หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

วารสารปริทัศน์

2.1 ที่มา

มันฝรั่งมีชื่อสามัญว่า POTATO หรือ IRISH POTATO มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า Solarum tuberosum ถิ่นกำเนิดเดิมอยู่ในทวีปอเมริกาใต้แถบประเทศโคลัมเบีย ชิลี เปรู โบลิเวีย ฯลฯ การนำเข้ามาปลูกในประเทศไทยครั้งแรกโดย จีนฮ่อ ซึ่งอาศัยตามเทือกเขาชายแดน จังหวัดเชียงใหม่ และเชียงราย โดยเรียกมันฝรั่งว่าอาลู ต่อมามีการนำสิ่งหัวพันธุ์จากต่างประเทศเข้ามาปลูกทดแทนพันธุ์เดิมหลายพันธุ์ด้วยกัน ได้แก่ บินท์เจ สปุนต้า เคนนีเบค ฯลฯ (7)

2.2 ลักษณะทั่วไปของมันฝรั่ง

มันฝรั่งเป็นพืชล้มลุกที่ชอบอากาศหนาวเย็น อุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตอยู่ระหว่าง 15-20° ซ มีลักษณะลำต้นเป็นกิ่งตั้งตรงยาวประมาณ 1-2 ฟุต ใบเป็นแบบใบประกอบ (compound leaf) ประกอบด้วยใบยอด (terminal leaf) และใบย่อย (leaf let) ลักษณะรูปรีปลายแหลม 2-4 คู่ ดอกมีกลีบดอก 5 กลีบ ประกอบด้วยเกสรตัวผู้ 5 อัน เกสรตัวเมีย 1 อัน สีของดอกขึ้นอยู่กับพันธุ์ หัวมันฝรั่งซึ่งเกิดจากลำต้นใต้ดินที่เรียกว่า Stolon ตอนปลายขยายใหญ่เพื่อสร้างหัว หัวมันฝรั่งเป็น modified stem ที่ผิวของหัวมันฝรั่งมี lenticels สำหรับถ่ายเทอากาศ lenticels นี้จะขยายใหญ่เมื่อได้รับความชื้นซึ่งอาจเป็นเหตุให้เชื้อโรคในดินเข้าสู่ภายในหัวได้ง่าย มันฝรั่งมีตา (eyes) แต่ละตาอาจจะแตกหน่อ (bud) และเจริญเติบโตเป็นต้นต่อไป มันฝรั่งต้นหนึ่งจะให้หัวเฉลี่ย 6-10 หัว ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับพันธุ์ ความอุดมสมบูรณ์ของดิน ปุ๋ย และอากาศ ผิวของหัวมันฝรั่งเมื่อได้รับแสงแดงมากเกินไปจะกลายเป็นสีเขียวอันเป็นจากการสร้างคลอโรฟิลล์ (7)

2.3 การปลูกมันฝรั่ง

เนื้อที่ปลูกมันฝรั่งในประเทศไทยเกือบทั้งหมดอยู่ในเขตจังหวัดเชียงใหม่ ซึ่งมีแหล่งผลิตส่วนใหญ่ ได้แก่ อำเภอสันทราย อำเภอแม่แตง อำเภอฝาง อำเภอจอมทอง จังหวัดอื่น ๆ ที่มีการปลูกบ้างเล็กน้อย เช่น แม่ฮ่องสอน สกลนคร นครสวรรค์ เป็นต้น (8)

2.3.1 พันธุ์ที่ใช้ปลูก

ปัจจุบันมันฝรั่งพันธุ์พื้นเมืองที่ชาวเขานำมาปลูกเมื่อแรกเริ่มนั้นไม่นิยมปลูกแล้ว ทั้งนี้เพราะให้ผลผลิตต่ำ ขนาดของหัวเล็ก ไม่สม่ำเสมอ เนื้อในมีสีค่อนข้างขาว เปลือกหนา รสขื่น ไม่ทนทานต่อความแห้งแล้ง และโรคทั่วไป ส่วนพันธุ์ที่นิยมปลูกนั้นต้องสั่งซื้อหัวพันธุ์จากต่างประเทศเข้ามาปลูกทุกปี เพราะประเทศไทยยังไม่มีอุปกรณ์หรือโรงเรือนในการเก็บรักษาพันธุ์ตลอดจนขาดเทคนิคการเก็บรักษาซึ่งมีกรรมวิธียุ่งยากตั้งแต่การอาบน้ำยาป้องกันโรคก่อนเข้าโรงเก็บ การควบคุมอุณหภูมิและความชื้นที่ให้ผลต่อการชงักการเจริญเติบโตของมันฝรั่ง หากทำการเก็บรักษาหัวพันธุ์ไว้ในอุณหภูมิปกติ มันฝรั่งจะเริ่มงอกในเดือนที่ 3 หัวพันธุ์ที่สั่งซื้อจากต่างประเทศได้แก่ (8)

2.3.1.1 พันธุ์สปุนต้า เป็นพันธุ์จากเนเธอร์แลนด์ ลักษณะหัวมันฝรั่งเป็นหัวยาว เนื้อสีเหลืองอ่อน ทนทานต่อความแห้งแล้งและโรคได้ดี ยกเว้นโรคใบไหม้ เจริญเติบโตเร็ว ทรงต้นสูง แข็งแรง ใบสีเขียวแก่ค่อนข้างเล็ก ดอกมีสีขาว มีคุณภาพในการเก็บรักษาปานกลาง ให้ผลผลิต 5.5 ตันต่อไร่ (8)

2.3.1.2 พันธุ์เคนนีเบค เป็นพันธุ์จากสหรัฐอเมริกา ลักษณะหัวมันฝรั่งกลมรี เนื้อสีขาว นำเข้าโดยบริษัทโภชนาอุตสาหกรรมจำกัด ให้เกษตรกรอำเภอฝางทำการเพาะปลูก เจริญเติบโตเร็ว ทรงพุ่มแข็งแรง ใบใหญ่ ให้ผลผลิต 3.7 ตันต่อไร่ (8)

2.3.1.3 พันธุ์บินท์เจ เป็นพันธุ์จากเนเธอร์แลนด์ ลักษณะหัวมันฝรั่งค่อนข้างใหญ่ รูปไข่ยาวรี ขนาดของหัวสม่ำเสมอ เปลือกหนาแต่เรียบและมีสีน้ำตาลจาง ๆ ตาตื้น เนื้อมันมีสีเหลืองอ่อน ต้นเจริญเติบโตเร็วมาก แข็งแรง ใบมีสีเขียวเข้ม ทรงพุ่มจะซ่อนลำต้นไว้ จะมองเห็นลำต้นเฉพาะส่วนยอดของต้นเท่านั้น ดอกจะมีสีขาว (7) มีความต้านทานโรคต่ำโดยเฉพาะโรคใบไหม้และโรคเน่าแห้ง ทำให้ไม่สามารถเก็บรักษาผลผลิตได้นาน ให้ผลผลิตต่ำปัจจุบันไม่นิยมปลูก

2.3.2 ฤดูกาลปลูกมันฝรั่ง

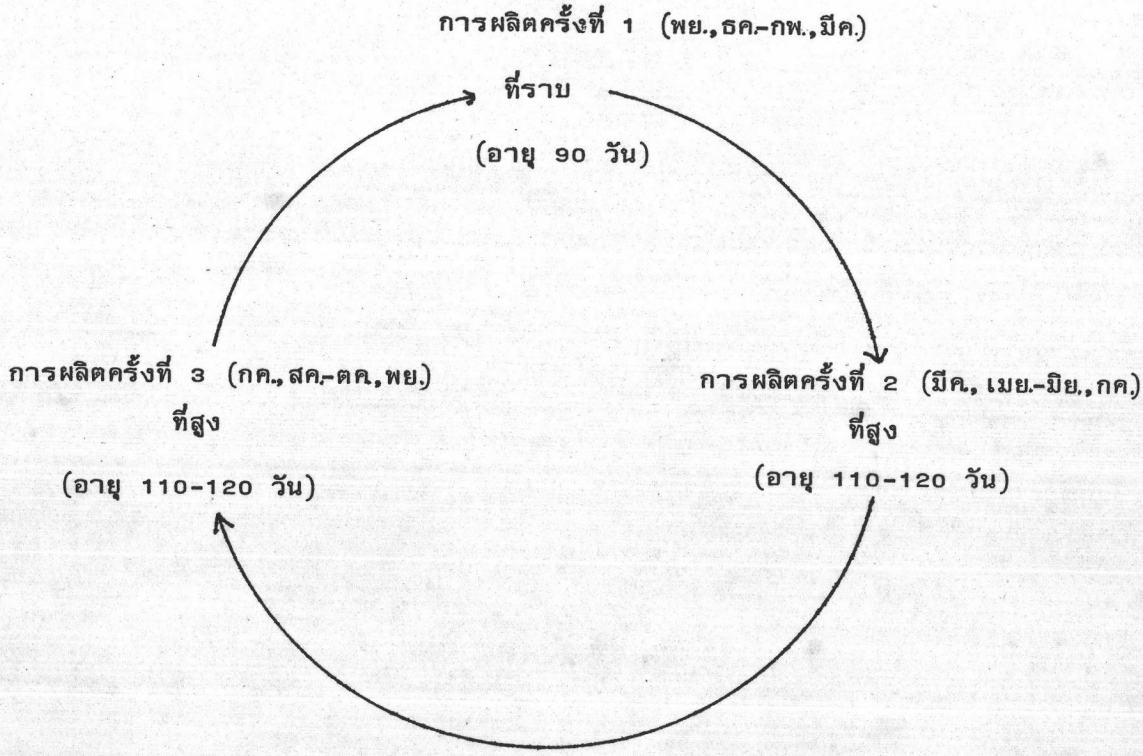
เกษตรกร เริ่มปลูกมันฝรั่งครั้งแรกบนที่ราบใน เดือนพฤศจิกายน-ธันวาคม และ เก็บ เกี่ยวผลผลิตได้ประมาณเดือนกุมภาพันธ์-มีนาคม ฤดูปลูกระยะนี้ เหมาะสมมาก เพราะอากาศ เอื้ออำนวย การปลูกครั้งที่สองและสามมักปลูกบนดอย เนื่องจากอากาศ เย็น เป็น เวลายาวนานปลูกได้ตลอดปี แต่ให้ผลผลิตต่อไร่ต่ำกว่าการ เพาะปลูกในพื้นที่ราบ เริ่มปลูก ประมาณเดือนมีนาคมใช้พันธุ์จากการปลูกครั้งแรก ระยะ เวลา เก็บ เกี่ยว 110-120 วัน เก็บ เกี่ยวได้ เดือนกรกฎาคม การปลูกครั้งที่สาม เริ่มประมาณเดือนสิงหาคมโดยใช้พันธุ์จากการ ปลูกครั้งที่สอง เก็บ เกี่ยวได้ใน เดือนพฤศจิกายน ลักษณะวงจรการผลิตมันฝรั่งได้แสดงราย ละ เอียดในรูปที่ 1, 2 และ 3 ซึ่งจะ เห็นได้ว่าสามารถปลูกมันฝรั่งได้ตลอดปี จากการสำรวจ ของกรมส่ง เสริมการ เกษตร พบว่าพื้นที่ เพาะปลูกมันฝรั่ง และผลผลิตโดย เฉลี่ยมีแนวโน้ม เพิ่มขึ้นทุกปีตั้งแต่ ปี พ.ศ. 2520 ถึง พ.ศ. 2525 รายละ เอียดแสดงไว้ในตารางที่ 2 (8)

