บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 มันสำปะหลัง

2.1.1 ประวัติมันสำปะหลัง

หลักฐานการศึกษาจากประเทศโคลอมเบียและเวเนซูเอลาแสดงให้เห็นว่ามันสำปะหลังมีแหล่งกำเนิดบริเวณ Lowland tropics โดยมีการปลูกกันมานานประมาณ 3,000 ปี ถึง 7,000 ปีมาแล้ว [1-2] ในขณะที่การศึกษาของ Renvoize [3] ได้สรุปไว้ว่า มันสำปะหลังมีถิ่นกำเนิดมาจากหลายแหล่ง และในปีเดียวกัน Spath [4] ได้กล่าวไว้ว่า แหล่งกำเนิดของมันสำปะหลังนั้นมาจาก 4 แหล่งด้วยกันคือ

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

Box และ de la Rive Box-Lasocki [5] ยืนยันว่ามันสำปะหลังชนิดที่มีกรดไซยาไนด์ (HCN) ในหัวสูง มีแหล่งกำเนิดในอเมริกากลางและพบว่ามีการกระจายอยู่ในแถบลุ่มแม่น้ำสายสำคัญๆ ส่วนชนิดที่มีกรด HCN ในหัวต่ำ มีแหล่งกำเนิดในอเมริกาใต้ พบในเขตที่มีความแห้งแล้งกว่าและแพร่กระจายอยู่ทั่วทวีปอเมริกาใต้ นอกจากนี้ Nassar [6] ได้สรุป Centers of Diversity ของมันสำปะหลังพันธุ์ป่า (wild species) ไว้ 4 แหล่ง คือ

1. ตอนกลางของประเทศบราซิล มี 38 ชนิด
2. ทิศตะวันตกของประเทศเม็กซิโกมี 19 ชนิด
3. ทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศบราซิล
4. ทางทิศตะวันออกของประเทศโบลิเวียติดกับบราซิล

สรุปได้ว่า มันสำปะหลังมีถิ่นกำเนิดอยู่ในเขตร้อนของทวีปอเมริกา ตั้งแต่ประเทศเม็กซิโก กัวเตมาลา ฮอนดูรัส เปรู โบลิเวีย และบราซิล

2.1.2 การแพร่กระจาย

มันสำปะหลังมีการแพร่กระจายในสมัยที่มีการล่าอาณานิคมในคริสต์ศตวรรษที่ 15 โดยนักค้าทาสได้นำมันสำปะหลังจากประเทศบราซิลไปปลูกในทวีปอัฟริกา และต่อมาในปี พ.ศ. 2282 ชาวโปรตุเกสได้นำมันสำปะหลังไปปลูกที่เกาะรียูเนียน (Reunion) และแพร่กระจายไปยังมาดากัสก้า [7]

ทวีปเอเชียมีการนำมันสำปะหลังมาปลูกครั้งแรกที่ประเทศฟิลิปปินส์ ในคริสต์ศตวรรษที่ 17 โดยชาวสเปนซึ่งนำมาจากประเทศเม็กซิโก และในเวลาต่อมาได้มีการปลูกที่ประเทศอินโดนีเซีย นอกจากนี้ยังมีหลักฐานแสดงได้ว่าในปี พ.ศ. 2337 ได้มีการนำมันสำปะหลังจากอัฟริกามาปลูกที่ประเทศอินเดีย เพื่อใช้ในการทดลอง

สำหรับประเทศไทยยังไม่มีหลักฐานที่แน่นอนว่ามีการนำมันสำปะหลังมาปลูกเมื่อใด คาดว่าคงจะเข้ามาในระยะเดียวกับที่เข้าสู่ประเทศศรีลังกา ฟิลิปปินส์ คือราวๆ พ.ศ. 2329 – 2383 เดิมทีเรียกว่า มันสำโรง มันไม้ และมันสำปะหลัง เจริญศักดิ์ [TH1] สรุปว่า คำว่า “มันสำปะหลัง” คล้ายกับภาษาชวาตะวันตก ที่เรียกมันสำปะหลังว่า “สำเปอ” ของชาวตะวันตก

การปลูกมันสำปะหลังเป็นการค้าในประเทศไทย วิจารณ์ และเจริญศักดิ์ [TH2] สรุปว่ามีการปลูกมันสำปะหลังเพื่อใช้ทำแป้งและสาคูในภาคใต้ โดยปลูกระหว่างแถวของต้นยางพารามากกว่า 70 ปีมาแล้ว

โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่จังหวัดสงขลามีอุตสาหกรรมทำแป้งและสาคูจำหน่ายไปยังปีนังและสิงคโปร์ แต่การปลูกมันสำปะหลังทางภาคใต้ค่อยๆ หมดไป เพราะเมื่อต้นยางพาราโตคลุมพื้นที่ทั้งหมดจะไม่สามารถปลูกมันสำปะหลังต่อไปได้ ต่อมาได้มีการปลูกมันสำปะหลังในภาคตะวันออก คือจังหวัดชลบุรี ระยอง และจังหวัดอื่นๆ โดยเฉพาะทางภาคตะวันออกเฉียงเหนือ จนในปัจจุบันภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีพื้นที่ปลูกมากที่สุดของประเทศไทย

2.1.3 การพัฒนามันสำปะหลังในประเทศไทย

การเพาะปลูกมันสำปะหลังเพื่อการค้าอย่างจริงจังในประเทศไทยเริ่มขึ้นเมื่อประมาณ 30 - 40 ปีที่ผ่านมา ในระยะเริ่มแรกการเพาะปลูกมีมากทางภาคใต้โดยนำมันสำปะหลังมาผลิตเป็นแป้งมันและสาคูเพื่อการบริโภคภายในประเทศเท่านั้น ต่อมาเมื่อได้มีการผลิตเป็นอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ จึงได้ย้ายแหล่งผลิตมายังภาคตะวันออก ขณะนั้นอยู่ในช่วงสงครามโลกครั้งที่ 2 ประเทศญี่ปุ่นขาดแคลนวัตถุดิบ จึงได้มีการสั่งซื้อแป้งมันสำปะหลังจากไทย ประกอบกับสภาพภูมิประเทศทางชายฝั่งทะเลด้านตะวันออกของประเทศไทยเป็นพื้นที่เนินลาดเอียงไม่มีแม่น้ำในการทำชลประทานจึงไม่เหมาะสมแก่การปลูกพืชชนิดอื่นๆ แต่สามารถปลูกมันสำปะหลังได้ผลดี ต่อมาในปี พ.ศ. 2517- 2518 ได้แพร่กระจายการปลูกไปยังภาคตะวันออกเฉียงเหนือ เนื่องจากการคมนาคมระหว่างทั้งสองภาคเริ่มสะดวกมากขึ้น ประกอบกับช่วงนั้นราคาปอซึ่งปลูกมากในภาคตะวันออกเฉียงเหนือเริ่มตกต่ำ คนงานจากภาคตะวันออกเฉียงเหนือที่รับจ้างทำงานในไร่มันสำปะหลังแถบจังหวัดชลบุรีจึงนำมันสำปะหลังไปปลูกในท้องถิ่นเดิมของตนแทน ปรากฏว่าสามารถขึ้นได้ดีเพราะมันสำปะหลังสามารถปรับตัวได้ดีในพื้นที่แห้งแล้งและความสมบูรณ์ต่ำ รวมทั้งมีการพัฒนากระบวนการผลิตมันสำปะหลังทำเป็นมันเส้น และมันเม็ดส่งออกเป็นส่วนประกอบของอาหารสัตว์ (Grain Substitute) ในประชาคมยุโรป และเนื่องจากมันสำปะหลังมีต้นทุนในการเพาะปลูกต่ำ ทนแล้ง และสามารถปลูกได้ในพื้นที่ที่มีความอุดมสมบูรณ์ของดินไม่เพียงพอ จึงทำให้เกษตรกรหันมาเพาะปลูกมันสำปะหลังกันอย่างกว้างขวาง

ประเทศไทยนับว่าเป็นประเทศแรกของโลกที่ริเริ่มพัฒนาอุตสาหกรรมมันสำปะหลังโดยผลิตมันสำปะหลังอัดเม็ดเป็นวัสดุแทนธัญพืชเพื่อการส่งออก โดยเริ่มตั้งแต่การนำกากมันที่เหลือจากกระบวนการทำแป้งมันส่งไปจำหน่ายให้แก่โรงงานผลิตอาหารสัตว์ในประชาคมยุโรป รวมทั้งพัฒนาระบบการขนส่งที่มีประสิทธิภาพทำให้มีอำนาจในการแข่งขันสูงจนสามารถขยายการส่งออกเพิ่มขึ้นทำให้ประเทศไทยเป็นผู้ส่งออกมันสำปะหลังรายใหญ่ที่สุดของโลกในปัจจุบัน

2.1.4 พฤกษศาสตร์ของมันสำปะหลัง

มันสำปะหลังหรือที่เรียกกันในภาษาอังกฤษว่า Cassava เป็นพืชที่จัดว่าเป็นแหล่งคาร์โบไฮเดรตที่สำคัญที่สุด ในภาษาบราซิล ปารากวัย และอาร์เจนตินา เรียกว่า Mandioca ส่วนประเทศในแถบทวีปอเมริกาส่วนใหญ่ที่ใช้ภาษาสเปนเป็นภาษาพูดจะเรียกว่า Yuca ประเทศในแถบทวีปเอเชียเรียกว่า Tapioca และประเทศแถบอัฟริกาที่พูดภาษาฝรั่งเศส เรียกว่า Manicoca

นักวิทยาศาสตร์ได้จัดมันสำปะหลังไว้เป็นหมวดหมู่ ดังนี้

ชื่อวิทยาศาสตร์ : Manihotesculenta (L.) Crantz
วงศ์ (Family) : Euphorbiaceae
สกุล (Genus) : Manihot
ชนิด (Species) : Esculenta

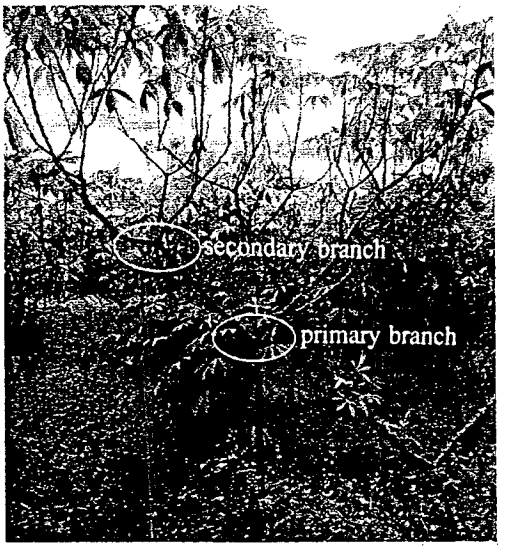
พืชเศรษฐกิจอื่นๆ ที่อยู่ในวงศ์เดียวกันกับมันสำปะหลังที่รู้จักกันดี ได้แก่ ละหุ่ง ยางพารา เป็นต้น ส่วนพืชจำพวกมันสำปะหลังที่อยู่ในสกุล Manihot นั้นมีมากมายหลายชนิดซึ่งบางชนิดก็ใช้เป็นอาหารได้

สำหรับมันสำปะหลังที่ปลูกกันเป็นการค้าในปัจจุบันมีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า Manihot Esculenta Crantz ในอดีตที่ผ่านมามันสำปะหลังมีชื่อเดิมว่า Manihot Utilissima Pohl แต่ปัจจุบันไม่นิยมใช้กัน นอกจากนั้นสมัยก่อนยังแบ่งมันสำปะหลังเป็นชนิดหวานกับชนิดขม โดยที่ M. esculenta เป็นชนิดหวาน ส่วน M. palmat หรือ M. dulcis เป็นชนิดขม อย่างไรก็ตามในปัจจุบันคงมีแต่ M. esculenta ส่วนจะเป็นชนิดหวานหรือขมนั้นจะขึ้นอยู่กับสายพันธุ์

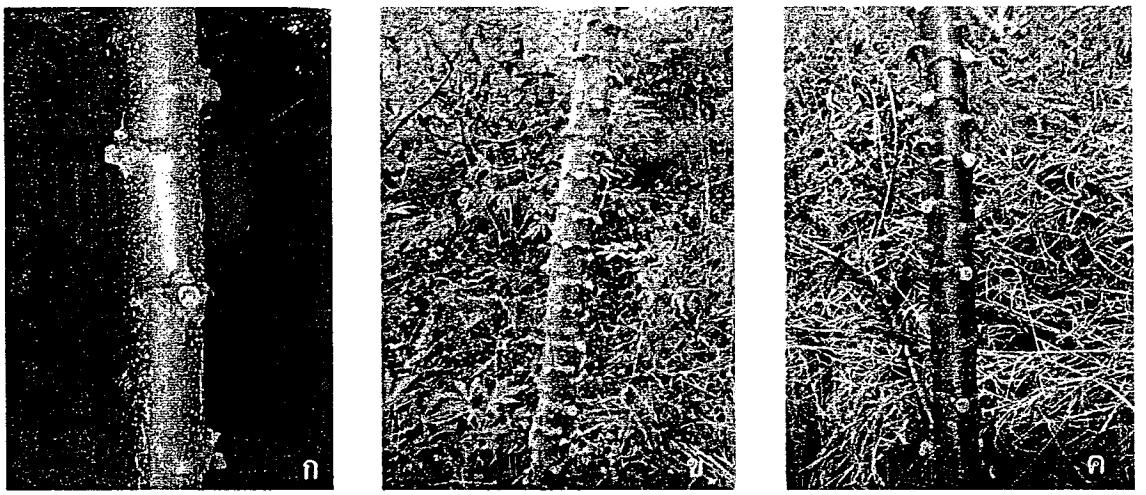
ลำต้น

มันสำปะหลังมีลักษณะลำต้นและความสูงแตกต่างกันออกไปตามสายพันธุ์ และสภาพแวดล้อม ลำต้นมีลักษณะเป็นพุ่มสูงประมาณ 1 - 5 เมตร (พันธุ์ป่าบางพันธุ์มีความสูงมากกว่า 5 เมตร) มีอายุอยู่ได้นานหลายปี (Shrubby perennial crop) ทุกส่วนของลำต้นมันสำปะหลังจะมียางสีขาวข้น บ้างพันธุ์ลำต้นเป็นต้นเดี่ยวไม่มีการแตกกิ่ง (Unbranched) แต่บางพันธุ์มีการแตกกิ่ง 2 กิ่ง (Dichotomous branching) แตกกิ่ง 3 กิ่ง (Trichotomous branching) บางพันธุ์อาจแตกกิ่งเป็นจำนวนมาก แต่เท่าที่พบมักจะแตกกิ่งไม่เกิน 4 กิ่ง (ภาพที่ 2.1) พันธุ์ที่มีการแตกกิ่งมากและแตกกิ่งหลายระดับจะมองเห็นเป็นพุ่มเตี้ย ความสูงของลำต้นจะตรงกันข้ามกับการแตกกิ่งคือพันธุ์ที่มีการแตกกิ่งมากจะเตี้ย ส่วนพันธุ์ที่มีการแตกกิ่งน้อยจะสูง จำนวนของการแตกกิ่งจะมีจำนวนแตกต่างกัน การแตกกิ่งครั้งแรกจะเรียกว่า primary branch ส่วนครั้งที่สองเรียกว่า secondary branch จำนวนครั้งที่แตกกิ่งอาจมีมากกว่า 7 ครั้ง (ภาพที่ 2.2) ความสูงของการแตกกิ่งแตกต่างกันไปตามสายพันธุ์ บางพันธุ์แตก primary branch ต่ำๆ เมื่ออายุน้อย บางพันธุ์อาจแตก primary branch สูงเมื่ออายุมาก ระดับการแตกกิ่งจะมีตั้งแต่หนึ่งระดับ (One level) ถึงสามระดับ (Three levels) การแตกกิ่งจะทำมุมกับลำต้นแตกต่างกันขึ้นอยู่กับพันธุ์ ซึ่งจะวัดจาก vertical plane กับการแตกกิ่งแรก คือ ทำมุม 15 - 30 องศา 45 - 60 องศา และ 75 - 90 องศา ลำต้นมีสีต่าง ๆ มากมายแล้วแต่พันธุ์ เช่น สีเขียวเงิน สีเทาเงิน สีเหลือง และสีน้ำตาล เป็นต้น ส่วนยอดมักเป็นสีเขียว ลำต้นมีเปลือกบางลอกออกง่าย (ภาพที่ 2.3)

ภาพที่ 2.1 ลักษณะลำต้นและกิ่งของมันสำปะหลัง (ก) ต้นไม่มีการแตกกิ่ง (unbranched) (ข) ต้นมีการแตกกิ่ง (branching) ที่มา : มันสำปะหลัง, กรมวิชาการเกษตร, 2550.

