมปัง โดนัท ใช้ในรูปยีสต์สด หรือ ยีสต์แห้ง ใช้เพื่อการผลิตเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ เช่น เบียร์ ไวน์ วิสกี้ สาโท กระแช่และยีสต์สกัด (yeast extract หรือ yeast autolysate)

2.6 เกลือ

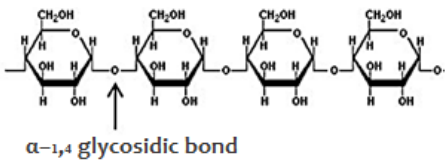
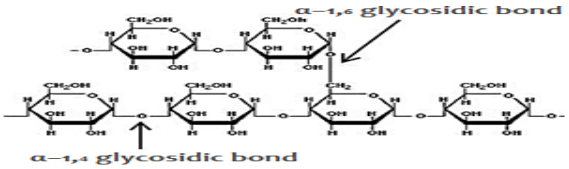
เกลือ (salt) หมายถึงเกลือแกง หรือโซเดียมคลอไรด์ (sodium chloride) มีสูตร NaCl ในเกลือที่ใช้บริโภคที่ไม่มีความชื้นอยู่เลยจะมีปริมาณโซเดียมคลอไรด์ร้อยละ 95.5-98.5 และมีสารอื่นเจือปนในปริมาณน้อย เช่น แมกนีเซียม (Mg) แคลเซียม (Ca) และ ซัลเฟต (SO_4) เกลือโซเดียมคลอไรด์มีบทบาทอย่างมากในอุตสาหกรรมอาหาร เนื่องจากราคาถูกและใช้ได้หลากหลายเพื่อเป็นเครื่องปรุงรส หรือใช้เพื่อการถนอมอาหารเช่น การหมักเกลือ (salt curing) ช่วยลดค่าปริมาณน้ำอิสระ ทำให้ยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ที่ทำให้อาหารเสื่อมเสีย (microbial spoilage) และจุลินทรีย์ก่อโรค (pathogen) อาหารที่มีปริมาณเกลือสูง ได้แก่ กะปิ กุ้งแห้ง น้ำปลา ปลาร้า ปลาจ่อม กุ้งจ่อม ปลาส้ม ไตปลา ปูเค็ม เครื่องพริกแกง ผักดอง ปลาเค็ม ปลาแห้ง ไข่เค็ม เต้าเจี้ยว ซีอิ้วขาว น้ำเกลือเย็นจัดเข้มข้นยังใช้เพื่อเป็นตัวกลางการแช่เยือกแข็งอาหาร โดยการจุ่ม ชนิดของเกลือที่ใช้ในอาหาร เกลือสมุทร เกลือสินเธาว์ เกลือบริโภคเสริมไอโอดีน ปริมาณเกลือที่แนะนำให้บริโภคโดย Thai RDI คือแนะนำให้บริโภคโซเดียมน้อยกว่า 2,400 มิลลิกรัม

2.7 แป้ง

แป้งได้จากการบดหรือโม่ส่วนต่างๆ ของพืช เช่น เมล็ดธัญพืช หัวที่อยู่ใต้ดินทั้งที่เป็นรากสะสมอาหารและลำต้นสะสมอาหาร เมล็ดถั่วต่างๆ จนมีลักษณะเป็นผงละเอียด ถ้าสกัดองค์ประกอบอื่นในแป้งออกไปจนเหลือเฉพาะคาร์โบไฮเดรตซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักของแป้งจะเรียกส่วนที่เหลือว่า สตาร์ช (starch) สตาร์ชเป็นพอลิแซ็กคาไรด์ที่เก็บสะสมในส่วนต่างๆ ของพืช มีโครงสร้างแบ่งเป็น 2 รูปแบบคือ อะไมโลส (amylose) และอะไมโลเพกทิน (amylopectin) ตามตารางที่ 2.1 โดยทั่วไปสตาร์ชจะมีอะไมโลสเป็นส่วนประกอบประมาณร้อยละ 20 – 30 และมีอะไมโลเพกทินเป็นส่วนประกอบประมาณร้อยละ 70 – 80 ซึ่งสตาร์ชที่ได้จากพืชต่างชนิดกันจะมีปริมาณ โครงสร้าง และการจัดเรียงตัวที่แตกต่างกัน จึงทำให้แป้งจากพืชแต่ละชนิดมีสมบัติต่างกัน โดยอะไมโลสเป็นพอลิเมอร์สายตรงของน้ำตาลกลูโคสเรียงต่อกันเป็นสายยาว ไม่มีการแตกแขนง โดยทั่วไปประกอบด้วยกลูโคส 300 – 3000 โมเลกุล ซึ่งแต่ละ

โมเลกุลของกลูโคสเชื่อมต่อกันด้วยพันธะไกลโคซิดิก (glycosidic bond) ชนิด **α** – 1,4 (คาร์บอนตำแหน่งที่ 1 ของกลูโคสเชื่อมกับคาร์บอนตำแหน่งที่ 4 ของกลูโคสโมเลกุลถัดไป) ส่วนอะไมโลเพกทินเป็นพอลิเมอร์ของน้ำตาลกลูโคสเรียงต่อกันเป็นสายยาวและมีการแตกแขนง โดยทั่วไปการแตกแขนงจะเกิดขึ้นทุกๆ กลูโคส 24 – 30 โมเลกุลบนสายยาว ส่วนที่เป็นสายยาวนั้นโมเลกุลของกลูโคสเชื่อมต่อกันด้วยพันธะไกลโคซิดิก ชนิด **α** – 1,4 เหมือนกับอะไมโลส (amylose) และส่วนที่แตกแขนงจะเชื่อมต่อด้วยพันธะไกลโคซิดิก ชนิด **α** – 1,6 (คาร์บอนตำแหน่งที่ 1 ของกลูโคสโมเลกุลแรกของส่วนที่แตกแขนงเชื่อมกับคาร์บอนตำแหน่งที่ 6 ของกลูโคสที่อยู่บนสายยาว)

ตารางที่ 2.1 โครงสร้างและสมบัติของอะไมโลสและอะไมโลเพกทิน

อะไมโลส	อะไมโลเพกทิน
	
ละลายน้ำได้น้อย	ละลายน้ำได้ดีกว่าอะไมโลส
ทำปฏิกิริยากับไอโอดีนให้สีน้ำเงิน	ทำปฏิกิริยากับไอโอดีนให้สีม่วงแดง
เมื่อต้มสุกมีลักษณะสีขาวขุ่นเป็นเจล	เมื่อต้มสุกมีลักษณะใสและเหนียว

ที่มา: สุนัดดา (2560)

ตารางที่ 2.2 อะไมโลสที่พบในแป้งชนิดต่างๆ

ชนิดของแป้ง	ร้อยละของอะไมโลส
แป้งข้าวเหนียว	0 – 2
แป้งมันสำปะหลัง	17-18
แป้งข้าวเจ้า	17 – 21
แป้งเท้ายายม่อม	21
แป้งสาลี	26
แป้งถั่วเขียว	31

ที่มา : สุนัดดา (2560)

2.7.1 แป้งข้าวเจ้า เป็นแป้งที่ทำมาจากเมล็ดข้าวเจ้า มีลักษณะสีขาว จับแล้วสากมือเล็กน้อย เมื่อทำให้สุกและทิ้งให้เย็นตัวลง จะมีลักษณะเป็นก้อนอยู่ตัวแต่ไม่เหนียว มีสีขาวขุ่น นิยมใช้ทำอาหารที่ต้องการความอยู่ตัวไม่เหนียวหนืด ขนมที่ทำมาจากแป้งข้าวเจ้า ดังภาพที่ 2.2

ภาพที่ 2.2 ขนมที่ทำมาจากแป้งข้าวเจ้า (สุนัดดา, 2560)

2.8 แป้งสำเร็จรูป (flour-mix)

ปัจจุบันอาหารไทยอาหารคาว อาหารหวาน และ อาหารว่าง กำลังได้รับความนิยมจากผู้บริโภคทั้งในประเทศ และต่างประเทศเป็นอย่างมากเนื่องจากการประกอบอาหารไทยมีลักษณะเฉพาะตัวโดดเด่นตั้งแต่การคัดสรรเครื่องปรุงการจัดเตรียมตลอดถึงวิธีการปรุงซึ่งเป็นกระบวนการที่ใช้พลังงานเวลาและความประณีตพอสมควรดังนั้นทางเลือกหนึ่งของผู้บริโภคที่ต้องการรับประทานอาหารไทยโดยไม่ต้องเสียเวลาและยุ่งยากในการปรุงอาหารคืออาหารพร้อมบริโภคหรืออาหารสำเร็จรูป เพียงแค่ผู้บริโภคนำไปอุ่นอบนึ่งหรือเข้าไมโครเวฟหรือใส่น้ำเพิ่มก็สามารถรับประทานได้ทันทีอุตสาหกรรมอาหารพร้อมบริโภคจึงเป็นอุตสาหกรรมหนึ่งซึ่งมีศักยภาพและแนวโน้มที่ดีในการส่งออกอีกทั้งยังเป็นอุตสาหกรรมที่สร้างมูลค่าเพิ่มให้กับวัตถุดิบในประเทศได้อย่างมาก

ขนมปัจจุบันมีการพัฒนาขนมแบบสำเร็จรูปโดยส่วนผสมสำเร็จรูปทำให้ประหยัดเวลาและง่ายต่อการทำ ทำให้ผู้บริโภคสะดวกสบายไม่ต้องเสียเวลา ลดพลังงานและเวลาในการทำขั้นตอนต่อการเตรียมวัตถุดิบต่างๆเป็นผลดีให้กับผู้บริโภค ลดขั้นตอนในการทำขนมลงอย่างง่ายดายเพียงผสมส่วนผสมสำเร็จรูปทำตามขั้นตอนนำไปอบหรือนึ่งหรือเข้าไมโครเวฟก็จะได้ขนมพร้อมรับประทาน แนวโน้มอุตสาหกรรมพร้อมปรุงพร้อมทานในโลกกับอนาคต เป็นที่คาดกันว่าในช่วงปี ค.ศ. 2005 - 2010 ตลาดอุตสาหกรรมพร้อมปรุง-พร้อมทานจะขยายตัวต่อเนื่องในอัตราประมาณร้อยละ 3 ถึงร้อยละ 18 ต่อปีโดยอาจมีมูลค่าตลาดสูงถึง 80,000 ล้านเหรียญสหรัฐในปี 2010 ตลาดที่สำคัญได้แก่ตลาดเอเชีย แปซิฟิกและตลาดยุโรป และปัจจัยสำคัญที่เป็นตัวขับเคลื่อนการขยายตัวของอุตสาหกรรมอาหารพร้อมปรุงพร้อมทานต่อไปในอนาคต ได้แก่

1. การวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์ทั้งในด้านคุณภาพรสชาติความง่ายในการเตรียมและประโยชน์ต่อสุขภาพที่มีมากขึ้น
2. ผู้บริโภคยอมรับอาหารท้องถิ่นมากขึ้นทั้งในเรื่องของรสชาติที่หลากหลายและราคาที่สูงขึ้น
3. การเพิ่มขึ้นของกลุ่มคนทำงานและคนโสดต่อประชากรโลก
4. การเก็บรักษาอาหารและเตรียมอาหารด้วยตู้แช่แข็งและเตาไมโครเวฟ

5. เวลาการทำงานที่ยาวนานขึ้น ส่งผลให้คนทำงานมีเวลาในการเตรียมและทานอาหารลดลง

6. ผู้บริโภคให้ความใส่ใจกับความสะดวกในการบริโภคมากกว่ารสชาติของอาหารแช่เย็นแช่แข็ง

7. การขยายการลงทุนเข้าไปในประเทศกำลังพัฒนาของกลุ่มบริษัทข้ามชาติต่างๆ

อาหารพร้อมปรุงเป็นโอกาสของผู้ผลิตทางเลือกของผู้บริโภคยุคใหม่ เนื่องจากสภาวะในชีวิตประจำวันที่ต้องทำงานแข่งขันกับเวลาปัญหาการจราจรในกรุงเทพฯและเมืองใหญ่ทำให้เวลาส่วนใหญ่ของคนในเมืองหมดไปจากการทำงานและการเดินทางแต่ในขณะเดียวกันเรื่องอาหารการกินก็ยังเป็นส่วนหนึ่งของชีวิตประจำวันที่ทุกคนยังขาดไม่ได้ในยุคที่รูปแบบการบริโภคอาหารของครอบครัวได้เปลี่ยนแปลงไปจากเดิม”อาหารพร้อมปรุง” จึงมีบทบาทมากขึ้น

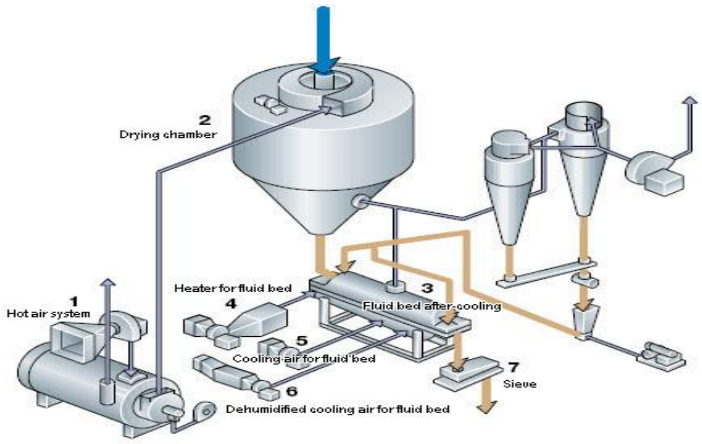
2.9 เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย

เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย (Spray dryer) หรือเครื่องทำแห้งแบบพ่นกระจาย (Spray dryer) คือเครื่องทำแห้ง (drier) ที่ใช้ทำแห้ง สำหรับอาหารเหลว เช่น นมผง น้ำผลไม้ กาแฟ ไข่ โดยใช้เครื่องพ่นละออง (atomizer) ทำให้อาหารเหลวเป็นละออง สัมผัสกับกระแสลมร้อนภายในห้องอบแห้ง (drying chamber) ทำให้น้ำในอาหารระเหยออกไปอย่างรวดเร็ว ผลิตภัณฑ์อาหารที่ได้มีลักษณะเป็นผงแห้ง ตกลงสู่ภาชนะรองรับด้านล่าง ผงบางส่วนที่รวมอยู่กับลมร้อนจะถูกแยกออกด้วยระบบแยก อาหารผงที่ได้มีความชื้น (moisture content) ต่ำ (น้อยกว่าร้อยละ 5) นิยมใช้ในการผลิตอาหารแห้งมีลักษณะเป็นผง เช่น นมผง ครีมเทียม กาแฟผงกึ่งสำเร็จรูป (instant coffee) ไข่ผง น้ำผลไม้ผง เวย์ (whey) ผงโปรตีนถั่วเหลืองเข้มข้น (soy protein concentrate) มอลโทเดกซ์ทริน (maltodextrin)

2.9.1 ส่วนประกอบหลักของเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย

2.9.1.1 ห้องทำแห้ง (drying chamber) เป็นบริเวณที่เกิดการทำแห้งอาหาร โดยอากาศร้อนแห้ง ซึ่งเป็นอากาศ ที่ถูกดูดผ่านระบบกรองและทำให้ร้อน จะปะทะกับอาหารเหลวบริเวณนี้ เกิดการระเหยของน้ำจากหยดอาหารเหลว การสัมผัสระหว่างอากาศร้อนและอาหารเหลวอาจเป็นได้หลายทิศทาง อากาศและอาหารเหลวไหลทางเดียวกัน (co-current flow) อาหารเหลวและลมร้อนป้อนเข้าในทิศทางเดียวกัน อุณหภูมิลมร้อนจะลดลงระหว่างการทำแห้ง เหมาะกับอาหารที่ไวต่อความร้อนอากาศและอาหารเหลวไหลสวนทางกัน (counter-current flow) การไหลแบบผสม (mixed flow) ลมร้อนถูกป้อนเข้าทั้งด้านบนและด้านล่าง เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของการทำแห้ง

2.9.1.2 ตัวทำละออง (atomizer) มีหน้าที่ทำให้อาหารเหลวแตกตัวเป็นละอองฝอย เพิ่มพื้นที่สัมผัสกับความร้อนให้มากขึ้น เป็นตัวควบคุมอัตราการไหลไปยังห้องอบแห้ง และกำหนดขนาดของอนุภาค ตลอดจนคุณภาพต่างๆ ของอาหารผงเครื่องพ่นละอองที่ใช้ในเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยมีหลายระบบ แต่ละระบบมีผลต่อลักษณะและคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ได้ การเลือกชนิดขึ้นอยู่กับสมบัติของอาหารเหลวเริ่มต้น เช่น ความหนืด นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับและสมบัติของอาหารผงที่ต้องการ เช่น ขนาดของอนุภาค การละลาย (solubility) ความหนาแน่น (density) การเปียกน้ำ (wettability) เป็นต้น



ภาพที่ 2.3 เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย (พิมพ์เพ็ญและเกียรติคุณ, 2560)

ตัวทำละอองที่นิยมใช้ ได้แก่ หัวฉีดแรงดันสูง (pressure nozzles หรือ nozzle atomizer) ตัวทำละอองประเภทนี้ จะใช้แรงดันสูงดันให้อาหารเหลวไหลผ่านรูเปิดขนาดเล็ก (orifice) ขนาดของอนุภาคจะแปรผันโดยตรงกับอัตราการไหล และความหนืดของของเหลว และเมื่อเพิ่มแรงดัน ขนาดของอนุภาคจะเล็กลง Two-fluid atomizer (หรือ pneumatic atomizer) อาหารเหลวจะไหลกระทบกับก๊าซหรืออากาศที่เคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูง ทำให้ของเหลวแตกเป็นละอองฝอย ได้ขนาดอนุภาคที่มีขนาดเล็กมาก สามารถใช้ได้ดีกับอาหารเหลวที่มีความหนืด (viscosity) สูง

ตัวทำละอองแบบจานเหวี่ยง (centrifugal atomizer หรือ rotary atomizer) มีลักษณะเป็นจาน (disk, wheel) โดยอาหารเหลวจะไหลลงบริเวณใกล้กับจุดศูนย์กลางของจานที่หมุนด้วยความเร็วรอบสูงมาก (ประมาณ 2,000-20,000 รอบต่อนาที) ถูกเหวี่ยงด้วยแรงหนีศูนย์ (centrifugal force) ให้ของเหลวกระจายออกด้านข้างของจานเป็นละอองเล็กๆ ซึ่งขนาดของอนุภาคแปรผันโดยตรงกับอัตราการไหล และความหนืดของอาหารเหลว และแปรผกผันกับอัตราการหมุนและเส้นผ่านศูนย์กลางของจานหมุน ใช้กับผลิตภัณฑ์ที่มีความหนืดสูง ไม่เป็นเนื้อเดียว ซึ่งอาจมีปัญหาการอุดตันหัวฉีด

2.9.1.3 อุปกรณ์แยกอนุภาคผงออกจากอากาศ เช่น ไซโคลน (cyclone) ถุงกรอง (bag filter) ซึ่งปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพและคุณภาพของอาหารที่ทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย มีดังนี้ อัตราการไหลของอาหารเหลวขาเข้า (feed) ความหนืดของอาหารเหลวอุณหภูมิของลมร้อนขาเข้า

2.10 อนุมูลอิสระและสารต้านอนุมูลอิสระ

อนุมูลอิสระ (free radical) คือโมเลกุล หรือไอออนที่มีอิเล็กตรอนโดดเดี่ยวอยู่รอบนอกและมีอายุสั้นมาก จึงจัดว่าเป็นโมเลกุลที่ไม่เสถียรและว่องไวต่อการเกิดปฏิกิริยาเคมี โดยสามารถตรวจวัดด้วยเทคนิค electron spin resonance (ESR) โมเลกุลหรือไอออนชนิดนี้เป็นตัวก่อให้เกิดปฏิกิริยาลูกโซ่ เช่น superoxide anion radical ($O_2^{\bullet}$) hydroxyl radical ($HO^{\bullet}$) และ peroxide radical ($ROO^{\bullet}$) เป็นต้น

2.10.1 สารต้านอนุมูลอิสระ

สารต้านออกซิเดชัน (antioxidant) หรือเรียกว่า สารต้านอนุมูลอิสระ คือสารที่สามารถยับยั้งหรือชะลอการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (oxidation) ซึ่งเป็นสาเหตุของการเกิดอนุมูลอิสระ (free radical) เช่น การเกิดออกซิเดชันของลิพิด (lipid oxidation) สารต้านออกซิเดชัน สามารถแบ่งตามกลไกการยับยั้งได้เป็น 3 ชนิด คือ

1. Preventive antioxidant ป้องกันการเกิดอนุมูลอิสระ
2. Scavenging antioxidant ทำลายหรือยับยั้งอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้น
3. Chain breaking antioxidant ทำให้ลูกโซ่ของการเกิดอนุมูลอิสระสิ้นสุดลง

2.10.2 การทำงานของสารต้านอนุมูลอิสระ

เมื่อสารประกอบฟีนอลิกให้อะตอมไฮโดรเจนแก่อนุมูลอิสระไปแล้ว อนุมูลอิสระของสารประกอบฟีนอลิกจะค่อนข้างมีเสถียรภาพ ดังนั้นจึงไม่ทำปฏิกิริยาอื่นต่อไป นอกจากนี้อนุมูลอิสระของสารประกอบฟีนอลิกบางชนิดยังคงสามารถรวมตัวกับอนุมูลอิสระอื่นได้อีกด้วยจึงทำให้สารประกอบฟีนอลิกเหล่านั้นลดจำนวนอนุมูลอิสระลงได้ 2 เท่า

2.10.3 สารต้านออกซิเดชัน

สารประกอบฟีนอลิกที่พบว่ามีคุณสมบัติด้านการเป็นสารต้านออกซิเดชันนั้น สามารถพบได้ในส่วนต่างๆ ของพืช เช่น เมล็ด (ได้แก่ ถั่วเหลือง ถั่วลิสง เมล็ดฝ้ายข้าวและงา) ผล (ได้แก้ องุ่น ส้ม และพริกไทยดำ) ใบ (ได้แก่ ชา และเครื่องเทศต่างๆ) และส่วนอื่นๆ (ได้แก่ มันเทศ และหัวหอม) สารประกอบฟีนอลิก เช่น flavonoids (ได้แก่ flavones, flavonols, isoflavones, catechins, flavonones และchalcones) และ cinnamic acid derivatives (caffeic acid, ferulic acid, chlorogenic acid และอื่นๆ) โดยสามารถพบได้ในเกือบทุกส่วนของพืชแต่จะมีความแตกต่างกันออกไปในด้านของชนิดและปริมาณ

2.10.3.1 สารต้านออกซิเดชันธรรมชาติ ได้แก่ สารเคมีจากพืช เช่น ผัก ผลไม้ เครื่องเทศ สมุนไพร ชา โดยพบเป็นสาระสำคัญหลายชนิด ได้แก่ phenolic compounds ได้แก่ polyphenol ในเครื่องเทศ (spices) สารสกัดจากเมล็ดองุ่น ชา ขมิ้น แอสตาแซนทิน (astaxanthin) ยูจีนอล (eugenol) ในกานพลู วิตามินซี (vitamin C) วิตามินอี (vitamin E) และกรดซิตริก

2.10.3.2 สารต้านออกซิเดชันที่ใช้เป็นวัตถุเจือปนอาหาร (food additive) มีสองกลุ่มได้แก่ สารต้านออกซิเดชันธรรมชาติ ได้แก่ สารเคมีจากพืช เช่น ผัก ผลไม้ เครื่องเทศ สมุนไพร ชา โดยพบเป็นสารสำคัญหลายชนิดได้แก่ แอนโทไซยานิน (anthocyanin) และซีลีเนียม (selenium) และสารต้านออกซิเดชันสังเคราะห์ เช่น BHA (butylated hydroxyanisole), BHT (butylated hydroxytoluene), TBHQ (tertiary butyl hydro quinone) และ EDTA

2.10.4 วิธีการวิเคราะห์กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ

วิธีที่ใช้ในการวิเคราะห์ความสามารถในการเป็นตัวต้านออกซิเดชันของโมเลกุล หรือไอออนที่มีอิเล็กครอนโดดเดี่ยว โดยวิธีที่นิยมใช้ ได้แก่ 2, 2-azobis (3-ethylbenzothialzoline-6-sulfonic acid) (ABTS), 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH), ferric reducing antioxidant power (FRAP) และ the oxygen radical absorption capacity (ORAC) และอื่นๆ ซึ่งมักนำมาใช้ในการวิเคราะห์ความสามารถในการเป็นตัวต้านออกซิเดชันในผักและผลไม้ชนิดต่างๆ

2.10.4.1 วิธีที่ 1 DPPH assay หรือ 2,2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl radical scavenging capacity assay เป็นวิธีการวิเคราะห์ความสามารถในการต้านออกซิเดชัน ซึ่งใช้ reagent คือ 2,2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl เป็น stable radical ในตัวทำละลาย methanol ซึ่งสารละลายนี้มีสีม่วง ซึ่งดูดกลืนแสงได้ดีที่ความยาวคลื่น 517 nm โดย $DPPH^{\bullet}$ จะเกิดปฏิกิริยากับ antioxidant (AH) หรือกับ radical species ($R^{\bullet}$) ได้ดังสมการ

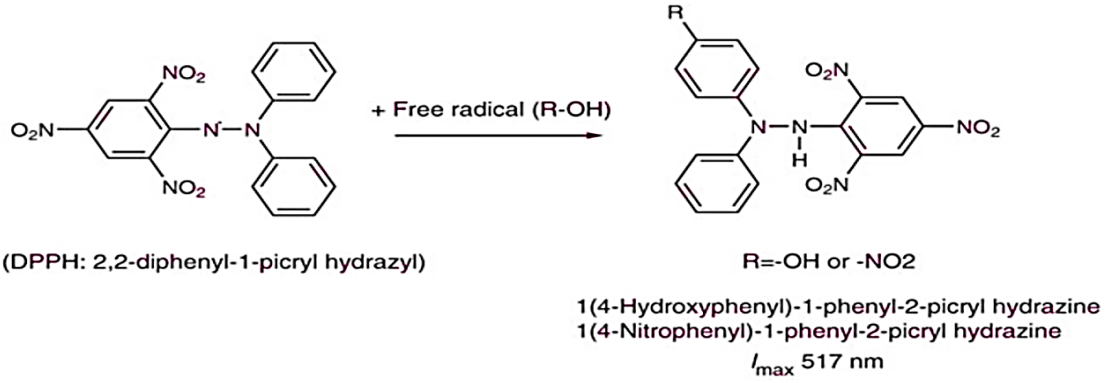
$$DPPH^{\bullet} + AH \longrightarrow DPPH\text{-}H + A^{\bullet}$$

$$DPPH^{\bullet} + R^{\bullet} \longrightarrow DPPH - R$$

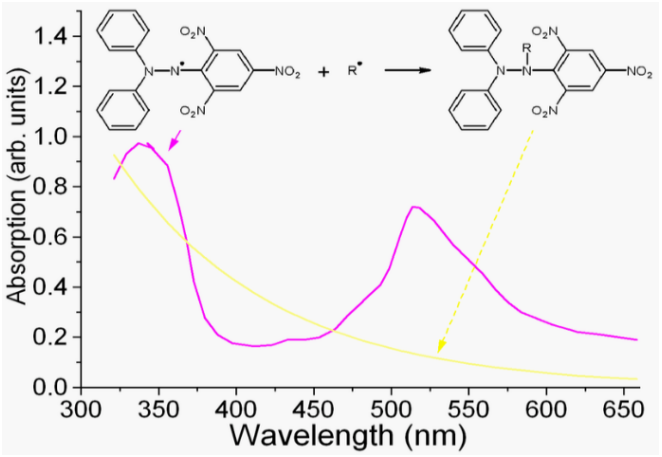
ถ้าตัวอย่างมีความสามารถในการต้านออกซิเดชันได้สูงความเข้มของสารละลายสีม่วงก็ลดลง ซึ่งจะรายงานผลการทดลองเป็นค่า 50% effective concentration (EC_{50}) ซึ่งหมายถึง ปริมาณสารต้านออกซิเดชันที่ทำให้ความเข้มข้นของ $DPPH^{\bullet}$ เหลืออยู่ร้อยละ 50

