อุตสาหกรรมเกษตร

สจล.

ใบรับรองปัญหาพิเศษ

เรื่อง

การดัดแปรแป้งมันสำปะหลังและแป้งข้าวเหนียวให้อยู่ในรูปสตาร์ชซิเตรทเพื่อใช้เป็นรีซิสแตนท์สตาร์ช

(Chemical Modification of Tapioca and Glutinous Rice Starches to Starch Citrate for being used as Resistant Starch)

โดย

นางสาววิรัชภรณ์ ภิงคะสาร รหัส 43040273

นางสาวศกลวรรณ จงสงวนดี รหัส 43040276

ได้รับพิจารณาเห็นชอบจาก

.....อาจารย์ที่ปรึกษาปัญหาพิเศษ

(รศ.ดร.วุฒิชัย นาครักษา)

โครงการคณะอุตสาหกรรมเกษตร

.....

(ผศ.ระติพร หาเรือนกิจ)

รักษาการคณบดีโครงการคณะอุตสาหกรรมเกษตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

19764

การดัดแปรแป้งมันสำปะหลังและแป้งข้าวเหนียวให้อยู่ในรูปสตาร์ชซิเตรทเพื่อใช้เป็นรีซิสแตนท์สตาร์ช

(Chemical Modification of Tapioca and Glutinous Rice Starches to Starch Citrate for being used as Resistant Starch)

T096704

จัดทำโดย

นางสาววิรัชภรณ์ ภิงคะสาร รหัส 43040273

นางสาวศกลวรรณ จงสงวนดี รหัส 43040276

รายงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตร์บัณฑิต

ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะเทคโนโลยีการเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2546

ปพ.
วิ689ก
2546

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 96704
วันเดือนปี.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นางสาววิรัชภรณ์ ภิงคะสาร , นางสาวศกลวรรณ จงสงวนดี 2546. การดัดแปรแป้งมันสำปะหลัง และแป้งข้าวเหนียวให้อยู่ในรูปสตาร์ชซิเตรทเพื่อใช้เป็นรีซิสแตนท์สตาร์ช (Chemical Modification of Tapioca and Glutinous Rice Starches to Starch Citrate for being used as Resistant Starch) ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร สาขาวิชาอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. อาจารย์ที่ปรึกษา : รศ.ดร. วุฒิชัย นาครักษา , 65 หน้า

บทคัดย่อ

จากการนำแป้งมันสำปะหลัง และแป้งข้าวเหนียวมาทำการดัดแปรให้เป็นสตาร์ชซิเตรทโดยใช้ไมโครเวฟเทคนิก เพื่อลดระยะเวลา และขั้นตอนในกระบวนการผลิตสตาร์ชซิเตรท โดยการนำแป้งมันสำปะหลัง และแป้งข้าวเหนียวชนิดละ 500 กรัม มาผสมกับสารละลายกรดซิตริกเข้มข้น 0 , 5 และ 10% (กรัม / 100กรัมสตาร์ช , น้ำหนักแห้ง) ในอัตราส่วน 1: 2 ที่ พีเอช4.5 แล้วนำแป้งที่ได้ไปปรับความชื้นให้มีความชื้นอยู่ระหว่าง 17- 20% ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 12 ชั่วโมง จากนั้นนำแป้งที่ได้มาบดให้มีขนาด < 0.315 มม. และนำไปให้ความร้อนด้วยอุโมงค์ไมโครเวฟโดยใช้เวลา 5 , 10 และ 15 นาที จากผลการทดลองพบว่า สตาร์ชซิเตรทที่ผลิตได้จากแป้งมันสำปะหลังมีความชื้น 11 – 13 % กรดซิตริกที่เกาะเกี่ยวกับโมเลกุลสตาร์ชอยู่ระหว่าง 1.3 – 4.4 % ประสิทธิภาพในการเกิดปฏิกิริยาอยู่ระหว่าง 24.4 – 44.0 % และสตาร์ชซิเตรทที่ผลิตได้จากแป้งข้าวเหนียวมีความชื้น 10 – 12 % กรดซิตริกที่เกาะเกี่ยวกับโมเลกุลสตาร์ชอยู่ระหว่าง 3.3 – 4.5 % ประสิทธิภาพในการเกิดปฏิกิริยาอยู่ระหว่าง 38.2 – 85.0 % เมื่อวิเคราะห์ผลทางสถิติแบบแฟคทอเรียลพบว่า มีความแตกต่างทางสถิติ อันเนื่องมาจาก ความเข้มข้นของสารละลายกรดซิตริก ระยะเวลาของการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ และอันตรกิริยาระหว่างปัจจัย มีอิทธิพลต่อกรดซิตริกที่เกาะเกี่ยวกับโมเลกุลสตาร์ช และประสิทธิภาพในการเกิดปฏิกิริยาที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95 % จากนั้นทำการเลือกสตาร์ชซิเตรทที่ผลิตจากแป้งมันสำปะหลัง และแป้งข้าวเหนียวที่ระดับความเข้มข้นกรดซิตริก 10 % เวลาในการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟที่ระดับเวลา 10 และ 15 นาที เมื่อนำค่ากรดซิตริกที่เกาะเกี่ยวกับโมเลกุลสตาร์ชสูงสุดมาศึกษาปริมาณรีซิสแตนท์สตาร์ชโดยเปรียบเทียบกับแป้งมันสำปะหลังและแป้งข้าวเหนียวผ่านและไม่ผ่านกระบวนการให้ความร้อนด้วยคลื่นไมโครเวฟ ด้วยเอนไซม์ α-amylase (Termamyl 120 L type LS) ที่อุณหภูมิ 37.0±0.5 ^{0}C ปริมาณแคลเซียม ประมาณ0.0043โมลาร์ และพีเอช ประมาณ5.6 พบว่าแป้งผ่านความร้อนจะมีความเป็นรีซิสแตนท์สตาร์ชต่ำลง แต่สตาร์ชซิเตรทที่ผลิตจากแป้งมันสำปะหลังและแป้งข้าวเหนียวจะมีความเป็นรีซิสแตนท์สตาร์ชสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลายมือชื่อนักศึกษา

(รศ.ดร.วุฒิชัย นาครักษา)
อาจารย์ที่ปรึกษาปัญหาพิเศษ

วัน/เดือน/ปี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

การนำเสนอปัญหาพิเศษในหัวข้อเรื่องการดัดแปรแป้งมันสำปะหลังและแป้งข้าวเหนียวให้อยู่ในรูปสตาร์ชซิเตรทเพื่อใช้เป็นรีซิสแตนท์สตาร์ชนี้สำเร็จลงได้ด้วยดี ผู้จัดทำขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงในความกรุณาของ รศ.ดร. วุฒิชัย นาครักษา ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาปัญหาพิเศษที่กรุณาสละเวลาอันมีค่าให้คำปรึกษา แนะนำ ดูแลเอาใจใส่เป็นอย่างมาก รวมทั้งแก้ไขรายงานฉบับนี้ให้มีความถูกต้องและสมบูรณ์ยิ่งขึ้น และ

ขอขอบพระคุณคุณพ่อคุณแม่ที่ให้กำลังใจในการทำงานให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี และขอขอบคุณ นางสาวภาวินี ดีแท้ และนางสาวรพีพร อังคุระยี นักศึกษาปริญญาโท ในการเอื้อเฟื้อข้อมูลเพื่อจัดทำปัญหาพิเศษในครั้งนี้ ขอขอบคุณนางสาวสุพัตรา มหาสุวรรณ , นางสาววราภรณ์ แก้วเที่ยง และนายรตน วุฒิจริยากุลที่คอยช่วยเหลือ และให้กำลังใจตลอดมา

นอกจากนี้ขอขอบคุณเพื่อนๆทุกคนที่ให้ความช่วยเหลือในการหาข้อมูลและเป็นกำลังใจให้ตลอดการจัดทำปัญหาพิเศษ ข้าพเจ้าขอขอบคุณทุกท่านไว้ ณ โอกาสนี้

นางสาววิรัชภรณ์ ภิงคะสาร

นางสาวศกลวรรณ จงสงวนดี

4 มีนาคม 2547

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

กิตติประกาศ ก

บทคัดย่อ ข

สารบัญ ค

สารบัญตาราง ง

สารบัญภาพ จ

บทที่ 1. บทนำ 1

บทที่ 2 วารสารปริทัศน์ 2

2.1 สตาร์ช (starch) 2

2.2 การย่อยแป้ง 13

2.3 กรดซิตริก 17

2.4 การดัดแปรแป้งด้วยเทคนิคไมโครเวฟ 19

บทที่ 3.วัสดุ และอุปกรณ์ 27

3.1 วัสดุ และอุปกรณ์ 27

3.2 ขั้นตอน และวิธีการทดลอง 28

3.3 ตรวจสอบคุณสมบัติในการเป็นรีซิสแตนท์สตาร์ช 30

บทที่ 4. ผลการทดลอง 33

บทที่ 5. สรุปผลการทดลอง และข้อเสนอแนะ 42

เอกสารอ้างอิง 43

ภาคผนวก 45

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 สมบัติที่สำคัญของอะไมโลสและอะไมโลเพกทิน 6

ตารางที่ 2.2 คุณสมบัติและสูตรโครงสร้างของ anhydrous และmonohydrate ของกรดซิตริก 18

ตารางที่ 4.1 แสดงปริมาณกรดซิตริกที่เกาะเกี่ยวกับสตาร์ช (%BC) และประสิทธิภาพในการเกิดปฏิกิริยา (%RE) ของแป้งมันสำปะหลังที่สภาวะการดัดแปรต่างๆ 33

ตารางที่ 4.2 แสดงกรดซิตริกที่เกาะเกี่ยวกับสตาร์ช (%BC) และประสิทธิภาพในการเกิดปฏิกิริยา (%RE) ของแป้งข้าวเหนียวที่สภาวะการดัดแปรต่างๆ 36

ตารางที่ 4.3 แสดงปริมาณรีซีสแตนท์สตาร์ช (%RS) ของแป้งมันสำปะหลังที่สภาวะการดัดแปรต่างๆ 39

ตารางที่4.4 แสดงปริมาณรีซีสแตนท์สตาร์ช (%RS) ของแป้งข้าวเหนียวที่สภาวะการดัดแปรต่างๆ 40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่ 2.1 โครงสร้างอะไมโลส 5

ภาพที่ 2.2 โครงสร้างอะไมโลเพกทิน 5

ภาพที่ 2.3 แผนภาพแสดงการจำแนกชนิดของแป้ง(starch) 6

ภาพที่ 2.4 แผนภาพแสดงการจำแนกชนิดของ resistant strach 8

ภาพที่ 2.5 การจัดเรียงตัวของโมเลกุลที่มีขั้ว และโมเลกุลที่มีประจุในอาหาร 20

ภาพที่ 2.6 แสดงระบบการสเตอริไรซ์แบบต่อเนื่อง 24

ภาพที่ 4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกรดซิตริกที่เกาะเกี่ยวกับสตาร์ช (%BC) และระยะเวลาในการให้ความร้อน(นาที) ของสตาร์ชซิเตรทที่ผลิตจากแป้งมันสำปะหลังที่ระดับความเข้มข้นของกรดซิตริก 5 และ 10 % 34

ภาพที่ 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพในการเกิดปฏิกิริยา (%RE) และระยะเวลาในการให้ความร้อน(นาที) ของสตาร์ชซิเตรทที่ผลิตจากแป้งมันสำปะหลังที่ระดับความเข้มข้นของกรดซิตริก 5 และ 10 % 35

ภาพที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกรดซิตริกที่เกาะเกี่ยวกับสตาร์ช (%BC) และระยะเวลาในการให้ความร้อน(นาที) ของสตาร์ชซิเตรทที่ผลิตจากแป้งข้าวเหนียวที่ระดับความเข้มข้นของกรดซิตริก 5 และ 10 % 37

ภาพที่ 4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพในการเกิดปฏิกิริยา(%RE) และระยะเวลาในการให้ความร้อน(นาที) ของสตาร์ชซิเตรทที่ผลิตจากแป้งข้าวเหนียวที่ระดับความเข้มข้นของกรดซิตริก 5 และ 10 % 38

ภาพที่ 4.5 แสดงปริมาณรีซิสแตนท์สตาร์ช (%RS) ของแป้งมันสำปะหลังและแป้งข้าวเหนียวที่สภาวะการดัดแปรต่างๆ 41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

สตาร์ช (starch) ถูกจัดเป็นอาหารหลัก และเป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญชนิดหนึ่งของมนุษย์ ประกอบด้วยอัตราส่วนของอะไมโลสและอะไมโลเพกทินที่แตกต่างกัน ทำให้มีคุณสมบัติที่แตกต่างกันด้วย แต่เนื่องจากแป้งมีคุณสมบัติเฉพาะตัว ซึ่งบางครั้งไม่เป็นที่ต้องการต่อการใช้ในอุตสาหกรรม หรือยังไม่เหมาะสมกับสภาวะบางอย่าง จึงมีการดัดแปรแป้งเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการนำไปใช้ในงานอุตสาหกรรมต่างๆ ซึ่งงานวิจัยนี้จะเน้นการดัดแปรแป้งมันสำปะหลัง และแป้งข้าวเหนียวด้วยวิธีทางเคมีชนิดครอสลิง (cross-linked) โดยใช้ไมโครเวฟเทคนิค เพื่อลดระยะเวลาและขั้นตอนในกระบวนการผลิตสตาร์ชซิเตรท โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาระยะเวลาในการให้ความร้อนด้วย Microwave ในการผลิตให้เป็นสตาร์ชซิเตรทในระบบกึ่งต่อเนื่องด้วยอุโมงค์ไมโครเวฟ ซึ่งจะช่วยเพิ่มความต้านทานต่อสภาวะความเป็นกรด ความร้อน และเอนไซม์ จากคุณสมบัติดังกล่าว ทำให้สามารถนำสตาร์ชซิเตรทมาศึกษาความเป็นไปได้ในแง่การนำไปใช้เป็น Resistant Starch ชนิด RS4 ซึ่งเป็น Resistant Starch ที่ทนทานต่อการย่อยด้วยเอนไซม์ และไม่สามารถถูกดูดซึมได้ในลำไส้เล็ก โดยสามารถวิเคราะห์หาปริมาณ Resistant Starch ได้จากการจำลองการย่อยของมนุษย์ในห้องปฏิบัติการ ซึ่งส่วนที่เหลือจากการย่อยก็คือ Resistant Starch แล้วทำการตรวจสอบคุณสมบัติด้วยวิธีทางเคมี เพื่อนำมาวิเคราะห์หาความแตกต่างทางสถิติของแป้งมันสำปะหลังและแป้งข้าวเหนียว ซึ่งแป้งทั้งสองชนิดนี้สามารถผลิตได้ในประเทศและมีต้นทุนที่ต่ำ จึงเป็นการส่งเสริมให้มีการใช้วัตถุดิบที่มีในประเทศมาแปรรูปให้เกิดประโยชน์และมีมูลค่าเพิ่มขึ้นส่งผลให้มีการขยายตัวทางอุตสาหกรรม และเพิ่มแนวทางการผลิตในรูปแบบต่างๆมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

วารสารปริทัศน์

2.1 สตาร์ช (starch)

แป้ง เป็นคาร์โบไฮเดรตที่สะสมอยู่ในพืชชั้นสูง พบในคลอโรพลาสต์ (ในใบ) และในส่วนที่พืชใช้เป็นแหล่งเก็บอาหาร เช่น เมล็ดและหัว มนุษย์ได้รับแป้งจากพืชแตกต่างกันตามภูมิประเทศในโลก ด้านทวีปประเทศอเมริกาเหนือ/กลาง จะมีข้าวโพด ข้าวสาลี ยุโรปมีมันฝรั่ง และแถบเอเชีย , แอฟริกา มีข้าวและมันสำปะหลัง เป็นต้น แต่ที่สำคัญที่มีการใช้กันทั่วโลก คือ แป้งข้าวโพด แป้งมันฝรั่ง แป้งข้าวสาลีและแป้งมันสำปะหลัง แป้งเป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญในโภชนาการของมนุษย์ อาหารทั้งหมดส่วนใหญ่จะมีแป้งเป็นองค์ประกอบหลักของทุกชนชาติ เช่น ข้าว ขนมปัง ก๋วยเตี๋ยว และพาสต้า

ถึงแม้ว่าบทบาทที่สำคัญของแป้งคือ ใช้เป็นแหล่งอาหารพลังงานสูงของมนุษย์ แต่จากคุณสมบัติเฉพาะของแป้งจึงได้มีการนำแป้งมาใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติของอาหาร ทำให้เกิดเจล ควบคุมความคงตัวและเนื้อสัมผัสอาหาร ป้องกันเนื้อสัมผัสของอาหารเสียรูป เนื่องจากกระบวนการแช่แข็งและคืนรูป(freeze-thaw) สภาวะกรด การทำพาสเจอร์ไรเซชัน(pasturelization) และสเทอริไรเซชัน(sterilization) เป็นต้น

คำว่าแป้งในการผลิตนั้นหมายถึงคาร์โบไฮเดรตที่มีองค์ประกอบของคาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจน เป็นส่วนใหญ่ มีสิ่งอื่นเจือปน เช่น โปรตีน ไขมัน เกลือแร่ น้อยมาก ส่วนแป้งที่ผลิตโดยทั่วไปที่ยังมีส่วนประกอบอื่น ๆ อยู่มาก จะเรียกว่า ฟลาว์(flour) ตัวอย่าง เช่น แป้งข้าวโพด แป้งข้าวสาลี ถ้ายังมีส่วนประกอบของโปรตีนสูงก็จะจัดอยู่ในประเภท ฟลาว์ เช่นเดียวกันกับแป้งข้าวเจ้าที่ยังมีโปรตีน 7-8 % ก็เรียกว่า rice flour แต่เมื่อสิ่งเจือปนอันหมายถึงโปรตีน ไขมัน เกลือแร่อื่น ถูกสกัดออกไปจนเหลือแป้งบริสุทธิ์(cassava starch) เป็นส่วนใหญ่จึงเรียกว่าเป็นแป้งสตาร์ช

high amylose starch เป็นแป้งที่มีปริมาณอะมิโลสสูง พบในพืชบางชนิด เช่น ข้าวโพด ข้าวบาร์เลย์ ถั่ว นักวิจัยศึกษาลักษณะทางพันธุกรรมที่มีต่ออัตราส่วนอะมิโลสและอะมิโลเพกทินในข้าวโพดเป็นส่วนใหญ่ เนื่องจากเป็นพืชที่เพาะปลูกได้ง่าย มีเมล็ดเป็นจำนวนมาก สามารถดัดแปลงสายพันธุ์และวิเคราะห์ลักษณะทางพันธุกรรมได้ง่าย

amylomaize เป็นข้าวโพดสายพันธุ์ที่มีปริมาณอะมิโลสสูงประมาณ 50-80% มียีนซึ่งเหมาะสมในการสังเคราะห์อะมิโลส ได้แก่ ae gene การเปลี่ยนแปลงทางพันธุกรรมที่เกิดขึ้นใน amylomaize ทำให้องค์ประกอบต่างๆใน amylomaize ต่างจากข้าวโพดพันธุ์ดั้งเดิม เอนไซม์สร้างกิ่ง (branching

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

enzyme) ที่มีในเอนโดสเปอร์มของ amylomaize มีเพียง 1 ใน 3 ของเอนไซม์สร้างกิ่งที่มีในข้าวโพดพันธุ์ดั้งเดิม จึงทำให้อะมิโลเพกทินใน amylomaize มีปริมาณน้อยลง ส่วนประกอบภายใน kernel ของ amylomaize เปลี่ยนแปลงไป ส่วนที่เป็น endosperm จะน้อยกว่าในข้าวโพดดั้งเดิม แต่ส่วนของ germ และ bran จะมากกว่า นอกจากนั้นส่วนของแป้งที่มีเอนโดสเปอร์มของ amylomaize จะน้อยกว่า ทำให้ปริมาณทั้งหมดใน amylomaize น้อยกว่าในข้าวโพดดั้งเดิม แต่สำหรับปริมาณโปรตีนและไขมันใน amylomaize จะสูงกว่าในข้าวโพดพันธุ์ดั้งเดิม

อัตราส่วนของอะมิโลสต่ออะมิโลเพกทินในแป้งเป็นปัจจัยสำคัญต่อคุณสมบัติของแป้งชนิดนั้นๆเมื่ออัตราส่วนเปลี่ยนแปลงไป คุณสมบัติของแป้งก็เปลี่ยนแปลงไปด้วย รูปร่างเม็ดแป้งของ amylomaize โดยส่วนใหญ่มีลักษณะเป็นวงรี (spherical) แตกต่างกับเม็ดแป้งข้าวโพดดั้งเดิม คือเม็ดแป้งมีขนาดเล็กกว่า เม็ดแป้ง amylomaize พองตัวได้ยาก และมีอุณหภูมิในการเกิดเจลาติไนซ์สูงกว่าแป้งข้าวโพดดั้งเดิม เนื่องจากมีปริมาณอะมิโลสในส่วนโครงสร้างผลึกสูงกว่า และมีโครงสร้างผลึกที่คงทนต่อการถูกทำลายในน้ำร้อนได้มากกว่าแป้งข้าวโพดดั้งเดิม สามารถผลิตแผ่นฟิล์มที่มีความแข็งแรงและยืดหยุ่นได้ดี เหมาะสำหรับให้เป็น coating agent

โครงสร้างและขนาดโมเลกุลอะมิโลสใน amylomaize เหมือนกับโมเลกุลอะมิโลสในข้าวโพดดั้งเดิม แต่โครงสร้างและขนาดโมเลกุลอะมิโลเพกทินใน amylomaize และข้าวโพดดั้งเดิมจะแตกต่างกัน โดยที่ความยาวสายเฉลี่ย (average chain length) ของอะมิโลเพกทินใน amylomaize จะยาวกว่าในข้าวโพดดั้งเดิม และมีน้ำหนักโมเลกุลน้อยกว่าข้าวโพดดั้งเดิม

high amylose starch มีการใช้อุตสาหกรรมอาหารสำหรับผลิตภัณฑ์ที่ต้องการเนื้อสัมผัสที่คงทนไม่แตกง่าย ใช้เป็น sizing material สำหรับ glass fiber เพื่อเพิ่มความแข็งแรงแก่เส้นใย และป้องกันการขาดเนื่องจากการเสียดสีใช้เป็นสารเคลือบเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติของพื้นผิววัสดุ ใช้เป็นกาวที่มีคุณสมบัติดี เนื่องจากอะมิโลสสามารถยึดเกาะกับเซลลูโลสได้ดีและยึดติดแน่นมากกว่าอะมิโลเพก-ทินและไม่สามารถชะออกได้โดยน้ำร้อนเหมือนกับอะมิโลเพกทิน

แป้งมันสำปะหลัง มีปริมาณโปรตีน ไขมัน อยู่ค่อนข้างต่ำ (น้อยกว่า 1 %) มีฟอสฟอรัสน้อยกว่า 0.04 % เมื่อตรวจแป้งมันสำปะหลังด้วยกล้องจุลทรรศน์ชนิดธรรมดาและชนิดใช้ แสงโพลาไลส์ พบเม็ดแป้งมีขนาดตั้งแต่ 5-35 ไมโครเมตร เฉลี่ยประมาณ 20 ไมโครเมตร รูปร่างของเม็ดแป้งโดยมากเป็นรูปไข่ ปลายข้างหนึ่งตัดผิวบริเวณที่ตัดเว้าเข้าข้างในส่วนใหญ่ปรากฏรอยปุ่ม และวงแหวนบนเม็ดแป้งอย่างชัดเจนและอาจเกิดรอยแตกขึ้นในระหว่างการผลิตแป้งเนื่องจากการล้างการแยกแป้ง และการทำให้แห้ง แต่ส่วนใหญ่ผิวบริเวณส่วนตัดจะเรียบ แป้งมันสำปะหลังเป็นแป้งที่คุณภาพสูง เนื่องจากมีความบริสุทธิ์สูง(มีปริมาณสตาร์ชอยู่มากกว่า 95%) มีความปนเปื้อนสารประกอบเคมีอื่นๆต่ำ เหมาะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต่อการนำมาทำปฏิกิริยาทางเคมี และเป็นแป้งที่ผลิตได้มากที่สุดในประเทศไทย โดยการพองตัวของแป้งจะพองตัวเพียงชั้นเดียว มีกำลังการพองตัวและการละลายสูง มีปริมาณอะไมโลสต่ำ คือ 18 – 23 %

