การพัฒนากระบวนการผลิตฟลาวมันสำปะหลังไซยาไนด์ต่ำจากพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 และการใช้ประโยชน์ในผลิตภัณฑ์อาหาร

Process Development of Low Cyanide Cassava Flour from Kasetsart 50 Variety and Its Utilization in Food Products

คำนำ

มันสำปะหลัง (*Manihot esculenta* Crantz) เป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศไทย มีปริมาณการผลิตเป็นอันดับ 3 รองจาก ข้าว และอ้อย ปริมาณผลผลิตประมาณ 18-20 ล้านตันต่อปี พื้นที่เพาะปลูกส่วนใหญ่อยู่ในบริเวณภาคตะวันออกและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ มันสำปะหลังในประเทศไทยมีหลายพันธุ์ แต่ละพันธุ์มีปริมาณไซยาไนด์ซึ่งเป็นสารประกอบกลูโคไซด์ที่เป็นพิษต่อมนุษย์และสัตว์ที่แตกต่างกัน โดยสามารถแบ่งมันสำปะหลังออกได้เป็น 2 ชนิด คือ ชนิดหวาน และชนิดขม โดยมันสำปะหลังชนิดหวานมีปริมาณไซยาไนด์และปริมาณแป้งต่ำ มีพื้นที่เพาะปลูกน้อย ปลูกเพื่อใช้ในการบริโภคโดยตรง ส่วนมันสำปะหลังชนิดขมเป็นชนิดที่เกษตรกรนิยมปลูก มีปริมาณไซยาไนด์และปริมาณแป้งในหัวสูง มันสำปะหลังชนิดขมจึงจัดเป็นพืชเศรษฐกิจที่นิยมปลูกเพื่อใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น อุตสาหกรรมการผลิตแป้งมันสำปะหลัง อุตสาหกรรมการผลิตมันเส้นและมันอัดเม็ด เป็นต้น เนื่องจากมันสำปะหลังชนิดขมเป็นที่นิยมปลูกของเกษตรกร ไม่ต้องอาศัยการดูแลมากในขณะปลูก ทำให้เกษตรกรปลูกมันชนิดขมเป็นจำนวนมาก จนทำให้เกือบทุกปีเกิดปัญหาราคาหัวมันตกต่ำ แนวทางในการแก้ปัญหาทางหนึ่งคือการเพิ่มการใช้ประโยชน์ให้มากยิ่งขึ้น การผลิตเป็นฟลาวมันสำปะหลังเป็นแนวทางหนึ่งที่ช่วยลดปัญหาดังกล่าวได้ โดยฟลาวมันสำปะหลังสามารถนำไปใช้ในอุตสาหกรรมอาหารได้มากมายหลายชนิด ฟลาวมันสำปะหลังที่มีการผลิตในประเทศไทยจะผลิตจากมันสำปะหลังชนิดหวาน ที่มีปริมาณไซยาไนด์ต่ำ แต่เนื่องจากมันสำปะหลังชนิดหวานมีปริมาณการปลูกน้อยและมีราคาที่สูงกว่ามันชนิดขม ซึ่งจะทำให้ต้นทุนการผลิตมีราคาสูงกว่าการผลิตฟลาวจากมันสำปะหลังชนิดขมสามารถทำได้ โดยต้องมีการปรับปรุงในขั้นตอนการผลิต เพื่อลดปริมาณไซยาไนด์ลงให้อยู่ในระดับที่ปลอดภัยต่อการบริโภค ซึ่ง FAO/WHO ได้ระบุไว้ใน Codex Alimentarius ให้มีปริมาณไซยาไนด์ในระดับไม่เกิน 10 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมของน้ำหนักแห้ง ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์ที่จะทำการปรับปรุงกระบวนการผลิตฟลาวมันสำปะหลังที่ขั้นตอนการลดปริมาณไซยาไนด์ เพื่อให้ได้กระบวนการผลิตที่มั่นใจว่าสามารถลดปริมาณไซยาไนด์ในวัตถุดิบลงได้ โดยเฉพาะวัตถุดิบตั้งต้นที่มี

ปริมาณไซยาไนด์อยู่ในระดับสูง เพื่อให้ได้กระบวนการผลิตที่มั่นใจได้ว่าฟลาวมันสำปะหลังที่ผลิตได้ทุกครั้งมีปริมาณไซยาไนด์ปนเปื้อนอยู่ในระดับที่ไม่เป็นอันตรายต่อผู้บริโภค คืออยู่ในระดับต่ำกว่า 10 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้ง จากการรวบรวมข้อมูลพบว่าฟลาวมันสำปะหลังสามารถนำไปใช้กับผลิตภัณฑ์อาหารได้หลายชนิด ซึ่งจะช่วยในการทดแทนการใช้แป้งมันสำปะหลังที่มีคุณค่าทางอาหารต่ำและทดแทนการนำเข้าแป้งทางการค้าอื่น ๆ จากต่างประเทศได้ โดยในงานวิจัยจะใช้มันสำปะหลังพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 เป็นต้นแบบ เนื่องจากเป็นพันธุ์หนึ่งที่เกษตรกรนิยมปลูกและเป็นพันธุ์ที่มีปริมาณไซยาไนด์ในปริมาณที่สูง ซึ่งคาดว่าต้นแบบที่ได้จะสามารถนำไปใช้กับมันสำปะหลังพันธุ์ต่างๆ ได้

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อสำรวจความต้องการของผู้ใช้ฟลาวในผลิตภัณฑ์อาหารต่อฟลาวมันสำปะหลังไซยาไนด์ต่ำและสำรวจปริมาณไซยาไนด์ในมันสำปะหลังพันธุ์ที่เกษตรกรนิยมปลูก

2. เพื่อพัฒนากระบวนการผลิตฟลาวมันสำปะหลังที่มีปริมาณไซยาไนด์ต่ำกว่า 10 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้ง โดยใช้มันสำปะหลังพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 เป็นต้นแบบ

3. เพื่อศึกษาคุณภาพของฟลาวมันสำปะหลังที่ผลิตจากมันสำปะหลังพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 ที่อายุการเก็บเกี่ยว 6, 8, 10 และ 12 เดือน

4. เพื่อศึกษาการขยายกำลังการผลิตฟลาวมันสำปะหลัง ในระดับการผลิต 300 กิโลกรัมหัวมันสดต่อวัน

5. เพื่อศึกษาอายุการเก็บรักษาของฟลาวมันสำปะหลัง

6. เพื่อศึกษาการยอมรับของผู้ใช้ฟลาวมันสำปะหลังในผลิตภัณฑ์อาหาร และการยอมรับของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์จากฟลาวมันสำปะหลัง

7. เพื่อกำหนดร่างมาตรฐานฟลาวมันสำปะหลังโดยใช้เกณฑ์จากการผลิตฟลาวมันสำปะหลังที่ได้จากงานวิจัย โดยใช้มาตรฐานของ Codex Standard for Edible Cassava Flour (CODEX STAN 176) มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมแป้งทางการค้าชนิดอื่น ๆ และมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนของแป้งชนิดต่างๆ เป็นแนวทาง

8. เพื่อจัดทำแผนระบบคุณภาพ Hazard Analytical Critical Control Point (HACCP Plan) สำหรับกระบวนการผลิตฟลาวมันสำปะหลังที่มีปริมาณไซยาไนด์ต่ำ

การตรวจเอกสาร

1. ข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับมันสำปะหลัง

1.1 การเรียกชื่อมันสำปะหลัง

มันสำปะหลังเป็นพืชพลังงานที่สำคัญชนิดหนึ่งของโลก ชนิดที่ปลูกกันแพร่หลายทั่วโลกมีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Manihot esculenta* Crantz การจัดหมวดหมู่ทางพฤกษศาสตร์ของมันสำปะหลังเป็นดังนี้ (Wikipedia, 2005)

Kingdom : Plantae
Division : Magnoliophyta
Class : Magnoliopsida
Order : Malpigghiales / Euphorbiales
Family : Euphorbiaceae
Genus : Manihot
Species : esculenta

ตารางที่ 1 การเรียกชื่อมันสำปะหลังในภาษาต่างๆ

ประเทศ	การเรียกชื่อ
เนเธอร์แลนด์	Cassave, Tapioca
ฝรั่งเศส	Manioc, Farine de manioc
เยอรมัน	Maniok, Tapioka
อิตาลี	Manioca
โปรตุเกส	Mandioca , Farinha de mandioca
สเปน	Mandioca, Tapioca, Yucca
สวีเดน	Kassavabuske
ละตินอเมริกา	Tapioca

ที่มา: WizCom Technologies Ltd. (2005)

มันสำปะหลังเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศในแถบเขตร้อน เป็นพืชที่เป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญสำหรับมนุษย์มากกว่า 500 ล้านคนทั่วโลก (Cock, 1985) โดยส่วนของมันสำปะหลังที่นำมาใช้ประโยชน์คือส่วนของราก (Root) แต่โดยทั่วไปมักเรียกกันว่าหัวมันสำปะหลัง การเรียกชื่อมันสำปะหลังในแต่ละท้องถิ่นที่มีการใช้ภาษาที่แตกต่างกันออกไป จะมีการเรียกชื่อที่แตกต่างกันออกไป (ตารางที่ 1) เช่น ในท้องถิ่นที่มีการใช้ภาษาอังกฤษจะเรียกมันสำปะหลังว่า คาสสาวา (Cassava) ในทวีปอเมริกาใต้แถบประเทศบราซิล ปารากวัย และอาร์เจนตินา จะเรียกว่า แทปปีโอกา (Tappioca) และในถิ่นที่ใช้ภาษาโปรตุเกสจะเรียกมันสำปะหลังว่าแมนดิโอกา (Mandioca) ประเทศในแถบทวีปแอฟริกาที่ใช้ภาษาฝรั่งเศส เรียกว่าแมนิออก (Manioc) และในประเทศอเมริกาที่ใช้ภาษาสเปน เรียกว่ายัคคา (Yucca) เป็นต้น ส่วนการเรียกชื่อมันสำปะหลังในประเทศไทยนั้น แต่เดิมคนไทยเรียกว่ามันไม้หรือมันสำโรง ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ เรียกว่ามันต้นเตี้ย และในภาคใต้เรียกว่ามันเทศ (เรียกมันเทศว่า มันหลา) แต่ในปัจจุบันคนไทยทุกคนรู้จักและเรียกชื่อว่ามันสำปะหลัง ซึ่งคล้ายกับภาษาชวาตะวันตกที่เรียกว่า สัมเปอ (Sampeu) (จรุงสิทธิ์และอัจฉรา, 2537) แต่ก่อนชื่อวิทยาศาสตร์ของมันสำปะหลังจะเรียกตามชนิดของมันสำปะหลัง คือ ชนิดหวานและชนิดขม โดยชนิดหวานมีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *M. esculenta* และชนิดขมมีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *M. palmata และ M. dulcis* แต่ปัจจุบันรวมเรียกเป็นชนิดเดียวว่า *M. esculenta* (ดนัย, 2537)

1.2 <u>ประวัติการแพร่กระจาย</u>

มันสำปะหลังมีถิ่นกำเนิดอยู่ในเขตร้อนของทวีปอเมริกาใต้ ก่อนที่คริสโตเฟอร์ โคลัมบัส จะสำรวจพบทวีปอเมริกาใน พ.ศ. 2035 การปลูกมันสำปะหลังจะพบในเขตร้อนของอเมริกากลางและใต้เท่านั้น ชาวโปรตุเกสได้นำมันสำปะหลังจากประเทศบราซิลไปสู่ทวีปแอฟริกาในช่วงประมาณคริสต์ศตวรรษที่ 16 และชาวสเปนนำมันสำปะหลังจากประเทศเม็กซิโกมายังประเทศฟิลิปปินส์ในประมาณคริสต์ศตวรรษที่ 17 และชาวดัชท์นำมาจากเกาะชวาจากสุรินัมในทวีปอเมริกาใต้ประมาณตอนต้นคริสต์ศตวรรษที่ 18 สำหรับประเทศไทยนั้นใครเป็นผู้นำมันสำปะหลังเข้ามาเมื่อใดและจากไหนไม่ปรากฏหลักฐานแน่ชัด แต่สันนิษฐานกันว่านำเข้ามาจากประเทศมาเลเซียเมื่อต้นสมัยรัตนโกสินทร์ (กล้าณรงค์ และ เจริญศักดิ์, 2548)

ประเทศไทยมีการปลูกมันสำปะหลังเป็นการค้ากว่า 65 ปีมาแล้ว โดยเริ่มจากภาคใต้ โดยเฉพาะที่จังหวัดสงขลา เพื่อทำแป้งและทำเป็นสาคูส่งไปจำหน่ายที่ปีนังและสิงคโปร์ แต่การปลูกมันสำปะหลังเพื่อการค้าในภาคใต้ได้ค่อยๆ หมดไปในภายหลัง เนื่องจากการปลูกมันจะทำ

การปลูกระหว่างแถวของสวนยางพารา ดังนั้นเมื่อต้นยางพาราโตคลุมพื้นที่ทั้งหมดจึงไม่สามารถปลูกได้ จึงมีการนำมันสำปะหลังมาปลูกในภาคตะวันออก และเมื่อความต้องการผลิตภัณฑ์จากมันสำปะหลัง เช่น มันเส้น มันอัดเม็ด และแป้งมันสำปะหลัง เป็นความต้องการของตลาดเพิ่มมากขึ้น พื้นที่การเพาะปลูกในภาคตะวันออกจึงไม่เพียงพอ จึงมีการแพร่กระจายนำไปปลูกในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ซึ่งในปัจจุบันพบว่าภาคตะวันออกเฉียงเหนือเป็นพื้นที่ที่มีการปลูกมันสำปะหลังมากที่สุดของประเทศ (วิจารณ์, 2531 และ เจริญศักดิ์, 2532)

1.3 <u>แหล่งและปริมาณการเพาะปลูก</u>

มันสำปะหลังเป็นพืชที่ปลูกง่าย ทนต่อความแห้งแล้ง โรคแมลงน้อย เพาะปลูกได้ตลอดปีขึ้นได้ในดินเกือบทุกชนิด พื้นที่เพาะปลูกมันสำปะหลังในประเทศไทยมีประมาณ 7 ล้านไร่ และผลผลิตหัวมันสำปะหลังสดของประเทศไทยต่อปีประมาณ 20 ล้านตัน (ตารางที่ 2) แหล่งปลูกมันสำปะหลังที่สำคัญที่สุดของประเทศไทยในปัจจุบัน คือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ในปีการผลิต 2545/46 มีพื้นที่เพาะปลูกประมาณร้อยละ 53.66 ของพื้นที่เพาะปลูกมันสำปะหลังทั้งประเทศ (ตารางที่ 3) รองลงมา คือ ภาคกลางตอนบน ซึ่งรวมภาคเหนือและภาคตะวันตกไว้ด้วยประมาณร้อยละ 32.10 และภาคตะวันออกประมาณร้อยละ 19.22 ของพื้นที่เพาะปลูกทั่วประเทศ ภาคใต้ไม่มีการเพาะปลูกเลย เนื่องจากภาคใต้มีพื้นที่ที่สามารถปลูกพืชชนิดอื่นที่ให้ผลตอบแทนที่สูงกว่าการปลูกมันสำปะหลัง ได้แก่ ยางพารา โดยจังหวัดที่ให้ผลผลิตมันสำปะหลังสูงสุด คือ จังหวัดนครราชสีมา ในปี 2545 จังหวัดนครราชสีมาให้ผลผลิตร้อยละ 22.50 ของผลผลิตรวมทั้งประเทศ (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2547)

<u>ตารางที่ 2</u> พื้นที่เพาะปลูกและผลผลิตมันสำปะหลังของประเทศไทย ปีการผลิต 2542/43–2546/47

ปี	2542/43	2543/44	2544/45	2545/46	2546/47
พื้นที่เพาะปลูก (ไร่)	7,663,300	6,882,357	6,176,376	6,744,481	6,973,157
ผลผลิตหัวมันสด (ตัน)	20,264,700	18,265,417	16,868,309	18,306,063	20,429,236
ผลผลิตเฉลี่ยต่อไร่ (ตัน/ไร่)	2.64	2.65	2.73	2.71	2.93

ที่มา: สมาคมการค้ามันสำปะหลังไทย (2547)

ตารางที่ 3 พื้นที่เพาะปลูกและผลผลิตหัวมันสดรวมตามภาค ปีการผลิต 2543/44 – 2545/46

ปีการผลิต	ภาค	พื้นที่เพาะปลูก (ไร่)	ผลผลิตหัวมันสดรวม (ตัน)
2543/44	ภาคเหนือ	1,035,380	2,669,761
	ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	4,219,849	10,472,343
	ภาคกลาง	2,150,742	5,922,180
2544/45	ภาคเหนือ	971,637	2,549,433
	ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	3,861,890	9,829,443
	ภาคกลาง	2,084,242	6,016,925
2545/46	ภาคเหนือ	885,721	2,298,346
	ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	3,339,746	8,791,606
	ภาคกลาง	1,998,397	5,778,356

ที่มา: สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร (2547)

1.4 สภาพแวดล้อมที่เหมาะสมต่อการเพาะปลูก

มันสำปะหลังเป็นพืชที่สามารถปรับตัวได้สูงในการเจริญในสภาพภูมิอากาศที่แตกต่างกัน โดยจะเจริญเติบโตได้ดีในเขตร้อนชื้น ตั้งแต่เส้นรุ้งที่ 30 องศาเหนือ ถึง 30 องศาใต้ และสามารถเจริญได้ที่ระดับความสูงจากระดับน้ำทะเลถึง 2,000 เมตร สามารถเจริญเติบโตได้ดีเมื่อได้รับปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยต่อปีมากกว่า 2,000 มิลลิเมตร แต่ในบริเวณที่มีปริมาณน้ำฝนเพียงเล็กน้อยเฉลี่ยต่อปีประมาณ 500 ถึง 750 มิลลิเมตร ก็พบว่ามันสำปะหลังยังคงสามารถเจริญได้ มันสำปะหลังจัดเป็นพืชที่ทนแล้งได้ดี แต่ไม่ทนต่อสภาพภูมิอากาศที่หนาวเย็นจัด (อุณหภูมิต่ำกว่า 10 องศาเซลเซียส) อุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตอยู่ระหว่าง 18 ถึง 30 องศาเซลเซียส มันสำปะหลังสามารถปรับตัวในสภาพแวดล้อมที่มีการเปลี่ยนแปลง โดยในสภาพภูมิอากาศที่แห้งแล้งมันสำปะหลังจะทิ้งใบและสร้างใบใหม่ที่มีขนาดเล็กจำนวนเล็กน้อยขึ้นทดแทน และเมื่อเข้าสู่สภาวะที่มีน้ำมีฝนตกพืชจะใช้คาร์โบไฮเดรตที่เก็บสะสมในส่วนของรากนำกลับมาใช้ในการเจริญเติบโตแตกยอดและใบใหม่ (Balagopalan *et al.*, 1988)