2.10.4.2 วิธีที่ 2 คือ FRAP assay หรือ Ferric reducing antioxidant power เป็นอีกวิธีหนึ่งที่ใช้ในการตรวจสอบความสามารถในการต้านออกซิเดชัน โดยอาศัยปฏิกิริยารีดอกซ์และติดตามการเปลี่ยนแปลงสีของสารประกอบเชิงซ้อน

วิธี FRAP สามารถติดตามปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นโดยวัดค่า absorbance ที่ 595 นาโนเมตร จากนั้นศึกษาความสามารถในการต้านออกซิเดชันในสารตัวอย่าง โดยการเปรียบเทียบกับสารมาตรฐาน Ferrous sulfate แล้วรายงานเป็นค่า FRAP value ข้อดีของวิธีนี้คือ เสียค่าใช้จ่ายน้อย สะดวก รวดเร็ว มีขั้นตอนในการทดลองไม่ยุ่งยาก ซับซ้อนและมี reproducibility ดี (มหาวิทยาลัยมหาสารคาม, 2561)



ภาพที่ 2.4 วิธี DPPH assay (มหาวิทยาลัยมหาสารคาม, 2561)



ภาพที่ 2.5 การวิเคราะห์ค่าการดูดกลืนแสงตามวิธี FRAP assay (มหาวิทยาลัยมหาสารคาม, 2561)

ตารางที่ 2.3 สารต้านอนุมูลอิสระของพืชแต่ละชนิด

ชนิดของพืช	ชนิดของสารต้านอนุมูลอิสระ
ชาเขียว	อีพิแกลโลแคทีชินแกลเลต อีพิแกลโลแคทีชิน และอิพิแคทีชินแกลเลต
กานพลู ข่า ตะไคร้	ยูจีนอล
วานิลลา	วานิลลิน
ขิง	จินเจอรอล (gingerol)
พริก	แคปไซซิน (capsaicin)
งา	เซซามอล เซซามอลไดเมอร์ เซซาโมลินนอล และเซซามินอล
ผักและผลไม้ที่มีสีเหลือง สีแดง	แคโรทีนอยด์
ถั่วเหลือง	เจเนสทีน ไอโซฟลาโวน (isoflavone)
ผักและผลไม้ที่มีสีม่วงและสีแดง	แอนโทไซยานิน
โรสแมรี่	คาร์โนซอล กรดโรสมารินิก กรดคาร์โนซิกและโรสมาริดิ ฟินอล
ขมิ้น	เททระไฮโดรเคอร์คูมิน
พริกไทยดำ	กรดเฟรูลิก
ผลไม้	วิตามินซี
ชา	เอสเทอร์ของกรดแกลลิก

ที่มา : มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์ (2561)

2.11 สารประกอบฟีนอลิก (phenolic compounds)

สารประกอบฟีนอลิก (phenolic compounds) คือสารที่มีสูตรโครงสร้างทางเคมีเป็นวงแหวนที่เป็นอนุพันธุ์ของวงแหวนเบนซินและมีหมู่ไฮดรอกซิล (-OH group) อย่างน้อย 1 หมู่ ดังนั้นโครงสร้างทางเคมี ของสารประกอบฟีนอลิกพื้นฐานจึงได้แก่ สารฟีนอล สารประกอบฟีนอลิกเป็นสารในกลุ่ม secondary metabolite ที่ถูกสร้างขึ้นเพื่อประโยชน์ใน กระบวนการเจริญเติบโตและการขยายพันธุ์ของพืชแต่ละชนิด รูปแบบของสารประกอบฟีนอลิกในพืช แต่ละชนิดจึงแตกต่างกันออกไป สารประกอบฟีนอลิกในพืชกลุ่มใหญ่ที่สุดที่พบคือ สารกลุ่มฟลาโวนอยด์ (flavonoids)

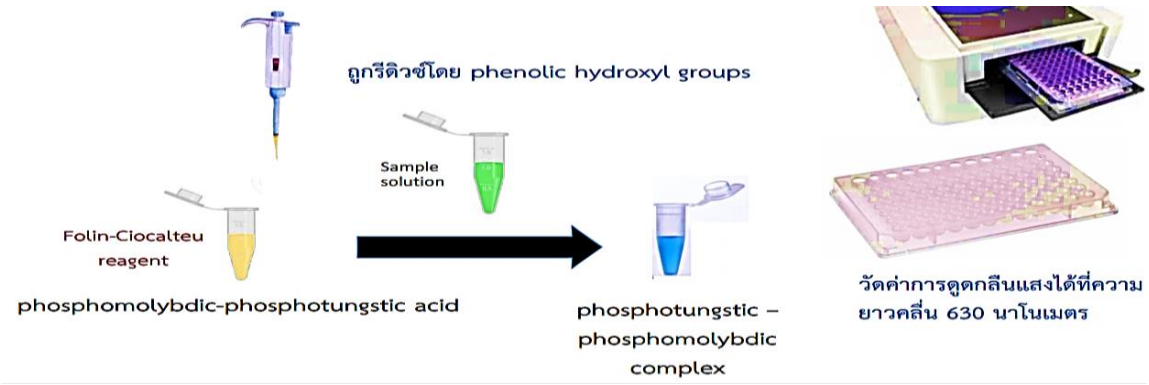
สารประกอบฟีนอลิกมีคุณสมบัติในการเป็นสารต้านออกซิเดชัน นอกจากนี้ยังช่วยป้องกันโรคต่างๆ โดยเฉพาะโรคหัวใจขาดเลือดและมะเร็ง โดยทำหน้าที่กำจัดอนุมูลอิสระและไอออนของโลหะที่สามารถเร่งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันและโมเลกุลอื่นๆ ด้วยการให้อะตอมไฮโดรเจนแก่อนุมูลอิสระอย่างรวดเร็ว ดังปฏิกิริยา

$$ROO^{\bullet} + PPH \longrightarrow ROOH + PP^{\bullet}$$
$$RO^{\bullet} + PPH \longrightarrow ROH + PP^{\bullet}$$
$$ROO^{\bullet} + PP^{\bullet} \longrightarrow ROOPP$$
$$RO^{\bullet} + PP^{\bullet} \longrightarrow ROPP$$

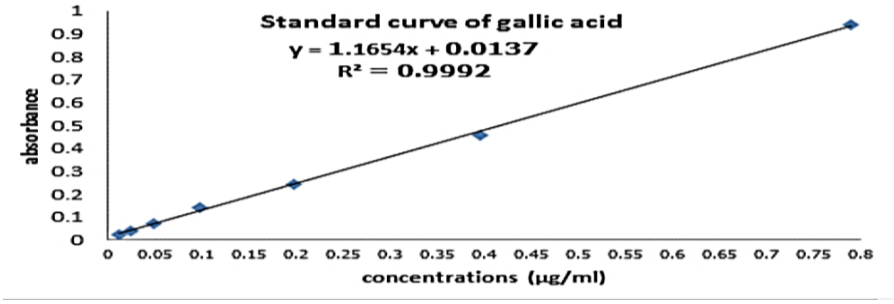
สารประกอบฟีนอลิกที่มีคุณสมบัติเป็นสารต้านออกซิเดชันนั้นสามารถพบได้ในส่วน ต่างๆ ของพืช เช่น เมล็ด ได้แก่ ถั่วเหลือง ถั่วลิสง เมล็ดฝ้าย มัสตาร์ด ข้าวและงา ผล ได้แก่ องุ่น ส้ม พริกไทยดำ และโอลีฟ และใบ ได้แก่ ชาและเครื่องเทศต่างๆ

2.11.1 การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด

การตรวจวัดปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (total phenolic content) มีหลักการคือ วัดปริมาณความเข้มข้นของสารประกอบทั้งหมดที่มีหมู่ไฮดรอกซิลอยู่ในโมเลกุล โดยไม่คำนึงถึงน้ำหนักโมเลกุลของสารประกอบฟีนอลิกนั้นๆ ดังนั้น การวิเคราะห์ในรูปแบบนี้จึงไม่มีการระบุชนิดของสารประกอบฟีนอลิกที่มีอยู่ในสารตัวอย่าง หลักการคือ สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดทำปฏิกิริยากับ Folin-Ciocalteu reagent ซึ่งประกอบด้วย phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents สารดังกล่าวจะถูกรีดิวซ์โดย phenolic hydroxyl groups ของ สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดเกิดเป็น phosphotungstic – phosphomolybdic complex ซึ่งมีสีน้ำเงินและสามารถวัดค่าการดูดกลืนแสงได้ที่ความยาวคลื่น 630 นาโนเมตร จากวิธีที่ทำมาและนำมาคำนวณหา total phenolic content จากกราฟมาตรฐานของสารมาตรฐาน gallic acid และ คำนวณให้อยู่ในหน่วยของมิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อน้ำหนักกรัมของสารสกัด (Gallic Acid Equivalent (GA)/g dry mass)



ภาพที่ 2.6 สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดทำปฏิกิริยากับ Folin-Ciocalteu reagent (มหาวิทยาลัยมหาสารคาม, 2561)



ภาพที่ 2.7 กราฟมาตรฐานในการวิเคราะห์ค่าแกลลิค (มหาวิทยาลัยมหาสารคาม, 2561)

2.12 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ขนมตาลเป็นขนมไทยดั้งเดิม เนื้อขนมมีลักษณะเป็นแป้งสีเหลืองเข้ม นุ่ม ฟู มีกลิ่นตาลหอมหวาน ขนมตาลทำจากเนื้อตาลจากผลตาลที่สุกงอม แป้งข้าวเจ้า กะทิ และน้ำตาล ผสมกันตามกรรมวิธีใส่กระทงใบตอง โรยมะพร้าวขูดและนำไปนึ่งจนสุก เนื้อลูกตาลยีที่เป็นส่วนผสมในการทำขนมตาล ได้จากการนำผลตาลที่สุกจนเหลืองดำ เนื้อข้างในมีสีเหลือง มีกลิ่นแรง ซึ่งส่วนมากจะหล่นจากต้นเอง ในปัจจุบันหาทานขนมตาลรสชาติดีได้ยาก เนื่องจากปริมาณการปลูกต้นตาลที่ลดลง ขนมตาลที่ขายตามท้องตลาดส่วนใหญ่ ผู้ประกอบการมักใส่เนื้อตาลน้อย เพิ่มแป้งและเจือสีเหลืองแทน ซึ่งทำให้ขนมตาลมีเนื้อกระด้าง ไม่หอมหวาน และไม่อร่อย เนื้อตาลสุกมีคุณค่าทางโภชนาการ ทั้งโปรตีน คาร์โบไฮเดรต แคลเซียม ฟอสฟอรัส และใยอาหาร เป็นต้น (Department of Health, 1987) มีความชื้นสูง มีค่าความเป็นกรด-ด่างในช่วงกรดอ่อน มีของแข็งที่ละลายน้ำได้ต่ำและมีเบต้าแคโรทีน เนื้อตาลสุกประกอบด้วยความชื้นร้อยละ 89.4 ไขมันร้อยละ 0.6 คาร์โบไฮเดรตร้อยละ 8.9 เยื่อใยร้อยละ 0.5 โปรตีนร้อยละ 0.7 แคลเซียม 7 มิลลิกรัม ฟอสฟอรัส 22 มิลลิกรัม และเหล็ก 0.9 มิลลิกรัม (สุภารัตน์, 2546) นอกจากนี้สีของเนื้อตาลมีสี

เหลืองและมีกลิ่นรสหอมเฉพาะของตาล ช่วยทำให้ผลิตภัณฑ์มีคุณลักษณะเด่นเฉพาะตัว เป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับผลิตภัณฑ์ทางการเกษตร (Boasai, 2008) ซึ่งลูกตาลสามารถปลูกได้ในทุกภาคของประเทศไทยโดยเฉพาะจังหวัดเพชรบุรี สงขลา สุพรรณบุรี และอยุธยา เป็นต้น แต่ยังไม่ได้นำมาใช้ประโยชน์มากนัก ส่วนใหญ่ปล่อยให้สุกคาต้น และหล่นเน่าเสียไป

