เอกสารวิชาการ

คุณสมบัติและประโยชน์ของหัวและแป้งมันสำปะหลัง

นางจิณณจาร์ หาญเศรษฐสุข

นักวิชาการเกษตร 7ว ตำแหน่งเลขที่ 2471

ขอประเมินเพื่อแต่งตั้งให้ดำรงตำแหน่ง

นักวิชาการเกษตร 8ว ตำแหน่งเลขที่ 2471

กลุ่มวิจัย ศูนย์วิจัยพืชไร่ระยอง

สำนักวิจัยและพัฒนาการเกษตรเขตที่ 6

ห้องสมุด
กรมวิชาการเกษตร

เอกสารวิชาการ
ของ

นางจิณณจาร์ หาญเศรษฐสุข
ตำแหน่ง นักวิชาการเกษตร 7ว

ตำแหน่งเลขที่ 2471

กลุ่มวิจัย
ศูนย์วิจัยพืชไร่ระยอง
สำนักวิจัยและพัฒนาการเกษตรเขตที่ 6

ขอประเมินเพื่อแต่งตั้งให้ดำรงตำแหน่ง
นักวิชาการเกษตร 8ว ตำแหน่งเลขที่ 2471
กลุ่มวิจัย
ศูนย์วิจัยพืชไร่ระยอง
สำนักวิจัยและพัฒนาการเกษตรเขตที่ 6

คำนำ

มันสำปะหลังเป็นพืชที่ใช้ประโยชน์ได้หลากหลาย และใช้ประโยชน์ได้จากทุกส่วนทั้งจาก หัว ใบ และต้น เป็นทั้งพืชอาหาร พืชอุตสาหกรรม และพืชพลังงาน การปลูกและการดูแลรักษาไม่ยุ่งยาก เจริญได้ดีแม้ในดินที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ ทนทานต่อความแห้งแล้งได้ดี ปัญหาเรื่องโรคและแมลงน้อยมากเมื่อเทียบกับพืชอื่น ดังนั้นถ้าจะกล่าวว่า มันสำปะหลังเป็นพืชมหัศจรรย์ก็คงไม่ผิด

ประเทศไทยเป็นประเทศที่ผลิตมันสำปะหลังแล้วส่งออกได้อันดับ 1 ของโลก โดยส่งออกเป็นมันเส้น มันอัดเม็ด และแป้งมัน เอกสารวิชาการเล่มนี้จึงเรียบเรียงขึ้นโดยรวบรวมข้อมูลด้านองค์ประกอบ คุณภาพ และการนำไปใช้ประโยชน์ของหัวมันสำปะหลัง และแป้งมันสำปะหลัง ในรูปแบบต่างๆ เพื่อสามารถใช้เป็นข้อมูลประกอบในการค้นคว้าวิจัยการใช้ประโยชน์จากมันสำปะหลังต่อไป

จิณณจาร์ หาญเศรษฐสุข
ผู้เรียบเรียง

กรมวิชาการเกษตร

ห้องสมุด กรมวิชาการเกษตร
วันที่รับ
วันที่ลงทะเบียน 14 ต.ค. 2552
เลขทะเบียน 17924
เลขเรียกหนังสือ 633.682
ส 34ค
2551

หอสมุด
กรมวิชาการเกษตร

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
ประวัติและพันธุ์มันสำปะหลัง	1
องค์ประกอบทางเคมีของหัว	12
ความสำคัญและการใช้ประโยชน์ของมันสำปะหลัง	23
การใช้ประโยชน์จากหัวมันสำปะหลังโดยตรง	23
การใช้ประโยชน์จากแป้งฟลาวมันสำปะหลัง	35
การใช้ประโยชน์จากแป้งมันสำปะหลัง	40

กรมวิชาการเกษตร

ประวัติและพันธุ์มันสำปะหลัง

ความสำคัญ

มันสำปะหลังจัดเป็นพืชหัวชนิดหนึ่ง เดิมทีเดียวคนไทยเรียกว่า มันไม้ มันสำโรง ทางภาคตะวันออกเฉียงเหนือเรียกว่า มันเตี้ย ทางภาคใต้เรียกว่า มันเทศ (เรียกมันเทศว่า มันหลา) ปัจจุบันคนส่วนใหญ่เรียกว่ามันสำปะหลัง

มันสำปะหลังเป็นพืชอาหารที่สำคัญในโลกเป็นอันดับ 5 รองจากข้าวสาลี ข้าวโพด ข้าว และมันฝรั่ง เป็นพืชอาหารที่สำคัญในเขตร้อน โดยเฉพาะประเทศต่าง ๆ ในทวีปอัฟริกา และทวีปอเมริกาใต้ ส่วนในทวีปเอเชีย ประเทศอินโดนีเซีย อินเดีย มีการบริโภคมันสำปะหลังเป็นจำนวนมาก ปริมาณการผลิตในปี พ.ศ.2550 ทั่วโลกผลิตได้ 224 ล้านตัน มันสำปะหลังที่ผลิตได้ในแต่ละปีนั้น ปริมาณ 60 เปอร์เซ็นต์ ใช้เป็นอาหารมนุษย์ 27.5 เปอร์เซ็นต์ ใช้ทำเป็นอาหารสัตว์ และ 12.5 เปอร์เซ็นต์ใช้ประโยชน์ในด้านอื่น ๆ (Bottema,J.W. and Guy Henry,1990) จากสถิติปี 2550 ประเทศที่ผลิตมันสำปะหลังได้มากที่สุด คือ ประเทศไนจีเรีย ผลิตได้ 45.75 ล้านตัน รองลงมาคือ ประเทศบราซิลผลิตได้ 27.31 ล้านตัน สำหรับประเทศไทยผลิตได้เป็นอันดับสามของโลก คือ 26.92 ล้านตัน

ตารางที่ 1 พื้นที่เก็บเกี่ยว ผลผลิต และผลผลิตต่อไร่ ของประเทศผู้ปลูกมันสำปะหลังที่สำคัญของโลก ประจำปี 2549 และ 2550

ประเทศ	พื้นที่เก็บเกี่ยว (1,000 ไร่)		ผลผลิต (1,000 ตัน)		ผลผลิต/ไร่ (กก.)	
	2549	2550	2549	2550	2549	2550
ไนจีเรีย	23,813	24,063	45,721	45,750	1,920	1,901
บราซิล	11,853	12,155	26,639	27,313	2,247	2,247
ไทย	6,693	7,339	22,584	26,916	3,375	3,668
อินโดนีเซีย	7,643	7,543	19,928	19,610	2,607	2,600
คองโก	11,733	11,563	14,989	15,000	1,278	1,297
กานา	4,938	5,000	9,638	9,650	1,952	1,930
เวียดนาม	2,968	3,500	7,714	8,900	2,599	2,543
อังโกลา	4,731	4,750	8,810	8,800	1,862	1,853
อินเดีย	1,515	1,513	7,620	7,600	5,030	5,023
โมซัมบิก	6,313	6,188	7,500	7,350	1,188	1,188
อื่น	31,390	31,499	47,097	47,384	1,500	1,504
รวมทั้งโลก	113,590	115,113	218,240	224,273	1,921	1,948

(ที่มา : สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร,2551)

ประวัติมันสำปะหลัง

มันสำปะหลังมีแหล่งกำเนิดบริเวณ Lowland *tropics* หลักฐานการศึกษาจากประเทศโคลอมเบียและเวเนซูเอลา แสดงให้เห็นว่ามีการปลูกมันสำปะหลังมานานกว่า 3,000 ปี ถึง 7,000 ปีมาแล้ว (Reichel Dolmatoff, 1957) ส่วน Renvoize (1973) สรุปจากหลักฐานว่า มันสำปะหลังมีถิ่นกำเนิดหลายแห่งด้วยกัน และ Spath (1973) กล่าวว่า แหล่งกำเนิดมันสำปะหลังมีอยู่ 4 แห่งด้วยกัน คือ

1. แถบประเทศกัวเตมาลา และเม็กซิโก
2. ทางทิศตะวันตกเฉียงเหนือของทวีปอเมริกาใต้
3. ทางทิศตะวันออกของประเทศโบลิเวียและทางทิศตะวันตกเฉียงเหนือของประเทศเจนตินา
4. ทางทิศตะวันออกของประเทศบราซิล

Box และ de la Rive Box-Lasocki (1982) ยืนยันว่ามันสำปะหลังชนิดที่มีกรดไซยาไนด์ (HCN) ในหัวสูง มีแหล่งกำเนิดในอเมริกากลางและพบว่ามีการกระจายอยู่ในแถบกลุ่มแม่น้ำสายสำคัญ ๆ ส่วนชนิดที่มีกรดไซยาไนด์ในหัวต่ำ มีแหล่งกำเนิดในอเมริกาใต้ ซึ่งชนิดที่มีกรดไซยาไนด์ต่ำนี้พบในเขตที่มีความแห้งแล้งกว่าและแพร่กระจายอยู่ทั่วทวีปอเมริกาใต้ นอกจากนี้ Nassar (1978) ได้สรุป Centers of Diversity ของมันสำปะหลังพันธุ์ป่า (wild species) ไว้ 4 แหล่ง คือ

1. ตอนกลางของประเทศบราซิล
2. ทิศตะวันตกของประเทศเม็กซิโก
3. ทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศบราซิล
4. ทางทิศตะวันออกของประเทศโบลิเวียติดกับบราซิล

สรุปได้ว่า มันสำปะหลังมีถิ่นกำเนิดอยู่ในเขตร้อนของทวีปอเมริกา ตั้งแต่ประเทศเม็กซิโก กัวเตมาลา ฮอนดูรัส เปรู โบลิเวีย และบราซิล

การแพร่กระจาย

มันสำปะหลังมีการแพร่กระจายในสมัยที่มีการล่าอาณานิคมในคริสต์ศตวรรษที่ 15 โดยพวกนักค้าทาสได้นำมันสำปะหลังจากประเทศบราซิลไปปลูกในทวีปอัฟริกา และต่อมาปี พ.ศ.2282 ได้มีชาวโปรตุเกสนำมันสำปะหลังไปปลูกที่เกาะรียูเนียน (Reunion) และแพร่กระจายไปยังมาดากัสก้า (Jones,1969)

ทวีปเอเชียมีการนำมันสำปะหลังมาปลูกครั้งแรกที่ประเทศฟิลิปปินส์ ในคริสต์ศตวรรษที่ 17 โดยชาวสเปนได้นำมาจากประเทศเม็กซิโก และในเวลาต่อมาก็มีการปลูกที่ประเทศอินโดนีเซีย นอกจากนี้มีหลักฐานว่าในปี พ.ศ.2337 ได้มีการนำมันสำปะหลังจากอัฟริกามาปลูกที่ประเทศอินเดีย เพื่อใช้ในการทดลอง

สำหรับประเทศไทยยังไม่มีหลักฐานที่แน่นอนว่ามีการนำมันสำปะหลังมาปลูกเมื่อใด คาดว่าคงจะเข้ามาในระยะเดียวกับที่เข้าสู่ประเทศศรีลังกา ฟิลิปปินส์ คือราว ๆ พ.ศ.2329-2383 เดิมที่เรียกว่า มันสำโรง มันไม้ และมันสำปะหลัง เจริญศักดิ์ (2532) สรุปว่า คำว่า "มันสำปะหลัง" คล้ายกับภาษาชาวตะวันตก ที่เรียกมันสำปะหลังว่า "สำเปอ" ของชาวตะวันตก

การปลูกมันสำปะหลังเป็นการค้าในประเทศไทย ได้มีการปลูกมันสำปะหลังเพื่อใช้ทำแป้งและสาคูในภาคใต้ โดยปลูกระหว่างแถวของต้นยางพารามากว่า 70 ปีแล้ว (เจริญศักดิ์,2532) โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่จังหวัดสงขลามีอุตสาหกรรมทำแป้งและสาคูจำหน่ายไปยังปีนังและสิงคโปร์ แต่การปลูกมันสำปะหลังทางภาคใต้ค่อย ๆ หมดไป เพราะเมื่อต้นยางพาราโตคลุมพื้นที่ทั้งหมดจึงไม่สามารถปลูกมันสำปะหลังต่อไปได้ ต่อมาได้มีการปลูกมันสำปะหลังในภาคตะวันออก คือ จังหวัดชลบุรี ระยอง และจังหวัดใกล้เคียง และเนื่องจากความต้องการของตลาดในด้านผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังเพื่อใช้ในการเลี้ยงสัตว์และอุตสาหกรรมมีเพิ่มมากขึ้น ทำให้พื้นที่ในภาคตะวันออกผลิตได้ไม่เพียงพอต่อความต้องการ จึงมีการขยายพื้นที่ปลูกไปยังจังหวัดอื่น ๆ โดยเฉพาะทางภาคตะวันออกเฉียงเหนือ จนในปัจจุบันภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีพื้นที่ปลูกมากที่สุดของประเทศไทย

พฤกษศาสตร์ของมันสำปะหลัง

มันสำปะหลังหรือที่เรียกกันทั่วไปเป็นภาษาอังกฤษว่า Cassava เป็นพืชที่จัดได้ว่า เป็นแหล่งคาร์โบไฮเดรตที่สำคัญที่สุด ในภาษาบราซิล ปารากวัย และอาร์เจนตินา เรียกว่า mandioca ส่วนประเทศในแถบทวีปอเมริกาส่วนใหญ่ที่ใช้ภาษาสเปนเป็นภาษาพูด จะเรียกว่า yucca ประเทศในแถบทวีปเอเชียเรียกว่า tapioca และประเทศแถบอัฟริกาที่พูดภาษาฝรั่งเศส เรียกว่า manioca

นักวิทยาศาสตร์ได้จัดมันสำปะหลังไว้เป็นหมวดหมู่ ดังนี้

หมวดย่อย (SUB-DIVISION)	: ANGIOSPERMAE
ชั้น (CLASS)	: DICOTYLEDONEAE
ชั้นย่อย (SUB-CLASS)	: ARCHICHLAMYDEAE
อันดับ (ORDER)	: GERANIALES OR EUPHORBIALES
วงศ์ (FAMILY)	: EUPHORBIACEAE
เผ่า (TRIBE)	: MANIHOTEAE
สกุล (GENUS)	: MANIHOT

พืชเศรษฐกิจอื่น ๆ ที่อยู่ในวงศ์เดียวกันกับมันสำปะหลังที่รู้จักกันดี ได้แก่ ละหุ่ง ยางพารา เป็นต้น ส่วนพืชจำพวกมันสำปะหลังที่อยู่ในสกุล Manihot นั้นมีมากมายหลายชนิดซึ่งบางชนิดก็ใช้เป็นอาหารได้

สำหรับมันสำปะหลังที่ปลูกเป็นการค้าในปัจจุบันมีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Manihot esculenta* Crantz ในอดีตที่ผ่านมามันสำปะหลังมีชื่อเดิมว่า *Manihot utilissima* Pohl. แต่ปัจจุบันไม่นิยมใช้กัน นอกจากนั้นสมัยก่อนยังแบ่งมันสำปะหลังเป็นชนิดหวานกับชนิดขม โดยที่ *M.esculenta* เป็นชนิดหวาน ส่วน *M.palmat* หรือ *M.dulcis* เป็นชนิดขม อย่างไรก็ตามในปัจจุบันคงมีแต่ *M.esculenta* ส่วนจะเป็นชนิดหวานหรือขมจะแตกต่างกันที่พันธุ์

นอกเหนือไปจากชนิดต่าง ๆ ของพวก Manihot ดังกล่าวแล้ว ยังมีชื่อวิทยาศาสตร์ของมันสำปะหลังที่เป็นพันธุ์ป่า (wild species) อีกประมาณ 150 ชนิด ที่ถูกตีพิมพ์ไว้ในเอกสาร

ชนิดของมันสำปะหลัง

มันสำปะหลังที่ปลูกในแหล่งปลูกทั่วโลกและในประเทศไทย แบ่งเป็น 2 ชนิด คือ

1. ชนิดหวาน (Sweet type) เป็นมันสำปะหลังที่มีปริมาณกรดไฮโดรไซยานิคต่ำ ไม่มีรสขม ใช้เพื่อการบริโภคของมนุษย์ มีทั้งชนิดเนื้อร่วน นุ่ม และชนิดเนื้อแน่นเหนียว ในประเทศไทยไม่มีการปลูกเป็นพื้นที่ใหญ่ ๆ เนื่องจากมีตลาดจำกัด ส่วนใหญ่จะปลูกรอบ ๆ บ้าน หรือตามร่องสวนเพื่อบริโภคเองในครัวเรือน หรือเพื่อจำหน่ายตามตลาดสดในท้องถิ่นในปริมาณไม่มาก ราคากิโลกรัมละ 4-8 บาท

2. ชนิดขม (Bitter type) เป็นมันสำปะหลังที่มีปริมาณกรดไฮโดรไซยานิคสูง และมีรสขมไม่เหมาะสำหรับการบริโภคของมนุษย์หรือใช้หัวสดเลี้ยงสัตว์โดยตรง แต่จะใช้สำหรับอุตสาหกรรมแปรรูปต่าง ๆ เช่น แป้งมัน มันอัดเม็ด แอลกอฮอล์ เนื่องจากมีปริมาณแป้งสูง ราคากิโลกรัมละ 0.80-1.24 บาท

พันธุ์มันสำปะหลัง

มันสำปะหลังที่ปลูกในประเทศไทยส่วนใหญ่เป็นชนิดขมสำหรับใช้ในอุตสาหกรรม พันธุ์ที่ปลูกกันมากเรียกว่าพันธุ์ "พื้นเมือง" ซึ่งสันนิษฐานว่า เป็นพันธุ์ที่นำเข้ามาจากประเทศมาเลเซีย มาปลูกครั้งแรกที่สถานีทดลองในภาคใต้ (ปัจจุบันเป็นศูนย์วิจัยยางสงขลา) และบริเวณใกล้เคียง ปรากฏว่าให้ผลดี มีความเหมาะสม จึงขยายไปทั่วประเทศ พันธุ์นี้มีชื่อเรียกต่าง ๆ เช่น พันธุ์พื้นเมือง พันธุ์ยอดขาว พันธุ์สิงคโปร์ และพันธุ์ระยอง ในระยะหลังเมื่อกรมวิชาการเกษตร และมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ เริ่มงานวิจัยมันสำปะหลัง ได้มีการปรับปรุงพันธุ์มันสำปะหลัง จนในปัจจุบันมีพันธุ์มันสำปะหลังเพื่อการอุตสาหกรรมที่ได้รับการรับรองพันธุ์เป็นพันธุ์แนะนำแล้วดังนี้

1. **มันสำปะหลังพันธุ์อุตสาหกรรม** เป็นผลงานวิจัยของกรมวิชาการเกษตร จำนวน 8 พันธุ์

1.1 พันธุ์ระยอง 1 เป็นพันธุ์ที่นำเข้ามาจากประเทศมาเลเซีย ปลูกครั้งแรกทางภาคใต้ของประเทศไทย ในบริเวณพื้นที่ปลูกยางพารา ต่อมามีผู้นำไปปลูกในจังหวัดชลบุรี และจังหวัดระยอง เพื่อใช้ในอุตสาหกรรมทำแป้งมีชื่อเรียกแตกต่างกันไป เช่น พันธุ์พื้นเมือง พันธุ์ยอดขาว ในปี 2499 สถานีกสิกรรมห้วยโป่ง จังหวัดระยอง (ปัจจุบันเป็นศูนย์วิจัยพืชไร่ระยอง) ได้รวบรวมพันธุ์มันสำปะหลังจากท้องถิ่นต่าง ๆ ในภาคตะวันออกเป็นครั้งแรก ทำการคัดเลือกและเปรียบเทียบผลผลิตพบว่าพันธุ์ระยอง ให้ผลผลิตสูงสุด ปี 2518 นักวิชาการผู้ปฏิบัติงานวิจัยมันสำปะหลังตั้งชื่อให้ว่าพันธุ์ระยอง 1 และได้ผลิตพันธุ์เพื่อแจกจ่ายให้แก่เกษตรกรอย่างกว้างขวาง

ลักษณะเด่น ให้ผลผลิตค่อนข้างสูง ปรับตัวเข้ากับสภาพแวดล้อมต่างๆ ของประเทศไทยได้ดี ทรงต้นสูงตรงสะดวกในการปฏิบัติดูแลรักษา และเก็บเกี่ยว ต้นพันธุ์แข็งแรง

ข้อจำกัด ปริมาณแป้งไม่สูง คือ ประมาณ 18 เปอร์เซ็นต์ ในฤดูฝน หรือ 24 เปอร์เซ็นต์ ในฤดูแล้ง

ผลผลิตและคุณภาพ ผลผลิตหัวสดประมาณ 4,150 กิโลกรัมต่อไร่ มีแป้ง 18.3 เปอร์เซ็นต์

ลักษณะประจำพันธุ์ ยอดสีม่วง ใบที่เจริญเต็มที่สีเขียวปนม่วง ก้านใบสีเขียวปนม่วงยาวประมาณ 25-30 เซนติเมตร แผ่นใบเป็นแบบใบหอกปลายมน (oblongceolate) มีแฉก 3, 5, 7 หรือ 9 แฉก ใบกว้าง 2.6-4.8

เซนติเมตร ยาวประมาณ 17 เซนติเมตร ขอบตาหรือขอบใบ (leat scar) นูนใหญ่ ห่างกันประมาณ 3-5 เซนติเมตร ลำต้นสีเขียวปนเทา หัวมีลักษณะเรียวยาว ผิวเรียบ เปลือกสีน้ำตาลอ่อน เนื้อในสีขาว ความสูงของต้น 2.5-3.5 เซนติเมตร การแตกกิ่ง แตกกิ่งน้อยประมาณ 3 ระดับ ระดับแรก สูงจากพื้นดินประมาณ 200 เซนติเมตร กิ่งทำมุมกับลำต้น 15-30 องศา เก็บเกี่ยวอายุ 12 เดือน

1.2 **พันธุ์ระยอง** 3 เป็นพันธุ์ลูกผสมที่เกิดจากการผสมระหว่างพันธุ์ Mmex55 กับ MVen 307 โดยสถาบันวิจัยพืชไร่ นำเมล็ดพันธุ์ลูกผสมมาจากศูนย์เกษตรเขตร้อนนานาชาติ (CIAT) ประเทศโคลอมเบีย เมื่อปี พ.ศ. 2518 มาปลูกคัดเลือกตามขั้นตอนการปรับปรุงพันธุ์ ที่ศูนย์วิจัยพืชไร่ระยอง

รับรองพันธุ์ โดยกรมวิชาการเกษตร เมื่อวันที่ 18 พฤษภาคม 2526

ลักษณะเด่น มีเปอร์เซ็นต์แป้งสูง คือ ประมาณ 23 เปอร์เซ็นต์ ในฤดูฝน หรือ 28 เปอร์เซ็นต์ ในฤดูแล้ง มีปริมาณกรดไฮโดรไซยานิคต่ำ ใช้บริโภคได้ด้วย

ข้อจำกัด ต้นเตี้ยและแตกกิ่ง ไม่สะดวกในการปฏิบัติดูแลรักษา หัวแหลมยาว เก็บเกี่ยวยากกว่าพันธุ์ระยอง 1 ต้องการสภาพแวดล้อมที่ดี

ผลผลิตและคุณภาพ ผลผลิตหัวสด 2,730 กิโลกรัมต่อไร่ ปริมาณแป้ง 23.1 เปอร์เซ็นต์

ลักษณะประจำพันธุ์ ยอดสีเขียวอ่อน ใบแรกที่เจริญเต็มมีสีเขียวอ่อน ก้านใบสีเขียวอ่อนปนแดง ยาว 25.30 เซนติเมตร แผ่นใบ รูปร่างเป็นแบบใบหอก (lanceolate) ลำต้นสีน้ำตาลอ่อน ความสูงของต้นสูงประมาณ 173 เซนติเมตร การแตกกิ่งประมาณ 3 ระดับ ระดับแรกค่อนข้างต่ำสูงจากพื้นดินประมาณ 80 เซนติเมตร แต่ละกิ่งทำมุมกับลำต้น 75 – 90 องศา หัว เปลือกสีน้ำตาลอ่อน เนื้อในสีขาว ลักษณะการเกิดของหัวรวมกันแน่น เก็บเกี่ยวอายุประมาณ 12 เดือน

1.3 **พันธุ์ระยอง** 60 เป็นพันธุ์ลูกผสมพันธุ์ระหว่างพันธุ์ Mcol1684 กับ พันธุ์ระยอง 1 ที่ศูนย์วิจัยพืชไร่ระยอง ใช้เวลาในการพัฒนาตั้งแต่ปี 2524-2530 โดยทำการคัดเลือกและเปรียบเทียบตามขั้นตอนการปรับปรุงพันธุ์

รับรองพันธุ์ โดยกรมวิชาการเกษตร เมื่อวันที่ 30 กันยายน 2530

ลักษณะเด่น ให้ผลผลิตสูง ไม่ว่าจะเก็บเกี่ยวเมื่อ 8 เดือน หรือ 12 เดือน จึงเหมาะสำหรับเกษตรกรที่ต้องการพันธุ์อายุสั้น ทรงต้นสูงตรง ไม่แตกกิ่ง สะดวกในการปฏิบัติดูแลรักษา มีจำนวนลำต่อต้น 2- 4 ลำ ทำให้มีอัตราการขยายพันธุ์สูง

ข้อจำกัด ปริมาณแป้งไม่สูง คือ เมื่อเก็บเกี่ยวในฤดูฝน มีเปอร์เซ็นต์แป้งต่ำกว่า 20 เปอร์เซ็นต์ และ เนื้อมีสีครีม บางครั้งทำให้โรงงานตัดราคา

ผลผลิตและคุณภาพ ผลผลิตหัวสด 3520 กิโลกรัมต่อไร่ ปริมาณแป้ง 18.5 เปอร์เซ็นต์

ลักษณะประจำพันธุ์ ลำต้นสีน้ำตาลอ่อน สูงประมาณ 173 เซนติเมตร มีการแตกกิ่ง 1-3 ระดับ ความสูงของการแตกกิ่งระดับแรก 130-150 เซนติเมตร มุมของกิ่ง 15-30 องศา ลักษณะแผ่นใบเป็นแบบรูปหอก ใบแก่สีเขียวเข้ม ยอดอ่อนเขียวอมม่วง ก้านใบสีเขียวอ่อนปนแดง หัวเกิดรวมกันแน่น ทำให้ง่ายต่อการ หัวลักษณะ

อ้วนสั้น เปลือกสีน้ำตาลอ่อน เนื้อสีขาวครีม สามารถเก็บเกี่ยวเมื่ออายุ 8 เดือน หรือปล่อยให้เก็บเกี่ยวปกติ 12 เดือน จะได้ผลผลิตเพิ่มขึ้น

1.4 **พันธุ์ระยอง 90** เป็นพันธุ์ลูกผสมที่คัดได้จากการผสมข้าม ระหว่างพันธุ์ CMC76 กับ พันธุ์ V43 เมื่อปี 2521 ที่ศูนย์วิจัยพืชไร่ระยอง แล้วปลูกคัดเลือกและประเมินโดยเปรียบเทียบและทดสอบพันธุ์ในสถานีทดลองพืชไร่ และไร่เกษตรกร ในจังหวัดต่าง ๆ ในภาคตะวันออก และภาคตะวันออกเฉียงเหนือ จนถึงปี 2533

รับรองพันธุ์ โดยกรมวิชาการเกษตร เมื่อวันที่ 8 กรกฎาคม 2534

ลักษณะเด่น ผลผลิตสูงและมีเปอร์เซ็นต์แป้งสูง โดยผลผลิตสูงกว่าพันธุ์ระยอง 1 ประมาณ 5เปอร์เซ็นต์ และมีแป้งประมาณ 24 เปอร์เซ็นต์ ในฤดูฝน หรือ 30 เปอร์เซ็นต์ ในฤดูแล้ง

ข้อจำกัด ต้นพันธุ์เสื่อมคุณภาพเร็ว ลำต้นโค้ง บางครั้งแตกกิ่งทำให้ดูแลรักษายาก ไม่เหมาะสมกับท้องที่ที่พบการแพร่ระบาดของแมลงหวี่ขาวอยู่เสมอ

ผลผลิตและคุณภาพ ผลผลิตหัวสด 3,650 กิโลกรัมต่อไร่ ปริมาณแป้ง 24 เปอร์เซ็นต์

ลักษณะประจำพันธุ์ ลำต้นมีลักษณะโค้ง สีน้ำตาลอ่อน สูงประมาณ 165 เซนติเมตร มีระดับการแตกกิ่ง 0.2 ระดับ ความสูงของการแตกกิ่งระดับแรก 120-140 เซนติเมตร มุมของกิ่งกว้าง 75 – 90 องศา แผ่นใบรูปร่างเป็นแบบใบหอก ใบแก่สีเขียวเข้ม ยอดอ่อนและก้านใบสีเขียวอ่อน หัวรูปร่างยาวเรียวเปลือกสีน้ำตาลเข้ม เนื้อสีขาว เก็บเกี่ยวในฤดูฝน หัวสด มีแป้ง 24.9 เปอร์เซ็นต์ มันแห้ง 36.4 เปอร์เซ็นต์

1.5 **พันธุ์ระยอง 5** เป็นพันธุ์ลูกผสมที่คัดได้จากการผสมข้ามระหว่างพันธุ์ 27-77-10 กับ พันธุ์ระยอง 3 เมื่อปี 2525 ที่ศูนย์วิจัยพืชไร่ระยอง แล้วปลูกคัดเลือก เปรียบเทียบ และทดสอบพันธุ์ในศูนย์วิจัยพืชไร่ สถานีทดลองพืชไร่ รวมทั้งไร่เกษตรกรในจังหวัดต่าง ๆ ในภาคตะวันออกและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ จนถึงปี 2537

รับรองพันธุ์ โดยกรมวิชาการเกษตร เมื่อวันที่ 28 ตุลาคม 2537

ลักษณะเด่น ผลผลิตสูง มีเสถียรภาพและปรับตัวเข้ากับสภาพแวดล้อมได้ดี ต้นพันธุ์มีความงอกดี

ข้อควรระวัง เป็นโรคใบไหม้ได้ง่ายกว่าพันธุ์อื่น ๆ แต่อาการไม่รุนแรงถึงกับทำให้ต้นตาย

ลักษณะประจำพันธุ์ ลำต้นมีสีเขียวอมน้ำตาล สูงประมาณ 170 เซนติเมตร มีระดับการแตกกิ่ง 2-3 ระดับ ความสูงของการแตกกิ่งระดับแรก 100 - 200 เซนติเมตร มุมของกิ่ง 15-30 องศา ยอดอ่อนสีม่วงอ่อน ใบที่เจริญเต็มที่สีเขียวแก่ ก้านใบสีแดงเข้ม แผ่นใบมีรูปร่างเป็นแบบใบหอก ใบแก่สีเขียวเข้ม ก้านใบสีแดงเข้ม ยอดอ่อนสีม่วงอมน้ำตาล หัวรูปร่างป้อมอ้วน เปลือกสีน้ำตาลอ่อน เนื้อสีขาว

ผลผลิตและคุณภาพ ผลผลิตหัวสดเฉลี่ย 4,020 กิโลกรัมต่อไร่ ปริมาณแป้ง 22.3 เปอร์เซ็นต์

1.6 **พันธุ์ระยอง 72** เป็นพันธุ์ลูกผสมที่คัดได้จากการผสมข้ามระหว่างพันธุ์ระยอง 1 กับพันธุ์ระยอง 5 ที่ศูนย์วิจัยพืชไร่ระยอง แล้วนำมาประเมินผลผลิต ตามขั้นตอนของการปรับปรุงพันธุ์ ในศูนย์วิจัย

พืชไร่และสถานีทดลองพืชไร่ และแหล่งปลูกต่าง ๆ จนถึงปี 2542 พบว่าเป็นพันธุ์ที่เหมาะสมที่จะปลูกในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

รับรองพันธุ์ โดยกรมวิชาการเกษตร เมื่อวันที่ 2 กุมภาพันธ์ 2543

ลักษณะเด่น ให้ผลผลิตหัวสดสูง ปรับตัวได้ดีในสภาพแวดล้อมทางภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ท่อนพันธุ์มีความอยู่รอดจนถึงเก็บเกี่ยวสูง ทรงต้นดี อาจแตกกิ่งบ้างเล็กน้อยในระดับที่สูงจากโคนต้น

ข้อจำกัด ให้เปอร์เซ็นต์แป้งต่ำเมื่อปลูกในภาคตะวันออก จึงไม่ควรเก็บเกี่ยวในฤดูฝน

ลักษณะประจำพันธุ์ ลำต้นมีสีเขียวเงิน สูง 200 เซนติเมตร มีระดับการแตกกิ่ง 0 – 1 ระดับ ความสูงของการแตกกิ่งระดับแรก 130-140 เซนติเมตร มุมของกิ่ง 60-75 องศา ใบแก่สีเขียวเข้ม ก้านใบสีแดงเข้ม ความยาวก้านใบ 25-30 เซนติเมตร ยอดอ่อนสีม่วง เปลือกนอกของหัวสีขาวนวล เนื้อสีขาว

ผลผลิตและคุณภาพ ผลผลิตหัวสดสูง 4,660 กิโลกรัมต่อไร่ ปริมาณแป้ง 20.5 เปอร์เซ็นต์ ในฤดูฝน และ 25 เปอร์เซ็นต์ ในฤดูแล้ง

1.7 **พันธุ์ระยอง** 7 เป็นพันธุ์ลูกผสมที่คัดได้จากการผสมข้าม ระหว่างพันธุ์ CMR30-71-25 กับพันธุ์ OMR29-20-118 ที่ศูนย์วิจัยพืชไร่ระยอง แล้วปลูกคัดเลือกและประเมินโดยเปรียบเทียบและทดสอบพันธุ์ในสถานีทดลองพืชไร่ และไร่เกษตรกร ในจังหวัดต่าง ๆ

รับรองพันธุ์ โดยกรมวิชาการเกษตร ในปี 2548

ลักษณะเด่น ให้ผลผลิตสูง โดยเฉพาะในที่ที่อุดมสมบูรณ์ เหมาะสำหรับปลูกทั้งต้นฤดูฝนและปลายฤดูฝน เปอร์เซ็นต์ความงอกสูง เจริญเติบโตเร็วในช่วง 1- 2 เดือนแรก ลำต้นแข็งแรง ไม่ค่อยแตกกิ่ง

ข้อจำกัด การปลูกในสภาพความอุดมสมบูรณ์ต่ำ มีเจริญเติบโตไม่ดี ต้นเตี้ย

ลักษณะประจำพันธุ์ สียอดอ่อนสีเขียวอ่อน สีใบแก่ เขียวอ่อน สีก้านใบ เขียวอ่อนอมชมพูสีของลำต้นน้ำตาลอ่อน ทรงต้น ลำต้นโค้งเล็กน้อย แตกกิ่ง 0.1ระดับ กิ่งทำมุมแคบ ความสูงของลำต้น(ซม.) 150±20 สีของเปลือกนอกของหัว ขาวนวล สีของเนื้อ ขาวนวล

ผลผลิตและคุณภาพ ผลผลิตหัวสด 4,000 กิโลกรัมต่อไร่ ปริมาณแป้งในฤดูฝน 22.6 เปอร์เซ็นต์ และ 27 เปอร์เซ็นต์ ในฤดูแล้ง

1.8 **พันธุ์ระยอง** 9 เป็นพันธุ์ลูกผสมที่คัดได้จากการผสมข้าม ระหว่างพันธุ์ CMR31-19-23 กับพันธุ์ OMR29-20-118 ที่ศูนย์วิจัยพืชไร่ระยอง แล้วปลูกคัดเลือกและประเมินโดยเปรียบเทียบและทดสอบพันธุ์ในสถานีทดลองพืชไร่ และไร่เกษตรกร ในจังหวัดต่าง ๆ

รับรองพันธุ์ โดยกรมวิชาการเกษตร ในปี 2549

ลักษณะเด่น ให้ผลผลิตสูง เปอร์เซ็นต์แป้งสูง เอทานอลสูง ลำต้นสูงตรง สะดวกในการดูแลรักษา

ข้อจำกัด ควรเก็บเกี่ยวอายุ 10 เดือนขึ้นไป ไม่ต้านทานไรแดง ไม่เหมาะต่อการปลูกในสภาพดินร่วนเหนียวหรือดินร่วนปนลูกรังเพราะจะมีการเจริญเติบโตทางลำต้นมากกว่าการสร้างหัว

ลักษณะประจำพันธุ์ สียอดอ่อน เขียวอ่อน สีใบแก่ เขียวอ่อน สีก้านใบ เขียวอ่อนอมชมพู สีของลำต้น น้ำตาลอ่อน ทรงต้น ลำต้นตรงแตกกิ่ง 0-1 ระดับกิ่งทำมุมแคบ ความสูงของลำต้น (ซม.) 200±20 สีเปลือกนอกของหัว น้ำตาลอ่อน สีของเนื้อ ขาว

ผลผลิตและคุณภาพ ผลผลิตหัวสด 4.17 กิโลกรัมต่อไร่ เปอร์เซ็นต์แป้ง (ฤดูฝน) 24.9 เปอร์เซ็นต์ ผลผลิตเอทานอล 199 ลิตรต่อตันหัวสด