มันสำปะหลังสามารถเจริญได้ดีในดินที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ สามารถปลูกได้ในดินที่มีค่าความเป็นกรดด่างที่กว้างมาก (pH 4.0 – 8.0) (Moore *and* Lawrence, 2006) Balagopalan *et*

al. (1988) รายงานว่าในประเทศมาเลเซียมีมันสำปะหลังชนิดที่สามารถเจริญเติบโตในดินเปรี้ยวที่มีค่า pH 3.2 ได้ มันสำปะหลังจึงจัดเป็นพืชที่ทนต่อสภาพดินที่เป็นกรด แต่ไม่สามารถเจริญได้ในดินที่มีสภาพเป็นด่างที่มีค่า pH มากกว่า 8 ขึ้นไป (เจริญศักดิ์, 2532)

ดินที่เหมาะสมต่อการปลูกมันสำปะหลังและให้ผลผลิตสูงมากที่สุด คือ ดินร่วนหรือดินทรายที่มีความอุดมสมบูรณ์สูง มีความร่วนซุย ถ่ายเทอากาศได้ดี ซึ่งจะทำให้รากมันสามารถชอนไชไปหาอาหารได้ไกล และสามารถขยายขนาดและเติบโตได้ดี การปลูกในสภาพดินที่เหนียวแน่นพบว่าผลผลิตหัวมันสำปะหลังจะน้อย และพบว่ามันสำปะหลังไม่สามารถทนต่อสภาพที่มีน้ำท่วมขังและการถ่ายเทของน้ำไม่ดีได้ (Balagopalan *et al.*, 1988; เจริญศักดิ์, 2532)

ปิยะวุฒิ และคณะ (2542) แนะนำเทคนิคการปลูกมันสำปะหลังเพื่อเพิ่มผลผลิตและปริมาณแป้งในมันสำปะหลัง โดยช่วงเวลาที่เหมาะสมในการปลูกสามารถปลูกได้ 2 ช่วงเวลา คือ การปลูกปลายหรือหลังฤดูฝน (ตั้งแต่เดือนพฤศจิกายนถึงเดือนมกราคม) และการปลูกต้นหรือก่อนฤดูฝน (ตั้งแต่เดือนกุมภาพันธ์ถึงเดือนเมษายน) ซึ่งการปลูกใน 2 ช่วงเวลาดังกล่าวมีความเหมาะสมและข้อดีที่แตกต่างกัน คือ การปลูกมันสำปะหลังในช่วงหลังฤดูฝนจะมีผลทำให้ความสม่ำเสมอในการเจริญเติบโตของมันสำปะหลังต่ำกว่าการปลูกในช่วงก่อนฤดูฝน เนื่องจากการปลูกในช่วงหลังฤดูฝนมันสำปะหลังจะติดแล้งในช่วงระยะแรกของการเจริญเติบโต การปลูกในช่วงหลังฤดูฝนแนะนำให้ปลูกในพื้นที่ที่เป็นดินทรายหรือดินร่วนปนทราย ไม่แนะนำให้ปลูกในพื้นที่ที่ดินค่อนข้างเหนียว ซึ่งเมื่อปลูกแล้วกระทบกับความแล้งมันสำปะหลังจะตายมาก ลักษณะของหัวมันสำปะหลังที่ปลูกในช่วงหลังฤดูฝนจะมีหัวขนาดใหญ่ ป้อม ไม่ดก ต่างจากการปลูกในช่วงก่อนฤดูฝน หัวมันจะมีขนาดเล็กกว่า เรียวยาว แต่มีจำนวนหัวมากกว่า การแนะนำให้เกษตรกรปลูกในช่วง 2 ระยะเวลาดังกล่าว เนื่องจากผลผลิตที่ได้รับจะสูงกว่าการปลูกในช่วงเวลาอื่น และเมื่อทำการเก็บเกี่ยวที่อายุการเก็บเกี่ยว 12 เดือน ก็จะตรงกับช่วงที่ตลาดมีความต้องการมาก โดยเฉพาะการส่งขายให้กับโรงงานแป้งมันสำปะหลัง หรือลานมันที่รับซื้อในช่วงเวลาดังกล่าว (พฤศจิกายนถึงเมษายน) ซึ่งเป็นช่วงแล้ง เหมาะสำหรับการตากแห้งมันสำปะหลังของลานมันในการผลิตเป็นมันเส้น

1.5 <u>การเก็บเกี่ยวหัวมันสำปะหลัง</u>

การเก็บเกี่ยวหัวมันสำปะหลังสามารถเก็บเกี่ยวได้ตั้งแต่อายุต่ำกว่า 12 เดือน ถึง 20 เดือน (Moore *and* Lawrence, 2006) ปิยะวุฒิ และคณะ (2542) แนะนำว่าควรทำการเก็บเกี่ยวที่อายุ 12

เดือน ถ้าทำการปลูกในช่วง 2 ฤดูการปลูก เนื่องจากในช่วงเวลานี้ครบรอบการปลูก 1 ปีพอดี เป็นช่วงที่ตลาดมีความต้องการมาก และปริมาณแป้งในหัวค่อนข้างสูง และเมื่อทำการเก็บเกี่ยวแล้วการปลูกสามารถกระทำได้อย่างต่อเนื่องทุกปี ราคาของหัวมันสำปะหลังที่ซื้อขายกันนั้นขึ้นอยู่กับปริมาณแป้งที่มีอยู่ในหัวมันสำปะหลัง แต่ทั้งนี้ปริมาณแป้งที่มีอยู่ในหัวมันสำปะหลังนั้นไม่ได้ขึ้นอยู่กับอายุการเก็บเกี่ยวเพียงอย่างเดียว ยังขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำฝนที่พืชได้รับในช่วงการเก็บเกี่ยวด้วย โดยพบว่าถ้าในช่วงการเก็บเกี่ยวพืชได้รับปริมาณน้ำฝนมากปริมาณแป้งที่มีอยู่ในหัวมันสำปะหลังจะมีปริมาณลดลง พร้อมพรรณ (2546) ได้ทำการปลูกมันสำปะหลังจำนวน 3 พันธุ์ คือ MKUC 34-114-206 (ซึ่งปัจจุบันประกาศพันธุ์แล้ว คือ ห้วยบง 60), เกษตรศาสตร์ 50 และระยอง 5 พบว่ามันสำปะหลังทั้ง 3 พันธุ์ให้ผลการทดลองไปในทิศทางเดียวกัน คือ ที่อายุการเก็บเกี่ยว 10 เดือนจะมีปริมาณแป้งสูงที่สุด และจะมีปริมาณแป้งลดลงเรื่อยๆ ที่อายุการเก็บเกี่ยว 12 และ 14 เดือน และจะมีปริมาณแป้งเพิ่มขึ้นที่อายุ 16 เดือน เมื่อทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบกับปริมาณน้ำฝน พบว่าที่อายุการเก็บเกี่ยว 10 เดือน เป็นช่วงที่อยู่ในสภาพแล้ง ที่อายุการเก็บเกี่ยว 12 และ 14 เดือนมีปริมาณน้ำฝนเพิ่มมากขึ้น และที่ 16 เดือน เป็นช่วงที่ได้รับปริมาณน้ำฝนลดลง แสดงให้เห็นว่าปริมาณน้ำที่ต้นมันสำปะหลังได้รับมีผลต่อปริมาณแป้งที่มีอยู่ในหัวมัน ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Santisopasri *et al.* (2001) ซึ่งได้ทำการศึกษาผลของปริมาณผลผลิตและคุณภาพของแป้งมันสำปะหลังที่เก็บเกี่ยวจากมันสำปะหลังที่อายุการเก็บเกี่ยวต่างๆ กัน โดยทำการทดลองกับมันสำปะหลังจำนวน 6 พันธุ์ ได้แก่ ระยอง 1, ระยอง 5, ระยอง 60, ระยอง 90 , เกษตรศาสตร์ 50 และ CMR 33-57-81 ผลการทดลองพบว่าปริมาณแป้งแปรผกผันกับปริมาณน้ำฝนที่พืชได้รับในช่วงที่ทำการเก็บเกี่ยว ให้ผลการทดลองไปในทิศทางเดียวกันในตัวอย่างที่ทำการทดสอบทั้ง 6 พันธุ์ เมื่อทำการปลูกในช่วงก่อนฤดูฝน (ทำการปลูกในเดือนพฤษภาคม)

จากรายงานผลการสำรวจมันสำปะหลัง ปี 2547 (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2547) โดยเกษตรกรจะเก็บเกี่ยวหัวมันสำปะหลังในช่วงอายุ 10 เดือนมากที่สุด รองลงมา คือ 12 เดือน และ 11 เดือน โดยมีปริมาณการเก็บเกี่ยวคิดเป็นร้อยละ 28.40, 26.82 และ 24.57 ตามลำดับ จากการสำรวจในช่วงเดือนตุลาคม 2546 ถึง กันยายน 2547 ช่วงที่เกษตรกรเก็บเกี่ยวหัวมันสำปะหลังมาก คือ เดือนพฤศจิกายน ถึงเดือนมีนาคม มีร้อยละการเก็บเกี่ยวเป็น 11.71, 20.65, 19.12, 14.33 และ 12.30 ตามลำดับ

2. พันธุ์มันสำปะหลัง

2.1 พันธุ์มันสำปะหลังจำแนกตามลักษณะทางพฤกษศาสตร์

ในอดีตและปัจจุบันการจำแนกพันธุ์มันสำปะหลังยังใช้ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของมันสำปะหลังในการจำแนก ลักษณะทางพฤกษศาสตร์เหล่านั้น เช่น ลักษณะใบ สีของลำต้น สีของก้านใบ รูปร่างและสีของหัว เป็นต้น ลักษณะต่าง ๆ เหล่านี้จะมีการบันทึกไว้จากแปลงรวบรวมพันธุ์ ปัจจุบันมีการเก็บรวบรวมและรักษาแหล่งทางพันธุกรรมของพันธุ์มันสำปะหลัง รวมทั้งพันธุ์ป่า ประมาณ 5,000 ถึง 7,000 สายพันธุ์ ไว้ในแหล่งรวบรวมยีน (gene bank) ของศูนย์เกษตรเขตร้อนนานาชาติ CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical Cali, Colombia) ประเทศโคลัมเบีย ซึ่งมีการรวบรวมพันธุ์ทั้งในสภาพไร่และในรูปของเนื้อเยื่อ การบันทึกลักษณะต่างๆ จะยึดตามมาตรฐานของ IBPGR (International Board for Plant Genetic Resources) (ดนัย, 2537)

ในประเทศไทยที่ศูนย์วิจัยพืชไร่ระยอง มีโครงการรวบรวมพันธุ์โดยเริ่มเมื่อปี พ.ศ. 2499 นำพันธุ์จากต่างประเทศในรูปท่อนพันธุ์ เมล็ดพันธุ์ และการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อในหลอดแก้ว จากพันธุ์ที่มีอยู่ และพันธุ์จากต่างประเทศ ทางศูนย์ได้พยายามผสมพันธุ์และปรับปรุงพันธุ์ เพื่อให้ได้พันธุ์ที่มีผลผลิตสูง ปริมาณแป้งสูง มีการปรับตัวตามธรรมชาติสูงให้เหมาะสมกับท้องถิ่นต่าง ๆ อายุการเก็บเกี่ยวสั้น ต้านทานโรค มีคุณภาพอาหารดี เป็นต้น และได้เสนอพันธุ์รับรองที่ดีหลายพันธุ์ ได้แก่ พันธุ์ระยอง 3 เป็นพันธุ์ที่มีปริมาณแป้งสูง พันธุ์ระยอง 2 เป็นพันธุ์ที่เหมาะกับการบริโภค พันธุ์ระยอง 60 เป็นพันธุ์ที่มีอายุการเก็บเกี่ยวสั้น พันธุ์ระยอง 90 เป็นพันธุ์ที่ให้ผลผลิตสูงและให้ปริมาณแป้งสูง พันธุ์ระยอง 5 เป็นพันธุ์ที่ให้ผลผลิตสูงและให้ปริมาณแป้งสูงเช่นกัน อย่างไรก็ตามพันธุ์ที่ผสมและปรับปรุงพันธุ์เหล่านี้ แม้ว่าจะมีลักษณะที่ดี แต่อาจจะยังคงมีลักษณะด้อยอื่น ๆ ความพยายามของนักปรับปรุงพันธุ์ที่จะให้ได้พันธุ์ที่มีคุณสมบัติที่ดีหลายประการพร้อมกันยังเป็นเรื่องยาก จึงจำเป็นต้องพัฒนาพันธุ์ใหม่ ๆ ขึ้นมาเรื่อย ๆ นอกจากศูนย์วิจัยพืชไร่ระยองแล้ว ยังมีหน่วยงานของรัฐได้แก่ ภาควิชาพืชไร่นา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่ได้มีโครงการปรับปรุงพันธุ์มันสำปะหลังสำหรับใช้ในอุตสาหกรรม

2.2 พันธุ์มันสำปะหลังจำแนกตามปริมาณไซยาไนด์

มันสำปะหลังที่ปลูกในประเทศไทยแบ่งออกเป็น 3 ชนิด (จำลอง, 2542) ได้แก่ ชนิดที่ใช้เป็นไม้ประดับ ชนิดหวาน (sweet type) และชนิดขม (bitter type) ซึ่ง 2 ชนิดหลังเป็นชนิดที่

สามารถบริโภคได้โดยทางตรงและทางอ้อม ดังนั้นโดยทั่วไปมันสำปะหลังในแหล่งปลูกทั่วโลก และในประเทศไทยจึงแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ ชนิดขม (bitter type) และชนิดหวาน (sweet type) (อัจฉรา และ จรุงสิทธิ์, 2537) ตามปริมาณไซยาไนด์

- ชนิดขม (Bitter type) เป็นมันสำปะหลังที่มีปริมาณไซยาไนด์สูง เป็นพิษและมีรสขม ไม่เหมาะสำหรับการบริโภคของมนุษย์หรือใช้หัวสดเลี้ยงสัตว์โดยตรง จัดเป็นพืชเศรษฐกิจที่นิยมปลูกเพื่อใช้สำหรับอุตสาหกรรมต่าง ๆ เช่น แป้งมันสำปะหลัง มันเส้นและมันอัดเม็ด และในอุตสาหกรรมต่อเนื่องอื่น ๆ เช่น กลูโคส แอลกอฮอล์ แป้งดัดแปร เป็นต้น เนื่องจากมีปริมาณแป้งในหัวสูง จึงเป็นชนิดที่ปลูกมากในประเทศไทย

- ชนิดหวาน (Sweet type) เป็นมันสำปะหลังที่มีปริมาณไซยาไนด์ต่ำ เนื่องจากมันสำปะหลังชนิดหวานไม่มีรสขม มีเนื้อสัมผัสที่ดีเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค มีทั้งชนิดเนื้อร่วน เนื้อนุ่ม และชนิดเนื้อแน่นเหนียว จึงนิยมนำมาบริโภคโดยตรง เช่น ต้ม ปิ้ง และเชื่อม เป็นต้น ทำให้มีราคาสูงกว่าชนิดขม ในประเทศไทยไม่มีการปลูกเป็นพื้นที่ใหญ่ ๆ เนื่องจากมีตลาดจำกัด มีปริมาณแป้งต่ำ และมีราคาสูงกว่าชนิดขม

2.3 <u>พันธุ์มันสำปะหลังในประเทศไทย</u>

มันสำปะหลังที่ปลูกในประเทศไทยส่วนใหญ่เป็นชนิดขมสำหรับใช้ในอุตสาหกรรม ส่วนใหญ่เป็นพันธุ์พื้นเมือง ภายหลังกรมวิชาการเกษตร และมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ได้ทำการวิจัยเพื่อปรับปรุงพันธุ์มันสำปะหลัง ปัจจุบันประเทศไทยได้พัฒนาพันธุ์มันสำปะหลังโดยกรมวิชาการเกษตรและมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ทั้งหมด 10 พันธุ์ ได้แก่ พันธุ์ระยอง 1 ระยอง 2 ระยอง 3 ระยอง 60 ระยอง 90 ระยอง 5 ระยอง 72 ศรีราชา 1 เกษตรศาสตร์ 50 และห้วยบง 60 (มูลนิธิสถาบันพัฒนามันสำปะหลังแห่งประเทศไทยในพระราชูปถัมภ์สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี, 2549) ลักษณะประจำพันธุ์มันสำปะหลัง ลักษณะเด่น ข้อจำกัด และประวัติย่อของพันธุ์มันสำปะหลัง แสดงดังตารางที่ 4 และตารางที่ 5 สำหรับมันสำปะหลังเพื่อการบริโภคหรือมันสำปะหลังชนิดหวาน มีพันธุ์ดั้งเดิมที่นิยมปลูกกันทั่วไปของประเทศ คือพันธุ์ห้านาที ที่ปลูกกันมานานกว่า 200 ปี และปัจจุบันกรมวิชาการเกษตรได้แนะนำพันธุ์ระยอง 2 เพื่อใช้ในการบริโภคอีก 1 พันธุ์ (อัจฉรา และ จรุงสิทธิ์, 2537) จะเห็นว่าพันธุ์มันสำปะหลังมีความสำคัญมากทั้งต่อเกษตรกรเอง ต่ออุตสาหกรรมการแปรรูปโดยตรง ต่ออุตสาหกรรมต่อเนื่องต่าง ๆ รวมไปถึงผู้บริโภคเอง ซึ่ง