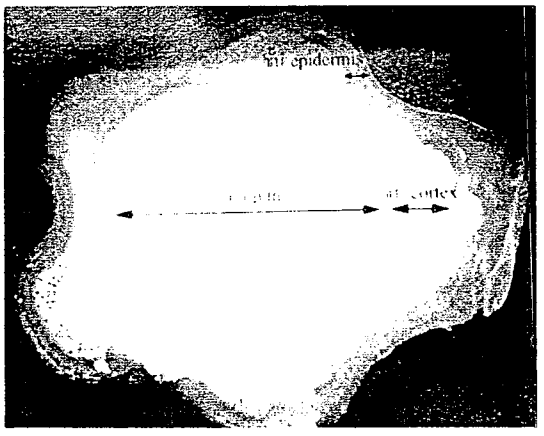


ภาพที่ 2.2 การแตกกิ่งครั้งแรกเรียกว่า primary branch ส่วนครั้งที่สองเรียกว่า secondary branch ที่มา : มันสำปะหลัง, กรมวิชาการเกษตร, 2550.



ภาพที่ 2.3 ความแตกต่างของสีลำต้นขึ้นอยู่กับพันธ์ (ก) สีน้ำตาล (ข) สีเหลือง (ค) สีเทาเงิน ที่มา : มันสำปะหลัง, กรมวิชาการเกษตร, 2550.

ลำต้นของมันสำปะหลังจัดเป็นพวกไม้เนื้ออ่อน ลักษณะภายในของลำต้นเหมือนกับพืชใบเลี้ยงคู่ทั่ว ๆ ไป ขณะที่ต้นยังอ่อนอยู่จะถูกหุ้มด้วยชั้นของเซลล์ที่เรียกว่า Epidermis ชั้นข้างในประกอบด้วยส่วนที่เรียกว่า Cortex ซึ่งภายใน Cortex จะประกอบไปด้วยกลุ่มท่อน้ำท่ออาหาร (Vascular bundle) เรียงกันอยู่เป็นวง ท่ออาหาร (Phloem) และท่อน้ำ (Xylem) แยกกันโดยส่วนเนื้อเยื่อ Cambium ไส้กลางของลำต้นจะเห็นเป็นเนื้อไม้นุ่มๆ อุ้มน้ำ ซึ่งเป็นส่วนของ Parenchyma เรียกว่า Pith จะมีขนาดใหญ่ในขณะลำต้นยังอ่อน มีผลทำให้เปราะหักง่าย ส่วนต้นที่แก่แล้ว Pith จะมีขนาดเล็กกว่า บริเวณผิวของลำต้นจะมีการสะสมชั้นของเนื้อเยื่อ (Cork layer) และส่วนของท่อน้ำ (Xylem) ทำให้กลายเป็นเนื้อไม้ที่แข็งเมื่ออายุมากขึ้น (ภาพที่ 2.4)



ภาพที่ 2.4 ลำต้นของมันสำปะหลังประกอบด้วย epidermis cortex และ pith ที่มา : มันสำปะหลัง, กรมวิชาการเกษตร, 2550.

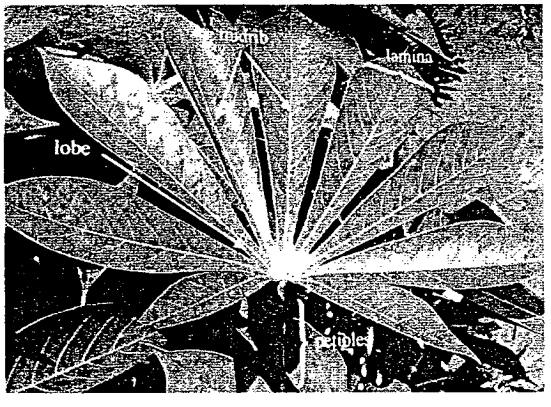
ลำต้นจะมีก้านใบติดอยู่ แต่เมื่อมีอายุมากขึ้นใบก็จะหลุดร่วงหล่นไป โดยใบที่อยู่บริเวณโคนต้นจะร่วงก่อนเมื่อมีอายุ 4 เดือนขึ้นไป เมื่อใบแก่ร่วงจะทำให้เกิดรอยแผลเป็นของก้านใบที่ติดอยู่กับลำต้น เรียกว่า Leaf scar ซึ่งจะขรุขระมีลักษณะคล้าย ๆ ข้ออยู่รอบ ๆ ลำต้นเป็นรอยนูนเด่นออกมาแล้วแต่พันธุ์ บางพันธุ์ก็มีรอยนูนเด่นออกมามาก เรียกว่า Prominent บางพันธุ์รอยนูนเด่นปานกลาง (Moderately prominent) และบางพันธุ์รอยนูนเด่นออกมาน้อย (Little prominence) ระยะห่างระหว่าง Leaf scar เรียกว่า Storey length (ภาพที่ 2.5) ระยะ Storey length จะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับพันธุ์และระยะเวลาที่เจริญเติบโต ในช่วงฤดูฝน Storey length จะยาว หรือ Leaf scar จะห่างเพราะมีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วในฤดูแล้ง Storey length จะสั้นหรือ Leaf scar จะถี่เนื่องจากมีการเจริญเติบโตน้อย เหนือบริเวณ leaf scar ขึ้นจะมีตา (bud) อยู่หนึ่งตา ซึ่งเมื่อตัดต้นที่มีตาไปปลูกจะสามารถงอกออกเป็นต้นใหม่ได้ขนาดของลำต้นจะแตกต่างกันไปแล้วแต่พันธุ์สภาพแวดล้อมและอายุของลำต้นซึ่งเฉลี่ยแล้วจะมีเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 2 - 6 เซนติเมตร

ภาพที่ 2.5 รอยแผลเป็นของก้านใบ (Leaf scar) และระยะห่างระหว่าง Leaf scar เรียกว่า Storey length ที่มา : มันสำปะหลัง, กรมวิชาการเกษตร, 2550.

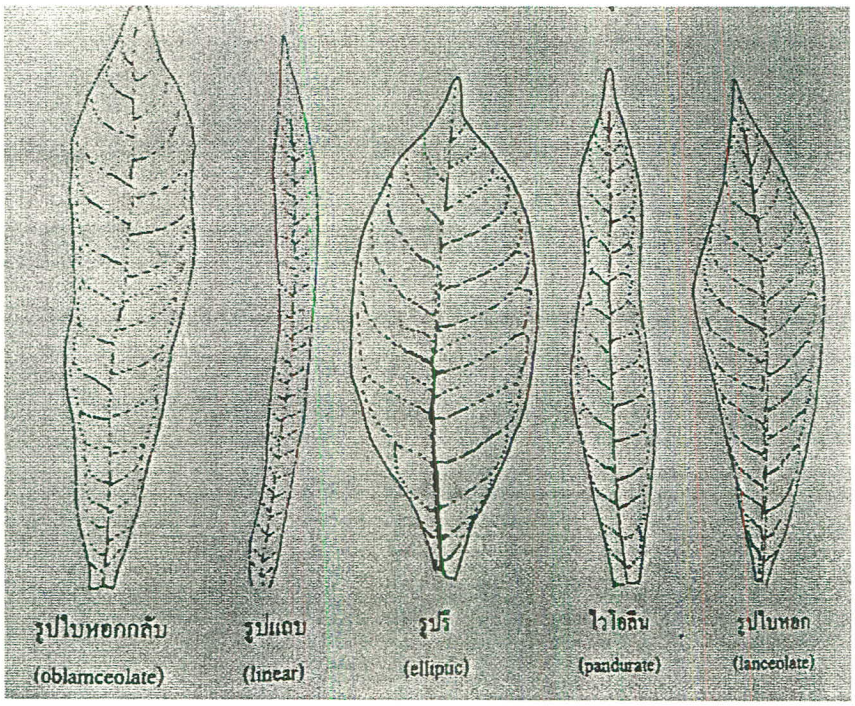
ใบ

ใบของมันสำปะหลังเป็นแบบใบเดี่ยว (single leaf) ปากใบ (stomata) ส่วนมากจะอยู่ใต้ใบ แผ่นใบ (lamina) จะเว้าเป็นแฉก (lobe) ลึกแบบ palmate (ภาพที่ 2.6) มีรูปร่างและจำนวนแฉกแตกต่างกันไปตามพันธุ์ ตามปกติจะมี 3 – 9 แฉก ยาวประมาณ 4 – 20 เซนติเมตร กว้างประมาณ 1 – 6 เซนติเมตร ใบที่อยู่ใกล้ช่อดอกมีขนาดเล็ก และมีจำนวนแฉกน้อยกว่า คือ มีเพียง 1 – 3 แฉกเท่านั้น รูปทรงของแฉกแตกต่างกันไปในแต่ละพันธุ์และค่อนข้างคงที่ในแต่ละพันธุ์ (ภาพที่ 2.6) เช่น เรียวยาว สั้นป้อม หรือสั้นเป็นบางส่วนใน คู่มือของ IBPGR จะแสดงให้เห็นถึงรูปร่างของแฉกที่อยู่ตรงกลางต่าง ๆ กันไป เช่น Ovate, Linear, Obovate, Oblanceolante, Elliptic, Lanceolate หรือ Pandurate (ภาพที่ 2.7 และ 2.8)

เส้นกลางใบ (midrib) จะมีสีแตกต่างกันไปตามพันธุ์ ก้านใบ (petioles) เช่นเดียวกันจะมีสีแตกต่างกันไป เช่น สีเขียว ขาวหม่น แดง เขียวเหลืองแดง ม่วง เป็นต้น พันธุ์พื้นเมือง หรือ ระยอง 1 จะมีก้านใบสีเขียวเหลืองแดง พันธุ์ห้านาทีจะมีก้านใบสีแดงเข้มทั้งก้าน ก้านใบติดกับฐานของแผ่นใบเป็นรูปตัววี (V) พยุงให้แผ่นใบอยู่ในแนวราบ ก้านใบยาวประมาณ 5 - 30 เซนติเมตร ยาวกว่าแผ่นใบ ก้านใบจะติดอยู่กับลำต้น โดยเรียงวนรอบลำต้นแบบ 2/5 spiral phyllotaxy บริเวณยอดจะมีใบอ่อนที่ยังไม่คลี่หุ้มอยู่ โดยใบอ่อนมีสีต่าง ๆ กันไปตามพันธุ์ เช่น ม่วงอ่อน เขียวอ่อน หรือเขียวเข้ม เป็นต้น นอกจากนั้นยังมีขน (pubescence) ที่ใบอ่อนเหล่านี้ซึ่งบางพันธุ์ก็มีมาก บางพันธุ์ก็มีน้อยหรือไม่มีเลย (ภาพที่ 2.9) ลักษณะต่าง ๆ ของใบได้แก่ จำนวนแฉก รูปร่างของแฉก ความยาว ความกว้างของแฉก สีของก้านใบ สีของใบอ่อน ใบแก่ การมีขน หรือไม่มีขนของใบอ่อนสามารถนำไปใช้จำแนกพันธุ์ต่างๆได้

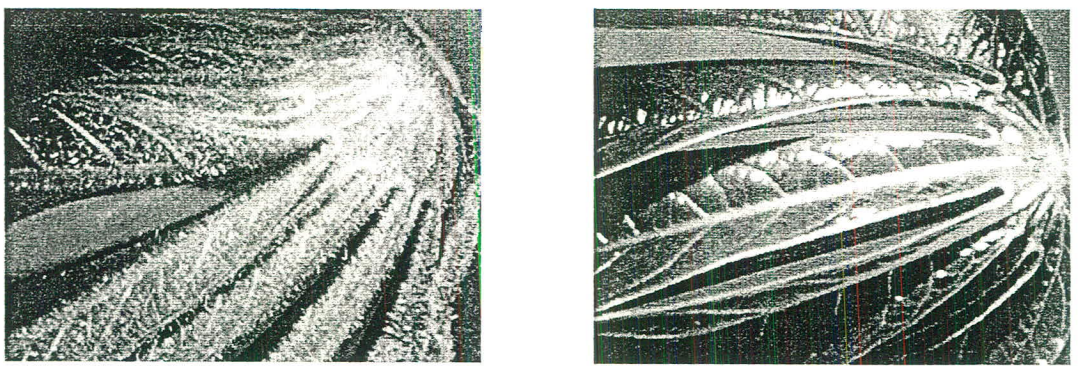


ภาพที่ 2.6 ส่วนประกอบของใบมันสำปะหลัง ที่มา : มันสำปะหลัง, กรมวิชาการเกษตร, 2550.



ภาพที่ 2.7 รูปร่างของใบมันสำปะหลัง ที่มา : มันสำปะหลัง, กรมวิชาการเกษตร, 2550.

ภาพที่ 2.8 รูปร่างใบมันสำปะหลัง ใบหอก (lanceolate) และใบไวโอลีน (pandurate) ที่มา : มันสำปะหลัง, กรมวิชาการเกษตร, 2550.



(ก) (ข)

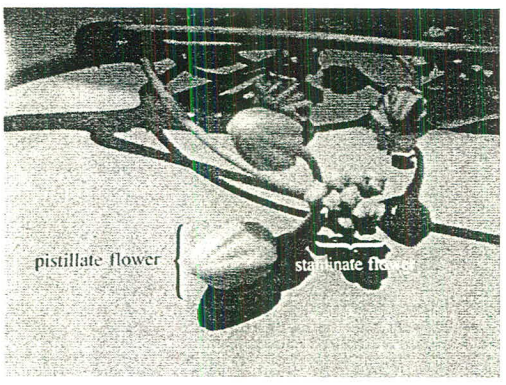
ภาพที่ 2.9 ลักษณะการมีขน (ก) และไม่มีขนของใบ (ข) ที่มา : มันสำปะหลัง, กรมวิชาการเกษตร, 2550.

