

สตาร์ชฉลากสะอาด: วิธีการผลิต คุณสมบัติ และการประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์อาหาร

งามจิตร โล่วิthur

ฝ่ายกระบวนการผลิตและแปรรูป สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

อีเมล : ifrnjl@ku.ac.th

รับเมื่อ 7 กุมภาพันธ์ 2568 แก้ไขเมื่อ 3 เมษายน 2568 ตอรับเมื่อ 17 เมษายน 2568

จุดเด่น

- แนวโน้มของตลาดสตาร์ชฉลากสะอาดกำลังเติบโตอย่างต่อเนื่องเพื่อตอบสนองความต้องการสุขภาพดีอย่างยั่งยืน
- เทคนิคการดัดแปรสตาร์ชด้วยวิธีการผสม วิธีทางกายภาพ และเอนไซม์เพื่อนวัตกรรมผลิตภัณฑ์ฉลากสะอาด
- คุณสมบัติของสตาร์ชฉลากสะอาดและการประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารประเภทต่าง ๆ

บทคัดย่อ

แนวโน้มตลาดผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพมีการเติบโตอย่างต่อเนื่อง สตาร์ชฉลากสะอาดหรือสตาร์ชดัดแปรโดยไม่ใช้สารเคมีจัดเป็นหนึ่งในส่วนประกอบที่มีบทบาทสำคัญต่อการเปลี่ยนแปลงของอุตสาหกรรมอาหาร การดัดแปรสตาร์ชด้วยวิธีต่าง ๆ โดยไม่ใช้สารเคมี เช่น การผสม วิธีทางกายภาพ (การใช้ความร้อนและไม่ใช้ความร้อน) และการใช้เอนไซม์ ส่งผลให้สตาร์ชมีคุณสมบัติแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับวิธีการ ชนิดของสตาร์ช และปัจจัยที่เกี่ยวข้อง สตาร์ชผสมส่วนใหญ่มีคุณสมบัติไม่เป็นไปตามค่าการทำนาย เทคนิคการใช้ความร้อนส่งผลให้สตาร์ชเกิดการเจลาติไนเซชันบางส่วน ส่วนการใช้เทคนิคการแปรรูปโดยไม่ใช้ความร้อนส่วนใหญ่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงรูปร่างและบริเวณผิวของกรานูล และบางวิธีอาจส่งผลให้โมเลกุลของสตาร์ชเกิดการเปลี่ยนแปลง การใช้เอนไซม์เป็นวิธีที่ทำให้คุณสมบัติของสตาร์ชเปลี่ยนแปลงไปมากเนื่องจากโครงสร้างโมเลกุลของสตาร์ชถูกไฮโดรไลซ์ สตาร์ชฉลากสะอาดยังคงเป็นเรื่องที่ท้าทายในการนำนวัตกรรมการผลิตมาประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมแปรรูปอาหาร เพื่อให้เกิดผลลัพธ์ที่สามารถส่งต่อถึงผลิตภัณฑ์อาหารฉลากสะอาดสำหรับผู้บริโภค

คำสำคัญ : สตาร์ชฉลากสะอาด สตาร์ชผสม การดัดแปรด้วยวิธีทางกายภาพ การดัดแปรด้วยเอนไซม์

Clean-label starch: production, properties and applications in food products

Ngamjit Lowithun

Department of Food Processing and Preservation, Institute of Food Research and Product Development,
Kasetsart University

E-mail : ifrnjl@ku.ac.th

Received 7 February 2025; **Revised** 3 April 2025; **Accepted** 17 April 2025

Highlights

- Trend of the clean-label starch market is growing continuously to meet the demands for sustainable wellness
- Starch modification techniques with blending, physical and enzymatic methods for innovative clean-label products
- Properties of clean-label starch and applications in several food products

Abstract

The trend of the health food product market is continuously growing. Clean label starch, starch modified without chemical, is one of the ingredients that play an important role in the transformation of the food industry. Various starch modifications without chemicals, such as blending, physical methods (thermal and non-thermal treatment), and enzymatic modification, provide different starch properties depending on process methods, starch types, and related factors. Most starch blends have their properties that are non-additive behavior. The thermal process results in partial gelatinization of starch. The non-thermal process mainly affects the granular shape and surface area and may change the molecular structure. Enzyme treatment greatly changes the properties of starch due to hydrolyzed molecular structure. Clean label starch remains a challenge in applying process innovations in food industry to effectively produce clean label food products for consumers.

Keywords : clean label starch, starch blends, physical modification, enzymatic modification

บทนำ

แนวคิดเกี่ยวกับฉลากสะอาด (clean label) มีจุดเริ่มต้นเมื่อประมาณ 20 ปีก่อน ในประเทศทางยุโรป พัฒนามาจากความต้องการของผู้บริโภคที่ต้องการฉลากผลิตภัณฑ์ที่เข้าใจง่าย และปราศจากส่วนประกอบหรือกระบวนการผลิตที่ซับซ้อนหรือไม่จำเป็น⁽¹⁾ ปัจจุบันแนวคิดนี้ยังคงเป็นกระแสที่ได้รับความนิยมเป็นอย่างมาก เนื่องจากเป็นแนวทางที่สามารถช่วยตอบโจทยความต้องการของผู้บริโภคที่ใส่ใจทั้งในเรื่องของสุขภาพและสิ่งแวดล้อม และกระตุ้นให้ผู้ผลิตเล็งเห็นถึงความสำคัญในการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพที่ใช้ส่วนประกอบจากวัตถุดิบธรรมชาติ หลีกเลี่ยงการใช้สารเคมีสังเคราะห์ เช่น สารแต่งสี กลิ่นรสสังเคราะห์ หรือวัตถุกันเสีย ใช้กระบวนการผลิตที่ไม่ซับซ้อนเพื่อคงคุณค่าทางโภชนาการ มีความโปร่งใสในการระบุส่วนประกอบและข้อมูลโภชนาการบนฉลากอย่างชัดเจนและเข้าใจง่าย นอกจากนี้อาจรวมถึงการใช้วัตถุดิบที่มาจากแหล่งผลิตที่ยั่งยืน หรือการผลิตที่ลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม⁽²⁾ ฉลากสะอาดจึงเป็นช่องทางในการสื่อสารระหว่างผู้ผลิตและผู้บริโภค ในการสร้างความเชื่อมั่นให้กับผู้บริโภคในด้านความปลอดภัย และคุณภาพของผลิตภัณฑ์ พร้อมทั้งตอบสนองความต้องการด้านสุขภาพและความยั่งยืน