เป็นผลที่เกิดขึ้นทั้งทางตรงและทางอ้อม ประเทศไทยได้มีการพัฒนามันสำปะหลังพันธุ์ดีอย่างต่อเนื่องเพื่อให้ได้มันสำปะหลังที่ให้ผลผลิตต่อไร่และมีปริมาณแป้งในหัวมันสำปะหลังที่สูง

มันสำปะหลังพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 เป็นพันธุ์มันสำปะหลังที่ได้จากการปรับปรุงพันธุ์โดยนักวิจัย 3 หน่วยงาน คือ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรมวิชาการเกษตร และศูนย์เกษตรเขตร้อนนานาชาติ (CIAT) เป็นพันธุ์ที่เกิดจากการผสมระหว่างพันธุ์ระยอง 1 (พันธุ์พื้นเมือง) กับพันธุ์ระยอง 90 และมีการแนะนำให้เกษตรกรปลูกมาตั้งแต่ปี 2535 การตั้งชื่อพันธุ์นี้ว่า “เกษตรศาสตร์ 50” เนื่องในวาระที่มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ก่อตั้งมาครบ 50 ปี เมื่อ พ.ศ. 2536 ในปัจจุบันมันสำปะหลังพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 เป็นพันธุ์ที่เกษตรกรนิยมปลูกมาก เนื่องจากมีลักษณะเด่นคือสามารถขึ้นได้ดีในเขตปลูกมันสำปะหลังทั่วประเทศ จากข้อมูลของสมาคมโรงงานผู้ผลิตมันสำปะหลังภาคตะวันออกเฉียงเหนือ (2547) แสดงดังตารางที่ 6 ที่ทำการสำรวจพบว่ามันสำปะหลังพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 เป็นพันธุ์ที่เกษตรกรนิยมปลูกมากที่สุด มีปริมาณพื้นที่เพาะปลูกรวมถึง 2,912,193 ไร่ คิดเป็นพื้นที่เพาะปลูกถึงร้อยละ 44.32 ของพื้นที่เพาะปลูกทั้งหมดที่ทำการสำรวจทั้งประเทศ มันสำปะหลังพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 นอกจากผลผลิตและปริมาณแป้งในหัวสูงแล้ว ยังมีลักษณะเด่นที่ทำให้เป็นที่นิยมปลูกของเกษตรกร คือ ท่อนพันธุ์งอกได้ดี ทรงต้นสูงใหญ่ทำให้คุมวัชพืชได้ดี ต้านทานต่อไรแดง หัวมีลักษณะป้อมและอยู่เป็นกระจุกสะดวกในการขุดเหมาะกับการขุดโดยใช้เครื่องขุดมันสำปะหลัง (เจริญศักดิ์ และคณะ, 2542) มันสำปะหลังพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 มีลักษณะใกล้เคียงกับพันธุ์ระยอง 1 เนื่องจากเป็นพันธุ์ที่เกิดจากการผสมระหว่างพันธุ์ระยอง 1 กับพันธุ์ระยอง 90 ความแตกต่างระหว่างพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 กับพันธุ์ระยอง 1 คือ พันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 นั้นยอดจะไม่มีขนและก้านใบมีสีเขียวตลอด ส่วนพันธุ์ระยอง 1 ยอดอ่อนจะมีขนเส้นเล็ก ๆ และก้านใบมีสีเขียวปนม่วง และลักษณะลำต้นของพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 จะโค้งงอมากกว่าพันธุ์ระยอง 1

ตารางที่ 4 ลักษณะประจำพันธุ์มันสำปะหลัง

ลักษณะพันธุ์	พัฒนาพันธุ์ โดยศูนย์วิจัยพืชไร่ระยอง กรมวิชาการ							พัฒนาพันธุ์ โดยมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์		
	ระยอง 1	ระยอง 2	ระยอง 3	ระยอง 5	ระยอง 60	ระยอง 72	ระยอง 90	เกษตรศาสตร์50	ศรีราชา 1	ห้วยบง 60
สีต้น	เขียวเงิน	น้ำตาลอ่อน	น้ำตาลอ่อน	น้ำตาลอมเขียว	น้ำตาลอ่อน	เขียวเงิน	น้ำตาลอมส้ม	เขียวเงิน	เขียวเงิน	เขียวเงิน
สีก้านใบ	เขียวปนม่วง	เขียวอมม่วง	เขียวอ่อนปนแดง	แดงเข้ม	เขียวอ่อน ปนแดง	แดงเข้ม	เขียวอ่อน (ค่อนข้างขาว)	เขียว	เขียวปนม่วง	เขียวอมม่วง
สียอดอ่อน	ม่วง,มีขนเล็ก ๆ	เขียวอมม่วง	เขียวอ่อน	ม่วงอ่อน	เขียวอมน้ำตาล	ม่วง	เขียวอ่อน	ม่วง (ไม่มีขนอ่อน)	เขียวปนม่วง	ม่วงอ่อน (ไม่มีขนอ่อน)
ความสูงต้น (ซ.ม.)	200 - 300	180 - 220	130 - 180	170 -220	175 - 250	180 - 200	160 - 200	200 - 300	231	180 - 230
ระดับการแตกกิ่งแรก (ซ.ม.)	สูง (180)	ค่อนข้างสูง (150)	ต่ำ (80)	สูง (100)	สูง (150)	ค่อนข้างสูง (140)	สูง (120)	สูง (150)	สูง (170)	สูง (90-140)
จำนวนแตกกิ่ง	น้อย	ปานกลาง	มาก	น้อย	ปานกลาง	ปานกลาง	มาก	น้อย	น้อย	ปานกลาง
สีเปลือกหัว	น้ำตาลอ่อน	น้ำตาลอ่อน	น้ำตาลอ่อน	น้ำตาลอ่อน	น้ำตาลอ่อน	ขาวนวล	น้ำตาลเข้ม	น้ำตาล	ขาวนวล	น้ำตาลอ่อน
สีเนื้อหัว	ขาว	เหลืองอ่อน	ขาว	ขาว	ขาวครีม	ขาว	ขาว	ขาว	ครีม	ขาว
ผลผลิต (ตัน/ไร่)	3.22	3	2.73	4.02	3.52	5.09	3.65	5.4		5.8
เปอร์เซ็นต์แป้ง (%)	18.3 ฤดูฝน 24 ฤดูแล้ง	ใกล้เคียงระยอง 1	23 (ฤดูฝน) 28 (ฤดูแล้ง)	22.3	18.5	20.0	23.7	25.0	21.9	25.5

ที่มา: มูลนิธิสถาบันพัฒนามันสำปะหลังแห่งประเทศไทยในพระราชูปถัมภ์สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี (2549)

ตารางที่ 5 ลักษณะเด่น ข้อจำกัด และประวัติย่อของพันธุ์มันสำปะหลัง

ลักษณะพันธุ์	ระยอง 1	ระยอง 2	ระยอง 3	ระยอง 5	ระยอง 60
ลักษณะเด่น	สามารถงอกได้ดีทุกสภาพแวดล้อม และทุกฤดูกาล ลำต้นตั้งตรงสูง ทำให้สะดวกในการกำจัดวัชพืชและเก็บท่อนพันธุ์ปรับตัวได้ดีกับสภาพแวดล้อมทั่วไป	หั่นเป็นแว่น ๆ ได้ง่าย รสชาติดี เหมาะสำหรับบริโภค	ปริมาณแป้งสูง ตอบสนองต่อปุ๋ยและพื้นที่ที่มีความสมบูรณ์สูง	ให้ผลผลิตหัวสดและเปอร์เซ็นต์แป้งสูง ปรับตัวได้ดีกับสภาพแวดล้อม ต้นพันธุ์มีความงอกดี	อายุการเก็บเกี่ยวสั้น ให้ผลผลิตสูง
ข้อจำกัด	ปริมาณแป้งต่ำ	ปริมาณแป้งต่ำ คุณภาพหัวขึ้นกับสภาพแวดล้อม ไม่สามารถปลูกเพื่อขายส่งโรงงานอุตสาหกรรมได้	ต้นเตี้ยและแตกกิ่ง ทำให้ได้พันธุ์น้อย และปฏิบัติดูแลรักษายาก ท่อนพันธุ์เสื่อม ความงอกเร็ว	พบอาการโรคใบไหม้มากกว่าพันธุ์อื่น แต่ไม่มีผลต่อผลผลิต	เนื้อในหัวสีขาวครีม เปอร์เซ็นต์แป้งต่ำ
ประวัติการแนะนำพันธุ์	รวบรวมและคัดเลือกจากพันธุ์พื้นเมืองในประเทศ แนะนำพันธุ์ปี 2518	นำเมล็ดพันธุ์ลูกผสมระหว่างพันธุ์ MCOL 113 กับ MCOL 22 มาคัดเลือก แนะนำพันธุ์ปี 2517	นำเมล็ดพันธุ์ลูกผสมระหว่างพันธุ์ Mmex 55 กับ Mven 307 มาคัดเลือก แนะนำพันธุ์ปี 2526	ผสมและคัดเลือกพันธุ์ในประเทศระหว่างพันธุ์ 22-77-10 กับ ระยอง 3 แนะนำพันธุ์ปี 2537	ผสมและคัดเลือกพันธุ์ในประเทศระหว่างพันธุ์ Mcol 1684 กับ ระยอง 1 แนะนำพันธุ์ปี 2530

ตารางที่ 5 (ต่อ)

ลักษณะพันธุ์	ระยอง 90	ระยอง 72	เกษตรศาสตร์ 50	ศรีราชา 1	ห้วยบง 60
ลักษณะเด่น	ผลผลิต เปอร์เซ็นต์แป้งสูง ตอบสนองต่อปุ๋ยและดินที่มีความอุดมสมบูรณ์สูง	ผลผลิตสูง ต้นเจริญเติบโตเร็ว คลุมวัชพืชได้ดี ลำต้นตั้งตรง สูงใหญ่ ตัดต้นไว้ปลูกได้ง่าย	ผลผลิตและปริมาณแป้งสูง เปอร์เซ็นต์ความงอก และการอยู่รอดค่อนข้างสูง	ขึ้นได้ในพื้นที่ที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ	ผลผลิตและปริมาณแป้งสูง เปอร์เซ็นต์ความงอกและความอยู่รอดสูง แป้งมีความหนืดสูง
ข้อจำกัด	ลักษณะต้นโค้ง ต้นแห้งเร็ว เก็บรักษาไว้ได้ไม่นาน	เปอร์เซ็นต์แป้งในหัวต่ำ การแปรรูปเป็นมันเส้น ต้องตากแดดนานกว่าพันธุ์อื่น 25%	ในสภาพแวดล้อมผิดปกติ จะมีการแตกกิ่ง ทำให้ไม่สะดวกในการปฏิบัติดูแล	เปอร์เซ็นต์แป้งไม่สูง เนื้อในหัวสีครีม	
ประวัติการแนะนำพันธุ์	ผสมและคัดเลือกพันธุ์ในประเทศ ระหว่างพันธุ์ CMC 76 กับ V 43 แนะนำพันธุ์ปี 2532	เป็นพันธุ์ลูกผสมระหว่างพันธุ์ระยอง 1 กับพันธุ์ระยอง 5 และทำการปลูกทดสอบมาเป็นเวลากว่า10 ปี ประกาศรับรองพันธุ์ปี 2542	ผสมและคัดเลือกพันธุ์ในประเทศ ระหว่างพันธุ์ระยอง 1 กับ ระยอง 90 แนะนำพันธุ์ปี 2535	ผสมและคัดเลือกพันธุ์ในประเทศ ระหว่างพันธุ์ MKU 2-162 กับ ระยอง 1	ผสมพันธุ์ระยอง 5 กับ KU50 ได้ 963 สายพันธุ์ คัดเลือกพันธุ์ที่ดี 5 สายพันธุ์ นำมาปลูกทดสอบ คัดได้สายพันธุ์ MKUC 34-114-206 รับรองพันธุ์ 11 มีนาคม 2546

ที่มา: มูลนิธิสถาบันพัฒนามันสำปะหลังแห่งประเทศไทยในพระราชูปถัมภ์สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี (2549)

ตารางที่ 6 ชนิดของพันธุ์มันสำปะหลังที่ปลูกในพื้นที่เพาะปลูกในประเทศไทย ปี 2545/2546

พันธุ์	โซน							
	1	2	3	4	5	6	7	รวม
เกษตรศาสตร์ 50	678,055	928,987	180,751	331,000	146,085	450,708	196,607	2,912,193
ระยอง 90	330,713	200,322	55,776	150,750	126,334	57,209	22,404	943,508
ระยอง 3	-	23,463	8,466	12,800	-	-	13,033	57,762
ระยอง 5	774,660	459,155	73,395	22,600	38,477	325,491	210,730	1,904,508
ระยอง 60	15,000	52,096	43,403	21,250	32,850	68,242	6,516	239,357
ระยอง 72	21,840	233,252	12,323	48,600	10,154	26,549	25,059	377,777
พื้นเมือง	24	3,100	6,770	-	89,863	14,425	5	114,187
อื่นๆ	6,650	-	-	-	-	15,109	-	21,759
รวม	1,826,942	1,900,375	380,884	587,000	443,763	957,733	474,354	6,571,051
พื้นที่เพาะปลูก 45/46 (ไร่)	1,837,539	1,900,375	380,884	587,000	464,066	957,553	474,354	6,601,771
ผลต่าง (ไร่)	-10,597	-	-	-	-20,303	180	-	-30,720

หมายเหตุ

โซน 1 ประกอบด้วยจังหวัด ปราจีนบุรี ฉะเชิงเทรา สระแก้ว จันทบุรี ระยอง ชลบุรี ตราด

โซน 2 ประกอบด้วยจังหวัด บุรีรัมย์ ชัยภูมิ นครราชสีมา

โซน 3 ประกอบด้วยจังหวัด นครพนม มุกดาหาร ยโสธร อำนาจเจริญ อุบลราชธานี ศรีสะเกษ สุรินทร์

โซน 4 ประกอบด้วยจังหวัด มหาสารคาม ร้อยเอ็ด กาฬสินธุ์ ขอนแก่น

โซน 5 ประกอบด้วยจังหวัด เลย หนองบัวลำภู อุดรธานี หนองคาย สกลนคร

โซน 6 ประกอบด้วยจังหวัด เชียงราย อุตรดิตถ์ พิษณุโลก นครสวรรค์ อุทัยธานี กำแพงเพชร เพชรบูรณ์ ตาก สุโขทัย แพร่ น่าน ลำปาง พะเยา พิจิตร

โซน 7 ประกอบด้วยจังหวัด สระบุรี ลพบุรี ชัยนาท สุพรรณบุรี กาญจนบุรี ราชบุรี เพชรบุรี

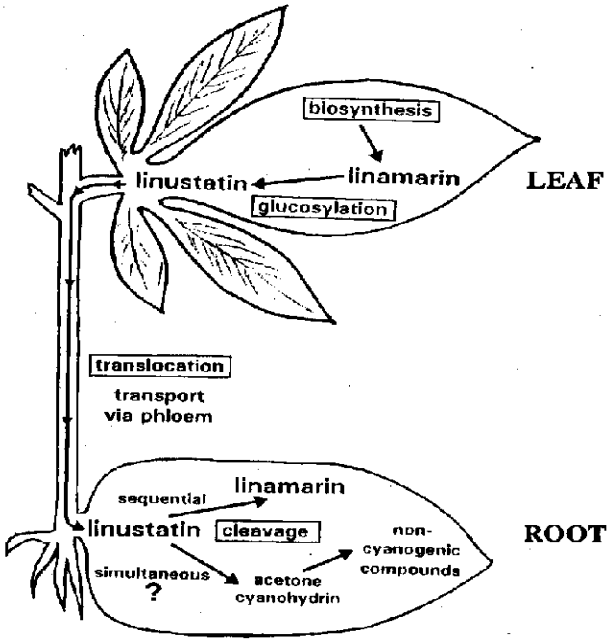
ที่มา: สมาคมโรงงานผู้ผลิตมันสำปะหลัง ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ (2547)

3. ไซยาไนด์ในมันสำปะหลัง

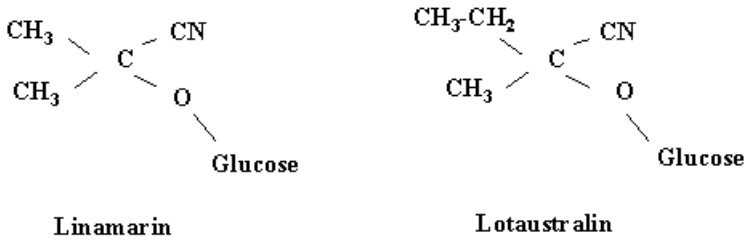
มันสำปะหลังเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศแต่การใช้ประโยชน์ยังมีข้อจำกัด เนื่องจากมีสารพิษซึ่งเกิดจากสารประกอบไซยาโนจินิคกลูโคไซด์ (Cyanogenic glucoside) ซึ่งไซยาไนด์เป็นสารพิษที่สามารถพบได้ในส่วนต่าง ๆ ของต้นมันสำปะหลัง รวมทั้งหัวมันสำปะหลังที่ใช้ในการสกัดแป้ง ปริมาณไซยาไนด์จะพบบริเวณเปลือกในปริมาณสูงกว่าในเนื้อมันสำปะหลัง (Go'mez *et al.*, 1984) ปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณไซยาไนด์ในหัวมันสำปะหลังจะขึ้นอยู่กับพันธุ์ อายุในการเก็บเกี่ยว สภาพดิน และสภาวะที่ใช้ในการปลูก เป็นต้น (Aalbersberg *and* Limalevu, 1991; Santisopasri *et al.*, 2001)