2.3.3 การ เลือกพื้นที่ปลูกมันฝรั่ง

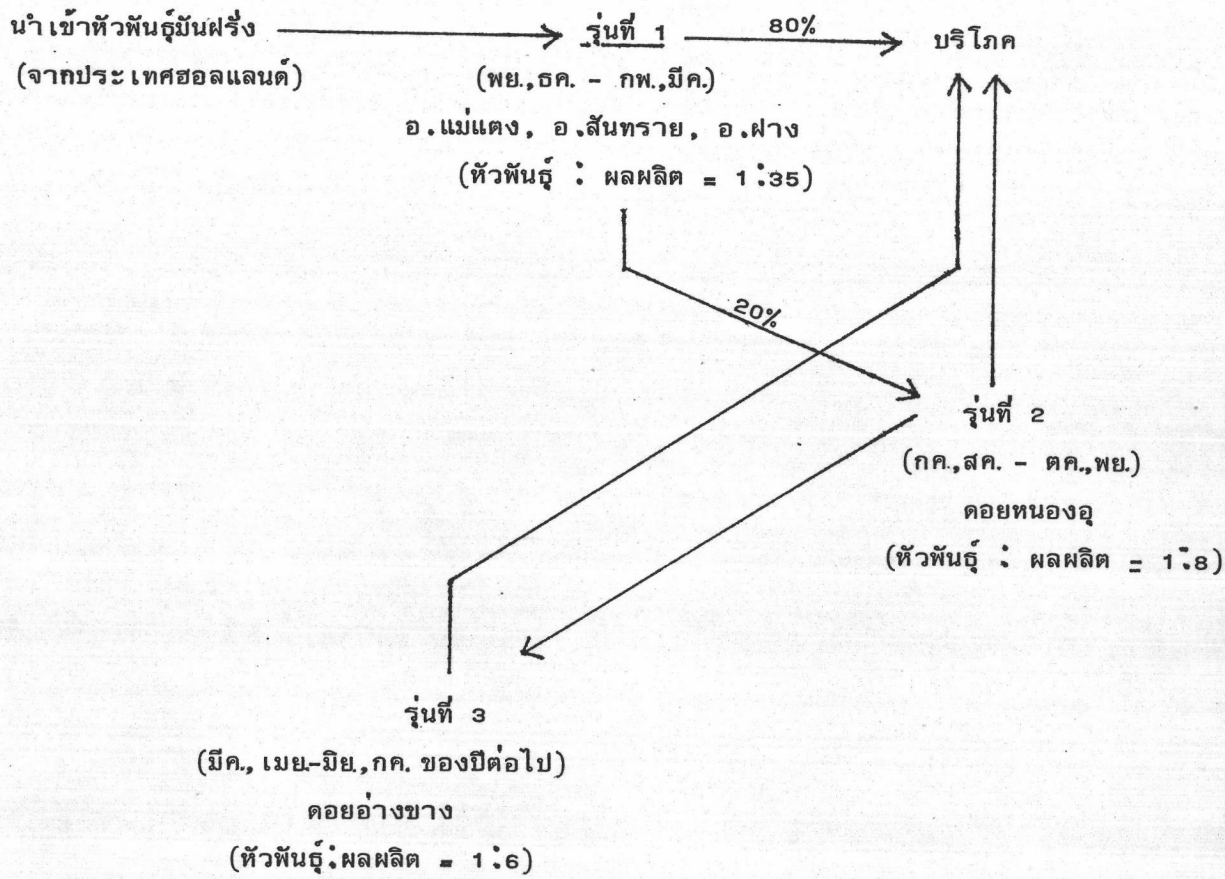
โดยทั่วไปมันฝรั่งปลูกขึ้นได้ดีในพื้นที่ที่มีดินร่วนสามารถระบายน้ำได้ดี เพราะสภาพดินร่วนสามารถช่วยให้มันฝรั่งแทงหัวได้มาก ดินส่วนใหญ่บนที่สูงจึงค่อนข้าง เหมาะ ในการปลูกมันฝรั่ง แต่พื้นดินบางแห่งก็สามารถปลูกได้ดี การ เตรียมดินสำหรับปลูกมันฝรั่ง เป็นขั้นตอนที่สำคัญมาก เนื่องจากมันฝรั่ง เป็นพืชหัว ผลผลิตอยู่ใต้ดิน หาก เตรียมดินไม่ดี ผลผลิตมันฝรั่งก็จะได้ไม่ดี การ เตรียมดินปลูกมันฝรั่งควรจะให้ลึกลงไปประมาณ 50 เซนติ เมตร และควรตากแดดไว้ 1-2 สัปดาห์ การไถดินควรทำซ้ำ 2-3 ครั้ง เมื่อตากดินแห้งดีแล้วจึงจะ พรวนดินให้ละ เอียดแล้วจึงยกแปลงปลูก (7)

2.3.4 การ เตรียมพันธุ์ปลูก

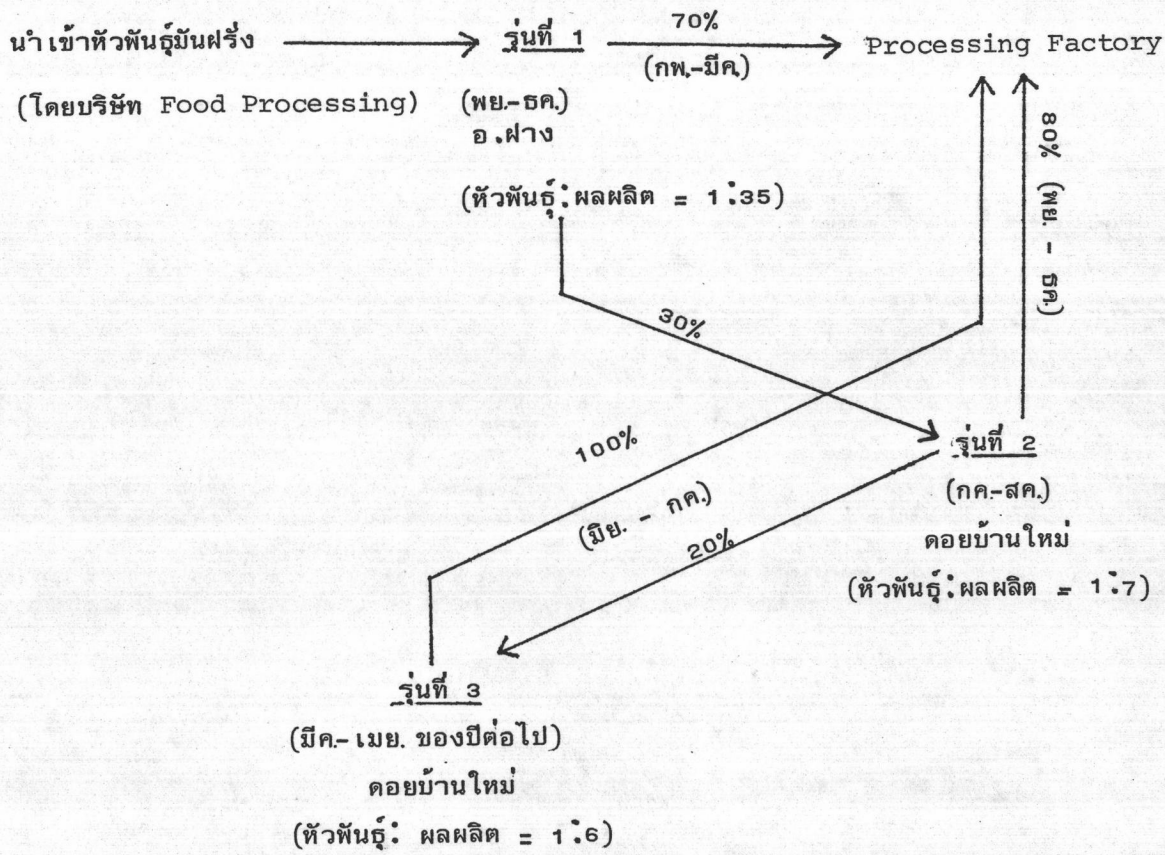
หัวมันฝรั่งที่ส่ง เข้ามาจากต่างประ เทศสามารถนำมาปลูกได้ทันที เนื่องจาก หัวพันธุ์ได้ผ่านระยะพักตัว (dormancy period) มาแล้ว หัวพันธุ์จะมีตาที่แตกงอกแล้ว ปกติระยะพักตัวของมันฝรั่งจะนานประมาณ 8-12 สัปดาห์ ความยาวนานของระยะพักตัวขึ้นกับ



รูปที่ 1 วงจรการผลิตมันฝรั่ง (8)



รูปที่ 2 การผลิตมันฝรั่งพันธุ์สปุนต้า (8)



รูปที่ 3 การผลิตมันฝรั่งพันธุ์เคนนีเบค (8)

ตารางที่ 2 แสดงพื้นที่เพาะปลูกและผลผลิตมันฝรั่ง (8)

ปีเพาะปลูก (พ.ศ.)	พื้นที่เพาะปลูก (ไร่)	พื้นที่เก็บเกี่ยว (ไร่)	ผลผลิต (ตัน)	ผลผลิตต่อไร่ (กก./ไร่)
2520/21	3,336	3,305	5,547	1,679
2521/22	2,494	2,454	4,072	1,659
2522/23	4,408	4,408	6,300	1,429
2523/24	7,207	7,129	8,857	1,242
2524/25	8,565	8,529	13,633	1,598

2.3.4.1 พันธุ์

2.3.4.2 อายุของหัวเมื่อเก็บเกี่ยว หัวมันฝรั่งที่ยังไม่แก่เต็มที่จะมีระยะพักตัวนานกว่าหัวที่แก่จัด

2.3.4.3 อุณหภูมิขณะเจริญเติบโต มันฝรั่งที่ปลูกในแหล่งที่มีอากาศร้อนจะมีระยะพักตัวสั้นกว่ามันฝรั่งที่ปลูกในแหล่งที่เย็นกว่า

2.3.4.4 การเก็บรักษามันฝรั่ง ถ้าเก็บมันฝรั่งในที่มีอุณหภูมิสูงจะทำให้มีระยะพักตัวสั้น

2.3.4.5 การกระทบกระเทือนของหัวพันธุ์ หัวมันฝรั่งที่มีบาดแผลเนื่องจากการเก็บเกี่ยว การขนส่งจะทำให้มันฝรั่งงอกเร็วกว่าหัวที่มีสภาพดีปกติ

หัวมันฝรั่งที่ใช้ทำพันธุ์ควรได้รับการคัดเลือกให้มีขนาดพอเหมาะ แต่ละหัวควรมีหน่อแตกงอกออกมายาวพอสมควร เมื่อนำไปปลูกสามารถเจริญเติบโตได้อย่างรวดเร็ว (7)

2.3.5 วิธีการปลูก

เกษตรกรในประเทศไทยนิยมปลูกทั้งวิธีผ่าหัวและไม่ผ่าหัว การผ่าหัวโดยทั่ว ๆ ไปก็เพื่อต้องการประหยัดหัวพันธุ์และกระตุ้นให้ตามันฝรั่งงอกเร็วขึ้น แต่ให้ผลผลิตต่ำกว่าการปลูกทั้งหัวเล็กน้อย ในด้านความแข็งแรงและการเจริญเติบโต การปลูกทั้งหัวดีกว่ามาก ทั้งนี้เนื่องจากหัวมีอาหารสะสมที่จะช่วยเร่งการเจริญเติบโตได้ดีกว่า นอกจากนี้หัวมันฝรั่งที่ถูกผ่านั้นเกิดโรคได้ง่าย การผ่าหัวควรทำด้วยความระมัดระวังอย่าให้แผลที่เกิดจากการผ่าช้ำ การผ่าจะผ่าออกที่ชิ้นขึ้นกับตาบนหัวมันฝรั่ง แต่ชิ้นที่ผ่าควรมีตาติดอยู่อย่างน้อย 1 ตา เสร็จแล้วนำชิ้นส่วนที่ผ่าไปวางเรียงในที่ร่มกลบด้วยขี้เถ้าแกลบบาง ๆ ประมาณ 10-15 วัน เมื่อตาแตกหน่อแล้วจึงนำไปปลูก (7)

2.3.6 การเก็บเกี่ยว

การเก็บเกี่ยวผลผลิตเป็นขั้นตอนสำคัญ ซึ่งจะกระทำได้เมื่อได้กำหนดระยะเวลาอายุการปลูกของมันฝรั่งซึ่งขึ้นกับพันธุ์ของมันฝรั่งด้วย แต่โดยทั่วไปจะมีอายุประมาณ

110-120 วัน เมื่อมันฝรั่งเริ่มจะโตเต็มที่หรือแก่ได้ที่ จะสังเกตได้จากลำต้นของมันฝรั่งจะเริ่มล้มลงเอนทาบไปกับดิน ลำต้นและใบมีสีเหลืองและจะค่อย ๆ เปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล มีอาการเริ่มแห้งในที่สุด เมื่อถึงระยะนี้แล้วควรจะขุดหัวมันฝรั่งได้ การขุดหัวมันฝรั่งนั้นต้องทำด้วยความระมัดระวัง ไม่ทำให้หัวมันฝรั่งเกิดการเสียหายได้ หากเกิดบาดแผลแล้วจะทำให้เก็บไว้ไม่ได้นานจะเกิดการเน่าเสียก่อน (7)

