บทที่ 2
วารสารปริทัศน์

2.1 แตงหอม

แตงหอมเป็นผลไม้ในตระกูลคิวเคอร์บิตาซิอี (Cucurbitaceae) สกุล (genus) *Cucumis* (muskmelon) มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า คิวคิวมิส เมโล *(Cucumis melo* L.) ชื่อเรียกในภาษาไทยหลายชื่อ ได้แก่ แตงหอม แคนตาลูป แตงเทศ แตงไทยฝรั่ง และมีชื่อเรียกเป็นภาษาต่างๆ เช่น ภาษาอังกฤษ เรียกว่า melon, rock melon, sweet melon, cantaloupe, musk melon, honeydew melon (นิรมิต กิจรุ่งเรือง และคณะ, 2528) ภาษาฝรั่งเศสเรียกว่า melon ภาษาเยอรมันเรียกว่า melone ภาษาจีน เรียกว่า heung kwa หรือ tim kwa ภาษาสเปนเรียกว่า melón เป็นต้น (Tindall, 1983) แหล่งกำเนิดแตงหอมไม่ทราบแน่ชัด แต่เชื่อกันว่ามีถิ่นกำเนิดในอินเดีย ต่อมาถูกนำไปปลูกในยุโรป อเมริกา และประเทศอื่นๆ สำหรับในประเทศไทยได้มีการปลูกกันมานาน ส่วนมากจะปลูกทางภาคเหนือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และบางท้องถิ่นในภาคตะวันออก ภาคกลาง (ธงชัย เนมขุนทด, 2531; คำนึง คำอุดม, 2536) พื้นที่ปลูกที่สำคัญ ได้แก่ เชียงใหม่ เชียงราย เพชรบุรี ปราจีนบุรี และสระแก้ว โดยเฉพาะจังหวัดสระแก้ว มีพื้นที่ปลูกมากที่อำเภออรัญประเทศ แตงหอมมีรูปร่างหลากหลายทั้ง รูปไข่ รูปกลมรี รูปทรงยาว มีขนาดตั้งแต่ 3-4 นิ้ว ถึง 3 ฟุต (snake cucumis) เปลือกมีสีขาว เขียวอม-เทา เหลืองทอง ส้ม หรือดำ มีผิวเรียบ หรือเป็นตาข่าย เนื้อภายในมีสีขาว เขียว ชมพูอมเหลืองอ่อน หรือสีส้ม จึงมีการแบ่งประเภทแตงหอมตามลักษณะภายนอกดังกล่าว เช่น

แบ่งตามลักษณะการมีร่างแหหรือขึ้นลายที่ผิวของผล ซึ่งแบ่งได้ 2 ชนิด

1. ชนิดที่มีร่างแหที่ผิวของผล
2. ชนิดที่มีผิวเรียบ

หรืออาจแบ่งตามสีเนื้อได้ 2 ประเภท

1. เนื้อสีเขียวหรือเขียวขาว ผลมีทั้งที่มีผิวเรียบและมีตาข่าย ผลสุกเปลือกมีสีเขียว ครีม เหลือง และ เหลืองทอง เนื้อมีทั้งกรอบและนุ่ม มีรสหวานและมีกลิ่นหอม ได้แก่ พันธุ์เจดดิว, ฮันนี่ดิว, ฮันนี่เวิลด์ และวีนัสไฮบริด เป็นต้น ซึ่งเป็นพันธุ์ลูกผสมต่างประเทศ
2. เนื้อมีสีส้ม ผลมีทั้งผิวเรียบและผิวลายเป็นตาข่าย ผลสุกเปลือกมีสีครีมและสีเหลือง เนื้อมีทั้งเนื้อกรอบและเนื้อนุ่ม มีรสหวานและมีกลิ่นหอมค่อนข้างแรง ได้แก่ พันธุ์ซันเลดี้, ทอปมาร์ค, นิวเซนจูรี่ เป็นต้น

นอกจากนี้อาจจำแนกตามสายพันธุ์เป็น 4 พันธุ์ ได้แก่

1. แคนตาลูป cantaloupe (C. melo var. cantaloupensis) มีชื่อเรียกแตกต่างกันไปในแต่ละที่ เช่น ภาษาอังกฤษเรียกว่า cantaloupe ภาษาจีนเรียกว่า ying pi tian gua ภาษาฝรั่งเศสเรียกว่า cantaloup, melon cantaloup ภาษาเยอรมันเรียกว่า kantaloupe-melone หรือ rippen-melone ภาษาสเปนเรียกว่า melón cantaloupe ภาษาญี่ปุ่นเรียกว่า kantarohpu

ปลูกกันมากแถบยุโรป ลักษณะผลกลมหรือรี ขนาดค่อนข้างใหญ่ เปลือกผลหนา ขรุขระ สีน้ำตาลฟางข้าว มีลายตาข่ายห่าง มีร่องตามทางยาวของผลที่เด่นชัด เนื้อแตงส่วนใหญ่เป็นสีส้ม มีกลิ่นหอม ตัวอย่างแตงพันธุ์นี้ เช่น iroquois และ hearts of gold

Iroquois

Hearts of gold

รูปที่ 2.1 ตัวอย่างแตงหอมในกลุ่ม var. cantaloupensis

ที่มา: Ehler (1990)

2. มัชคเมลอน muskmelon (C. melo var. reticulatus) มีชื่อเรียกแตกต่างกันไปในแต่ละที่ เช่น ภาษาอังกฤษเรียกว่า muskmelon, persian melon, netted melon ภาษาจีนเรียกว่า wang wen tian gua ภาษาฝรั่งเศสเรียกว่า melon brodé, melon réticulé ภาษาเยอรมันเรียกว่า zuckermelone, Netz-melone ภาษาสเปนเรียกว่า melón bordado ภาษาญี่ปุ่นเรียกว่า netto melon, makuwauri

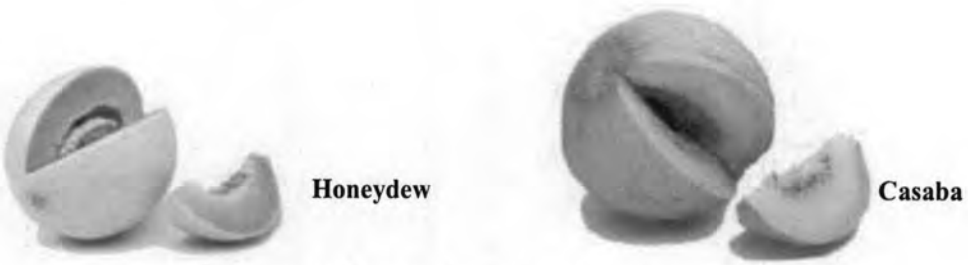
ปลูกกันมากในสหรัฐอเมริกาและอเมริกากลาง และเป็นต้นกำเนิดที่สำคัญของแตงหอมพันธุ์ลูกผสม F_1 ในญี่ปุ่น ลักษณะผลกลมหรือกลมรี ขนาดเล็กกกว่าแคนตาลูป เปลือกผลหนา สีฟางข้าวและมีลายตาข่ายถี่มากจนดูเรียบเป็นผืนเดียวกันทั้งผล เนื้อแตงส่วนใหญ่เป็นสีส้มสด รสหวาน กลิ่นหอม ในอเมริกาจะเรียก netted melon ที่มีเนื้อสีส้ม ว่า cantaloupe สำหรับชื่อสามัญมีชื่อเรียก เช่น honeydew, persian, crenshaw, casaba, spanish, santa claus, hami และ charentais ตัวอย่างแตงพันธุ์นี้ เช่น Top Mark, PMR 45, Planters Jumbo, Edisto 47 เป็นต้น

รูปที่ 2.2 ตัวอย่างแตงหอมในกลุ่ม var. reticulates

ที่มา: Ehler (1990)

3. ฮันนี่ดิว honeydew (C. melo var. inodorus) มีชื่อเรียกแตกต่างกันไปในแต่ละที่ เช่น ภาษาอังกฤษเรียกว่า winter, honeydew, casaba melons ภาษาจีนเรียกว่า song tian gua ภาษาฝรั่งเศสเรียกว่า melon, melon d'hiver ภาษาเยอรมันเรียกว่า melone ภาษาสเปนเรียกว่า melón ภาษาญี่ปุ่นเรียกว่า wintaa melon

ปลูกกันทั้งในสหรัฐอเมริกาและในยุโรป ลักษณะผลกลมหรือกลมรี ขนาดเท่าๆ กับ muskmelon หรือ ใหญ่กว่าเล็กน้อย เปลือกผลหนาแข็ง สีเขียวหรือขาว เรียบไม่มีลายตาข่ายและไม่มีร่องตามความยาวผล เนื้อแตงส่วนใหญ่สีเขียวจางหรือสีขาวงาช้าง รสหวาน เมื่อสุกมีกลิ่นหอม ตัวอย่างของแตงพันธุ์นี้ เช่น honeydew และ Tam Dew (Decoteau, 2000)