แป้งข้าวเหนียว ผลิตจากข้าวเหนียวซึ่งเป็นสินค้าส่งออกของประเทศไทย ซึ่งมีอยู่หลายพันธุ์ที่ให้คุณสมบัติที่แตกต่างกันโดยเมื่อนำปลายข้าวเหนียวหรือข้าวเหนียวท่อน มาผ่านกระบวนการสีข้าวเปลือกได้ออกมาเป็นข้าวกล้อง จากนั้นนำมาผ่านกระบวนการขัดข้าวกล้องให้กลายเป็นข้าวเหนียวเมล็ดยาวสีขาว ขณะที่อยู่ในกระบวนการขัดจะเกิดความร้อน และเกิดการแตกหักของเมล็ดข้าว โดยเมล็ดข้าวที่แตกหักนี้จะนำมาผลิตเป็นแป้งข้าวเหนียว นำไปปนลงในข้าวเหนียวเต็มเมล็ด นำไปเป็นส่วนผสมในผลิตภัณฑ์อื่นๆ ทั้งที่รับประทานได้ และรับประทานไม่ได้ นำไปผสมในอาหารสัตว์เพื่อให้จับตัวเป็นก้อนแข็ง ผสมกับหัวเชื้อเห็ด ผสมกับปุ๋ยจะช่วยให้ปุ๋ยจับตัวกับตัวแป้งเป็นเมือกแล้วเกาะตัวอยู่ที่ผิวดินทำให้ไม่ซึมลงไปในดินเร็วเกินไป เป็นต้น แป้งข้าวเหนียวมีวิธีการผลิตทั้งแบบโม่แห้ง และโม่เปียก แต่การโม่เปียกเป็นที่นิยมมากกว่า เพราะโม่ได้ง่าย ข้าวที่ได้จะนิ่ม และได้แป้งที่มีขนาดอนุภาคเล็ก โดยมีข้อกำหนดคุณลักษณะเฉพาะของแป้งข้าวเหนียวชนิดต่างๆ ทั้งแป้งข้าวเหนียว , แป้งข้าวเหนียวครอสลิง (โม่น้ำ, โม่แห้ง) , แป้งข้าวเหนียวโปรตีนต่ำ , แป้งข้าวเหนียวโม่แห้ง ตามมาตรฐานที่กำหนดใช้ต้องมีความชื้นไม่เกิน 13.0% , มี pH อยู่ระหว่าง 4.5 – 7.0 , มีสีและกลิ่นตามธรรมชาติของแป้งสตาร์ช ไม่มีสิ่งแปลกปลอมอื่น, มีความละเอียดบนตะแกรงเบอร์ 80 (180 ไมโครเมตร) ไม่เกิน 25% และมีค่า Water activity (Aw) ไม่เกิน 0.6

การตรวจสอบทางเคมี ซึ่งมีข้อกำหนดว่าจะต้องมีปริมาณอะไมโลสมากกว่า 9%, SO_2 ไม่เกิน 30 ppm, ไขมันไม่เกิน 0.5%, เถ้าไม่เกิน 0.5% , เถ้าที่ไม่ละลายในกรดไม่เกิน 0.03%, โปรตีนไม่ต่ำกว่า 6% และมี pH อยู่ระหว่าง 6.0-7.0

การตรวจสอบทางจุลินทรีย์นั้นจะทำการตรวจหา Total plate count ซึ่งมีข้อกำหนดว่าจะต้องไม่เกิน 1×10^6 (Cols/g) , Fungi ไม่เกิน 1×10^2 (Cols/g) และ Coliform (MPN) ต้องน้อยกว่า 3

2.1.1 โครงสร้างและการรวมตัวเป็นแป้ง

แป้งที่พบในธรรมชาติจะพบอยู่ในรูปเม็ดแป้งขนาดเล็ก โดยเมื่อตรวจดูลักษณะของเม็ดแป้งชนิดต่าง ๆ ด้วยกล้องจุลทรรศน์ธรรมดา และกล้อง scanning electron microscope พบว่าเม็ดแป้งจะมีขนาด รูปร่าง และลักษณะแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับแหล่งของแป้งนั้น ๆ

เม็ดแป้งมีโครงสร้างเป็น semi-crystalline โดยโมเลกุลของอะมิโลสและอะมิโลเพกทินจะจัดเรียงตัวในเม็ดแป้งเป็นโครงสร้างทั้งส่วนที่เป็นผลึก และส่วนอสัณฐาน หรือ gel phase ส่วนสายโซ่สั้นของอะไมโลเพกทินจะจัดเรียงตัวในลักษณะเกลียวคู่ ซึ่งบางส่วนจะเกิดเป็นโครงสร้างที่เป็นผลึก ส่วนอสัณฐานของเม็ดแป้งจะประกอบด้วยโมเลกุลของอะไมโลสและสายโซ่ยาวของอะไมโลเพกทิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เม็ดแป้งจะมีลักษณะโครงสร้างผลึก 3 แบบ ขึ้นอยู่กับความหนาแน่นในการจัดเรียงตัวของเกลียวคู่ถ้าเกิดการเรียงตัวหนาแน่นมากจะเกิดเป็นผลึกแบบ A ถ้าเรียงตัวกันหลวม ๆ จะเกิดผลึกแบบ B (แป้งจากพืชหัว) ถ้าเกิดการเรียงตัวทั้งแบบ A และ B รวมกันจัดเป็นผลึกแบบ C (แป้งจากพืชตระกูลถั่ว) โครงสร้างของผลึกที่ต่างกันจะให้ลักษณะการกระจายตัวของแสงต่างกัน ซึ่งสามารถตรวจสอบชนิดโครงสร้างของเม็ดแป้งได้โดยเทคนิค wild angle x-ray diffraction (WAXS) แป้งที่มีโครงสร้างผลึกต่างกัน จะให้แบบของ x-ray diffraction ต่างกัน

แป้งที่มีโครงสร้างผลึกแบบ A จะให้พีคที่ 17 และ 17.9° 2θ แต่ไม่มีพีคที่ 5.6° 2θ แป้งจากธัญพืช เช่น ข้าวโพด จะมีลักษณะผลึกแบบ A แป้งที่มีโครงสร้างผลึกแบบ B จะให้พีคที่ 5.6 และ 17° 2θ แต่ไม่มีพีคที่ 17.9° 2θ ซึ่งได้แก่แป้งจากพืชหัว เช่น มันฝรั่ง เป็นต้น แป้งที่มีโครงสร้างผลึกแบบ C จะให้ลักษณะร่วมกันระหว่างผลึกแบบ A และ B กล่าวคือ จะมีพีคที่ 5.6 และ 17.2° 2θ ตัวอย่างเช่น แป้งจากพืชตระกูลถั่ว แป้งบางชนิดอาจให้ลักษณะของลักษณะของผลึกได้มากกว่า 1 ชนิด เช่น แป้งมันสำปะหลัง ซึ่งสามารถตรวจพบผลึกทั้งแบบ A และ C โครงสร้างผลึกของเม็ดแป้งดิบในธรรมชาติอาจเปลี่ยนแปลงได้ ขึ้นอยู่กับว่าการปฏิบัติต่อเม็ดแป้ง เช่น แป้งมันฝรั่งชื้นที่ถูกบ่มไว้นานที่อุณหภูมิสูง 110 องศาเซลเซียส 30 นาที จะมีชนิดของผลึกเปลี่ยนจากเดิมที่เป็นชนิด B ไปเป็นชนิด A

2.1.2 องค์ประกอบภายในแป้ง

แป้งเป็นคาร์โบไฮเดรตที่ประกอบด้วยคาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจน ในอัตราส่วน 6:10:5 มีสูตรเคมีโดยทั่วไป คือ $(C_6H_{10}O_5)_n$ แป้งเป็นพอลิเมอร์ของกลูโคส ซึ่งประกอบด้วย anhydroglucose unit เชื่อมต่อด้วยพันธะ glycosidic linkage ที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 1 ทางด้านตอนปลายของสายพอลิเมอร์ มีหน่วยกลูโคสที่มีหมู่แอลดีไฮด์ เรียกว่า reducing end group แป้งประกอบด้วยพอลิเมอร์ของกลูโคส 2 ชนิดคือ พอลิเมอร์เชิงเส้น (อะไมโลส) และพอลิเมอร์เชิงกิ่ง (อะไมโลเพกทิน) วางตัวในแนวรัศมีแป้งจากแหล่งที่ต่างกันจะมีอัตราส่วนของอะไมโลสและอไมโลเพกทินแตกต่างกัน ทำให้คุณสมบัติของแป้งแต่ละชนิดแตกต่างกัน

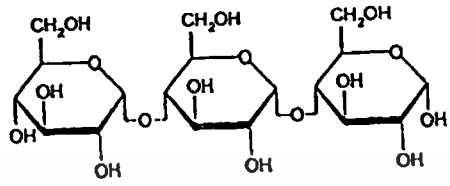
องค์ประกอบหลักภายในเม็ดแป้ง ได้แก่

2.1.2.1 Amylose

มีในแป้งประมาณ 10-25% ประกอบด้วยแอลฟา-ดี-กลูโคส หลาย ๆ โมเลกุลต่อกันด้วยพันธะ 1,4 linkage ขนาดโมเลกุลของอะไมโลสแตกต่างกันออกไปโดยมีน้ำหนักโมเลกุลอยู่ในช่วง 2,000 – 500,000 อะไมโลสเป็นส่วนที่มีสมบัติไม่ละลายในน้ำ แต่สามารถกระจายอยู่ในน้ำเป็น ไมเซลล์ (micelle) จะรวมกับน้ำยาไอโอดีนให้สีน้ำเงิน โมเลกุลของอะไมโลสเมื่ออยู่ในน้ำจะบิดกันอยู่เป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

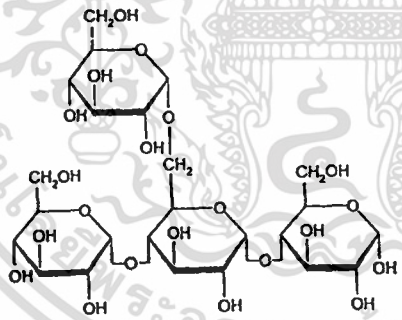
เกลียวแบบฮีลิกซ์ โดยจะมีหน่วยกลูโคสประมาณ 6 หน่วย ต่อหนึ่งรอบฮีลิกซ์ โครงสร้างของอะมิโลส คือ



ภาพที่ 2.1 โครงสร้างอะไมโลส

2.1.2.2 Amylopectin

เป็นโพลิเมอร์ของกลูโคส ประกอบด้วย แอลฟา – ดี – กลูโคส ต่อกันด้วย 1,4 linkage และมีกิ่งแยกด้วย 1,6 linkage ประมาณ 200,000 –1,000,000 เมื่ออะไมโลเพกตินละลายน้ำจะให้สารละลายแขวนลอย ซึ่งสามารถให้สีม่วงแดง กับน้ำยาไอโอดีน อะไมโลเพกทินรสไม่หวาน เมื่อย่อยโดยใช้น้ำย่อยในร่างกายมนุษย์จะกลายเป็นน้ำตาลกลูโคส โครงสร้างอะไมโลเพกทินคือ



ภาพที่ 2.2 โครงสร้างอะไมโลเพกทิน

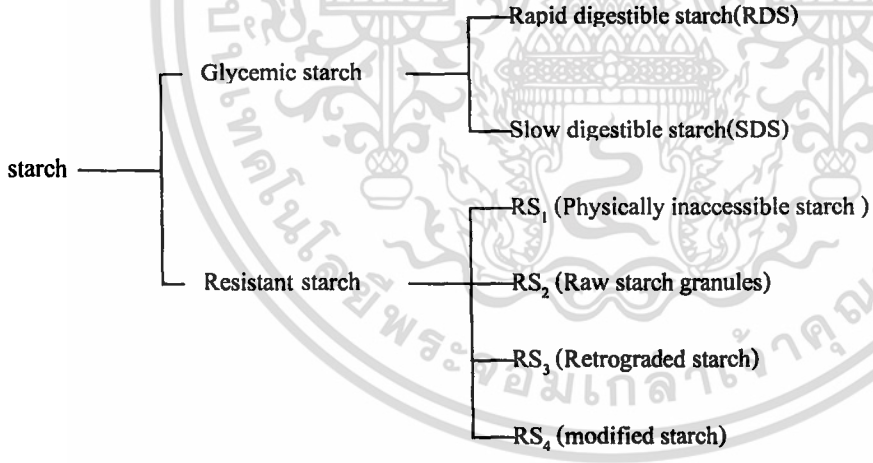
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 สมบัติที่สำคัญของอะไมโลสและอะไมโลเพกทิน

คุณสมบัติ	อะไมโลส	อะไมโลเพกทิน
ลักษณะโครงสร้าง	สารประกอบของน้ำตาลกลูโคสเกาะกันเป็นเส้นตรง	สารประกอบของน้ำตาลกลูโคสเกาะกันเป็นกิ่งก้าน
พันธะที่จับ	α-1,4	α-1,4 และα-1,6
ขนาด	200 – 2,000 หน่วยกลูโคส	มากกว่า 10,000 หน่วยของกลูโคส
การละลาย	ละลายน้ำได้น้อยกว่า	ละลายน้ำได้ดีกว่า
การทำปฏิริยากับไอโอดีน	สีน้ำเงิน	สีม่วงแดง
การจับตัว	เมื่อให้ความร้อนแล้วทิ้งไว้จะจับตัวเป็นวุ้นและแผ่นแข็ง	ไม่จับตัวเป็นแผ่นแข็ง

2.1.3 ประเภทของแป้งในอาหาร

Englyst และคณะ (1992) ได้จัดแบ่ง starch ในอาหารดังภาพที่ 1



ภาพที่ 2.3 แผนภาพแสดงการจำแนกชนิดของแป้ง(starch)

โดยได้จำแนกแป้งในอาหารออกเป็น 2 กลุ่ม คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.3.1 glycemic starch คือ สตาร์ช ที่ถูกย่อยสลายเป็นน้ำตาลกลูโคส ได้ด้วยน้ำย่อยในลำไส้เล็กและมีผลต่อระดับน้ำตาล ในเลือดโดยตรง เดิมเชื่อว่า น้ำตาลโมเลกุลเล็ก ทั้ง mono- และ disaccharide จะให้ผลโดยเร็วต่อระดับน้ำตาลในเลือด ส่วนพวก polysaccharides เช่น สตาร์ชจะให้ผลช้ากว่า พบว่า ไม่เป็นจริงเสมอไป เพราะพบว่าอาหารประเภทแป้งที่หุงสุก หรือผ่านการ gelatinized มาแล้ว จะมีผลต่อระดับน้ำตาลในเลือดได้เร็วกว่า เมื่อเทียบกับผลไม้หวานที่มีปริมาณทั้ง mono- และ disaccharide อยู่สูง จึงมีการแบ่ง glycemic starches ออกเป็น 2 กลุ่มย่อยคือ

1. **rapid digestible starch(RDS)** คือ แป้งได้ถูก gelatinize ทำให้ enzyme สามารถเข้าไปย่อยได้มากขึ้น คือ แป้งสามารถถูกย่อยสลายได้อย่างรวดเร็ว โดยสตาร์ชจะถูกไฮโดรไลซ์ไปเป็นน้ำตาล กลูโคสได้ภายในเวลา 20 นาที จากการศึกษาในสภาวะทดลอง (in vitro) แป้ง ในกลุ่มนี้ ได้แก่ อาหารที่มีส่วนประกอบของแป้ง ที่ผ่านการหุงให้สุกใหม่ๆ เช่น ขนมปัง ที่อบเสร็จใหม่ๆ และ มันฝรั่งบดเป็นต้น

2. **slow digestible starch (SDS)** คือแป้งที่สามารถถูกย่อยได้อย่างช้าๆ แต่ยังถูกย่อยเป็นน้ำตาลกลูโคสได้อย่างสมบูรณ์ โดยใช้เวลาตั้งแต่ 20 นาที ถึง 110 นาที โดยการศึกษาแบบในสภาวะทดลอง(in vitro)

2.1.3.2 resistant starch คือ สตาร์ชและผลิตภัณฑ์ของสตาร์ชที่เปลี่ยนแปลงไปทำให้ไม่สามารถย่อยสลาย และถูกดูดซึมเข้าสู่ลำไส้เล็กในร่างกายมนุษย์(Delcour and Eerling en, 1996) ได้ โดยแป้งจะทนทานต่อการย่อยสลายด้วยเอนไซม์ในลำไส้เล็กและจะผ่านไปถึงลำไส้ใหญ่ แล้วจึงเปลี่ยนแปลงโดยการหมักที่ลำไส้ใหญ่ โดยเชื้อจุลินทรีย์ที่มีอยู่ในลำไส้ใหญ่ ซึ่งมีบทบาทโดยตรงกับสุขภาพของลำไส้ใหญ่ส่วนปลายและส่วนทวารหนัก

จำแนก resistant starch ตามลักษณะและแหล่งที่มา ได้เป็น 4 ชนิด (Baghurist and Record,1996) ได้แก่

1. **RS_1 (physically inaccessible starch)** คือ แป้งที่มีลักษณะทางกายภาพขัดขวางการทำงานของเอนไซม์ โดยเม็ดแป้งอาจถูกห่อหุ้มอยู่ภายในร่างแหของโปรตีน หรือถูกตรึงอยู่ภายในเซลล์หุ้มเมล็ดพืชทำให้เอนไซม์ไม่สามารถเข้าไปทำปฏิกิริยาในเม็ดแป้งได้ ได้แก่ ธัญชาติ(cereal) และพืชตระกูลถั่ว ที่โครงสร้างของพืชถูกทำลายไปบางส่วน(ผ่านการขัดสีบางส่วนหรือบดหยาบๆ) แต่ยังคงสภาพเป็นเมล็ดพืชอยู่ค่อนข้างสมบูรณ์ยังมีเยื่อหุ้มเมล็ดชั้นนอกหุ้มอยู่

2. **RS_2 (raw starch granules)** คือ เม็ดแป้งดิบที่ทนทานต่อการทำงานของเอนไซม์ เป็นสตาร์ชที่มีอนุภาคขนาดเล็กๆกระจายอยู่อย่างอิสระ แต่ยังอยู่ในสภาพดิบยังไม่ผ่านความร้อน

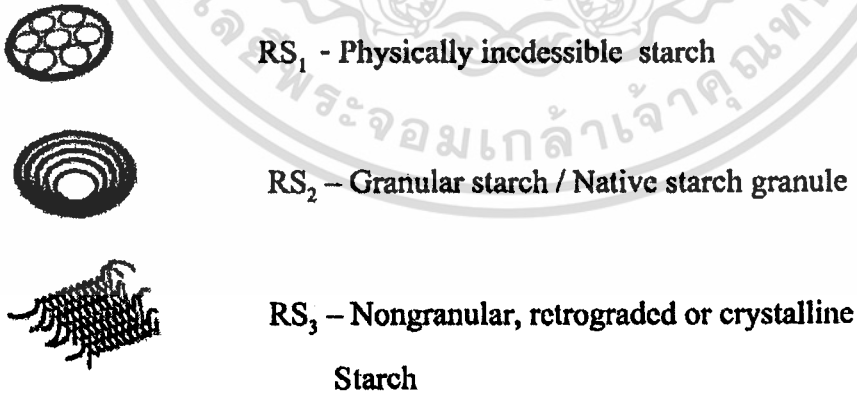
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(native starch granules) หรือ ungelatinized granule ซึ่งจะทนต่อการย่อยสลายด้วย α-amylase จนกว่าจะถูก gelatinized และ จะเป็นพวกที่มีรูปผลึกตามแบบ x-diffraction เป็น B-type ซึ่งได้แก่แป้งมันฝรั่งดิบ กล้วยดิบ แป้งกล้วยที่ยังไม่ผ่านการหุงต้ม , แป้งจากเมล็ดถั่ว(peas) และแป้งที่มีอะมิโลสในปริมาณมาก

3. RS_3 (retrograded starch) คือ แป้งคืนตัว ซึ่งจะมีการเกิด resistant starch ชนิดนี้เป็นส่วนใหญ่ RS_3 เป็นสตาร์ชที่ไม่มีรูปร่างเป็นเม็ดอนุภาคขนาดเล็ก(nongranular starch) เนื่องจากเม็ดสตาร์ชเปลี่ยนไป เมื่ออาหารผ่านการให้ความร้อนจนแป้งเกิด gelatinised แล้วถูกทำให้เย็นตัวลงทำให้ส่วนอะมิโลสในน้ำแป้งที่หลุดออกมาในขณะที่เม็ดแป้งพองตัวเกิดการจัดเรียงตัวใหม่ได้เป็นผลึกแป้งที่แข็งแรงและทนต่อการย่อยด้วยเอนไซม์ (Asp and Bjorcle ; 1992 ; Eerlingen et al.,1994) เช่น แป้งมันฝรั่งที่ผ่านการหุงต้มแล้วทิ้งให้เย็นตัว, ขนมปังและผลไม้, อาหารเช้าจากธัญชาติพร้อมบริโภค รวมถึงสตาร์ชที่มีสัดส่วนของอะมิโลสสูงด้วย เพราะแป้งที่มีอัตราส่วนของอะมิโลสสูง จะสามารถเกิดรีโทรกราเดชันได้มากกว่าแป้งที่มีอะมิโลเพกทินสูงและทำให้สามารถผลิต resistant starch ได้ดีกว่า

4. RS_4 (modified starch) คือ แป้งดัดแปร ที่มีการดัดแปลงโครงสร้างด้วยสารเคมีหรืออุณหภูมิ โดยมีวัตถุประสงค์ในการผลิตเพื่อการค้า

สามารถแสดงแผนภาพการจำแนกชนิดของ resistant starch ตามลักษณะทางกายภาพ ดังรายละเอียดในภาพที่ 2.4



ภาพที่ 2.4 แผนภาพแสดงการจำแนกชนิดของ resistant starch

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.4 ผลของ resistant starch ต่อสุขภาพ

resistant starch ถูกจัดรวมอยู่ใน dietary fiber เนื่องจาก คุณสมบัติที่สำคัญของ resistant starch คือ ไม่สามารถถูกย่อยสลายได้โดยเอนไซม์ในลำไส้เล็ก และจากการศึกษาสมบัติ และบทบาท ตลอดจนวิธีวิเคราะห์ พบว่าทำหน้าที่เหมือนกับเส้นใยอาหาร ซึ่งจะก่อให้เกิดประโยชน์ต่อระบบขับถ่าย และระบบหมุนเวียนเลือดของผู้บริโภค โดยจะช่วยป้องกันหรือลดภาวะโรคอ้วน และลดปริมาณคอเลสเตอรอลในเส้นเลือด อีกทั้งยังช่วยลดความเสี่ยงต่อการเกิดโรคต่างๆ เช่น โรคมะเร็ง โรคเบาหวาน และโรคหัวใจ เป็นต้น เนื่องจาก resistant starch เป็นสารทดแทนน้ำตาล และไขมัน มีปริมาณเส้นใยสูง ให้พลังงานต่ำ นอกจากนั้น resistant starch ยังให้ลักษณะปรากฏ เนื้อสัมผัส กลิ่น สี และความรู้สึกในปากที่ดีกว่า fiber จากแหล่งอื่น ทำให้ผู้บริโภคนิยมบริโภคอาหารที่ใช้ resistant starch เป็นส่วนผสมมากขึ้น

2.1.5 โมดิฟายด์สตาร์ช (modified starch)

2.1.5.1 จุดประสงค์ในการดัดแปรแป้ง

เนื่องจากแป้งมีคุณสมบัติเฉพาะตัว ซึ่งบางครั้งไม่เป็นที่ต้องการใช้ในระดับอุตสาหกรรมหรือยังไม่เหมาะสมกับสภาวะบางอย่าง จึงมีการนำแป้งมาปรับเปลี่ยนคุณสมบัติ แป้งดัดแปร (modified starch) ความหมายตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.1073-2535 หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำแป้ง (starch) เช่น แป้งมันสำปะหลัง แป้งข้าวโพด แป้งมันฝรั่ง แป้งสาลี มาเปลี่ยนสมบัติทางเคมีและ/หรือทางฟิสิกส์จากเติมด้วยความร้อน และ/หรือเอนไซม์ และ/หรือสารเคมีชนิดต่างๆเพื่อให้เหมาะสมกับการนำไปใช้ในอุตสาหกรรม(2535)

ลักษณะจำเพาะของแป้งนั้นอาจเป็นลักษณะพิเศษมาจากแหล่งที่ผลิต เช่น แป้งที่ได้จากมันสำปะหลัง ซึ่งมีลักษณะจำเพาะ เช่น ขนาดรูปร่าง และการพองตัว แต่สิ่งที่แป้งทุกๆ ชนิดมีคล้ายกัน คือ ลักษณะการเปลี่ยนแปลงหรือมีปัจจัยความร้อน แรงเฉือน และเวลาเข้าเกี่ยวข้อง ซึ่งผลออกมาได้แสดงการเปลี่ยนแปลงมากที่สุดสำหรับแป้งแต่ละชนิดคล้ายๆ กันเมื่อตรวจสอบโดยเครื่อง Rapid Visco Analyzer (RVA) หรือ เครื่อง Brabender Viscoamylograph ถ้าสามารถปรับเปลี่ยนคุณสมบัติเหล่านี้ได้ จะทำให้เราสามารถนำแป้งไปใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ ได้มากขึ้น การดัดแปรแป้งจึงได้เริ่มมีผู้ค้นคว้าวิจัยขึ้น ทั้งโดยทางกายภาพและทางเคมี ทั้งนี้เนื่องจากแป้งมีความพร้อมในการทำปฏิกิริยาต่างๆได้ดีมาก