เมื่อทำการเก็บเกี่ยวมันฝรั่งแล้วควรทำการตัดหัวมันฝรั่งที่เสียออกจากมันฝรั่งที่ดี มันฝรั่งที่เก็บเกี่ยวได้แบ่งออกได้ 3 ขนาด คือ ขนาดใหญ่น้ำหนัก 250 กรัมขึ้นไป ขนาดกลาง 150-250 กรัม ขนาดเล็กต่ำกว่า 150 กรัม

2.4 ต้นทุนการผลิต วิถีการตลาดและราคา

2.4.1 ต้นทุนการผลิต

ในการคิดต้นทุนการผลิตตามตารางที่ 3 และ 4 พบว่าเกษตรกรเสียค่าใช้จ่ายส่วนใหญ่ในเรื่องหัวพันธุ์มันฝรั่ง ประมาณ 30-40% ของต้นทุนการผลิตทั้งหมด ส่วนค่าใช้จ่ายด้านแรงงาน ได้แก่ ค่าจ้างขุดและขนย้ายผลผลิต ค่าพูนโคนและเอาหญ้า ค่าจ้างยาฆ่าแมลง ฯลฯ มันฝรั่งพันธุ์สปุนต้าและเคนนีเบคมีต้นทุนเฉลี่ยต่อไร่ใกล้เคียงกัน คือ พันธ์สปุนต้า 4,766 บาทต่อไร่ ส่วนพันธุ์เคนนีเบค 4,473 บาทต่อไร่ หากเปรียบเทียบกับปริมาณผลผลิตต่อไร่จะได้ต้นทุนเฉลี่ยต่อกิโลกรัมประมาณ 1.81-2.06 บาท ทั้งพันธุ์สปุนต้าและพันธุ์เคนนีเบคตามตารางที่ 5 (9)

2.4.2 วิถีการตลาด

ระบบการตลาดมันฝรั่งมีลักษณะเช่นเดียวกับพืชชนิดอื่น ๆ คือ พ่อค้าคนกลางระดับต่าง ๆ จะเข้ามามีบทบาทในหน้าที่การตลาดแทบทั้งสิ้น ตั้งแต่การรับซื้อผลผลิตโดยตรงจากเกษตรกร การคัดเกรด การบรรจุหีบห่อ การจำหน่าย ซึ่งมีขั้นตอนดังปรากฏในรูปที่ 4 กล่าวคือ เกษตรกรจำหน่ายผลผลิตให้แก่พ่อค้าท้องถิ่นหรือตัวแทนรับซื้อ พ่อค้าท้องถิ่นจะรวบรวมผลผลิตที่ได้จากเกษตรกรแล้วจำหน่ายต่อให้พ่อค้าในจังหวัด พ่อค้าในจังหวัดจะจำหน่ายต่อให้พ่อค้าส่งในกรุงเทพฯ

ตารางที่ 3 ต้นทุนการผลิตต่อไร่ของมันฝรั่งพันธุ์สปุนต้า (ปีการเพาะปลูก 2525/26) (9)

ขั้นตอนการปลูก	ต้นทุนการผลิตต่อไร่ (บาท/ไร่)		
	อ.สันทราย	อ.แม่แตง	อ.ฝาง
1) ค่าใช้จ่ายติดต่อซื้อพันธุ์	6.31	20.00	17.95
2) ค่าพันธุ์	1,452.57	2,148.53	1,458.91
3) ค่าผ่าหัว	45.89	46.51	28.30
4) ค่าเพาะเชื้อพันธุ์	28.03	38.91	23.08
5) ค่าไถ-พรวนแปลงปลูก	199.82	273.93	226.76
6) ค่ายกแปลงปลูก	201.28	207.48	211.48
7) ค่าขุดหลุมปลูก	80.40	89.76	74.67
8) ค่าปลูก	107.04	102.24	115.13
9) ค่าพูนโคนและเอาหญ้า	316.93	245.28	237.85
10) ค่าปุ๋ย	966.68	733.12	1,430.13
11) ค่าแรงงานใส่ปุ๋ย	126.20	87.70	174.00
12) ค่าแรงงานให้น้ำ	236.00	228.18	139.58
13) ค่ายาป้องกันโรคและแมลง	219.54	207.88	150.32
14) ค่าแรงงานฉีดยา	121.80	121.00	64.98
15) ค่าขุดหัวและขนย้าย	415.38	414.21	413.11
รวม	4,523.93	4,958.79	4,766.25

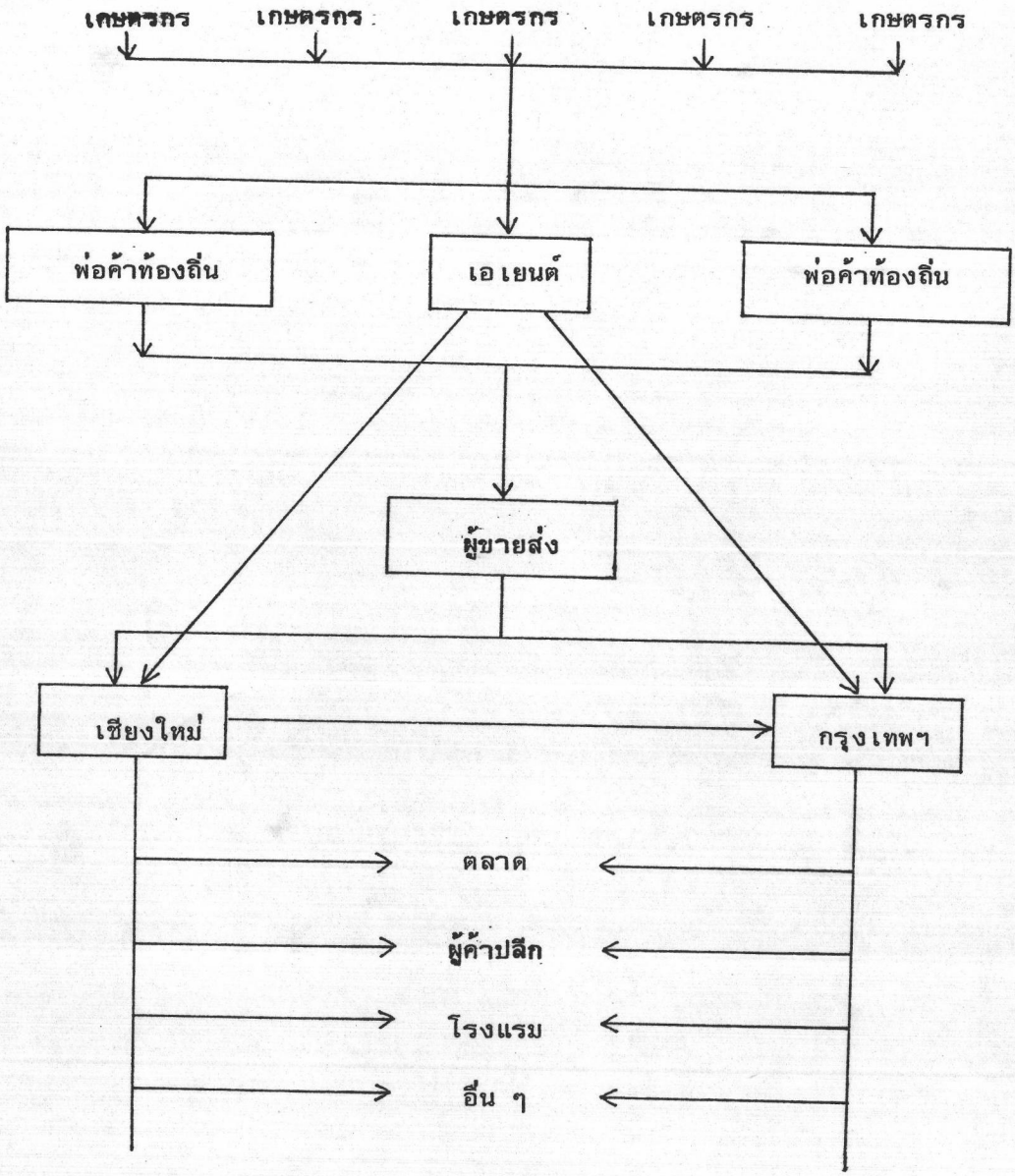
ตารางที่ 4 ต้นทุนการผลิตต่อไร่ของมันฝรั่งพันธ์เคนนีเบค ในอำเภอฝาง (ปีการเพาะปลูก 2525/26) (9)

ขั้นตอนการปลูก	ต้นทุนการผลิตต่อไร่ (บาท/ไร่)
1) ค่าพันธุ์	1,353.51
2) ค่าผ่าหัว	43.19
3) ค่าเพาะเชื้อพันธุ์	19.78
4) ค่าไถ-พรวนแปลงปลูก	222.00
5) ค่ายกแปลงปลูก	209.68
6) ค่าขุดหลุมปลูก	65.84
7) ค่าปลูก	83.14
8) ค่าพูนโคนและเอาหญ้า	255.43
9) ค่าปุ๋ย	1,420.38
10) ค่าแรงงานใส่ปุ๋ย	97.56
11) ค่าแรงงานให้น้ำ	128.75
12) ค่ายาป้องกันโรคและแมลง	148.36
13) ค่าแรงงานฉีดยา	67.39
14) ค่าขุดหัวและขนย้าย	358.67
รวม	4,473.68

010732

ตารางที่ 5 แสดงผลผลิตและต้นทุนมันฝรั่งพันธุ์สปุนต้าและเคนนีเบคที่ปลูกในเขตต่าง ๆ (9)

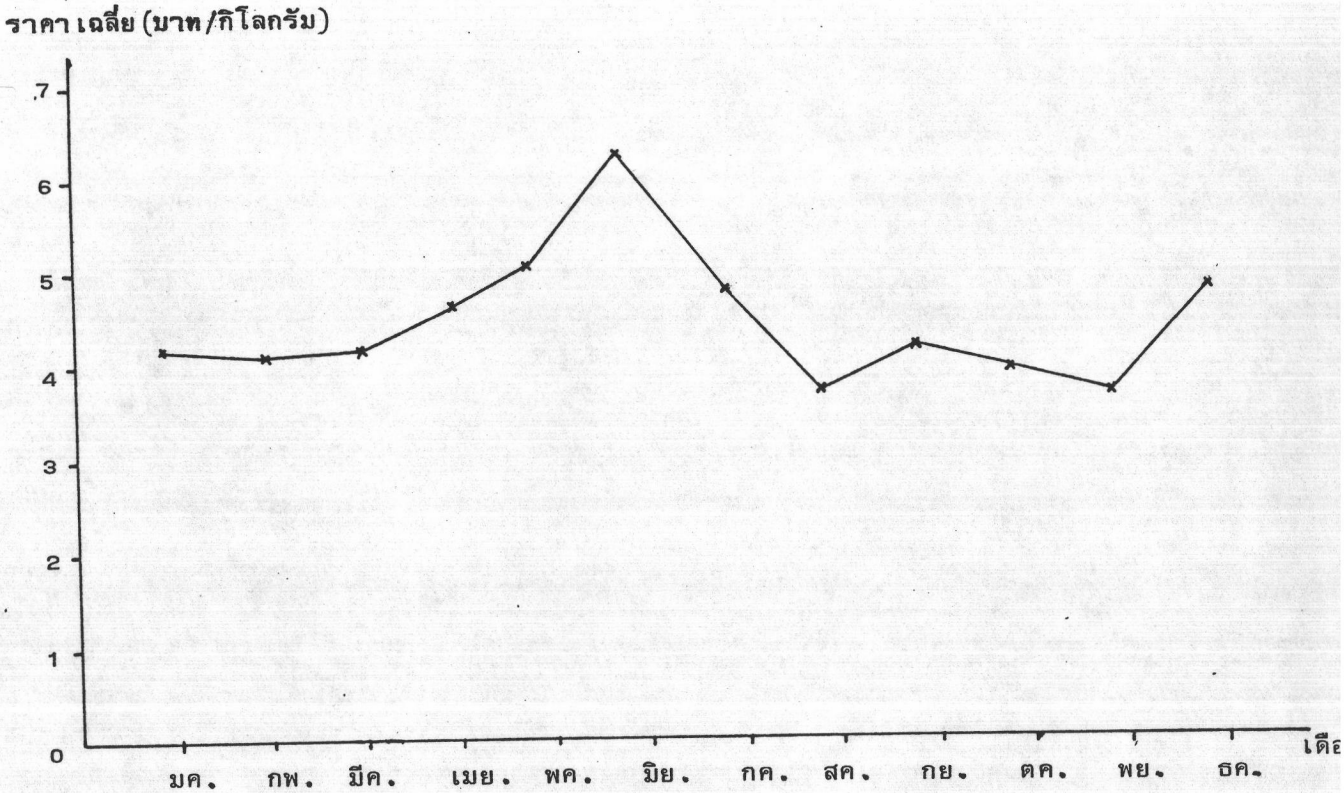
เขตอำเภอ	ผลผลิตเฉลี่ย/ไร่ (กก./ไร่)		ต้นทุน (บาท/ไร่)	
	มันฝรั่งสปุนต้า	มันฝรั่งเคนนีเบค	มันฝรั่งสปุนต้า	มันฝรั่งเคนนีเบค
สันทราย	2,257	-	4,523.93	-
แม่แตง	2,481	-	4,958.79	-
ฝาง	2,632	2,166	4,766.25	4,473.68