3.1 สารประกอบไซยาไนด์

มันสำปะหลังเป็นพืชที่เป็นแหล่งของแป้งสูง มีปริมาณโปรตีน เกลือแร่ และวิตามินต่ำ ส่วนของมันสำปะหลังที่นำมาบริโภค คือ ส่วนของราก ในต้นมันสำปะหลังตั้งแต่ ใบ ต้น และราก จะพบว่ามีสารไซยาโนจินิคกลูโคไซด์ (cyanogenic glucoside) ปะปนอยู่ ซึ่งสารนี้สามารถเปลี่ยนรูปและปลดปล่อยไซยาไนด์ (cyanide) ได้ โดยไซยาไนด์เป็นสารพิษที่มีพิษต่อมนุษย์และสัตว์ การสังเคราะห์ไซยาไนด์ในมันสำปะหลังเกิดขึ้นที่ใบอ่อน และมีการขนส่งไปตามท่อลำเลียงอาหารไปเก็บสะสมไว้ที่ราก (Selmar, 1994) แสดงดังภาพที่ 1 โดยปกติสารไซยาโนจินิคกลูโคไซด์ ที่พบในมันสำปะหลังมี 2 ชนิด ได้แก่ ลินามาริน (Linamarin) [2-(β-D-glucopyranosyloxy) isobutyronitrile] และ โลตาสตราลิน (Lotaustralin) [methyl-linamarin, 2-(β-D-glucopyranosyloxy) methylbutyronitrile] ซึ่งถูกสังเคราะห์ขึ้นจากกรดอะมิโน 2 ตัว คือ วาลีน (Valine) และไอโซลิวซีน (Isoleucine) ตามลำดับ ปกติไซยาโนจินิคกลูโคไซด์ที่พบในมันสำปะหลังจะประกอบด้วยลินามารินร้อยละ 93 และโลตาสตราลิน ร้อยละ 7 ดังนั้นเมื่อกล่าวถึงไซยาโนจินิคกลูโคไซด์ในมันสำปะหลัง จึงมักหมายถึงลินามาริน สูตรโครงสร้างของลินามารินและโลตาสตราลิน แสดงดังภาพที่ 2



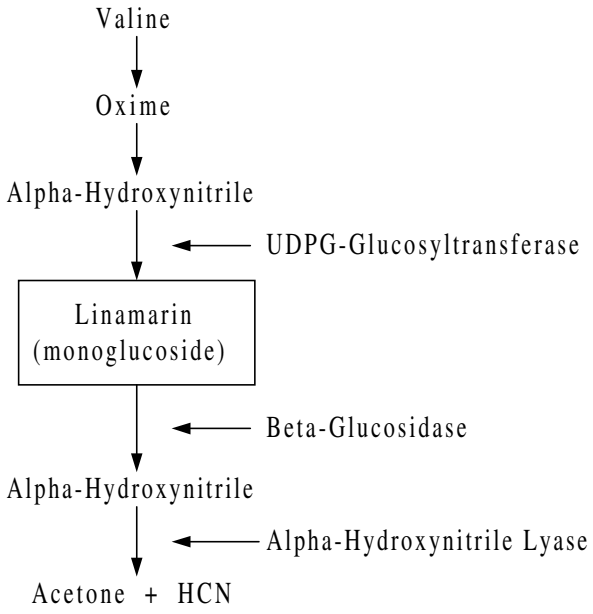
ภาพที่ 1 การเคลื่อนย้ายสารไซยาโนจินิคกลูโคไซด์ในมันสำปะหลัง
ที่มา: Selmar (1994)



ภาพที่ 2 สูตรโครงสร้างของลินามาริน (Linamarin) และโลตาสตราลิน(Lotaustralin)
ที่มา: Balagopalan (1988)

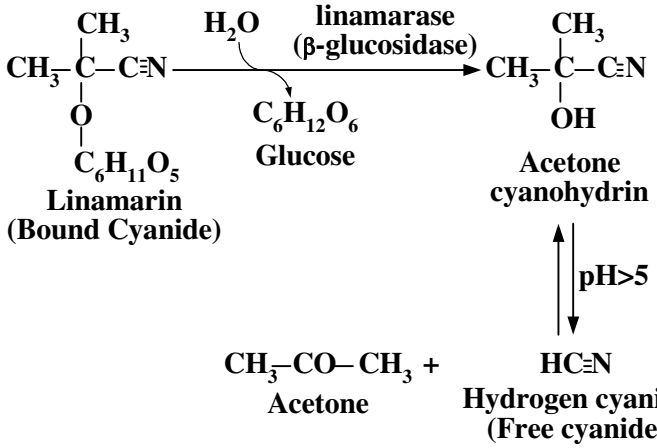
การสังเคราะห์ลินามารินเกิดจากโปรตีนตั้งต้น คือ วาลีน (Valine) โดยวาลีนสามารถถูกเปลี่ยนไปเป็นสารลินามารินได้ในสภาวะที่มีเอนไซม์ยูดีจีพี-กลูโคซิลทรานสเฟอเรส (UDPG-Glucosyltransferase) สารลินามารินสามารถถูกย่อยสลายได้โดยเอนไซม์ลินามาเรส(Linamarase) (EC 3.2.1.21, linamarin β-Dglucoside glucohydrolase) และเอนไซม์แอลฟา-ไฮดรอกซีไนทริลไลเอส (alpha-hydroxynitrile lyase) การสังเคราะห์และการสลายลินามารินแสดงดังภาพที่ 3 และ

ภาพที่ 4 โดยรูปของไซยาไนด์ที่พบในมันสำปะหลังสามารถเปลี่ยนรูปได้ 3 รูป คือ บาวนด์ไซยาไนด์ (bound cyanide) หรือเรียกอีกชื่อหนึ่งว่าไซยาโนจินิค กลูโคไซด์ (cyanogenic glucosides) ไซยาโนไฮดริน (cyanohydrin) และไซยาไนด์อิสระ (free cyanide)



ภาพที่ 3 การสังเคราะห์และการสลายของสารลินามาริน

ที่มา: Balagopalan (1988)



ภาพที่ 4 การย่อยสลายของ Linamarin

ที่มา: Bokanga (1995)

ทั้งนี้ปริมาณของไซยาไนด์ที่พบในหัวมันสำปะหลังจะขึ้นอยู่กับพันธุ์และการจัดการการเพาะปลูก ถึงแม้ว่าไซยาไนด์จะเป็นสารพิษที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ แต่ก็สามารถถูกกำจัดออกไปได้ในระหว่างการแปรรูป ซึ่งจะเป็นการลดโอกาสการปนเปื้อนของไซยาไนด์ในผลิตภัณฑ์ได้ แต่การลดปริมาณไซยาไนด์จะมีประสิทธิภาพหรือไม่จำเป็นที่จะต้องรู้ถึงชนิด ปริมาณ และสมบัติของสารประกอบไซยาไนด์ที่มี เพื่อที่จะได้จัดการการแปรรูปอย่างถูกต้อง

การวิเคราะห์ปริมาณไซยาไนด์เป็นการบ่งบอกถึงความปลอดภัยในผลิตภัณฑ์มันสำปะหลัง การวิเคราะห์ปริมาณไซยาไนด์มีหลายวิธี ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดและสมบัติของสารประกอบไซยาไนด์ที่ต้องการวิเคราะห์

วิธีการวิเคราะห์ที่ได้ผลแม่นยำและรวดเร็วคือ การวิเคราะห์โดยใช้เอนไซม์ (Enzymatic method) (O' Brien *et al*., 1991) ซึ่งหลักการของวิธีนี้ คือ การสกัดตัวอย่างด้วยกรดฟอสฟอริก/แอลกอฮอล์เพื่อยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ลินามาเรสในหัวมัน และเติมเอนไซม์ลินามาเรส ซึ่ง Bound cyanide หรือไซยาโนจินิคกลูโคไซด์ จะถูกย่อยกลายเป็น Cyanohydrin และ glucose ต่อจากนั้นปรับ pH ให้อยู่ในสภาพเป็นด่างโดยการเติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ขณะนี้ Cyanohydrin จะเปลี่ยนรูปเป็น CN^- ซึ่งอยู่ในสภาวะที่ pH มากกว่า 4 แล้วเติมสารที่ทำให้เกิดสี (Color reagent) ซึ่งประกอบด้วย สารละลายคลอรามินทีและสารละลายไพริดีน/ไพราโซโลน เพื่อให้เกิดสี และทำการวัดค่าการดูดกลืนแสง สารประกอบไซยาไนด์สามารถพบได้ 3 รูปแบบ คือ Cyanogenic glycoside (Bound cyanide), Cyanohydrin และ Free HCN ซึ่งในการวิเคราะห์หาปริมาณไซยาไนด์ที่อยู่ในรูปต่าง ๆ สามารถทำได้ดังนี้ (รายละเอียดวิธีการวิเคราะห์ในภาคผนวก ข)

- Total cyanogen ได้แก่ Cyanogenic glucosides รวมกับ Cyanohydrin และ HCN โดยในการวิเคราะห์จะทำการสกัดด้วยสารสกัด มีการใช้เอนไซม์เพื่อย่อยสารประกอบ Glucoside ให้เป็น Cyanohydrin และมีการปรับ pH ของสารละลายเพื่อเปลี่ยน Cyanohydrin ไปเป็น Free cyanide แล้วจึงวิเคราะห์หาปริมาณ Free cyanide ทั้งหมด

- Non-glucosidic cyanogen หรือ Non cyanogenic glucoside ได้แก่ Cyanohydrin รวมกับ HCN วิเคราะห์โดยการสกัดด้วยสารสกัด และไม่ย่อยด้วยเอนไซม์ ดังนั้นในการวิเคราะห์จะไม่มีการเปลี่ยน Glucoside เป็น Cyanohydrin แต่จะมีการปรับ pH เพื่อเปลี่ยน Cyanohydrin ไปเป็น Free cyanide แล้ววิเคราะห์หาปริมาณ Free cyanide ทั้งหมด ซึ่งจะรวมทั้ง Cyanohydrin และ Free cyanide

- Free cyanide ได้แก่ HCN วิเคราะห์โดยการควบคุม pH ของระบบให้น้อยกว่า 4.0 และไม่เติมเอนไซม์ ดังนั้นทั้ง Glucoside และ Cyanohydrin จะไม่มีการเปลี่ยนรูปเป็น Free cyanide ดังนั้นปริมาณไซยาไนด์ที่วิเคราะห์ได้จึงเป็นปริมาณ Free cyanide ที่มีอยู่ในระบบเท่านั้น

จากการวิเคราะห์ข้างต้น สามารถนำไปคำนวณหารูปต่าง ๆ ของไซยาไนด์ ได้ดังนี้

Cyanogenic glucosides = Total cyanogen – Non cyanogenic glucoside

Cyanohydrin = Non cyanogenic glucoside – HCN

Free cyanide = HCN

จากหลักการการวัดปริมาณไซยาไนด์โดยการใช้เอนไซม์ โดยทำให้ไซยาไนด์เปลี่ยนไปอยู่ในรูปที่สามารถทำปฏิกิริยากับสารทำให้เกิดสีที่สามารถทำการวัดค่าได้ การเปลี่ยนแปลงรูปแบบของไซยาไนด์ไปอยู่ในรูปที่วิเคราะห์ได้เป็นชนิดที่ไม่มีความเสถียร สามารถแตกตัวและระเหยได้ง่าย หลักการดังกล่าวสามารถนำมาใช้ในการลดปริมาณไซยาไนด์ในหัวมันสำปะหลังได้ โดยไซยาไนด์ที่พบอยู่ในรูปของหัวมันจะอยู่ในรูปของไซยาโนจินิคกลูโคไซด์ ซึ่งสามารถถูกย่อยสลายได้ด้วยเอนไซม์ เกิดเป็นสารประกอบไซยาโนไฮดรินที่สามารถแตกตัวได้อย่างรวดเร็วในสภาวะด่างและให้กรดไฮโดรไซยานิกที่ระเหยได้ง่าย

3.2 อันตรายจากไซยาไนด์

มันสำปะหลังมีหลายพันธุ์ แต่ละพันธุ์มีปริมาณสารไซยาไนด์ที่แตกต่างกัน โดยอาจพบหัวมันสำปะหลังที่มีไซยาไนด์น้อยกว่า 10 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม จนถึงหัวมันสำปะหลังที่มีปริมาณไซยาไนด์มากกว่า 500 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (O'Brien *et al*., 1994) ปริมาณไซยาไนด์ที่เป็นอันตรายต่อชีวิตมนุษย์นั้นอยู่ในระดับ 0.5-3.5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมของน้ำหนักตัว (Bradbury *et al*., 1991) ส่วนปริมาณไซยาไนด์ในผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังในระดับที่ปลอดภัยนั้น มีกำหนดไว้ใน Codex Alimentarius Commission (1989) โดย FAO/WHO ให้อยู่ในระดับไม่เกิน 10 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมของน้ำหนักแห้ง

อันตรายจากไซยาไนด์มีทั้งแบบฉับพลันและแบบเรื้อรัง กรณีอันตรายแบบฉับพลันจะเกิดจากการรับประทานมันสำปะหลังดิบที่มีสารพิษสูงมากซึ่งอาจทำให้ตายได้ ส่วนความเป็นพิษแบบเรื้อรังพบในบางพื้นที่ในทวีปแอฟริกา โดยจะพบในคนที่รับประทานมันสำปะหลังสดที่ผ่าน

การหุงต้มในปริมาณที่สูง คือ ประมาณ 1 กิโลกรัมต่อวัน โดยรับประทานเป็นระยะเวลานานในช่วงที่ร่างกายได้รับไอโอดีนและโปรตีนน้อย ซึ่งจะแสดงอาการต่อระบบประสาทและทำให้เกิดโรคคอพอก แต่ความเป็นพิษแบบเรื้อรังนี้ไม่มีรายงานว่าพบในทวีปอเมริกาและเอเชีย

3.3 ปริมาณไซยาไนด์ในหัวมันสำปะหลัง

ปริมาณไซยาไนด์ทั้งหมดในส่วนของเนื้อมันสำปะหลังมีมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับชนิดของพันธุ์ สภาพแวดล้อมในการเพาะปลูก และปัจจัยอื่นๆ จากการตรวจวิเคราะห์ปริมาณไซยาไนด์ทั้งหมดในส่วนของเนื้อมันสำปะหลังจำนวนมากกว่า 1,500 ตัวอย่าง (Bakanga, 1995) พบว่าการกระจายตัวของปริมาณไซยาไนด์ทั้งหมดมีค่าอยู่ที่ 1 ถึงมากกว่า 500 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมโดยน้ำหนัก โดยปริมาณไซยาไนด์ในเนื้อมันสำปะหลังมีมากที่สุดในช่วงระหว่าง 30-50 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม มีรายงานว่ามีมันสำปะหลังบางชนิดมีปริมาณไซยาไนด์ในส่วนของเนื้อมันประมาณ 1-2 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (Bradbury *et al.*, 1991; Bourdoux *et al.* 1982) แต่ก็มีรายงานในประเทศแทนซาเนียว่ามีการตรวจพบปริมาณไซยาไนด์ในเนื้อมันถึง 1,090 ถึง 1,550 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (Mlingi and Bainbridge, 1994) ส่วนในประเทศอินเดียมีรายงานว่าปริมาณไซยาไนด์ในเนื้อมันสำปะหลังมีค่าเฉลี่ยอยู่ประมาณ 1,100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (Nambisan, 1994) ดังนั้นปริมาณไซยาไนด์ทั้งหมดในเนื้อมันสำปะหลังที่ตรวจพบมีค่าอยู่ในช่วง 1-1,550 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

จากการกระจายตัวของปริมาณไซยาไนด์ทั้งหมดในส่วนของเนื้อมันสำปะหลังทำให้สามารถแบ่งกลุ่มของมันสำปะหลังออกได้เป็น 2 ชนิด คือ ชนิดหวาน และ ชนิดขม โดยใช้รสชาติเป็นเกณฑ์ในการแบ่ง รสขมในมันสำปะหลังส่วนใหญ่เกิดจากสารลินามาริน (Linamarin) แต่รสขมและเปรี้ยวจากสารประกอบอื่นๆ บางครั้งอาจทำให้ต่อมรับรสของคนเราผิดพลาดได้ (King and Bradbury, 1995) ดังนั้นการที่จะชิมว่ามีรสขมหรือไม่เพื่อตัดสินว่ามันชนิดนั้นๆ มีปริมาณไซยาไนด์มากหรือน้อยไม่ใช่สิ่งที่ถูกต้องซึ่งเป็นอันตรายและไม่ปลอดภัยต่อการบริโภคได้

การตรวจวัดปริมาณไซยาไนด์ทั้งหมดที่มีในเนื้อมันสำปะหลังจึงเป็นวิธีที่ปลอดภัยมากที่สุดในการแบ่งประเภทของมันสำปะหลัง โดยสามารถแบ่งชนิดของมันสำปะหลังออกได้เป็น 3 ชนิด คือ ชนิดที่มีความเป็นพิษน้อยมีปริมาณไซยาไนด์น้อยกว่า 50 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ชนิดที่มีความเป็นพิษปานกลางมีปริมาณไซยาไนด์ทั้งหมดอยู่ระหว่าง 50-100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และ

ชนิดที่มีความเป็นพิษมากมีปริมาณไซยาไนด์ทั้งหมดมากกว่า 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (Coursey, 1973)

4. <u>การใช้ประโยชน์จากมันสำปะหลัง</u>

มันสำปะหลังเป็นพืชเศรษฐกิจที่ทนแล้งได้ดี ขยายพันธุ์ได้ง่าย ต้นทุนการเพาะปลูกไม่สูง จึงเป็นที่นิยมของเกษตรกรโดยทั่วไป สามารถปลูกได้ในดินทั่วไป ยกเว้นในบริเวณที่ดินมีความชื้นสูง ฝนตกหนัก หรือดินเค็ม ดังนั้นจึงพบเห็นมันสำปะหลังปลูกได้ทั่วไป บริเวณที่มีการปลูกมันสำปะหลังมากที่สุดคือภาคตะวันออกเฉียงเหนือและภาคตะวันออก มีผลผลิตทั่วประเทศอยู่ในปริมาณ 16 ถึง 18 ล้านตันหัวมันสดต่อปี จึงถือได้ว่าประเทศไทยเป็นผู้ผลิตหัวมันรายใหญ่รายหนึ่งของโลก (ทั่วโลกมีการผลิตหัวมันสดประมาณ 160 ล้านตัน) ซึ่งการใช้ประโยชน์จากหัวมันสดภายในประเทศนั้น มีตั้งแต่การแปรรูปเบื้องต้นในระดับเกษตรกรจนกระทั่งใช้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ (กล้าณรงค์ และคณะ ,2542)