สตาร์ชเป็นสารประกอบคาร์โบไฮเดรตที่พบได้มากในพืช เช่น มันสำปะหลัง ข้าวโพด มันฝรั่ง ข้าว และธัญพืชอื่น ๆ สตาร์ชประกอบด้วยโพลิเมอร์ของแอมิโลสและแอมิโลเพคติน โดยลักษณะโครงสร้างของแอมิโลสประกอบด้วยหน่วยกลูโคสจำนวนมากเชื่อมต่อกันด้วยพันธะไกลโคไซด์ ที่

ตำแหน่ง α -1,4 ได้เป็นโครงสร้างที่เป็นสายตรง (linear polymer) และมีกิ่งปริมาณน้อย ส่วนโครงสร้างแอมิโลเพคตินมีโครงสร้างแบบกิ่ง (branch chain) ประกอบด้วยโพลิเมอร์สายตรงและโซ่กิ่งที่เชื่อมต่อกันด้วยพันธะที่ตำแหน่ง α -1,6 สตาร์ชมีคุณสมบัติที่นำมาใช้เป็นสารให้ความหนืดในผลิตภัณฑ์ เช่น ซอส ชุป และเครื่องดื่ม ใช้เป็นสารยึดเกาะ (binder) หรือทำให้เกิดเจล (gelling agent) ในผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ เนื่องจากคุณสมบัติของสตาร์ชธรรมชาติ หรือแป้งดิบ (native starch) มีข้อจำกัดในการนำไปใช้ในผลิตภัณฑ์ เช่น เกิดรีโทรเกรเดชันได้ง่าย ไม่ทนต่อความร้อน แรงเฉือนจากการกวนผสม และความเป็นกรด จึงมีการใช้สตาร์ชดัดแปรเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติดังกล่าว วิธีการดัดแปรโครงสร้างของสตาร์ชสามารถทำได้โดยวิธีทางกายภาพ การใช้เอนไซม์ และการใช้กระบวนการทางเคมี ซึ่งสตาร์ชดัดแปรที่ผลิตและใช้ในอุตสาหกรรมส่วนใหญ่ใช้วิธีการดัดแปรด้วยสารเคมี⁽³⁾

จากข้อมูลตลาดสตาร์ชฉลากสะอาดทั่วโลก พบว่า มีมูลค่าประมาณ 1.5 พันล้านดอลลาร์สหรัฐ ในปี พ.ศ. 2567 และคาดว่าจะมีมูลค่าสูงถึง 3.3 พันล้านดอลลาร์สหรัฐในปี พ.ศ. 2576 ที่อัตราการเติบโตเฉลี่ยร้อยละ 5.5 ต่อปี โดยมีปัจจัยที่ส่งผลต่อการเติบโตของตลาด เช่น ผู้บริโภคมีความต้องการผลิตภัณฑ์จากธรรมชาติ หรือออร์แกนิกเพิ่มขึ้น ความต้องการที่เพิ่มขึ้นในอุตสาหกรรมอาหารและเครื่องดื่ม และความต้องการอาหารพร้อมบริโภค รวมทั้งความต้องการผลิตภัณฑ์อาหารเฉพาะ เช่น ผลิตภัณฑ์ปราศจากกลูเตน⁽⁴⁾

สำหรับกลุ่มผลิตภัณฑ์ที่มีแนวโน้มความต้องการสตาร์ชหลากหลายสะอาดเพิ่มขึ้น ได้แก่ ผลิตภัณฑ์ประเภทซูป และซอสสำเร็จรูปเนื่องจากมีส่วนแบ่งการตลาดใหญ่ที่สุด⁽⁵⁾ ในบทความนี้ได้นำเสนอเกี่ยวกับวิธีการผลิตและคุณสมบัติของสตาร์ชหลากหลาย รวมถึงแนวทางการประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์อาหาร

วิธีการผลิตสตาร์ชหลากหลาย คุณสมบัติและการประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์

การผสมสตาร์ช (starch blends)

การผสมสตาร์ช เป็นวิธีการง่าย ๆ ที่ไม่ซับซ้อน โดยนำสตาร์ชตั้งแต่สองชนิดมาผสมกันด้วยอัตราส่วนที่เหมาะสมเพื่อให้ได้คุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ พฤติกรรมของสตาร์ชผสมสามารถแบ่งออกเป็น 2 ลักษณะ ได้แก่ สตาร์ชผสมที่มีคุณสมบัติเป็นไปตามคุณลักษณะและปริมาณของสตาร์ชเดี่ยวที่นำมาใช้ผสม หรือมีพฤติกรรมที่เรียกว่า additive effect behavior และสตาร์ชผสมที่มีคุณสมบัติไม่เป็นไปตามการทำนายจากสัดส่วนคุณลักษณะเดิมของสตาร์ชที่นำมาผสม หรือที่เรียกว่า non-additive effect behavior⁽⁶⁾ การเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของสตาร์ชด้วยวิธีการผสมขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย ได้แก่

