หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

วารสารปริทัศน์

ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของมันเทศ (2,4)

มันเทศมีลำต้นและเถาเลื้อยไปตามผิวดิน สามารถเก็บเกี่ยวได้เมื่ออายุ 90-150 วัน ขึ้นอยู่กับพันธุ์ที่ใช้ปลูก หลังจากมันเทศลงหัวเต็มที่แล้ว เถาจะค่อยๆ โทรมไปแต่ไม่ถึงกับตาย ถ้าได้รับความชื้นที่พอเหมาะ ข้อก็จะแตกรากและลงหัวต่อไปได้อีก ดังนั้นมันเทศจึงเป็นพืชที่มีอายุหลายปี (rooted perennial) แต่ในทางปฏิบัติแล้ว ถือว่ามันเทศเป็นพืชล้มลุก (annual crop) คือ มีอายุและเก็บเกี่ยวภายใน 1 ปี

มันเทศ (sweet potato) มีลำดับทางพฤกษศาสตร์ดังนี้

วงศ์(Family) Convolvulaceae

สกุล(Genus) *Ipomoea*

ชนิด(Species) *batatas*

สกุลที่สำคัญที่สุดของวงศ์ Convolvulaceae คือ *Ipomoea* ซึ่งมีอยู่ประมาณ 400 ชนิด แต่มีมันเทศเป็นพืชปลูกเพียงชนิดเดียวที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจ โดยทั่วไปแล้วสกุล *Ipomoea* เป็นพืชที่มีเถาพันคดเคี้ยวไปมา หรือเลื้อยราบไปบนพื้นดิน และมีส่วนน้อยที่เป็นพุ่มตั้งตรง

<u>ราก</u> มันเทศมีระบบรากแบบรากฝอย ซึ่งเกิดจากข้อของลำต้นที่ใช้ปลูก หรือเกิดจากลำต้นที่ทอดไปตามพื้นดิน รากมันเทศจะเป็นที่สะสมอาหารและใช้รับประทานได้

<u>ใบ</u> เป็นแบบใบเดี่ยว เกิดสลับกันบนข้อของลำต้น มีขนาดและรูปร่างต่างกันตามพันธุ์และยังอาจต่างกันแม้อยู่บนต้นเดียวกัน เช่น บางใบมีขอบใบเรียบ บางใบมีใบที่เป็นแฉก และบางใบมีรูปร่างคล้ายหัวใจ เป็นต้น ใบมีขนเล็กน้อยและมักจะมีขนสีม่วงอยู่ตามเส้นใบ ก้านใบอาจจะยาวหรือสั้น ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับพันธุ์นั้นๆ

ดอก มันเทศที่ปลูกในเขตอบอุ่นมักไม่ออกดอก ส่วนการปลูกในเขตร้อนจะออกดอกแต่มักไม่ติดเมล็ด ดอกเกิดตามมุมของใบ มีก้านช่อดอก (peduncle) แข็งแรง ซึ่งมักจะยาวกว่าก้านใบ ดอกมีกลีบเลี้ยง (sepal) 5 กลีบ อาจจะแยกเป็นอิสระซึ่งกันและกัน หรืออาจเชื่อมติดกันที่โคน กลีบดอก (petal) มี 5 กลีบ เชื่อมติดกันเป็นรูปกรวย (corolla tube) มีลักษณะคล้ายดอกผักบุ้ง มีสีชมพูปนม่วง มีเกสรตัวผู้ (stamen) 5 อัน และแยกเป็นอิสระซึ่งกันและกัน ก้านชูอับเกสรตัวผู้ เรียกว่า ก้านอับเกสร มีความยาวไม่เท่ากัน และเชื่อมติดอยู่กับฐานของกลีบดอก รังไข่มี 2 ส่วน บางดอกอาจจะมี 4 ส่วน แต่ละส่วนจะมีไข่ 1 หรือ 2 ที่รับละอองเกสรตัวผู้ (stigma) มี 2 แฉกติดอยู่ที่ก้าน (style) เชื่อมติดกับรังไข่

ผล มีเปลือกแข็งหุ้ม มีลักษณะเป็นแคปซูล ภายในเปลือกแข็งมีเมล็ดเล็กสีดำค่อนข้างแบน ด้านหนึ่งของเมล็ดเรียบ ส่วนอีกด้านหนึ่งเป็นเหลี่ยม ทางด้านเรียบจะเห็นรอยที่เมล็ดติดกับผนังรังไข่เรียกว่า hilum และมีรูเล็กๆเรียกว่า micropyle เปลือกของเมล็ดค่อนข้างหนาและน้ำซึมผ่านได้ยาก

หัว มันเทศลงหัวในระดับความลึกไม่เกิน 9 นิ้ว หัวมันเทศเกิดจากการขยายตัวของราก ซึ่งเนื้อเยื่อภายในรากที่เรียกว่า parenchyma เป็นส่วนที่สะสมแป้ง รากที่ขยายตัวเป็นหัวขึ้นมาอาจเกิดจากรากของลำต้นที่ใช้ปลูก หรือจากรากที่เกิดจากข้อของลำต้นที่เลื้อยไปตามดินก็ได้ ดังนั้นมันเทศต้นหนึ่งๆอาจมีหัวมากกว่า 50 หัว ลักษณะหัวส่วนมากมีรูปร่างทรงกระบอก ด้านหัวท้ายเรียวตรงกลางป่องออก สีผิวของหัวและสีของเนื้ออาจจะเป็นสีแดง เหลือง ขาว หรือสีนวล แตกต่างกันไปตามพันธุ์ ผิวอาจจะเรียบหรือขรุขระและมักจะมีรากแขนง (lateral root) เกิดในร่องของหัว หัวมันเทศสดจะมีองค์ประกอบทางเคมีแสดงดังตารางที่ 2 นอกจากหัวมันเทศจะเป็นแหล่งอาหารจำพวกแป้งแล้ว ยังอุดมสมบูรณ์ไปด้วยวิตะมินและเกลือแร่ เช่น วิตะมินเอ (โดยเฉพาะพวกที่มีเนื้อสีเหลือง) วิตะมินบี และ ซี อีกด้วย ดังแสดงในตารางที่ 3 และ 4

พันธุ์ (2)

พันธุ์มันเทศอาจแบ่งตามอายุการเก็บเกี่ยวได้ 3 พวก ดังนี้

1. พันธุ์เบา อายุประมาณ 90 วันหลังจากปลูกจนถึงเก็บเกี่ยว เช่น พันธุ์กัวเตมาลา พม.02 นส.25 กระต่าย ไข่ และโนนนาด เป็นต้น