แป้งดิบโดยทั่วไปมีสมบัติบางประการไม่เหมาะสมกับการผลิตในอุตสาหกรรม ได้แก่ มีช่วงความหนืดที่แคบ มีลักษณะเนื้อสัมผัสไม่ดี มีความคงทนต่อแรงเฉือนในกระบวนการผลิตหรือความคงทนต่อสภาวะต่างๆ ต่ำ ซึ่งทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพต่ำ และสิ้นเปลืองงบประมาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการผลิตโดยไม่จำเป็น ดังนั้นจึงมีการดัดแปรคุณสมบัติบางประการของแป้งดิบเพื่อให้เหมาะสมต่อการใช้งาน เช่น ทำให้มีลักษณะเนื้อสัมผัสที่ดีขึ้น คงทนต่อสภาวะในการผลิตได้ดี การเกิดเจลาติไนซ์ (gelatinization) การคืนตัว (retrogradation) และการสูญเสียน้ำของเจลลดลง มีความคงตัวในการละลายจากการแช่เข็ง (freeze-thaw) เพิ่มขึ้น ลักษณะของเนื้อเจลดีขึ้น มีคุณสมบัติความเป็นกาวเพิ่มขึ้น มีคุณสมบัติไม่ชอบน้ำ (hydrophobic) หรือ ความสามารถในการผสมกับตัวละลายอื่นๆเพิ่มขึ้น

แป้งมันสำปะหลังเป็นแป้งที่มีความบริสุทธิ์สูง มีการปนเปื้อนของสารประกอบเคมีอื่นๆที่เหมาะต่อการนำมาทำปฏิกิริยาเคมี ส่วนอสัณฐาน (amorphous) ของอะไมโลเพกทินจะเป็นส่วนที่ทำปฏิกิริยาเคมีได้ดีที่สุด

2.1.5.2 แบ่งประเภทของแป้งดัดแปร

การดัดแปรรูปแป้งนั้นมีผู้แบ่งกลุ่มไว้หลายประเภทและหลายรูปแบบ ในที่นี้จะขอแบ่งกลุ่มของแป้งดัดแปรดังนี้

1. การดัดแปรทางเคมี (chemical modification)

ในการทำปฏิกิริยาเคมีกับแป้ง โดยส่วนใหญ่แล้วจะทำในสภาพแขวนลอยที่อุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิเจลาติไนเซชัน (45-50°C) สารเคมีจะทำการปฏิกิริยากับแป้งบริเวณพื้นผิวเม็ดแป้ง โดยจะเกิดปฏิกิริยาเคมีของเม็ดแป้งขึ้นที่บริเวณพื้นดินของส่วนผลึก (crystallite) และภายในส่วนอสัณฐาน (amorphous) เนื่องจากเม็ดแป้งประกอบด้วยอะมิโลสประมาณ 25% เมื่อทำปฏิกิริยาระหว่างเม็ดแป้งกับสารละลายไอโอดีน (มีน้ำเป็นตัวกลาง) เม็ดแป้งจะให้สารประกอบเชิงซ้อนสีน้ำเงินทันที แต่เมื่อทำปฏิกิริยาเม็ดแป้งแห้งกับไอของไอโอดีนจะได้สีน้ำตาลแดง ซึ่งแสดงว่าปฏิกิริยานี้เกิดขึ้นที่บริเวณพื้นผิวของเม็ดแป้งเท่านั้น ดังนั้นในการใช้สารเคมีทำปฏิกิริยากับเม็ดแป้งแห้ง สารเคมีจะไม่สามารถเข้าทำปฏิกิริยาได้ แต่เมื่อทำปฏิกิริยาเคมีกับเม็ดแป้งที่ชุ่มน้ำหรือเม็ดแป้งที่ผ่านการปรับสภาพด้วยด่าง เม็ดแป้งจะพองตัวและสามารถทำปฏิกิริยาเคมีกับสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลไม่เกิน 1,000 ได้

ในระหว่างการดัดแปรแป้งทางเคมี จะหลีกเลี่ยงการเกิดเจลาไนเซชันได้โดยการเติมโซเดียมซัลเฟต หรือ โซเดียมคลอไรด์ลงในส่วนผสม การดัดแปรทางเคมีในระบบอุตสาหกรรมจะใช้สารเคมีในการ ทำปฏิกิริยาในปริมาณน้อย ปฏิกิริยาโดยส่วนใหญ่ทำในน้ำ ใช้ค่า degree of substitution(DS) ต่ำประมาณ 0.1-0.2 ใช้วิธีการดัดแปรหลายๆวิธีร่วมกัน ให้ได้ลักษณะทางเคมีของผลิตภัณฑ์ที่สามารถปรับปรุงได้แบ่งออกเป็น

(ก) การเกิดอนุพันธ์ (derivertization) แป้งดัดแปรที่ได้จากการเกิดอนุพันธ์เรียกว่า อนุพันธ์ของแป้ง (starch derivatives) แบ่งชนิดของปฏิกิริยาการดัดแปรออกเป็น 3 ชนิด คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- การแทนที่สารในโมเลกุลเดี่ยวของแป้ง (monostarch substitution) ทั้งปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชัน (esterification) โดยแขนเอสเทอร์ ($R=COCH_3$) เช่น แป้งแอซีเทต (starch acetate) หรือปฏิกิริยาอีเทอร์ริฟิเคชัน (etherification) โดยแขนอีเทอร์ ($R=-CH_3$) เช่น แป้งไฮดรอกซีเอทิล (hydroxyethyl starch)

- การแทนที่โมเลกุลที่มีหมู่ฟังก์ชันมากกว่า 1 หมู่ เช่น แป้งครอสลิง (cross-linked starch)สำหรับการเข้าแทนที่ด้วยหมู่ฟังก์ชันมากกว่า 1 หมู่ของแป้งครอสลิง มีจุดประสงค์เพื่อสร้างพันธะเชื่อมข้ามระหว่างหมู่อะมิโลเพกทิน ทำให้อัตราการพองตัวของเม็ดแป้งลดลง

- ครอสลิงกิง (cross linking)

โดยทั่วไปแป้งครอสลิงหรือที่มีการเรียกชื่ออื่นๆว่า crossbonded starch เป็นแป้งดัดแปรที่ได้จากปฏิกิริยาระหว่างแป้งกับสารเคมีที่มีหมู่ฟังก์ชันมากกว่า 1 หมู่ (multifunctional reagent) เรียกสารเคมีนั้นว่า cross-linking reagent หรือ inhibiting reagent เกิดจากปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันหรืออีเทอร์ริฟิเคชัน โดยขึ้นอยู่กับชนิดของสารเคมีที่ใช้ ซึ่งสามารถจะทำปฏิกิริยาหมู่ไฮดรอกซิลของโมเลกุลแป้งได้มากกว่า 1 หมู่ ทำให้เกิดพันธะเชื่อมข้าม (crosslink หรือ bridge) ระหว่างโมเลกุลของแป้งในสภาพแขวนลอย พันธะโควาเลนต์จะช่วยเสริมให้พันธะไฮโดรเจนที่ยึดโครงสร้างของเม็ดแป้งความแข็งแรงมากขึ้น ช่วยลดการพองตัวของเม็ดแป้ง เพิ่มความแข็งแรงให้แก่เม็ดแป้งโดยเพิ่มความต้านทานต่อสภาวะความเป็นกรด ความร้อน และสภาพที่มีแรงเฉือน เพิ่มความหนืดของแป้งเปียกที่ร้อน ทำให้แป้งเปียกมีลักษณะคล้ายขี้ผึ้ง เพิ่มความเหนียวให้แก่เม็ดแป้งที่พองตัว ทำให้เม็ดแป้งมีลักษณะเป็นหนึ่งเดียวกัน ไม่แตกออก มีคุณสมบัติเป็นสารเพิ่มความข้นที่มีความหนืดสูง ช่วยปรับปรุงคุณสมบัติแป้งให้เหมาะแก่การหุงต้ม เมื่อเพิ่มระดับการทำครอสลิงจะเพิ่มความแข็งแรงให้แก่เม็ดแป้ง โดยทั่วไปการทำครอสลิงจะช่วยเสริมพันธะไฮโดรเจนในเม็ดแป้งด้วยพันธะเคมี ซึ่งจะทำหน้าที่เสมือนสะพานเชื่อมระหว่างโมเลกุล ดังนั้นเมื่อให้ความร้อนแก่แป้งครอสลิงในน้ำ พันธะไฮโดรเจนจะถูกทำลาย แต่เม็ดแป้งยังคงอยู่ในสภาพปกติ

การผลิตแป้งครอสลิง โดยสภาวะที่ใช้ผลิตแป้งครอสลิงจะแตกต่างกันไปตามสารเคมีที่ใช้ ซึ่งโดยทั่วไปจะทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิเจลาติไนซ์ คือ ช่วงอุณหภูมิห้องจนถึง 50°C ภายใต้สภาวะเป็นกลางค่อนข้างเบส แต่ต่ำกว่าระดับที่ทำให้เม็ดแป้งพองตัว ต่อมาวัดระดับความหนืด หรือทดสอบ rheology เพื่อวัดระดับของการเกิดครอสลิง เมื่อถึงระดับครอสลิงที่ต้องการ หยุดการปฏิกิริยาโดยปรับ pH ให้เป็นกลางด้วยกรดเจือจางแล้วกรองเกลือหรือสารเคมีที่ไม่ทำปฏิกิริยาและสิ่งเจือปนอื่นๆ ออก ล้าง และอบแห้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แป้งครอสลิงมีหลายชนิด เช่น ไดสตาร์ชอะดิเปต (distarch adipate) ไดสตาร์ชฟอสเฟต (distarch phosphate) ไดสตาร์ชกลีเซอรอล (distarch glycerol) แต่ละชนิดมีความแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับสารเคมีที่ใช้ในการผลิต อัตราการเกิดปฏิกิริยา และพันธะที่เกิดครอสลิง

ผลสำคัญของ Cross-linking starch ที่มีต่ออุตสาหกรรมอาหาร_คือ

(1) ช่วยเปลี่ยนลักษณะของ starch paste จาก long textured และ cohesiveซึ่งไม่เหมาะที่จะใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร ไปเป็น paste ที่มีลักษณะเป็น short textured และทำให้เกิด mouth feel ดีขึ้น

(2) ช่วยทำให้โครงสร้างของเม็ดแป้งแข็งแรง และช่วยทำให้ paste viscosity

(3) ช่วยเพิ่มความต้านทานไม่ให้ paste ถูก break down ได้ง่ายในสภาพที่เป็นกรด

อุตสาหกรรมอาหารที่นิยมใช้ Cross – linked starch คือพวก fruit – pie fillings เพื่อให้ได้คุณสมบัติตามที่ต้องการ เช่น ต้องไม่เกิดการ break down ของแป้งภายใต้สภาพที่เป็นกรดหรืออุณหภูมิสูง หรือมี shear force เกิดขึ้น นอกจากนั้นอาจใช้ใน soup manufacture เป็น thickening agents

คุณสมบัติที่ไม่ดีของ Cross – linking_ของแป้งเหล่านี้ คือ

(1) ความคงตัวของ starch paste ที่อุณหภูมิต่ำจะเปลี่ยนไป

(2) ไม่เกิดลักษณะใสเมื่อเก็บไว้นาน

โดยปกติ แป้งอนุพันธ์จะมีคุณสมบัติดังนี้

-จะมีอุณหภูมิเจลาติไนเซชันต่ำกว่าแป้งดิบ

-จะมีการพองตัว การละลายและความชื้นมากกว่าแป้งดิบ

-ความหนืดมาก/น้อยขึ้นอยู่กับปริมาณการเข้าแทนที่ของสารให้อนุพันธ์ และขนาดโมเลกุลของอนุพันธ์ทั้งนี้จะไม่แปรผันในทางเดียวกัน เช่น เพิ่มการแทนที่ระดับหนึ่ง แป้งอนุพันธ์ให้ความหนืดมากขึ้น แต่เมื่อเพิ่มอีกระดับหนึ่ง อาจจะให้ความหนืดน้อยลง เป็นต้น

-จะให้คุณสมบัติเป็น stabilizing agent เช่น ทนต่อการคืนตัวหลังแช่แข็ง (freeze-thaw) เป็นต้น

(ข) การลดขนาดโมเลกุลแป้งโดยกรด (acid thinning) เช่น แป้งย่อยด้วยกรด(acid-modified starch) หรือ thin-boiling starch

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(ค) เดกซ์ทริไนเซชัน (dextrinization) เป็นการลดขนาดหรือเปลี่ยนการจับเกาะ(depolymerization transglycosylation) โดยใช้ความร้อน หรือความร้อนกับกรด เช่น มอลโตเดกซ์ทริน(maltodextrin)

- ออกซิเดชัน (oxidation) ทำให้เกิดการฟอกสีและลดขนาดของโมเลกุลโดย ปฏิกิริยาออกซิเดชัน (bleaching และ depolymerization) เช่น แป้งออกซิไดซ์ (oxidized starch)

- การย่อยสลาย (hydrolysis) โดยใช้น้ำย่อยหรือกรด เพื่อย่อยสลายเป็นน้ำตาลโมเลกุลเล็ก เช่น enzymatically modified starch

2. การดัดแปรทางกายภาพ (physical modification)

(ก) เจลาติไนเซชัน เป็นการให้ความร้อนแป้งจนผ่านขั้นตอนของเจลาติไนเซชันแล้วทำให้แห้งทันที เช่น แป้งพรีเจลาติไนซ์ (pregelatinized starch)

(ข) ละลายน้ำเย็น (Granular-Cold-Water-Soluble-Starch:GCWSS) เป็นการแปรรูปจนได้แป้งที่สามารถละลายได้ในน้ำเย็น โดยไม่ต้องผ่านขั้นตอนการเกิดเจลาติไนเซชัน

(ค) การลดขนาดเม็ดแป้งโดยทางกล การทำให้เม็ดแป้งแตกโดยทางกล จะได้เม็ดแป้งขนาดเล็กกว่าปกติ

- annealing เป็นการให้ความร้อนในขณะที่เม็ดแป้งอยู่ในอุณหภูมิต่ำกว่าจุดเจลาติไนเซชัน

- การแปรรูปด้วยความร้อนชื้น (heat moisture treatment) เป็นการให้ความร้อนสูงกว่าจุดเจลาติไนเซชันแก่แป้งในขณะที่แป้งมีความชื้นต่ำ

3. การดัดแปรทางเทคโนโลยีชีวภาพ (biotechnological modification)การเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของแป้งโดยใช้การเปลี่ยนแปลงทางพันธุกรรม

(ก) waxy starch คือ แป้งที่มีอะมิโลสต่ำหรือไม่มีเลย

(ข) high-amylose starch คือ แป้งที่มีอะมิโลสสูง

2.2 การย่อยแป้ง

ในพืชโมเลกุลของแป้งจะถูกย่อยด้วยเอนไซม์ ไฮโดรไลซิงเอนไซม์ (hydrolyzing enzyme)ซึ่งมีสองชนิดคือ แอลฟา-อะไมเลส และ เบตาอะไมเลส หรือชื่อใหม่ของเอนไซม์ทั้งสองคือ α-1,4-glucan glucanohydrolase และ α-1,4-glucan maltohydrolase ตาม ลำดับ เอนไซม์ทั้งสองชนิดจะย่อยโมเลกุลแป้งตรง α-1,4 linkage เหมือนกัน แต่วิธีต่างกันคือ แอลฟาอะไมเลส นั้นย่อยแบบไม่เจาะจง และได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กลูโคสกับมอลโตส ส่วนเบตาอะไมเลส จะย่อยเป็นระเบียบกว่า คือ จะเริ่มย่อยมอลโตสทีละหน่วยจากปลายที่เป็น non reducing end ในขณะที่ย่อยพอลิแซ็กคาไรด์ด้วยอะไมเลส จะมีพอลิแซ็กคาไรด์ขนาดสั้น ๆ เกิดขึ้นเรียกว่าเดกซทริน แอลฟาอะไมเลส และเบตาอะไมเลส ไม่สามารถย่อยสลาย α-1,6 linkage ได้ ดังนั้นผลของการย่อยก็จะเป็นสารที่มีขนาดใหญ่พอสมควรเรียกว่า เดกซ์ทรินจำกัด (limit dextrin) สำหรับการ ย่อยส่วนที่แตกสาขาที่มีพันธะแบบ α-1,6 linkage ต้องใช้เอนไซม์อีกพวกหนึ่งเรียกว่า debranching enzyme ที่มีชื่อว่า α –1,6 glucosidase ดังนั้นเอนไซม์ทั้งสามชนิดในพืช จึงช่วยกันย่อยอะไมโลเพกทินให้สมบูรณ์กลายเป็นกลูโคส และมอลโตส ส่วนสัตว์ชั้นสูง เช่น คน สามารถย่อยแป้งได้เพราะมีเอนไซม์อะไมเลสในน้ำลาย และในน้ำย่อยจากตับอ่อน และมีเอนไซม์ debranching ช่วยย่อยแป้งในกระเพาะอาหารและลำไส้ให้กลายเป็นกลูโคส และมอลโตสซึ่งถูกดูดซึมนำไปใช้ต่อไป

แป้งตามธรรมชาติจะไม่พองตัวในน้ำเย็น แต่ถ้าน้ำอุ่นอุณหภูมิประมาณ 50 องศาเซลเซียสแป้งจะพองตัวเป็นเจล เพิ่มขนาด เพราะโมเลกุลของน้ำเข้าไปอยู่ในระหว่าง โมเลกุลของแป้งส่วนที่เป็นอะไมโลสจะแตกตัวกระจายในน้ำ ได้สารละลายข้นเหนียวเป็นเจล

เมื่อไฮโดรไลซ์แป้งจะได้ผลิตภัณฑ์ระหว่างปฏิกิริยา (intermediate product) คือ เดกซ์ทรินแล้วเดกซ์ทรินจึงจะแตกตัวต่อเป็นมอลโตสแล้วได้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายคือกลูโคส

2.2.1 เอนไซม์ α- Amylase

มีชื่อสามัญว่า diastase และมีชื่อตามระบบว่า α -1,4 –glucan 4-glucanohydroiasc , EC ตัวอย่างเอนไซม์ α-Amylase ทางการค้าคือ Termamyl ของบริษัท NOVO พบทั่วไปทั้งในอาณาจักรพืชและอาณาจักรสัตว์ ตลอดทั้งในคน จะพบในส่วนของน้ำลาย ตับอ่อนซึ่งมีบทบาทสำคัญในการย่อยสลายแป้ง เป็นโอลิโกแซ็กคาไรด์ และไดแซ็กคาไรด์ ซึ่งจะถูกย่อยต่อในลำไส้ก่อนที่จะซึมผ่านผนังลำไส้สู่ร่างกายเป็นเอนไซม์ที่มวลโมเลกุลประมาณ 50,000 มี Ca^{2+} 1 ตัวต่อเอนไซม์ 1 โมเลกุลจะถูกกระตุ้นด้วยฮาโลเจนอิออน เช่น $C1^{-}$, Br^{-}, F^{-} มีค่า Pk ของหมู่แตกอิออนได้ในบริเวณเร่งอยู่ที่ 6.5-8.0 ซึ่งหมู่ที่ว่านี้อาจเป็นหมู่อิมิดาโซล หรือ หมู่อะมิโน

ลักษณะสำคัญของเอนไซม์ในการย่อยสลายก็คือ เจาะจงต่อการย่อยสลายพันธะไกลโคซิลของแป้งที่ α– 1,4 ในลักษณะตัดภายในสายโพลิเมอร์อย่างอิสระ (endo-splitting amylase) ได้ผลผลิตเป็น glucan และ limit dextrin ที่มีหน่วยกลูโคสประมาณ 2-6 หน่วย และยังคงมี Configuration เดิม (α- configuration)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.1.1. เอนไซม์แอลฟาอะไมเลสผลิตจากจุลินทรีย์ดังต่อไปนี้

(ก) Bacillus amyloliquefaciens หรือ อีกชื่อหนึ่งเรียกว่า Bacillus subtillis (Bacillus subtillis var. amuloliquefaciens) เอนไซม์กลุ่มนี้มีความคงทนที่อุณหภูมิประมาณ 70 องศาเซลเซียล ความสามารถหรือกิจกรรม pH ที่มีเหมาะสมคือ 6.0-6.5 เอนไซม์กลุ่มนี้ปกติในการผลิตจะทำงานในระดัง 90 องศาเซลเซียล เป็นเวลามากกว่า 1 ชั่วโมง (ขึ้นกับความเข้มข้นของเอนไซม์) เมื่อกิจกรรมการย่อยสลายเสร็จสิ้น ความสามารถก็หมดพร้อม ๆ กัน ไม่ต้องใช้ความร้อนทำลายเพื่อจะหยุดปฏิกิริยา

(ข) Bacillus licheniformis เอนไซม์กลุ่มนี้ทนความร้อนได้ดี เหมาะสมกับการทำงานที่อุณหภูมิสูง ต้องการแคลเซียมเป็นตัวร่วมกิจกรรม ในขณะที่ทำงานในอุณหภูมิ 107 องศาเซลเซียลน้ำแป้ง 30%pH 6 และความเข้มข้นของแคลเซียม 230 ppm นั้น เอ่นไซม์มีค่าครึ่งชีวิตเท่ากับ 21 นาที (หมายความว่า ณ การทำงานในปัจจุบัน ข้างต้นนี้ กิจกรรมของเอนไซม์จะลดลง 50% ปฏิกิริยาของเอนไซม์ทำได้โดยใช้ความร้อนสูง 120-140 องศาเซลเซียล

(ค) Bacillus stearothetmopluilus เป็นเอนไซม์ที่ทนความร้อนได้ดีที่สุด ในสภาวะ 107 องศาเซลเซียล น้ำแป้ง 30 % pH 6 และความเข้มข้นของแคลเซียม 230 ppm น้ำ เอนไซม์นี้มีค่าครึ่งชีวิตเท่ากับ 53 นาที่ น้ำแป้งที่ย่อยแล้ว (ในอุณหภูมิสูง) จะมีสีคล้ำ และต้องหยุดปฏิกิริยาของเอนไซม์โดยความร้อนสูงก่อนเริ่มกระบวนการผลิตอื่น ๆ

2.2.1.2 การย่อยสลายได้ใช้เอนไซม์ (enzymatical hydrolysis)

แป้งย่อยโดยใช้เอนไซม์เป็นแป้งดัดแปรที่ได้จากการย่อยสลายด้วยเอนไซม์ ผลิตโดยผสมสารละลายแป้งกับเอนไซม์ นำไปเจลาติไนซ์โดยใช้ direct steam injection (jet-cooker) เมื่อเอนไซม์ย่อยถึงระดับที่ต้องการหยุดปฏิกิริยาเอนไซม์โดยเพิ่มอุณหภูมิภายใน cooker ให้สูงขึ้น เอนไซม์ที่ใช้ในการย่อยแป้งมีหลายชนิดขึ้นอยู่กับลักษณะของแป้งดัดแปรที่ต้องการ ได้ผลิตภัณฑ์จากการย่อยแป้ง ได้แก่ น้ำเชื่อมกลูโคส น้ำเชื่อมฟรักโทส ไซโคลเดกซ์ทริน
เมื่อพิจารณาตามลักษณะของการทำงานของเอนไซม์จะแบ่งได้ 3 กลุ่ม คือ

1. เอนไซม์ย่อยภายนอก (exo-enzyme)

กลูโคอะมิเลส (glucoamylase ; EC 3.2.1.3 ; α (1,4) –glucan glucohydrolase) หรือเรียกว่า อะมิโลสกลูโคสิเดส (amyloglucosidase) เป็นเอนไซม์ที่ตัดพันธะที่จับกันของน้ำตาลกลูโคสทั้งพันธะ α- 1,4 และพันธะกิ่ง α -1,6 โดยที่การตัดพันธะกิ่งจะเกิดขึ้นช้ากว่าการตัดพันธะ α-1,4 ดังแสดงการทำงานในภาพที่ 6.21 ในการย่อยแป้งให้ได้โมเลกุลของกลูโคสจะต้องใช้กลูโคสอะมิเลสร่วมกับ แอลฟาอะมิเลส กลูโคอะมิเลสไม่ต้องการ cofactor ในการทำกิจกรรม เอนไซม์มีน้ำหนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โมเลกุลประมาณ 50-110 กิโลดาลตัน มีความเสถียรที่ pH 3.5 –5 และที่อุณหภูมิ ±55°C กลูโคอะมิเลส พบใน จุลินทรีย์ เช่น Aspergillus niger, Aspergillus oryzae maltohydrolase) เป็นเอนไซม์ที่ทำงานภายนอกโมเลกุลของแป้ง แล้วค่อยตัดจากนอกเข้ามาข้างใน โดยเริ่มจากปลายของอะมิโลสหรืออะมิโลเพกทิน (ปลายด้าน non-reducing end) เอนไซม์จะตัดพันธะ α- 1,4 ของโมเลกุลกลูโคสเป็นคู่ๆไป ผลที่ได้จะได้เป็นน้ำตาลมอลโตส แต่เมื่อปฏิกิริยาเข้าใกล้จุดที่เป็นกิ่งก้านหรือพันธะ α- 1,6 ของอะมิโลเพกทิน เอนไซม์จะหยุดกิจกรรม ทำให้เหลือโมเลกุลใหญ่ๆไว้มาก ดังแสดงในภาพ 6.22 เบต้าอะมิเลสต้องการ Ca^{2+} ในการทำกิจกรรม เบต้าอะมิเลสพบได้ในพืชชั้นสูง เมล็ดธัญพืช เช่น ข้าวบาร์เล่ย์ ข้าวโอ๊ต ข้าวสาลี และพบได้ในถั่ว หรือมันฝรั่งหวาน นอกจากนี้ยังสามารถสกัดเอนไซม์เบต้าอะมิเลสได้จากจุลินทรีย์ เช่น Bacilli, Pseudomonas เอนไซม์จากพืชมีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 125-150 กิโลดาลตัน เอนไซม์ที่ได้จากจุลินทรีย์มีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 50 กิโลดาลตัน มีความเสถียรที่ pH 4-9 และที่อุณหภูมิต่ำกว่า 60°C