2. **มันสำปะหลังพันธุ์อุตสาหกรรมที่เป็นผลงานวิจัยของหน่วยงานอื่น**

2.1 **พันธุ์เกษตรศาสตร์ 50** เป็นลูกผสมระหว่างพันธุ์ระยอง 1 กับพันธุ์ระยอง 90 เกิดจากการพัฒนาพันธุ์ร่วมกันระหว่าง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ และกรมวิชาการเกษตร เนื่องในวาระครบรอบ 50 ปี ของการก่อตั้งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

รับรองพันธุ์ โดยมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ในปี 2536

ลักษณะเด่น ผลผลิตสูง และเปอร์เซ็นต์แป้งสูง ต้นพันธุ์เก็บไว้ได้ประมาณ 30 วัน หลังจากตัดต้น

ข้อจำกัด ถ้าปลูกในเขตภาคตะวันออกเฉียงเหนือ มักพบว่าลักษณะต้นแตกกิ่งมาก กิ่งทำมุมกว้าง ทำให้ไม่สะดวกในการปฏิบัติ ดูแลรักษา

ลักษณะประจำพันธุ์ ลำต้นโค้งเล็กน้อย สีเขียวเงิน คล้ายพันธุ์ระยอง 1 มาก แต่ถ้าสังเกตที่ยอด พบว่าใบอ่อนไม่มีขน ซึ่งต่างกันกับระยอง1 ที่มีขนที่ยอดอ่อน ความสูง 180-250 เซนติเมตร แตกกิ่งระดับแรกที่ความสูง 80-150 เซนติเมตร

ผลผลิตและคุณภาพ ผลผลิตเฉลี่ย 4,400 กิโลกรัมต่อไร่ มีแป้งเฉลี่ย 23 เปอร์เซ็นต์ในฤดูฝน และ 28 เปอร์เซ็นต์ในฤดูแล้ง

2.2 **พันธุ์ห้วยบง 60** เป็นพันธุ์ที่พัฒนาโดยความร่วมมือของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ และมูลนิธิสถาบันพัฒนามันสำปะหลังแห่งประเทศไทย ได้จากการผสมระหว่างพันธุ์ระยอง 5 กับพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 เมื่อปี 2534 ผ่านการประเมินผลผลิตมากกว่า 30 การทดลอง ได้รับพระราชทานชื่อพันธุ์จากสมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี ว่า "ห้วยบง 60"

รับรองพันธุ์ โดยมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ในปี 2546

ลักษณะเด่น ผลผลิตหัวสดและแป้งสูง เจริญเติบโตได้รวดเร็ว สามารถคลุมวัชพืชได้เร็ว

ข้อจำกัด ในพื้นที่ที่มีฝนมาก เช่นทางภาคตะวันออก จะให้เปอร์เซ็นต์แป้งต่ำ

ลักษณะประจำพันธุ์ ต้นสีเขียวเงิน ก้านใบสีเขียวอมม่วง ยอดสีม่วงอ่อน ใบมีขนอ่อน ต้นสูง 180-200 เซนติเมตร แตกกิ่งแรกระดับ 90-140 เซนติเมตร เปลือกหัวสีน้ำตาลอ่อน เนื้อสีขาว

ผลผลิตและคุณภาพ ผลผลิต 5,800 กิโลกรัมต่อไร่ มีแป้ง 25.4 เปอร์เซ็นต์

3. **มันสำปะหลังพันธุ์เหมาะสมในการรับประทาน**

3.1 **พันธุ์ห้านาที** เป็นพันธุ์พื้นเมืองที่มีปลูกมานานในประเทศไทย (คาดว่ามาจากทางภาคใต้ผ่านมาทางประเทศมาเลเซีย) โดยไม่ทราบช่วงเวลานำเข้าที่แน่นอน มีการปลูกในพื้นที่ไม่มากนักเพื่อใช้รับประทาน การปลูกเพื่อการค้าจะปลูกแบบร่องสวนในเขต จ.ปทุมธานี

ลักษณะเด่น เนื้อหัวร่วน เหมาะสมหรับทำขนม เช่น เชื่อม ย่าง

ลักษณะประจำพันธุ์ ลำต้นตรง สูง แตกกิ่งสูง ก้านใยสีแดง ใบกว้าง ยอดอ่อนสีเขียว ลำต้นสีน้ำตาลเข้ม หัวเปลือกนอกสีน้ำตาลเข้ม เนื้อในสีขาว เปลือกในสีม่วง รูปร่างหัวเรียวยาว เปลือกปอกง่าย การเก็บเกี่ยวในสภาพไร่ ไม่ควรเก็บเกี่ยวอายุเกิน 10 เดือน เพราะจะมีเส้นใยมาก ในสภาพสวนเก็บเกี่ยวอายุ 8 เดือน

ผลผลิตและคุณภาพ ผลผลิตค่อนข้างต่ำ 1,500-2,000 กิโลกรัมต่อไร่ ปลูกในสภาพสวนจะมีคุณภาพของหัวดีกว่าปลูกในสภาพไร่ กรดไฮโดรไซยานิคในหัวค่อนข้างต่ำ

3.2 **พันธุ์ระยอง 2** ได้จากการที่นักวิชาการจากสถาบันวิจัยพืชไร่นำเมล็ดลูกผสมที่เกิดจากการผสมระหว่างพันธุ์ Mcol 113 กับพันธุ์ Mcol 22 ที่ศูนย์เกษตรเขตร้อนนานาชาติ (CIAT) ประเทศโคลอมเบีย มาปลูกคัดเลือกในประเทศไทย

รับรองพันธุ์ โดยกรมวิชาการเกษตร เมื่อวันที่ 16 กรกฎาคม พ.ศ.2527

ลักษณะเด่น ผลผลิตสูงเช่นเดียวกับพันธุ์ระยอง 1 เนื้อแน่น เหนียว มีรสหวาน และมีสีเหลือง เหมาะสำหรับบริโภค โดยเฉพาะในรูปของมันทอดกรอบ มีแคโรทีนสูงกว่าพันธุ์อื่น ๆ คือประมาณ 502.04 ไมโครกรัม/100 กรัม มีไวตามินเอ 837 IAU/100 กรัม มีกรดไฮโดรไซยานิคต่ำ

ข้อจำกัด มีเปอร์เซ็นต์แป้งต่ำประมาณ 14 เปอร์เซ็นต์ในฤดูฝน ไม่สามารถปลูกเพื่อส่งขายโรงงานอุตสาหกรรมแป้งมัน หรือมันเส้นได้

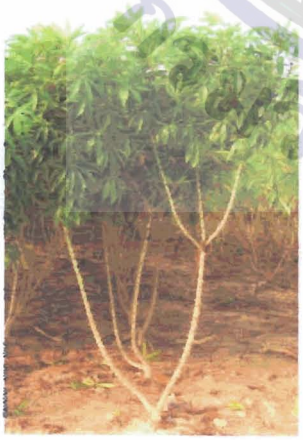
ลักษณะประจำพันธุ์ ยอดอ่อนสีเขียวอมม่วง ใบที่เจริญเต็มที่สีเขียวแก่ ก้านใบสีเขียวอมม่วง แผ่นใบเป็นแบบใบหอก (Lanceolate) ต้นสูงประมาณ 1.8-2.2 เมตร ลำต้นโค้ง สีน้ำตาลอ่อนอมเขียว แตกกิ่ง 0-1 ระดับ หากแตกกิ่งจะแตกที่ระดับความสูงประมาณ 1.5 เมตรขึ้นไป กิ่งทำมุมกว้าง 75-90 องศา หัวไม่ตก เปลือกนอกสีน้ำตาลอ่อน เนื้อในสีเหลืองอ่อน มักจะไม่ออกดอกภายใน 1 ปี ดอกและผลไม่ดก ดอกตัวผู้ไม่มีอับและละอองเกสร

ภาพที่ 1 ระยอง1

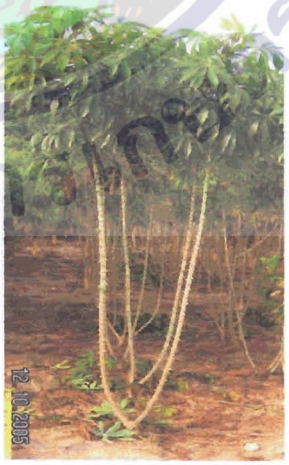
ภาพที่ 2 ระยอง3

ภาพที่ 3 ระยอง60

ภาพที่ 4 ระยอง 90



ภาพที่ 5 ระยอง5

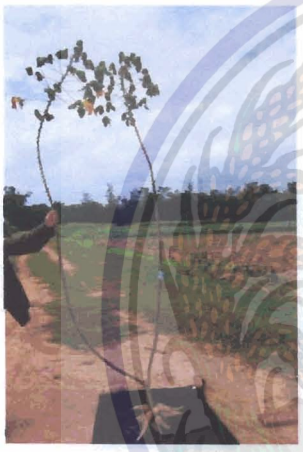


ภาพที่ 6 ระยอง72

ห้องสมุด กรมวิชาการเกษตร

ภาพที่ 7 ระยอง7

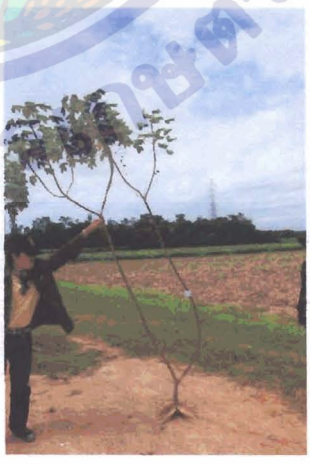
ภาพที่ 8 ระยอง9



ภาพที่ 9 เกษตรศาสตร์50

ภาพที่ 10 ห้วยบง 60

ภาพที่ 11 ห้านาที



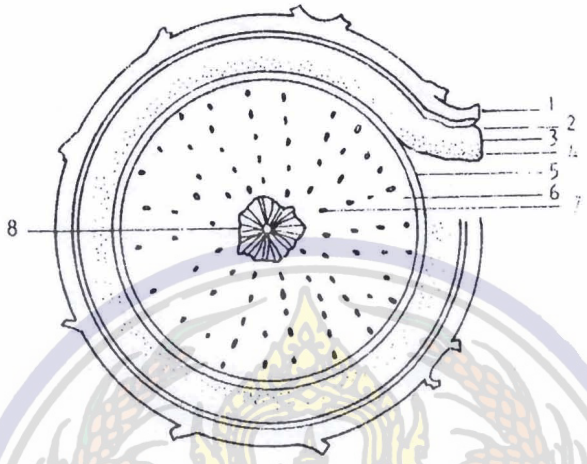
ภาพที่ 12 ระยอง2

633.682
ศ๖๔๓
2551

17924

องค์ประกอบทางเคมีของหัวมันสำปะหลัง

เมื่อนำหัวมันสำปะหลังมาตัดในแนวขวางจะเห็นว่ามีอยู่ 3 ส่วนด้วยกัน คือ ส่วนของเปลือก ส่วนของเปลือกชั้นใน และส่วนของเนื้อหัว



1. Periderm or bark
2. Sclerenchyma
3. Cortical Parenchyma
4. Phloem

(1 to 4 = peel)

5. Cambium
6. Parenchyma (Starch reserves)
7. Xylem vassels
8. Xylem bundles and fibers

ภาพที่ 13 ภาคตัดขวางของหัวมันสำปะหลัง

1. ส่วนของเปลือกชั้นนอกหรือผิว (periderm) จะเป็นเยื่อบางๆ ซึ่งเป็นส่วนของ Cortex layer และชั้น epidermis cell ความหนา ลักษณะที่เรียบหรือขรุขระ และสีของเปลือกชั้นนอกจะแตกต่างกันไป เช่น มีสีขาว น้ำตาลอ่อน น้ำตาลแก่ ชมพู และครีม

2. ส่วนของเปลือกชั้นใน (cortical region) จะอยู่ถัดเข้าไป มีความหนาประมาณ 1-3 มิลลิเมตร มักมีสีขาวหรือชมพู แต่อาจมีสีน้ำตาล ม่วง แตกต่างกันไปตามพันธุ์ ประกอบด้วยชั้นของเซลล์ชนิดต่างๆ ได้แก่ sclerenchyma, cortical parenchyma และ phoem เปลือกชั้นในนี้เรียกว่า cortex เมื่อรวมกับ phloem เรียกรวมกันว่าเปลือก (peel)

3. ส่วนของเนื้อหัว (starchy flesh) หรือส่วนแกนกลาง (large central pith) เป็นส่วนที่สะสมแป้ง ประกอบด้วยเซลล์ชนิดต่างๆ คือ cambium , parenchyma และ xylem vessel เนื้อหัวจะมีสีต่างๆ เช่น ขาว ครีม เหลือง และชมพู

ภาพที่ 14-15 สีเปลือก และสีเนื้อ ของหัวมันสำปะหลัง

หัวมันสำปะหลังเป็นส่วนรากที่โตขึ้นสำหรับสะสมแป้ง จากการวิเคราะห์ในเชื้อพันธุกรรมที่รวบรวมไว้ในประเทศไทย จำนวน 262 พันธุ์ พบว่ามีเปลือกประมาณ 8.8-23.4 เปอร์เซ็นต์ หัวมันสำปะหลังสดมีน้ำอยู่ประมาณ 51.6-76.9 เปอร์เซ็นต์ และส่วนประกอบส่วนใหญ่คือแป้งหรือคาร์โบไฮเดรต ประมาณ 6-31 เปอร์เซ็นต์ (จิณณจาร์ และคณะ ,2551) ดังนั้นหัวมันสำปะหลังจึงเป็นแหล่งคาร์โบไฮเดรตที่ให้พลังงานในอาหารของคนและสัตว์ แต่มีปริมาณโปรตีนและไขมันน้อยมาก ไม่เหมาะที่จะใช้เป็นแหล่งของโปรตีนและไขมัน

ตารางที่ 2 ค่าต่ำสุด ค่าสูงสุด และค่าเฉลี่ย ขององค์ประกอบของหัวมันสำปะหลัง ในเชื้อพันธุ์มันสำปะหลัง จำนวน 262 พันธุ์ ในปี 2547-2549 ณ ศูนย์วิจัยพืชไร่ระยอง

ลำดับ	ลักษณะ	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	ค่าเฉลี่ย
1	ปริมาณเปลือก	8.8	23.4	15.5
2	ปริมาณแป้งในหัวสด(เปอร์เซ็นต์)	6	31	21.4
3	ความชื้นในเนื้อมันสด(%)	51.6	76.9	62.5
4	ปริมาณไซยาไนด์รวมในเนื้อมันสด(มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม))	22	1277	306
5	ปริมาณกากใยในหัวมัน (% โดยน้ำหนักแห้ง)	1.27	3.79	2
6	ปริมาณโปรตีนในหัวมัน (% โดยน้ำหนักแห้ง)	0.63	4.48	1.27
7	ปริมาณฟอสฟอรัสในหัวมัน (% โดยน้ำหนักแห้ง)	0.01	0.20	0.09
8	ปริมาณโพแตสเซียมในหัวมัน (% โดยน้ำหนักแห้ง)	0.13	1.17	0.65
9	ปริมาณแคลเซียมในหัวมัน (% โดยน้ำหนักแห้ง)	0.012	0.269	0.07
10	ปริมาณแมกเนเซียมในหัวมัน (% โดยน้ำหนักแห้ง)	0.033	0.155	0.06
11	ปริมาณเหล็กในหัวมันโดยสัดส่วนน้ำหนักแห้ง (ppm)	0.00	75.87	10.01
12	ปริมาณแมงกานีสในหัวมันโดยสัดส่วนน้ำหนักแห้ง (ppm)	0.00	38.31	10.92
13	ปริมาณทองแดงในหัวมันโดยสัดส่วนน้ำหนักแห้ง (ppm)	0.000	9.219	1.53
14	ปริมาณสังกะสีในหัวมันโดยสัดส่วนน้ำหนักแห้ง (ppm)	1.44	45.38	8.47

ความเป็นพิษของมันสำปะหลัง

ในส่วนต่างๆของมันสำปะหลังมีสารเคมีที่เป็นพิษ คือ สารไซยาไนด์ สารนี้ในอัตราเข้มข้นที่สูงจะเป็นพิษโดยไปยับยั้งขบวนการหายใจของเซลล์ไม่ว่าเซลล์พืชหรือสัตว์ แต่หากได้รับในปริมาณไม่มากนักเซลล์ของสิ่งมีชีวิตสามารถทำลายความเป็นพิษได้โดยเปลี่ยนเป็นสารอื่นที่ไม่เป็นพิษ สารไซยาไนด์ในมันสำปะหลังนั้นอยู่ในรูปของกรดไฮโดรไซยานิค (HCN) ซึ่งกรดไฮโดรไซยานิค เกิดจากสารไซยาโนจินิคกลูโคไซด์ที่มีอยู่ในส่วนต่างๆของมันสำปะหลัง เมื่อเซลล์มันสำปะหลังถูกทำลาย เช่น ถูกสับ หรือ ถูกบด จะทำให้เอนไซม์ลินามาเรสซึ่งมีอยู่ในเซลล์เข้าทำปฏิกิริยากับสารไซยาโนจินิคกลูโคไซด์ ได้กรดไฮโดรไซยานิคออกมา ซึ่งกรดดังกล่าวนี้จะเป็นพิษต่อมนุษย์และสัตว์เมื่อรับประทานเข้าไป สำหรับสารไซยาโนจินิคกลูโคไซด์นั้นมีอยู่หลายชนิด แต่ที่พบในมันสำปะหลังมี 2 ชนิด คือ ลินามาริน และโลทอสตราลิน

ปริมาณกรดในมันสำปะหลังมากน้อยต่างกันไปตามพันธุ์ Coursey(1979) และ Ameny(1990) กล่าวว่าสามารถจำแนกพันธุ์มันสำปะหลังตามปริมาณไซยาไนด์ได้กว้างๆ เป็น 3 กลุ่ม ตามระดับความเป็นพิษ ดังแสดงในตารางที่3

ตารางที่ 3 แสดงการจำแนกพันธุ์มันสำปะหลังตามความเป็นพิษของไซยาไนด์

ความเป็นพิษ	ปริมาณไซยาไนด์ (มก./กก.หัวมันสด
ไม่เป็นพิษ (innocuous)	< 50
เป็นพิษปานกลาง (moderately poisonous)	50-100
เป็นพิษมาก (dangerous poisonous)	>100

Padmaja (1995) รายงานว่า ในหัวมันสำปะหลังมีปริมาณไซยาไนด์อยู่ในช่วง 15 ถึง 400 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมหัวมันสด ส่วน Ogunsua(1989) กล่าวว่า ระดับไซยาไนด์ในหัวมันสำปะหลังชนิดหวานอยู่ในช่วง 10 ถึง 20 มิลิกรัมต่อกิโลกรัมหัวสด ส่วนในมันสำปะหลังชนิดขมนั้นมีระดับไซยาไนด์สูงกว่า คืออยู่ในช่วง 60 ถึง 200 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมหัวสด

อย่างไรก็ตาม พบว่า ปริมาณไซยาไนด์ที่วิเคราะห์ได้จะแตกต่างกันตามวิธีวิเคราะห์ ซึ่งบางวิธีสามารถตรวจวัดได้เฉพาะไซยาไนด์ที่อยู่ในรูปอิสระหรือกรดไฮโดรไซยานิค แต่บางวิธีสามารถตรวจวัดได้ทั้งไซยาไนด์ที่อยู่ในรูปอิสระและรูปเกาะติดหรือสารประกอบไซยาโนจินิคกลูโคไซด์ที่ยังไม่เปลี่ยนรูปได้เป็นปริมาณไซยาไนด์รวมทั้งหมด นอกจากนี้ปริมาณไซยาไนด์ที่วัดได้จะแตกต่างกันตามช่วงอายุของมันสำปะหลัง สภาพแวดล้อมและการปฏิบัติดูแลในแปลง รวมทั้งขนาดของหัว และส่วนของหัวที่สุ่มมาวิเคราะห์ โดย Bruijin (1971) พบว่าการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนในอัตราสูงจะเพิ่มปริมาณกรดไฮโดรไซยานิคในหัว และ มันสำปะหลังที่ปลูกในสภาพแล้งมีกรดไฮโดรไซยานิคสูงกว่ามันสำปะหลังที่ปลูกในสภาพความชื้นดี

ดังนั้นการเปรียบเทียบปริมาณไซยาไนด์ระหว่างพันธุ์ควรเปรียบเทียบเมื่อเก็บตัวอย่างวิเคราะห์ จากแปลงเดียวกันที่ดูแลรักษาเหมือนกัน และเก็บตัวอย่างในลักษณะเดียวกัน ซึ่งจากการวิเคราะห์ปริมาณไซยาไนด์รวมทั้งหมดในเชื้อพันธุกรรมที่รวบรวมไว้ในประเทศไทย จำนวน 262 พันธุ์ โดยใช้วิธีวิเคราะห์ของ O' Brien และคณะ (1991) พบว่าในหัวสดของมันสำปะหลังทั้ง 262 พันธุ์มีปริมาณไซยาไนด์ ระหว่าง 22-1277 มิลลิกรัม/กิโลกรัม (จิณณจาร์ และคณะ, 2551)

การลดความเป็นพิษของสารไซยาไนด์

อย่างไรก็ตามแม้ว่าไซยาไนด์จะเป็นสารพิษ แต่หากนำมันสำปะหลังไปแปรรูป หรือ ประกอบอาหารได้อย่างถูกวิธี ก็จะลดปริมาณสารนี้ได้มากจนไม่เป็นอันตราย วิธีลดความเป็นพิษทำได้ดังนี้

1. โดยการต้ม เชื่อม ย่าง เผา หรือทอดโดยตรง ในการทำอาหารโดยวิธีดังกล่าวนี้ จะต้องปอกหัวมันล้างน้ำ หรือ สับเป็นชิ้นก่อนล้าง ซึ่งการสับเป็นชิ้นทำให้สารประกอบไซยาโนจินิคกลูโคไซด์เปลี่ยนรูปเป็นกรดไฮโดรไซยานิค เมื่อล้างน้ำก็จะลดความเป็นพิษลงได้ระดับหนึ่ง และในระหว่างการให้ความร้อนในการปรุงอาหารก็จะลดความเป็นพิษลงไปได้อีก อย่างไรก็ตามหากอุณหภูมิสูงกว่า 72 องศาเซลเซียสจะมีผลให้เอนไซม์ลินามาเรสสูญเสียคุณสมบัติ ทำให้สารประกอบไซยาโนจินิคกลูโคไซด์บางส่วนยังคงเหลืออยู่ ซึ่งสารประกอบชนิดนี้โดยตัวเองจะไม่มีอันตราย แต่หากอยู่ในกระเพาะหรือลำไส้ซึ่งอาจจะได้รับเอนไซม์ลินามาเรสจากแหล่งอาหารอื่นที่รับประทานเข้าไปก็จะถูกเปลี่ยนเป็นกรดไฮโดรไซยานิคในกระเพาะซึ่งอาจจะก่อให้เกิดอันตรายได้ ดังนั้น พันธุ์ที่จะนำมารับประทานจึงต้องเป็นพันธุ์ที่มีไซยาไนด์ต่ำ

2. การทำให้แห้งโดยการใช้ความร้อนหรือแสงแดด การหั่นหัวเป็นแผ่นหรือเป็นชิ้นเล็กแล้วตากแดดให้แห้ง 2-3 วัน เป็นวิธีหนึ่งที่สามารถลดความเป็นพิษของกรดไฮโดรไซยานิคได้ ดังนั้นหากยิ่งทำชิ้นเล็กลงก็ยิ่งสามารถลดความเป็นพิษได้มากขึ้น อย่างไรก็ตามหากเป็นการให้ความร้อนโดยการอบก็ควรใช้อุณหภูมิที่ต่ำกว่า 72 องศาเซลเซียส เพื่อไม่ให้เอนไซม์ที่จะเปลี่ยนสารประกอบไซยาโนจินิคกลูโคไซด์เป็นกรดไฮโดรไซยานิคถูกทำลาย

3.การหมัก ในอาฟริกานิยมบริโภคมันสำปะหลังโดยปอกเปลือกหัวมันแล้วใส่กระสอบแช่น้ำทิ้งไว้ประมาณ 4 วัน ระหว่างทิ้งไว้ก็จะเกิดการหมักขึ้น เพราะมีเชื้อจุลินทรีย์เข้าทำปฏิกิริยา ซึ่งการหมักจะทำให้เกิดสภาพเป็นกรดซึ่งเป็นสภาพที่เหมาะสมที่ทำให้สารประกอบไซยาโนจินิคกลูโคไซด์เปลี่ยนรูปเป็นกรดไฮโดรไซยานิค ซึ่งบางส่วนจะละลายน้ำออกไป หลังผ่านการหมักก็นำมาคั่วทำให้กรดไฮโดรไซยานิคที่เหลือระเหยออกไปจนเหลือน้อยมาก

เปอร์เซ็นต์แป้งในหัวมันสำปะหลัง

เนื่องจากมันสำปะหลังเป็นพืชที่เป็นแหล่งแป้งราคาถูก และเปอร์เซ็นต์แป้งก็เป็นตัวบอกราคาที่เกษตรกรจะขายได้ ซึ่งนอกจากเปอร์เซ็นต์แป้งที่พบในมันสำปะหลังแต่ละพันธุ์จะแตกต่างกันแล้วก็พบว่าในมันสำปะหลังพันธุ์เดียวกันก็มีความแตกต่างกัน ดังนั้นปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณแป้งในหัว ได้แก่

1. **พันธุ์** มันสำปะหลังแต่ละพันธุ์แต่ละพันธุ์เมื่อปลูกในแปลงเดียวกัน ดูแลรักษาเหมือนกัน แต่จะให้เปอร์เซ็นต์แป้งที่แตกต่างกัน เนื่องจากพันธุกรรมของพันธุ์ที่แตกต่างกัน เช่น พันธุ์ระยอง90 จะเป็นพันธุ์ที่มีเปอร์เซ็นต์แป้งสูงกว่าพันธุ์ระยอง 60

2. อายุเก็บเกี่ยว

มันสำปะหลังเป็นพืชไร่ที่ได้เปรียบพืชไร่ชนิดอื่น คือ สามารถยืดหยุ่นอายุเก็บเกี่ยวได้ มันสำปะหลังจะเริ่มมีหัวเมื่ออายุประมาณ 3 เดือนเป็นต้นไป หัวจะเจริญเติบโตขึ้นเรื่อยๆ โดยการสะสมแป้งมากขึ้น ปริมาณแป้งจะเพิ่มขึ้นโดยน้ำหนักหัวสดเพิ่มขึ้นจาก 1.2 ตันต่อไร่เมื่ออายุ 6 เดือน เป็น 4.1 ตันต่อไร่เมื่ออายุ 12 เดือน และ 7.2 ตันต่อไร่เมื่ออายุ 16 เดือน การเก็บเกี่ยวเมื่ออายุ 6 เดือน ได้ผลผลิตประมาณ 1 ใน 3 ของผลผลิตเมื่อเก็บเกี่ยวอายุ 12 เดือน และการเก็บเกี่ยวเมื่ออายุ 8 เดือน และ 10 เดือน ได้ผลผลิตร้อยละ 46 และร้อยละ 70 ของผลผลิตเมื่อเก็บเกี่ยวที่อายุ 12 เดือน และเมื่อเก็บเกี่ยวที่อายุมากกว่า 12 เดือน พบว่า ผลผลิตยังคงเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ อย่างไรก็ตามแม้ว่าการเก็บเกี่ยวมันสำปะหลังมากกว่า 12 เดือน จะได้ผลผลิตสูงขึ้น แต่จะทำให้การปลูกรุ่นต่อไปไม่ตรงกับฤดูกาลที่เหมาะสม และหัวมันจะมีขนาดใหญ่ มีเส้นใย (Fiber) มาก บางพันธุ์อาจจะพบหัวเน่าฝ่อ ตลาดไม่ต้องการ สำหรับเปอร์เซ็นต์แป้งในหัวมันสำปะหลังนั้น พบว่า จะผันแปรตามสภาพแวดล้อมมากกว่าอายุเก็บเกี่ยว

3. ช่วงการปลูกและเก็บเกี่ยว

ช่วงการปลูกและเก็บเกี่ยวเป็นปัจจัยหนึ่งที่สำคัญและมีผลต่อเปอร์เซ็นต์แป้งของหัวมันสำปะหลัง การเก็บเกี่ยวในช่วงฤดูแล้งหรือช่วงที่อากาศแห้งติดต่อกันโดยไม่มีฝนตก หรือดินมีความชื้นต่ำจะทำให้หัวมันสำปะหลังมีน้ำน้อยเป็นผลให้มีเปอร์เซ็นต์แป้งสูงกว่าการเก็บเกี่ยวในช่วงที่มีฝนตกชุก หรือการเก็บเกี่ยวในช่วงที่มีฝนหลังผ่านช่วงแล้ง เช่น ถ้ามันสำปะหลังผ่านช่วงแล้งมาตั้งแต่เดือนพฤศจิกายน หากมีฝนในช่วงเดือนมีนาคม-เมษายน ทำให้มันสำปะหลังแตกใบอ่อน มีการดึงแป้งที่สะสมไว้ในหัวไปใช้ ทำให้แป้งที่วัดได้ในช่วงดังกล่าวต่ำลง เนื่องจากราคาหัวมันจะขึ้นกับเปอร์เซ็นต์แป้งในหัว ดังนั้นเกษตรกรส่วนใหญ่จะเก็บเกี่ยวผลผลิตในช่วงเดือนพฤศจิกายนจนถึงมีนาคมซึ่งเป็นช่วงฤดูแล้ง จะได้เปอร์เซ็นต์แป้งในหัวสูงกว่าการเก็บเกี่ยวในช่วงเดือนพฤษภาคมถึงเดือนตุลาคม นอกจากนี้จะพบว่าปีใดที่ฝนตกสม่ำเสมอปีนั้นหัวมันจะมีแป้งสูง แต่ปีใดที่ฝนแล้งมีระยะฝนทิ้งช่วงที่ยาวนานปีนั้นปีนั้นหัวมันที่ได้จะมีแป้งต่ำกว่าเนื่องจากมันสำปะหลังมีการเจริญเติบโตไม่ปกติ สังเคราะห์แสงได้ไม่มากพอที่จะสะสมแป้งได้มากเหมือนปีที่มีฝนปกติ

4. **การใส่ปุ๋ย** จากใส่ปุ๋ยจะทำให้หัวมันมีขนาดใหญ่ขึ้นละชุ่มน้ำ ปริมาณแป้งในหัวจึงต่ำกว่าหัวขนาดเล็กที่ไม่ได้ใส่ปุ๋ย (เจริญศักดิ์,2532) อย่างไรก็ตามการใส่ปุ๋ยจะเพิ่มปริมาณหัวสดต่อไร่ แม้ปริมาณแป้งในหัวจะลดลงบ้างเล็กน้อย แต่ผลผลิตแป้งรวมต่อไร่เพิ่มขึ้นมาก ทำให้รายได้ต่อไร่เพิ่มขึ้น

5. วิธีการเก็บเกี่ยว

การเก็บเกี่ยวมันสำปะหลังส่วนใหญ่ใช้แรงงานคนในการขุด โดยจะตัดต้นมันออกเหลือตอยาวประมาณ 30-50 เซนติเมตร ถ้าหากดินมีความชื้นหรือพื้นที่ปลูกเป็นดินทรายมีความร่วนซุยมาก ก็อาจใช้วิธีการถอนหรือขุดด้วยจอบหรือใช้คานงัด ถ้าพื้นที่ปลูกซึ่งเก็บเกี่ยวในฤดูแล้งมีหน้าดินแห้งหรือแข็ง จะใช้จอบ

ขุดแบบประยุกต์ เพื่อช่วยทุ่นแรง หลังจากนั้นก็จะสับหัวมันออกจากเหง้าแล้วขนสู่โรงงาน ซึ่งในการเก็บเกี่ยวผลผลิตนั้น พบว่า หากหัวมันมีการแตกหักมากก็จะทำให้เน่าเสียเร็วขึ้น และเปอร์เซ็นต์แป้งลดลงเร็วมาก ต้องรีบขายและนำเข้าแปรรูปโดยเร็ว

6. การชะลอการขุดโดยการตัดต้นก่อนเก็บเกี่ยว

ในบางครั้งเกษตรกรไม่สามารถขุดหัวมันหลังการตัดต้นได้ทันทีเนื่องจากขาดแรงงาน หรือเนื่องจากมีความจำเป็นต้องรับนำต้นไปใช้ขณะที่ยังไม่พร้อมจะเก็บเกี่ยว จากการทดลอง พบว่า หัวมันสำปะหลังที่เก็บเกี่ยวหลังการตัดต้นทิ้งไว้ 15-60 วัน เปอร์เซ็นต์แป้งจะลดลง และจะเริ่มสูงขึ้นอีกครั้งเมื่อตัดต้นทิ้งไว้ถึง 75 วัน (ตารางที่ 4) ทั้งนี้เนื่องจากการตัดต้นทิ้งไว้ในช่วง 60 วันก่อนขุด ใบและกิ่งที่แตกใหม่ต้องนำธาตุอาหารไปใช้ในการเจริญเติบโต จึงมีผลทำให้เปอร์เซ็นต์แป้งลดลง แต่การต้นทิ้งไว้นานถึง 75 วัน มันสำปะหลัง เริ่มมีใบแก่มากขึ้นทำให้สามารถผลิตอาหารได้เพียงพอจึงทำให้เปอร์เซ็นต์แป้งสูงขึ้นอีกครั้ง

ตารางที่ 4 ผลของระยะเวลาเก็บเกี่ยวหลังการตัดต้นต่อผลผลิตหัวสด เปอร์เซ็นต์แป้งและปริมาณมันแห้ง

วิธีการ	ผลผลิตหัวสด (ตัน/ไร่)	%แป้ง	ปริมาณหัวแห้ง (ตัน/ไร่)
ตัดต้นขุดทันที	5.21	19.06 a	1.69 ab
ตัดทิ้งไว้ 15 วัน	5.29	14.97 b	1.49 c
ตัดทิ้งไว้ 30วัน	5.58	12.33 c	1.44 c
ตัดทิ้งไว้ 45 วัน	5.37	12.21 c	1.48 c
ตัดทิ้งไว้ 60วัน	5.69	12.95 c	1.61 b
ตัดทิ้งไว้ 75 วัน	5.65	16.28 b	1.81 a

7. อายุการเก็บรักษาหลังเก็บเกี่ยว เนื่องจากหัวมันสำปะหลังมีส่วนประกอบที่เป็นน้ำประมาณ 60-65 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นเมื่อเก็บรักษาไว้จึงมีอัตราการเสื่อมคุณภาพอย่างรวดเร็ว มีผลให้เปอร์เซ็นต์แป้งเปลี่ยนแปลง ดังผลการทดลอง ของจิณณาจาร์และคณะ(2539) ในตารางที่5 และเมื่อมีการเสื่อมคุณภาพเกิดขึ้นแล้วทำให้การยอมรับในการบริโภคและการนำไปใช้ประโยชน์ต่าง ๆ ลดลง

ตารางที่ 5 แสดงเปอร์เซ็นต์แป้งเฉลี่ยจากหัวมันสำปะหลัง 6 พันธุ์ ที่เก็บรักษาไว้กลางแจ้งในฤดูฝนและฤดูแล้ง

อายุเก็บรักษา (วัน)	เปอร์เซ็นต์แป้ง	
	ฤดูฝน	ฤดูแล้ง
0	24.5	27.7
2	25.1	27.8
4	25.1	27.4
6	22.3	25.6
8	19.8	22.8
10	18.4	21.2

การเสื่อมคุณภาพของหัวมันสำปะหลัง

สำหรับลักษณะการเสื่อมคุณภาพที่ปรากฏให้เห็นภายใน 3 วันหลังการเก็บเกี่ยวคือ สีของเนื้อเยื่อ Parenchyma และท่อน้ำ เริ่มเปลี่ยนเป็นสีน้ำเงิน หรือน้ำเงินปนดำ หลังจากนั้นจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล และจะเกิดการเข้าทำลายของเชื้อจุลินทรีย์ภายใน 4-7 วันหลังเก็บเกี่ยว ซึ่งสามารถแบ่งขั้นตอนการเสื่อมคุณภาพของมันสำปะหลัง เป็น 2 ขั้นตอน คือ

1. การเสื่อมคุณภาพทางสรีรวิทยา (Physiological deterioration) เกิดขึ้นเนื่องจากการอุดตันของท่อน้ำ โดยคาร์โบไฮเดรต ไขมัน และสารประกอบคล้ายลิกนิน รวมทั้งการสร้างสารประกอบบางชนิดในเนื้อเยื่อ Parenchyma โดยในระยะแรกจะตรวจพบสารประกอบ Phenolic, Leucoanthocyanin และ Cathechin ในท่อน้ำ ซึ่งสารประกอบเหล่านี้จะเปลี่ยนรูปไปเป็นแทนนินทำให้เห็นสีน้ำเงินและดำ และในส่วนของเนื้อเยื่อ Parenchyma ก็พบ Scopoletin และ Coumarin โดยในหัวสดจะพบ Scopoletin เพียงเล็กน้อย และพบในปริมาณที่เพิ่มมากขึ้นภายใน 24 ชั่วโมงหลังเก็บเกี่ยว (จากน้อยกว่า 1.0 ไมโครกรัมต่อกรัม เป็นมากกว่า 250 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง) และพบว่าถ้าหากมีการให้ Scopoletin แก่หัวมันสำปะหลังสดจะทำให้หัวสดมีการเสื่อมคุณภาพทางสรีรวิทยาอย่างรวดเร็ว ในหัวมันสำปะหลังที่มีการเสื่อมคุณภาพช้า พบว่ามีการสะสมของ Scopoletin น้อยกว่าหัวที่เสื่อมคุณภาพเร็ว