รูปที่ 4 วิถีการตลาดของมันฝรั่ง (๑)

2.4.3 ราคา

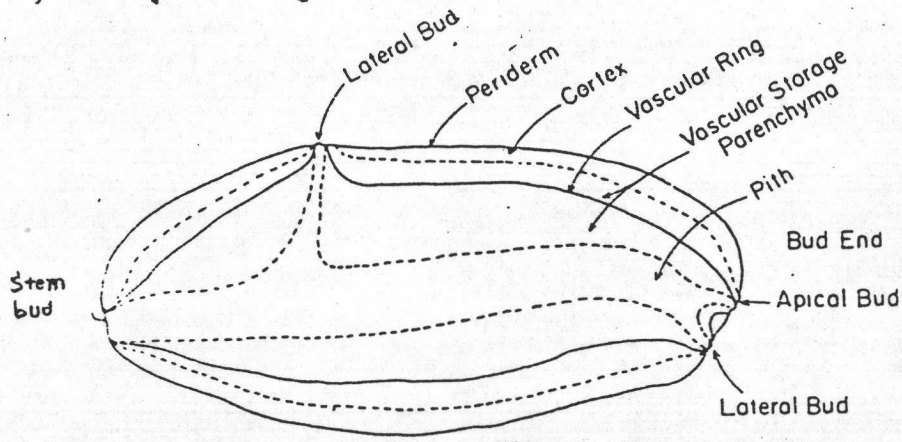
การเคลื่อนไหวราคาของมันฝรั่งจะเคลื่อนไหวแบบฤดูกาล หากปริมาณผลผลิตเข้าสู่ตลาดมากราคาก็ตกต่ำรายละเอียดแสดงไว้ในรูป 5 นอกจากนี้มันฝรั่งสปุนต้าค่อนข้างมีความแปรปรวนด้านราคา เพราะมีพ่อค้าคนกลางซึ่งมีอิทธิพลต่อการกำหนดราคาในการจำหน่ายผลผลิตออกสู่ตลาดและผู้บริโภคตามที่ได้กล่าวไว้ในวิถีการตลาด ส่วนมันฝรั่งพันธุ์เคนนีเบคราคาจะแน่นอน เพราะถูกกำหนดโดยบริษัทโภชนาอุตสาหกรรมผู้นำเข้าพันธุ์มันฝรั่งดังกล่าว (9)



รูปที่ 5 แสดงราคามันฝรั่ง (ปี พ.ศ. 2519-2525) (9)

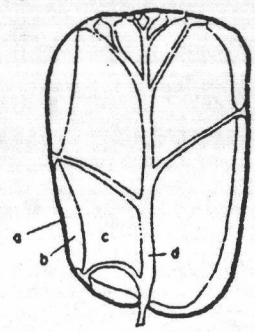
2.5 โครงสร้างของหัวมันฝรั่ง

ผิวด้านนอกของหัวมันฝรั่งประกอบด้วยชั้นของคอร์กี้ เพอริเดิม (corky periderm) ชั้นนี้จะช่วยป้องกันการสูญเสียของน้ำและต่อต้านการทำลายของเชื้อจุลินทรีย์ เมื่อหัวมันฝรั่งถูกผ่าออกและทิ้งไว้จะเกิดมีการสร้างเซลใหม่ขึ้นที่ผิวเรียกว่า "wound periderm" ถัดจากชั้นเพอริเดิม (periderm) จะเป็นชั้นของคอร์เทค ซึ่งเป็นชั้นแคบ ๆ ของเนื้อเยื่อพาเรนไคมา (parenchyma) ชั้นคอร์เทคนี้จะถูกจำกัดโดยวาสคูร่า ริง (vascular ring) ทั้งด้านในและด้านนอกของชั้นคอร์เทคจะเป็นชั้นของวาสคูร่า สตอเรจ (vascular storage) ชั้นในสุดคือ พิท รูปที่ 6 (10)



รูปที่ 6 ลักษณะโครงสร้างของหัวมันฝรั่ง (10)

จากรูปที่ 7 เมื่อผ่ามันฝรั่งตามยาว จะแบ่งพื้นที่มันฝรั่งได้เป็น 3 ส่วน คือ ชั้นของคอร์กี้ เพอริเดิม (corky periderm) 3-9 เปอร์เซนต์ ชั้นของคอร์เทค (cortex) 8-36 เปอร์เซนต์ และ ชั้นของพาเรนไคม่า (parenchyma) และ พิท (pith) 45-89 เปอร์เซนต์



รูปที่ 7 ภาพตัดตามยาวของมันฝรั่ง (11)

ในหัวมันฝรั่งจะมีปริมาณแป้งกระจายในชั้นต่าง ๆ ไม่เท่ากัน บริเวณที่มีแป้งปริมาณมากที่สุด ได้แก่ พาเรนไคม่า (parenchyma) มีแป้ง 11.35-21.81 เปอร์เซนต์ จากปริมาณแป้งทั้งหมดในมันฝรั่ง 13.93-25.62 เปอร์เซนต์ (11)

2.6 องค์ประกอบทางเคมีของมันฝรั่ง

องค์ประกอบทางเคมีของมันฝรั่งแสดงในตารางที่ 6 โดยปกติองค์ประกอบทางเคมีจะแปรไปตามชนิดของพันธุ์ พื้นที่ที่ใช้เพาะปลูก วิธีการปลูก ความแก่ของมันฝรั่งขณะเก็บเกี่ยว วิธีการเก็บรักษาภายหลังการเก็บเกี่ยวและสภาพแวดล้อม (10)

ตารางที่ 6 แสดงองค์ประกอบอย่างประมาณของหัวมันฝรั่ง (12)

องค์ประกอบ	ช่วงเปอร์เซนต์
น้ำ	63.20 - 86.90
ของแข็งทั้งหมด	13.10 - 36.80
โปรตีน	0.70 - 4.60
ไขมัน	0.02 - 0.96
คาร์โบไฮเดรททั้งหมด	13.30 - 30.53
เส้นใย	0.17 - 3.48
เถ้า	0.44 - 1.90

จากตารางที่ 6 จะเห็นได้ว่าองค์ประกอบที่สำคัญของมันฝรั่งคือ แป้ง มีอยู่ประมาณ 60-80 เปอร์เซนต์ ของน้ำหนักแห้ง อาหารจากส่วนต่าง ๆ ของพืชจะเคลื่อนที่ลงสู่หัวในรูปของน้ำตาลและเปลี่ยนไปเป็นแป้ง โดยมีเอนไซม์ ADPG-alphaglucan glucosyl transferase จะต่อ glucose unit จาก adenosine diphosphate glucose เกิดเป็นเม็ดแป้งในหัวมันฝรั่ง (5)

ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อปริมาณแป้งและคุณภาพของแป้งในหัวมันฝรั่ง ได้แก่

2.6.1 พันธุ์ของมันฝรั่ง มันฝรั่งมีมากมายหลายพันธุ์แต่ละพันธุ์มีปริมาณแป้งแตกต่างกัน ตามที่แสดงรายละเอียดไว้ในตารางที่ 7 (11)

ตารางที่ 7 แสดงปริมาณแป้งในมันฝรั่งพันธุ์ต่าง ๆ (11)

มันฝรั่ง (พันธุ์)	ปริมาณแป้ง (%)
Earlaine # 2	10.10
Pontiac	10.95
Chippewa	11.05
Menomonic	12.05
Katahdin	12.10
White Rose	12.10
Sequoia	12.20
Calpride	12.30
Sebago	12.45
Pawnee	13.10
Triumph	13.10
Russet Burbank	13.60
De Sota	13.70
Red Warba	14.05

2.6.2 ขนาดของมันฝรั่ง มันฝรั่งที่มีขนาดใหญ่จะมีปริมาณแป้งมากกว่ามันฝรั่งที่มีขนาดเล็ก และขนาดมันฝรั่งมีความสัมพันธ์กับขนาดของเม็ดแป้งด้วย มันฝรั่งที่มีขนาดใหญ่เม็ดแป้งจะมีขนาดใหญ่ด้วย (13)

นอกจากนี้ขนาดของเม็ดแป้ง มีส่วนสำคัญโดยตรงต่อคุณสมบัติของแป้ง เม็ดแป้งที่มีขนาดใหญ่ อุณหภูมิในการเกิดเจลจะต่ำ และได้แป้งเปียกที่มีความหนืดสูง

เม็ดแป้งแตกตัวง่าย ความคงตัวของแป้งเปียกน้อย (14)

2.6.3 ความแก่อ่อนของมันฝรั่งก่อนการเก็บเกี่ยว มันฝรั่งที่แก่เต็มที่มีผลทำให้เม็ดแป้งมีขนาดใหญ่ขึ้น และมีปริมาณแป้งมากขึ้น เพราะอาหารจากส่วนใบและลำต้นจะเคลื่อนย้ายลงไปสู่ส่วนหัวและเปลี่ยนเป็นแป้งได้อย่างสมบูรณ์ (10)

2.6.4 ปัจจัยในการเพาะปลูก (10) ได้แก่

2.6.4.1 การให้น้ำแก่มันฝรั่ง การให้น้ำอย่างสม่ำเสมอและไม่มากเกินไป จะช่วยให้มันฝรั่งสร้างแป้งได้มากขึ้นและมีความถ่วงจำเพาะสูง

2.6.4.2 การให้ปุ๋ยแก่ต้นมันฝรั่ง จะมีผลต่อคุณสมบัติของแป้งที่ได้จากหัวมันฝรั่ง คือ ถ้าให้ปุ๋ยไนโตรเจนโดยเฉพาะในดินที่ขาดโปแตสเซียมและดินที่มีความเป็นกรดต่ำ จะลดปริมาณของฟอสฟอรัสในแป้ง และความหนืดของแป้งจะลดลงด้วย ถ้าให้โปแตสเซียมซัลเฟต จะมีผลเพิ่มความหนืดของแป้ง แต่ถ้าให้โปแตสเซียมคลอไรด์จะมีผลลดความหนืดของแป้ง

2.6.4.3 สารเคมีที่ใช้ในการกำจัดวัชชพืชบริเวณที่ปลูกมันฝรั่ง จะมีผลดังนี้คือ camperol 1803 จะลดโปแตสเซียม โซเดียม ฟอสฟอรัส และอะไมโลส topogard จะลดฟอสฟอรัส แคลเซียม แต่เพิ่มปริมาณอะไมโลสและความหนืดของแป้ง และ alfalon จะเพิ่มปริมาณอะไมโลส โซเดียม และความหนืดของแป้ง