มันสำปะหลังเป็นพืชที่เก็บสะสมอาหารไว้ในราก เมื่อพืชมีการสร้างอาหารจากใบและส่วนที่เป็นสีเขียวแล้ว จะสะสมในรูปของคาร์โบไฮเดรตคือแป้งไว้ในราก ความสามารถในการสร้างและสะสมแป้งในรากมีความแตกต่างกัน เนื่องมาจากพันธุ์มันสำปะหลัง อายุการเก็บเกี่ยว ปริมาณน้ำฝนในช่วงแรกก่อนการเก็บเกี่ยวและปัจจัยอื่น ๆ จึงทำให้ส่วนประกอบของหัวมันสำปะหลังอาจจะแตกต่างกันออกไป โดยทั่วไปหัวมันสำปะหลังที่มีอายุ 12 เดือน ที่ได้รับปริมาณน้ำฝนเพียงพอ และไม่มีฝนตกชุกขณะเก็บเกี่ยว จะมีส่วนประกอบดังแสดงในตารางที่ 7 และตารางที่ 8

<u>ตารางที่ 7</u> ส่วนประกอบหลักในหัวมันสำปะหลัง

องค์ประกอบในหัวมัน	ปริมาณ
น้ำ (%)	60.21-75.32
เปลือก (%)	4.08-14.08
เนื้อ (แป้ง) (%)	25.87-41.88
ไซยาไนด์ (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)	2.85-39.27

ที่มา: กล้าณรงค์ และคณะ (2542)

ตารางที่ 8 องค์ประกอบทางเคมีในเนื้อมันสำปะหลัง

องค์ประกอบในเนื้อมัน	ปริมาณ (ร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง)
แป้ง	71.9 - 85.0
โปรตีน	1.57 - 5.78
เยื่อใย	1.77 - 3.95
เถ้า	1.20 - 2.80
ไขมัน	0.06 - 0.43
คาร์โบไฮเดรตที่ไม่ใช่แป้ง	3.59 - 8.66

ที่มา: กล้าณรงค์ และคณะ (2542)

จะเห็นว่าองค์ประกอบส่วนใหญ่ในหัวมันสำปะหลังนอกจากน้ำแล้วคือแป้ง ซึ่งมีปริมาณร้อยละ 70-80 จึงถือว่ามันสำปะหลังเป็นพืชที่เป็นแหล่งของคาร์โบไฮเดรตที่ให้พลังงานกับคนและสัตว์ได้ดี จากตารางที่ 7 มีสารเคมีที่น่าสนใจ คือ ไซยาไนด์ ที่มีในหัวมันสำปะหลังในปริมาณที่แตกต่างกันตั้งแต่ 2.85 มิลลิกรัม ถึง 39.27 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมของหัวมันสำปะหลัง สารไซยาไนด์นี้เป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต จะมีอยู่ในหัวมันสำปะหลังสดที่เพิ่งเก็บมา เมื่อหัวมันสำปะหลังถูกเก็บเกี่ยวจากไร่แล้ว ปริมาณสารไซยาไนด์จะเริ่มลดลง ถ้าถูกความร้อน (เช่น ตาก แดด เผา ต้ม) สารไซยาไนด์ก็จะแตกตัวทำให้ปริมาณที่มีอยู่ลดลงได้ ในปัจจุบันมีการใช้ประโยชน์จากมันสำปะหลังดังต่อไปนี้ (กล้าณรงค์ และคณะ, 2542)

4.1 การบริโภคโดยตรง

การบริโภคเป็นอาหารโดยตรง ปกติที่นิยมรับประทานจะเป็นมันสำปะหลังชนิดหวาน หมายถึงชนิดที่มีปริมาณไซยาไนด์น้อย เช่น มันปิ้งชุบน้ำเชื่อม มันเชื่อม เป็นต้น ส่วนมันสำปะหลังที่ปลูกกันโดยทั่วไปจะมีปริมาณแป้งสูง จึงต้มน้ำสุกช้า เมื่อปอกเปลือกแล้วต้มในน้ำเดือด โดยต้มทิ้งไว้อย่างน้อยครึ่งชั่วโมง และนำมาเชื่อมหวาน ก็จะมีรสและความอร่อยเช่นเดียวกับมันพันธุ์ห้านาที ถ้ารับประทานโดยนำหัวมันสดมาปิ้งหรือย่างต้องแน่ใจว่าสุกดี ความร้อนในการหุงต้มสามารถลดปริมาณไซยาไนด์ที่มีอยู่ลงได้

ในบางประเทศมีการบริโภคมันสำปะหลังเป็นอาหารหลัก เช่น ประเทศในแถบแอฟริกา ละตินอเมริกา โดยบริโภคเช่นเดียวกับคนไทยที่บริโภคข้าวเป็นอาหารหลัก ซึ่งในการเตรียมมันสำปะหลังเพื่อใช้สำหรับการบริโภคจะมีการเตรียมเป็นฟลาวมันสำปะหลังแบบต่างๆ และมีชื่อเรียกแตกต่างกันไป เช่น ฟารินฮา (Farinha), การิ (Gari), ชิควางกู (Chickwangue), ฟูฟู (Fufu), ลาฟัน (Lafun) และคิวูน (Kivunde) เป็นต้น (Cock, 1985; Kuye and Sanni, 1999; Kimaryo *et al*., 2000) ฟลาวมันสำปะหลังเหล่านี้สามารถใช้ทำอาหารได้หลายชนิดและสามารถใช้ทดแทนแป้งทางการค้าได้ ขั้นตอนที่ใช้ในกระบวนการผลิตฟลาวมันสำปะหลังเป็นขั้นตอนที่ง่ายและไม่ยุ่งยาก (Loreto, 1992; Damardjati *et al*., 1992) ซึ่งจะประกอบด้วย การปอกเปลือก การแช่น้ำ การลดขนาดลง การคั้นน้ำออก และการทำแห้งโดยการตากแดด สิ่งสำคัญที่สุดในแต่ละขั้นตอนของกระบวนการผลิตคือต้องลดปริมาณไซยาไนด์ให้อยู่ในระดับที่ปลอดภัยต่อการบริโภค

4.2 อุตสาหกรรมมันเส้น

การแปรรูปทำโดยใช้เครื่องตัดหัวมันเป็นชิ้นเล็ก ๆ แล้วนำไปตากบนลานซีเมนต์ เมื่อแห้งดีแล้วทำการเก็บเพื่อส่งขายเป็นวัตถุดิบให้กับอุตสาหกรรมอาหารสัตว์หรืออุตสาหกรรมมันอัดเม็ด โดยปกติหัวมันสด 2.5 กิโลกรัมจะผลิตเป็นมันเส้นได้ 1 กิโลกรัม

4.3 อุตสาหกรรมมันอัดเม็ด

มันอัดเม็ดผลิตโดยการอัดมันเส้นโดยเครื่องอัดภายใต้สภาวะความร้อนและความดัน หลังจากอัดแล้ว จะมีลักษณะเป็นท่อนยาวประมาณ 2-3 เซนติเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 1 เซนติเมตร ความชื้นประมาณร้อยละ 14 ซึ่งจะส่งขายไปยังต่างประเทศเพื่อเป็นวัตถุดิบสำหรับอาหารสัตว์ เนื่องจากมันอัดเม็ดจะมีปริมาณแป้งสูง (มากกว่าร้อยละ 65) จึงใช้เป็นแหล่งอาหารให้พลังงานของสัตว์ มันอัดเม็ดมีราคาไม่สูงเมื่อเทียบกับผลิตผลของธัญพืชต่าง ๆ ดังนั้นหลายประเทศจึงนิยมใช้มันอัดเม็ดจากประเทศไทยในอุตสาหกรรมอาหารสัตว์ มันอัดเม็ดมีปริมาณการส่งออกประมาณ 5 ล้านตันต่อปี ข้อได้เปรียบของมันอัดเม็ดคือขนย้ายได้สะดวก ไม่มีฝุ่นเหมือนมันเส้น สามารถใช้เครื่องจักรในการขนย้ายได้เช่นเดียวกับเมล็ดธัญพืชต่าง ๆ

4.4 อุตสาหกรรมแป้งมันสำปะหลัง

ประเทศไทยเป็นประเทศเดียวที่มีการนำมันสำปะหลังที่ปลูกภายในประเทศมาผลิตเป็นแป้งมันสำปะหลังมากที่สุดในโลก เมื่อเปรียบเทียบกับประเทศที่มีการปลูกมันสำปะหลังเป็นปริมาณมาก ๆ เช่น บราซิล ไนจีเรีย เป็นต้น โดยถือได้ว่าประเทศไทยเป็นแหล่งผลิตแป้งมันสำปะหลังรายใหญ่ที่สุดของโลก โดยแป้งที่ผลิตได้มีคุณภาพสูงและมีราคาถูก

4.4.1 คุณสมบัติของแป้ง

แป้งมันสำปะหลังมีคุณสมบัติที่พิเศษ คือ มีความมันวาว เมื่อผสมน้ำและให้ความร้อนจะเหนียวเป็นกาวใส ไม่มีกลิ่น ไม่มีรส ไม่มีสี คุณสมบัติของแป้งมันสำปะหลังตามมาตรฐานอุตสาหกรรม แสดงดังตารางที่ 9

ตารางที่ 9 มาตรฐานแป้งมันสำปะหลัง

คุณภาพ		ชั้น 1	ชั้น 2	ชั้น 3
ความชื้น	ไม่เกิน	13	14	14
แป้ง *	ไม่น้อยกว่า	97.5	96.0	94.0
เถ้า *	ไม่เกิน	0.15	0.30	0.50
เถ้าที่ไม่ละลายในกรด *	ไม่เกิน	0.05	0.10	0.15
โปรตีน *	ไม่เกิน	0.3	0.3	0.3
เยื่อ (ลบ.ซม. / 50 กรัมก่อนอบแห้ง)	ไม่เกิน	0.2	0.5	1.0
ความเป็นกรด-ด่าง	ไม่เกิน	4.5-7.0	3.5-7.0	3.0-7.0
ความละเอียด (แป้งที่ค้างบนตะแกรงขนาด 150 ไมโครเมตร)	ไม่เกิน	1	3	5

* คำนวณจากน้ำหนักแห้ง ปริมาณคิดเป็นร้อยละ

ที่มา: มอก. 274-2521

4.4.2 การใช้ประโยชน์จากแป้งมันสำปะหลัง

การบริโภคในครัวเรือน การใช้แป้งมันสำปะหลังที่มากที่สุดคือการบริโภคในครัวเรือน คนไทยบริโภคแป้งมันสำปะหลังประมาณ 7 กิโลกรัมต่อคนต่อปี ซึ่งจะเป็นการปรุงอาหารประจำวันในบ้านเรือนหรือร้านค้าทั่ว ๆ ไป ถ้ามีการพัฒนาสูตรอาหารหรือการใช้บริโภคในครัวเรือนให้มากขึ้น ก็จะเป็นการเพิ่มปริมาณการใช้แป้งมันสำปะหลังมากขึ้น

อุตสาหกรรมแป้งดัดแปร แป้งที่ผลิตได้ส่วนใหญ่จะถูกนำมาใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับการดัดแปรแป้งมันสำปะหลังโดยวิธีการทางเคมี เพื่อให้แป้งมีคุณสมบัติพิเศษตามความต้องการในการใช้งาน เช่น เหนียวมากขึ้น ทนความร้อนได้ดี ทนกรดดีขึ้น แป้งมันสำปะหลังเป็นแป้งที่เหมาะต่อการดัดแปรทางเคมีมาก ทั้งนี้เนื่องจากแป้งมันสำปะหลังมีความบริสุทธิ์สูงมาก มีสิ่งเจือปน เช่น โปรตีน เถ้า ฯลฯ น้อย ปริมาณการใช้แป้งเพื่ออุตสาหกรรมการดัดแปรแป้งมากประมาณกว่า 3 แสนตันต่อปี

ผงชูรสและไลซีน ทั้งผงชูรสและไลซีนเป็นกรดอะมิโนที่เป็นส่วนประกอบสำคัญของโปรตีน ผู้ผลิตรายใหญ่ของโลกผลิตผงชูรสคิดเป็นปริมาณแป้งที่ใช้จำนวนสูงสุดเมื่อเทียบกับอุตสาหกรรมอื่น ๆ ส่วนไลซีนเป็นกรดอะมิโนที่จำเป็นต้องผสมในอาหารสัตว์ ทั้งผงชูรสและไลซีนประมาณว่าต้องใช้แป้งมากกว่า 2 แสนตันต่อปี

สารให้ความหวาน เช่น น้ำเชื่อมกลูโคส น้ำเชื่อมฟรักโทส ซอร์บิทอล และอื่นๆ ที่ได้จากการย่อยแป้งให้เล็กลงเป็นหน่วยของน้ำตาลต่างๆ เพื่อใช้ในอุตสาหกรรมบางชนิด เช่น อุตสาหกรรมขนมหวาน ลูกกวาด ยาสีฟัน และยา การใช้แป้งผลิตสารให้ความหวานแต่ละปีมีปริมาณการใช้มากกว่าหนึ่งแสนตัน

อุตสาหกรรมอาหารและสาคู อุตสาหกรรมโดยทั่ว ๆ ไปใช้แป้งเป็นตัวให้ความเหนียวสร้างลักษณะเงาวาว และน้ำหนักให้กับเนื้ออาหาร ส่วนสาคูเป็นอุตสาหกรรมที่ทำจากการเอาแป้งมาขึ้นรูป โดยใช้เครื่องเขย่าให้จับกันเป็นก้อนและร่อนเพื่อคัดขนาดที่ต้องการ คั่วและอบแห้งเป็นเม็ด ๆ เรียกว่า เม็ดสาคู ปริมาณการใช้แป้งประมาณ 1 แสนตันต่อปี

อุตสาหกรรมกระดาษ มีการใช้แป้งในอุตสาหกรรมกระดาษ โดยใช้แป้งเป็นตัวประสาน และเคลือบอยู่ประมาณร้อยละ 5 ของน้ำหนักกระดาษ มีการใช้แป้งมันสำปะหลังและแป้งดัดแปรในอุตสาหกรรมกระดาษ ประมาณ 1 แสนตันต่อปี

อุตสาหกรรมสิ่งทอ ในการเคลือบเส้นใยของผ้าจำเป็นต้องใช้แป้งเคลือบ โดยปกติจะใช้แป้งดัดแปร ปริมาณแป้งที่ใช้เท่ากับร้อยละ 1 ของน้ำหนักด้าย และมีปริมาณการใช้ประมาณ 2 หมื่นกว่าตันต่อปี

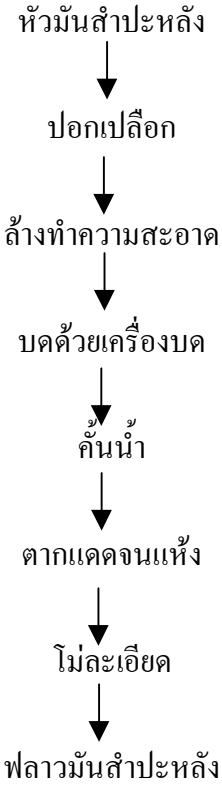
อุตสาหกรรมไม้อัดและกาว มีการใช้แป้งผสมกับสารเคมีต่าง ๆ เป็นกาวติดกระดาษ เช่น กระดาษลูกฟูก รวมทั้งใช้ในอุตสาหกรรมการทำไม้อัด มีปริมาณการใช้แป้งประมาณ 3 หมื่นตันต่อปี ไม้อัดหนึ่งแผ่นจะมีแป้งอยู่ 0.4 กิโลกรัม

5. ฟลาวมันสำปะหลัง

ฟลาวมันสำปะหลังหมายถึงส่วนของเนื้อมันสำปะหลังที่ผ่านขั้นตอนต่างๆ เพื่อลดปริมาณไซยาไนด์และทำให้แห้งที่ยังคงมีสิ่งเจือปนอยู่มาก ได้แก่ โปรตีน ไขมัน เกลือแร่ และเยื่อใย ซึ่งสิ่งเจือปนต่างๆ เหล่านี้ไม่ถูกกำจัดออกในกระบวนการผลิตเหมือนการผลิตแป้งมันสำปะหลัง

5.1 กรรมวิธีการผลิต

การผลิตฟลาวมันสำปะหลังได้มีการผลิตกันในหลายประเทศ เช่น ประเทศในแถบแอฟริกา อินโดนีเซีย ฟิลิปปินส์ เป็นต้น โดยมีกรรมวิธีเริ่มจากปอกเปลือก ล้างน้ำ คั้นน้ำออก นำเนื้อมันสำปะหลังที่ได้มาแตกแดดให้แห้งหลังจากนั้นนำมาบดละเอียดจะได้ฟลาวมันสำปะหลังดังแสดงในภาพที่ 5



ภาพที่ 5 กรรมวิธีการผลิตฟลาวมันสำปะหลัง
ที่มา: Damardjati *et al*. (1994)

5.2 ขั้นตอนในการลดอันตรายจากไซยาไนด์

ในขั้นตอนการผลิตฟลาวจากมันสำปะหลังมีการใช้เครื่องจักรในขั้นตอนการลดขนาด การคั้นน้ำ และการตีป่น ส่วนขั้นตอนอื่น ๆ ที่มีความสำคัญต่อการลดลงของปริมาณไซยาไนด์ คือ การปอกเปลือก การล้าง การลดขนาด การคั้นน้ำ และการทำแห้ง

