บทที่ 2

วารสารปริทัศน์

มันเทศ (นรินทร์ พูลเพิ่ม และ เหตุอร ราชบุตร, 2531)

มันเทศ ภาษาอังกฤษเรียกว่า sweet potato (Ipomoea batatas L.) เป็นพืชอาหารที่มีความสำคัญอันดับ 7 ของโลก รองจากข้าวสาลี ข้าว ข้าวโพด มันฝรั่ง ข้าวบาร์เลย์ และมันสำปะหลัง มันเทศมีประโยชน์และมีคุณค่าอาหารสูง จึงนำมาใช้บริโภคเป็นอาหารของมนุษย์ และอาหารสัตว์ ได้ทั้ง หัว เถา ใบ และยอดอ่อน ประเทศไทย มันเทศใช้ประกอบอาหารได้หลายชนิด ทั้งคาวและหวาน เช่น แกงเลียง แกงคั่ว มันทอด มันเทศเชื่อม มันเทศรังนก มันเทศไข่นกกระทา ทำไส้ขนมต่างๆ ฯลฯ ในด้านอุตสาหกรรมมีการสกัดแป้งมันเทศเป็นส่วนผสมของอาหารเด็ก อาหารว่างชนิดต่าง ๆ เป็นต้น มันเทศเป็นพืชหัวที่มีคุณค่าอาหารสูงทั้งหัวและใบ โดยเฉพาะในมันเทศเนื้อสีเหลืองหรือสีส้ม จะมีคุณค่าอาหารด้านวิตามินเอสูงกว่าข้าว ซึ่งวิตามินดังกล่าวช่วยให้ร่างกายเจริญเติบโตเป็นปกติไม่เจ็บป่วยง่าย และช่วยบำรุงสายตา นอกจากนี้มันเทศยังสามารถใช้เป็นอาหารสัตว์ได้หลายชนิด เช่น สุกร วัว ควาย แพะ แกะ ไก่ กระต่าย เป็ด ปลา เป็นต้น

มันเทศจัดเป็นพืชที่ปลูกง่าย ขึ้นได้ในดินแทบทุกชนิด ไม่ว่าจะเป็นดินเหนียว ดินร่วนปนทรายและดินทราย ตลอดทั้งอากาศค่อนข้างแห้งแล้งก็สามารถปลูกมันเทศได้ มันเทศต้องการน้ำ เฉพาะช่วงแรกของการเจริญเติบโตเท่านั้น หลังจากลงหัวแล้วถึงแม้จะขาดฝนบ้างมันเทศก็อยู่ได้ ในประเทศไทยเรานั้นสามารถปลูกมันเทศได้ทั่วทุกภาค และปลูกได้ตลอดปี จังหวัดที่มีการปลูกมันเทศเป็นการค้าในปริมาณมากได้แก่ เชียงใหม่ พิจิตร นครปฐม พระนครศรีอยุธยา สุพรรณบุรี ราชบุรี บุรีรัมย์ ปราจีนบุรี และนครศรีธรรมราช เป็นต้น

ในปี 2530 กองโภชนาการ กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข ได้รายงานผลการวิเคราะห์คุณค่าทางอาหารต่อ 100 กรัมของมันเทศพันธุ์สีขาวและสีเหลือง เมื่อเทียบกับคุณค่าทางอาหารกับมันฝรั่ง เผือก และข้าวเจ้าแล้ว คุณค่าทางอาหารของมันเทศก็ไม่ได้ด้อยไปกว่าพืชทั้ง 3 ชนิดหลังเลย ดังตารางที่ 1

ดังนั้นมันเทศจึงนำมาทำเป็นผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ มากมาย เช่น มันเทศต้ม มันเทศทอด มันเทศกระป๋อง มันเทศทอดแช่แข็ง และแป้งมันเทศทั้งในรูป starch และ flour (Tian, 1991) ซึ่งแป้งมันเทศที่ได้สามารถนำไปใช้ผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ มากมาย

ตารางที่ 1 คุณค่าทางอาหารของมันเทศ เมื่อเทียบกับมันฝรั่ง เผือก และข้าวเจ้า

ชนิดพืช/ คุณสมบัติ	Moisture (g.)	Calories (g.)	Fat (g.)	CHO (g.)	Fibre (g.)	Protein (g.)	Ca (mg.)	P (mg.)	Fe (mg.)	Vitamins				
										A (IU)	B_1 (mg.)	B_2 (mg.)	Niacin (mg.)	C (mg.)
มันเทศเนื้อขาว(หัว,ต้ม)	62.2	149	0.4	35.8	0.6	0.6	72	51	0.7	10	0.06	0.03	0.5	47
มันเทศเนื้อเหลือง(หัว,ต้ม)	68.1	126	0.6	29.4	0.6	1.0	66	58	0.8	1025	0.09	0.04	0.6	31
มันฝรั่ง(ต้มทั้งเปลือก	79.8	76	0.1	17.1	0.5	2.1	7	53	0.6	Tr	0.09	0.04	1.5	16
เผือก (ต้ม)	67.8	124	0.3	28.8	-	1.9	48	48	0.9	-	0.08	0.05	0.6	4
ข้าวเจ้า(สุก)	62.5	155	0.4	34.2	0.1	2.5	5	36	0.6	0	0.02	0.01	0.3	0

หมายเหตุ Tr คือเล็กน้อย

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กระบวนการผลิตแป้งมันเทศ (Sweet Potato Flour Processing)

1. ล้าง นำมันเทศดิบมาล้างทำความสะอาด เพื่อกำจัดเศษดิน และสิ่งสกปรกที่ติดมาที่ผิวออกให้หมด