รูปที่ 2.3 ตัวอย่างแตงหอมในกลุ่ม var. inodorus

ที่มา: Ehler (1990)

4. แตงไทย snake melon (C. melo var. acidulous) ปลูกกันมากในเอเชีย ส่วนใหญ่ผลมีลักษณะยาว ขนาดใหญ่น้ำหนักมากกว่า 1 กิโลกรัมขึ้นไป อาจถึง 2 กิโลกรัม เปลือกผลบาง สีขาว เหลือง เขียว เขียวคล้ำ ส้ม หรือลายสลับของสีเหล่านี้ ไม่มีลายตาข่ายและไม่มีร่องตามความยาวผล เนื้อแตงสีเขียวจาง สีขาว สีส้มจาง และ สีเขียว รสออกเปรี้ยว ไม่หวาน กลิ่นหอม

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

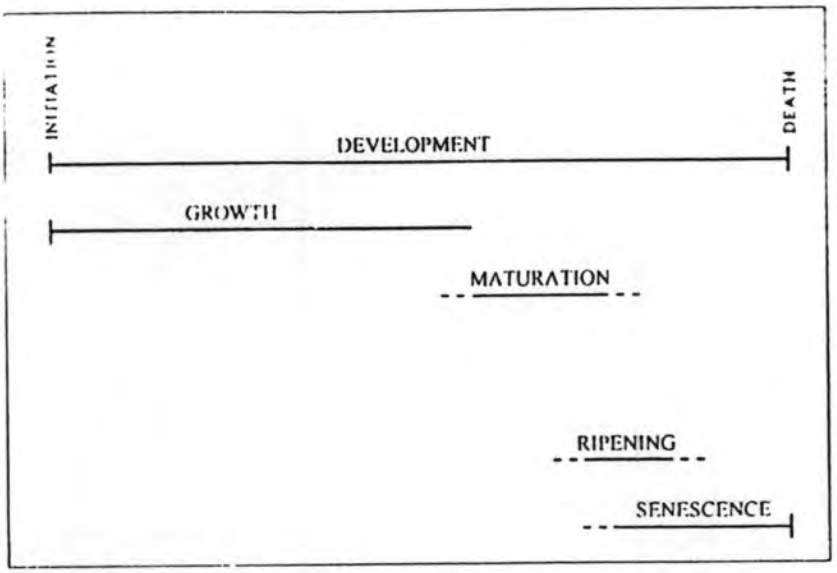
รูปที่ 2.4 ตัวอย่างแตงหอมในกลุ่ม var. acidulous
ที่มา: กรมวิชาการเกษตร (2548)

ลักษณะดอก แตงในกลุ่ม muskmelon และ honeydew ออกดอกแบบ andromonoecious คือ มีดอกกระเทย (เกสรตัวผู้และเกสรตัวเมียอยู่ในดอกเดียวกัน) และดอกตัวผู้อยู่บนต้นเดียวกัน โดยดอกกระเทยส่วนใหญ่จะเกิดบนข้อของเถาแขนง ตั้งแต่ข้อแรกที่แตกออกมาจากเถาหลัก ส่วนดอกตัวผู้เกิดบนข้อของเถาหลักเป็นส่วนใหญ่ ขณะที่ cantaloupe และแตงไทยจะมีการออกดอกแบบ monoecious คือ มีดอกตัวผู้และดอกตัวเมียอยู่บนต้นเดียวกัน (นิรมิต กิจรุ่งเรืองและคณะ, 2528; Seymour and McGlasson, 1993)

ในทวีปอเมริกาโดยเฉพาะในสหรัฐอเมริการู้จักแคนตาลูปมากกว่ามัชคเมลอน โดยเรียกแตงสองชนิดนี้สลับกันไปมา แต่แยกฮันนี่ดิวออกต่างหาก เนื่องจากมีลักษณะแตกต่างกันชัดเจน ส่วนในออสเตรเลียเรียกทั้งแคนตาลูปและมัชคเมลอนรวมๆ กันว่า "รอคเมลอน" (rock melon) และคนยุโรปส่วนใหญ่รู้จักเฉพาะแคนตาลูปและฮันนี่ดิว โดยเรียกรวมๆ กันว่า "เมลอน" (melon) ส่วนในประเทศไทยจะเรียกแตงในสกุลเดียวกันนี้รวมกันว่าแตงเทศบ้าง แตงฝรั่งบ้าง และบางรายอาศัยลักษณะที่คล้ายคลึงกับแตงไทยเรียกชื่อแตงพวกนี้ว่า แตงไทยฝรั่ง แต่ปัจจุบันจะเรียกแตงพวกนี้รวมๆ ว่า แคนตาลูป (คำนึง คำอุดม, 2536)

การเจริญของแตงหอม

แตงหอมเป็นผลไม้ที่มีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นอยู่ตลอดระยะเวลาการเจริญ ตั้งแต่เริ่มแรกจนกระทั่งตาย ในช่วงระยะเวลาที่มีการเจริญจะเกิดขั้นตอนการพัฒนาต่างๆ ได้แก่ การเติบโต การบริบูรณ์ การสุก และการชราภาพ ตามลำดับ (ดังรูปที่ 2.5)



รูปที่ 2.5 การเจริญ (development) ของพืชหรือส่วนของพืชในระยะเวลาต่างๆ
ที่มา : จริงแท้ ศิริพานิช (2542)

นักวิชาการทางสรีรวิทยาของพืชผลหลังเก็บเกี่ยวได้กำหนดนิยามเพื่อสื่อให้เข้าใจตรงกัน ในปี 1985 (Watada *et al*., 1984) ว่า

การเจริญ (Development) คือกระบวนการทั้งหลายในพืชหรือส่วนของพืชที่เกิดขึ้นตามลำดับ ตั้งแต่เริ่มแรกของการเจริญเติบโตจนกระทั่งตาย

การเติบโต (Growth) คือการเพิ่มขึ้นอย่างไม่กลับคืนของลักษณะทางกายภาพของพืชหรือส่วนของพืช

การบริบูรณ์ (Maturation) คือขั้นตอนหนึ่งของการเจริญซึ่งนำไปสู่ความบริบูรณ์ทางสรีรวิทยาหรือความบริบูรณ์ทางพืชสวน

การสุก (Ripening) คือกระบวนการต่างๆ ที่เกิดขึ้นร่วมกันในช่วงท้ายของการเจริญเติบโตจนถึงช่วงแรกของการชราภาพและส่งผลให้เกิดคุณลักษณะเฉพาะ มีการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบ สี เนื้อสัมผัส กลิ่น รส เป็นต้น

การชราภาพ (Senescence) คือกระบวนการต่างๆ ในพืชหรือส่วนต่างๆ ของพืชที่เกิดขึ้นหลังจากการบริบูรณ์ทางสรีรวิทยาหรือทางพืชสวนและนำไปสู่การตายของพืชหรือส่วนต่างๆ ของพืชนั้นๆ

ขั้นตอนของการพัฒนาต่างๆ เหล่านี้อาจเหลื่อมล้ำกันได้

ในการเจริญนั้นแตงหอมต้องใช้พลังงานจากกระบวนการหายใจซึ่งเป็นกระบวนการทางชีวเคมีที่เปลี่ยนอาหารให้อยู่ในรูปของพลังงาน โดยทั่วไปแล้วผลไม้สามารถแบ่งประเภทตามอัตรา

การหายใจได้เป็น 2 ประเภท คือ climacteric กับ non-climacteric สำหรับแตงหอมนั้นเป็นผลไม้ประเภท climacteric กล่าวคือมีอัตราการหายใจและการผลิตเอทิลีนสูงขึ้นในระหว่างการสุก

การสุกของผลไม้นั้นสามารถเกิดได้หลังจากการเก็บเกี่ยวจากต้นและสามารถเร่งให้เกิดเร็วขึ้นได้ด้วยเอทิลีน นอกจากนั้นยังทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางเคมีและทางกายภาพต่างๆ (จริงแท้ ศิริพานิช, 2542) เช่น

