บทที่ 2

วารสารปริทัศน์

มันฝรั่ง (Potato)

2.1 สถิติการปลูก

มันฝรั่งปลูกกันทั่วไปเกือบจะทั่วโลก และจัดเป็นพืชอาหารที่มีความสำคัญเป็นอันดับที่สี่ของโลก เข้าใจว่ามันฝรั่งมีแหล่งกำเนิดในประเทศโบลิเวียและเปรู ถึงแม้ว่าแหล่งปลูกมันฝรั่งที่สำคัญจะอยู่ในเขตอบอุ่นแต่มันฝรั่งก็มีความสำคัญไม่น้อยในแถบร้อนและกึ่งเขตร้อน (10) ในปีหนึ่งๆ ทั่วโลกผลิตมันฝรั่งได้ประมาณ 297 ล้านตันต่อเนื้อที่ปลูกทั้งหมดประมาณ 138 ล้านไร่แหล่งผลิตมันฝรั่งขนาดใหญ่ได้แก่ เยอรมัน รัสเซีย โปแลนด์ ฝรั่งเศส สหรัฐอเมริกา ลาตินอเมริกา และบรรดาประเทศตะวันออกไกล ประเทศที่สามารถผลิตมันฝรั่งได้ผลผลิตต่อไร่สูงสุดได้แก่ สวิสเซอร์แลนด์ เบลเยี่ยม และเยอรมันตะวันออกตามลำดับ (11) แต่ในด้านของปริมาณแล้วประเทศที่ปลูกมากที่สุดคือ สหภาพโซเวียตผลิตได้ร้อยละ 75 ของทั่วโลก อันดับสองคือ โปแลนด์ และอันดับที่ 3 คือ สหรัฐอเมริกา (12) ในปี พ.ศ.2526 องค์การอาหารและเกษตรแห่งสหประชาชาติได้ประมาณว่าผลผลิตมันฝรั่งของโลกเท่ากับ 286.47 ล้านตันต่อเนื้อที่ 20.17 ล้านเฮกเตอร์(1 เฮกเตอร์ =0.0256ไร่) ทวีปที่ผลิตมันฝรั่งได้มากที่สุดคือ ทวีปยุโรปได้แก่ ประเทศรัสเซีย โปแลนด์ คิดเป็นร้อยละ 62.19 ของปริมาณการผลิตของโลก รองลงมาก็คือกลุ่มประเทศในแถบทวีปเอเชีย ได้แก่ ประเทศจีน อินเดีย และทวีปอเมริกาเหนือได้แก่ประเทศสหรัฐอเมริกา แคนาดา ซึ่งมีผลผลิตคิดเป็นร้อยละ 25.99 และ 6.48 ตามลำดับ แต่ประเทศผู้ผลิตมันฝรั่งได้มากที่สุดคือ รัสเซียคิดเป็นร้อยละ 28.97 ของปริมาณผลผลิตของโลก รองลงมาได้แก่ จีน โปแลนด์ สหรัฐอเมริกา ผลิตได้ร้อยละ 17.46 12.03 และ 5.16 ตามลำดับ

สำหรับประเทศไทยนั้นเนื้อที่ปลูกมันฝรั่งจะขึ้นลงตามราคามันฝรั่งในท้องตลาด ราคามันฝรั่งดีกสิกรก็ปลูกมาก และในทางตรงกันข้ามถ้าหากราคาตกกสิกรก็ปลูกลดน้อยลง ดังตารางที่ 2.1 (11)

จะเห็นได้ว่ามันฝรั่งมีการผลิตมากขึ้นทุกปี (2525 - 2528) แต่กระนั้นประเทศไทยก็ยังต้องสั่งมันฝรั่งเพื่อใช้ในอุตสาหกรรม ใช้เป็นพันธุ์ เป็นจำนวนมาก ดังตารางที่ 2.2 (13)

ทั้งนี้เนื่องมาจากการพัฒนาทางด้านเทคโนโลยีการปลูก การเก็บเกี่ยว และการเก็บรักษาไม่ดีเท่าที่ควร และไม่มีการส่งเสริมการปลูกให้ดีเท่าที่ควร ดังนั้นถ้าหากมีการค้นคว้าทดลอง และส่งเสริมการปลูกมันฝรั่งอย่างกว้างขวางแล้วก็จะสามารถสงวนเงินตราออกนอกประเทศได้ปีละไม่น้อย นอกจากนี้ยังสามารถทำรายได้ให้แก่ประเทศด้วย (14)

ตารางที่ 2.1 เนื้อที่เพาะปลูกและผลผลิตของมันฝรั่ง ปี พ.ศ.2521 - 2528
กรมส่งเสริมการเกษตร

ปี	เนื้อที่ปลูก (ไร่)	เสียหาย (ไร่)	เนื้อที่เก็บเกี่ยว (ไร่)	ผลผลิต (ก.ก.)	ผลผลิตเฉลี่ยต่อไร่(ก.ก.)
2521/22	2,494	40	2,454	4,071,775	1,659
2522/23	4,408	-	4,408	6,300,680	1,429
2523/24	7,207	78	7,129	8,857,000	1,242
2524/25	8,565	36	8,529	13,633,000	1,598
2525/26	2,655	-	2,655	5,057,000	1,905
2526/27	4,369	-	4,369	9,937,000	2,274
2527/28	7,537	-	7,539	12,628,000	1,675

ตารางที่ 2.2 ปริมาณการสั่งเข้ามันฝรั่งและราคาพันธุ์มันฝรั่ง (13)

พ.ศ.	ปริมาณ (ก.ก.)	ราคา (บาท/ก.ก.)
2520	27,000	17.50
2521	31,000	18.00
2522	116,000	20.40
2523	80,000	21.45
2524	70,000	21.45
2525	81,000	24.00
2526	71,000	26.00

2.2 <u>พันธุ์มันฝรั่งที่ปลูกในประเทศไทย</u> (15)

มันฝรั่งเป็นพืชล้มลุกที่ชอบอากาศหนาวเย็นและต้องการดินที่มีการระบายน้ำดี อุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตอยู่ระหว่าง 15 - 20 °ซ ดังนั้นจึงเหมาะแก่การปลูกในฤดูหนาวของภาคเหนือ ผลผลิตมันฝรั่งทั่วประเทศเฉลี่ยปีละร้อยละ 80 จังหวัดสำคัญที่ทำการเพาะปลูกคือ จังหวัดเชียงใหม่

มันฝรั่งมีทั้งพันธุ์เบามากจนถึงพันธุ์หนักอายุตั้งแต่ 110 - 150 วัน ขึ้นอยู่กับพันธุ์ ในปัจจุบันมันฝรั่งที่ปลูกกันทางภาคเหนือส่วนใหญ่เป็นพันธุ์จากประเทศเนเธอร์แลนด์ ซึ่งต้องสั่งซื้อมาเป็นพันธุ์ปีหนึ่งประมาณ 70,000 - 80,000 ตัน ซึ่งเดิมพันธุ์ที่ส่งเข้าปลูกคือ พันธุ์บินท์เจ (Bintje) เป็นพันธุ์จากเนเธอร์แลนด์ที่นำเข้ามาปลูกเป็นพันธุ์แรก หัวมีลักษณะ รูปไข่ ขนาดหัวสม่ำเสมอ เปลือกหนาแต่เรียบ และมีสีเหลืองชีด ๆ ตาตื้น เนื้อสีเหลืองอ่อน พันธุ์นี้เหมาะในการทำมันฝรั่งทอดกรอบ (potato chips) และมันทอดแบบ french fried มาก ต่อมาในระยะหลังพบว่าพันธุ์บินท์เจให้ผลผลิตค่อนข้างต่ำ และไม่ต้านทานต่อโรคใบไหม้ และโรคเน่าแห้ง ทำให้สูญเสียง่ายในการเก็บรักษาจึงไม่เป็นที่นิยม ปัจจุบันพันธุ์ที่นิยมปลูกมี 3 พันธุ์คือ

1. พันธุ์สปุนต้า (Spunta) พันธุ์นี้เข้ามามีบทบาทเมื่อพันธุ์บินท์เจให้ผลผลิตต่ำ ปัจจุบันมันฝรั่งที่เกษตรกรปลูกกันส่วนใหญ่เป็นพันธุ์สปุนต้าแทบทั้งสิ้น มันฝรั่งพันธุ์สปุนต้ามีหัวค่อนข้างเบา เจริญเติบโตเร็ว ทรงต้นสูง แข็งแรง ใบสีเขียวแก่ ค่อนข้างเล็ก ดอกสีขาว มีขนาดหัวใหญ่มาก รูปทรงยาว งอเล็กน้อย เปลือกสีเหลืองอ่อน พันธุ์นี้เมื่อเก็บไว้นานๆ หัวจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลแก่เกือบดำ ต้านทานแล้งได้ดีพอสมควร คุณภาพในการเก็บรักษาปานกลาง

2. พันธุ์เคนนีเบค (Kennebec) เป็นพันธุ์จากสหรัฐอเมริกา เพิ่งจะเข้ามามีบทบาทโดยบริษัทแปรรูปมันฝรั่งสั่งเข้ามาให้เกษตรกรเขตอำเภอฝางปลูกเพื่อส่งโรงงาน ใช้ในการแปรรูปเป็นมันทอดแบบ potato chips พันธุ์นี้จะมีหัวค่อนข้างใหญ่ กลมรี และเนื้อสีขาวซึ่งแตกต่างจากพันธุ์ยุโรปที่ส่วนใหญ่มีเนื้อเหลืองอ่อน

3. พันธุ์รัสเซียเบอร์แบงค์ (Russet Burbank) เป็นพันธุ์จากสหรัฐอเมริกา ซึ่งโครงการหลวงได้นำมาทดสอบดูความเป็นไปได้ในการปลูก พบว่ามีความต้านทานต่อโรคและแมลงเหมาะสมกว่าพันธุ์อื่น ๆ โครงการหลวงจึงได้ส่งเสริมให้เกษตรกรปลูกมันฝรั่งพันธุ์รัสเซียเบอร์แบงค์

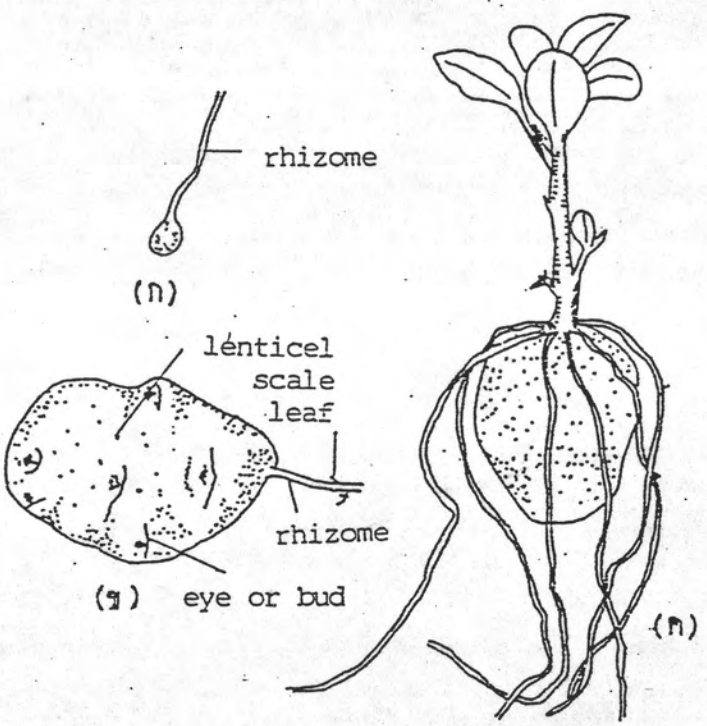
ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้เลือกศึกษาสมบัติต่างๆของแป้งมันฝรั่งและการปรับปรุงคุณภาพแป้งมันฝรั่งจากมันฝรั่งพันธุ์สปุนต้า ซึ่งเป็นพันธุ์ที่เกษตรกรนิยมปลูก

2.3 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ (16)

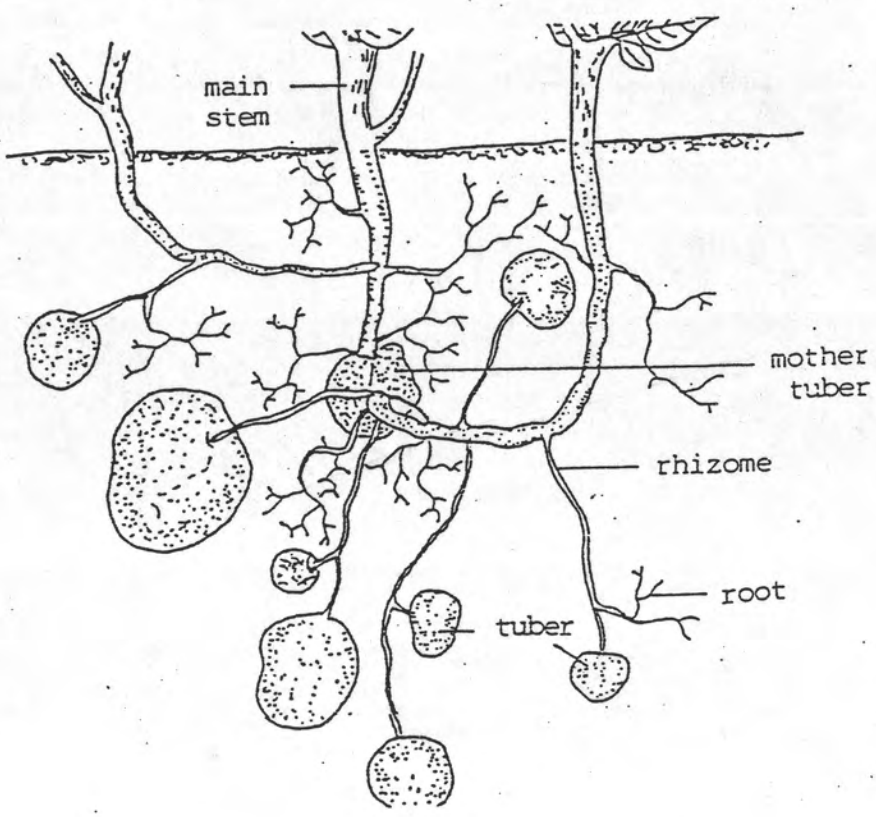
มันฝรั่งอยู่ใน Family Salanaceae Genus Solanum และ Species tuberosum ส่วนสำคัญทางพฤกษศาสตร์ของมันฝรั่งคือ ราก ลำต้น หัว ใบ ดอก ผลและเมล็ด ส่วนที่นำมาใช้เป็นประโยชน์ในอุตสาหกรรมอาหารคือ ส่วนหัว (tuber) หัวมันฝรั่งเกิดจากการขยายตัวเนื่องจากการสะสมแป้งที่ส่วนปลายของลำต้นใต้ดิน (rhizome) โดยปกติหัวจะเกิดขึ้นเมื่อ rhizome หยุดการเจริญทางความยาว (ดูรูปที่ 2.1 ก) stolon อาจจะมีการแตกแขนง การเจริญเติบโตของ rhizome จะเป็นไปในแนวราบ แต่บางครั้ง rhizome ก็อาจจะเจริญโผล่ขึ้นมาเหนือผิวดินกลายเป็นลำต้นเหนือดินได้