1) ขนาดอนุภาคของสตาร์ช

ความแตกต่างของขนาดอนุภาคระหว่างสตาร์ชที่นำมาผสมกันมีผลทำให้สมบัติทางความหนืดของสตาร์ชผสมเปลี่ยนแปลงไป เช่น การศึกษาของ Pancha-amon และคณะ⁽⁷⁾ พบว่า การผสมสตาร์ชจากแป้งพุทธรักษา (canna starch) ที่มี

ขนาดอนุภาคใหญ่ (~53 ไมครอน) กับสตาร์ชข้าวเหนียวที่มีขนาดอนุภาคเล็ก (~7 ไมครอน) ซึ่งมีค่าความหนืดสูงสุด (peak viscosity) ประมาณ 125 RVU และ 20 RVU ตามลำดับ ส่งผลให้สตาร์ชที่ผสมในสัดส่วนที่เท่ากันมีค่าความหนืดสูงสุด ~30 RVU ซึ่งต่ำกว่าค่าจากการทำนายถึงร้อยละ 59 เนื่องจากการก้ำกึ่งการพองของเม็ดแป้งพุทธรักษาลดลงเมื่อเทียบกับการผสมสตาร์ชพุทธรักษาด้วยสตาร์ชถั่วเขียว (~24 ไมครอน) และสตาร์ชมันฝรั่ง (~48 ไมครอน) ซึ่งมีค่าความหนืดสูงสุดเป็นไปตามค่าทำนาย

2) ปริมาณแอมิโลส

ปริมาณแอมิโลสของสตาร์ชผสมขึ้นอยู่กับสัดส่วนและปริมาณแอมิโลสของสตาร์ชเดี่ยวที่นำมาผสม ปริมาณแอมิโลสมีอิทธิพลต่อสมบัติทางความหนืดของทั้งสตาร์ชเดี่ยวและสตาร์ชผสม โดยเฉพาะในช่วงการเกิดโครงสร้างตาข่ายของเจล ในระหว่างการทำใหเย็นตัวลง สตาร์ชผสมมีค่าความหนืดสุดท้าย (final viscosity) เพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณแอมิโลสเพิ่มขึ้น⁽⁷⁻⁸⁾

3) ระดับความเข้มข้นของสตาร์ช

ปริมาณความเข้มข้นของสตาร์ชที่ใช้ในระบบเป็นอีกหนึ่งปัจจัยที่ทำให้สตาร์ชผสมมีพฤติกรรมแตกต่างกัน ที่ระดับความเข้มข้นต่ำ ปริมาณน้ำที่มากเพียงพอส่งผลให้สตาร์ชผสมมีสมบัติในการเกิดเจลลิตีในเซชันเป็นไปตามสัดส่วนของคุณลักษณะของสตาร์ชเดี่ยว ในขณะที่ระดับความเข้มข้นสูง สตาร์ชผสมส่วนใหญ่มีคุณลักษณะที่ไม่เป็นไปตามการทำนายเนื่องจากเกิดการแข่งขันระหว่างสตาร์ชโดยสตาร์ชที่มีอุณหภูมิการสุกต่ำจะดูดน้ำและเกิด

การสุกก่อน ทำให้เหลือปริมาณน้ำส่วนที่น้อย สำหรับการสุกของสตาร์ชอีกชนิดที่เหลือจึงส่งผลให้เกิดการสุกที่อุณหภูมิสูงขึ้น⁽⁶⁾

4) กำลังการพองของเม็ดแป้ง

การผสมสตาร์ชที่มีกำลังการพองน้อยและกำลังการพองมากในอัตราส่วนที่เท่ากัน ส่งผลให้สตาร์ชผสมมีกำลังการพองลดลงและอุณหภูมิการสุกเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับค่าการทำนาย⁽⁹⁾ การผสมสตาร์ชมันฝรั่งที่มีขนาดอนุภาคแตกต่างกัน (71, 55 และ 32 ไมครอน) กับสตาร์ชข้าวเหนียว ค่าความหนืดสูงสุดของสตาร์ชผสมแปรผันตรงกับกำลังการพองของเม็ดแป้ง โดยสตาร์ชมันฝรั่งซึ่งมีกรานูลขนาดเล็กแต่มีกำลังการพองมากที่สุดทำให้สตาร์ชผสมมีค่าความหนืดมากที่สุด⁽¹⁰⁾

5) โครงสร้างของแอมิโลเพคติน

จากการศึกษาวิจัยของผู้เขียนพบว่า การผสมสตาร์ชข้าวเจ้ากับสตาร์ชข้าวเหนียวพันธุ์

ต่างกันในส่วนที่เท่ากัน สตาร์ชผสมที่ได้มีสมบัติทางความหนืดและสมบัติรีโอโลยีแตกต่างกัน และมีพฤติกรรมไม่เป็นไปตามค่าการทำนาย เนื่องจากสตาร์ชข้าวเหนียวมีโครงสร้างโมเลกุลของแอมิโลเพคตินที่แตกต่างกัน⁽¹¹⁾