2. พันธุ์กลาง อายุประมาณ 120 วันหลังจากปลูกจนถึงเก็บเกี่ยว เช่น พันธุ์ห้วยสีทน 1 ไทจุง หัวโตแดง โอกุด เกษตร และหัวโตขาว เป็นต้น

3. พันธุ์หนัก อายุประมาณ 150 วันหลังจากปลูกจนถึงเก็บเกี่ยว เช่น พันธุ์เชนเทนเนียล L89 L4-116 L364 ต่อเผือก และโรสเชนเทนเนียล เป็นต้น

ตารางที่ 2 องค์ประกอบทางเคมีของหัวมันเทศสด (5)

องค์ประกอบทางเคมี	ปริมาณ (%)
Moisture	50-81
Starch	8-29
Protein	0.95-2.4
Ether extract	1.8-6.4
Reducing sugar	0.5-2.5
Non-starch carbohydrate	0.5-7.5
Mineral matter	0.88-1.38

ที่มา : Onwuene (1978)

ตารางที่ 3 ชนิดและปริมาณวิตะมินในหัวมันเทศสด (5)

วิตะมิน	ปริมาณ (mg/100g fresh wt.)
Carotene	1-12
Thiamine	0.10
Riboflavin	0.06
Nicotinic acid	0.09
Ascorbic acid	29-40

ที่มา : Onwuene (1978)

ตารางที่ 4 ปริมาณเกลือแร่ชนิดต่างๆ ที่มีในหัวมันเทศสด (6)

เกลือแร่	ปริมาณ (mg/100g fresh wt.)
Ca	29
Mg	26
K	260
Fe	0.49
Zn	0.59
Al	0.82
P	51
Na	52
S	13
Cu	0.17
Mn	0.11
B	0.10

ที่มา : Bradbury and Hollyway (1988)

การปลูก (2)

ฤดูปลูก

มันเทศจะเจริญเติบโตได้ดีในที่ซึ่งมีอากาศค่อนข้างร้อน และเป็นพืชที่มีความทนทานต่อความแห้งแล้งดี มันเทศต้องการน้ำฝนเพียงชั่วระยะเวลาแตกยอดและใบ เมื่อทอดยอดและแตกใบโตเต็มที่แล้ว ถึงฝนไม่ตกมันเทศก็ไม่เฉา แต่จะลงหัวซึ่งมีขนาดโตดีกว่าตอนฝนตกมาก

ประเทศไทยสามารถปลูกมันเทศได้ทั่วทุกภาค และทุกฤดูกาลตลอดปี หากเป็นแหล่ง

ที่มีน้ำชลประทานดีอยู่แล้ว เกษตรกรจะปลูกมันเทศเมื่อไรก็ได้ แต่โดยทั่วไปจะนิยมปลูกในฤดูฝนและฤดูหนาว ฤดูฝนจะปลูกช่วงเดือนมิถุนายน-กันยายน ฤดูหนาวจะเป็นช่วงเดือนตุลาคม-มกราคม ส่วนฤดูร้อนจะเป็นช่วงเดือนกุมภาพันธ์-พฤษภาคม มันเทศมีอายุการเก็บเกี่ยว 3-5 เดือน เมื่อเก็บเกี่ยวแล้วก็สามารถเริ่มต้นปลูกใหม่ได้อีก

กรรมวิธีการผลิตแป้งมันเทศ

ได้มีผู้ศึกษาวิธีการสกัดแป้งจากมันเทศโดยวิธีต่างๆ กัน และสรุปขั้นตอนที่เป็นไปได้ดังต่อไปนี้ (7,8,9,10,11,12)

1. ล้าง นำมันเทศมาล้างทำความสะอาด เพื่อกำจัดเศษดินและสิ่งสกปรกที่ติดมา

2. ปอกเปลือก สามารถทำได้หลายวิธี เช่น ใช้มีดปอกเปลือก หรือใช้หลักการขัดสีให้เปลือกหลุด หรือปอกเปลือกโดยใช้สารละลายด่างที่ร้อน (7,9) ซึ่งเป็นวิธีที่นิยมใช้ โดยจุ่มมันเทศลงในสารละลายด่างเข้มข้น 10% ที่มีอุณหภูมิ 100-104 °C 5-10 นาที แต่ถ้าใช้สารละลายด่างเข้มข้น 20-22% เวลาที่ใช้ก็จะลดลงเป็น 3-6 นาที (10) ด่างที่นิยมใช้ คือ NaOH แล้วนำมันเทศมาล้างน้ำให้หมดด่างและล้างเปลือกที่หลุดออก การปอกเปลือกวิธีนี้จะต้องทำด้วยความระมัดระวัง เนื่องจากด่างที่ใช้มีความเข้มข้นสูง สามารถกัดกร่อนภาชนะได้ จึงต้องใช้ภาชนะที่เป็นเหล็กปลอดสนิม วิธีนี้ไม่เหมาะกับมันเทศที่มีหัวขนาดเล็ก เพราะจะมีการสูญเสียในขั้นการปอกเปลือกด้วยด่างมากขึ้น

3. หั่น โดยใช้ chipper/slicer มันเทศจะถูกหั่นให้เป็นชิ้นเล็กๆเพื่อให้ทำแห้งได้เร็วขึ้น อาจแช่ในสารละลายต่างๆ เพื่อป้องกันการเปลี่ยนแปลงสี เช่น citric acid เป็นต้น

4. อบแห้ง เป็นการลดความชื้นของชิ้นมันเทศ เพื่อให้มีสภาพที่เหมาะสมสามารถบดเป็นแป้งได้ เครื่องมือที่ใช้ในการอบแห้งโดยมากนิยมใช้ตู้อบลมร้อน อุณหภูมิที่ใช้อยู่ในช่วง 50-60 °C

5. บด เป็นการลดขนาดชิ้นมันเทศที่ผ่านการทำแห้งแล้วให้เป็นแป้ง โดยอาจบดมากกว่า 1 ครั้งก็ได้ โดยขั้นแรกเป็นการบดหยาบเพื่อให้ชิ้นมันมีขนาดเล็กลง แล้วจึงบดละเอียดให้เป็นแป้ง

6. ร่อน เป็นการแยกขนาดของแป้งที่บดได้ โดยผ่านตะแกรงร่อนขนาดต่างๆ เช่น 60,80 และ 100 mesh เป็นต้น โดยมากนิยมใช้ตะแกรงร่อนขนาด 100 mesh