การปอกเปลือก

ขั้นตอนการปอกเปลือกเป็นขั้นตอนที่มีความจำเป็นอย่างมากสำหรับการลดปริมาณไซยาไนด์ เนื่องจากในชั้นของเปลือกมันสำปะหลังส่วนที่ทำการลอกออกซึ่งเป็นส่วนของคอร์เทค (cortex) จะมีปริมาณไซยาไนด์อยู่ในส่วนของเปลือกถึงร้อยละ 60-70 ของปริมาณไซยาไนด์ทั้งหมดที่มีในหัวมันสำปะหลัง ส่วนในบริเวณเนื้อมันสำปะหลังที่เรียกว่าชั้นพาเรนไคมา (parenchyma tissues) จะมีปริมาณไซยาไนด์อยู่ประมาณร้อยละ 30-40 ของปริมาณไซยาไนด์ทั้งหมดที่พบใน

หัวมันสำปะหลัง (Loreto,1992) ดังนั้นการปอกเปลือกออกจึงช่วยลดปริมาณไซยาไนด์ลงได้อย่างมาก

ได้มีผู้พัฒนาเครื่องปอกเปลือกมันสำปะหลังต้นแบบ (ทยาวีร์, 2548) สำหรับการผลิตมันเส้นแบบปอกเปลือก ซึ่งเป็นมันเส้นสะอาด โดยเครื่องปอกเปลือกมันสำปะหลังต้นแบบนี้ใช้กับท่อนมันสำปะหลังที่มีช่วงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 41-70 มิลลิเมตร มีความยาวของท่อน 120 มิลลิเมตร ลูกกลิ้งใบมีดมีความเร็วปลายใบมีด 4.5 เมตรต่อวินาที อัตราการปอกเปลือกเท่ากับ 224 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ประสิทธิภาพการปอกเปลือกเท่ากับร้อยละ 75 และเมื่อเปรียบเทียบอัตราการปอกเปลือกของเครื่องเทียบกับการปอกเปลือกด้วยมีดโดยใช้มือ พบว่ามีประสิทธิภาพเร็วกว่าถึง 7 เท่า ซึ่งมีแนวโน้มที่จะพัฒนาเครื่องปอกเปลือกมันสำปะหลังนี้ไปใช้ในเชิงพาณิชย์ได้

<u>การล้างน้ำ</u>

การล้างน้ำเพื่อทำความสะอาด ล้างสิ่งปนเปื้อนพวกดิน ทราย และยางมันสำปะหลังออก และช่วยละลายสารประกอบไซยาไนด์บางส่วนออกไปได้ เนื่องจากสารประกอบไซยาไนด์เป็นสารที่สามารถละลายน้ำได้ (Cereda *and* Mattos, 1996) การล้างน้ำจึงช่วยกำจัดสารประกอบไซยาไนด์บางส่วนออกไปได้ (Balagopalan *et al*., 1988)

<u>การลดขนาด</u>

Yeoh *and* Sun (2001) รายงานว่าการทำฟลาวมันสำปะหลังแบบบดละเอียดก่อนอบแห้งจะมีปริมาณไซยาไนด์เหลืออยู่ในผลิตภัณฑ์ฟลาวมันสำปะหลังน้อยกว่าการเตรียมฟลาวมันสำปะหลังโดยการฝานเป็นแผ่นบางแล้วอบแห้ง โดยทำการตรวจวิเคราะห์ปริมาณไซยาไนด์ที่หลงเหลืออยู่ในตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่ทำจากฟลาวชนิดที่เตรียมจากการบดละเอียด และชนิดที่ฝานเป็นแผ่นบางชนิดละ 35 ตัวอย่าง พบว่าผลิตภัณฑ์อาหารที่เตรียมจากฟลาวที่บดละเอียดมีปริมาณไซยาไนด์อยู่ในช่วง 2-31 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งน้อยกว่าผลิตภัณฑ์ที่เตรียมจากฟลาวแบบฝานเป็นแผ่นบางมีปริมาณไซยาไนด์อยู่ในช่วง 28-88 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

Jones *et al*. (1994) ทำการศึกษาขนาดของชิ้นมันต่อการลดปริมาณไซยาไนด์ในการทำมันเส้น โดยอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8 ชั่วโมง และพบว่าการหั่นชิ้นมันสำปะหลังด้วยมือให้มีขนาดเล็ก (5 x 5 มิลลิเมตร) สามารถลดปริมาณไซยาไนด์ลงได้มากกว่าชิ้น

มันที่มีขนาดใหญ่ (10 x 10 มิลลิเมตร) โดยขนาดของชิ้นมันทั้งสองขนาดสามารถลดปริมาณไซยาไนด์ลงได้ร้อยละ 65 และ 55 ตามลำดับ

สุรินทร์ (2544) ได้ศึกษาการสลายตัวของสารประกอบไซยาไนด์ในหัวมันสำปะหลังด้วยเอนไซม์ที่มีอยู่ในหัวมันสำปะหลังเอง ซึ่งโดยปกติสารประกอบไซยาไนด์และเอนไซม์ที่มีอยู่ในหัวมันสำปะหลังนั้นแยกกันอยู่ แต่เมื่อทำการลดขนาดหัวมันสำปะหลังลง เนื้อเยื่อจะถูกทำลายหรือถูกบดขยี้ สารประกอบไซยาไนด์และเอนไซม์จะพบกันและเกิดปฏิกิริยาย่อยสลายได้ เกิดเป็นกรดไฮโดรไซยานิกและคีโตน ซึ่งเป็นรูปที่สลายตัวได้ง่าย โดยผู้วิจัยได้ศึกษาสภาวะการสลายตัวของสารประกอบไซยาไนด์ในหัวมันสำปะหลังพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 อายุ 10-12 เดือน โดยใช้เอนไซม์ที่มีอยู่ในหัวมันสำปะหลังเอง และพบว่าสภาวะการปล่อยไซยาไนด์อิสระเกิดสูงสุดที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ที่ความเป็นกรดด่าง 5.0 ภายในเวลา 30 นาที

<u>การทำแห้ง</u>

การทำแห้งสามารถทำแห้งโดยวิธีทางธรรมชาติ คือ การตากแดด หรือทำแห้งโดยการใช้ตู้อบ ในขั้นตอนการทำแห้งอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งมีผลต่อการลดปริมาณไซยาไนด์ จากการรวบรวมข้อมูลที่เขียนไว้ในรายงานของ Loreto (1992) รายงานว่าการทำแห้งที่อุณหภูมิ 60 – 70 องศาเซลเซียส สามารถช่วยลดปริมาณ Bound Cyanide ลงได้ร้อยละ 25 – 30 แต่ถ้าอบแห้งที่อุณหภูมิ 80 – 100 องศาเซลเซียส จะสามารถลดปริมาณ Bound Cyanide ลงได้เพียงร้อยละ 15 – 20

จากรายงานของ Cardoso *et al.* (2005) เมื่อทำการคำนวณหาปริมาณไซยาไนด์ทั้งหมดที่จะมีได้มากที่สุดในเนื้อมันสำปะหลังเริ่มต้นที่ผ่านกระบวนการผลิตฟลาวแบบต่างๆ เพื่อผลิตเป็นฟลาวมันสำปะหลังที่มีปริมาณไซยาไนด์ต่ำกว่า 10 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม พบว่าถ้าใช้กระบวนการผลิตโดยการตากแดดปริมาณไซยาไนด์ในส่วนเนื้อมันก่อนเข้ากระบวนการผลิตจะต้องมีปริมาณไซยาไนด์ไม่เกิน 32 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม จึงจะสามารถผลิตฟลาวได้ในระดับที่ปลอดภัยต่อการบริโภค แสดงให้เห็นว่ามันสำปะหลังที่จะนำมาใช้ในกระบวนการผลิตแบบตากแดดนั้นจะใช้ได้กับมันสำปะหลังชนิดหวานเท่านั้น

Bimbenet *et al.* (1994) ได้ทำการศึกษาการอบแห้งชิ้นมันที่อุณหภูมิ 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส และพบว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส สามารถลดปริมาณไซยาไนด์ได้ดี

ที่สุดใกล้เคียงกับการอบแห้งที่ 60 องศาเซลเซียส แต่ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส การทำลายไซยาไนด์จะเกิดได้น้อย ปริมาณไซยาไนด์ที่ยังคงเหลืออยู่ในตัวอย่างภายหลังการอบแห้ง (ความชื้นประมาณร้อยละ 10) จะมีค่าอยู่ที่ 19.8, 20.8 และ 166 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ โดยมันสำปะหลังเริ่มต้นมีปริมาณไซยาไนด์ 222 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม โดยน้ำหนักสด

ไพศาล (2547) ได้ศึกษาการอบแห้งชิ้นมันสำปะหลังเพื่อผลิตแป้งดิบ ซึ่งในที่นี้คือ ฟลาวมันสำปะหลัง โดยใช้เทคนิคการอบแห้งแบบไหลผ่าน ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จากการทดลองพบว่าการอบแห้งชิ้นมันที่มีขนาดใหญ่ (ขนาดมากกว่า 5.55 มิลลิเมตร) จะใช้เวลาในการอบนาน การลดขนาดชิ้นมันให้เล็กลง (ขนาด 3.35 – 5.55 มิลลิเมตร) จะมีผลทำให้ลดเวลาในการอบลง แต่การลดขนาดที่เล็กลงไปมาก (ขนาดเล็กกว่า 3.35 มิลลิเมตร) จะใช้เวลาในการอบเพิ่มมากขึ้นอีก

มีรายงานว่าในปีที่มีฝนตกในระดับปกติในปี 1996 และ 1999 ในประเทศโมเซมบิก (Mozambique) พบว่าการผลิตฟลาวมันสำปะหลังที่มีปริมาณไซยาไนด์ต่ำกว่า 10 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม สามารถผลิตได้เพียงร้อยละ 13-14 เท่านั้น (Carsodo *et al.* 1998)

5.3 ไซยาไนด์กับความปลอดภัยในผลิตภัณฑ์อาหาร

มีงานวิจัยที่ทำการสำรวจและเปรียบเทียบประสิทธิภาพของกระบวนการผลิตชนิดต่าง ๆ ที่ใช้ในการลดปริมาณไซยาไนด์ในมันสำปะหลัง และพบว่ากระบวนการผลิตฟลาวแบบต่าง ๆ ได้แก่ การตากแดด การหมัก การแช่น้ำร่วมกับการตากแดด การแช่น้ำร่วมกับการหมักและการคั่ว และการบดเนื้อมันสำปะหลังให้ละเอียดก่อนและทำการตากแดด มีประสิทธิภาพในการลดปริมาณไซยาไนด์ได้แตกต่างกัน กล่าวคือปริมาณไซยาไนด์เหลืออยู่ในผลิตภัณฑ์ฟลาวมันสำปะหลังที่ผ่านกระบวนการผลิตที่แตกต่างกันไปจะมีปริมาณไซยาไนด์ที่หลงเหลืออยู่แตกต่างกัน โดย Cardoso *et al.* (2005) ได้รวบรวมและทำการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของการลดปริมาณไซยาไนด์ของแต่ละกระบวนการผลิต ทำการสร้างเป็นสมการอย่างง่าย (Simple equation) โดยสร้างสมการจากค่าปริมาณไซยาไนด์ทั้งหมดที่มีในเนื้อมันสำปะหลังและผลิตภัณฑ์หลังผ่านกระบวนการผลิต ทำการคำนวณหาค่าร้อยละของปริมาณไซยาไนด์ที่เหลืออยู่ (% Retention of cyanide) และนำสมการไปใช้ทำนายกระบวนการผลิตฟลาวมันสำปะหลังที่ผลิตกันทั่วโลก ว่าถ้าต้องการผลิตฟลาวมันสำปะหลังที่มีความปลอดภัยตามที่ FAO/WHO กำหนดไว้ คือ มีปริมาณไซยาไนด์ทั้งหมดเหลืออยู่ไม่เกิน 10 มิลลิกรัมต่อฟลาว 1 กิโลกรัม ปริมาณไซยาไนด์ทั้งหมดที่มีอยู่ในส่วนของ

เนื้อมันจากหัวมันสดก่อนเข้ากระบวนการผลิตต้องมีปริมาณไซยาไนด์ทั้งหมดไม่เกินเท่าใด โดยคำนวณจากร้อยละของปริมาณไซยาไนด์ที่เหลืออยู่ (%Retention) ของแต่ละกระบวนการผลิต ซึ่งจะมีค่า % Retention ที่แตกต่างกัน และนำค่า % Retention ของแต่ละกระบวนการผลิตมาใช้คำนวณหาปริมาณไซยาไนด์เริ่มต้นในเนื้อมันสำปะหลังว่าไม่ควรเกินเท่าใด เพื่อที่จะผลิตเป็นฟลาวมันสำปะหลังที่มีปริมาณไซยาไนด์อยู่ในระดับที่ปลอดภัยต่อการบริโภค โดยทำการคำนวณดังนี้

$$\text{ร้อยละของปริมาณไซยาไนด์ที่เหลืออยู่ (\% Retention)} = \frac{\text{ปริมาณไซยาไนด์ในผลิตภัณฑ์สุดท้าย(โดยน้ำหนักแห้ง)} \times 100}{\text{ปริมาณไซยาไนด์ในเนื้อมันเริ่มต้น (โดยน้ำหนักแห้ง)}}$$

โดยที่

ปริมาณไซยาไนด์ในผลิตภัณฑ์สุดท้าย = P mg HCN/Kg น้ำหนักสด

ปริมาณไซยาไนด์ในเนื้อมันเริ่มต้น = R mg HCN/Kg น้ำหนักสด

ปกติผลิตภัณฑ์สุดท้ายจะมีความชื้นเฉลี่ยประมาณ 7.2 % ขึ้นกับความชื้นสัมพัทธ์
เนื้อมันสดเริ่มต้นจะมีความชื้นเฉลี่ยประมาณ 62.8 %

ดังนั้น

$$\text{ปริมาณไซยาไนด์ในผลิตภัณฑ์สุดท้าย(โดยน้ำหนักแห้ง)} = \frac{P \times 100}{(100-7.2)}$$

$$\text{ปริมาณไซยาไนด์ในเนื้อมันเริ่มต้น (โดยน้ำหนักแห้ง)} = \frac{R \times 100}{(100-62.8)}$$

$$\text{\% Retention (โดยน้ำหนักแห้ง)} = \frac{P \times 100 \times (100-62.8) \times 100}{(100-7.2) \times R \times 100}$$

$$= \frac{P \times 37.2 \times 100}{R \times 92.8}$$

$$= \frac{P \times 40}{R} \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (1)$$

ปริมาณไซยาไนด์ทั้งหมดในหัวมันสำปะหลังในส่วนของเนื้อมันนั้นควรมีปริมาณในระดับใดที่ปลอดภัยในการนำไปทำผลิตภัณฑ์สำหรับการบริโภค ซึ่งการที่จะรู้ว่าควรมีปริมาณอยู่ในระดับใดนั้นต้องดูที่กระบวนการผลิตของผลิตภัณฑ์เป็นหลัก เช่น การผลิตเป็นฟลาวมันสำปะหลัง หรือผลิตภัณฑ์อื่นๆ สามารถนำเอาสมการที่ได้จากการทดลองทำจริงของแต่ละกระบวนการผลิตมาทำการคำนวณ โดยแต่ละกระบวนการผลิตจะทราบประสิทธิภาพในการลดปริมาณไซยาไนด์ หรือประสิทธิภาพในการกักเก็บไซยาไนด์หลังผ่านกระบวนการผลิต(% Retention) โดยค่า % Retention ได้มาจากการคำนวณดังสมการ (1) ซึ่งจากการคำนวณถ้าต้องการให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่ปลอดภัยต่อการบริโภคที่กำหนดไว้ว่าปริมาณไซยาไนด์ทั้งหมดในผลิตภัณฑ์ต้องน้อยกว่า 10 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม นั้นสามารถนำมาคำนวณได้ว่าปริมาณไซยาไนด์ทั้งหมดในเนื้อมันสำปะหลังควรมีค่าไม่เกินเท่าใดเพื่อที่จะผลิตฟลาวหรือผลิตภัณฑ์จากมันสำปะหลังให้ได้ระดับที่ปลอดภัย ในการผลิตผลิตภัณฑ์แต่ละชนิด เช่น ฟลาว, ลาฟัน (Lafun), ฟูฟุ (Fufu), ฟาริฮา(Fariha) และการิ(Gari) นั้นจะมีขั้นตอนในกระบวนการผลิตที่เหมือนหรือแตกต่างกันไป โดยแต่ละท้องถิ่นมีกรรมวิธีที่แตกต่างกันไป มีค่า %Retention ที่แตกต่างกัน สามารถนำมาคำนวณได้ว่าแต่ละกรรมวิธีการผลิตควรมีปริมาณไซยาไนด์ในหัวมันในส่วนของเนื้อมันไม่เกินเท่าใดได้ ดังตารางที่ 10 เพื่อผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ที่ปลอดภัยตามที่ FAO/WHO กำหนด

สำหรับในประเทศอินโดนีเซียกำหนดระดับความปลอดภัยของฟลาวไว้ต้องมีปริมาณไซยาไนด์ไม่เกิน 40 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ดังนั้นจากสมการที่ได้มาเมื่อนำมาใช้ในการคำนวณพบว่าการผลิตฟลาวโดยใช้การตากแดดนั้นต้องมีปริมาณไซยาไนด์ทั้งหมดในเนื้อมันสำปะหลังไม่เกิน 64 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมเนื้อมันสำปะหลังสด และถ้าใช้กระบวนการผลิตแบบการหมักปริมาณไซยาไนด์ทั้งหมดในเนื้อมันสำปะหลังต้องมีไม่เกิน 128 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมเนื้อมันสำปะหลังสด จากรายงานของ Carsodo *et al.* (1998) พบว่าในปี 1996 สามารถผลิตฟลาวที่มีปริมาณไซยาไนด์ต่ำกว่า 40 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ได้ร้อยละ 51 และจากการรวบรวมผลการตรวจวิเคราะห์ของ Carsodo *et al.* (1998) พบว่าในเดือนตุลาคม 1999 สามารถผลิตฟลาวที่มีปริมาณไซยาไนด์น้อยกว่า 40 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ได้ร้อยละ 67 ผู้วิจัยสรุปผลที่ได้จากการวิเคราะห์ว่ากระบวนการในการผลิตฟลาวโดยใช้กระบวนการตากแห้งโดยใช้แสงแดด หรือโดยใช้การหมักในจังหวัด นามพูลา (Nampula Pravince) ในประเทศโมเซมบิก นั้น กระบวนการเหล่านี้ไม่เพียงพอสำหรับการลดหรือกำจัดปริมาณไซยาไนด์ให้ได้ฟลาวมันสำปะหลังที่มีปริมาณไซยาไนด์ในระดับที่ปลอดภัยได้ ซึ่งผู้วิจัยมีข้อมูลยืนยันจากการที่ตรวจพบปริมาณไทโอไซยาเนต (Thiocyanate) ในระดับที่สูงในปัสสาวะของเด็กนักเรียนในเดือนตุลาคม 1999 ซึ่งเป็นตัวบ่งชี้ที่แสดงให้เห็นถึงระดับที่เป็นอันตรายของสารไซยาไนด์ได้

