บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ประวัติและการแพร่กระจาย

สตรอเบอรี่เป็นพืชล้มลุกขนาดเล็ก เกิดกระจัดกระจายอยู่ตามป่าทั่วไปในทุกภูมิภาคทั่วโลก พันธุ์ที่นิยมปลูกเป็นพันธุ์ที่มีถิ่นกำเนิดในทวีปอเมริกา เริ่มมีการนำสตรอเบอรี่เข้ามาเพาะปลูกในประเทศฝรั่งเศสเป็นครั้งแรกในปี ค.ศ. 1720 ซึ่งเป็นจุดเริ่มที่ทำให้มีการผสมพันธุ์ ปรับปรุงพันธุ์ คัดเลือกพันธุ์ และคงลักษณะที่ดีของพันธุ์ และมีการขยายพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศด้วยไหล ตั้งแต่ในช่วงแรก ๆ ของการปลูกสตรอเบอรี่ในทวีปยุโรปเป็นต้นมามีการปรับปรุงและคัดเลือกพันธุ์ให้มีลักษณะต่าง ๆ ที่ต้องการ จนเป็นที่มาของความหลากหลายของสายพันธุ์สตรอเบอรี่ที่ใช้ปลูกกันในปัจจุบัน (สังคม, 2532)

สำหรับประเทศไทยมีการนำสตรอเบอรี่เข้ามาปลูกเป็นครั้งแรกที่จังหวัดเชียงใหม่ ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2477 โดยชาวอังกฤษที่เข้ามาทำงานด้านป่าไม้ (ประสาทพร และดนัย, 2543) แต่การปลูกยังคงจำกัดอยู่ในวงแคบ ๆ เนื่องจากการปลูกและการจัดการยังไม่ดีพอ ในช่วงปี พ.ศ. 2512 ถึง พ.ศ. 2514 โครงการหลวงพัฒนาภาคเหนือซึ่งต่อมาเปลี่ยนชื่อเป็นโครงการหลวงร่วมกับมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ โดยภาควิชาพืชสวน คณะเกษตร ได้นำสตรอเบอรี่พันธุ์ต่าง ๆ จากต่างประเทศเข้ามาทดลองปลูกที่สถานีวิจัยไม้ผลเมืองหนาวดอยปุย จังหวัดเชียงใหม่ และ ได้คัดเลือกพันธุ์ที่เหมาะสมกับสภาพอากาศของประเทศไทยได้ 3 พันธุ์ ซึ่งในปี พ.ศ. 2516 พระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวภูมิพลอดุลยเดช (รัชกาลที่ 9) ได้ทรงพระราชทานสตรอเบอรี่ทั้ง 3 พันธุ์นี้แก่เกษตรกร เพื่อที่จะนำไปใช้ปลูกต่อไป สตรอเบอรี่ทั้ง 3 พันธุ์นี้ เกษตรกรจึงเรียกว่า พันธุ์พระราชทานเบอร์ 13 พันธุ์พระราชทานเบอร์ 16 และพันธุ์พระราชทานเบอร์ 20 ซึ่งมีชื่อที่ถูกต้องว่า พันธุ์ Cambridge Favorite พันธุ์ Tioga และพันธุ์ Sequoia ตามลำดับ (สังคม, 2532)

งานศึกษาและวิจัยเกี่ยวกับสตรอเบอรี่ได้เริ่มกระทำอย่างแท้จริงเมื่อปี พ.ศ. 2517 โดยมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์และมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ร่วมกับโครงการหลวง โดยมี Agricultural Research Service กระทรวงเกษตรสหรัฐอเมริกา เป็นผู้สนับสนุนทุนเพื่อศึกษาวิจัยและพัฒนาสตรอเบอรี่ให้เป็นพืชทดแทนการปลูกฝิ่นของชาวไทยภูเขาในเขตภาคเหนือ (ชูพงษ์, 2530) งานวิจัยเกี่ยวกับสตรอเบอรี่จึงได้พัฒนาในทุกด้านเรื่อยมา จนกระทั่งสามารถเป็นพืชทดแทนการปลูกฝิ่นของชาวไทยภูเขาได้สำเร็จ ทั้งยังสร้างอาชีพการปลูกสตรอเบอรี่ให้แพร่หลายมากขึ้นทั้งจังหวัดเชียงใหม่และจังหวัดเชียงราย ในปัจจุบันนอกเหนือจากภาคเหนือแล้ว ยังมีพื้นที่ในการปลูกสตรอเบอรี่แพร่กระจายไปในเขตภาคกลางและภาคตะวันออกเฉียงเหนือบางส่วนอีกด้วย

ชนิดและพันธุ์

สตรอเบอรี่จัดอยู่ในอันดับ Rosales ตระกูล *Rosaceae* สกุล *Fragaria* ที่มาจากคำว่า fraga แปลว่ามีกลิ่นหอม (fragrant) มีจำนวนโครโมโซมพื้นฐาน n = x = 7 แบ่งออกเป็น 4 กลุ่ม ตามจำนวนโครโมโซม คือ diploids, tetrapoids, hexaploids และ octaploids (ชูพงษ์, 2530) สตรอเบอรี่ที่ปลูกเป็นการค้าจัดเป็น octaploid (2n = 8x = 56) ซึ่งเป็นผลมาจากการผสมพันธุ์กันตามธรรมชาติของ *F. chiloensis* กับ *F. virginiana* และจัดเป็นพืชผสมข้าม (out crossed crop) โดยทั่วไปยอมรับกันในชื่อของ *F. x ananassa* (ทศพร และประสาทพร, 2544) สตรอเบอรี่อาจนับได้ว่าเป็นไม้ผลที่มีการคัดเลือกและปรับปรุงพันธุ์เพื่อให้ได้พันธุ์ที่มีความเหมาะสมกับพื้นที่ปลูกมากกว่าไม้ผลชนิดอื่น ๆ เนื่องจากสตรอเบอรี่แสดงการตอบสนองต่อการผสมผสานเฉพาะระหว่างอุณหภูมิและความยาวของวันแตกต่างกัน ซึ่งการคัดเลือกและปรับปรุงพันธุ์ของสตรอเบอรี่ ทำให้มีสตรอเบอรี่พันธุ์ปลูกต่าง ๆ เป็นจำนวนมาก พันธุ์ปลูกเหล่านี้ อาจแบ่งตามอุปนิสัยการออกดอกติดผลได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่ คือ (สังคม, 2532)

1. June bearing or spring cropping จะออกดอกติดผลในฤดูใบไม้ผลิ โดยมีลักษณะเป็น Facultative short day plant คือ ในสภาพอุณหภูมิสูง จะเป็น Qualitative or Absolute short day plant ส่วนในสภาพอุณหภูมิต่ำจะเป็น Quantitative short day plant ในสภาพวันยาว และอากาศอบอุ่นของฤดูร้อนจะกระตุ้นให้สตรอเบอรี่พวกนี้มีการเจริญเติบโตทางกิ่งใบ และมีการสร้างไหลเมื่อเข้าสู่ฤดูหนาว สภาพอากาศเย็นและช่วงแสงที่เปลี่ยนไปเป็นสภาพวันสั้น จะกระตุ้นให้สตรอเบอรี่พวกนี้ลดการเจริญเติบโตทางกิ่ง ใบ และกำเนิดตาดอก เมื่อได้รับสภาพอากาศที่อบอุ่นขึ้นหรือเข้าสู่ฤดูใบไม้ผลิก็จะออกดอกและติดผล สตรอเบอรี่พันธุ์ปลูกโดยส่วนใหญ่จะเป็นพวกนี้ เช่น พันธุ์ Fresno Heidi Midway Surecrop และ Tioga เป็นต้น

2. Ever bearing จะมีลักษณะเป็น long day plant โดยจะกำเนิดตาดอก ออกดอก และติดผลได้หลายครั้งตลอดการเจริญเติบโต แม้จะได้รับสภาพวันยาวของฤดูร้อนก็ตาม สตรอเบอรี่พวกนี้จะมีการสร้างไหลเป็นจำนวนน้อย และไม่จัดเป็นพันธุ์ปลูกในทางการค้า มักใช้ปลูกเป็นไม้ประดับหรือปลูกตามครัวเรือน เช่น Gem Geneva และ Rockhill เป็นต้น