ดอก

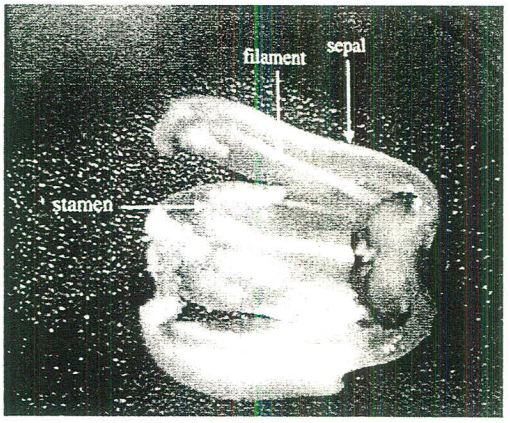
มันสำปะหลังเป็นพืชแบบ monoecious คือ มีทั้งดอกตัวผู้ (staminate flower) และดอกตัวเมีย (pistillate flower) อยู่ในช่อดอก (inflorescence) เดียวกันแต่ดอกตัวผู้และดอกตัวเมียอยู่แยกดอกกัน ช่อดอกเป็นแบบ panicle และเกิดที่จุดแตกกิ่งที่ยอดของต้น (apical branch) ดังนั้นพันธุ์ที่ไม่ได้แตกกิ่งจะไม่มีช่อดอก (ภาพที่ 2.10)

ดอกตัวผู้มีขนาดเล็กกว่าดอกตัวเมียและอยู่ที่ส่วนบนของช่อดอก ดอกตัวผู้มีกลีบเลี้ยง (sepal) 5 อัน สีของกลีบเลี้ยงมีตั้งแต่สีขาว ส้มเขียวแดง และม่วง แต่ไม่มีกลีบดอก (petal) แต่ละดอกมี 10 stamen จัดเรียงกันเป็น 2 วง วงในมี 5 stamen และมีก้าน (filament) สั้น วงนอกมี 5 stamen และมีก้านยาวกว่าวงใน filament แยกไม่ติดกัน ดอกตัวผู้มีก้านดอก (pedicel) ยาวประมาณ 0.5 - 1.0 เซนติเมตร ดอกตัวเมียมีขนาดใหญ่กว่าดอกตัวผู้และเกิดอยู่ที่ส่วนล่างของช่อดอก ดอกตัวเมียประกอบด้วยกลีบเลี้ยง 5 อัน ไม่มีกลีบดอก รังไข่ (ovary) ประกอบด้วย 3 capsule มีสีตั้งแต่สีขาว ส้ม เขียว แดง และม่วง แต่ละ capsule จะมี 1 ovule (ภาพที่ 2.11, 2.12 และ 2.13)

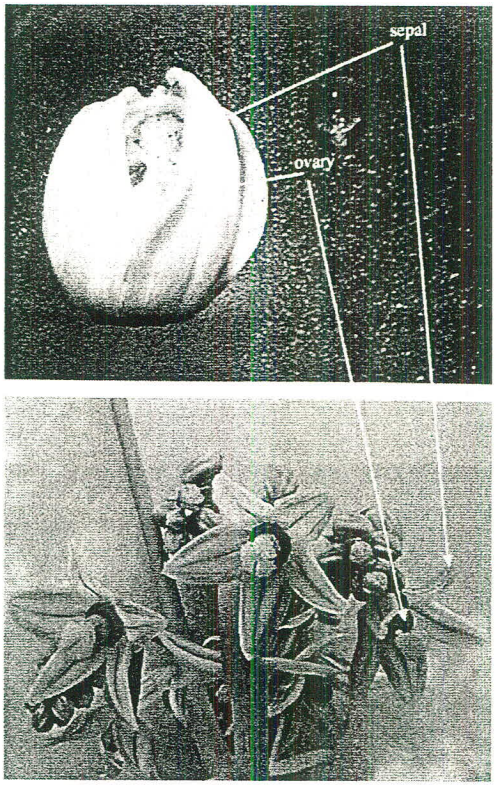
ดอกตัวเมียจะพร้อมผสมพันธุ์และบานกว่าดอกตัวผู้ประมาณ 7 - 10 วัน โดยดอกตัวเมียเริ่มบานเวลาประมาณ 11.30 - 12.30 นาฬิกา ดอกตัวเมียมีระยะ receptive ประมาณ 24 ชั่วโมง ตั้งแต่เริ่มบาน ส่วนละอองเกสรตัวผู้ (pollen) นั้นสามารถเก็บไว้ได้นานถึง 6 เดือน ใน desicator ถ้าอยู่บนช่อดอกจะร่วงหมดในเวลาเย็นของวันเดียวกัน แม้ว่าดอกตัวผู้และดอกตัวเมียจะอยู่ในช่อดอกเดียวกัน แต่เนื่องจากดอกตัวเมียจะบานและพร้อมที่จะผสมก่อนดอกตัวผู้ที่อยู่บนช่อดอกเดียวกัน 7 - 10 วัน ดังนั้นจึงทำให้มันสำปะหลังถูกจัดไว้เป็นพืชผสมข้าม การผสมเกสรตามธรรมชาติของมันสำปะหลังจะเกิดได้จากลมและแมลงพาละอองเกสรไปตกบน Stigma ของดอกตัวเมียทำให้เกิดการผสมเกสร (pollination) หลังจากผสมเกสรเป็นเวลาประมาณ 8 - 19 ชั่วโมง จึงจะเกิดการผสมพันธุ์ (fertilization)



ภาพที่ 2.10 ดอกมันสำปะหลัง ที่มา : มันสำปะหลัง, กรมวิชาการเกษตร, 2550.



ภาพที่ 2.11 ดอกตัวผู้ของมันสำปะหลัง ที่มา : มันสำปะหลัง, กรมวิชาการเกษตร, 2550.



ภาพที่ 2.12 ดอกตัวเมียของมันสำปะหลัง ที่มา : มันสำปะหลัง, กรมวิชาการเกษตร, 2550.

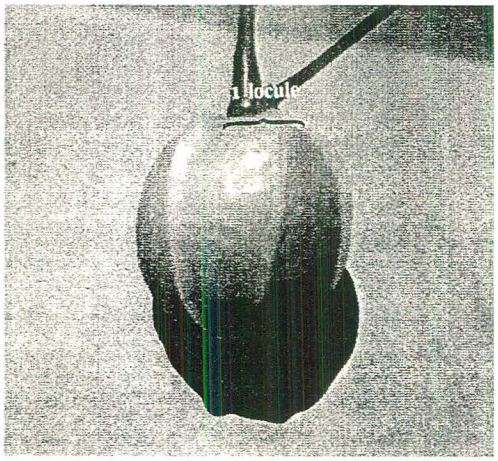
ภาพที่ 2.13 เปรียบเทียบดอกตัวเมียกับดอกตัวผู้ของมันสำปะหลัง ที่มา : มันสำปะหลัง, กรมวิชาการเกษตร, 2550.

ผลและเมล็ด

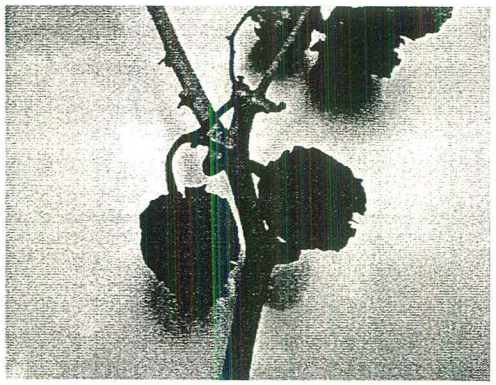
หลังจากเกิดการผสมพันธุ์แล้วรังไข่จะเจริญเติบโตเป็นผล ผลมันสำปะหลังเป็นแบบ capsule อาจจะเรียบหรือขรุขระ ผลที่โตเต็มที่จะมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 1 - 1.5 เซนติเมตร (ภาพที่ 2.14) ภายในผลจะประกอบด้วย 3 locule แต่ละ locule มีเมล็ดอยู่ภายใน 1 เมล็ด แต่ละผลจะมี 6 ปีก (wing) ผลจะแก่เต็มที่หลังจากการผสมแล้วประมาณ 3 เดือน เมื่อผลแก่เต็มที่เปลือกของผลจะแยกจากกันตามความยาวของผล จากนั้นอีกประมาณ 2 - 3 วัน ผลจะแตกและดีดเมล็ดกระจายออกไป (dehiscent) (ภาพที่ 2.15)

เมล็ดมันสำปะหลังมีสีน้ำตาลลายดำ หรือสีเทา คล้ายกับเมล็ดละหุ่งแต่เล็กกว่า มีขนาดกว้างประมาณ 0.75 เซนติเมตร หน้า 0.5 เซนติเมตร และยาว 1 เซนติเมตร ที่เมล็ดจะเห็น caruncle ซึ่งอาจมีสีขาว สีชมพู หรือสีม่วง แต่ส่วนใหญ่สีขาวเห็นได้ชัดเจน (ภาพที่ 2.16)

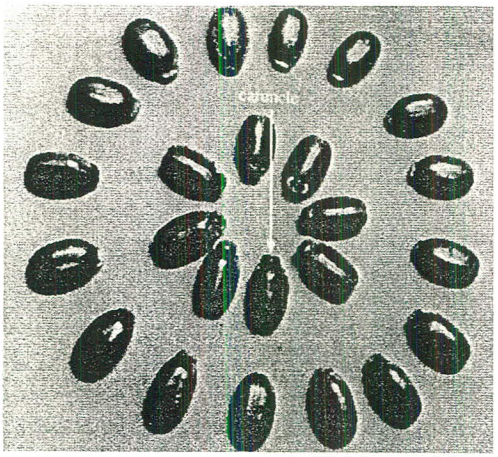
เมล็ดเมื่อแตกออกจากผลใหม่ ๆ จะมีระยะฟักตัวประมาณ 60 วันการปลูกด้วยเมล็ดมักไม่นิยมใช่ เพราะเมล็ดแต่เมล็ดมีความแตกต่างกันทางพันธุกรรมสูง แต่จะปลูกมันสำปะหลังด้วยเมล็ดเฉพาะเมื่อสร้างพันธุ์ใหม่ ๆ ในโครงการปรับปรุงพันธ์เท่านั้น



ภาพที่ 2.14 ผลมันสำปะหลังเป็นแบบ capsule อาจจะเรียบหรือขรุขระ ภายในผลจะประกอบด้วย 3 locule ที่มา : มันสำปะหลัง, กรมวิชาการเกษตร, 2550.



ภาพที่ 2.15 ผลมันสำปะหลังจะแตกเมื่อผลแก่เต็มที่ ที่มา : มันสำปะหลัง, กรมวิชาการเกษตร, 2550.



ภาพที่ 2.16 เมล็ดมันสำปะหลังมีสีน้ำตาลลายดำ หรือสีเทา คล้ายกับเมล็ดละหุ่งแต่เล็กกว่า ที่มา : มันสำปะหลัง, กรมวิชาการเกษตร, 2550.

รากและหัว

มันสำปะหลังที่ปลูกด้วยท่อนพันธุ์จะมีระบบราก เป็นแบบ adventitious root system (ภาพที่ 2.17) รากจะแตกออกมาจากส่วนปลายของรอยตัด อย่างไรก็ตามรากเกิดจากส่วนต่างๆ ของต้นได้ คือ จาก cambium จากตา จาก leaf scar และจากส่วนโคนของ shoot รากมันสำปะหลังมี 2 ชนิด คือ รากจริง (true or wiry roots) และรากสะสม (modified or storages roots) รวมทั้ง 2 ชนิดนี้จะเจริญเติบโตลงไปในดิน โดยรากจริงจะเจริญเติบโตไปในทางด้านลึกมากกว่าด้านข้าง ซึ่งมีหน้าที่ดูดน้ำและอาหารเลี้ยงลำต้น และเป็นที่ยึดเหนี่ยวลำต้นไว้ด้วย ส่วนรากสะสมจะเจริญเติบโตในทางด้านข้างรอบ ๆ ต้นเป็นส่วนใหญ่ มักเกิดอยู่บริเวณโคนต้นในรัศมีประมาณ 60 เซนติเมตรการลงหัวไปในดินมีทั้งดิ่งลงไป (tending toward vertical) ไปตามแนวราบ (tending toward horizontal) และไม่เป็นระเบียบ (irregular) (ภาพที่ 2.18)

เมื่อมันสำปะหลังอายุได้ประมาณ 2 เดือนหลังจากการปลูก จะมีการสะสมอาหารในรูปของแป้งไว้ที่รากสะสมเหล่านี้ ซึ่งเกิดจากการสะสมแป้งใน parenchyma cell เรียกรากสะสมนี้ว่าหัว และรากที่สะสมแป้งเหล่านี้จะค่อยขยายใหญ่ขึ้นตามอายุ โดยทั่วไปในต้นมันสำปะหลังต้นหนึ่ง ๆ จะมีรากสะสมอาหารหรือที่เรียกว่าหัวนี้อยู่ประมาณ 5 - 20 หัวต่อต้น และจำนวนหัวจะคงที่ไม่เพิ่มขึ้นอีกตลอดชั่วอายุการเก็บเกี่ยว หัวมันสำปะหลังจะเป็นที่สะสมแป้งเท่านั้น ไม่มีตา และไม่สามารถใช้ขยายพันธุ์ได้

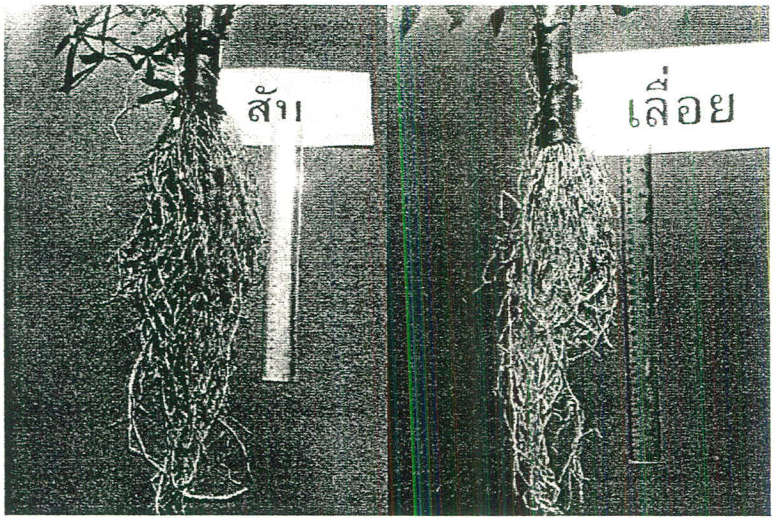
จำนวนหัว รูปร่างของหัว ขนาด สี น้ำหนัก เปอร์เซ็นต์แป้งและปริมาณกรด HCN ในหัวจะแตกต่างกันไปในแต่ละพันธุ์ รูปร่างหรือรูปทรงของหัวมีตั้งแต่ conical, conical-cylindrical, fusiform, irregular และรูปทรงที่รวม ๆ กัน (ภาพที่ 2.19) หัวมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 3 – 15 เซนติเมตร ขึ้นอยู่กับอายุและสภาพแวดล้อม สีเปลือกของหัวมันมีตั้งแต่สีขาว น้ำตาล และน้ำตาลอ่อน เป็นต้น เช่น พันธุ์พื้นเมือง ระยอง 1 ระยอง 60 จะมีเปลือกสีขาว ส่วนพันธุ์ห้านาที พันธุ์ระยอง 3 ระยอง 90 จะมีเปลือกสีน้ำตาล น้ำหนักของหัวอาจมีน้ำหนักมากกว่า 10 กิโลกรัม โดยหัวจะหนักมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับพันธุ์ อายุ และสภาพแวดล้อม เปอร์เซ็นต์แป้งจะมีประมาณ 15 – 40 เปอร์เซ็นต์ ส่วนปริมาณกรด HCN ในเปลือกจะมีประมาณ 150 – 1,110 มิลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด ในเนื้อจะมีปริมาณ 5 – 490 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด ปริมาณกรด HCN ในใบและที่เปลือกของหัวของมันสำปะหลังต่างพันธุ์กันมีความแตกต่างน้อยมาก แต่ปริมาณกรด HCN ในหัวจะแตกต่างกันมาก

เมื่อผ่าหัวมันสำปะหลังตามขวางจะเห็นว่ามีอยู่ 3 ส่วนด้วยกันคือ ส่วนเปลือกชั้นนอก ส่วนเปลือกชั้นใน และส่วนเนื้อหัว (ภาพที่ 2.20)