2. การเสื่อมคุณภาพเนื่องจากการเข้าทำลายของจุลินทรีย์ซึ่งทำให้หัวเน่า โดยจุลินทรีย์จะเข้าทำลายหัวมันสำปะหลังภายใน 4-7 วัน หลังเก็บเกี่ยว ดังนั้นอาจเห็นแถบสีน้ำเงินดำเกิดขึ้นเช่นเดียวกัน โดยจะพบในบริเวณที่สดและอ่อนนุ่มของหัว ซึ่งแตกต่างจากการเสื่อมคุณภาพทางสรีรวิทยาที่จะเห็นเนื้อเยื่อสีน้ำเงินดำในส่วนของท่อน้ำ (Xylem)

ตารางที่ 6 แสดงเปอร์เซ็นต์การเน่าเสียของหัวมันสำปะหลังที่เก็บรักษาไว้กลางแจ้ง

อายุเก็บรักษา (วัน)	พันธุ์						
	ระยอง1	ระยอง3	ระยอง5	ระยอง60	ระยอง90	ศรีราชา1	เกษตรศาสตร์ 50
0	0 cw	0 dw	0 cw	0 dw	0 dw	0 cw	0 cw
2	0 cw	0 dw	0 cw	0 dw	0 dw	0 cw	0 cw
4	2.1 cw	5.3 dw	2.3 cw	3.7 cdw	1.2 dw	0.7 cw	1.5 cw
6	16.5 bwx	19.9 cw	19.9 bw	12.9 cwx	16.5 cwx	7.0 cx	18.5 bw
8	21.7 byz	43.2 bw	45.1 aw	38.5 bwx	30.6 bxy	18.6 bz	27.3 byz
10	52.8 ay	76.5 aw	52.9 ay	59.9 axy	64.6 ax	38.7 az	55.6 axy

หมายเหตุ – เปรียบเทียบด้านสดมภ์ใช้อักษร a,b,c,d

– เปรียบเทียบด้านแถวใช้อักษร w,x,y,z

(ที่มา : จิณณจาร์และคณะ ,2539)

ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเสื่อมคุณภาพของหัวมันสำปะหลัง

1. **พันธุ์** หัวมันสำปะหลังที่ต่างพันธุ์กันย่อมมีอัตราการเสื่อมคุณภาพที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับพันธุกรรมและลักษณะการแทงหัวในดิน ซึ่งจะทำให้มีความยากง่ายในการขุดแตกต่างกัน พันธุ์ที่หัวแตกหักได้ง่าย เมื่อเก็บเกี่ยวจะเสื่อมคุณภาพเร็ว พันธุ์ที่มีน้ำหนักแห้งของหัวสูงมีแนวโน้มว่าจะมีการเสื่อมเร็วกว่าพันธุ์ที่มีน้ำหนักแห้งของหัวต่ำ

2. **สภาพแวดล้อมขณะอยู่ในแปลง** หัวมันสำปะหลังพันธุ์เดียวกันแต่ได้มาจากแหล่งปลูกต่างกันมีระดับการเสื่อมคุณภาพแตกต่างกัน

3. **ลักษณะเนื้อดิน และความอัดแน่นของดินในแปลงปลูก** จะมีผลต่อความยากง่ายในการเก็บเกี่ยว ถ้าหากเนื้อดินในแปลงปลูกเป็นดินเหนียวหรือมีความอัดแน่นมาก จะเก็บเกี่ยวหัวมันสำปะหลังยากและหัวแตกหักขณะเก็บเกี่ยว ทำให้มีการเสื่อมคุณภาพเร็ว

4. **วิธีการเก็บเกี่ยว** เป็นปัจจัยที่ทำให้เกิดแผลที่หัวมันสำปะหลังขณะเก็บเกี่ยว เพราะหัวมันสำปะหลังที่ไม่มีแผลหรือไม่แตกหักขณะเก็บเกี่ยวจะสามารถเก็บรักษาไว้ได้นานกว่าหัวที่มีแผล

5. **สภาพแวดล้อมภายหลังการเก็บเกี่ยวและระหว่างการเก็บรักษา** เช่น อุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อหัวมันสำปะหลังมีรอยแผลที่เกิดขึ้นระหว่างการเก็บเกี่ยว พบว่าเมื่อเก็บรักษาหัวมันสำปะหลังที่มีแผลจากการเก็บเกี่ยวไว้ในสภาพความชื้นสัมพัทธ์ 100 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากในสภาพความชื้นสัมพัทธ์ 65-80 เปอร์เซ็นต์ เซลล์ต่าง ๆ ของหัวมันสำปะหลังมีอัตราการหายใจสูง จึงทำให้มีการเสื่อมคุณภาพเร็วกว่าการเก็บรักษาในสภาพความชื้นสัมพัทธ์ 100 เปอร์เซ็นต์

หลักการเก็บรักษาหัวมันสำปะหลัง

ในการเสื่อมคุณภาพทางสรีรวิทยาของหัวมันสำปะหลังต้องการออกซิเจนเพื่อการทำงานของเอนไซม์ ดังนั้นอาการเริ่มต้นของการเสื่อมคุณภาพมักพบในบริเวณใกล้กับรอยแผลที่เกิดขึ้นที่หัว เนื่องจากออกซิเจนสามารถเข้าสู่เซลล์ Parenchyma ได้ง่าย การป้องกันการเสื่อมคุณภาพของหัวมันสำปะหลังสามารถทำได้โดยการกำจัดออกซิเจนที่จะเข้าสู่เซลล์ Parenchyma หรือการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ในปฏิกิริยานั่นเอง ซึ่งสามารถทำได้โดยเก็บรักษาหัวมันสำปะหลังในสภาพบรรยากาศที่มีเฉพาะไนโตรเจนหรือคาร์บอนไดออกไซด์ หรือในสภาพสุญญากาศ หรืออาจจะห่อหุ้มหัวมันสำปะหลังด้วยชั้นบาง ๆ ของขี้ผึ้ง นอกจากนี้การเก็บรักษาหัวมันสำปะหลังไว้ในสภาพอุณหภูมิต่ำกว่า 2 องศาเซลเซียส ช่วยยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ เช่น Polyphenol oxidase และ peroxidase ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่ทำให้เนื้อเยื่อของหัวมันสำปะหลังเปลี่ยนเป็นสีน้ำเงินดำเมื่อมีการเสื่อมคุณภาพ มันสำปะหลังและพืชหัวอื่น มีกระบวนการรักษารอยแผลที่เกิดขึ้นที่หัวโดยการสร้าง Suberin ขึ้นมาปิดบริเวณแผล โดยถ้าอยู่ในสภาพที่เหมาะสมคือ อุณหภูมิระหว่าง 30-40 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์ 85 เปอร์เซ็นต์ขึ้นไป การสร้าง Suberin ขึ้นมาปิดรอยแผลจะใช้เวลาประมาณ 4-5 วัน ถ้ากระบวนการรักษาแผลเกิดขึ้นในทันทีหลังการเก็บเกี่ยว การเสื่อมคุณภาพทางสรีรวิทยาจะไม่เกิดขึ้นและหัวมันสำปะหลังก็จะยังคงสภาพสดอยู่ได้ แต่อย่างไรก็ตามสภาพที่เหมาะสมต่อการสร้าง Suberin ปิดรอยแผล ซึ่งต้องการอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์สูง ก็เป็นช่วงที่เหมาะสมต่อการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์เช่นเดียวกัน ดังนั้นวิธีการป้องกันที่ทำได้คือลดความชื้นสัมพัทธ์ให้ต่ำลงจนอยู่ในช่วงที่ทำให้การเจริญของจุลินทรีย์ช้าลง แต่ไม่ช้าจนยับยั้งกระบวนการรักษาแผล ซึ่งในทางปฏิบัติอาจทำได้ยาก อีกวิธีหนึ่งที่ทำได้ง่ายก็คือการใช้หว่านเคมียับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ แต่สิ่งสำคัญคือสารเคมีที่ใช้จะต้องไม่ทิ้งผลตกค้างที่เป็นพิษต่อผู้บริโภค

การเก็บรักษาหัวมันสำปะหลังเพื่อบริโภคหัวสด

โดยปกติหัวมันสำปะหลังที่ใช้เพื่อการบริโภคหัวสดจะถูกบริโภคภายใน 1-2 วันหลังการเก็บเกี่ยว เนื่องจากหัวมันสำปะหลังจะมีการเสื่อมคุณภาพเร็วมาก จึงมีการคิดค้นหาวิธีการเก็บรักษาหัวมันสำปะหลังเพื่อเก็บไว้บริโภคได้นานขึ้น โดยเฉพาะประเทศในแถบลาตินอเมริกา และอัฟริกา ซึ่งนิยมบริโภคหัวมันสำปะหลังสด ได้แนะนำวิธีการเก็บรักษาหัวมันสำปะหลังสดแบบง่าย ๆ ดังนี้

1. Field Clamps คือการเก็บรักษามันสำปะหลังโดยการหมกด้วยฟางข้าวและดิน โดยนำหัวมันสำปะหลังประมาณ 300-500 กิโลกรัม วางบนพื้นซึ่งปูด้วยฟาง แล้วคลุมทับด้วยฟาง 1 ชั้น และดินอีก 1 ชั้น ให้ภายในกองมีการระบายอากาศที่ดี และทำคูระบายน้ำรอบกอง พบว่าวิธีนี้สามารถเก็บรักษาหัวมันสำปะหลังไว้ได้นานกว่า 8 สัปดาห์ เนื่องจากสภาพการเก็บรักษาเช่นนี้ (อุณหภูมิภายในกองน้อยกว่า 40 องศาเซลเซียส และมีการระบายอากาศที่ดี) ทำให้มีการสร้าง Suberin ขึ้นมาปิดรอยแผล ทำให้คุณภาพของหัวมันสำปะหลังยังคงคล้ายคลึงกับหัวสด ยกเว้นเปอร์เซ็นต์แป้งที่ลดลงและปริมาณน้ำตาลที่เพิ่มขึ้นเล็กน้อย

2. **การเก็บรักษาในกล่องซึ่งบรรจุทรายชื้น** พบว่าการนำหัวมันสำปะหลังเข้าเก็บในสภาพนี้ทันทีที่เก็บเกี่ยวเสร็จ เมื่อเก็บรักษาไว้นาน 4 สัปดาห์ มีหัวมันที่คุณภาพการบริโภคยังเป็นที่ยอมรับ 75 เปอร์เซ็นต์ แต่ถ้าหากนำเข้าเก็บรักษาหลังการเก็บเกี่ยวช้าไปเพียง 1 วัน ปริมาณหัวมันที่มีคุณภาพเป็นที่ยอมรับลดลงเหลือเพียง 49 เปอร์เซ็นต์

3. **การเก็บรักษาในถุงพลาสติก** (Polyethylene) เป็นวิธีที่ง่ายและสะดวกต่อการปฏิบัติมากที่สุด โดยการบรรจุหัวมันสำปะหลังในถุงพลาสติกปิดสนิทซึ่งทำทันทีหลังขุด การหายใจของหัวมันจะทำให้อุณหภูมิและความชื้นในถุงสูงขึ้น ทำให้เหมาะสมต่อการสร้างเนื้อเยื่อรักษาแผลที่หัวมันสำปะหลัง อย่างไรก็ตามเพื่อป้องกันการเข้าทำลายของจุลินทรีย์จำเป็นต้องใช้สารเคมีป้องกันเชื้อรา Thiabendazole ซึ่งเป็นสารเคมีที่นิยมใช้ในการควบคุมการเสื่อมคุณภาพหลังเก็บเกี่ยวของไม้ผลและผัก เช่น กล้วย และมะเขือเทศ เมื่อวิเคราะห์ปริมาณตกค้างของเซลล์ Parenchyma หลังเก็บรักษาหัวมันสำปะหลัง 2 สัปดาห์ ก็พบว่า มีปริมาณ Thiabendazole น้อยกว่า 1 ส่วนในล้าน (ppm.) ซึ่งต่ำกว่าปริมาณที่อนุญาตให้ตกค้างในมะเขือเทศ คือ 5 ppm. สำหรับการเก็บรักษาหัวมันสำปะหลังโดยวิธีนี้ทำโดยการแช่หัวมันในสารละลาย Thiabendazole เข้มข้น 0.4 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 5 นาที แล้วนำหัวมันขึ้นใส่กระสอบป่านเพื่อซับน้ำ และเทออกผึ่งลมในที่ร่มประมาณ 15-30 นาที เพราะถ้าหากนำหัวมันที่จุ่มสารละลายยากันราใส่ถุงพลาสติกทันทีจะทำให้ความชื้นภายในถุงมีมากเกินไป แต่ถ้าผึ่งหัวมันให้แห้งเกินไปเช่นการผึ่งแดด จะทำให้เกิดการเสื่อมคุณภาพทางสรีรวิทยาเร็ว นอกจากนี้ระยะเวลาที่ปฏิบัติหลังการเก็บเกี่ยวจนบรรจุถุงเสร็จไม่ควรช้ากว่า 3 ชั่วโมง สำหรับขนาดถุงที่เหมาะสมควรเป็นถุงขนาดบรรจุ 1-5 กิโลกรัม ซึ่งพบว่าหลังเก็บรักษาหัวมันสำปะหลัง 2 สัปดาห์ มีการสูญเสียเพียง 2 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่ถุงขนาดใหญ่มีการสูญเสียมากกว่า

เมื่อนำหัวมันสำปะหลังที่เก็บรักษาไว้ในสภาพดังกล่าวนี้ไปวิเคราะห์คุณภาพ พบว่า แม้จะเก็บรักษาไว้ 2 สัปดาห์ คุณภาพต่าง ๆ ก็ยังคงอยู่ในระดับที่ดี

นอกจากนี้ยังมีวิธีการเก็บรักษาหัวมันสำปะหลังวิธีอื่น ๆ ได้แก่

1. การเก็บรักษาในสภาพสูญญากาศ หรือสภาพบรรยากาศของไนโตรเจนหรือคาร์บอนไดออกไซด์
2. การเก็บรักษาแบบแช่แข็ง
3. การเก็บรักษาโดยเคลือบหัวมันด้วยขี้ผึ้ง

อย่างไรก็ตาม จากการทดลองของศูนย์วิจัยเกษตรเขตร้อนนานาชาติ (CIAT) ในปี 2531 พบว่าการเก็บรักษาหัวมันสำปะหลังไว้ในสภาพสูญญากาศและแช่แข็งเป็นเวลา 2 สัปดาห์ ทำให้คุณภาพในการบริโภคหัวสดเปลี่ยนแปลงไปและความชอบของผู้บริโภคก็ลดลงมาก ในขณะที่การเก็บรักษาโดยใช้ Thiabendazole แล้วเก็บในถุงพลาสติกปิดสนิท ความชอบของผู้บริโภคไม่แตกต่างกันในทางสถิติ และคุณภาพด้านต่าง ๆ จะเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย

การเก็บรักษาหัวมันสำปะหลังเพื่อรอการแปรสภาพ

หัวมันสำปะหลังมีการเสื่อมคุณภาพเร็วมาก เมื่อขุดขึ้นมายิ่งเก็บไว้นานก็จะยิ่งเกิดความเสียหายทั้งในด้านปริมาณและคุณภาพ วิธีการเก็บรักษาที่กล่าวมาข้างต้นเป็นวิธีที่เหมาะสมต่อการเก็บรักษาหัวมันเพื่อการบริโภคซึ่งเก็บรักษาในปริมาณไม่มากนัก แต่สำหรับการเก็บรักษาเพื่อรอการแปรสภาพในอุตสาหกรรมต่าง ๆ เช่น อุตสาหกรรมมันเส้น เพื่อนำไปทำมันอัดเม็ดใช้เป็นอาหารสัตว์ หรืออุตสาหกรรมแป้งมันสำปะหลังซึ่งต้องใช้หัวมันสำปะหลังสดครั้งละมาก ๆ ยังไม่มีการเก็บรักษาที่เหมาะสม ดังนั้นเมื่อขุดแล้วควรรีบนำส่งโรงงานเพื่อแปรสภาพทันที หรือหากจำเป็นจริงๆ ในกรณีที่ไม่สามารถขายได้ทันทีเนื่องจากปัญหาด้านขนส่งหรือปัญหาของโรงงาน ก็ไม่ควรเก็บรักษาหัวมันสำปะหลังไว้เกิน 4 วัน

ความสำคัญและการใช้ประโยชน์ของมันสำปะหลัง

มันสำปะหลังเป็นพืชที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้อย่างกว้างขวางทั้งทางตรงและทางอ้อม ทุกส่วนของต้นมันสำปะหลังสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ ตั้งแต่ ใบ ลำต้น เมล็ด และหัว ส่วนของหัวซึ่งเป็นส่วนที่มีการนำมาใช้ประโยชน์มากที่สุด ทั้งบริโภคโดยตรงหลังจากกำจัดสารพิษแล้ว ใช้เลี้ยงสัตว์เป็นแบบที่ใช้เป็นอาหารทางอ้อม โดยให้สัตว์เปลี่ยนเป็นอาหารโปรตีนก่อนแล้วนำมาบริโภค นอกจากนี้ยังนำมาผลิตฟลาว (แป้งดิบที่ไม่ได้สกัดเยื่อใยออก) เพื่อนำมาใช้เป็นส่วนผสมในการทำอาหารบางชนิด เช่น ชิฟฟอนเค้ก (Palomar,1992) ขนมปัง (Gomez และคณะ,1984) และสามารถนำมาใช้ทดแทนแป้งสาลี และแป้งข้าวเจ้า ได้บางส่วน ในอาหารบางชนิด เช่น โดนัท คุกกี้ และซีสแครกเกอร์ เป็นต้น (Loreto,1992) นอกจากนี้มันสำปะหลังยังสามารถนำมาสกัดแยกแป้งเพื่อนำมาใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร เช่น กลูโคส สาคู ผงชูรส และเบียร์ เป็นต้น และอุตสาหกรรมต่อเนื่องต่าง ๆ เช่น เครื่องสำอาง เภสัชกรรม กระดาษ สิ่งทอ และแอลกอฮอล์ เป็นต้น (กล้าณรงค์,2543)

การใช้ประโยชน์จากหัวมันสำปะหลังโดยตรง

1. เป็นอาหารมนุษย์โดยการบริโภคหัวมันสำปะหลังโดยตรง

หลายประเทศในโลกมีการรับประทานมันสำปะหลังเป็นอาหารหลัก เช่นประเทศในแถบอเมริกาใต้ แอฟริกากลางและตะวันตก และบางประเทศในทวีปเอเชีย เช่น อินโดนีเซียเป็นต้น อาหารบางอย่างมีกรรมวิธีการทำที่เหมือนกัน แต่อาจมีชื่อเรียกแตกต่างกันไปแล้วแต่ท้องที่ หรือแล้วแต่ประเทศ ในแอฟริกาตะวันตกนิยมบริโภคมันสำปะหลังโดยการแปรสภาพด้วยการหมักก่อนนำมาปรุงอาหาร มีชื่อเรียกว่า gari มีขั้นตอนการผลิตโดยนำมันสำปะหลังปลอกเปลือกล้างน้ำ และบดละเอียดบรรจุในถุงผ้า ทับด้วยของหนักไว้ 3 ถึง 4 วัน จะเกิดการหมักเล็กน้อย และนำมาร่อนและคั่วจนหอม จากนั้นนำไปตากให้แห้ง (Zankhia และคณะ,1996) ในบราซิลและแถบอเมริกาใต้ก็มีการทำอาหารจากมันสำปะหลังที่คล้ายกับ gari โดยมีชื่อเรียกว่า Farinha de manioca ผลิตภัณฑ์คล้ายกับ gari แต่ไม่มีกลิ่นหมัก (Scott, 1992) ในประเทศอินโดนีเซียมีการรับประทานมันสำปะหลังโดยการนำมาหมักก่อนเช่นเดียวกับ gari ในแอฟริกาตะวันตก มีชื่อเรียกว่า Oyek (Setyono และคณะ,1992)

ภาพที่ 16 มันสำปะหลังหมักพร้อมรับประทานในอินโดนีเซีย

ในประเทศไทยมีการรับประทานเป็นอาหารว่าง โดยนิยมนำมาเชื่อม ย่าง หรือทำเป็นขนมมันปิ้ง โดยนึ่งและนำมาบดผสมกับมะพร้าวและน้ำตาล การนำหัวสดมาปรุงเพื่อรับประทานโดยตรงจะใช้มันสำปะหลังชนิดหวาน เนื่องจากมีปริมาณไซยาไนด์ต่ำ มีรสหวาน และมีเนื้อสัมผัสที่ผู้บริโภคยอมรับ เช่น พันธุ์ระยอง 2 ที่มีเนื้อแน่นเหนียว เนื้อมีสีเหลือง และพันธุ์ห้านาทีที่มีเนื้อร่วนซุย เป็นต้น ในการศึกษาแนวทางการใช้ประโยชน์จากมันสำปะหลัง เพื่อเป็นการสร้างอาชีพเสริมเพิ่มรายได้ระหว่างปีให้แก่เกษตรกร และเป็นการเพิ่มมูลค่ามันสำปะหลังพันธุ์รับประทาน โดย จิณณจาร์ และคณะ (2546) ได้ศึกษาการใช้มันสำปะหลังในการทำอาหารว่างชนิดต่าง ๆ พบว่า การนำมันสำปะหลังพันธุ์ห้านาทีต้มแล้วบดสามารถใช้แทนถั่วเขียวในการทำขนมหม้อแกงเม็ดขนุน และลูกชุบได้ดี โดยจะได้ขนมที่นุ่มเหนียวเนื้อเนียนกว่าการใช้ถั่วเขียว และจะได้ขนมเม็ดขนุนและลูกชุบที่เป็นเงาสวยงามกว่า รวมทั้งต้นทุนต่ำกว่าการใช้ถั่วเขียว 8 13 และ10 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ นอกจากนี้สามารถใช้แทนมันเทศเพื่อทำขนมไข่นกกระทา โดยต้นทุนลดลง 14 เปอร์เซ็นต์ ใช้เนื้อมันบดทำส่วนเปลือกของขนมสอดไส้ จะได้ขนมมันสอดไส้ที่มีรสชาติดีคล้ายกระหรี่พัฟและไม่อมน้ำมัน และในการทำขนมจาก สามารถใช้เนื้อมันดิบขูดเป็นชิ้นเล็ก ใช้ผสมแทนแป้งข้าวเหนียวจะได้ขนมจากที่มีความหอมของมันสำปะหลัง และลดต้นทุนได้ 23 เปอร์เซ็นต์ ส่วนการทำมันสำปะหลังทอดแบบแท่ง พบว่า การใช้หัวมันสำปะหลังพันธุ์ห้านาทีหั่นแท่งตามแนวยาวของหัวมัน ล้างน้ำ แล้วนำไปทอดแบบ deep fry 2 ครั้ง คือ ที่ระดับอุณหภูมิปานกลาง (ประมาณ 150 องศาเซลเซียส นาน 1 นาที) และที่ระดับอุณหภูมิสูง (ประมาณ 170-180 องศาเซลเซียส นาน 1 นาที) แล้วโรยเกลือรับประทานร้อน ๆ กับซอส สามารถใช้เป็นอาหารว่างแทนมันฝรั่งทอด (french fry) ได้ดี สำหรับการทอดแบบแผ่น (chip) พบว่าการใช้มันสำปะหลังพันธุ์ระยอง 2 ตัดเป็นท่อนยาวประมาณ 6 เซนติเมตร หั่นสไลด์บาง ๆ ตามแนวยาวของหัว จับแผ่นเรียงพอหมาด แล้วนำลงทอดในน้ำมันที่อุณหภูมิประมาณ 150 องศาเซลเซียส นานประมาณ 1 ½ นาที หรือ พอสุกเหลืองตักขึ้น และปรุงรสโดยการ โรยเกลือ หรือปรุงรสต่าง ๆ เช่น รสน้ำตาลเนย รสซอสมะเขือเทศ รสสมุนไพร รสน้ำพริกเผา และรสลาบได้ นอกจากนี้จากการปลูกมันสำปะหลังพันธุ์ห้านาที และระยอง 2 ในสภาพไร่ในแปลงทดลองศูนย์วิจัยพืชไร่ระยอง และในสภาพสวนในแปลงเกษตรกร จ.ปทุมธานี เพื่อหาอายุที่เหมาะสมสำหรับการทำมันสำปะหลังทอด ประเภทแท่ง และแผ่น พบว่าการปลูกสภาพสวนที่มีการให้น้ำสม่ำเสมอสามารถนำหัวมันตั้งแต่ 6 เดือน - 24 เดือน มาใช้ทำผลิตภัณฑ์ได้ทุกช่วงอายุโดยไม่มีปัญหาด้านลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ แต่อาจจะมีปัญหาในเรื่องของขนาดหัวมันซึ่งอาจจะใหญ่เกินไปเมื่ออายุมากขึ้น แต่ในสภาพไร่ไม่ควรแก่เกิน 1 ปี เพราะเมื่ออายุมากขึ้นจะมีลักษณะผิวนอกของเนื้อเป็นเสี้ยนหรือเส้นใยหยาบ และบางช่วงอายุที่เก็บเกี่ยวในช่วงแล้งพบว่าเนื้อผลิตภัณฑ์มีรสขมเล็กน้อยทั้ง 2 พันธุ์

ภาพที่ 17 ขนมไข่นกกระทามันสำปะหลัง (ซ้าย)

ภาพที่ 18 ขนมมันสำปะหลังสอดไส้

ภาพที่ 19 ขนมหม้อแกง มันนึ่ง และเม็ดขนุนมันสำปะหลัง

ภาพที่20 มันทอดปรุงรส

ภาพที่ 21 ลูกชุบมันสำปะหลัง

ภาพที่ 22 มันสำปะหลังทอดแบบแท่ง

ตารางที่7 ลักษณะของผลิตภัณฑ์เมื่อใช้มันสำปะหลังแทนวัตถุดิบเดิม

ผลิตภัณฑ์	วัตถุดิบที่ใช้ในผลิตภัณฑ์เดิม	ลักษณะแตกต่างจากผลิตภัณฑ์เดิมเมื่อใช้มันสำปะหลังทดแทน	การลดของต้นทุน (%)	การยอมรับ (%)
หม้อแกง	ถั่วเขียว	เนื้อนุ่ม เนียนกว่า	8	100
เม็ดขนุน	ถั่วเขียว	เนื้อใส เนียน เหนียว ไม่ร่วนซุย	13	100
ลูกชุบ	ถั่วเขียว	เนื้อใส เนียน เหนียว ไม่ร่วนซุย	10	100
ไข่นกกระทา	มันเทศ	เนื้อสีครีม คงความกรอบได้นานกว่า	14	98
มันสำปะหลังสอดไส้	-	ผลิตภัณฑ์ใหม่	-	100
ขนมจาก	แป้งข้าวเหนียวผสมแป้งข้าวเจ้า	เนื้อใสเนียนเหนียว มีกลิ่นหอมของมันสำปะหลัง	23	100
มันสำปะหลังทอดแบบแท่ง (เฟรนฟราย)	มันฝรั่ง	เนื้อฟูซุย ต้องทานร้อน ๆ เมื่อทิ้งให้เย็นเนื้อจะแข็งขึ้น	> 60 %	98
มันสำปะหลังทอดแบบแผ่น (Chips)	มันฝรั่ง	เนื้อแข็งกว่าเล็กน้อย		
- ไม่ปรุงรส			> 60 %	96
- รสเนย				100
- รสน้ำพริกเผา				100
- รสสมุนไพร				100
- รสลาบ				100
- รสซอสมะเขือเทศ				100

กรมวิชาการเกษตร

2. เป็นอาหารสัตว์

โดยการทำเป็นมันเส้น หรือ มันอัดเม็ด เพื่อเป็นแหล่งคาร์โบไฮเดรตผสมกับวัตถุดิบอื่นที่เป็นแหล่งโปรตีน เช่น ถั่วเหลือง เพื่อใช้เป็นอาหารสัตว์

โดยปริมาณหัวมันสดรวมที่ผลิตได้ประมาณปีละ 18-22 ล้านตันนั้น ผลผลิตประมาณครึ่งหนึ่งนำไปใช้ในการผลิตแป้งมันสำปะหลัง ซึ่งทำให้ได้ผลผลิตแป้งมันสำปะหลังปีละประมาณ 2 ล้านตัน ส่วนที่เหลือผลิตเป็นมันเส้นและมันอัดเม็ดเพื่อใช้เป็นอาหารสัตว์ประมาณ 4.5-6 ล้านตัน ซึ่งในสมัยก่อนมันอัดเม็ดส่วนใหญ่ส่งออกไปขายยังสหภาพยุโรปเพื่อใช้ในอุตสาหกรรมอาหารสัตว์ ในขณะที่การใช้มันสำปะหลังเป็นอาหารสัตว์ในประเทศยังมีน้อยมาก

แต่หลังจากปี พ.ศ.2536 เป็นต้นมา สหภาพยุโรปเริ่มมีนโยบายลดการสนับสนุนทางการเกษตรลง ทำให้ธัญพืชของประเทศในกลุ่มสภาพยุโรปมีราคาถูกลงมาก ส่งผลให้ราคามันสำปะหลังของไทยในตลาดสหภาพยุโรปมีราคาถูกลงตามไปด้วย และปริมาณการส่งออกมันอัดเม็ดไปยังสหภาพยุโรปก็ลดลงอย่างต่อเนื่องทุกปี ขณะที่ปริมาณการผลิตหัวมันสำปะหลังยังคงเดิม จึงมีผลทำให้เกิดสภาวะราคามันสำปะหลังตกต่ำเป็นอย่างมากในปี พ.ศ.2539-2540 จนทำให้รัฐบาลต้องพยายามแก้ปัญหา โดยการสนับสนุนของมูลนิธิสถาบันพัฒนามันสำปะหลังแห่งประเทศไทย ๆ มีการรณรงค์และส่งเสริมการใช้มันสำปะหลังเป็นอาหารสัตว์ในประเทศเพิ่มมากขึ้น เพื่อเป็นการแก้สภาวะวิกฤติดังกล่าว สำหรับปริมาณการส่งออกมันเส้นและมันอัดเม็ดระหว่างปี 2539-2548 เป็นดังนี้

ตารางที่ 8 สถิติการส่งออกมันเส้นและมันอัดเม็ด ระหว่างปี 2539-2548

ปี	มันเส้น		มันอัดเม็ด	
	ปริมาณ (ตัน)	มูลค่า (ล้านบาท)	ปริมาณ (ตัน)	มูลค่า (ล้านบาท)
2539	2,700	8.78	3,604,411	11,534.12
2540	138,586	360.32	4,016,109	11,324.56
2541	237,162	800.77	2,961,486	10,238.48
2542	222,058	658.96	4,118,549	11,786.97
2543	95,170	206.1	3,819,541	8,894.10
2544	1,649,238	4,017.54	2,844,741	6,929.79
2545	1,560,352	4,562.46	1,496,586	4,118.60
2546	1,974,024	5,611.76	2,019,516	5,824.25
2547	2,570,361	8,046.74	2,008,610	5,905.42
2548	2,765,809	11,920.64	262,562	851.49

(ที่มา : สมาคมการค้ามันสำปะหลังไทย ,2549)

วิธีการผลิตมันเส้นและมันอัดเม็ด

การผลิตโดยทั่วไปมีกรรมวิธีการผลิต ดังนี้

มันเส้น (Chip)

ได้จากการนำหัวมันสำปะหลังสดเข้าเครื่องหั่นที่เรียกว่าเครื่องโม่มันเส้น ซึ่งจะหั่นหัวมันสดให้เป็นชิ้นเล็ก ๆ แล้วนำไปตากแดดบนลายซีเมนต์ 2-3 วันให้แห้ง ดังรายละเอียดตามขั้นตอนดังนี้

(1) ทำความสะอาดสิ่งเจือปน

(2) นำหัวมันที่สะอาดแล้วใส่เครื่องป้อน (กรณีที่ใช้เครื่องป้อน) หรือใส่เครื่องตัด

(3) นำชิ้นมันสดที่หั่นแล้วไปตากแดดบนลานคอนกรีต (ลานตาก) ในโรงงานขนาดใหญ่ มักใช้รถแทรกเตอร์ขนาดเล็กเกลี่ยและเก็บมันแทนคนงาน

(4) ระหว่างการตากแดด จะต้องใช้คราดกลับมันเส้นทุก ๆ 1-2 ชั่วโมง อาจใช้คนงานหรือรถแทรกเตอร์ก็ได้ เมื่อมันเส้นแห้งดีแล้วส่งขายต่อไป

อนึ่ง การตากมันเส้น นอกจากจะใช้วิธีตากแดดแล้วยังสามารถทำให้แห้งโดยใช้การอบได้อีกด้วย แต่การใช้เตาอบมันให้แห้งนั้นต้องใช้เชื้อเพลิงเช่นน้ำมันหรือแก๊ส ซึ่งมีต้นทุนที่สูงกว่าการตากแดด เช่น การใช้เตาอบน้ำมันดีเซล อบมันเส้น 100 กิโลกรัมต้องเสียค่าใช้จ่าย 22 บาท ขณะที่การตากแดดมีค่าใช้จ่ายเพียง 6.90 บาทต่อมันเส้น 100 กิโลกรัม

การผลิตมันเส้น 1 กิโลกรัม ต้องใช้หัวมันสด 2.00-2.50 กิโลกรัม ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการด้วยกัน เช่น ลักษณะการหั่น ลักษณะการตากแห้ง ฤดูที่ทำการแปรรูป เป็นต้น แต่หัวมันสดที่มีเปอร์เซ็นต์แป้งสูงก็จะผลิตมันเส้นได้สูงด้วย

ปัญหาทางด้านการผลิต คือถ้าผู้ผลิตมันเส้นไม่ตากมันเส้นให้ความชื้นลดลงจนได้ระดับมาตรฐาน (14 เปอร์เซ็นต์) ความชื้นที่สูงจะทำให้เกิดราและแบคทีเรียเมื่อนำไปเก็บในโกดัง และถ้านำมันเส้นที่มีความชื้นสูงไปแปรรูปเป็นมันอัดเม็ดก็จะได้มันอัดเม็ดที่นิ่มไม่จบเป็นก้อนแข็งเท่าที่ควร นอกจากนี้ผู้ผลิตบางรายยังพยายามผสมดินทราย เศษของต้นมันผสมในมันเส้นเพื่อเมปริมาณและน้ำหนักของมันเส้น ซึ่งทำให้มันเส้นมีคุณภาพต่ำกว่ามาตรฐาน

มันอัดเม็ด

เป็นการแปรรูปมันเส้นเพื่อลดปริมาตรลง เพื่อให้ค่าขนส่งถูกลง ต้องใช้มันเส้นเป็นวัตถุดิบ โดยมีกรรมวิธีการผลิตโดยสรุปได้ดังนี้

(1) นำมันเส้นมาร่อนเพื่อให้เศษและสิ่งเจือปนต่าง ๆ แยกออกไป

(2) แยกมันเส้นที่มีขนาดใหญ่เกินเครื่องอัดมันเม็ด จะอัดได้เข้าเครื่องบดเพื่อให้ขนาดเล็กลง

(3) มันเส้นที่บดแล้วจะถูกนำมาพ่นไอน้ำหรือน้ำมันพืชให้มีระดับความชื้นที่เหมาะสมที่จะอัดเม็ด

(4) นำมันเส้นที่มีความชื้นเหมาะสมแล้วเข้าเครื่องอัด

(5) มันอัดเม็ดที่ได้ออกมาใหม่ ๆ จะร้อนและนุ่ม ดังนั้นจะต้องระบายความร้อนโดยการใช้รางเลื่อนและเป่าด้วยพัดลม เพื่อลดอุณหภูมิและความชื้น

(6) มันอัดเม็ดที่เย็นตัวและแข็ง จะถูกส่งเข้าตะอกรงร่อนเพื่อคัดมันอัดเม็ดที่ไม่ได้ขนาดออกและนำไปอัดใหม่

(7) มันอัดเม็ดที่ได้ขนาดและใช้พัดลมเป่าไปเก็บในถังใบใหญ่ ส่วนผงมันที่ปลิวไปกับลมจะถูกส่งกลับไปอัดใหม่อีกครั้ง

มันอัดเม็ดแบ่งออกเป็น 2 ชนิดตามลักษณะตามกายภาพคือ ชนิดแข็ง (hard pellets) และชนิดนิ่ม (soft pellets) มันอัดเม็ดทั้งชนิดแข็งและชนิดนิ่มจะมีรูปร่างคล้ายดินสอ มีเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 1 เซนติเมตร ยาวประมาณ 2-3 เซนติเมตร และมีสีขาว ด้วยเหตุนี้บางคนจึงเรียกมันอัดเม็ดว่ามันแท่ง