การทำแห้งเนื้อตาลด้วยตู้อบแห้งสามารถทำได้โดยใช้อุณหภูมิในการทำแห้ง 55 องศาเซลเซียส ผงเนื้อตาลที่ได้จะดีกว่าการทำแห้งแบบลูกกลิ้งที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส (นฤมล, 2533) เมื่อทำแห้งและตาลสุกและอุณหภูมิที่สูงขึ้น จะทำให้ความชื้นน้อยลง ค่าดัชนีการดูดซึมน้ำมากขึ้นเหมาะสำหรับขนมที่เป็นเจลใส เช่น ขนมชั้นและขนมน้ำดอกไม้ (บุณยกฤตและคณะ, 2545) รวมทั้งมีการพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมไทยจากแป้งตาลโตนด โดยอบแห้งเนื้อตาลสุกด้วยเครื่องอบแห้งแบบลมร้อน และนำไปทดแทนในส่วนผสมของขนมไทย 3 ชนิด คือ ขนมชั้น ขนมน้ำดอกไม้ และขนมปุยฝ้ายจากการศึกษาพบว่า การอบแห้งแป้งตาลโตนดที่ 60 องศาเซลเซียส มีคุณสมบัติเหมาะสมในการนำมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์และสามารถใช้แป้งตาลโตนดร้อยละ 10 ในการทดแทนส่วนผสมของแป้งของผลิตภัณฑ์ขนมไทยทั้ง 3 ชนิด ส่วนองค์ประกอบทางเคมีจะขึ้นอยู่กับวัตถุดิบและผลิตภัณฑ์ที่เติมลงไปในส่วนผสม (ชไมพรและสุธาสินี, 2557) จากนี้ยังมีการนำตาลผงที่อบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบลมร้อนไปใส่ในบะหมี่ พบว่าผลิตภัณฑ์บะหมี่ทดแทนด้วยเนื้อตาลผงร้อยละ 10 ผู้ตรวจสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสให้การยอมรับมากกว่าส่วนอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) (พรทวีและคณะ, 2557) และมีการพัฒนามัฟฟินเนื้อตาลส่วนผสมลูกตาล การเพิ่มปริมาณลูกตาลมีผลให้มัฟฟินมีแนวโน้มของขนาดชิ้นลดลง มีความแข็งและความชื้นเพิ่มขึ้น สูตรที่เหมาะสมของมัฟฟินเนื้อตาลสุกผสมลูกตาลประกอบด้วย แป้งสาลีอเนกประสงค์ ผงฟู เนยสด น้ำตาลทราย เกลือป่น ไข่ไก่ นมสด กลิ่นวนิลา เนื้อตาลสุกและลูกตาลร้อยละ 22.70, 1.92, 14.70, 0.26, 7.99, 11.51, 0.26, 7.67 และ 23.0 ของน้ำหนักทั้งหมดตามลำดับ ผลการศึกษาคุณภาพทางเคมีของมัฟฟินนี้ 100 กรัม ประกอบด้วยความชื้น โปรตีน ไขมัน เถ้า เยื่อใย และคาร์โบไฮเดรตร้อยละ 38.20, 3.75, 10.22, 1.75, 1.01 และ 45.07 ตามลำดับ และมีพลังงานทั้งหมด 287.26 กิโลแคลอรี่ จากการทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคพบว่า ผู้บริโภคให้คะแนนความชอบโดยรวมของมัฟฟินเนื้อตาลสุก ผสมลูกตาลอยู่ในระดับชอบมาก (ธีรนุชและจันทนา, 2557) ดังนั้นการพัฒนาแป้งขนมตาลสำเร็จรูปได้โดยใช้เทคนิคการทำแห้งแบบพ่นฝอยจะทำให้ช่วยรักษาคุณค่าโภชนาการและแคโรทีนอยด์ของเนื้อตาลสุกไว้ได้ จะยังคงกลิ่นและรสของเนื้อตาลสุกที่ควรจะเป็นไว้ได้ในตัวผลิตภัณฑ์ สามารถเก็บรักษาได้นาน เมื่อทำขนมตาลจะมีความสะดวกรวดเร็ว ซึ่งเป็นนวัตกรรมในการแปรรูปขนมไทยชนิดใหม่

นอกจากนี้ มนัสนันท์ (2544) ได้ทำการศึกษาเนื้อตาลสุกที่ผลิตโดยผ่านกระบวนการสเตอริไรเซชันที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ที่ความดัน 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว 15 นาที สามารถเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 35 องศาเซสเซียสได้ประมาณ 41 สัปดาห์ การพัฒนาแป้งข้าวเจ้าผสมและส่วนผสมสำเร็จรูปในการผลิตขนมตาล พบว่าใช้แป้งข้าวเหลือง 11 และแป้งข้าวหอมมะลิในอัตราส่วน 8:2 แป้งข้าวเจ้าผสมที่ได้มีปริมาณอะมิโลสร้อยละ 30.30 โดยน้ำหนักแห้ง ปริมาณน้ำที่เหมาะสมคือ 0.5เท่าของปริมาณของแห้งผสม และปริมาณของยีสต์และผงฟูที่เหมาะสม คือ ร้อยละ 2.3 ที่อัตราส่วน 1:1.3 และมีส่วนผสมของกะทิผง เนื้อตาลสุกสเตอริไรซ์ น้ำตาลทรายป่น และเกลือ สูตรขนมตาลที่พัฒนา ได้มีปริมาณแป้งข้าว

เหลือง 11 แป้งข้าวหอมมะลิ น้ำตาลทรายป่น เนื้อตาลสุกสเตอริไรซ์ กะทิผง ผงฟู ยีสต์ และเกลือร้อยละ 0.80, 0.20, 19.8, 5.0, 1.3, 1.0 และ 0.3 ตามลำดับ ใช้ระยะเวลาในการหมักส่วนผสม 45 นาที นึ่งในน้ำเดือดเป็นระยะเวลา 25 นาที ขนมตาลที่ผลิตได้มีสีเหลืองอมส้ม ค่า a_w เท่ากับ 0.93 มีปริมาณความชื้นร้อยละ 45.62 โดยน้ำหนักเปียก และปริมาณโปรตีน ไขมัน เถ้าเส้นหยาบ และคาร์โบไฮเดรต ร้อยละ 3.92, 2.48, 1.27, 0.46 และ 91.87 โดยน้ำหนักแห้งตามลำดับ มีปริมาณแคโรทีน 20.23 ไมโครกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักแห้ง มีค่าความแข็ง 5.57 นิวตัน ความยืดหยุ่น 9.72 มิลลิเมตร มีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด $4.2x10^2$ โคโลนีต่อกรัม ปริมาณยีสต์และราน้อยกว่า 10 โคโลนีต่อกรัม และโคลิฟอร์มน้อยกว่า 3 (เอ็มพีเอ็น/กรัม) การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส พบว่าคะแนนความชอบเฉลี่ยปัจจุบันคุณภาพด้านความชอบรวมของขนมตาลมีคะแนนระดับชอบปานกลาง (7.2) การทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคกลุ่มเป้าหมาย (central location test) ที่มีต่อขนมตาลที่พัฒนาได้พบว่าผู้บริโภคให้คะแนนความชอบเฉลี่ยอยู่ในระดับชอบปานกลางถึงชอบมาก ผู้บริโภคร้อยละ 100 ยอมรับผลิตภัณฑ์ขนมตาล การทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์ส่วนผสมขนมตาลสำเร็จรูป และขนมตาลโดยนำกลับไปทำด้วยตนเองที่บ้าน (home use test) พบว่าผู้บริโภคให้คะแนนความชอบรวมเฉลี่ยของผลิตภัณฑ์ส่วนผสมขนมตาลสำเร็จรูปในระดับปานกลางถึงชอบมาก ผู้บริโภคร้อยละ 86.79 ยอมรับผลิตภัณฑ์ส่วนผสมขนมตาลสำเร็จรูป

ไอลดา (2559) ศึกษาการผลิตสีผสมอาหารจากแคโรทีนอยด์ในเนื้อตาลสุกลูกตาล (*Borassus flabellifer* Linn.) เป็นพรรณไม้ที่นิยมปลูกมากทางภาคตะวันตกของไทย ซึ่งมีการศึกษาพบว่า เนื้อลูกตาลสุกนั้นประกอบด้วยแคโรทีนอยด์อยู่หลายชนิด จึงมีแนวโน้มที่จะสามารถนำมาผลิตเป็นสีผสมอาหารจากธรรมชาติได้ ในการศึกษาครั้งนี้เปรียบเทียบวิธีการสกัดด้วยตัวทำละลายอินทรีย์ต่างชนิดกันคือเอทานอล เอธิลอะซิเตทและเอธิลอะซิเตทผสมเอทานอลในอัตราส่วน 3:4 (ปริมาตร/ปริมาตร) จากการทดลองพบว่าสกัดได้ปริมาณของแคโรทีนอยด์ 1893.78, 490.52 และ 2,204.3 ไมโครกรัม/กรัม dried wt และได้นำตัวอย่างลูกตาลไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 40, 50 และ 60 องศาเซลเซียสก่อนการสกัด เพื่อศึกษาสภาวะการสกัดแคโรทีนอยด์จากเนื้อตาลสุกที่มีประสิทธิภาพสูงที่สุด การทดลองพบว่าอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งวัตถุดิบก่อนนำไปสกัดที่เหมาะสมที่สุดคือ 50 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 ชั่วโมง 55 นาที โดยเฉพาะเมื่อใช้ตัวทำละลายเอธิลอะซิเตทผสมเอทานอลสามารถเพิ่มการสกัด แคโรทีนอยด์เป็น 3,682.23 (ไมโครกรัม/กรัม dried wt) และมีประสิทธิภาพในการสกัดเป็นร้อยละ 94.6 ดังนั้นการใช้เทคนิคการอบแห้งเนื้อตาลก่อนนำมาสกัดร่วมกับการใช้ตัวทำละลายจึงช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของการสกัดแคโรทีนอยด์จากเนื้อตาลสุกมากขึ้น อย่างไรก็ตามสารสกัดแคโรทีนอยด์มีข้อจำกัดในการนำไปใช้งานคือไม่ละลายน้ำและไม่คงตัวต่อออกซิเจน แสงและความร้อน ยากที่จะประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร เพื่อที่จะเอาชนะข้อจำกัดเหล่านี้จึงมีการศึกษาและพัฒนาเทคนิคการกักเก็บแคโรทีนอยด์ให้อยู่ในรูปของอิมัลชันแบบน้ำมันในน้ำ ซึ่งอิมัลชันเป็นวิธีที่ช่วยเพิ่มการกระจายตัว เพิ่มความคงตัว และรักษาสารที่มีคุณค่าทางโภชนาการ จากการเปรียบเทียบผลของชนิดและความเข้มข้นของอิมัลซิไฟเออร์ อิมัลซิไฟเออร์ที่ใช้ได้แก่สตาร์ชดัดแปร และเวย์ไอโซเลท หลังจากผ่านการทำอิมัลชันแล้วจะถูกเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 35 และ 5 องศาเซลเซียส แล้ววัดความคงตัว ปริมาณแคโรทีนอยด์ที่ถูกกักเก็บ การ

เปลี่ยนแปลงของสี ขนาดอนุภาค เป็นดัชนีตัดสินชนิดและความเข้มข้นที่เหมาะสมของอิมัลซิไฟเออร์ นอกจากนี้การเก็บอิมัลชันไว้ที่ 5 องศาเซลเซียสจะช่วยเพิ่มความคงตัวให้กับอิมัลชันได้มากกว่าที่ 35 องศาเซลเซียส ส่วนการศึกษาชนิดของน้ำมันที่เหมาะสมในการทำอิมัลชันระหว่างน้ำมันถั่วเหลืองและน้ำมันมะพร้าว รวมทั้งอัตราส่วนของเฟสน้ำมันต่อเฟสน้ำจากการทดลองพบว่าน้ำมันถั่วเหลืองและน้ำมันมะพร้าวมีความสามารถในการกักเก็บแคโรทีนอยด์ที่ใกล้เคียงกันโดยไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 อีกทั้งยังให้ความคงตัวกับอิมัลชันในระหว่างการเก็บรักษา 30 วัน อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาค่าความแตกต่างของค่าสีพบว่าน้ำมันถั่วเหลืองมีอัตราการเปลี่ยนแปลงของสีที่น้อยกว่าน้ำมันมะพร้าว ดังนั้นในการทำอิมัลชันแคโรทีนอยด์จึงต้องคำนึงถึงวิธีการเตรียมอิมัลชันและอุณหภูมิในการเก็บรักษาที่เหมาะสม จากการศึกษานี้พบว่ามีความเป็นไปได้ที่จะใช้สารสกัดแคโรทีนอยด์ที่ได้จากเนื้อตาลสุกมาผลิตเป็นสีผสมอาหารจากธรรมชาติได้

บทที่ 3
อุปกรณ์และวิธีการ

3.1 วัตถุดิบ

3.1.1 เนื้อลูกตาลสุก ผลิตโดยบริษัทนาลาด โตนดยี จังหวัดเพชรบุรี
3.1.2 น้ำตาลทราย ตราลินผลิตโดยบริษัท น้ำตาลไทยรุ่งเรือง จำกัด จังหวัดเพชรบูรณ์
3.1.3 ผงฟู ตราอิมพีเรียล เบเกอร์สชอยส์ ผงฟูดับเบิลแอ็คชั่น บริษัท เคซีจี คอร์ปอเรชั่น จำกัด กรุงเทพฯ
3.1.4 ยีสต์แห้งสำเร็จรูป (SAF-INSTANT : Instant Yeast (Gold Label) นำเข้าจากฝรั่งเศส
3.1.5 เกลือตรา ปรุงทิพย์ผลิตโดยบริษัท Prung Thip - thai refined salt จำกัด กรุงเทพฯ
3.1.6 แป้งข้าวเจ้า ตราช้างสามเศียรผลิตโดยบริษัท โรงเส้นหมี่ชอเฮง จำกัด จังหวัดนครปฐม
3.1.7 กะทิผง ตราชาวไทยผลิตโดยบริษัท กรไทย จำกัด กรุงเทพฯ
3.1.8 กะทิสำเร็จรูป ตราชาวเกาะ ผลิตโดยบริษัทเทพผดุงพรมะพร้าว จำกัด จังหวัดนครปฐม

3.2 อุปกรณ์

3.2.1 ตู้อบลมร้อนแบบไฟฟ้า (Hot air oven) ยี่ห้อ BINDER รุ่น FD 115 ประเทศเยอรมันนี
3.2.2 เครื่องชั่งไฟฟ้า ยี่ห้อ METTLER TOLEDO รุ่น ML204/01 ประเทศสวิตเซอร์แลนด์
3.2.3 เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง ยี่ห้อ Biochrom รุ่น Libra S11 ประเทศอังกฤษ
3.2.4 เครื่องผสมละลายสาร ยี่ห้อ Scintific industries รุ่น G560E, USA
3.2.5 เครื่องดูดจ่ายสารละลาย ยี่ห้อ Sartorius รุ่น Proline Plus ประเทศฟินแลนด์
3.2.6 เครื่องแก้ว อุปกรณ์ต่างๆ ในการวิเคราะห์ทางเคมี
3.2.7 เครื่องวัดสี (Color Meter) ยี่ห้อ Hunter Lab รุ่น Ultra Scan VIS ประเทศไทย
3.2.8 ตู้แช่เย็น รุ่น PRIM-230T (Digital) ประเทศจีน
3.2.9 ตู้แช่แข็ง (Freezer) รุ่น DENISE 200M ประเทศจีน
3.2.10 เครื่องกวนสารพร้อมให้ความร้อน ยี่ห้อ SI Analytics ประเทศเยอรมนี ย
3.2.11 เครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 2 ตำแหน่ง ยี่ห้อ METTLER TOLEDO รุ่น ML3002
3.2.12 อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ ยี่ห้อ Thermo Fisher Scientific รุ่น NH 03801, USA