ความแปรปรวนทั้งขนาดและรูปร่างหัวอาจยาวหรือกลมขึ้นอยู่กับพันธุ์ ส่วนของหัวด้านที่ติดกับ rhizome เรียกว่า heel หรือ attachment end ปลายอีกด้านหนึ่งเรียกว่า apical portion ที่บริเวณผิวของหัวจะมี eye ซึ่งเป็นที่อยู่ของ bud ใน eye หนึ่งๆมีหลาย buds (ดูรูปที่ 2.1 ข) บริเวณ apical portion จะมี eye มากกว่าบริเวณ heel มันฝรั่งต้น

หนึ่งจะให้หัวเฉลี่ย 6 - 10 หัว ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับพันธุ์และความอุดมสมบูรณ์ของดิน (ดูรูปที่ 2.2)



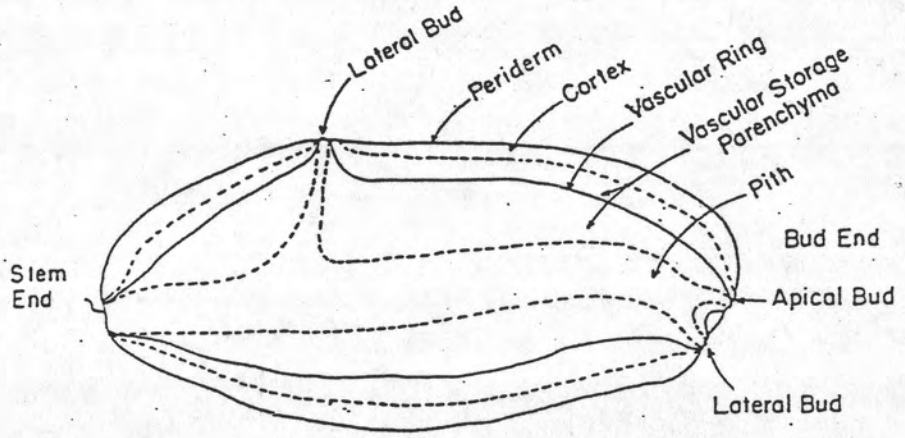
รูปที่ 2.1 หัวมันฝรั่งอ่อน (ก) หัวมันฝรั่งที่เจริญเต็มที่ (ข) และต้นอ่อนที่เจริญจาก bud (ค)



รูปที่ 2.2 ส่วนที่อยู่ใต้ดินของต้นมันฝรั่ง

2.4 <u>โครงสร้างของมันฝรั่ง</u> (17)

ผิวด้านนอกของหัวมันฝรั่งประกอบด้วยชั้นของ corky periderm ชั้นนี้จะช่วยป้องกันการสูญเสียน้ำและต่อต้านการทำลายของเชื้อจุลินทรีย์ เมื่อหัวมันฝรั่งถูกผ่าออกและทิ้งไว้จะเกิดมีการสร้างเซลใหม่ที่ผิวเรียกว่า "wound periderm" ถัดจากชั้น periderm จะเป็นชั้นของcortex ซึ่งเป็นชั้นแคบๆของเนื้อเยื่อ parenchyma ชั้น cortex นี้จะถูกจำกัดโดย vascular ring ระหว่าง vascular ring จะเป็นชั้นของ vascular storage ในชั้น parenchyma จะมีปริมาณแป้งสูง ส่วนชั้นของ pith จะประกอบด้วยเซลขนาดใหญ่ที่มีปริมาณแป้งน้อยกว่าเซลตรงบริเวณท่อน้ำท่ออาหาร(vascular area) และด้านในของชั้น cortex (ดังรูปที่ 2.3)



รูปที่ 2.3 ลักษณะโครงสร้างของหัวมันฝรั่ง (Smith 1975)

2.5 องค์ประกอบทางเคมีของมันฝรั่ง

องค์ประกอบทางเคมีของมันฝรั่งแสดงในตารางที่ 2.3 (18) โดยปกติองค์ประกอบทางเคมีจะแปรไปตามชนิดของพันธุ์ พื้นที่ที่ใช้เพาะปลูก วิธีการปลูก ความแก่ของมันฝรั่งขณะเก็บเกี่ยว วิธีการเก็บรักษาภายหลังการเก็บเกี่ยวและสภาพแวดล้อม (17)

ตารางที่ 2.3 องค์ประกอบอย่างประมาณของหัวมันฝรั่ง (18)

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

2.6 การผลิตแป้งมันฝรั่ง

2.6.1 ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อปริมาณแป้งและคุณภาพของแป้งในหัวมันฝรั่ง

2.6.1.1 พันธุ์ของมันฝรั่ง มันฝรั่งมีมากมายหลายพันธุ์แต่ละพันธุ์มีปริมาณแป้งแตกต่างกัน ตามที่แสดงรายละเอียดไว้ในตารางที่ 2.4 (19)

2.6.1.2 ขนาดของมันฝรั่ง มันฝรั่งที่มีขนาดใหญ่จะมีปริมาณแป้งมากกว่ามันฝรั่งที่มีขนาดเล็ก และขนาดมันฝรั่งมีความสัมพันธ์กับขนาดของเม็ดแป้งด้วย มันฝรั่งที่มีขนาดใหญ่เม็ดแป้งจะมีขนาดใหญ่ด้วย (20)

นอกจากนี้ขนาดของเม็ดแป้ง มีส่วนสำคัญโดยตรงต่อคุณสมบัติของแป้ง เม็ดแป้งที่มีขนาดใหญ่อุณหภูมิในการเกิดเจลจะต่ำ และได้แป้งเปียก (paste) ที่มีความหนืดสูง เม็ดแป้งแตกตัวได้ง่าย ความคงตัวของแป้งเปียกน้อย (21)

2.6.1.3 ความแก่อ่อนของมันฝรั่งก่อนการเก็บเกี่ยว มันฝรั่งที่แก่เต็มที่มีผลทำให้เม็ดแป้งมีขนาดใหญ่ขึ้น และมีปริมาณแป้งมากขึ้น เพราะอาหารจากส่วนใบและลำต้นจะเคลื่อนย้ายลงไปสู่ส่วนหัวและเปลี่ยนเป็นแป้งได้อย่างสมบูรณ์ (17)

2.6.1.4 ปัจจัยในการเพาะปลูก (17) ได้แก่

2.6.1.4.1 การให้น้ำแก่มันฝรั่ง การให้น้ำอย่างสม่ำเสมอและไม่มากเกินไป จะช่วยให้มันฝรั่งสร้างแป้งได้มากขึ้นและมีความถ่วงจำเพาะสูง

2.6.1.4.2 การให้ปุ๋ยแก่ต้นมันฝรั่ง จะมีผลต่อคุณสมบัติของแป้งที่ได้จากหัวมันฝรั่ง คือ ถ้าให้ปุ๋ยไนโตรเจนโดยเฉพาะในดินที่ขาดโปแตสเซียมและดินที่มีความเป็นกรดต่ำจะลดปริมาณของฟอสฟอรัสในแป้ง และความหนืดของแป้งจะลดลงด้วย ถ้าให้โปแตสเซียมซัลเฟตจะมีผลเพิ่มความหนืดของแป้ง แต่ถ้าให้โปแตสเซียมคลอไรด์จะมีผลลดความหนืดของแป้ง

2.6.1.4.3 สารเคมีที่ใช้ในการกำจัดวัชพืชบริเวณที่ปลูกมันฝรั่งจะมีผลดังนี้คือ comperol 1803 จะลดโปแตสเซียม โซเดียม ฟอสฟอรัส และอะไมโลส topogard จะลดฟอสฟอรัส แคลเซียม แต่เพิ่มปริมาณอะไมโลสและความหนืดของแป้ง และ alfalon จะเพิ่มปริมาณอะไมโลส โซเดียม และความหนืดของแป้ง

2.6.1.5 การเก็บรักษามันฝรั่งหลังเก็บเกี่ยว (18) หากทำการเก็บรักษาไม่เหมาะสมหลังเก็บเกี่ยวมันฝรั่งจะหดตัว สูญเสียน้ำหนักและเกิดการเปลี่ยนแปลงของน้ำตาลคือที่อุณหภูมิ 32 °ฟ การระเหยของน้ำและการหายใจหยุดแต่การทำงานของเอนไซม์ในการสังเคราะห์

น้ำตาลยังคงดำเนินการต่อไป ปริมาณแป้งจะลดลงและปริมาณน้ำตาลเพิ่มขึ้น ส่วนที่อุณหภูมิ 50 °ฟ การเพิ่มขึ้นของน้ำตาลจะเป็นไปอย่างช้า ๆ ปริมาณแป้งจะไม่เปลี่ยนแปลง

การเก็บรักษามันฝรั่งยังต้องคำนึงถึงสภาพแวดล้อมอื่น ๆ ประกอบด้วย ได้แก่ต้องมีการหมุนเวียนของอากาศดี บริเวณที่เก็บแสงสว่างส่องไม่ถึงเพราะแสงสว่างจะทำให้เกิดสีเขียว (greening)

2.6.1.6 การงอกของมันฝรั่ง จะมีผลทำให้ปริมาณแป้งในมันฝรั่งลดน้อยลง (19) การแก้ปัญหาการงอกของมันฝรั่ง อาจทำโดยใช้สารเคมีเช่น maleic hydrazide จะใช้ในขณะทำการปลูก สารเคมีนี้จะป้องกันการงอกระหว่างการเก็บ (22) หรือ methyl ether และ naphthalene acetic acid จะใช้ในลักษณะไอขณะที่เก็บมันฝรั่งในห้องเก็บ และ tetrachloronitrobenzene (TCNB) ใช้ในรูปผงในขณะเก็บมันฝรั่งในห้องเก็บซึ่งสารประกอบนี้จะระเหยช้า

2.6.2 มันฝรั่งที่เหมาะสำหรับอุตสาหกรรมการผลิตแป้ง (19) ควรจะมีคุณสมบัติ ดังนี้

2.6.2.1 มีปริมาณแป้งสูง

2.6.2.2 มีความต้านทานโรคและมีสภาพการเก็บรักษาที่ดี ไม่งอก

2.6.2.3 มีปริมาณโปรตีนและเส้นใยต่ำ

2.6.2.4 มีขนาดเม็ดแป้งใหญ่ ซึ่งช่วยให้ได้ผลผลิตแป้งปริมาณมากและแป้งที่ได้มีคุณภาพดี มันฝรั่งที่มีขนาดเม็ดแป้งเล็กไม่เหมาะสมในอุตสาหกรรมผลิตแป้งเพราะจะสูญเสียระหว่างการตกตะกอนแป้งมาก มีการดูดซึมสารปนเปื้อนอื่นๆในปริมาณสูง ทำให้ได้แป้งคุณภาพไม่ดี

2.6.2.5 ลักษณะทั่วไป ผิวเรียบ ตาตื้น ซึ่งจะช่วยให้สะดวกในการทำความสะอาด

ตารางที่ 2.4 ปริมาณแป้งในมันฝรั่งพันธุ์ต่าง ๆ (19)

มันฝรั่ง (พันธุ์)	ปริมาณแป้ง[1] (%)
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

1 ปริมาณแป้งต่อน้ำหนักหัวมันฝรั่ง

2.6.3 กระบวนการผลิตแป้งมันฝรั่ง

การผลิตแป้งมันฝรั่ง มีขั้นตอนต่าง ๆ ดังนี้

2.6.3.1 การทำความสะอาด มันฝรั่งถูกนำมาล้างให้สะอาดปราศจากโคลนหรือเศษดิน การทำความสะอาดนี้อาจทำโดยเครื่องจักรโดยเฉพาะโรงงานขนาดใหญ่เครื่องล้างมีลักษณะเป็นตะแกรงรูปทรงกระบอกและหมุนอยู่ตลอดเวลา ในขณะที่มันฝรั่งเคลื่อนเข้าไปสู่ตะแกรงนั้น มันฝรั่งจะถูกพลิกกลับไปกลับมาในขณะเดียวกันก็จะมีน้ำฉีดล้างด้วยความเร็วสูง (17)