พันธุ์สตรอเบอรี่ที่ปลูกเป็นพันธุ์การค้าในประเทศไทยมีหลายพันธุ์ แต่ละพันธุ์มีลักษณะเด่น แตกต่างกัน ดังนี้ (กองพัฒนาเกษตรที่สูง, 2543)

1. พันธุ์พระราชทานเบอร์ 16 (Tioga) เป็นพันธุ์ที่ปลูกได้ดีในสภาพพื้นที่ต่าง ๆ กัน ไม่ต้องการความเย็นในการชักนำให้สร้างตาดอกมากเท่ากับพันธุ์อื่น ๆ ผลมีขนาดเล็กถึงกลาง เนื้อแข็ง รสออกเปรี้ยว ผิวเป็นมัน เหมาะสำหรับส่งโรงงาน

2. พันธุ์พระราชทานเบอร์ 20 (Sequoia) เป็นพันธุ์ที่เหมาะสมต่อการปลูกในพื้นที่สูง มีรสออกหวาน เนื้อผลนิ่ม ทำให้มีปัญหาในการขนส่ง ผิวค่อนข้างบางจึงช้ำง่าย เหมาะต่อการส่งตลาดสดมากกว่าโรงงาน

3. พันธุ์พระราชทานเบอร์ 50 (B5) จัดอยู่ในกลุ่มพันธุ์หนัก จะออกผลช้ากว่าพันธุ์อื่นที่เป็นพันธุ์เบา ผลขนาดปานกลางถึงโต เนื้อแข็ง กลิ่นหอม รสออกหวานอมเปรี้ยว หากปลูกในพื้นที่สูงหรือช่วงอุณหภูมิต่ำจะมีรสหวานมากขึ้น ต้องการอุณหภูมิต่ำพอควรในการชักนำให้เกิดการสร้างตาดอกในชุดต่าง ๆ สามารถใช้เพื่อการบริโภคสดและส่งโรงงาน

4. พันธุ์พระราชทานเบอร์ 70 (Toyonoka) เป็นพันธุ์ที่มีผลขนาดปานกลาง ทรงเป็นลิ่มสวย ผิวค่อนข้างบาง เป็นมัน กลิ่นหอม รสออกหวาน หากปลูกในพื้นที่สูงจะมีรสหวานมากขึ้น เหมาะต่อการบริโภคสด

5. เนียวโฮ (Nyoho) เหมาะต่อการบริโภคผลสด รสชาติพอเหมาะระหว่างความเปรี้ยวและหวาน กลิ่นหอม เนื้อแข็งปานกลาง แต่ยังมีการปลูกน้อย

6. เซลวา (Selva) เหมาะต่อการบริโภคสดและแปรรูป เนื้อแข็ง รสชาติไม่ค่อยดี ยังมีการปลูกน้อยมาก

ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ (สังคม, 2532)

สตรอเบอรี่เป็นไม้ผลล้มลุกอายุหลายปี (perennial plant) มีขนาดเล็ก ชอบอากาศหนาวเย็น ลำต้นของสตรอเบอรี่ เรียกว่า crown ซึ่งมีลักษณะเป็นข้อ ตามข้อจะมีตาหลายชนิด ได้แก่ ตาที่เจริญไปเป็นใบ ตาที่เจริญไปเป็นลำต้นแขนง (branch crown) ตาที่เจริญไปเป็นช่อดอก และตาที่เจริญไปเป็นไหล โดยไหลสามารถเจริญเป็นต้นสตรอเบอรี่ใหม่และเกิดรากได้ ใบเป็นแบบประกอบ มี 3 ใบย่อย (trifoliate) หรือบางครั้งอาจเป็นแบบ unequally imparipinnate คือ ใบย่อยข้าง ๆ ทั้งคู่ ซึ่งปกติมีขนาดเล็กกว่าใบย่อยกลางเล็กน้อย มีขนาดเล็กกว่าใบย่อยปกติมาก รูปร่างของแผ่นใบย่อยเป็นรูปไข่ ก้านช่อดอก (scape) มักมีความยาวใกล้เคียงกับก้านใบ

สตรอเบอรี่มีการออกดอกเป็นแบบ polygamodioecious คือ มีทั้งดอกตัวผู้ ดอกตัวเมีย และดอกสมบูรณ์เพศ โดยจะมีดอกตัวผู้และดอกสมบูรณ์เพศอยู่บนต้นหนึ่ง และอีกต้นหนึ่งเป็นดอกตัวเมียกับดอกสมบูรณ์เพศ จะไม่พบต้นสตรอเบอรี่ที่มีดอกสมบูรณ์เพศหรือมีทั้งดอกตัวผู้และดอกตัวเมียอยู่บนต้นเดียวกัน ดอกตัวผู้มีขนาดใหญ่กว่าและแผ่บานออกมากกว่าดอกตัวเมีย ดอกมักมีกลีบดอกสีขาวจำนวน 5 กลีบ ส่วนดอกที่อยู่กลางช่อดอกมักมีกลีบดอก 6-8 กลีบ ดอกกลางช่อดอกนี้จะมีขนาดใหญ่กว่าและบานก่อนดอกที่อยู่ถัดออกมา แต่ละดอกมีเกสรตัวผู้มีประมาณ 20 อันหรือน้อยกว่านี้ ฐานรองดอกมีรูปร่างกลมหรือเป็นรูปกรวยเพื่อรองรับเกสรตัวเมียจำนวนมาก รังไข่วางอยู่บนฐานรองดอก (receptacle) เมื่อไข่ได้รับการผสมจะกระตุ้นให้ฐานรองดอกขยายตัวออกและฉ่ำน้ำ เจริญไปเป็นผลแบบรวมหรือผลกลุ่ม (aggregate fruit) โดยผลย่อยแต่ละผลเรียกว่า achene มีเมล็ดอยู่บนผิวของผลรวม เมื่อผลรวมสุกจะมีสีแดง มีกลิ่นหอม และมีรสหวานอมเปรี้ยว

การเจริญเติบโตของสตรอเบอรี่

สตรอเบอรี่เป็นไม้ผลที่มีถิ่นกำเนิดหรือปรับปรุงขึ้นมาจากพันธุ์พ่อแม่ที่มีถิ่นกำเนิดในเขตหนาวหรือในบริเวณอบอุ่นของเขตหนาว ดังนั้น จึงมีอุปนิสัยเช่นเดียวกับไม้ผลที่มีถิ่นกำเนิดในเขตนี้ คือ ต้องมีการพักตัวในฤดูหนาว เพื่อให้อุณหภูมิต่ำของฤดูหนาวกระตุ้นหรือ ชักนำให้เกิดการสร้างฮอร์โมนสำหรับการเจริญเติบโตและ/หรือทำลายฮอร์โมนที่ยับยั้งการเจริญเติบโต (ชูพงษ์, 2530) เมื่อได้รับอุณหภูมิต่ำพอเพียง สตรอเบอรี่ก็จะแตกตาออกมาเพื่อการเจริญเติบโต อุณหภูมิที่เหมาะสมในการกระตุ้นเพื่อทำลายการพักของตา คือ ประมาณ 7.2 องศาเซลเซียส โดยต้องการอุณหภูมิระดับนี้นานประมาณ 200 ถึง 350 ชั่วโมง ซึ่งขึ้นกับพันธุ์ที่ปลูก เมื่อต้นสตรอเบอรี่ได้รับอุณหภูมิและความยาวนานที่ระดับนี้อย่างเพียงพอ จะให้ผลผลิตมีคุณภาพดีในปริมาณสูง ต้นที่ได้รับอุณหภูมิต่ำไม่เพียงพอจะให้ผลผลิตต่ำ และเจริญทางกิ่งใบมากกว่า แต่ถ้าได้รับอุณหภูมิต่ำมากก็