3.3 สารเคมี

3.3.1 กรดแกลลิค (Gallic acid monohydrate, $C_7H_6O_5 \cdot H_2O$) SIGMA-ALDRICH®, China
3.3.2 อะซิโตน (Acetone, CH_3COCH_3) RCI Labscan, Thailand
3.3.3 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) SIGMA-ALDRICH®, U.S.A

3.3.4 สารโฟลิน ฟีนอล (Folin-Ciocalteu's phenol reagent, FCR) Merck, Germany

3.3.5 สารไอรอน (III) คลอไรค์ (IRON (III) chloride, $FeCl_3$) analytical reagent, Australia

3.3.6 โซเดียม คาร์บอเนต (Sodium carbonate, Na_2CO_3) RANKEM, India

3.3.7 สารโปแตสเซียมเฟอร์ริคไซยาไนด์ (Potassium ferricyanide, $K_3Fe(CN)_6$)

3.3.8 กรดไตรคลอโรอะซิติก (Trichloroacetic, CCl_3COOH) Panreac, Germany

3.3.9 สารมอนอโปแตสเซียม ฟอสเฟต (Monopotassium phosphate, KH_2PO_4)

3.3.10 สารไดโพแทสเซียม ฟอสเฟต (Di-Potassium phosphate, K_2HPO_4)

3.3.11 กรดซัลฟูริกเข้มข้น (Sulfuric acid 95-97%, H_2SO_4) Merck, Germany

3.3.12 สารละลาย NaOH 40% (Sodium hydroxide) Merck, Germany

3.3.13 ละลายบอริก 4% (Boric acid,H_3BO_3) Merck, Germany

3.3.14 Catalyst (ตัวเร่งปฏิกิริยา) ประกอบด้วย K_2SO_4 98% และ $CuSO_4$ 2%

3.3.15 สารละลายอินดิเคเตอร์ เมธิลเรด (Methylred - Analytical Grade,$C_{15}H_{15}N_3O_2$)

3.3.16 กรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.1 N (Hydrochloric acid, HCL) Merck, Germany

3.3.17 Petroleum ether (Petroleum Ether, 35-60 °C,$H_3BO_3$7) J.T. Baker, India

3.3.18 กรดกำมะถัน (Sulfuric acid 95-97%, H_2SO_4) Merck

3.3.19 โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide) Merck, Germany

3.3.20 n-Octanol (1-Octanol, 99% PS, $C_8H_{18}O$) PanReac AppliChem, England

3.3.21 Celite 545 (Celite 545 Soxtec) Foss, Sweden

3.3.22 Acetone, Chemical Fisher, United Kingdom

3.4 วิธีการทดลอง

3.4.1 การทำผงตาลโดยใช้เทคนิคการทำแห้งแบบพ่นฝอย

การทดลองนี้วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design; CRD) โดยทำการสกัดเนื้อตาลสุก (ภาพที่ 3.1) เพื่อให้ได้เนื้อตาลสกัดที่มีความละเอียดซึ่งจะได้ขนาดอนุภาคของเนื้อตาลสุกสกัดขนาดเล็กกว่า 63 ไมโครเมตร สามารถนำไปทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยได้ จากนั้นนำเนื้อตาลสุกสกัดมาทำผงตาล โดยผสมน้ำสกัดเนื้อตาลสุกกับแป้งข้าวเจ้าในอัตราส่วน 4:1 และนำมาทำแห้งแบบพ่นฝอยด้วยอัตราป้อนเข้า 50 มิลลิลิตร/นาที อุณหภูมิขาเข้า 200 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิขาออก 80 องศาเซลเซียส (ภาพที่ 3.2)

ผสมน้ำและเนื้อตาลสุกตามอัตราส่วน 4:1

↓

นำส่วนผสมใส่ลงเครื่องปั่น

↓

ปิดฝา ปั่นผสมที่ระดับความเร็วสูงสุด นาน 3 นาที

↓

กรองด้วยตะแกรงสแตนเลสขนาด 125 ไมโครเมตร และ 63 ไมโครเมตร

↓

นำน้ำสกัดเนื้อตาลสุกเก็บที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส

ภาพที่ 3.1 การสกัดเนื้อตาลสุก

ผสมน้ำสกัดเนื้อตาลสุกกับแป้งข้าวเจ้าตามอัตราส่วน 4:1

↓

ผ่านเครื่องโฮโมจีไนเซอร์ นาน 15 นาที และป้อนวัตถุดิบเข้าเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย (Spay dryer) ทำการทำแห้งแบบพ่นฝอยตามสภาวะที่กำหนด

↓

เก็บผงตาลที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส

ภาพที่ 3.2 การทำผงตาล

จากนั้นนำเนื้อตาลสุกและผงตาลมาวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการอย่างละ 3 ซ้ำ และนำเนื้อตาลสุก น้ำสกัดเนื้อตาลสุก และผงตาลมาวิเคราะห์กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ โดยวิเคราะห์ ดังนี้

- **คุณค่าทางโภชนาการ** ได้แก่ โปรตีน ด้วยวิธี Kjeldahl method (AOAC, 1990) ความชื้น ด้วยวิธี Hot air oven method (AOAC, 1990) ไขมัน ด้วยวิธี Solvent Extraction Method (AOAC, 1990) เถ้า ด้วยวิธี dry ashing (AOAC, 1990) เยื่อใย ด้วยวิธี solvent extraction method (AOAC, 1990) คาร์โบไฮเดรท ด้วยวิธี total carbohydrates formula (AOAC, 1990)
- **ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (total phenolic content) และกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ** ได้แก่ กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ ด้วยวิธี FRAP assay หรือ Ferric reducing antioxidant power วิเคราะห์ปริมาณ Phenolic ด้วยวิธีของ Folin-ciocalteu colormetric assays (Lim *et al*., 2007) และวิเคราะห์ปริมาณเบต้าแคโรทีนด้วยวิธี Spectrophotometric method (Nagata and Yamashita, 1992)

จากนั้นนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ค่าทางสถิติโดย วิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) โดยวิธี Duncan’s New Multiple Range Test ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยใช้โปรแกรม SPSS

3.4.2 การพัฒนาแป้งขนมตาลสำเร็จรูป

การทดลองนี้วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์. (Completely Randomized Design; CRD) โดยศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างผงตาลที่ได้จากการทดลองที่ 1 น้ำตาลทราย เกลือ กะทิ เกลือป่น และผงฟู โดยมีสูตรขนมตาลที่ใช้ในการศึกษาทั้งหมด 4 สูตรโดยสูตรที่ 1 เป็นสูตรควบคุมใช้เนื้อตาลสุกในสูตร ส่วนสูตรที่ 2-4 เป็นการพัฒนาแป้งขนมตาลสำเร็จรูปโดยใช้ผงตาลจากการทำแห้งแบบพ่นฝอยทดแทนการใช้เนื้อตาลสุก โดยใช้อัตราส่วนของแป้งข้าวเจ้า : ผงตาลเป็น 7:3, 6:4 และ 5:5 ตามลำดับ แสดงสูตรแป้งขนมตาลเป็นร้อยละดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 สูตรแป้งขนมตาลที่ใช้ในการศึกษา

ที่	ส่วนผสม	สูตรที่ 1 (ควบคุม)	สูตรแป้งขนมตาล (ร้อยละ)		
			สูตรที่ 2	สูตรที่ 3	สูตรที่ 4
1	แป้งข้าวเจ้า	20.88	19.60	16.80	14.00
2	เนื้อลูกตาลสุก	13.92	-	-	-
3	ผงตาล	-	8.40	11.20	14.00
4	เกลือ	0.17	0.14	0.14	0.14
5	น้ำตาลทราย	28.97	23.28	23.28	23.28
6	ผงฟู	0.61	0.49	0.49	0.49
7	น้ำกะทิกล่อง	34.80	-	-	-
8	ยีสต์	0.65	0.52	0.52	0.52
9	กะทิผง	-	11.19	11.19	11.19
10	น้ำ	-	36.38	36.38	36.38

จากนั้นนำแป้งสำเร็จรูปที่ผสมตามอัตราส่วนแสดงดังตารางที่ 3.1 ทั้ง 4 สูตรมาทำการวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการ สารต้านอนุมูลอิสระและกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ ค่าสี และ ปริมาณน้ำอิสระ อย่างละ 3 ซ้ำ โดยวิเคราะห์ ดังนี้

- **คุณค่าทางโภชนาการ** ได้แก่ โปรตีน ด้วยวิธี Kjeldahl method (AOAC, 1990) ความชื้น ด้วยวิธี Hot air oven method (AOAC, 1990) ไขมัน ด้วยวิธี Solvent Extraction Method (AOAC, 1990) เถ้า ด้วยวิธี dry ashing (AOAC, 1990) เยื่อใย ด้วยวิธี solvent extraction method (AOAC, 1990) คาร์โบไฮเดรท ด้วยวิธี total carbohydrates formula (AOAC, 1990)
- **ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (total phenolic content) และกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ** ได้แก่ กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ ด้วยวิธี FRAP assay หรือ Ferric

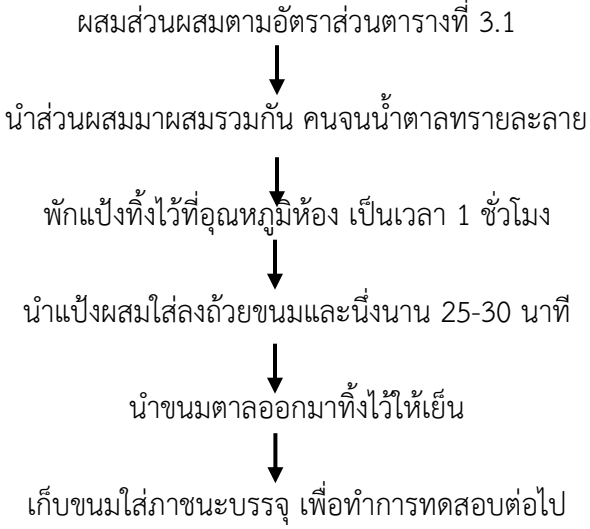
reducing antioxidant power วิเคราะห์ปริมาณ Phenolic ด้วยวิธีของ Folin-ciocalteu colormetric assays (Lim *et al*., 2007) และวิเคราะห์ปริมาณเบต้าแคโรทีนด้วยวิธี Spectrophotometric method (Nagata and Yamashita, 1992)

- **ค่าสี** จะทำการตรวจวัดค่าสี L* (ค่าความสว่าง), a* (ค่าสีเหลือง-น้ำเงิน), b* (ค่าสีแดง-เขียว) ของตัวอย่างทดสอบ โดยจะทำการตรวจสอบ 5 ซ้ำจากแต่ละตัวอย่างทดสอบ ด้วยเครื่องวัดสี (Color Meter) ยี่ห้อ Hunter Lab
- **ค่าปริมาณน้ำอิสระ (Water activity,a_w)** ทำการตรวจสอบหาปริมาณน้ำอิสด้วยเครื่องวัดปริมาณน้ำอิสระ ยี่ห้อ Aqualab 4TEV

จากนั้นนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ค่าทางสถิติโดย วิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) โดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยใช้โปรแกรม SPSS

3.4.3 การทดสอบคุณสมบัติของขนมตาลจากแป้งขนมตาลสำเร็จรูป

การทดลองนี้วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design; CRD) สำหรับการวิเคราะห์คุณภาพของขนมตาลด้านเคมี และกายภาพ และวางแผนการทดลองแบบสุ่มบล็อกสมบูรณ์ (Randomized Complete Block Design; RCBD) สำหรับการวิเคราะห์คุณภาพของขนมตาลด้านประสาทสัมผัส ทำการทดสอบคุณสมบัติของขนมตาลจากแป้งขนมตาลสำเร็จรูปจากการทดลองที่ 2 โดยขั้นตอนการทำขนมตาลแสดงดังภาพที่ 3.3



ภาพที่ 3.3 ขั้นตอนการทำขนมตาล

จากนั้นนำขนมตาลทั้ง 4 สูตรมาทำการวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการ คุณสมบัติทางกายภาพ กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ และการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส

- **คุณค่าทางโภชนาการ** ได้แก่ โปรตีน ด้วยวิธี Kjeldahl method (AOAC, 1990) ความชื้น ด้วยวิธี Hot air oven method (AOAC, 1990) ไขมัน ด้วยวิธี Solvent Extraction Method (AOAC, 1990) เถ้า ด้วยวิธี dry ashing (AOAC, 1990) เยื่อใย ด้วยวิธี solvent extraction method (AOAC, 1990) คาร์โบไฮเดรท ด้วยวิธี total carbohydrates formula (AOAC, 1990)
- **ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (total phenolic content) และกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ** ได้แก่ กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ ด้วยวิธี FRAP assay หรือ Ferric reducing antioxidant power วิเคราะห์ปริมาณ Phenolic ด้วยวิธีของ Folin-ciocalteu colormetric assays (Lim *et al*., 2007) และวิเคราะห์ปริมาณเบต้าแคโรทีนด้วยวิธี Spectrophotometric method (Nagata and Yamashita, 1992)
- **ค่าสี** จะทำการตรวจวัดค่าสี L* (ค่าความสว่าง), a* (ค่าสีเหลือง-น้ำเงิน), b* (ค่าสีแดง-เขียว) ของตัวอย่างทดสอบ โดยจะทำการตรวจสอบ 5 ซ้ำจากแต่ละตัวอย่างทดสอบ ด้วยเครื่องวัดสี (Color Meter) ยี่ห้อ Hunter Lab
- **วิเคราะห์เนื้อสัมผัส (แรงกด)** ทำการตรวจสอบตัวอย่างขนมตาลมาทดสอบด้วยแรงกด โดยเครื่อง Texture Analyzer ทำการทดสอบ 10 ซ้ำต่อ 1 ตัวอย่างทดสอบ
- **การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส** ประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส โดยใช้วิธี 9-Point hedonic scale scoring test คะแนนจาก 1 คือไม่ชอบมากที่สุด ถึง 9 คือ ชอบมากที่สุด ใช้ผู้ทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสจำนวน 30 คน ประเมิน คุณภาพทางด้านลักษณะปรากฏ สีปรากฏ กลิ่น ความแน่นเนื้อ ความยืดหยุ่น รสชาติ และความชอบโดยรวม ตามแบบทดสอบชิมดังแสดงในภาคผนวก