2.6.3.2 การบดให้ละเอียด นำมันฝรั่งที่ล้างสะอาดแล้วมาบดให้ละเอียดเพื่อทำลายเซลของพืชให้แตกออกและปล่อยเม็ดแป้งออกมา การบดอาจทำโดยใช้เครื่องบดที่มีลักษณะคล้ายตะไบหยาบๆ (rasp mill) หรือใช้เครื่องบดที่มีลักษณะคล้ายฆ้อนทุบ (hammer mill) ซึ่งจะทำให้มันฝรั่งที่ถูกบดมีลักษณะเป็นของเหลวข้น (17) ในขั้นตอนนี้จะมีการใช้น้ำผสมโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์มีความเข้มข้น 0.075 - 0.2 เปอร์เซนต์ (23) ซึ่งจะให้ซัลเฟอร์-ไดออกไซด์เพื่อหยุดปฏิกริยาของออกซิเดทีพเอนไซม์ และมีผลทำให้แป้งขาวขึ้น (17) น้ำที่ใช้นี้จะเป็นตัวพามันฝรั่งที่ผ่านการบดเข้าเครื่องกรองเอากากและเส้นใยออกจากแป้ง เครื่องมือที่ใช้กรองมีหลายชนิด เช่น ใช้ผ้าไหมหรือไนล่อน ใช้ตะแกรง เครื่องกรองชนิดใช้แรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง เป็นต้น ตะแกรงที่ใช้มีขนาด 100 เมช (mesh) และ 200 เมช (mesh) ตามลำดับ ส่วนของกากและสิ่งปนเปื้อนที่มีขนาดใหญ่กว่า 75 ไมโครเมตร จะติดค้างบนตะแกรง น้ำแป้งจะผ่านตะแกรงสู่ถังพัก กากที่ได้จะนำกลับเข้าเครื่องบดอีกครั้ง เพื่อให้พาเรนไคมาเซลแตกออกและปล่อยส่วนที่เป็นแป้งออกมามากขึ้น (20)

2.6.3.3 การทำแป้งให้บริสุทธิ์ ขั้นตอนนี้สามารถใช้เครื่องมือได้หลายแบบตามความเหมาะสมของโรงงาน เช่น การตกตะกอนในถังขนาดใหญ่ (setting vat) การใช้โต๊ะลาดเอียง (tabling) การใช้เครื่องแยกส่วนโดยใช้แรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง (centrifugal separator) เป็นต้น ซึ่งน้ำแป้งที่ผ่านการกรองแล้วจะถูกนำมาผ่านขั้นตอนนี้เพื่อแยกสิ่งปนเปื้อนที่ละลายในน้ำ เช่น เกลือ กรดอะมิโน และสารละลายอื่นๆที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ วิธีการตกตะกอนในถังเป็นวิธีการที่ง่ายน้ำแป้งจะถูกตั้งทิ้งไว้จนแป้งทั้งหมดตกตะกอนแยกน้ำส่วนที่ใสออกไป ตะกอนที่ได้จะมี 3 - 4 ชั้น คือ ชั้นแป้งขาวพวกที่เม็ดแป้งมีขนาดเล็กอยู่ผิวบนสุด ต่อมาเป็นชั้นแป้งสีน้ำตาล (brown starch) เป็นชั้นของเปลือก เส้นใย ผนังเซล ชั้นล่างจะเป็นชั้นของแป้งขาว (white starch) แป้งขาวชั้นบนและแป้งสีน้ำตาลจะถูกคัดทิ้งและนำแป้งที่เหลือมาตกตะกอนซ้ำอีก 1 - 2 ครั้ง พร้อมทั้งผ่านตะแกรงเอากากละเอียดออกเพื่อ

ให้แป้งสะอาด ในกระบวนการนี้ควรให้ความเข้มข้นของน้ำแป้งแต่ละครั้งที่นำมาตกตะกอนใกล้เคียงกัน เพื่อความสะดวกในการทำช่องระบายน้ำส่วนใสชั้นบนทิ้ง ขั้นตอนนี้ไม่ควรใช้เวลานานเกินไป เพราะอาจทำให้เกิดการหมัก เกิดแอลกอฮอล์ กรดแลคติกหรือกรดบิวทีริคขึ้น การใช้กรดฟอสเฟตบางชนิด สารส้ม หรือกรดกำมะถันเล็กน้อยจะช่วยให้การตกตะกอนเป็นไปอย่างรวดเร็วแต่แป้งที่ได้จะให้ paste ที่มีความหนืดลดลงเล็กน้อย (20)

2.6.3.4 การทำให้แห้ง แป้งที่ผ่านกระบวนการทำให้บริสุทธิ์แล้วจะถูกส่งผ่านเข้าเครื่องกรองระบบสูญญากาศแยกเอาน้ำออกได้แป้งมีความชื้นประมาณ 30-40 เปอร์เซนต์ และนำไปทำให้แห้งด้วยเครื่องอบแห้งชนิดต่างๆเช่น flash dryer continuous belt dryerหรือผึ่งบนลานตากแห้ง อุณหภูมิที่ใช้ไม่ควรให้สูงเกินไปเพราะจะทำให้เม็ดแป้งแตก และสูญเสียความเงามัน ความชื้นสุดท้ายของแป้งหลังจากอบประมาณ 18 เปอร์เซนต์ (17,20)

2.6.3.5 การบรรจุ นำแป้งที่แห้งแล้วมาบดให้ละเอียด บรรจุลงในถุงปิดให้สนิทเพื่อป้องกันการดูดความชื้นและสิ่งสกปรกจากภายนอก (17)

2.7 แป้ง

2.7.1 ชนิดของแป้ง

แป้ง (starch) เป็นคาร์โบไฮเดรตที่สะสมอยู่ในพืชโดยสะสมไว้ที่เมล็ด ผล ราก ลำต้น และใบ อาจจะแบ่งแป้งออกได้เป็น 3 ประเภทคือ แป้งจากธัญพืช เช่น ข้าวโพด ข้าวสาลี ข้าวฟ่าง ถั่วเขียว แป้งจากรากหรือหัว เช่น มันฝรั่ง มันสำปะหลัง มันเทศ และแป้งประเภทสุดท้ายคือแป้งจากลำต้น เช่น สาคู (24) แป้งแต่ละชนิดและจากแต่ละแหล่งจะมีสมบัติที่สำคัญแตกต่างกันได้แก่ ขนาด และรูปร่างของเม็ดแป้ง อุณหภูมิแป้งสุก (gelatinization temperature) ความสามารถในการพองตัว (swelling power) retrogradation และความหนืด (viscosity) ของ paste เป็นเหตุให้แป้งแต่ละชนิดมีความเหมาะสมในการใช้งานที่แตกต่างกัน (25)

2.7.2 องค์ประกอบทางเคมีของแป้ง

แป้งประกอบด้วยคาร์บอนร้อยละ 44.4 ไฮโดรเจนร้อยละ 6.2 และออกซิเจนร้อยละ 49.4 โดยอยู่ในรูป α D - glucose เป็นส่วนใหญ่ นอกนั้นจะมีโปรตีน ไขมัน ฟอสฟอรัส และเถ้า แป้งมันฝรั่งมีองค์ประกอบทางเคมีดังนี้ คาร์โบไฮเดรตร้อยละ 82.1 โปรตีนร้อยละ 0.1 ไขมันร้อยละ 0.1 กากร้อยละ 0.01 ความชื้นร้อยละ 17.5 (26) ตารางที่ 2.5 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของแป้งธัญพืชชนิดต่าง ๆ (27)

ตารางที่ 2.5 องค์ประกอบทางเคมีของแป้งธัญพืชชนิดต่างๆ (27)

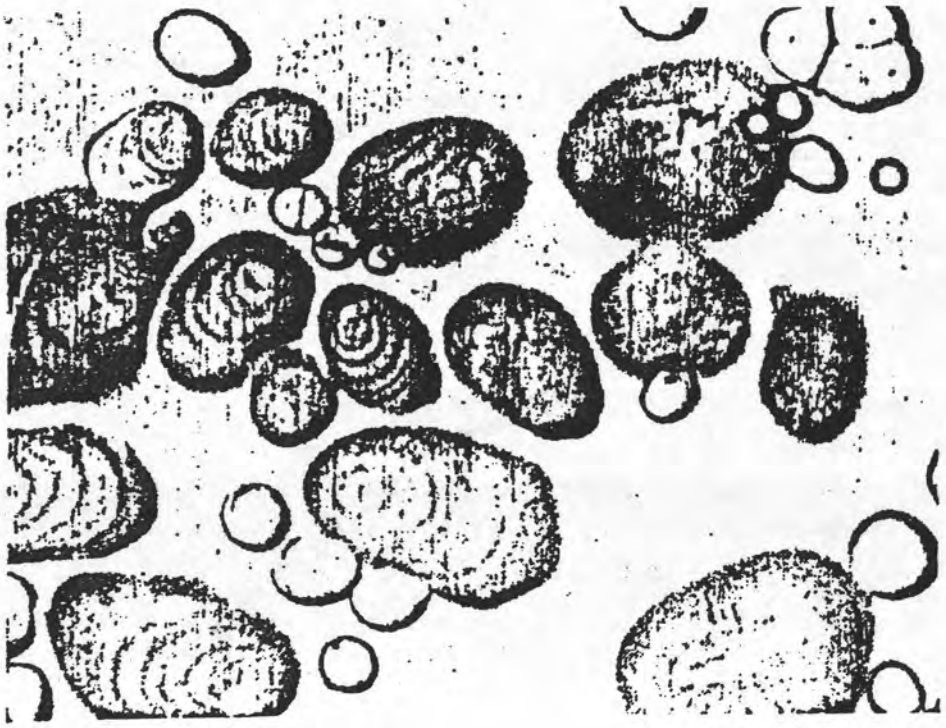
ชนิดของแป้ง	ความชื้น (%)	ไขมัน (%)	คาร์โบไฮเดรต (%)	โปรตีน (%)	เถ้า (%)	เส้นใย (%)
ข้าวฟ่าง	11.00	3.20	70.90	11.00	1.50	2.40
ข้าว	12.00	1.90	62.70	8.00	6.30	9.00
ข้าวโพด	11.50	4.30	71.00	9.80	1.50	1.90
ข้าวบาร์เลย์	15.00	1.50	66.40	10.00	2.60	5.00
ข้าวสาลี	15.00	2.50	63.00	13.60	1.50	2.20
ข้าวโอ๊ต	11.00	1.50	71.70	12.40	2.00	2.30
ข้าวไรย์	10.00	4.70	62.10	10.30	2.60	9.30

2.7.3 ลักษณะสำคัญทางกายภาพและทางเคมี

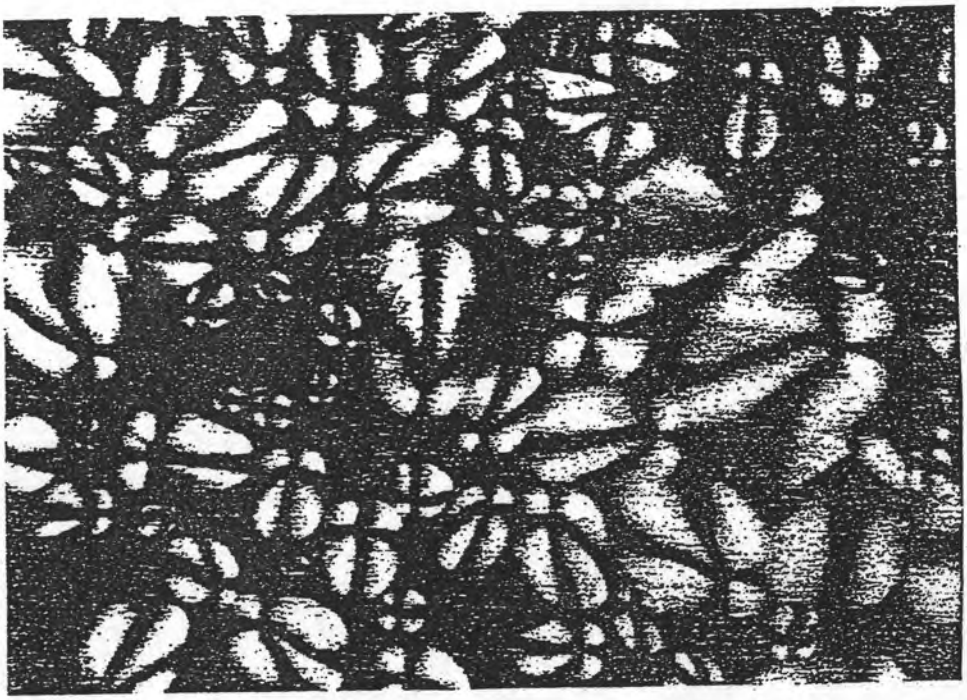
2.7.3.1 ลักษณะสำคัญทางกายภาพ

แป้งทุกชนิดมีสีขาว ไม่มีกลิ่น ไม่มีรส มีความถ่วงจำเพาะประมาณ 1.50 -1.53 ทั้งนี้ขึ้นกับชนิดของแป้ง ไม่มีการตกผลึก ไม่ละลายในน้ำเย็น หรือตัวทำละลายอินทรีย์ การศึกษาหาขนาดและรูปร่างของเม็ดแป้งโดยใช้กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงธรรมดาและกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงโพลาไรซ์ (polarized light) พบว่าเม็ดแป้งมันฝรั่งมีขนาด 15 - 100 μ ขนาดโดยเฉลี่ย 30 μ มีลักษณะเป็นรูปไข่ แกนยาว เห็นวงแหวนได้ชัดเจน (28) ลักษณะวงแหวนซ้อนกันโดยมีจุดศูนย์กลางร่วมกัน วงแหวนแต่ละวงเป็นชั้นบางๆประกอบด้วยส่วนที่รวมตัวกันแน่น (crystalline) และส่วนที่รวมตัวกันหลวมๆ (amorphous) ของอะไมโลสและอะไมโลเพคตินสลับกันไป ดังรูปที่ 2.4 การเรียงตัวของบริเวณทั้งสองจะเป็นไปอย่างมีระเบียบทำให้เม็ดแป้งแสดง dark cross pattern เรียกว่า birefringence ส่วนตัดของกากบาทจะอยู่ที่รอยบุ๋ม ดังรูปที่ 2.5 (28) เม็ดแป้งชนิดต่างๆมีลักษณะปรากฏต่างกันทำให้สามารถบอกชนิดของแป้งได้ ดังตารางที่ 2.6 (29)