- การหายใจเพิ่มมากขึ้นแล้วลดลง
- ความเข้มข้นของเอทิลีนภายในผลและการผลิตเอทิลีนมากขึ้น
- ตอบสนองต่อเอทิลีนได้ง่าย
- องค์ประกอบของผนังเซลล์เปลี่ยนแปลงไป เช่น การเปลี่ยนแปลงสารประกอบเพคติน ทำให้ผลไม้อ่อนตัว
- การควบคุมการผ่านเข้าออกของสารต่างๆ ผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ลดน้อยลง
- โปรตีนที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบต่างๆ ถูกสร้างขึ้น
- คลอโรฟิลล์สลายตัว
- แอนโทไซยานินและแคโรทีนอยด์ถูกสร้างขึ้น
- โมเลกุลของคาร์โบไฮเดรตเปลี่ยนแปลงไป เช่น แป้งเปลี่ยนเป็นน้ำตาล หรือน้ำตาลชนิดหนึ่งเปลี่ยนไปเป็นอีกชนิดหนึ่ง
- กรดอินทรีย์ที่เป็นองค์ประกอบเปลี่ยนแปลงไป
- สารระเหยที่ให้กลิ่นและรสถูกสร้างขึ้น
- สารพวกแทนนินรวมตัวเป็นโมเลกุลใหญ่ (polymerization) ทำให้ความฝาดลดลง
- เกิดการสะสมของไขบนผิวของผล
- เมล็ดพัฒนาเข้าสู่ความบริบูรณ์
- เกิดการหลุดร่วง (abscission)

การเปลี่ยนแปลงระหว่างการเจริญ

Bianco and Pratt ในปี 1977 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของเมลอนพันธุ์ Honey Dew และ Powdery Mildew Resistant No. 45 (PMR-45) ตรวจวัดทุก 7 วันหลังระยะบานของดอกไม้ (days after anthesis) พบว่า สีเนื้อ ในรูปอัตราส่วนของค่าสี green/red มีค่าลดลง ซึ่งแสดงถึงปริมาณของคลอโรฟิลล์ต่อแคโรทีนอยด์ มีค่าลดลง ความแน่นเนื้อมีค่าลดลงโดย PMR-45 ลดลงเร็วกว่า ส่วนปริมาณของแข็งทั้งหมดมีปริมาณเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังศึกษาถึงการตอบสนองต่อเอทิลีนโดยนำ เมลอนใส่ในโหลแก้วที่มีคาร์บอนไดออกไซด์ 0.5% และเอทิลีน 60 ppm ไหลผ่าน พบว่าอัตราการหายใจของเมลอนทั้ง 2 พันธุ์ ที่ผ่านการรมด้วยเอทิลีนเร่งให้เกิดระยะ respiratory climacteric ขณะที่เมลอนที่ไม่ได้ผ่านการรมจะมีอัตราการหายใจค่อยๆ ลดลง ความแน่นเนื้อของเมลอนที่ผ่านการรมด้วยเอทิลีนจะมีค่าลดลงเร็วกว่าเมลอนที่ไม่ได้ผ่านการรมในทั้ง 2 พันธุ์ สำหรับสี

เนื้อของพันธุ์ PMR-45 ที่ผ่านการรมด้วยเอทิน มีค่าสีแดงเพิ่มมากขึ้นกว่าตัวอย่างที่ไม่ได้รม ส่วน Honey Dew ที่ผ่านการรมด้วยเอทิลีน จะมีสีเนื้อไม่แตกต่างกับตัวอย่างที่ไม่ได้รม ส่วนค่าเปอร์เซ็นต์ของปริมาณของแข็งทั้งหมด ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด ปริมาณของแข็งที่ไม่ละลายในแอลกอฮอล์ และปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ระหว่างตัวอย่างที่ผ่านการรมและไม่ผ่านการรมเอทิลีนไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญในแต่ละพันธุ์ของเมลอน

Lester และ Dunlap ในปี 1985 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของเมลอน Perlita ที่ปลูกในเรือนกระจกและที่ไร่ ระหว่างการเจริญ และการสุก โดยเก็บมาตรวจวัดทุกๆ 10 วันจนถึงวันที่ 50 หลังการผสมเกสร (days after pollination) พบว่า ปริมาณน้ำตาลซูโครสเพิ่มขึ้นหลังจากวันที่ 40 ขณะที่น้ำตาลกลูโคสกับน้ำตาลฟรุกโตสลดลง ปริมาณกรดและโปรตีนทั้งหมดไม่เปลี่ยนแปลงตลอดระยะเวลาการทดลอง ปริมาณ ß-carotene เพิ่มขึ้น และความแน่นเนื้อมีค่าลดลง

Wang, Wyllie และ Leach ในปี 1996 ได้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีของเมลอนพันธุ์ Makdimon ในระหว่างการเจริญและการสุก โดยวัดการเปลี่ยนแปลงของ กลิ่น, กรดอะมิโนอิสระ, ปริมาณน้ำตาล, ปริมาณกรดเริ่มต้น และแร่ธาตุ พบว่า ethyl acetate จะมีการผลิตมากในช่วงการเจริญระยะสุดท้ายและมีปริมาณมากขึ้นเมื่อผลไม้สุก แต่ ethanol เป็นสารระเหยหลักที่พบในผลไม้ระยะ immature กรดอะมิโนอิสระจะพบมากขึ้นเมื่อเมลอนสุก น้ำตาลซูโครส จะมีปริมาณน้อยในระยะ immature แต่เมื่อเมลอนสุกจะมีปริมาณเพิ่มขึ้น ซึ่งปริมาณน้ำตาลซูโครสเป็นดัชนีชี้วัดคุณภาพที่สำคัญ กรดอินทรีย์ที่เป็นองค์ประกอบหลักที่พบในเมลอนพันธุ์นี้ คือ succinic acid และ citric acid ซึ่ง succinic acid จะพบในช่วง immature และไม่พบในระยะถัดมาจนกระทั่งพบอีกครั้งในระยะสุกเต็มที่ ส่วน citric acid จะไม่พบในช่วง immature แต่หลังจากนั้นจะพบในปริมาณที่สูงสุดในวันที่ 30-32 วันหลังระยะบานของดอกไม้ (days after anthesis) หลังจากนั้นจะมีปริมาณลดลง

Villanueva และคณะ ในปี 2004 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของเมลอนพันธุ์ Piel de Sapo และ Rochet ในระหว่างการสุก 5 ระยะ ได้แก่ early immature, immature, early ripening, moderately ripe และ ripe พบว่าปริมาณน้ำตาลกลูโคสและฟรุกโตสในทั้ง 2 พันธุ์เพิ่มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเข้าสู่ระยะ immature และเมื่อเข้าสู่ระยะการสุก ปริมาณน้ำตาลทั้งสองจะลดลงขณะที่น้ำตาลซูโครสเพิ่มขึ้น ส่วนปริมาณกรดทั้งหมดเพิ่มขึ้นจนถึงระยะ early ripening จากนั้นมีปริมาณลดลงเมื่อสุก การเสื่อมสลายของเพคตินในทั้ง 2 พันธุ์มีการลดลงสัมพันธ์กับเนื้อสัมผัส ทำให้เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคมากขึ้น

การเปลี่ยนแปลงระหว่างการเก็บรักษา

ในปี 1995 Miccolis และ Saltveit ศึกษาอิทธิพลของระยะเวลาการเก็บรักษาและอุณหภูมิที่มีผลต่อเมลอน 6 พันธุ์ ได้แก่ Amarelo, Golden Casaba, Honeydew, Honey Loupe, Juan Canary และ Paceco ซึ่งเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 3 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิ 7, 12 และ 15 องศาเซลเซียส ก่อนจะ

นำไปเก็บรักษาต่อที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 วัน พบว่า ในทุกพันธุ์มีการผลิตคาร์บอนไดออกไซด์ลดลงในระหว่างการเก็บรักษา ส่วนการผลิตเอทิลีนจะเพิ่มขึ้นแตกต่างกันในแต่ละพันธุ์ และความแน่นเนื้อของเนื้อเมลอนทุกพันธุ์มีค่าลดลง อุณหภูมิการเก็บรักษาไม่มีผลต่อลักษณะปรากฏของเมลอนพันธุ์ Honeydew และ Golden Casaba แต่ทำให้เกิดอาการสะท้านหนาว (chilling injury) ในเมลอนพันธุ์อื่นๆ โดยที่อุณหภูมิ 7 องศาเซลเซียส จะมีรอยนุ่มมากกว่าที่อุณหภูมิ 12 และ 15 องศาเซลเซียส ส่วนปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ สีเปลือกและสีเนื้อค่อนข้างคงที่ตลอดระยะเวลาเก็บรักษา 3 สัปดาห์

ในปี 2000 Barreiro, Lidon และ Pinto ได้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางเคมีฟิสิกส์และการชราภาพของเมลอนพันธุ์ Tendral ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 12 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 75% พบว่า ปริมาณแป้ง น้ำตาลซูโครส และปริมาณน้ำตาลทั้งหมด มีค่าลดลง ขณะที่ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์เพิ่มขึ้น และที่ระยะเวลาเดียวกันค่าความแน่นเนื้อและปริมาณกรดที่ไตเตรทได้ลดลง แต่ความเข้มข้นของโปรตีน และ lipoperoxide เพิ่มขึ้น ส่วนการเปลี่ยนแปลงค่าสีของเนื้อเมลอน พบว่าค่า b (มีค่าเป็นบวกหมายถึงมีสีเหลือง และเมื่อมีค่าเป็นลบหมายถึงมีสีน้ำเงิน) มีค่าเพิ่มขึ้นหลังการเก็บเกี่ยว ในขณะที่ปริมาณเอทิลีนต่ำตลอดระยะเวลาทดลอง ส่วนการผลิตคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้นระหว่างวันที่ 52 กับ วันที่ 72 หลังการเก็บเกี่ยวจากนั้นคงที่

ในปี 2547 นกน้อย ชูดงคาและคณะศึกษาผลของการจุ่มน้ำร้อนต่อคุณภาพและอายุการเก็บรักษาผลแตงเมลอน โดยเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 13 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 91% พบว่า การจุ่มน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส นาน 3 นาที สามารถชะลอการเปลี่ยนแปลงสีเปลือก ความแน่นเนื้อ อัตราการหายใจ ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด การผลิตเอทิลีนและกิจกรรมของ ACC oxidase รวมทั้งยังช่วยป้องกันการเกิดโรคผลเน่าที่เกิดจากเชื้อรา *Fusarium* spp.