ปัญหาที่เกิดขึ้นในระหว่างการผลิตแป้งมันเทศและวิธีป้องกัน

มันเทศหลังปอกเปลือก หั่นหรือตัด จะเกิดสีน้ำตาลในบริเวณเนื้อเยื่อที่ถูกตัดเนื่องจากสาร phenolic ที่มีอยู่ในผักและผลไม้ ถูกออกซิไดส์ด้วยออกซิเจนในอากาศ โดยมีเอนไซม์ polyphenoloxidase (PPO) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ในมันเทศจะเกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลได้ทั้ง enzymatic browning และ non-enzymatic browning (7) วิธีการป้องกันการเกิดสีน้ำตาลสามารถทำได้โดย

1. ลวกหรือต้มที่อุณหภูมิ 70-90 °C เพื่อทำลายเอนไซม์ PPO

2. ใช้สารเคมีเพื่อยับยั้งปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล เช่น citric acid จะทำให้เกิดสภาพ pH ที่ไม่เหมาะสมต่อการทำงานของเอนไซม์ PPO ซัลเฟอร์ไดออกไซด์และเกลือของ sulfurous acid เช่น bisulfite สามารถทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในอากาศได้ เป็นการป้องกันไม่ให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสี นอกจากนี้ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ยังสามารถป้องกันการเปลี่ยนแปลงสีเนื่องจาก non-enzymatic browning ได้อีกด้วย (7)

สุภารัตน์และคณะ (7) ได้ศึกษาสารเคมีต่างๆ ที่มีผลต่อการเปลี่ยนสีของมันเทศ โดยนำมันเทศพันธุ์เกษตรและพันธุ์ไข่ที่ปอกเปลือกแล้ว หั่นเป็นแว่นมีความหนา 0.5 ซม. แช่ในสารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ 0.5% กรดซิตริก 0.05% และสารละลายของโซเดียมแอซิดไพโรฟอสเฟตกับเตตราโซเดียมไพโรฟอสเฟต (อัตราส่วน 3:1) 0.4% นาน 30 นาที พบว่าสารละลายทั้งสามช่วยป้องกันการเปลี่ยนสีได้ดี แต่การใช้โซเดียมเมตาไบซัลไฟต์จะป้องกันการเปลี่ยนสีและรักษาสีของแป้งให้คงอยู่ได้ดีกว่าการใช้สารเคมีตัวอื่น

องค์ประกอบทางเคมีและสมบัติทั่วไปของแป้งมันเทศ

1. องค์ประกอบทางเคมี (7,12,13,14,15,16)

องค์ประกอบทางเคมีของแป้งมันเทศจะแตกต่างกันไป เนื่องจากความแตกต่าง

ในด้านสายพันธุ์ แหล่งที่ปลูก และ ฤดูกาลที่ปลูก Madamba และ San Pedro (13) ได้วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของแป้งมันเทศ 19 สายพันธุ์ ทั้งที่ปลูกในฤดูแล้งและฤดูฝน พบว่ามีองค์ประกอบทางเคมีแสดงดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 องค์ประกอบทางเคมีของแป้งมันเทศ (13)

องค์ประกอบทางเคมี	ปริมาณ (% dry basis)
Moisture	5.01-9.47
Ash	1.54-2.83
Protein	1.13-5.96
Fat	0.32-1.45
Starch	63.8-86.8
Amylose	16.1-24.4

ที่มา : Madamba and Pedro (1976)

จะเห็นว่าองค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญในแป้งมันเทศ คือ starch ดังนั้น คุณสมบัติของ starch จะส่งผลกระทบต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์หลังจากผ่านกระบวนการแปรรูป และลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่ได้ เช่น ปริมาณ starch จะสัมพันธ์กับ mealiness ขนาดเม็ดแป้งจะสัมพันธ์กับลักษณะเนื้อสัมผัส ปริมาณ amylose จะสัมพันธ์กับ flavor และ mealiness และปริมาณ amylopectin จะสัมพันธ์ต่อการดูดน้ำ การพองตัว และการเกิดเจล (14)

ปริมาณ amylose ที่มีอยู่ใน starch granule ของแป้ง จะมีความสำคัญต่อคุณภาพของแป้ง เมื่อนำไปใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารในด้านการให้ความหนืดที่เกิดขึ้นแก่น้ำแป้งเมื่อได้รับความร้อน และ amylose ยังเป็นปัจจัยอันหนึ่งที่มีผลต่อคุณสมบัติของแป้งในการทำขนมปัง

แป้งที่มีปริมาณ amylose ต่างกัน จะให้เจลที่มีลักษณะต่างกัน ทำให้ผลิตภัณฑ์มีคุณภาพต่างกัน เช่น แป้งข้าวเจ้าและแป้งข้าวเหนียว จากปริมาณ amylose ของแป้งมันเทศที่แสดงในตารางข้างบนนี้ พบว่ามีปริมาณใกล้เคียงกับปริมาณ amylose ในแป้งสาลี ซึ่งมีปริมาณอยู่ในช่วง 17-27 % (15)

คุณภาพของแป้งเปียกและเจล นอกจากจะขึ้นอยู่กับอัตราส่วนของ amylose และ amylopectin แล้ว ยังขึ้นอยู่กับปัจจัยอื่นๆ เช่น ชนิดของแป้ง โครงสร้างของเม็ดแป้ง ความเข้มข้นของน้ำแป้ง และองค์ประกอบอื่นๆ ที่มีในแป้ง เช่น น้ำตาล โปรตีน ไขมัน เป็นต้น ซึ่งจะมีผลทำให้ความหนืดของน้ำแป้งแตกต่างกัน (39)

จากการศึกษาของ Hamed และคณะ (16) ที่ได้เตรียมแป้งมันเทศจากสายพันธุ์ SP 65 และ SP 266 ที่ปลูกในประเทศสาธารณรัฐอาหรับ (U.A.R.)และวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีเปรียบเทียบกับแป้งสาลี พบว่า แป้งมันเทศมีปริมาณโปรตีน ไขมัน และปริมาณแป้ง (starch) น้อยกว่าแป้งสาลี แต่จะมีปริมาณเถ้า เส้นใย และปริมาณน้ำตาลสูงกว่าแป้งสาลี ดังตารางที่ 6 และพบว่าองค์ประกอบเหล่านี้ใกล้เคียงกับผลการทดลองของ Madamba

ตารางที่ 6 องค์ประกอบทางเคมีของแป้งมันเทศเปรียบเทียบกับแป้งสาลี (16)