จะเป็นอันตรายต่อต้นสตรอเบอรี่ โดยปกติใบของสตรอเบอรี่จะทนอุณหภูมิได้ต่ำถึง –9 องศาเซลเซียส ส่วนของลำต้นและรากจะทนอุณหภูมิได้ต่ำกว่านี้ แต่ถ้าอุณหภูมิมีการเปลี่ยนแปลงแตกต่างกันมาก ก็จะทำลายทำลายลำต้นและราก ตาของสตรอเบอรี่ที่ผ่านพ้นการพักตัวมาแล้วนั้นจะแตกออกมาเพื่อเจริญเติบโตเป็นส่วนต่าง ๆ ต่อไป ได้แก่ ช่อดอก และไหล ส่วนตาที่จะเจริญไปเป็นรากนั้น อาจแตกออกมาได้ โดยไม่จำเป็นต้องผ่านการพักตัวก็ได้ (สังคม, 2532)

การติดผลและพัฒนาการของผล

ดอกสตรอเบอรี่พันธุ์ปลูกในปัจจุบันจะเป็นดอกสมบูรณ์เพศที่มีเกสรตัวเมียเป็นจำนวนมาก ซึ่งการถ่ายละอองเกสร การปฏิสนธิ และพัฒนาการที่ดีของเมล็ดจะทำให้ได้ผลสตรอเบอรี่ที่มีขนาดใหญ่ มีรูปทรงที่เป็นปกติ ถ้าเกสรตัวเมียบริเวณใดบริเวณหนึ่งไม่ได้รับการผสมเกสร หรือเกิดการผสมแล้วแต่เมล็ดมีพัฒนาการไม่สมบูรณ์ ก็จะได้ผลสตรอเบอรี่ที่เรียกว่าหน้าแมว (catface) คือ ผลเสียรูปทรงไป เนื่องจากส่วนของผลบริเวณนั้นไม่มีการเจริญเติบโต เป็นผลให้ได้รับผลผลิตต่ำตามไปด้วย แต่ถ้าดอกได้รับการถ่ายละอองเกสร การปฏิสนธิ และเมล็ดมีพัฒนาการที่ดีสมบูรณ์แล้ว ก็จะได้ผลรูปทรงดี มีผลผลิตสูงตามไปด้วย (ชูพงษ์, 2530) การถ่ายละอองเกสรของสตรอเบอรี่เกิดขึ้นโดยอาศัยลมและแมลง แมลงที่เป็นตัวพาละอองเกสรที่ดีที่สุดของดอกสตรอเบอรี่ คือ ผึ้ง ซึ่งจะทำงานได้ดีในสภาพที่เย็นชื้นและลมสงบ (สังคม, 2532)

หลังจากติดเป็นผลแล้ว ผลรวมจะมีการแบ่งเซลล์ ขยายขนาดเซลล์ และสร้างช่องว่างระหว่างเซลล์อย่างต่อเนื่อง ทำให้ผลมีขนาดใหญ่ขึ้นและน้ำหนักมากขึ้น การเจริญเติบโตของผลสตรอเบอรี่มีรูปแบบเป็น simple sigmoid curve โดยเป็นการเพิ่มและขยายขนาดของเซลล์ และมีการแบ่งเซลล์เพื่อเพิ่มจำนวนเซลล์อย่างต่อเนื่อง นับตั้งแต่ระยะพร้อมรับการผสม (anthesis) โดยพบว่า เมล็ดจะเป็นแหล่งสร้างฮอร์โมนที่จำเป็นต่อการเจริญของผล ซึ่งได้แก่ ฮอร์โมนในกลุ่มออกซิน (auxins) การใช้ฮอร์โมนออกซินในระดับความเข้มข้นที่เหมาะสม จะช่วยส่งเสริมการเจริญของผล ทำให้ผลมีขนาดใหญ่ขึ้นได้ (สุรพงษ์, 2526)

ระยะเวลาที่ใช้ในการพัฒนาของผลจะแตกต่างกันไปตามพันธุ์ปลูก พื้นที่ปลูก และช่วงเวลาที่ปลูก สตรอเบอรี่ที่ปลูกในประเทศไทย เช่น พันธุ์ Tioga ที่ปลูกช่วงต้นเดือนตุลาคม ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่ปลูกแล้วสามารถให้ผลผลิตได้เร็วที่สุดบนพื้นราบในจังหวัดเชียงใหม่จะออกดอกประมาณกลางเดือนธันวาคม และสามารถเก็บเกี่ยวผลได้ประมาณกลางเดือนมกราคม ระยะเวลาในการพัฒนาผลนับตั้งแต่ดอกบานไปจนถึงผลสุกจะใช้เวลาประมาณ 25-30 วัน บนพื้นราบจังหวัดเชียงรายจะออกดอก และเก็บเกี่ยวล่าออกไปอีกเล็กน้อย แต่ถ้าปลูกบนที่สูงตามภูเขาในจังหวัดเชียงใหม่ในระยะเวลาเดียวกัน ต้นสตรอเบอรี่จะออกดอกล่ามาก และพัฒนาการของผลจะใช้เวลา

ประมาณ 40-45 วัน การที่ผลสตรอเบอรี่มีพัฒนาการบนพื้นราบเร็วกว่าบนที่สูงนั้น เนื่องจากในระยะเวลาเดียวกัน บนพื้นราบมีสภาพอบอุ่นกว่า ทำให้ขบวนการต่าง ๆ เกิดได้เร็ว เป็นผลให้สตรอเบอรี่บนพื้นราบมีการเจริญเติบโตเร็วกว่า ผลจึงสุกได้เร็วกว่าบนที่สูง ส่วนบนพื้นราบด้วยกันนั้น สตรอเบอรี่ที่ปลูกในพื้นที่ที่อยู่บนเส้นศูนย์สูตรมากกว่าผลจะสุกได้เร็วกว่า (สังคม, 2532)

รูปร่างของผลสตรอเบอรี่โดยทั่วไป อาจดูได้จากรูปร่างของฐานดอก จากตาดอกขนาดเล็กรูปร่างของผลในช่อผล ขึ้นอยู่กับตำแหน่งของผลในช่อ ผลแรกซึ่งมีขนาดใหญ่มักมีรูปร่างที่ไม่แน่นอน ทรงของผลมักจะกว้างและแบนเป็นรูปลิ่ม ผลต่อ ๆ มามักมีรูปร่างค่อนข้างคงที่ อย่างไรก็ตาม รูปร่างของผลอาจมีผลกระทบอันเนื่องมาจากสภาพดินฟ้าอากาศ (ชูพงษ์, 2530)

การเก็บเกี่ยว

สตรอเบอรี่จะให้ผลผลิตในช่วงระยะเวลาประมาณ 45-60 วันตั้งแต่เริ่มเพาะปลูก แต่ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับอายุของต้นกล้าด้วย การเก็บเกี่ยวจะเริ่มตั้งแต่เดือนธันวาคมเป็นต้นไป และทยอยเก็บเกี่ยวผลผลิตไปจนถึงประมาณเดือนมีนาคม ช่วงเวลาของสตรอเบอรี่โดยเฉลี่ยตั้งแต่เพาะปลูกจนถึงเก็บเกี่ยวครั้งสุดท้ายประมาณ 6 เดือน (สำนักงานพาณิชย์ จังหวัดเชียงใหม่, 2537)

ดัชนีในการเก็บเกี่ยวของสตรอเบอรี่ที่นิยมใช้กัน คือ การดูสีของผล โดยทั่วไปแล้ว ผลสตรอเบอรี่จะเก็บเกี่ยวได้เมื่อมีสีแดงหรือสีชมพูตั้งแต่ 60 เปอร์เซ็นต์ของผลขึ้นไป ถึงแม้ว่าสตรอเบอรี่เป็นผลไม้ประเภท non-climacteric แต่ก็สามารถมีสีแดงเพิ่มขึ้นภายหลังการเก็บเกี่ยวได้ (สังคม, 2532) ดังนั้นผลสตรอเบอรี่ที่เก็บเกี่ยวในระยะที่ยังไม่แดงทั้งผล จะมีสีแดงพอดีเมื่อถึงตลาดปลายทางได้ การเก็บเกี่ยวผลสตรอเบอรี่ที่มีผิวสีแดง 100 เปอร์เซ็นต์จะทำให้เกิดการชอกช้ำ ผลเละและมีเชื้อราเข้าทำลายระหว่างการขนส่งได้ง่าย (ประสาทพร และคนัย, 2543) การที่จะเก็บเกี่ยวผลสตรอเบอรี่ในระยะใดนั้น จะขึ้นกับความต้องการของตลาด ถ้าเป็นตลาดบริโภคสดหรือตลาดในท้องถิ่นจะเก็บเกี่ยวเมื่อมีสีแดงประมาณ 61-80 เปอร์เซ็นต์ แต่ถ้าเป็นตลาดที่อยู่ห่างไกลจะเก็บเกี่ยวที่ระยะมีสีแดงประมาณ 21-40 เปอร์เซ็นต์ (ชูพงษ์, 2530) การ เก็บเกี่ยวผลสตรอเบอรี่มีข้อกำหนดในเชิงคุณภาพตามมาตรฐานของมูลนิธิโครงการหลวง จังหวัดเชียงใหม่ ดังนี้ (ประสาทพร และคนัย, 2543)