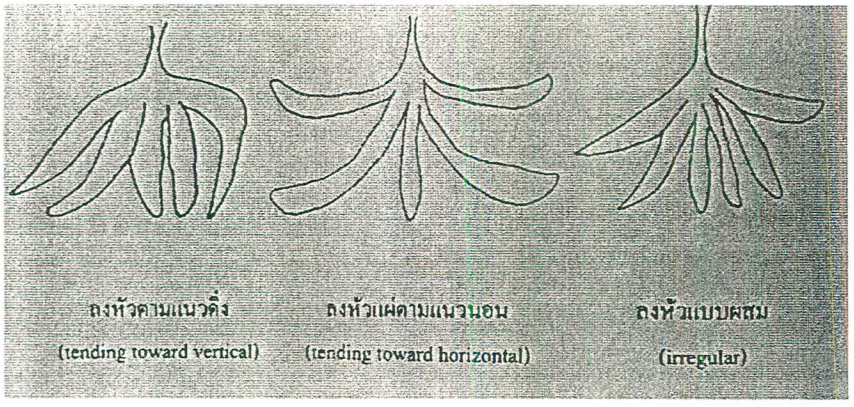
1. ส่วนของเปลือกชั้นนอกหรือผิว (periderm) จะเป็นเยื่อบาง ๆ ซึ่งเป็นส่วนของ cork layer และชั้น epidermis cell ความหนา ลักษณะที่เรียบหรือขรุขระ และสีของเปลือกชั้นนอกจะแตกต่างกันไป เช่น มีสีขาว น้ำตาลอ่อน น้ำตาลแก่ ชมพู และครีม แตกต่างกันไปตามพันธุ์

2. ส่วนของเปลือกชั้นใน (cortical region) จะอยู่ถัดเข้าไปมีความหนาประมาณ 1 – 3 มิลลิเมตร มักมีสีขาวหรือชมพู แต่อาจมีสีน้ำตาล ม่วง แตกต่างกันไปตามพันธุ์ ส่วนประกอบประกอบไปด้วยชั้นของเซลล์ชนิดต่าง ๆ ได้แก่ sclerenchyma, cortical-parenchyma และ phloem เปลือกชั้นในนี้เรียกว่า cortex เมื่อรวมกับ periderm เรียกกันว่า เปลือก (peel)

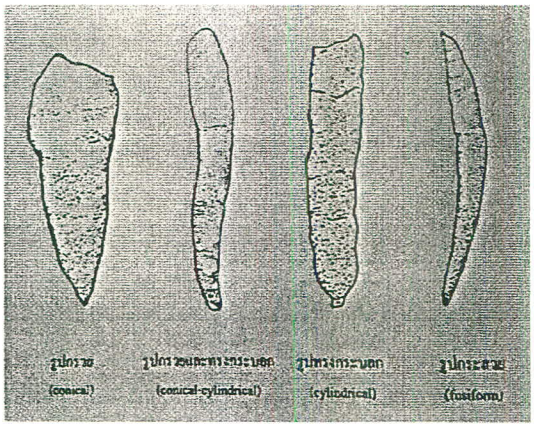
3. ส่วนของเนื้อหัว (starchy flesh) หรือส่วนแกนกลาง (large central pith) เป็นส่วนที่สะสมแป้ง ประกอบด้วยเซลล์ชนิดต่างๆ คือ cambium, parenchyma, และ xylem vessel ภายในหัวประกอบด้วย แป้ง 20 - 40 เปอร์เซ็นต์ ที่เหลือเป็นน้ำ 60 – 80 เปอร์เซ็นต์ เนื้อหัวมีสีต่าง ๆ เช่น ขาว ครีม เหลือง และ ชมพู เป็นต้น (ภาพที่ 2.21)



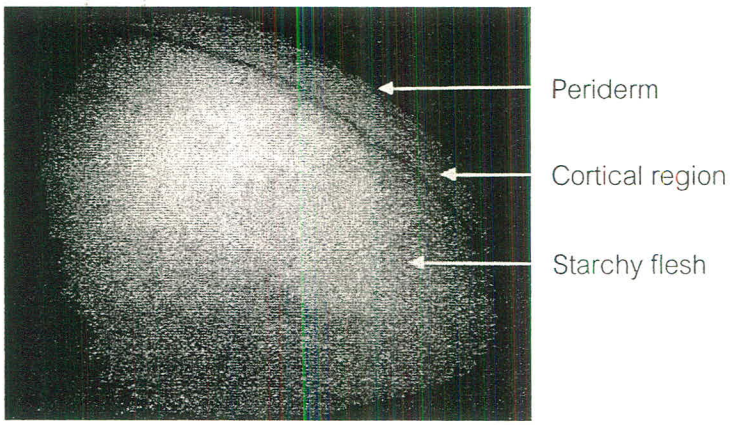
ภาพที่ 2.17 ลักษณะรากของมันสำปะหลัง ที่มา : มันสำปะหลัง, กรมวิชาการเกษตร, 2550.



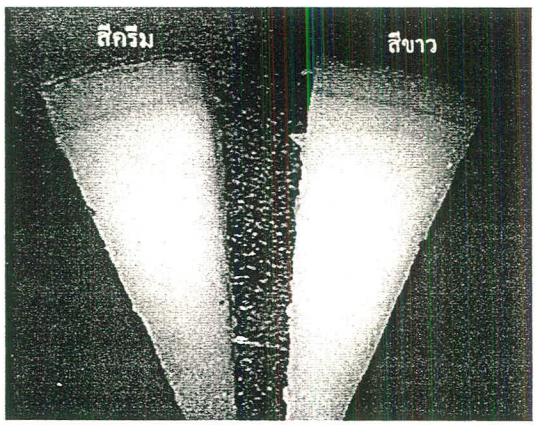
ภาพที่ 2.18 การลงหัวไปในดินของมันสำปะหลัง ที่มา : มันสำปะหลัง, กรมวิชาการเกษตร, 2550.



ภาพที่ 2.19 ลักษณะรูปทรงของหัวมันสำปะหลัง ที่มา : มันสำปะหลัง, กรมวิชาการเกษตร, 2550.



ภาพที่ 2.20 ภาพตัดขวางของหัวมันสำปะหลัง ที่มา : มันสำปะหลัง, กรมวิชาการเกษตร, 2550.



ภาพที่ 2.21 สีของหัวมันสำปะหลัง ที่มา : มันสำปะหลัง, กรมวิชาการเกษตร, 2550.

2.1.5 องค์ประกอบทางเคมีของหัวมันสำปะหลังและผลิตภัณฑ์มันสำปะหลัง

หัวมันสำปะหลังเป็นส่วนของรากที่โตขึ้นอันเนื่องมาจากการสะสมแป้ง หัวมันสำปะหลังสดมีน้ำอยู่ประมาณ 60 – 65 เปอร์เซ็นต์ และส่วนประกอบส่วนใหญ่คือแป้งหรือคาร์โบไฮเดรต ประมาณ 20 – 30 เปอร์เซ็นต์ดังนั้นหัวมันสำปะหลังจึงเป็นแหล่งคาร์โบไฮเดรตที่ให้พลังงานในอาหารของคนและสัตว์ แต่มี

ปริมาณโปรตีนและไขมันน้อยมาก ไม่เหมาะที่จะใช้เป็นแหล่งของโปรตีนและไขมัน การนำหัวมันสำปะหลังไปใช้มักจะทำให้แห้ง เพื่อลดปริมาณความชื้นให้น้อยลงเสียก่อน เช่น มันเส้น มันอัดเม็ด หรือสกัดเฉพาะส่วนของแป้งออกจาก หัวมันสำปะหลัง ส่วนประกอบทางเคมีของหัวมันสำปะหลังสด มันสำปะหลังแห้ง และแป้งมันสำปะหลัง จะประกอบด้วยความชื้นประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ คาร์โบไฮเดรต 70 เปอร์เซ็นต์ โปรตีน 2.63 เปอร์เซ็นต์ และไขมัน 0.51 เปอร์เซ็นต์

หัวมันสำปะหลังมีปริมาณโปรตีนและไขมันต่ำกว่าธัญพืช กล่าวคือหัวมันสำปะหลังมีปริมาณโปรตีน 1.18 เปอร์เซ็นต์ ส่วนข้าวและข้าวโพดมีปริมาณโปรตีน 7.82 และ 8.99 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ดังนั้นการใช้ผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังเพื่อทดแทนธัญพืช จึงต้องเพิ่มปริมาณโปรตีนในสูตรอาหารโดยการผสมกากถั่วเหลือหรือปลาป่นเข้าไปด้วย

2.1.6 ประโยชน์จากมันสำปะหลัง

มันสำปะหลังเป็นพืชที่ใช้ประโยชน์ได้ทุก ๆ ส่วน ตั้งแต่ยอดจนถึงราก (หัวมัน) มีการนำมาใช้ประโยชน์ในครัวเรือน เพื่อการบริโภคเป็นอาหารของมนุษย์ และสัตว์ และใช้แปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ เพื่อใช้ประโยชน์กับมนุษย์และสัตว์ในหลาย ๆ รูปแบบ ตลอดทั้งใช้ในอุตสาหกรรมแป้งแปรรูป (modified starch) ใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมต่าง ๆ ได้มากมายหลายชนิดแม้นกระทั่งในวงการแพทย์

ส่วนหัว

- ใช้ประโยชน์ด้วยการบริโภคโดยตรงจากหัวมันสำปะหลังสด
- ใช้เป็นอาหารมนุษย์โดยตรง เช่น นึ่ง ย่าง อบ เชื่อม และหั่นฝอยคลุกน้ำมันหรือเครื่องเทศแล้วทอด หรือนำมาทำเป็นแป้งและแปรรูปเป็นอาหารชนิดต่างๆ ตลอดจนนำมาฝานเป็นแผ่นบางๆ แล้วทอด
- ใช้เป็นอาหารสัตว์ ทั้งที่เป็นหัวสด กากที่เหลือจากการทำแป้งและเปลือกของหัว

ส่วนใบ

- ใช้เป็นอาหารมนุษย์ รับประทานเป็นผักสดโดยต้มจิ้มน้ำพริก นำมาแกง (ห่อหมก) ปรุงเป็นซุป
- ใช้เป็นอาหารสัตว์ ในรูปใบสด นำมาตากแห้งป่นผสมกับอาหารข้นเลี้ยงสัตว์ และเป็นอาหารผสมใช้เป็นวัตถุดิบในอาหารสัตว์ เพื่อเพิ่มปริมาณโปรตีน/สารสีในอาหารไก่ไข่

ส่วนลำต้น

- ใช้ทำท่อนพันธุ์เพื่อนำไปปลูก
- ใช้เป็นอาหารสัตว์ โดยตัดสำต้นส่วนยอดผสมกับใบสดใช้เลี้ยงสัตว์เคี้ยวเอื้อง ตากแห้งเป็นอาหารหยาบ
- ใช้ทำรั้วบ้านรั้วสวนและล้อมคอกสัตว์เลี้ยงของชาวบ้านในชนบท

ส่วนเมล็ด

- ใช้สกัดเป็นน้ำมันที่มีคุณภาพดีสามารถนำไปใช้ในอุตสาหกรรมยาได้

2.1.7 การนำมันสำปะหลังไปผลิตเป็นผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

- อุตสาหกรรมมันเส้น สามารถนำไปผลิตเป็นผลิตต่างๆ ได้
    - ก. แอลกอฮอล์ ใช้ผลิตเป็นสุรา และยาฆ่าเชื้อโรค
    - ข. แก๊สโซฮอล์ ใช้ผลิตเอทานอล เพื่อผสมกับน้ำมันเชื้อเพลิง ใช้ทดแทนน้ำมันเชื้อเพลิง
    - ค. กรดมะนาว ใช้ผลิตกรดมะนาว ซึ่งเป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมอาหาร เครื่องสำอาง และยา

ง. ใช้เป็นอาหารสัตว์ หมักแล้วเติมเนื้อสัตว์ น้ำมัน ผัก เครื่องเทศ และน้ำปรุงอาหาร

- อุตสาหกรรมมันอัดเม็ด
- อุตสาหกรรมแป้งมันสำปะหลัง

จ. อุตสาหกรรมทอผ้า ช่วยให้ด้ายเรียบไม่มีขนทำให้ด้ายแข็งแรงทนทาน นอกจากนี้ในขั้นตอนการพิมพ์ลายผ้าแป้งจะช่วยทำให้พิมพ์ลายได้สม่ำเสมอ ช่วยให้ผ้าเงางามทนทาน

ฉ. อุตสาหกรรมกระดาษ ใช้ในการฉาบผิวด้วยกาวจากแป้งทำให้กระดาษเรียบ ช่วยทำให้กระดาษไม่ซึมหมึกเวลาเขียนด้วยน้ำหมึก หรือพิมพ์สี มีความเหนียว หนา

ช. อุตสาหกรรมไม้อัด ใช้ประกอบไม้ให้ติดกันจำทำให้ไม้อัดมีคุณภาพแข็งแรงทนทาน

ซ. อุตสาหกรรมกาว ใช้ทำกาวเก็กซ์ตรินส์ รวมถึงผลิตภัณฑ์ต่างๆ ที่มีกาวผสม

ฌ. อุตสาหกรรมรมอาหารและเครื่องดื่ม แป้งมันสำปะหลังจะถูกใช้ในรูปของแป้งแท้ๆ

ญ. ผลิตภัณฑ์บะหมี่กึ่งสำเร็จรูป ก๋วยเตี๋ยว วุ้นเส้น สาคู ใช้แป้งมันเป็นส่วนผสม

ฎ. ซอสต่างๆ เช่น ซอสมะเขือเทศ อาหารกระป๋อง ใช้แป้งเพื่อเพิ่มความเข้มเข้น

ฏ. ไอศกรีม

ฐ. ผงชูรส ผงชูรสที่ใช้ในการปรุงอาหาร

ฑ. ไลซีน เป็นกรดอะมิโนชนิดจำเป็นต่อร่างกายที่สัตว์ใช้สร้างโปรตีน และไม่สามารถสังเคราะห์ขึ้นเองได้ต้องได้รับจากอาหารสัตว์

ฒ. สารความหวาน ผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกลูโคสที่ผลิตในประเทศไทยมี 3 ชนิด

- กลูโคส นำไปเป็นวัตถุในการผลิตลูกกวาดและเครื่องดื่มหลายชนิด/เด็กซ์โทรส ส่วนมากใช้ในอุตสาหกรรมอาหารกระป๋องและยา
- ฟรุกโตส เป็นวัตถุดิบในการผลิตเครื่องดื่ม ขนมอบ ขนมหวาน ท็อฟฟี่ น้ำซอส เครื่องปรุงรส
- ซอบิตอล ใช้มากในอุตสาหกรรมยาสีฟันและเครื่องสำอาง

ณ. สารดูดน้ำ การใช้งานของโพลิเมอร์ดูดซึมน้ำมากมีหลายด้าน เช่น ใช้งานด้านอนามัยทางการแพทย์ ได้แก่ ผ้าอ้อมสำหรับเด็กและผู้ใหญ่ ใช้ทางอุตสาหกรรมเป็นสารข้นสำหรับหมึกสกรีนระบบน้ำ วัสดุดูดน้ำออกจากเชื้อเพลิง

ด. วัสดุภัณฑ์ย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ ใช้แป้งมันสำปะหลังมาแปรสภาพเป็นวัสดุภัณฑ์โดยการเติมสารย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ เพื่อทดแทนพลาสติก