ฟอสโฟรีเลส (phosphorylase ; EC 2.4.1.1 ; α (1,4)- glucan:orthophosphate glucosyltransferase) เป็นทั้งเอนไซม์สังเคราะห์และย่อยสลาย พบในพืชและสัตว์ ในสภาวะที่มี inorganic phosphate ใช้เอนไซม์นี้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาผันกลับของstarch + phosphate(Pi) ↔ glucose-1-phosphateเอนไซม์ชนิดนี้จะตัดหน่วยกลูโคสออกจากสาย โดยเริ่มตัดจากด้าน non-reducing end ไม่สามารถย่อยพันธะกิ่งได้

2. เอนไซม์ย่อยภายใน (endo-enzyme)

แอลฟาอะมิเลส (alpha-amylase ; EC 3.2.1.1 ; α (1,4)-glucan glucanohydrolase) เป็นเอนไซม์ที่ทำงานในโมเลกุลแป้ง โดยจะตัดพันธะ α- 1,4 ระหว่างโมเลกุลของน้ำตาลกลูโคสที่จับอยู่เท่านั้น ไม่สามารถตัดพันธะ α- 1,6 ได้ ลักษณะการทำงานเป็นการสุ่มตัดภายใน ดังแสดงในภาพ 6.24 เอนไซม์มีมวลโมเลกุลประมาณ 50 กิโลดาลตัน การทำงานของเอนไซม์ต้องการ Ca^{2+} ร่วมทำกิจกรรม เอนไซม์มีความเสถียรที่ pH 5.5 –9 และที่อุณหภูมิห้องถึง 115°C แอลฟาอะมิเลสสามารถผลิตได้จากพืช, สัตว์, เชื้อรา และแบคทีเรีย ในทางอุตสาหกรรมจะใช้เอนไซม์ที่ได้จากเชื้อราและแบคทีเรีย โดยเฉพาะเอนไซม์จากแบคทีเรียซึ่งสามารถทนต่ออุณหภูมิสูงได้ เมื่อใช้แอลฟาอะมิเลสในการย่อยสารละลายแป้งจะทำให้ความหนืดและความสามารถในการย้อมติดสีไอโอดีนลดลงอย่างรวดเร็ว และทำให้ reducing power เพิ่มขึ้นอีกด้วย

3. เอนไซม์ย่อยพันธะกิ่ง (debraching enzyme)

ไอโซอะมิเลส(isoamylase ; EC 3.2.1.68 ; glucanohydrolase) เป็นเอนไซม์ที่สามารถย่อยจุดที่เป็นกิ่งก้านของไกลโคเจน และอะมิโลเพกทินได้ดี ไม่ต้องการ cofactor ในการทำกิจ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

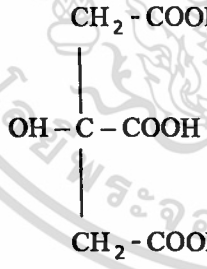
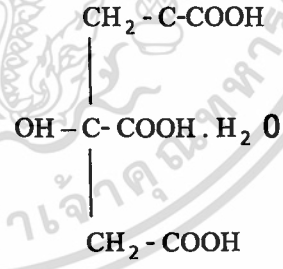
กรรม สามารถดำเนินกิจกรรมได้ดีในช่วง pH 3-4 และมีความเสถียรที่อุณหภูมิ 45-55°C เอนไซม์ชนิดนี้สามารถแยกได้จากพืช สัตว์ และจุลินทรีย์ เช่น Pseudomonas amyloderamosa

พลูลาเนส (pullulanase ; EC 3.2.1.41 ; pullulan 6-glucanohydrolase) เป็นเอนไซม์ที่ใช้ตัดพันธะ α- (1,6)ของพลูแลนอะมิโลเพกทิน แต่การทำกิจกรรมไม่สมบูรณ์เท่ากับการย่อยโดย ไอโซอะมิเลส และทำกิจกรรมกับไกลโคเจนได้ยาก สามารถย่อยได้สายกลูโคสที่มีความยาว 2-3 หน่วยไม่สามารถย่อยจนได้กลูโคส 1 หน่วย เอนไซม์ชนิดนี้พบได้ในพืช, สัตว์ และแบคทีเรีย เอนไซม์มีความเสถียรที่ pH 4.5-5.5 และที่อุณหภูมิ ± 50°C

2.3 กรดซิตริก (citric acid)

กรดซิตริก มีชื่อทางเคมีว่า *B* – hydroxy tricarboxylic acid หรือ 2-hydroxyl-1,2,3-propanetricarboxylic acid มีลักษณะเป็นผงสีขาว ไม่มีกลิ่นอยู่ในรูปของ anhydrous และmonohydrate ซึ่งมีคุณสมบัติต่าง ๆ ดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 คุณสมบัติและสูตรโครงสร้างของ anhydrous และ monohydrate ของกรดซิตริก

คุณสมบัติ	anhydrous	monohydrate
Empirical formula	$C_6H_8O_7$	$C_6H_8O_7.H_2O$
Structure formula		
Molecular weight	192.13	210.15
Melting point (^{0} C)	150	100

ที่มา : ดัดแปลงจาก Gruber , 1948

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
96704

กรดซิตริกเป็นสารที่ละลายได้ง่าย โดยกรดซิตริก 1 กรัมสามารถละลายน้ำ 0.5 มิลลิลิตร หรือละลายในเอธานอล 2 มิลลิลิตร มีรสเปรี้ยว สามารถย่อยสลายและกำจัดได้ง่ายตลอดจนสามารถผลิตได้เองในประเทศ ทำให้หาซื้อได้ง่ายและราคาถูก และเนื่องจากกรดซิตริกเป็นสารที่เกิดขึ้นในระหว่างขบวนการ Kreb' s cycle ซึ่งเป็นขบวนการออกซิเดชันกรดไพรูวิดในระบบการหายใจแบบใช้ออกซิเจนของสิ่งมีชีวิต และพบทั่วไปในเนื้อเยื่อพืชและสัตว์ต่าง ๆ ดังนั้น การได้รับกรดซิตริกที่เจือปนกับอาหารเข้าไปนั้น จึงไม่เป็นอันตรายต่อร่างกาย โดยจากการศึกษา ปริมาณกรดซิตริกที่ยอมรับได้ในแต่ละวัน (Gruber , 1948) พบว่าระดับที่ปลอดภัยสำหรับอาหารทุกชนิด (unconditional acceptance level) เป็น 0-60 mg. / kg. Body weight และระดับที่ปลอดภัยเมื่อได้รับอาหารที่มีแคลเซียมสูง (conditional acceptance level) เป็น 60-120 mg. Body weight

2.3.1 ประโยชน์ของกรดซิตริก

กรดซิตริกอาจจะถูกนำไปใช้ในรูปของกรดซิตริกโดยตรง หรืออาจจะใช้ในรูปเกลือ และเอสเทอร์ของกรดซิตริกในอุตสาหกรรมต่าง ๆ ในรูปของ antioxidant, sequestrant, acidulant ซึ่งประโยชน์ของกรดซิตริก เกลือและเอสเทอร์ของกรดซิตริก มีดังนี้

1. ในอุตสาหกรรมอาหาร ใช้กรดซิตริกเป็นส่วนผสมในการทำลูกกวาด ผลไม้เชื่อม เยลลี่ แยม ผักและผลไม้ดอง น้ำหวาน น้ำเชื่อม น้ำผลไม้และไวน์ ซึ่งกรดซิตริกมีบทบาทสำคัญในการเพิ่มกลิ่น-รส ลดความฝาด ควบคุมความเป็นกรด และป้องกันการขุ่นของไวน์ได้

2. ในอุตสาหกรรมทำยา ใช้กรดซิตริกเป็นส่วนผสมในยาบางชนิด เพื่อควบคุมความเป็นกรด ผสมยาที่มีฟองฟูเมื่อผสมน้ำดื่ม การใช้ผสมในยานี้มีการใช้ในรูปของเอสเทอร์ หรือเกลือของกรดซิตริก

3. ในอุตสาหกรรมทำเครื่องสำอางค์ ใช้กรดซิตริกเป็นส่วนผสมในการทำเครื่องสำอาง ครีมนวดผม น้ำยาเซ็ทผม และโลชั่น โดยกรดซิตริกจะควบคุมระดับ pH ของผลิตภัณฑ์และเพิ่มความแวววาวของน้ำยา

4. ในอุตสาหกรรมอื่นๆ เช่น ใช้กรดซิตริกเป็นส่วนผสมในน้ำยาขัดโลหะ น้ำยาล้างสนิม น้ำหมึก สี เป็นต้น

2.4 การดัดแปรแป้งด้วยเทคนิคไมโครเวฟ

ในการให้ความร้อนอาหารโดยทั่วไปจะเป็นการให้ความร้อนด้วยแหล่งความร้อนจากภายนอก ไม่ว่าจะเป็นการนำความร้อนหรือการพาความร้อน ซึ่งอาหารจะสุกจากความร้อนที่ผ่านจากผิวหน้าด้านนอกสู่ด้านใน แต่การใช้ไมโครเวฟจะเป็นการให้ความร้อนจากภายในตัวอาหารเองซึ่งการทำงานของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไมโครเวฟนี้เปรียบได้เหมือนการถูมือทั้งสองข้างเข้าด้วยกันทำให้เกิดการเสียดสี (friction) จนเกิดความร้อนในที่สุด ไมโครเวฟก็เช่นเดียวกัน เมื่อมีการดูดซึมพลังงานความร้อนเข้าไปในสาร จะทำให้เกิดการเสียดสีในโมเลกุลโครงสร้างจนเกิดความร้อนโดยจะเป็นการเปลี่ยนแปลงสนามไฟฟ้า คล้ายกับการหมุนขั้วอย่างอ่อน ส่วนประกอบในอาหารส่วนใหญ่คือน้ำซึ่งมีขั้วรวมทั้งสารอาหารอื่นๆ ในอาหารที่มีขั้วด้วย จะเหมือนแท่งแม่เหล็กที่ได้รับสนามไฟฟ้าอย่างรวดเร็ว โมเลกุลที่มีขั้วจะเกิดการเรียงตัวตามแนวขั้วบวกและลบสลับไปมา เกิดการเสียดสีจนเป็นความร้อนขึ้น (Fellows . 1990)

2.4.1 การใช้ไมโครเวฟสำหรับเก็บรักษาอาหาร

"ไมโครเวฟ" เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งมีความยาวคลื่นอยู่ระหว่างคลื่นวิทยุและอินฟาเรด ดังนั้นพลังงานจากไมโครเวฟก็คือ พลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้านั่นเอง โดยความถี่ของคลื่นที่นิยมใช้ในการประกอบอาหารตามบ้านและในอุตสาหกรรมอาหารคือ 869MHz สำหรับยุโรป และ สหราชอาณาจักร, 915 MHz ในประเทศสหรัฐอเมริกา และ 2,450 MHz สำหรับการใช้งานโดยทั่วไปสาเหตุที่ช่วงคลื่นดังกล่าวนิยมใช้กันมาก เนื่องจาก

2.4.1.1 การใช้เครื่องกำเนิดไมโครเวฟ (Microwave generator) ที่ความถี่เหล่านี้เป็นลำดับพลังงานที่ใช้ได้ดี และค่าใช้จ่ายเหมาะสม

2.4.1.2 ความยาวคลื่นที่ความถี่เหล่านี้สอดคล้องกับมิติของอาหาร ทำให้มีประสิทธิภาพในการให้ความร้อนสูงกว่าช่วงความถี่ที่สูงหรือต่ำกว่านี้

2.4.2 คุณสมบัติของคลื่นไมโครเวฟ

2.4.2.1 คลื่นไมโครเวฟสามารถทะลุผ่านวัตถุบางอย่างได้ (Transmittance)

ไมโครเวฟสามารถทะลุทะล่วงผ่านวัตถุบางชนิดได้ไม่มีการดูดกลับไป คุณสมบัติข้อนี้ทำให้คลื่นไมโครเวฟทะลุผ่านภาชนะใส่อาหารและความร้อนที่เกิดขึ้นกับภาชนะเกิดจากการถ่ายเทความร้อนจากจานอาหารสู่ภาชนะ

2.4.2.2 สามารถสะท้อนกลับได้ (Reflection)

คลื่นไมโครเวฟมักสะท้อนกลับเมื่อพุ่งไปกระทบวัตถุประเภทโลหะซึ่งเป็นสื่อนำไฟฟ้าได้ดี คุณสมบัติข้อนี้เป็นข้อได้เปรียบของเตาไมโครเวฟ ซึ่งไมโครเวฟจะสะท้อนจากด้านล่างและด้านข้างของเตาทำให้สามารถซึมผ่านเข้าไปในอาหารจากทุกด้านทั้งด้านบน และด้านล่าง และซ้าย-ขวา

2.4.2.3 สามารถดูดกลืนเข้าไปในอาหารได้ (Adsorption)

คลื่นไมโครเวฟสามารถดูดกลืนเข้าไปในอาหารได้ คุณสมบัติข้อนี้ทำให้อาหารสุกได้อาหารมีน้ำอยู่ในอัตราค่อนข้างสูง เป็นส่วนที่ไมโครเวฟถูกดูดกลืนเข้าไปได้ง่ายที่สุด

2.4.3 กลไกการเกิดความร้อนของไมโครเวฟ

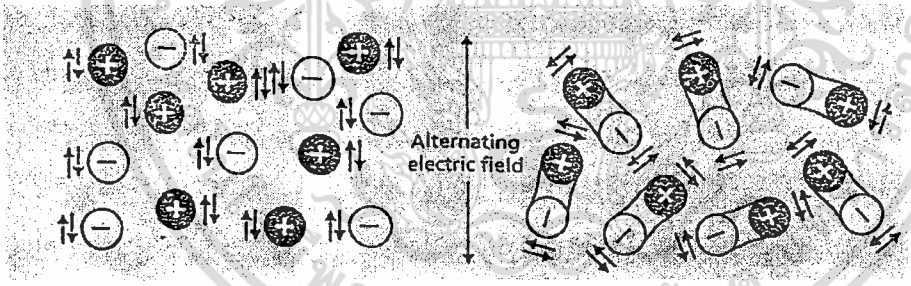
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.3.1 หลักการใช้พลังงานความร้อนและการทำให้อาหารสุกของไมโครเวฟ

ไมโครเวฟเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าความถี่สูงมีแหล่งกำเนิดจากหลอดแมกนีตรอนซึ่งเป็นหลอกสูญญากาศจะอยู่ในตู้อบโดยแมกนีตรอนจะเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้า 220 W ให้ออกมาในรูปของคลื่นของพลังไมโครเวฟที่มีกำลัง (พลังงานต่อหน่วยเวลา) ในช่วงของ 600 –700 W และมีคลื่นนำ (wave guide) จากท่อนำคลื่น (wave guide couple)ทำหน้าที่ควบคุมทิศทางการกกระจายของคลื่นไมโครเวฟ

ในด้านของการใช้พลังงานความร้อน โดยหลักการแล้ว คลื่นไมโครเวฟจะก่อให้สสารเกิดความร้อนขึ้นได้ ก็ต่อเมื่อสสารดูดกลืน (absorbed) คลื่น สสารพวกโพลาร์โมเลกุล (polar molecule) เช่น น้ำ หรือสารที่มีประจุอื่น ๆ เป็นต้น เนื่องจากคลื่นไมโครเวฟเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่เคลื่อนที่กลับไปกลับมา เมื่อโมเลกลุของสสารเหล่านี้วางตัวในสนามแม่เหล็กไฟฟ้าของคลื่นไมโครเวฟจะพยายามเรียงตัวตามแนวสนามแม่เหล็กไฟฟ้าตามแนวขั้วบวกและขั้วลบ ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของโมเลกุล ในการผลักกันระหว่างขั้วที่เหมือนกันทำให้เกิดการเสียดสีระหว่างโมเลกุลและเป็นผลให้เกิดความร้อนขึ้น

ไมโครเวฟจะทุลุทะลวงผ่านลงไปในอาหาร ซึ่งขณะที่ทะลุผ่านนั้น พลังงานจากไมโครเวฟจะถูกเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อนโดยตัวอาหารเอง ซึ่งความร้อนนี้เกิดจากการจัดเรียงตัวของโมเลกุลที่มีประจุทางไฟฟ้า ดังแสดงในภาพที่ 2.5



ภาพที่ 2.5 การจัดเรียงตัวของโมเลกุลที่มีขั้ว และโมเลกุลที่มีประจุในอาหาร
ที่มา : Mullin (1995)

ตัวอย่างเช่น โมเลกุลของน้ำประกอบด้วย ส่วนที่มีประจุลบของอะตอมออกซิเจน และส่วนที่มีประจุบวกของอะตอมไฮโดรเจน ซึ่งเรียกว่ามีลักษณะอิเล็กทริกไดโพล (electric dipole) โดยปกติแล้วโมเลกุลของน้ำจะมีการเคลื่อนที่อย่างอิสระ แต่เมื่อได้รับสนามไฟฟ้า จะทำให้เกิดการจัดเรียงตัวของโมเลกุลให้สอดคล้องกับสนามไฟฟ้า และเมื่อสนามไปฟ้าหมดไปจะทำให้เกิดการเคลื่อนที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

19744

อย่างอิสระอีกครั้ง การเปลี่ยนแปลงของสนามไฟฟ้าสลับไปมาอย่างรวดเร็วประมาณหลายล้านครั้งต่อวินาที เช่น ที่ความถี่ 2,450 MHz จะทำให้เกิดพลังงานจลน์และเกิดความร้อนขึ้น ซึ่งความร้อนนี้จะใช้ในการหุงต้มอาหารนั่นเอง สำหรับโมเลกุลที่มีขั้วอื่น ๆ เช่นโปรตีน คาร์โบไฮเดรต ก็ใช้หลักการนี้ที่ทำให้เกิดความร้อนเช่นเดียวกัน

2.4.4 ศัพท์ที่น่าสนใจสำหรับไมโครเวฟ

ค่าคงที่ไดอิเล็กตริก (Dielectric constant) จำนวนโมเลกุลไดโพล (dipole) และการเปลี่ยนแปลงที่ถูกเหนี่ยวนำด้วยสนามไฟฟ้าจะเป็นตัวกำหนดค่าคงที่ไดอิเลกตริก โดยค่านี้จะเป็นสัดส่วนความจุของประจุในอาหารตอความจุของอากาศหรือในบางกรณีอาจเป็นสูญญากาศ

ช่วงเวลารีแลกซ์ (Relaxation time) คือช่วงเวลาก่อนที่ไดโพลจะตอบสนองต่อสนามไฟฟ้า

ลอสแฟกเตอร์ (Loss Factor , Dielctric loss tangent) คือปริมาณพลังงานที่ถูกดูดกลืนและเปลี่ยนเป็นความร้อน

2.4.5 ข้อดีและข้อเสียของไมโครเวฟ (Richardson,1986)

2.4.5.1 ข้อดีของไมโครเวฟ

1. การให้ความร้อนสามารถทำได้อย่างรวดเร็ว โดยเร็วกว่าวิธีธรรมดาประมาณ 4 เท่าทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีคุณภาพสูงในด้านรสชาติ , เนื้อสัมผัส , คุณค่าทางโภชนาการ ละยังทำให้อัตราการผลิตสูงขึ้นอีกด้วย ซึ่งสามารถเปรียบเทียบการสูญเสียคุณค่าทางโภชนาการได้ดังรูปด้านล่าง
2. การกระจายความร้อนทั่วถึงทั้งผลิตภัณฑ์มากกว่าวิธีการธรรมดา
3. การควบคุมความร้อนใจกระบวนการผลิตที่ใช้ไมโครเวฟสามารถทำให้ได้อย่างถูกต้องและแม่นยำ โดยการเดินเครื่องและหยุดเครื่องทำได้อย่างรวดเร็ว
4. ผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการบรรจุแล้วสามารถใช้ไมโครเวฟในการให้ความร้อนได้
5. ลดปัญหาการไหม้ที่ผิวหน้าผลิตภัณฑ์เนื่องจากไม่มีการสัมผัสกับแผ่นให้ความร้อนโดยตรง
6. การให้ความร้อนกับผลิตภัณฑ์ที่มีความหนืดสูงสามารถทำได้อย่างมีประสิทธิภาพเนื่องจากส่งผ่านความร้อนจะไม่ขัดขวางการไหลของผลิตภัณฑ์
7. เตาอบไมโครเวฟมีขนาดเล็กกว่าเครื่องมือที่ใช้ในวิธีธรรมดา จึงช่วยประหยัดพื้นที่ในโรงงาน
8. ประหยัดพลังงานเนื่องจากลดเวลาในการอุ่นเครื่อง (warm up time) และความร้อนจะเกิดขึ้นในอาหารเท่านั้น จึงไม่เกิดการสูญเสียพลังงานให้กับสิ่งแวดล้อม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ห้องสมุดคณะเทคโนโลยีการเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าฯ

9. ประหยัดเวลาเนื่องจากการให้ความร้อนสามารถทำได้เร็วกว่าวิธีธรรมดาถึงประมาณ 4 เท่า

2.4.5.2 ข้อเสียของไมโครเวฟ

1.ต้นทุนและค่าใช้จ่ายในการดำเนินการสูงกว่าวิธีการธรรมดาเนื่องจากลักษณะพิเศษของเครื่องมือและค่าใช้ไฟฟ้า โดยการใช้พลังงานในรูปอื่นจะราคาถูกกว่า

2.ประสิทธิภาพของแมกนีตรอนต่ำ โดยพลังงานไฟฟ้าจะเปลี่ยนเป็นพลังงานไมโครเวฟได้เพียง 50 –55% ที่ความถี่ 2,450 MHz แต่ในปัจจุบันที่ความถี่ต่ำ เช่น 896 MHz แมกนีตรอนจะมีประสิทธิภาพ 90 –95%

3.ความไม่สม่ำเสมอของความร้อนเนื่องจากลักษณะของผลิตภัณฑ์ เช่น ผลิตภัณฑ์ไม่เป็นเนื้อเดียวกัน ขนาดและรูปร่างไม่สม่ำเสมอ เป็นต้น ความร้อนที่สูงเกินไปมักเกิดบริเวณมุม,ริมและส่วนที่แหลมของผลิตภัณฑ์ ซึ่งได้รับพลังงานสูงเกินไป ส่วนความร้อนที่ต่ำเกินไปมักเกิดบริเวณส่วนกลางของผลิตภัณฑ์ที่มีขนาดใหญ่

4.ความไม่สม่ำเสมอของความร้อนเนื่องจากการออกแบบที่ไม่ดีทำให้รูปแบบของคลื่นไมโครเวฟไม่แน่นอน

5.สำหรับการอบโดยใช้ไมโครเวฟ เวลาที่ให้ความร้อนอาจเร็วเกินไปที่จะทำให้ผลิตภัณฑ์สุกอย่างเต็มที่ และอุณหภูมิที่ผิวหน้าผลิตภัณฑ์อาจสูงไม่พอที่จะทำให้เกิดสีน้ำตาลซึ่งเป็นลักษณะที่ต้องการในผลิตภัณฑ์ขนมอบ

แมกนีตรอนจะติดตั้งทั้งด้านบนและด้านล่างของสายพานตลอดทางที่ผลิตภัณฑ์เคลื่อนผ่าน เพื่อให้แน่ใจว่าผลิตภัณฑ์ได้รับพลังงานอย่างแน่นอน และยังทำให้ส่วนประกอบของอาหารแต่ละส่วนได้รับพลังงานในระดับที่ต้องการ เช่น ในอาหารประกอบด้วยเนื้อ , ผัก และก๋วยเตี๋ยว เนื้อจะได้รับพลังงานมากกว่าก๋วยเตี๋ยวและผักจะได้รับพลังงานน้อยที่สุด เป็นต้น จำนวนของแมกนีตรอนในแต่ละเครื่องจะขึ้นอยู่กับการออกแบบ โดยปรกติจะมีอยู่ประมาณ 6 –24 แมกนีตรอนต่อเครื่อง การควบคุมแต่ละแมกนีตรอนจะใช้คอมพิวเตอร์ พลังงานจะถูกโปรแกรมให้อยู่ในช่วง 10 –100% และสามารถเริ่มผลิตใหม่ได้ตลอดเวลา

2.4.6 ปัจจัยที่มีผลต่อการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ

1. ความถี่ของคลื่น คลื่นไมโครเวฟที่มีความถี่ต่ำ (เช่น 896 และ915 MHz) จะมีการทะลุผ่านชิ้นอาหารได้ดีกว่า และมีความสม่ำเสมอในการให้ความร้อนมากกว่าเมื่อใช้กับอาหารที่มีขนาดเล็กหรืออาหารที่มีค่าลอสแฟกเตอร์ต่ำ (ระดับความลึกของการทะลุผ่านไม่ใช่สิ่งจำเป็น การเลือกใช้ความยาวคลื่นขึ้นกับความเหมาะในการใช้พลังงาน)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ความเข้มของสนามไฟฟ้า เมื่อความเข้มของสนามไฟฟ้ามากขึ้น การให้เวลากับอาหารจะใช้เวลาน้อยลง ซึ่งสามารถใช้จุดนี้เป็นตัวปรับอัตราเร็วในการให้ความร้อนกับอาหาร

