การผลิตมอลโตเด็กซตรินจากแป้งข้าวเจ้าและแป้งมันสำปะหลังด้วยเอนไซม์ α-amylase

Production of Rice and Casava Maltodextrins by Using α-amylase

อรพิน ภูมิภมร [1] และ ประเสริฐ อธิศิวกุล

Orapin Bhumibhamon and Prasert Arthicivaku

ABSTRACT

maltodextrins were produced from rice and casava flour using heat-stable α-amylase preparation. Sutiable conditions for maltodextrin production were found to be 0.05% α-amylase, 30% flour, pH 6.5 at temperature of 80-85°C. In order to obtain maltodextrins hydrolyzate containing DE 4, 6 and 10, the processing time for hydrolyzing casava flour were 8, 40 and 50 min whereas 10, 50 and 65 min were for rice maltodextrins hydrolyzate. The degree of polymerization (DP) of maltodextrins of DE 6, 10 and 14 by HPLC analysis were mostly found in DP3 and DP6-7 which was typically found for α-amylase hydrolyzate starch. The hydrolyzate residue was decreased with prolonging rate of hydrolyzing and also depended on initial starch concentration used. In maltodextrin powder preparation, results showed that using spray drying method was more preferred than drum drying due to low moisture content of products. Casava maltodextrins powder were slightly easily solubilized in cool water than rice maltodextrin powder. However, the maltodextrins produced can be possibly used in some food and phamacuetical industries like those produced in Holland.

Key words : maltodextrin product, α-amylase , starch

บทคัดย่อ

การผลิตมอลดตเด็กซตรินจากแป้งข้าวเจ้าและแป้งมันสำปะหลัง โดยใช้เอนไซม์ α-amylase ชนิด ทนความร้อนที่เลือกได้จากผลการทดลองเบื้องต้น พบว่าสภาวะที่ใช้ผลิตมอลดตเด็กซตรินที่ได้จากการทดลองครั้งนี้คือ ใช้ความเข้มข้นเอนไซม์ร้อยละ 0.05 ความเข้มข้นของแป้งร้อยละ 30 pH 6.5 และอุณหภูมิ 80-85°ซ และพบว่ามอลโตเด็กซตรินที่ผลิตจากแป้งมันสำปะหลังที่มี DE 6, 10, 14 นั้น จะใช้ระยะเวลาที่เอนไซม์ย่อยแป้งคือ 8, 40 และ 50 นาที ซึ่งต่างกับการย่อยแป้งข้าวเจ้าจะใช้เวลา 10, 50 และ 65 นาที เมื่อนำมอลโตเด็กซตรินผงที่ผลิตได้มาวิเคราะห์หว degree of polymerization (DP) ด้วยเครื่อง HPLC พบว่า DP ของตัวอย่างมอลโตเด็กซตริน ส่วนมาก จะเป็น DP3 และ DP6-7 ซึ่งมักจะเป็นแบบแผนการย่อยด้วย α-amylase นอกจากนี้ระยะเวลาในการย่อยแป้งนานขึ้น ปริมาณแป้ง ดกค้างจากการแยกด้วยเครื่องเหวี่ยงจะลดลงและยังขึ้นอยู่กับ ปริมาณแป้งที่เริ่มต้นใช้ และจากการทดลองแป้งตกค้างจาก การใช้แป้งมันสำปะหลังจะน้อยกว่า แป้งข้าวเจ้า ส่วนวิธีการ ทำสารละลายมอลโตเด็กซตรินให้เป็นผงแห้งนั้น พบว่าการ ใช้เครื่องทำแห้งแบบฉีดพ่นฝอย (spray dryer) จะให้ผลมอลโตเด็กซตรินที่มีความชื้นต่ำกว่า ใช้เครื่องทำแห้งแบบ ลูกกลิ้ง (drum dryer) และมอลโตเด็กซตรินผงที่ผลิตได้จากแป้งมันสำปะหลังจะมีการละลายในน้ำเย็นได้ดีกว่าแป้งข้าวเจ้า อย่างไรก็ตามมอลโตเด็กซตรินที่ผลิตได้หวังว่าสามารถจะนำไปใช้ได้ในอุตสาหกรรมอาหารและอุต-

1 ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Dept. of Biotechnology, Faculty of Agro-Industry, Kasetsart University Bangkok 10900, Thailand.

อรพิน ภูมิภมร และ ประเสริฐ อธิศิวกุล. "การผลิตมัลโตเด็กซตรินจากแป้งข้าวเจ้าและแป้งมันสำปะหลังด้วยเอนไซม์" *วิทยาสารเกษตรศาสตร์* 26, 2 (เม.ย.-มิ.ย. 2535) 164-172

สาหกรรมยาเช่นเดียวกับชนิดที่ผลิตในประเทศฮอลแลนด์

คำนำ

เนื่องจากเทคโนโลยีทางเกษตรกรรมได้พัฒนาก้าวหน้ามาก ส่งผลให้ประเทศไทยสามารถผลิตผลิตผลทางการเกษตรได้เพิ่มขึ้นมาก โดยเฉพาะผลิตผลจำพวกแป้ง ผลิตผลจำพวกแป้งส่วนที่เหลือจากการนำไปใช้โดยตรงยังมีอีกมาก จึงจำเป็นที่จะต้องนำมาแปรสภาพให้เป็นประโยชน์ต่อการนำไปใช้ในรูปผลิตภัณฑ์อื่นๆ เป็นการเพิ่มมูลค่าของแป้งไปด้วย

ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการย่อยสลายแป้งนั้นมีหลายชนิด เช่น กลูโคสซีรัป ฟรุคโตสซีรับ รวมทั้งมอลโตเด็กซตริน (maltodextrins) มอลโตเด็กซตรินได้นำมาใช้ในอุตสาหกรรมหลายชนิด อันเนื่องมาจากคุณสมบัติส่วนตัวของผลิตภัณฑ์เมื่อละลายน้ำแล้วจะสามารถทำหน้าที่เป็นโครงสร้าง (body) เป็นตัวเชื่อม (binding) เป็นตัวพากลิ่นรส (taste and flavour carrier) และสามารถใช้เป็นตัวป้องกันการคืนรูปของผลิตภัณฑ์อื่นๆ ได้อีกด้วย นอกจากนี้ยังได้นำมอลโตเด็กซตรินมาผสมในอาหารเด็กอ่อน (สุคนธ์ชื่น และคณะ, 2520) และยังเป็นองค์ประกอบในอาหารผู้ป่วย เช่นผสมอยู่ในสูตรอาหารที่ผลิตเป็นการค้า เช่น Sustacal, Isocal, Pregestimil เป็นต้น (อารีย์ และคณะ, 2521) ซึ่งจะช่วยให้เด็กอ่อนและผู้ป่วยสามารถย่อยอาหารได้ง่าย

มอลโตเด็กซตรินเป็นโอลิโกแซคคาไรด์ที่ได้จากการย่อยสลายแป้งด้วยเอนไซม์หรือกรด ประกอบด้วยโมโนแซคคาไรด์ 1-10 หน่วน ผลิตภัณฑ์แป้งที่ได้จากการไฮโดรไลซ์ที่มี DE (dextrose equivalent) ต่ำกว่า 20 จัดเป็นพวกมอลโตเด็กซตริน ที่ผลิตเป็นการค้านั้นมี DE 6, DE 10 และ DE 14 มอลโตเด็กซตรินที่ได้จากการย่อยด้วยกรดอย่างเดียวจะควบคุม DE ที่เกิดขึ้นได้ยาก และผลิตภัณฑ์ที่ได้มีแนวโน้มจะเกิดการกลับคืนตัวของแป้ง (retrogradation) และเกิด hazae ซึ่งเป็นลักษณะไม่พึงปรารถนา (Robyt, 1984) ดังนั้นจึงนิยมผลิตมอลโตเด็กซตรินด้วยเอนไซม์หรือเอนไซม์กับกรดร่วมกัน (Chen and Chang 1985; Fullbrook, 1984; Yankov et al, 1986; Brooks and Griffin, 1987 a, b; Griffin and Brooks, 1989)

การศึกษาผลิตมอลโตเด็กซตรินครั้งนี้ จึงได้ใช้เอนไซม์และกรดร่วมกัน เพื่อใช้เป็นแนวทางในการผลิตมอลโตเด็กซตริน สำหรับผู้สนใจในประเทศไทยต่อไป

อุปกรณ์และวิธีการ

วัตถุดิบ

แป้งข้าวเจ้าตราช้างสามเศียร แป้งมันสำปะหลังตราปลามังกร และ เอนไซม์ α-amylase 4 ชนิด คือ α-amylase I (Termamyl, *B. licheinformis*), α-amylase II (BAN 240L, *B. subtilis*), α-amylase III (Fungamyl 800L, *A. aryzae*) จากบริษัท NOVO และ α-amylase IV (*A. niger*) จากภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การย่อยแป้งด้วยเอนไซม์ชนิดต่างๆ

ในการย่อยแป้งด้วยเอนไซม์ที่ซื้อจากบริษัท NOVO ทั้ง 3 ชนิด จะให้ในปริมาณและสภาวะที่แนะนำของบริษัท คือ

Termamyl 0.1% (V/W) pH 6-6.5 อุณหภูมิ 85-95°C

BAN 240L 01% (V/W) pH 6-6.5 อุณหภูมิ 80-85°C

Fungamyl 0.1% (V/W) pH 5.0 อุณหภูมิ 55-60°C

α-amylase IV 80 มิลลิลิตร/แป้ง 400 กรัม pH 6.0 อุณหภูมิ 55°C

ใช้แป้ง 20% โดยน้ำหนักและเติม Ca^{++} ในปริมาณ 100-150 ppm. ในขั้นแรกจะนำสารละลายแป้ง (20%) ไปทำให้ร้อนจนแป้งเป็นเจล (gelatinization) จากนั้นปรับ pH อุณหภูมิให้อยู่ในระดับเหมาะสมต่อการทำงานของเอนไซม์ บ่มไว้ที่อุณหภูมินั้น และเก็บตัวอย่างที่ 20 นาที จนถึง 180 นาที เพื่อไปวิเคราะห์ DE และวิเคราะห์น้ำตาลด้วย HPLC ต่อไป