จากนั้นนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ค่าทางสถิติโดย วิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) โดยวิธี Duncan’s New Multiple Range Test ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยใช้โปรแกรม SPSS

บทที่ 4
ผลและวิจารณ์

4.1 ผลการทำผงตาลโดยใช้เทคนิคการทำแห้งแบบพ่นฝอย

การทดลองนี้ได้ทำการสกัดเนื้อตาลสุก เพื่อให้ได้เนื้อตาลสกัดที่มีความละเอียดสามารถนำไปทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยได้ ซึ่งจะได้น้ำสกัดเนื้อตาลสุกที่มีขนาดอนุภาคของเนื้อตาลสุกสกัดขนาดเล็กกว่า 63 ไมโครเมตร จากนั้นนำเนื้อตาลสุกสกัดมาทำผงตาล โดยผสมน้ำสกัดเนื้อตาลสุกกับแป้งข้าวเจ้าในอัตราส่วน 4:1 และนำมาทำแห้งแบบพ่นฝอยด้วยอัตราป้อนเข้า 50 มิลลิลิตร/นาที อุณหภูมิขาเข้า 200 องศาเซลเซียสและอุณหภูมิขาออก 80 องศาเซลเซียส จะได้ผงตาล เมื่อนำมาวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการจะได้ผลดังตารางที่ 4.1 และกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระที่มีผลจากกระบวนการทำผงตาลแสดงดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.1 คุณค่าทางโภชนาการของเนื้อตาลและผงตาล

ตัวอย่าง	คุณค่าทางโภชนาการ (ร้อยละ)					
	โปรตีน	เถ้า	ไขมัน	ความชื้น	เยื่อใย	คาร์โบไฮเดรต
เนื้อตาลสุก	1.24 ± 0.10^{b}	0.55 ± 0.01^{ns}	0.49 ± 0.08^{ns}	92.45 ± 0.23^{a}	2.73 ± 0.11^{a}	2.53 ± 0.22^{b}
ผงตาล	7.09 ± 0.09^{a}	0.54 ± 0.01^{ns}	0.47 ± 0.21^{ns}	5.84 ± 0.35^{b}	0.58 ± 0.14^{b}	85.47 ± 0.33^{a}

หมายเหตุ อักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกันตามแนวตั้งหมายถึงค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95
ns คือ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

จากตารางที่ 4.1 พบว่า เนื้อตาลสุกมีปริมาณความชื้น และเยื่อใยมากกว่าผงตาลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) เนื่องจากเนื้อตาลสุกมีเยื่อใยสูงเมื่อนำเนื้อตาลสุกมาทำแห้งแบบพ่นฝอย จะต้องมีการเตรียมวัตถุดิบก่อนการทำแห้งแบบพ่นฝอย ซึ่งจะส่งผลทำให้มีปริมาณเยื่อใยน้อยลง ส่วนปริมาณความชื้นสูญเสียไประหว่างกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอย เนื่องจากกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอยนั้นใช้หลักการทำให้อาหารเหลวเป็นละอองฝอย สัมผัสกับกระแสลมร้อนภายในห้องอบแห้ง จึงทำให้สามารถระเหยน้ำออกไปได้มาก ในระยะเวลาอันสั้น สำหรับปริมาณคาร์โบไฮเดรตและโปรตีนของผงตาลมีค่ามากกว่าเนื้อตาลสุกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) เนื่องมาจากการทำแห้งแบบพ่นฝอยนั้นได้มีการใช้แป้งข้าวเจ้าเป็นตัวพา (carrier) ซึ่งแป้งข้าวเจ้ามีปริมาณคาร์โบไฮเดรตสูงถึงร้อยละ 80.1 และมีโปรตีนร้อยละ 6 (วลัยและคณะ, 2547) จึงทำให้ปริมาณคาร์โบไฮเดรตและโปรตีนของผงตาลมีปริมาณมากกว่า

ปริมาณคาร์โบไฮเดรตของเนื้อตาลสุก เมื่อใช้แป้งข้าวเจ้าเป็นตัวพานั้น เพื่อความเหมาะสมสำหรับนำผงตาลไปประยุกต์ใช้ในการทำขนมตาลต่อไปได้ เช่นเดียวกับการศึกษาของนฤมล (2533) ที่นำเนื้อตาลสุกผงไปใช้ในการทำขนมไทยบางชนิดได้ส่วนปริมาณเถ้าและไขมันของเนื้อตาลสุกและผงตาลนั้น ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ตารางที่ 4.2 ผลของกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอยต่อกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระของผงตาล

ตัวอย่าง	ปริมาณฟีนอลิก (มิลลิกรัม GA/100 กรัม)	FRAP (A_{700})	เบต้าแคโรทีน (มิลลิกรัม/100 กรัม)
เนื้อตาลสุก	29.87 ± 0.27^{a}	1.25 ± 0.00^{a}	0.29 ± 0.00^{a}
น้ำสกัดเนื้อตาลสุก	4.69 ± 0.31^{c}	0.25 ± 0.04^{c}	0.02 ± 0.00^{c}
ผงตาล	25.56 ± 0.07^{b}	0.36 ± 0.01^{b}	0.10 ± 0.01^{b}

หมายเหตุ อักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกันตามแนวตั้ง หมายถึง ค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

จากตารางที่ 4.2 พบว่า กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระของเนื้อตาลสุก น้ำสกัดเนื้อตาลสุก และผงตาล มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) โดยเนื้อตาลสุกมีค่าปริมาณฟีนอลิก ค่า FRAP และปริมาณเบต้าแคโรทีนมากที่สุด เนื่องจากเนื้อตาลสุกนั้นไม่ได้ผ่านกระบวนการแปรรูป เป็นวัตถุดิบจากธรรมชาติยังคงความสดใหม่ ทำให้มีปริมาณของสารต้านอนุมูลอิสระมากกว่าน้ำสกัดที่ผ่านกระบวนการสกัด และผงตาลที่ผ่านกระบวนการให้ความร้อนโดยการทำแห้งแบบพ่นฝอย จึงทำให้มีปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระน้อยกว่าเนื้อตาลสุกสด แต่อย่างไรก็ตามพบว่า ปริมาณฟีนอลิกของผงตาลมีค่าน้อยกว่าเนื้อตาลสุกเล็กน้อย (25.56 และ 29.87 มิลลิกรัม GA/100 กรัมตามลำดับ) ซึ่งสามารถจะพัฒนาผงตาลสุกจากการทำแห้งแบบพ่นฝอยในการผลิตเป็นแป้งสำเร็จรูปในการทำขนมตาลในอุตสาหกรรมขนาดเล็ก

4.2 ผลการพัฒนาแป้งขนมตาลสำเร็จรูป

จากการศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างผงตาล แป้งข้าวเจ้า น้ำตาลทราย เกลือ กะทิ เกลือป่นและผงฟู โดยมีสูตรขนมตาลที่ใช้ในการศึกษาทั้งหมด 4 สูตรจากนั้นนำแป้งที่ผสมตามอัตราส่วนทั้ง 4 สูตร มาทำการวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการ คุณสมบัติทางกายภาพและกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระได้ผลดังตารางที่ 4.3-4.6 จากตารางที่ 4.3 พบว่า คุณค่าทางโภชนาการของแป้งขนมตาลสำเร็จรูป (แป้งแห้ง) มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p\leq0.05$) โดยปริมาณโปรตีน เถ้า ไขมันและคาร์โบไฮเดรตของแป้งขนมตาลสำเร็จรูปทั้ง 3 สูตร (สูตรที่ 2, 3 และ 4) มีปริมาณมากกว่าสูตรควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 อาจเป็นเพราะปริมาณของสัดส่วนแป้งข้าวเจ้าในแต่ละส่วนผสมของสูตรมีปริมาณไม่เท่ากัน และการใช้ผงตาลทดแทนการใช้เนื้อตาลสุกในแป้งขนมตาลสำเร็จรูปมีปริมาณแตกต่าง

กัน ปริมาณของโปรตีนและคาร์โบไฮเดรตจึงไม่เท่ากัน โดยปริมาณโปรตีนของแป้งสูตรที่ 2 ที่มีอัตราส่วนของแป้งข้าวเจ้ากับผงตาล 7:3 ซึ่งมีปริมาณของแป้งข้าวเจ้ามากที่สุด ตามมาด้วยแป้งขนมตาลสำเร็จรูปสูตรที่ 3 และ 4 ตามลำดับ ส่วนปริมาณเถ้าและไขมันของแป้งสำเร็จรูปนั้นมากกว่าสูตรควบคุม ทั้งนี้เนื่องมาจากแป้งสำเร็จรูปใช้กะทิผงแทนน้ำกะทิในสูตรควบคุมในส่วนของปริมาณความชื้นนั้นสูตรควบคุมมีปริมาณความชื้นสูงสุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีปริมาณความชื้นร้อยละ 34.79 เนื่องจากสูตรควบคุมใช้เนื้อตาลสุกที่มีปริมาณความชื้นสูงถึงร้อยละ 92.45 ส่วนสูตรแป้งขนมตาลสำเร็จรูปสูตรที่ 2-4 ใช้ผงตาลที่ได้จากกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอยโดยผงตาลที่ได้มีปริมาณความชื้นต่ำเพียงร้อยละ 5.84

ตารางที่ 4.3 คุณค่าทางโภชนาการของแป้งขนมตาล

ตัวอย่าง	คุณค่าทางโภชนาการ (ร้อยละ)					
	โปรตีน	เถ้า	ไขมัน	ความชื้น	เยื่อใย	คาร์โบไฮเดรต
สูตร 1 (ควบคุม)	3.14 ± 0.10^{c}	0.81 ± 0.00^{b}	3.45 ± 0.51^{c}	34.79 ± 0.10^{a}	1.41 ± 0.11^{ns}	56.40 ± 0.71^{c}
สูตร 2	4.70 ± 0.21^{a}	1.35 ± 0.22^{a}	6.62 ± 0.15^{b}	4.68 ± 0.15^{b}	0.81 ± 0.28^{ns}	81.85 ± 0.09^{b}
สูตร 3	3.90 ± 0.02^{b}	1.20 ± 0.04^{a}	8.14 ± 0.67^{a}	3.95 ± 0.14^{c}	0.70 ± 0.24^{ns}	82.10 ± 0.72^{b}
สูตร 4	3.96 ± 0.02^{b}	1.23 ± 0.02^{a}	6.59 ± 0.19^{b}	3.63 ± 0.06^{d}	0.91 ± 0.32^{ns}	83.68 ± 0.72^{a}

หมายเหตุ อักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกันตามแนวตั้งหมายถึงค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95
ns คือ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ตารางที่ 4.4 สารต้านอนุมูลอิสระและกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระของแป้งขนมตาล

ตัวอย่าง	ปริมาณฟีนอลิก (มิลลิกรัม GA/100 กรัม)	FRAP (A_{700})
สูตร 1 (ควบคุม)	37.65 ± 0.35^{a}	0.65 ± 0.01^{a}
สูตร 2	26.27 ± 2.04^{b}	0.53 ± 0.03^{b}
สูตร 3	36.63 ± 0.45^{a}	0.68 ± 0.01^{a}
สูตร 4	35.66 ± 1.01^{a}	0.67 ± 0.02^{a}

หมายเหตุ อักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกันตามแนวตั้งหมายถึงค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

จากตารางที่ 4.4 พบว่าปริมาณของสารต้านอนุมูลอิสระและกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระของแป้งขนมตาล (แป้งแห้ง) สูตรที่ 2 มีค่าน้อยที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

เนื่องจากสูตรที่ 2 ใช้อัตราส่วนของผงตาลน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับสูตรที่ 3 และ 4 และเนื่องจากเนื้อตาลสุกมีกิจกรรมต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าผงตาลตามผลการทดลองที่ได้จากตอนที่ 1 ตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.5 ค่าสี L*,a*,b* ของแป้งขนมตาล

ตัวอย่าง	L*	a*	b*
สูตร 1 (ควบคุม)	67.00 ± 2.23^{b}	3.22 ± 1.11^{a}	25.18 ± 2.67^{ab}
สูตร 2	65.90 ± 4.93^{b}	-0.90 ± 0.27^{bc}	22.28 ± 2.30^{b}
สูตร 3	67.41 ± 0.55^{b}	-1.66 ± 0.56^{c}	17.97 ± 1.72^{c}
สูตร 4	74.58 ± 2.09^{a}	0.03 ± 0.46^{b}	26.69 ± 1.60^{a}

หมายเหตุ อักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกันตามแนวตั้งหมายถึงค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

จากตารางที่ 4.5 พบว่า ค่าสี L* (ค่าความสว่าง), a* (ค่าสีเหลือง-น้ำเงิน), b* (ค่าสีแดง-เขียว) ของแป้งขนมตาล (แป้งเปียก) มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยแป้งขนมตาลสูตรที่ 4 มีค่า L* และ b* มากที่สุด คือ 74.58 และ 26.69 ตามลำดับ และสูตรควบคุมมีค่า a* มากที่สุด คือ 3.22 เนื่องจากอัตราส่วนของแป้งข้าวเจ้า เนื้อตาลสุก และผงตาลมีปริมาณที่แตกต่างกัน และสูตรควบคุมใช้เนื้อตาลสุกสด สีที่ได้จึงมีค่า a* (ค่าสีเหลือง-น้ำเงิน) มากกว่าสูตรอื่นที่ใช้ผงตาล โดยสูตรที่ 4 มีปริมาณของผงตาลมากที่สุด ทำให้แป้งที่ได้มีความสว่างมากที่สุด