มันอัดเม็ดแข็งนั้นมีขั้นตอนการผลิตแตกต่างจากมันอัดเม็ดนิ่มตรงที่ก่อนอัดนั้นมันเส้นป่นจะผ่านไอน้ำร้อนทำให้นุ่มก่อนเข้าเครื่องอัด เวลาอัดออกมาจะได้มันเม็ดที่แข็งไม่แตกง่าย มันอัดเม็ดนิ่มนั้นไม่มีการผ่านไอร้อนก่อนอัด จึงมีความแข็งน้อยกว่า ในขณะที่อัดจะมีความร้อนเกิดขึ้น จะต้องผ่านอากาศเย็นเพื่อลดความร้อน

มันอัดเม็ดนิ่มนั้นจะแตกง่ายในขณะขนส่ง เป็นปัญหาเกิดฝุ่นสีขาวตามท่าเรือขณะขนที่ส่งขึ้นและลงเรือในยุโรปเรียกว่า white pollution ปัจจุบันจึงไม่มีการส่งมันสำปะหลังอัดเม็ดชนิดอัดเม็ดนิ่มออกขายต่างประเทศ

อัตราการแปรรูปจากมันเส้นเป็นมันอัดเม็ดขึ้นอยู่กับหลายปัจจัยด้วยกันคือ เครื่องอัดมันเม็ดความชื้นของมันเส้นและสิ่งเจือปนต่าง ๆ เป็นต้น อัตราการแปรรูปอยู่ในช่วง 90-98 เปอร์เซ็นต์ โดยสูญเสียกลายเป็นฝุ่นผงไปประมาณ 2-10 เปอร์เซ็นต์

อย่างไรก็ตาม ประเทศไทยมีการผลิตมันเส้นและมันอัดเม็ด 2 ชนิด สำหรับใช้ในอุตสาหกรรมอาหารสัตว์ คือ ชนิดปกติ (regular quality cassava chips) กับชนิดคุณภาพดี (prime quality cassava chips) หรือมันเส้นสะอาด ซึ่งมาตรฐานองค์ประกอบทางเคมีของมันเส้นทั้ง 2 ชนิดได้แสดงไว้ในตาราง สำหรับมันเส้นและมันอัดเม็ดชนิดปกตินั้น มีแป้งไม่น้อยกว่า 65 เปอร์เซ็นต์ เยื่อใยและทรายไม่มากกว่า 5 และ 3 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ซึ่งเป็นชนิดที่ผลิตกันมาแต่ดั้งเดิมนามมาแล้ว (กว่า 40 ปี) และมีคุณภาพเป็นไปตามมาตรฐานการส่งออกของผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังไปยังตลาดสหภาพยุโรป โดยคุณภาพดังกล่าวเพียงพอที่จะสามารถใช้ทดแทนข้าวบาร์เลย์ ซึ่งใช้กันอยู่ในสหภาพยุโรปแต่ไม่สามารถใช้ทดแทนข้าวโพดและปลายข้าวซึ่งเป็นวัตถุดิบพื้นฐานที่ใช้สำหรับการเลี้ยงสัตว์ในประเทศไทย และประเทศในแถบเอเชียอื่น ๆ ได้ ดังนั้นจึงได้มีการส่งเสริมและสนับสนุนให้มีการผลิตมันเส้นและมันอัดเม็ดคุณภาพดี หรือมันเส้น/มันอัดเม็ดสะอาด ซึ่งมีคุณภาพดีกว่ามันเส้นปกติ โดยมีระดับเยื่อใยและทรายต่ำกว่า (เยื่อใยไม่มากกว่า 4 เปอร์เซ็นต์ และทรายไม่มากกว่า 1-2 เปอร์เซ็นต์) มีแป้งเป็นองค์ประกอบสูงกว่า (ไม่น้อยกว่า 70 เปอร์เซ็นต์) เพื่อใช้ในการเลี้ยงสัตว์ภายในประเทศ ซึ่งให้ผลเป็นที่น่าพอใจมาก เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ข้าวโพดหรือปลายข้าว นอกจากนี้ ยังพบว่าการใช้มันสำปะหลังเป็นอาหารสัตว์ยังให้ผลดีในการเลี้ยงสัตว์ในด้านอื่น ๆ อีกมาก โดยเฉพาะการลดต้นทุนค่าอาหาร

สัตว์ และต้นทุนการผลิตสัตว์ การช่วยปรับปรุงสุขภาพและภูมิต้านทาน โรคของสัตว์ การปรับปรุงสภาพแวดล้อมการเลี้ยงสัตว์ ฯลฯ จึงเห็นแนวโน้มชัดเจนว่า การผลิตมันเส้นและมันอัดเม็ดคุณภาพดี จะต้องมีการขยายตัวและการเพิ่มกำลังผลิตกันมากขึ้นเพื่อตอบสนองความต้องการของตลาดอาหารสัตว์ทั้งตลาดภายในประเทศและเพื่อการส่งออก

ตารางที่ 9 มาตรฐานและคุณค่าทางอาหารของผลิตภัณฑ์มันเส้นและมันอัดเม็ดในประเทศไทย

คุณภาพ		ผลิตภัณฑ์			
		มันเส้น		มันอัดเม็ด	
		ดี/สะอาด	ปกติ	ดี/สะอาด	ปกติ
ความชื้น	ไม่มากกว่า (%)	13	13	13	13
โปรตีน	ไม่มากกว่า (%)	2	2	2	2
กาก หรือเยื่อใย	ไม่มากกว่า (%)	4	5	4	5
เถ้า/ทราย	ไม่มากกว่า (%)	4/1-2	6/3	4/1-2	6/3
แป้ง	ไม่น้อยกว่า (%)	70	65	70	65

(ที่มา : อุทัย และสุกัญญา ,2545)

ขั้นตอนการผลิตมันเส้นและมันอัดเม็ดคุณภาพดี มีดังนี้

ทำการขุดหัวมันสำปะหลังสดจากไร่ ซึ่งอาจจะใช้วิธีการขุดด้วยมือหรือเครื่องจักรก็ได้ แล้วทำการตัดหัวมันสำปะหลังออกจากต้น โดยอย่าให้มีส่วนของลำต้นหรือเหง้าติดปนมากับหัวมันสดแล้วขนส่งหัวมันสดสู่ลานมัน จากนั้นนำหัวมันสดมาทำความสะอาดเพื่อให้มีดินทรายติดปนมาน้อยที่สุด โดยการร่อนหัว หรือร่อนสะกิดผิวนอกออก จากนั้นจึงนำหัวมันสดมาสับให้เป็นชิ้นขนาดเล็กนำไปตากบนลานคอนกรีต นาน 3-6 วัน ขึ้นกับสภาพของอากาศ แสงแดด และความหนาของชิ้นมันที่หั่นมาก ในระหว่างการตากจะต้องมีการกลับชิ้นมันด้วยเครื่องมือหรือเครื่องจักรวันละประมาณ 4-5 ครั้ง เพื่อให้ชิ้นมันแห้งเร็วขึ้นจนเหลือความชื้นอยู่ในชิ้นมันไม่เกิน 13-14 เปอร์เซ็นต์ จึงสามารถนำมาเก็บในโรงเรือนได้ ก่อนที่จะนำไปจำหน่ายเพื่อใช้เป็นอาหารสัตว์ต่อไป

หัวมันสำปะหลังสด

↓

ทำความสะอาดหัวมันสด

↓

สับให้เป็นชิ้น ๆ

↓

ผึ่งแดด (3 - 6 แดด)

↓

มันเส้น → อาหารสัตว์

↓

บด

↓

เติมไอน้ำ

↓

อัดเม็ด

↓

ทำให้เย็น

↓

มันอัดเม็ด → อาหารสัตว์

คุณค่าทางอาหารของมันเส้นและมันอัดเม็ดเพื่อใช้เป็นอาหารสัตว์จะขึ้นอยู่กับปริมาณเยื่อใย และเถ้าในมันเส้น ซึ่งก็ได้รับอิทธิพลโดยตรงจากคุณภาพของหัวมันสดและเทคนิควิธีการผลิตมันเส้น ถ้าหัวมันสดมีคุณภาพดีสะอาดและมีส่วนของลำต้นหรือส่วนที่เป็นไม้ (เหง้า) ติดปนมาน้อยที่สุดหรือไม่มีเลย จะทำให้มันเส้นที่ได้มีคุณภาพดี มีปริมาณเยื่อใยและเถ้าต่ำ การล้างหรือร่อนหัวมันสดเพื่อให้มีดินทรายติดมาน้อยที่สุดก่อนทำการหั่นหัวมันสดเป็นชิ้น จะทำให้ปริมาณเถ้าโดยเฉพาะส่วนที่เป็นทรายในมันเส้นลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ การสับชิ้นมันสำปะหลังให้มีขนาดใหญ่ นอกจากจะช่วยลดความเป็นฝุ่นในระหว่างการผลิต ยังทำให้ต้องใช้ระยะเวลาในการตากนานขึ้น แต่ปริมาณสารพิษกรดไฮโดรไซยานิคลดลง การปอกเปลือกหัวมันสำปะหลังก่อนการผลิต (มันเส้นปอกเปลือก) จะช่วยให้ระดับเยื่อใยและเถ้าในมันเส้นลดต่ำลงมาก และไม่มีการปนเปื้อนของดินทราย แต่การปอกเปลือกนั้นทำได้ค่อนข้างช้าไม่เหมาะแก่การปฏิบัติ และไม่คุ้มค่าทางเศรษฐกิจสำหรับการผลิตมันเส้นเป็นอาหารสัตว์ นอกจากนี้มันเส้นคุณภาพดีที่ไม่ได้ปอกเปลือกรวมทั้งมันอัดเม็ดคุณภาพดีก็สามารถทำให้สัตว์มีสมรรถภาพการผลิตเป็นที่พอใจได้เมื่อเทียบกับปลายข้าวหรือข้าวโพด

มันเส้นมักมีลักษณะฟ่ามและเป็นฝุ่น จึงไม่เหมาะสมกับการส่งออกมันสำปะหลังทางเรือแบบเทกอง อย่างไรก็ตามมันเส้นสามารถตรวจสอบคุณภาพได้ง่าย ทำได้แม้การตรวจคุณภาพที่ฟาร์ม มันเส้นจึงเหมาะกับการใช้เป็นอาหารสัตว์ภายในประเทศทั้งระดับฟาร์ม และโรงงานอาหารสัตว์ ส่วนการส่งออกมันสำปะหลังมักส่งออกในรูปมันสำปะหลังอัดเม็ด หรือมันอัดเม็ด โดยนำมันเส้นไปบดเติมไอน้ำและอัดเป็นเม็ดแข็งเพื่อลดความฟ่ามและลดความเป็นฝุ่นของมันสำปะหลัง ทำให้สะดวกในการขนส่งแบบเทกอง และสะดวกในการขนถ่ายด้วย ซึ่งปัจจุบันได้มีการพัฒนาระบบอัดมันเม็ดให้ดีขึ้น และไม่จำเป็นต้องใช้วัสดุช่วยการอัดเม็ดอื่นที่อาจจะมีผลทำให้คุณภาพของมันอัดเม็ดต่ำลง

การลดสารพิษในมันเส้น

อุทัย และ คณะ (2547) กล่าวว่า ระดับการเป็นพิษของกรดไฮโดรไซยานิค หรือสารพิษไซยาไนด์อยู่ที่ 80-100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม การผลิตมันเส้นโดยการสับหัวมันสดเป็นชิ้นเล็กแล้วตากให้แห้งใช้เวลา3-4 แดด นั้น จะสามารถลดระดับกรดไฮโดรไซยานิคให้ต่ำลงจนอยู่ในระดับที่ไม่เป็นพิษต่อสัตว์ Khajarern และคณะ (1982) พบว่าการตากชิ้นมัน 6 แดด จะสามารถลดระดับสารพิษกรดไฮโดรไซยานิคจาก 111.63 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ลงเหลือ 22.97 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และการเก็บชิ้นมันเส้นไว้ก็จะทำให้สารพิษลดระดับลงอีก โดยพบว่าเมื่อเก็บชิ้นมันไว้ 5 วัน จะสามารถลดระดับสารพิษจาก 87-14 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม เหลือ 36.25 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และการใช้ไอน้ำในการอัดเม็ดมันสำปะหลังจะลดสารพิษลงเหลือ 11.82 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (Khajarern และคณะ,1979) จึงสรุปได้ว่าการผลิตมันเส้นโดยวิธีการตาก 3-6 แดดจนความชื้นของชิ้นมันสำปะหลังเหลือไม่เกิน 13 เปอร์เซ็นต์ และเก็บชิ้นมันไว้อีก 2-3 วันก่อนที่จะส่งไปยังโรงงานอาหารสัตว์หรือส่งไปยังผู้ใช้ จะสามารถทำให้ระดับสารพิษกรดไฮโดรไซยานิคลดต่ำลงอยู่ห่างจากระดับที่เป็นพิษต่อสัตว์มาก ประกอบกับการเก็บไว้ในโรงงานอาหารสัตว์อีกระยะหนึ่งก่อนการใช้ก็จะยิ่งเพิ่มความปลอดภัยให้กับผู้ใช้ ทำให้สามารถใช้มันเส้นและมันอัดเม็ดได้โดยไม่ต้องเสี่ยงกับความเป็นพิษของกรดไฮโดรไซยานิคที่จะมีต่อสัตว์เลี้ยง

ตารางที่ 10 ผลของระยะเวลาการตากมันสำปะหลังต่อระดับไซยาไนด์ (HCN) ในมันเส้น

จำนวนวันที่ตาก	ระดับไซยาไนด์(พีพีเอ็ม)
0	111.83
1	111.96
2	110.96
3	109.96
4	90.72
5	52.22
6	22.97

(ที่มา : Khajarern และคณะ,1982)

นอกจากนี้การลดสารพิษในมันสำปะหลังยังสามารถทำได้โดยการทำให้สุก การใช้ไอน้ำ การทำให้แห้ง การหมัก หรือการล้างน้ำ ซึ่งบางวิธีการนี้อาจไม่เหมาะสำหรับทำผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังที่ใช้ในอาหารสัตว์ แต่บางกรรมวิธีสามารถใช้กับการผลิตแป้งมันสำหรับคนบริโภคได้

คุณค่าทางโภชนะของมันเส้นและมันอัดเม็ดคุณภาพดี

องค์ประกอบทางเคมีของมันสำปะหลังเปรียบเทียบข้าวโพด ข้าวฟ่าง และปลายข้าว ได้แสดงไว้ในตารางที่ 4 โดยทั่วไปแล้วมันสำปะหลังจัดเป็นวัตถุดิบประเภทพลังงาน มีโปรตีนอยู่ในระดับต่ำ (ประมาณ 2 เปอร์เซ็นต์) และมีกรดอะมิโนต่ำเมื่อเทียบกับวัตถุดิบอาหารประเภทชนิดอื่น ๆ นอกจากนี้มันสำปะหลังยังมีระดับไขมันต่ำและไม่มีสารสีสำหรับสัตว์ปีกเลย Khajarern และคณะ (1979) รายงานว่า คุณค่าทางอาหารของผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังขึ้นอยู่กับองค์ประกอบที่เป็นอินทรีย์สารและอนินทรีย์สารของมันสำปะหลัง และได้ให้สมการหรือคะแนนคุณภาพของผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังไว้ดังนี้

Chemical grade or quality score = OM -[ADF+(CF-3)]

เมื่อ OM = เปอร์เซ็นต์ของอินทรีย์สาร (Organic matter)

ADF = เปอร์เซ็นต์เยื่อใยที่ละลายในกรด (Acid detergent fiber)

CF = เปอร์เซ็นต์เยื่อใย

โดยผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังอาจแบ่งได้เป็น 4 ระดับ คือ A, B, C และ D เมื่อระดับคะแนนมากกว่า 80, 75 -80, 70-75 และต่ำกว่า 70 ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าปริมาณเยื่อใยในมันเส้น และมันอัดเม็ดมีผลอย่างมากต่อคุณค่าทางโภชนะของผลิตภัณฑ์มันสำปะหลัง แต่อย่างไรก็ตามยังไม่มีผลการทดลองที่แสดงให้เห็นถึงผลของระดับคะแนนคุณภาพนี้ต่อสมรรถภาพการผลิตของสัตว์

กานดา และคณะ (2545) และสาธิต และคณะ (2545) ได้แสดงให้เห็นถึงค่าระดับพลังงานใช้ประโยชน์ได้ของมันเส้นที่มีความสัมพันธ์ในทางตรงข้ามกับระดับเยื่อใยในวัตถุดิบอาหาร ดังแสดงในตารางที่ 5 การเพิ่มขึ้นของระดับเยื่อใย ทำให้ค่าพลังงานใช้ประโยชน์ได้ ทั้งในอาหารสุกรและไก่ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) จึงแนะนำให้ใช้ผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังที่มีคุณภาพดี หรือมันเส้นสะอาดที่มีระดับเยื่อใยต่ำเป็นอาหารสัตว์ ซึ่งไม่เพียงแต่จะทำให้ระดับเยื่อใยในอาหารต่ำลงแล้ว ยังทำให้สามารถใช้มันเส้นนั้นในระดับที่มากขึ้น คุณค่าทางอาหารสูงขึ้น และให้ผลคุ้มค่ากับราคาที่สูงขึ้นด้วย

ตารางที่ 11 องค์ประกอบทางโภชนะของมันสำปะหลัง ปลายข้าว ข้าวโพด และข้าวฟ่าง

	มันสำปะหลัง	ปลายข้าว	ข้าวโพด	ข้าวฟ่าง
โปรตีน	2.00	8.00	8.00	11.80
ไลซีน (%)	0.09	0.27	0.25	0.23
เมทไธโอนีน (%)	0.03	0.27	0.19	0.16
เมท+ซีส (%)	0.06	0.32	0.39	0.27
ทริปโตเฟน(%)	0.02	0.10	0.09	0.10
ทรีโอนีน	0.07	0.36	0.32	0.33
ไอโซลูซีน	0.07	0.45	0.34	0.44
อาร์จินีน	0.12	0.36	0.40	0.39
ลูซีน	0.12	0.71	1.17	1.38
เฟนิล+ไทโร	0.12	1.15	0.81	0.96
ฮิสติดีน	0.03	0.18	0.25	0.22
เวลีน	0.09	0.53	0.46	0.55
ไกลซีน	0.08	0.71	0.33	0.33
พลังงาน (ME) สุกร (กล.แคล/กก.)	3360	3596	3300	3140
พลังงาน (ME) สัตว์ปีก (กล.แคล/กก.)	3500	3500	3370	3250
ไขมัน	0.75	0.90	4.00	3.00
แคลเซียม	0.12	0.03	0.01	0.04
ฟอสฟอรัส	0.05	0.04	0.10	0.10
เยื่อใย	4.00	1.00	2.50	3.00

(ที่มา : อุทัย ,2529 ; อุทัย 2537)

วิทยาการเกษตร

การใช้ประโยชน์จากแป้งฟลาวสำปะหลัง

ประเทศไทยมีการใช้แป้งสาลีเพื่อใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารหลายชนิด โดยเฉพาะผลิตภัณฑ์ขนมอบ แต่เนื่องจากสภาพภูมิอากาศของประเทศไม่เหมาะต่อการปลูกข้าวสาลี จึงต้องนำเข้าแป้งสาลีปีละ 600,000 ตัน และนำเข้าในรูปของฟลาว์ประมาณปีละ 30,000 ตัน (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร,2538) หากพิจารณาวัตถุดิบที่มีอยู่ในประเทศจะพบว่าแหล่งแป้งที่ผลิตได้มากและราคาถูกก็คือมันสำปะหลัง ดังนั้นจึงมีการศึกษาแนวทางการใช้ประโยชน์จากมันสำปะหลังโดยแปรรูปเป็นแป้งฟลาวเพื่อทดแทนแป้งสาลีเพื่อเป็นการเพิ่มมูลค่าและความหลากหลายในการนำไปใช้ประโยชน์และลดการเสียดุลการค้าในการนำเข้าแป้งสาลี โดยถ้านำแป้งฟลาวจากมันสำปะหลังมาทดแทนแป้งสาลีได้ 50 เปอร์เซ็นต์ สามารถประหยัดการนำเข้าแป้งสาลี เป็นมูลค่าประมาณ 3,000 ล้านบาท

ความแตกต่างของแป้งฟลาวมันสำปะหลัง กับแป้งมัน (starch)

แป้งจากมันสำปะหลังที่มีจำหน่ายทั่วไปในท้องตลาด คือ แป้งมัน (starch) จะเป็นแป้งที่ผ่านการสกัดเอาเยื่อใยและส่วนประกอบต่างๆ ออกเกือบทั้งหมด เหลือเฉพาะส่วนของแป้ง ทำให้มีความเหนียวมากกว่าแป้งฟลาว ไม่สามารถนำมาใช้ทดแทนแป้งสาลีเพื่อทำผลิตภัณฑ์เบเกอรีได้ โดยถ้านำแป้งมันไปทำเค้ก จะได้เค้กที่เนื้อเหนียวและมีการแยกชั้นของเนื้อขนม ถ้าทำคุกกี้ก็จะได้คุกกี้ที่เนื้อเบาลักษณะคล้ายขนมผิง ในขณะที่แป้งฟลาว สามารถนำไปใช้แทนแป้งสาลี เพื่อทำผลิตภัณฑ์ประเภทเค้กและคุกกี้ได้ดี การใช้แป้งฟลาวแทนแป้งสาลี 100 เปอร์เซ็นต์ อาจทำให้ลักษณะเนื้อสัมผัสของขนมแตกต่างจากการใช้แป้งสาลีเล็กน้อยเนื่องจากแป้งมันสำปะหลังไม่มีกลูเต็นเหมือนแป้งสาลี ดังนั้นหากผู้บริโภคไม่คุ้นเคยก็อาจใช้แทนได้ตั้งแต่ 20 ถึง 100 เปอร์เซ็นต์ ขึ้นกับชนิดและส่วนผสมของผลิตภัณฑ์ เช่นการนำไปทำขนมปัง ซาละเปา โดนัทยีสต์ หรือผลิตภัณฑ์ที่ต้องผ่านการนวดให้เหนียวแล้วพักให้เพิ่มปริมาตร จะสามารถทดแทนแป้งสาลีได้ในปริมาณลดลง นอกจากนี้แป้งฟลาวมันสำปะหลังยังมีความหลากหลายในการนำไปใช้เป็นส่วนผสมทดแทนแป้งชนิดอื่นเพื่อเพิ่มคุณภาพของผลิตภัณฑ์ เช่น ผสมกับแป้งข้าวเจ้าเพื่อทำเส้นก๋วยเตี๋ยวจะได้เส้นที่เหนียวนุ่ม หรือผสมกับแป้งถั่วเขียวเพื่อลดต้นทุนในการทำวุ้นเส้น (จิณณจาร์, 2546)

กรรมวิธีการผลิตแป้งฟลาวมันสำปะหลัง

1. ล้างหัวมันสำปะหลัง ปอกเปลือก และล้างให้สะอาดอีกครั้ง
2. โม่เป็นชิ้นเล็ก ๆ หรือฝานด้วยมีดเป็นแผ่นบาง ๆ
3. เกลี่ยบาง ๆ บนตะแกรง และตากแดดจัดจนแห้ง ประมาณ 2-3 วัน (เหลือความชื้นไม่เกิน 8 เปอร์เซ็นต์)
4. โม่หรือบดให้ละเอียดด้วยเครื่องบด
5. ร่อนแป้งด้วยตะแกรงละเอียดขนาด 80 เมช
6. บรรจุแป้งฟลาวในถุงพลาสติก หรือ ภาชนะปิดสนิท

ภาพที่ 23 แป้งฟลาว

ข้อแนะนำ

1. พันธุ์มันสำปะหลังที่ใช้ควรเป็นพันธุ์ห้านาที หรือพันธุ์ระยอง 3 หรือหากใช้พันธุ์อุตสาหกรรม เช่น ระยอง 5 อาจต้องโม่ชิ้นมันให้ละเอียด แล้วบีบน้ำออก ก่อนนำไปตากแดด เพื่อลดปริมาณไซยาไนด์
2. หัวมันสำปะหลังควรสดใหม่ เก็บเกี่ยวภายใน 1 – 2 วัน
3. ต้องปอกเปลือกออกให้หมด
4. ควรทำในวันที่แดดจัด หากมีตู้อบ สามารถอบได้ที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส
5. ตะแกรงตากต้องสะอาด และอยู่ห่างไกลจากสัตว์เลี้ยง ปราศจากการปนเปื้อนของฝุ่นละออง และแมลง

ต้นทุนการผลิต

- ค่าวัตถุดิบ 3.50 – 4 บาทต่อกิโลกรัมแป้ง (คิดที่ราคาหัวมันสำปะหลังกิโลกรัมละ 1 บาท โดยหัวมันสำปะหลังสด 3.5 – 4 กิโลกรัม แปรรูปเป็นแป้งฟลาวได้ 1 กิโลกรัม)
- ค่าแรงในการผลิต 3 – 4.50 ต่อกิโลกรัมแป้ง (ปอก ล้าง โม่มันเส้น ตาก โม่แป้ง ร่อนแป้ง และบรรจุถุง)
- ค่าไฟฟ้า 0.50 บาทต่อกิโลกรัมแป้ง

รวมต้นทุนการผลิตแป้งฟลาว :

หัวมันราคา 1 บาท ต้นทุน กิโลกรัมละ 7-9 บาท

หัวมันราคา 5 บาท ต้นทุน กิโลกรัมละ 15-17 บาท

กรมวิชาการเกษตร

ตารางที่ 12 คุณค่าทางอาหารของแป้งฟลาวมันสำปะหลัง

คุณสมบัติของแป้ง	ปริมาณ
1. ความชื้น (%)	7.75 - 10.60
2. เถ้า (%)	1.85 - 4.15
3. ไขมัน (%)	0.10 - 0.75
4. โปรตีน (%)	2.77 - 7.43
5. กากใย (%)	1.1 - 5.0
6. คาร์โบไฮเดรต (%)	78.10 - 84.77
7. ฟอสฟอรัส (%)	0.07 - 0.15
8. โพแทสเซียม (%)	0.013 - 1.122
9. แคลเซียม (%)	0.035 - 0.754
10. แมกนีเซียม (%)	0.038 - 0.082

เนื่องจากในแป้งฟลาวมันสำปะหลังไม่มีกลูเต็น ทำให้ไม่สามารถนำไปใช้แทนแป้งสาลีได้ทั้ง 100 เปอร์เซ็นต์ โดยเฉพาะในผลิตภัณฑ์ที่ต้องผ่านการนวดให้เหนียวและพักไว้เพื่อให้ปริมาตรเพิ่มขึ้นจากการเก็บกักอากาศ ซึ่งเมื่อทำเป็นผลิตภัณฑ์แล้ว จะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีความนุ่ม เช่น ขนมปัง จากการศึกษาโดยผสมแป้งฟลาวกับแป้งสาลีในสัดส่วนต่างๆกันเพื่อทำผลิตภัฑ์ขนมอบประเภทต่างๆ พบว่า ในการทำขนมปังจะสามารถทดแทนได้ประมาณ 20 เปอร์เซ็นต์ แต่ในผลิตภัณฑ์เค้กและคุกกี้ จะสามารถทดแทนได้มากขึ้นเป็น 50 เปอร์เซ็นต์ โดยหากใช้แทนแป้งสาลีทั้งหมดเนื้อเค้กจะมีความเหนียวและชุ่มไขมันกว่าการใช้แป้งสาลี ส่วนคุกกี้จะร่วนซุยและเนื้อหยาบกว่า แต่ในเค้กที่ใช้ไข่เป็นส่วนผสมแทนเนย เช่น เค้กชิฟฟอน จะสามารถทดแทนได้ถึง 75 เปอร์เซ็นต์ ส่วนในผลิตภัณฑ์อาหารเส้น พบว่า การทำเส้นบะหมี่ และ เส้นพาสต้า มีอัตราการทดแทนที่เป็นไปได้คือไม่เกิน 25 เปอร์เซ็นต์ การทดแทนในอัตราที่สูงกว่านี้เส้นที่ได้จะมีความเหนียวลดลง และเมื่อใช้แป้งฟลาวมันสำปะหลังแทนแป้งสาลีถึง 100 เปอร์เซ็นต์เพื่อทำผลิตภัณฑ์ดังกล่าว ส่วนผสมของแป้งหลังนวดจะไม่สามารถนำมารีดเป็นแผ่นและตัดเส้นได้เนื่องจากเนื้อแป้งร่วนไม่เหนียว สัดส่วนที่เหมาะสมในการนำไปใช้ในผลิตภัณฑ์แต่ละชนิด ดังแสดงในตารางที่ 13

ตารางที่ 13 อัตราแนะนำในการใช้แป้งฟลาวมันสำปะหลังทดแทนแป้งสาลีในผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ

ผลิตภัณฑ์	อัตราการทดแทนแป้งสาลี (%)
เค้กเนย	50
เค้กชิฟฟอน	70
โดนัทเค้ก	50
โดนัทยีสต์	25
คุกกี้	50
พายร่วน	50
พายชั้น	30
ขนมปัง	20
ซาละเปา	20
เส้นบะหมี่	25

การใช้แป้งฟลาวมันสำปะหลังทดแทนแป้งชนิดอื่น

การใช้แป้งฟลาวมันสำปะหลังทดแทนแป้งข้าวเจ้าซึ่งต้องผ่านกระบวนการโม่ข้าวสารเป็นแป้งเพื่อทำเส้นขนมจีนและเส้นก๋วยเตี๋ยว พบว่า ในการทำเส้นขนมจีน อัตราการทดแทนแป้งข้าวเจ้าที่เหมาะสมคือไม่เกิน 25 เปอร์เซ็นต์ การทดแทนในอัตราที่สูงกว่านี้เส้นที่ได้จะมีความเหนียวมากกว่าเส้นขนมจีนจากแป้งข้าวเจ้าเกินไป และเมื่อใช้แป้งฟลาวมันสำปะหลังแทนแป้งข้าวเจ้าถึง 100 เปอร์เซ็นต์ จะได้เส้นที่เหนียว ใส เมื่อพักให้เย็นเส้นจะเกาะกันแยกเป็นเส้นได้ยากและเส้นบูดเสียเร็ว ส่วนการทำเส้นก๋วยเตี๋ยว พบว่า อัตราการทดแทนที่เหมาะสม คือ 25เปอร์เซ็นต์เช่นเดียวกัน โดยเส้นที่ได้จะมีลักษณะเหนียวนุ่มรสชาติดีกว่าการใช้แป้งข้าวเจ้าล้วนๆ ซึ่งเส้นจะกระด้าง การทดแทนที่ 50 เปอร์เซ็นต์จะได้เส้นสดที่นุ่มเหนียวดีมากแต่เมื่อลวกและใส่น้ำร้อนทิ้งไว้ระยะเวลาหนึ่ง พบว่าเส้นจะยุ่ยเร็วกว่าเส้นที่ทำจากแป้งข้าวเจ้า และเมื่อใช้แป้งฟลาวมันสำปะหลังถึง 75-100 เปอร์เซ็นต์ จะได้เส้นสดที่เหนียวมากขึ้นเมื่อตัดเส้นเสร็จจะแยกเส้นออกจากกันยากขึ้นเนื่องจากการเหนียวติดกัน ส่วนการทดแทนแป้งถั่วเขียวซึ่งมีราคาแพงมากเพื่อทำวุ้นเส้นและเส้นสลิ่ม พบว่า อัตราการทดแทนที่เหมาะสม คือ ไม่เกิน 10 เปอร์เซ็นต์ การทดแทนในอัตราที่สูงกว่านี้เส้นที่ได้จะมีความเหนียวลดลง เมื่อโรยเส้นลงในน้ำเส้นจะขาดง่าย เมื่อใช้แป้งฟลาวมันสำปะหลังถึง 100 เปอร์เซ็นต์ ในวุ้นเส้นจะพบปัญหาเช่นเดียวกับการทำเส้นขนมจีน คือ เมื่อโรยเส้นแล้วพักให้เย็นเส้นจะเกาะกันแยกเป็นเส้นได้ยาก ส่วนในการทำสลิ่ม จะไม่สามาถโรยเส้นได้ สำหรับต้นทุนในการทำ เส้นขนมจีน เส้นก๋วยเตี๋ยว วุ้นเส้น และเส้นสลิ่ม เมื่อใช้แป้งฟลาวมัน

สำปะหลังทดแทนแป้งเดิมตามอัตราที่แนะนำ พบว่า จะสามารถลดต้นทุนลงจากการใช้แป้งเดิมได้ประมาณ 5 5 8 และ 8 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

ตารางที่ 14 อัตราแนะนำในการใช้แป้งฟลาวมันสำปะหลังทดแทนแป้งชนิดอื่นในการทำผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ

ผลิตภัณฑ์	ชนิดแป้งที่ใช้ในสูตรเดิม	อัตราการทดแทนโดยแป้งฟลาวมันสำปะหลัง (%)
เส้นก๋วยเตี๋ยว	ข้าวเจ้า	25-50
เส้นขนมจีน	ข้าวเจ้า	25
วุ้นเส้น	แป้งถั่วเขียว	10
ข้าวเกรียบ	แป้งมันสำปะหลัง (สตาร์ช)	50-100

ภาพที่ 24 ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่ใช้แป้งพลาวมันสำปะหลังทดแทนตามอัตราแนะนำ

การใช้ประโยชน์จากแป้งมันสำปะหลัง (starch)

สถานการณ์การผลิตและการใช้แป้งชนิดต่าง ๆ

คำว่า "แป้ง" ในการผลิตนั้น หมายถึง คาร์โบไฮเดรตที่มีองค์ประกอบของคาร์บอน ไฮโดรเจนและออกซิเจนเป็นส่วนใหญ่ มีสิ่งอื่นเจือปน เช่น โปรตีน ไขมัน เกลือแร่ น้อยมาก ส่วนแป้งที่ผลิตโดยทั่วไปที่ยังมีส่วนประกอบอื่น ๆ อยู่มาก จะเรียกว่า ฟลาว(flour) ตัวอย่างเช่น แป้งข้าวโพด แป้งข้าวสาลี ถ้ายังมีส่วนประกอบของโปรตีนสูง ก็จะจัดอยู่ในประเภทฟลาว เรียกว่า corn flour, wheat flour เช่นเดียวกันกับแป้งข้าวเจ้าที่ยังมีโปรตีน 7 ถึง 8% ก็เรียกว่า rice flour แต่เมื่อสิ่งเจือปนอันหมายถึงโปรตีน ไขมัน เกลือแร่อื่น ๆ ถูกสกัดออกไป จนเหลือแป้งบริสุทธิ์เป็นส่วนใหญ่ จึงเรียกว่าเป็นแป้งสตาร์ช(starch) เช่น corn starch,wheat starch เป็นต้น สำหรับแป้งมันสำปะหลังที่ผลิตในประเทศไทย ปัจจุบันผลิตโดยกรรมวิธีทันสมัย มีความบริสุทธิ์ของแป้งสูง จัดเป็นแป้งสตาร์ช (cassava starch) คำว่าแป้งที่จะกล่าวต่อไปนี้จึงหมายถึงแป้งสตาร์ช และเนื่องจากแป้งสตาร์ชมีความบริสุทธิ์สูง จึงถูกนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในรูปของสารเคมีในการทำปฏิกิริยาต่าง ๆ มากมาย ในบางครั้ง แป้งสตาร์ชที่ยังไม่ได้ถูกทำการดัดแปรหรือแปรรูป นิยมเรียกว่าแป้งดิบ (raw starch หรือ native starch) ซึ่งจะตรงกันข้ามกับแป้งที่ถูกดัดแปรหรือแปรรูปแล้ว ที่เรียกว่าโมดิโฟด์สตาร์ช (modified starch) หรือแป้งดัดแปร

แป้งเป็นคาร์โบไฮเดรตที่สะสมอยู่ในพืชชั้นสูง มนุษย์ได้รับแป้งจากพืชแตกต่างกันตามภูมิประเทศในโลก ทางด้านทวีปอเมริกาเหนือ/กลาง จะมีข้าวโพด ข้าวสาลีเป็นแหล่งให้แป้งที่สำคัญ ทางยุโรปมีมันฝรั่ง และแถบเอเชีย,แอฟริกา มีข้าวและมันสำปะหลัง เป็นต้น แต่ที่สำคัญที่มีการใช้กันทั่วโลก คือ แป้งข้าวโพด แป้งมันฝรั่ง แป้งข้าวสาลีและแป้งมันสำปะหลัง แป้งเป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญในโภชนาการของมนุษย์ อาหารทั้งหมดส่วนใหญ่จะมีแป้งเป็นองค์ประกอบหลักของทุกชนชาติ เช่น ข้าว ขนมปัง ก๋วยเตี๋ยว และพาสต้า เป็นต้น