ข้อกำหนดเชิงคุณภาพของสตรอเบอรี่เพื่อโรงงานอุตสาหกรรม

1. สตรอเบอรี่มีรูปทรงของผลเป็นปกติ ไม่บิดเบี้ยว
2. มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของผลไม่ต่ำกว่า 2 เซนติเมตร
3. มีความยาวของก้านผลไม่เกิน 1.5 เซนติเมตร
4. ผลไม่มีอาการเน่า ช้ำ หรือเสียหายเพราะถูกทำลายจากโรคและแมลง
5. สีของผลมีสีแดง หรือสีชมพู มีส่วนสีขาวได้ไม่เกิน 1/5 ของผล

ข้อกำหนดเชิงคุณภาพของสตรอเบอรี่เพื่อตลาดบริโภคสด

1. สตรอเบอรี่มีรูปทรงของผลเป็นปกติ ไม่บิดเบี้ยว
2. มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของผลตั้งแต่ 2.5 เซนติเมตร
3. ผลไม่มีอาการเน่า ช้ำ หรือเสียหายเพราะถูกทำลายจากโรคและแมลง
4. สีของผลมีสีชมพู ไม่ปล่อยให้สุกจนเป็นสีแดง

การเก็บ (picking) ผลสตรอเบอรี่ ควรทำการเก็บเกี่ยวในตอนเช้าถึงตอนสาย ซึ่งเป็นช่วงที่แสงแดดยังไม่แรง และยังมีอุณหภูมิไม่สูงนัก (กองพัฒนาเกษตรที่สูง, 2543) การเก็บผลจึงต้องมีขั้นตอนหรือวิธีการกระทำด้วยความระมัดระวัง เนื่องจากสตรอเบอรี่เป็นผลไม้ที่ชอกช้ำและเสียหายได้ง่าย การเก็บผลทำได้โดยใช้มือเด็ดผลออกจากขั้ว หรือใช้กรรไกรขนาดเล็กตัดขั้วผล ภาชนะที่ใช้บรรจุสตรอเบอรี่ขณะเก็บผลในแปลง ควรใช้ตะกร้าที่มีความโปร่ง มีขนาดที่เหมาะสม และไม่ควรบรรจุสตรอเบอรี่มากเกินไป เพราะจะเกิดการกดทับทำให้ผลสตรอเบอรี่ช้ำ หลังจากเก็บเกี่ยวแล้วจะต้องทำการรวบรวมผลสตรอเบอรี่ที่เก็บได้มาคัดแยกคุณภาพ และส่งขายให้เร็วที่สุด โดยทั่วไปการคัดเกรด (grading) ผลสตรอเบอรี่ก่อนการจำหน่าย ทำให้ได้ราคาสูงขึ้น ปริมาณของแต่ละเกรดที่คัดได้จะมากหรือน้อย ขึ้นอยู่กับความสม่ำเสมอและคุณภาพของผล ผลที่สุกเกินไป มีสีเขียว ขนาดเล็ก และมีรูปร่างผิดปกติ ควรคัดออกก่อนการบรรจุในภาชนะบรรจุ (ประสาทพร และคนัย, 2543)

หากยังไม่สามารถทำการคัดเกรดในขณะที่เก็บเกี่ยวพร้อมกันในแปลงได้ ซึ่งจะต้องอาศัยความชำนาญและภาชนะที่พร้อม ผลผลิตที่เก็บแล้วควรรีบนำมาคัดเกรดในที่ร่ม และมีการสัมผัสกับมือน้อยครั้งที่สุด เพื่อไม่ให้ผิวของผลเกิดความชอกช้ำมากขึ้น จนอาจกลายเป็นผลตกเกรดได้ ในปัจจุบัน มูลนิธิโครงการหลวงได้แบ่งเกรดผลสตรอเบอรี่ที่ใช้รับประทานสดเป็นเกรดต่าง ๆ ตามน้ำหนักของผล ดังนี้ (กองพัฒนาเกษตรที่สูง, 2543)

เกรดพิเศษ (Extra)	น้ำหนักผลมากกว่า 25 กรัมขึ้นไป
เกรด 1	น้ำหนักผลระหว่าง 15-25 กรัม
เกรด 2	น้ำหนักผลระหว่าง 11-15 กรัม
เกรด 3	น้ำหนักผลระหว่าง 9-11 กรัม
เกรด 4	น้ำหนักผลระหว่าง 7-9 กรัม

(เกรด 4 จัดเป็นเกรดที่จัดเข้าโรงงานเพื่อทำการแปรรูป)

สำหรับในตลาดสดและร้านจำหน่ายทั่ว ๆ ไปจะชั่งเป็นน้ำหนัก และมีการแบ่งเกรดเพียงผลเล็กหรือใหญ่ ส่วนผลสตรอเบอรี่ที่จำหน่ายส่งเข้าโรงงานเพื่อแปรรูปนั้นควรมีเส้นผ่าศูนย์กลางอย่างน้อย 2.5 เซนติเมตร (ประสาทพร และคนัย, 2543)

การปฏิบัติภายหลังการเก็บเกี่ยว

สตรอเบอรี่เป็นผลไม้ประเภท non-climacteric ดังนั้น การเก็บเกี่ยวเมื่อผลยังไม่อยู่ในระยะที่แก่เพียงพอ เมื่อนำมาบ่มก็ไม่อาจช่วยให้รสชาติดีขึ้นได้ (ชูพงษ์, 2530) การพิจารณาการเก็บเกี่ยวโดยวิธีดูสีของผลดังที่ใช้กันในปัจจุบัน จะต้องคำนึงถึงสภาพบรรยากาศแวดล้อมด้วย ในสภาพที่อุณหภูมิสูงกว่า จะทำให้สีแดงของผลสตรอเบอรี่พัฒนาได้เร็วขึ้นทั้ง ๆ ที่ยังแก่ไม่เพียงพอ (สุรพงษ์, 2526) และเมื่อเก็บเกี่ยวมาแล้ว รสชาติของผลจะอยู่ ณ ระดับเมื่อเก็บเกี่ยวมา ไม่เปลี่ยนแปลงในการลดปริมาณกรดและเพิ่มปริมาณน้ำตาล ดังที่เกิดขึ้นในผลไม้พวกที่บ่มสุกได้ (climacteric fruit) (สังคม, 2532)

ปัญหาที่พบกับผลสตรอเบอรี่ภายหลังการเก็บเกี่ยวที่สำคัญ คือ การชอกช้ำของผลในระหว่างการเก็บรักษา และการเน่าเสียของผลในระหว่างการวางจำหน่ายหรือเก็บรักษา แต่อาจพบว่า มีการเปลี่ยนแปลงของคุณภาพผลหลังการเก็บเกี่ยวเกิดขึ้น ผลสตรอเบอรี่สำหรับรับประทานสด ที่ทำการคัดเกรดแล้วบรรจุลงในภาชนะบรรจุ ซึ่งเป็นถาดพลาสติกใสหรือกล่องกระดาษแข็งในการขนส่ง จึงมีความจำเป็นต้องใช้รถบรรทุกที่มีเครื่องทำความเย็นจากแหล่งผลิต การเก็บรักษานั้น ต้องเก็บไว้ที่อุณหภูมิใกล้ 0 องศาเซลเซียส เล็กน้อย คือ ประมาณ 1-2 องศาเซลเซียส เพราะเชื้อรา โดยเฉพาะเชื้อ *Botrytis* sp. สามารถเจริญได้ดีในอุณหภูมิที่สูงกว่านี้ แต่หากใช้อุณหภูมิต่ำกว่า 0 องศาเซลเซียส จะทำให้เกิดผลเสียหายจากการแช่แข็ง ซึ่งจะนำมารับประทานสดไม่ได้ และควรมีความชื้นภายในห้องที่ใช้เก็บรักษาระหว่าง 85-90 เปอร์เซ็นต์ (กองพัฒนาเกษตรที่สูง, 2543)