วิธีการทำให้สารละลายมอลโตเด็กซตรินแห้ง

การทำผลิตภัณฑ์ให้แห้ง ดำเนินการโดยเตรียมตัว

อย่างสารละลายมอลโตเด็กซตรินที่มี DE 10 และ DE 20 จากแป้งมันสำปะหลังและแป้งข้าวเจ้าแล้วนำมาทำให้แห้งด้วยเครื่อง drum dryer ที่มีความดันไอ 4 bar และความเร็วรอบ 8 rpm. ส่วนการทำให้แห้งด้วยเครื่อง Spray dryer ใช้ในสภาวะดังนี้ :- อุณหภูมิของ chamber = 200°C อุณหภูมิอากาศออก = 100-110°C ความดัน rozzle 4 kg/m² อัตราการไหลเข้า 1 ลิตร/ชั่วโมง

การผลิตมอลโตเด็กซตรินด้วยเอนไซม์และกรด

การผลิตมอลโตเด็กซตรินเอนไซม์และกรดได้ประยุกต์วิธีการที่ได้อธิบายโดย Griffin and Brooks (1989) คือ เตรียมน้ำกลั่น 1,000 มิลลิลิตร และ $CaCl_2$ 150 ppm. ปรับ pH ให้ได้ 6.5 นำไปบ่มไว้ในอ่างน้ำที่อุณหภูมิ 80-85 °C ค่อยๆ เติมสารละลายแป้งลงไปเพื่อให้มีปริมาณแป้งร้อยละ 20 หรือ 30 ในขณะที่ค่อยๆ เติมแป้งนั้นจะมีใบพันค่อยกวนให้แป้งผสมกันได้ดี จากนั้นจึงเติมเอนไซม์ในปริมาณที่จะทดลอง (0.05%-1.0%) และเก็บตัวอย่างมาวิเคราะห์ค่า DE ในเวลาต่างๆ กัน โดยตัวอย่างที่เก็บได้นี้จะนำไปต้มให้เดือดเพื่อให้แป้งเป็นเจลหมด แล้วปรับ pH ให้ได้ pH 3.7-3.9 ด้วยกรด HCl 0.1N แล้วต้มให้เดือด 10 นาที เพื่อให้กรดทำการย่อยแป้งที่มีโมเลกุลใหญ่ๆ ให้เล็กลง และกรดจะทำลายกิจกรรมของเอนไซม์ที่ตกค้างอยู่ จากนั้นจึงนำตัวอย่างไปแยกโมเลกุลแป้งขนาดใหญ่ที่ไม่ละลายน้ำออกด้วยเครื่องเหวี่ยงที่ความเร็ว 10,000 rpm. เป็นเวลา 10 นาที แล้วเก็บสารละลายส่วนใสมาวิเคราะห์ DE และ HPLC

สำหรับตะกอนที่แยกออกจากเครื่องเหวี่ยงเมื่อนำไปอบแห้งก็คือ ส่วนตกค้างของแป้งที่มีโมเลกุลใหญ่ แต่โมเลกุลก็ถูกย่อยไปบางส่วน และอาจจะนำไปใช้ประโยชน์ได้เช่นเดียวกัน

การวิเคราะห์

1. การหาค่า Dextrose equivalent (DE) นั้นดำเนินการโดยการหาน้ำตาลรีดิวซิงด้วยสารละลาย Fehling ต่อปริมาณแป้งที่ใช้ (กล้าณรงค์, 2530)

2. การวิเคราะห์หา proximate analysis ใช้วิธีของ ADAC (Horwitz, 1984)

3. การวิเคราะห์ชนิดและปริมาณของน้ำตาล (saccharide) ที่เป็นองค์ประกอบของมอลโตเด็กซตรินด้วยเครื่อง HPLC ที่ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน โดยใช้

Column : Finepeak SILNH$_2$
Eluent : Acetonitrite : water = 75:25
Flow rate : 1.5 ml/min
Detector : RI (Shodex RI SE31)
Oven Temp. : 40°C
Pressure : 14 kg/cm²

และน้ำตาลมาตรฐานที่ใช้ คือ xylose, glucose, fructose, sucrose maltose, isomaltose, maltotriose

สำหรับ HPLC เครื่องที่ใช้ของสถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ สภาวะการใช้คือ

Column : Carbohydrate Analysis (waters) 3.9 mm x 30 cm. stainless steel column
Eluent : 80% Acetonitrite : water = 80:20
Flow rate : 1.0 ml/min
Detector : Differential Refractometer ward Model 410 8x sensitivity
Integration : Water Data Module 740 attenuation
Infection volumn : 2 µl

น้ำตาลมาตรฐานที่ใช้คือ glucose, maltose, maltotriase

ผลและวิจารณ์

แบบแผนการย่อยสลายแป้งด้วยเอนไซม์ชนิดต่างๆ

การทดลองได้ใช้เอนไซม์ α-amylase 4 ชนิด ทำการไฮโดรไลซ์แป้งข้าวเจ้าแล้วเก็บตัวอย่างที่ระยะเวลาต่างๆ กัน พบว่าในช่วงระยะเวลาจาก 20-180 นาที ผลการย่อยได้แสดงใน Table 1 คือ α-amylase I, II, III, IV ย่อยแป้งได้ DE ตั้งแต่ 15-23, 10-19, 7-8 และ 9-13 ตามลำดับ โดยมีปริมาณกลูโคส มอลโตสและไอโซมอลโตส รวมกัน คือ 28-65, 120-439, 14-36 และ 10-83