ถึงแม้ว่าบทบาทที่สำคัญของแป้งคือ ใช้เป็นแหล่งอาหารพลังงานสูงของมนุษย์ แต่จากคุณสมบัติเฉพาะของแป้งจึงได้มีการนำแป้งมาใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติของอาหาร ทำให้เกิดเจล ควบคุมความคงตัวและเนื้อสัมผัสของอาหารจำพวกซอส ซุปและน้ำปรุงรสอาหาร ป้องกันเนื้อสัมผัสของอาหารเสียรูปเนื่องจากกระบวนการแช่แข็งและคืนรูป (freeze-thaw) สภาวะกรด การทำพาสเจอร์ไรเซชั่น (pasteurization) และสเทอริไรเซชั่น (sterilization) เป็นต้น นอกจากใช้ในอุตสาหกรรมอาหารแล้ว ยังมีการนำแป้งมาใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมอื่น ๆ เช่น อุตสาหกรรมกระดาษ อุตสาหกรรมสิ่งทอ อุตสาหกรรมยา อุตสาหกรรมกาว และอุตสาหกรรมแป้งดัดแปร เป็นต้น

แป้งที่มีการนำมาใช้กันมาก**ที่สุดในโลก**คือ แป้งข้าวโพด เนื่องจากประเทศสหรัฐอเมริกาเป็นผู้ผลิตรายใหญ่และมีการนำเทคนิคพันธุวิศวกรรมเข้ามาใช้ ทำให้เกิดความหลากหลายทางพันธุกรรมในข้าวโพด ส่งผลให้แป้งที่ผลิตได้มีคุณสมบัติต่าง ๆ แตกต่างกัน นอกจากนี้ผลพลอยได้ที่ได้จากการสกัดแป้งส่วนใหญ่จะเป็นโปรตีนและน้ำมัน ซึ่งมีมูลค่าสูงทางการค้า แต่ข้อเสียเปรียบที่สำคัญคือทำการสกัดแป้งและแยกออกจาก

โปรตีนได้ยาก และแป้งที่สกัดได้ยังมีไขมันอยู่บ้าง(ประมาณ 1%) ซึ่งจะส่งผลกับคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ (Swinkels , 1992)

แป้งข้าวสาลีและแป้งมันฝรั่งก็ได้มีการนำมาใช้ในอุตสาหกรรมต่าง ๆ อย่างแพร่หลาย การผลิตแป้งข้าวสาลีมีในปริมาณมากเนื่องจากความต้องการผลิตภัณฑ์ร่วมที่ได้จากการสกัดแป้งคือ โปรตีนที่ถูกสกัดแยกออกมาหรือที่รู้จักกันว่ากลูเตน (gluten) และการพัฒนาการนำแป้งข้าวสาลีมาใช้ประโยชน์ใหม่ ๆ ในทวีปยุโรปอย่างต่อเนื่อง แต่ปัญหาที่สำคัญของข้าวสาลีคือขาดความหลากหลายทางพันธุกรรม อย่างไรก็ตาม เนื่องจากแป้งข้าวสาลีประกอบด้วยเม็ดแป้งขนาดต่าง ๆ กัน 2 ขนาด (ขนาดใหญ่และขนาดเล็ก) ดังนั้นการทำแป้งให้บริสุทธิ์จึงยุ่งยากและมีผลกระทบกับคุณสมบัติของแป้ง

ตลาดที่สำคัญของแป้งมันฝรั่งคือ ยุโรป การนำมาใช้ประโยชน์จะเป็นอุตสาหกรรมที่ไม่ใช่อาหารถึงเกือบ 50% เมื่อเปรียบเทียบกับแป้งข้าวสาลี แป้งมันฝรั่งมีข้อได้เปรียบเนื่องจากมีปริมาณไขมันต่ำมาก (Swinkels,1992) แต่ผลิตผลพลอยได้ที่ได้จากการสกัดแป้งมันฝรั่งมีมูลค่าน้อยกว่า และมันฝรั่งมีความหลากหลายทางพันธุกรรมน้อย ซึ่งเป็นปัญหาที่สำคัญของมันฝรั่งเหมือนกับข้าวสาลี

ในอนาคต ถั่วจะเริ่มเป็นแหล่งที่ให้แป้งที่สำคัญ ในเมล็ดถั่วจะมีแป้งเป็นส่วนประกอบสูงถึง 50% ที่เหลือจะเป็นโปรตีนและเยื่อใย ซึ่งมีมูลค่าทางการค้าสูง นอกจากนี้โครงสร้างของแป้งถั่วแตกต่างจากแป้งจากธัญพืชและมันฝรั่ง คือจะมีการละลายและการพองตัวที่สูงกว่า สารละลายแป้งถั่วจะยังคงมีความหนืดสูงอยู่เมื่อผ่านการให้ความร้อนและทำให้เย็น และความหนืดจะคงตัวเมื่อเก็บสารละลายไว้ที่อุณหภูมิสูง (Stute, 1990; Hoover และ Sosulski, 1991) นอกจากนี้ยังมีความหลากหลายทางพันธุกรรมมากพอๆ กับข้าวโพด

รูปแบบการใช้ประโยชน์จากแป้งในอุตสาหกรรมต่าง ๆ มีการเปลี่ยนแปลงไปตลอด อุตสาหกรรมหนึ่งในปัจจุบันอาจถูกแทนที่ด้วยอุตสาหกรรมหนึ่งที่กำลังพัฒนาต่อไปในอนาคตได้ การคิดค้นใหม่ ๆ ทำให้เกิดความต้องการแป้งชนิดใหม่เพิ่มขึ้น ตัวอย่างเช่น การผลิตพลาสติกย่อยสลายได้ ทำให้มีความต้องการแป้งที่มีขนาดเล็กและมีปริมาณอะมิโลสสูง เกิดความพยายามที่จะเสาะแสวงหาแป้งชนิดใหม่ๆ ที่มีคุณสมบัตินั้นหรือมีการพยายามใช้เทคนิคต่าง ๆ ทางชีวเคมี พันธุวิศวกรรมทำการดัดแปรแป้งหรือพืชนั้น ๆ ทำให้เกิดความก้าวหน้าทางวิชาการมากขึ้น

แป้งชนิดต่าง ๆ ส่วนใหญ่จะเป็นแป้งข้าวโพดที่ผลิตในอเมริกา สำหรับประเทศผู้ผลิตนั้นถือได้ว่าอเมริกาเป็นผู้ผลิตแป้งรายใหญ่ที่สุดของโลก รองลงมาคือกลุ่มประเทศตลาดร่วมยุโรป ซึ่งเป็นการผลิตแป้งมันฝรั่ง แป้งสาลี และแป้งข้าวโพด สำหรับประเทศไทยเป็นประเทศที่ผลิตแป้งมันสำปะหลังที่มากที่สุดของโลกเช่นกัน แป้งที่ผลิตได้จะถูกใช้ในอุตสาหกรรมต่าง ๆ หลายชนิดโดยตรง อุตสาหกรรมการผลิตสารให้ความหวาน (corn syrup) เป็นอุตสาหกรรมแปรรูปแป้งที่ใหญ่ที่สุด และใช้บริโภคในสหรัฐอเมริกา ญี่ปุ่น เป็นหลัก รองลงมา คือการนำแป้งไปหมักเป็นแอลกอฮอล์ คาดว่าแอลกอฮอล์ทั้งหมดที่ผลิตในอนาคตจะได้มาจากการหมักแป้ง

ตารางที่ 15 ผลผลิตแป้งโดยรวมของโลกในช่วง พ.ศ.2535 และผลผลิตแป้งในยุโรปสำรวจเมื่อ พ.ศ.2541

(หน่วย:พันตัน)

ทวีปหรือประเทศ	แหล่งวัตถุดิบ						ปริมาณรวม	เปอร์เซ็นต์ของการผลิตทั่วโลก
	ข้าวโพด	มันเทศ	มันสำปะหลัง	ข้าวสาลี	มันฝรั่ง	อื่น ๆ		
อเมริกาเหนือ	13,450	-	-	200	55	20	13,725	41
สหรัฐอเมริกา	13,200	-	-	50	50	20	13,320	40
แคนาดา	250	-	-	150	5	-	405	1
ละตินอเมริกา	1,000	-	330	-	-	-	1,330	4
ประชาคมยุโรป	3,400	-	-	1,400	1,200	-	6,000	18
(ประชาคมยุโรป)*	(3,600)	-	-	(2,000)	(1,800)	-	(7,480)	-
รัสเซียและยุโรปตะวันออก	300	-	-	-	300	-	600	2
อาฟริกา	-	-	20	-	-	-	20	<1
เอเชีย	3,020	4,165	3,442	165	400	30	11,222	34
จีน	-	4,000	300	-	-	-	4,300	13
ญี่ปุ่น	2,500	120	-	150	400	-	3,170	10
ไทย	-	-	1,800	-	-	-	1,800	5
อินโดนีเซีย	-	-	800	-	-	-	800	2
อินเดีย	200	-	350	-	-	-	550	2
เวียดนาม	-	-	90	-	-	-	90	<1
ฟิลิปปินส์	75	-	17	-	-	-	92	<1
มาเลเซีย	-	-	70	-	-	30	100	<1
ไต้หวัน	45	15	15	15	-	-	90	<1
เกาหลีใต้	200	30	-	-	-	-	230	1
ออสเตรเลีย	50	-	-	300	-	-	350	1
ปริมาณรวม	21,220	4,165	3,792	2,065	1,955	50	33,247	100
	64%	13%	6%	6%	6%	0%	100%	

(ที่มา : Ostertag,1996; *De Baere,1999)

สำหรับในประเทศไทยอุตสาหกรรมแป้งถือได้ว่าเป็นอุตสาหกรรมแปรรูปทางเกษตรกรรมหลักของประเทศ แป้งที่ผลิตมากที่สุด คือ แป้งมันสำปะหลัง ซึ่งได้มีการผลิตเป็นแป้งคุณภาพสูง (มีสิ่งแปลกปลอมน้อย) ในช่วงปี พ.ศ.2530-2540 พบว่ามีโรงงานอุตสาหกรรมแป้งมันสำปะหลังที่จดทะเบียนกับสมาคมการค้าอุตสาหกรรมแป้งมันสำปะหลังไทยอยู่ 41 โรงงาน สามารถผลิตแป้งมันสำปะหลังได้ในปริมาณ 2 ล้านตัน ส่งออกจำหน่ายต่างประเทศประมาณ 1 ล้านตัน และจากรายงานของสมาคมการค้ามันสำปะหลังไทย (2549) พบว่า ปริมาณแป้งที่ส่งออกเป็นแป้งดิบประมาณ 2 เท่า ของแป้งแปรรูป

ตารางที่16 สถิติการส่งออกแป้งดิบและแป้งแปรรูป ระหว่างปี 2539-2548

ปี	แป้งดิบ		แป้งแปรรูป	
	ปริมาณ (ตัน)	มูลค่า (ล้านบาท)	ปริมาณ (ตัน)	มูลค่า (ล้านบาท)
2539	631,144	4,584.46	261,130	3,583.99
2540	872,856	6,232.13	264,062	4,086.42
2541	515,398	5,213.16	254,698	5,274.44
2542	699,398	4,818.97	311,604	5,606.95
2543	1,048,216	6,172.17	365,551	6,256.32
2544	862,995	6,304.75	421,709	7,438.64
2545	849,227	6,440.39	458,408	7,823.76
2546	1,084,054	7,439.38	525,515	8,780.04
2547	1,113,633	8,196.39	652,766	10,490.47
2548	1,011,514	9.087.47	594,242	10,702.92

(ที่มา : สมาคมการค้ามันสำปะหลังไทย ,2549)

การผลิตแป้งอื่น ๆ ในประเทศไทย เช่น แป้งข้าว ซึ่งผลิตในรูปของฟลาว (flour) เป็นอันดับรองลงมา กล่าวคือ มีการส่งออกแป้งข้าวเหนียวประมาณ 1,700,000 ตันต่อปี เส้นหมี่ ก๋วยเตี๋ยวประมาณ 250,000 ตันต่อปี ส่วนแป้งข้าวโพดมีโรงงานผลิตเพียง 1 โรง (สำรวจปี พ.ศ.2541) มีกำลังการผลิตประมาณ 20,000 ตันต่อปี

แป้งที่ใช้กันมากในการบริโภคเป็นอาหารในประเทศ คือ แป้งสาลี (ฟลาว) ซึ่งต้องนำข้าวสาลีเข้ามาแปรรูปเป็นแป้งประมาณปีละ 600,000 ตัน และนำเข้าในรูปของฟลาว์ประมาณปีละ 30,000 ตัน (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร,2538)

อนาคตของอุตสาหกรรมแป้ง

อุตสาหกรรมแป้งมีความสำคัญต่อความเป็นอยู่ของประชากรชาวโลกเป็นอย่างมาก ทั้งนี้เหตุผลสำคัญ คือ

(1) การเพิ่มปริมาณประชากรโลกทั้งมนุษย์และสัตว์ สัมพันธ์กับความต้องการอาหารเพื่อพลังงาน ซึ่งในแง่การผลิตแล้วนั้น เราสามารถผลิตแป้งให้ได้ผลผลิตต่อหน่วยเวลาสูง การลงทุนในการผลิตต่ำ ทั้งนี้เพราะสิ่งที่จำเป็นต่อการผลิต คือ คาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศ โดยเฉพาะการผลิตแป้งจากมันสำปะหลัง ซึ่งเป็นพืชที่มีความทนทานต่อความแห้งแล้งและการจำกัดของปุ๋ยได้เป็นอย่างดี ที่สำคัญที่สุดคือเป็นแหล่งพลังงานที่สร้าง (ปลูก) ใหม่ได้ (renewable)

(2) เมื่อพิจารณาโครงสร้างของแป้ง จะเห็นได้ว่าแป้งประกอบด้วยหน่วยของน้ำตาลกลูโคสฉะนั้นแป้งจึงเป็นแหล่งของน้ำตาลกลูโคส ซึ่งสามารถใช้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมน้ำตาล น้ำเชื่อม หรืออุตสาหกรรมการหมักต่าง ๆ ได้เป็นอย่างดี หลังจากปี พ.ศ.2513 ถือได้ว่าน้ำย่อยที่ใช้ย่อยแป้งเป็นกลูโคสหรือน้ำย่อยที่เปลี่ยนน้ำตาลกลูโคสเป็นน้ำตาลฟรักโทส มีการผลิตกันในระดับอุตสาหกรรม และมีการใช้อย่างแพร่หลาย อุตสาหกรรมแป้งจึงถูกจัดให้เป็นอุตสาหกรรมเทคโนโลยีชีวภาพเต็มรูปแบบ ดังเช่นตัวอย่างโรงงานแห่งหนึ่งในฮังการี ซึ่งเรียกว่า complex biotechnical plant ที่ใช้ข้าวโพดเป็นวัตถุดิบ และนำเทคโนโลยีชีวภาพเข้ามาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์หลายชนิด เป็นการเพิ่มมูลค่าให้แก่แป้ง และเป็นการสร้างเสถียรภาพของการใช้แป้งในอนาคต (Hollo และคณะ,1985)

(3) เนื่องจากแป้งประกอบขึ้นด้วยหน่วยของน้ำตาลกลูโคส ซึ่งมีความสามารถในการทำปฏิกิริยาเคมี การแปรรูปแป้งโดยเฉพาะการแปรรูปทางเคมี ทำให้แป้งมีสมบัติแตกต่างไปจากเดิม เป็นสมบัติตามที่อุตสาหกรรมต้องการ ฉะนั้นการพัฒนาเปลี่ยนแปลงสมบัติของแป้งเพื่อนำไปใช้ประโยชน์ในแง่ต่าง ๆ จึงสามารถทำได้ทั้งทางเคมี ชีวภาพ และกายภาพ

จากเหตุผลทั้ง 3 ข้อนี้ สามารถสรุปได้ว่าอุตสาหกรรมแป้งเป็นอุตสาหกรรมที่สำคัญ ทั้งจากการใช้แป้งโดยตรงและการใช้แป้งเป็นวัตถุดิบของอุตสาหกรรมต่อเนื่องอื่น ๆ และประการสำคัญคือแป้งจะเป็นแหล่งอาหารของมนุษย์และสัตว์ได้ตลอดไป

องค์ประกอบภายในแป้ง

แป้งเป็นคาร์โบไฮเดรตที่ประกอบด้วย คาร์บอน ไฮโดรเจน และ ออกซิเจน ในอัตราส่วน 6 :10 : 5 มีสูตรเคมีโดยทั่วไป คือ $(C_6H_{10}O_5)_n$ แป้งเป็นพอลิเมอร์ของกลูโคส ซึ่งประกอบด้วย anhydroglucose unit เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ glucosidic linkage ที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 1 ทางด้านตอนปลายของสายพอลิเมอร์ของกลูโคส 2 ชนิด คือ พอลิเมอร์เชิงเส้น (อะมิโลส) และพอลิเมอร์เชิงกิ่ง (อะมิโลเพกทิน) วางตัวในแนวรัศมี แป้งจากแหล่งที่ต่างกันจะมีอัตราส่วนของอะมิโลสและอะมิโลเพกทินแตกต่างกัน ทำให้คุณสมบัติของแป้งแต่ละชนิดแตกต่างกัน

องค์ประกอบหลักภายในเม็ดแป้ง ได้แก่

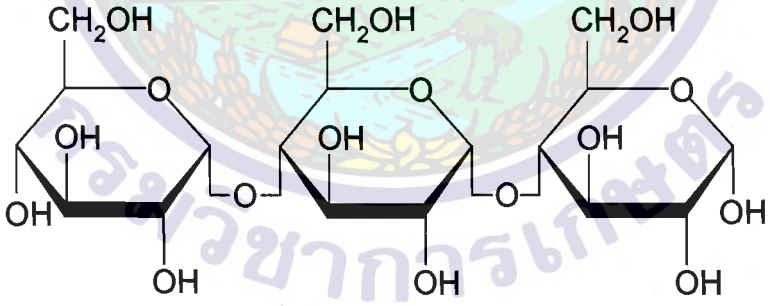
1. อะมิโลส (amylose)
2. อะมิโลเพกทิน (amylopectin)
3. สารตัวกลาง (intermediate material)

ตารางที่ 17 สมบัติที่สำคัญของอะมิโลสและอะมิโพเทกทิน

คุณสมบัติ	อะมิโลส	อะมิโลเพกทิน
ลักษณะโครงสร้าง	สารประกอบของน้ำตาลกลูโคสเกาะกันเป็นเส้นตรง	สารประกอบของน้ำตาลกลูโคสเกาะกันเป็นกิ่งก้าน
พันธะที่จับ	α -1,4	α -1,4 และ α -1,6
ขนาด	200-2000 หน่วยกลูโคส	มากกว่า10000 หน่วยกลูโคส
การละลาย	ละลายน้ำได้น้อยกว่า	ละลายน้ำได้ดีกว่า
การทำปฏิกิริยากับไอโอดีน	สีน้ำเงิน	สีแดงม่วง
การจับตัว	เมื่อให้ความร้อนแล้วทิ้งไว้จะจับตัวเป็นวุ้นและแผ่นแข็ง	ไม่จับตัวเป็นแผ่นแข็ง

(ที่มา : Beynum และ Roels, 1985)

1. **อะมิโลส**



ภาพที่ 25 โครงสร้างของอะมิโลส

อะมิโลสเป็นพอลิเมอร์เชิงเส้นที่ประกอบด้วยกลูโคสประมาณ 2000 หน่วย เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ α -1,4- glucosidic linkage แป้งจากธัญพืช เช่น แป้งข้าวโพด แป้งสาลี แป้งข้าวฟ่าง มีปริมาณอะมิโลสสูงประมาณ 28% แป้งจากรากและหัว เช่น แป้งมันสำปะหลัง แป้งมันฝรั่ง แป้งสาคูมีปริมาณอะมิโลสต่ำประมาณ 20% waxy starch ไม่มีอะมิโลสเลย และแป้งจาก amylomaize มีอะมิโลสสูงมากถึง 80% น้ำหนักโมเลกุลของอะมิโลสอยู่ในช่วง 10^5 ถึง 10^6 ดาลตัน ซึ่งอะมิโลสในแป้งแต่ละชนิดจะมีน้ำหนักโมเลกุลที่แตกต่างกันไป

ในแป้งมันฝรั่งและแป้งมันสำปะหลังมีน้ำหนักโมเลกุลสูงกว่าในแป้งข้าวโพดและแป้งสาลี แป้งแต่ละชนิดมี Degree of polynenzation (DP) ของอะมิโลสแตกต่างกัน แป้งมันฝรั่งและแป้งมันสำปะหลังมี DP ของอะมิโลสอยู่ในช่วง 1,000 ถึง 6,000 สูงกว่าแป้งข้าวโพดและแป้งสาลีซึ่งมี DP ของอะมิโลสในช่วง 200 ถึง 1,200 แป้งที่มีโมเลกุลของอะมิโลสยาวขึ้นจะมีแนวโน้มในการเกิดรีโทรเกรเดชัน (retrogradation)ลดลง ในธรรมชาติอะมิโลสมีกิ่งก้านอยู่บ้างแต่ไม่มาก คุณสมบัติทางโครงสร้างของอะมิโลสของแป้งหลาย ๆ ชนิดแสดงดังตารางที่18

อะมิโลสสามารถรวมตัวเป็นสารประกอบเชิงซ้อนกับไอโอดีน และสารประกอบอินทรีย์อื่น ๆ เช่น butanol, fatty acid, surfactant,phenol และ hydrocarbon สารประกอบเชิงซ้อนเหล่านี้จะไม่ละลายในน้ำ โดยอะมิโลสจะพันเป็นเกลียวล้อมรอบสารประกอบอินทรีย์ (Galliard และ Bowler,1987) นอกจากนี้อะมิโลสที่รวมตัวกับไอโอดีนจะให้สีน้ำเงิน ซึ่งใช้เป็นลักษณะเฉพาะที่บ่งบอกถึงแป้งที่มีองค์ประกอบของอะมิโลส

ตารางที่ 18 คุณสมบัติทางโครงสร้างของอะมิโลส

แหล่งแป้ง	ปริมาณอะมิโลส (%)	β-Amylolysis Limit(%)	DP เฉลี่ย	จำนวนสายเฉลี่ย (NC)	ความยาวสายเฉลี่ย (CL)	โมเลกุลกิ่ง (%)
แป้งสาลี	28	88	1,300	4.8	270	27
แป้งข้าวโพด	28	82	930	2.7	340	44
แป้งข้าวเจ้า	17					
Indica		73	1,000	4.0	250	49
Japonica		81	1,100	3.4	320	31
แป้งมันสำปะหลัง	17	75	2,600	7.6	340	42
แป้งมันฝรั่ง	21	80	4,900	9.5	240	

(ที่มา : ดัดแปลงจาก Hizukuri, 1988)

หมายเหตุ : β –Amylolysis = % การย่อยแป้งโดย β -amylase

DP = Degree of Polymerization

NC = Number of Chain

CL = Chain Length

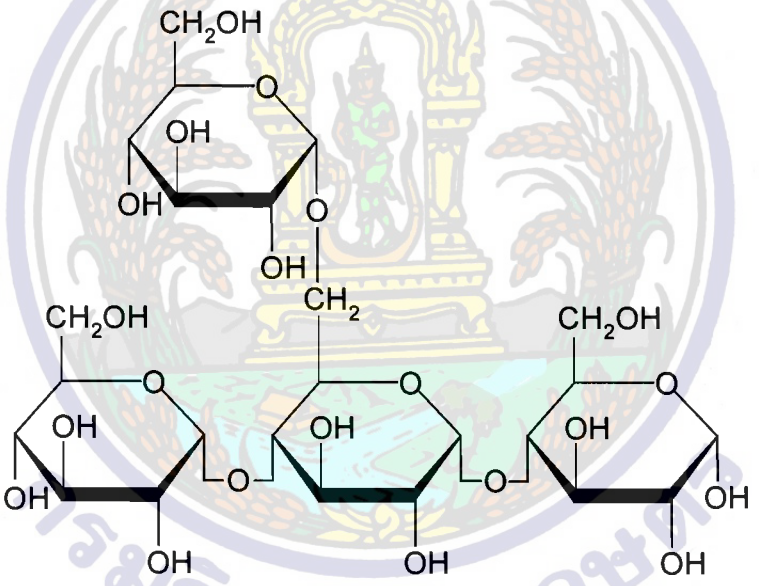
ตำแหน่งของอะมิโลสภายในเม็ดแป้งขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ของแป้ง อะมิโลสบางส่วนอยู่ในกลุ่มของอะมิโลเพกทิน บางส่วนกระจายอยู่ทั้งในส่วนอสัณฐาน (amorphous) และส่วนผลึก (crystalline) ในแป้งสาลีพบอะมิโลสอยู่ในสัดส่วนอสัณฐาน ในแป้งมันฝรั่งพบอะมิโลสอยู่รวมกับอะมิโลเพกทินในส่วนผลึก การศึกษาการเกิดเจลาติไนซ์ของแป้งมันฝรั่ง (Jane และ Shen,1993) พบอะมิโลสในส่วนรอบนอกของเม็ดแป้งมากกว่าที่จะอยู่ในส่วนใจกลางเม็ดแป้ง อะมิโลสที่มีขนาดโมเลกุลใหญ่จะพบเป็นเกลียวคู่กับอะมิโลเพกทินอยู่ใจกลางเม็ดแป้ง สำหรับอะมิโลสขนาดโมเลกุลเล็กจะพบอยู่ตามขอบเม็ดแป้ง (Oates,1997) จากการศึกษาครอสลิง

ของอะมิโลสและอะมิโลเพกทินจากแป้งข้าวโพดและแป้งมันฝรั่ง (Jane และคณะ,1992) พบว่าอะมิโลสกระจายอยู่ทั่วไปในส่วนของอะมิโลเพกทินมากกว่าที่จะรวมกันเป็นกลุ่ม

โครงสร้างของอะมิโลสเมื่ออยู่ในสารละลายจะมีหลายรูปแบบ คือ ลักษณะเป็นเกลียวม้วน (helix) เกลียวที่คลายตัว (interrupted helix) หรือม้วนอิสระ (random coil) ในสารละลายที่อุณหภูมิห้อง อะมิโลสอยู่ในลักษณะเป็นเกลียวม้วนหรือเกลียวที่คลายตัว อะมิโลสที่มีน้ำหนักโมเลกุลตั้งแต่ 6,500 ถึง 160,000 มีโมเลกุลเป็นม้วนอิสระและจะไม่ละลายในสารละลาย สำหรับอะมิโลสที่มีน้ำหนักโมเลกุลน้อยกว่า 6,500 อาจจะมีบางส่วนละลายได้ โมเลกุลจะอยู่ในลักษณะเกลียวคู่ที่แข็ง (Whistler และ Daniel,1984)

2. อะมิโลเพกทิน

อะมิโลเพกทินเป็นพอลิเมอร์เชิงกิ่งของกลูโคส ส่วนที่เป็นเส้นตรงของกลูโคสเชื่อมต่อกันด้วยพันธะ α -1,4-glucosidic linkage และส่วนที่เป็นกิ่งสาขาที่เป็นพอลิเมอร์กลูโคสสายสั้นมี DP อยู่ในช่วง 10 ถึง 60 หน่วย เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ α -1,6-glucosidic linkage



ภาพที่ 26 โครงสร้างของอะมิโลเพคติน

หน่วยกลูโคสที่มีพันธะ α -1,6 glucosidic linkage มีอยู่ประมาณ 5% ของปริมาณหน่วยกลูโคสในอะมิโลเพกทินทั้งหมด DP ของอะมิโลเพกทิน ในแป้งแต่ละชนิดจะมีค่าประมาณ 2 ล้านหน่วย อะมิโลเพกทินมีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 1,000 เท่าของอะมิโลส คือประมาณ 10^7 ถึง 10^9 ดาลตัน และมีอัตราในการคืนตัวต่ำเนื่องจากอะมิโลเพกทินมีลักษณะโครงสร้างเป็นกิ่ง

ลักษณะโครงสร้างแบบกิ่งของอะมิโลเพกทินประกอบด้วย (chain) 3 ชนิดคือ

1) **สาย A** (A-chain) เชื่อมต่อกับสายอื่นที่ตำแหน่งเดียว ไม่มีกิ่งเชื่อมต่อออกจากสายชนิดนี้

(unbranched structure)

2) **สาย B** (B-chain) มีโครงสร้างแบบกิ่งเชื่อมต่อกับสายอื่น ๆ 2 สายหรือมากกว่า โครงสร้างอะมิโล-เพกทินประกอบด้วยสาย A และ สาย B ในอัตราส่วน 0.8-0.9 :1

3) **สาย C** (C-chain) แบบสายแกนซึ่งประกอบด้วยหมู่รีดิวซิง 1 หมู่ ในอะมิโลเพกทินแต่ละโมเลกุลประกอบด้วยสาย C หนึ่งสายเท่านั้น

ขนาดโมเลกุลของอะมิโลเพกทินมีตั้งแต่ขนาดเล็ก ซึ่งมี DP ประมาณ 15 หน่วย ประกอบด้วยสาย A และสาย B ขนาดเล็ก จนถึงโมเลกุลขนาดใหญ่ซึ่งมี DP ประมาณ 45 หน่วยประกอบด้วยสาย B สายยาว สายเหล่านี้อยู่รวมตัวกันเป็นกลุ่มก้อน (cluster) Robin และคณะ (1974) ศึกษาโครงสร้างอย่างละเอียดของอะมิโลเพกทินโดยใช้debranching enzyme และ β-amylase ย่อยอะมิโลเพกทินจากมันฝรั่ง โครงสร้างของอะมิโลเพกทินส่วนที่หนึ่งจะเป็นส่วนผลึก (crystallite region) ส่วนที่สองเป็นส่วนที่มีโครงสร้างเป็นกิ่งเชื่อมจะเป็นส่วนอสัณฐาน(amorphous region)

สำหรับอะมิโลเพกทินของแป้งข้าวเจ้า ข้าวเหนียว มันสำปะหลัง และมันฝรั่ง สายส่วนใหญ่ประมาณ 80-90% ประกอบด้วยกลุ่มเดี่ยว ๆ และสายที่เหลืออีก 10-20% จะเป็นส่วนเชื่อมต่อของแต่ละกลุ่ม ในแต่กลุ่มประกอบไปด้วยสายประมาณ 22-25 สาย ทำให้เกิดเป็นส่วนผลึกของเม็ดแป้ง ในการจับกันเป็นกลุ่มของอะมิโลเพกทินทำให้เกิดเป็นเกลียวคู่ (double helix) ซึ่งช่วยให้เม็ดแป้งมีความคงทนต่อการทำปฏิกิริยาด้วยกรดและเอนไซม์

การเกิดเกลียวคู่ของอะมิโลเพกทิน ต้องใช้พันธะไฮโดรเจนและแรงวันเดอร์วาลส์ในการเชื่อมต่อกัน กิ่งอะมิโลเพกทินภายในเม็ดแป้งสามารถเกิดเป็นผลึกได้ ทั้งกิ่งที่อยู่ใกล้กันในกลุ่ม (cluster) เดียวกัน หรือเกิดขึ้นระหว่างกลุ่มที่ใกล้เคียงกัน (Oates,1997) สมบัติทางโครงสร้างของอะมิโลเพกทิน แสดงดังตารางที่17

ภายในเม็ดแป้งประกอบด้วยวงแหวนหนาแน่น เรียกว่า growth ring ซึ่งสังเกตได้จากการส่องกล้องจุลทรรศน์ หรือ Scanning Electron Microscopy (SEM) ลักษณะเม็ดแป้งที่เปียกและสดจะสังเกตเห็น growth ring ได้ง่าย เม็ดแป้งขนาดใหญ่ เช่น แป้งมันฝรั่ง แป้งต้นพุทธรักษา (Canna) ที่ผ่านการแช่น้ำ จะสังเกตเห็น growth ringได้ชัดเจน ในแป้งที่แห้งจะไม่พบ growth ring สำหรับเม็ดแป้งขนาดเล็ก เช่น แป้งข้าวบาร์เลย์ และแป้งข้าวเจ้าจะสังเกตได้ยากจากการส่องกล้องจุลทรรศน์ แต่สามารถสังเกตเห็นได้เมื่อนำแป้งผ่านปฏิกิริยาเคมีหรือเอนไซม์ และศึกษาด้วย SEM (French,1984) ในโครงสร้างของ growth ring พบลักษณะการเจริญของเม็ดแป้ง โดยเนื้อเยื่อชั้นแรกเจริญมาจากศูนย์กลางของเม็ดแป้ง (hilum) ซึ่งส่วนนี้ประกอบด้วยส่วน reducing end ของโมเลกุลแป้ง มีด้าน non-reducing end ของอะมิโลส และอะมิโลเพกทินแผ่กระจายออกไป (Oates,1997) จุดเชื่อมกิ่ง (branch point) ของอะมิโลเพกทินอยู่ในส่วนอสัณฐาน (amorphous) และสายอยู่ในส่วนผลึก (crystalline) (French,1984)

ตารางที่ 19 คุณสมบัติทางโครงสร้างของอะมิโลเพกทิน

แหล่งแป้ง	ปริมาณอะมิโลเพกทิน (%)	DP เฉลี่ย	ความยาวสายเฉลี่ย (CL)	จำนวนสายเฉลี่ย (NC)	ความยาวสายภายนอกเฉลี่ย (ECL)	ความยาวสอบภายในเฉลี่ย(ICL)
แป้งสาลี	72	4,800	19	250	13	5
แป้งขาวโพด	72	8,200	22	370	15	6
แป้งข้าวเจ้า	83					
Indica(IR36)		4,700	21	220	14	6
Japonica		12,800	19	670	13	5
Waxy Rice		18,500	18	1,000	12	5
แป้งมันฝรั่ง	79	9,800	24	410	15	8
แป้งมันสำปะหลัง	83					

(ที่มา: ดัดแปลงจาก Hizukuri,1988)

ตารางที่ 20 ปริมาณและสัดส่วนของอะมิโลสและอะมิโลเพกทินในแป้งแต่ละชนิด

	แป้งมันฝรั่ง	แป้งข้าวโพด	แป้งสาลี	แป้งมันสำปะหลัง	แป้งข้าวโพดข้าวเหนียว
อะมิโลส(% นน.แห้ง)	21	28	28	17	0
อะมิโลเพกทิน(% นน.แห้ง)	79	72	72	83	100
DP อะมิโลส	3000	800	800	3000	-
DP อะมิโลเพกทิน	$2 X10^6$	$2 X10^6$	$2 X10^6$	$2 X10^6$	$2 X10^6$
จำนวนโมเลกุลอะมิโลส ($X10^{20}$) ในแป้ง 1 กรัม	30	130	130	20	0
จำนวนโมเลกุลอะมิโลเพกทิน ($X10^{17}$) ในแป้ง 1 กรัม	150	130	130	150	190
สัดส่วนจำนวนโมเกลุลของอะมิโลสต่ออะมิโลเพกทิน	200	1,000	1,000	150	0
DP เฉลี่ยของโมเลกุลแป้ง	14,000	3,000	3,000	18,000	2,000,000

(ที่มา : Swinkels, 1985a)

อะมิโลเพกทินถือว่ามีความสำคัญมากกว่าอะมิโลส ทั้งด้านโครงสร้าง หน้าที่ และการนำไปใช้ ดังนั้น เมื่อมีอะมิโลเพกทินเพียงอย่างเดียวสามารถรวมตัวเพื่อสร้างเม็ดแป้งได้ ปริมาณของอะมิโลสและอะมิโล - เพกทินที่แตกต่างกันทำให้สมบัติของแป้งแตกต่างกัน (Oates,1997) แป้งจากข้าวโพดสายพันธุ์ที่มีปริมาณอะมิโลสถึง 70% คือ amylomaize และสายพันธุ์ที่ไม่มีอะมิโลส คือ waxy maize

ตารางที่ 21 คุณสมบัติของแป้งข้าวโพดที่มีปริมาณอะมิโลสต่างกัน

ชนิดแป้ง	ปริมาณอะมิโลส(%)	คุณสมบัติ
Waxy maize	0-1	ไม่เกิดเจล setback* น้อย แป้งเปียกใส และทนต่อการเกิด syneresis ยืดหยุ่นได้
Maize	27	เกิดเจลที่แข็งแรง แป้งเปียกขุ่น
amylomaize	50-70	เม็ดแป้งพองตัวได้ยาก เกิดเจลที่แข็ง แป้งเปียกขุ่น อุณหภูมิการเกิดแป้งเปียกสูง

3. สารตัวกลาง (Intermediate material)