อย่างไรก็ดี หากไม่มีการเก็บรักษาภายในห้องเย็น เช่น การจำหน่ายตามร้านค้าผลไม้ทั่วไป ทำให้เก็บรักษาผลสตรอเบอรี่ไว้ได้ไม่เกิน 3 วัน เนื่องจากสภาพอากาศของประเทศไทยจะร้อนในช่วงเวลากลางวัน เป็นสาเหตุให้คุณภาพของผลลดลงอย่างรวดเร็ว กลายเป็นสินค้าตกเกรดได้ (สุรพงษ์, 2526) การเก็บรักษาผลสตรอเบอรี่ไว้ที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 90-95 เปอร์เซ็นต์ ทำให้เก็บรักษาไว้ได้ 5-7 วัน (ประสาทพร และดนัย, 2543)

องค์ประกอบของคุณภาพผลสตรอเบอรี่

1. รูปร่าง ผลสตรอเบอรี่ที่มีคุณภาพดีจะต้องมีรูปร่างและรูปทรงตรงตามพันธุ์ มีความสวยงาม เช่น สตรอเบอรี่พันธุ์พระราชทานเบอร์ 70 ผลส่วนใหญ่มีรูปร่างแบบกรวย (conic) และกลมปลายแหลม (globose conic) (ดนัย, 2543a) เป็นต้น

2. ขนาด ขนาดของผลสตรอเบอรี่ขึ้นอยู่กับความต้องการของผู้บริโภคว่าจะเป็นตลาดบริโภคสด หรือตลาดเพื่อโรงงานอุตสาหกรรม

3. ตำหนิ ผลสตรอเบอรี่ที่ดีควรปราศจากตำหนิใด ๆ ได้แก่ รอยบาดแผล รอยที่เกิดจากการเข้าทำลายของแมลง และเชื้อจุลินทรีย์ โดยเฉพาะเชื้อรา รวมทั้งส่วนที่เจริญผิดปกติ

4. ความแน่นเนื้อ เมื่อผลสตรอเบอรี่มีขนาดโตขึ้นจะมีความแน่นเนื้อเพิ่มขึ้น เนื่องจากมีผนังเซลล์แข็งแรง ผลสตรอเบอรี่ขนาดใหญ่ มักมีความแน่นเนื้อมากกว่าผลที่มีขนาดเล็ก เนื่องจากมีน้ำในผลมาก ผลสตรอเบอรี่ที่มีอายุมากขึ้นจะมีความแน่นเนื้อลดลง การเก็บเกี่ยวผลสตรอเบอรี่ในระยะที่แก่เกินไป อาจจะส่งผลให้ผิวมีความต้านทานต่อการเสียหายทางกลลดลง จึงชอกช้ำได้ง่าย อุณหภูมิที่สูงขึ้นจะมีผลทำให้ผลสตรอเบอรี่นิ่มมากขึ้น (ประสาทพร และดนัย, 2543)

5. สี ผู้บริโภคนิยมผลสตรอเบอรี่ที่มีสีแดง การเก็บเกี่ยวผลสตรอเบอรี่ในช่วงที่มีสีแดง 100 เปอร์เซ็นต์ จะเกิดความเสียหายมากในการขนส่ง จึงต้องเก็บเกี่ยวในระยะก่อนหน้านี้ เพราะสีผิวของผลสตรอเบอรี่สามารถพัฒนาเป็นสีแดงได้ภายหลังการเก็บเกี่ยว (ชูพงษ์, 2530) สีแดงของผลสตรอเบอรี่เกิดจากรงควัตถุแอนโธไซยานิน (anthocyanin) สีแดงของผลสตรอเบอรี่นี้ จัดเป็นองค์ประกอบทางคุณภาพที่สำคัญ เพราะสามารถดึงดูดผู้บริโภคได้ดี (ดนัย, 2544)

6. น้ำตาล ผลสตรอเบอรี่เริ่มสร้างน้ำตาลได้ตั้งแต่ผลอายุ 10 วัน และเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว หลังจากนั้นปริมาณน้ำตาลจะเริ่มลดลง เมื่อผลเริ่มเข้าสู่ระยะสีแดงสุก (Forney and Breen, 1986) ระดับน้ำตาลในผลเป็นสิ่งที่บอกถึงความหวานของผลสตรอเบอรี่ ดังนั้น ผลสตรอเบอรี่ที่มีคุณภาพดี จึงต้องมีปริมาณน้ำตาลสูง (ทองใหม่ และดนัย, 2541) แต่การวัดปริมาณน้ำตาลเป็นเรื่องที่ต้องดำเนินการในห้องปฏิบัติการ แต่สามารถหาความหวานของผลสตรอเบอรี่ได้โดยดูจากค่าของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ ซึ่งวัดได้โดยใช้เครื่อง refractometer ซึ่งวัดความสัมพันธ์ระหว่างการหักเหของแสงผ่านสารละลายกับความเข้มข้นของน้ำตาลในน้ำคั้นของผลไม้ อย่างไรก็ตาม ค่าที่วัดได้นี้ไม่ใช่ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดเพียงแต่อย่างเดียว นอกเหนือจากน้ำตาลซึ่งละลายน้ำได้แล้ว สารอื่น ๆ ในผลสตรอเบอรี่ เช่น กรดอินทรีย์ ก็มีผลต่อการหักเหของแสงเหมือนกัน ดังนั้น ค่าที่อ่านได้จึงไม่ใช่ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด แต่เป็นสารอื่นด้วย ค่าที่ได้จึงเป็นปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ (soluble solids content) ไม่ใช่ค่าความหวาน หรือปริมาณน้ำตาล (จริงแท้, 2538)

7. กรดอินทรีย์ กรดอินทรีย์ที่พบในผลสตรอเบอรี่ส่วนใหญ่ คือ กรดซิตริก (citric acid) (สังคม, 2532) ความสมดุลของกรดและน้ำตาลในผล จะมีผลกระทบโดยตรงต่อรสชาติ คือ ถ้าปริมาณกรดมากจะเปรี้ยว ปริมาณของกรดในผลไม้จะเพิ่มขึ้นถึงจุดสูงสุดระหว่างการเจริญเติบโตและพัฒนาขณะอยู่บนต้น เนื่องจากกระบวนการของ Krebs cycle ที่เกิดขึ้นในเซลล์ของพืชชั้นสูง (Forney and Breen, 1986) ปริมาณของกรดจะลดลงเมื่อผลสตรอเบอรี่มีอายุมากขึ้น (ดนัย และนิธิยา, 2535) และระหว่างช่วงเวลาของการสุก (สายชล, 2528)

8. วิตามินซี ผลไม้นั้นนับเป็นแหล่งที่สำคัญของวิตามินและเกลือแร่ ดังนั้น ผลสตรอเบอรี่ที่มีวิตามินซีสูงจะมีคุณภาพดีกว่าผลที่มีวิตามินซีต่ำ ปกติผลที่เริ่มแก่จะมีปริมาณวิตามินซีลดลงพร้อม ๆ กับการลดลงของกรดอินทรีย์ ภายหลังการเก็บเกี่ยว วิตามินซีจะสูญเสียไปอย่างรวดเร็ว โดยเฉพาะภายใต้สภาพที่มีอุณหภูมิสูง การเก็บรักษาและขนส่งผลสตรอเบอรี่ภายใต้อุณหภูมิต่ำจะชะลอการสูญเสียวิตามินซีได้ (ประสาทพร และดนัย, 2543)

9. กลิ่น ผลสตรอเบอรี่ที่มีกลิ่นหอมจะดึงดูดผู้บริโภคได้ดีกว่าผลที่ไม่มีกลิ่นหรือมีกลิ่นน้อย ปริมาณของสารที่ให้กลิ่นซึ่งได้แก่ สารระเหย (volatiles) และเอสเทอร์ (ester) จะขึ้นอยู่กับพันธุ์และระยะความแก่ของผล (ชูพงษ์, 2530)