องค์ประกอบทางเคมี	แป้งมันเทศ ปริมาณ (% dry basis)	แป้งสาลี* ปริมาณ (% dry basis)
Crude protein	2.30- 3.00	12.20
Total carbohydrate	86.10-94.10	86.10
Ether extract	0.77- 0.81	1.21
Ash	2.79- 2.94	0.49
Crude fiber	2.83- 3.90	0.31
Starch	66.70-70.70	82.40
Reducing sugar	3.80-10.35	0.03
Non-reducing sugar	4.89- 6.53	1.56

* แป้งสาลีที่มี extraction rate 72 %

ที่มา : Hamed และคณะ (1973)

สำหรับแป้งมันเทศพันธุ์ที่ปลูกในประเทศไทยนั้น มีผู้ทำการทดลองวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีไว้เพียงบางสายพันธุ์ เช่น ศิริพร(12) ได้วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของแป้งมันเทศพันธุ์โอกุดที่เตรียมจากหัวมันที่ปอกเปลือก หั่นเป็นชิ้นเล็กๆ อบที่อุณหภูมิ 60 °C นาน 6 ชั่วโมง แล้วจึงบดด้วยเครื่องบด pin mill พบว่ามีองค์ประกอบดังตารางที่ 7

ตารางที่ 7 องค์ประกอบทางเคมีของแป้งมันเทศสายพันธุ์โอกุด (12)

องค์ประกอบทางเคมี	ปริมาณ (% dry basis)
ความชื้น	6.50
โปรตีน	5.11
ไขมัน	0.78
เถ้า	1.72
เส้นใย	1.03
คาร์โบไฮเดรท	91.36

ที่มา : ศิริพร (2532)

สุภารัตน์และคณะ (7) ได้เตรียมแป้งจากมันเทศพันธุ์เกษตรและพันธุ์ไข่ โดยวิธีการ treat ด้วยสารละลายต่างๆ คือ สารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ 0.5 % สารละลายกรดซิตริก 0.05 % และสารละลายฟอสเฟต 0.4 % พบว่าการ treat ด้วยสารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ จะช่วยลดการสูญเสียปริมาณวิตะมินซีในระหว่างการแปรรูปได้ดีที่สุดเมื่อเทียบกับการ treat ด้วยสารเคมีอื่นๆ ดังนั้น การใช้โซเดียมเมตาไบซัลไฟต์นอกจากจะป้องกันการเกิด browning ได้ดีกว่าสารเคมีอื่นแล้ว ในแง่คุณค่าทางโภชนาการก็ยังดีกว่าอีกด้วย

2. สมบัติทั่วไปของแป้งมันเทศ (14,17,18)

องค์ประกอบทางเคมีที่มีผลสำคัญต่อสมบัติของแป้ง คือ องค์ประกอบที่เป็นคาร์โบไฮเดรทซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักและมีปริมาณมากที่สุดในแป้ง คาร์โบไฮเดรทที่สำคัญในแป้ง คือ starch มีสูตรโครงสร้างประกอบด้วย amylose และ amylopectin คุณสมบัติ

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ของ starch จะส่งผลกระทบต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์หลังจากผ่านกระบวนการแปรรูป และลักษณะทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ ดังนี้

2.1 ขนาดและรูปร่างของเม็ดแป้ง (size and shape of granule)

เม็ดแป้งจะมีขนาดและรูปร่างแตกต่างกันตามชนิดของพืช เส้นผ่านศูนย์กลางของเม็ดแป้งมีตั้งแต่ 2 จนถึง 150 ไมครอน จากการศึกษาของ Madamba และคณะ (14) พบว่า เม็ดแป้งมันเทศมีลักษณะเป็นรูปไข่ วงกลม และรูปหลายเหลี่ยม มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเม็ดแป้ง 5-43 ไมครอน

สำหรับแป้งมันเทศพันธุ์พื้นเมือง(โอกุดและกระต่าย) และพันธุ์ที่กรมวิชาการกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ส่งเสริมให้ปลูก (TIS 8250,โนริน 03, พม.พจ.2 และ พม.03-2) ที่ปลูกในประเทศไทย เวชยันต์(17) ได้ศึกษาและพบว่ารูปร่างของเม็ดแป้งมีทั้งที่เป็นรูปไข่ วงกลม และรูปหลายเหลี่ยม แต่ส่วนใหญ่จะเป็นรูปหลายเหลี่ยม ซึ่งสุภารัตน์และคณะ (18) พบว่าเม็ดแป้งมันเทศสายพันธุ์เกษตร มีลักษณะเป็นรูปร่างหลายเหลี่ยม ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 5-25 ไมครอน ซึ่งอยู่ในช่วงเดียวกับผลการทดลองของ Madamba และคณะ (14) และมีขนาดใกล้เคียงกับเม็ดแป้งของข้าวสาลีซึ่งมีขนาด 2-55 ไมครอน (15)

2.2 การพองตัวและการเกิดเจล (swelling and gelatinization)

เมื่อนำแป้งมาละลายในน้ำเย็น เม็ดแป้งจะดูดน้ำเข้าไปและเกิดการพองตัว แต่การพองตัวจะมีขีดจำกัดเนื่องจากแรงที่โมเลกุลเกาะกันมีค่าสูง น้ำเย็นไม่สามารถทำให้โมเลกุลเหล่านั้นแยกตัวออกจากกันได้ เมื่อเพิ่มอุณหภูมิของน้ำแป้งให้สูงขึ้น แรงที่เกาะกันระหว่างโมเลกุลของแป้งจะอ่อนลง เม็ดแป้งจะดูดน้ำได้มากขึ้น และที่อุณหภูมิหนึ่งการดูดน้ำจะเป็นไปอย่างรวดเร็ว พร้อมกับเม็ดแป้งจะพองตัวขึ้นมาก อุณหภูมินี้เรียกว่า gelatinization temperature และเมื่อพองตัวจนเสียลักษณะ birefringence(ลักษณะของเม็ดแป้งที่เห็นเป็นรูปกากบาทเมื่อส่องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์) เม็ดแป้งจะละลายน้ำได้มากขึ้น และความหนืดของสารละลายจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว

Madamba และคณะ (14) พบว่าอุณหภูมิในการเกิดเจลของแป้งมันเทศอยู่ในช่วง 57-75 °C ขณะที่เวชยันต์ได้ศึกษาและพบว่า อุณหภูมิในการเกิดเจลของแป้ง