2. ปอกเปลือก สามารถทำได้หลายวิธี เช่นใช้มีดปอก หรือใช้หลักการขัดสีให้เปลือกหลุด หรือปอกเปลือกโดยใช้สารละลายด่างที่ร้อน โดยจุ่มมันเทศลงในสารละลายด่างเข้มข้น 10 % ที่อุณหภูมิ 100-104 °C นาน 5-10 นาที แต่ถ้าใช้สารละลายด่างเข้มข้น 20-22 % เวลาที่ใช้ก็จะลดลงเป็น 3-6 นาที ด่างที่นิยมใช้ คือ โซเดียมไฮดรอกไซด์ แล้วนำมันเทศมาล้างน้ำให้หมดด่าง และล้างเปลือกที่หลุดออก การปอกเปลือกวิธีนี้จะต้องทำด้วยความระมัดระวัง เนื่องจากด่างที่ใช้มีความเข้มข้นสูง สามารถกัดกร่อนได้ จึงต้องใช้ภาชนะที่เป็นเหล็กปลอดสนิม วิธีนี้ไม่เหมาะกับมันเทศที่มีหัวขนาดเล็ก เพราะจะมีการสูญเสียในขั้นการปอกเปลือกด้วยด่างมากขึ้น (กุลยา ลิ้มรุ่งเรืองรัตน์, 2535)

3. ป้องกันการเกิดสีน้ำตาล มันเทศหลังปอกเปลือก หั่น หรือตัดจะเกิดสีน้ำตาลในบริเวณเนื้อเยื่อที่ถูกตัดเนื่องจากสาร phenolic ที่มีอยู่ในผักและผลไม้ ถูกออกซิไดส์ด้วยออกซิเจนในอากาศ โดยมีเอนไซม์ polyphenoloxidase (PPO) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ในมันเทศจะเกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลได้ทั้ง enzymatic browning และ non-enzymatic browning (สุภารัตน์ เรืองมณีไพฑูรย์ และคณะ, 2530) ดังนั้นวิธีป้องกันการเกิดสีน้ำตาลสามารถทำได้ดังนี้

3.1 ลวกหรือต้มที่อุณหภูมิ 70-90 °C เพื่อทำลายเอนไซม์ PPO

3.2 ใช้สารเคมีเพื่อยับยั้งปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล เช่น กรดซิตริกจะทำให้เกิดสภาพ pH ที่ไม่เหมาะต่อการทำงานของเอนไซม์ PPO ซัลเฟอร์ไดออกไซด์และเกลือของ sulfurous acid เช่น bisulfite สามารถทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในอากาศได้ เป็นการป้องกันการเปลี่ยนสีเนื่องจาก non-enzymatic browning ได้อีกด้วย ซึ่งสุภารัตน์ เรืองมณีไพฑูรย์ และคณะ (2530) ได้ศึกษาสารเคมีต่าง ๆ ที่มีผลต่อการเปลี่ยนสีของมันเทศ โดยนำมันเทศพันธุ์เกษตร และพันธุ์ไข่ที่ปอกเปลือกแล้ว หั่นเป็นแว่นมีความหนา 0.5 เซนติเมตร แช่ในสารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ 0.5 % กรดซิตริก 0.05 % และสารละลายโซเดียมฟอสเฟต กับเตตราโซเดียมไพโรฟอสเฟต (อัตราส่วน 3:1) 0.4 % นาน 30 นาที พบว่าสารละลายทั้งสามช่วยป้องกันการเปลี่ยนสีได้ดี แต่การใช้โซเดียมเมตาไบซัลไฟต์จะป้องกันการเปลี่ยนสี และรักษาสีของแป้งให้คงอยู่ได้ดีกว่าการใช้สารเคมีตัวอื่น ๆ ดังนั้นใน

การวิจัยนี้จึงเลือกใช้โซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ ในการป้องกันการเกิดสีน้ำตาล

4. หั่น ให้เป็นชิ้นเล็ก ๆ เพื่อให้ทำแห้งได้เร็วขึ้น และแช่ในสารละลายต่าง ๆ เพื่อป้องกันการเปลี่ยนแปลงสี เช่น กรดซิตริก, สารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ เป็นต้น

5. อบแห้ง เป็นการลดความชื้นของชิ้นมันเทศ เพื่อให้มีสภาพที่เหมาะสมสามารถบดเป็นแป้งได้ ซึ่งสุภารัตน์ เรืองมณีไพฑูรย์ และคณะ (2530) ได้ผลิตแป้งมันเทศโดยใช้มันเทศ 2 พันธุ์ คือ พันธุ์เกษตร (เนื้อสีเหลือง) กับพันธุ์ไข่ (เนื้อสีส้ม) ด้วยกรรมวิธีการอบแห้ง 2 วิธีคือวิธีอบด้วยลมร้อน (Hot Air Oven Method) ที่อุณหภูมิ 50-60 °C เป็นเวลา 8-10 ชั่วโมง และวิธีอบด้วยลูกกลิ้งร้อน (Double Drum Dryer Method) โดยนำมันเทศบดปรับให้มีของแข็ง 20 % ป้อนเข้าสู่ drum dryer ที่ควบคุมความเร็วรอบ 2 รอบ/นาที ความดันไอน้ำ 5.5 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร อุณหภูมิที่ผิวลูกกลิ้ง 138-140 องศาเซลเซียส ระยะห่างระหว่างลูกกลิ้ง 0.2-0.3 มิลลิเมตร พื้นที่ของผิวลูกกลิ้ง 0.46*0.96 ตารางเซนติเมตรต่อลูก พบว่ามันเทศทั้ง 2 พันธุ์ได้ผลผลิตแป้งตามวิธีแรกมากกว่าวิธีที่สอง ดังนั้นจึงเลือกใช้ตู้อบลมร้อน (Tray Dryer) ในช่วงอุณหภูมิ 50-60 °C ในการผลิต