สตาร์ชผสมเป็นเทคนิคที่มีการประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมอาหารประเภทต่าง ๆ เช่น ผลิตภัณฑ์อาหารเส้น ซอส ซุป รวมถึงการใช้แป้งผสมเพื่อทดแทนแป้งสาลีในผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ ตลอดจนกลุ่มผลิตภัณฑ์ปราศจากกลูเตน ตัวอย่างงานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับคุณสมบัติของสตาร์ชผสม แสดงใน Table 1 เช่น การผสมสตาร์ชมันฝรั่งในแป้งสาลีสามารถช่วยปรับปรุงคุณภาพด้านเนื้อสัมผัสของบะหมี่กึ่งสำเร็จรูป⁽¹²⁾ การผสมสตาร์ชมันสำปะหลังเพื่อเพิ่มความคงตัวของเจลสตาร์ชข้าวแช่เยือกแข็ง⁽¹³⁾ และการใช้แป้งข้าวเหนียวเพื่อชะลอการเกิดรีโทรเกรเดชันของขนมปังจากแป้งสาลี⁽¹⁴⁾

Table 1 Starch blending conditions on properties for food applications

Blends	Conditions	Influence on properties	Applications
Potato starch / Wheat flour ⁽¹²⁾	- Different varieties of potato starch	- Potato starch with high phosphate content improved textural properties	Instant noodle
Mung bean starch blends with different botanical sources (potato, sweet potato, rice and sorghum starches) ⁽¹⁵⁾	- Different proportions (0, 20, 40, 60, 80, and 100%) - 20% starch concentration	- Potato starch increased PV, HV and FV - Blending other starches decreased storage modulus (G') and increased tan δ of mung bean starch gel	Noodle
Sweet potato starch / Cassava starch ⁽¹⁶⁾	- Different ratios (100:0, 67:33, 50:50, 33:67, and 0:100) - 10% starch concentration	- PV, BD and PT increased with cassava starch - G' ₂₅ and G'' ₂₅ decreased; similar tan δ ₂₅ compared to the predicted values	Noodle (vermicelli)

Table 1 (continued)

Blends	Conditions	Influence on properties	Applications
Rice starch / Tapioca starch ⁽¹³⁾	- Different ratios (10:0, 9:1, 8:2, 7:3, 6:4, and 5:5) - 5% starch concentration	- Blending tapioca starch increased gel strength and freeze-thaw stability - G' and G'' decreased; tanδ increased with blending tapioca starch	Frozen products
Pea starch / Corn starch ⁽¹⁷⁾	- Different mixture ratios (9:1 to 1:9)	- Good mouthfeel with blending of corn starch - Improving syneresis stability	Pudding, Sauce
Rice flour / Wheat flour ⁽¹⁴⁾	- 30% rice flour - Rice flour with different amylose contents (2.2, 10.2, and 17.2%)	- Waxy rice flour increased extensibility of crumb and retarded retrogradation	Bread

Abbreviations : PV, peak viscosity; HV, hot paste viscosity; FV, final viscosity; BD, breakdown; PT, pasting temperature.

การดัดแปรด้วยวิธีทางกายภาพ

การดัดแปรสตาร์ชด้วยวิธีทางกายภาพเป็นการทำให้รูปร่างและโครงสร้างโมเลกุลของสตาร์ชเกิดการเปลี่ยนแปลงด้วยการใช้เทคนิคกระบวนการแปรรูปอาหาร ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็นวิธีการแปรรูปโดยใช้ความร้อนและการแปรรูปโดยไม่ใช้ความร้อนสำหรับวิธีที่ใช้ในการดัดแปรสตาร์ชโดยใช้ความร้อนอาศัยหลักการทำให้แป้งสุกบางส่วน หรือทำให้โครงสร้างผลึกของสตาร์ชเกิดการเปลี่ยนแปลงโดยการใช้ความร้อนร่วมกับความชื้น

พรีเจลาติไนเซชัน (pre-gelatinization) เป็นการทำให้แป้งสุกบางส่วนด้วยกระบวนการแปรรูปต่าง ๆ เช่น กระบวนการเอกซ์ทรูชัน การทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้ง และเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย วิธีพรีเจลาติไนเซชันช่วยให้ความสามารถในการดูดน้ำ กำล้างการพอง และการละลายน้ำของสตาร์ชเพิ่มขึ้น สมบัติทางความหนืดของสตาร์ช (อุณหภูมิการสุก ความหนืดสูงสุด ความหนืดสุดท้าย และการเกิดรีโทรเกรด) ลดลง ซึ่ง

คุณสมบัติเหล่านี้สามารถนำมาใช้เป็นสารทำให้เกิดความข้นหนืด หรือสารทำให้เกิดเจลในผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ เช่น อาหารแช่เยือกแข็ง อาหารกึ่งสำเร็จรูป อาหารสำหรับเด็ก ผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ และน้ำสลัด⁽²⁾

การใช้ความร้อนร่วมกับความชื้น (hydrothermal treatment) เป็นวิธีการดัดแปรสตาร์ชซึ่งอาศัยหลักการให้ความร้อนร่วมกับการควบคุมความชื้นโดยที่ไม่ทำลายโครงสร้างของเม็ดแป้ง แบ่งออกเป็น 2 วิธี ได้แก่ heat moisture treatment (HMT) และ annealing (ANN) ซึ่งทั้งสองวิธีนี้มีความแตกต่างกันในด้านปริมาณความชื้นและอุณหภูมิที่ใช้ การใช้ความร้อนร่วมกับความชื้นแบบ HMT เป็นวิธีที่ใช้ความร้อนสูงกว่าอุณหภูมิการสทรานซิชัน (ที่ระดับความชื้นต่ำ) โดยทั่วไปใช้อุณหภูมิในช่วง 90-120 องศาเซลเซียส ควบคุมปริมาณความชื้นในช่วงร้อยละ 10-40 และใช้เวลา 1 ชั่วโมงขึ้นไป ส่วนวิธี ANN จะใช้ความชื้นสูง (ร้อยละ 50-60) และให้ความร้อนที่อุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิการสทรานซิชันและต่ำกว่า