ตารางที่ 4.6 ค่า Water Activity (a_w) ของแป้งขนมตาล

ตัวอย่าง	ค่า Water Activity (a_w)
สูตรที่ 1 (ควบคุม)	ND
สูตรที่ 2	0.37 ± 0.00^{c}
สูตรที่ 3	0.33 ± 0.01^{b}
สูตรที่ 4	0.31 ± 0.00^{a}

หมายเหตุ อักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกันตามแนวตั้งหมายถึงค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95
ND คือ ไม่สามารถวิเคราะห์ได้ โดยเครื่องวัดปริมาณน้ำอิสระ ยี่ห้อ Aqualab 4TEV

จากตารางที่ 4.6 พบว่า ค่า Water Activity (a_w) ของแป้งขนมตาล (แป้งแห้ง) มีความความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยแป้งสำเร็จรูปทั้ง 3 สูตร คือ สูตรที่ 2-4 มีค่า Water Activity (a_w) อยู่ในช่วงระหว่าง 0.31 – 0.37 ซึ่งจะมีผลทำให้การเก็บรักษาแป้งขนมตาลสำเร็จรูปสามารถเก็บรักษาได้นาน เนื่องจากจุลินทรีย์ไม่สามารถใช้ปริมาณน้ำอิสระที่อยู่ในขนมตาลใน

การเจริญเติบโตหรือทำให้แป้งขนมตาลสำเร็จรูปเสื่อมคุณภาพได้ ส่วนสูตรที่ 1 สูตรควบคุมนั้น เนื่องจากเป็นแป้งผสมจากเนื้อตาลสุกสดทำให้มีลักษณะเป็นของเหลว จึงไม่สามารถวิเคราะห์ค่า Water Activity (a_w) ได้

4.3 ผลการทดสอบคุณสมบัติของขนมตาลจากแป้งขนมตาลสำเร็จรูป

จากการวิเคราะห์คุณภาพของขนมตาลด้านประสาทสัมผัส ทำการทดสอบคุณสมบัติของขนมตาลจากแป้งขนมตาลสำเร็จรูป และการนำขนมตาลทั้ง 4 สูตร (ภาพที่ 4.1) มาทำการวิเคราะห์คุณสมบัติในด้านต่างๆ ได้ผลดังตารางที่ 4.7-4.11

ภาพที่ 4.6 ขนมตาลสูตรที่ 1, 2, 3 และ 4 (เรียงจากซ้ายไปขวา)

ตารางที่ 4.7 คุณค่าทางโภชนาการของขนมตาลจากแป้งขนมตาลสำเร็จรูปเทียบกับสูตรควบคุม

ตัวอย่าง	คุณค่าทางโภชนาการ (ร้อยละ)					
	โปรตีน	เถ้า	ไขมัน	ความชื้น	เยื่อใย	คาร์โบไฮเดรต
สูตร 1 (ควบคุม)	2.76±0.09^{ns}	0.67±0.02^{c}	5.59±0.69^{a}	46.75±0.29^{a}	0.72±0.01^{a}	43.52±0.57^{b}
สูตร 2	2.86±0.08^{ns}	0.80±0.01^{b}	0.86±0.01^{b}	39.81±0.36^{b}	0.39±0.08^{b}	55.28±0.40^{a}
สูตร 3	2.90±0.04^{ns}	0.88±0.00^{a}	1.26±0.04^{b}	40.15±0.19^{b}	0.56±0.05^{a}	54.26±0.27^{a}
สูตร 4	2.78±0.04^{ns}	0.93±0.05^{a}	1.05±0.03^{b}	40.57±0.73^{b}	0.32±0.11^{b}	54.35±0.77^{a}

หมายเหตุ อักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกันตามแนวตั้งหมายถึงค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95
ns คือ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

จากตารางที่ 4.7 พบว่าปริมาณเถ้าและคาร์โบไฮเดรตของขนมตาลจากแป้งขนมตาลสำเร็จรูปและสูตรควบคุมมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยขนมตาล

จากแป้งขนมตาลสำเร็จรูปมีปริมาณเถ้าและคาร์โบไฮเดรตมากกว่าสูตรควบคุมโดยปริมาณของเถ้าและคาร์โบไฮเดรต คือร้อยละ 0.80-0.93 และ 54.26-55.28 ตามลำดับ เนื่องจากสูตรควบคุมใช้เนื้อตาลสุกในแป้งขนมตาล ในขณะที่สูตรที่ 2-4 ใช้ผงตาลและกะทิผงในแป้งขนมตาล ในส่วนของไขมัน ความชื้น และเยื่อใยของขนมตาลจากแป้งขนมตาลสำเร็จรูปและสูตรควบคุมมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยขนมตาลจากแป้งขนมตาลสำเร็จรูปมีปริมาณน้อยกว่าสูตรควบคุมโดยปริมาณของไขมันและความชื้นของสูตรควบคุม คือ 5.59, 46.75 และ 0.72 ตามลำดับ ส่วนโปรตีนของทั้ง 4 สูตร ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ตารางที่ 4.8 กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระของขนมตาลจากแป้งขนมตาลสำเร็จรูป

ตัวอย่าง	ปริมาณฟีนอลิก (มิลลิกรัม GA/100 กรัม)	FRAP (A_{700})
ขนมตาลสูตร 1 (ควบคุม)	20.42 ± 0.39^{a}	0.67 ± 0.02^{a}
ขนมตาลสูตร 2	15.04 ± 0.34^{c}	0.22 ± 0.00^{b}
ขนมตาลสูตร 3	16.04 ± 0.11^{b}	0.20 ± 0.03^{b}
ขนมตาลสูตร 4	15.80 ± 0.20^{b}	0.20 ± 0.02^{b}

หมายเหตุ อักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกันตามแนวตั้งหมายถึงค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

จากตารางที่ 4.8 พบว่า สารอนุมูลอิสระและกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระของขนมตาลจากแป้งขนมตาลสำเร็จรูป มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยปริมาณฟีนอลิก และค่า FRAP ในขนมตาลจากสูตรควบคุมมากกว่าสูตรแป้งขนมตาลสำเร็จรูปทั้ง 3 สูตร (สูตรที่ 2-4) คือ 20.42 มิลลิกรัม GA/100 กรัม และ 0.67 ตามลำดับ เนื่องจากสารอนุมูลอิสระและกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระยังคงมีปริมาณมากจากการใช้เนื้อตาลสุกเป็นส่วนผสมในการทำขนมตาลของสูตรควบคุม ซึ่งแตกต่างจากขนมตาลจากแป้งขนมตาลสำเร็จรูป สูตรที่ 2-4 ที่ใช้ผงตาลที่ผ่านกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอย ทำให้มีสารอนุมูลอิสระและกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระที่น้อยกว่า แต่การใช้ผงตาลก็ยังคงรักษาปริมาณสารอนุมูลอิสระและกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระดังกล่าวไว้ได้จากกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอย

จากตารางที่ 4.9 พบว่าค่าสี L* (ค่าความสว่าง), a* (ค่าสีเหลือง-น้ำเงิน), b* (ค่าสีแดง-เขียว)ของขนมตาลจากแป้งขนมตาลสำเร็จรูปมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยขนมตาลจากแป้งขนมตาลสำเร็จรูปสูตรที่ 3 มีค่า L* มากที่สุด และสูตรควบคุมมีค่า a* มากที่สุด เนื่องจากอัตราส่วนของแป้งข้าวเจ้า เนื้อตาลสุก และผงตาลมีปริมาณที่แตกต่างกัน แต่พบว่าค่าสี L* (ค่าความสว่าง), a* (ค่าสีเหลือง-น้ำเงิน), b* (ค่าสีแดง-เขียว) ของขนมตาลจากแป้งขนมตาลสำเร็จรูปมีค่าใกล้เคียงกันอยู่ในช่วง 56.16 ถึง 68.22, -1.56 ถึง 0.19 และ 31.12 ถึง 34.91 ตามลำดับ เมื่อสังเกตโดยสายตา พบว่าขนมตาลจากเนื้อตาลสุกมีสีเหลืองกว่าขนมตาลจากแป้งขนมตาลสำเร็จรูปเพียงเล็กน้อย

ตารางที่ 4.9 ค่าสี L*,a*,b* ของขนมตาลจากแป้งขนมตาลสำเร็จรูป

ตัวอย่าง	L*	a*	b*
ขนมตาลสูตร 1 (ควบคุม)	45.63±11.13^{b}	2.62±1.10^{a}	21.82±1.91^{b}
ขนมตาลสูตร 2	62.71±10.93^{ab}	-1.18±1.28^{b}	34.91±6.49^{a}
ขนมตาลสูตร 3	68.22±4.45^{a}	-1.56±0.46^{b}	32.24±3.40^{a}
ขนมตาลสูตร 4	56.16±17.13^{ab}	0.19±1.96^{b}	31.12±3.75^{a}

หมายเหตุ อักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกันตามแนวตั้งหมายถึงค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ตารางที่ 4.10 การวัดเนื้อสัมผัสของขนมตาลจากแป้งขนมตาลสำเร็จรูป

ตัวอย่าง	ความแข็ง (นิวตัน)	แรงกด (นิวตัน.มิลลิเมตร)
ขนมตาลสูตร 1 (ควบคุม)	23.98±4.71^{a}	136.45±22.15^{a}
ขนมตาลสูตร 2	16.25±4.10^{b}	136.34±16.88^{a}
ขนมตาลสูตร 3	16.47±3.43^{b}	136.94±14.66^{a}
ขนมตาลสูตร 4	14.84±4.04^{b}	110.14±14.39^{b}

หมายเหตุ อักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกันตามแนวตั้งหมายถึงค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

จากตารางที่ 4.10 พบว่า ค่าความต้านแรงกดของขนมตาลจากแป้งขนมตาลสำเร็จรูป นั้นมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยค่าความแข็ง และ แรงของขนมตาลสูตรที่ 1 มีค่าความแข็งมากที่สุดคือ 23.98 นิวตัน ส่วนขนมตาลสูตรที่ 4 มีค่าแรงกด และความแข็งน้อยที่สุดคือ 14.84 N และ 110.14 นิวตัน.มิลลิเมตร อาจเป็นเพราะมีปริมาณแป้งข้าวเจ้าน้อยกว่าสูตรอื่นๆ (ตารางที่ 3.1) ทำให้โครงสร้างของขนมตาลมีความแตกต่างกันโดย,มาจากอัตราส่วนของแป้งข้าวเจ้าที่ใช้ในการทำขนมตาล รวมทั้งปริมาณผงตาลที่มีมากกว่าสูตรอื่นๆ ซึ่งผงตาลที่ได้จากการทำแห้งแบบพ่นฝอยนั้น เป็นผงที่ละเอียดและเบา จึงทำให้ผลิตภัณฑ์ขนมตาลที่ได้จากสูตรที่ 4 มีค่าแรงกด และความแข็งน้อยที่สุด

จากตารางที่ 4.11 พบว่าคุณภาพทางประสาทสัมผัสของขนมตาลในด้านลักษณะปรากฏ กลิ่น เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p\leq0.05$)โดยขนมตาลสูตรที่ 4 นั้นผู้บริโภคให้การยอมรับโดยให้คะแนนมากที่สุด เนื่องจากการใช้ผงตาลในการทำขนมตาลที่ใช้ในอัตราส่วนของสูตรที่มีปริมาณมากที่สุด โดยมีสัดส่วนที่เหมาะสมกับอัตราส่วนของแป้งข้าวเจ้า ส่วนคุณภาพทางประสาทสัมผัสของขนมตาลในด้านสีและรสชาติไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p\leq0.05$)

ตารางที่ 4.11 คุณภาพทางประสารทสัมผัสของขนมตาลจากแป้งขนมตาลสำเร็จรูป

คุณลักษณะทางประสาทสัมผัส	ขนมตาล			
	สูตร 1 (ควบคุม)	สูตร 2	สูตร 3	สูตร 4
ลักษณะปรากฏ	6.53±1.48^{b}	7.07±1.62^{ab}	6.40±1.71^{b}	7.53±1.22^{a}
สี	7.23±1.40^{ns}	7.30±1.62^{ns}	7.03±1.47^{ns}	7.63±1.27^{ns}
กลิ่น	6.43±2.04^{ab}	6.90±1.60^{ab}	6.23±1.72^{b}	7.23±1.67^{a}
รสชาติ	6.77±1.81^{ns}	7.00±1.64^{ns}	6.27±1.87^{ns}	7.10±1.69^{ns}
เนื้อสัมผัส	6.47±1.78^{ab}	6.63±2.02^{ab}	*6.10±2.04*^{b}	7.33±1.58^{a}
ความชอบโดยรวม	6.77±1.69^{b}	6.73±1.55^{b}	6.50±1.59^{b}	7.70±1.05^{a}

หมายเหตุ อักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกันตามแนวนอนหมายถึงค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ns คือ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

บทที่ 5
สรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการทำผงตาลโดยใช้เทคนิคการทำแห้งแบบพ่นฝอยพบว่า ผงตาลมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตและโปรตีนมากกว่าเนื้อตาลสุก ($p \leq 0.05$) ส่วนปริมาณเถ้าและไขมันของเนื้อตาลสุกและผงตาลไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 และพบว่าเนื้อตาลสุกมีปริมาณฟีนอลิก ค่า FRAP และเบต้าแคโรทีนมากที่สุด คือ 29.87 มิลลิกรัม GA/100 กรัม, 1.25 และ 0.92 มิลลิกรัม/100 กรัม ตามลำดับ โดยปริมาณฟีนอลิกของผงตาลมีค่าใกล้เคียงกับเนื้อตาลสุก (25.56 มิลลิกรัม GA/100 กรัม)