10. ความปลอดภัยในการบริโภค ในปัจจุบัน ความตื่นตัวถึงสารพิษตกค้างในผลิตผลทางการเกษตรมีมากขึ้น ผู้บริโภคบางส่วนหันไปหาซื้อผักและผลไม้ซึ่งผลิตขึ้นโดยไม่มีการใช้สารเคมีสังเคราะห์ ในแง่นี้ผลิตผลที่ปลอดสารพิษ จึงถือว่าเป็นผลิตผลที่มีคุณภาพดีกว่าผลิตผลซึ่งผลิตตามวิธีปกติ (จริงแท้, 2538)

โรคหลังการเก็บเกี่ยวของผลสตรอเบอรี่ (ประสาทพร และคนัย, 2543)

1. โรคเน่าราสีเทา (gray mold หรือ ash mold)

เชื้อสาเหตุ *Botrytis cinerea*

ลักษณะอาการ อาการเน่าจะเริ่มจากส่วนใดของผลสตรอเบอรี่ก็ได้ แต่มักจะพบว่าเริ่มจากขั้วผลหรือส่วนของผลที่ติดอยู่กับผลเน่าอื่น เชื้อจะสร้างเส้นใยและสปอร์สีเทาจำนวนมาก ในสภาพความชื้นสูง อาจจะพบเส้นใยสีขาวจำนวนมากโดยไม่มีสปอร์ ในสภาพแวดล้อมบางสภาพ เชื้อราอาจจะสร้างสเคลอโรเตียมสีดำ (black sclerotium)

2. โรคแอนแทรคโนส (anthracnose fruit rot)

เชื้อสาเหตุ *Colletotrichum dematium*, *C. fragariae*, *C. gloeosporoides* และ *C. acutatum*

ลักษณะอาการ เกิดจุดฉ่ำน้ำสีน้ำตาลอ่อน รูปร่างกลม ต่อมาแผลเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลเข้ม แผลจะยุบตัวลงบนผิวของผล ทั้งผลดิบและผลสุก ในสภาพที่มีความชื้นสูง ตรงกลางแผลจะมีกลุ่มของสปอร์สีชมพูซึ่งถูกสร้างขึ้นมา เนื้อเยื่อที่ถูกเข้าทำลายจะมีลักษณะแข็ง แห้ง และอาจจะแห้งติดคาต้น (mummy)

3. โรคผลเน่าที่เกิดจากเชื้อ *Rhizopus* (*Rhizopus* rot หรือ leak)

เชื้อสาเหตุ *Rhizopus* spp. แต่ส่วนใหญ่พบ *R. stolonifer*

ลักษณะอาการ ผลที่ถูกเชื้อราเข้าทำลายจะเปลี่ยนสีเล็กน้อย แล้วค่อย ๆ เปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล เนื้อเยื่อจะนิ่มและยุบตัวลงอย่างรวดเร็ว มักจะมีของเหลวไหลออกมาจากผล ภายใต้สภาพความชื้นสูง เชื้อราจะสร้างเส้นใยสีขาวและมีสปอร์แรงเจีย (sporangia) สีดำปกคลุมผล

4. โรคเน่าที่เกิดจากเชื้อราชั้นต่ำ

เชื้อสาเหตุ *Phytophthora fragariae*

ลักษณะอาการ พบอาการช้ำบริเวณผล แต่เนื้อไม่เละ มีสีน้ำตาลอ่อนเกิดเป็นบริเวณกว้าง แล้วขยายทั่วไปทั้งผล ผลแก่สีซีดลง เมื่อผ่าตามยาวของผลจะพบท่อลำเลียงภายในผลถูกทำลายกลายเป็นสีน้ำตาล เมื่อมีความชื้นสูงจะมีเส้นใยสีขาวขึ้นคลุมผล

5. โรคราแป้ง

เชื้อสาเหตุ *Sphaerotheca macularis*

ลักษณะอาการ เชื้อจะสร้างเส้นใยสีขาวปกคลุมผล พบได้มากในพันธุ์ที่อ่อนแอต่อโรค ทำให้เนื้อของผลไม่แน่น เนื้อเละ และรสชาติไม่ดี (กองพัฒนาเกษตรที่สูง, 2543)

สาเหตุสำคัญที่ทำให้ผลสตรอเบอรี่เกิดการเน่าเสียได้ง่ายภายหลังการเก็บเกี่ยวก็คือเชื้อรา ซึ่งได้แก่ *Botrytis cinerea* และ *Rhizopus* sp. (Barkai-Golan, 1981; Mass, 1981) การเข้าทำลายผลิตผลที่เป็นพืชอาศัยโดยเชื้อรา จะมีการปลดปล่อยเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการย่อยสลายของเพคติน (pectin degrading enzymes) ซึ่งเป็นองค์ประกอบของผนังเซลล์พืช การเข้าทำลายพืชอาศัยโดยเชื้อ *B. cinerea* พบว่ามีการปล่อยเอนไซม์ polygalacturonase (PGs) ออกมาเพื่อย่อยผนังเซลล์ของพืช (Rha *et al.*, 2001) เมื่อเข้าสู่พืชอาศัยแล้ว เชื้อ *B. cinerea* จะสร้างเอทธิลีน (ethylene) ซึ่งเป็นฮอร์โมนที่เกี่ยวข้องกับการเสื่อมสภาพของผลิตผล ปลดปล่อยออกมา ทำให้ผลิตผลเกิดการเน่าเสียอย่างรวดเร็ว (Qadir *et al.*, 1996) ตรงบริเวณที่เกิดอาการเน่าเละ (soft rot) มีการสร้างสารพิษ (phytotoxin) ที่มีชื่อว่า botrydial และชักนำให้เกิดการสร้างอนุมูลอิสระ (free radical) ในบริเวณเนื้อเยื่อของพืชที่เน่าเละ (Muckenschnabel *et al.*, 2001) เชื้อ *B. cinerea* จะเข้าทำลายผลสตรอเบอรี่ในช่วงก่อนการเก็บเกี่ยว และแสดงอาการของโรคในช่วงหลังการเก็บเกี่ยว ก่อให้เกิดอาการเน่าเสียอย่างรุนแรงในผลสตรอเบอรี่ และลุกลามไปยังผลที่อยู่ข้างเคียง เนื่องจากเป็นเชื้อที่แพร่กระจายอยู่ในอากาศ (ประเทือง, 2538)

การป้องกันและกำจัด จึงเป็นเรื่องที่สำคัญอย่างยิ่งในการควบคุมโรค การเก็บรักษาผลสตรอเบอรี่ที่อุณหภูมิต่ำใกล้จุดเยือกแข็ง จะทำให้เชื้อ *B. cinerea* เจริญได้ช้าลง แต่ยังสามารถมีชีวิตอยู่ได้ เมื่อนำผลสตรอเบอรี่ออกนอกห้องเย็น เชื้อก็จะฟื้นตัว ทำให้การพัฒนาของโรคเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว (Mitcham *et al.*, 1998) สารระเหยที่สกัดได้จากพืชหลายชนิดมีคุณสมบัติในการยับยั้งการเจริญของเชื้อ *B. cinerea* Meir *et al.* (1998) รายงานว่า การใช้สารเมทธิลจัสโมเนท (methyl jasmonate) ที่ความเข้มข้น 200 ไมโครโมล (μM) สามารถลดการเน่าของกุหลาบตัดดอก เนื่องจากการเข้าทำลายของเชื้อ *B. cinerea* ได้ และที่ความเข้มข้น 400 ไมโครโมล สามารถยับยั้งการงอกของสปอร์และ germ tubes ได้ สำหรับการศึกษาจำนวนประชากร (microbial populations) ของเชื้อ *B. cinerea* ที่ทำการปลูกถ่ายเชื้อ (inoculated) ลงในผลสตรอเบอรี่ ภายหลังการรมสาร (E)-2-hexanol ให้แก่ผลสตรอเบอรี่ที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 วัน พบว่า การรมด้วยความเข้มข้น 10 และ 100 ไมโครลิตร สามารถควบคุมการเพิ่มประชากรของเชื้อได้ ทำให้สามารถชะลอการเน่าเสียและยืดอายุการเก็บรักษาผลสตรอเบอรี่ได้ (Ntirampemba *et al.*, 1998) Flamini *et al.* (1999) รายงานว่าสาร pulegone ที่มีอยู่ในน้ำมันหอมระเหย (essential oil) ซึ่งสกัดได้จาก *Calamintha nepeta* พบว่า มีคุณสมบัติยับยั้งการเจริญของเชื้อ *B. cinerea* ได้ ส่วนน้ำมันหอมระเหยที่สกัดได้จาก *Thymus capitatus* ซึ่งประกอบด้วยสาร carvacrol พบว่า มีคุณสมบัติในการยับยั้งการเจริญของเชื้อ *B. cinerea* ได้เช่นกัน เมื่อใช้ที่ความเข้มข้น 250 พีพีเอ็ม (Arras and Usai, 2001) การรมด้วยไอของน้ำส้มสายชู (vinegar vapor) ที่มีความเข้มข้นของกรดอะซิติก (acetic acid)