ต. การผลิตแอลกอฮอล์จากมันสำปะหลัง ซึ่งแป้งจากหัวมันสำปะหลังสามารถเปลี่ยนเป็นแอลกอฮอล์ที่เรียกว่า เอทานอล(ethanol) แอลกอฮอล์ที่ได้นี้เมื่อนำไปผสมน้ำมันเบนซินในอัตรา 10 – 20 : 80 – 90 ส่วน สามารถใช้เป็นน้ำมันเชื้อเพลิงสำหรับรถยนต์ที่เรียกว่า ก๊าซโซฮอล์(Gasohol) เพื่อใช้เป็นพลังงานทดแทน ซึ่งกำลังได้รับความสนใจเป็นอย่างยิ่ง

2.2 ความรู้เบื้องต้นและความสำคัญของแป้ง

แป้งเป็นคาร์โบไฮเดรตที่สะสมอยู่ในพืชชั้นสูง พบในคลอโรพลาสต์ (ในใบ) และในส่วนที่พืชใช้เป็นแหล่งเก็บอาหาร เช่น เมล็ด และหัว 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 เช่น ทำให้เกิดเจล ควบคุมความคงตัวและเนื้อสัมผัสของอาหารจำพวกซอส ซุปและน้ำปรุงรสอาหาร ป้องกันเนื้อสัมผัสของอาหารเสียรูปเนื่องจากกระบวนการแช่แข็งและคืนรูปจากเยือกแข็ง (freeze-thaw) สภาวะกรด การทำพาสเจอไรเซชัน (pasteurization) และสเทอริไรเซชัน (sterilization) เป็นต้น นอกจากใช้ในอุตสาหกรรมอาหารแล้ว ยังมีการนำแป้งมาใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมอื่นๆ เช่น อุตสหกรรมกระดาษ อุตสหกรรมสิ่งทอ อุตสาหกรรมยา อุตสาหกรรมกาว และอุตสาหกรรมแป้งดัดแปร เป็นต้น

คำว่า “แป้ง” ในการผลิตนั้น หมายถึง คาร์โบไฮเดรตที่มีองค์ประกอบของคาร์บอนไฮโดรเจน และออกสิเจนเป็นส่วนใหญ่ มีสิ่งอื่นเจือปน เช่น โปรตีน ไขมัน เกลือแร่ น้อยมาก ส่วนแป้งที่ผลิตโดยทั่วไปที่ยังมีส่วนประกอบอื่นๆ อยู่มาก จะเรียกว่า ฟลาวร์ (flour) ตัวอย่างเช่น แป้งข้าวโพด แป้งข้าวสาลี ถ้ายังมีส่วนประกอบของโปรตีนสูง ก็จะจัดอยู่ในประเภทฟลาวร์ เรียกว่า corn flour, wheat flour เช่นเดียวกันกับแป้งข้าวเจ้าที่ยังมีโปรตีน 7 ถึง 8% ก็เรียกว่า rice flour แต่เมื่อสิ่งเจือปนอันหมายถึงโปรตีน ไขมัน เกลือแร่อื่นๆ ถูกสกัดออกไป จนเหลือแป้งบริสุทธิ์เป็นส่วนใหญ่ จึงเรียกว่าเป็นแป้งสตาร์ช (starch) เช่น corn starch, wheat starch เป็นต้น สำหรับแป้งมันสำปะหลังที่ผลิตในประเทศไทย ปัจจุบันผลิตโดยกรรมวิธีทันสมัย มีความบริสุทธิ์ของแป้งสูง จัดเป็นแป้งสตาร์ช (cassava starch) แป้งสตาร์ชมีความบริสุทธิ์สูง แป้งสตาร์ชที่ยังไม่ได้ถูกทำการดัดแปรหรือแปรรูป นิยมเรียกว่าว่าแป้งดิบ (raw starch หรือ native starch) ซึ่งจะตรงกันข้ามกับแป้งที่ถูกดัดแปรหรือแปรรูปแล้ว ที่เรียกว่าโมดิไฟด์สตาร์ช (modified starch) หรือแป้งดัดแปร

สำหรับประเทศไทย อุตสาหกรรมแป้งถือได้ว่าเป็นอุตสาหกรรมแปรรูปทางเกษตรกรรมหลักของประเทศ แป้งที่ผลิตมากที่สุด คือ แป้งมันสำปะหลัง ซึ่งได้มีการผลิตเป็นแป้งคุณภาพสูง (มีสิ่งแปลกปลอมน้อย) ปัจจุบันมีโรงงานอุตสาหกรรมแป้งมันสำปะหลังที่จดทะเบียนกับสมาคมการค้าอุตสหกรรมแป้งมันสำปะหลังไทยอยู่ 54 โรงงาน การผลิตสำรวจในช่วง พ.ศ. 2530-2540 สามารถผลิตแป้งมันสำปะหลังได้ในปริมาณ 2 ล้านตัน ส่งออกจำหน่ายต่างประเทศประมาณ 1 ล้านตัน

2.3 แป้งมันสำปะหลัง

ลักษณะที่สำคัญทางอุตสาหกรรมของมันสำปะหลัง คือ องค์ประกอบต่างๆ ที่มีอยู่ในหัวมันสำปะหลัง ซึ่งกล่าวถึงสิ่งสำคัญที่สุด 4 องค์ประกอบ คือ ปริมาณแป้ง ปริมาณไซยาไนด์ ปริมาณเปลือก และสารประกอบที่ทำให้เกิดสีในเนื้อแป้ง

ปริมาณแป้ง

ในขณะที่ประเทศผู้ปลูกมันสำปะหลังรายใหญ่ๆ เช่น บราซิล อินโดนีเซีย และประเทศในทวีปแอฟริกา บริโภคมันสำปะหลังเป็นอาหารและสนใจคุณสมบัติการรับประทานเป็นอาหาร (organoleptic cooking quality) เป็นหลักนั้น ประเทศไทยถือได้ว่าเป็นประเทศที่ใช้มันสำปะหลังในแง่อุตสาหกรรมแป้งและแป้งแปรรูปมากที่สุด ปริมาณแป้งในหัวมันสำปะหลังคือปัจจัยที่สำคัญที่สุดขององค์ประกอบทั้งหมด ปริมาณแป้งในหัวมันสำปะหลังพันธุ์ต่างๆ มีอยู่ประมาณ 14 –18 %

ปัจจุบันมีการพยายามที่จะให้เกษตรกรเปลี่ยนแปลงพันธุ์ โดยปลูกพันธุ์ที่เหมาะสม มีปริมาณแป้งและผลผลิตที่สูง โดยทั่วๆ ไปหัวมันที่อายุมากขึ้นจะมีปริมาณแป้งสูงขึ้น จากการศึกษาพบว่าพันธุ์ อายุ และสิ่งแวดล้อมมีผลต่อคุณภาพของแป้ง เช่น ปริมาณน้ำฝน ช่วงเวลาในการเก็บเกี่ยว ดังนั้นในการนำหัวมันสำปะหลังมาแปรรูปเป็นแป้งจำเป็นต้องมีการตรวจสอบหรือควบคุมการเก็บเกี่ยวด้วย

ปริมาณไซยาไนด์

ไซยาไนด์เป็นสารพิษที่พบในพืชกว่า 3,000 ชนิด รวมทั้งมันสำปะหลังด้วย ไซยาไนด์ในมันสำปะหลังถูกสร้างขึ้นจากกรดแอมิโน 2 ตัว คือ แวลีน (valine) และไอโซลิวซีน (isoleucine) การสังเคราะห์จากแวลีนจะได้เป็นไกลโคไซด์ (glycoside) ของแอซีโตนไซยาโนไฮดริน (acetone 20 yanohydrins) เรียกว่า ลินามาริน (linamarinหรือ 2-hydroxy isobutyronitrile-β-D-glycoside) ถ้าสังเคราะห์จากไอโซลิวซีนจะได้โลทอสตราลิน (lotaustralin หรือ 2-hydroxy-2-methybutyronitrile-b-β-D-glycoside) ซึ่งเป็นไกลโคไซด์ของเมทิลเอทิลคีโตนไซยาโนไฮดริน (methylethyl ketone 20 yanohydrins) ในมันสำปะหลังจะมีลินามารินอยู่ 93 ส่วนและโลทอสตราลินอยู่ 7 ส่วน สารประกอบที่สังเคราะห์ได้นี้จะอยู่ในเนื้อเยื่อของพืช เมื่อเนื้อเยื่อของพืชถูกทำลาย จะมีการสลายตัวของสารประกอบนี้โดยกระบวนการไฮโดรไลซิสของน้ำย่อยลินามาเรส (linamarase) และน้ำย่อยออกซีไนตริเลส (oxynitrilase) หรือไฮดรอกซีไนไทรต์ไลเอส (hydroxynitritelyase) ย่อยสลายจนได้กรดแอมิโนเจเนซิส (cyanogenesis) ซึ่งเป็นที่เข้าใจว่าเป็นการป้องกันตนเองของพืชจากการถูกทำลายโดยสัตว์และแมลง

ปัจจุบันยังไม่มีรายงานว่ามีมันสำปะหลังพันธุ์ที่ปราศจากกรดไฮโดรไซยานิก(HCN) เลยโดยทั่วไปปริมาณ HCN ในหัวมันสำปะหลังมีตั้งแต่ 14-400 มิลลิกรัม/กิโลกรัมแบ่งเป็น 3 กลุ่ม คือ

(ก) กลุ่มที่ไม่มีพิษ (Innocuous) คือหัวมันที่มีปริมาณ HCN อยู่น้อยกว่า 50 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมของหัวมันที่ปอกเปลือก

(ข) กลุ่มที่มีพิษปานกลาง (Moderately poisonous) คือหัวมันที่มีปริมาณ HCN อยู่ตั้งแต่ 50-100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมของหัวมันที่ปอกเปลือก

(ค) กลุ่มที่มีพิษอันตราย (Dangerous poisonous) คือหัวมันที่มีปริมาณ HCN อยู่มากกว่า 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมของหัวมันที่ปอกเปลือก

จากการวิจัยยังพบอีกว่าอายุการเก็บเกี่ยวมีผลต่อปริมาณไซยาไนด์ในหัวมันสำปะหลัง และยังพบอีกว่าหัวมันที่ปลูกในสภาวะแห้งแล้งจะมีปริมาณไซยาไนด์มากกว่าหัวมันที่ปลูกในสภาวะที่มีปริมาณน้ำเพียงพอ ความสมบูรณ์ของแร่ธาตุในดินโดยเฉพาะปริมาณโพแทสเซียมจะส่งผลต่อปริมาณไซยาไนด์ในหัวมันสำปะหลังด้วยเช่นกัน

ปริมาณเปลือก (เยื่อใย)

ปริมาณเปลือก ความหนาของเปลือก ถึงแม้ว่าจะเป็นประโยชน์ในการขนส่ง ทนทานต่อการสูญเสียระหว่างการเก็บเกี่ยว แต่เมื่อผ่านกระบวนการผลิตตั้งแต่การชั่งน้ำหนักเพื่อหาปริมาณแป้ง เมื่อผ่านการล้างและยังมีเปลือกและเยื่อใยในเนื้อของตัวมันเองติดอยู่ จะเป็นการเพิ่มปริมาณเยื่อใยหรือกากมัน (pulp) และจะเพิ่มภาระในการสกัด ลดประสิทธิภาพการสกัดลง เปลือกมันสำปะหลังประกอบด้วยเนื้อเยื่อในชั้น periderm, schlerenchyma, cortical parenchyma และ phoem

ลักษณะสรีระของหัวมันนั้นเป็นไปตามพันธุ์ การศึกษาลักษณะของการเปลี่ยนแปลงเยื่อใย ในระหว่างการเจริญเติบโตของมันสำปะหลังพันธุ์ต่างๆ จึงจำเป็นต่อการศึกษาวิจัยมาก เพราะเยื่อใยเป็นปัจจัยที่บ่งบอกถึง rasping effect และ rasping energy ของการสกัดในโรงงาน (rasping effect และ rasping energy)

สารประกอบที่ทำให้เกิดสีในเนื้อแป้ง

หัวมันพันธุ์ต่างๆ กันจะมีสีเนื้อแตกต่างกัน นอกจากสีขาวยังมีสีนวลจนถึงสีเหลือง ยังไม่มีรายงานการวิเคราะห์หาสารประกอบสีหรือการสร้างและการเปลี่ยนแปลงตามอายุของหัวมันต่างๆ ที่เกิดสีของพันธุ์ที่มีในประเทศไทย จากรายงานของ CIAT ถึงการเปลี่ยนแปลงหลังเก็บเกี่ยวแล้ว พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงชัดเจนที่ parenchyma พบสารประกอบพวกฟีนอลิก (phenolic), leucoanthocyaninscopoletinและ cathechin ซึ่งต่อไปจะเปลี่ยนแปลงกลายเป็นสีน้ำเงินและดำ รวมถึงพบสารประกอบ scopoletin และ coumarin ในขณะนี้ไม่พบหรือพบสารเหล่านี้น้อยมากในหัวมันสด

ลักษณะของสีที่มาจากพันธุ์ หรือมาจากการเปลี่ยนแปลงหลักเก็บเกี่ยวในเนื้อมัน จะมีผลอย่างยิ่งต่อกระบวนการผลิต แม้ว่าสีเหล่านี้จะเป็นพวกละลายน้ำได้ก็ตาม โอกาสของการพัฒนาพันธุ์ในอนาคตสำหรับมันสำปะหลังเพื่ออุตสาหกรรมนั้นควรจะมีเนื้อมันสีขาว และเมื่อเก็บเกี่ยวก็ยังมีสีขาวอยู่ได้เป็นเวลานานพอควรเพื่อให้ได้แป้งมันสำปะหลังที่มีคุณภาพดีต่อไป

2.4 คุณสมบัติของแป้ง

เมื่อเติมน้ำลงในแป้งและตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเม็ดแป้งจะดูดซึมน้ำที่เติมลงไปภายใต้สภาวะบรรยากาศของห้อง จนเกิดสมดุลระหว่างความชื้นภายในเม็ดแป้งกับน้ำที่เติมและความชื้นในบรรยากาศ ปริมาณน้ำที่ถูกดูดซึมจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและความชื้นสัมพันธ์ แป้งส่วนใหญ่เมื่อเกิดสมดุลภายใต้บรรยากาศปกติจะมีความชื้น 10 ถึง 17% จากการทดลองของ Leach (1965) พบว่าแป้งข้าวโพด แป้งมันสำปะหลัง แป้งมันฝรั่ง และแป้งข้าวเหนียว สามารถดูดซึมน้ำได้ในปริมาณ 39.9, 42.9, 50.9 และ 51.4 กรัมต่อน้ำหนักแป้งแห้ง 100 กรัม ตามลำดับ

น้ำที่อยู่ในเม็ดแป้งมีอยู่ด้วยกัน 3 รูปแบบ คือ น้ำในผลึก น้ำในรูปที่ไม่อิสระ (bound water) และน้ำในรูปอิสระ (free water) โดยมีการจับกับแป้งได้แน่นตามลำดับ และแป้งที่มีความชื้น 8 ถึง 18% สามารถจับกับน้ำได้แน่นกว่าแป้งที่มีความชื้นสูงกว่านี้ เนื่องจากการจับของน้ำกับหมู่ไฮดรอกซิลที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 6 ของกลูโคสแต่ละหน่วยของแป้ง จะได้สตาร์ชโมโนไฮเดรต

น้ำหรือของเหลวชนิดอื่นสามารถแพร่และผ่านเข้าไปในร่างแหของไมเซลล์ (micelles) ในเม็ดแป้งได้อย่างอิสระ ทดสอบได้จากการแขวนลอยเม็ดแป้งในสารละลายไอโอดีนเจือจาง จะเกิดสีขึ้นในเม็ดแป้ง เมื่อใส่โซเดียมไทโอซัลเฟต (sodium thiosulfate) ลงไป พบว่าสีจะหายไปอย่างรวดเร็วและเมื่อนำมาส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน พบว่าเม็ดแป้งประกอบด้วยรูพรุนจำนวนมากซึ่งจะทำหน้าที่เป็นตัวคัดขนาดโมเลกุล (molecular sieve) รูพรุนเหล่านี้อาจจะเกิดขึ้นในขั้นตอนการทำแห้งในกระบวนการผลิตแป้ง หรืออาจจะมีอยู่แล้วในแป้งธรรมชาติแต่มีขนาดขยายใหญ่ขึ้นเนื่องจากขั้นตอนการทำแห้งในกระบวนผลิตแป้ง