2.6.5 การเก็บรักษามันฝรั่งหลังเก็บเกี่ยว (12) หากทำการเก็บรักษาไม่เหมาะสมหลังเก็บเกี่ยวมันฝรั่งจะหดตัว สูญเสียน้ำหนักและเกิดการเปลี่ยนแปลงของน้ำตาล คือ ที่อุณหภูมิ 32 °ฟ การระเหยของน้ำและการหายใจหยุดแต่การทำงานของเอนไซม์ในการสังเคราะห์น้ำตาลยังคงดำเนินการต่อไป ปริมาณแป้งจะลดลงและปริมาณน้ำตาลเพิ่มขึ้น ส่วนที่อุณหภูมิ 50 °ฟ การเพิ่มขึ้นของน้ำตาลจะเป็นไปอย่างช้า ๆ ปริมาณแป้งจะไม่เปลี่ยนแปลง

การเก็บรักษามันฝรั่งยังต้องคำนึงถึงสภาพแวดล้อมอื่น ๆ ประกอบด้วย ได้แก่ ต้องมีการหมุนเวียนของอากาศ บริเวณที่เก็บแสงสว่างส่องไม่ถึง เพราะแสงสว่างจะทำให้เกิดสีเขียว (greening)

2.6.6 การงอกของมันฝรั่ง จะมีผลทำให้ปริมาณแป้งในมันฝรั่งลดน้อยลง (11) การแก้ปัญหาการงอกของมันฝรั่ง อาจทำโดยใช้สารเคมี maleic hydrazide ซึ่งใช้ในขณะทำการปลูก สารเคมีนี้จะป้องกันการงอกระหว่างการเก็บ (15) เช่น methyl ether ของ napthalene acetic acid ใช้ในลักษณะไอขณะที่เก็บมันฝรั่งในห้องเก็บและ tetrachloronitrobenzene (TCNB) ใช้ในรูปผงในขณะเก็บมันฝรั่งในห้องเก็บ สารประกอบนี้จะระเหยช้า ๆ

2.7 มันฝรั่งที่เหมาะสำหรับอุตสาหกรรมการผลิตแป้ง (11) ควรจะมีคุณสมบัติ ดังนี้

2.7.1 มีปริมาณแป้งสูง

2.7.2 มีความต้านทานโรคและมีสภาพการเก็บรักษาที่ดี ไม่งอก

2.7.3 มีปริมาณโปรตีนและเส้นใยต่ำ

2.7.4 มีขนาดเม็ดแป้งใหญ่ ซึ่งช่วยให้ได้ผลผลิตแป้งปริมาณมากและแป้งที่ได้มีคุณภาพดี มันฝรั่งที่มีขนาดเม็ดแป้งเล็กไม่เหมาะในอุตสาหกรรมผลิตแป้ง เพราะจะสูญเสียระหว่างการตกตะกอนแป้งมาก มีการดูดซึมสารปนเปื้อนอื่น ๆ ในปริมาณสูง ทำให้ได้แป้งคุณภาพไม่ดี

2.7.5 ลักษณะทั่วไป ผิวเรียบ ตาตื้น ซึ่งจะช่วยให้สะดวกในการทำความสะอาด

2.8 กระบวนการผลิตแป้งมันฝรั่ง

การผลิตแป้งมันฝรั่ง มีขั้นตอนต่าง ๆ ดังนี้

2.8.1 การทำความสะอาด มันฝรั่งถูกนำมาล้างให้สะอาดปราศจากโคลนหรือเศษดิน การทำความสะอาดนี้อาจทำงานโดยเครื่องจักรโดยเฉพาะโรงงานขนาดใหญ่ เครื่องล้างมีลักษณะเป็นตะแกรงรูปทรงกระบอกและหมุนอยู่ตลอดเวลา ในขณะที่มันฝรั่งเคลื่อนเข้าไปสู่ตะแกรงนั้น มันฝรั่งจะถูกพลิกกลับไปกลับมาในขณะเดียวกันก็จะมีน้ำฉีดล้างด้วยความเร็วสูง (10)

2.8.2 การบดให้ละเอียด นำมันฝรั่งที่ล้างสะอาดแล้วมาบดให้ละเอียดเพื่อทำลายเซลของพืชให้แตกออกและปล่อยเม็ดแป้งออกมา การบดอาจทำโดยใช้เครื่องบดที่มีลักษณะคล้ายตะไบหยาบ ๆ (rasp mill) หรือใช้เครื่องบดที่มีลักษณะคล้ายข้อนทุบ (hammer mill) ซึ่งจะทำให้มันฝรั่งที่ถูกบดมีลักษณะเป็นของเหลวข้น (10) ในขั้นตอนนี้จะมีการใช้น้ำผสมโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์มีความเข้มข้น 0.075 - 0.2 เปอร์เซนต์ (16) ซึ่งจะให้ซัลเฟอร์ไดออกไซด์เพื่อหยุดปฏิกริยาของออกซิเดทีพเอนไซม์ และมีผลทำให้แป้งขาวขึ้น (10) น้ำที่ใช้นี้จะเป็นตัวพามันฝรั่งที่ผ่านการบดเข้าเครื่องกรองเอากากและเส้นใยออกจากแป้ง เครื่องมือที่ใช้กรองมีหลายชนิด เช่น ใช้ผ้าไหมหรือไนล่อน ใช้ตะแกรง เครื่องกรองชนิดใช้แรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง เป็นต้น ตะแกรงที่ใช้มีขนาด 100 เมช (mesh) และ200เมช (mesh) ตามลำดับ ส่วนของกากและสิ่งปนเปื้อนที่มีขนาดใหญ่กว่า 75 ไมโครเมตร จะติดค้างบนตะแกรง น้ำแป้งจะผ่านตะแกรงสู่ถังพัก กากที่ได้จะนำกลับเข้าเครื่องบดอีกครั้ง เพื่อให้พาเรนไคมาเซลแตกออกและปล่อยส่วนที่เป็นแป้งออกมามากขึ้น (13)

2.8.3 การทำแป้งให้บริสุทธิ์ ขั้นตอนนี้สามารถใช้เครื่องมือได้หลายแบบตามความเหมาะสมของโรงงาน เช่น การตกตะกอนในถังขนาดใหญ่ (settling vat) การใช้โต๊ะลาดเอียง (tableing) การใช้เครื่องแยกส่วนโดยใช้แรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง (centrifugal separator) เป็นต้น ซึ่งน้ำแป้งที่ผ่านการกรองแล้วจะถูกนำมาผ่านขั้นตอนนี้ เพื่อแยกสิ่งปนเปื้อนที่ละลายในน้ำ เช่น เกลือ กรดอะมิโน และสารละลายอื่น ๆ ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ วิธีการตกตะกอนในถังเป็นวิธีการที่ง่าย น้ำแป้งจะถูกตั้งทิ้งไว้จนแป้งทั้งหมดตกตะกอน แยกน้ำส่วนที่ใสออกไป ตะกอนที่ได้จะมี 3-4 ชั้น คือ ชั้นแป้งขาวพวกที่เม็ดแป้งมีขนาดเล็กอยู่ผิวบนสุด ต่อมาเป็นชั้นแป้งสีน้ำตาล (brown starch) เป็นชั้นของเปลือก เส้นใย ผนังเซล ชั้นล่างจะเป็นชั้นของแป้งขาว (white starch) แป้งขาวชั้นบนและแป้งสีน้ำตาลจะถูกคัดทิ้ง และนำแป้งที่เหลือมาตกตะกอนซ้ำอีก 1-2 ครั้ง พร้อมทั้งผ่านตะแกรงเอากากละเอียดออกเพื่อให้แป้งสะอาด ในกระบวนการนี้ควรให้ความเข้มข้นน้ำแป้งแต่ละครั้งที่นำมาตกตะกอนใกล้เคียงกัน เพื่อความสะดวกในการทำช่องระบายน้ำส่วนใสชั้นบนทิ้ง ขั้นตอนนี้ไม่ควรใช้ระยะเวลานานเกินไป เพราะอาจทำให้เกิดการหมัก เกิดแอลกอฮอล์ กรดแลคติกหรือกรดบิวทีริคขึ้น การใช้กรดฟอสเฟตบางชนิด สารส้ม หรือกรดกำมะถันเล็กน้อย จะช่วยให้การตกตะกอนเป็นไปอย่างรวดเร็ว แต่แป้งที่ได้จะให้แป้งที่มีความหนืดลดลงเล็กน้อย (13)

2.8.4 การทำให้แห้ง แป้งที่ผ่านกระบวนการทำให้บริสุทธิ์แล้วจะถูกส่งผ่านเข้าเครื่องกรองระบบสูญญากาศแยกเอาน้ำออกได้แป้งมีความชื้นประมาณ 30-40 เปอร์เซนต์ และนำไปทำให้แห้งด้วยเครื่องอบแห้งชนิดต่าง ๆ เช่น flash drier continuous belt drying หรือผึ่งบนลานตากแห้ง อุณหภูมิที่ใช้ไม่ควรให้สูงเกินไปเพราะจะทำให้เม็ดแป้งแตก และสูญเสียความเงามัน ความชื้นสุดท้ายของแป้งหลังจากอบประมาณ 18 เปอร์เซนต์ (10, 13)

2.8.5 การบรรจุ นำแป้งที่แห้งแล้วมาบดให้ละเอียด บรรจุลงในถุง ปิดให้สนิทเพื่อป้องกันการดูดความชื้นและสิ่งสกปรกจากภายนอก (10)

2.9 แป้ง (Starch)

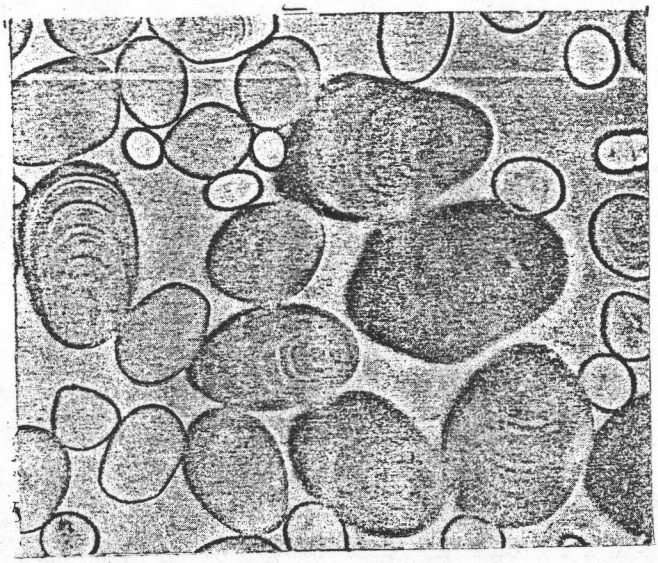
2.9.1 ลักษณะทั่วไปของเม็ดแป้ง

เม็ดแป้งมันฝรั่งมีขนาด 15-100 ไมครอน ขนาดโดยเฉลี่ย 30 ไมครอน มีลักษณะเป็นรูปไข่ แกนยาว เห็นวงแหวนได้ชัดเจน (17) ลักษณะวงแหวนซ้อนกันโดยมีจุดศูนย์กลางร่วมกัน วงแหวนแต่ละวงเป็นชั้นบาง ๆ ประกอบด้วยส่วนที่รวมตัวกันแน่น (crystalline) และส่วนที่รวมตัวกันหลวม ๆ (amorphous)ของอะไมโลสและอะไมโลเพคตินสลับกันไป (รูปที่ 8) การเรียงตัวของบริเวณทั้งสองจะเป็นไปอย่างมีระเบียบทำให้เม็ดแป้งแสดง dark cross pattern เมื่อส่องดูด้วยกล้องโพลาไรซ์ซึ่งเรียกว่า birefringence ส่วนตัดของกากะบาดจะอยู่ที่รอยบุ๋ม (รูปที่ 9) เม็ดแป้งชนิดต่าง ๆ มีลักษณะปรากฏต่างกันทำให้สามารถบอกชนิดของแป้งได้ (18, 19)