013059



รูปที่ 2.4 เม็ดแป้งมันฝรั่งถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์ (28)



รูปที่ 2.5 เม็ดแป้งมันฝรั่งถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงโพลาไรซ์ (28)

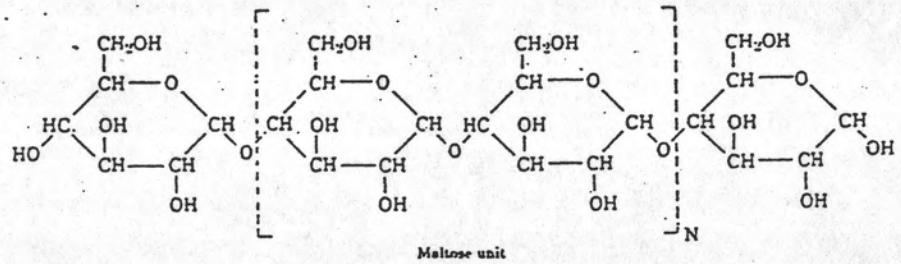
ตารางที่ 2.6 ลักษณะเฉพาะของเม็ดแป้งชนิดต่างๆ (starch granule characteristic)

ชนิดของแป้ง (Starch)	ขนาด(u) (Granule size)	ลักษณะรูปร่าง (Granule shape)	ปริมาณอะไมโลส (Amylose content)(%)	อุณหภูมิของแป้งสุก (Gelatinization temperature) (5% solution)
Corn	20	Round, polygonal	25	80 °C
Waxy corn	20	Round, polygonal	0-3	74 °C
Potato	35	Oval	20	64 °C
Tapioca	18	Truncated, round, oval	17	63 °C
Sago	25	Oval, truncated	27	74 °C
Wheat	10	Oval, round	25	77 °C
Rice	7	Polygonal	17	81 °C

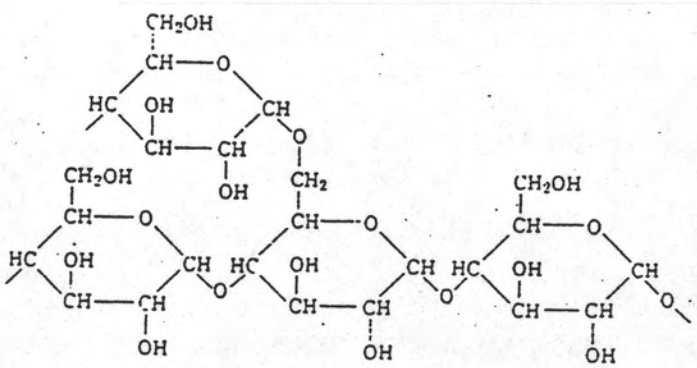
2.7.3.2 ลักษณะสำคัญทางเคมี

2.7.3.2.1 โครงสร้างของแป้ง

แป้งเป็นโพลีแซคคาไรด์ (polysaccharide)ซึ่งเป็นโพลิเมอร์ของα-D glucose แป้งประกอบด้วยอะไมโลส (amylose) และอะไมโลเพคติน (amylopectin) (รูปที่ 2.6) อะไมโลสเป็นโพลิเมอร์ของหน่วย glucose ที่ต่อกันเป็นเส้นตรงด้วยพันธะ α-1,4 glucosidic ความยาวของ chain ประมาณ 200 - 20,000 anhydroglucose unit (AGU) ส่วนอะไมโลเพคตินเป็นโพลิเมอร์ที่แตกเป็นสาขามากมาย ซึ่งประกอบด้วย glucose เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ α-1,4 glucosidic เป็นส่วนใหญ่ และมีส่วนแตกสาขาเชื่อมต่อกันด้วยพันธะ α-1,6 glucosidic แต่ละสาขาประกอบด้วย glucose ประมาณ 15 - 25 AGU (30,31)



โครงสร้างของอะไมโลส



โครงสร้างอะไมโลเพคติน

รูปที่ 2.6 โครงสร้างอะไมโลสและอะไมโลเพคติน

ความแตกต่างระหว่างอะไมโลสกับอะไมโลเพคตินคือ อะไมโลสเป็นโมเลกุลที่เป็นเส้นตรงสามารถเกิด retrogradation ได้ง่าย ไม่มีฟอสฟอรัส ส่วนอะไมโลเพคตินเป็นโมเลกุลที่เป็นกิ่งก้านเกิด retrogradation ช้า และมีฟอสฟอรัสประมาณร้อยละ0.06 - 0.09 โดยอยู่ในรูปของฟอสเฟตเอสเทอร์(phosphate ester) ที่ตำแหน่งคาร์บอนตัวที่ 6 (31)

2.7.3.2.2 อัตราส่วนอะไมโลสต่ออะไมโลเพคติน

อัตราส่วนของอะไมโลสต่ออะไมโลเพคตินจะมีผลต่อการพองตัวของเม็ดแป้ง ความหนืด ความใสของ paste ที่ได้หลังจากเย็นลง และ retrogradation ของ paste เมื่อทิ้งไว้ให้เย็น (32) แป้งที่มีอะไมโลสสูงจะมีอุณหภูมิในการพองตัวสูงกว่าปกติ อะไมโลสเป็นส่วนที่ละลายน้ำได้ดี เมื่อต้มในน้ำเดือดจะมีความหนืดน้อยกว่าแต่ขุ่นกว่าอะไมโลเพคติน เมื่อทิ้งไว้ให้เย็นอะไมโลสเกิด retrogradation ได้ ส่วนแป้งที่มีอะไมโลเพคตินจะไม่เกิด retrogradation Whistler และคณะ (33) พบว่าอะไมโลสของแป้งต่างชนิดกันจะมีอัตราการเกิด retrogradation ของเม็ดแป้งแตกต่างกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับค่าเฉลี่ยของน้ำหนักโมเลกุลของอะไมโลส แป้งมันฝรั่งมีอะไมโลสต่ออะไมโลเพคตินเป็น 20:80 น้ำหนักโมเลกุลของอะไมโลสในแป้งมันฝรั่งประมาณ 68,900 - 82,600 (34) แป้งต่างชนิดกันจะมีอะไมโลสแตกต่างกันและยังทำให้ลักษณะเนื้อสัมผัสในอาหารแตกต่างกันด้วยดังตารางที่ 2.7(9)

ตารางที่ 2.7 ลักษณะเฉพาะของแป้งชนิดต่างๆ (9)

Starch	Amylose content (%)	Clarity	Gel structure	Texture
Potato	20	Clear	No gelling	Salve
Common corn	27	Slight opacity	Firm gel	Gel
Waxy corn	0	Clear	No gelling	Paste
Tapioca	22	Clear	Soft gel	Gel
High amylose corn	55	Opaque	Rigid gel	Gel

2.7.4 การสุกของเม็ดแป้ง (Gelatinization)

การสุกของเม็ดแป้งเป็นกระบวนการที่แสดงถึงการพองตัว(swelling) และการดูดซึมน้ำ (hydration) ของเม็ดแป้งในขณะได้รับความร้อน เพราะโมเลกุลภายในเม็ดแป้งมีหมู่ไฮดรอกซิลเป็นจำนวนมาก โดยเฉพาะอะไมโลเพคตินซึ่งสามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนภายในโมเลกุลหรือระหว่างโมเลกุลเป็นจำนวนมาก ทำให้แรงยึดภายในเม็ดแป้งมีค่าสูงมาก แป้งจึงไม่ละลายในน้ำเย็นแต่เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นแป้งจะสามารถละลายน้ำได้ดีขึ้น ทำให้เกิดการพองตัวของเม็ดแป้ง การพองตัวของเม็ดแป้งจะเริ่มเกิดเมื่อปริมาณความร้อนที่ให้แก่สารละลายแป้งมีพลังงานพอเพียงที่จะทำให้เกิดการแตกของพันธะไฮโดรเจนในเม็ดแป้ง ทำให้น้ำสามารถเข้าไประหว่างโมเลกุลของเม็ดแป้ง ทำให้เม็ดแป้งมีขนาดใหญ่ขึ้น ช่วงอุณหภูมิที่แป้งมีการดูดน้ำอย่างรวดเร็ว และพองตัวขึ้นมากเรียกว่า gelatinization temperature การพองตัวอย่างเต็มที่ของเม็ดแป้งจะทำให้สูญเสียลักษณะ birefringence ซึ่งเป็นลักษณะที่บอกถึงการจัดเรียงตัวของโมเลกุลภายในเม็ดแป้งอย่างเป็นระเบียบ แป้งแต่ละชนิดมีช่วงอุณหภูมิแป้งสุก (gelatinization temperature) แตกต่างกันไป (35) แป้งมันฝรั่งมีค่าช่วงอุณหภูมิแป้งสุก 64 °ซ ส่วนแป้งชนิดอื่นแสดงอุณหภูมิแป้งสุกดังแสดงในตารางที่ 2.6

การพองตัวของเม็ดแป้งอย่างเต็มที่ทำให้ paste แป้งมีความใสและหนืดเพิ่มขึ้น ปัจจัยสำคัญที่ควบคุมการพองตัวของเม็ดแป้ง คือ แรงยึดระหว่างพันธะไฮโดรเจนภายในโมเลกุล หรืออาจแยกเป็นปัจจัยที่มีผลต่อการพองตัวของเม็ดแป้งเป็นรายละเอียด(36) ดังนี้

1. การจัดเรียงตัวของโมเลกุลในเม็ดแป้ง
2. สัดส่วนของอะไมโลสต่ออะไมโลเพคติน
3. การกระจายของน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยของอะไมโลสและอะไมโลเพคติน
4. องค์ประกอบที่ไม่ใช่แป้งภายในเม็ดแป้ง โดยเฉพาะไขมันและโปรตีน

2.7.5 การศึกษาความหนืดของเม็ดแป้ง

การศึกษาความหนืดของเม็ดแป้งจากแป้งชนิดต่างๆ สามารถติดตามด้วยเครื่อง Brabender Visco-Amylograph Scott Hot Paste และ Brookfield Viscometer เป็นต้น โดยติดตามความหนืดของสารละลายแป้งเมื่อได้รับความร้อน เพราะเมื่อเม็ดแป้งขยายใหญ่ขึ้น การเคลื่อนไหวของเม็ดแป้งจะยากขึ้นเพราะน้ำที่อยู่รอบๆเหลือน้อยลง ความหนืดของน้ำแป้งจะเพิ่มขึ้นจนสูงสุด ซึ่งในช่วงนี้แรงยึดภายในเม็ดแป้งจะน้อย(weak)ที่สุด และถ้ายังได้รับความร้อนหรือกวนอีก โครงสร้างภายในจะฉีกออกได้ทำให้ความหนืดลดลง ซึ่งจะพบว่าแป้งมันฝรั่ง

มีการพองตัวแบบ เอ ดังรูปที่ 2.7(36) ส่วนแป้งถั่วเขียว แสดงลักษณะของกราฟ 2 แบบ โดยที่อัตราส่วนระหว่างแป้งกับน้ำอยู่ระหว่าง 4-7 % จะให้ลักษณะแบบ ซี แต่เมื่อมีอัตราส่วนแป้งกับน้ำเป็น 8 % จะแสดงลักษณะแบบ บี ดังรูปที่ 2.8 (37)

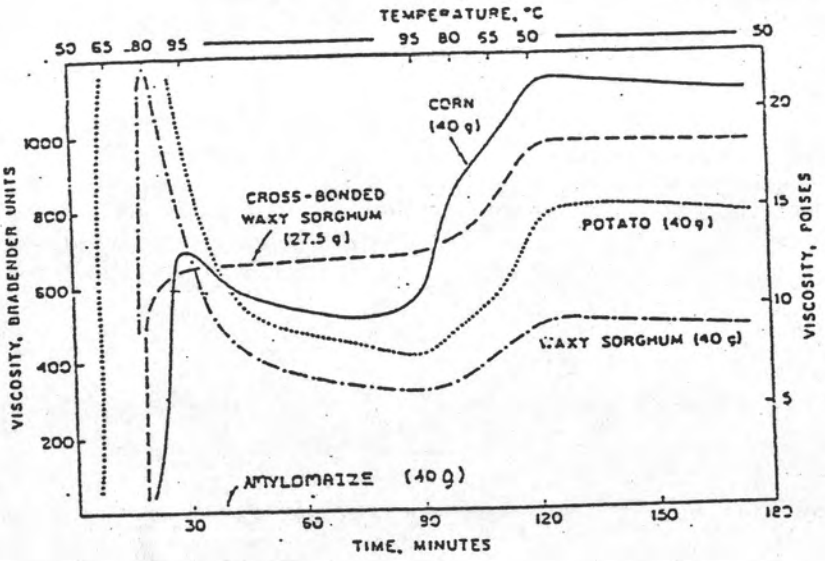
<u>ลักษณะการพองตัวของแป้งชนิดต่าง</u> ๆ (36)

แบบ เอ เป็นลักษณะกราฟที่ได้จากเม็ดแป้งที่มีการพองตัวสูง เช่นแป้งมันฝรั่ง แป้ง waxy sorghum