3. ความชื้นอาหาร เนื่องจากน้ำมีค่าลอสแฟกเตอร์สูงอาหารที่มีความชื้นสูงจึงสามารถเพิ่มอุณหภูมิได้รวดเร็ว และความชื้นที่สูงนี้จะทำให้เกิดการดูดซับไมโครเวฟได้มาก แต่จะลดระดับความลึก ในการทะลุผ่าน ส่วนความชื้นต่ำก็สามารถให้ความร้อนได้ดีเช่นเดียวกันเนื่องจากมีค่าความจุความร้อนจำเพาะ (Specific heat capacity) ต่ำ และเมื่อความชื้นลดลงยังทำให้ความลึกในการทะลุผ่านเพิ่มขึ้นอีกด้วย

4. อุณหภูมิของอาหาร อุณหภูมิของอาหารจะมีสัมฤทธิ์การเปลี่ยนแปลงพลังงานและมีผลต่อสถานะขององค์ประกอบที่ดูดกลืนพลังงานได้ดีในอาหาร เช่น น้ำ ดังนั้นอุณหภูมิจึงมีผลต่อการ ให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ

5. รูปร่างของอาหาร อาหารที่มีขนาดใหญ่มากหรือมีความหนามาก เมื่อใช้ไมโครเวฟที่มีความถี่สูงเกินไปอาจทำให้ไมโครเวฟไม่สามารถทะลุผ่านเข้าไปถึงกึ่งกลางชิ้นอาหารได้ ทำให้การเพิ่มอุณหภูมิไม่สม่ำเสมอทั้งชิ้น ความสม่ำเสมอของรูปร่างก็มีผลต่อการให้ความร้อนเช่นเดียวกัน อาหารที่มีรูปร่างสม่ำเสมอจะถูกให้ความร้อนได้สม่ำเสมอกว่า อาหารรูปร่างทรงกลมจะถูกให้ความร้อนได้สม่ำเสมอกว่าอาหารที่มีรูปร่างที่มีเหลี่ยมมุม

6. การนำไฟฟ้า เนื่องจากการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟจะเกิดการเคลื่อนที่ของโมเลกุลที่มีประจุในอาหารจึงมีความสัมพันธ์กับการนำไฟฟ้าของอาหาร เมื่อเพิ่มการนำไฟฟ้าให้กับอาหาร เช่น เติมเกลือหรือสารอื่นสามารถแตกตัวให้ประจุ จะทำให้อัตราการให้ความร้อนสูงขึ้น แต่อาจมีผลต่อการทะลุผ่านเข้าไปในเนื้ออาหารและทำให้การให้ความร้อนไม่สม่ำเสมอได้

7. การนำความร้อนของอาหาร ระหว่างการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟจะเกิดการถ่ายเทความร้อนโดยการนำความร้อนในชิ้นอาหารด้วย ซึ่งเห็นได้ชัดในอาหารชิ้นใหญ่หรือมีความหนามาก ไมโครเวฟจะไม่สามารถทะลุเข้าไปถึงจุดกึ่งกลางได้ แต่สำหรับอาหารชิ้นเล็กหรือมีความหนืดไม่มาก การนำความร้อนจะไม่มีผลต่อการเพิ่มอุณหภูมิมากนัก

8. ความร้อนจำเพาะของอาหาร จะมีความสำคัญในกรณีที่อาหารชนิดนั้น ๆ มีประสิทธิภาพในการเปลี่ยนแปลงพลังงานต่ำ ความร้อนจำเพาะของอาหารจะมีผลต่ออัตราเร็วในการเพิ่มอุณหภูมิ การควบคุมความร้อนจำเพาะเป็นเทคนิคหนึ่งในการให้ความร้อนกับอาหารที่มีหลายองค์ประกอบ โดยจัดส่วนขององค์ประกอบให้มีค่าความร้อนจำเพาะใกล้เคียงกัน

2.4.7 ระบบของเครื่องมือที่ใช้ในการสเตอริไรซ์แบบต่อเนื่อง

ระบบการสเตอริไรซ์ประกอบด้วยส่วนต่าง ๆ ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

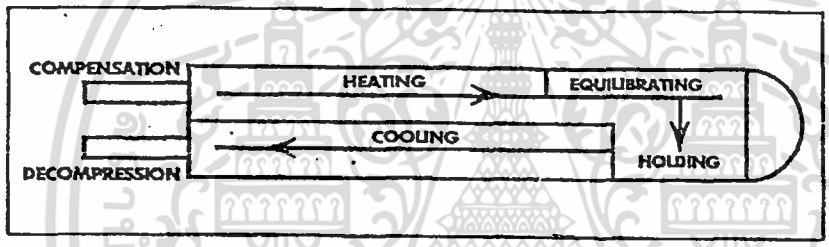
1. Collating and Infeed Machine

2. Microwave Chamber

3. Programmable Logic Controller (PLC)

Collating and Infeed Machine เป็นเครื่องมือที่ทำหน้าที่รับบรรจุภัณฑ์จากเครื่องบรรจุมาทำการจัดเรียงใส่แถว เมื่อเต็มแถวแล้วจัดวางลงในตะแกรง (rack) ซึ่งทำจากโพลีคาร์บอเนต (Polycabonate)ขนาดกว้าง 1.03 ม. และยาว 1.5 ม. ปลังจากนั้นตะแกรงที่เต็มแล้วทั้งหมดจะถูกส่งผ่านไปยังหน่วยปฏิบัติการถัดไป

Microwave Chamber จะเป็นส่วนที่ทำหน้าที่สเตอริไรซ์ โดยไมโครเวฟสเตอริไรซ์ (Microwave Sterilizer) จะมีหน้าที่หลัก 6 ประการ คือ คอมเพรสชัน (Compression) , การปรับสมดุลย์ (Equilibrating) โดยแต่ละหน้าที่จะเกิดขึ้นตามตำแหน่งต่าง ๆ ที่แน่นอนของ Microwave Chamber ซึ่งแสดงไว้ดังภาพที่ 2.6



ภาพที่2.6 แสดงระบบการสเตอริไรซ์

ที่มา : Harlfinger (1992)

อุโมงค์ไมโครเวฟ (Microwave tunnel) จะมีลักษณะกลมและแยกเป็นส่วนต่าง ๆ ตามความยาว โดยครึ่งด้านบนจะมีฉนวนหุ้มเนื่องจากเป็นส่วนที่มีการให้ความร้อน ส่วนครึ่งล่างจะเป็นส่วนที่ทำให้เย็น ขั้นแรกตะแกรงจะผ่านเข้าไปในส่วน Compensation station ซึ่งจะเป็นส่วนที่มีความดันสูง 2.5 บาร์ ซึ่งประกอบด้วยประตู 2 บาน ประตูบานหนึ่งเปิดออกสู่ด้านนอก อีกด้านหนึ่งเปิดเข้าสู่ส่วนถัดไป การทำงานจะเริ่มขึ้นเมื่อประตูทั้ง 2 บานนี้ปิด เวลาที่ใช้ในส่วน Compensation นี้ ประมาณ 6 –7 วินาที เมื่อถึงความดันและเวลาที่กำหนดตะแกรงจะผ่านเข้าสู่ส่วนถัดไปซึ่งเป็นส่วนที่ให้ความร้อนโดยจะใช้แมกนีตรอนที่แต่ละตัวมีระดับพลังงาน 1.9 kw. ที่ความถี่ 2,450 MHz ทำการติดตั้งทั้งระบบสายพานลำเลียง บรรจุภัณฑ์จึงได้รับพลังงานไมโครเวฟทั่วถึงทั้งด้านบนและด้านล่าง นอกจากนี้ยังมีการให้อากาศร้อนเพื่อช่วยในการพาความร้อนและเพื่อให้เกิดความร้อนและเพื่อให้เกิดความแน่ใจว่าไม่มีการสูญเสียพลังงานให้กับส่วนแรก ต่อมาตะแกรงจะผ่านเข้าสู่ส่วน Equilibration

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งจะส่งผ่านต่อไปยังHolding โดยใช้บันไดเลื่อนจากด้านบนไปยังด้านล่าง เมื่อมาถึง Cooling นั้นผลิตภัณฑ์ก็จะกลับมาอยู่ในทางเดิมอีกครั้งเพียงแต่อยู่ทางส่วนล่างของอุโมงค์เท่านั้นการ Cooling จะใช้อากาศเย็นหมุนเวียนโดยรอเวลาที่ใช้ในการ Cooling จะเท่ากับเวลาที่ใช้ในการ Heating และ Equilibration รวมกัน เนื่องจากมีระยะทางเท่ากัน เมื่อผ่านขั้น Cooling แล้ว ผลิตภัณฑ์จะถูกส่งออกทาง Decompression chamber ซึ่งมีการทำงานจะสัมพันธ์กับ compression chamber

Programmable Logic Controller (PLC) เป็นระบบที่ใช้ควบคุมอุณหภูมิ , ความดัน ความเร็ว , เวลาในแต่ละรอบ และพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้าที่ใช้ โดยเป็นการควบคุมระบบอัตโนมัติ ถ้าค่าที่ได้กำหนดไว้เกิดการผิดปกติเมื่อใดจะมีเสียงสัญญาณเตือนดังขึ้น นอกจากนี้เครื่องยังทำการเตือนเมื่อระบบทำงานแบบต่อเนื่องถูกรบกวนอีกด้วย

2.4.8 คุณสมบัติทางเคมีกายภาพของแป้งหลังผ่านไมโครเวฟ

ศึกษาคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของแป้งข้าวเหนียว และแป้งมันสำปะหลังเมื่อผ่านไมโครเวฟที่ความถี่ 2450 เมกกะเฮิร์ต ที่เวลา และปริมาณความชื้นระดับต่าง เปรียบเทียบแป้งดิบ พบว่าแป้งที่ผ่านการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟมีคุณสมบัติความคงทนต่อแรงเฉือน ความคงทนต่อการแช่เยือกแข็งและการละลายลดลง เมื่อเพิ่มเวลาในการให้ความร้อนและลดปริมาณความชื้นเริ่มต้น ส่วนความสามารถในการดูดซับน้ำสูงขึ้นเมื่อเพิ่มเวลาในการให้ความร้อนและปริมาณความชื้นเริ่มต้น

พบว่าปริมาณน้ำหรือความชื้นเริ่มต้นในแป้งนั้นมีผลต่อคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของแป้งจากพืชหัว ได้แก่ แป้งมันสำปะหลัง แป้งมันฝรั่ง เมื่อให้ไมโครเวฟที่กำลัง 800 วัตต์ ความถี่ 2450 เมกะเฮิร์ต ที่ปริมาณความชื้นเริ่มต้นของแป้ง 21 – 35 % โดยไมโครเวฟจะทำให้แป้งมีอุณหภูมิสูงขึ้นแบบ isotherm อุณหภูมิในการเกิดเจลลาติไนซ์สูงขึ้น จากการตรวจคุณสมบัติของของผสมแป้งเมื่อผ่านไมโครเวฟด้วย Brabender viscometer พบว่าแป้งมีความหนืดลดลง โดยลักษณะกราฟ (Brabender curve) ของแป้งจากพืชหัวจะเปลี่ยนจาก B- typeเป็น A- type เหมือนแป้งจากธัญพืช

การเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของแป้งจากธัญพืชจะเกิดขึ้นน้อยเมื่อเปรียบเทียบแป้งจากพืชหัว โดยการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของแป้งด้านการพองตัวการละลายและคุณสมบัติของของผสมเกิดจากการเปลี่ยนแปลงของแป้งในส่วนผลึก ดังนั้นจะเห็นได้ว่าการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของแป้งหลังผ่านไมโครเวฟจึงขึ้นอยู่กับชนิดของแป้ง แหล่งที่มา โครงสร้าง ปริมาณอะไมโลส และองค์ประกอบอื่นๆ

ทำการให้ไมโครเวฟที่ความถี่ 2450 เมกกะเฮิร์ต แก่ข้าวเจ้าและข้าวเหนียว พบว่าแป้งข้าวเหนียวมีอัตราการเกิดความร้อนที่สูงกว่าแป้งข้าวเจ้า เนื่องจากกิ่งก้านอะไมโลเพกตินของแป้งข้าว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เหนียว เวลาในการให้ความร้อนนั้น ทำให้การย่อยสลายแป้งนั้นนานขึ้น คุณสมบัติด้านความหนืดเมื่อวัดด้วย rapid visco analyzer พบว่าค่า peak viscosity , final viscosity , setback viscosity ลดลง ผลของไมโครเวฟต่อแป้งทำให้เกิดการดัดแปรคุณค่าทางโภชนาการโดยมีเวลาและความร้อนเป็นปัจจัยสำคัญ แป้งข้าวที่ได้ต้องใช้เวลาในการย่อยสลายนานขึ้น จึงช่วยควบคุมและป้องกันโรคเบาหวาน ความดันโลหิตสูงได้ด้วย

2.4.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องในการดัดแปรแป้งด้วยเทคนิคไมโครเวฟ

วุฒิชัย นาครักษา (2536) ศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตสตาร์ชซิเตรทด้วยไมโครเวฟเทคนิค เพื่อลดระยะเวลาในกระบวนการผลิต โดยการนำแป้งมันสำปะหลังมาผสมกับสารละลายกรดซิตริก จากนั้นทำการปรับความชื้นด้วยการอบ แล้วนำไปบด ทำการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟที่ความถี่ 2450 เมกะเฮิร์ต พบว่าสตาร์ชซิเตรทที่ได้จากการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟนั้นมีประสิทธิภาพในการเกิดปฏิกิริยาอยู่ระหว่าง 59-87 เปอร์เซ็นต์ มีการเกาะเกี่ยวระหว่างโมเลกุลของสตาร์ชและกรดซิตริก 3-8.7 เปอร์เซ็นต์ โดยประสิทธิภาพในการเกิดปฏิกิริยามีความสัมพันธ์ขึ้นอยู่กับระยะเวลาในการให้ความร้อน และความเข้มข้นของกรดซิตริก

สุปราณี เติมเตชาติพงศ์ และ ณัฐสิณี เลาหรุ่ง (2538) ศึกษาอัตราการเกิดเจลาติไนซ์ของแป้งข้าวเหนียวและแป้งมันสำปะหลังเมื่อผ่านการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ โดยการนำแป้งมาปรับปริมาณความชื้นเริ่มต้น 13,15,20,25 และ 27 เปอร์เซ็นต์ มาผ่านการให้ความร้อนด้วยคลื่นไมโครเวฟที่ความถี่ 2450 เมกะเฮิร์ต เป็นเวลา 3.2, 5.0, 8.5 และ 10.0 นาที พบความสัมพันธ์ของเวลาในการให้ความร้อน และปริมาณความชื้นเริ่มต้นต่ออัตราการเกิดเจลาติไนซ์เซชันของแป้งทั้ง 2 ชนิด

Narkrugsa(1996) ศึกษาคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของแป้งข้าวเหนียวและแป้งมันสำปะหลังเมื่อผ่านไมโครเวฟที่ความถี่ 2450 เมกะเฮิร์ต ที่เวลาและปริมาณความชื้นระดับต่างๆ เปรียบเทียบกับแป้งดิบ (native starch) พบว่าแป้งที่ผ่านการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟมีคุณสมบัติความคงทนต่อแรงเฉือน ความคงทนต่อการแช่เยือกแข็งและการละลายลดลง เมื่อเพิ่มเวลาในการให้ความร้อนและลดปริมาณความชื้นเริ่มต้น ส่วนความสามารถในการดูดซับน้ำสูงขึ้นเมื่อเพิ่มเวลาในการให้ความร้อนและปริมาณความชื้นเริ่มต้น

Lewandowicz และ คณะ (1997) พบว่าปริมาณน้ำหรือความชื้นเริ่มต้นในแป้งนั้นมีผลต่อคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของแป้งจากพืชหัว ได้แก่ แป้งมันสำปะหลัง และแป้งมันฝรั่งเมื่อให้ไมโครเวฟกำลัง 800 วัตต์ ความถี่ 2450 MHz ที่ปริมาณความชื้นเริ่มต้นของแป้ง 21-35 เปอร์เซ็นต์ โดยไมโครเวฟจะทำให้แป้งมีอุณหภูมิสูงขึ้นแบบ isotherm อุณหภูมิในการเกิดเจลาติไนซ์สูงขึ้น จาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การตรวจคุณสมบัติของผสมแป้งเมื่อผ่านไมโครเวฟด้วย Brabender viscometer พบว่าแป้งมีความหนืดลดลง ในขณะที่อุณหภูมิในการเกิดเจลาติไนเซชันไม่มีการเปลี่ยนแปลง

Anderson และคณะ (2001) ทำการให้ไมโครเวฟที่ความถี่ 2450 MHz แก่ข้าวเจ้าและข้าวเหนียว พบว่าแป้งข้าวเหนียวมีอัตราการเกิดความร้อนที่สูงกว่าแป้งข้าวเจ้า เนื่องจากกิ่งก้านอะไมโลเพกทินของแป้งข้าวเหนียวเวลาในการให้ความร้อนนั้นทำให้การย่อยสลายแป้งนานขึ้นคุณสมบัติด้านความหนืดเมื่อวัดด้วย rapid visco analyzer พบว่าค่า peak viscosity, final viscosity และ setback viscosity ลดลง ผลของไมโครเวฟต่อแป้งทำให้เกิดการดัดแปรคุณค่าทางโภชนาการ โดยมีเวลาและความร้อนเป็นปัจจัยที่สำคัญ แป้งข้าวที่ได้ต้องใช้เวลาในการย่อยสลายนานขึ้น จึงช่วยควบคุมและป้องกันโรคเบาหวาน ความดันโลหิตสูงได้ด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วัสดุ และอุปกรณ์

3.1 วัสดุ และอุปกรณ์

3.1.1 วัสดุ

- แป้งมันสำปะหลัง ตราปลาไทย 5 ดาว บริษัทอี.ที.ซี.เต็ยบตงจั่น จำกัด
- แป้งข้าวเหนียว ตราช้าง 3 เศียร บริษัทโรงเส้นหมี่ชอเฮง จำกัด

3.1.2 สารเคมีที่สำคัญ

- citric acid (food grade)
- murexid indicator
- enzyme (-amylase (Termamyl 120 L type LS)
- Dinitrosalicylic reagent (DNS reagent)

3.1.3 อุปกรณ์ที่สำคัญ

- เครื่องผสม	Kitchen Aid model K5SS	อเมริกา
- เครื่องบดละเอียด	Retsch , ZM 1000	เยอรมัน
- อุโมงค์ ไมโครเวฟ	ขนาด 4.8 K watt ความถี่ 2450 MHz	ไทย
- ตะแกรงร่อน	ขนาด 0.315 มม.	ไทย
- ชุดวิเคราะห์ไขมัน	Gerhardt Soxghlet	เยอรมัน
- เครื่องวัด pH	pH- meter	เยอรมัน
- ตู้อบลมร้อน (hot air oven)	Memmert	เยอรมัน
- เครื่องวัดการดูดกลืนแสง (spectrophotometer)	Shimadzu-UV 1601	ญี่ปุ่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2. ขั้นตอนและวิธีการทดลอง

ในการทดลองหาความเป็นไปได้ในการผลิตรีซิสแตนท์สตาร์ชในรูปของสตาร์ชซิเตรทมีขั้นตอนและวิธีการทดลองดังนี้

3.2.1 กระบวนการผลิตสตาร์ชซิเตรท

ในการทดลองนี้ใช้การวางแผนการทดลองแบบแฟคทอเรียล (Factorial in CRD) ซึ่งมีแป้ง 2 ชนิด คือ แป้งมันสำปะหลัง และแป้งข้าวเหนียว โดยศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อคุณสมบัติสตาร์ชซิเตรท 2 ปัจจัย 3 ระดับ ได้แก่

ปัจจัยที่ 1 ความเข้มข้นของสารละลายกรดซิตริก ที่ระดับ 0 , 5 และ 10 %

ปัจจัยที่ 2 ระยะเวลาของการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ ที่ระดับ 5 , 10 และ 15 นาที

ขั้นตอนการผลิต

2.1.1 ชั่งน้ำหนักแป้งวัตถุดิบ 500 กรัม

2.1.2 เตรียมสารละลายกรดซิตริกความเข้มข้น 0 , 5 และ 10 % (g/100 g strach) โดยควบคุมอัตราส่วนปริมาณของเหลวต่อปริมาณแป้งให้อยู่ที่อัตราส่วน 1 : 2 (dry basis) ปรับ pH ให้เป็น 4.5 โดยใช้ 1 N NaOH

2.1.3 นำแป้งมาผสมกับสารละลายกรดซิตริก ด้วยเครื่องผสม Kitchen Aid model K5SS โดยใช้ตัวตีรูปตะขอ

2.1.4 นำแป้งที่ได้ไปปรับความชื้นที่ อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 1 คืน หรือ 12 ชม. (ความชื้น 17 – 20 %) แล้วนำไปให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟโดยใช้เวลา 5 , 10 และ 15 นาที

2.1.5 นำแป้งไปล้างกรดซิตริกที่ไม่เกิดปฏิกิริยา หรืออิสระออกด้วย ethyl alcohol 70%

2.1.6 บดแป้งให้มีขนาดน้อยกว่า 0.315 มิลลิเมตร

2.1.7บรรจุลงในภาชนะปิดสนิท เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ต่อไป

3.2.2 การตรวจสอบคุณสมบัติของสตาร์ชซิเตรทที่ได้จากกระบวนการผลิต (ข้อ 5.1)

3.2.2.1 ความชื้น (AOAC , 1995 ข้อ 14.004)

การวิเคราะห์

อบอลูมิเนียมแคน พร้อมฝาที่ 130 ± 2 ^{o}C แล้วทิ้งไว้ให้เย็นในเดซิเคเตอร์ และชั่งน้ำหนัก แล้วชั่งตัวอย่าง 2 กรัม ลงใน can ดังกล่าว ปิดฝา แล้วนำไปอบในตู้อบประมาณ 130(2 (C นาน 1 ชม. โดยเริ่มจับเวลาตั้งแต่อุณหภูมิของตู้อบเป็น 130 ± 2 ^{o}C จากนั้นนำแคนไปใส่ในเดซิเคเตอร์ ทิ้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิห้อง แล้วชั่งน้ำหนักโดยส่วนที่เหลือ คือ total solids แล้วน้ำหนักที่หายไป คือ ความชื้น

3.2.2.2 การวิเคราะห์หากรดซิตริกที่เกาะเกี่ยวกับสตาร์ช (bound citric acid , %BC)

นำสตาร์ชซิเตรทที่ได้จากกระบวนการผลิตในข้อที่ 5.1 มาวิเคราะห์หาปริมาณกรดซิตริกที่เกาะเกี่ยวกับสตาร์ชโดยใช้วิธีการที่ดัดแปลงมาจากวิธีการของ Klaushofer et .al . (1979) (Nakrugsa ,1990) ดังนี้

หลักการ

การไตเตรทสารละลายสตาร์ช ด้วยสารละลายคอปเปอร์ซัลเฟต จนถึงจุดที่ murexid indicator เปลี่ยนจากสีชมพูเป็นสีเหลือง กรดซิตริกจะจับกับ Cu (II) อิออน เกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่คงตัว

การวิเคราะห์

(1) เตรียมสตาร์ชซิเตรทที่ได้จากข้อ 5.1 โดยนำไปล้างกรดซิตริกที่ไม่เกิดปฏิกิริยาหรืออิสระออกด้วยเอทิลแอลกอฮอล์ เป็นเวลา 4 ชม. โดยใช้ Soxghlet extractor แล้วผึ่งตัวอย่างที่ได้ให้แห้งที่อุณหภูมิห้องในเป็นเวลา 1 คืน

(2) ชั่งสตาร์ชซิเตรทที่เตรียมได้จากข้อ (1) 0.5 กรัม ใส่ในบีกเกอร์ เติมน้ำกลั่น 2 มิลลิลิตร และสารละลายโปตัสเซียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 1 N 50 มิลลิลิตร คนด้วยแมกเนติก

(3) นำไปต้มใน water bath ที่ 95 (C เป็นเวลานาน 10 นาที

(4) เติมน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตร 250 มิลลิลิตร ปรับ pH ให้เป็น 8.5 ด้วยสารละลายกรดอะเซติกความเข้มข้น 5 N

(5) เติมสารละลาย borate buffer 25 มิลลิลิตร และ murexid indicator 0.3 กรัมแล้วนำไปไทเทรตกับสารละลายคอปเปอร์ซัลเฟตความเข้มข้น 0.05 M จนสารละลายเปลี่ยนจากสีชมพูเป็นสีเหลือง

(6) นำค่าที่ได้ไปคำนวณหา %BC และ%RE

การคำนวณหาปริมาณกรดซิตริกที่เกาะเกี่ยวกับสตาร์ช (bound citric acid , %BC)

คำนวณจากสูตรต่อไปนี้

$$\%BC = \frac{9.61\ Y * 10}{X * (100 - Z)}$$

โดยที่ X = น้ำหนักตัวอย่างเป็นกรัม (น้ำหนักเปียก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Y = ปริมาตรของสารละลายคอปเปอร์ซัลเฟต 0.05 M ที่ใช้ในการไตเตรทจนถึงจุดที่สารละลายเปลี่ยนสี , มิลลิลิตร

Z = เปอร์เซนต์ความชื้นของตัวอย่างที่ผ่านการล้างด้วยเอทิลแอลกอฮอล์ 95% แล้วทิ้งไว้ให้แห้ง 1 คืน