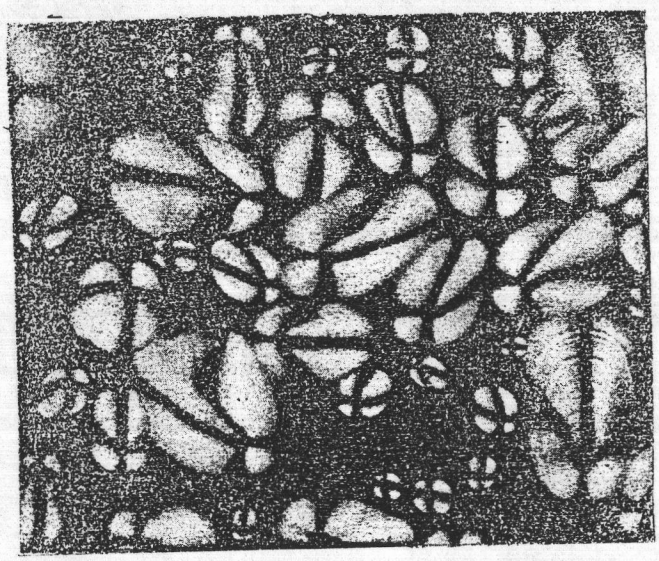
2.9.2 โครงสร้างของแป้ง

แป้งเป็นโพลีแซคคาไลด์ (polysaccharide) ซึ่งมีส่วนประกอบคือ อะไมโลส (amylose) และอะไมโลเพคติน (amylopectin) โดยเฉลี่ยแล้วแป้งมันฝรั่งมีอะไมโลสต่ออะไมโลเพคตินเท่ากับ 1 ต่อ 3 (20) บางครั้งอาจเท่ากับ 1 ต่อ 5 (10)

อะไมโลสมีลักษณะเป็นโมเลกุลที่ต่อกันเป็นเส้นตรง (linear molecule) ประกอบด้วยหน่วยของกลูโคสที่ปราศจากน้ำ (anhydro-glucose unit) เชื่อมต่อกันด้วย

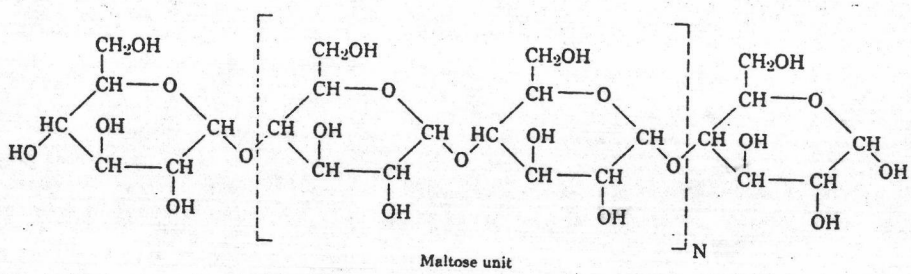


รูปที่ 8 เม็ดแป้งมันฝรั่งถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์ธรรมดา (17)



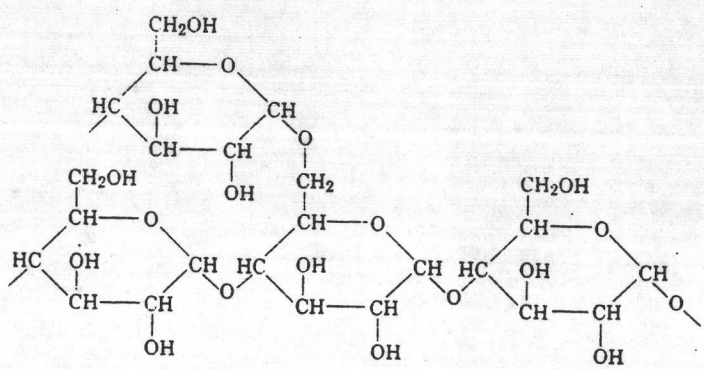
รูปที่ 9 เม็ดแป้งมันฝรั่งถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงโพลาไรซ์ (17)

α - 1,4 glucosidic linkage ดังรูปที่ 10 (21) น้ำหนักโมเลกุลของอะไมโลสในแป้งมันฝรั่งประมาณ 68,900-82,600 (22) และอาจสูงถึง 2.44×10^6 อะไมโลสไม่ละลายในน้ำเย็น แต่ถ้าอุณหภูมิสูงขึ้นการละลายจะดีขึ้น ที่อุณหภูมิ 150 °ซ อะไมโลสจะละลายน้ำได้ใน 5 นาทีให้สารแขวนลอยที่อยู่ตัว อะไมโลสสามารถดูดน้ำได้ประมาณ 4 เท่าของน้ำหนัก จะได้ของเหลวที่เหนียวหนืด ความเหนียวของเจลขึ้นกับความเข้มข้นของแป้งและระยะเวลาของการเก็บ



รูปที่ 10 โครงสร้างของอะไมโลส (21)

อะไมโลเพคติน ประกอบด้วยหน่วยของกลูโคสที่ปราศจากน้ำ (anhydro glucose unit) ที่เกาะกันเป็นกิ่งก้านสาขา จับต่อกันด้วย α-1,4 glucosidic linkage และที่จุดที่มีการแตกตัวเป็นกิ่งจะมีการจับตัวกันแบบ α-1,6 glucosidic linkage ดังรูปที่ 11 (21)



รูปที่ 11 โครงสร้างของอะไมโลเพคติน (21)

2.9.3 คุณสมบัติทางกายภาพ

แป้งมันฝรั่งมีสีขาว ไม่มีกลิ่น ไม่มีรส ไม่มีการตกผลึก ไม่ละลายในน้ำเย็น

2.9.4 คุณสมบัติทาง เคมี

2.9.4.1 ทำปฏิกริยากับไอโอดีน ทั้งอะไมโลสและอะไมโลเพคติน สามารถทำปฏิกริยากับไอโอดีน สำหรับอะไมโลสมีลักษณะม้วนเป็นเกลียว แต่ละเกลียวมีกลูโคส 6 หน่วย ในการทำปฏิกริยากับไอโอดีนนั้น โมเลกุลของไอโอดีนจะสอดเข้าไปในเกลียวนี้และให้สีน้ำเงิน เมื่ออะไมโลสได้รับความร้อน เกลียวของอะไมโลสจะคลายตัวออก ทำให้สีน้ำเงินหายไป ส่วนอะไมโลเพคตินปลายกิ่งก้านสาขาสามารถจับกับไอโอดีน ผลที่ได้จะให้สีแดง (23)

2.9.4.2 สลายตัวด้วยกรดหรือด่าง เมื่อโมเลกุลแป้งสัมผัสกับกรดหรือด่าง จะขาดออกเป็นส่วน ๆ ความยาวของแต่ละส่วนขึ้นกับความเข้มข้นของกรดหรือด่าง ระยะเวลาที่ใช้ (23)

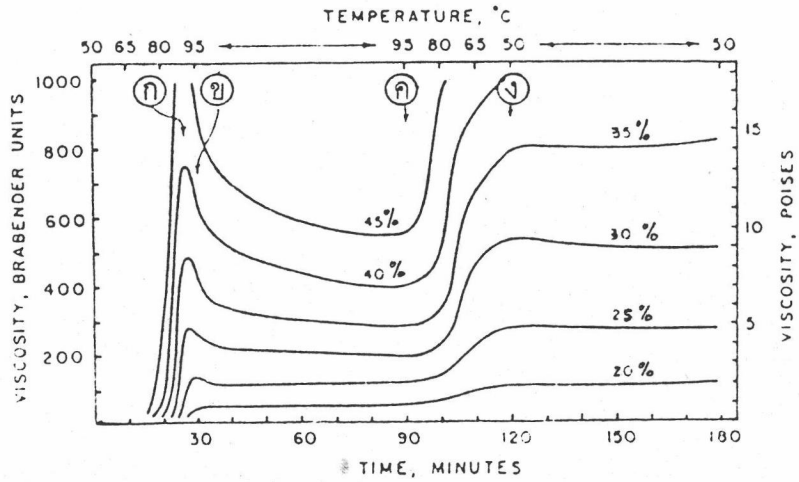
2.9.4.3 ปฏิกริยา เคมีกับสารอื่น เนื่องจากแป้ง เป็นสารประกอบที่มีกลุ่มไฮดรอกซิล (hydroxyl group) เป็นจำนวนมาก จึงสามารถทำปฏิริยากับสารอื่นได้หลายชนิด เช่น เอธิลีนออกไซด์ (ethylene oxide) โพรไพลีน ออกไซด์ (propylene oxide) เป็นต้น กลุ่มไฮดรอกซิลที่อยู่ในตำแหน่ง C_2, C_3 และ C_6 จะทำปฏิกริยากับสารอื่นได้ดี (23)

2.9.5 คุณสมบัติของแป้ง เปียก (23, 24)

แป้งที่ถูกใช้เป็นส่วนประกอบของอาหารจะอยู่ในสภาพที่เป็นของ เหลว เป็นส่วนมาก และคุณสมบัติที่สำคัญที่สุดของแป้งตามธรรมชาติ (natural starch) คือ คุณสมบัติของแป้ง เปียก

ตามปกติแป้งจะไม่ละลายน้ำ ดังนั้นถ้าต้องการให้แป้ง เกิดการละลายในน้ำ จึงจำ เป็นต้องใช้พลังงาน เพื่อให้น้ำสามารถ เข้าไปใน เม็ดแป้งทำลาย starch/starch

hydrogen bonds และเกิด starch/water hydrogen bonds แทน ก็จะเกิดแป้งเปียก วิธีการดังกล่าวทำโดยนำแป้งละลายในน้ำ (starch slurry) มาผ่านการให้ความร้อน เช่น การต้ม เมื่อเพิ่มอุณหภูมิของน้ำแป้งให้สูงขึ้น แรงที่เกาะกันระหว่างไมเลกุลของแป้งจะอ่อนลง เม็ดแป้งจะดูดน้ำได้มากขึ้น และที่อุณหภูมิหนึ่งการดูดน้ำจะเป็นไปอย่างรวดเร็ว พร้อมกับเม็ดแป้งจะพองตัวมากขึ้น และสูญเสีย birefringence properties อุณหภูมินี้เรียกว่า อุณหภูมิแป้งสุก (gelatinizing temperature) และปรากฏการณ์เช่นนี้เรียกว่า การสุกของแป้ง (gelatinization) การสุกของแป้งจะเริ่มจากรอยบุ๋มของเม็ดแป้ง โดยในระยะเริ่มแรกจะเกิดช่องว่างขึ้นที่จุดนี้ ต่อมาช่องว่างจะขยายใหญ่ขึ้น จนในที่สุดเม็ดแป้งจะพองตัวเต็มที่ โดยสังเกตได้จากเม็ดแป้งที่มีลักษณะเหมือนถุงใส ภายในเต็มไปด้วยอะไมโลส เมื่อได้รับความร้อนต่อไปอีก เม็ดแป้งจะแตกออก อะไมโลสจะหลุดออกมาทำให้ไมเลกุลของอะไมโลสและอะไมโลเพคตินแยกออกจากกัน แป้งเปียกจะมีลักษณะใส เม็ดแป้งแต่ละเม็ดจะสุกที่อุณหภูมิแตกต่างกัน เม็ดแป้งที่มีขนาดใหญ่จะพองตัวได้ง่าย อุณหภูมิแป้งสุกจึงต่ำกว่าเม็ดแป้งที่มีขนาดเล็ก ในการศึกษาการพองตัวและการเกิดเจลของแป้งทำได้โดยการวัดความหนืด เมื่อแป้งได้รับความร้อนจะดูดน้ำและขยายใหญ่ขึ้น น้ำที่อยู่รอบ ๆ จะเหลือน้อยลง ทำให้การเคลื่อนไหวของเม็ดแป้งเป็นไปได้ยากขึ้น ความหนืดของแป้งจะเพิ่มมากขึ้น ในที่สุดเมื่อเม็ดแป้งดูดน้ำเข้าจนเต็มที่และแตกตัวออกน้ำที่อยู่ภายในเม็ดแป้งจะออกมาอยู่รวมกับอะไมโลสและอะไมโลเพคตินความหนืดจะลดลงและเพิ่มขึ้นอีกครั้งเมื่อแป้งเปียกเย็นตัวและเกิดเจลขึ้น การวัดการพองตัวและการเกิดเจลก็คือการติดตามการเปลี่ยนแปลงความหนืดซึ่งใช้เครื่องมือเรียกว่า Brabender Amylograph เป็นเครื่องมือวัดความหนืดของน้ำแป้งที่อุณหภูมิต่าง ๆ ขณะถูกทำให้ร้อนและเย็นลงในอัตราที่เหมาะสม กราฟที่ได้จากการวัดความหนืดนั้นสามารถดูจุดสำคัญ 4 จุด ดังรูปที่ 12



รูปที่ 12 กราฟแสดงความข้นหนืดของแป้งข้าวฟ่างที่ระดับความเข้มข้นต่างกัน (23)