มิลลิกรัม/มิลลิลิตร ตามลำดับ

จะเห็นได้ว่าแม้ระยะเวลาการย่อยสลายจะเพิ่มขึ้น แต่การเพิ่มขึ้นของ DE และ ปริมาณน้ำตาลจะไม่เป็นสัดส่วนกัน ซึ่งแบบแผนของการย่อยจะขึ้นอยู่กับชนิดของ α-amylase มากกว่า รวมทั้งอุณหภูมิที่ใช้ในการย่อยก็แตกต่างกันไปตามความเหมาะสมของคุณสมบัติของเอนไซม์ที่ใช้ สำหรับชนิดของน้ำตาที่วิเคราะห์โดยใช้เครื่อง HPLC ที่ศูนย์ปฏิบัติการวิจัยกำแพงแสน พบว่าส่วนใหญ่จะเป็นกลูโคส มอลโตสและมอลโตโตรโอส (Table 1) โดยมอลโตโตรโอสจะมีมากกว่าเมื่อใช้ α-amylase I และ α-amylase II จากแบบแผนของการย่อยสลายเอนไซม์ทั้ง 4 ชนิด α-amylase II จะย่อยแป้งได้ดีกว่า ดังนั้นการศึกษาต่อไปจะเลือกเฉพาะ α-amylase II

วิธีทำมอลโตเด็กซตรินผง

ได้นำมอลโตเด็กซตรินที่ผลิตด้วยการใช้เอนไซม์อย่างเดียวโดยมีวัตถุดิบ คือ แป้งข้าวเจ้าและแป้งมันสำปะหลัง และได้ใช้ตัวอย่างที่มี DE 10 และ 20 มาทำให้เป็นผงด้วยเครื่อง drum dryer และ Spray dryer พบว่ามอลโตเด็กซตรินผงจากการใช้ Spray dryer จะมีความชื้นต่ำกว่า จึงส่งผลให้เมื่อวิเคราะห์หส่วนประกอบทางเคมีแล้วมีค่าสูงกว่าการทำมอลโตเด็กซตรินผงด้วย drum dryre ซึ่งผลปรากฏเหมือนกันในแป้งที่ใช้ทั้งสองชนิด (Table 2) มอลโตเด็กซตรินที่ได้จากกาารใช้เครื่อง Spray dryer สังเกตุว่ามีการละลายในน้ำได้ง่ายกว่าชนิดที่ผลิตจาก drum dryer

ศึกษาการผลิตมอลโตเด็กซตรินด้วยเอนไซม์และกรด

จากการศึกษาที่ผ่านมาจะเห็นได้ว่าเมื่อมีการใช้ความเข้มข้นของเอนไซม์โดยใช้ปริมาณเอนไซม์ที่บอกไว้จากผู้ผลิต ถึงแม้จะให้ระยะเวลาไฮโดรไลซ์เพิ่มขึ้นจาก 20 นาที จะเห็นได้ว่าการเพิ่มขึ้นของอัตราการย่อยสลายไม่ทำให้ DE เพิ่มขึ้นตามสัดส่วนของเวลา ดังนั้นจึงจำเป็นที่จะต้องหาปริมาณที่เหมาะสมของเอนไซม์ที่ใช้ต่อ DE ที่เกิดขึ้นจากการไฮโดรไลซ์แป้งที่เวลา 20 นาที พบว่า ปริมาณเอนไซม์จากร้อยละ 0.05 ถึง 1.00 สามารถให้ผลจากการไฮโดรไลซ์แป้งที่มี DE ตั้งแต่ DE5-DE20 ในกรณีที่แป้งได้ผ่านการทำให้เกิดเจลอย่างสมบูรณ์ (complete ge-

Table 1 Hydrolysis of rice starch by various α-amylases

Incubation time (min)	α-amylase I					α-amylase II					α-amylase III					α-amylase IV				
	DE	G_1	G_2	G_3	Total (mg/ml)	DE	G_1	G_2	G_3	Total (mg/ml)	DE	G_1	G_2	G_3	Total (mg/ml)	DE	G_1	G_2	G_3	Total (mg/ml)
20	15.7	0.4	8.9	19.6	28.9	10.9	4.3	42.3	74.2	120.8	7.3	2.1	7.2	4.7	14.0	9.6	1.5	17.4	64.6	83.5
40	16.4	0.9	8.4	23.9	33.2	13.2	87.9	30.8	55.4	174.1	7.7	2.6	14.5	6.5	23.6	9.9	0.3	12.6	22.2	15.1
60	17.7	0.5	13.1	22.8	36.4	15.2	7.1	121.3	72.5	200.9	7.7	3.9	13.8	7.1	24.8	10.0	0.4	3.0	7.3	10.7
90	18.4	0.2	21.5	39.5	61.2	15.9	18.5	237.9	183.5	439.9	7.3	2.4	10.5	3.6	16.5	10.5	0.4	10.1	4.9	15.4
120	20.8	2.7	12.3	23.7	38.7	18.6	153.2	110.4	145.7	145.7	8.2	2.5	12.1	3.5	18.1	12.2	0.6	23.7	15.5	39.8
150	21.2	2.8	18.5	41.6	62.9	19.8	145.1	122.6	157.3	425.0	8.5	4.3	14.8	5.0	24.1	13.3	0.3	17.1	8.1	25.5
180	23.1	3.1	19.7	43.1	65.9	19.4	36.5	127.3	128.9	292.7	8.8	4.0	21.8	10.4	36.2	13.5	5.3	45.9	31.5	82.7

G1 = glucose 1 mol.
G2 = glucose 2 mol.
G3 = glucose 3 mol.