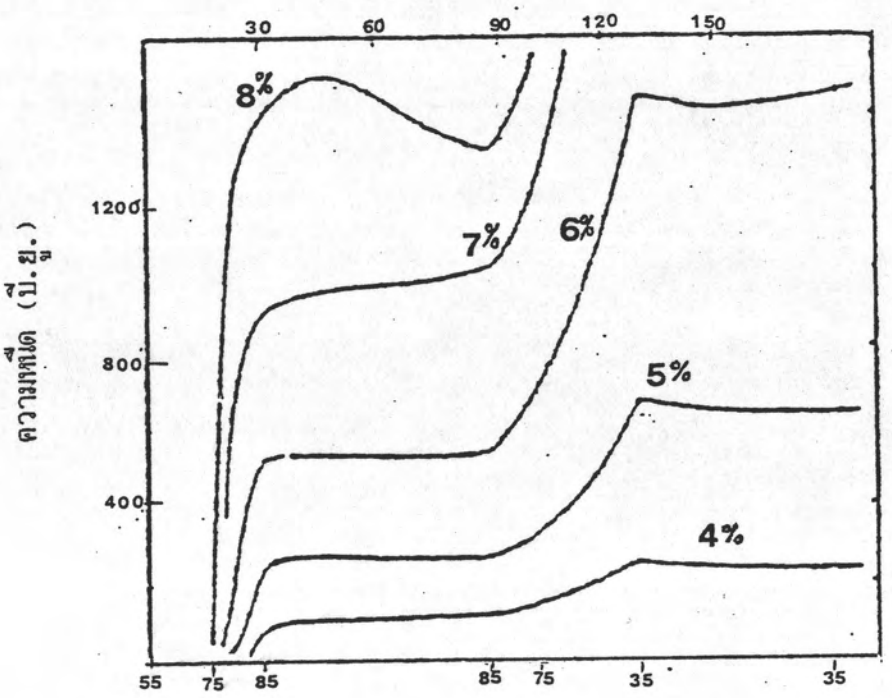
แบบ บี เป็นกราฟของเม็ดแป้งที่มีการพองตัวปานกลาง ได้แก่ แป้งข้าวโพด และแป้งธัญพืชอื่น ๆ

แบบ ซี เป็นกราฟของเม็ดแป้งที่มีการพองตัวน้อย ได้แก่ แป้งถั่วต่าง ๆ แป้ง cross-bonded waxy sorghum

แบบ ดี เป็นกราฟของเม็ดแป้งที่มีการพองตัวน้อยมาก ได้แก่แป้งที่มี อะไมโลสสูง ๆ เช่น amylomaize

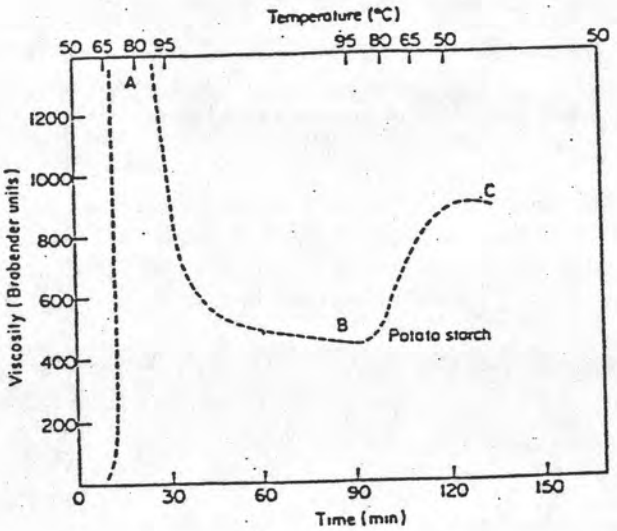


รูปที่ 2.7 กราฟแสดงความหนืดของ paste จากแป้งที่มีการพองตัวแบบต่างๆ โดยความเข้มข้นของน้ำแป้งที่ใช้เป็นกรัมของน้ำหนักแป้งแห้งต่อน้ำแป้ง 500 มิลลิลิตร



รูปที่ 2.8 ลักษณะกราฟแสดงความหนืดของแป้งถั่วเขียวที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ที่เครื่อง Brabender Visco-Amylograph

การติดตามความหนืดของแป้งมันฝรั่งด้วยเครื่อง Brabender Visco-Amylograph จะพบว่าแป้งมันฝรั่งมีความหนืดสูง (รูป 2.9) จุด A แรงยึดภายในเม็ดแป้งจะน้อย(weak)ที่สุด เพราะเป็นช่วงที่เม็ดแป้งเกิดการพองตัวมาก ถ้ามีการให้แรงปะทะรุนแรงหรือทำให้อุณหภูมิสูงขึ้น จะทำให้ paste มีความหนืดลดลงอย่างเห็นได้ชัด ดังจุด B และเมื่อ paste เย็นลงจะเกิด retrogradation ของ paste ทำให้ความหนืดสูงขึ้นอีก(จุด C) (38)

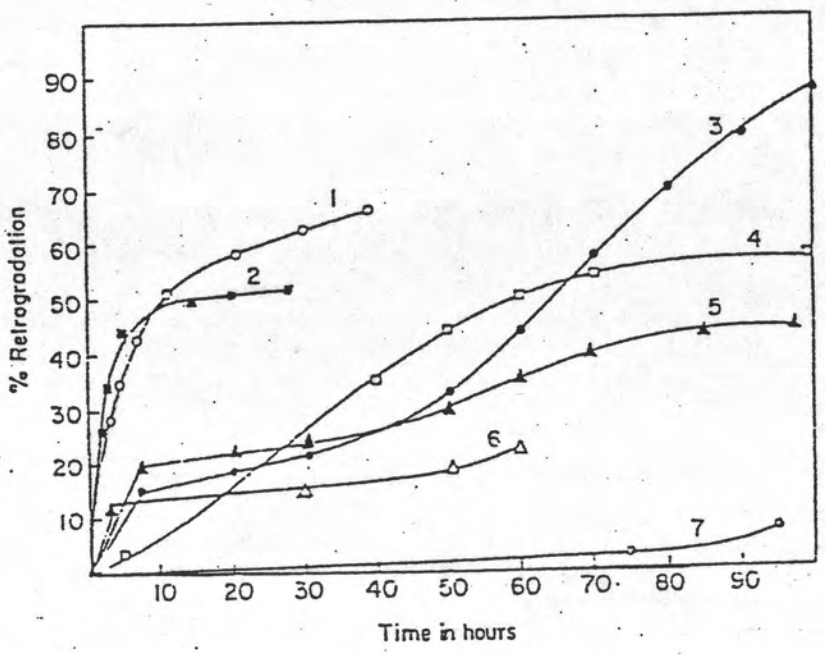


รูปที่ 2.9 กราฟแสดง Brabender Unit (B.U.) และลักษณะหรือรูปแบบของ Brabender Amylograph ของแป้งมันฝรั่งที่อุณหภูมิและเวลาใดๆ

2.7.6 Retrogradation

ขณะที่สารละลายของแป้งได้รับความร้อนและเกิดการพองตัวขึ้นนั้น อะไมโลสที่มีอยู่ในเม็ดแป้งสามารถละลายออกมาในน้ำแป้ง(39) และเมื่อสารละลายแป้งเย็นลง อะไมโลสสามารถจับตัวกันใหม่ หรือจับกับอะไมโลเพคตินด้วยพันธะไฮโดรเจน ทำให้เกิดโครงสร้างสามมิติที่สามารถอุ้มน้ำไว้ได้ ความหนืดจะสูงขึ้นอีก ปรากฏการณ์นี้เรียกว่า retrogradation (40)

การศึกษา retrogradation ของแป้งชนิดต่างๆ แสดงไว้ในรูปที่ 2.10 (41) เส้นกราฟแสดงให้เห็นถึงการตกตะกอนจากน้ำแป้งที่ร้อยละ 2 ที่ 0.2 องศาเซลเซียส จะเห็นได้ว่าแป้งจากธัญพืชมีปริมาณอะไมโลสสูง และโมเลกุลของอะไมโลสมีขนาดพอเหมาะจึงรวมตัวกันได้ง่ายตกตะกอนออกมาอย่างรวดเร็ว ส่วนเม็ดแป้ง waxy corn ซึ่งมีอะไมโลเพคตินเกือบร้อยละ100 เกิด retrogradation ได้ช้ามาก เพราะโมเลกุลอะไมโลเพคตินมีขนาดใหญ่ทำให้ตกผลึกยาก(42) สำหรับแป้งมันฝรั่งมีอะไมโลเพคตินร้อยละ 76-80 มีแนวโน้มที่จะเกิด retrogradation พอประมาณ(30) นอกจากนี้ยังพบว่าอะไมโลสจากแป้งแต่ละชนิดจะเกิด retrogradation ด้วยอัตราเร็วที่ต่างกัน (41) เพราะมีน้ำหนักโมเลกุลต่างกันอัตราการเกิด retrogradation จะสูงสุดถ้าโมเลกุลของอะไมโลสมีความยาวปานกลาง ถ้าโมเลกุลของอะไมโลสมีขนาดใหญ่เกินไปการเคลื่อนไหวจะเป็นแบบ brownian ซึ่งทำให้การรวมตัวของโมเลกุลอะไมโลสหรืออะไมโลเพคตินเป็นไปได้ยากขึ้น



รูปที่ 2.10 อัตราการเกิด retrogradation ของแป้งชนิดต่างๆ ที่ความเข้มข้นน้ำแป้งร้อยละ 2 1. แป้งข้าวโพด 2. แป้งสาลี 3. แป้งมันฝรั่ง 4. แป้งมันเทศ 5. แป้ง arrowroot 6. แป้งมันสำปะหลัง 7. แป้ง waxy corn

2.8 การแปรสภาพแป้ง (Starch Modification)

แป้งจัดว่าเป็นแหล่งคาร์โบไฮเดรตซึ่งมีคุณค่าทางโภชนาการ และเป็นส่วนสำคัญของอาหารที่ทำให้เกิดลักษณะอาหารที่น่ารับประทาน โดยแป้งจะเป็นส่วนที่ให้ความข้น(thickness) คือ เพิ่มความเหนียวและความหนืดทำให้เกิดเป็นก้อนเหนียว (cohesive) ให้เนื้อสัมผัสที่ดี ป้องกันการแยกกันของส่วนผสม นอกจากนี้แป้งยังมีบทบาทในการให้กลิ่นด้วย ถึงแม้แป้งจะมีคุณสมบัติดังกล่าวนั้น แป้งที่ยังไม่แปรสภาพ (native starch) ก็มีข้อจำกัดในการใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารต่างๆ เช่น อาหารที่เป็นกรด อาหารแช่แข็ง อาหารที่ต้องใช้ความร้อนสูงและใช้เวลานาน อาหารที่ผ่านกระบวนการที่ต้องมีการปะทะรุนแรง (strong shear) ดังนั้นจึงมีผู้ชำนาญทางอาหารค้นคิดหาวิธีปรับปรุงคุณภาพแป้งเพื่อที่จะใช้ในผลิตภัณฑ์ต่างๆ ให้กว้างขวางมากยิ่งขึ้น

(43) แป้งแปรสภาพที่ได้นี้เรียกว่า modified starch โดยอาศัยหลักที่ว่าในอาหารประเภทต่างๆนั้นเราต้องการใช้แป้งเพื่อให้คุณลักษณะของอาหารอย่างไร เช่น ใช้แป้งเป็นthickener filler binder หรือ stabilizer

การแปรสภาพแป้ง แบ่งเป็น 3 ประเภท ดังตารางที่ 2.8 (9 44)

ตารางที่ 2.8 ชนิดและสมบัติของแป้งแปรสภาพชนิดต่างๆ

ประเภทการแปรสภาพ	คุณสมบัติ	ประโยชน์
1.Physical modification	-แป้งมีการกระจายตัวในน้ำเย็นได้ดี	-snack extrusion ที่อุณหภูมิต่ำๆ
	-แป้งสุกที่อุณหภูมิต่ำ (pregelatinized starch)	-instant fruit -pie filling
2.Enzymatic modification	-ความหนืดต่ำขณะร้อน	-ลูกกวาด -เบเกอรี่
3.Chemical modification		
3.1 Derivatization	-อัตราการเกิด retrogradation ของ paste ลดลง	-freeze/thaw stability -UHT custards
	-อุณหภูมิของแป้งสุก (pasting temperature) ลดลง	-frozen pizza and topping
	-paste มีความใสขึ้น มีลักษณะยาวและเหนียว	
	-water-holding capacity เพิ่มขึ้น ทำให้เกิดการแยกชั้นของน้ำ (syneresis) ลดลง	

ตารางที่ 2.8 (ต่อ)

ประเภทการแปรสภาพ	คุณสมบัติ	ประโยชน์
3.2 Hydrolysis	-มีความหนืดน้อยลงที่อุณหภูมิสูง -จับกับน้ำที่อุณหภูมิต่ำกว่าเดิม -ความสามารถในการยึดเกาะกันดีขึ้น	-ลูกกวาด -ชอคโกแลต
3.3 Oxidation	-มีการกระจายของของแข็งมากขึ้น -pasting temperature ลดลง	-ใช้เป็นผงโรย เช่น ในหมากฝรั่งเพื่อป้องกันการติดกัน
	-retrograded ของamyloseลดลง -paste มีความใสเพิ่มขึ้น	-เป็นตัวเชื่อมในยาเม็ด
3.4 Cross-linking	-เม็ดแป้งมีความต้านทานต่อการพองตัว -อัตราการเกิด gelatinization และ swelling ลดลง -paste viscosity ของแป้งมีความต้านทานต่อความร้อน กรด และ shear สูงๆ	-sauces -pie filling -pudding cheese and sauces

สำหรับงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ที่จะปรับปรุงแป้งมันฝรั่งจากพันธุ์สปุนต้าให้มีความต้านทานต่อการพองตัว ให้ได้ paste ที่มีความหนืดที่มีเสถียรภาพต่อความร้อน และต่อแรงปะทะที่รุนแรงจากเครื่องโฮโมจิไนเซอร์ จึงเลือกการแปรสภาพแป้งด้วยวิธีทางเคมีแบบ cross-linking เพื่อจะให้ได้แป้งที่เหมาะสมสำหรับใช้ในการผลิตวุ้นเส้น และ caramel fudge topping