จุด ก เรียกว่า peak viscosity เป็นจุดที่ความหนืดของน้ำแป้งถึงจุดสูงสุด เม็ดแป้งพองตัวมากที่สุด

จุด ข คือ ค่าความหนืดของน้ำแป้งที่อุณหภูมิ 95 °ซ ซึ่งแสดงถึงความยากง่ายของการทำให้สุก

จุด ค คือ ค่าของความหนืดหลังจากรักษาอุณหภูมิไว้ที่ 95 °ซ นาน 20 นาที ซึ่งจะแสดงถึงความคงทนของเม็ดแป้งต่อการกวนระหว่างการทำให้สุก

จุด ง คือ ค่าความหนืดของเจลที่อุณหภูมิเมื่อเย็นลงถึง 50 °ซ ถ้าค่าที่ได้สูงมาก แสดงว่า อะไมโลสและอะไมโลเพคตินจับกันมากจะได้เจลที่มีความเหนียวหนืดมาก

2.9.6 ปัจจัยที่มีผลต่อความหนืดของแป้งและเจล (23, 24)

แป้งแต่ละชนิดมีคุณสมบัติของแป้งแตกต่างกันไป ถึงแม้ว่าแป้งชนิดเดียวกัน ถ้าหากวัตถุดิบที่ใช้มีแหล่งที่ทำการเพาะปลูกต่างกัน สภาวะแวดล้อมต่างกันก็เป็นเหตุให้มีคุณสมบัติของแป้งต่างกัน ทั้งนี้เพราะโครงสร้าง อัตราส่วนของอะไมโลสและอะไมโลเพคติน ขนาดของโมเลกุล ฯลฯ จะแตกต่างกันและปัจจัยอื่น ๆ ก็ยังมีผลต่อความหนืดของแป้งและเจล คือ

2.9.6.1 โครงสร้างของเม็ดแป้ง เม็ดแป้งที่มีผลึกหนาแน่น การดูดน้ำจะเป็นไปอย่างเชื่องช้า เม็ดแป้งจะแตกได้ยาก แป้งชนิดนี้จะให้แป้งเปียกที่มีความหนืดต่ำและเจลที่ได้มีความเหนียวไม่มาก

2.9.6.2 อัตราส่วนของอะไมโลสต่ออะไมโลเพคติน แป้งที่มีอะไมโลสต่ำจะให้เจลที่เหนียวเหนอะหนะ ถ้าเม็ดแป้งมีอะไมโลสมากขึ้นความเหนียวเหนอะหนะจะลดลง แต่ถ้ามากถึงจุดจุดหนึ่งเม็ดแป้งจะไม่แตกและอะไมโลสจะไม่หลุดออกมาเลย ซึ่งจะไม่เกิดเจลและแป้งดังกล่าว เมื่อนำไปทำผลิตภัณฑ์จะมีลักษณะกรอบร่วน

2.9.6.3 ขนาดโมเลกุล ถ้าอะไมโลสมีโมเลกุลยาวจะสามารถจับกับอะไมโลเพคตินได้หลายโมเลกุลพร้อม ๆ กัน เกิดเป็นตาข่ายที่เหนียวแน่น เจลที่ได้จึงเหนียวมาก และถ้าขนาดอะไมโลสลดลงความหนืดจะลดลง

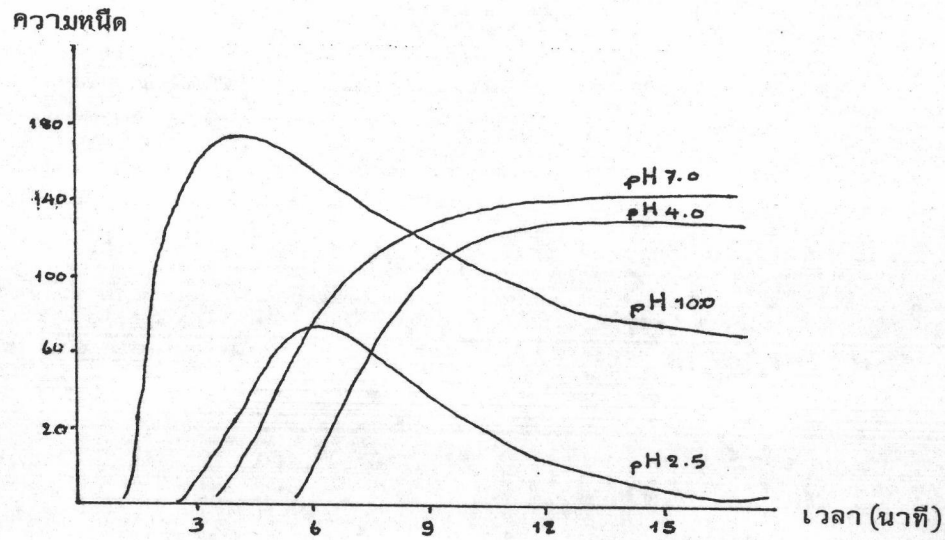
2.9.6.4 อุณหภูมิและเวลา อุณหภูมิที่ใช้มีผลต่อความเหนียวของแป้งเปียกและของเจลมาก ถ้าใช้อุณหภูมิต่ำเกินไป เม็ดแป้งจะดูดน้ำได้ไม่เต็มที่และไม่สุก ถ้าใช้อุณหภูมิสูงเกินไป โมเลกุลของแป้งอาจขาดออก แป้งเปียกจะอ่อนตัวลงและทำให้เจลมีความเหนียวน้อยลงด้วย นอกจากนี้ถ้าใช้เวลาให้ความร้อนนาน เม็ดแป้งจะแตกมากขึ้น

2.9.6.5 ปริมาณเม็ดแป้งที่แตกตัว การทำให้เม็ดแป้งแตกตัวมีผลทำให้การดูดน้ำเป็นไปอย่างรวดเร็ว เม็ดแป้งจะพองตัวได้มาก แต่เมื่อทำเป็นแป้งเปียกจะมีความหนืดน้อยลง เจลที่ได้มีความเหนียวมากขึ้น การทำให้เม็ดแป้งแตกเกิดจากหลายสาเหตุ เช่น การบดขณะเตรียมแป้ง การนวด การกวน

2.9.6.6 โปรตีน เมื่อมีโปรตีนอยู่ในเม็ดแป้งด้วย โปรตีนจะเกาะอยู่กับเม็ดแป้งทำให้แป้งดูดน้ำได้น้อยลง แป้งเปียกและเจลมีความหนืดน้อยกว่าปกติ

2.9.6.7 น้ำตาล น้ำตาลสามารถจับกับโมเลกุลของน้ำได้ดีกว่าแป้ง ทำให้แป้งไม่สามารถใช้น้ำได้ การพองตัวของเม็ดแป้งจึงช้าลง นอกจากนี้น้ำตาลสามารถซึมผ่านเข้าภายในเม็ดแป้งและเกิดพันธะกับโมเลกุลในส่วนของ amorphous phase ทำให้โมเลกุลของแป้งมีเสถียรภาพดีขึ้น อุณหภูมิแป้งสุกจะสูงขึ้น

2.9.6.8 ความเป็นกรด โดยปกติความเป็นกรดของแป้งจะอยู่ระหว่าง 5.0-7.0 ถ้า pH ของแป้งต่ำกว่า 5.0 หรือสูงกว่า 7.0 แป้งเปียกจะมีความหนืดน้อยลง และเจลที่ได้มีความเหนียวน้อยลงด้วย เนื่องจากกรดหรือด่างที่มีอยู่จะทำให้โมเลกุลแป้งขาดออก ให้โมเลกุลที่มีขนาดเล็กลง ดังรูปที่ 13



รูปที่ 13 ผลของ pH ที่มีต่อการแตกตัวของแป้ง (23)

2.9.7 การคืนตัวของเจล (Retrogradation) (23, 24)

เมื่อตั้งแป้งเปียกทิ้งให้เย็น พวกแป้งที่เป็น colloidally dispersed fractions หรือ molecularly dispersed fractions จะพยายามรวมตัวกันเป็น linear bundles เกิดผลึกที่เป็นกลุ่มก้อนขึ้น เนื่องจากเกิด hydrogen bonding ในระหว่างโมเลกุลของแป้งทำให้เกิด rigid gels ตกตะกอนลงมา ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้แป้งเปียกที่ได้มีลักษณะขุ่น ไม่ใสตามต้องการ นอกจากนี้แล้วยังทำให้เกิดความไม่คงตัวใน starch gels การเกิด retrogradation หรือ paste set-back นี้จะเกิดขึ้นกับพวกอะไมโลสซึ่งโมเลกุลต่อกันเป็นเส้นตรงได้มากกว่าอะไมโลเพคตินซึ่งโมเลกุลต่อกันเป็นกิ่งก้าน และถ้าเกิดขึ้นกับอะไมโลสแล้วการคืนตัวของเจลจะเป็นแบบไม่ผันกลับ (irreversible) คือแป้งเปียกจะกลับใสอย่างเดิมไม่ได้อีก แต่ถ้าเกิดกับพวกอะไมโลเพคตินแล้วแป้งเปียกจะกลับใสอย่างเดิมได้ (reversible) ทั้งนี้เพราะโมเลกุลของอะไมโลเพคตินเข้าจับตัวกันเฉพาะส่วนที่เป็นปลายกิ่งที่เป็นเส้นตรง การจับ

ตัวไม่แน่นหนา เมื่อเปรียบเทียบกับการจับตัวของโมเลกุลอะไมโลส

การคืนตัวของเจลอาจมีผลดีหรือผลเสียก็ได้ ผลิตภัณฑ์ใดต้องการความเหนียวหนืดและแข็ง เช่น ก๋วยเตี๋ยว เส้นหมี่ต่าง ๆ การคืนตัวจะเป็นเรื่องดี แต่ถ้าผลิตภัณฑ์ใดต้องการลักษณะเหนียวนุ่ม เช่น ขนมปัง การคืนตัวของเจลจะเป็นผลเสีย

2.9.7.1 การเปลี่ยนแปลงทางฟิสิกส์ที่เกิดขึ้นระหว่างการคืนตัวของเจล (23, 24)

การคืนตัวของเจลนั้นเกิดขึ้นอย่างช้า ๆ เป็นการจัดตัวของอะไมโลสเพื่อให้เกิดผลึกขึ้น เชื่อกันว่าเกิดเป็น 3 ขั้นตอน ดังนี้

2.9.7.1.1 โมเลกุลของอะไมโลสยืดตัวออก เนื่องจาก bond ที่จับกันแตกตัวออก

2.9.7.1.2 น้ำส่วนที่เรียกว่า bound water หลุดออกจากโมเลกุล

2.9.7.1.3 เกิดไฮโดรเจนบอนด์ระหว่างโมเลกุล

2.9.7.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการคืนตัวของเจล (23, 24)

2.9.7.2.1 ขนาดโมเลกุล แป้งที่ได้จากแหล่งต่าง ๆ กัน การคืนตัวของเจล จะมีอัตราเร็วที่แตกต่างกัน การคืนตัวของเจลจะเกิดขึ้นได้เร็วถ้าโมเลกุลอะไมโลสมีขนาดปานกลาง ส่วนโมเลกุลขนาดใหญ่จะรวมตัวกันช้ากว่า สำหรับโมเลกุลขนาดเล็กมีการเคลื่อนไหวอยู่เสมอ (brownian motion) จึงไม่รวมตัวกัน

2.9.7.2.2 อุณหภูมิ การคืนตัวของเจลจะเกิดขึ้นเร็วที่อุณหภูมิ 4 °ซ ทั้งนี้เพราะอุณหภูมิต่ำทำให้อะไมโลสขนาดเล็กเคลื่อนที่ได้ช้าลง อะไมโลสจึงจับตัวกันเป็นโมเลกุลขนาดใหญ่ได้ดีขึ้น

2.9.7.2.3 กรดหรือด่าง กรดบางชนิด เช่น กรดกำมะถันหรือกรดเกลือ มีผลทำให้การคืนตัวของเจลเร็วขึ้น ที่ pH 2 จะเกิดการคืนตัวเร็วกว่าที่ pH 6