2.2 เอทิลีน

เอทิลีนเป็นสารอินทรีย์ มีสถานะเป็นก๊าซที่อุณหภูมิห้อง ไม่มีสี มีกลิ่นเล็กน้อย เป็นสารประเภทไฮโดรคาร์บอน มีสูตรทางเคมี คือ $CH_2=CH_2$ ติดไฟและเกิดระเบิดได้ ในธรรมชาติพืชและจุลินทรีย์หลายชนิดสามารถผลิตเอทิลีนได้ นอกจากนี้ยังเกิดได้จากการเผาไหม้ต่างๆ (จริงแท้ ศิริพานิช, 2542) เอทิลีน ยังเป็นที่รู้จักกันในชื่อของ "ripening hormone" เนื่องจากเอทิลีนเป็นฮอร์โมนพืชที่มีบทบาทมากมาย ตั้งแต่การเจริญของพืช การพัฒนา จนกระทั่งตาย (Zagory, 1995; Vermeiren *et al.*, 2003)

ปริมาณการผลิตเอทิลีนในพืชจะแตกต่างกันไปตามชนิดของผักและผลไม้ ซึ่งในผลไม้นั้นการผลิตเอทิลีน และความเข้มข้นเอทิลีนภายในผลไม้มีความสัมพันธ์กับการหายใจ ผลไม้ประเภท non-climacteric จะมีอัตราการผลิตเอทิลีนและความเข้มข้นภายในผลต่ำตลอดการพัฒนาและการเจริญเติบโต ซึ่งเอทิลีนจะเร่งให้ถึงระยะชราภาพ (senescence) เท่านั้น ส่วนในผลไม้ประเภท

climacteric ซึ่งเป็นผลไม้ที่มีระยะการสุกเร็ว ในระหว่างการเจริญเติบโตจะมีการผลิตเอทิลีนปริมาณน้อย แต่ในขณะที่ผลไม้เริ่มสุกจะมีการผลิตเอทิลีนเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ซึ่งเอทิลีนสามารถเร่งอัตราการหายใจของผักและผลไม้ ทำให้เกิดการสุกและการชราภาพ เนื่องจากอัตราการหายใจมีความสัมพันธ์กับการเสื่อมเสียของผลิตผล กล่าวคือ ในผลิตผลที่มีอัตราการหายใจสูง เช่น บลอคโคลี หน่อไม้ฝรั่ง เห็ด จะเสื่อมเสียได้ง่าย แต่ในผลิตผลที่มีอัตราการหายใจต่ำ เช่น ถั่ว อินทผลัม ผลไม้แห้ง มันฝรั่ง และหัวหอม ใช้เวลานานเป็นเดือนจึงจะเสื่อมเสีย เมื่อผลไม้สุกจะมีการเปลี่ยนแปลงต่างๆ เกิดขึ้น ได้แก่ เนื้อสัมผัสของผลไม้อ่อนนุ่มลง เนื่องจากเอทิลีนกระตุ้นการสังเคราะห์และการทำงานของเอนไซม์เกี่ยวกับการสุกหลายชนิด ในขณะเดียวกันเอทิลีนก็จะเร่งการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ในเนื้อเยื่อทำให้ผลิตผลเปลี่ยนเป็นสีเหลืองส่งผลให้คุณภาพลดลง ในผลไม้หลายชนิด เมื่อสุกแล้วจะมีรสชาติที่ดีขึ้นเพราะเอทิลีนกระตุ้นให้มีการเปลี่ยนแป้งในผลไม้ไปเป็นน้ำตาล แต่ในผักผลไม้บางชนิดเอทิลีนอาจทำให้เกิดอาการผิดปกติหลังการเก็บเกี่ยวในผักผลไม้ เช่น เกิดแผลสีน้ำตาลตามบริเวณก้านใบหรือเส้นใบมีสีขาวในผักกาดหอมเมื่อสัมผัสกับเอทิลีน การเกิดรสขมในแครอท การงอกของมันฝรั่ง และความเหนียวของหน่อไม้ฝรั่ง นอกจากนี้เอทิลีนอาจส่งผลต่อโรคหลังการเก็บเกี่ยวต่างๆ ที่เกิดขึ้นในผลิตผล มีทั้งที่พบว่าเอทิลีนจะทำให้เกิดโรคและก่อให้เกิดความต้านทานโรค อย่างไรก็ตามสาเหตุของการเกิดโรคยังไม่ทราบแน่ชัด สำหรับผลไม้ประเภท climacteric เมื่อได้รับเอทิลีนจะทำให้เกิดการสร้างเอทิลีนเพิ่มมากขึ้น (autocatalytic) (จริงแท้ ศิริพานิช, 2542; Zagory, 1995)

ปัจจัยที่มีผลต่อการผลิตและการทำงานของเอทิลีนได้แก่ ชนิดหรือพันธุ์พืช อายุทางสรีรวิทยาของพืชเมื่อเก็บเกี่ยว อุณหภูมิ ปริมาณออกซิเจน คาร์บอนไดออกไซด์ เอทิลีน และไฮโดรคาร์บอนอื่นๆในบรรยากาศ ความเครียดของผลิตผล ฮอร์โมนพืช รวมทั้งสารยับยั้งการผลิตและการทำงานของเอทิลีน ดังนั้นการดูแลหลังการเก็บเกี่ยวโดยใช้เทคนิคในการจัดการและการเก็บรักษาที่ดีจะช่วยลดการสูญเสียผักและผลไม้

2.3 บรรจุภัณฑ์แอคทีฟ (Active packaging)

Active packaging หมายถึง บรรจุภัณฑ์ที่ไม่ได้ทำหน้าที่แค่ป้องกันผลิตภัณฑ์เท่านั้น แต่ยังสามารถตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของสิ่งแวดล้อมภายในและภายนอกบรรจุภัณฑ์ โดยการเปลี่ยนแปลงลักษณะหรือสมบัติของตัวเองเพื่อยืดอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ให้นานขึ้น (Brody, Strupinsky, and Kline, 2001; Rooney, 1995)

รูปแบบของบรรจุภัณฑ์แอคทีฟที่ใช้ในปัจจุบันอาจแบ่งได้เป็น 3 ประเภท (วาณี ชนเห็นชอบ, 2547) คือ

1. การบรรจุสารประกอบที่จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงภาวะแยกลงในบรรจุภัณฑ์ขนาดเล็ก (sachet) แล้วใส่ลงในภาชนะบรรจุพร้อมกับผลิตภัณฑ์

2. การเติม (incorporate/dissolve) สารประกอบที่จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงภาวะลงในวัสดุบรรจุภัณฑ์

3. วิธีการอื่นๆ เช่น การเติมสารประกอบลงบน label ที่นำไปติดด้านนอกภาชนะบรรจุ

ระบบของ active packaging อาจแบ่งได้เป็น 3 ระบบ

1. active scavenging หมายถึง ระบบดูดซับสาร ซึ่งสารประกอบในถุงหรือวัสดุบรรจุดูดซับสารในบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุ

2. active releasing หมายถึง ระบบปลดปล่อยสาร ที่ทำหน้าที่เฉพาะเจาะจงซึ่งสารประกอบในถุงหรือวัสดุบรรจุจะปลดปล่อยเข้าสู่บรรยากาศภายในภาชนะบรจุ

3. ระบบอื่นๆ เช่น equilibrium modified atmosphere packaging คือ การปรับสมดุลของภาวะบรรยากาศภายในภาชนะบรรจุ

active packaging สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในผลิตผล เพื่อชะลอการเสื่อมเสียของผลิตผลสด เช่น