9.61 = calibration factor

การคำนวณหาประสิทธิภาพในการเกิดปฏิกิริยา (reaction efficiency , %RE)

คำนวณจากสูตรต่อไปนี้

$$\%RE = \frac{\%BC(db)}{\%\text{citric acid (g/100g starch)}} * 100$$

นำผลการทดลองที่ได้มาวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติด้วย F-test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ทำการทดลอง 3 ซ้ำ

3.3 ตรวจสอบคุณสมบัติในการเป็นรีซิสแตนท์สตาร์ชของสตาร์ชซิเตรท

โดยใช้วิธีการที่ดัดแปลงมาจากวิธีการวิเคราะห์กิจกรรมของเอนไซม์ α-amylase (Termamyl 120L type LS) ของบริษัท Novo Nordisk

แป้งที่นำมาตรวจสอบ ได้แก่ แป้งมันสำปะหลัง แป้งข้าวเหนียว ที่ผ่านและไม่ผ่านกระบวนการให้ความร้อนด้วยคลื่นไมโครเวฟ , สตาร์ชซิเตรทที่ผลิตจากแป้งมันสำปะหลัง และแป้งข้าวเหนียว (ที่ได้จากการทดลองข้อ 5.2.2 โดยเลือกสตาร์ชซิเตรทที่มีค่า %BC สูงที่สุด) เพื่อนำมาใช้เปรียบเทียบในการตรวจสอบความเป็นรีซิสแตนท์สตาร์ช

<u>การวิเคราะห์</u>

3.3.1 ปิเปตสารละลายสตาร์ช 20 มิลลิลิตร และน้ำกลั่น 8 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดทดลองขนาด 25×200 mm. บ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที

3.3.2 ปิเปตสารละลายไอโอดีน B 5 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดทดลองขนาด 16×160 mm. บ่มที่อุณหภูมิ 22 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที

3.3.3 ปิเปตสารละลายเอนไซม์ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ใส่ในสารละลายสตาร์ช 2 มิลลิลิตร แล้วนำปิเปต 1 มิลลิลิตร เป่าให้เป็นฟองให้เข้ากัน ใส่ลงในหลอดที่มีสารละลายไอโอดีน B ซึ่งบ่มที่อุณหภูมิ 22 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.4 นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสง (absorbance) ที่ความยาวคลื่น 620 นาโนเมตร และเทียบหาปริมาณแป้งที่เหลือจากการย่อยด้วยเอนไซม์จากกราฟมาตรฐาน

3.3.5 คำนวณ % Resistant Starch จากปริมาณแป้งที่เหลือจากการย่อยด้วยเอนไซม์

สูตร $$\%\ \text{Resistant Starch} = \frac{\text{แป้งที่เหลือจากการย่อยด้วยเอนไซม์ (น้ำหนักแห้ง)} * 100}{\text{แป้งเริ่มต้น (น้ำหนักแห้ง)}}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลอง

1. การวิเคราะห์หาปริมาณความชื้น (%moisture content)

- จากความชื้นของสตาร์ชซิเตรทที่ผลิตได้จากแป้งมันสำปะหลังพบว่า มีความชื้น 11-13% และ สตาร์ชซิเตรทที่ผลิตได้จากแป้งข้าวเหนียวพบว่า มีความชื้น 10-12%

2. การวิเคราะห์หากรดซิตริกที่เกาะเกี่ยวกับสตาร์ช (%BC) และคำนวณหาประสิทธิภาพในการเกิดปฏิกิริยา (%RE)

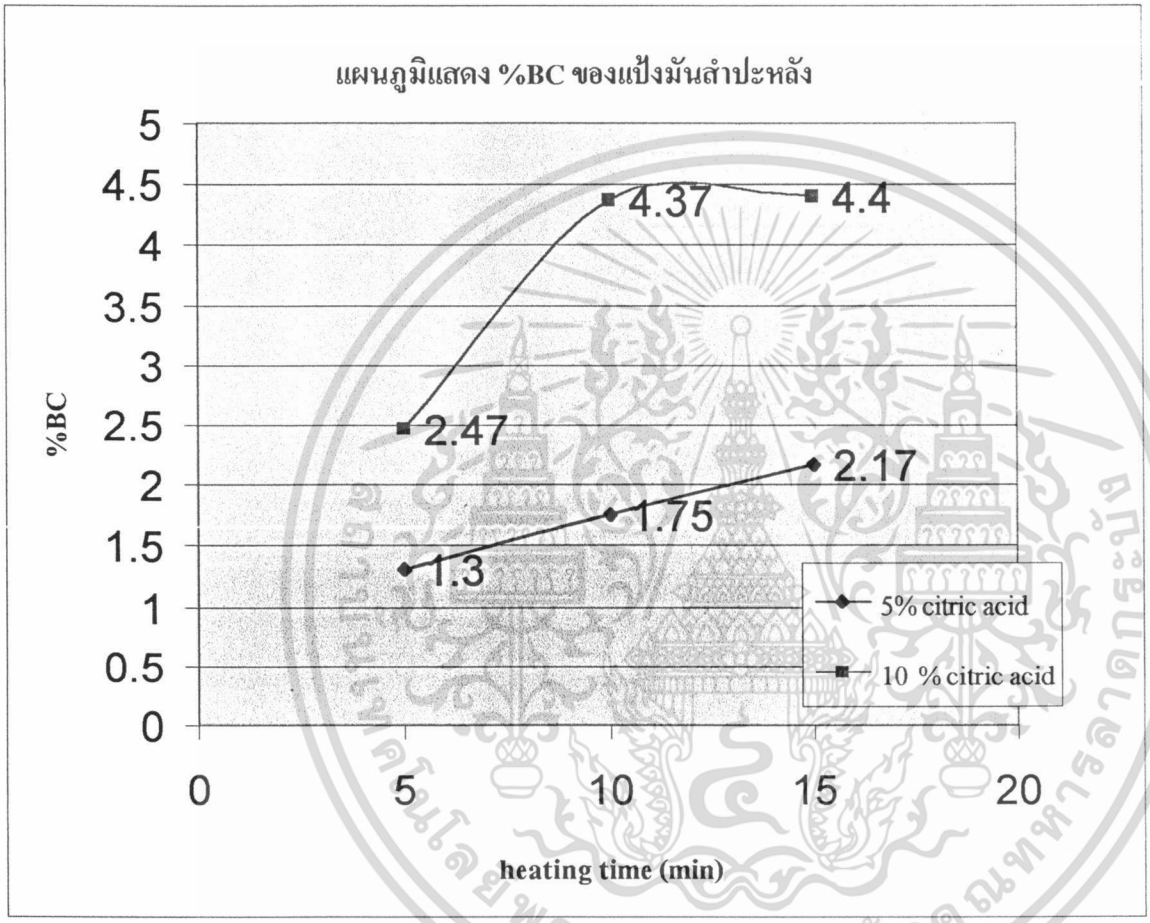
ตารางที่4.1 แสดงปริมาณกรดซิตริกที่เกาะเกี่ยวกับสตาร์ช (%BC) และประสิทธิภาพในการเกิดปฏิกิริยา (%RE) ของแป้งมันสำปะหลังที่สภาวะการดัดแปรต่างๆ

treatment	สภาวะการดัดแปร		%bound citric	%reaction
	%citric	heating time	(%BC)	efficiency (%RE)
1	0	5	0 ± 0^{f}	0 ± 0^{d}
2	0	10	0 ± 0^{f}	0 ± 0^{d}
3	0	15	0 ± 0^{f}	0 ± 0^{d}
4	5	5	1.30 ± 0.0^{e}	26.00 ± 0.0^{c}
5	5	10	1.75 ± 0.15^{d}	35.06 ± 3.21^{b}
6	5	15	2.17 ± 0.06^{c}	43.40 ± 1.21^{a}
7	10	5	2.47 ± 0.09^{b}	24.40 ± 1.47^{c}
8	10	10	4.37 ± 0.03^{a}	43.76 ± 0.30^{a}
9	10	15	4.40 ± 0.24^{a}	44.0 ± 2.40^{a}

สตาร์ชซิเตรทที่ผลิตได้จากแป้งมันสำปะหลังมี กรดซิตริกที่เกาะเกี่ยวกับสตาร์ช (%BC) อยู่ระหว่าง 1.3 - 4.4 % ประสิทธิภาพในการเกิดปฏิกิริยา(%RE) อยู่ระหว่าง 24.4 - 44.0 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 4.1 แสดงระยะเวลาในการให้ความร้อน และระดับความเข้มข้นของสารละลายกรดซิตริก มีอิทธิพลต่อ กรดซิตริกที่เกาะเกี่ยวกับสตาร์ช (%BC) และประสิทธิภาพในการเกิดปฏิกิริยา (%RE)ของแป้งมันสำปะหลัง อย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % สามารถสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ของข้อมูลได้ดังภาพที่ 2.8 และ 2.9

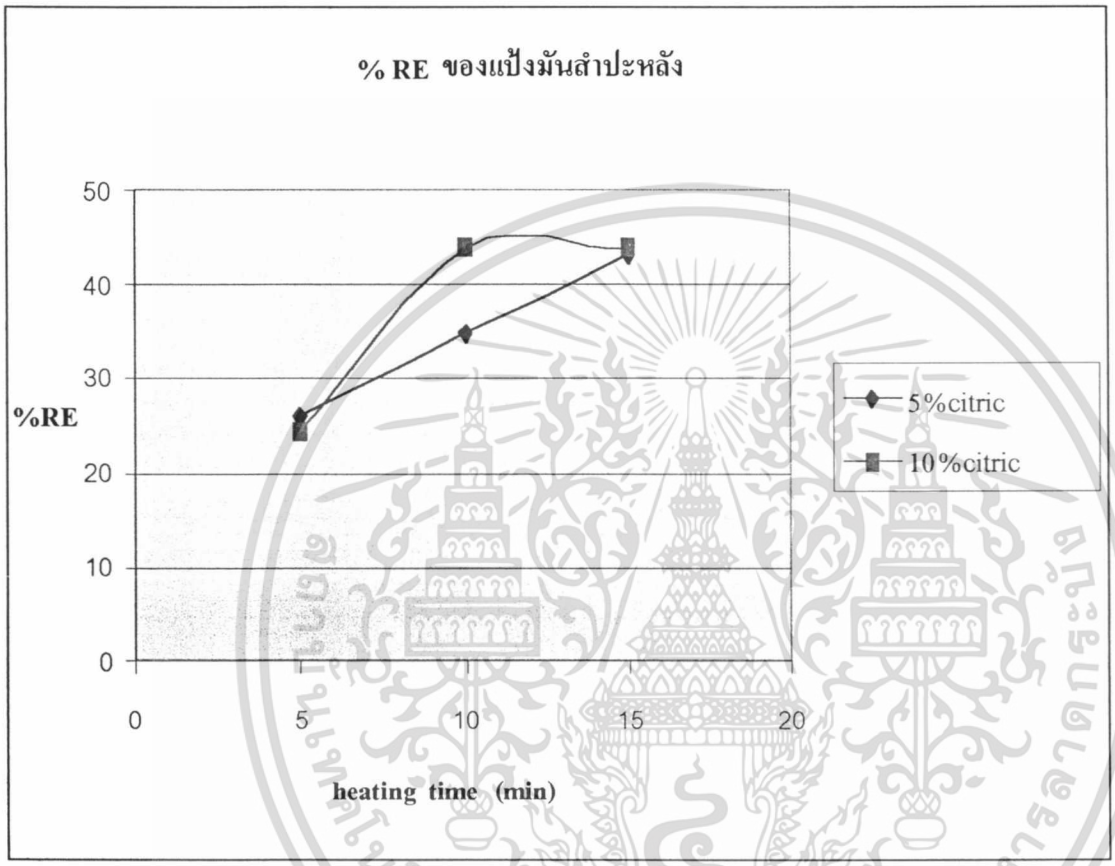


ภาพที่2.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกรดซิตริกที่เกาะเกี่ยวกับสตาร์ช (%BC) และระยะเวลาในการให้ความร้อน(นาที) ของสตาร์ชซิเตรทที่ผลิตจากแป้งมันสำปะหลังที่ระดับความเข้มข้นของกรดซิตริก 5 และ 10 %

จากภาพที่ 2.8 แสดงว่า กรดซิตริกที่เกาะเกี่ยวกับสตาร์ช (%BC) เพิ่มมากขึ้น เมื่อระยะเวลาในการให้ความร้อน เพิ่มมากขึ้น และที่ระดับความเข้มข้นของสารละลายกรดซิตริก 10 % มีปริมาณกรดซิตริกที่เกาะเกี่ยวกับสตาร์ช (%BC)มากกว่า ระดับความเข้มข้นของสารละลายกรดซิตริก 5 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สตาร์ชซิเตรทที่ผลิตจากแป้งมันสำปะหลัง ที่ระดับความเข้มข้นของสารละลายกรดซิตริก 10% ที่ระยะเวลาในการให้ความร้อน 10 และ 15 นาที จะมีปริมาณกรดซิตริกที่เกาะเกี่ยวกับสตาร์ช (%BC) สูงที่สุด



ภาพที่2.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพในการเกิดปฏิกิริยา (%RE) และระยะเวลาในการให้ความร้อน(นาที) ของสตาร์ชซิเตรทที่ผลิตจากแป้งมันสำปะหลังที่ระดับความเข้มข้นของกรดซิตริก 5 และ 10 %

จากภาพที่ 2.9 แสดงประสิทธิภาพในการเกิดปฏิกิริยา (%RE) ของสตาร์ชซิเตรทที่ผลิตจากแป้งมันสำปะหลังจะเพิ่มมากขึ้น เมื่อระยะเวลาในการให้ความร้อน เพิ่มมากขึ้น

สตาร์ชซิเตรทที่ผลิตจากแป้งมันสำปะหลัง ที่มีระดับความเข้มข้นของสารละลายกรดซิตริก 5% ที่ระยะเวลาในการให้ความร้อน 15 นาที และที่ระดับความเข้มข้นของสารละลายกรดซิตริก 10% ระยะเวลาในการให้ความร้อน 10 และ 15 นาที จะมีประสิทธิภาพในการเกิดปฏิกิริยา(%RE) สูงที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

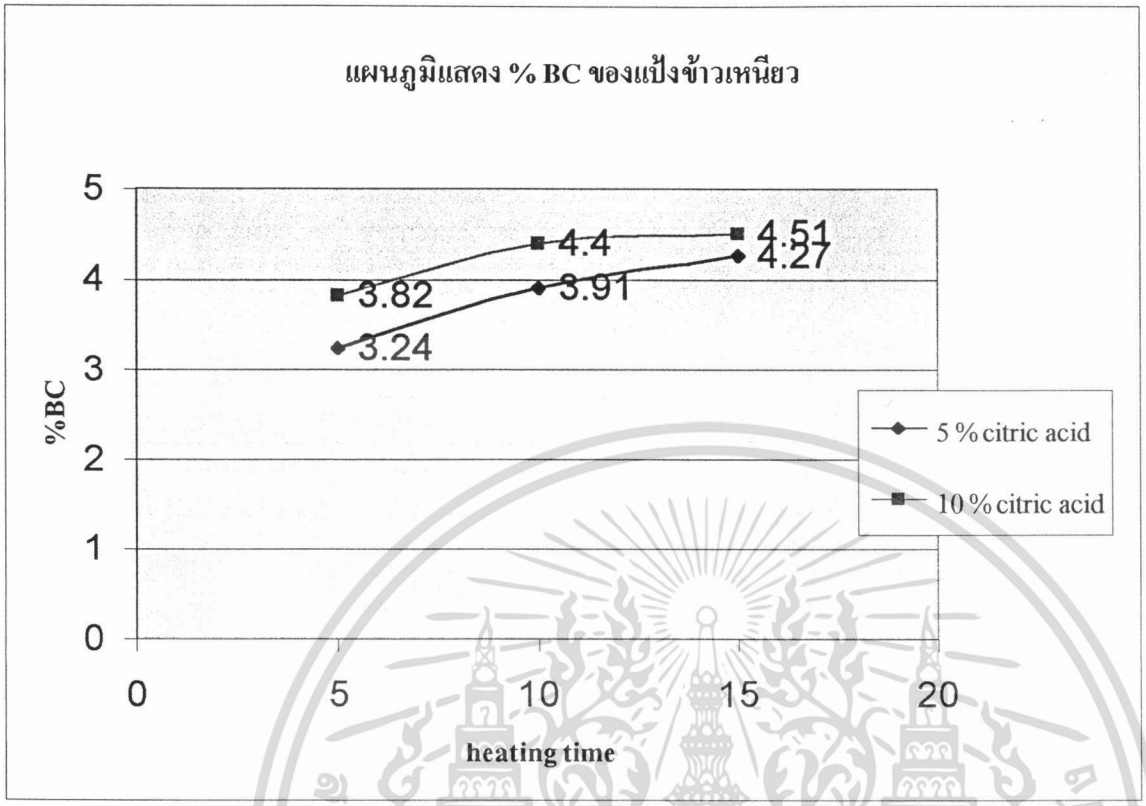
ตารางที่ 4.2 แสดงกรดซิตริกที่เกาะเกี่ยวกับสตาร์ช (%BC) และประสิทธิภาพในการเกิดปฏิกิริยา (%RE) ของแป้งข้าวเหนียวที่สภาวะการดัดแปรต่างๆ

treatment	สภาวะการดัดแปร		%bound citric	%reaction
	%citric	heating time	(%BC)	efficiency (%RE)
1	0	5	0 ± 0^{e}	0 ± 0^{f}
2	0	10	0 ± 0^{e}	0 ± 0^{f}
3	0	15	0 ± 0^{e}	0 ± 0^{f}
4	5	5	3.24 ± 0.08^{d}	64.40 ± 1.51^{c}
5	5	10	3.91 ± 0.03^{c}	78.00 ± 0.52^{b}
6	5	15	4.27 ± 0.06^{b}	85.96 ± 1.36^{a}
7	10	5	3.82 ± 0.06^{c}	38.20 ± 0.65^{c}
8	10	10	$4.40 \pm 0.02^{a,b}$	43.66 ± 0.45^{d}
9	10	15	4.51 ± 0.28^{a}	44.50 ± 0.95^{d}

สตาร์ชซิเตรทที่ผลิตได้จากแป้งข้าวเหนียวมี กรดซิตริกที่เกาะเกี่ยวกับสตาร์ช (%BC) อยู่ระหว่าง 3.3 - 4.5 % ประสิทธิภาพในการเกิดปฏิกิริยา (%RE) อยู่ระหว่าง 38.2 - 85.0 %

จากตารางที่ 4.2 แสดงระยะเวลาในการให้ความร้อน และระดับความเข้มข้นของสารละลายกรดซิตริก มีอิทธิพลต่อ กรดซิตริกที่เกาะเกี่ยวกับสตาร์ช (%BC) และประสิทธิภาพในการเกิดปฏิกิริยา (%RE) ของแป้งข้าวเหนียว อย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % สามารถสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ของข้อมูลได้ดังภาพที่ 2.10 และ 2.11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

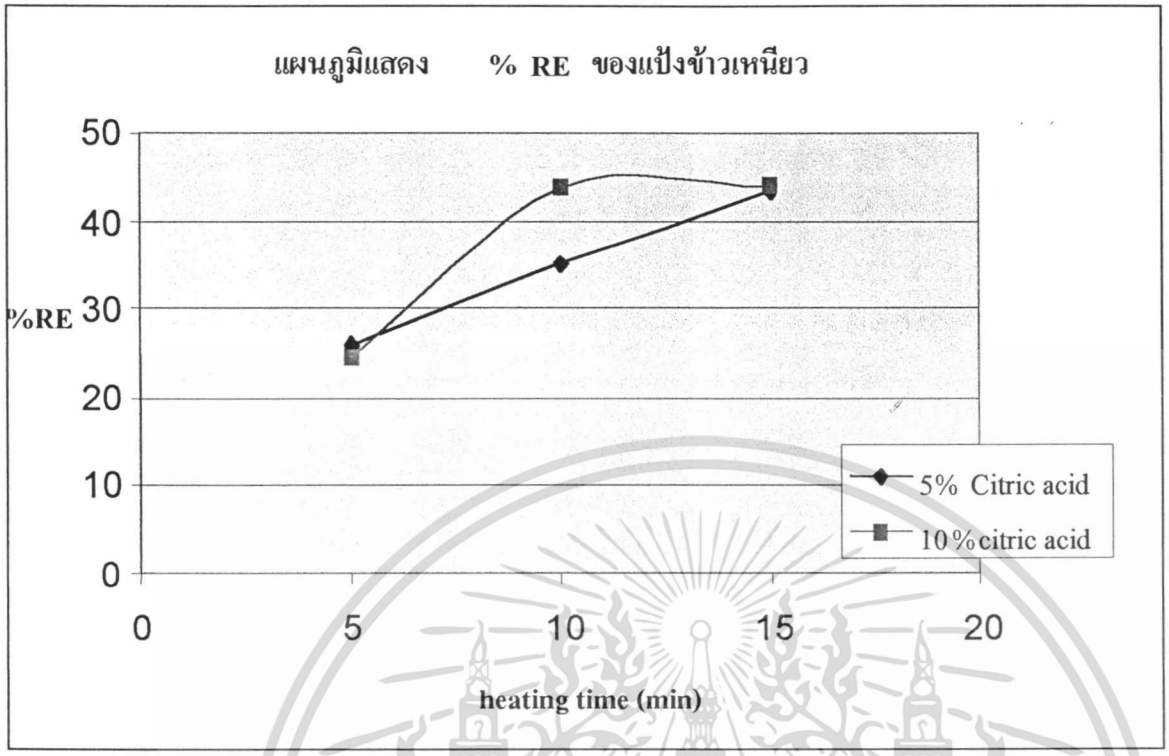


ภาพที่2.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกรดซิตริกที่เกาะเกี่ยวกับสตาร์ช (%BC) และระยะเวลาในการให้ความร้อน(นาที) ของสตาร์ชซิเตรทที่ผลิตจากแป้งข้าวเหนียวที่ระดับความเข้มข้นของกรดซิตริก 5 และ 10 %

จากภาพที่ 2.10 แสดงว่า กรดซิตริกที่เกาะเกี่ยวกับสตาร์ช (%BC) เพิ่มมากขึ้น เมื่อระยะเวลาในการให้ความร้อน เพิ่มมากขึ้น และที่ระดับความเข้มข้นของสารละลายกรดซิตริก 10% มีปริมาณกรดซิตริกที่เกาะเกี่ยวกับสตาร์ช (%BC)มากกว่า ระดับความเข้มข้นของสารละลายกรดซิตริก 5%

สตาร์ชซิเตรทที่ผลิตจากแป้งข้าวเหนียว ที่ระดับความเข้มข้นของสารละลายกรดซิตริก 10% ระยะเวลาในการให้ความร้อน 10 และ 15 นาที จะมีปริมาณกรดซิตริกที่เกาะเกี่ยวกับสตาร์ช (%BC) สูงที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่2.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพในการเกิดปฏิกิริยา(%RE) และระยะเวลาในการให้ความร้อน(นาที) ของสตาร์ชซิเตรทที่ผลิตจากแป้งข้าวเหนียวที่ระดับความเข้มข้นของกรดซิตริก 5 และ 10 %

จากภาพที่ 2.11 แสดงประสิทธิภาพในการเกิดปฏิกิริยา (%RE) ของสตาร์ชซิเตรทที่ผลิตจากแป้งข้าวเหนียวจะเพิ่มมากขึ้น เมื่อระยะเวลาในการให้ความร้อนเพิ่มมากขึ้น

สตาร์ชซิเตรทที่ผลิตจากแป้งข้าวเหนียว ที่มีระดับความเข้มข้นของสารละลายกรดซิตริก 5 % ที่ระยะเวลาในการให้ความร้อน 15 นาที จะมีประสิทธิภาพในการเกิดปฏิกิริยา(%RE) สูงที่สุด

3. ตรวจสอบคุณสมบัติในการเป็นรีซีสแตนท์สตาร์ชของสตาร์ชซิเตรท

3.1 การคำนวณหาปริมาณรีซีสแตนท์สตาร์ช สามารถคำนวณได้จากแป้งที่เหลือจากการย่อยด้วยเอนไซม์ α-amylase (Termamyl 120 L type LS) ในสภาวะควบคุมที่อุณหภูมิ 37.0 ± 0.5 ^{0}C ปริมาณแคลเซียม ประมาณ0.0043โมลาร์ และพีเอช ประมาณ5.6 โดยเปรียบเทียบกับปริมาณแป้งเริ่มต้น

สามารถคำนวณหาความเข้มข้นของสารละลายแป้งที่เหลือจากการย่อย(มก./มล.) ได้จากสมการกราฟมาตรฐานของสารละลายแป้งในการวิเคราะห์กิจกรรมเอนไซม์α-amylase y = 1.1477x ;

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$R^2 = 0.9991$ โดยแทนค่าการดูดกลืนแสงเป็นตัวแปร y ในสมการ แล้วคำนวณหาค่า x ซึ่งจะได้เป็นความเข้มข้นของสารละลายแป้งที่เหลือจากการย่อยด้วยเอนไซม์ α-amylase (มก./มล.) ได้ผลดังในตารางที่ 4.3 และ 4.4