6. บด เป็นการลดขนาดชิ้นมันเทศหลังจากการทำแห้งแล้วให้เป็นแป้งโดยอาจบดมากกว่า 1 ครั้งก็ได้ โดยขั้นแรกเป็นการบดหยาบเพื่อให้ชิ้นมันมีขนาดเล็กลงแล้วจึงบดละเอียดให้เป็นแป้ง

7. ร่อน เป็นการแยกขนาดของแป้งที่บดได้โดยผ่านตะแกรงร่อนขนาดต่างๆ เช่น 60, 80 และ 100 mesh เป็นต้นโดยมากนิยมใช้ตะแกรงร่อนขนาด 100 mesh

องค์ประกอบทางเคมีและสมบัติของแป้งมันเทศ

องค์ประกอบทางเคมี

กุลยา ลิ้มรุ่งเรืองรัตน์ (2535) พบว่ามันเทศพันธุ์เกษตรให้แป้ง(16.44%) ในปริมาณที่สูงกว่ามันเทศพันธุ์กระต่าย, พันธุ์ไข่ และพันธุ์ต่อเผือก (12.16-13.66%) เนื่องจากมันเทศพันธุ์เกษตร มีหัวขนาดใหญ่กว่าพันธุ์อื่น ๆ ปริมาณแป้งที่ได้จึงสูงกว่า และองค์ประกอบทางเคมีของแป้งมันเทศพันธุ์เกษตร ได้แก่ ความชื้น 6.23 % โปรตีน 3.58 % (d.b.),ไขมัน 0.21 % (d.b.),เถ้า 2.41 % (d.b.),เส้นใย 2.35 % (d.b.)ส่วนมันเทศพันธุ์อื่นมีองค์ประกอบทางเคมีคือความชื้นอยู่ในช่วง 5.20-6.10 %, โปรตีนอยู่ในช่วง 2.35-2.99 % (d.b.),ไขมันอยู่ในช่วง 0.13-0.50 %

(d.b.), เถ้า 1.63-2.69 % (d.b.) และเส้นใย 2.42-2.78 % (d.b.) ซึ่งองค์ประกอบทางเคมีของแป้งมันเทศแตกต่างกันไป เนื่องจากความแตกต่างในด้านสายพันธุ์ แหล่งที่ปลูก และฤดูกาลที่ปลูก ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้เลือกมันเทศพันธุ์เกษตรมาใช้ในการผลิตแป้ง

<u>สมบัติของแป้งมันเทศและการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นระหว่างการหุงต้ม</u>

แป้งเป็นคาร์โบไฮเดรทซึ่งเป็นพอลิเมอร์ของ α-D-glucose ประกอบด้วย อะไมโลส (Amylose) และอะไมโลเพคติน (Amylopectin) หน่วยพื้นฐาน คือ D-glucose ซึ่งการรวมตัวของกลูโคสเป็นพอลิเมอร์จะมีการสูญเสียน้ำ ดังนั้นหน่วยกลูโคสในพอลิเมอร์ของแป้งที่แท้จริงคือ หน่วย anhydrous glucose ส่วนประกอบทั้งสองชนิดของแป้งจะเรียงตัวในแนวรัศมีภายในเม็ดแป้งโดยโมเลกุลจะขนานกัน สายโมเลกุลทั้งแบบตรง และมีสาขาจะจับไว้ด้วยกันโดยพันธะไฮโดรเจน เป็นผลึกเล็ก ๆ (Crystalline Micelles) ซึ่งจับเม็ดแป้งไว้ด้วยกัน (Glickman, 1969) สายพอลิเมอร์ดังกล่าวจะถูกอัดแน่นในรูปของ starch granules ซึ่งยึดเกาะกันด้วยพันธะไฮโดรเจนอ่อน ๆ ระหว่างการหุงต้มพันธะไฮโดรเจนจะอ่อนลงและในที่สุดจะแตกออก ซึ่งเรียกจุดนี้ว่า การเจลาติไนเซชัน ที่จุดนี้ starch granules จะดูดน้ำเข้าไป แล้วเกิดการบวมขึ้น ระหว่างเกิดการเจลาติไนเซชัน โมเลกุลอะไมโลสจะหลุดออกจาก granules เมื่อโด (Dough) เย็นลง โมเลกุลอะไมโลสจะเรียงตัวกันแล้วจับกันด้วยพันธะไฮโดรเจน ส่วนอะไมโลเพคตินไม่สามารถออกจาก granules ได้เนื่องจากโครงสร้างโมเลกุลเป็นกิ่งก้านสาขา

แป้งแต่ละชนิดจะมีสัดส่วนอะไมโลสและอะไมโลเพคตินต่าง ๆ กัน แป้งที่มีอะไมโลสในสัดส่วนที่สูงจะใช้ทำ crunchy snack เนื่องจากโมเลกุลอะไมโลสอัดแน่นทำให้อาหารว่างมีความแข็งแรง และต่อต้านการแตกหัก ส่วนอะไมโลเพคตินจะลดความหนาแน่นของอาหารว่าง โดยจะให้ความกรอบและลักษณะปรากฏที่เบา จึงใช้ทำอาหารที่ต้องการการพองตัว (Puffed Products) ("Far East Meets West," 1993)