019740

มันเทศอยู่ในช่วง 68-81 °C ทั้งนี้เนื่องจาก อุณหภูมิการเกิดเจลจะขึ้นกับขนาดเม็ดแป้ง ถ้าขนาดเม็ดแป้งเล็กแนวโน้มที่อุณหภูมิในการเกิดเจลจะสูงขึ้น เนื่องจากการที่เม็ดแป้งมีขนาดเล็กจะทำให้มีแรงยึดเหนี่ยวของผนังเม็ดแป้งแข็งแรงกว่าขนาดใหญ่ จึงทำให้การเกิดเจลเป็นไปได้ยาก ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของเวชยันต์ที่พบว่าเม็ดแป้งมีขนาดเล็กกว่า อุณหภูมิในการเกิดเจลจึงมีแนวโน้มสูงกว่าของ Madamba และคณะ

รูปแบบการพองตัวของแป้งมันเทศส่วนใหญ่เป็นแบบ two stage (14) คือ การพองตัวจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วง 70-80 °C แล้วการพองตัวจะมีอัตราการเพิ่มลดลงหรือมีช่วงพัก (relaxation stage) ในช่วง 80-90 °C แล้วจะกลับเพิ่มขึ้นจนถึง 95 °C (จากการติดตามผลด้วย Brabender viscoamylograph) จากการศึกษาของ Madamba และคณะ การพองตัวจะเป็นแบบ single stage คือ การพองตัวจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วโดยไม่มีช่วงพัก ซึ่งจะแตกต่างกันทั้งนี้เนื่องจากสายพันธุ์และสภาพการเพาะปลูก

2.3 <u>ความหนืดของแป้ง</u>

เวชยันต์ (17) ได้ทำการทดลองศึกษาความหนืดของแป้งมันเทศโดยใช้ Brabender viscoamylograph พบว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิจนถึงอุณหภูมิการเกิดเจล ความหนืดจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจนถึงจุดสูงสุด โดยค่าสูงสุดประมาณ 500-600 B.U. หลังจากนั้นความหนืดจะลดลงในช่วงให้ความร้อน (heating cycle)จนถึง 95 °C เมื่อให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 95°C เป็นเวลา 30 นาที พบว่าความหนืดมีแนวโน้มลดลงอีก และเมื่อลดอุณหภูมิเป็น 50 °C ในช่วง cooling cycle ความหนืดก็จะเพิ่มขึ้น

จาก viscoamylograph ของแป้งมันเทศ พบว่า ความหนืดที่เพิ่มขึ้นในช่วง heating cycle จนถึงจุดสูงสุดของความหนืดเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว พิจารณาได้ว่าแรงยึดเหนี่ยวภายในเม็ดแป้งของมันเทศมีความสม่ำเสมอ ส่วนความหนืดของน้ำแป้งในช่วงหลังจากรักษาอุณหภูมิ 95 °C นาน 30 นาที ลดลง กล่าวได้ว่า เม็ดแป้งมันเทศไม่มีเสถียรภาพที่ดีต่อการกวน นั่นคือ มีการเปลี่ยนแปลงความหนืดลดลงในช่วง heating cycle ขณะกวนมาก

2.4 <u>การคืนตัว</u> (retrogradation)

เมื่อแป้งเปียกเย็นตัว โมเลกุลของ amylose จะจับกันเอง หรือจับกับ

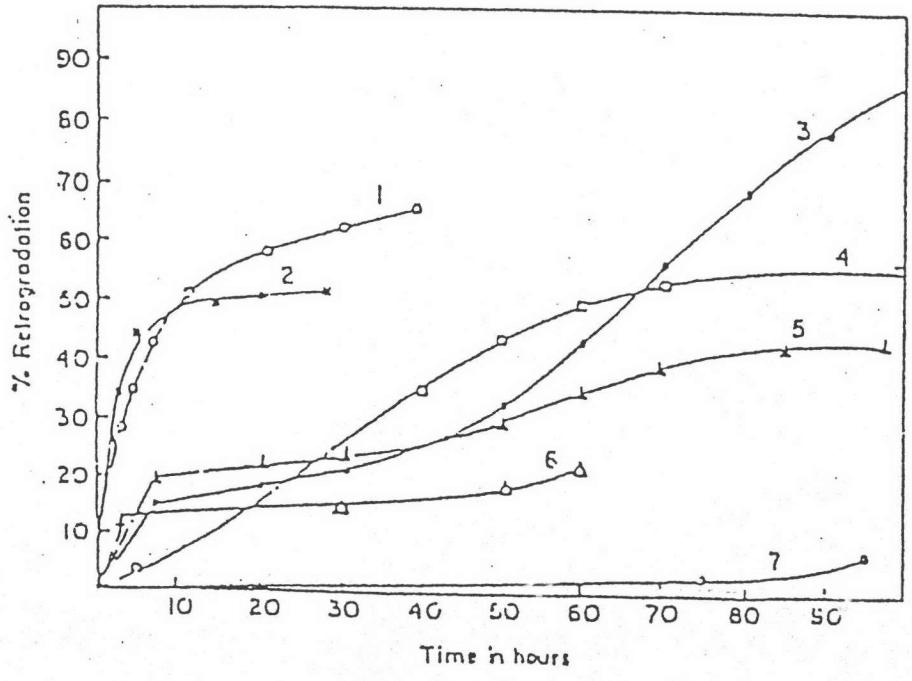
amylopectin บางส่วน การจับตัวกันของโมเลกุลทั้งสองมีผลทำให้น้ำที่เคยจับกันอยู่ก่อนต้องถูกกีดกันออกไป และส่วนที่จับกันมีลักษณะเหมือนผลึก ปรากฏการณ์นี้เรียกว่า "การคืนตัว" แป้งแต่ละชนิดจะมีการคืนตัวในอัตราเร็วต่างกัน แป้งจากธัญพืชคืนตัวได้เร็วกว่าพืชหัว สำหรับแป้งมันเทศพบว่ามีการคืนตัวในอัตราปานกลาง และมีรูปแบบคล้ายแป้งจากธัญพืช แต่ใช้เวลาในการคืนตัวช้ากว่า ดังรูปที่ 1 ซึ่งเป็นผลจากการที่แป้งมีน้ำหนักโมเลกุลของ amylose สูงหรือสูงเกินไป กล่าวคือ มีสายโมเลกุลที่ยาวเกินไป ทำให้การจับตัวของโมเลกุลต้องใช้เวลานานจึงจะจับหมดทั้งโมเลกุล ดังนั้นการคืนตัวจึงเกิดขึ้นช้ากว่าแป้งจากธัญพืช (17)