อุณหภูมิเจลาตินในเซชัน การตัดแปรรสตาซ์ด้วยวิธีการให้ความร้อนร่วมกับความชื้นนี้ส่งผลทำให้เกิดการจัดเรียงตัวของโครงสร้างผลึก กำลังการพองตัวลดลง และอุณหภูมิในการเกิดเจลาตินในเซชันเพิ่มขึ้น ปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อสมบัติของตัดแปรรสตาซ์ด้วยวิธีนี้มีความแตกต่างกันคือ ปริมาณความชื้น อุณหภูมิ ระยะเวลาในการให้ความร้อน และชนิดของสตาซ์⁽²⁾

สำหรับการตัดแปรรสตาซ์ด้วยวิธีทางกายภาพโดยไม่ใช้ความร้อน Wu และคณะ⁽¹⁸⁾ ได้เปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียของวิธีการตัดแปรรสตาซ์โดยไม่ใช้ความร้อน คุณสมบัติและแนวทางการประยุกต์ใช้สตาซ์ตัดแปรรด้วยวิธีทางกายภาพนี้ใน Table 2 โดยแต่ละวิธีอาศัยหลักการเทคนิคการแปรรูปที่แตกต่างกันในการปรับปรุงคุณสมบัติของสตาซ์ สรุปได้ดังนี้

วิธีไมโครไนเซชัน (micronization) เป็นการบดลดขนาดอนุภาคให้มีขนาดละเอียด หรือน้อยกว่า 10 ไมครอน เครื่องจักรที่ใช้ในการบด เช่น แฮมเมอร์มิล (hammer mill) บอลมิล (ball mill) และเจทมิล (jet mill) การบดลดขนาดให้เล็กลงและมีความละเอียดส่งผลให้พื้นผิวของเม็ดแป้งมีความขรุขระ เม็ดแป้งมีการเกาะติดกันมากขึ้น ช่วยเพิ่มความสามารถในการละลายและกำลังการพองอุณหภูมิการเกิดเจลาตินในเซชัน และความเป็นผลึกของเม็ดแป้งลดลง⁽¹⁸⁻¹⁹⁾

การใช้ความดันสูง (high pressure treatment) เป็นวิธีการที่ใช้ในการแปรรูปเพื่อยืดอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ โดยใช้ความดันสูงประมาณ 600 MPa หรือมากกว่า เทคนิคนี้ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของสตาซ์ เม็ดแป้ง

เกิดการเสียรูปร่างโดยการอัดตัวกันแน่นของเม็ดแป้งเป็นชั้น ๆ ส่วนภายในลักษณะของไบรีฟรินเจนซ์ (birefringence) ซึ่งเป็นลักษณะที่บ่งบอกถึงเม็ดแป้งดิบลดลง และเกิดโครงสร้างคล้ายเจลขึ้น แสดงให้เห็นว่าสตาซ์เกิดการสุกภายใต้ความดัน สตาซ์ตัดแปรรด้วยวิธีนี้มีความหนืดเพิ่มขึ้น มีความคงตัวต่อการกวน และเกิดการรีโทรเกรทชัน เนื่องจากเม็ดแป้งเกิดการแตกน้อย และปริมาณแอมิโลสออกมาได้น้อย⁽²⁾

การใช้เทคนิคพัลส์สนามไฟฟ้าแรงสูง (pulsed electric field หรือ PEF) เป็นวิธีที่ใช้ในการทำลายเชื้อจุลินทรีย์ โดยใช้สนามไฟฟ้าพัลส์แรงสูง (มากกว่า 10 kV/cm) กับอาหารเหลว ในบริเวณที่มีการปล่อยกระแสไฟฟ้าเป็นระยะเวลาสั้น ๆ (น้อยกว่า 40 μ s) เพื่อทำลายโครงสร้างผนังของเซลล์จุลินทรีย์จนแตกและไม่สามารถเจริญเติบโตได้ อย่างไรก็ตามวิธีนี้ส่งผลทำให้รสชาติ และคุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์ลดลง⁽²⁾ การประยุกต์ใช้วิธี PEF ในการตัดแปรรสตาซ์ทำให้บริเวณผิวแกรนูลไม่เรียบ เกิดโพรงและรอยแยกโมเลกุลของสตาซ์เกิดการแตกตัว ส่งผลให้อุณหภูมิการเกิดเจลาตินในเซชันและค่าความหนืดลดลง⁽¹⁸⁾

การใช้อัลตราโซนิก (ultrasonication) เป็นวิธีที่ใช้คลื่นเสียงที่มีความถี่สูงกว่า 20 kHz ขึ้นไป ซึ่งเป็นความถี่ที่สูงกว่าระดับการได้ยินของมนุษย์ คลื่นความถี่นี้นิยมนำมาใช้กับตัวกลางที่เป็นของเหลวทำให้เกิดฟองอากาศและการสั่นสะเทือนในระดับจุลภาค ส่งผลให้เกิดการถ่ายเทมวลและพลังงานได้ดีขึ้น ลักษณะของการสร้างฟองอากาศด้วยคลื่นอัลตราโซนิกเป็นแบบคาวิเทชัน (cavitation)