แป้งดิบจะไม่ละลายในน้ำที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิเจลาทิไนซ์ เนื่องจากมีพันธะไฮโดรเจนซึ่งเกิดจากหมู่ไฮดรอกซิลของโมเลกุลแป้งที่อยู่ใกล้ๆ กันเชื่อมต่ออยู่ แต่เมื่ออุณหภูมิของสารผสมน้ำแป้งเพิ่มสูงกว่าช่วงอุณภูมิในการเกิดเจลาทิไนซ์ พันธะไฮโดรเจนจะถูกทำลาย โมเลกุลของน้ำจะเข้ามาจับกับหมู่ ไฮดรอกซิลที่เป็นอิสระ เม็ดแป้งเกิดการพองตัว ทำให้การละลาย ความหนืดและความใสเพิ่มขึ้น คุณสมบัติของการบิดระนาบแสงโพลาไรซ์ (birefringence) ในเม็ดแป้งจะหมดไปปัจจัยที่มีผลต่อการพองตัว และความสามารถในการละลายคือ ชนิดของแป้ง ความแข็งแรง และลักษณะของร่างแหภายในเม็ดแป้ง สิ่งเจือปนภายในเม็ดแป้งที่ไม่ใช่คาร์โบไฮเดรต ปริมาณน้ำในสารละลายแป้ง และการดัดแปรแป้งทางเคมี รูปแบบในการพองตัว และการละลายของเม็ดแป้งแต่ละชนิดจะมีรูปแบบที่แตกต่างกันไป

เมื่อให้ความร้อนแก่สารละลายน้ำแป้ง เม็ดแป้งจะเกิดการพองตัว และบางส่วนของแป้งจะละลายออกมา กำลังการพองตัวของแป้งจะแสดงเป็นปริมาตรหรือน้ำหนักของเม็ดแป้งที่เพิ่มขึ้นมากที่สุดเมื่อเม็ดแป้งพองตัวได้อย่างอิสระในน้ำ สำหรับความสามารถในการละลายจะแสดงเป็นน้ำหนักของแข็งทั้งหมดในสารละลายที่สามารถละลายได้

ชนิดของแป้ง

แป้งแต่ละชนิดมีรูปแบบในการพองตัวและการละลายแตกต่างกัน เมื่อพิจารณาตามความสามารถในการพองตัวและการละลายของแป้งแล้ว สามารถแบ่งแป้งออกเป็น 3 ชนิด คือ แป้งจากธัญพืช แป้งจากส่วนราก และแป้งจากส่วนหัว

แป้งจากธัญพืช มีรูปแบบการพองตัวและการละลาย 2 ขั้น แสดงถึงแรงของพันธะภายในเม็ดแป้งที่แตกต่างกัน 2 ชนิด คือ พันธะบริเวณผลึก และบริเวณอสัณฐานของเม็ดแป้ง แป้งจำพวกนี้มีจำนวนพันธะสูงสุด แต่มีกำลังการพองตัวและการละลายต่ำสุดเนื่องจากมีปริมาณอะมิโลสสูงซึ่งอะมิโลสจะทำให้โครงสร้างร่างแหในเม็ดแป้งแข็งแรงขึ้น ทำให้พองตัวได้ต่ำ

แป้งจากส่วนรากหรือส่วนกลางลำต้น (pith) เช่น แป้งมันสำปะหลัง มีการพองตัวเพียงขั้นเดียว กำลังการพองตัวและการละลายมีค่าสูงกว่าแป้งจากธัญพืช เนื่องจากมีจำนวนพันธะน้อยกว่า แป้งจากส่วนรากจะเกิดเจลาทิไนซ์ที่อุณหภูมิต่ำกว่าแป้งจากธัญพืช

แป้งจากส่วนหัว เช่น แป้งมันฝรั่ง จะมีการพองตัวสูงเนื่องจากพันธะภายในร่างแหอ่อนแอ นอกจากนี้หมู่ฟอสเฟตภายในแป้งมันฝรั่งยังทำให้เกิดการพองตัวสูงขึ้น เนื่องจากสามารถก่อให้เกิดแรงผลักดันทางไฟฟ้าได้ การพองตัวในแป้งจากส่วนหัวจะเกิดเพียงขั้นเดียว และเกิดขึ้นที่อุณหภูมิต่ำ รูปแบบนี้จะเป็นลักษณะของแป้งที่เป็นพอลิอิเล็กโทรไลต์(polyelectrolyte)

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์ปริมาณแป้ง

ในการซื้อขายหัวมันสำปะหลังสดจะต้องมีการวิเคราะห์ปริมาณแป้งในหัวมันก่อนเพื่อใช้เป็นเกณฑ์ในการกำหนดราคา วิธีการตรวจสอบปริมาณแป้ง (เชื้อแป้ง) นั้นสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 แนวทาง คือ การวิเคราะห์ปริมาณแป้งโดยตรง และโดยอ้อม การวิเคราะห์ปริมาณแป้งโดยตรง คือ การวิเคราะห์โดยแยกโปรตีน, ไขมัน และน้ำตาล ออกจากแป้งโดยใช้ตัวทำละลายที่เหมาะสมและมีการทำลายหรือย่อยแป้งให้น้อยที่สุด ได้แก่ หลักของการชั่งน้ำหนัก หลักการวัดค่าสี และหลักการโพลาริเมตริก สำหรับวิธีทางอ้อม คือ การวัดปริมาณอนุพันธ์ของแป้งที่มีอยู่ในวัตถุดิบ ได้แก่ วิธีการย่อยด้วยกรด และการย่อยด้วยเอนไซน์ [8] พืชหัวขนาดใหญ่ เช่นมันสำปะหลัง มีองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นน้ำ ส่วนของแข็งที่เหลือจะมีส่วนประกอบสามในสี่ส่วนเป็นแป้ง และอีกหนึ่งส่วนเป็นแซคคาไรด์ชนิดต่างๆ ที่ไม่ใช่แป้ง ทั้งที่ละลายน้ำได้ และละลายน้ำไม่ได้ ได้แก่ น้ำตาลชนิดต่างๆ เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส [9] การวัดปริมาณแป้งในพืชหัวด้วยวิธีทางตรงจึงสามารถใช้หลักความถ่วงจำเพาะในการวัดเชื้อแป้งได้ ซึ่งก็คือเครื่อง Riemann balance ที่ทำงานโดยใช้หลักการวัดค่าความถ่วงจำเพาะ โดยอาศัยสเกลไลมาน (Riemann scale) เป็นตัวสอบเทียบเปอร์เซ็นต์แป้งในหัวมัน การชั่งน้ำหนักของหัวมันสำปะหลังสด จะใช้หัวมันหนัก 5 กิโลกรัมในการวัด โดยทำการชั่งในอากาศ จากนั้นก็นำหัวมันเหล่านั้นมาชั่งในน้ำ ทำการเปรียบเทียบค่าน้ำหนักที่ชั่งในอากาศกับในน้ำ ถ้าน้ำหนักที่ชั่งในน้ำมีค่าน้อยแสดงว่าหัวมันมีปริมาณน้ำมาก และมีแป้งน้อย ในกรณีกลับกัน ถ้าน้ำหนักที่ชั่งในน้ำมีค่ามาก ก็แสดงว่าหัวมันมีปริมาณน้ำน้อยและมีแป้งมาก ค่าเชื้อแป้งในหัวมันที่ได้จะใช้เป็นตัวกำหนดราคาในการซื้อขาย ซึ่งเงื่อนไขในการวัดแบบนี้เหมาะสมที่จะนำมาใช้ในการสอบเทียบในกรณีที่หัวมันมีการเจริญเติบโตในสภาวะที่แตกต่างกัน [10] วิธีการดังกล่าวนี้เริ่มนำมาใช้ในอุตสาหกรรมแป้งมันฝรั่งในช่วงเริ่มต้น [11] เพื่อวัดค่าเปอร์เซ็นต์แป้งโดยประมาณ ซึ่งสามารถทำได้ง่าย และสามารถวัดได้อย่างรวดเร็ว จึงส่งผลให้ได้รับความนิยมนำมาใช้ในอุตสาหกรรมแป้งมันสำปะหลังในปัจจุบัน

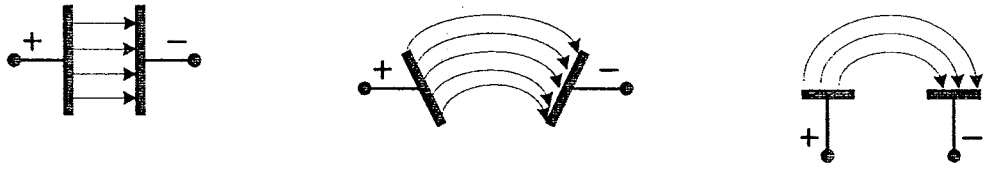
ในการวิเคราะห์แป้งนั้นสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 แนวทาง [12] คือแนวทางแรก เป็นการหาปริมาณแป้งในหัวมันสำปะหลัง แนวทางที่สอง เป็นการหาปริมาณแป้งซึ่งยังคงมีโปรตีน และสารชนิดอื่นเจือปนอยู่ ส่วนแถวทางที่สามเป็นการหาปริมาณแป้งที่ผ่านกระบวนการกำจัดสารเจือต่างๆ ออกไปแล้ว ซึ่งการวัดปริมาณแป้งในหัวมันสำปะหลังสดนั้นปัจจุบันวัดโดยใช้วิธี Reimann Scale สำหรับการวัดปริมาณแป้งซึ่งยังคงมีโปรตีน และสารชนิดอื่นเจือปนอยู่นั้นจะวัดโดยใช้วิธี Baume Scale และสำหรับการวัดปริมาณแป้งที่ผ่านกระบวนการกำจัดสารเจือต่างๆ ออกไปแล้วนั้น จะสามารถวัดได้ 2 แนวทาง คือ การวัดโดยตรง และการวัดโดยอ้อม

- วิธีวัดโดยตรง ประกอบด้วย gravimetric method, opitcal method และpolarimetric methods
- วิธีวัดโดยอ้อม ประกอบด้วย acid digestion และ enzyme digestion

สำหรับในการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยเน้นการศึกษาแนวทางในการวัดปริมาณแป้งในหัวมันสำปะหลังสดเป็นหลัก ซึ่งปัจจุบันมีวิธีการวัดเพียงแค่วิธีเดียวคือ วิธีการวัดแบบ Riemann balance ซึ่งการวัดปริมาณแป้งโดยใช้เครื่อง

Riemann balance นั้น ยังคงมีความแม่นยำและถูกต้องน้อย เพราะต้องใช้การประมาณเป็นหลัก ประกอบกับมีขั้นตอนในการทดสอบหลายขั้นตอนจึงต้องใช้เวลาในการทดสอบค่อนข้างยาวนานดังนั้นคณะผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะหาเทคนิคใหม่ๆ ในการทดสอบปริมาณแป้งในหัวมันสำปะหลัง ที่สามารถวิเคราะห์ผลได้อย่างถูกต้องและแม่นยำ โดยที่ไม่ต้องมีขั้นตอนที่ยุ่งยาก และใช้จำนวนตัวอย่างที่มาก จากการทบทวนงานวิจัยพบว่าการวัดค่าความนำไฟฟ้าสามารถที่จะนำไปประยุกต์ใช้ในการศึกษาคุณลักษณะของแป้งได้ อาทิเช่น การศึกษาคุณลักษณะการไหลและการถ่ายเทความร้อนของแป้งในขณะที่เกิด
เจลาไทไนเซชัน (gelatinization) [13] การศึกษาผลของ hydrostatic pressure ที่มีต่อเจลาไทไนเซชันของแป้ง [14] จากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่าค่าความนำไฟฟ้าของอาหารจะขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของไอออน (ionic content) [15] ความคล่องตัวของเจล [16] และลักษณะโครงสร้างของสาร [17, 18] เป็นต้น เมื่อทำการพิจารณาหัวมันสำปะหลังจะพบว่าปริมาณน้ำกับปริมาณแป้งจะมีความสัมพันธ์กัน กล่าวคือเมื่อมีน้ำมากจะมีแป้งน้อย และถ้ามีน้ำน้อยก็จะมีแป้งมาก นั้นก็หมายความว่าเมื่อมีปริมาณน้ำมากจำนวนไอออนก็มาก ซึ่งก็จะส่งผลให้ค่าความนำไฟฟ้ามากตามไปด้วย

จากการค้นคว้าและทบทวนงานวิจัยเกี่ยวกับการศึกษาหาปริมาณแป้งในหัวมันสำปะหลังสดด้วยวิธีการวัดค่าคุณสมบัติทางไฟฟ้าด้วยอิเล็กทรอนิกส์เซ็นเซอร์ พบว่ายังไม่เคยมีการศึกษามาก่อน นี้จึงเป็นสิ่งที่ผู้วิจัยสนใจและเป็นโอกาสที่จะได้ค้นคว้าหาองค์ความรู้ใหม่ ๆ เพื่อพัฒนาต่อยอดองค์ความรู้ที่มีอยู่ในปัจจุบันให้เพิ่มพูนขึ้นไปอย่างต่อเนื่อง สำหรับระบบอิเล็กทรอนิกส์เซ็นเซอร์ที่นิยมนำไปประยุกต์ใช้ในการวัดและตรวจสอบคุณภาพผลผลิตทางการเกษตร ประมง และอื่นๆ อีกมากมายนั้น ส่วนใหญ่จะเป็นระบบเซ็นเซอร์ที่อาศัยหลักการการตอบสนองต่อสนามไฟฟ้า (Electric Field Sensing) ซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 แบบ คือ แบบที่มีอิเล็กโทรดสองขั้วขนานกัน แบบที่มีอิเล็กโทรดสองขั้วไม่ขนานกัน และแบบที่มีอิเล็กโทรดสองขั้วแต่มีหลายชั้ น ซึ่งแสดงได้ในภาพที่ 2.22



อิเล็กโทรดสองขั้วขนานกัน อิเล็กโทรดสองขั้วไม่ขนานกัน อิเล็กโทรดสองขั้วแต่มีหลายชั้น

ภาพที่ 2.22 ระบบเซ็นเซอร์ที่อาศัยหลักการการตอบสนองต่อสนามไฟฟ้า

การวิจัยในครั้งนี้ผู้วิจัยจะทำการออกแบบและพัฒนาอิเล็กทรอนิกส์เซ็นเซอร์สำหรับตรวจวัดปริมาณแป้งในหัวมันสำปะหลังสดโดยอาศัยหลักการของการตอบสนองต่อสนามไฟฟ้าของอิเล็กโทรดดังแสดงในรูปที่ 2.22 เป็นพื้นฐานเบื้องต้นในการพัฒนา โดยจะทำการวัดคุณสมบัติทางไฟฟ้าของหัวมันสำปะหลัง อาทิเช่น ค่าความนำไฟฟ้าและความเป็นฉนวนเป็นแนวทางในเบื้องต้น

2.6 หลักการพื้นฐานของตัวเก็บประจุ

ตัวเก็บประจุ (capacitor) เป็นอุปกรณ์ชนิดหนึ่งที่สามารถเก็บสะสมประจุและคายประจุได้ถูกนำมาใช้งานในวงจรอิเล็กทรอนิกส์อย่างกว้างขวางซึ่งมีสมบัติเหมือนเป็นแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าที่ต่อภายในวงจรเพื่อใช้งานในช่วงที่วงจรมีระดับแรงดันไฟฟ้าไม่เพียงพอหรือใช้กรองกระแสไฟฟ้าตัวเก็บประจุประกอบด้วยขั้วไฟฟ้า 2