Cross-linking เป็นการแปรสภาพโดยสารที่มี bi หรือ poly functions ซึ่งสามารถทำปฏิกิริยากับกลุ่มไฮดรอกซิลได้มากกว่า 1 กลุ่ม ทำให้เกิดสะพาน (crosslinks หรือ bridges) ระหว่างโมเลกุลแป้ง 2 โมเลกุล เพื่อช่วยลดอัตราการพองตัวของเม็ดแป้ง สารที่ใช้ได้แก่ ฟอสฟอรัสออกซิคลอไรด์ (phosphorus oxychloride) โซเดียมไตรเมตต้าฟอสเฟต (sodium trimetaphosphate) อีพิคลอโรไฮดริน (epichlorohydrin) เป็นต้น

แป้งที่แปรสภาพโดยวิธี cross-linking เมื่อนำไปใช้ในผลิตภัณฑ์อาหาร ทางสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยาของประเทศไทยและสหรัฐอเมริกา ได้มีการกำหนดชนิดของสารเคมีที่ได้รับอนุญาตและข้อจำกัดในการใช้แป้งที่แปรสภาพทางเคมีเพื่อเป็น food additive regulation (26) ดังตารางที่ 2.9

ตารางที่ 2.9 สารเคมีที่ใช้ในการทำ cross-linking ของแป้งเพื่อใช้ในอาหาร

ชนิดของสารเคมี	ข้อกำหนด
Adipic anhydride ไม่เกิน 0.12% Acetic anhydride Phosphorus oxychloride ไม่เกิน 0.1% Sodium trimetaphosphate Epichlorohydrin ไม่เกิน 0.3 %	มีกลุ่ม acetyl ในแป้งแปรสภาพได้ไม่เกิน 2.5% – มี phosphate ตกค้างในแป้งแปรสภาพได้ไม่เกิน 0.04% โดยคำนวณในรูป phosphorus

2.9 <u>ชนิดของสตาร์ชฟอสเฟต</u>

การแปรสภาพแป้งด้วยสารพวกฟอสเฟต พบว่าจะได้แป้งแปรสภาพ 2 ชนิดคือโมโนสตาร์ชฟอสเฟต (monostarch phosphate) และไดสตาร์ชฟอสเฟต (distarch phosphate) ปฏิกิริยาจะเกิดแป้งแปรสภาพชนิดใดนั้นขึ้นอยู่กับชนิดของฟอสเฟตที่ใช้ และสภาวะที่เกิดปฏิกิริยา(43)

2.9.1 โมโนสตาร์ชฟอสเฟต เป็นแป้งแปรสภาพที่เตรียมจากแป้งทำปฏิกิริยากับพวกออโทไพโร หรือไตรโพลีของกรดฟอสฟอริค ซึ่งจะเกิดเอสเทอริฟิเคชั่น (esterification) ระหว่างกลุ่มไฮดรอกซิลของโมเลกุลแป้งกับกลุ่มกรดฟอสฟอริค 1 กลุ่มจากกลุ่มกรด 3 กลุ่ม จึงเรียกแป้งแปรสภาพที่ได้ว่า ฟอสเฟตโมโนเอสเทอร์ (phosphate monoester)

2.9.2 ไดสตาร์ชฟอสเฟต เป็นแป้งแปรสภาพที่เตรียมจากสารละลายแป้งที่ร้อนทำปฏิกิริยากับฟอสฟอรัสออกซิคลอไรด์ หรือโซเดียมไตรเมตต้าฟอสเฟต ปฏิกิริยาเกิดเอสเทอร์ริฟิเคชั่นระหว่างโมเลกุลแป้ง 2 โมเลกุลกับฟอสเฟตทำให้ได้พันธะฟอสเฟตไดเอสเทอร์ แป้งแปรสภาพที่ได้เรียกว่า ไดสตาร์ชฟอสเฟต หรือฟอสเฟตไดเอสเทอร์

สำหรับงานวิจัยนี้ใช้โซเดียมไตรเมตต้าฟอสเฟตทำปฏิกิริยากับสารละลายแป้งที่สภาวะเป็นด่าง (43) แป้งแปรสภาพที่ได้จะเกิดไดสตาร์ชฟอสเฟตเสียส่วนใหญ่

2.10 การค้นคว้าและการพัฒนาการใช้สารพวกฟอสเฟตในปฏิกิริยา cross-linking

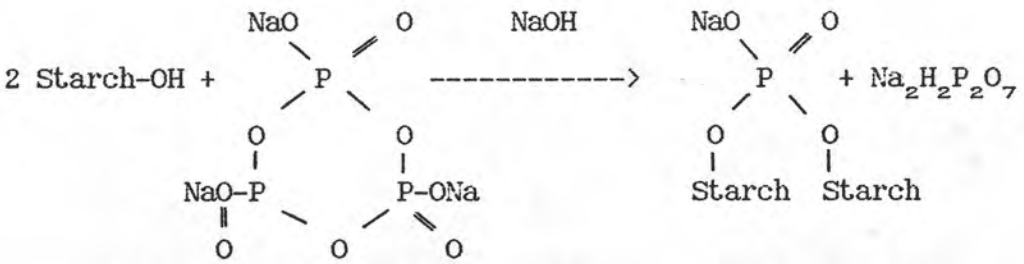
ในปี ค.ศ.1943 Felton และ Schopmeyer (45) พบว่าการใช้ฟอสฟอรัสออกซิคลอไรด์ทำ cross-bonded starches ได้ผลดีเท่ากับใช้ไทโอฟอสฟอรัสออกซิคลอไรด์ และฟอสฟอรัสเพนตะคลอไรด์ โดยใช้ฟอสฟอรัสออกซิคลอไรด์ในปริมาณร้อยละ 0.15-0.25 (โดยน้ำหนักของแป้ง) สารละลายน้ำแป้งร้อยละ 40 pH 10 อุณหภูมิ 80 °ฟ หลังจากเกิดปฏิกิริยาอย่างสมบูรณ์แล้วปรับ pH ให้เป็นกลาง กรองแป้งที่ได้ล้างและทำให้แห้ง ปฏิกิริยา cross-linking เกิดขึ้นตามสมการ (1) ผลิตภัณฑ์ที่ได้คือ ไดสตาร์ชฟอสเฟต โดยที่แป้งยังคงรักษาลักษณะเม็ดแป้ง paste ของไดสตาร์ชฟอสเฟตจะมีความหนืดสูง และมีเสถียรภาพต่อสภาวะเป็นกรด แรงปะทะที่รุนแรง (strong shear) และการหุงต้มเป็นเวลานาน ๆ

$$2\ \text{Starch-OH} + \underset{\text{ฟอสฟอรัสออกซิคลอไรด์}}{\underset{\text{(Phosphorus oxychloride)}}{POCl_3}} \xrightarrow{\text{NaOH}} \underset{\text{ไดสตาร์ชฟอสเฟต}}{\underset{\text{(Distarch phosphate)}}{\text{Starch-O-P(=O)(O}^-\text{ Na}^+\text{)-O-Starch}}} \qquad (1)$$

Weltzstein และ Lyon (46) พบว่าการเติมด่างที่ละลายน้ำได้หรือเกลือของด่าง เช่น โซเดียมคลอไรด์ (NaCl) หรือโซเดียมซัลเฟต (Na_2SO_4) ลงไปในน้ำแป้งจะช่วยควบคุมการเกิดปฏิกิริยา cross-linking อย่างมีประสิทธิภาพ โดยทดลองละลายแป้ง 1,000 กรัม (น้ำหนักแห้ง) ในน้ำ 1500 มิลลิลิตร ปรับ pH ให้มีค่าประมาณ 11 ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ และเติมโซเดียมคลอไรด์ร้อยละ 0.1 โดยน้ำหนักของแป้งแห้ง ขณะผสมสารละลาย

อย่างช้า ๆ เติมฟอสฟอรัสออกซิคลอไรด์ร้อยละ 0.15 กวนส่วนผสมที่อุณหภูมิห้องตลอดเวลา เป็นเวลาครึ่งชั่วโมง หยุดปฏิกิริยาโดยการเติมสารละลายกรดไฮโดรคลอริกที่มีความเข้มข้นร้อยละ 2 ให้ pH เป็น 5 กรองแป้งแปรสภาพที่ได้และล้างด้วยน้ำกลั่น 2 ลิตร 2 ครั้ง ทำให้แห้งในเตาอบที่อุณหภูมิประมาณ 50 °ซ ทิ้งไว้ 1 คืน เกลือที่เติมลงไปนี้เพื่อป้องกันการเกิด leaching ของโมเลกุลแป้ง นอกจากนี้ยังสามารถลดการสลายตัวของฟอสฟอรัสออกซิคลอไรด์ ทำให้สารเคมีสามารถเข้าไปทำปฏิกิริยากับโมเลกุลแป้งได้มากขึ้น และทำให้ cross-linking เกิดอย่างสม่ำเสมอ

ในปี ค.ศ.1957 Kerr และ Cleveland (47) ได้พัฒนาการใช้เกลือของไตรเมตต้าฟอสเฟตที่ละลายน้ำได้ในการเตรียมไดสตาร์ชฟอสเฟต พบว่าเกลือของไตรเมตต้าฟอสเฟตจะเกิดปฏิกิริยาเอสเทอริฟิเคชั่นรุนแรงกว่าการใช้ฟอสฟอรัสออกซิคลอไรด์ โดยละลายแป้งข้าวโพดที่มีความชื้นร้อยละ 10 หนัก 180 กรัมในน้ำ 325 มิลลิลิตร ซึ่งมีโซเดียมไตรเมตต้าฟอสเฟต 3.3 กรัม ละลายอยู่ ปรับ pH เป็น 10.2 ด้วยโซเดียมคาร์บอเนต ให้ความร้อนส่วนผสมจนถึงอุณหภูมิประมาณ 50 °ซ หรือต่ำกว่าอุณหภูมิที่เม็ดแป้งเกิดการพองตัว . เมื่อสิ้นสุดปฏิกิริยาปรับ pH ให้เป็นกลาง (pH 6.7) กรองผลิตภัณฑ์ที่ได้ ล้างแล้วทำให้แห้ง ผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่ได้จะเป็นไดสตาร์ชฟอสเฟต



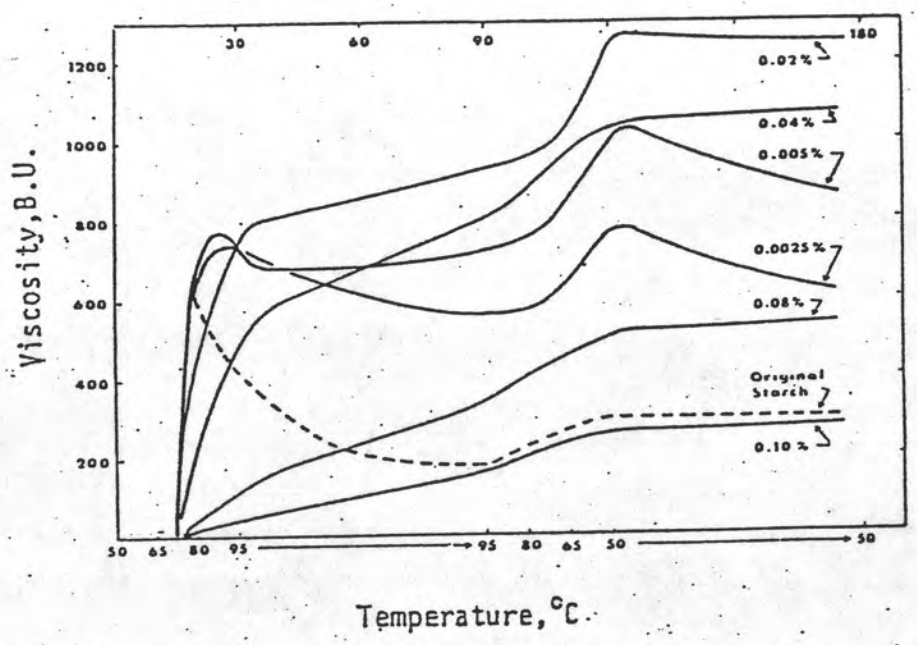
โซเดียมไตรเมตต้าฟอสเฟต (Sodium trimetaphosphate)

ไดสตาร์ชฟอสเฟต (Distarch Phosphate)

ในปี ค.ศ.1963 Kite (43) ได้ศึกษาผลของปฏิกิริยา cross-linking ด้วยโซเดียมไตรเมตต้าฟอสเฟตระดับต่างๆ ที่มีต่อความหนืดของ paste จากแป้งwaxy sorghum พบว่าแป้ง waxy sorghum ที่ยังไม่ได้แปรสภาพจะเกิดเป็น paste อย่างรวดเร็ว และความหนืดจะลดลงเมื่อให้ความร้อนและกวนผสมต่อไป แต่แป้งที่มีการ cross - linking ที่ระดับต่ำๆ จะให้ความหนืดเพิ่มขึ้นระหว่างการให้ความร้อนและมีการสลายตัวลดลง เมื่อระดับการ