4.2 ถึง 6.0 เปอร์เซ็นต์ (2.5 ถึง 3.6 โมลต่อลิตร) ในการรมผลสตรอเบอรี่และแอปเปิ้ล พบว่าสามารถชะลอการเกิด gray mold rot ที่เกิดจากเชื้อ *B. cinerea* ได้ (Sholberg *et al.*, 2000) Archbold *et al.* (1997) รายงานว่า การใช้ benzaldehyde, hexanol, methyl benzoate, methyl salicylate, 2-nonanone, 2-hexanol diethyl acetal และ E-2-hexen-1-ol มีผลในการยับยั้งการเจริญของเชื้อ *B. cinerea* ที่ความเข้มข้น 50 พีพีเอ็ม

Rhizopus sp. เป็นเชื้อที่อยู่ในดิน สามารถเข้าทำลายสตรอเบอรี่ได้ทั้งระยะก่อนและหลังการเก็บเกี่ยว (ประเทือง, 2538) สารระเหยที่สกัดได้จากพืชหลายชนิด สามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อชนิดนี้ได้ Bhaskara Reddy *et al.* (1997) รายงานว่า น้ำมันหอมระเหย (essential oil) ที่สกัดได้จาก *Thymus vulgaris* พบว่า ที่ความเข้มข้น 50 ถึง 200 พีพีเอ็ม สามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อ *Rhizopus stolonifer* และ *B. cinerea* ได้ ส่วนสารสกัดที่ได้จากใบของ *Annona cherimola*, *Bromelia hemisphaerica* และ *Carica papaya* สามารถชะลอการเจริญของเส้นใย รวมทั้งยับยั้งการสร้างสปอร์ (sporulation) และการงอกของสปอร์ (spore germination) ของเชื้อ *Rhizopus stolonifer* ได้เมื่อใช้ในช่วงความเข้มข้น 5100 พีพีเอ็ม (Bautista-Banõs *et al.*, 2000)

สำหรับการใช้ pyrrolnitrin ความเข้มข้น 250 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถชะลอการเกิด *Rhizopus* rot (leak) และ gray mold rot ของผลสตรอเบอรี่ที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 1 องศาเซลเซียสได้ แต่ไม่สามารถยับยั้งการพัฒนาของโรคในผลสตรอเบอรี่ที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียสได้ (Takeda *et al.*, 1990) Lattanzio *et al.* (1996) รายงานว่า การใช้ 2,5-dimethoxybenzoic (DMB) acid ความเข้มข้น 0.005 โมล สามารถยับยั้งการเจริญของเส้นใยและการงอกของสปอร์ของเชื้อ *Rhizopus stolonifer* และ *B. cinerea* ในผลสตรอเบอรี่ที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 3 และ 20 องศาเซลเซียสได้ ส่วนการรม nitrous oxide (N_2O) ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ร่วมกับก๊าซออกซิเจน (O_2) ที่มีความเข้มข้น 20 เปอร์เซ็นต์ ให้แก่ผลฝรั่งที่เก็บรักษาไว้ที่ อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส และผลสตรอเบอรี่ที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 2 องศาเซลเซียส พบว่า ประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญของเชื้อ *Rhizopus stolonifer* ในผลฝรั่ง และ *B. cinerea* ในผลสตรอเบอรี่ ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นและระยะเวลาในการรมสาร ซึ่งการรม nitrous oxide ด้วยความเข้มข้น 80 เปอร์เซ็นต์ ร่วมกับก๊าซออกซิเจน (O_2) 20 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 6 วัน สามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อได้ดีที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับชุดการทดลองที่ใช้ความเข้มข้น 10, 30 และ 50 เปอร์เซ็นต์ และรมเป็นเวลา 2 และ 4 วัน (Qadir and Hashinaga, 2000)

เอลิล ไอโซไธโอไซยาเนท (Barolo, 1996)

ชื่อสามัญ : เอลิล ไอโซไธโอไซยาเนท (allyl isothiocyanate; AIT)

DOT Number : UN 1545 (Stabilized)

NAERG Code : 155

CAS Number : 57-06-7

สูตรโมเลกุล : C_4H_5NS

สูตรโครงสร้าง : CH_2=$CHCH_2N$=C=S

น้ำหนักโมเลกุล : 99.15

ลักษณะปรากฏ : เป็นน้ำมัน (oily liquid) ไม่มีสี หรือสีเหลืองอ่อน

จุดหลอมเหลว : -80 องศาเซลเซียส

จุดเดือด : 151 องศาเซลเซียส

จุดติดไฟ (Flash point) : 46 องศาเซลเซียส

ความดันไอ : 5 มิลลิเมตรของปรอทที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

ความหนาแน่นไอ : 3.4 (air = 1)

ความหนาแน่น (กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร) : 1.014

การละลายน้ำ : ไม่ละลายในน้ำ หรืออาจละลายได้แต่น้อยมาก

เอลิลไอโซไธโอไซยาเนท หรือ AIT เป็นสารประกอบที่มีอยู่ในสารระเหย (volatiles) โดยเฉพาะอย่างยิ่งน้ำมันหอมระเหย (essential oils) ที่สกัดได้จากพืชที่ใช้เป็นเครื่องเทศ (spices) หลายชนิด เช่น มัสตาร์ด (mustard) วาซาบิ (wasabi) กระเทียม (garlic) horseradish อบเชย (cinnamon) กานพลู (clove) และวนิลา (vanilla) เป็นต้น มีลักษณะเป็นน้ำมัน ไม่มีสี หรือมีสีเหลืองอ่อน มีกลิ่นฉุน ในพืชตระกูลมัสตาร์ด โดยทั่วไปจะมีปริมาณของสารกลูโคซิโนเลท (glucosinolates) อยู่ในระดับสูง เมื่อสารนี้จะแตกตัว (hydrolyse) จะได้สารระเหยที่ประกอบด้วยเอลิลไอโซไธโอไซยาเนท ซึ่งสารนี้เองทำให้มัสตาร์ดและวาซาบิมีกลิ่นฉุน (Claudia *et al.*, 1998) การที่พืชมีการสร้างและปลดปล่อยสารชนิดนี้ออกมา พบว่ามีความสัมพันธ์กับการยับยั้งการเจริญของเชื้อราและเชื้อในดิน (soil pathogens) รวมทั้งการเจริญของวัชพืชอีกด้วย (Mayton *et al.*, 1995)

เอลิลไอโซไธโอไซยาเนทที่นำมาใช้ในการวิจัยเป็นชนิดที่สกัดจากเมล็ดมัสตาร์ด (*Brassica nigra*) ซึ่งมีชื่อสามัญ คือ black mustard ส่วนชื่อสามัญอื่น ๆ เช่น red mustard, brown mustard, cadlock, kerlock, senvre และ scurvy เป็นต้น มัสตาร์ดเป็นพืชดั้งเดิมในแถบเมดิเตอร์เรเนียน (Mediterranean) ในสมัยก่อนถือว่าเป็นวัชพืชในแปลงเพาะปลูก และขึ้นโดยทั่วไปตามที่รกร้างว่างเปล่า แพร่กระจายไปทั่วทุกหนทุกแห่ง โดยปะปนไปกับเมล็ดธัญพืช การใช้มัสตาร์ดเป็นเครื่องเทศมีมาตั้งแต่ในสมัยกรีก โรมัน บาบิโลเนีย (Babylonia) และในยุคเริ่มต้นของประเทศอินเดีย เริ่มนำมาใช้เป็นพืชเพาะปลูกตั้งแต่ในช่วงปี ค.ศ. 1950 (Sauer, 1993) มีลำต้นสูงตั้งแต่ 2 ถึง 6 ฟุต มีดอกสีเหลือง เมล็ดกลมเป็นสีดำหรือสีแดง การใช้ประโยชน์จากต้นมัสตาร์ด คือ นำมารับประทานเป็นผักสด ใช้เป็นเครื่องเทศ และนำเมล็ดมาสกัดน้ำมัน