สำหรับแนวความคิดที่จะนำเอาแป้งมันเทศมาใช้ในผลิตภัณฑ์คุกกี้ ก็เนื่องจากการที่แป้งมันเทศมีสมบัติบางประการใกล้เคียงกับแป้งสาลี ยกเว้นโปรตีนของแป้งมันเทศซึ่งมีปริมาณและชนิดของโปรตีนแตกต่างจากโปรตีนของแป้งสาลี ซึ่งแสดงดังตารางที่ 8 ประกอบกับแป้งที่ใช้ทำคุกกี้ไม่ต้องการโปรตีนจากกลูเตนสูงนัก ดังนั้นจึงน่าที่จะนำแป้งมันเทศมาใช้ทำผลิตภัณฑ์คุกกี้ได้

ตารางที่ 8 สมบัติบางประการของแป้งมันเทศเมื่อเปรียบเทียบกับแป้งสาลี (13,14,15)

สมบัติของแป้ง	แป้งมันเทศ	แป้งสาลี
ขนาดเม็ดแป้ง (ไมครอน)	5-43	2-55
ลักษณะรูปร่างเม็ดแป้ง	ไข่ วงกลม และรูปหลายเหลี่ยม	ไข่ วงกลม
อุณหภูมิการเกิดเจล (°C)	57-75	52-63
ปริมาณ amylose (%)	16-24	17-27
ปริมาณโปรตีน (%)	1.13-5.96	7-9*

* ปริมาณโปรตีนในแป้งสาลีที่เหมาะสมสำหรับทำผลิตภัณฑ์คุกกี้



รูปที่ 1 อัตราการคืนตัวของแป้งชนิดต่างๆ ที่ความเข้มข้นร้อยละ 2

1. แป้งข้าวโพด 2. แป้งสาลี 3. แป้งมันฝรั่ง
4. แป้งมันเทศ 5. แป้ง arrowroot 6. แป้งมันสำปะหลัง
7. แป้ง waxy corn

ผลิตภัณฑ์คุกกี้ (19,20,21)

คุกกี้เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะบาง กรอบ มีสูตรคล้ายเค้กที่มีน้ำน้อย ทำจากแป้ง ไข่ บางครั้งอาจมีการเติมเครื่องเทศ และผลไม้แห้ง มีทั้งชนิดหวานและไม่หวาน ในอเมริกา จะเรียก คุกกี้ ส่วนในอังกฤษ จะเรียก บิสกิต (20)

คุกกี้สามารถแบ่งตามกรรมวิธีการผลิตได้เป็น 4 กลุ่มใหญ่ๆ (21) ดังนี้

1. Deposit cookies ทำจาก dough ที่เกาะตัวกันน้อยมาก โดยใช้เครื่องจักรในการขึ้นรูป กดลงโดยตรงบน oven band เช่น Peanut Butter Cookie, Star Cookie, Spritz Cookie

2. Wire-cut cookies ทำจาก dough ที่ค่อนข้างแข็ง อัดผ่านรูเปิด(die) ของเครื่อง extruder และตัดโดยใช้ oscillating wire เช่น Sugar Cookie, Vanilla Wafer, Brown-edge Wafer

3. Rotary cookies ทำจาก dough ที่มีลักษณะค่อนข้างร่วน อัดผ่านแบบพิมพ์ที่อยู่บนผิวลูกกลิ้ง หลังจากนั้นเอาออกจากแบบพิมพ์แล้วกดลงบน oven belt เช่น Molasses Cookie, Almond Short, Coconut Cookie

4. Cutting cookies นำ dough มารีดให้เป็นแผ่น แล้วตัดให้มีรูปร่างตามต้องการ dough ที่ใช้ต้องมี tensile strengh และ extensibility ที่เหมาะสมในการรีดเป็นแผ่น เช่น Peanut Snap, Milk Cracker, Ginger Snap

คุกกี้ต่างชนิดกันต้องการ dough ที่ต่างกัน โดยปกติ dough ที่ทำจาก soft wheat flour จะรวมตัวเป็นก้อนได้ดี มี tensile strengh ที่ดี และมี elasticity เนื่องจากการเกิดกลูเตน (gluten development) ในขณะที่ dough ที่มี non-wheat flour มาก จะขาด tensile strengh และ elasticity

คุกกี้ที่เหมาะที่จะใช้ non-wheat flour คือ deposit cookies เนื่องจาก dough มีลักษณะที่เกาะตัวกันได้น้อย ไม่จำเป็นต้องมี elasticity และมี gluten development เพียงเล็กน้อย โดยลักษณะของแป้งที่เหมาะสมที่จะทำคุกกี้ชนิดนี้ ควรจะมีโปรตีนอยู่ในช่วง 7.5-8.5% เถ้า 0.38-0.42% ความหนืด 25-45 °M (MacMichael) และมี spread factor (width/thickness) อยู่ในช่วง 8.0-9.5 (22)

ส่วนผสมที่ใช้ในการทำคุกกี้ (15,19,22,23,24,25)

1. แป้ง เป็นองค์ประกอบที่สำคัญในการทำผลิตภัณฑ์คุกกี้ และมีผลโดยตรงต่อลักษณะโครงร่างของผลิตภัณฑ์ โดยจะทำหน้าที่ช่วยให้เกิดโครงสร้างและช่วยอุ้มส่วนผสมอื่น ๆ ได้แก่ เนย น้ำตาล เป็นต้น ปกติแป้งที่ใช้ทำผลิตภัณฑ์คุกกี้ คือ แป้งสาลีชนิดอ่อน (soft wheat flour) ซึ่งจะมีปริมาณโปรตีนอยู่ในช่วง 7.0-10.0% เถ้า 0.4-0.5% pH 4.0-6.0 และ spread factor 5.5-9.5 (21,24)

2. น้ำตาล น้ำตาลที่ใช้ในสูตร จะทำหน้าที่ช่วยเพิ่มรสชาติให้กับผลิตภัณฑ์ โดยเป็นสารให้ความหวาน ช่วยควบคุมความกรอบ (crispness) และลักษณะผิวหน้าของผลิตภัณฑ์ นอกจากนี้ยังช่วยควบคุมการแผ่ขยายของคุกกี้ด้วย การแผ่ขยายของคุกกี้จะขึ้นอยู่กับขนาดของน้ำตาล น้ำตาลเม็ดจะทำให้การแผ่ขยายดีกว่าน้ำตาลบดละเอียด เพราะเมื่อนำเข้าอบ น้ำตาลจะละลายตัวและมีแรงดันที่จะทำให้คุกกี้ขยายตัวได้ดี แต่ถ้าน้ำตาลเม็ดหยาบเกินไป จะทำให้การแผ่ขยายตัวไม่ดีนัก