Table 2 Drying and composition of maltodextrins produced (percent dry weight).

	Maltodextrin	Moisture	Ash	Fiber	Fat	Protein	Carbohydrate
1.	Spray drying						
	Casava maltodextrin DE 10	0.5	0.2	0.0	1.8	0.8	96.6
	Casava maltodextrin DE 20	1.9	0.1	0.1	1.2	0.9	95.8
	Rice maltodextrin DE 10	1.7	0.5	0.1	2.1	4.5	91.0
	Rice maltodextrin DE 20	0.7	0.5	0.1	1.7	4.3	92.8
2.	Drum drying						
	Casava maltodextrin DE 10	5.3	0.3	0.0	1.8	0.9	91.9
	Casava maltodextrin DE 20	10.1	0.0	0.0	1.7	0.9	87.3
	Rice maltodextrin DE 10	5.1	0.5	0.1	1.9	3.9	88.4
	Rice maltodextrin DE 20	11.5	0.5	0.1	1.4	2.7	83.9

latinized) และกรณีที่แป้งผสมกับน้ำร้อน (incomplete gelatinized) ดังแสดงใน Table 3 จะเห็นได้ว่า DE ที่ได้จากการเตรียมแป้งเริ่มต้นต่างกันจะมีค่าค่อนข้างใกล้เคียงกัน โดยผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการย่อยแป้งโดยผสมแป้งลงในน้ำอุณหภูมิ 80-85°C (incomplete gelatinized) แล้วเติมเอนไซม์ย่อยทันที จะได้ค่า DE สูงกว่าเล็กน้อย ส่วนการทำให้แป้งเจลอย่างสมบูรณ์ก่อน (Complete gelatinized) แล้วจึงใส่เอนไซม์นั้น พบว่าไม่สะดวกต่อการปฏิบัติ เพราะเมื่อเกิดเจลอย่างสมบูรณ์นั้นสารละลายแป้งจะมีความหนืดสูงทำให้การกวนผสมให้เข้ากันระหว่างเอนไซม์และแป้งค่อนข้างจะลำบาก

จากการที่ไม่มีปัญหาเรื่องความหนืดอันเนื่องจากการเตรียมน้ำแป้งโดยมีแป้งร้อยละ 20 จึงได้ทำการเพิ่มปริมาณแป้งเป็นร้อยละ 30 แล้วทำการย่อยด้วยเอนไซม์ที่มีความเข้มข้นร้อยละ 0.05 (V/W) ทำการเก็บตัวอย่างมาวิเคราะห์ทุกๆ 15 นาที จะเห็นได้ว่าเมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้น 15 นาที มีผลทำให้การย่อยแป้งมี DE เพิ่มขึ้นประมาณ 1 ในกรณีที่ใช้แป้งมันสำปะหลัง ส่วนในกรณีที่ใช้แป้งข้าวเจ้าการเพิ่มขึ้นของ DE เมื่อฉลาการย่อยเพิ่มขึ้นมีผลเช่นเดียวกัน (Table 4) ซึ่งผลที่ได้จากการย่อยแป้งข้าวเจ้ามีค่าใกล้เคียงกับที่มีรายงานของ Griffin and Brooks (1989) คือ ผลการย่อยที่ใช้เวลา 15, 45 และ 75 นาที จะได้สารละลายแป้งที่ถูกไฮโดรไลซ์แล้วมี DE 5.1, 8 และ 10 ตามลำดับ ซึ่งในการทดลองของ Griffin and Brooks (1989) นี้ได้มีจุดมุ่งหมายที่จะผลิตมอลโตเด็กซตรินที่มี DE ระหว่าง 5-10 เท่านั้น เพราะมีความประสงค์ที่จะใช้มอลโตเด็กซตรินที่ผลิตจากแป้งข้าวเจ้ามาใช้เป็นส่วนผสมเพื่อผลิตอาหารชนิดใหม่ เพื่อแก้ปัญหาข้าวเจ้าผลิตมากเกินไปในสหรัฐอเมริกา

Table 3 Various concentration of enzymes on starch hydrolysis as a maltodextrin products (20% starch, 80-85°C, 20 min.).

Enzyme concentration	Complete gelatinized strach	Incomplete gelatinized starch
% V/W	DE	DE
0.05	5.6	6.1
0.10	6.1	6.3
0.15	6.9	7.1
0.20	8.9	9.8
0.25	13.4	15.0
0.50	17.6	18.9
1.00	19.5	20.9

Table 4 Hydorlysis of starch at 30% concentration (80-85°C, enzyme 0.05%).