1. การบรรจุภายใต้ภาวะบรรยากาศดัดแปลง (Modified Atmosphere Packaging)

2. การใช้สารดูดซับเอทิลีน (ethylene absorber)

3. การใช้ฟิล์มที่มีอัตราการซึมผ่านของก๊าซสูง (high gas permeation film)

การใช้สารควบคุมเอทิลีนเพื่อยืดอายุการเก็บรักษาผลิตผลมีหลายชนิด เช่น ด่างทับทิม (โพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต: $KMnO_4$), ถ่านกัมมันต์ และการใช้โอโซน เป็นต้น (จริงแท้ ศิริพานิช , 2542)

ตารางที่ 2.1 ตัวอย่างการใช้ ethylene absorber

Substance	Company	Trade name	Type	Country
activated carbon, potassium permanganate	Kuraray	Nippon		Japan
zeolite, bentonite, activate carbon	Toppan Printing Co. Ltd.			Japan
pumice, zeolite, actived carbon, cristobalite, clinoptiolite	Orega ethylene scavengers			Korea
activated carbon	Sekisui Jushi	Neupalon	Sachet	Japan
activated carbon + palladium catalyte	Mitsubishi Chemical Company	SendoMate	Sachet	Japan

ที่มา: Brody *et al.*, 2001; Vermeiren *et al.*, 2003; Zagory, 1995

ในทางการค้าได้ใช้ประโยชน์จากการศึกษาการดูดซับเอทิลีนของถ่านกัมมันต์ มีการจดสิทธิบัตรอเมริกาของผลิตภัณฑ์ Orega bag โดยใช้ถ่านกัมมันต์เป็นวัตถุดิบ ซึ่งในประเทศญี่ปุ่นและเกาหลีได้ผลิตพวกถุงเหล่านี้มาขายจำนวนมากและยังส่งออกไปยังสหรัฐอเมริกา ออสเตรเลีย รวมทั้งยุโรปด้วย (Vermeiren *et al.*, 2003) บริษัท Kuraray Chem KK ในญี่ปุ่นผลิตสารกำจัดเอทิลีน โดยใช้ถ่านกัมมันต์ร่วมกับ pailadium chloride (Eiji, 1981) และมีผู้ใช้ถ่านกัมมันต์เป็นส่วนประกอบในแผ่นกำจัดเอทิลีนซึ่งสามารถใช้รักษาความสดของผักและผลไม้ (Masao, 1998) ส่วนบริษัท Kobe Steel Ltd. ได้ผลิตวัตถุสำหรับกำจัดกลิ่นและก๊าซเอทิลีน โดยใช้ถ่านกัมมันต์เป็นองค์ประกอบในการผลิตตัวกำจัดก๊าซ (Takashi and Kiyoshi, 1999) ในปี 2000 บริษัท Kosei Shoji KK ผลิต food storage case ซึ่งใช้ถ่านกัมมันต์ในการเคลือบแท็งก์ที่เป็นตัวเก็บรักษาผักและผลไม้ เพื่อช่วยดูดซับเอทิลีนและกลิ่นไม่ดีที่ปรากฏขึ้น (Noriatsu, 2000) และในปี 2001 บริษัท Inax Corp ได้ผลิตกล่องสำหรับเก็บรักษาผักและผลไม้โดยใช้ถ่านกัมมันต์เป็นองค์ประกอบในวัสดุชั้นกลางของกล่องเพื่อดูดซับเอทิลีนจากสิ่งแวดล้อม (Naoyuki, 2001)

2.4 ถ่านกัมมันต์

ถ่านกัมมันต์ ตามความหมายของ Derbyshire กล่าวไว้ คือวัตถุที่มีพื้นที่ผิวภายในและมีความพรุนสูงสามารถดูดซับสารเคมีจากก๊าซและของเหลวได้ดี และสามารถใช้ประโยชน์ได้หลายด้าน โดยอาจใช้ในกระบวนการทำสารเคมีให้บริสุทธิ์หรือในกระบวนการนำสารเคมีกลับมาใช้ใหม่ นอกจากนี้ถ่านกัมมันต์สามารถใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาหรือตัวรองรับของตัวเร่งปฏิกิริยาได้ ส่วน Jankowska ได้ให้ความหมายถ่านกัมมันต์ไว้ คือ การนำเอาวัตถุดิบที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบมาผ่านกระบวนการก่อกัมมันต์ ซึ่งทำให้วัตถุดิบนั้นมีโครงสร้างรูพรุนและมีพื้นที่ผิวภายในสูง โดยถ่านกัมมันต์จะมีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลัก (87-90%) และมีธาตุอื่นที่เป็นองค์ประกอบคือ ไฮโดรเจน ออกซิเจน ซัลเฟอร์ และไนโตรเจน โดยจะมีปริมาณมากน้อยเท่าใดนั้นขึ้นกับปริมาณที่มีในวัตถุดิบและอาจเกิดขึ้นได้อีกในขั้นตอนการผลิต และตาม มอก. 900-2532 กล่าวว่า ถ่านกัมมันต์ คือ ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำวัตถุดิบธรรมชาติที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลักมาผ่านกรรมวิธีก่อกัมมันต์ จนได้ผลิตภัณฑ์สีดำ มีโครงสร้างที่มีลักษณะเป็นรูพรุน มีพื้นที่ผิวสูง มีสมบัติในการดูดซับสารต่างได้เป็นอย่างดี (ธราพงษ์ วิทิตศานต์, 2542)

ถ่านกัมมันต์เป็นคาร์บอนอสัณฐาน (amorphous carbon) เป็นสาร hydrophobic และ organophilic เป็นของแข็งสีดำ ที่มีผิวหน้าเป็น non-polar แต่ที่ผิวหน้านี้ก็สามารถเป็น polar ได้เล็กน้อยเนื่องจากการ oxidation ที่ผิวหน้า ถ่านกัมมันต์ได้จากการเผาวัตถุดิบพวกอินทรีย์ซึ่งมีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบ โดยเฉพาะที่กำเนิดมาจากพืช เช่น ถ่านหิน, ดินพีทหรือดินพรุ, ลิกไนต์, กะลามะพร้าว, ขี้เลื่อย, แกลบ ฯลฯ (รุ่งทิพย์ ชัยวัฒนานนท์ และคณะ, 2541) ถ่านกัมมันต์แตกต่างจากถ่านชนิดอื่นๆ เช่น ถ่านหิน ถ่านโค้ก ถ่านไม้ หรือถ่านกราไฟต์ คือ ถ่านกัมมันต์มีความพรุน

มากกว่า ความพรุนที่เพิ่มขึ้นเป็นผลมาจากการกระตุ้นด้วยสารเคมีหรือทางกายภาพทำให้เกิดช่องว่างระหว่างโครงสร้างในถ่านเพิ่มขึ้น การกระตุ้นที่เหมาะสมจะได้รูพรุนจำนวนมากทำให้ถ่านมีพื้นที่ผิวภายในเพิ่มขึ้น สามารถดูดซับกลิ่นและสีได้มากกว่าถ่านธรรมดา (อุไรวรรณ ธรรมรัตนพคุณ, 2523) โครงสร้างรูพรุนจะมีผลต่ออัตราส่วนของพื้นที่ผิวต่อขนาด (surface-to-size ratio) ดังนั้นในการกระตุ้นคาร์บอนจึงทำให้เกิดรูพรุนขนาดเล็กเพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัส โดยทั่วไปกระบวนการการดูดซับของถ่านกัมมันต์จะขึ้นกับสมบัติทางกายภาพของตัวมันเองและขนาดโมเลกุลของสารที่ถูกดูดซับ (จิราวรรณ โตธนาคม และ วิจารณ์ ศรีรัตนาลัย, 2536)

2.4.1 การผลิตถ่านกัมมันต์ (ชาญณรงค์ อัศวเทสานุภาพ, 2544; รุ่งทิพย์ ชัยวัฒนานนท์, 2541)

ขั้นตอนการผลิตถ่านกัมมันต์ แบ่งเป็น 2 ขั้นตอน คือ

1) Carbonization เป็นกระบวนการที่ทำให้สารอินทรีย์ในเนื้อไม้เปลี่ยนรูปเป็นถ่าน โดยความร้อนที่ให้จะช่วยกำจัดน้ำ น้ำมันดินและสารประกอบอื่นๆ ออกจากไม้ ผลผลิตที่ได้ประกอบด้วยคาร์บอนเป็นสารประกอบหลัก 80 % ไฮโดรคาร์บอน 10-20% เถ้า 0.5-10% และแร่ธาตุอื่นๆ

2) Activation เป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวโดยการทำให้สารมีรูพรุนมากขึ้น ทำให้มีประสิทธิภาพในการดูดซับเพิ่มมากขึ้นด้วย