ในกระบวนการเอกซ์ทรูชัน การพองตัว (Expansion) ใช้แสดงลักษณะผลิตภัณฑ์ที่มีการพอง ความหนาแน่นต่ำ ซึ่งเกิดจากแป้งได้รับความร้อนแล้วเกิดการเจลาติไนเซชัน ภายใต้ความดันระหว่างการผลิต เมื่อผ่านรูเปิดออกสู่บรรยากาศภายนอกทำให้เกิดการพองตัว การที่จะได้ผลิตภัณฑ์ที่พองตัวที่เป็นที่ต้องการของผู้บริโภค ในด้านรูปร่าง และลักษณะปรากฏ ปัจจัยที่สำคัญ คือ การพองตัวที่ดี ซึ่งเกี่ยวกับการเกิด

เจลาติไนซ์ของแป้งที่เพียงพอ เกิดความดันลดอย่างมากที่รูออก ซึ่งจะทำให้เกิดการระเหยของไอน้ำ ส่งผลให้โครงสร้างที่ผิวแข็งขึ้น หลังจากไอน้ำที่ระเหยเย็นลง (Camire, Camire and Krumhar, 1990)

ระหว่างกระบวนการเอกซ์ทรูชัน จะมีการเปลี่ยนแปลงทางเคมีที่สำคัญ คือ แป้งเกิดการเจลาติไนซ์ ซึ่งเมื่อใช้ Brabender viscoamylograph ในการหาอุณหภูมิการเกิดเจลและความหนืดของแป้งมันเทศ พบว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิจนถึงอุณหภูมิการเกิดเจลซึ่งอยู่ในช่วง 68-81 °C ความหนืดจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจนถึงจุดสูงสุด โดยค่าสูงสุดประมาณ 500-600 B.U. (เมื่อใช้ความเข้มข้นน้ำแป้ง 6 %) หลังจากนั้นความหนืดจะลดลงในช่วงให้ความร้อน (Heating Cycle) จนถึง 95 °C เมื่อให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 95 °C เป็นเวลานาน 30 นาที พบว่าความหนืดมีแนวโน้มลดลงอีก และเมื่อลดอุณหภูมิเป็น 50 °C ในช่วง Cooling Cycle ความหนืดก็จะเพิ่มขึ้น เมื่อแป้งเปียกเย็นตัว โมเลกุลของอะไมโลสจะจับกันเองหรือจับกับอะไมโลเพคตินบางส่วน ทำให้น้ำที่เคยจับกันอยู่ก่อนต้องถูกกีดกันออกไปและส่วนที่จับกันมีลักษณะเหมือนผลึก ปรากฏการณ์นี้เรียกว่า "การคืนตัว" สำหรับแป้งมันเทศ พบว่ามีการคืนตัวในอัตราปานกลาง (เวชยันต์ ธนบดีภัทร, 2532)

ส่วนโปรตีนอาจเกิดปฏิกิริยา Maillard ได้ ในภาวะอุณหภูมิสูง และความชื้นต่ำ นอกจากนี้ยังอาจเกิดการแตกตัวของน้ำตาลเองเมื่อได้รับความร้อน ที่เรียกว่า caramelization หรือแป้งและน้ำตาลนอนรีดิวซ์ถูกไฮโดรไลส์ระหว่างการเอก้ซ์ทรูชัน ได้เป็นน้ำตาลรีดิวซ์เป็นเหตุให้เกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลขึ้น ซึ่งสังเกตได้จากสีของผลิตภัณฑ์ เนื่องจากแป้งมันเทศมีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์อยู่ค่อนข้างสูงประมาณ 3.10 -7.96 % โดยน้ำหนักแห้ง (สุภารัตน์ เรืองมณีไพฑูรย์ และคณะ, 2530) ดังนั้นการนำแป้งมันเทศมาใช้ จึงไม่ควรใช้อุณหภูมิสูง เพื่อป้องกันปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่ไม่เป็นที่ต้องการของผู้บริโภค

ส่วนเส้นใยจะไปยับยั้งการพองตัวของผลิตภัณฑ์ น้ำจะถูกกักไว้ภายในโครงสร้างของเส้นใยระหว่างเอกซ์ทรูชัน ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความชื้นสูง และยังผลให้การพองตัวลดลง (Camire et al., 1990)

<u>กระบวนการเอกซ์ทรูชัน</u>

กระบวนการเอกซ์ทรูชัน เป็นกระบวนการที่สำคัญที่สุดกระบวนการหนึ่งในการผลิตอาหาร หน้าที่ของกระบวนการเอกซ์ทรูชันได้แก่ ผสม ทำให้สุก ขึ้นรูป เคลื่อน

ย้าย ทำให้พอง หรือทำให้แห้ง หน้าที่ต่าง ๆ ขึ้นอยู่กับรูปแบบของเครื่องจักรที่ใช้ ที่เรียกว่า เอกซ์ทรูเดอร์ และสภาวะในการผลิต กระบวนการเอกซ์ทรูชันมีบทบาทสำคัญมากในกระบวนการผลิตอาหารแบบต่อเนื่อง และการพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่ ๆ โดยเฉพาะอาหารเช้า (Breakfast Cereals) และอาหารว่าง (Snacks) (Maga, 1991)