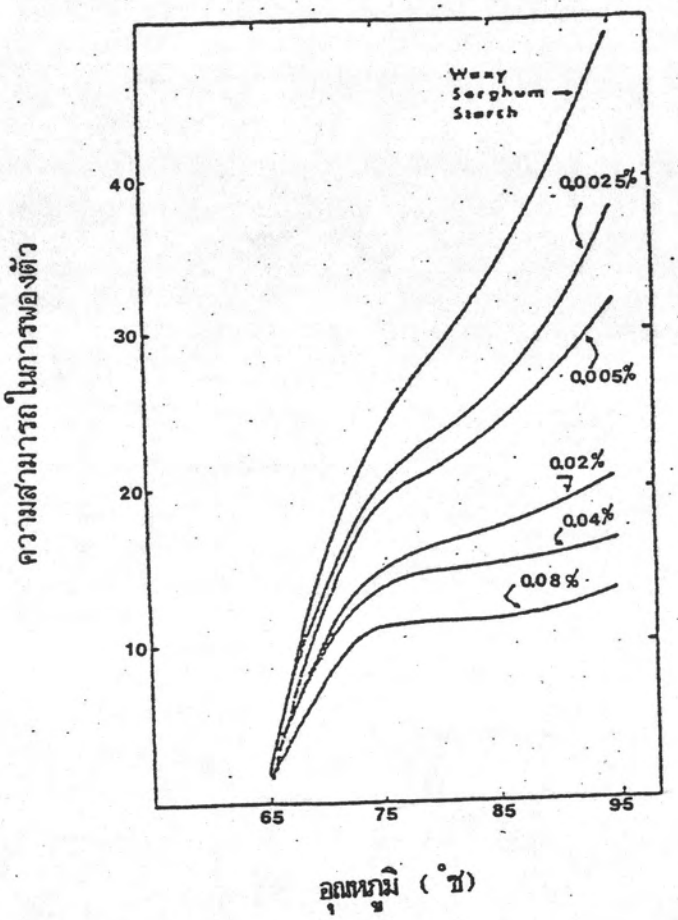
cross-linking เพิ่มขึ้น ความหนืดจะไม่ปรากฏเป็นยอดสูงสุด (peak viscosity) แต่ความหนืดจะเพิ่มขึ้นเรื่อยระหว่างให้ความร้อน จนกระทั่งที่ระดับการ cross-linking สูงมาก ความหนืดจะลดลง (รูปที่ 2.11) นั่นคือที่ระดับความเข้มข้นของไตรเมตต้าฟอสเฟตร้อยละ 0.02 จะให้ paste ที่มีความหนืดสูงสุดและความหนืดที่มีเสถียรภาพมากที่สุด ถ้าระดับการใช้ไตรเมตต้าฟอสเฟตมากกว่านี้เม็ดแป้งก็จะมีความจำกัดในการเกิดการพองตัว และความหนืดของ paste จะลดลงมาก นอกจากนี้ยังพบว่าปฏิกิริยา cross-linking ด้วยไตรเมตต้าฟอสเฟตที่ระดับต่างๆ มีผลต่อความสามารถในการพองตัวของเม็ดแป้ง (รูปที่ 2.12) เม็ดแป้งเดิมมีการพองตัวสูงมาก เมื่อระดับการ cross-linking เพิ่มขึ้น ความสามารถในการพองตัวของเม็ดแป้งจะลดลงตามลำดับ

Kite (43) ยังพบว่าชนิดของแป้งก็มีผลต่อปฏิกิริยา cross-linking รูปที่ 2.13 แสดงความหนืดของ paste จากแป้งข้าวโพดที่ทำการ cross-linking ด้วยไตรเมตต้าฟอสเฟตระดับต่าง ๆ พบว่าความเข้มข้นของไตรเมตต้าฟอสเฟตร้อยละ 0.01 ให้ paste ที่มีความหนืดสูงสุดและความหนืดที่มีเสถียรมากที่สุด เห็นได้ว่าไตรเมตต้าฟอสเฟตที่ใช้ในแป้งข้าวโพดจะน้อยกว่าแป้ง waxy sorghum ครึ่งหนึ่ง

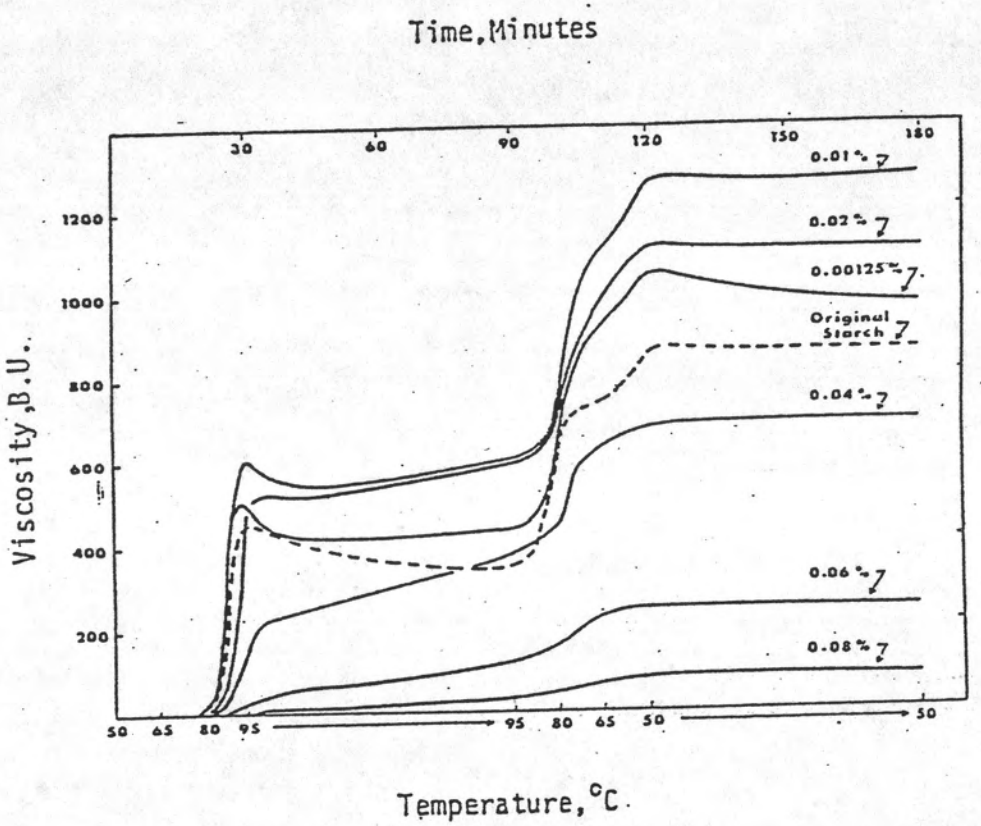


รูปที่ 2.11 Brabender viscosity ของแป้ง waxy sorghum ที่ cross-linked ด้วยไตรเมตต้าฟอสเฟต ปริมาณต่างๆกัน (ร้อยละของไตรเมตต้าฟอสเฟต โดยน้ำหนักของแป้งแห้ง) (43)

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.12 ความสามารถในการพองตัวของแป้ง waxy sorghum ที่ทำ cross-linking ด้วยไตรเมตต้าฟอสเฟตปริมาณต่างๆกัน (43)



รูปที่ 2.13 ความหนืดวัดด้วยเครื่อง Brabender-Visco Amylograph ของแป้งข้าวโพดที่ทำ cross-linking ด้วย ไตรเมตต้าฟอสเฟต ปริมาณต่างๆกัน (ปริมาณของไตรเมตต้าฟอสเฟต คิดเป็นร้อยละโดยน้ำหนักของแป้งแห้ง) (43)

Van Patten และ Powell (48) ทดลองนำสารละลายแป้งต่าง ๆ (waxy maize waxy sorghum tapioca corn และ wheat starch) ทำปฏิกิริยากับสารพวกคลอไรด์ เช่น ฟอสฟอรัสออกซิคลอไรด์ ฟอสฟอรัสเพนตะคลอไรด์ ไทโอฟอสฟอรัสคลอไรด์ แอนทิโมนีเพนตะคลอไรด์ แอนทิโมนีออกซิคลอไรด์ และอีพิคลอโรไฮดริน ที่สภาวะสารละลายแป้ง 12°-20° Be ปริมาณคลอไรด์ร้อยละ 0.01-0.03 ของน้ำหนักแป้ง pH 8 - 12 ที่อุณหภูมิห้อง โดยมี alkali metal phosphate salts อยู่ พบว่าฟอสฟอรัสออกซิคลอไรด์เกิดปฏิกิริยาดีที่สุด และ pH ที่เหมาะสมในปฏิกิริยานี้จะอยู่ระหว่าง pH 10-12 ซึ่งปริมาณ alkali metal phosphate salts ที่เติมลงไปจะเป็นตัวปรับ pH ของสารละลายแป้ง เช่น เมื่อใช้เกลือของแอนไฮดรัสไตรโซเดียมฟอสเฟต (anhydrous trisodium phosphate salts) ปริมาณร้อยละ 0.70 และ 0.20 ของน้ำหนักแป้ง จะทำให้สารละลายแป้งมี pH เป็น 10 และ 12 ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่าปฏิกิริยา cross-linking ที่อุณหภูมิห้องเกิดช้ามาก ถ้าให้อุณหภูมิแก่สารละลายแป้งเป็น 90°ฟ ถึง 120°ฟ จะทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น ปฏิกิริยาcross linking สิ้นสุดเมื่อปรับ pH ของสารละลายแป้งให้ต่ำกว่า 7 pH ที่เหมาะสมอยู่ระหว่าง 5 และ 6 แป้งแปรสภาพที่ได้มีสมบัติใช้เป็น thickening powder ในอาหารกระป๋อง และอาหารแช่แข็ง

Kerr และ Cleveland (49) พบว่าปฏิกิริยาฟอสฟอริเลชั่น (phosphorylation) ระหว่างแป้งกับสารเมตต้าฟอสเฟตจะเกิดอย่างมีประสิทธิภาพที่ pH 11 โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์และโซเดียมคาร์บอเนต หรือกับแคลเซียมคาร์บอเนตในการปรับ pH พบว่าถ้าใช้ปริมาณเมตต้าฟอสเฟตร้อยละ 0.03 ของน้ำหนักแป้งแห้ง โดยใช้อุณหภูมิ 50°ซ pH 11 และเวลา 1 ชั่วโมง จะได้แป้งแปรสภาพที่ไม่เกิดเจลในน้ำเดือด ปฏิกิริยาฟอสฟอริเลชั่นจะเกิดเร็วขึ้นถ้าอุณหภูมิ pH ปริมาณเมตต้าฟอสเฟตเพิ่มขึ้น ถ้าใช้อุณหภูมิต่ำกว่า 50°ซ แต่เวลาและ pH เท่าเดิมจะต้องใช้ปริมาณฟอสเฟตเพิ่มขึ้น ในทางปฏิบัติจะใช้เมตต้าฟอสเฟตระหว่างร้อยละ 0.01 - 3.0 นอกจากนี้ยังพบว่าความเข้มข้นของโซเดียมอิออนในสารละลายจะมีผลต่อปฏิกิริยาฟอสฟอริเลชั่นด้วย ถ้าความเข้มข้นของโซเดียมอิออนมากขึ้นปฏิกิริยาฟอสฟอริเลชั่นจะเพิ่มขึ้น ความเข้มข้นของโซเดียมอิออนที่เหมาะสมเท่ากับ 0.4 โมลต่อลิตร

จากผลงานวิจัยต่างๆนี้ งานวิจัยนี้จึงได้กำหนดศึกษาความสัมพันธ์ของ 3 ปัจจัย คือ ผลของอุณหภูมิ เวลา และความเข้มข้นของโซเดียมไตรเมตต้าฟอสเฟตที่มีต่อระดับการ cross-linking ของแป้งมันฝรั่ง

2.11 การนำแป้งแปรสภาพโดยวิธี cross-linking ไปใช้ในผลิตภัณฑ์อาหาร

การเลือกระดับ cross-linking ของแป้งแปรสภาพเพื่อใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารต่างๆ นั้นขึ้นกับคุณลักษณะของเนื้ออาหารที่ต้องการ และกระบวนการผลิต เช่น แป้งแปรสภาพที่มีระดับ cross-linking สูง เหมาะสำหรับผลิตภัณฑ์อาหารที่ต้องผ่านกระบวนการทำให้สุกที่อุณหภูมิสูง อย่างเช่น กระบวนการสเตอริไลเซชัน (sterilization) ผลิตภัณฑ์อาหารที่ใช้ได้แก่ pasta อาหารกระป๋อง นอกจากนี้ยังใช้แป้งแปรสภาพชนิดนี้กับอาหารพวกมี pH ต่ำๆ เช่น ซอส ส่วนที่ระดับ cross-linking ต่ำ เหมาะจะใช้ในสภาวะ pH ที่มากกว่า 3.5 และความร้อนพอเหมาะ ดังนั้นการเลือกระดับ cross-linking จึงมีความสำคัญต่อผลิตภัณฑ์อาหาร ทั้งนี้เพื่อให้ได้มาซึ่งผลิตภัณฑ์อาหารที่มีคุณลักษณะตามต้องการ และยังคงรูปเหมือนเดิมตลอดกระบวนการผลิตและการเก็บ (44)

ในงานวิจัยนี้ได้เลือกศึกษาทดลองใช้แป้งมันฝรั่งแปรสภาพที่ได้ในผลิตภัณฑ์ 2 ชนิด คือ caramel fudge topping และวุ้นเส้น ซึ่งอาหารทั้ง 2 ชนิดนี้ มีคุณลักษณะของเนื้ออาหารที่ต้องการและกระบวนการผลิตที่แตกต่างกัน

2.11.1 Caramel fudge topping

Caramel fudge topping เป็นผลิตภัณฑ์ที่ให้ความหวาน ผลิตภัณฑ์นี้ใช้มากในอุตสาหกรรมเบเกอรี่ และไอศกรีม องค์ประกอบที่สำคัญคือ มีไขมันกระจายตัวอยู่ในสารละลายอิ่มตัวของนม น้ำตาล และกลูโคสไซรัป ส่วนประกอบคิดเป็นร้อยละมีดังนี้ น้ำ 4.8 น้ำตาล 70 โปรตีน 2 และไขมัน 17 นอกจากนี้จะมีการเติมกลิ่นและสี (50)