ตารางที่ 4.3 แสดงปริมาณรีซีสแตนท์สตาร์ช (%RS) ของแป้งมันสำปะหลังที่สภาวะการดัดแปรต่างๆ

treatment	สภาวะการดัดแปร		% resistant starch
	% citric acid	heating time	(%RS)
1.แป้งธรรมชาติ	0	0	13.82±0.84[b]
2. แป้งที่ผ่านความร้อน	0	5	11.07±4.71[bc]
3. แป้งที่ผ่านความร้อน	0	10	10.34±2.90[bc]
4 แป้งที่ผ่านความร้อน	0	15	7.93±0.44[c]
5. สตาร์ชซิเตรท	10	10	22.58±1.28[a]
6. สตาร์ชซิเตรท	10	15	24.69±1.26[a]

จากตารางที่ 4.3 ทำให้ทราบว่า สตาร์ชซิเตรทที่ผลิตจากแป้งมันสำปะหลัง มีความเป็นไปได้ในแง่การนำไปใช้เป็นรีซิสแตนท์สตาร์ช โดยสตาร์ชซิเตรทที่ผลิตจากแป้งมันสำปะหลังจะมีความเป็น รีซิสแตนท์สตาร์ชสูง อย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

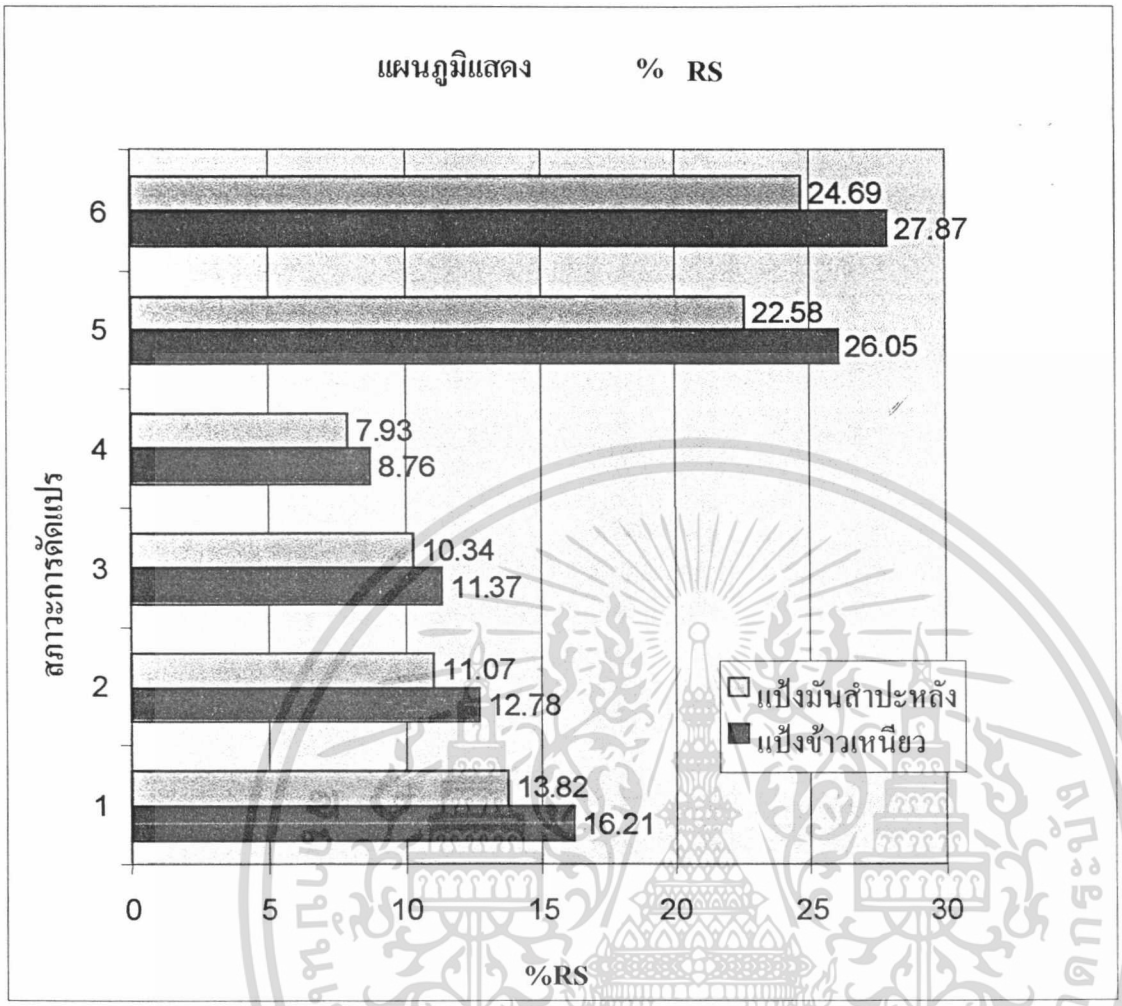
ตารางที่4.4 แสดงปริมาณรีซีสแตนท์สตาร์ช (%RS) ของแป้งข้าวเหนียวที่สภาวะการดัดแปรต่างๆ

treatment	สภาวะการดัดแปร		% resistant starch (%RS)
	% citric acid	heating time	
1.แป้งธรรมชาติ	0	0	16.20 ± 0.60^{b}
2. แป้งที่ผ่านความร้อน	0	5	12.78 ± 2.42^{c}
3. แป้งที่ผ่านความร้อน	0	10	11.36 ± 1.01^{c}
4 . แป้งที่ผ่านความร้อน	0	15	8.75 ± 1.07^{d}
5. สตาร์ชซิเตรท	10	10	26.05 ± 1.60^{a}
6. สตาร์ชซิเตรท	10	15	27.87 ± 0.91^{a}

จากตารางที่4.4 ทำให้ทราบว่า สตาร์ชซิเตรทที่ผลิตจากแป้งข้าวเหนียวมีความเป็นไปได้ในแง่การนำไปใช้เป็นรีซิสแตนท์สตาร์ช โดยสตาร์ชซิเตรทที่ผลิตจากแป้งข้าวเหนียวจะมีความเป็นรีซิสแตนท์สตาร์ชสูง อย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

3.2 เปรียบเทียบคุณสมบัติในการเป็นรีซีสแตนท์สตาร์ชของสตาร์ชซิเตรท โดยการนำสตาร์ชซิเตรทที่มีค่ากรดซิตริกที่เกาะเกี่ยวกับสตาร์ช (%BC) สูงที่สุด มาทำการศึกษาความเป็นไปได้ในแง่การนำไปใช้เป็นรีซิสแตนท์สตาร์ช โดยเปรียบเทียบกับแป้งมันสำปะหลัง และแป้งข้าวเหนียวที่ผ่าน และไม่ผ่านกระบวนการให้ความร้อนด้วยคลื่นไมโครเวฟ พบว่า แป้งที่ผ่านความร้อนจะมีความเป็นรีซิสแตนท์สตาร์ชต่ำลง เมื่อระยะเวลาในการให้ความร้อนเพิ่มมากขึ้น และสตาร์ชซิเตรทที่ผลิตจากแป้งมันสำปะหลังและแป้งข้าวเหนียวจะมีความเป็นรีซิสแตนท์สตาร์ชสูงขึ้น อย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.12 แสดงปริมาณรีซิสแตนท์สตาร์ช (%RS) ของแป้งมันสำปะหลังและแป้งข้าวเหนียวที่สภาวะการดัดแปรต่างๆ

จากภาพที่ 2.12 ทำให้ทราบว่า สตาร์ชซิเตรทที่ผลิตจากแป้งมันสำปะหลังและแป้งข้าวเหนียวมีความเป็นไปได้ในแง่การนำไปใช้เป็นรีซิสแตนท์สตาร์ช และสตาร์ชซิเตรทที่ผลิตจากแป้งข้าวเหนียวมีปริมาณรีซิสแตนท์สตาร์ช (%RS) มากกว่าสตาร์ชซิเตรทที่ผลิตจากแป้งมันสำปะหลัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

1. จากการผลิตสตาร์ชซิเตรทจากแป้งมันสำปะหลัง และแป้งข้าวเหนียวโดยใช้ไมโครเวฟเทคนิค พบว่า สามารถใช้ไมโครเวฟในการผลิตสตาร์ชซิเตรทได้ โดยจะช่วยลดขั้นตอนและระยะเวลาในการผลิตลง

2. จากการศึกษาคุณสมบัติของสตาร์ชซิเตรทที่ได้จากกระบวนการผลิต พบว่า สตาร์ชซิเตรทที่ผลิตได้จากแป้งมันสำปะหลังมีความชื้น 11.0 - 13.0 % กรดซิตริกที่เกาะเกี่ยวกับโมเลกุลสตาร์ช อยู่ระหว่าง 1.3 – 4.4 % ประสิทธิภาพในการเกิดปฏิกิริยา อยู่ระหว่าง 24.4 – 44.0 % และสตาร์ชซิเตรทที่ผลิตได้จากแป้งข้าวเหนียวมีความชื้น 10.0-12.0 % กรดซิตริกที่เกาะเกี่ยวกับโมเลกุลสตาร์ชอยู่ระหว่าง 3.2 – 4.5 % ประสิทธิภาพในการเกิดปฏิกิริยาอยู่ระหว่าง 38.2 – 85.0%

3. จากการเปรียบเทียบคุณสมบัติของสตาร์ชซิเตรทของแป้งมันสำปะหลัง และแป้งข้าวเหนียว พบว่า ความเข้มข้นของสารละลายกรดซิตริก ระยะเวลาของการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ และปฏิกิริยาสัมพันธ์ระหว่างปัจจัย (interaction) มีอิทธิพลต่อกรดซิตริกที่เกาะเกี่ยวกับโมเลกุลสตาร์ช(%BC)และประสิทธิภาพในการเกิดปฏิกิริยา(%RE)ของสตาร์ชซิเตรท อย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

3.1 เมื่อเพิ่มระดับความเข้มข้นของสารละลายกรดซิตริก และระยะเวลาในการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟนานขึ้น ส่งผลให้ กรดซิตริกที่เกาะเกี่ยวกับโมเลกุสตาร์ช(%BC) และประสิทธิภาพในการเกิดปฏิกิริยา(%RE)ของสตาร์ชซิเตรท เพิ่มมากขึ้น ตามลำดับ

3.2 สตาร์ชซิเตรทของแป้งมันสำปะหลังและแป้งข้าวเหนียว ที่ระดับความเข้มข้นของสารละลายกรดซิตริก 10 % เวลาในการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟที่ระดับเวลา 10 และ15 นาที มีปริมาณกรดซิตริกที่เกาะเกี่ยวกับโมเลกุสตาร์ช(%BC) และประสิทธิภาพในการเกิดปฏิกิริยา(%RE)ของสตาร์ชซิเตรท สูงที่สุด อย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

4. จากการนำสตาร์ชซิเตรทที่ผลิตจากแป้งมันสำปะหลัง และแป้งข้าวเหนียวที่ระดับความเข้มข้นกรดซิตริก 10% เวลาในการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟที่ระดับเวลา 10และ15นาที ซึ่งให้ค่ากรดซิตริกที่เกาะเกี่ยวกับโมเลกุลสตาร์ชสูงสุด มาศึกษาปริมาณรีซิสแตนท์สตาร์ช โดยเทียบกับแป้งมันสำปะหลัง และแป้งข้าวเหนียวที่ผ่าน และไม่ผ่านกระบวนการให้ความร้อนด้วยคลื่นไมโครเวฟ ด้วยเอนไซม์ α-amylase (Termamyl 120 L type LS) ที่อุณหภูมิ $37.0 \pm 0.5\ ^{0}C$ ปริมาณแคลเซียม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประมาณ0.0043โมลาร์ และพีเอช ประมาณ5.6 พบว่า แป้งผ่านความร้อนจะมีความเป็นรีซิสแตนท์สตาร์ชต่ำลง เมื่อระยะเวลาในการให้ความร้อนเพิ่มมากขึ้นแต่สตาร์ชซิเตรทที่ผลิตจากแป้งมันสำปะหลังและแป้งข้าวเหนียวจะมีความเป็นรีซิสแตนท์สตาร์ชสูงขึ้น อย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

5. สตาร์ชซิเตรทของแป้งข้าวเหนียว มีปริมาณรีซิสแตนท์สตาร์ชมากกว่า สตาร์ชซิเตรทของแป้งมันสำปะหลัง เนื่องจากธรรมชาติของแป้งวัตถุดิบแต่ละชนิดแตกต่างกัน ตั้งแต่ รูปร่างและขนาดของเม็ดแป้ง ตลอดจนปริมาณอะไมโลสในเม็ดแป้ง

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ควรมีการทดลองนำรีซิสแตนท์สตาร์ชไปประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์อาหาร เพื่อทดแทนไฟเบอร์จากแหล่งอื่น ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ใหม่ที่มีลักษณะปรากฏ เนื้อสัมผัส กลิ่น สี และให้ความรู้สึกในปากที่ดีกว่า ก่อให้เกิดผลดีต่อสุขภาพในด้านต่างๆ เช่น นำไปใส่ผลิตภัณฑ์พวกขนมอบ snack bar หรืออาหารพวกธัญพืชพร้อมดื่ม เป็นต้น

2. ควรมีการศึกษาเกี่ยวกับเทคโนโลยีการผลิตรีซิสแตนท์สตาร์ชในด้านอื่นๆ เช่น การทำให้เกิดรีโทรกราเดชันของแป้ง , การใช้เอนไซม์ในการย่อยแป้ง หรือการใช้กระบวนการความร้อนชื้น เป็นต้น

3. ควรมีการทดลองศึกษาความเข้มข้นของกรดซิตริก และอุณหภูมิในการให้ความร้อนของไมโครเวฟที่เวลาต่างๆ เพื่อดูประสิทธิภาพในการผลิตรีซิสแตนท์สตาร์ชที่สูงที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

กล้าณรงค์ ศรีรอด . 2541. เทคโนโลยีของแป้ง . ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพ. 275 หน้า

เก่งกวิน ปิ่นคำ . 2544. สัมมนาเรื่องการเปรียบเทียบผลการย่อยสตาร์ช 4 ชนิดด้วยเอนไซม์ . ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง .

ประวีณา สวราชย์ . 2539 . สัมมนาเรื่องการใช้ไมโครเวฟในการเก็บรักษาอาหาร . ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พัชรินทร์ โมทนียชาติ , พิชินี สุจริตพงศ์ และสิรินทร ปิ่นเวหา . 2533 . ปัญหาพิเศษเรื่องความเป็นไปได้ในการผลิตสตาร์ชซิเตรทโดยใช้ไมโครเวฟ . ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

วิรัชภรณ์ ภิงคะสาร และศกลวรรณ จงสงวนดี . 2546 . สัมมนาเรื่อง Resistant Starch . ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง .

วิเชียร วงศ์สุรไพบูลย์ . โรตีแป้งข้าวเหนียว . 2545 .ผู้ส่งออก 15,358 (ปักษ์แรก ก.ค.2545), 36-38 .

วุฒิชัย นาครักษา . 2536 . "การศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตสตาร์ชซิเตรทด้วยไมโครเวฟเทคนิค". การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ . ครั้งที่ 31 .มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สมศักดิ์ ดำรงเลิศ , นลินี อุดมทวี และวินิจ ขำวิวรรธน์ . การดัดแปรแป้งมันสำปะหลังโดยปฏิกิริยาแทนที่ . วารสารบัณฑิตยสถาน 25 , 2 (ก.พ. – พ.ค. 2543) , 148-167

สายฝน โมราถบ . 2546 . การศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตแป้งกล้วยพรีเจลลาติไนซ์ด้วยเทคนิคไมโครเวฟ .

Asp , N. and Bjorck , I . 1992 . Trends in Food Science &Technology . 3 : 111-114

Baghurst , P.A. , Baghurst .K.I. , and Record , S. J. Dietary fiber , non-starch Polysaccharides and resistant starch – a review . Food Australia . 48 (3) : S3 , 1996 .

Delcour , J . A and Eerlingen , R.C. 1996. Analytical implications of the classification of resistant starch as dietary fiber . Cereal Foods World . 41(2) : 85-86 resistant starch

Englyst , H. N . , Kingman , S. M. and J.H. Cummings . (1992) . Classification and Measurement of nutritional important starch fractions , Eur , J.Clin . Nutr .(Suppl .2) : S33 , 1992 .

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Fellow , P.J. 1990 . Foodprocessing technology principle and practices . West Sysses : Ellis Hardwood . 2 nd : 505 p .

Gruber , C.M. and W.A. Halbeisen . 1948 . J. Pharmacol . exp . Ther . , 94 ,65

Klaushofer , V.H. , E . Berghofer and R . Pieber . 1979 . Quantitative Bestimmung von Citronensaure in Citratstarken . Starch/Starke . 31(8) : 251 - 261

Lewandowicz , G ., Walkawski , A. and Formal , J. 1997 . Effect of microwave radiation on Physicochemical properties and structure of potato and tapioca starches . Carbo Poly . 42 : 193-199 .

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

วิธีการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมี

การวิเคราะห์ปริมาณความชื้น (AOAC. 1995)

วิธีการวิเคราะห์

1. นำ aluminium can อบใน hot air oven ที่อุณหภูมิ 120 $\pm$ 3 องศาเซลเซียส จนน้ำหนักคงที่
2. ชั่งตัวอย่างประมาณ 5 กรัม ด้วยตาชั่งละเอียด ใส่ใน aluminium can
3. นำไปอบใน hot air oven ที่อุณหภูมิ 120 $\pm$ 3 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมงจนน้ำหนักคงที่
4. ปิดฝาและทิ้งไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้น (dessicator)
5. ชั่งน้ำหนัก
6. คำนวณหาปริมาณความชื้นโดยใช้สูตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

การวิเคราะห์กิจกรรมของเอนไซม์α-amylase

1. การวิเคราะห์กิจกรรมของเอนไซม์α-amylase (Termamyl 120L type LS) โดยวิธีของ Novo method

<u>คำจำกัดความของยูนิต (unit)</u>

1 Novo-alpha-amylase unit (NU) คือ ปริมาณเอนไซม์ที่สามารถทำลายพันธะของแป้ง (starch) 5.26 มิลลิกรัมต่อชั่วโมง ภายใต้สภาวะที่กำหนด

<u>สภาวะที่กำหนด</u>

อุณหภูมิ 37±0.5 องศาเซลเซียส

ปริมาณแคลเซียม ประมาณ 0.0043 โมลาร์

พีเอช ประมาณ 5.6

ทำการศึกษาโดยเปรียบเทียบว่า enzyme Termamyl สามารถเร่งปฏิกิริยาการย่อยสลาย Starch ได้เป็นปริมาณกลูโคสเท่าไร

เปรียบเทียบที่ 1 ชั่วโมง

MW of Anhydrous glucose (AGU) = 162

MW of glucose = 180

1 g mole ของ AGU = 162 g

จะได้ AGU = $\frac{5.26 * 10^{-3}}{162}$ = $3.2 * 10^{-5}$ g.Mol

AGU $3.2 * 10^{-5}$ g.Mol = น้ำตาลกลูโคส

= $3.2 * 10^{-5} * 180$

= 5.84 mg glucose/hr

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สูตรการคำนวณกิจกรรมเอนไซม์

กิจกรรมเอนไซม์ = $\frac{1585 \times V}{t \times a \times v}$ = Novo-alpha-amylase-units (NU/g)

เมื่อ V = ปริมาตรของเอนไซม์ที่เจือจาง (มิลลิลิตร)

t = เวลาที่วัดค่าการดูดกลืนแสงได้เท่ากับ 0 (นาที)

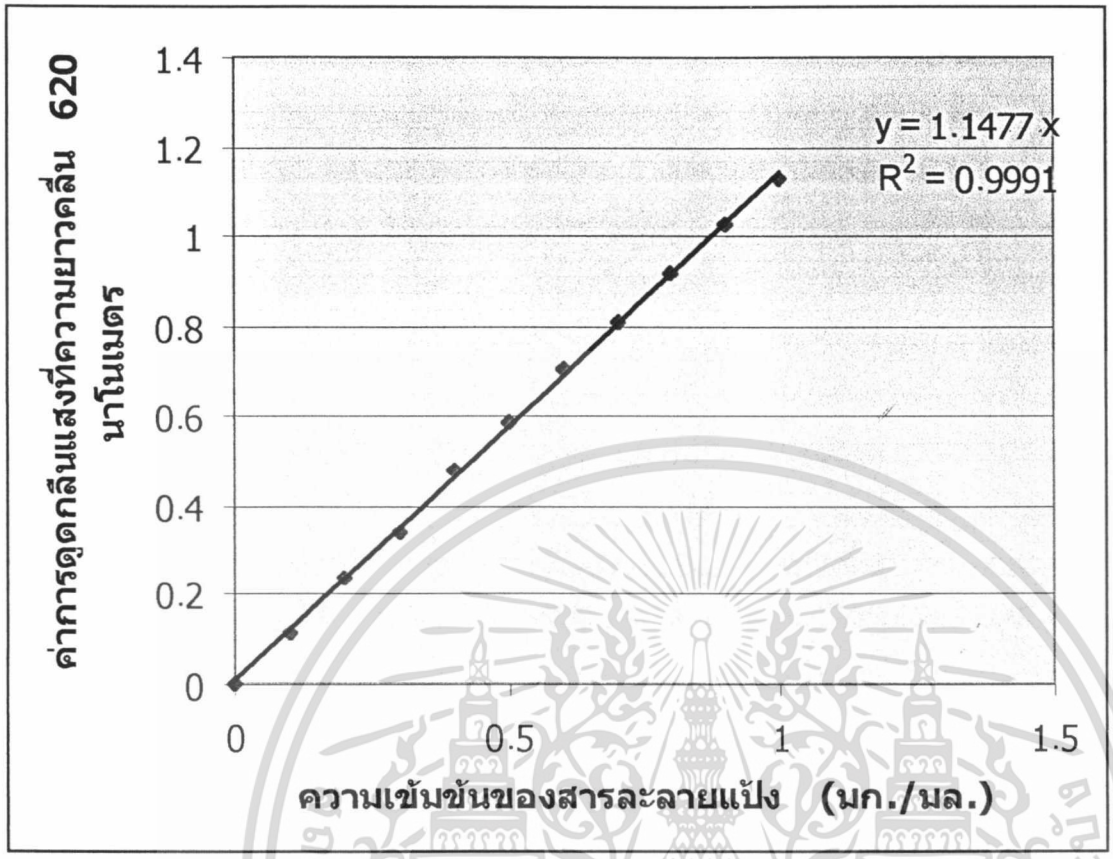
a = น้ำหนักเอนไซม์ที่ชั่งมา (กรัม)

v = ปริมาตรของเอนไซม์ที่เติมในสารละลาย (มิลลิลิตร)

ตารางที่ ข1 ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายแป้งในการวิเคราะห์กิจกรรมเอนไซม์α-amylase

ความเข้มข้น	ค่าการดูดกลืนแสงที่ 620 นาโนเมตร			
(มก./มล.)	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย
0.0	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
0.1	0.1140	0.1150	0.1122	.1137
0.2	0.2308	0.2398	0.2389	0.2365
0.3	0.3329	0.3453	0.3483	0.3422
0.4	0.4747	0.4778	0.4788	0.4771
0.5	0.5845	0.5873	0.5944	05887
0.6	0.7068	0.6998	0.7015	0.7027
0.7	0.8019	0.8104	0.8107	0.8077
0.8	0.9186	0.9164	0.9172	0.9174
0.9	1.0667	0.9940	1.0172	1.0260
1.0	1.1029	1.1475	1.1329	1.1278

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข1 กราฟมาตรฐานของสารละลายแป้งในการวิเคราะห์กิจกรรมของเอนไซม์α-amylase

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข2 ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายแป้งที่เหลือ ณ เวลาต่างๆที่ความยาวคลื่น 620 นาโนเมตร ในการวิเคราะห์กิจกรรมเอนไซม์α-amylase

เวลา (นาที)	ค่าการดูดกลืนแสง (620 นาโนเมตร)			ปริมาณแป้งที่เหลือ(มก./มล.)	ปริมาณแป้งที่ใช้ไป (มก./มล.)
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ค่าเฉลี่ย		
0	2.8341	2.8341	2.8341	2.4693	4.4807
1	2.7372	2.7688	0.7520	2.3978	4.5524
2	2.5710	2.5914	2.5812	2.2490	4.7010
3	2.3118	2.3341	2.3230	2.02040	4.9260
4	1.5951	1.9545	1.9568	1.7050	5.2450
5	1.5867	1.5745	1.5806	1.3772	5.5728
6	1.2041	1.2266	1.2154	1.0590	5.8910
7	0.9281	0.9354	0.9318	0.8119	6.1381
8	0.6919	0.6572	0.6746	0.5878	6.3622
9	0.4751	0.4941	0.4846	0.4222	6.5278
10	0.3319	0.3413	0.3366	0.2933	6.6567
11	0.2385	0.2279	0.2332	0.2032	6.7468
12	0.1731	0.1469	0.1600	0.1394	6.8106
13	0.1234	0.1056	0.1145	0.0998	6.8502
14	0.0670	0.0887	0.0792	0.0690	6.8810
15	0.0468	0.0652	0.0560	0.0488	6.9012
16	0.0503	0.0353	0.0428	0.0373	6.9127
17	0.0398	0.0228	0.0313	0.0273	6.9227
18	0.0202	0.0194	0.0198	0.0173	6.9327
19	0.0164	0.0187	0.0176	0.0153	6.9347
20	0.0160	0.0160	0.0160	0.0139	6.9361