เอกซ์ทรูเดอร์เป็นเครื่องจักรที่รวมเอาขั้นตอนการผลิตหลายขั้นตอน เช่น การผสม การทำให้ร้อนและสุก แล้วทำให้เป็นรูปทรงของผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปออกมาอยู่ในตัวเครื่องอันเดียวกัน ตัวเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ประกอบด้วยตัวสกรู (Screw) เป็นเกลียว หรือเป็นเกลียวตัวหนอน หมุนอยู่ภายในปลอกเหล็กผนังสองชั้น (Barrel หรือ Head) หน้าที่ของเกลียวสกรู คือ หมุนผลักพาให้วัตถุหยุ่นเหนียว (Dough) หรือเอกซ์ทรูเดท (Extrudate) ที่อยู่ภายในเครื่องออกไปทางข้างหน้าผ่านรูเปิดพิเศษบนหน้าแปลน (Die) ออกมา

การหุงต้มแบบเอกซ์ทรูชัน (Extrusion Cooking) เป็นกระบวนการที่ทำให้วัตถุอาหารนั้นชื้นก่อน แล้วทำให้สุก และอัดเป็นรูปทรงออกมา ความร้อนที่ทำให้วัตถุอาหารสุกนั้นได้มาจากไฟฟ้าจากขดลวด หรือโดยการเปลี่ยนไปของพลังงานกล อันเกิดจากแรงเฉือน หรือแรงเสียดทานระหว่างวัตถุอาหารต่อวัตถุอาหาร หรือระหว่างวัตถุอาหารกับผนังของบาเรล ความร้อนนี้จะเปลี่ยนแป้งดิบให้เป็นเจลสมบูรณ์(แป้งสุก) โปรตีนจากสภาพตามธรรมชาติก็เปลี่ยนเป็น โปรตีนที่อยู่ในสภาพที่ย่อยสลายได้ง่ายขึ้น อุณหภูมิที่เกิดขึ้นในระหว่างกระบวนการหุงต้มแบบเอกซ์ทรูชันนั้นอาจจะสูงถึง 200 °C ใช้เวลาเพียง 5-10 วินาที ด้วยเหตุผลนี้ จึงเรียกกระบวนการหุงต้มแบบนี้ว่า High Temperature and Short Time (HTST) เป็นกระบวนการหุงต้มที่มีประโยชน์และดีมาก ทำให้ผลิตภัณฑ์ย่อยสลายได้ดีและรวดเร็วขึ้น ในเวลาเดียวกัน ก็ลดผลเสียหายในเรื่องคุณค่าทางอาหารให้น้อยลง

เครื่องเอกซ์ทรูเดอร์สกรูเดียว เริ่มใช้กันในอุตสาหกรรมพลาสติก ต่อมานำมาดัดแปลงใช้กับผลิตภัณฑ์อาหารอย่างแพร่หลาย แต่เนื่องจากความสามารถในการผสมของเครื่องจักรชนิดนี้ต่ำ จึงต้องมีการ premix หรือ precondition วัตถุดิบก่อนจะป้อนเข้าสู่ตัวเครื่องเอกซ์ทรูดเดอร์ ภายใต้การควบคุมอุณหภูมิและความดัน ส่วนผสมต่าง ๆ ได้รับความร้อน โดยการฉีดไอน้ำหรือน้ำ แล้วรอให้ความชื้นแทรกเข้าไปทั่วอนุภาคส่วนผสมเพื่อให้อนุภาคมีความอ่อนนุ่ม ซึ่งจะเป็นการปรับปรุงกลิ่นรส และเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์สุดท้าย และลดการสึกกร่อนของส่วนประกอบของเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ รวมทั้งค่าใช้จ่ายในการเดินเครื่อง (ประชา บุญญสิริกุล, 2537b)

ปัจจัยสำคัญในกระบวนการผลิตแบบเอกซ์ทรูชัน

กระบวนการผลิตแบบเอกซ์ทรูชัน นับว่าเป็นกระบวนการผลิตที่มีความซับซ้อนและมีตัวแปรที่ต้องพิจารณาหลายตัวด้วยกัน คือ

1. วัตถุดิบ

1.1 ส่วนประกอบของวัตถุดิบ

วัตถุดิบที่เลือกใช้ในการผลิต ส่วนใหญ่จะเป็นแป้งทั้งจากธัญพืชและพืชราก เช่นข้าวโพด ข้าวเจ้า ข้าวสาลี และมันสำปะหลัง เป็นต้น ส่วนผสมต้องมีแป้งเป็นองค์ประกอบหลักและมีปริมาณมากกว่าอย่างอื่น เพื่อช่วยให้อาหารว่างพองขยายตัวได้มากที่สุด ปริมาณของแป้ง (Starch) ที่มีอยู่ในสูตรส่วนผสมระดับน้อยกว่า 60 % จะให้การพองตัวของอาหารว่างกรอบแข็ง เนื้อแน่น พองเล็กน้อย (Crunchy, Hard Texture) ตัวอย่างได้แก่ แผ่นข้าวโพดอบกรอบ (Traditional Corn Chip snack) (ประชา บุญญสิริกุล, 2537b)

Badrie และ Mellowes (1992a) ศึกษาผลของแป้งมันสำปะหลังต่อลักษณะของผลิตภัณฑ์ พบว่าการเติม cassava starchในปริมาณ 25-75 % (โดยน้ำหนักส่วนผสม) ลงใน cassava flour จะเพิ่มปริมาณคาร์โบไฮเดรทในวัตถุดิบ ลดค่าสีเหลืองและค่าความหนาแน่น แต่เพิ่มค่าอัตราการพองตัวของผลิตภัณฑ์ และยังพบว่าการเติมอะไมโลสลงไปใน cassava flour ในปริมาณ 10-80 % (โดยน้ำหนักแห้ง) จะเพิ่มความเรียบสม่ำเสมอของผิวหน้า ความเบา และค่าความแน่นแข็งของผลิตภัณฑ์ ส่วนค่าความยืดหยุ่นลดลง ต่อมา Badrie และ Mellowes (1992b) ก็ได้ศึกษาผลของการเติมแป้งถั่วเหลือง (0-25 %) และรำข้าวสาลี (0-12 %)ในผลิตภัณฑ์อาหารว่างจากแป้งมันสำปะหลัง ซึ่งพบว่าการเพิ่มปริมาณโปรตีนจากแป้งถั่วเหลืองจะลดค่าอัตราการพองตัว และเพิ่มค่าความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์และได้ผลิตภัณฑ์สีเหลืองเข้มขึ้น ส่วนเมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใยจากรำข้าวสาลีจะลดค่าอัตราการพองตัว