สารตัวกลางมีเพียงส่วนน้อยในแป้งบางชนิด องค์ประกอบนี้มีน้ำหนักโมเลกุลน้อยกว่าอะมิโลเพกทินแต่ใหญ่กว่าอะมิโลส (Rupp และ Schwartz,1988) และเมื่อตรวจสอบด้วย ^{13}C Nuclear Magnetic Resonance พบว่าสารตัวกลางในแป้งสาลีจะมีโครงสร้างที่คล้ายคลึงกับอะมิโลเพกทินแต่มีกิ่งที่สั้นกว่า (Daisและ Perlin,1982) นอกจากนี้มีรายงานว่าสารตัวกลางในแป้งข้าวโอ๊ตสามารถเกิดสีน้ำเงินกับไอโอดีนได้เช่นเดียวกับอะมิโลส แต่มีค่า iodine affinity และ blue value ต่ำว่าอะมิโลส แต่มากกว่าค่าของอะมิโลเพกทิน ซึ่งแสดงให้เห็นว่าสารตัวกลางนี้มีโครงสร้างเป็นลักษณะเชิงกิ่งเช่นเดียวกับอะมิโลเพกทิน แต่จะมีกิ่งที่ยาวกว่า (Wang และ White,1994) ปริมาณและโครงสร้างของสารตัวกลางขึ้นอยู่กับชนิดและอายุการเก็บเกี่ยวของพืช (Guibot และ Mercier,1985) จากการศึกษาตรวจสอบองค์ประกอบของแป้งโดยใช้ High Performance Size Exclusion Chromatography (HPSEC) (กล้าณรงค์และคณะ,2541) สารถแยกองค์ประกอบของแป้งตามน้ำหนักโมเลกุลได้ 3 ส่วน คือ อะมิโลส อะมิโลเพกทิน และสารตัวกลาง โดยองค์ประกอบที่มีน้ำหนักโมเลกุลมากจะออกจากเครื่อง HPSEC ก่อน ปรากฏเป็นพีคบนโครมาโตแกรมที่เวลาน้อยกว่า การปรากฏพีคของอะมิโลเพกทิน สารตัวกลาง และอะมิโลส จะสัมพันธ์กับน้ำหนักโมเลกุลจากมากไปน้อยตามลำดับ อย่างไรก็ตาม มีบางรายงานกล่าวว่า สารตัวกลางที่พบในแป้งอาจเป็นผลมาจากวิธีที่ใช้ในการแยกองค์ประกอบของแป้ง (Testu และ Karkalas,1996)

ปริมาณหรือสัดส่วนของอะมิโลส อะมิโลเพกทิน และสารตัวกลางในเม็ดแป้งไม่คงที่ ขึ้นอยู่กับสภาพการเพาะปลูก เช่น เวลาในการเพาะปลูกและปริมาณน้ำฝนระหว่างการเพาะปลูก จากการตรวจวัดปริมาณและขนาดของอะมิโลสของแป้งที่สกัดจากมันสำปะหลัง 4 พันธุ์ ในพื้นที่เพาะปลูกและมีปัจจัยการปลูกเหมือนกัน พบว่าแป้งที่สกัดจากหัวมันสำปะหลังที่มีอายุต่างกันมีปริมาณอะมิโลส และDP ที่แตกต่างกัน (Sriroth และคณะ,1999)

ตารางที่ 22 ปริมาณอะมิโลสและ degree of polymerization (DP) ของแป้งที่สกัดจากมันสำปะหลัง 4 พันธุ์ ที่ระยะเวลาเก็บเกี่ยวแตกต่างกัน

พันธุ์	6 เดือน		10 เดือน		14 เดือน		16 เดือน	
	ปริมาณอะมิโลส (%)	DP	ปริมาณอะมิโลส (%)	DP	ปริมาณอะมิโลส (%)	DP	ปริมาณอะมิโลส (%)	DP
ระยอง 1	24.1	1175	23.5	1188	20.6	1148	20.6	1161
ระยอง 60	22.5	1122	20.5	1096	20.7	1035	20.8	1148
ระยอง 90	23.1	1202	21.3	1216	22.3	1122	22.5	1135
เกษตรศาสตร์50	21.4	1175	21.5	1161	19.5	1135	19.6	1121

(ที่มา : Sriroth และคณะ,1999b)

4 ส่วนประกอบอื่น ๆ ภายในเม็ดแป้ง

ส่วนประกอบอื่น ๆ ภายในเม็ดแป้ง แบ่งออกเป็น

1.particulate material คือ ส่วนที่ไม่ใช่แป้งที่แยกได้จากแป้ง ได้แก่ โปรตีนที่ไม่ละลาย และผนังเซลล์ซึ่งจะมีผลกระทบต่อกระบวนการผลิตแป้ง

2. surface material คือ ส่วนที่ติดกับพื้นผิวของแป้ง สามารถสกัดออกได้โดยไม่ต้องทำลายเม็ดแป้ง เช่น เยื่อหุ้มอะไมโลพลาสต์

3. Internal components คือ ส่วนที่ติดอยู่ภายในเม็ดแป้ง สามารถแยกออกได้โดยการทำลายเม็ดแป้ง เช่น ไขมันในแป้งจากธัญพืช หมู่ฟอสเฟตในแป้งมันฝรั่ง และสารประกอบไนโตรเจนในแป้ง

ส่วนประกอบอื่นที่มีผลต่อลักษณะและคุณสมบัติของเม็ดแป้งที่สำคัญ ได้แก่ ไขมัน โปรตีน เถ้า และฟอสฟอรัส ซึ่งมีปริมาณแตกต่างกันในแป้งแต่ละชนิด

ตารางที่ 23 องค์ประกอบของแป้งชนิดต่าง ๆ

ชนิดแป้ง	ความชื้น 65%RH,20°C	% ไขมัน	% โปรตีน	%เถ้า	% ฟอสฟอรัส
แป้งข้าวโพด	13	0.6	0.35	0.1	0.015
แป้งมันฝรั่ง	19	0.05	0.06	0.4	0.08
แป้งสาลี	14	0.8	0.4	0.15	0.06
แป้งมันสำปะหลัง	13	0.1	0.1	0.2	0.01
แป้งข้าวโพดข้าวเหนียว	13	0.2	0.25	0.07	0.007
แป้งข้าวฟ่าง	13	0.7	0.3	0.08	-
แป้งข้าวเจ้า	-	0.8	0.45	0.5	0.1
แป้งสาคู	-	0.1	0.1	0.2	0.02
แป้ง amylomaize	13	0.4	-	0.2	0.07
แป้งมันเทศ	13	-	-	0.1	-

(ที่มา : Swinkels, 1985b)

(1) ไขมัน

โดยส่วนใหญ่แป้งจะมีองค์ประกอบของไขมันน้อยกว่า 1% ชนิดของไขมันที่มีอยู่ในแป้งมีผลต่อคุณสมบัติของแป้ง เช่น มีผลต่อความหนืดของแป้ง ดังนั้น ในการวิเคราะห์คุณสมบัติของแป้งจะต้องกำจัดไขมันออกจากแป้ง โดยสกัดด้วยตัวทำละลายหรือย่อยสลายโดยใช้น้ำย่อย

ไขมันภายในแป้งมีทั้งที่อยู่บริเวณพื้นผิวของเม็ดแป้ง ซึ่งประกอบด้วย triglyceride,free fatty acid glucolipids phospholipids และไขมันที่อยู่กระจายทั่วไปภายในเม็ดแป้ง โดยเชื่อมพันธะกับคาร์โบไฮเดรตอย่างหลวม ๆ แป้งจากพืชหัวและจากถั่วไม่มีไขมันภายในเม็ดแป้ง สำหรับแป้งจากธัญพืช เช่น ข้าวโพด ข้าวสาลี มีไขมันภายในเม็ดแป้งซึ่งมีสมบัติและปริมาณของไขมันที่แตกต่างกัน ในแป้งข้าวโพดมีไขมัน 0.6 ถึง 0.8% ประกอบด้วย free fatty acid 62% และ lysophospholipid 38% สำหรับแป้งสาลีมีไขมัน 0.8 ถึง 1.2% ประกอบด้วย monoacyl/lysophospholipids 86 ถึง 94% กรดไขมันที่สำคัญของ lysophospholipid คือกรดไขมันอิ่มตัวคาร์บอน 16 อะตอม (palmitic acid) และกรดไขมันไม่อิ่มตัวคาร์บอน 18 อะตอม (linoleic acid) monoacyl lipid เหล่านี้สามารถจับตัวเชิงซ้อนกับอะมิโลส ในขณะที่ diacyl และ triacyl lipid ไม่สามารถจับตัวเช่นนี้ได้ ความสัมพันธ์ของปริมาณอะมิโลสกับปริมาณไขมันในข้าวโพดชนิดต่าง ๆ พบว่าข้าวโพดข้าวเหนียวซึ่งมีปริมาณอะมิโลสต่ำ จะมีไขมันต่ำ สำหรับข้าวโพดที่มีปริมาณอะมิโลสสูงจะมีไขมันสูงกว่าปกติเช่นกัน (Galliard และ Bowler,1987)

ตารางที่ 24 ปริมาณอะมิโลสและปริมาณไขมันในข้าวโพดพันธุ์ต่าง ๆ

	พันธุ์ข้าวเหนียว	พันธุ์ข้าวโพด พันธุ์ปกติ	พันธุ์อะมิโลสสูง
ปริมาณอะมิโลส(%)	0.2-1.5	27-31	40-47
ปริมาณไขมัน (mg/g แป้ง)			
กรดไขมันอิสระ	3-13	380-546	581-681
lysophospholipids	2-13	184-347	396-486

(ที่มา : Galliard และ Bowler,1987)

ไขมันที่รวมอยู่ในเม็ดแป้งจะส่งผลกระทบต่อลักษณะและคุณสมบัติของแป้ง โดยจะลดความสามารถในการพองตัว การละลาย และการจับตัวกับน้ำของแป้ง เมื่อเกิดฟิล์ม และแป้งเปียก (paste) ไขมันจะรวมตัวกับอะมิโลสเกิดเป็น inert complex ทำให้ฟิล์มและแป้งเปียกมีลักษณะทึบแสงหรือขุ่น นอกจากนี้กรดไขมันไม่อิ่มตัวซึ่งอยู่บริเวณพื้นผิวเม็ดแป้งจะทำให้เกิดกลิ่นไม่พึงประสงค์ เนื่องมาจากเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน สำหรับไขมันที่รวมตัวเชิงซ้อนกับอะมิโลสจะไม่ก่อให้เกิดกลิ่น เนื่องจากสามารถต้านทานการเกิดออกซิเดชันได้ แป้งจากธัญพืช เช่น แป้งข้าวโพด แป้งข้าวสาลี มีกลิ่นแรงกว่าแป้งข้าวโพดข้าวเหนียว แป้งมันสำปะหลัง และแป้งมันฝรั่ง เนื่องจากองค์ประกอบของไขมันสูง

(2) ไนโตรเจน (โปรตีน)

ภายในแป้งมีส่วนประกอบของโปรตีนอยู่ต่ำกว่า 1% โดยโปรตีนจะเกาะอยู่บริเวณพื้นผิวของเม็ดแป้ง ทำให้เกิดผลกระทบต่อลักษณะของแป้ง คือ ทำให้เกิดประจุบนพื้นผิวเม็ดแป้ง มีผลต่อการกระจายของเม็ดแป้ง ทำให้แป้งมีอัตราการดูดซับน้ำ อัตราการพองตัว และอัตราการเกิดเจลาติไนซ์เปลี่ยนแปลงไป ทำให้เกิด maillard reaction ระหว่างการทำปฏิกิริยาของกรดอะมิโนกับน้ำตาลรีดิวซิง สีและกลิ่นของผลิตภัณฑ์จะเปลี่ยนแปลงไป (โดยส่วนใหญ่ปฏิกิริยาเช่นนี้เกิดขึ้นกับแป้งจากธัญพืช เนื่องจากมีปริมาณโปรตีนสูง)

(3) เถ้า

แป้งโดยทั่วไปมีองค์ประกอบของสารอนินทรีย์ เช่น โซเดียม โพแทสเซียม แมกนีเซียม และแคลเซียม สามารถวิเคราะห์หาปริมาณได้จากส่วนที่เหลือหรือเถ้าจากการเผาไหม้โดยสมบูรณ์ ปริมาณเถ้าในแป้งมันฝรั่งจะสัมพันธ์กับหมู่ฟอสฟอรัสในแป้ง สำหรับเถ้าในแป้งจากธัญพืชจะสัมพันธ์กับปริมาณฟอสโฟลิปิด (Swinkels,1985b)

(4) ฟอสฟอรัส

แป้งส่วนใหญ่มีองค์ประกอบของฟอสฟอรัสอยู่น้อยกว่า 0.1% โดยแป้งจากธัญพืชมีฟอสฟอรัสในรูป phospholipids ประมาณ 0.02 ถึง 0.06% และสำหรับแป้งจากธัญพืชหัวและราก เช่น แป้งจากมันฝรั่ง มีองค์ประกอบของฟอสฟอรัสประมาณ 0.3 ถึง 0.4% ฟอสฟอรัสภายในแป้งอยู่ในรูปฟอสเฟตเชื่อมกับหมู่ไฮดรอกซิลที่ C_3 และ C_6 ของหน่วยกลูโคส (Lineback,1996a) แป้งมันฝรั่งมีองค์ประกอบของฟอสฟอรัสจึงทำให้

มีประจุพื้นผิวเป็นลบ แรงผลักระหว่างประจุลบจะทำให้แป้งมันฝรั่งมีคุณสมบัติพองตัวง่าย และมีความหนืดสูงกว่าแป้งชนิดอื่น ๆ (Galliard และ Bowler,1987)

โครงสร้างและการรวมตัวเป็นเม็ดแป้ง

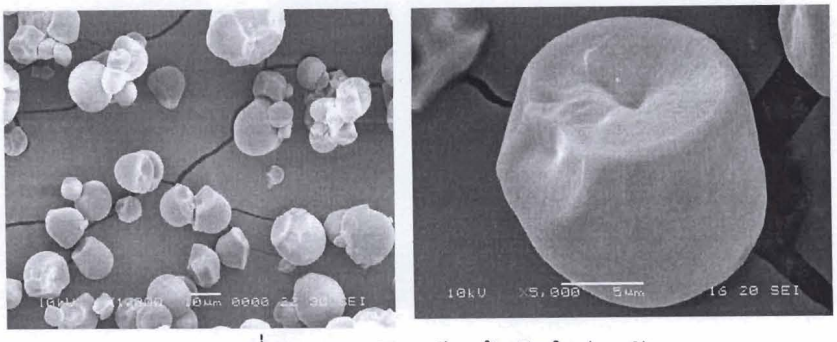
แป้งที่พบในธรรมชาติจะพบอยู่ในรูปเม็ดแป้ง (granule) ขนาดเล็ก โดยเมื่อตรวจดูลักษณะของเม็ดแป้งชนิดต่าง ๆ ด้วยกล้องจุลทรรศน์ธรรมดา และกล้อง Scanning Electron Microscope พบว่าเม็ดแป้งจะมีขนาด รูปร่าง และลักษณะแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับแหล่งของแป้งนั้น ๆ

เม็ดแป้งมีโครงสร้างเป็น semi-crystalline โดยโมเลกุลของอะมิโลสและอะมิโลเพกทินจะจัดเรียงตัวในเม็ดแป้งเป็นโครงสร้างทั้งส่วนที่เป็นผลึก (crystallite) และส่วนอสัณฐาน(amorphous) หรือ gel phase ส่วนสายโซ่สั้นของอะมิโลเพกทินจะจัดเรียงตัวในลักษณะเกลียวคู่ (double helices) ซึ่งบางส่วนจะเกิดเป็นโครงสร้างที่เป็นผลึก ส่วนอสัณฐานของเม็ดแป้งจะประกอบด้วยโมเลกุลของอะมิโลสและสายโซ่ยาวของอะมิโลเพกทิน เม็ดแป้งจะมีลักษณะโครงสร้างผลึก 3 แบบขึ้นอยู่กับความหนาแน่นในการจัดเรียงตัวของเกลียวคู่ ถ้าเกิดการเรียงตัวหนาแน่นมากจะเกิดเป็นผลึกแบบ A (แป้งจากธัญพืชต่าง ๆ) ถ้าเรียงตัวกันหลวม ๆ จะเกิดผลึกแบบ B (แป้งจากพืชหัว) ถ้าเกิดการเรียงตัวทั้งแบบ A และ B รวมกันจัดเป็นผลึกแบบ C (แป้งจากพืชตระกูลถั่ว) โครงสร้างของผลึกที่ต่างกันจะให้ลักษณะการกระจายตัวของแสงต่างกัน ซึ่งสามารถตรวจสอบชนิดโครงสร้างของเม็ดแป้งได้โดยเทคนิค wild angle x-ray diffraction (WAXS) แป้งที่มีโครงสร้างผลึกต่างกัน จะให้แบบของ x-ray diffraction ต่างกัน

ตารางที่ 25 ขนาดและรูปร่างของเม็ดแป้งชนิดต่าง ๆ

แหล่งแป้ง	ขนาด (ไมครอน)	รูปร่าง
ข้าวสาลี	2-35	กลม ค่อนข้างรี
ข้าวโพด	5.25	กลม แบน มีหลายเหลี่ยม รูปร่างคล้ายแท่ง
ข้าวเจ้า	3-5	แบบมีหลายเหลี่ยม
ข้าวบาร์เลย์	2-35	กลม คล้ายไข่
ข้าวฟ่าง	15-35	กลม แบน มีหลายเหลี่ยม
ข้าวโอต	5-8	กลม แบน มีหลายเหลี่ยม
ข้าวไรน์	10-50	กลม ค่อนข้างรี
ลูกเดือย	8-20	กลม แบน มีหลายเหลี่ยม
Triticale	2-35	กลม ค่อนข้างรี
มันฝรั่ง	15-121	กลม รูปไข่มีวงคล้ายเปลือกหอย
มันสำปะหลัง	5-35	กลม คล้ายไข่ที่มีรอยตัด
ท้าวยายม่อม	13-70	รูปไข่
สาคู	15-65	รูปไข่ที่มีรอยตัด

(ที่มา : Maningat และ Seib,1992)



ภาพที่ 27-28 รูปร่างเม็ดแป้งมันสำปะหลัง

โครงสร้างของเม็ดแป้งมีพื้นผิวที่ไม่เรียบ มีบางส่วนของสายยื่นออกไป พื้นผิวของเม็ดแป้งมีส่วนของปลายสายอะมิโลสและอะมิโลเพกทินยื่นออกไปเป็นจุดเริ่มต้นของชั้นที่จะเจริญต่อไป โมเลกุลของอะมิโล-เพกทิน ที่เจริญไม่เต็มที่เป็นแหล่งของสารตัวกลาง (intermediate material) หรือ third starch fraction (Stark และ Lynn,1992)

จากการศึกษาโครงสร้างของเม็ดแป้ง พบว่า รูบริเวณพื้นผิวของเม็ดแป้งที่สามารถให้น้ำและโมเลกุลเล็ก ๆ ผ่านได้ เป็นส่วนอสัณฐานที่แทรกเข้าไปภายในเม็ดแป้งเกิดเป็น gel phase อยู่ระหว่างช่องของส่วนผลึกที่ขนานกัน โมเลกุลขนาดไม่เกิน 1,000 ดาลตัน สามารถผ่านได้ จาก Transmission Electron Microscopy (TEM) พบว่าช่องเปิดบนพื้นผิวเม็ดแป้งมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.1-0.3 μm มีช่องภายใน ขนาด 0.07+0.1 μm (Oates,1997)

คุณสมบัติของแป้งเปียก (starch paste)

คุณสมบัติของแป้งเปียกจากแป้งแต่ละชนิดมีความแตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดของแป้ง ปริมาณแป้ง กระบวนการให้ความร้อน อุณหภูมิ pH เวลาในการให้ความร้อน การกวน และเครื่องมือที่ใช้

คุณสมบัติที่สำคัญของแป้งเปียก ได้แก่ ความหนืด เนื้อสัมผัส ความโปร่งใสของแป้งเปียก และ ความคงทนต่อแรงเฉือน (Shear rate) (Swinkels,1985b)

ปัจจัยที่มีผลต่อความหนืดได้แก่ ชนิดของแป้ง กระบวนการให้ความร้อน และปริมาณแป้ง แป้งเปียกของแป้งมันฝรั่งจะมีความหนืดสูงมากเนื่องจากมีกลุ่มฟอสเฟตเป็นองค์ประกอบ แป้งมันฝรั่งที่มีปริมาณฟอสเฟตสูงก็จะมีความหนืดสูง สำหรับแป้งจากส่วนราก (มันสำปะหลัง) และแป้งข้าวเหนียวมีความหนืดสงกว่าแป้งจากธัญพืช (ข้าวโพด ข้าวสาลี)

ลักษณะเนื้อของแป้งจากส่วนหัว (มันฝรั่ง) แป้งจากส่วนราก (มันสำปะหลัง) และแป้งข้าวเหนียวจะมีลักษณะเป็นยาง มีความเหนียวคล้ายกาว ยืดหยุ่น และเกาะกันเป็นก้อน แต่แป้งจากส่วนรากและแป้งข้าวเหนียวจะมีความเหนียวน้อยกว่า ในขณะที่แป้งจากธัญพืช (ข้าวโพดและข้าวสาลี) จะนิ่ม ร่วน และไม่เกาะกันเป็นก้อน

ความใสของแป้งเปียกแต่ละชนิดจะแตกต่างกันไป แป้งจากส่วนหัว (มันฝรั่ง) แป้งจากส่วนราก (มันสำปะหลัง) และแป้งข้าวเหนียวจะใส โปร่งแสง สำหรับแป้งจากธัญพืช (ข้าวโพด ข้าวสาลี) จะขุ่นมัว ทึบแสง

ในการกวนหรือการผสมแป้งเปียก แรงเฉือนที่เกิดขึ้นจะตัดเม็ดแป้งที่พองตัวบางส่วนทำให้ความหนืดของแป้งลดลง ดังนั้นแป้งที่มีพันธะครอสลิงจะสามารถทนต่อแรงเฉือนได้ดี เมื่อให้ความร้อนพร้อม ๆ กับการกวน แป้งจากส่วนหัว ราก และแป้งข้าวเหนียวจะพองตัวอย่างรวดเร็ว ทำให้มีส่วนของเม็ดแป้งที่ถูกตัดมาก สำหรับแป้งจากธัญพืชจะพองตัวอย่างช้า ๆ ทำให้มีส่วนเม็ดแป้งที่ถูกตัดได้น้อยกว่า ดังนั้นแป้งข้าวโพดและแป้งสาลีจะสามารถทนต่อแรงเฉือนได้ดีกว่าแป้งมันสำปะหลังและแป้งข้าวโพดข้าวเหนียว ส่วนแป้งมันฝรั่งจะมีความสามารถในการทนต่อแรงเฉือนได้ในระดับปานกลาง คุณสมบัติต่าง ๆ ของแป้งเปียกแสดงดังตารางที่ 26

ตารางที่ 26 คุณสมบัติของแป้งเปียกจากแป้งแต่ละชนิด

แป้ง	ความหนืด	เนื้อสัมผัส	ความใส	ความคงทนต่อแรงเฉือน	อัตราการคืนตัว
ข้าวโพด	ปานกลาง	ร่วน	ทึบแสง	ปานกลาง	สูง
ข้าวสาลี	ปานกลาง-ต่ำ	ร่วน	ทึบแสง	ปานกลาง	สูง
ข้าวฟ่าง	ปานกลาง	ร่วน	ทึบแสง	ปานกลาง	สูง
ข้าวเจ้า	ปานกลาง-ต่ำ	ร่วน	ทึบแสง	ปานกลาง	สูง
มันฝรั่ง	สูงมาก	เหนียว	โปร่งแสง	ปานกลาง-ต่ำ	ปานกลาง
มันสำปะหลัง	สูง	เหนียว	โปร่งแสง	ต่ำ	ต่ำ
ข้าวโพดข้าวเหนียว	ปานกลาง-สูง	เหนียว	โปร่งแสง	ต่ำ	ต่ำมาก
ท้าวยายม่อม	-	เหนียว	-	-	-
มันเทศ	สูง	เหนียว	โปร่งแสง	ต่ำ	ปานกลาง

(ที่มา : Swinkels,1985b)

ภาพที่ 29 ลักษณะแป้งเปียกจากแป้งข้าวโพด (ซ้าย)
และแป้งมันสำปะหลัง (ขวา)

คุณสมบัติของแป้งฟิล์ม (starch film)

ในอุตสาหกรรมหลายประเภทมีการทำแป้งแห้ง เพื่อจุดประสงค์ในการห่อหุ้มกระดาษหรือเส้นใยผ้า (coating) หรือเพื่อใช้เป็นกาว (adhesive) สำหรับนำไปใช้อุตสาหกรรมกระดาษและสิ่งทอ แป้งฟิล์มจะมีคุณสมบัติเฉพาะ ได้แก่ ความเป็นพลาสติก ความแข็งแรง การละลายน้ำ การทนต่อความชื้น ความโปร่งใสของฟิล์ม และความเป็นเงามัน(gloss)

แป้งมันฝรั่ง แป้งมันสำปะหลัง และแป้งข้าวโพดข้าวหเนียวมีความแข็งแรงและยืดหยุ่นมากกว่าแป้งสาลี จึงเหมาะสมในการทำแห้งมากกว่าแป้งข้าวโพดและแป้งสาลี เนื่องจากในขณะทำแห้ง เม็ดแป้งข้าวโพดและเม็ดแป้งสาลีจะเปราะ แตกหักได้ง่าย

แป้งฟิล์มที่ได้จากแหล่งแป้งที่ต่างกัน จะมีความสามารถในการละลายน้ำได้ต่างกัน และมีอัตราในการเกิดรีโทรเกรเดชันต่างกัน แป้งจากธัญพืชมีอะมิโลสและไขมันในปริมาณสูงทำให้เกิดการรีโทรเกรเดชันในระหว่างการทำแป้งแห้งทำให้แป้งส่วนนั้นไม่ละลาย และเกิดเป็นร่างแหก่อให้เกิดการไม่ละลายของส่วนอะมิโลเพกทินอีกด้วย ในขณะที่แป้งมันฝรั่ง แป้งมันสำปะหลัง และแป้งข้าวเหนียวมีแนวโน้มในการเกิดรีโทรเกรเดชันต่ำ จึงสามารถละลายในน้ำเย็นได้อย่างสมบูรณ์

แป้งฟิล์มจะมีคุณสมบัติในการรักษาความสามารถในการละลายน้ำและความเป็นกาวได้ในช่วงระยะเวลาหนึ่ง แป้งฟิล์มที่ได้นำไปใช้ในผลิตภัณฑ์ประเภทกาว เช่น ใช้ทำของจดหมาย แสตมป์ กระดาษกาว

แป้งฟิล์มจากแป้งมันสำปะหลัง แป้งมันฝรั่ง และแป้งข้าวเหนียวมีความใสและเป็นมันเงามากกว่าแป้งฟิล์มจากแป้งธัญพืช เนื่องจากในระหว่างการทำแห้งและการเก็บรักษา แป้งจากธัญพืชจะเกิดรีโทรเกรเดชันโมเลกุลของอะมิโลสจะเกิดเป็นผลึกที่ไม่ละลายทำให้แป้งฟิล์ม ขุ่น และเปราะแตกง่าย (Swinkels,1985b) คุณสมบัติของฟิล์มจากแป้งชนิดต่าง ๆ แสดงดังตารางที่ 27

ตารางที่ 27 คุณสมบัติของฟิล์มจากแป้งแต่ละชนิด

	แป้งมันฝรั่ง	แป้งข้าวโพด	แป้งสาลี	แป้งมันสำปะหลัง	แป้งข้าวโพดข้าวเหนียว
ความใส	สูง	ต่ำ	ต่ำ	สูง	สูง
การละลาย	สูง	ต่ำ	ต่ำ	สูง	สูง
ความเรียบ-ยืดหยุ่น	สูง	ต่ำ	ต่ำ	สูง	สูง
ความแข็งแรง-เหนียว	สูง	ต่ำ	ต่ำ	สูง	สูง

(ที่มา : Swinkels,1985b)

สรุปคุณสมบัติของแป้งมันสำปะหลัง

แป้งมันสำปะหลังมีลักษณะเป็นผงละเอียด สีขาว ลักษณะเด่นของแป้งมันสำปะหลังคือ มีความบริสุทธิ์สูง มีสิ่งปนเปื้อนต่ำ โดยจะมี starch มากกว่าร้อยละ 95 และมีปริมาณโปรตีนและไขมันค่อนข้างต่ำ (น้อยกว่า 1%) มีฟอสฟอรัสน้อยกว่า 0.04% (Davies และคณะ,1980) ลักษณะของเม็ดแป้งเมื่อตรวจดูด้วยกล้อง

จุลทรรศน์จะมีรูปร่างเป็นเม็ดกลมหรือรูปไข่ และอาจมีรอยบุ๋มที่ปลายด้านหนึ่งของเมล็ด เม็ดแป้งโดยส่วนใหญ่จะมีขนาดปานกลางคืออยู่ในช่วง 3-40 ไมครอนและมีขนาดโดยเฉลี่ยประมาณ 12-15 ไมครอน ซึ่งมีขนาดเล็กกว่าเม็ดแป้งมันฝรั่ง (5-100 ไมครอน) แต่ใหญ่กว่าแป้งข้าวเจ้า

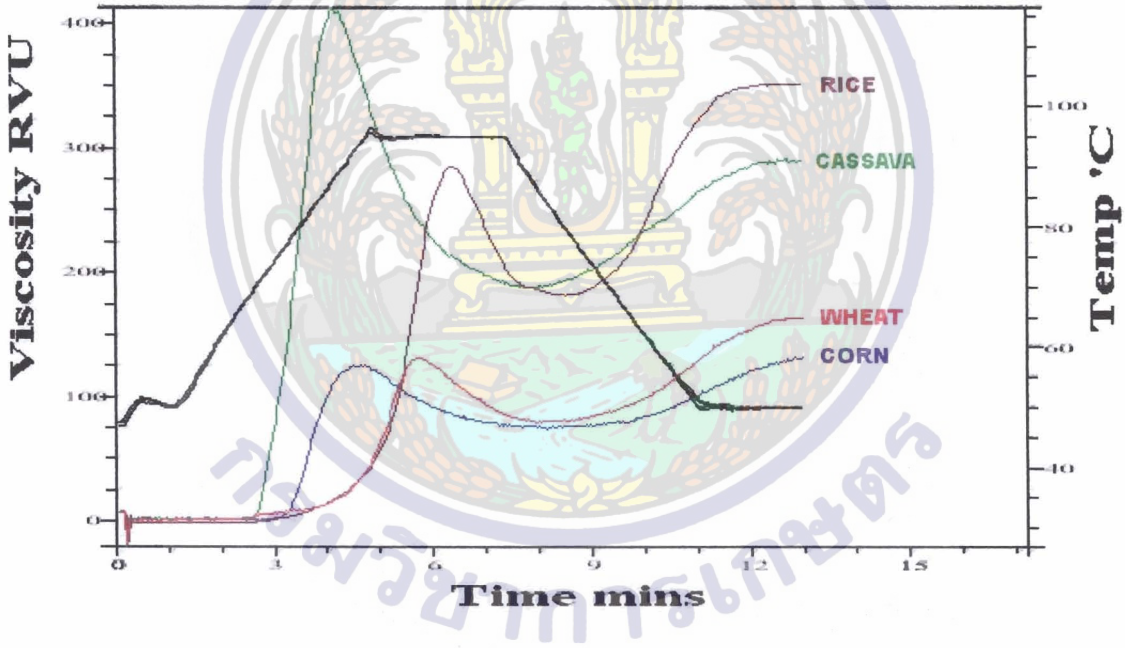
แป้งมันสำปะหลังจัดเป็นแป้งที่มีปริมาณอะมิโลสค่อนข้างต่ำคือ 18-23% (Defloor และคณะ,1998a) และมีขนาดแตกต่างกัน โดยมีค่า degree of polymerization (DP) ตั้งแต่ 1,100-3,220 (Sriroth และคณะ ,1999b; Suguki และคณะ,1985) ซึ่งทั้งนี้ขึ้นกับวิธีที่ใช้ในการวัดขนาด โครงสร้างของอะมิโลสจะประกอบด้วยส่วนที่เป็นเส้นตรงและส่วนที่เป็นกิ่ง โดยอัตราส่วนของโครงสร้างที่เป็นเส้นตรงต่อโครงสร้างที่เป็นกิ่งจะมีค่าเท่ากับ 0.58 ต่อ 0.42 (Takeda และคณะ,1987) ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับแป้งข้าวโพด (0.56:0.44)

คุณสมบัติในการเกิดปฏิกิริยากับน้ำเป็นคุณสมบัติที่สำคัญในการนำแป้งไปใช้ประโยชน์ เม็ดแป้งที่แขวนลอยอยู่ในน้ำเมื่อได้รับความร้อน พลังงานความร้อนจะไปทำลายพันธะไฮโดรเจนในโครงสร้างของเม็ดแป้ง ทำให้โมเลกุลของน้ำสามารถเข้าไปจับกับหมู่ไฮดรอกซิลที่เป็นอิสระของเม็ดแป้งได้ เม็ดแป้งจะเริ่มพองขึ้น ซึ่งกำลังการพองตัวของเม็ดแป้งจะขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง เช่น ชนิดของแป้ง ปริมาณและโครงสร้างของอะมิโลสและอะโลเพกทิน สารอื่น ๆ ที่มีอยู่ในแป้ง เช่น ไขมัน หมู่ฟอสเฟต เป็นต้น แป้งที่มีอะมิโลสสูงจะมีกำลังการพองตัวต่ำกว่าแป้งที่มีอะมิโลสต่ำ ทั้งนี้เนื่องจากลักษณะโครงสร้างของอะมิโลสที่เป็นเส้นตรงจะทำให้เกิดพันธะระหว่างโมเลกุลได้ดี และอะมิโลสอาจจับตัวกับไขมันทำให้ขัดขวางการพองตัวของเม็ดแป้งได้ แป้งมันสำปะหลังจัดเป็นแป้งที่มีอะมิโลสต่ำ จึงมีกำลังการพองตัวที่ดี และมีค่าความสามารถในการละลายได้ซึ่งสัมพันธ์กับกำลังการพองตัวสูง โดยค่ากำลังการพองตัวซึ่งวัดได้จากน้ำหนักของเม็ดแป้งที่พองตัวอย่างอิสระในน้ำต่อน้ำหนักแห้งของแป้ง จะมีค่าประมาณ 50 และการละลายได้ประมาณ 35เปอร์เซ็นต์ ที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส ซึ่งมีค่ามากกว่าแป้งข้าวโพด แต่ต่ำกว่าแป้งมันฝรั่ง ทั้งนี้เนื่องจากแป้งมันฝรั่งมีหมู่ฟอสเฟตที่สามารถแตกตัวและจับกับน้ำได้ดี จึงช่วยให้แป้งมันฝรั่งมีค่ากำลังการพองตัวสูงมาก ลักษณะการพองตัวของเม็ดแป้งมันสำปะหลังที่อุณหภูมิต่าง ๆ กัน จะเป็นแบบขั้นตอนเดียว ซึ่งแตกต่างจากแป้งจากธัญชาติ ที่มักจะมีการพองตัวเป็นแบบ 2 ขั้นตอน (two stage swelling) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าแป้งจากธัญชาติจะมีแรงภายในเม็ดแป้งมากกว่า 1 ชนิด และมีกำลังการพองตัวต่ำกว่าพืชหัว

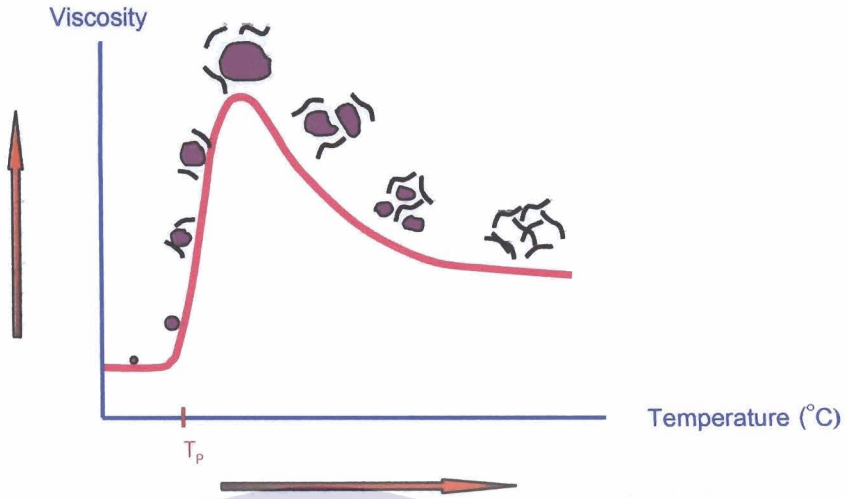
ในระหว่างที่ให้ความร้อนแก่เม็ดแป้งที่แขวนลอยอยู่ในน้ำ และเม็ดแป้งเริ่มดูดซึมน้ำจากภายนอกนั้น เม็ดแป้งจะเริ่มพองตัวพร้อม ๆ กับที่เม็ดแป้งสูญเสียความสามารถในการเบี่ยงเบนแสงโพลาไรซ์ (birefringence) ลักษณะเช่นนี้จะทำให้เกิดการพองตัวของเม็ดแป้งแบบผันกลับไม่ได้ และเม็ดแป้งเกิด gelatinization ขึ้น แป้งแต่ละชนิดจะมีอุณหภูมิเริ่มต้นและช่วงของอุณหภูมิในการเกิด gelatinization อยู่ในช่วง 58-70 องศาเซลเซียส (Moorthy,1985) และพลังงานที่ใช้ในกระบวนการ gelatinization จะประมาณ 14-17 J/g เมื่อวิเคราะห์โดยใช้เทคนิค Differential Scanning Calorimetry

โดยทั่วไปเมื่อเม็ดแป้งที่พองตัวได้รับความร้อน เม็ดแป้งจะเปลี่ยนไปอยู่ในสภาพของแป้งเปียก (paste) ที่มีความหนืดเพิ่มขึ้นอย่างมาก และเมื่อแป้งเปียกเย็นลงจะเกิดเป็นเจลขึ้น อย่างไรก็ตามลักษณะความหนืด