โดยเกิดฟองอากาศขนาดเล็กที่เกิดขึ้นและสลายตัวอย่างรวดเร็ว ซึ่งเหนี่ยวนำให้เกิดแรงเฉือนส่งผลให้เม็ดแป้งเสียรูปร่าง เกิดรูพรุน มีรอยร้าว และทำให้โครงสร้างโมเลกุลเกิดการเปลี่ยนแปลง พื้นผิวของเม็ดแป้งที่ขรุขระหรือเกิดรอยร้าวจากคลื่นอัลตราซาวด์ส่งผลให้ความสามารถในการละลายและกำลังการพองของเม็ดแป้งเพิ่มขึ้น ระดับความหนืดและระยะเวลาที่ใช้ส่งผลให้สมบัติความหนืดเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นหรือลดลงแตกต่างกัน⁽¹⁸⁾ การใช้ความถี่เพิ่มขึ้นถึงระดับ 80 kHz ส่งผลให้ค่าความหนืดสูงสุดลดลง⁽²⁰⁾ ระยะเวลาที่ใช้ในการอัลตราโซนิกที่นานขึ้น (มากกว่า 50 นาที ที่ 20 kHz) ส่งผลให้ค่าความหนืดสูงสุดเพิ่มขึ้น⁽²¹⁾ คลื่นอัลตราโซนิกมีผลทำให้โครงสร้างผลึกของสตาร์ชมันฝรั่งเกิดการเปลี่ยนแปลงจากลักษณะผลึกแบบ B เป็นแบบ V ซึ่งเป็นโครงสร้างผลึกของการเกิดรีโทรเกรเดชัน⁽²²⁾

การใช้รังสีแกมมา เป็นวิธีที่ใช้ในการทำลายเชื้อจุลินทรีย์เพื่อยืดอายุการเก็บรักษา และช่วย

ยับยั้งการงอกหรือชะลอการสุกของผักและผลไม้ การฉายรังสีแกมมาทำให้แกรนูลของสตาร์ชยังคงมีรูปร่างเหมือนเดิม แต่สตาร์ชบางชนิดอาจเกิดรอยแตกหรือแกรนูลแยกออกจากกัน ปริมาณแอมิโลสและลักษณะความเป็นผลึกลดลง รวมทั้งโมเลกุลเกิด depolymerization ทำให้มีขนาดเล็กลงด้วย สตาร์ชที่ได้อาจมีกำลังการพองและอุณหภูมิการเกิดเจลในเซชันเปลี่ยนแปลงในทิศทางแตกต่างกัน⁽¹⁸⁾

เทคนิคพลาสมาแบบไม่ใช้ความร้อน (nonthermal plasma) อาศัยหลักการใช้สนามไฟฟ้าเป็นตัวเร่งอนุภาคก๊าซให้เกิดการแตกตัวและกลายเป็นพลาสมา วิธีนี้ส่งผลให้บริเวณผิวของกรานูลเกิดรอยแตกหรือเป็นรู ความสามารถในการละลายและกำลังการพองของเม็ดแป้งเพิ่มขึ้น ค่าความหนืดลดลง อุณหภูมิในการเกิดเจลในเซชันอาจเพิ่มขึ้นหรือลดลง และเจลมีลักษณะเป็นเจลนิ่ม (soft gel)⁽¹⁸⁾

Table 2 Comparison of the effects of nonthermal techniques on starch structures and properties⁽¹⁸⁾

Technique	Advantages	Disadvantages	Influence on structures and properties	Application	Comment
Micronization	- Preserve product quality	- Temperature increase - Some methods (e.g. jet milling) are costly and have low yields	Granule surface became rough and granules aggregated; molecular chains degraded; RC and short-ranged order decreased; SP, solubility, and digestibility increased; T_o , T_p , T_c , and ΔH decreased; starches displayed weakened shear-thinning behavior.	- Micronized starch could be utilized as a fat replacer, texture improver, and gel agent	-
Plasma	- No chemical residues; - Minimal thermal effects on product quality; - Cost-effective	- Increase the oxidation of lipids; - Complexity of action	Cracks or holes emerged on the granule surface; crystalline type unaffected but RC increased or decreased; molecular chains degraded; short-range order decreased; Solubility, SP, and WAI increased; viscosity decreased; T_o , T_p , T_c , ΔH , and digestibility increased or decreased; starch pastes exhibited soft gel behavior.	- Microbial decontamination; - Modification of food components; - Degradation of agrochemical residues	Research still in infancy; not applied on the industrial scale.

Table 2 (continued)

Technique	Advantages	Disadvantages	Influence on structures and properties	Application	Comment
High-pressure	- Preserve product quality; - No evident toxicity; - Short processing time	- High equipment cost	Granule morphology and crystalline structure unaffected with pressure below 500 MPa but destroyed completely at 600 MPa; M_w reduced while AMC increased; Under higher pressure, solubility and SP increased at low temperatures but reduced at high temperatures; T_o , T_p , T_c , ΔH and viscosity decreased; gelatinization peak disappeared at 600 MPa; digestibility either increased or decreased.	- Pressurized starches could be used as fat substitutes	-
Ultrasound	- Simple and efficient; - Higher product yields; - No residues	- Heat generated may cause temperature increase; - Lack of standardization and reproducibility	Granules deformed; pores and cracks emerged on the surface; crystalline type unchanged but RC reduced; molecular chains degraded with M_w reduced but AMC increased; Solubility and SP increased; T_o , T_p , T_c , ΔH and viscosities (PV , FV , TV , SV , and BV) decreased; starch pastes exhibited a more elastic characteristic; digestibility increased or decreased.	- Emulsification; - Formation of starch inclusion complex and starch-based edible film; - Bioethanol production from starch	-
Pulsed electric field	- Short time; - No residues; - Energy-saving	- Not suitable for solid products	Granule surface roughened and displayed cavities and fissures; molecular chains degraded; T_o , T_p , T_c , ΔH , and paste viscosity decreased.	- Modification of starchy foods; - Inactivation of microorganisms and enzymes; - An effective alternative for cold pasteurization	Limited studies and most still in the laboratory so far; more research needed.
γ -Irradiation	- No chemical residues; - Low temperature; - High efficiency - Easy to operate	- May negatively affect the sensory and physicochemical properties of some starch-based foods.	Granules retained original shapes and integrity, despite some starches showed fractured and cleaved granules; crystalline type unaffected but RC reduced; molecular chains depolymerized; AMC reduced; Solubility and digestibility increased; SP, T_o , T_p , T_c , PV , and SV decreased in most cases, SP, T_o , T_p , and T_c also reported to increase.	- Sterilization and food preservation; - Production of irradiated feed suitable for poultry and livestock	-