เนื่องจากในกระบวนการผลิต caramel fudge topping จะต้องผ่านการให้ความร้อนสูงเป็นเวลานาน และต้องผ่านเครื่องโฮโมจิไนเซอร์ที่มีแรงปะทะรุนแรง (ความดัน 500 psi) เป็นผลทำให้ caramel fudge topping มีความหนืดขณะเย็นลดลงจากความหนืดที่ต้องการ ดังนั้นจึงมีการใช้สารที่ทำให้เกิดความหนืดคงตัวในการผลิต caramel fudge topping สารที่ให้ความหนืดคงตัวที่ใช้ในปัจจุบัน คือ แป้ง โดยแป้งจะต้องมีสมบัติที่สามารถทนอุณหภูมิสูง และแรงปะทะที่รุนแรงได้ แป้งที่ใช้มีชื่อทางการค้าว่า Purity 4 ซึ่งเป็นแป้งมันสำปะหลังแปรสภาพ

การผลิต caramel fudge topping มีขั้นตอนต่างๆ ดังนี้

1. ผสมสารทำให้ความหนืดคงตัว นม น้ำตาลในน้ำที่มีอุณหภูมิ 30-40 °ซ
2. ผสมกลูโคสไซรัป เนย แล้วกวนให้เข้ากัน และให้ความร้อนจนถึง 70 °ซ

3. เติมน้ำตาลทรายแดง เกลือ
4. เติมสีคาราเมล และให้ความร้อนจนถึง 94 $\pm$ 2 °ซ กวนให้เข้ากัน
5. ลดอุณหภูมิเหลือ 82$\pm$2 °ซ และรักษาอุณหภูมิให้คงที่นาน 30 นาที
6. เติมกลิ่น
7. ผ่านเครื่องโฮโมจิไนเซอร์ขณะร้อน ที่ความดัน 500 psi
8. บรรจุขณะร้อน

2.11.2 วุ้นเส้น

วุ้นเส้นเป็นอาหารจำพวกแป้งหรือคาร์โบไฮเดรตซึ่งทำมาจากแป้งถั่วเขียว ถ้าเป็นวุ้นเส้นที่มีคุณภาพดีจะทำมาจากแป้งถั่วเขียวแต่เพียงอย่างเดียว แต่ถ้าเป็นวุ้นเส้นที่มีคุณภาพรองลงมาจะมีการผสมแป้งมันสำปะหลังลงไปประมาณร้อยละ 10 ของน้ำหนักแป้งทั้งหมด จึงทำให้วุ้นเส้นที่ได้มีคุณภาพลดลง คือจะเกิดการพองและยุ่ยได้ง่ายถ้าแช่น้ำร้อนไว้นานๆ ดังนั้นวุ้นเส้นชนิดนี้จะมีราคาถูก ลักษณะของวุ้นเส้นที่ดีจะเป็นเส้นยาว ใส ไม่มีสี และมีองค์ประกอบสำคัญ คือ ความชื้นร้อยละ 15.7 และคาร์โบไฮเดรตร้อยละ 82.9 (51,52)

แป้งถั่วเขียวประกอบด้วยอะไมโลสร้อยละ 19.5 ซึ่งเป็นปริมาณที่ค่อนข้างต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับของถั่วชนิดอื่นๆ(53) ลักษณะกราฟของความหนืดของแป้งถั่วเขียวจะมี 2 แบบ คือ เมื่อความเข้มข้นของน้ำแป้งต่ำ(ร้อยละ 4-7) จะเป็นแบบซี และเมื่อความเข้มข้นของน้ำแป้งสูงขึ้น(ร้อยละ 8) จะเป็นแบบบี ดังรูปที่ 2.8 (37)

Lii และ Chang(54) ได้ทำการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างคุณลักษณะของแป้งจากถั่วต่างๆกับคุณภาพของวุ้นเส้น พบว่า แป้งที่เหมาะสมในการทำวุ้นเส้นควรมีปริมาณอะไมโลสประมาณร้อยละ 20 หรือมีค่า iodine affinity สูง(ประมาณร้อยละ 6-7) และมีลักษณะกราฟของความหนืดเป็นแบบซีซึ่งเป็นลักษณะของแป้งถั่วเขียว ดังรูปที่ 2.8 ดังนั้นถ้านำแป้งชนิดอื่นที่มีสมบัติต่างๆใกล้เคียงกับแป้งถั่วเขียวมาทำวุ้นเส้น หรือทดแทนบางส่วนของแป้งถั่วเขียวในการทำวุ้นเส้น วุ้นเส้นที่ได้ควรมีคุณภาพใกล้เคียงกับวุ้นเส้นที่ทำจากแป้งถั่วเขียวล้วนเช่นเดียวกัน สำหรับแป้งมันฝรั่งซึ่งมีปริมาณอะไมโลสสูงกว่าแป้งถั่วเขียว(7) และลักษณะกราฟของความหนืดเป็นแบบเอ ถ้ามีการศึกษาปรับปรุงสมบัติของแป้งให้ใกล้เคียงกับแป้งถั่วเขียวก็จะสามารถใช้ทดแทนแป้งถั่วเขียวได้ (เช่น สมบัติทางด้านความสามารถในการพองตัว การเปลี่ยนแปลงของความหนืดของpaste ที่มีเส้นกราฟความหนืดใกล้เคียงกับของแป้งถั่วเขียว) ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้เลือกศึกษาทดลองนำแป้งมันฝรั่งแปรสภาพโดยวิธี cross-linking มาทดแทนบางส่วนของแป้งถั่งเขียวในการทำวุ้นเส้น เพื่อลดต้นทุนการผลิตและคงคุณภาพของวุ้นเส้นที่ได้ให้ใกล้เคียงกับวุ้นเส้นที่ทำจากแป้งถั่วเขียว

i 10292809

2.11.2.1 ขั้นตอนการผลิตวุ้นเส้น

การผลิตวุ้นเส้นมีขั้นตอนที่สำคัญแสดงในรูปที่ 2.14 ดังรายละเอียดต่อไปนี้ (51)

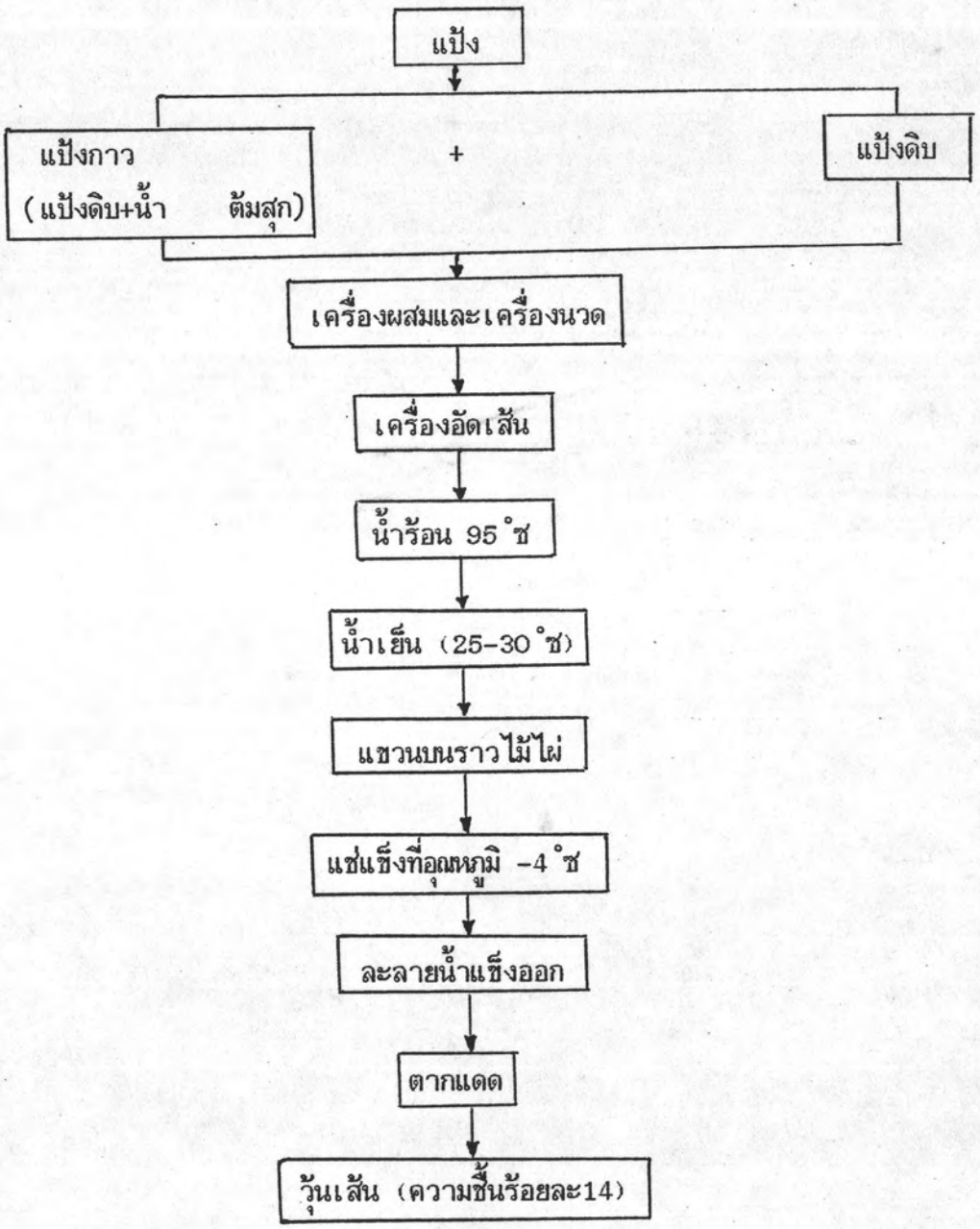
1. การเตรียมแป้ง แป้งที่ใช้ทำวุ้นเส้นอาจใช้แป้งถั่วเขียวล้วนๆ หรือใช้แป้งถั่วเขียวผสมกับแป้งอื่นๆ ก็ได้เพื่อลดต้นทุนการผลิต แต่วุ้นเส้นที่มีคุณภาพดีจะทำมาจากแป้งถั่วเขียวล้วน การเตรียมแป้งนี้จะแบ่งแป้งออกเป็น 2 ส่วน โดยส่วนหนึ่งใช้เป็นแป้งกาว และอีกส่วนหนึ่งใช้เป็นแป้งดิบ ส่วนที่เป็นแป้งกาวจะใช้แป้งดิบผสมน้ำแล้วต้มโดยการกวนให้แป้งสุกและใส ซึ่งจะมีความเหนียวและเป็นส่วนที่มีความสำคัญต่อการนวดแป้งให้เข้ากับแป้งดิบเพื่อทำให้แป้งดิบจับตัวกันเป็นก้อนเดียวกัน

2. การผสมและการนวดแป้ง ผสมแป้งดิบและแป้งกาวให้เข้ากันด้วยเครื่องผสมแล้วนวดต่อในเครื่องนวดเพื่อให้แป้งมีความเนียนเป็นเนื้อเดียวกัน ระหว่างการนวดแป้งด้วยเครื่องนวดจะใช้แรงงานคนช่วยนวดด้วย เพื่อให้การนวดมีประสิทธิภาพมากขึ้น แป้งที่นวดได้แล้วจะสังเกตเห็นได้ว่า มีลักษณะเนื้อเนียนเป็นมันวาว มีความหนืดพอปั้นเป็นก้อนได้เพียงชั่วขณะ หลังจากนั้นจะเหลวและไหลเป็นเส้นแป้งได้

3. การทำเส้น แป้งที่ผ่านการนวดได้ที่แล้วจะถูกแบ่งออกโดยปั้นตะล่อมให้เป็นก้อนแล้วนำไปใส่ในกะบะสแตนเลสสำหรับทำเส้น เส้นแป้งจะไหลผ่านรูลงสู่กะทะน้ำร้อนที่มีการควบคุมอุณหภูมิประมาณ 95 °ซ เมื่อเส้นแป้งสุกจะลอยตัวขึ้นสู่ผิวน้ำแล้วจึงสาวหรือเขี่ยเส้นแป้งให้ลอยผ่านลงสู่อ่างน้ำเย็นซึ่งเชื่อมด้วยรางต่อกัน 2 อ่าง เส้นแป้งที่ผ่านน้ำสุดท้ายจะถูกสาวขึ้นพาดบนราวไม้ไผ่ที่เตรียมไว้หลายๆรอบ ตัดเส้นให้ขาดเมื่อพันจนเต็มราวไม้แล้วแช่ย่าในน้ำหลายๆครั้ง เพื่อป้องกันไม่ให้เส้นแป้งติดกัน ปล่อยทิ้งไว้จนสะเด็ดน้ำ แล้วนำไปแช่แข็งในขั้นต่อไป

4. การแช่แข็ง วุ้นเส้นที่ได้ต้องนำไปแช่แข็งก่อนนำไปตากแดด ทั้งนี้เพื่อป้องกันไม่ให้เส้นติดกันในขณะที่วุ้นเส้นแห้ง อุณหภูมิที่ใช้ในการแช่แข็งประมาณ -4 °ซ เป็นเวลานาน 6 ชั่วโมง เมื่อนำวุ้นเส้นมาทำการละลายเพื่อให้น้ำแข็งละลาย วุ้นเส้นจะมีความกระด้างและแข็งขึ้น ซึ่งจะคลี่ออกจากกันได้โดยง่ายในขณะนำไปตากแห้ง วิธีการละลาย ทำได้โดยแช่วุ้นเส้นในสารละลายกรดซิลฟูริก (pH ประมาณ 6) นาน 1 ชั่วโมง เพื่อช่วยในการฟอกสีของวุ้นเส้นให้ขาวขึ้นอีก และนำไปล้างน้ำแล้วจึงนำไปตากแห้งในขั้นต่อไป

5. การทำแห้ง โรงงานทั่วไปใช้วิธีทำแห้งด้วยการตากแดดโดยการตากวุ้นเส้นบนรางลวดหรือราวไม้ไผ่ โดยใช้แดดจัดๆ ใช้เวลาประมาณ 6-8 ชั่วโมง จึงจะแห้งพอดีและวุ้นเส้นจะมีความชื้นประมาณร้อยละ 14



รูปที่ 2.14 ขั้นตอนการผลิตวุ้นเส้น