ของแป้งเปียกและการเกิดเจลในแป้งและชนิดจะแตกต่างกัน ลักษณะความหนืดของแป้งมันสำปะหลังที่เปลี่ยนแปลงไปภายใต้สภาวะที่มีการเปลี่ยนอุณหภูมิและมีการกวนอยู่ตลอดเวลา สามารถตรวจสอบได้โดยใช้เครื่องวัดความหนืด Rapid Visco Analyzer หรือ Brabender Viscoamylograph แป้งมันสำปะหลังเมื่อได้รับความร้อนจะมีค่ากำลังการพองตัวสูงจึงให้ความหนืดสูง (peak viscosity) แต่แป้งเปียกก็ยังคงได้รับความร้อนและแรงกลอย่างต่อเนื่องจะมีความหนืดลดลงอย่างรวดเร็ว (trough) ดังนั้นแป้งเปียกของแป้งมันสำปะหลังจะไม่คงตัวมากนัก (ค่า breakdown สูง) ซึ่งลักษณะเช่นนี้เป็นข้อจำกัดในการใช้แป้งมันสำปะหลังเป็นสารให้ความหนืดในผลิตภัณฑ์บางชนิด จึงจำเป็นต้องมีการดัดแปรแป้ง เพื่อช่วยเพิ่มความคงตัวของแป้งเปียก เมื่อแป้งเปียกของแป้งมันสำปะหลังเย็นตัวลง ความหนืดจะเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยเท่านั้น (final viscosity) ทั้งนี้เนื่องจากแป้งมันสำปะหลังมีอะมิโลสค่อนข้างต่ำ ทำให้เกิดการจับกันของหมู่ไฮดรอกซิลของอะมิโลสในระหว่างเย็นตัวต่ำ (retrogradation) แป้งมันสำปะหลังจึงเป็นแป้งที่เกิดการคืนตัวต่ำ (ค่า setback ต่ำ) และให้ลักษณะของแป้งเปียกที่ใส ไม่ทึบแสง เมื่อเปรียบเทียบกับแป้งชนิดอื่น



ภาพที่ 30 ลักษณะการเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งชนิดต่างๆ



ภาพที่ 31 การเปลี่ยนแปลงความหนืดและการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของเม็ดแป้งของแป้งมันสำปะหลังขณะได้รับความร้อน

ปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของแป้งมันสำปะหลัง

เมื่อตรวจสอบคุณภาพด้านความหนืดของแป้งมันสำปะหลังจากแหล่งต่าง ๆ พบว่า จะมีความแตกต่างสูงมาก ดังตารางที่ 28

ตารางที่ 28 ความหนืดของแป้งมันสำปะหลังเมื่อวัดด้วยเครื่อง Rapid Visco Analyzer

	ความหนืด (RVU)
Peak viscosity	256-512
Trough	92-169
Final viscosity	146-241
Breakdown	163-350
Setback	54-109

หมายเหตุ : แป้งมันสำปะหลัง 3 กรัม (ความชื้น 14%) ผสมกับน้ำ 25 มิลลิลิตร

ซึ่งปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของแป้งมันสำปะหลังที่สำคัญ ได้แก่

1. **วัตถุดิบ**

คุณภาพของวัตถุดิบเริ่มต้นที่ใช้ในการสกัดแป้งที่แตกต่าง มีผลทำให้คุณภาพของแป้งที่ได้แตกต่างด้วย โดยพบว่าคุณภาพของวัตถุดิบจะขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ หลายชนิด ได้แก่

(1) พันธุ์มันสำปะหลัง มันสำปะหลังสายพันธุ์ต่างกันเมื่อปลูกในสภาวะแวดล้อมเดียวกัน จะให้หัวมันและแป้งที่มีคุณสมบัติต่างกัน (Asaoka และคณะ) เช่น พันธุ์ระยอง 5 และระยอง 90 จะพบปริมาณไซยาไนด์ต่ำกว่า พันธุ์เกษตรศาสตร์50

(2) อายุของหัวมัน หัวมันที่เก็บเกี่ยวเมื่ออายุต่างกันจะมีคุณสมบัติต่างกัน หัวมันที่เก็บเกี่ยวเมื่ออายุมากกว่า 12 เดือนจะมีปริมาณเยื่อใยสูง และการเก็บเกี่ยวที่อายุต่าง ๆ กัน ทำให้การพองตัวและความหนืดของน้ำแป้งแตกต่างกันโดยเป็นผลร่วมกันกับสภาพแวดล้อมในแปลง ดังตารางที่ 29-30

ตารางที่ 29 กำลังการพองตัวของแป้งที่สกัดจากมันสำปะหลัง 4 พันธุ์ที่ระยะเวลาในการเก็บเกี่ยวต่างกัน

พันธุ์	6 เดือน	10 เดือน	14 เดือน	16 เดือน
ระยอง 1	55	58	53	51
ระยอง 60	58	61	48	45
ระยอง 90	60	59	59	66
เกษตรศาสตร์ 50	54	77	51	51

(ที่มา : Sriroth และคณะ,1999b)

ตารางที่ 30 ค่าความหนืดของแป้งที่สกัดจากมันสำปะหลังพันธุ์ระยอง5 ระยอง 60 ระยอง90 และเกษตรศาสตร์ 50 (KU50) ที่ระยะเวลาในการเก็บเกี่ยวแตกต่างกัน

	Pasting Temperature (°C)	peak viscosity (RVU)	Trough (RVU)	Final Viscosity (RVU)	Breakdown*	Setback**
R60						
เดือน 6	70.98	402	16	266	246	111
เดือน 10	71.30	382	156	238	226	82
เดือน 12	70.80	336	133	183	203	50
เดือน 14	70.30	351	147	196	205	50
เดือน 16	69.50	459	169	265	288	96
KU50						
เดือน 6	72.57	439	174	278	265	98
เดือน 10	74.32	369	145	213	214	69
เดือน 12	73.22	435	170	224	254	54
เดือน 14	71.25	404	160	253	243	92
เดือน 16	70.38	531	164	261	369	92

(ที่มา : Sriroth และคณะ,1999b)

* breakdown = peak viscosity –trough viscosity ; ** setback = final viscosity –trough viscosity

(3) สภาวะแวดล้อมในการเพาะปลูกและก่อนการเก็บเกี่ยว

- ปริมาณน้ำฝน น้ำเป็นปัจจัยที่สำคัญในการเจริญเติบโตของพืช มันสำปะหลังนั้นถึงแม้ว่าจะเป็นพืชที่ทนแล้งได้ดี แต่สภาวะแล้งจะมีผลอย่างมากต่อคุณภาพของแป้ง จากการศึกษาผลของสภาวะแวดล้อมต่อการเจริญของต้นมันสำปะหลังในระยะแรกนั้น พบว่าหัวมันจะมีปริมาณแป้งต่ำ และแป้งที่ได้จะมีขนาดเม็ดเล็กกว่าและคุณสมบัติในการทำปฏิกิริยากับน้ำจะต่ำกว่าสภาวะที่มีฝน(Pardalesและ Esquibel,1996) นอกจากนี้ปริมาณน้ำฝนที่เพิ่มขึ้นภายหลังจากที่ต้นมันอยู่ในสภาวะแล้งจะมีผลทำให้แป้งมีความหนืดลดลงอย่างมากด้วย ซึ่งอาจเป็นผลมาจากต้นมันเริ่มเจริญเติบโตหลังจากผ่านช่วงแล้ง โดยการกระตุ้นของน้ำฝนทำให้พืชใช้แป้งที่สะสมอยู่ภายในหัวเพื่อการเจริญเติบโต(Sriroth และคณะ,1999b; Defloor และคณะ,1998b) นอกจากนี้ปริมาณไซยาไนด์ในหัวมันที่ปลูกในสภาวะแล้งจะมีมากกว่าในหัวมันปลูกใน สภาพที่มีน้ำเพียงพอ (CIAT ,1990)

- ความสมบูรณ์ของแร่ธาตุในดิน ซึ่งจะส่งผลต่อปริมาณผลผลิตของหัวมันและปริมาณแป้งแล้ว ยังพบว่าปริมาณโพแทสเซียมในดินจะมีผลต่อปริมาณไซยาไนด์ในหัวมันด้วยเช่นกัน (Howeler,1985)

- อุณหภูมิ มีรายงานกล่าวว่า อุณหภูมิในการเกิดเจลาติไนซ์ของแป้งมันสำปะหลังแตกต่างกันเป็นผลมาจากความแตกต่างของอุณหภูมิของดิน ซึ่งอาจเกี่ยวข้องกับปริมาณน้ำฝน (Defloorและคณะ,1998b) ซึ่งผลที่ได้จะคล้ายคลึงกับที่พบในแป้งมันเทศ

- ความชื้น ซึ่งเป็นผลมาจากสภาวะแล้ง จะมีผลต่ออัตราการคายน้ำและการสังเคราะห์แสงของพืช ซึ่งจะเกี่ยวข้องกับการสร้างแป้งในหัว

- ปริมาณแสงแดด

- Farm management

(4) การเก็บรักษาหัวมันหลังการเก็บเกี่ยว (post harvest technology) หัวมันภายหลังการเก็บเกี่ยวจะมีการเสื่อมเสียอย่างรวดเร็ว ซึ่งเป็นผลมาจากการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ต่าง ๆ ที่สามารถผลิตเอนไซม์ย่อยแป้งได้ ทำให้แป้งมีคุณสมบัติเปลี่ยนแปลงไป

2. กระบวนการผลิตแป้ง

แป้งที่มีกระบวนการผลิตแตกต่างกัน จะมีคุณสมบัติแตกต่างกันด้วยที่สำคัญได้แก่

(1) วิธีการผลิต ในกระบวนการผลิตที่มีการใช้เครื่อง decanter จะมีการแยกโปรตีนและไขมันทำให้แป้งที่ได้มีความบริสุทธิ์สูง

(2) น้ำที่ใช้ในการสกัดแป้ง ปริมาณและคุณภาพของน้ำที่ใช้จะให้แป้งที่มีคุณสมบัติต่างกันแป้งที่ผ่านการล้างด้วยน้ำสะอาด ปริมาณมาก จะมีสิ่งปนเปื้อนน้อยกว่าและมีความขาวมากกว่า

(3) ปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่ใช้ในน้ำกำมะถัน โรงงานส่วนใหญ่จะมีการใช้น้ำกำมะถันในกระบวนการผลิตเพื่อช่วยควบคุมปริมาณเชื้อจุลินทรีย์และช่วยฟอกสี แป้งที่มีการใช้กำมะถันสูงจะมีสีขาวมากกว่า แต่ขณะเดียวกันความหนืดของแป้งจะลดลงด้วย (Sriroth และคณะ,1999a)

(4) การอบแป้ง การอบแห้งจะมีการใช้ความร้อนสูงซึ่งมีผลต่อโครงสร้างและคุณสมบัติของแป้ง การอบแห้งเป็นการทำให้เกิดโครงสร้างเป็นรูในเม็ดแป้ง ซึ่งจะช่วยให้การเกิดปฏิกิริยากับน้ำ หรือการเข้าไปทำงานของเอนไซด์เกิดได้ดีขึ้น นอกจากนี้แป้งหมาดที่จะอบแห้งโดยส่วนใหญ่จะมีความชื้นอยู่ประมาณ 35-40 % เมื่อถูกความร้อนสูงจะทำให้เกิดheat moisture treatment ได้ ซึ่งจะทำให้โครงสร้างของแป้งเปลี่ยนไปและมีผลต่อคุณสมบัติของแป้งด้วย

3. การเก็บรักษา

ปัจจัยที่สำคัญที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงในคุณภาพและสมบัติทางเคมีฟิสิกส์ที่เปลี่ยนแปลงของแป้งมันสำปะหลังเมื่อมีมีการเก็บสต็อกในอายุต่างๆกัน มีหลายปัจจัยด้วยกัน ทั้งอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ รวมถึงระยะเวลาในการเก็บ เมื่อเก็บแป้งไว้ในที่ความชื้นสัมพัทธ์เพิ่มขึ้น แป้งจะมีการดูดซึมน้ำไว้มากขึ้นทำให้มีความชื้นสูงขึ้น (Shipman, 1967) และเมื่อความชื้นสัมพัทธ์สูง จะทำให้กำลังการพองตัวลดลง ในทางตรงกันข้ามการเก็บแป้งในที่ความชื้นสัมพัทธ์ต่ำทำให้แป้งมีความชื้นต่ำ ทำให้มีความสามารถในการดูดซึมน้ำได้เร็วและมากกว่าแป้งที่เก็บไว้ที่ความชื้นสัมพัทธ์สูง นั่นคือมีค่าดูดซึมน้ำ (water uptake) สูงกว่า และมีค่าการพองตัว (bulk swelling power) สูงกว่าด้วย อีกทั้งการเก็บที่ความชื้นสัมพัทธ์สูงและเก็บนานจะทำให้เกิดการเสื่อมเสียเนื่องจากจุลินทรีย์และปฏิกิริยาทางชีวเคมีได้ (Toledo, 1991) และจากการทดลองของ Numfor และคณะ (1995) พบว่าแป้งมันสำปะหลังจะมีค่ากำลังการพองตัวและร้อยละการละลายลดลงเมื่อมีการปะปนของเชื้อจุลินทรีย์เพิ่มขึ้น

จากการศึกษาของ Sriroth และคณะ (1998a) พบว่าแป้งมันสำปะหลังที่เก็บได้ในสภาพ 50 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 50 เปอร์เซ็นต์ มีการลดลงของความหนืดซึ่งมีความสัมพันธ์กับปริมาณของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในแป้ง แป้งที่มีปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์สูงจะมีการลดลงของความหนืดมากกว่าแป้งที่มีปริมาณซัลเฟอร์ออกไซด์ต่ำ ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในแป้งนั้นยังมีผลต่อการคงตัวของเม็ดแป้ง เช่น การทนต่อการย่อยโดยน้ำย่อยอะมิเลส การดูดซึมความชื้นในอากาศอีกด้วย (Sriroth และคณะ,1999a)

การดัดแปรแป้ง

ลักษณะของแป้งธรรมชาติ

จากพฤติกรรมของการนำแป้งไปใช้นั้นจะดูดน้ำ และประสิทธิภาพการดูดน้ำขึ้นอยู่กับชนิดของแป้ง เช่น การดูดน้ำของแป้งจากพืชหัวจะสูงกว่าแป้งจากธัญพืช นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับปัจจัยอื่นๆ เช่น ปริมาณอะมิโลเพคติน ขนาดและรูปร่างของเม็ดแป้ง และอื่น ๆ แป้งเมื่อมีการดูดน้ำเต็มที่ จะสังเกตการณ์ละลายของแป้งจะเริ่มจากด้านในแล้วกระจายออกมาด้านนอก โดยครั้งแรกอะมิโลสโมเลกุลสั้น ๆ จะซึมออกมาก่อน จากนั้นถ้ามีการกวนพร้อมกัน การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิก็จะทำให้เม็ดแป้งขยายใหญ่ขึ้น และยังมีปัจจัยอื่น ๆ ที่ส่งผลต่อคุณสมบัติของแป้ง เช่น

1. อุณหภูมิสูง การต้มแป้งที่อุณหภูมิสูงกว่า 100°ซ (Jet cooler) จะช่วยเร่งกระบวนการละลายของแป้ง และมีผลทำให้ความหนืดลดลง การแขวนลอยของเม็ดแป้งในน้ำเช่นนี้ จึงทำให้ ส่วนผสมน้ำเป็นสารละลายโพลีเมอร์ (polymer solution) อย่างไรก็ตามถ้าเมื่ออุณหภูมิสูงถึง 150°ซ หรือสูงกว่า พันธะ glucosidic link ที่อยู่ภายในโมเลกุลจะถูกตัดออกอย่างแน่นอน

2. การเสียดสีโดยทางกล (mechanical shearing) การเสียดสีนั้นเกิดจากการกวนแป้งเปียก และการส่งผ่านแป้งเปียกไปตามท่อด้วยปั้ม การเสียดสีดังกล่าวมีผลทำให้ความหนืดลดลง และความหนืดจะลดลงมากยิ่งขึ้น ถ้าแรงกวนและอุณหภูมิเพิ่มขึ้น

3. ความเป็นกรด ในส่วนผสมที่มีความเป็นกรดสูง (pH ต่ำ) ไฮโดรไลซ์ ของพันธะ α (1,4) จะเกิดรวดเร็วมากกว่าความเป็นกรดต่ำ (pH สูง)

4. เกลือ อีเลคโตไลท์มีผลเกี่ยวข้องไปถึงความหนืดได้โดยขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของเกลือ เช่น เกลือโซเดียมคลอไรด์ และโซเดียมซัลเฟตจะไปยับยั้งการพองตัวของเม็ดแป้งจุดเกิดข้นใส (gelatinizing point) จะเปลี่ยนไปทางอุณหภูมิสูงขึ้น ตรงข้ามกับเกลือออกไซด์ เช่น โซเดียมไฮดรอกไซด์จะไปช่วยให้แป้งละลาย

5. อุณหภูมิต่ำ ในสภาพที่อุณหภูมิต่ำโมเลกุลของแป้งเปียกจะเกิดปรากฏการณ์ที่เรียกว่า การกลับคืนตัวของแป้ง (retrogradation) กล่าวคือ ถ้าความเข้มข้นของแป้งต่ำกว่าร้อยละ 1.0 และอยู่ในสภาพที่อุณหภูมิต่ำกว่า 10°ซ แล้ว โมเลกุลของแป้งที่เป็นเส้นตรงก็จะตกตะกอน ถ้ามีส่วนเป็นของแข็งกระจายอยู่สูง ก็จะเกิดโครงสร้างที่เรียกว่า เจล ซึ่งมีลักษณะเหนียวหนืด ทั้งนี้มีปัจจัยหลายอย่างที่เกี่ยวข้อง เช่นชนิดของแป้ง ปริมาณอะมิโลส และสภาพการแขวนลอย ซึ่งภายใต้สภาพอุณหภูมิต่ำรวมทั้งระยะเวลา ก็จะมีผลต่อการทำให้น้ำอิสระแยกออกไป

คุณลักษณะของแป้งที่ผู้ใช้ต้องการ

จากการพัฒนาการหุงต้มใหม่ คือ ใช้อุณหภูมิสูง (Jet cookers) และการประยุกต์นำไปใช้มากขึ้น จึงทำให้คุณสมบัติเฉพาะบางอย่างของแป้งเป็นที่ต้องการของผู้ใช้ จึงเป็นสาเหตุให้มีการผลิตแป้งเคมี เพื่อให้มีคุณสมบัติตามต้องการคุณสมบัติเหล่านั้น ได้แก่

1. ความคงทนของความหนืดทั้งในสภาพที่อุณหภูมิสูง หรืออุณหภูมิต่ำ
2. การต้านทานต่อแรงเสียดดี
3. ความสามารถทำให้เกิดความข้นเหนียวภายใต้สภาวะที่เป็นกรด หรือในระหว่างการทำให้ปลอดเชื้อ (sterilization)
4. มีคุณสมบัติเป็นเคทอิออนิก (cationic power)

ดังนั้นจึงได้พยายามนำแป้งมาแปรสภาพ โดยใช้สารเคมีทำให้ได้แป้งเคมีที่มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับจุดประสงค์ที่จะนำไปใช้ดังกล่าว

การดัดแปรแป้งนั้น มีผู้แบ่งกลุ่มไว้หลายประเภทและหลายรูปแบบ เช่น BeMiller (1997) ได้แบ่ง กลุ่ม ดังนี้

1. การดัดแปรทางเคมี แบ่งออกเป็น

(1) การเกิดอนุพันธ์

-การแทนที่สารในโมเลกุลเดี่ยวของแป้ง แอซิเตท แป้งไฮดรอกซีเอทิล

-การแทนที่โมลกุลที่มีหมู่ฟังก์ชั่นมากกว่า 1 หมู่ เช่น แป้งครอสลิง

(2) การลดขนาดโมเลกุลแป้งโดยกรด

(3) เดรกซ์ทริไนเซชันการลดขนาดหรือเปลี่ยนการจับเกาะโดยใช้ความร้อนหรือความร้อนกับกรด เช่น มอลโตเดรกซ์ทริน

(4) ออกซิเดชัน ทำให้เกิดการฟอกสีและลดขนาดโมเลกุลโดยปฏิกิริยาออกซิเดชัน เช่น แป้งออกซิไดซ์

(5) การย่อยสลาย โดยใช้น้ำย่อย หรือกรด เพื่อย่อยสลายน้ำตาลเป็นโมเลกุลเล็ก

2. การดัดแปรทางกายภาพ แบ่งออกเป็น

(1) เจลาติไนเซชั่น เป็นการให้ความร้อนแป้งจนผ่านขั้นตอนของเจลาติไนเซชั่นแล้วทำให้แห้งทันที

(2) แป้งละลายน้ำเย็น เป็นการแปรรูปแป้งจนได้แป้งที่สามารถละลายในน้ำเย็นโดยไม่ต้องผ่านขั้นตอนการเกิดเจลาติไนเซชั่น

(3) การลดขนาดแป้งโดยทางกล การทำให้เม็ดแป้งแตกโดยทางกล จะเม็ดแป้งเล็กกว่าปกติ

(4) annealing เป็นการให้ความร้อนในขณะที่เม็ดแป้งอยู่ในอุณหภูมิต่ำกว่าจุดเจลาติไนเซชัน

(5) การแปรรูปด้วยความชื้น เป็นการให้ความร้อนสูงกว่าจุดเจลาติไนเซชันแก่แป้งในขณะที่แป้งมีความชื้นต่ำ

3. การดัดแปรทางเทคโนโลยีชีวภาพ เป็นการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของแป้งโดยการเปลี่ยนแปลงทางพันธุกรรม

(1) waxy starch คือ แป้งที่มีอะมิโลสต่ำ หรือ ไม่มีเลย

(2) high amylose starch คือ แป้งที่มีอะมิโลสสูง

ซึ่งคุณสมบัติต่างๆของแป้งทั้งก่อนดัดแปรและหลังดัดแปร จึงทำให้มีการใช้ประโยชน์จากแป้งมันสำปะหลังในอุตสาหกรรมต่างๆ และเป็นวัตถุดิบเพื่อการแปรรูปหลากหลายชนิด ดังรายงาน ของ ชาญ(2537) ดังนี้

1. **การใช้แป้งมันสำปะหลังเป็นวัตถุดิบหลักในการแปรรูป**

1.**ผงชูรส** ผงชูรสที่ใช้ในการปรุงอาหารมีชื่อทางเคมีคือ โมโนโซเดียมกลูตาเมต (Monosodium glutamate) เป็นอุตสาหกรรมที่ใช้แป้งมันสำปะหลังถึงประมาณ 20 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณแป้งที่ผลิตได้ทั้งหมด

การทำโมโนโซเดียมกลูตาเมตนั้นมีขั้นตอนการทำโดยใช้แป้งหรือกากน้ำตาลที่เรียกว่า โมลาส (Molasses) จากโรงงานน้ำตาล หรือทั้งสองอย่างมาผสมกัน หลังจากนั้นก็เปลี่ยนย่อยแป้งให้เป็นน้ำตาลกลูโคส (Glucose) โดยใส่เอนไซม์อมัยเลส (Amylase) และอมัยโลกลูโคซิเดส (Amyloglucosidase) หมักและใส่จุลินทรีย์ที่เป็นแบคทีเรีย ชื่อ *Micrococcus glitamicus* หรือ *Brevibacterium spp.* หลังจากหมักจนได้ที่นำไปทำปฏิกิริยากับโซดาไฟจะได้โมโนโซเดียมกลูตาเมต ทำให้ตกผลึกซึ่งเราเรียกกันว่า ผงชูรส

2.**ไลซีน** ไลซีนเป็นกรดอะมิโนชนิดจำเป็นต่อร่างกาย (Essential amino acid) ที่สัตว์ใช้สร้างโปรตีนและไม่สามารถสังเคราะห์ขึ้นเองได้ต้องได้รับจากอาหารสัตว์ อย่างไรก็ตามอาหารสัตว์ตามธรรมชาติมีแอล-ไลซีน น้อยมากจนไม่เพียงพอต่อความต้องการ ดังนั้นจึงมีการผลิตแอล-ไลซีน HCl ขึ้นมาเพื่อปรับปรุงคุณภาพของอาหารสัตว์

กระบวนการผลิตแอล-ไลซีน HCl โดยใช้เอนไซม์บางชนิดเปลี่ยนแปลงมันสำปะหลังเป็นน้ำตาลกลูโคสเพื่อนำไปใช้เป็นแหล่งคาร์บอนเพาะเลี้ยงจุลินทรีย์ที่สามารถผลิตแอล*ไลซีน ได้โดยใช้ร่วมกับแหล่งไนโตรเจนและสารอาหารจำเป็นอื่น ๆ ด้วยวิธีการหมักหลังจากนั้นจะใช้ ion-exchange resin ดูด แอล-ไลซีน HCl จากสารสะลายที่ได้จากการหมัก แล้วใช้น้ำแอมโมเนียไล่แอล-ไลซีน HCl ออกจาก ion-exchante resin อีกทอดหนึ่ง และนำสารละลายนั้นทำให้เข้มข้นจนได้ผลึกของแอล-ไลซีน HCl ซึ่งจะถูกแยกและอบแห้งต่อไปก่อนบรรจุถุงไว้จำหน่าย

3.**สารความหวาน**

กลูโคส ผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกลูโคสที่ผลิตในประเทศไทยมี 3 ชนิด

1. กลูโคสเหลว (Glucose syrup) หมายถึงสารละลาย แซคคาไรด์ (Sacharide) ที่ได้จากการย่อยแป้ง ซึ่งได้ผ่านกรรมวิธีการทำให้บริสุทธิ์และทำให้เข้มข้นแล้วปัจจุบันเป็นที่นิยมผลิตกันมาก เนื่องจากสามารถนำไปใช้เป็นวัตถุในการผลิตลูกกวาดและเครื่องดื่มหลายชนิด

2. กลูโคสผง (Glucose powder) กลูโคสเหลวที่ได้ทำให้แห้งเป็นกลูโคสผล นำมาผลิตเดกซโตรส อีกสองชนิดคือ

- เดกซโตรสโมโนไฮเดรท (Dextrose monohydrate) หมายถึง เดกซโตรสที่มีความชื้นส่วนมากใช้ในอุตสาหกรรมอาหารกระป๋อง สำหรับอาหารกระป๋องบางประเภทใช้ซูโครส (Sucrose)

- เดกซโตรสแอนไฮดรัส (Dextrose anhydrous) หมายถึง เดกซโตรสที่ไม่มีความชื้น และผ่านกรรมวิธีการทำให้บริสุทธิ์และตกผลึก ใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตยา

3.ซอบิตอล (Sorbitol) เป็นผลิตภัณฑ์ที่แปรรูปมาจากเดกซโตรสละลายที่ความเข้มข้นร้อยละ 70 ใช้มากในอุตสาหกรรมยาสีฟัน และเครื่องสำอาง คู่แข่งที่สำคัญของซอบิตอลคือกลีเซอรีน

ในปี 2532 ประเทศไทยมีโรงงานผลิตสารความหวาน 7 โรง ส่วนใหญ่ตั้งอยู่ในเขตกรุงเทพฯ และจังหวัดใกล้เคียง ในจำนวนนี้ 4 โรง ผลิตกลูโคสเหลวอย่างเดียว และ 1 โรง ผลิตซอบิตอลอย่างเดียว อีก 2 โรง ผลิตหลายอย่าง โรงงานที่ผลิตซิบิตอลอย่างเดียวถือหุ้นโดยชาวญี่ปุ่น 100 เปอร์เซ็นต์ และผลิตซอบิตัล พาว์เดอร์ที่ใช้เคลือบเกล็ดปลาเพื่อให้มีความชื้นก่อนนำเข้าแช่แข็ง โรงงานผลิตกลูโคสเหลวได้เริ่มผลิตมาตั้งแต่ปี 2493 กลูโคสผงผลิตครั้งแรกประมาณปี 2519 ส่วนซอบิตอลเริ่มผลิตปี 2523 โดยก่อนหน้านี้ต้องนำเข้าจากต่างประเทศทั้งสิ้น

การผลิตกลูโคสในประเทศไทยใช้แป้งมันสำปะหลังชนิดดี (super grade) เป็นวัตถุดิบซึ่งสามารถใช้แป้งข้าวโพดแทนได้แต่ต้องใช้เครื่องจักรต่างประเภทกัน สำหรับโรงงานผลิตกลูโคสโดยทั่วไปใช้แป้งมันสำปะหลังเป็นวัตถุดิบ เนื่องจากประเทศไทยมีโรงงานผลิตแป้งข้าวโพดเพียงโรงเดียว และภาษีนำเข้าแป้งข้าวโพดสูงถึง 60 เปอร์เซ็นต์

ไฮฟรักโตส ความพยายามผลิตไฮฟรักโตสเพื่อใช้ในอุตสาหกรรม เริ่มในประเทศออสเตรีย เมื่อปี 2538 แต่ประสบความสำเร็จครั้งแรกในประเทศญี่ปุ่น (โดยบริษัทคลินตัน จำกัด) เมื่อปี 2508 ต่อมาได้พัฒนากระบวนการ Isomerzation โดยใช้เอนไซม์ isomerase แบบตรึงแน่น (immobilized) สามารถผลิตได้ฟรักโตส ปริมาณ 42 เปอร์เซ็นต์ กลูโคสปริมาณ 52 เปอร์เซ็นต์ และ โอลิโกแซคคาไรด์ (Oligosaccharides) ปริมาณ 6 เปอร์เซ็นต์ ในประเทศไทยในปัจจุบันมีผู้ผลิตเพียงรายเดียวคือ บริษัทเจ้าคุณเกษตรพืชผล ก่อตั้งเมื่อปี 2527 มีกำลังการผลิตประมาณ 50 ตันต่อวัน

คุณสมบัติทางเคมีของน้ำตาลไฮฟรักโตส 42 เปอร์เซ็นต์

น้ำตาลไฮฟรักโตสให้รสหวานเร็วกว่าและจางเร็วกว่าน้ำตาลทรายซึ่งทำให้รู้สึกใหม่สดเสมอ มีรสหวานมากขึ้นเมื่ออยู่ในอุณหภูมิต่ำหรือมีความเข้มข้นสูง หรือเมื่อใช้ร่วมกับสารให้ความหวานตัวอื่น ความหวานโดยเปรียบเทียบน้อยกว่าน้ำตาลทราย คือ 0.8-0.9 : 1 แต่สามารถหมักได้โดยตรง ขณะที่น้ำตาลทรายต้องผ่านการไฮโดรไลซ์เป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวก่อน นอกจากนี้ยังคงทนต่อความเป็นกรดได้ดี

ประโยชน์ของน้ำเชื่อมไฮฟรักโตส 42 เปอร์เซ็นต์

ปัจจุบันมีการนำน้ำเชื่อมไฮฟรักโตส 42 เปอร์เซ็นต์ ไปใช้ในอุตสาหกรรมหลายชนิด เช่น อุตสาหรรมเครื่องดื่ม ขนมอบ อาหารนม ขนมหวาน (ท้อฟฟี่สอดไส้) อาหารสำเร็จรูป (ประเภทเนื้อสัตว์ อาหารทะเล น้ำซอสและเครื่องปรุงรส ผลไม้กวน แช่อิ่ม น้ำปรุงรสสลัด น้ำมะเขือเทศปรุงรส และผักดองต่าง ๆ และอุตสาหกรรมผลไม้กระป๋อง

4. แป้งแปรรูป

การดัดแปรแป้งมันในประเทศไทยขณะนี้ใช้อยู่ 3 วิธี คือ

1. วิธี Degradation หรือ Conversion คือ การทำให้ความเหนียวของแป้งลดลง ซึ่งสามารถทำได้ดังนี้ คือ

1.1 Acid Conversion คือการนำแป้งมาเติมกรดเกลือ และกรดกำมะถันเพื่อให้ความเหนียวของแป้งลดลง และสามารถคงรูปเจล (Gel) ได้โดยการทำให้เย็น แป้งที่ได้เรียกว่า Acid Modified Starch

2. วิธี Pregelatinization คือการนำแป้งที่มีความเข้มข้นร้อยละ 40-50 เทลงบนผิวถังร้อน แป้งจะแห้งและสุกเป็นแผ่นบาง ๆ จากกนั้นนำแผ่นแป้งไปบดผ่านตะแกรงเป็นแป้งอีกครั้ง แป้งที่ได้นี้จะมีคุณสมบัติเป็นกาวทันทีเมื่อถูกน้ำเย็น จึงมีชื่อเรียกว่า Cold Water Soluble Starch (CWS) หรือแป้งอัลฟา (Alpha starch) หรือแป้งที่แปรรูปโดยกระบวนการทางกายภาพ (Physically modified หรือ Converted starch) ซึ่งแป้งที่ได้นี้จะสุก 100 เปอร์เซ็นต์ สามารถนำไปใช้ในงานที่ไม่ต้องใช้ความร้อนในการทำให้เป็นกาวได้

3. วิธี Derivatives คือการใช้สารเคมีในการเปลี่ยนโมเลกุล หรือคุณสมบัติของแป้งจากวิธีนี้จะได้แป้งแปรรูป 2 ประเภท คือ

3.1 Starch ester เช่น

- Acetylated starch ใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร กระดาษและกาว
- Phosphoric acid ester ใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร

3.2 Starch ether เช่น

- Carboxymethyl ether, Hydroxyethlated starch, Hydropropylated starch และ Cationic starch แป้งกลุ่มนี้ทนความเย็นได้ดีกว่า และมีราคาแพงกว่า Starch ester
- Cross-linked starch ใช้ในขั้นตอนสุดท้ายของการแปรรูปอาหารเพื่อให้แป้งคงทนต่อภาวะกรดด่างผิดปกติ แรงกวนและความร้อน

ปัจจุบัน ประเทศไทยมีการผลิต Pregelatinized starch หรือดัดแปรแป้งโดยกระบวนการทางกายภาพ หรือแป้งอัลฟา (Alpha starch) ประมาณ 60,000 ตันต่อปี มีบริษัทผู้ผลิต 2 บริษัทแป้งอัลฟาที่ผลิตได้จะส่งออกไปยังไต้หวันเพื่อทำอาหารปลาไหลเกือบทั้งสิ้น อย่างไรก็ดี แป้งอัลฟานี้มีความเป็นไปได้ทางเทคนิคที่จะใช้เป็นส่วนประกอบในการทำไอศกรีม (ประเทศเกาหลีนิยมใช้) ยากันยุง น้ำซุป และกาวสำหรับกระดาษลูกฟูก

ดังนั้น การผลิตแป้งดัดแปรจึงเป็นมิติใหม่ของอุตสาหกรรมแป้งไทย เพราะได้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางเทคโนโลยีที่สำคัญจากกระบวนการผลิตที่อาศัยเครื่องจักรกล แม้การผลิตแป้งมันจะมีการใช้สารเคมีบ้างแต่ก็ไม่มาก ต่อมาเมื่อมีการผลิตแป้งดัดแปร ซึ่งต้องอาศัยกระบวนการทางเคมี กระบวนการผลิตจึงมีความยุ่งยากขึ้น จำเป็นต้องอาศัยความรู้พื้นฐานทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมากขึ้น เพราะการผลิต

แป้งดัดแปรต่างจากการผลิตแป้งมันคือ มีมาตรฐานอุตสาหกรรม (Industrial specification) ที่ชัดเจน ผลิตภัณฑ์ต้องมีคุณภาพเที่ยงตรงสม่ำเสมอ

2. การใช้แป้งมันสำปะหลังเป็นวัตถุดิบประกอบในอุตสาหกรรมอื่น

1. **อุตสาหกรรมทอผ้า** อุตสาหกรรมทอผ้านั้นจะต้องใช้แป้งมันสำปะหลังด้วยโดยด้ายที่จะใช้ทอผ้านั้นจะต้องผ่านการชุบแป้งเสียก่อน ด้ายจึงลื่นและเรียบไม่มีขน และเป็นตัวหล่อลื่นไม่ให้เส้นด้ายติดกันระหว่างการเคลื่อนที่ของหูกทอผ้า นอกจากนี้ในขั้นตอนการพิมพ์ลายผ้า แป้งจะช่วยทำให้พิมพ์ลายได้สม่ำเสมอ การใช้แป้งมันสำปะหลังในการทอผ้านั้น บางโรงงานยังใช้แป้งแปรรูปที่สั่งเข้ามาจากต่างประเทศ เพราคุณสมบัติเหมาะสมกว่า แต่อย่างไรก็ตามปัจจุบันมีโรงงานในประเทศที่เริ่มผลิตแป้งแปรรูปจากแป้งมันสำปะหลังขึ้นแล้ว

2. **อุตสาหกรรมกระดาษ** การทำกระดาษนั้นต้องใช้เยื่อกระดาษที่ทำจากไม้ต่าง ๆ เช่น ไม้สน ไม้ไผ่ ไม้ยูคาลิปตัส เป็นต้น ทำให้เป็นเยื่อเล็ก ๆ แล้วนำเยื่อกระดาษเหล่านี้มาเรียงเป็นแผ่น อย่างไรก็ตามแผ่นกระดาษจะไม่เรียบ จะต้องมีการฉาบผิวด้วยกาวจากแป้งทำให้กระดาษเรียบ และยังเข้าไปอยู่ตามรูของใบกระดาษ ช่วยทำให้กระดาษไม่ซึมหมึกเวลาเขียนด้วยน้ำหมึก หรือพิมพ์สี นอกจากนั้นกาวจากแป้งยังช่วยทำให้กระดาษเหนียวยิ่งขึ้น