Abbreviations : AMC, amylose content; BV , breakdown viscosity; ΔH , gelatinization enthalpy change; FV , final viscosity; M_w , weight-average molar mass; PV , peak viscosity; RC, relative crystallinity; RDS, rapidly digestible starch; RS, resistant starch; SDS, slowly digestible starch; SP, swelling power; SV , setback viscosity; T_c , concluding gelatinization temperature; T_o , onset gelatinization temperature; T_p , peak gelatinization temperature; TV , trough viscosity; WAI, water absorption index

การดัดแปรสตาร์ชด้วยเอนไซม์

การดัดแปรสตาร์ชด้วยเอนไซม์เป็นวิธีที่ได้รับความนิยมเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ เอนไซม์หลายชนิดถูกนำมาประยุกต์ใช้ในการดัดแปรสตาร์ชให้มีคุณสมบัติเชิงหน้าที่ที่แตกต่างกัน เพื่อนำไปใช้ในการปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์อาหารประเภทต่าง ๆ โดยสตาร์ชที่ผ่านกระบวนการดัดแปรด้วยเอนไซม์

จัดเป็นสตาร์ชหลากหลายชนิดเนื่องจากไม่มีการใช้สารเคมีในกระบวนการผลิต มีความปลอดภัยต่อผู้บริโภค รวมทั้งกระบวนการผลิตเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม⁽²⁾ เอนไซม์แต่ละประเภทมีความจำเพาะเจาะจงกับโครงสร้างโมเลกุลของสตาร์ช ตัวอย่างเช่น แอลฟา-อะไมเลส (α -amylase) ซึ่งทำหน้าที่ในการไฮโดรไลซ์พันธะ แอลฟา-1,4-

ไกลโคไซด์ในโมเลกุลของสตาร์ชให้มีขนาดโมเลกุลเล็กลง ทำให้ได้กลุ่มของพวกมอลโตโอลิโกแซ็กคาไรด์ หรือเอนไซม์ไซโคลไกลคาโนทรานส์เฟอเรส (cycloglycanotransferase, CGTase) ซึ่งเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในการไฮโดรไลซ์สตาร์ชให้อยู่ในรูปของไซโคลเดกซ์ตริน (cyclodextrins) โดยสตาร์ชตัดแปรด้วยเอนไซม์ทั้งสองชนิดนี้มีสมบัติในการช่วยชะลอการเกิดรีโทรเกรเดชันในผลิตภัณฑ์ขนมปัง ในขณะที่การใช้เอนไซม์อะไมโลมอลเตส (amylomaltase) หรือ ดี-เอนไซม์ (D-enzyme) ซึ่งทำหน้าที่เร่งปฏิกิริยาทรานส์ไกลโคซิเลชัน (transglycosylation) ในการสังเคราะห์ไซโคลอะไมโลส (cycloamylose) หรือกลุ่มโครงสร้างโมเลกุลที่มีกิ่งก้านแบบแอมิโลเพคติน ทำให้ได้เจลซึ่งมีลักษณะสามารถคืนรูปได้เมื่อได้รับความร้อนซ้ำ (thermoreversible gel) และสามารถใช้เป็นสารทดแทนไขมัน (fat replacer) ในผลิตภัณฑ์มายองเนส⁽²³⁾

ปัจจุบันเริ่มมีผู้ผลิตสตาร์ชตัดแปรจำหน่ายในทางการค้าหลายรายทั้งในประเทศและต่างประเทศ⁽⁴⁾ ซึ่งหันมาให้ความสนใจในการพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตสตาร์ชหลากหลาย และสร้างนวัตกรรมสตาร์ชตัดแปรที่ไม่ใช้สารเคมีเพื่อเป็น

ทางเลือกสำหรับภาคอุตสาหกรรมอาหารแปรรูปต่อเนื่องที่มีการใช้สตาร์ชตัดแปรเป็นส่วนประกอบในการพัฒนาสินค้าให้สามารถตอบโจทย์ความต้องการของตลาดผู้บริโภคที่ให้ความสำคัญและใส่ใจในเรื่องของสุขภาพกันมากขึ้น