ตารางที่ 10 ผลของกระบวนการผลิตที่แตกต่างกันต่อระดับปริมาณไซยาไนด์ทั้งหมดที่มีได้ในเนื้อมันสำปะหลังเพื่อผลิตผลิตภัณฑ์จากมันสำปะหลังที่ได้มาตรฐานด้านปริมาณไซยาไนด์

กระบวนการผลิต	ชนิดของผลิตภัณฑ์	% Retention	ระดับปริมาณไซยาไนด์สูงสุด (mg/kg) (โดยน้ำหนักสด)ในเนื้อมันเพื่อผลิตผลิตภัณฑ์ที่มีไซยาไนด์ต่ำกว่า	
			10 mg/kg*	40 mg/kg**
ตากแดด	ฟลาว	25-33	12-16	48-64
การหมัก	ฟลาว	12.5-16.5	24-32	96-128
การแช่น้ำ+ตากแดด	ลาฟัน/ฟูฟุ	1.3-2.2	181-308	727-1,230
การแช่น้ำ+การหมัก +การคั่ว	ฟารินฮา/การิ	1.8-2.4	167-222	667-889
การบดละเอียด+ ตากแดด	ฟลาว	1.5-3.2	125-267	500-1,066

ที่มา: Cardoso *et al.* (2005)

* มาตรฐาน FAO/WHO

** มาตรฐานของประเทศอินโดนีเซีย

5.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการนำฟลาวมันสำปะหลังไปใช้ในผลิตภัณฑ์อาหาร

จากการรวบรวมงานวิจัยเรื่องการผลิตฟลาวจากมันสำปะหลังในประเทศไทย ส่วนใหญ่ใช้มันสำปะหลังชนิดหวานในการทำฟลาวเนื่องจากเป็นชนิดที่มีปริมาณไซยาไนด์ต่ำ วิธีการในการผลิตแป้งฟลาวหรือแป้งดิบมันสำปะหลังเพื่อใช้ในการทำขนมอบ (พวงเพชร, 2546) มีขั้นตอน ดังนี้คือ นำหัวมันสำปะหลังสดมาล้างเอาดินออก ปอกเปลือกให้หมด แล้วล้างให้สะอาด ฝานเป็นชิ้นบาง ๆ ตากแดดจัดประมาณ 2 แดด หรืออบที่อุณหภูมิ 55 – 60 องศาเซลเซียสให้แห้งสนิท จับดูจะรู้สึกกรอบ หลังจากนั้นนำไปบดให้ละเอียด ร่อนด้วยตะแกรงร่อนแป้ง สามารถเก็บไว้ในภาชนะที่แห้งกันความชื้นและแมลง สามารถเก็บได้นานมากกว่า 6 เดือน แป้ง

ฟลาวหรือแป้งดิบมันสำปะหลังนี้สามารถนำมาใช้เป็นส่วนผสมในการทำขนมอบได้หลายชนิด เช่น เค้กเนยสด วัฟเฟิล บราวนี่ ชิฟฟอนเค้ก คุกกี้ พาย ขนมปัง และแป้งชุบทอดเป็นต้น ในต่างประเทศมีการนำฟลาวมันสำปะหลังมาใช้เป็นส่วนผสมในการทำผลิตภัณฑ์อาหารบางชนิด เช่น ชิฟฟอนเค้ก ขนมปัง และสามารถนำมาใช้ทดแทนแป้งสาลี และแป้งข้าวเจ้า ได้บางส่วน ในอาหารบางชนิด เช่น โดนัท คุกกี้ และชีสแครกเกอร์ เป็นต้น (Go'mez *et al*., 1984; Palomar, 1992; Ogunsua, 1989) มีการทดลองนำฟลาวมันสำปะหลังไปใช้ทดแทนแป้งสาลีในผลิตภัณฑ์เบเกอร์รี่ พบว่าสามารถทดแทนแป้งสาลีได้ร้อยละ 10 ถึง 100 ดังแสดงในตารางที่ 11

การใช้ประโยชน์จากฟลาวมันสำปะหลังในต่างประเทศส่วนมากใช้ทดแทนแป้งสาลีในการทำขนมอบ เพื่อลดต้นทุนการผลิตและเป็นผลิตภัณฑ์ทางเลือกสำหรับผู้บริโภคที่มีปัญหาการแพ้โปรตีนจากกลูเตนในแป้งสาลี การใช้ฟลาวมันสำปะหลังในประเทศไทยเพื่อทดแทนแป้งสาลีในการทำผลิตภัณฑ์ต่างๆ ยังไม่แพร่หลาย เนื่องจากปริมาณไซยาไนด์ที่เหลืออยู่ซึ่งเป็นอันตรายต่อผู้บริโภค ฟลาวที่นำมาใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารจะทำจากมันสำปะหลังพันธุ์ห้านาทีหรือชนิดที่มีปริมาณไซยาไนด์ต่ำ มันสำปะหลังพันธุ์ห้านาทีเป็นมันที่ปลูกในสภาพสวนจึงมีราคาแพงกว่ามันสำปะหลังชนิดขมที่ปลูกในสภาพไร่ที่ปลูกเพื่อการค้า

ตารางที่ 11 ตัวอย่างผลิตภัณฑ์เบเกอร์รี่ที่มีการใช้ฟลาวมันสำปะหลังทดแทนแป้งสาลี

ชนิด	ปริมาณที่สามารถใช้ทดแทนแป้งสาลี (%)
Yeast bread	
Cinnamon roll	50
Hot roll	20
Loaf bread	10
Quick bread	
Cheese crackers	50
Cookies	50
Doughnut	50
Muffins	50
Butter cake	100
Chiffon cake	100

ที่มา: Loreto (1992)

ขนมไทยที่ใช้มันสำปะหลังเป็นส่วนประกอบมีอยู่หลายชนิดด้วยกัน เช่น ขนมชั้น ขนมมันสำปะหลัง ขนมผิง เป็นต้น ขนมบางชนิดทำจากหัวมันโดยตรง บางชนิดทำจากแป้งมัน (cassava starch) มีรายงานการศึกษาการใช้ประโยชน์จากมันสำปะหลังค่อนข้างมาก เช่น เนตรนภิส (2543) ได้ทำการทดลองพัฒนาผลิตภัณฑ์จากแป้งมันและได้สูตรอาหารต่างๆ กว่า 30 สูตร เหมวดี (2543ก, 2543ข) กล่าวถึงการใช้ฟลาวมันสำปะหลังทดแทนแป้งสาลีในสูตรขนมต่าง ๆ พบว่ารสชาติและเนื้อสัมผัสของขนมใกล้เคียงกับของเดิมที่ใช้แป้งสาลีล้วน ๆ

นงนุช และคณะ (2545) ได้ทำการศึกษาคุณสมบัติเนื้อสัมผัสทางกลของเส้นก๋วยเตี๋ยวไทยที่ทำจากแป้งข้าวเจ้าผสมฟลาวมันสำปะหลัง พบว่าการผสมฟลาวมันสำปะหลังกับแป้งข้าวเจ้าในการทำเส้นก๋วยเตี๋ยวมีผลทำให้เส้นก๋วยเตี๋ยวมีความนุ่ม และเหนียวมากขึ้น และเมื่อผสมฟลาวมันสำปะหลังลงไปร้อยละ 40 พบว่าคุณลักษณะเนื้อสัมผัสทางกลในการวัดค่าแรงดึงและแรงแตกหักมีค่าใกล้เคียงกับเส้นก๋วยเตี๋ยวในตลาดมากที่สุด

ณัฐกานต์ และคณะ (2545) ได้ศึกษาผลของการใช้ฟลาวมันสำปะหลังต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของขนมมันสำปะหลัง และพบว่าการเพิ่มปริมาณฟลาวมันสำปะหลังไปแทนที่แป้งมันสำปะหลังในการทำขนมมัน จะมีผลทำให้เจลของขนมมันสำปะหลังมีสีเข้ม แข็ง และเปราะมากขึ้น

วนิดา (2546) ได้ทดลองใช้ฟลาวมันสำปะหลังจากมันสำปะหลังพันธุ์หวานทดแทนฟลาวสาลีในการทำผลิตภัณฑ์มัฟฟิน โดยสามารถใช้ฟลาวมันสำปะหลังพันธุ์หวานทดแทนฟลาวสาลีได้ร้อยละ 50 สามารถลดต้นทุนการผลิตจากราคา 4.15 บาทต่อชิ้น ลงเหลือ 3.96 บาทต่อชิ้น เมื่อคำนวณต้นทุนการผลิตพบว่าการใช้ฟลาวมันสำปะหลังพันธุ์หวานทดแทนฟลาวสาลีสามารถลดต้นทุนลงได้ร้อยละ 4.58

ลลิดา (2546) ทำการศึกษาขั้นตอนการผลิตขนมปุยฝ้ายจากฟลาวมันสำปะหลังชนิดหวาน พบว่าสามารถใช้ฟลาวมันสำปะหลังชนิดหวานทดแทนแป้งสาลีได้ทั้งหมด โดยปรับปริมาณน้ำและนมข้นหวาน ส่วนผสมที่เหมาะสมในการผลิตขนมปุยฝ้ายประกอบด้วย ฟลาวมันสำปะหลัง ร้อยละ 35.30 ไข่ไก่ร้อยละ 5.43 น้ำตาลร้อยละ 20.09 เอส.พี. ร้อยละ 1.09 น้ำร้อยละ 26.07 นมข้นหวานร้อยละ 11.95 และกลิ่นนมแมวร้อยละ 0.08 ของน้ำหนักรวมส่วนผสมทั้งหมด และได้ทำการทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคจำนวน 100 คน พบว่าการทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัสด้วยวิธีการให้คะแนนความชอบแบบ 5 ระดับ (5 point hedonic scale) พบว่าผู้ตอบแบบสอบ

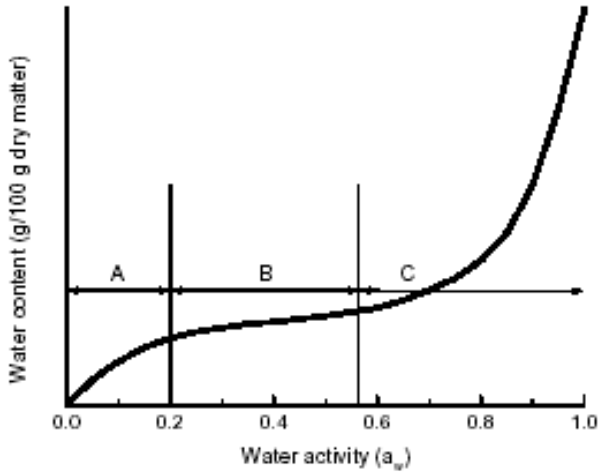
ถามให้คะแนนคุณลักษณะในด้านความชอบรวม การแตกของหน้าขนม กลิ่น รสชาติ และความนุ่ม โดยมีฐานนิยมเท่ากับ 4 คือ ชอบ ในทุกคุณลักษณะที่ทดสอบ และพบว่าผู้บริโภคชอบขนมปุยฝ้ายจากฟลาวมันสำปะหลังและยอมรับในผลิตภัณฑ์ร้อยละ 90

6. ไอโซเทอร์มการดูดซับความชื้น (Moisture Sorption Isoterm)

กราฟไอโซเทอร์มการดูดซับความชื้น เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้กับค่าปริมาณความชื้น ที่อุณหภูมิคงที่ค่าหนึ่ง การหาค่าความสัมพันธ์ได้จากการทดลอง โดยนำตัวอย่างปริมาณเล็กน้อยใส่ไว้ในบรรยากาศที่มีความชื้นสัมพัทธ์ต่าง ๆ ที่คงที่ (รุ่งนภา, 2540) ซึ่งการควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ทำได้โดยใส่สารละลายเกลืออิ่มตัวชนิดต่าง ๆ ลงในภาชนะปิดแต่ละใบ และภาชนะนั้นต้องสามารถควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ได้เป็นอย่างดี โดยเกลือแต่ละชนิดจะมีค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้ที่สมดุลต่างกัน และปล่อยไว้จนตัวอย่างเกิดสมดุล จึงนำตัวอย่างออกมาหาปริมาณความชื้น

การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น จะพบว่าเมื่อค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้มีค่าเพิ่มขึ้น ค่าความชื้นก็จะเพิ่มขึ้นด้วย แต่ความสัมพันธ์จะไม่เป็นเส้นตรง กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้กับค่าความชื้น ณ อุณหภูมิที่กำหนดของอาหารมักมีรูปเป็นแบบ Sigmoid หรือรูปตัว S แต่อาหารที่มีปริมาณน้ำตาลเป็นส่วนผสมที่มากจะมีรูปร่างเป็นรูปตัว J (Fennema, 1985)

ลักษณะทั่วไปของกราฟไอโซเทอร์มการดูดซับความชื้น สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ส่วน ซึ่งจะมีความแตกต่างกันตามปริมาณความชื้นและค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้ ดังภาพที่ 6



ภาพที่ 6 ลักษณะกราฟทั่วไปของไอโซเทอร์มการดูดซับความชื้นของอาหาร
ที่มา: Laaksonen (2001)

จากภาพที่ 6 มีคำอธิบาย ดังนี้

ส่วน A เส้นกราฟมีลักษณะค่อนข้างชัน น้ำที่อยู่ในส่วนนี้หมายถึงน้ำในชั้นเดี่ยวหรือโมโนเลเยอร์ (monolayer) ซึ่งเป็นน้ำที่มีความแข็งแรงมาก และไม่สามารถทำให้เกิดการแข็งตัวได้ที่อุณหภูมิใด ๆ

ส่วน B เส้นกราฟมีลักษณะค่อนข้างเรียบ การจับตัวของน้ำในบริเวณนี้ไม่แข็งแรงเหมือนในส่วน A โดยการดูดซับน้ำจะเป็นแบบหลายชั้น (multilayer) ซึ่งน้ำในชั้นนี้สามารถกำจัดออกได้ แต่ค่อนข้างยาก ถ้าปริมาณน้ำในส่วนนี้ลดลงจะมีผลทำให้ค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้ลดลงด้วย และมีผลทำให้ยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์และลดปฏิกิริยาเคมีส่วนใหญ่ที่เกิดขึ้นในอาหารได้ด้วย

ส่วน C เส้นกราฟจะมีลักษณะความชันสูงขึ้น น้ำที่อยู่ในช่วงนี้จะเป็นน้ำอิสระ ไม่มีการจับกันโดยทางกลอย่างแท้จริง จับกันด้วยแรงค่อนข้างอ่อน เป็นน้ำที่สามารถกำจัดออกได้ง่าย โดยน้ำเหล่านี้จะเป็นตัวทำละลาย และถูกใช้ในการเจริญของจุลินทรีย์และปฏิกิริยาเคมี

มีการใช้โมเดลทางคณิตศาสตร์หลายโมเดลในการอธิบายรูปร่างลักษณะไอโซเทอร์มการดูดซับความชื้น เพื่อใช้ในการทำนายข้อมูลบางตัวในการอธิบายลักษณะของผลิตภัณฑ์ ตัวอย่างโมเดลทางคณิตศาสตร์ที่นิยมใช้ในการอธิบายการดูดซับความชื้นของอาหาร คือ Guggenheim Anderson DeBoer (GAB) model ซึ่งมีค่าพารามิเตอร์ 3 ตัวในโมเดล โดย model นี้ใช้ข้อมูลในช่วง ค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้ 0.10 – 0.90 ในการทำนาย ซึ่งโมเดลนี้ได้รับการยอมรับจาก The European Project Group Cost 90 (Timmermann *et al*., 2001)

สมการแสดงความสัมพันธ์ของ GAB model คือ

$$EMC = (MCKa_w)/[(1- Ka_w)(1-Ka_w + CKa_w)]$$

โดยที่	EMC	คือ	ปริมาณความชื้น (ร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง)
	M	คือ	ปริมาณความชื้นในระดับชั้นโมโนเลเยอร์
	C	คือ	ค่าคงที่ของ Guggenheim
	K	คือ	ค่าแฟคเตอร์ของโมเลกุลของน้ำที่ชั้นต่าง ๆ ซึ่งเกี่ยวข้องกับน้ำในส่วนน้ำอิสระ
	a_w	คือ	ค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้

ธงชัย และคณะ (2544) ได้ทำการศึกษาไอโซเทอร์มการดูดซับความชื้น ของฟลาวข้าว 6 ชนิด พบว่ากราฟที่ได้มีลักษณะคล้ายคลึงกัน คือ มีรูปร่างลักษณะคล้ายตัว S หรือ Sigmoid ซึ่งสามารถอธิบายกราฟดังกล่าวได้ด้วยสมการ GAB และ Peleg' s model สำหรับค่าร้อยละความชื้นของฟลาวข้าวทั้ง 6 ชนิด ณ โมโนเลเยอร์ คือ ค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้ประมาณหรือต่ำกว่า 0.25 มีค่าใกล้เคียงกัน คือ มีค่าความชื้นอยู่ในช่วงร้อยละ 5-7 ของน้ำหนักแห้ง ปริมาณอะมิโลสที่มีอยู่ในฟลาวถ้ามีอยู่ปริมาณมากจะมีผลทำให้ลักษณะความชันในช่วงโมโนเลเยอร์ลดลงรวมทั้งมีค่าความชื้น ณ โมโนเลเยอร์ลดลง โดยกราฟไอโซเทอร์มและค่าความชื้นที่โมโนเลเยอร์ สามารถนำไปใช้เป็นข้อมูลประกอบในการอธิบายคุณสมบัติของฟลาวทางด้านเคมีและกายภาพ รวมทั้งสามารถนำข้อมูลที่ได้มาใช้ในการพิจารณาหาสภาวะการเก็บรักษาที่เหมาะสม