- การกระตุ้นทางเคมี เป็นการเผาวัตถุดิบกับสารเคมี ซึ่งสารเคมีจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงเมื่อใช้ความร้อน เช่น ปริมาณน้ำมันดิบ กรดน้ำส้ม เมทานอล ถูกกำจัดให้น้อยลง มีการจัดเรียงตัวของคาร์บอนอะตอมใหม่ และเกิดช่องว่างที่มีอำนาจในการดูดซับภายในโครงสร้างมากขึ้น มีผลให้ถ่านกัมมันต์มีรูพรุนมากขึ้น เป็นการเพิ่มพื้นที่ผิว คุณภาพการดูดซับจึงมากขึ้นด้วย

- การกระตุ้นทางกายภาพหรือกระตุ้นด้วยไอน้ำ เป็นกระบวนการที่ใช้ไอน้ำอุณหภูมิประมาณ 1000 องศาเซลเซียส กระตุ้นให้อะตอมของคาร์บอนหลุดออกดังสมการ

$$C_{(solid)} + H_2O_{(gas)} \longrightarrow CO_{(gas)} + H_{2\,(gas)}$$

ถ่านกัมมันต์ที่ได้จะมีรูพรุนขนาดเล็ก

ถ่านกัมมันต์มีความสามารถในการดูดซับสารอินทรีย์ (organic) สารไม่มีขั้ว (non-polar substances) เช่น mineral oil, poly aromatic hydrocarbon (PAHs), chloride phenol เป็นต้น และยังดูดซับสารพวก halogen คือ I, Br, Cl, He และ F และในทางอุตสาหกรรมถ่านกัมมันต์สามารถใช้ดูดซับกลิ่นที่เกิดจากกระบวนการหมักอีกด้วย

ปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพของถ่านกัมมันต์ ได้แก่ ชนิด ลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของสารที่ถูกดูดซับ โดยทั่วไปสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง ความดันไอต่ำ และมีจุดเดือดสูง จะถูกดูด

ซับได้ดี. ปริมาณของถ่านกัมมันต์ที่ใช้ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารที่ถูกดูดซับ โดยที่การดูดซับจะเกิดได้ดีที่อุณหภูมิต่ำ ความดันสูงและความชื้นสัมพัทธ์ต่ำ (Lenntech, 2004)

ถ่านกัมมันต์เป็นสารที่ใช้ทั่วไปในการดูดซับสารที่มีขั้วต่ำที่เกิดจากการบำบัดน้ำหรืออากาศเสีย (Crittenden and Thomas, 1998) และใช้ดูดซับสารพิษ เช่น ยาฆ่าแมลง (USDA, 2002) นอกจากนี้ยังใช้เป็นสารดูดซับเอทิลีน คาร์บอนไดออกไซด์และกลิ่นในผักและผลไม้ (Brody *et al.*, 2001; Vermeiren *et al.*, 2003)

Baumann (1989) ศึกษาการใช้ถ่านกัมมันต์ในการดูดซับเอทิลีนและคาร์บอนไดออกไซด์ในระบบ control atmosphere ที่อุณหภูมิ 2 ถึง 20 องศาเซลเซียส พบว่าประสิทธิภาพการดูดซับขึ้นอยู่กับปริมาณถ่านกัมมันต์ อัตราการไหลของก๊าซ และระยะเวลาในการดูดซับ

Abe and Watada (1991) ศึกษาการใช้ถ่านกัมมันต์ร่วมกับ palladium chloride เพื่อป้องกันการเพิ่มขึ้นของเอทิลีน พบว่าความแน่นเนื้อของผลกีวีและกล้วยลดลง และการสูญเสียสีเขียวในผักขม (spinach) ลดลง

2.5 กระดาษ

กระดาษ (paper) หมายถึง แผ่นวัสดุบางซึ่งทำมาจากเส้นใย (fiber) ผสมกับสารเติมแต่ง (additive) ตั้งแต่หนึ่งชนิดขึ้นไป ซึ่งสารเติมแต่งนี้อาจเติมไปก่อนการขึ้นแผ่น (sheet forming) หรือหลังการขึ้นแผ่นก็ได้ ซึ่งขึ้นอยู่กับสมบัติกระดาษที่ต้องการ (สมชาติ รุ่งอินทร์, 2538)

<u>แหล่งเส้นใยพืชในการผลิตเยื่อกระดาษ</u>

เส้นใยที่ใช้ในการผลิตกระดาษอาจเป็นเส้นใยสัตว์ เส้นใยพืช เส้นใยแร่ หรือเส้นใยสังเคราะห์ก็ได้ อย่างไรก็ตามเส้นใยพืชจัดเป็นวัตถุดิบที่สำคัญในการผลิตเยื่อกระดาษ พืชเกือบทุกชนิดสามารถนำมาผลิตเยื่อกระดาษได้ ซึ่งจำแนกตามแหล่งที่มา (คณะนักวิจัยระดับปฏิบัติการ รุ่นที่ 4, 2544; รุ่งอรุณ วัฒนวงศ์, 2542) ได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่ คือ

1) พืชยืนต้น (wood) แบ่งได้เป็น 2 กลุ่ม คือ

1.1) ไม้เนื้ออ่อน (soft wood) เป็นไม้พวกที่มีโครงสร้างของเมล็ดเป็นรูปกรวย (Coniferous) หรือพืชจำพวกต้นสน (Gymnosperm) มีใบเป็นรูปเข็ม เขียวตลอดปี ไม่ผลัดใบ เช่น Spruce Pine Fir และ Hemlock ในประเทศไทยมีเพียง 2 ชนิด คือ สนสองใบ และสนสามใบ เส้นใยของไม้เนื้ออ่อนจะมีความยาวเฉลี่ยประมาณ 3 มิลลิเมตร เยื่อที่ได้จากไม้เนื้ออ่อนเป็นเยื่อใยยาว และการเรียกชื่อทางการค้ามักมีอักษร "N" (needle) นำหน้า เช่น NBKP (Needle Bleached Kraft Pulp) เพื่อระบุว่าเป็นเยื่อใยยาว

1.2) ไม้เนื้อแข็ง (hard wood) เป็นพวกไม้เบญจพรรณต่างๆ ที่ผลัดใบ (Deciduous) เมล็ดมีเปลือกหุ้ม (Angiosperm) โดยทั่วไปมีใบกว้าง (Broad Leaved) ยกเว้นไม้บางชนิด เช่น สนทะเล และสนประดิพัทธ์ในเขตอบอุ่น เส้นใยของไม้เนื้อแข็งมีความยาวเฉลี่ยประมาณ 1-2 มิลลิเมตร เช่น

Eucalyptus, Birch, Aspen, Maple, Oak และไม้ใบกว้างต่างๆ ในประเทศไทย เยื่อที่ได้จากไม้เนื้อแข็งเป็นเยื่อใยสั้น และการเรียกชื่อทางการค้ามักมีอักษร "L" (Leaved) นำหน้า เช่น LBKP (Leaved Bleached Kraft Pulp) เพื่อระบุว่าเป็นเยื่อใยสั้น

2) ไม้ล้มลุก (Non-wood) เส้นใยในกลุ่มนี้แบ่งได้เป็น 3 กลุ่มคือ

2.1) ส่วนที่เหลือทิ้งทางการเกษตร (agriculture residue) เช่น ฟางข้าว และชานอ้อย

2.2) พืชตระกูลหญ้า (natural growing plants) เช่น ไม้ไผ่ หญ้าขจรจบ ผักตบชวา เป็นต้น

2.3) พืชเส้นใยต่างๆ (crop fiber)

- เส้นใยที่ได้จากส่วนเปลือกและต้น (bark or stem) เช่น Hemp, Ramie, Flax, ปอกระเจา (Jute), ปอแก้ว (Kenaf) และปอสา เป็นต้น

- เส้นใยที่ได้จากส่วนใบ (leaf fibers) เช่น Abaca, สัปปะรดและป่านศรนารายณ์ (Sisal) เป็นต้น

- เส้นใยที่ได้จากเมล็ด (Seed fibers) เช่น ฝ้าย เป็นต้น

<u>องค์ประกอบทางเคมีของไม้ (Chemical composition of wood)</u>

1) เซลลูโลส (Cellulose) เป็น homopolymer ของ D-glucose เชื่อมต่อกันด้วย ß-1,4-glucosidic bond มีลักษณะเป็นเส้นตรง มีความยาวตามธรรมชาติประมาณ 10,000 หน่วย ระหว่างสายเซลลูโลสยึดเกาะกันด้วยพันธะไฮโดรเจน โมเลกุลเซลลูโลสประมาณ 3-4 โมเลกุลรวมตัวกันเป็นเส้นฟิบริล (fibril) มีลักษณะคล้ายเส้นด้าย เส้นฟิบริลนี้จะประกอบกันเป็นลำตัวของเส้นใย และถูกยึดติดกันด้วยลิกนิน (lignin) และเฮมิเซลลูโลส (hemicellulose) เซลลูโลสมีความเป็นผลึกประมาณร้อยละ 60-80 ทนทานต่อสารเคมี มีสารเคมีไม่กี่ชนิดที่ละลายเซลลูโลสได้ เช่น สารละลายกรดซัลฟูริก (H_2SO_4) เข้มข้นมากกว่า 68% สารละลายกรดเกลือ (HCl) เข้มข้นมากกว่า 41%, ซิงค์คลอไรด์ ($ZnCl_2$), quaternary ammonium compound และ complexing agents บางชนิด เป็นต้น