3. shortening เป็นไขมันที่ผ่านกระบวนการเติมไฮโดรเจน ทำให้มีลักษณะเป็นของแข็งที่อุณหภูมิห้อง มีสีขาว ไม่มีกลิ่นรส ไขมันจะทำให้ผลิตภัณฑ์มีความร่วน ชุ่ม และนุ่ม โดยจะทำหน้าที่เป็นตัวหล่อลื่น (lubricant) ป้องกันไม่ให้เกิดการ develop ของกลูเตนมากเกินไปในช่วงการขึ้นรูป นอกจากนี้ยังช่วยเพิ่มปริมาตรของผลิตภัณฑ์ โดยสามารถกักเก็บอากาศได้เมื่อถูกตีแรงๆ ในระหว่างการผสม ในกรณีที่ต้องการกลิ่นหอม อาจใช้เนยสดหรือมาการีนก็ได้

4. ไข่ จะช่วยให้เกิดโครงสร้างของคุกกี้ ช่วยปรับปรุงสี กลิ่นรส และช่วยเพิ่มคุณค่าทางอาหาร โดยไข่ขาว จะทำให้เกิดโครงสร้างของผลิตภัณฑ์ และเมื่อตีให้ขึ้นฟูจะสามารถกักเก็บอากาศได้ ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้โปร่งฟู ส่วนไข่แดงจะเป็นตัวให้สี กลิ่นรส และความนุ่ม (จากไขมันในไข่แดง) นอกจากนี้ lecithin ในไข่แดงยังทำหน้าที่เป็น emulsifier ช่วยทำให้ส่วนผสมรวมตัวกันได้ดี

5. นม จะช่วยปรับปรุงสีและกลิ่นรสของผลิตภัณฑ์ นอกจากนี้ยังช่วยควบคุมการแผ่ขยายของคุกกี้ อาจใช้ในรูปของนมผงหรือนมสดก็ได้ แต่นิยมใช้นมผงมากกว่าเนื่องจากเก็บรักษาได้ง่ายกว่า และไม่เปลืองเนื้อที่ในการเก็บ

6. สารที่ทำให้เกิดการขึ้นฟู (leavening agent) จะทำหน้าที่ควบคุมการแผ่ขยายหรือขนาดของคุกกี้ ให้มีปริมาตรและการขึ้นฟูเพิ่มขึ้น ที่นิยมใช้ได้แก่

เบคกิ้งโซดา หรือโซเดียมไบคาร์บอเนต เป็นสารเคมีที่เมื่อได้รับความร้อนจะสลายตัวให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกมา ซึ่งก๊าซนี้จะไปดันโครงร่างของผลิตภัณฑ์ทำให้ผลิตภัณฑ์พองฟูขึ้น แต่ข้อเสียของโซดา คือ ถ้าใช้ในปริมาณมากจะมีสารตกค้างอยู่มาก ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีรสเฝื่อน และถ้าสารตกค้างนี้ทำปฏิกิริยา saponification กับไขมันในส่วนผสมของผลิตภัณฑ์ ก็จะทำให้ผลิตภัณฑ์มีลักษณะเป็นสบู่

ผงฟู เป็นส่วนผสมของสารเคมีหลายชนิดรวมกัน ประกอบด้วย โซเดียมไบคาร์บอเนตประมาณ 30% รวมกับเกลือของกรด เช่น โพแทสเซียมไบทาร์เทรต และสตาร์ชข้าวโพดเพื่อไม่ให้ผงฟูเกาะกันเป็นก้อน ผงฟูแบ่งออกเป็น 2 แบบ คือ แบบเกิดปฏิกิริยาเร็ว หรือเกิดปฏิกิริยาครั้งเดียว จะเกิดก๊าซอย่างรวดเร็วในขณะผสม ถ้าทิ้งส่วนผสมไว้นาน ก๊าซอาจจะหนีออกจากส่วนผสมก่อนที่จะนำเข้าอบ มีผลทำให้ผลิตภัณฑ์ขึ้นฟูไม่ดีนัก ส่วนผงฟูแบบที่ 2 คือ แบบเกิดปฏิกิริยาช้า หรือ เกิดปฏิกิริยาสองครั้ง จะมีก๊าซเกิดขึ้นสองครั้ง ครั้งแรกในขณะผสม และอีกครั้งในขณะอบ จะทำให้ผลิตภัณฑ์ขึ้นฟูดีกว่า จึงนิยมใช้มากกว่า

แอมโมเนีย ได้แก่ แอมโมเนียมคาร์บอเนต หรือ แอมโมเนียมไบคาร์บอเนต การใช้แอมโมเนียมีข้อดี คือ แอมโมเนียจะแตกตัวหมดในระหว่างการอบ ให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ แอมโมเนีย และไอน้ำ ซึ่งจะระเหยออกไปโดยไม่เหลือสารตกค้างที่เป็นของแข็งอยู่ในผลิตภัณฑ์ แต่ข้อเสีย คือ มีการใช้ค่อนข้างจำกัด เพราะอาจมีกลิ่นของแอมโมเนียตกค้างอยู่ในผลิตภัณฑ์ที่อบออกมาขณะที่ยังร้อนอยู่ ทำให้ผลิตภัณฑ์มีกลิ่นรสไม่ดี

7. emulsifier เป็น surface-active agent ซึ่งทำหน้าที่ลดแรงตึงผิวระหว่างน้ำกับน้ำมัน ช่วยให้ emulsion คงตัว ช่วยปรับปรุงเนื้อสัมผัส เนื่องจากปฏิกิริยาระหว่างสตาร์ชและโปรตีน และช่วยไม่ให้เกิดการตกผลึกของไขมันในผลิตภัณฑ์ emulsifier ที่นิยมใช้ในคุกกี้ ได้แก่ lecithin mono & diglyceride เป็นต้น

8. สารให้กลิ่นรส (flavor) จะช่วยเพิ่มกลิ่นรสให้กับผลิตภัณฑ์ สารให้กลิ่นรสมีทั้งชนิดที่เป็นสารสกัดจากธรรมชาติ และสารสังเคราะห์ มักจะอยู่ในรูปของน้ำมันหอมระเหย

มีกลิ่นคล้ายธรรมชาติ และมีราคาถูกกว่าสารสกัดจากธรรมชาติ ในขณะอบสารให้กลิ่นรสส่วนใหญ่จะระเหยไป จึงนิยมเติมสารให้กลิ่นรสไปพร้อมกับไขมันในขั้นตอนการตีครีม สารให้กลิ่นรสจะถูกดูดซึมกระจายได้ดีและไม่ระเหยง่าย

ขั้นตอนการผลิตคุกกี้ (15,26)