Incubation (min.)	Casava starch DE	Rice starch DE
15	7.7	6.4
30	9.1	7.7
45	9.9	8.5
60	10.6	10.4
75	-	14.5

จากการที่ได้นำค่า DE และเวลาที่ใช้ในการไฮโดรไลซ์ทั้งแป้งข้าวเจ้าและแป้งมันสำปะหลังของ Table 4 มา

เขียนเป็นกราฟทำให้ทราบค่าประมาณได้ว่าถ้าต้องการผลิตมอลโตเด็กซตรินจากแป้งข้าวเจ้าที่มี DE 6, 10 และ 14 จะต้องใช้เวลา 12, 48.4 และ 60 นาที ตามลำดับ จากนั้นจึงทำการทดลองย่อยสารละลายแป้งข้าวเจ้าและแป้งมันสำปะหลังโดยใช้ระยะเวลาจากกราฟ ผลการทดลองพบว่า การไฮโดรไลซ์แป้งข้าวเจ้าที่ 13.5, 57 และ 73.5 นาที จะได้สารละลายแป้งที่ถูกไฮโดรไลซ์ที่มี DE 6.4, 12, 15.5 ตามลำดับ ส่วนการไฮโดรไลซ์แป้งมันสำปะหลังที่เวลา 12, 48.4 และ 60 นาที จะได้สารละลายแป้งที่มี DE 6.5, 13.5 และ 16 ตามลำดับ อย่างไรก็ตามค่า DE และเวลาประมาณการที่ทดลองได้ดังกล่าวมาแล้ว เพื่อนำไปเป็นแนวทางทดลองซ้ำอีกครั้งหนึ่ง และหาระยะเวลาที่แน่นอนในการย่อยแป้งเพื่อให้ได้ DE 6, 10 และ 14 ผลการทดลองนี้พบว่าระยะเวลาที่ใช้ย่อยแป้งข้าวเจ้าจะมากกว่าย่อยแป้งมันสำปะหลังโดยการย่อยให้ DE เพิ่มขึ้น ความต้องการเวลาก็จะเพิ่มขึ้นด้วยทั้งสองตัวอย่าง (Table 5) ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากโครงสร้างทางเคมีและส่วนประกอบทางเคมีของแป้งที่มีแหล่งมาจากธัญญพืชและจากรากนั้นแตกต่างกัน (อรพิน, 2533)

Table 5 **Incubation time of enzyme to give maltodextrin at DE 6, 10, 14 (30% starch, 0.05% enzyme, 80-85°C).**

DE	Casava starch min.	Rice starch min.
6	8	10
10	40	50
14	50	6

จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าเมื่อเวลาที่ใช้ในการย่อยแป้งนานขึ้น (DE สูงขึ้น) ปริมาณแป้งตกค้างจากการแยกด้วยเครื่องเหวี่ยงจะลดลง และยังขึ้นอยู่กับปริมาณแป้งเริ่มต้นที่ใช้ด้วย (Table 5) และแป้งตกค้างจากแป้งมันสำปะหลังจะน้อยกว่าแป้งข้าวเจ้าด้วย ทั้งนี้อาจจะมาจากความแตกต่างของลักษณะโครงสร้างของแป้งทั้งสองชนิดนี้เมื่อถูกความร้อน เพราะเม็ดแป้งจากมันสำปะหลังมีค่าการพองตัว (Swelling power) 71 ส่วนของแป้งข้าวเจ้ามีค่า 19 เมื่อโมเลกุลของแป้งมีการพองตัวสูงอาจจะเปิดโอกาสให้เอนไซม์เข้าไปไฮโดรไลซ์สะดวกกว่า (อรพิน, 2533) มีผลทำให้เม็ดแป้งถูกย่อยได้มากกว่า อย่างไรก็

Table 6 **Starch residue after enzyme and acid hydrolysis at variours enzymatic incubation.**

Starch Concentration (%)	Casava starch residue (%) Incubation time (min)			Rice starch residue (%) Incubation time (min)		
	10	20	50	10	20	50
10	18.5	15.8	3.70	34.5	28.5	16.4
20	26.8	16.4	11.8	42.8	42.8	22.9
30	29.9	24.0	18.7	66.2	50.6	22.9

Table 7 **Analysis of maltodextrin produced by HPLC.**

Maltodextrin	Casava maltodextrin			Rice maltodextrin		
	Glu (mg/g)	Mal (mg/g)	Malto (mg/g)	Glu (mg/g)	Mal (mg/g)	Malto (mg/g)
DE 6	5.2	6.6	10.0	2.0	9.1	20.9
DE 10	6.0	13.2	23.4	10.7	22.6	38.7
DE 14	2.3	8.4	17.7	15.9	31.0	49.9

Glu = glucose
Mal = maltose
malto = maltotriose

ตามแป้งตกค้างเหล่านี้ก็ยังเป็นแป้งที่ถูกย่อยไปบางส่วน เพียงแต่เป็นพวกที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงกว่า และน่าที่จะนำไปใช้ได้หรือนำกลับมาย่อยใหม่