Park และคณะ (1993) พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณแป้งข้าวโพดสูงถึง 40 % ในแป้งข้าวโพดและถั่วเหลือง ทำให้ค่าอัตราการพองตัวของผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้น Arora, Zhao และ Camire (1993) พบว่าเส้นใยจากรำข้าวเจ้า รำข้าวสาลี และผลแอปเปิ้ล ซึ่งเป็นแหล่งเส้นใยทางการค้าให้ผลิตภัณฑ์ที่มีค่าสีแตกต่างจากผลิตภัณฑ์ที่เติมเส้นใยจากเปลือกมันฝรั่ง แต่ค่าความสามารถในการอุ้มน้ำไม่แตกต่างกัน

1.2 ความชื้นของวัตถุดิบ

ในกระบวนการผลิต จะต้องมีการจำกัดปริมาณความชื้นในส่วนผสมของวัตถุดิบด้วย เนื่องจากถ้าส่วนผสมของวัตถุดิบมีความชื้นสูงเกินไป จะเกิดการเกาะเป็นก้อนในส่วนถังป้อน (Feed Hopper) ทำให้ส่วนผสมลงไปในเครื่องไม่สม่ำเสมอ ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะออกมาอย่างไม่สม่ำเสมอ รวมทั้งมีคุณภาพไม่สม่ำเสมอด้วย ความชื้นของส่วนผสมวัตถุดิบน้อยเกินไป เครื่องจะเกิดการไหม้ได้ นอกจากนี้ความชื้นยังมีผลต่อการพองตัวของผลิตภัณฑ์ด้วย โดยถ้าต้องการผลิตภัณฑ์ที่พองตัวเต็มที่หลังออกจากเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์แล้ว ความชื้นของวัตถุดิบไม่ควรเกิน 20 % (Camire et al., 1990) Mercier และ Feillet (1975) พบว่าในผลิตภัณฑ์ corn grit เมื่อปริมาณความชื้นของวัตถุดิบเพิ่มขึ้นจาก 10.5 เป็น 28.5 % (โดยน้ำหนักส่วนผสม) ทำให้ค่าอัตราการพองตัวลดลง ค่าความแข็งแรงต่อการแตกหักซึ่งก็คือค่าแรงตัดขาดจะเพิ่มขึ้น ส่วน Badrie และ Mellowes (1991) พบว่าความชื้นมีผลต่อค่าอัตราการพองตัวของผลิตภัณฑ์จากแป้งมันสำปะหลัง และค่าความหนาแน่นอย่างมาก โดยปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้นมีผลให้ค่าอัตราการพองตัวลดลงและค่าความหนาแน่นสูงขึ้น ซึ่งที่ปริมาณความชื้น 11 % จะให้ค่าอัตราการพองตัวสูงสุด

เนื่องจากในการทดลองนี้ต้องการผลิตภัณฑ์ที่พองตัวเต็มที่ หลังออกจากเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์แล้ว จึงควบคุมความชื้นไว้ที่ 11 %

1.3 ขนาดอนุภาคของวัตถุดิบ

ขนาดอนุภาคของส่วนประกอบต่าง ๆ ในวัตถุดิบที่นำมาผสมกันควรจะต้องมีขนาดไล่เลี่ยกัน เพราะถ้ามีขนาดไม่เท่ากันจะทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ออกมาไม่ดี เกิดการสุกเป็นบางจุดไม่สม่ำเสมอ (พอใจ ลิ้มพันธ์อุดม, 2531) นอกจากนี้การใช้วัตถุดิบที่มีขนาดใหญ่เกินไป จะทำให้วัตถุดิบสุกไม่ทั่วถึงเกิดเป็นเม็ดแข็งขึ้นบางจุดในผลิตภัณฑ์ ผิวของผลิตภัณฑ์ไม่เรียบสม่ำเสมอและขนาดของช่องอากาศ (Air Cell) ของผลิตภัณฑ์มีขนาดใหญ่ และมีขนาดไม่สม่ำเสมอด้วย ถ้าวัตถุดิบที่มีขนาดละเอียดถึงขั้นเป็นแป้ง (Flour) จะเกิดการจับติดเป็นก้อนได้ง่าย ทำให้การเดินเครื่องลำบากและอาจทำให้เกิดการไหม้ได้ด้วย ในการทดลองนี้ได้ผลิตแป้งมันเทศที่มีขนาด 100 mesh ซึ่งจะรวมตัวกับแป้งข้าวเจ้า แป้งข้าวเหนียว และแป้งมันสำปะหลังได้ดี เนื่องจากแป้งทั้ง 3 ชนิดมีอนุภาคขนาด 100 mesh เช่นกัน ทำให้ได้วัตถุดิบที่มีลักษณะเนื้อเดียวกัน

2. ตัวแปรในเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์

2.1 ความเร็วสกรูป้อน

สกรูป้อนเป็นตัวพาส่วนผสมของวัตถุดิบเข้าไปภายในเครื่อง ซึ่งสำหรับเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ชนิด Brabender 20 DNชนิดนี้ อัตราความเร็วของสกรูป้อนที่แนะนำให้ใช้คือในช่วง 40-60 รอบต่อนาที สำหรับวัตถุดิบที่เป็นข้าวเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่สุก และพองตัว (Instruction Manual of Laboratory Extruder 20 DN) ในการทดลองผลิตอาหารขบเคี้ยวโปรตีนสูงโดยใช้เครื่องชนิดนี้ ให้เกิดการพองตัวพร้อมบริโภค พอใจ ลิ้มพันธ์อุดม (2531) ได้เลือกใช้ความเร็วสกรูป้อน 40 รอบต่อนาที และจากการทดลองเบื้องต้นของวราภรณ์ จำรูญธเนศกุล (2534) พบว่าความเร็วสกรูป้อนที่ 40, 50 และ 60 รอบต่อนาทีไม่ได้ให้ผลที่แตกต่างกัน การใช้ความเร็วสกรูป้อนสูงจะเป็นการสิ้นเปลืองพลังงานโดยใช่เหตุ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้ความเร็วสกรูป้อนที่ 40 รอบต่อนาที

2.2 ความเร็วสกรูอัด

ซึ่งเป็นสกรูที่พาส่วนผสมของวัตถุดิบให้ผ่านเข้าไปในเครื่อง โดยระหว่างนั้นจะมีการบดผสมนวดให้วัตถุดิบเกิดการผสมเป็นเนื้อเดียวกัน และเกิดแรงอัดแรงเฉือน ความร้อนที่เกิดขึ้นรวมกับการให้ความร้อนจากเครื่องทำให้เกิดการสุกของแป้ง และโปรตีน Badrie และ Mellowes (1991) พบว่าที่อัตราการป้อนวัตถุดิบคงที่ 200 กรัม/นาที การเพิ่มความเร็วสกรูอัดสูงจาก 425 เป็น 560 รอบ/นาที ใน twin screw extruder จะให้ผลิตภัณฑ์ที่มีค่าอัตราการพองตัวลดลง Sokhey, Kollengode และ Hanna (1994) ได้กล่าวไว้ในบทนำว่าความเร็วสกรูอัดมีผลเล็กน้อย หรือไม่มีความแตกต่างต่อค่าอัตราการพองตัว พอใจ ลิ้มพันธ์อุดม (2531) ได้ผลิตอาหารขบเคี้ยวโปรตีนสูงโดยเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ชนิด Brabender 20 DN โดยใช้ความเร็วสกรูอัด เท่ากับ 200 รอบ/นาที ซึ่งค่อนข้างสูง แต่ทั้งนี้เนื่องจากกระบวนการผลิตดังกล่าวใช้อุณหภูมิสูงมากถึง 180 °C เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่สุกและเกิดการพองตัว ศิริพร โอวาทฟ้ารพร (2532) ได้ผลิตอาหารว่างจากแป้งมันเทศในรูปไม่พองตัวหรือพองตัวน้อยมาก เพื่อที่จะสามารถนำไปทำให้พองตัวโดยการทอด พบว่าความเร็วสกรูอัดในช่วง 50-150 รอบ/นาที ไม่มีผลต่อค่าอัตราการพองตัว ความร้อนในการทำให้แป้งสุกนั้นได้มาจาก 2 แหล่ง คือความร้อนจากแรงเสียดทานระหว่างวัตถุดิบและความร้อนจากอุณหภูมิภายในเครื่อง ดังนั้น ความร้อนจากทั้งสองแหล่งจึงมีความสำคัญ จากการทดลองเบื้องต้นของวราภรณ์ จำรูญธเนศกุล (2534) พบว่าที่ความเร็วสกรูอัด

200-250 รอบ/นาที เครื่องจะทำงานหนัก อาจทำให้เครื่องสึกหรอได้ง่าย ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงแปรความเร็วสกรูอัดในช่วง 90-180 รอบ/นาที

2.3 อุณหภูมิภายในเครื่อง

เครื่องเอกซ์ทรูเดอร์มีการแบ่งการให้ความร้อนแก่วัตถุดิบออกเป็น 3 โซน โซนที่ 1 เป็นช่วงที่ต่อจากสกรูป้อน ซึ่งในช่วงนี้จะเป็นช่วงที่ให้ความร้อนเบื้องต้นกับส่วนผสมของวัตถุดิบ โซนที่ 2 อุณหภูมิที่ใช้จะต้องสูงขึ้นเพื่อให้วัตถุดิบเริ่มเกิดการสุกและเกิดการเปลี่ยนแปลงสภาพ และในโซนที่ 3 อุณหภูมิที่ใช้นั้น จะต้องทำให้วัตถุดิบสุกอย่างสมบูรณ์เนื่องจากปริมาณแป้งที่เกิดเจลาติไนซ์มีผลต่อการพองตัว และลักษณะของผลิตภัณฑ์ Mercier และ Feillet (1975) พบว่าเมื่ออุณหภูมิในการผลิตเพิ่มขึ้น (65-250 °C) ค่าแรงตัดขาดของผลิตภัณฑ์จาก corn grit จะลดลง และค่าอัตราการพองตัวสูงสุดเกิดที่อุณหภูมิในการผลิต 180-200 °C Chiang และ Johnson (1977) พบว่าการเพิ่มอุณหภูมิในการผลิต (65-110 °C) จะเพิ่มการเกิดเจลาติไนซ์ของแป้งข้าวสาลี ซึ่งการเกิดเจลาติไนเซชันมีความสำคัญต่อการพองตัว ลักษณะและคุณภาพของผลิตภัณฑ์ Artz, Warren และ Villota (1990) พบว่าเมื่ออุณหภูมิในการผลิตเพิ่มขึ้นในช่วง 90-150 °C จะให้แป้งข้าวโพดที่เกิดเจลาติไนซ์มากขึ้นเช่นกัน ทำให้ผลิตภัณฑ์พองตัวสูงขึ้น