ขั้วแต่ละขั้วจะเก็บประจุชนิดตรงข้ามกันโดยมีปริมาณเท่ากันและมีวัสดุที่เป็นฉนวนหรือไดอิเล็กทริกเป็นตัวแยกคั่นกลางดังนั้นประจุสุทธิในตัวเก็บประจุจึงมีค่าเท่ากับศูนย์เสมอ [19]

2.6.1 วัสดุฉนวนหรือไดอิเล็กทริก

วัสดุไดอิเล็กทริก คือ วัสดุฉนวนซึ่งมีความต้านทานสูงมีโมเลกุลเป็นไดโพลทางไฟฟ้า (Electric dipole) เมื่ออยู่ในสนามไฟฟ้าไดโพลจะหมุนตัวตามแรงกระทำของสนามไฟฟ้าเกิดสนามไฟฟ้าของไดโพลซึ่งมีทิศทางตรงข้ามกับสนามไฟฟ้าจากภายนอกส่งผลให้สนามไฟฟ้ารวมมีค่าลดลงเมื่อโมเลกุลจัดเรียงตัวกันเป็นระเบียบในแนวเดียวกับสนามไฟฟ้าจะเกิดโพลาไรเซชันขึ้น สารไดอิเล็กทริกแบ่งได้เป็น 2 ชนิดคือสารไดอิเล็กทริกชนิดมีขั้วและชนิดไม่มีขั้ว

- สารไดอิเล็กทริกชนิดมีขั้วคือสารไดอิเล็กทริกซึ่งมีไดโพลโมเมนต์ทางไฟฟ้าถาวรตามธรรมชาติโดยไม่ต้องอาศัยสนามไฟฟ้าจากภายนอกแต่มีทิศทางที่ไม่เป็นระเบียบการให้สนามไฟฟ้าจากภายนอกจะทำให้ไดโพลโมเมนต์จัดเรียงตัวใหม่ในทิศทางเดียวกับสนามไฟฟ้าเช่น PZT และ BZT ซึ่งเป็นวัสดุในกลุ่มเฟอร์โรอิเล็กทริก
- สารไดอิเล็กทริกชนิดไม่มีขั้วคือสารไดอิเล็กทริกที่ไม่ปรากฏไดโพลโมเมนต์โดยธรรมชาติแต่จะถูกเหนี่ยวนำให้เกิดไดโพลโมเมนต์ทางไฟฟ้าได้เช่นก๊าซมีเทน

การประยุกต์ใช้งานจะพิจารณาสมบัติสารไดอิเล็กทริกดังนี้คือมีความต้านทานสูงอุณหภูมิคูรี่ต่ำค่าคงที่ไดอิเล็กทริก (Dielectric constant) สูงค่าการสูญเสียทางไดอิเล็กทริก (Dissipation factor) ต่ำค่าความแข็งแรงไดอิเล็กทริก (Breakdown Voltage) สูงง่ายต่อการกลับขั้วเกรนเล็กและสม่ำเสมอช่วงอุณหภูมิการใช้งานกว้างต้นทุนต่ำ [20]

2.6.2 การเกิดโพลาไรเซชัน

การเกิดโพลาไรเซชันคือการเปลี่ยนแปลงการกระจายตัวของประจุอาจเกิดจากการให้สนามไฟฟ้าจากภายนอกโดยประจุบวกและประจุลบจะแสดงลักษณะเป็นไดโพลซึ่งสามารถเกิดได้ทั้งในอะตอมและกลุ่มของอะตอมโดยไดโพลคือผลคูณของประจุไฟฟ้าและระยะทางระหว่างคู่ประจุ (ประจุบวกและประจุลบ) [21 - TH3]

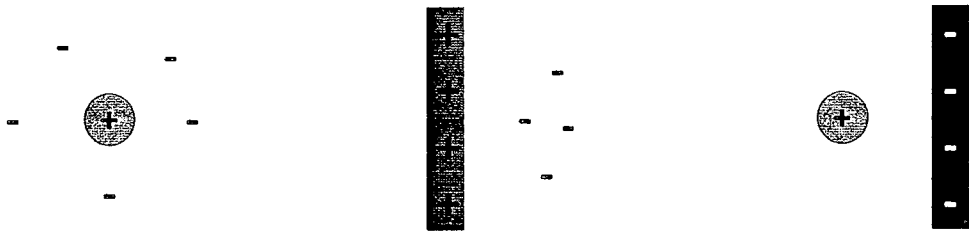
$$P = Zqd \tag{2.1}$$

เมื่อ Z คือค่าจำนวนประจุไฟฟ้าต่อปริมาตร (อิเล็กตรอน/ลูกบาศก์เมตร)
q คือค่าประจุไฟฟ้า (คูลอมบ์/อิเล็กตรอน)
d คือระยะห่างประจุบวกและลบ (เมตร)
P คือค่าโพลาไรเซชัน (คูลอมป์/ตารางเมตร)

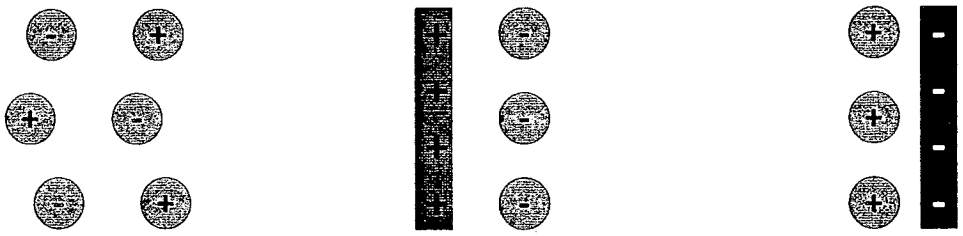
การเกิดโพลาไรเซชันอาจแบ่งได้เป็นอิเล็กทรอนิกส์โพลาไรเซชัน (Electronic polarization) ไอออนิก-โพลาไรเซชัน (Ionic polarization) โมเลกุลาร์โพลาไรเซชัน (Molecular polarization) และประจุอิสระ (Space charge) แสดงดังภาพที่ 2.23 อิเล็กทรอนิกส์โพลาไรเซชันเกิดจากการเปลี่ยนแปลงของการกระจายตัวของประจุระหว่างกลุ่มอิเล็กตรอนกับนิวเคลียสไอออนิกโพลาไรเซชันเกิดจากการเปลี่ยนรูปของพันธะไอออนทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงการกระจายตัวของประจุในสารซึ่งไอออนบวกและลบอาจเกิดการเคลื่อนที่เข้าหากันหรือเคลื่อนที่ออกจากกันทำให้เกิดไอออนิกโพลาไรเซชันขึ้นโมเลกุลาร์โพลาไรเซชันเกิดจากการจัดเรียงตัวใหม่ของไดโพลเพื่อให้สอดคล้องกับทิศทางของสนามไฟฟ้าภายนอกที่ป้อนให้กับสารแต่เมื่อเอาสนามไฟฟ้าภายนอกออกไดโพลอาจจะยังคงเรียงตัวในทิศทางเดิมซึ่งเป็นสาเหตุของการเกิดโพลาไรเซชันถาวร

โดยจะเกิดขึ้นกับสารบางชนิดที่มีไดโพลในตัวเองและมีโมเลกุลไม่สมมาตรโพลาไรเซชันในประจุอิสระเกิดจากการเคลื่อนตัวของประจุบนผิวรอยต่อระหว่างชิ้นงานเมื่อมีการป้อนสนามไฟฟ้าภายนอก

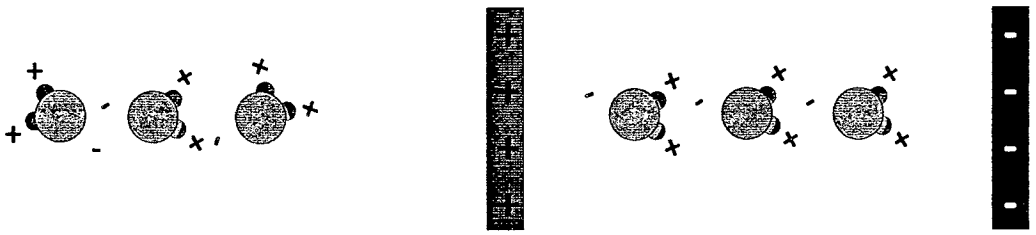
สภาวะปกติ **สภาวะที่ได้รับการกระตุ้นจากสนามภายนอก**



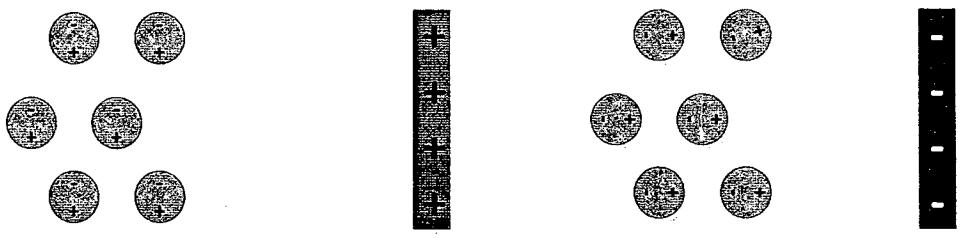
อิเล็กทรอนิกส์โพลาไรเซชัน



ไอออนิกโพลาไรเซชัน



โมเลกุลาร์โพลาไรเซชัน



โพลาไรเซชันในประจุอิสระ

ภาพที่ 2.23 การเกิดโพลาไรเซชันในรูปแบบต่างๆ

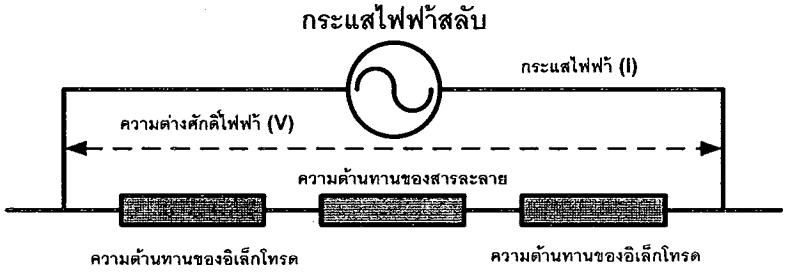
2.7 การวัดปริมาณทางไฟฟ้า

2.7.1 เครื่องมือ

2.7.1.1 อิเล็กโทรด

อิเล็กโทรดแบบ 2 ขั้ว

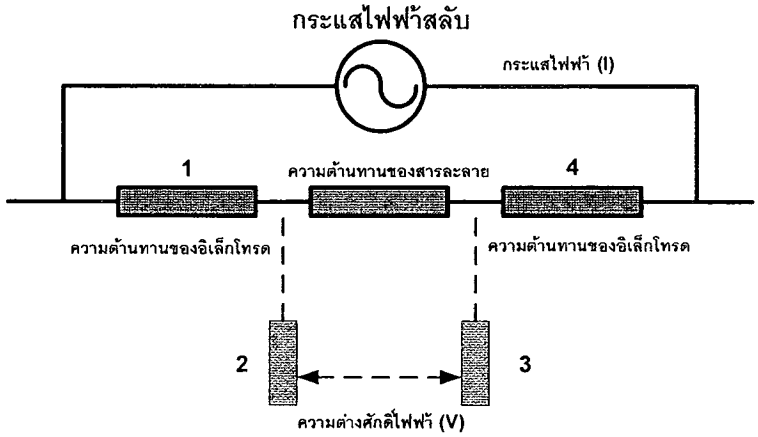
อิเล็กโทรดแบบ 2 ขั้วเป็นรูปแบบดังเดิมที่นิยมใช้กันมานาน ทำงานโดยป้อนไฟฟ้ากระแสสลับให้กับขั้วอิเล็กโทรดทั้ง 2 แล้ววัดความต่างศักย์ที่เกิดขึ้นระหว่างขั้ว ซึ่งวัตถุประสงค์คือต้องการวัดความต้านทานไฟฟ้าของสารละลาย (R_{sol}) เท่านั้น แต่การเกิด cyanohydrins ทำให้ต้องคิดผลความต้านทานของอิเล็กโทรด (R_{el}) ด้วย พร้อมกันนี้สนามไฟฟ้าที่แพร่กระจายระหว่างขั้วอิเล็กโทรดทั้งสอง เกิดการกระจายออกไปนอกเหนือพื้นที่ของอิเล็กโทรด ทำให้ผลการวัดเกิดความคลาดเคลื่อน ดังนั้นในระหว่างการวัดต้องคิดผลรวมระหว่างความต้านทานของสารละลายและความต้านทานของอิเล็กโทรดด้วย ดังแสดงในภาพที่ 2.24



ภาพที่ 2.24 ไดอะแกรมอย่างง่ายของโพรบแบบ 2 ขั้ว

อิเล็กโทรดแบบ 4 ขั้ว

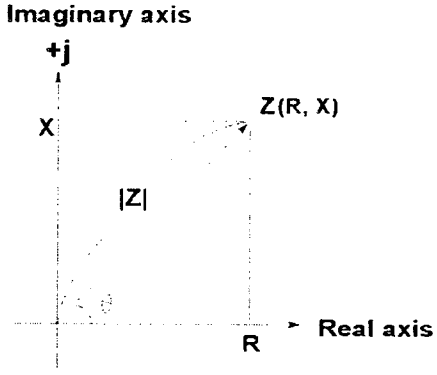
สำหรับอิเล็กโทรดอีกแบบหนึ่งที่น่าสนใจคือ อิเล็กโทรดแบบ 4 ขั้ว ที่ป้อนไฟฟ้ากระแสสลับให้กับวงแหวนรอบนอก (1 และ 4) และทำการวัดความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างวงแหวนด้านใน เมื่อทำการวัดความต่างศักย์ระหว่างวงแหวนด้านในจะไม่ได้รับผลกระทบจากการโพลาไร (Polarised) (R_2=R_3=0) ทำให้สภาพความนำไฟฟ้าที่วัดได้เป็นอัตราส่วนโดยตรงกับกระแสไฟฟ้าที่ป้อนให้กับวงจร แสดงได้ดังภาพที่ 2.25



ภาพที่ 2.25 ไดอะแกรมอย่างง่ายของโพรบแบบ 4 ขั้ว

2.7.1.2 แอลซีอาร์มิเตอร์ (LCR meter) [22]