HPLC profiles ของมอลโตเด็กซตริน

เมื่อนำมอลโตเด็กซตรินผงที่ผลิตได้ทั้ง 3 ชนิด คือ DE 6, DE 10 และ DE 14 ไปวิเคราะห์ชนิดของน้ำตาล และ degree of polymerization (DP) เนื่องจากเครื่องมือ HPLC ที่มีอยู่สามารถวิเคราะห์น้ำตาลที่มีกลูโคสหนึ่งโมเลกุลคือ กลูโคส กลูโคสสองโมเลกุล (มอลโตส) และกลูโคสสามโมเลกุล (maltotriose) ซึ่งผลการวิเคราะห์ได้แสดงใน Table 7 จะเห็นได้ว่าแป้งทั้งสองชนิดถูกย่อยได้ DP 3 มากกว่า DP 1 และ DP 2 ที่พบในผลิตภัณฑ์มอลโตเด็กซตรินที่มี DE 6, DE 10 และ DE 14 นอกจากนี้ยังได้คำนวณพื้นที่ใต้ peak ของ HPLC profiles 10 peak โดยแต่ละ peak เป็น DP ตั้งแต่ DP 1 จนถึง DP 10 โดยเทียบ 3 peak แรกกับน้ำตาลมาตรฐานกลูโคส มอลโต และมอลโตไตรโอสจึงถือว่าเป็น DP1, DP2 และ DP การคำนวณนี้ได้คำนวณออกมาเป็นร้อยละโดยใช้พื้นที่ภายใต้ peak เป็นหลัก ซึ่งผลการคำนวณปรากฏใน Table 8 แสดงว่า maltodextrin ที่ย่อยได้ส่วนมากเป็น DP3 และ DP6-7 โดยพบในแป้งทั้งสองชนิดที่ใช้ศึกษามีลักษณะแบบเดียวกัน ซึ่งมักจะเป็นแบบแผนการย่อยแป้งโดย α-amylse มากกว่าเป็นความแตกต่างของชนิดแป้ง (Brooks and Griffin 1987b, Cheetham *et al.*, 1981 และ Scobell and Brobst 1981) อย่างไรก็ตาม Griffin and brooks (1989) ยังพบว่าการเปลี่ยนแปลงของ HPLC profiles ของมอลโตเด็กซตรินนั้นขึ้นอยู่กับความแตกต่างของอุณหภูมิที่ใช้ในการไฮโดรไลซ์แป้ง เช่น พบปริมาณน้ำตาลโมเลกุลสูง (high molecular weight saccharide) ในมอลโตเด็กซตรินผลิตที่ 70°C มีมากกว่าชนิดที่ผลิตโดยใช้อุณหภูมิ 80°C โดยมอลโตเด็กซตรินที่เตรียมที่ 80°C มี DP1-10 อยู่ร้อยละ 40.9 ในขณะที่เตรียมที่ 70°C มีปริมาณ

Table 8 Degree of polymerization (DP 1-10) as percentage of maltodextrin produced (Calculted from Peak Area under HPLC analysis).

DP	Casava maltodextrin			Rice maltodextrin		
	DE 6	DE 10	DE 14	DE 6	DE 10	DE 14
1	4.6	3.1	1.7	4.8	3.1	4.2
2	6.2	7.2	6.4	12.7	6.9	8.5
3	9.2	12.1	13.0	7.9	11.5	13.3
4	7.0	8.0	10.7	5.9	9.4	10.0
5	5.9	6.7	9.3	6.7	9.3	9.6
6	14.7	19.4	22.4	14.4	20.7	20.5
7	17.7	22.1	31.3	19.6	21.2	18.6
8	14.1	12.3	2.7	12.7	9.8	7.4
9	11.8	7.4	2.4	11.1	6.0	4.7
10	8.7	1.4	-	4.1	1.9	3.0

DP1 = glucose 1 mol.
DP10 = glucose 10 mol.

Table 9 Viscosity of maltodextrin produced at 30°C (centipoise).

Maltodextrin	Concentration of Casava maltodextrin (%)			Concentration of rice maltodextrin (%)		
	2.5	5.0	10	2.5	5.0	10
DE 6	6.2	7.5	12	6.5	6.7	8.0
DE 10	5.6	6.2	8.2	6.2	6.5	7.5
DE 14	5.2	5.5	7.5	5.0	5.2	6.0

Table 10 Solubility of maltodextrin produced

Maltodextrin	Casava maltodextrin	Rice maltodextrin
DE 6	1.2	1.5
DE 10	0.7	0.8
DE 14	0.5	0.5

Solubility < 1 = good solubilized

DP1-10 อยู่ร้อยละ 34.6 ส่วนอุณหภูมิที่สูงกว่านี้จะไม่เหมาะสมต่อการย่อยสลายเพราะจะได้ทั้ง DE และ DP ต่ำ

สำหรับคุณสมบัติทางฟิสิกส์ของมอลโตเด็กซตรินที่ผลิตขึ้นได้แสดงใน Table 9 และ Table 10 กล่าวคือ ค่าความหนืดของผลิตภัณฑ์เหล่านี้จัดโดยเครื่อง Brokkfield viscometer และใช้หัวเบอร์ 2 ความหนืดของมอลโตเด็กซตรินที่ผลิตจากแป้งมันสำปะหลังจะสูงกว่าแป้งข้าวเจ้าเล็กน้อย โดย DE เพิ่มมากขึ้น ความหนืดจะลดลง ส่วนค่าการละลายนั้นได้ใช้วิธีการหาเช่นเดียวกับนมผง พบว่า DE 10 และ DE 14ของมอลโตเด็กซตรินมีค่าต่ำกว่าหนึ่ง ซึ่งแสดงว่าผลิตภัณฑ์มีการละลายได้ดี ส่วนผลิตภัณฑ์ที่มี DE 6 นั้น ค่าการละลายจะมากกว่าหนึ่ง