Badrie และ Mellowes (1991) พบว่าเมื่ออุณหภูมิในการผลิตเพิ่มขึ้นในช่วง 100-125 °C ทำให้ค่าอัตราการพองตัวของผลิตภัณฑ์จากแป้งมันสำปะหลังสูงขึ้น Park และคณะ (1993) พบว่าเมื่ออุณหภูมิในการผลิตสูงขึ้นจาก 140 ถึง 160 °C ค่าอัตราการพองตัวของผลิตภัณฑ์จาก defatted soy flour, corn starch และ raw beef จะเพิ่มขึ้น ในขณะที่ค่าแรงตัดขาดจะลดลง แต่เมื่ออุณหภูมิในการผลิตสูงขึ้นจาก 160 ถึง 180 °C ค่าอัตราการพองตัวจะลดลง ส่วนค่าแรงตัดขาดจะเพิ่มขึ้น จากการทดลองเบื้องต้นพบว่า อุณหภูมิในการผลิตโซนที่ 1:2 ทำให้ภาวะของเครื่องเดินไปได้ดี และได้ผลิตภัณฑ์ที่ดีคือ 60:120 °C ซึ่งให้เป็นค่าคงที่แล้วเลือกศึกษาอุณหภูมิในการผลิตโซนที่ 3 ในช่วง 100-120 °C

2.4 อัตราส่วนการอัดของสกรู (Compression Ratio)

การใช้แรงอัดสูงจะมีผลทำให้วัตถุดิบเกิดการสุกได้ง่าย และเร็วกว่าการใช้แรงอัดที่ต่ำกว่า แต่ก็มีผลเสียคือ เครื่องจักรต้องใช้กำลังงานเพิ่มขึ้นเนื่องจากเกิดความแตกต่างของความดันมาก ดังนั้นไม่ควรที่ต้องใช้อัตราส่วนการอัดของสกรูมากเกินไป เพื่อประหยัดและลดต้นทุนการผลิต จากการวิจัยของพอใจ ลิ้มพันธ์อุดม

(2531)ที่แปรค่าอัตราส่วนการอัดของสกรูเป็น 2 ค่าคือ 4:1 และ 5:1 พบว่าอัตราส่วน 4:1 สูงพอที่จะทำให้ผลิตภัณฑ์เกิดการสุก และพองตัวดี และจากคู่มือของเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ชนิด Brabender 20 DN ได้แนะนำให้ใช้อัตราส่วนการอัดของสกรูสำหรับวัตถุดิบจำพวกข้าว เท่ากับ 4:1 เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่สุกและเกิดการพองตัว (Instruction Manual of Laboratory Extruder 20 DN) Park และคณะ (1993) ได้เลือกใช้อัตราส่วนการอัดของสกรู 4:1 สำหรับ defatted soy flour, corn starch และ raw beef ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้อัตราส่วนการอัดของสกรูเป็น 4:1 ส่วนที่อัตราส่วนการอัดของสกรูต่ำคือ 1:1, 2:1 หรือ 3:1 จะใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์ที่ไม่ต้องการการพองตัว เช่น ในงานวิจัยของศิริพร โอวาทฟ้ารพร (2532) ที่เลือกใช้อัตราส่วนการอัดของสกรู 1:1 ในการผลิตอาหารว่างจากแป้งมันเทศ

2.5 ขนาดหัวไดย (Die)

หัวไดเป็นส่วนประกอบสุดท้ายที่ต่อจากเครื่องเป็นส่วนตีบหรือเรียวเล็ก เพื่อให้ผลิตภัณฑ์ถูกบีบหรือถูกขับออกมา หน้าที่สำคัญคือจำกัดการไหล และทำให้ผลิตภัณฑ์มีรูปร่างต่าง ๆ ตามต้องการ Park และคณะ (1993) ใช้หัวไดเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 3.175 มิลลิเมตร ในการผลิตผลิตภัณฑ์จาก defatted soy flour, corn starch และ raw beef ถ้าต้องการให้ผลิตภัณฑ์ออกมาพองตัวเต็มที่ หากใช้หัวไดขนาดเล็กเกินไป ผลิตภัณฑ์ที่ออกมาบางส่วนจะเกิดการแห้งแข็งเกาะติดที่บริเวณรูของหัวได ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ตามหลังออกมาไม่สามารถออกมาได้ และเกิดการไหม้ภายในเครื่อง แต่หากใช้หัวไดขนาดใหญ่เกินไป ผลิตภัณฑ์จะออกจากเครื่องได้เร็วอาจเกิดการสุกได้ไม่เต็มที่ จากงานวิจัยของพอใจ ลิ้มพันธ์อุดม (2531) ได้เลือกหัวไดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 มิลลิเมตร ในการผลิตผลิตภัณฑ์อาหารขบเคี้ยวโปรตีนสูงให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีการพองตัวที่ดีหลังผ่านเครื่องออกมา และจากคู่มือของเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ชนิด Brabender 20 DN ได้แนะนำให้ใช้หัวไดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอยู่ในช่วง3-6 มิลลิเมตร สำหรับวัตถุดิบจำพวกข้าว (Instruction Manual of Laboratory Extruder 20 DN) ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้หัวไดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 มิลลิเมตร