รองรัตน์ (2546) ได้ทำการศึกษาไอโซเทอร์มการดูดซับความชื้น ของแป้งเผือก แป้งข้าวหอมมะลิ และแป้งข้าวโพด ที่อุณหภูมิ 35 และ 45 องศาเซลเซียส และใช้ GAB model ในการหาค่าตัวแปร พบว่าแป้งข้าวหอมมะลิและแป้งข้าวโพดมีลักษณะของกราฟไอโซเทอร์มการดูดซับ

ความชื้นที่คล้ายคลึงกัน แต่แตกต่างจากแป้งเผือก โดยพบว่าจากสมการ GAB สามารถทำนายได้ว่าแป้งเผือกมีปริมาณน้ำในโมโนเลเยอร์ต่ำกว่าแป้งข้าวหอมมะลิและแป้งข้าวโพด แต่มีปริมาณน้ำในส่วนของน้ำอิสระมากกว่าทั้งที่ 35 และ 45 องศาเซลเซียส แสดงว่าแป้งเผือกมีโอกาสที่จะเกิดการเปลี่ยนแปลงด้านคุณภาพได้มากกว่าแป้งข้าวหอมมะลิและแป้งข้าวโพด เมื่อเก็บไว้ในสภาวะเดียวกัน โดยที่ปริมาณความชื้นเท่ากัน แป้งเผือกมีค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้สูงกว่า

ปิติพร (2546) ได้ทำการศึกษาไอโซเทอร์มการดูดซับความชื้น ของแป้ง 5 ชนิด คือ แป้งท้าวยายม่อมที่ผลิตในห้องปฏิบัติการ แป้งเท้ายายม่อมในท้องตลาด แป้งมันสำปะหลัง แป้งท้าว (เป็นแป้งอังไฟจากแป้งมัน) และแป้งข้าวเจ้า ที่อุณหภูมิ 35 และ 45 องศาเซลเซียส พบว่าลักษณะของกราฟไอโซเทอร์มการดูดซับความชื้นของแป้งทั้ง 5 ชนิด มีรูปเป็นรูปตัว S หรือ Sigmoid และใช้ GAB model ในการอธิบายค่าพารามิเตอร์ต่างๆ พบว่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นค่าความชื้นในระดับโมโนเลเยอร์มีแนวโน้มลดลง จากค่าโมโนเลเยอร์ของแป้งแต่ละชนิดที่คำนวณได้ เมื่อนำมาเรียงลำดับโอกาสที่แป้งจะเกิดการเสื่อมเสียหรือปฏิกิริยาเคมีเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความชื้น จากการเสื่อมเสียมากไปน้อย โดยดูจากค่าโมโนเลยอร์จากค่าน้อยไปมาก พบว่าแป้งที่มีโอกาสเสื่อมเสียมากและน้อย คือ แป้งเท้ายายม่อมในท้องตลาด แป้งท้าวยายม่อมจากห้องปฏิบัติการ แป้งท้าว แป้งข้าวเจ้า และแป้งมันสำปะหลังตามลำดับ

7. <u>อายุการเก็บรักษา</u>

อายุการเก็บรักษา หมายถึง ช่วงระยะเวลาของการเก็บรักษาตั้งแต่ผลิตภัณฑ์นั้นผลิตออกมาและยังคงมีคุณภาพเป็นที่ยอมรับ โดยประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส ทางเคมี ทางกายภาพ และทางจุลินทรีย์ หากเกิดการเสื่อมเสียหรือไม่ยอมรับในปัจจัยคุณภาพด้านใดที่มีความสำคัญต่อผลิตภัณฑ์ แสดงว่าผลิตภัณฑ์นั้นหมดอายุการเก็บรักษา (Kilcast and Subramaniam, 2000)

การทดสอบอายุการเก็บรักษาในสภาวะเร่งเป็นวิธีการหนึ่งที่ใช้ประเมินอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ โดยทำการเร่งปฏิกิริยาที่สภาวะหนึ่งที่ทราบค่า เพื่อให้ผลิตภัณฑ์เกิดการเสื่อมเสียเร็วกว่าปกติ มีผลทำให้ผลิตภัณฑ์ไม่เป็นที่ยอมรับในช่วงเวลาที่สั้นลง โดยทั่วไปนิยมใช้อุณหภูมิเป็นสภาวะแวดล้อมที่ทราบค่า และอุณหภูมิเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของอาหารตลอดระยะเวลาการเก็บ และนำสมการทางคณิตศาสตร์มาใช้ในการคำนวณค่าอายุการเก็บรักษา โดยใช้หลักการทางจลนพลศาสตร์ทางเคมี คือ ค่า Q_{10} ซึ่งเป็นค่าอัตราส่วนของอัตราการเกิดปฏิกิริยาที่อุณหภูมิต่างกัน 10 องศาเซลเซียส (Labuza and Schmidl, 1985)

สำหรับการติดตามอายุการเก็บรักษาของฟลาวนั้น การเปลี่ยนแปลงในระหว่างการเก็บรักษาที่สามารถติดตามได้อย่างรวดเร็ว คือ การติดตามการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของแป้ง (starch) และโปรตีน ซึ่งจะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงด้านคุณสมบัติทางเนื้อสัมผัส (Kilcast *and* Subramaniam, 2000) และเนื่องจากแป้ง (starch) เป็นองค์ประกอบที่พบมากที่สุดในฟลาว ดังนั้นแป้งจึงเป็นองค์ประกอบสำคัญที่ทำให้เกิดคุณสมบัติทางเนื้อสัมผัสเมื่อผ่านการทำให้สุก ซึ่งตัวบ่งชี้ที่ใช้ในการวัดที่มีความว่องไวสำหรับการตรวจวัดคุณภาพเมื่อทำการเก็บรักษา คือ การวัดการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางด้านความหนืดของแป้งด้วยเครื่อง amylograph เช่น เครื่อง Rapid visvo analyzer (RVA) หรือเครื่อง Brabender amylograph โดยเครื่องวิเคราะห์ความหนืดจะตรวจติดตามและแสดงกราฟการเปลี่ยนแปลงด้านความหนืดว่ามีการเปลี่ยนแปลงไปหรือไม่อย่างไร โดยเปรียบเทียบกับตัวอย่างที่ระยะเวลาในการเก็บต่างกัน หรือเก็บที่อุณหภูมิต่างกัน (Indudhara *et al.*,1978; Julino *et al.*, 1985; Perez *et al.*, 1993 และ Ibanez-Carranza, 2002)

8. <u>มาตรฐานฟลาวมันสำปะหลัง</u>

ปัจจุบันผลิตภัณฑ์ฟลาวมันสำปะหลังในประเทศไทยยังไม่มีการกำหนดมาตรฐานที่ชัดเจน และจากการรวบรวมมาตรฐานฟลาวมันสำปะหลังในต่างประเทศ ปริมาณองค์ประกอบต่าง ๆ ในฟลาวมันสำปะหลังรวบรวมได้ดังตารางที่ 12

ในการกำหนดมาตรฐานโดยทั่วไปสิ่งสำคัญอันดับแรกที่มีการกำหนด คือ ความปลอดภัย ความปลอดภัยที่ต้องคำนึงถึงในการผลิตฟลาวมันสำปะหลัง คือ ความปลอดภัยจากสารเคมี ซึ่งในที่นี้ คือ ปริมาณไซยาไนด์ที่มีอยู่ในมันสำปะหลังเอง โดยเมื่อผ่านกระบวนการผลิตได้เป็นฟลาวมันสำปะหลังแล้วต้องมีปริมาณที่หลงเหลืออยู่ในเกณฑ์ที่ปลอดภัยต่อการบริโภค ซึ่งเกณฑ์ที่ปลอดภัยที่ทาง FAO/WHO กำหนดไว้ต้องไม่เกิน 10 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม นอกจากนี้ความปลอดภัยจากจุลินทรีย์ และสารพิษที่อาจเกิดขึ้นจากจุลินทรีย์ก็เป็นสิ่งที่ต้องกำหนดเพื่อความปลอดภัย โดยจากการรวบรวมข้อมูลจากมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์แป้งข้าวโพด (มอก. 637-2529) และมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์แป้งข้าวเหนียว (มอก. 639-2529) มีการกำหนดถึงปริมาณจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดต้องไม่เกิน 1×10^6 โคโลนีต่อกรัม ยีสต์และราไม่เกิน 100 โคโลนีต่อกรัม และต้องตรวจไม่พบ *Salmonella* sp. และ *Escherichia coli*

ตารางที่ 12 มาตรฐานฟลาวมันสำปะหลังตาม Codex และในประเทศต่าง ๆ

ปริมาณ	Codex	ประเทศโคลัมเบีย	ประเทศอินโดนีเซีย	ประเทศฟิลิปปินส์
ความชื้น (%)	13	12	12	12-14
แป้ง (% ต่ำสุด)		62		66-75
เถ้า (%)	3	2	1.5	1.9-3.0
เส้นใยหยาบ (%)	2	2.5		2.2-5.0
ไซยาไนด์ทั้งหมด (mg/kg)	10	50	40	
อะฟลาทอกซิน (ppm)		0		
จุลินทรีย์ทั้งหมด (CFU/g)		2×10^5		
โคลิฟอร์ม (CFU/g)		1×10^2		
E. coli (CFU/g)		0		
Salmonella (CFU/g)		0		
ยีสต์และรา (CFU/g)		1×10^3		

ที่มา : ดัดแปลงจาก Loreto (1992); Damardjati *et al*. (1992) และ O' Brien and Jones (1994)

9. การวิเคราะห์อันตรายและจุดวิกฤตที่ต้องควบคุม (Hazard Analysis Critical Control Points)

การวิเคราะห์อันตรายและจุดวิกฤตที่ต้องควบคุม (Hazard Analysis Critical Control Points) หรือที่เรียกกันว่า HACCP เป็นระบบการประกันคุณภาพด้านความปลอดภัยของอาหาร ระบบ HACCP เป็นที่ยอมรับอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน เป็นระบบควบคุมการผลิตอาหารที่ผ่านการรับรองโดยคณะกรรมาธิการโครงการมาตรฐานระหว่างประเทศ (Codex) เมื่อเดือนมิถุนายน 2540 ให้เป็นมาตรฐานระหว่างประเทศ (มอก.7000-2540; สุวิมล, 2544) ระบบ HACCP เป็นระบบที่ยอมรับกันว่าสามารถป้องกันอันตรายหรือปนเปื้อนทางด้านชีวภาพ ด้านเคมี และกายภาพได้อย่างมีประสิทธิภาพ เป็นระบบที่มุ่งเน้นการป้องกันปัญหา โดยการพิจารณาสาเหตุและอันตรายที่อาจเกิดขึ้น และมีการวางแผนป้องกันและป้องกันและการเฝ้าระวังตลอดวงจรการผลิต ตั้งแต่การเพาะปลูก การเก็บเกี่ยว การรับวัตถุดิบ การแปรรูป การเก็บรักษา การจัดส่งและจัดจำหน่าย จนถึงการเตรียมปรุง การหุงต้มของผู้บริโภค ประโยชน์ของ HACCP นอกจากเป็นระบบที่ให้ความ

ปลอดภัยกับอาหารโดยครอบคลุมทุกขั้นตอนในห่วงโซ่อาหารแล้ว ยังเป็นระบบที่เปลี่ยนการตรวจสอบผลิตภัณฑ์ (end product testing) เป็นระบบการป้องกันปัญหาตามหลักการประกันคุณภาพ (preventative quality assurance approach) ซึ่งจะช่วยป้องกันการสูญเสียจากการที่ผลิตภัณฑ์เกิดการปนเปื้อนหรือไม่เป็นไปตามข้อกำหนด สามารถใช้ร่วมกับระบบการป้องกันคุณภาพอื่นๆ และระบบ HACCP เป็นระบบที่มีการกำหนดในมาตรฐานอาหารระหว่างประเทศ เป็นที่ยอมรับในระดับสากลที่สร้างความมั่นใจว่าการผลิตอาหารนั้นปลอดภัยต่อผู้บริโภค

การผลิตอาหารให้ปลอดภัยนั้น จำเป็นต้องมีการจัดการด้านสุขลักษณะอาหารพื้นฐาน (good manufacturing practice หรือที่เรียกว่า GMP) ที่มีประสิทธิภาพ ซึ่งจะช่วยทำให้ระบบ HACCP มีประสิทธิภาพมากขึ้น ระบบ HACCP และ GMP มีความสัมพันธ์กันอย่างมาก โดยที่ระบบ HACCP จะเน้นการควบคุมกระบวนการผลิต โดยเฉพาะจุดที่วิเคราะห์แล้วว่าเป็นจุดวิกฤต ส่วน GMP จะว่าด้วยสุขลักษณะทั่วไป หรือหลักการทั่วไปว่าด้วย สุขลักษณะอาหาร ของ Codex หรือบางครั้งอาจเรียกว่าโปรแกรมพื้นฐาน (Pre-requisite Programes) เป็นการจัดการด้านความพร้อมของสภาวะแวดล้อมในกระบวนการผลิต เช่น การจัดการด้านอาคารสถานที่การผลิต สุขลักษณะส่วนบุคคล การควบคุมแมลงและสัตว์นำโรค การทำความสะอาดสถานที่การผลิต เครื่องจักร รวมทั้งอุปกรณ์การผลิต การควบคุมน้ำใช้ในโรงงาน การควบคุมแก้ว การควบคุมสารเคมี การระบุและการสอบกลับผลิตภัณฑ์ และการเรียกคืนผลิตภัณฑ์ เป็นต้น

หลักการของระบบ HACCP จะครอบคลุมถึงการป้องกันปัญหาจากอันตราย 3 สาเหตุ (Merle and Donald, 1992) ได้แก่

1. <u>อันตรายทางชีวภาพ</u> ซึ่งเป็นอันตรายจากเชื้อจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรคหรือสารพิษ

2. <u>อันตรายจากสารเคมี</u> ได้แก่ สารเคมีที่ใช้ในการเพาะเลี้ยง เพาะปลูก ในวงจรผลิต วัตถุดิบ อาทิ สารปฏิชีวนะ สารเร่งการเจริญเติบโต สารเคมีกำจัดศัตรูพืช สารเคมีที่ใช้เป็นวัตถุเจือปนอาหาร เช่น สารกันบูดและสารเคมีที่ใช้ในโรงงาน เช่นน้ำมันหล่อลื่น จารบี สารเคมีทำความสะอาดเครื่องจักรอุปกรณ์ในโรงงาน

3. <u>อันตรายทางกายภาพ</u> ได้แก่ สิ่งปลอมปนต่างๆ อาทิ เศษแก้ว เศษกระจก โลหะ

อันตรายทางชีวภาพเป็นสิ่งที่ต้องให้ความสำคัญมากที่สุดในระบบ HACCP เนื่องจากอันตรายประเภทอื่นๆ มีขอบเขตการก่อให้เกิดปัญหาต่อผู้บริโภคในวงจำกัด และบางครั้งผู้บริโภคสามารถตรวจพบได้ด้วยตัวเอง แต่การบริโภคอาหารที่ปนเปื้อนโดยจุลินทรีย์นั้น อาจส่งผลกระทบต่อผู้บริโภคโดยแพร่หลายและพิษที่เกิดขึ้น อาจรุนแรงจนถึงเสียชีวิตได้

ระบบ HACCP เกี่ยวข้องกับการควบคุมปัจจัยต่างๆที่ส่งผลกระทบต่อวัตถุดิบ กระบวนการผลิต และผลิตภัณฑ์ วัตถุประสงค์ของการใช้ระบบ HACCP เพื่อให้สามารถพิสูจน์ได้ว่าผลิตภัณฑ์นั้นได้ถูกผลิตอย่างถูกสุขลักษณะและปลอดภัยต่อผู้บริโภค และการที่ประยุกต์ใช้ระบบอย่างได้ผลขึ้นกับความมุ่งมั่นและการสนับสนุนจากฝ่ายบริหาร ความร่วมมือของฝ่ายต่างๆในองค์กร และที่สำคัญยิ่งคือการที่หน่วยงานนั้นๆ ต้องมีการจัดทำระบบพื้นฐานเกี่ยวกับสุขลักษณะโรงงานเสียก่อน

ประโยชนของระบบ HACCP

1. เป็นระบบที่ให้ความปลอดภัยกับอาหาร โดยครอบคลุมทุกขั้นตอนตั้งแต่การเพาะปลูก การเก็บเกี่ยว การรับวัตถุดิบ การแปรรูป การเก็บรักษา การจัดส่งและจัดจำหน่าย จนถึงการเตรียม การปรุง หุงต้มของผู้บริโภค

2. เป็นระบบที่เปลี่ยนการตรวจสอบผลิตภัณฑ์ขั้นสุดท้าย เป็นระบบการป้องกันปัญหาตามหลักการประกันคุณภาพ

3. ระบบ HACCP เป็นระบบที่สามารถใช้ควบคุมอันตรายจากจุลินทรีย์ สารเคมี และสิ่งแปลกปลอมได้อย่างมีประสิทธิภาพและไม่สิ้นเปลือง

4. ช่วยป้องกันการสูญเสีย จากการที่ผลิตภัณฑ์เกิดการปนเปื้อนหรือไม่เป็นไปตามข้อกำหนด

5. เป็นระบบที่สามารถใช้ร่วมกับระบบคุณภาพอื่น

6. ระบบ HACCP มีการกำหนดในมาตรฐานอาหารระหว่างประเทศเป็นที่ยอมรับในระดับสากลว่าสามารถใช้สร้างความมั่นใจในการผลิตอาหารให้ปลอดภัย