บทสรุป

สตาร์ชหลากหลายสะอาดเป็นสตาร์ชที่ได้รับการตัดแปรด้วยวิธีที่ไม่ใช้สารเคมี เพื่อเป็นทางเลือกสำหรับการพัฒนาคุณภาพของผลิตภัณฑ์โดยเฉพาะผลิตภัณฑ์เพื่อสุขภาพให้มีความหลากหลายและสามารถตอบโจทย์ความต้องการของตลาดสินค้าหลากหลายสะอาดที่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น แม้ว่าปัจจุบันสตาร์ชหลากหลายสะอาดยังมีข้อจำกัด และอาจยังไม่สามารถใช้แทนสตาร์ชตัดแปรด้วยวิธีแบบดั้งเดิมได้อย่างสมบูรณ์แบบ แต่ก็นับเป็นโอกาสที่ท้าทายของทั้งส่วนการศึกษาวิจัยและภาคอุตสาหกรรมการผลิตสตาร์ชตัดแปร ในการวิจัยพัฒนาและสร้างนวัตกรรมสตาร์ชหลากหลายสะอาดให้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารประเภทต่าง ๆ ให้ได้รับการยอมรับทั้งในด้านคุณภาพและความต้องการสินค้าหลากหลายสะอาดของผู้บริโภคได้อย่างครบถ้วน

เอกสารอ้างอิง

1. Osborn S. Labelling relating to natural ingredients and additives. In: Berryman P, editor. Advances in Food and Beverage Labelling. Oxford: Woodhead Publishing; 2015. p. 207-21.
2. Park S, Kim YR. Clean label starch: production, physicochemical characteristics, and industrial applications. Food Sci Biotechnol. 2021;30(1).
3. Mason WR. Starch use in foods. In: James N. BeMiller RLW, editor. Starch : Chemistry and Technology: Elsevier; 2009. p. 745-95.
4. Custom Market Insights. Global clean label starch market 2025-2034 updated December 6, 2024. Available from: <https://www.custommarketinsights.com/report/clean-label-starch-market/>

5. Persistence market research. Clean label starch market 2023 updated December 6, 2024. Available from: <https://www.persistencemarketresearch.com/market-research/clean-label-starch-market.asp>
6. Waterschoot J, Gomand SV, Fierens E, Delcour JA. Starch blends and their physicochemical properties. *Starch/Staerke*. 2015;67(1-2):1-13.
7. Puncha-arnon S, Pathipanawat W, Puttanlek C, Rungsardthong V, Uttapap D. Effects of relative granule size and gelatinization temperature on paste and gel properties of starch blends. *Food Res Int*. 2008;41(5):552-61.
8. Hagenimana A, Pu P, Ding X. Study on thermal and rheological properties of native rice starches and their corresponding mixtures. *Food Res Int*. 2005;38(3):257-66.
9. Chen JJ, Lai VMF, Lii CY. Effects of compositional and granular properties on the pasting viscosity of rice starch blends. *Starch/Staerke*. 2003;55(5):203-12.
10. Waterschoot J, Gomand SV, Delcour JA. Impact of swelling power and granule size on pasting of blends of potato, waxy rice and maize starches. *Food Hydrocoll*. 2016;52:69-77.
11. Lowithun N. Influence of molecular structure of starch on textural and rheological properties of blended rice gels [Thesis Ph.D. (Food Science)]. Bangkok, Thailand: Kasetsart University; 2023.
12. Noda T, Tsuda S, Mori M, Takigawa S, Matsuura-Endo C, Kim SJ, et al. Effect of potato starch properties on instant noodle quality in wheat flour and potato starch blends. *Starch/Staerke*. 2006;58(1):18-24.
13. Sun D, Yoo B. Effect of tapioca starch addition on rheological, thermal, and gelling properties of rice starch. *LWT-Food Science and Technology*. 2015;64(1):205-11.
14. Sasaki T, Kohyama K, Miyashita K, Okunishi T. Effects of Rice Flour Blends on Bread Texture and Staling. *Cereal Chem*. 2014;91(2):146-51.
15. Wu K, Dai S, Gan R, Corke H, Zhu F. Thermal and rheological properties of Mung Bean starch blends with potato, sweet potato, rice, and sorghum starches. *Food Bioproc. Tech*. 2016;9(8):1408-21.
16. Li S, Ye F, Zhou Y, Lei L, Zhao G. Rheological and textural insights into the blending of sweet potato and cassava starches: In hot and cooled pastes as well as in fresh and dried gels. *Food Hydrocoll*. 2019;89:901-11.
17. Stute R, Kern H, inventors; CPC International Inc., Englewood Cliffs, N.J., assignee. Starch mixtures as pudding starches. United States patent 5324532. 28 June 1994.
18. Wu Z, Qiao D, Zhao S, Lin Q, Zhang B, Xie F. Nonthermal physical modification of starch: An overview of recent research into structure and property alterations. *Int J Biol Macromol*. 2022;203:153-75.
19. Dhiman A, Prabhakar PK. Micronization in food processing: A comprehensive review of mechanistic approach, physicochemical, functional properties and self-stability of micronized food materials. *J Food Eng*. 2021;292:110248.
20. Zheng J, Li Q, Hu A, Yang L, Lu J, Zhang X, et al. Dual-frequency ultrasound effect on structure and properties of sweet potato starch. *Starch/Staerke*. 2013;65(7-8):621-7.
21. Carmona-García R, Bello-Pérez LA, Aguirre-Cruz A, Aparicio-Saguilán A, Hernández-Torres J, Alvarez-Ramirez J. Effect of ultrasonic treatment on the morphological, physicochemical, functional, and rheological properties of starches with different granule size. *Starch/Staerke*. 2016;68(9-10):972-9.
22. Nie H, Li C, Liu P-H, Lei C-Y, Li J-B. Retrogradation, gel texture properties, intrinsic viscosity and degradation mechanism of potato starch paste under ultrasonic irradiation. *Food Hydrocoll*. 2019;95:590-600.
23. Park SH, Na Y, Kim J, Kang SD, Park KH. Properties and applications of starch modifying enzymes for use in the baking industry. *Food Sci Biotechnol*. 2018;27(2):299-312.