3. **อุตสาหกรรมไม้อัด** แป้งมันสำปะหลังมีคุณสมบัติเป็นกาวจึงถูกนำไปใช้ในอุตสาหกรรมไม้อัด เนื่องจากในการผลิตไม้อัด ต้องประกบไม้ให้ติดกันโดยใช้กาว นอกจากนี้การใช้แป้งเป็นส่วนผสมยังเป็นการลดต้นทุนการผลิตกาวเพราะกาวที่ผลิตได้นั้นใช้แป้งเป็นส่วนผสมถึง 50 เปอร์เซ็นต์ และแป้งมันสำปะหลังยังมีคุณสมบัติพิเศษกว่าแป้งประเภทอื่น ๆ คือ เนื้อแป้งมีความละเอียด ทำให้ไม่มีการตกตะกอนเมื่อนำมาใช้ผสมทำกาว นอกจากนี้ราคายังถูกกว่าด้วย

4. **อุตสาหกรรมกาว** แป้งมันมีคุณสมบัติพิเศษ คือ เมื่อถูกความร้อนหรือถูกสารเคมีจะมีความเหนียวและมีคุณสมบัติสามารถรักษาสภาพความเหนียวได้เหมือนเดิมไม่มีการคืนตัวแป้งมันที่จะใช้ทำกาวจะต้องเป็นแป้งบริสุทธิ์ มีความเป็นกรดต่ำ ซึ่งก็คือแป้งประเภทเดกซ์ทริน กาวเหล่านี้ส่วนใหญ่จะนำไปใช้ในการผลิตซองจดหมาย สติ๊กเกอร์ Gummed paper และ Gummed tape

5. **อุตสาหกรรมอาหารและเครื่องดื่ม** มีอุตสาหกรรมอาหารหลายประเภทที่ต้องใช้แป้งมันสำปะหลังเป็นส่วนประกอบโดยมีวัตถุประสงค์ในการใช้ที่แตกต่างกัน เช่น ใช้เพื่อเพิ่มความข้น ใช้เพิ่มปริมาณหรือลดต้นทุน และใช้ทำให้อาหารคงสภาพที่ต้องการ

ผลิตภัณฑ์บะหมี่สำเร็จรูป ก๋วยเตี๋ยว วุ้นเส้น สาคู ใช้แป้งมันเป็นส่วนผสม โดยมีวัตถุประสงค์ในการใช้เพื่อต้องการลดต้นทุนเนื่องจากแป้งมันสำปะหลังมีราคาถูกกว่าแป้งชนิดอื่น ๆ แป้งที่จะใช้จะเป็นแป้งที่ยังไม่ได้แปรรูป

ซอสต่าง ๆ เช่น ซอสมะเขือเทศ อาหารกระป๋อง ใช้แป้งเพื่อเพิ่มความข้น ไม่ให้อาหารหรือซอสตกตะกอน โดยจะใช้แป้งเป็นส่วนผสมประมาณร้อยละ 3-4 ของน้ำหนักอาหาร แป้งที่ใช้เป็นแป้งแปรรูปประเภท Cross-linked starch และ Hydroxypropylated starch

ลูกกวาด ใช้แป้งแปรรูปประเภท Hydroxypropylated starch เพื่อให้ลูกกวาดมีความแข็ง

ไอศกรีม ลักษณะของไอศกรีม คือการตีแป้งให้มีฟองและไม่ต้องการให้ฟองยุบ ดังนั้นจึงต้องเติมแป้งประเภท Gum ซึ่งมีคุณสมบัติทำให้อาหารคงสภาพที่ต้องการ

นอกจากแป้งจะใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร และเครื่องดื่มแล้ว ยังใช้เป็นส่วนผสมในอาหารสัตว์ โดยเฉพาะใช้เป็นตัวยึดในการผลิตอาหารปลาไหลโดยแป้งที่ใช้เป็นประเภท Pregelatinized Alpha starch

ผลิตภัณฑ์ใหม่จากแป้งมันสำปะหลัง

1. **สารดูดน้ำ** จากผลงานวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่จากแป้งมันสำปะหลัง มูลนิธิสถาบันพัฒนามันสำปะหลังแห่งประเทศไทย รายงานว่า สารดูดน้ำ ได้แก่โพลิเมอร์ดูดซึมน้ำมาก (High-water absorbing polymer, HWAP) เป็นโพลิเมอร์ที่สามารถดูดซึมของเหลว เช่น น้ำสารละลายอิเลกโทไรด์ หรือของเหลวในร่างกายมนุษย์ได้ตั้งแต่ 15 เท่า ถึงหลายร้อยเท่าของน้ำหนักตนเอง

การใช้งานของโพลิเมอร์ดูดซึมน้ำมากมีหลายด้าน เช่น ใช้งานด้านอนามัยทางการแพทย์ ปริมาณที่ใช้มากที่สุดได้แก่ ผ้าอ้อมสำหรับเด็กและผู้ใหญ่ เพื่อดูดซึมของเหลวภายในร่างกายจากการขับถ่ายที่ใช้ครั้งเดียวแล้วทิ้ง ผ้าอนามัยสตรีและแผ่นดูดซับที่ใช้ในโรงพยาบาล ส่วนการใช้ในด้านอื่น ๆ ได้แก่ การใช้ในด้านการเกษตรทั้งในพืชไร่และพืชสวนเพื่อปรับสภาพดินให้อุ้มน้ำได้มากขึ้น ใช้ทางอุตสาหกรรม เช่น สารข้นสำหรับหมึกสกรีนระบบน้ำ วัสดุดูดน้ำออกจากเชื้อเพลิง วัสดุป้องกันน้ำสำหรับสายเคเบิ้ลใต้ดิน และการใช้งานด้านอื่น ๆ เช่น ของเหลวที่ใช้ป้องกันไฟป่า กระดาษบุผนังสำหรับควบคุมความชื้น แผ่นเย็นสำหรับลดไข้

2. **พลาสติกที่สลายได้ทางชีวภาพ** จากผลงานงานวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่จากแป้งมันสำปะหลังของมูลนิธิสถาบันพัฒนามันสำปะหลังแห่งประเทศไทย รายงานว่า พลาสติกที่สลายได้ทางชีวภาพจะมีปริมาณการใช้เพิ่มมากขึ้นประมาณ 75 เปอร์เซ็นต์ต่อปี มีประโยชน์ในการใช้เพื่อป้องกันและรักษามลภาวะเป็นพิษแก่สภาพแวดล้อม โดยทำเป็นภาชนะใส่อาหารต่าง ๆ แทนพลาสติก การใช้ด้านเกษตรกรรมเพื่อควบคุมการปลดปล่อยสารอาหาร ยาฆ่าแมลง ยาปราบศัตรูพืชและปุ๋ย และใช้ทางด้านการแพทย์เพื่อควบคุมการปลดปล่อยตัวยาให้มีอัตราการปลดปล่อยช้าและคงที่ตลอดเวลา

การใช้แป้งมันสำปะหลังเป็นวัตถุดิบ นอกจากจะสามารถผลิตพลาสติกที่สลายได้ทางชีวภาพได้แล้วยังสามารถลดต้นทุนการผลิตได้ด้วย ปัจจุบันใช้แป้งจากข้าวโพดและมันเทศ ซึ่งมีคุณสมบัติเช่นเดียวกันกับมันสำปะหลังและสามารถใช้แทนกันได้

3. **งานวิจัยและพัฒนาการผลิตไซโคลเดกซ์ทริน** จากรายงานของมูลนิธิสถาบันพัฒนามันสำปะหลังแห่งประเทศไทยกล่าวว่า ไซโคลเดกซ์ทริน (Cyclodextrin, CD) เป็นสารประกอบประเภทโอลิโกแซค

คาไรด์ มีโครงสร้างเป็นวงแหวนปิดของคลูโคสเชื่อมต่อกันด้วยพันธะ 2-1, 4 ไกลโคซิดิกที่สำคัญในธรรมชาติมี 3 ชนิด คือ 2-, 13- และ 8-CD ซึ่งประกอบด้วยคลูโคส 6, 7 และ 8 ตามลำดับ

ไซโคลเดกซ์ทริน เป็นผลิตภัณฑ์อีกชนิดหนึ่งซึ่งสามารถใช้แป้งมันสำปะหลังเป็นวัตถุดิบ เกิดจากการเร่งปฏิกิริยาของเอนไซม์ Cyclodextrin Glycsyltransferase (CG Tase) ที่สามารถเปลี่ยนสับสเตรทแป้งให้เป็นผลิตภัณฑ์ไซโคลเดกซ์ทริน มีประโยชน์ในการรักษาสภาพรส กลิ่น สี ลดการละเหย เพิ่มความเสถียร และเพิ่มการละลายของสารบางชนิด ตลอดจนใช้ในการกำจัดสารที่ไม่ต้องการออกจากระบบ ซึ่งสามารถนำไปใช้ในอุตสหกรรมต่าง ๆ ได้มากมายหลายชนิด และคาดว่าจะมีการใช้อย่างกว้างมากยิ่งขึ้น

4. **การผลิตแอลกอฮอล์จากมันสำปะหลัง** หัวมันสำปะหลังส่วนใหญ่ประกอบด้วยแป้ง ซึ่งแป้งสามารถเปลี่ยนเป็นแอลกอฮอล์ชนิดที่เรียกว่าเอทานอล (Ethanol) แอลกอฮอล์ที่ได้นี้เมื่อนำไปผสมน้ำมันเบนซินในอัตรา 10-20 : 90-80 ส่วน สามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับรถยนต์ที่เรียกว่าก๊าซโซฮอล์ (Gasohol) การใช้มันสำปะหลังเพื่อผลิตเป็นแอลกอฮอล์เพื่อใช้เป็นพลังงานทดแทน กำลังได้รับความสนใจเป็นอย่างยิ่ง ในบางประเทศโครงการใช้แอลกอฮอล์เพื่อผลิตก๊าซโซฮอล์ได้เริ่มมาแล้ว เช่น ที่บราซิล ผลิตแอลกอฮอล์จากอ้อย และมันสำปะหลัง ส่วนสหรัฐอเมริกา ผลิตจากข้าวโพด จากสภาวะน้ำมันมีราคาแพง ขณะนี้ประเทศไทยเองก็ได้เริ่มผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลังเพื่อใช้ผสมกับน้ำมันเบนซินสำหรับใช้กับรถยนต์ ซึ่งจะสามารถลดการนำเข้าน้ำมันเชื้อเพลิงจากต่างประเทศได้ มันสำปะหลังที่เกษตรกรผลิตจะมีตลาดเพิ่มขึ้น ประชาชนมีงานทำมากขึ้น และยังช่วยลดภาวะเป็นพิษของบรรยากาศ เพราะช่วยลดปริมาณสารตะกั่วในน้ำมันเบนซินลง โดยสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ได้ทดลองผลิตแอลกอฮอล์ไร้น้ำจากหัวมันสำปะหลังสด และได้ทดลองจำหน่ายก๊าซโซฮอล์ ตลอดจนการศึกษาผลต่อเครื่องยนต์ของรถยนต์ที่ใช้ก๊าซโซฮอล์ ซึ่งได้ผลดี นอกจากนั้นยังมีโรงงานต้นแบบที่พร้อมจะแนะนำผู้ลงทุน กรรมวิธีการผลิตแอลกอฮอล์ตามแบบโรงงานต้นแบบของสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทยนั้น ใช้หัวมันสำปะหลังสดเป็นวัตถุดิบ โดยนำมาล้างบดและย่อยสลายแป้งให้เป็นน้ำตาล หลังจากนั้นจึงนำไปหมักโดยยีสต์เพื่อเปลี่ยนน้ำตาลเป็นแอลกอฮอล์เสร็จแล้วนำไปกรองและกลั่นเพื่อให้ได้ แอลกอฮอล์ : เอทานอลไร้น้ำ บริสุทธิ์ 99.5 เปอร์เซ็นต์

เอทานอลไร้น้ำ (บริสุทธิ์ 99.5 เปอร์เซ็นต์) สามารถใช้ผสมกับเบนซินชนิดธรรมดาเพื่อเพิ่มค่าออกเทนโดยผสมแอลกอฮอล์ประมาณ 10-15 เปอร์เซ็นต์ ใช้แทนเบนซินชนิดพิเศษ โดยน้ำมันผสมแอลกอฮอล์นี้เรียกว่า ก๊าซโซฮอล์ สามารถใช้กับรถยนต์ทั่วไปโดยไม่จำเป็นที่จะต้องปรับแต่เครื่องยนต์ และยังช่วยลดมลภาวะของอากาศเพราะไม่มีสารตะกั่ว นอกจากนั้นการเผาไหม้ในเครื่องยนต์จะดีขึ้น และช่วยลดก๊าซคาร์บอนมอนน็อกไซด์ ที่ออกมาจากท่อไอเสีย ปริมาณการใช้น้ำมันเบนซินชนิดพิเศษในประเทศในประเทศไทยปี 2529 ประมาณ 932 ล้านลิตร และเพิ่มเป็น 1,113 ล้านลิตรในปี 2530 ถ้าใช้เอทานอลไร้น้ำจากมันสำปะหลังเพื่อผสมเบนซินในอัตราขั้นต่อ 10 เปอร์เซ็นต์ แต่ละปีจะใช้แอลกอฮอล์เพื่อผสมน้ำมันถึง 111 ล้านลิตร ดังนั้น ถ้าต้องใช้แอลกอฮอล์ปีละ 111 ล้านลิตร ต้องใช้หัวมันสำปะหลังสดเป็นวัตถุดิบปีละประมาณ 600,000 ตัน สำหรับการจัดทำนโยบายพลังงานทดแทนของประเทศไทยเพื่อกำหนดเป้าหมายการใช้พลังงาน

จากพืช ณ ปี 2554 รัฐบาลได้มีมาตรการยกเลิกการใช้สาร MTBE โดยใช้เอทานอลเพื่อทดแทน MTBE ในน้ำมันเบนซิน 95 และทดแทนเนื้อน้ำมันในเบนซิน 91 วันละ 2.5 ล้านลิตร ในปี 2549 และจะเพิ่มการใช้เอทานอลเป็นเชื้อเพลิงเป็นวันละ 3 ล้านลิตร ภายในปี 2554 และมีมาตรการให้ก่อสร้างโรงงานเอทานอล รวม 24 โรง มีกำลังการผลิตรวม 4.03 ล้านลิตรต่อวัน โดยผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลัง กากน้ำตาล และ อ้อย

จากประโยชน์ที่หลากหลายของแป้งมันสำปะหลัง พบว่าความต้องการใช้แป้งเพื่ออุตสาหกรรมต่างๆ ภายในประเทศ ในปี 2541-2548 ดังแสดงในตารางที่ 31

ตารางที่ 31 ประมาณการความต้องการใช้แป้งมันสำปะหลังภายในประเทศปี 2541-2548

(ช่วงเดือนตุลาคม-กันยายน)

ที่	รายการ	ปี						
		2541/42	2542/43	2543/44	2544/45	2545/46	2546/47	2547/48
1	ผงชูรส	180,000	180,000	200,000	200,000	250,000	250,000	250,000
2	สารความหวาน (กลูโคส,ไฮฟรุกโตสซอบิทอล)	160,000	200,000	230,000	240,000	280,000	380,000	350,000
3	ผู้ค้าส่ง (ยี่ปั๊ว) , อุตสาหกรรมอาหาร อุตสาหกรรมครัวเรือน	180,000	180,000	200,000	200,000	220,000	200,000	200,000
4	กระดาษ	85,000	100,000	100,000	100,000	100,000	120,000	120,000
5	สาคู	55,000	60,000	60,000	60,000	50,000	50,000	50,000
6	แป้งแปรรูป , แป้งดัดแปร	50,000	50,000	70,000	70,000	70,000	150,000	150,000
7	สิ่งทอ	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000
8	อื่น ๆ (กาว ,ยาง , ไม้อัด ,อาหารสัตว์ ฯลฯ)	20,000	20,000	20,000	20,000	20,000	20,000	20,000
	รวม	740,000	800,000	890,000	900,000	1,00,000	1,180,000	1,150,000

(ที่มา : สมาคมการค้ามันสำปะหลังไทย , 2549)

ภาพที่ 32 แสดงตัวอย่างผลิตภัณฑ์จากแป้งมันสำปะหลัง

เอกสารอ้างอิง

กล้าณรงค์ ศรีรอต. 2543. เทคโนโลยีของแป้ง. บริษัท เท็กซ์ แอนด์ เจอร์นัล พับลิเคชั่น จำกัด,กรุงเทพฯ. 225 น.

กล้าณรงค์ ศรีรอต กาญจนา กู้โรจนวงศ์ และ วิไล สันติโสภาศรี.2541. โครงสร้างของอะมิโลส อะมิโลเพกทิน และคุณสมบัติของแป้งมันสำปะหลังที่สกัดได้จากเกษตรศาตร์ 50 ในอายุต่างๆกัน. ใน การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาตร์ ครั้งที่ 36, 3-5 กุมภาพันธ์ 2541. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ.

กานดา พันสุรินทร์, อุทัย คันโธ, สุกัญญา จัตตุพรพงษ์ และ อรุณี อิงคากุล. 2545. การศึกษาค่าพลังงานใช้ประโยชน์ได้ของมันเส้นในสุกรรุ่น - ขุน. ใน เรื่องเต็มการประชุมวิชาการครั้งที่ 40 สาขาสัตว์ สัตวแพทย์ศาสตร์ ประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

กานดา พันสุรินทร์, อุทัย คันโธ, และ สุกัญญา จัตตุพรพงษ์. 2546. การศึกษาเปรียบเทียบการใช้มันสำปะหลังและข้าวโพดในสูตรอาหารต่อระดับพีเอช ปริมาณจุลินทรีย์กลุ่มที่ก่อให้เกิดโรค/ไม่ก่อให้เกิดโรคที่ปลายลำไส้เล็กสุกรระยะรุ่น และในมูลสุกรระยะขุน ใน เรื่องเต็มการประชุมวิชาการครั้งที่ 41 สาขาสัตว์ สัตวแพทย์ศาสตร์ ประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ.

จิณณจาร์ หาญเศรษฐสุข จรุงสิทธิ์ ลิ่มศิลา. 2539. ศึกษาอายุการเก็บรักษาและการเสื่อมคุณภาพของหัวมันสำปะหลังพันธุ์เพื่ออุตสาหกรรม, น. 450-473. ใน รายงานผลงานวิจัยมันสำปะหลัง ประจำปี 2539. ศูนย์วิจัยพืชไร่ระยอง กรมวิชาการเกษตร, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

จิณณจาร์ หาญเศรษฐสุข โอภาษ บุญเส็ง จรุงสิทธิ์ ลิ่มศิลา และ นเรศ สอนหลักทรัพย์. 2546.การศึกษาการทำอาหารว่างจากหัวสดมันสำปะหลังพันธุ์รับประทาน, น.1003-1027. ใน รายงานผลงานวิจัยมันสำปะหลัง ประจำปี 2544-2546. ศูนย์วิจัยพืชไร่ระยอง กรมวิชาการเกษตร, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

จิณณจาร์ หาญเศรษฐสุข โอภาษ บุญเส็ง และ จรุงสิทธิ์ ลิ่มศิลา. 2546. ศึกษาการใช้แป้งฟลาวมันสำปะหลังเพื่อทำผลิตภัณฑ์อาหารเส้น, น.983-1002. ใน รายงานผลงานวิจัยมันสำปะหลัง ประจำปี 2544-2546. ศูนย์วิจัยพืชไร่ระยอง กรมวิชาการเกษตร, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

จิณณจาร์ หาญเศรษฐสุข ประพิศ วองเทียม จงรักษ์ จารุเนตร และ อัมพร ยังโหมด. 2551. การอนุรักษ์และการประเมินเชื้อพันธุกรรมมันสำปะหลัง, หน้า 9-33. ใน รายงานผลงานวิจัยที่ใช้ประโยชน์ได้จริง ประจำปี 2551. สำนักวิจัยและพัฒนาการเกษตรเขตที่6 กรมวิชาการเกษตร, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

เจริญศักดิ์ โรจนฤทธิ์พิเชษฐ์. 2532. มันสำปะหลัง การปลูก อุตสาหกรรมแปรรูปและการใช้ประโยชน์มันสำปะหลัง. ภาควิชาพืชไร่นา คณะเกษตร, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ. 439 น.

ชาญ ถิรพร. 2537. อุตสาหกรรมการแปรรูปมันสำปะหลังและการใช้ประโยชน์, หน้า 177-192. ใน เอกสารวิชาการมันสำปะหลัง. กรมวิชาการเกษตร, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. กรุงเทพฯ.

ศูนย์สารสนเทศการเกษตร. 2549. สถิติการเกษตรของประเทศไทย ปี 2549. สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. กรุงเทพฯ.

สมาคมการค้ามันสำปะหลังไทย . 2549. สถิติการค้ามันสำปะหลัง. สมาคมการค้ามันสำปะหลังไทย, กรุงเทพฯ. เอกสารโรเนียว, 7 น.

สาธิต ล้อแก้วมณี, อุทัย คันโธ, สุกัญญา จัตตุพรพงษ์ และ อรุณี อิงคากุล. 2545. การศึกษาค่าพลังงานใช้ประโยชน์ได้ของมันเส้นในไก่กระทง. ใน เรื่องเต็มการประชุมวิชาการครั้งที่ 40 สาขาสัตว์ สัตวแพทย์ศาสตร์ ประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2538. สถิติการค้าสินค้าเกษตรกรรมไทยกับต่างประเทศ ปี 2537. กระทรวงเกษตร และสหกรณ์, กรุงเทพฯ. 270 น.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2551. สถิติการเกษตรของประเทศไทย ปี 2550. http://www.oae.go.th.

อุทัย คันโธ. 2529. อาหารและการผลิตอาหารเลี้ยงสุกรและสัตว์ปีก. พิมพ์ครั้งที่2. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน, นครปฐม. 312น.

อุทัย คันโธ. 2537. การใช้วัตถุดิบอาหารทดแทนบางชนิดเป็นอาหารสุกร. ใน การผลิตสุกรเชิงอุตสาหกรรม เล่ม1. ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมการเลี้ยงสุกรแห่งชาติ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, นครปฐม.

อุทัย คันโธ และ สุกัญญา จัตตุพรพงษ์. 2545. การส่งเสริมพัฒนาการผลิตและการตลาดมันเส้นสะอาด. ศูนย์ค้นคว้าและพัฒนาวิชาการอาหารสัตว์ และภาควิชาสัตวบาล, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

อุทัย คันโธ และ สุกัญญา จัตตุพรพงษ์. 2547. การใช้มันสำปะหลังเป็นอาหารสัตว์ : ผลการใช้และข้อมูลการวิจัยในประเทศไทย. ศูนย์ค้นคว้าและพัฒนาวิชาการอาหารสัตว์ และภาควิชาสัตวบาล, หาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน, นครปฐม. 99น.

Asoaka M., J.M.V. Blanshard, and J.E. Richard. 1992. Effects of cultivar and growth season on the gelatinization properties of cassava starch . J. Sci. Food and Agri. 59 : 53-58.

Asoaka, M.,K Okumo, Y. Sugimoto, and H. Fuwa. 1985. Development changes in the structure of endosperm starch of rice (*Oryzae sativa* L.). Agric. Biol. Chem. 49 : 1973-1978.

Ameny, M.A. 1990. Traditional post-harvest technology of cassava in Uganda. *In* Trop. Sci. 30: 41-50.

BeMiller, J.N. 1997. Starch modification : changes and prospects. Starch /Stake. 49:127-131.

Beynum, G.M.A. van, and J.A. Roels. 1985. Starch Conversion Technology. Marcel Dekker. Inc., New York. 326 p.

Bottema, J.W. and Guy Henry, 1990. History, Current status and potential of cassava use in Asia, pp.3-20. *In* Cassava breeding, agronomy and utilization research in Asia. Proceeding of the third regional workshop held in Malung Indonesia, OCT 22-27, 1990.

Box, L., and de la Rive Box-Lasocki, B. 1982. Bread of the earth : Cassava cultivation, processing consumption among Amerindians,pp. 1-36. *In* Box, L. and Doorman,f. (eds.). Man and Manihot, Vol.1: Case studies on cassava caltivators. Meded. Vakgroepen Sociol. Landbouwhogesch, No.3. Wageningen, Natherland..

Bruijin, G.H. De. 1971. Etude du character cyanoglucosides, linamarin and lotaustralin in higher plants. Phytochemistry. 4 : 127-131.

CIAT. 1990. Annual Report 1990. Centro Internacional de Agricultura Tropical, Cali, Colombia.

Coursey, D.L. 1979. Cassava as food:toxicology and technology, pp. 27-36. *In* Nestel B. and MacIntyre R. (eds.). Chronic Cassava Toxicity. International Development Research Centre, Ottawa, Canada. IDRC-010e.

Dais,P. and A.S. Perlin. 1982. High field^{13} C-NMR spectroscopy of β -0-glucans, amylopectin and glycogen. Carbohydrates Res. 100 : 103-116.

Davies, T., D.C. Miller, and A.A. Proeter. 1980. Inclusion complexes of free acids with amylose. Starch/Starke. 32 (5) : 149-158.

De Baere, H. 1999. Starch policy in the European Community. Starch/Starke. 51 (6) : 189-193.

Defloor, I., I. Dehenj, and J.A. Delcour. 1998a. Physico-chemical properties of cassava starch. Starch/Starke. 50 : 58-64.

Defloor. I., R. Swenson, M. Bokanga. and J.A. Delcour. 1998b. Moisture stress during growth affects the bread making and gelatinization properties of cassava (*Manihot esculenta* Crantz.) flour. J. Sci. Food Agri. 76 : 233-238.

French, D. 1984. Organization of starch granules, pp.184-242. *In* R.L. Whistler, J.N. BeMiller, and E.F. Paschall (eds.). Starch Chemistry and Technology.2nd ed. Academic Press Inc., Florida.

Galliard, T., and P. Bowler. 1987. Morphology and composition of starch. *In* Starch: Properties and Potential. John Wiley and Sons., New York.

Hizukuri,S. 1988. Recent advances in molecular structure of starch. J. Jpn. Soc Starch Sci. 31:85.

Jane, J., and J.J. Shen. 1993. International structure of the potato starch revealed by chemical gelatinization. Carbohydrate Res. 247 : 279.

Jane, J., A. Xu, M. Radosavljevic,and P.A. Seib. 1992. Location of amylose in normal starch granules. I. Susceptibility of amylose and amylopectin to cross-linking reagents. Cereal Chem. 69 : 405.

Jones, W.O. 1969. Manioc in Africa. Stanford Univ. Press, Stanford, CA, USA. 315p.

Gomez, G., M. Valdivieso, L.E. Zapata and C. Pardo. 1984. Technical note : Cyanide elimination, chemical composition and evaluation in bread making of oven dried cassava peeled root chips or slices. *In* J. of Food Tech. 19: 493-498.

Hollo, J., E. Laszlo, A. Hoschke, P. Benda, P. Bolgar, and A. Weig. 1985. Maize processing in the 400 tonnes per day Szabadegyhaza complex biotechnical plant, Hungary. Process Biochemistry. June : 79-85.

Hoover, R. and F.W. Sosulski. 1991. Composition, structure, functionality, and chemical modification of legume starches : A review. Canadian Journal of Physiology and Pharmacology. 69 : 79-92.

Galliard, T., and P. Bowler. 1987. Morphology and composition of starch. *In* T. Gailliard (ed.). Starch: Properties and Potential. John Wiley and Sons., New York. .

Guilbot, A., and C. Mercier.1985. Starch, pp. 209-282. *In* G.O. Aspinall (ed.). The Polysaccharides Academic Press, New York. Vol.3.

Hizukuri,S. 1988. Recent advances in molecular structure of starch. J. Jpn. Soc.Starch Sci. 31 : 185.

Howeler, R.H. 1985. Potassium nutrition of cassava, pp. 819-841. *In* Potassium in Agriculture.

International Symposium in Atlanta. July 7-10, 1985. Madison, Wisconsin.

Inouchi, N., D.V. Glover, Y. Sugimoto, and H.Fuwa. 1984. Development changes in starch properties of several endosperm mutants of maize. Starch/Starke. 36 : 8-12.

Jane, J., and J.J. Shen. 1993. International structure of the potato starch revealed by chemical gelatinization. Carbohydrate Res. 247 : 279.

Jane, J., A. Xu, M. Radosavljevic,and P.A. Seib. 1992. Location of amylose in normal starch granules. I. Susceptibility of amylase and amylopictin to cross- linking rengents. Cereal Chem. 69 : 405.

Khajarern,J., S. Khajarern, K. Bunsiddhi and P. Sakiya. 1979. Determination of basic chemical parameter of cassava root products of different origin, processing technology and quality, pp.13 – 32. *In* KKU-IDRC Cassava/Nutrition Project 1978 Annual Report, Khon Kaen University, Khon Kaen, Thailand.

Khajarern,J., S. Khajarern, K. Bunsiddhi, A. Sivapraphagon and L. Nandhapipat. 1982. A survey on the changes in chemical composition of cassava root products in Khon Kaen region in 1980, pp. 22 – 29. *In* KKU-IDRC Cassava/Nutrition Project 1976 Annual Report, Khon Kaen University, Khon Kaen, Thailand.

Leach,H.W. 1965. Gelatinization of starch, pp. 289-307. *In* R.L.Whistler, E.F.Paschall, J.N.BeMiller, and H.J. Roberts(eds.). Starch : Chemistry and Technology. Academic Press, New York. Vol I.

Lineback, D.R. 1996a. Structure starch-degrading enzymes. *In* R.C. Hoseney (Ed.). AACC short course on "starch: structure, Properties, and Food Uses" August 27-29,1996. Bangkok.Thailand.

Lineback, D.R. 1996b. Current concepts of starch structure and its impact of properties. J. Jpn.Soc. Starch.Sci . 33 : 80-88.

Loreto, A.B. 1992. Cassava flour processing: ViSCA's Experience. *In* Production Development for Root and Tuber Crops. Vol. 1-Asia. 249-254.

Maningat, C.C. and P.A. Seib.1992. Starch : Occurrence, isolation,and properties of starch granule. In AACC Short Course-"Starch: structure, Properties, and Food Uses" December 3-4, 1992. Chicago.

Moorthy, S.N. 1985. Acetylation of cassava starch using perchloric acid catalysis. Starch/Starke. 37 (9) : 307-308.

Nassar, N.M.A. 1978. Conservation of the genetic resources of cassava *(Manihot esculenta)* : determination of wild species location with emphasis on probable origin. Econ. Bot. 32:311-320.

Noda, T., Y. Takahatana,and T. Nagata. 1992. Development changes in properties of sweet potato starches. Starch/Starke. 44 : 405-409.

Numfor.F.A., W.M. Walter Jr., and S.J. Schwartz.1995. Physicochemical changed in cassava starch and flour associated with fermentation : Effect on textural properties. Starch/Starke. 47: 86-91.

Oates, C.G. 1997 Towards an understanding of starch granule structure and hydrolysis. Trends in Food Science and Technology. 8 : 375-382.

O'Brien, G.M., Taylor, A. J. and Pouler, N. H. 1991. Improved enzymatic assay for cyanogen in fresh and processed cassava. J. Sci. Food. Agri. 56:277-289.

Ogunsua, A.O. 1989. Total cyanide levels in bread made from wheat/cassava composite flour. *In* International Journal of Food Science and Technology. 24:361-365.

Ostertag, C.F. 1996. World production and marketing of starch, pp. 105-120. *In* Cassava Flour and Starch :Progress in Research and Development. Centro Internacional de Agricultura Tropical, Montpellier, France.

Padmaja, G. 1995. Cyanide detoxification in cassava for food and feed used. *In* Critical Review in food science and nutrition . 35 (4): 299-339.

Palomar L.S. 1992. Formulation and evaluation of sweet potato and cassava chiffon cake. *In* Production Development for Root and Tuber Crops. Vol. 1-Asia. 255-260.

Pardales, J.R. and C.B. Esquibel. 1996. Effect on drought during the establishment period on the root system development of cassava. Jpn. J. Crop Sci. 65 (1) : 93-97.

Reichel Dolmatoff, G. 1957. Mornil : a formative sequence from the Sinu Valley, Colombia. Am. Antiquity 22 : 226-234.

Renvoize, B.S. 1973. The area of origin of *Manihot esculenta* as a crop plant a review of the evidence. Econ. Bot. 26 : 352-360.

Robin,J.P., C. Mercier, R. Charbonniere, and J.A. Guilbot. 1974. Lintnerized starches,gel filtration and enzymatic studies of insoluble residues from prolonged acid treatment of potato starch. Cereal Chem. 51 : 389-406.

Rupp, P.L.C., and S.J. Schwartz.1988. Characterization of the action of *Bacillus subtilis* alpha-amylase on sweet potato starch, amylose and amylopectin. J. Food Biochem .191-203.

Scott, G.J. 1992. Transformation traditional food crops: product development for roots and tubers. *In* Production Development for Root and Tuber Crops. Vol. 1- Asia. 3-20.

Setyono, A., D.S. Damardjati and H. Malian. 1992. Sweet potato and cassava development: Present status and future prospects in Indonesia. *In* Production Development for Root and Tuber Crops. Vol. 1-Asia. 29-40.

Shipman, L. 1967. Manufacture of tapioca. Arrowroot and sago starches, pp.103-109. *In* R.L. Whistler and E.F. Paschall (eds.). Starch : Chemistry and Technology Vol. II. Academic Press, Inc., New York.

Spath, C.D. 1973. Plant domestication : The case of *Manihot esculenta*. J. Steward Anthropot. Sac. 5(1).

Sriroth, K.,V. Santisopasri, K. Kurotjanawong, K. Piyachomkwan, and C.G. Oates. 1998a. Application of RVA to optimisation of sulfur dioxide concentration in cassava starch manufacturing. *In* Fifth Pacific Rim Symposium. American Association of Cereal Chemists. August 13-22, 1998. Cairns, Queensland, Australia.

Sriroth, K.,V. Santisopasri, K. Kurotjanawong, K. Piyachomkwan, and C.G. Oates. 1998b. Comparison of Varieties and Harvesting Time on Changes in Extracted Starch from Cassava Roots,pp.391-394. *In* P.J. Larkin (ed.). Asia Pacific Conference on Agricultural Biotechnology. July 13-16, 1998. UTC Publishing, Canberra, Australia.

Sriroth, K.,S. Wanlapatit, K. Piyachomkwan, and C.G. Oates. 1999a. Improved cassava starch granule stability in the presence of sulphur dioxide. Starch/Starke. 50 (11-12) : 466-473.

Sriroth, K.,V. Santisopasri, C. Petchalanuwat, K. Piyachomkwan, K. Kurotjanawong, and C.G. Oates. 1999b. Cassava starch granule structure-function properties : Influence of time and conditions at harvest on four varieties of cassava starch. Carbohydrate polymers. 38 : 161-170.

Stark, J.R., and A. Lynn. 1992. biochemistry of plant polysaccharides : Starch granules large and small. Biochem.Soc. Trans. 20 : 7-12.

Stute,R. 1990. Properties and applications of pea starches, Part I : Properties. Starch/starke. 42 : 178-84.

Suguki, A., Y. Takeda, and S. Higukuri. 1985. Relationship between the molecular structures and retrogradation properties of tapioca, potato and kugu starches. J. of the Japanese society for Starch Science. 32 : 205-212.

Swinkels, J.J.M. 1985a. Composition and properties of commercial native starches. Starch/Starke.

37 : 1-5.

Swinkels,J.J.M. 1985b. Sources of starch, its chemistry and physics, pp. 15-45. *In* G.M.A. van Beynum, and J.A.Roels (eds.). Starch Conversion Technology. Marcel Dekker,Inc., New York.

Swinkels, J.J.M. 1992. Differences between commercial native starches, pp. 18-19. *In* Industrial Markets for Home Grown Crop Polysaccharides. Research Review no. 32. Home Grown Cereals Authority, London.

Takeda, Y., S. Higukuri, C. Takeda, and A. Suguki. 1987. Structure of branched molecules of amylose of various origins, and molar fractions of branched and unbranched molecules. Carbohydrate Research. 165:139-145.

Testu, R.F. and I. Karkalas. 1996.Swelling and gelatinization of oat starches. Cereal Chem. 73 : 271-277.

Toledo, R.T. 1991. Fundamental of Food Process Engineering. Van Nostrand Reinhold, New York. 456-506.

Wang, L.Z. and P.J. White. 1994. Structure and properties of amylose, amylopectin, and intermediate materials of oat starches. Carbohydrates Res. 71(3) : 263-268.

Whistler, R.L., and J.R. Daniel. 1984. Molecular structure of starch, pp. 153-178. *In* Starch : Chemistry and Technology. $^{2\,nd}$ ed. Academic. Press,Inc., Florida.

Zankhia, N., G. Chuzel and D. Griffon. 1996. Gari, a traditional cassava semolina in West Africa: Its stability and shelf life and the role of water. *In* Cassava Flour and Starch : progress in research and development. Cali, Colombia. 409 p.