อิมพีแดนซ์เป็นตัวแปรที่สำคัญที่ใช้ในการอธิบายคุณลักษณะของวงจรอิเล็กทรอนิกส์อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ หรือวัสดุที่ใช้ในการทำอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ อิมพีแดนซ์ (Z) ถูกนิยามโดยทั่วไปว่าเป็นตัวต่อต้านการไหลของไฟฟ้ากระแสสลับ (AC) ที่มีความถี่ อิมพีแดนซ์เป็นปริมาณเชิงซ้อน สามารถอธิบายโดยใช้กราฟเวกเตอร์ของความต้านทาน ซึ่งประกอบส่วนจริง (R) และส่วนจินตภาพ (X) ดังแสดงในภาพที่ 2.26



$$Z = R + jX = |Z| \angle \theta$$

$$R = |Z| \cos\theta$$

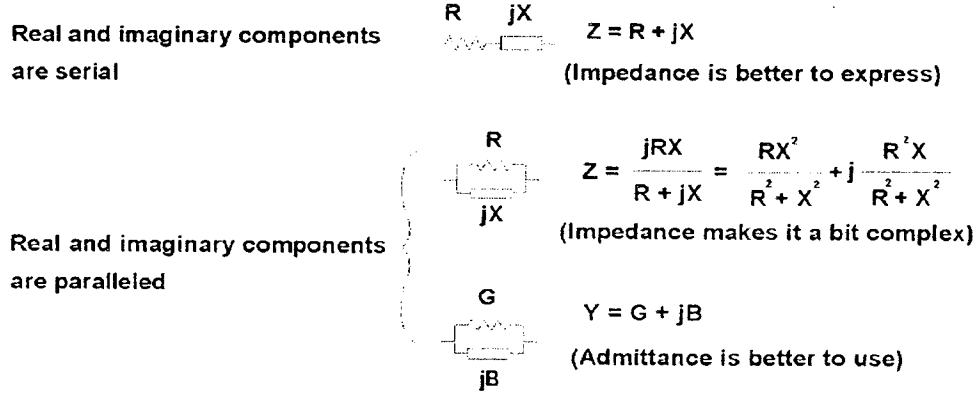
$$X = |Z| \sin\theta$$

$$|Z| = \sqrt{R^2 + X^2}$$

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{X}{R}\right)$$

ภาพที่ 2.26 อิมพีแดนซ์ (Z) ที่ประกอบด้วยส่วนจริง (R) และส่วนจินตภาพ (X)

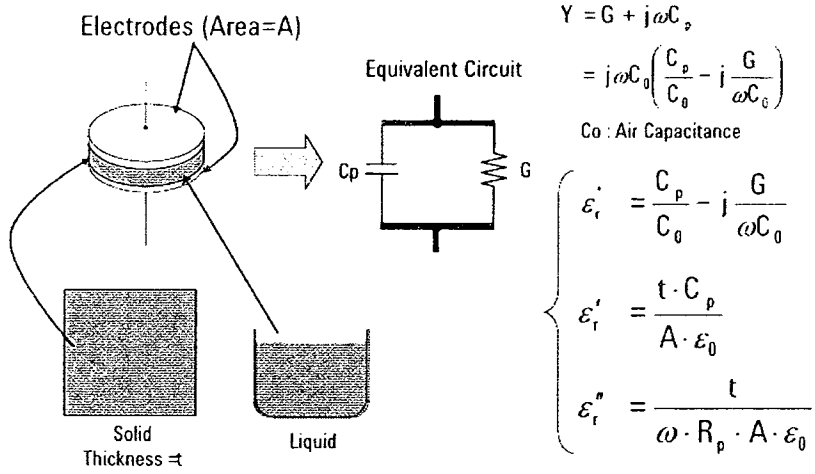
อิมพีแดนซ์สามารถแสดงโดยใช้รูปพิกัดฉาก R + jX หรือในรูปแบบเชิงขั้ว ซึ่งประกอบด้วยขนาดและเฟส: $|Z|\angle\theta$ ภาพที่ 2.26 ยังแสดงให้เห็นความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ระหว่าง R, X, | Z | และ θ ในบางกรณีโดยใช้กฎของโอห์ม ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ได้ดังนี้ $1/Z = 1/(R + jX) = Y = G + jB$ โดย Y คือ admittance, G คือ conductance และ B คือ susceptance หน่วยของความต้านทาน คือ โอห์ม (Ω) และความนำ คือ ซีเมนต์ (S) ความสัมพันธ์ระหว่างตัวประกอบส่วนจริง และส่วนจินตภาพที่เชื่อมต่อแบบอนุกรมและขนานแสดงได้ดังภาพที่ 2.27



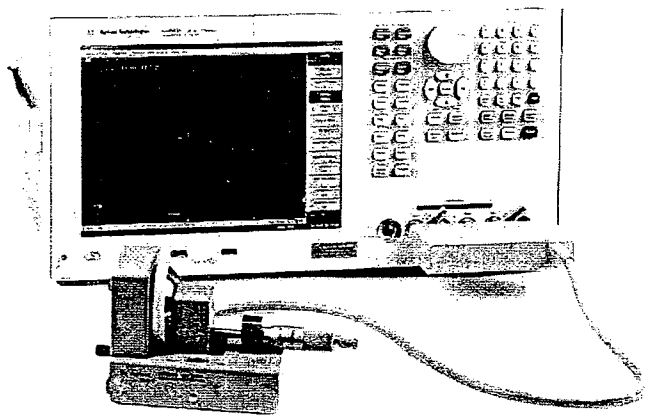
ภาพที่ 2.27 การเชื่อมต่อแบบอนุกรมและขนานของตัวประกอบส่วนจริง (R) และส่วนจินตภาพ (X)

วงจรสมมูล สมการ และวิธีการวัดโดยใช้อิเล็กโทรดแบบแผ่นขนาน แสดงได้ดังภาพที่ 2.28 [23] ซึ่งโดยปกติทั่วไปในการวัดด้วยวิธีแผ่นขนานจะประกอบด้วย LCR มิเตอร์ และโพรบคิท เช่น 16451B และ 16453A (ไดอิเล็กทริกโพรบ) ดังแสดงในภาพที่ 2.29 แอลซีอาร์มิเตอร์ จัดเป็นเครื่องมือวัดทางอิเล็กทรอนิกส์ชนิดหนึ่ง ซึ่งทำหน้าที่วัดหาค่าของอุปกรณ์จำพวกตัวต้านทาน ตัวเหนี่ยวนำ และตัวเก็บประจุ นอกจากนั้นยังสามารถใช้ในการตรวจสอบคุณสมบัติของวงจรที่อยู่ในรูปของอิมพีแดนซ์ (impedance) ทั้ง

แบบอนุกรม และแบบขนาน สามารถตรวจสอบปัจจัยการสูญเสีย (Dissipation factor หรือ D) ของค่าความจุ และสามารถตรวจสอบคุณภาพ (Quality หรือ Q) ของค่าความเหนี่ยวนำได้



ภาพที่ 2.28 วิธีการวัดโดยใช้อิเล็กโทรดแบบแผ่นขนาน



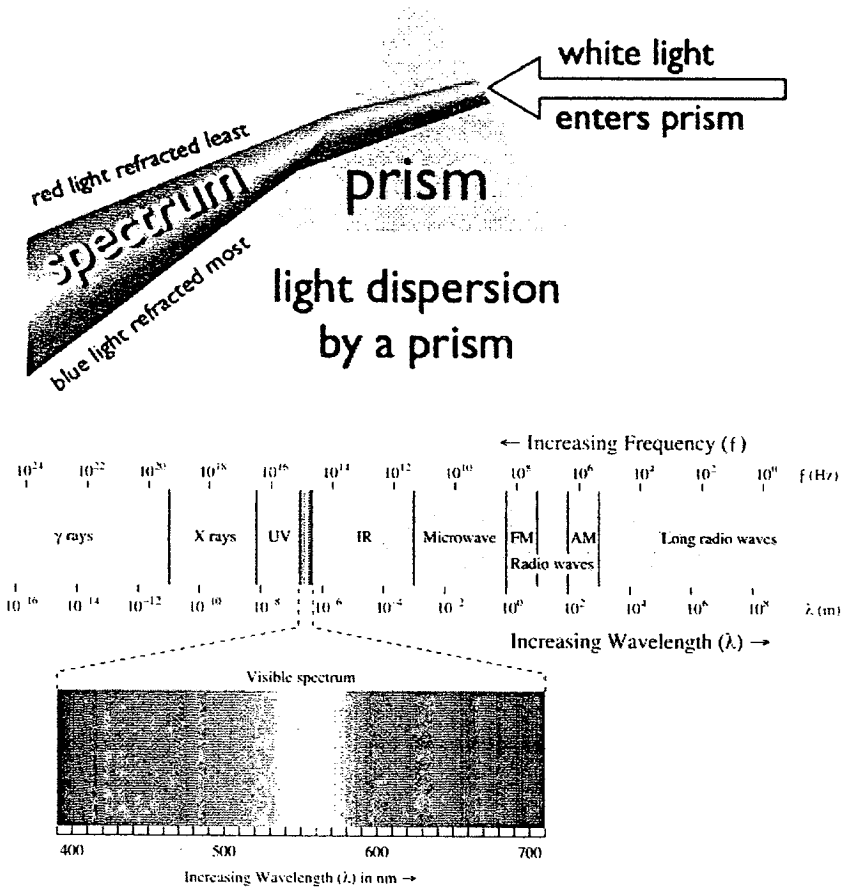
ภาพที่ 2.29 ไดอิเล็กทริกโพรบ (16451B)

2.7.1.3 สเปกโตรสโกปีอินฟราเรดย่านใกล้ (NIR spectroscopy) (TH4)

การทำงานของเครื่องสเปกโตรมิเตอร์ NIR อาศัยหลักการดูดกลืนพลังงานแสงในแต่ละช่วงความยาวคลื่นของสารแต่ละชนิดซึ่งมีไม่เท่ากัน ดังนั้นเครื่องสเปกโตรมิเตอร์ NIR ส่วนใหญ่จำเป็นจะต้องมีความสามารถในการแยกลำแสงออกมาทีละความยาวคลื่น เพื่อที่จะใช้แสงในแต่ละความยาวคลื่นนั้นส่องไปยังตัวอย่างและวัดค่าความเข้มของแสงที่สะท้อนออกมาและนำไปเปรียบเทียบกับความเข้มของแสงที่ส่องเข้าไป (reflectance type) หรือวัดความเข้มของแสงที่ทะลุผ่านตัวอย่างเปรียบเทียบกับความเข้มของแสงที่ส่องเข้าไป (transmittance type) โดยจะกระทำแบบนี้ไปทีละความยาวคลื่น และนำค่าความเข้มแสงที่ได้ในแต่ละความยาวคลื่นมาเขียนกราฟ โดยให้แกนนอนเป็นค่าความยาวคลื่น แกนตั้งเป็นค่าการดูดกลืนแสง ทำให้ได้กราฟการ

ดูดกลืนแสงของตัวอย่างนั้นๆ และข้อมูลเหล่านั้นก็จะถูกนำไปวิเคราะห์ต่อไป การแยกลำแสงออกมาทีละความยาวคลื่นนี้ เรียกว่าโมโนโครเมเตอร์ (monochromator)

วิธีที่ง่ายที่สุดเพื่อที่จะแยกลำแสงออกมาทีละความยาวคลื่นคือการใช้แท่งปริซึมแยกลำแสงสีขาวออกเป็นแถบสีหรือความยาวคลื่นต่างๆ โดยความยาวคลื่นช่วงอินฟราเรดย่านใกล้ (near infrared) จะอยู่ในช่วงความยาวคลื่น 700 – 2500 nm ดังแสดงในภาพที่ 2.30



ภาพที่ 2.30 การแยกลำแสงออกเป็นแถบโดยใช้แท่งปริซึม

2.8 การวัดปริมาณแป้งโดยวิธี Riemann scale balance

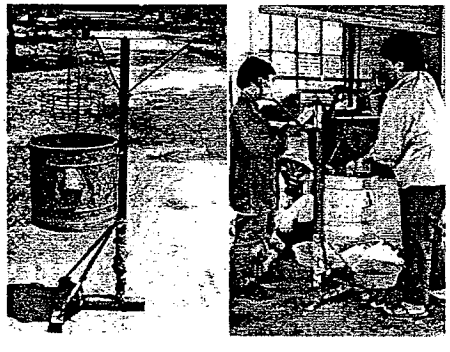
วิธีการตรวจสอบปริมาณแป้ง (เชื้อแป้ง) นั้นสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 แนวทาง คือ การวิเคราะห์ปริมาณแป้งโดยตรง และโดยอ้อม การวิเคราะห์ปริมาณแป้งโดยตรง คือ การวิเคราะห์โดยแยกโปรตีน, ไขมัน และน้ำตาลออกจากแป้งโดยใช้ตัวทำละลายที่เหมาะสมและมีการทำลายหรือย่อยแป้งให้น้อยที่สุด ได้แก่ หลักของการชั่งน้ำหนัก หลักการวัดค่าสี และหลักการโพลาริเมตริก สำหรับวิธีทางอ้อม คือ การวัดปริมาณอนุพันธ์ของแป้งที่มีอยู่ในวัตถุดิบ ได้แก่ วิธีการย่อยด้วยกรด และการย่อยด้วยเอนไซน์ การวัดปริมาณแป้งในพืชหัวด้วยวิธีทางตรงสามารถใช้หลักความถ่วงจำเพาะในการวัดเชื้อแป้งได้ ซึ่งก็คือเครื่อง Riemann balance ที่ทำงานโดยใช้หลักการวัดค่าความ

ถ่วงจำเพาะ โดยอาศัยสเกลไลมาน (Riemann scale) เป็นตัวสอบเทียบเปอร์เซ็นต์แป้งในหัวมัน การชั่งน้ำหนักของหัวมันสำปะหลังสด จะใช้หัวมันหนัก 5 กิโลกรัมในการวัด โดยทำการชั่งในอากาศ จากนั้นก็นำหัวมันเหล่านั้นมาชั่งในน้ำ ทำการเปรียบเทียบค่าน้ำหนักที่ชั่งในอากาศกับในน้ำ ถ้าน้ำหนักที่ชั่งในน้ำมีค่าน้อยแสดงว่าหัวมันมีปริมาณน้ำมาก และมีแป้งน้อย ในกรณีกลับกัน ถ้าน้ำหนักที่ชั่งในน้ำมีค่ามาก ก็แสดงว่าหัวมันมีปริมาณน้ำน้อยและมีแป้งมาก ค่าเชื้อแป้งในหัวมันที่ได้จะใช้เป็นตัวกำหนดราคาในการซื้อขาย ซึ่งเงื่อนไขในการวัดแบบนี้เหมาะสมที่จะนำมาใช้ในการสอบเทียบในกรณีที่หัวมันมีการเจริญเติบโตในสภาวะที่แตกต่างกัน ในการวิเคราะห์แป้งนั้นสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 แนวทาง คือแนวทางแรก เป็นการหาปริมาณแป้งในหัวมันสำปะหลัง แนวทางที่สอง เป็นการหาปริมาณแป้งซึ่งยังคงมีโปรตีน และสารชนิดอื่นเจือปนอยู่ ส่วนแถวทางที่สามเป็นการหาปริมาณแป้งที่ผ่านกระบวนการกำจัดสารเจือต่างๆ ออกไปแล้ว ซึ่งการวัดปริมาณแป้งในหัวมันสำปะหลังสดนั้นปัจจุบันวัดโดยใช้วิธี Reimann Scale สำหรับการวัดปริมาณแป้งซึ่งยังคงมีโปรตีน และสารชนิดอื่นเจือปนอยู่นั้นจะวัดโดยใช้วิธี Baume Scale และสำหรับการวัดปริมาณแป้งที่ผ่านกระบวนการกำจัดสารเจือต่างๆ ออกไปแล้วนั้น จะสามารถวัดได้ 2 แนวทางคือ การวัดโดยตรงและการวัดโดยอ้อม

วิธีวัดโดยตรง ประกอบด้วย gravimetric method, opitcal method และ polarimetric methods

วิธีวัดโดยอ้อม ประกอบด้วย acid digestion และ enzyme digestion

สำหรับในการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยเน้นการศึกษาแนวทางในการวัดปริมาณแป้งในหัวมันสำปะหลังสดเป็นหลัก ซึ่งปัจจุบันมีวิธีการวัดเพียงแค่วิธีเดียวคือ วิธีการวัดแบบ Riemann balance การวัดด้วยวิธี Riemann scale balance แสดงได้ดังภาพที่ 2.31



ภาพที่ 2.31 การวัดแบบ Riemann scale balance

ขั้นตอนในการวัดประกอบด้วย

สุ่มหัวมันมา 5 กิโลกรัม

นำหัวมันชั่งน้ำหนักในน้ำ

นำค่าที่ได้ไปคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ของแป้งในหัวมัน