2) เฮมิเซลลูโลส (hemicellulose) เป็น heteropolymer ของน้ำตาลหลายชนิด เช่น glucose, mannose, xylose, galactose และ arabinose มีความยาวเฉลี่ยประมาณ 200 หน่วย มีหมู่ฟังก์ชัน เช่น อะซีตีลและยูโรนิคจับอยู่ด้วย เฮมิเซลลูโลสมีโครงสร้างเป็นอสัณฐาน (amorphous) สามารถอมน้ำและพองตัวได้ดี ในไม้เนื้ออ่อน เฮมิเซลลูโลสส่วนใหญ่จะเป็นพวก glucomannan ส่วนในไม้เนื้อแข็ง เฮมิเซลลูโลสส่วนใหญ่จะเป็นพวก xylan

3) ลิกนิน (lignin) เป็น amorphous polymer ประกอบด้วย phenyl propane units เฉลี่ยประมาณ 2,500 หน่วย จับตัวเป็นโครงร่างสามมิติยึดกันด้วย ether bond และ C-C bond ส่วนใหญ่เป็น phenyl-O-aryl ether ether bond ลิกนินพบมากในบริเวณ middle lamella ทำหน้าที่ประสานเส้นใยเข้าด้วยกัน มีสมบัติเป็น hydrophobic ถ้าเส้นใยมีปริมาณลิกนินมากจะทำให้เส้นใยไม่เปียก

น้ำหรืออมน้ำและไม่สามารถเกิดพันธะระหว่างเส้นใยได้ (พรทวี พึ่งรัศมี และอรัญ หาญสืบสาย, 2537)

4) สารสกัด (extractive) หมายถึง ส่วนประกอบในไม้หรือพืชที่สามารถละลายได้ในตัวทำละลายอินทรีย์ (organic solvent) เช่น acetone, alcohol, dichloromethane, chloroform เป็นต้น ทั้งนี้ไม่รวมถึงอนินทรีย์สาร (inorganic solvent) ที่อาจละลายปนออกมา สารสกัดที่ได้นี้มักเป็นชันสนหรือยางไม้ พบสารพวกนี้มากในไม้เนื้ออ่อน ส่วนในไม้เนื้อแข็งมีน้อยหรือไม่มีเลย (รุ่งอรุณ วัฒนวงศ์, 2542)

<u>กระบวนการผลิตกระดาษ</u>

1) การเตรียมวัตถุดิบ – เส้นใยจากพืชต่างๆ ที่ใช้ทำเยื่อกระดาษจะนำไปตัดให้ได้ขนาดตามต้องการและใกล้เคียงกัน จากนั้นคัดแยกสิ่งเจือปน ฝุ่นผงออกจากวัตถุดิบ

2) การผลิตเยื่อ (pulping) – เป็นขั้นตอนการสกัดและแยกเส้นใยพืชให้อยู่ในรูปเยื่อ ซึ่งกรรมวิธีการผลิตเยื่อกระดาษแบ่งได้เป็น 3 วิธี คือ

2.1) การผลิตเยื่อเชิงกล (mechanical pulping process)

2.2) การผลิตเยื่อเคมี (chemical pulping process)

2.3) การผลิตเยื่อกึ่งเคมี (semi-chemical pulping process)

3) การฟอกเยื่อ (bleaching) เป็นกระบวนการทางเคมีเพื่อลดหรือขจัดสารบางชนิดในเยื่อกระดาษให้เยื่อกระดาษมีค่าความขาวสว่างเพิ่มขึ้นและยังช่วยทำความสะอาดเยื่อให้มีปริมาณเซลลูโลสที่บริสุทธิ์ยิ่งขึ้นโดยไม่ทำลายความแข็งแรงของเยื่อ

4) การเตรียมน้ำเยื่อ (stock preparation) มีวัตถุประสงค์เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติของเส้นใยให้เหมาะกับการเดินแผ่นและเพื่อให้ได้กระดาษที่มีคุณสมบัติตรงตามที่ต้องการ โดยการบดเยื่อและการผสมสารปรับแต่งต่างๆ ดังนี้

- การตีเยื่อให้เส้นใยกระจาย (pulping or defibering) เพื่อให้เส้นใยแยกออกจากกันและกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ
- การบดเยื่อ (beating or refining) เพื่อเพิ่มแรงยึดเหนี่ยวระหว่างเส้นใย
- การผสมน้ำเยื่อกับสารปรับแต่ง (blending of furnish ingredients) เพื่อปรับแต่งคุณสมบัติของน้ำเยื่อให้ตรงกับชนิดของกระดาษที่จะผลิต
- การทำความสะอาดน้ำเยื่อ (cleaning) เพื่อแยกสิ่งสกปรกออก
- การควบคุมความข้นของน้ำเยื่อ (consistency regulator) เพื่อให้น้ำเยื่อมีความเข้มข้นคงที่

(คณะนักวิจัยระดับปฏิบัติการ รุ่นที่ 4, 2544; ปิยพล นาคเบญจพรและคณะ, 2544)

5) การทำแผ่นกระดาษ (sheet forming) น้ำเยื่อจะถูกส่งเข้าเครื่องจักรผลิตกระดาษเพื่อผลิตเป็นแผ่นกระดาษยาวต่อเนื่องเรียกว่า กระดาษม้วน เครื่องจักรพื้นฐานที่ใช้ผลิตกระดาษมี 2 ชนิด คือ Fourdrinier machine และ Cylinder machine หรือ Vat machine

2.6 กระดาษจากใบสับปะรด

สับปะรด เป็นพืชวงศ์ Bromeliaceae มีชื่อวิทยาศาสตร์คือ Ananas comosus เป็นผลไม้เขตร้อน มีถิ่นกำเนิดอยู่ในทวีปอเมริกาใต้ สำหรับสับปะรดในประเทศไทยสันนิษฐานว่าชาวโปรตุเกสซึ่งเข้ามาติดต่อค้าขายกับประเทศไทยเป็นผู้นำสับปะรดแพร่เข้ามาราวปี พ.ศ. 2213-2243 ซึ่งอยู่ในสมัยของสมเด็จพระนารายณ์มหาราช สับปะรดที่ปลูกในยุคนั้นจะปลูกกระจัดกระจายอยู่ทั่วประเทศ จึงเรียกชื่อว่าสับปะรดพันธุ์พื้นเมือง ปัจจุบันสับปะรดเป็นพืชไร่เศรษฐกิจอันดับต้นๆ ของประเทศไทยที่มีพื้นที่เพาะปลูกทั่วประเทศมากกว่า 1 ล้านไร่ เช่น จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ ชุมพร กระบี่ ระยอง ชลบุรี และนครพนม (ปิยะ เฉลิมกลิ่น, 2549; มนตรี กล้าขาย, 2535)

การกำจัดใบสับปะรดหลังการเก็บเกี่ยวด้วยการไถกลบและการใช้สารเคมี ต้องใช้เวลาและค่าใช้จ่ายสูง โดยที่ใบสับปะรดเหลือทิ้งปริมาณมากไม่ได้นำไปใช้ประโยชน์ ทั้งที่ใบสับปะรดมีสมบัติที่สามารถนำมาแปรรูปเป็นกระดาษได้ เส้นใยใบสับปะรดเป็นพืชที่มีเส้นใยในปริมาณมาก ประกอบด้วยเซลลูโลส 70-82% เฮมิเซลลูโลส 18% ลิกนิน 5-12% และเถ้า 0.7-0.9% เส้นใยของใบสับปะรดเป็นเส้นใยยาว (Reddy and Yang, 2005) เมื่อแปรรูปเป็นกระดาษจะได้กระดาษที่มีคุณสมบัติพิเศษ คือ มีความเหนียว ทนทาน สามารถบิดงอหรือเปลี่ยนรูปร่างได้ง่ายโดยไม่เสียหาย และมีผิวนุ่ม (จุมพงศ์ ลิมปิโกวิท, 2547; มาลี หมวกกุล, 2546)