ประมาณ 4 เท่า ส่วนด่างทำให้การคืนตัวช้าลง เนื่องจากทำให้โมเลกุลของอะไมโลสแตกตัว

2.9.7.2.4 สารอินทรีย์ สารอินทรีย์บางชนิดมีผลต่อสารคืนตัวของเจลมาก ซึ่งอาจทำให้เกิดการคืนตัวของเจลเร็วขึ้นหรือช้าลงก็ได้ สารอินทรีย์ที่ทำให้เม็ดแป้งพองตัวได้ง่าย จะป้องกันการคืนตัวของเจลได้ดี ในทางตรงกันข้ามสารอินทรีย์ที่ป้องกันการพองตัวของเม็ดแป้งจะช่วยให้เกิดการคืนตัวของเจลเร็วขึ้น

2.10 วุ้นเส้น

วุ้นเส้น หมายถึง อาหารแห้งชนิดหนึ่งที่ทำมาจากแป้งถั่วเขียวหรืออาจใช้แป้งถั่วเขียวผสมกับแป้งอื่นตามอัตราส่วนต่าง ๆ กัน โดยทั่วไปวุ้นเส้นมีลักษณะภายนอกเป็นเส้นขาวใส

2.10.1 องค์ประกอบทางเคมีของวุ้นเส้นจากแป้งถั่วเขียว (25)

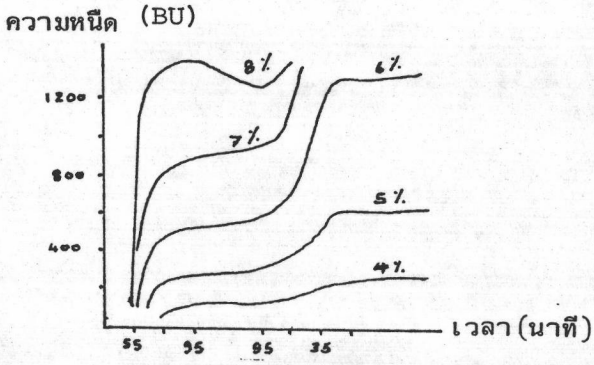
องค์ประกอบ	เปอร์เซนต์
ความชื้น	15.70
ไขมัน	0.60
โปรตีน	0.13
เส้นใย	0.46
คาร์โบไฮเดรท	82.90

การผลิตวุ้นเส้น ส่วนสำคัญเริ่มตั้งแต่ คุณภาพของแป้ง ความชื้นในแป้ง สัดส่วนแป้งเปียกต่อแป้งดิบ การนวด การต้มเส้น การแช่เยือกแข็ง เป็นต้น (25)

2.10.2 คุณภาพของแป้งที่เหมาะต่อการทำวุ้นเส้น

ได้มีผู้ทำการศึกษาเกี่ยวกับแป้งต่าง ๆ พบว่าแป้งที่เหมาะต่อการทำผลิตภัณฑ์วุ้นเส้นควรจะมีอะไมโลสสูง แป้งมีลักษณะการพองตัวน้อย (restricted swelling starch) (26)

แป้งถั่วเขียวเป็นแป้งที่เหมาะต่อการทำผลิตภัณฑ์วุ้นเส้นจากการศึกษาขนาดและรูปร่างของเม็ดแป้งด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงธรรมดาและกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงโพลาไรซ์ (polarized-light micrograph) พบว่า เม็ดแป้งของถั่วเขียวมีรูปร่างบางเม็ดค่อนข้างกลม บางเม็ดยาวรี บางเม็ดโค้งงอไม่สม่ำเสมอ โดยจะเห็นส่วนที่เป็นรอยแยกกลางเม็ดแป้ง และมีลักษณะเป็นเงาดำเป็นเส้นคาดเม็ดแป้งคล้ายเครื่องหมายกากะบาท (birefringence) เมื่อมองจากกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงโพลาไรซ์ ขนาดของเม็ดแป้งจากถั่วเขียวมีความกว้าง 8-16 ไมโครเมตร และความยาว 12-32 ไมโครเมตร (27) ส่วนคุณสมบัติทั่วไปของแป้ง จากการศึกษาด้วยเครื่อง Brabender Amylograph ได้แบ่งลักษณะกราฟของแป้งเป็น 4 แบบ คือ แบบเอ เป็นลักษณะกราฟที่ได้จากเม็ดแป้งที่มีการพองตัวสูง แบบบี เป็นกราฟของเม็ดแป้งที่มีการพองตัวปานกลาง แบบซี เป็นกราฟของเม็ดแป้งที่มีการพองตัวน้อย และแบบดี เป็นกราฟของเม็ดแป้งที่มีการพองตัวน้อยมาก สำหรับแป้งถั่วเขียว แสดงลักษณะกราฟเป็น 2 แบบโดยที่ความเข้มข้นของแป้ง 4-7 เปอร์เซนต์ จะให้ลักษณะแบบซี แต่ถ้าความเข้มข้นแป้ง 8 เปอร์เซนต์ จะแสดงลักษณะแบบบี ดังรูปที่ 14 (28)



รูปที่ 14 แสดงความหนืดของแป้งถั่วเขียวที่ระดับความเข้มข้นต่างกัน (28)

ได้มีผู้ทำการศึกษาเปรียบเทียบลักษณะของแป้งและวุ้นเส้นที่ได้จากแป้งถั่ว red bean กับแป้งถั่วเขียว พบว่า แป้งถั่ว red bean มีขนาดเม็ดแป้งใหญ่กว่าแป้งถั่วเขียว อุณหภูมิในการเกิดเจลต่ำ ความแข็งแรงของเจล (gel strength) และปริมาณอะไมโลสน้อยกว่าแป้งถั่วเขียว เมื่อผลิตเป็นวุ้นเส้นคุณภาพวุ้นเส้นจะด้อยกว่าที่ทำจากแป้งถั่วเขียว โดยเมื่อนำวุ้นเส้นไปต้มและชิม เกณฑ์การยอมรับไม่ดีเท่าวุ้นเส้นที่ทำจาก

แป้งถั่วเขียว (26)

2.10.3 การทำวุ้นเส้น

ขั้นตอนที่สำคัญมีดังนี้

1. การเตรียมแป้ง
2. การผสมและนวดแป้ง
3. การทำเส้น
4. การแช่แข็ง
5. การทำแห้ง

2.10.3.1 การเตรียมแป้ง แป้งที่ใช้ทำวุ้นเส้นอาจใช้แป้งถั่วเขียวล้วน ๆ หรือใช้แป้งถั่วเขียวผสมกับแป้งอื่น ๆ ได้ มีการทดลองใช้แป้งมันสำปะหลังผสมกับแป้งถั่วเขียว อัตราส่วน 10 : 90 ซึ่งวุ้นเส้นที่ได้เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค (29) หากใช้แป้งมันสำปะหลังผสมแป้งถั่วเขียว อัตราส่วน 20:80 วุ้นเส้นที่ได้มีความเหนียวและความใสลดลง และถ้าใช้มากกว่านี้ จะได้วุ้นเส้นเป็นเส้นสั้น ๆ และขาดง่าย (30) ความชื้นของแป้งที่ใช้ทำวุ้นเส้น ส่วนใหญ่ความชื้นประมาณ 33 เปอร์เซนต์ เพื่อช่วยให้การผสมและนวดแป้งทำได้ง่าย แป้งที่เตรียมไว้นี้ แบ่งออกเป็น 2 ส่วนใหญ่ ๆ คือ ส่วนที่ใช้เป็นแป้งเปียกและส่วนที่ใช้เป็นแป้งดิบ แป้งเปียกได้จากแป้งดิบผสมน้ำแล้วต้มโดยการกวนให้แป้งสุกและใส แป้งเปียกส่วนนี้จะมีความเหนียวใช้เป็นส่วนที่มีความสำคัญต่อการนวดแป้งให้เข้ากับแป้งดิบ เพื่อทำให้แป้งดิบจับตัวกันได้ดี (31)

2.10.3.2 การผสมและการนวดแป้ง การผสมจะใช้ผสมแป้งดิบและแป้งเปียกให้เข้ากันด้วยเครื่องผสมแบบ horizontal trough mixer แล้วนวดต่อโดยใช้แรงงานคนแป้งที่นวดได้ที่แล้วจะสังเกตเห็นว่ามีลักษณะเนื้อเนียนเป็นมันวาว มีความหนืดพอปั้นเป็นก้อนได้เพียงช่วงขณะแล้วก็ไหลเยิ้มเป็นเส้นแป้ง (31)

2.10.3.3 การทำเส้น แป้งที่ผ่านการนวดได้ที่แล้วจะถูกแบ่งออกโดยปั้นให้เป็นก้อนแล้วนำไปใส่ในกะบะสเตนเลสสำหรับทำเส้น (เพลี้ย) แป้งจะไหลผ่านรูลงสู่กะทะน้ำร้อนที่มีการควบคุมมิให้น้ำเดือดพล่าน เมื่อเส้นแป้งสุกจะลอยตัวขึ้นสู่ผิวน้ำแล้วจึงสาวหรือ

เขี่ยเส้นแป้งให้ลอยผ่านลงสู่น้ำเย็นซึ่งเชื่อมด้วยรางต่อกัน เส้นแป้งที่ผ่านอ่างน้ำสุดท้ายจะถูกสาวขึ้นพาดราวไม้ไผ่ที่เตรียมไว้หลาย ๆ รอบ แล้วเขย่าในน้ำหลาย ๆ ครั้ง เพื่อป้องกันมิให้เส้นแป้งติดกัน ปล่อยทิ้งไว้จนสะเด็ดน้ำ แล้วจึงนำไปแช่แข็งในขั้นต่อไป (32)

2.10.3.4 <u>การแช่แข็ง</u> วุ้นเส้นที่ได้ต้องนำไปแช่แข็งก่อนตากแดดเพื่อป้องกันไม่ให้เส้นติดกันในขณะที่วุ้นเส้นแห้ง ทั้งนี้เพราะหลังจากกดเส้นลงในกะทะน้ำร้อนเพื่อทำให้สุกโดยทั่วกัน (gelatinization) โมเลกุลของแป้งจะอุ้มน้ำและพองตัวมีสีขาวใสขึ้น ถ้าไม่ทำให้เย็นลงอย่างรวดเร็วโมเลกุลของแป้งจะพองตัวมากขึ้นทำให้วุ้นเส้นติดกันและไม่เหนียว แต่ถ้านำวุ้นเส้นที่เย็นลงไปแช่แข็ง อุณหภูมิต่ำ ๆ จะระงับการขยายตัวของโมเลกุลของแป้ง ทำให้ยึดแน่นประสานกันและคงสภาพแน่นหนา (31) อุณหภูมิของการแช่แข็งประมาณ - 5 °ซ วุ้นเส้นที่ผ่านการแช่แข็งที่อุณหภูมิต่ำมาก จะทำให้วุ้นเส้นที่ได้มีสีด้าน แต่ไม่มีผลด้านความเหนียว ส่วนระยะเวลาในการแช่แข็งขึ้นอยู่กับปริมาณวุ้นเส้นในห้องแช่แข็ง อุณหภูมิของวุ้นเส้นก่อนบรรจุเข้าในห้องแช่แข็ง ขนาด กำลัง และ ประสิทธิภาพของเครื่องทำความเย็น การหมุนเวียนของลมในห้องเพื่อให้การถ่ายเทความร้อนเป็นไปได้อย่างทั่วถึงทั้งห้อง รวมทั้งลักษณะโครงสร้างของห้องแช่แข็ง เช่น การบุฉนวน เป็นต้น เมื่อนำวุ้นเส้นที่แข็งตัวแล้วออกจากห้องแช่แข็งมาแช่ละลายในน้ำ น้ำส่วนที่เกินจะออกไป คงเหลือแต่โครงสร้างที่จับกันเป็นวุ้นเส้นที่เหนียว (6) จากนั้นจึงนำมาตากแดดเพื่อให้น้ำส่วนที่ไม่ได้ยึดกับโมเลกุลแป้งระเหยออกไป

2.10.3.5 <u>การทำแห้ง</u> โรงงานทั่วไปใช้วิธีทำแห้งด้วยการตากแดด โดยการตากวุ้นเส้นบนราวลวดหรือรางไม้ไผ่ ตากแดดจัด ๆ ใช้เวลาประมาณ 6-8 ชั่วโมง ก็จะได้วุ้นเส้นมีความชื้นประมาณ 14 เปอร์เซนต์ (31)