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสูตร

$$\text{กิจกรรมเอนไซม์} = \frac{1585 \times V}{t \times a \times v} = \text{Novo-alpha-amylase-units (NU/g)}$$

$$= \frac{1585 \times 1000}{14 \times 0.0490 \times 2} = 115.52 \text{ KNU/g}$$

ดังนั้นเอนไซม์α-amylase (Termamyl 120L type LS) **มีค่ากิจกรรมเอนไซม์** 115.52 KNU/g

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

ตารางวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ

1. ตารางแสดงปริมาณกรดซิตริกที่เกาะเกี่ยวกับสตาร์ช (%BC) ประสิทธิภาพในการเกิดปฏิกิริยา (%RE) และปริมาณรีซีสแตนท์สตาร์ช (%RS) ของแป้งมันสำปะหลังและแป้งข้าวเหนียว

ตารางที่ค1 แสดงปริมาณกรดซิตริกที่เกาะเกี่ยวกับสตาร์ช (%BC) ของแป้งมันสำปะหลังที่สภาวะการดัดแปรต่างๆ

treatment	สภาวะการดัดแปร		%bound citric(%BC)			
	%citric	heating time	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย
1	0	5	0.00	0.00	0.00	0 ± 0^{f}
2	0	10	0.00	0.00	0.00	0 ± 0^{f}
3	0	15	0.00	0.00	0.00	0 ± 0^{f}
4	5	5	1.30	1.30	1.30	1.30 ± 0.0^{e}
5	5	10	1.57	1.80	1.80	1.75 ± 0.15^{d}
6	5	15	2.10	2.22	2.19	2.17 ± 0.06^{c}
7	10	5	2.38	2.47	2.57	2.47 ± 0.09^{b}
8	10	10	4.15	4.63	4.42	4.37 ± 0.03^{a}
9	10	15	4.37	4.41	4.35	4.40 ± 0.24^{a}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค2 แสดงกรดซิตริกที่เกาะเกี่ยวกับสตาร์ช (%BC) ของแป้งข้าวเหนียวที่สภาวะการดัดแปรต่างๆ

treatment	สภาวะการดัดแปร		%bound citric(%BC)			
	%citric	heating time	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย
1	0	5	0.00	0.00	0.00	0 ± 0^{f}
2	0	10	0.00	0.00	0.00	0 ± 0^{f}
3	0	15	0.00	0.00	0.00	0 ± 0^{f}
4	5	5	3.15	3.21	3.30	3.24 ± 0.08^{d}
5	5	10	3.94	3.93	3.88	3.91 ± 0.03^{c}
6	5	15	4.22	4.35	4.26	4.27 ± 0.06^{b}
7	10	5	3.88	3.83	3.75	3.82 ± 0.06^{c}
8	10	10	4.42	4.41	4.37	$4.40\pm0.02^{a,b}$
9	10	15	4.24	4.51	4.80	4.51 ± 0.28^{a}

ตารางที่ ค3 แสดงประสิทธิภาพในการเกิดปฏิกิริยา (%RE) ของแป้งมันสำปะหลังที่สภาวะการดัดแปรต่างๆ

treatment	สภาวะการดัดแปร		%reaction efficiency (%RE)			
	%citric	heating time	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย
1	0	5	0.00	0.00	0.00	0 ± 0^{f}
2	0	10	0.00	0.00	0.00	0 ± 0^{f}
3	0	15	0.00	0.00	0.00	0 ± 0^{f}
4	5	5	26.00	26.00	26.00	26.00 ± 0.0^{c}
5	5	10	31.40	36.40	37.40	35.06 ± 3.21^{b}
6	5	15	43.00	44.00	44.20	43.40 ± 1.21^{a}
7	10	5	22.80	24.70	25.70	24.40 ± 1.47^{c}
8	10	10	43.70	44.10	43.50	43.76 ± 0.30^{a}
9	10	15	41.50	46.30	44.20	44.0 ± 2.40^{a}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค4 แสดงประสิทธิภาพในการเกิดปฏิกิริยา (%RE) ของแป้งข้าวเหนียวที่สภาวะการดัดแปรต่างๆ

treatment	สภาวะการดัดแปร		%reaction efficiency (%RE)			
	%citric	heating time	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย
1	0	5	0.00	0.00	0.00	0 ± 0^{f}
2	0	10	0.00	0.00	0.00	0 ± 0^{f}
3	0	15	0.00	0.00	0.00	0 ± 0^{f}
4	5	5	63.00	64.20	66.00	64.40 ± 1.51^{c}
5	5	10	77.80	78.60	77.60	78.00 ± 0.52^{b}
6	5	15	84.40	87.00	85.20	85.96 ± 1.36^{a}
7	10	5	38.80	38.30	37.50	38.20 ± 0.65^{c}
8	10	10	43.20	44.10	43.70	43.66 ± 0.45^{d}
9	10	15	43.40	45.10	45.00	44.50 ± 0.95^{d}

ตารางที่ ค5 แสดงปริมาณรีซีสแตนท์สตาร์ช (%RS) ของแป้งมันสำปะหลังที่สภาวะการดัดแปรต่างๆ

treatment	สภาวะการดัดแปร		%resistant starch (%RS)			
	%citric acid	heating time	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย
1	0	0	14.65	12.96	13.86	13.82 ± 0.84^{b}
2	0	5	11.06	6.36	15.79	11.07 ± 4.71^{bc}
3	0	10	10.37	7.42	13.23	10.34 ± 2.90^{bc}
4	0	15	8.23	8.14	7.42	7.93 ± 0.44^{c}
5	10	10	22.84	21.19	23.72	22.58 ± 1.28^{a}
6	10	15	24.95	23.32	25.80	24.69 ± 1.26^{a}

เมื่อ treatment ที่ 1 คือ แป้งธรรมชาติ

treatment ที่ 2 คือ แป้งธรรมชาติที่ผ่านการให้ความร้อนที่ระยะเวลา 5 นาที

treatment ที่ 3 คือ แป้งธรรมชาติที่ผ่านการให้ความร้อนที่ระยะเวลา 10 นาที

treatment ที่ 4 คือ แป้งธรรมชาติที่ผ่านการให้ความร้อนที่ระยะเวลา 15 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

treatment ที่ 5 คือ สตาร์ทซิเตรทที่ระดับความเข้มข้นของกรดซิตริก 10 % ที่ผ่านการให้ความร้อนที่ระยะเวลา 10 นาที

treatment ที่ 6 คือ สตาร์ทซิเตรทที่ระดับความเข้มข้นของกรดซิตริก 10 % ที่ผ่านการให้ความร้อนที่ระยะเวลา 15 นาที

ตารางที่ ค6 แสดงปริมาณรีซีสแตนท์สตาร์ช (%RS) ของแป้งข้าวเหนียวที่สภาวะการดัดแปรต่างๆ

treatment	สภาวะการดัดแปร		%resistant starch (%RS)			
	%citric	heating time	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย
1	0	0	16.85	15.65	16.12	16.20 ± 0.60^{b}
2	0	5	10.14	13.32	14.89	22.78 ± 2.42^{c}
3	0	10	11.06	12 .50	10.54	11.36 ± 1.01^{c}
4	0	15	9.60	9.13	7.54	8.75 ± 1.07^{d}
5	10	10	24.20	26.86	27.09	26.05 ± 1.60^{a}
6	10	15	26.82	28.37	28.43	27.87 ± 0.91^{a}

เมื่อ treatment ที่ 1 คือ แป้งธรรมชาติ

treatment ที่ 2 คือ แป้งธรรมชาติที่ผ่านการให้ความร้อนที่ระยะเวลา 5 นาที

treatment ที่ 3 คือ แป้งธรรมชาติที่ผ่านการให้ความร้อนที่ระยะเวลา 10 นาที

treatment ที่ 4 คือ แป้งธรรมชาติที่ผ่านการให้ความร้อนที่ระยะเวลา 15 นาที

treatment ที่ 5 คือ สตาร์ทซิเตรทที่ระดับความเข้มข้นของกรดซิตริก 10 % ที่ผ่านการให้ความร้อนที่ระยะเวลา 10 นาที

treatment ที่ 6 คือ สตาร์ทซิเตรทที่ระดับความเข้มข้นของกรดซิตริก 10 % ที่ผ่านการให้ความร้อนที่ระยะเวลา 15 นาที

2. การวิเคราะห์ผลทางสถิติของการทดลองแบบแฟคทอเรียล

ตัวอย่างการคำนวณ : ในการทดลองใช้แผนการทดลองเป็นแบบ Factorial มี 2 ปัจจัย คือ ปริมาณกรดซิตริกที่ใช้ (A) และเวลาในการให้ความร้อน (B) ทดลอง 3 ซ้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค7 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของการจัดการทดลองแบบแฟคทอเรียล

Source of variation	d.f.	SS	MS	F
Replications	r-1	$\frac{(R_1)^2+...+(Rr)^2}{t = ch} - CF$	$\frac{SS}{d.f.} = M_6$	$\frac{M_6}{M_1}$
Treatments	t-1	$\frac{(T_1)^2+...+(Tt)^2}{r} - CF$	$\frac{SS}{d.f.} = M_5$	$\frac{M_5}{M_1}$
Citric acid (A)	a-1	$\frac{(A_0)^2+...+(Aa)^2}{ra} - CF$	$\frac{SS}{d.f.} = M_4$	$\frac{M_4}{M_1}$
Heating time (B)	b-1	$\frac{(B_0)^2+...+(Bb)^2}{rb} - CF$	$\frac{SS}{d.f.} = M_3$	$\frac{M_3}{M_1}$
A×B	(a-1)(b-1)	Treatment.SS-C.SS-H.SS	$\frac{SS}{d.f.} = M_2$	$\frac{M_2}{M_1}$
Error	(r-1)(t-1)	Total.SS-Rep.SS-Treat.SS	$\frac{SS}{d.f.} = M_1$	
Total	rt-1 or abr-1 $\sum$ (each value)^2-CF			

ตารางที่ ค8 วิเคราะห์ความแปรปรวนของ % BC ของสตาร์ชซิเตรทที่ผลิตจากแป้งมันสำปะหลังที่ระดับความเข้มข้นและเวลาในการให้ความร้อนต่างๆ

Source of variation	d.f.	SS	MS	F-value	Sig
%Citric acid (A)	2	63.391	31.695	294.372	0.00*
Heating time (B)	2	4.519	2.259	211.667	0.00*
A×B	4	3.952	0.988	92.570	0.00*
Error	18	0.192	1.067×10^{-2}		
Total	27	162.474			
Corrected total	26	72054			

หมายเหตุ * มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05 ($P \leq 0.05$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค9 วิเคราะห์ความแปรปรวนของ % RE ของสตาร์ชซิเตรทที่ผลิตจากแป้งมันสำปะหลังที่ระดับความเข้มข้นและเวลาในการให้ความร้อนต่างๆ

Source of variation	d.f.	SS	MS	F-value	Sig
%Citric acid (A)	2	7851.312	3925.656	171.650	0.00*
Heating time (B)	2	750.281	375.140	169.946	0.00*
A×B	4	463.410	115.853	52.484	0.00*
Error	22	39.733	2.207		
Total	27	24748.070			
Corrected total	26	9104.736			

หมายเหตุ * มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05 ($P \leq 0.05$)

ตารางที่ ค10 วิเคราะห์ความแปรปรวนของ % RS ของสตาร์ชซิเตรทที่ผลิตจากแป้งมันสำปะหลังที่ระดับความเข้มข้นและเวลาในการให้ความร้อนต่างๆ

Source of variation	d.f.	SS	MS	F-value	Sig
%Citric acid (A)	1	501.684	501.684	86.445	0.00*
Heating time (B)	3	58.220	19.407	3.344	0.056
A×B	3	1.421	1.421	0.245	0.630
Error	22	69.642	5.804		
Total	18	4878.741			
Corrected total	17	789.346			

หมายเหตุ * มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05 ($P \leq 0.05$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค11 วิเคราะห์ความแปรปรวนของ % BC ของสตาร์ชซิเตรทที่ผลิตจากแป้งข้าวเหนียวที่ระดับความเข้มข้นและเวลาในการให้ความร้อนต่างๆ

Source of variation	d.f.	SS	MS	F-value	Sig
%Citric acid (A)	2	98.259	49.130	4609.101	0.00*
Heating time (B)	2	1.590	0.795	74.600	0.00*
A×B	4	0.884	0.221	20.742	0.00*
Error	18	0.192	1.066×10^{-2}		
Total	27	295.763			
Corrected total	26	100.926			

หมายเหตุ * มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05 ($P \leq 0.05$)

ตารางที่ ค12 วิเคราะห์ความแปรปรวนของ % RE ของสตาร์ชซิเตรทที่ผลิตจากแป้งข้าวเหนียวที่ระดับความเข้มข้นและเวลาในการให้ความร้อนต่างๆ

Source of variation	d.f.	SS	MS	F-value	Sig
%Citric acid (A)	2	26064.667	13032.334	19690.711	0.00*
Heating time (B)	2	393.787	196.894	297.489	0.00*
A×B	4	360.997	90.249	136.359	0.00*
Error	18	11.913	0.662		
Total	27	68658.450			
Corrected total	26	26831.365			

หมายเหตุ * มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05 ($P \leq 0.05$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค13 วิเคราะห์ความแปรปรวนของ % RS ของสตาร์ชซิเตรทที่ผลิตจากแป้งข้าวเหนียว

Source of variation	d.f.	SS	MS	F-value	Sig
%Citric acid (A)	1	664.839	664.839	337.146	0.00*
Heating time (B)	3	91.623	30.541	15.488	0.00*
A×B	1	0.124	0.124	0.063	0.806
Error	12	23.664	1.972		
Total	18	6286.089			
Corrected total	17	977.812			

หมายเหตุ * มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05 ($P \leq 0.05$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง

การคำนวณหาปริมาณรีซีสแตนท์สตาร์ช (%RS)

ตารางที่ ง1 แสดงปริมาณรีซีสแตนท์สตาร์ช (%RS) ของแป้งมันสำปะหลัง และความเข้มข้นของสารละลายแป้ง ที่เหลือจากการย่อยด้วยเอนไซม์ α-amylase (มก./มล.) โดยเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานของสารละลายแป้งในการวิเคราะห์กิจกรรมเอนไซม์α-amylase ที่ค่าการดูดกลืนแสงความยาวคลื่น 620 nm

treatment	ครั้งที่	Absorbance เฉลี่ย	ความเข้มข้นของสารละลายแป้งที่เหลือ (มก./มล.)	%resistant starch (%RS)
1	1	0.668	0.58	14.65
	2	0.591	0.51	12.96
	3	0.632	0.55	13.86
2	1	0.504	0.44	11.06
	2	0.289	0.25	6.36
	3	0.719	0.63	15.79
3	1	0.473	0.41	10.37
	2	0.338	0.29	7.42
	3	0.603	0.53	13.23
4	1	0.371	0.32	8.14
	2	0.375	0.33	8.23
	3	0.338	0.29	7.42
5	1	1.041	0.91	22.84
	2	0.965	0.84	21.19
	3	1.081	0.94	23.72
6	1	1.137	0.99	24.95
	2	1.063	0.93	23.32
	3	1.176	1.02	25.80

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง2 แสดงปริมาณรีซีสแตนท์สตาร์ช (%RS) ของแป้งข้าวเหนียว และความเข้มข้นของสารละลายแป้ง ที่เหลือจากการย่อยด้วยเอมไซม์α-amylase (มก./มล.) โดยเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานของสารละลายแป้งในการวิเคราะห์กิจกรรมเอนไซม์α-amylase ที่ค่าการดูดกลืนแสงความยาวคลื่น 620 nm

treatment	ครั้งที่	Absorbance เฉลี่ย	ความเข้มข้นของสารละลายแป้งที่เหลือ (มก./มล.)	%resistant starch (%RS)
1	1	0.768	0.67	16.85
	2	0.713	0.62	15.65
	3	0.735	0.64	16.12
2	1	0.462	0.40	10.14
	2	0.679	0.53	13.32
	3	0.607	0.59	14.89
3	1	0.472	0.41	11.06
	2	0.570	0.50	12 .50
	3	0.480	0.42	10.54
4	1	0.438	0.38	9.60
	2	0.416	0.36	9.13
	3	0.344	0.30	7.54
5	1	1.103	0.96	24.20
	2	1.224	1.07	26.86
	3	1.235	1.08	27.09
6	1	1.222	1.06	26.82
	2	1.293	1.13	28.37
	3	1.296	1.13	28.43

เมื่อ treatment ที่ 1 คือ แป้งธรรมชาติ
treatment ที่ 2 คือ แป้งธรรมชาติที่ผ่านการให้ความร้อนที่ระยะเวลา 5 นาที
treatment ที่ 3 คือ แป้งธรรมชาติที่ผ่านการให้ความร้อนที่ระยะเวลา 10 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

treatment ที่ 4 คือ แป้งธรรมชาติที่ผ่านการให้ความร้อนที่ระยะเวลา 15 นาที

treatment ที่ 5 คือ สตาร์ทซิเตรทที่ระดับความเข้มข้นของกรดซิตริก 10 % ที่ผ่านการให้ความร้อนที่ระยะเวลา 10 นาที

treatment ที่ 6 คือ สตาร์ทซิเตรทที่ระดับความเข้มข้นของกรดซิตริก 10 % ที่ผ่านการให้ความร้อนที่ระยะเวลา 15 นาที

จากตารางที่ ง1 และ ง2 สามารถอธิบายการคำนวณได้ ดังนี้

การคำนวณหาปริมาณรีซีสแตนท์สตาร์ช (%RS)

สามารถคำนวณหาความเข้มข้นของสารละลายแป้ง (มก./มล.) ที่เหลือจากการย่อยด้วยเอนไซม์α-amylase ได้จากสมการกราฟมาตรฐานของสารละลายแป้งในการวิเคราะห์กิจกรรมเอนไซม์α-amylase โดย $y = 1.1477x$; $R^2 = 0.9991$ แทนค่าการดูดกลืนแสงเป็นตัวแปร y ในสมการ แล้วคำนวณหาค่า x ซึ่งจะได้เป็นความเข้มข้นของสารละลายแป้งที่เหลือจากการย่อยด้วยเอนไซม์α-amylase (มก./มล.)

สามารถคำนวณหาปริมาณรีซีสแตนท์สตาร์ช (%RS) ได้จากแป้งที่เหลือจากการย่อยด้วยเอนไซม์α-amylase เปรียบเทียบกับปริมาณแป้งเริ่มต้น

ตัวอย่างการคำนวณ

ในสารละลายทั้งหมด 35 มิลลิลิตร มีปริมาณแป้งเริ่มต้น เท่ากับ 139 มิลลิกรัม

- คำนวณได้จากการเตรียมสารละลายแป้ง

ปริมาณสารละลายแป้ง 1000 มิลลิลิตร มีแป้งเริ่มต้นทั้งหมด 6.95 กรัม

ปริมาณสารละลายแป้ง 20 มิลลิลิตร มีแป้งเริ่มต้นทั้งหมด 0.139 กรัม หรือ 139 มิลลิกรัม

เพราะฉะนั้น ในสารละลายทั้งหมด 35 มิลลิลิตร มีปริมาณแป้งเริ่มต้น เท่ากับ 139 มิลลิกรัม

- คำนวณหาปริมาณรีซีสแตนท์สตาร์ช (%RS)ของแป้งมันสำปะหลังธรรมชาติ

คำนวณหาความเข้มข้นของสารละลายแป้ง (มก./มล.) ที่เหลือจากการย่อยด้วยเอนไซม์α-amylase ได้จากสมการ $y = 1.1477x$ ดังนี้

$$0.668 = 1.1477x$$

$$x = 0.582$$

เพราะฉะนั้น ความเข้มข้นของสารละลายแป้งที่เหลือจากการย่อยด้วยเอนไซม์α-amylase (มก./มล.) เท่ากับ 0.582 (มก./มล.)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริมาณสารละลายทั้งหมด 1 มิลลิลิตร มีแป้งที่เหลือจากการย่อยทั้งหมด 0.582 มิลลิกรัม
ปริมาณสารละลายทั้งหมด 35 มิลลิลิตร มีแป้งที่เหลือจากการย่อยทั้งหมด 20.37 มิลลิกรัม

ปริมาณแป้งเริ่มต้น 139 มิลลิกรัม มีปริมาณแป้งที่เหลือจากการย่อยทั้งหมด 20.37 มิลลิกรัม
ปริมาณแป้งเริ่มต้น 100 มิลลิกรัม มีปริมาณแป้งที่เหลือจากการย่อยทั้งหมด 14.65 มิลลิกรัม

แสดงว่า ในแป้งมันสำปะหลังธรรมชาติ มีปริมาณรีซีสแตนท์สตาร์ช (%RS) เท่ากับ 14.65 มิลลิกรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก จ

การเตรียมสารละลายในการวิเคราะห์หากิจกรรมเอนไซม์α-amylase และ ปริมาณรีซีสแตนท์สตาร์ช (%RS)

1. การเตรียมสารละลาย

1.1 แคลเซียมคลอไรด์ ($CaCl_2$) ความเข้มข้น 0.43 โมลาร์

ละลายแคลเซียมคลอไรด์ ($CaCl_2.2H_2O$) 63.22 กรัม และทริส (Tris) 1.10 กรัม ในน้ำกลั่น

900 มิลลิลิตร ปรับพีเอชเป็น 7 ด้วยกรดไฮโดรคลอริก (HCl) ความเข้มข้น 4 โมลาร์ ปรับปริมาตรเป็น 1000 มิลลิลิตร

1.2 สารละลายไอโอดีน A (stock solution)

ละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์ (KI) 22.0 กรัม ในน้ำกลั่น 60 มิลลิลิตร และละลายไอโอดีน (I_2) 11.0 กรัม ในสารละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์ ปรับปริมาตรเป็น 1000 มิลลิลิตร

1.3 สารละลายไอโอดีน B

เตรียมสารละลายไอโอดีน A 4 มิลลิลิตร และโพแทสเซียมไอโอไดด์ (KI) 40.0 กรัม ปรับ

ปริมาตรด้วยน้ำกลั่นเป็น 1000 มิลลิลิตร

1.4 สารละลายเกลือ (salt stock solution) พีเอช 5.2

ละลายโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) 9.366 กรัม โพแทสเซียมไฮโดรเจนฟอสเฟต (KH2PO4)

69.0 กรัม และโซเดียม ไฮโดรเจนฟอสเฟต ($Na_2HPO_4.2H_2O$) 4.8 กรัม ปรับปริมาตรเป็น 1000 มิลลิลิตร

1.5 สารละลายสตาร์ช (Starch solution) พีเอช 5.6

ละลายสตาร์ช 6.95 กรัม (น้ำหนักแห้ง) ในน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร เทลงในบีกเกอร์ที่มีน้ำร้อน 200 มิลลิลิตร (กวนผสมตลอดเวลา) ต้มต่ออีก 30 วินาที ทิ้งให้เย็นในขวดปรับปริมาตรขนาด

1000 มิลลิลิตร จากนั้นเติมสารละลายในข้อ 2.2.4 ปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร และปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นเป็น 1000 มิลลิลิตร

1.6 สารละลายเอนไซม์ (enzyme solution)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปิเปตสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ 1 เปอร์เซนต์ของปริมาตรทั้งหมด ชั่งเอนไซม์และปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นเป็น 1000 มิลลิลิตร (สารละลายเอนไซม์ควรมีเอนไซม์ 0.07 K Novo units ต่อมิลลิลิตร)

สามารถคำนวณหาน้ำหนักเอนไซม์ได้จากค่ากิจกรรมเอนไซม์α-amylase (Termamyl 120 L type LS) เท่ากับ 115.52 KNU/g

ปริมาณสารละลายเอนไซม์ 1 มิลลิลิตร มีปริมาณเอนไซม์ทั้งหมด 0.07 KNU

ปริมาณสารละลายเอนไซม์ 1000 มิลลิลิตร มีปริมาณเอนไซม์ทั้งหมด 70 KNU

ค่ากิจกรรมเอนไซม์α-amylase 115.52 KNU มีปริมาณเอนไซม์ทั้งหมด 1 กรัม

ค่ากิจกรรมเอนไซม์α-amylase 70.00 KNU มีปริมาณเอนไซม์ทั้งหมด 0.6059 กรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิรัชภรณ์ ภิงคะสาร เกิดเมื่อวันที่ 12 เมษายน พ.ศ. 2522 ปัจจุบันอยู่บ้านเลขที่ 171/7 ถนน จรัญสนิทวงศ์ ตำบล วัดท่าพระ อำเภอ บางกอกใหญ่ กรุงเทพฯ ปี 2539 สำเร็จการศึกษาระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 จากโรงเรียน ศึกษานารี ปี พ.ศ. 2546 สำเร็จการศึกษาปริญญาวิทยาศาตร์บัญฑิต (อุตสาหกรรมเกษตร) โครงการคณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ศกลวรรณ จงสงวนดี เกิดเมื่อวันที่ 24 สิงหาคม พ.ศ. 2524 ปัจจุบันอยู่บ้านเลขที่ 120/59 ถนน ชัยพฤกษ์ ตำบล ตลิ่งชัน อำเภอ ตลิ่งชัน กรุงเทพฯ ปี 2541 สำเร็จการศึกษาระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 จากโรงเรียน สตรีวิทยา 3 ปี พ.ศ. 2546 สำเร็จการศึกษาปริญญาวิทยาศาตร์บัญฑิต (อุตสาหกรรมเกษตร) โครงการคณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้