คณะนักวิจัยระดับปฏิบัติการ รุ่นที่ 4 (2544) ศึกษาการพัฒนาผลิตภัณฑ์กระดาษจากใบสับปะรด ตั้งแต่การผลิตกระดาษจนถึงการส่งเสริมการตลาดของตำบล ห้วยสัตว์ใหญ่ อำเภอหัวหิน จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ จากเดิมที่กระบวนการผลิตเป็นการผลิตโดยใช้แรงงานเป็นหลัก การเตรียมใบไม่มีการคัดขนาด แยกใบแห้งและสด รวมทั้งไม่ทำความสะอาดใบก่อนผลิต ส่วนการผลิตไม่มีอุปกรณ์บีบและกระจายเยื่อ และไม่ชั่งน้ำหนักเยื่อก่อนผลิตแผ่น ทำให้ผลิตภัณฑ์มีความหนา บางไม่เท่ากัน เนื่องจากการผลิตในแต่ละครั้งจะขึ้นกับความชำนาญของผู้ปฏิบัติ ดังนั้นจึงมีการพัฒนากระบวนการผลิตแผ่นกระดาษขึ้น โดยในขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบมีการล้างทำความสะอาดใบก่อนใช้ และผึ่งแดดให้แห้งก่อนใช้เพื่อให้ได้ปริมาณเส้นใยต่อน้ำหนักมากขึ้น ขณะต้มเยื่อใช้หม้อแบบมีฝาปิดและกำหนดอัตราส่วนระหว่างสารเคมีต่อน้ำหนักใบแห้งที่เหมาะสมคือ โซดาไฟ 1 กิโลกรัมต่อใบสับปะรด 14 กิโลกรัม โดยใช้น้ำประมาณ 18 กิโลกรัม รวมทั้งกำหนดระยะเวลาต้มเป็นเวลา 3-4 ชั่วโมงเพื่อประหยัดเวลาและเชื้อเพลิงในการต้ม การล้างเยื่อโดยบีบด่างออกให้มากที่สุดทำให้การล้างเยื่อเร็วขึ้น ในขั้นตอนการฟอกเยื่อให้เปลี่ยนจากผงปูนคลอรีนเป็นสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์และโซเดียมซิลิเกต เพราะย่อยสลายได้ง่ายกว่า ในขั้นการตีเยื่อ นำเครื่องตี

เยื่อมาใช้เพื่อให้เยื่อกระจายตัวได้สม่ำเสมอก่อนขึ้นตะแกรง ส่วนในการทำแผ่นใช้อ่างซีเมนต์ที่ปูกระเบื้องเคลือบสีสว่างเพื่อช่วยให้เห็นเยื่อกระจายตัวบนแผ่นได้ง่ายขึ้น และในขั้นสุดท้าย ตากแผ่นกระดาษในโรงเรือนเพื่อป้องกันฝนและกระดาษซีดจากการถูกแสงแดดนานเกินไป และเมื่อนำกระดาษที่ผลิตได้จากกลุ่มแม่บ้านตำบลห้วยสัตว์ใหญ่ ซึ่งประกอบด้วยกระดาษสีธรรมชาติและกระดาษย้อมสีไปทดสอบสมบัติทางกายภาพได้ผลดังแสดงในตารางที่ 2.2

ตารางที่2.2 สมบัติทางกายภาพของกระดาษสับปะรดที่กลุ่มแม่บ้านตำบลห้วยสัตว์ใหญ่ผลิตได้

สมบัติทางกายภาพ	กลุ่มแม่บ้านเกษตรกรรวมใจพัฒนา ต.ห้วยสัตว์ใหญ่	
	กระดาษสีธรรมชาติ	กระดาษย้อมสี
น้ำหนักมาตรฐาน (g/m^2)	70.91	116.68
ความขาวสว่าง (%)	37.54	-
ความหนา (mm)	0.176	0.178
ดัชนีความต้านแรงดึง (kNm/kg)	27.50	29.1
ดัชนีความต้านแรงดันทะลุ ($kPa.m^2/g$)	1.78	2.30
ดัชนีความต้านแรงฉีกขาด ($mN.m^2/g$)	13.27	17.5
ความทนทานต่อการหักพับ (cycle)	343	405

ที่มา : คณะนักวิจัยระดับปฏิบัติการ รุ่นที่ 4 (2544)

ชัยภัทร สิริพลวัฒน์และอาศีร์กร กล่อมเกลา (2546) ศึกษาผลของสารเติมเต็ม (fillers) คือ แคลเซียมคาร์บอเนต สารเพิ่มความแข็งแรง (dry strength) คือ แป้งดัดแปรประจุบวก และสารกันซึม (sizing agent) คือ แอลคิลคีโตนไดเมอร์ ต่อคุณภาพกระดาษสับปะรดที่จะนำไปฉาบผิวและรีดผิวหน้ากระดาษก่อนพิมพ์ด้วยเครื่องปรู๊ฟระบบออฟเซต พบว่า สารเติมเต็ม 20 กิโลกรัมต่อตันของน้ำหนักเยื่ออบแห้ง สารเพิ่มความแข็งแรง 12 กิโลกรัมต่อตันของน้ำหนักเยื่ออบแห้ง และสารกันซึม 20 กิโลกรัมต่อตันของน้ำหนักเยื่ออบแห้ง ทำให้กระดาษจากใบสับปะรดมีความต้านทานแรงดึงใกล้เคียงกับค่าความต้านทานแรงดึงของกระดาษพิมพ์ในท้องตลาด แต่กระดาษที่ได้มีสมบัติโดยรวมต่ำกว่ามาตรฐานอุตสาหกรรมของกระดาษพิมพ์ออฟเซต

มาลี หมวกกุล (2546) ศึกษากระบวนการผลิตกระดาษจากใบสับปะรดในระบบธุรกิจชุมชน บ้านป่าซางวิวัฒน์ ตำบลนางแล อำเภอเมือง จังหวัดเชียงราย โดยผลิตกระดาษจากใบสับปะรดที่ย่อยสลายด้วยความร้อน 2 แบบ คือ ความร้อนจากฟืนและความร้อนจากก๊าซหุงต้ม พบว่า ความร้อนจากฟืนทำให้กระดาษที่ได้มีผิวสัมผัสหยาบ กรอบ มีเส้นใยยาวและเหนียว สีเหลืองออกน้ำตาลเล็กน้อย ส่วนความร้อนจากก๊าซหุงต้มจะให้กระดาษที่มีผิวสัมผัสหยาบ กรอบ มีเส้นใย

ที่ขาวและเหนียว สีเหลืองอ่อน คุณภาพของกระดาษที่ได้ดีกว่ากระดาษที่ย่อยสลายด้วยความร้อนจากฟืน นอกจากนี้ปัจจัยด้านอายุของสับปะรดมีผลต่อปริมาณเยื่อ โดยใบสับปะรดที่มีอายุมากจะมีเยื่อสับปะรดมากกว่าใบสับปะรดที่มีอายุน้อยหรือปานกลาง แต่ไม่ควรเป็นใบที่แก่จัดเกินไปเพราะจะให้เส้นใยค่อนข้างสั้นและกระด้าง (อัจฉราพร ไศละสูตร, 2528) อีกปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อคุณภาพกระดาษคือพันธุ์สับปะรดซึ่งสับปะรดต่างพันธุ์กันจะให้กระดาษที่มีความแตกต่างกัน

ศิวโรฒ บุญราศรีและคณะ (2546) ศึกษาการผลิตเยื่อกระดาษจากใบสับปะรดด้วยกระบวนการต้มเยื่อโซดา พบว่าภาวะที่เหมาะสมในการต้มเยื่อจากสับปะรดด้วยโซเดียมไฮดรอก-ไซด์ร้อยละ 18 ของน้ำหนักใบแห้ง เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 95-100 องศาเซลเซียส ให้ผลผลิตเยื่อร้อยละ 49.86 ของน้ำหนักเยื่ออบแห้ง เมื่อนำเยื่อที่ได้มาทำเป็นกระดาษขนาด 12 x 12 นิ้ว กระดาษที่ได้มีสมบัติทางกายภาพ ดังนี้คือ ความหนา 1.19 มิลลิเมตร น้ำหนักมาตรฐาน 211.93 กรัมต่อตารางเมตร ดัชนีความต้านทานแรงดึง 26.31 นิวตันเมตรต่อกรัม ดัชนีความต้านทานแรงฉีกขาด 21.97 เมตรนิวตันตารางเมตรต่อกรัม และความสามารถในการหักพับ 2,962 r/c ภาวะที่เหมาะสมในการฟอกเยื่อโดยใช้ไฮโดรเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 3 ของน้ำหนักเยื่ออบแห้ง พบว่ากระดาษมีค่าความขาวสว่างร้อยละ 77.62 ในขณะที่สมบัติทางกายภาพหลังจากการฟอกลดลงไม่มาก