จากการพัฒนาแป้งขนมตาลสำเร็จรูปทั้งหมด 4 สูตร โดยสูตรที่ 1 เป็นสูตรควบคุมใช้เนื้อตาลสุกในสูตร ส่วนสูตรที่ 2-4 เป็นการพัฒนาแป้งขนมตาลสำเร็จรูปโดยใช้ผงตาลจากการทำแห้งแบบพ่นฝอยทดแทนการใช้เนื้อตาลสุก โดยใช้อัตราส่วนของแป้งข้าวเจ้า : ผงตาลเป็น 7:3 ,6:4 และ 5:5 ตามลำดับ พบว่า ปริมาณโปรตีน เถ้า ไขมัน และคาร์โบไฮเดรตของแป้งขนมตาลสำเร็จรูปมากกว่าสูตรควบคุม ส่วนปริมาณความชื้นของสูตรควบคุมมีมากที่สุด (ร้อยละ 34.79) ปริมาณของสารต้านอนุมูลอิสระและกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระของแป้งขนมตาลสูตรที่ 2 มีปริมาณน้อยที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 เนื่องจากใช้ผงตาลน้อยที่สุด ค่า Water Activity ของแป้งขนมตาลสำเร็จรูปอยู่ในช่วง 0.31 – 0.37 ซึ่งจะมีผลทำให้การเก็บรักษาแป้งขนมตาลสำเร็จรูปสามารถเก็บรักษาได้นาน

จากการทดสอบคุณสมบัติของขนมตาลจากแป้งขนมตาลสำเร็จรูป พบว่า ปริมาณเถ้าและคาร์โบไฮเดรตของขนมตาลจากแป้งขนมตาลสำเร็จรูปและสูตรควบคุมมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยขนมตาลจากแป้งขนมตาลสำเร็จรูปมีปริมาณเถ้าและคาร์โบไฮเดรตมากกว่าสูตรควบคุม ในส่วนของไขมัน ความชื้น และเยื่อใยของขนมตาลจากแป้งขนมตาลสำเร็จรูปมีปริมาณน้อยกว่าสูตรควบคุม ($p \leq 0.05$) ส่วนปริมาณโปรตีนของทั้ง 4 สูตร ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 สารอนุมูลอิสระและกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระของขนมตาลจากแป้งขนมตาลจากสูตรควบคุมมากกว่าสูตรแป้งขนมตาลสำเร็จรูปทั้ง 3 สูตร (สูตรที่ 2-4) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ในส่วนของการทดสอบทางประสาทสัมผัสของขนมตาล พบว่า ผู้ทดสอบชิมให้คะแนนด้านลักษณปรากฏ กลิ่น เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมของขนมตาลสูตรที่ 4 มากที่สุด

ดังนั้นแป้งขนมตาลสำเร็จรูปที่มีคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพ กิจกรรมการต้านนุมูลอิสระ และคุณภาพทางประสาทสัมผัสที่เหมาะสมที่สุดคือ แป้งขนมตาลสำเร็จรูปสูตรที่ 4 ใช้แป้งข้าวเจ้าร้อยละ 14 และผงตาลจากการทำแห้งแบบพ่นฝอยร้อยละ 14 มีค่า a_w ต่ำ ซึ่งแสดงถึงแป้งขนมตาลสำเร็จรูปมีอายุในการเก็บรักษาได้นาน รวมทั้งใช้เวลาในการเตรียมและการทำขนมตาล เพียง 1.30 ชั่วโมง เมื่อเทียบกับการทำขนมตาลแบบดั้งเดิมที่ใช้ระยะเวลานานถึง 6.30 ชั่วโมง เพราะต้องมีการยี สกัดเนื้อลูกตาล และ

หมักแป้งขนมตาล ดังนั้นจึงเหมาะสำหรับการแปรรูปขนมตาล ในระดับครัวเรือนหรืออุตสาหกรรมขนาดเล็กที่ต้องการผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพ และอาจมีการพัฒนาเพื่อการส่งออกต่อไปได้

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. เมื่อต้องการนำเนื้อลูกตาลสุกมาใช้ควรนำมาทำให้คืนตัวที่อุณหภูมิห้องก่อน โดยวางเนื้อตาลสุกไว้ในภาชนะตั้งไว้ภายในห้องจนกว่าเนื้อตาลสุกจะคืนรูป

2. วัตถุดิบ (น้ำสกัด) ก่อนเข้ากระบวนทำแห้งแบบพ่นฝอยควรทำการกวนผสมตัวน้ำสกัดตลอดเวลาเพื่อทำให้วัตถุดิบมีความสม่ำเสมอ

3. อาจมีการประยุกต์ใช้ผงตาลที่ได้จากการทำแห้งแบบพ่นฝอยนี้ในขนมหรืออาหารประเภทอื่นๆ ได้

4. ควรมีการคำนึงถึงต้นทุนในการผลิต หากผลิตในปริมาณมากจะทำให้ต้นทุนต่ำลง

5. หากมีการศึกษาต่อไป ควรทำการศึกษาอายุการเก็บรักษาของแป้งขนมตาลสำเร็จรูป

เอกสารอ้างอิง

กองโภชนาการ กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข, 2530. คุณค่าทางอาหารในส่วนที่กินได้

เกศรินทร์ เพ็ชรรัตน์, ดวงรัตน์ แซ่ตั้ง, ดวงกมล ตั้งสถิตพร และนพพร สกุลยืนยงสุข, 2555. การพัฒนาลูกอมสมุนไพรไทยพื้นบ้าน : ลดการอักเสบและดับกลิ่นปาก (ออนไลน์) แหล่งที่มา :http://www.siamchemi.com/น้ำตาล. 26 มกราคม 2561

ธีรนุช ฉายศิริโชติ* และ จันทร์จนา ศิริพันธ์วัฒนา โรงเรียนการเรือน. 2557.การพัฒนามัฟฟินเนื้อตาลสุกผสมลูกตาล มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนดุสิต

นฤมล เหลืองนภา. 2533. การผลิตและการใช้เนื้อตาลสุกผงในขนมไทยบางชนิด. วิทยานิพนธ์ปริญญาตรี. สาขาคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

นิรนาม. 2561. ผงฟู. (ออนไลน์) แหล่งที่มา:http://glasswarechemical.com/chemicals/ผงฟู-sodium-bicarbonate/. 26 มกราคม 2561

พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิธิยา รัตนาปนนท์. 2561. spray dryer /เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย (ออนไลน์) แหล่งที่มา: http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/0971/spray-drier-เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย. 26 มกราคม 2561

พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิธิยา รัตนาปนนท์. 2561. หลักการของเครื่อง spray dryer (ออนไลน์) แหล่งที่มา: http://www.cdipthailand.com/th/innovation-thai/article-thai/206-spray-dryer.html. 26 มกราคม 2561

มนัสนันท์ บุญทราพงษ์. 2544. การพัฒนาแป้งข้าวเจ้าผสมและส่วนผสมสำเร็จรูปในการผลิตขนมตาลเพื่ออุตสาหกรรมขนาดเล็ก.วิทยานิพนธ์ปริญญาดุษฎีบันฑิต สาขาพัฒนาผลิตภัณฑ์ อุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

มหาวิทยาลัยมหาสารคาม. 2561. การทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและวิธีวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก. การทดสอบฤทธิ์ทางชีวภาพและปริมาณสาระสำคัญของสมุนไพรด้วยการเกิดปฏิกิริยาทางเคมี. [Online] Available http://kpi.msu.ac.th/

วลัย หุตะโกวิท ,เกศรินทร์ มงคลสุวรรณ และสุพรรณิการ์ โกสุม.2547.ข้าวเหนียวแก้วแช่แข็ง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร วิทยาเขตโชติเวช

สถาบันอาหาร. 2552. แนวโน้มอุตสาหกรรมอาหารพร้อมปรุง-พร้อมทานในตลาดโลกกับอนาคตที่สดใส. วารสารอุตสาหกรรมสาร ฉบับที่ 1 :5-8.

ไอลดา ปิงสุเสน. 2559. การผลิตสีผสมอาหารจากแคโรทีนอยด์ในเนื้อตาลสุก.วิทยานิพนธ์ปริญญาดุษฎีบัณฑิตสาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร มหาวิทยาลัยศิลปากร

Bhebhe M. B., Chipurura M. Muchuweti. 2015. Determination and comparison of phenolic compound content and antioxidant activity of selected local Zimbabwean herbal tea with exotic *Aspalathus linearis.* South African journal of Botany. 100 : 213-218.

Hou. W.C., Lin, R.D., Cheng, K.T., Hung, Y.T., Cho, C.H., Chen, C.H., Hwang, S.Y., Lee, M.H. 2003. Freeradical – scavenging activity of Taiwanese native plant. Phytomedicine. 10: Iss. 2/3 ; 170.

Lim, Y. Y., Lim, T. T. and Tee, J. J. 2007. Antioxidant properties of several tropical fruits: A comparative study. Food Chemistry 103, 1003-1008

Wu, L.-C., Hsu, H.-W., Chen, Y.-C., Chiu, C.-c., Lin, Y.-I. and Ho, J.-A. A. 2006. Antioxident and antiproliferative activities of red pitaya. *Food Chemistry,* 95, 319-327.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก - แบบทดสอบทางประสาทสัมผัส

แบบทดสอบทางประสาทสัมผัส
ผลิตภัณฑ์ขนมตาล

ชื่อผู้ทดสอบ ..... วันที่ .....

คำแนะนำ : กรุณาทดสอบตัวอย่าง แล้วให้คะแนนความชอบในแต่ละคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ โดยกำหนดให้

1 = ไม่ชอบมากที่สุด
2 = ไม่ชอบมาก
3 = ไม่ชอบปานกลาง
4 = ไม่ชอบเล็กน้อย
5 = เฉยๆ
6 = ชอบเล็กน้อย
7 = ชอบปานกลาง
8 = ชอบมาก
9 = ชอบมากที่สุด

คุณลักษณะ	**รหัสผลิตภัณฑ์ขนมตาล**			
	457	**111**	**541**	**210**
ลักษณะปรากฏ				
สี				
กลิ่น				
รสชาติ				
เนื้อสัมผัส				
ความชอบโดยรวม				

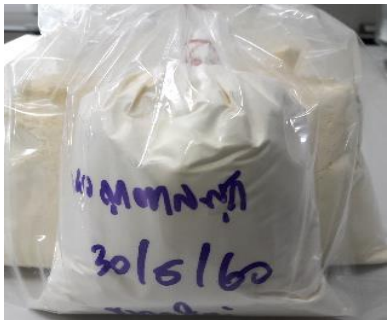
ข้อเสนอแนะ

.....

.....

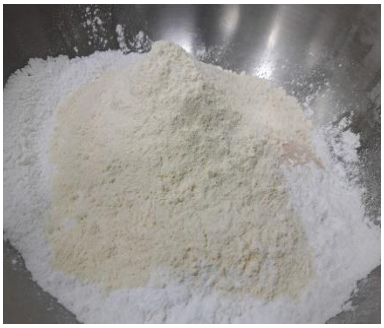
ภาคผนวก ข - ภาพการดำเนินงานวิจัย

ภาคผนวกที่ ข.1 วัตถุดิบหลักที่ใช้ในการทำขนมตาล



ภาคผนวกที่ ข.2 ขั้นตอนการทำผงตาลสุกด้วยวิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอย

ภาคผนวกที่ ข.3 ขั้นตอนการทำขนมตาล



ภาคผนวกที่ ข.4 บรรจุภัณฑ์ของแป้งขนมตาลสำเร็จรูป

ภาคผนวก ค - แบบสรุปคุณลักษณะและการใช้ประโยชน์จากการวิจัย

ชื่อโครงการ

ผลของผงเนื้อตาลสุกที่ทำแห้งด้วยเทคนิคการทำแห้งแบบพ่นฝอยต่อคุณภาพของขนมตาล

คณะผู้วิจัย

หัวหน้าโครงการ ดร. วิจิตรา เหลียวตระกูล

ผู้ร่วมโครงการ นางสาวขนิษฐา กรมศรี และนายปริชญ์ นาควงษ์

หน่วยงานที่สังกัด สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร

คณะเทคโนโลยีการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ

ประเภทของงบประมาณ

- ○ งบประมาณผลประโยชน์
- ○ งบประมาณแผ่นดิน
- ✓ งบอื่น ๆ ระบุ.....กองทุนส่งเสริมงานวิจัย.....

ปีที่รับการสนับสนุนงบประมาณ 2561 จำนวนเงิน 19,800 บาท

ระยะเวลาดำเนินการวิจัยเริ่มเดือนตุลาคม พ.ศ.2559 สิ้นสุดเดือนกันยายน พ.ศ.2560

คุณลักษณะและประโยชน์ที่ได้รับ :

องค์ความรู้ผลของปริมาณผงเนื้อตาลสุกที่ทำแห้งด้วยเทคนิคการทำแห้งแบบพ่นฝอยต่อคุณภาพทางกายภาพ เคมี และกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระของขนมตาล ที่สามารถนำไปต่อยอดในการพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์แป้งขนมตาลสำเร็จรูปโดยใช้เทคนิคการทำแห้งแบบพ่นฝอยในเชิงพาณิชย์ได้

กลุ่มเป้าหมาย : อาจารย์ นักวิชาการ นักศึกษา และผู้ประกอบการที่เกี่ยวข้อง

หากได้มีการนำไปใช้ประโยชน์ ท่านนำไปใช้ประโยชน์ในด้านใด

- ✓ ด้านวิชาการ : ต้นฉบับอยู่ระหว่างการพิจารณาเพื่อตีพิมพ์ในการประชุมวิชาการระดับชาติ Thailand Research Expo : Symposium 2018 เพื่อนำเสนอผลงาน ในงานมหกรรมงานวิจัยแห่งชาติ 2561 (Thailand Research Expo 2018) ในระหว่างวันที่ 9-13 สิงหาคม 2561 ณ โรงแรมเซ็นทาราแกรนด์ และบางกอกคอนเวนชันเซ็นเตอร์ เซ็นทรัลเวิลด์ กรุงเทพฯ
- ☐ ด้านบริการวิชาการและสังคม
- ✓ ด้านการเรียนการสอน : ในการเรียนการสอนในรายวิชาปัญหาพิเศษ
- ☐ ใช้ในการอุตสาหกรรม
- ☐ ใช้ในการพัฒนาประเทศ