ขั้นตอนที่ใช้ในการผลิตคุกกี้โดยทั่วไปมีขั้นตอนดังนี้

1. การผสม มี 2 วิธี

1.1 creaming method เป็นวิธีที่นิยมใช้มาก โดยตีเนยหรือไขมันกับน้ำตาล (รวมทั้งน้ำเชื่อมและสารให้รสหวานอื่นๆ) ให้เข้ากัน จนกระทั่งส่วนผสมฟูตัวและเรียบเนียน เติมสีและกลิ่นตามต้องการ ตีให้เข้ากัน แล้วจึงเติมส่วนผสมที่เหลือรวมทั้งแป้ง ผสมให้เข้ากันเป็น dough แล้วนำไปขึ้นรูปตามต้องการ

1.2 all-in method โดยผสมส่วนผสมส่วนใหญ่ ยกเว้นสารที่ทำให้ขึ้นฟูเกลือ ต้องละลายในน้ำบางส่วน สีและกลิ่นรสเติมขณะผสมส่วนผสมจนเรียบเนียน วิธีนี้ dough ที่ได้จะมีลักษณะแน่น และเหนียวกว่าวิธีแรก จากนั้นนำไปทำให้เป็นรูปร่างตามต้องการ

creaming method จะมีข้อดีกว่า all-in-method คือ dough ที่ได้จะแน่น และเหนียวน้อยกว่า ดังนั้น จึงเลือกวิธี creaming มาใช้ในงานวิจัยนี้

2. การอบ อุณหภูมิที่เหมาะสมในการอบอยู่ในช่วง 350-400 °F ความร้อนจะทำให้ผลิตภัณฑ์เกิดการเปลี่ยนแปลงดังนี้

2.1 ระยะแรกของการอบ เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ไขมันจะเริ่มละลายตัว น้ำตาลและสารเคมีอื่นๆ จะละลาย ทำให้ผลิตภัณฑ์นิ่มและเหลว มีก๊าซเกิดขึ้นจากปฏิกิริยาของสารเคมีประเภทผงฟู เมื่อได้รับความร้อนก็จะขยายตัว ดันโครงร่างของผลิตภัณฑ์ให้มีปริมาตรเพิ่มขึ้น

2.2 ระยะกลางของการอบ ความร้อนในระยะนี้ จะทำให้ผลิตภัณฑ์ร้อนใกล้ถึงจุดเดือดของน้ำ (100°C) ทำให้โปรตีนจับตัวกันเป็นโครงร่าง รวมทั้ง starch ที่มีอยู่จะเกิดเจลบางส่วน (เนื่องจากในส่วนผสมมีน้ำอยู่น้อยมาก starch จึงอุ้มน้ำได้ไม่มาก) กลายเป็นโครงร่างที่แข็งแรงของผลิตภัณฑ์ ส่วนน้ำที่เหลืออยู่ก็จะระเหยกลายเป็นไอดันขนมให้มีปริมาตรมากขึ้น

2.3 ระยะสุดท้ายของการอบ ผลิตภัณฑ์จะมีความร้อนเพิ่มขึ้น ลักษณะโครงร่างจะคงที่ เนื่องจากโปรตีนและ starch จะเปลี่ยนสภาพสมบูรณ์ แต่ยังมีความยืดหยุ่นจากไขมันอยู่บ้าง และน้ำตาลในองค์ประกอบยังคงมีสภาพเหลวแม้อุณหภูมิจะสูงขึ้น ขณะเดียวกัน จะเกิดสีน้ำตาลที่บริเวณผิวนอก เนื่องจาก caramelization ของน้ำตาลเมื่อได้รับความร้อน

การใช้ non-wheat flour ในผลิตภัณฑ์คุกกี้

ปัญหาหลักที่พบ คือ non-wheat flour จะไม่มีโปรตีนที่ทำให้เกิดกลูเตน ซึ่งสามารถนวดผสมแล้วให้ texture และ flavor ที่เฉพาะของผลิตภัณฑ์ (31) ในการศึกษาการใช้ non-wheat flour ในผลิตภัณฑ์ขนมอบระยะแรก จึงพยายามที่จะใช้แป้งสาลีผสมกับส่วนผสมอื่นที่ไม่ใช่ข้าวสาลี (non-wheat) เรียกว่า composite flour เช่น การใช้แป้งมันเทศผสมกับแป้งสาลีในผลิตภัณฑ์ขนมอบหลายชนิด เช่น ขนมปัง เค้ก คุกกี้ โดนัท และเพสตรี เป็นต้น (9,11,16,27,28,29,30) พบว่า สามารถใช้แป้งมันเทศทดแทนแป้งสาลีในผลิตภัณฑ์ขนมปังได้ไม่เกิน 20% ส่วนในเค้กและคุกกี้ สามารถเติมได้ในปริมาณที่สูงกว่านี้ ดังนั้น การใช้ composite flour โดยเฉพาะอย่างยิ่งในผลิตภัณฑ์ขนมปัง จึงต้องใช้แป้งสาลีอย่างน้อย 70% ผสมกับ non-wheat flour แต่เทคโนโลยีนี้ก็ไม่เป็นที่นิยมในประเทศที่กำลังพัฒนา เนื่องจากการนำเข้าข้าวสาลีจะมีราคาถูกกว่าการใช้พืชหัวหรือธัญพืชพื้นเมือง

ได้มีความพยายามที่จะผลิตขนมปังจากส่วนผสมที่ไม่มีกลูเตน เช่น แป้งจากพืชหัวและแป้งจากธัญพืชอื่นที่ไม่ใช้ข้าวสาลี แต่ยังต้องสั่งเข้าวัตถุดิบชนิดอื่นที่มีราคาแพง เช่น emulsifiers, pentosans รวมทั้ง vital wheat gluten ซึ่งเป็นกลูเตนที่แยกออกมาจากข้าวสาลีและผ่านการทำแห้ง และยังคงคุณสมบัติของกลูเตนในการอุ้มน้ำและให้ความยืดหยุ่นที่ดีเหมือนกลูเตนของข้าวสาลีเดิม(31)

นักวิจัยของ FAO (31) ได้ประสบความสำเร็จในการใช้ xanthan gum แทนกลูเตน พบว่าขนมปังที่ได้ จะมีอายุการเก็บนานกว่าขนมปังจากแป้งสาลี แต่ gum นี้ จะผลิตได้ในประเทศที่พัฒนาแล้ว และมีราคาแพง จึงได้พัฒนาเทคโนโลยีใหม่ที่กำจัดปัญหาเรื่องกลูเตนออกไป และเป็นเทคโนโลยีที่ง่ายและมีราคาถูก โดยมีกระบวนการโดยย่อดังนี้