อย่างไรก็ตามคุณสมบัติที่แตกต่างกันของมอลโตเด็กซตรินนั้น พบว่าอยู่ที่ความแตกต่างของปริมาณ DP ที่แตกต่างกัน กล่าวคือมอลโตเด็กซตรินที่มี DP สูง (high molecular weight saccharids) จะมีผลต่อการละลายและความคงตัวของสารละลาย (Solution stability) ส่วนมอลโตเด็กซตรินที่มี DP ต่ำ จะมีผลต่อคุณสมบัติของความหนืด ความหวาน การหมัก (fermentability) และการตกผลึก (Cheetham *et al*, 1981) นอกจากนี้ Griffin and Brooks (1989) ยังได้กล่าวไว้ว่าปริมาณน้ำตาลรีดิวซิ่งที่อยู่ในมอลโตเด็กซตรินที่ผลิตนั้นปรากฏว่าขึ้นอยู่กับอุณหภูมิที่ใช้ในการไฮโดรไลซ์มากกว่าขึ้นอยู่กับ DE ในตัวอย่าง ดังนั้นค่าน้ำตาลรีดิวซิ่ง และ DE สูง จึงไม่จำเป็นเสมอไปที่จะส่งผลให้ตัวอย่างมอลโตเด็กซตรินนั้นมีส่วนที่เป็นโครงสร้างโมเลกุลต่ำอยู่ในปริมาณมากด้วย

สำหรับมอลโตเด็กซตรินที่ผลิตได้ชนิด DE 6, DE 10 และ DE 14 นั้นมีคุณสมบัติละลายได้ในน้ำเย็นและมีรสไม่หวาน ซึ่งใช้ได้ในอุตสาหกรรมอาหารหลายอย่าง และใช้ในอุตสาหกรรมยาได้ด้วยเช่นเดียวกับ มอลโตเด็กซตริน Paselli MD6, MD10 และ MD 14 ที่ผลิตจากแป้งมันฝรั่งโดยบริษัท AVEBE ประเทศฮอลแลนด์ซึ่งได้มีการนำ Paselli MD10 มาศึกษาการผลิตอาหารเสริมสำหรับผู้ป่วย (เพ็ญขวัญ และวิชัย 2533) อย่างไรก็ตามการนำมอลโตเด็กซตรินที่ผลิตได้ไปทดลองประยุกต์ใช้จะได้ดำเนินต่อไป

เอกสารอ้างอิง

กล้าณรงค์ ศรีรอต. 2530. การปฏิบัติการเทคโนโลยีของแป้ง ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ 30 หน้า.

เพ็ญขวัญ ชมปรีดา และวิชัย หฤทัยธนาสันติ์ 2533. การพัฒนาผลิตภัณฑ์แม่แบบอาหารทางสายให้อาหาร (ติดต่อส่วนตัว) ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สุคนธ์ชื่น ศรีงาม, สมยศ จรรยาวิลาศ และวิเชียร ยงมานิตชัย. 2520. ผลของน้ำย่อยอะไมเลสต่อคุณสมบัติของอาหารเด็กอ่อน. วารสารอาหารปีที่ 9 ฉบับที่ 4 ตุลาคม-ธันวาคม. หน้า 27-33.

อารี วัลยเสวี และคณะ, 2521. โรคโภชนาการเล่ม 2. คณะแพทยศาสตร์รามาธิบดี กรุงเทพฯ. 345 หน้า.

อรพิน ภูมิภมร 2533. เทคโนโลยีของแป้ง : เคมีของแป้งและเทคโนโลยผลิตภัณฑ์จากแป้งบางชนิดที่ผลิตในประเทศไทย. ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 212 หน้า.

Brooks, J.R. and V.K. Griffin. 1987a Liquefaction of rice starch from milled rice flour using heat-stable alpha-amylase. J. Food Sci. 52 : 712-717.

Brooks, J.R. and V.K. Griffin. 1987b. Saccharide analysis of corn syrup solids and maltodextrins using high-performance liquid chromatograghy. Cereal Chem. 64 : 253-258.

Cheetham, N.W. H., P. Sirimanne and W.R. Day. 1981. High-performance liquid chromatographic separation of carbohydrate oligomers. J.

Chromatogr. 207 : 439-442.

Chen, W.P. and Y.C. Chang. 1985. Production of high-fructose rice syrup and high-protein rice flour from broken rice. J. Sci. Food Agric. 35 : 1128-1133.

Fulbrook, P.D. 1984. The enzymic production of glucose syrup. In Glucose Syrups : Science and Technology (S. Z. Dziedzic and M. W. kearsley, edt.) p. 77. Elsevier Science Publishing Co., New York.

Griffin, V.K. and J.R. Brooks. 1989. Production and size distribution of rice maltodextrins hydrohyzed from milled rice flour using heat-stable Alpha-amylase. J. Food Sci. 54 (1) : 190-193.

Horwitz, W. 1984. Methods of Analysis of Association of Official Analytical Chemists. AOAC Washington, 1015 pp.

Robyt, J.F. 1984. Enzyme in the hydrolysis and Synthesisi of starch. In Starch Chemistry and Technology. (Whistler, R.L., J.N. Bemiller and E.F. paschall, edt) p. 87-123. Academic Press N.Y.

Scobell, A.D. and K.M. Brobst. 1981. Rapid high resolution reparation of oligosaccharides silver form cation-exchange resins J. Chromatogr. 212 : 51-54.

Yankov, D., E. Dobreva, V. Beschkov and Emanuilova. 1986. Study of optimum conditions and kinetics of starch hydrolysis by means of thermostable α-amylase. Enzyme Microb Technol. 8 : 665-668.