ในปี 1984 ค้นพบว่าการใช้มัสตาร์ด สามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อ *Aspergillus flavus* และเชื้อราชนิดอื่น ๆ ที่พบในถั่ว (groundnuts) ได้ ซึ่งสารประกอบในมัสตาร์ดที่มีคุณสมบัติในการยับยั้งการเจริญของเชื้อคือเอลิลไอโซไธโอไซยาเนท (Tsuboi and Iwamura, 1984) Goi *et al.* (1985) ศึกษาคุณสมบัติในการยับยั้งการเจริญของเชื้อราและแบคทีเรียโดยใช้เอลิลไอโซไธโอไซยาเนทที่ได้จากเมล็ดมัสตาร์ด (*Brassica nigra* Koeh) และรากของวาซาบิ (*Wasabi japonica* Matsum.) พบว่า ปริมาณต่ำสุดที่มีผลในการยับยั้งการเจริญของเชื้อรา ซึ่งได้แก่ เชื้อ *Aspergillus niger*, *Aureobasisium pullulans*, *Botrytis cinerea, Mucor spinescens*, *Penicillium citrinum* และ *Rhizopus stolonifer* และแบคทีเรีย *Erwinia carotovora* เมื่อใช้ในรูปของสารรมหรือสภาวะที่เป็นก๊าซ คือ 0.05 ถึง 0.1 กรัมต่อลิตรของอากาศ รมเป็นเวลา 72 ชั่วโมง ซึ่งสารเอลิลไอโซไธโอไซยาเนทบางส่วนสามารถระเหยออกไปได้ ในระหว่างการเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส การทดสอบกับเชื้อข้างต้นที่เพาะเลี้ยงในอาหาร glucose-bouillon agar พบว่า การใช้ในรูปของก๊าซมีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญของเชื้อได้ดีกว่าการใช้ในรูปของของเหลว (broth agar) และปริมาณที่สามารถยืดอายุการเก็บรักษาผลิตผลชนิดต่าง ๆ ได้แก่ แครอท มะเขือเทศ ท้อ พลัม เนคทารีน มะเขือ (egg apple) แตงกวา ผักโขม กะหล่ำ ผักกาดหอม กีวี และถั่ว (kidney-bean) คือ 0.02-0.08 กรัมต่อลิตรของอากาศ Tsunoda (2000) รายงานว่า การรมเส้นใยของเชื้อ *Trametes versicolor* และ *Fomitopsis palustris* ซึ่งเป็นเชื้อพบในเนื้อไม้ที่นำมาเพาะเลี้ยงในอาหาร 2% malt agar ด้วยเอลิลไอโซไธโอไซยาเนท ความเข้มข้น 2,360 และ 23,600 พีพีเอ็ม พบว่า การรมที่ความเข้มข้น 2,360 พีพีเอ็ม เป็นเวลา 24 ชั่วโมง สามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อได้ โดยประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญของเชื้อ จะขึ้นอยู่กับความเข้มข้นและระยะเวลาในการรมสาร Park *et al.* (1999) ได้ทำการทดสอบคุณสมบัติในการยับยั้งการเจริญของเชื้อ *Escherichia coli* O 157:H7 ที่พบในเมล็ดถั่ว alfalfa โดยใช้เอลิลไอโซไธโอไซยาเนท eugenol carvacrol และ

methyl jasmonate ซึ่งเป็นสารที่สกัดได้จากพืชหลายชนิด พบว่า การใช้เอลิลไอโซไธโอไซยาเนท ที่ความเข้มข้นเพียง 8 ไมโครลิตร สามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อดังกล่าวได้ ในขณะที่การใช้ eugenol carvacrol และ methyl jasmonate ถึงแม้ว่าจะเพิ่มความเข้มข้นเป็น 50 ไมโครลิตร แต่ก็ยังไม่สามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อได้

สำหรับการรมขนมปังด้วยเอลิลไอโซไธโอไซยาเนทที่ความเข้มข้น 2-4 พีพีเอ็ม เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส สามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อ *Rhodotorula*, *Penicillium* และ *Aspergillus* sp. ได้ (Sikes *et al.*, 1999) Nielsen and Rios (2000) รายงานว่า การเก็บรักษาขนมปังโดยใช้ภาชนะบรรจุดัดแปลงสภาพบรรยากาศ (modified atmosphere packaging; MAP) ร่วมกับการรมด้วยเอลิลไอโซไธโอไซยาเนท ความเข้มข้น 1.8 ถึง 3.5 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตรของอากาศ สามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อ *Penicillium commune*, *P. roqueforti*, *Aspergillus flavus* และ *Endomyces fibuliger* ที่ขึ้นบนขนมปังได้

การรมผลแอปเปิ้ลด้วยเอลิลไอโซไธโอไซยาเนท ความเข้มข้น 50 และ 100 พีพีเอ็ม พบว่าสามารถยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียได้ (Huang *et al.*, 1999) Shofran *et al.* (1998) ได้ทำการทดสอบคุณสมบัติในการยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียและยีสต์จำนวน 9 และ 8 สายพันธุ์ ตามลำดับ โดยใช้สารเอลิลไอโซไธโอไซยาเนทชนิดที่สกัดได้จากพืชตระกูลกะหล่ำ พบว่า ความเข้มข้นต่ำสุด (minimum inhibitory concentration; MIC) ที่มีผลยับยั้งการเจริญของแบคทีเรีย คือ ความเข้มข้น 1-4 พีพีเอ็ม ในขณะความเข้มข้น 50 พีพีเอ็ม สามารถยับยั้งการเจริญของยีสต์ได้ Oranratmanee and Sardsud (2001) รายงานว่า การรมเส้นใยของเชื้อ *Colletotrichum gloeosporioides* (Penz.) Sacc. ที่แยกได้จากผลสตรอเบอรี่พันธุ์พระราชทานเบอร์ 70 แล้วนำมาเพาะเลี้ยงในอาหาร potato dextrose agar (PDA) ด้วยเอลิลไอโซไธโอไซยาเนท ความเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 48 ชั่วโมง พบว่าสามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อดังกล่าวได้ สำหรับการใช้เอลิลไอโซไธโอไซยาเนทที่ความเข้มข้น 1,000 พีพีเอ็ม ร่วมกับสารเคลือบผิว 2% Sta-flesh 7055 ในการควบคุมโรคหลังการเก็บเกี่ยวของผลกล้วยไข่ พบว่า สามารถชะลอการเน่าเสียได้ โดยตรวจพบการแสดงอาการโรคแอนแทรคโนสที่เปลือกของผลในวันที่ 6 ของการเก็บรักษา ในขณะที่ผลกล้วยที่ใช้สารเคลือบผิวเพียงอย่างเดียว เริ่มแสดงอาการของโรคในวันที่ 4 ของการเก็บรักษา (เอกชัย, 2542)

ความปลอดภัยของเอลิลไอโซไธโอไซยาเนท

เอลิลไอโซไธโอไซยาเนทที่เป็นสารประกอบในน้ำมันมัสตาร์ด ได้รับการรับรองจากคณะกรรมการอาหารและยา (Food and Drug Administration; FDA) ของสหรัฐอเมริกา จัดเป็นสารประเภท GRAS (generally recognized as safe) สามารถนำมาใช้เป็นส่วนประกอบของอาหารและยาได้ (Barolo, 1996; Kinae *et al.*, 2000) เอลิลไอโซไธโอไซยาเนทเป็นสารที่มีกลิ่นฉุน อาจมีผลต่อระบบทางเดินหายใจได้ เช่น ทำให้เกิดอาการจาม น้ำมูกไหล เจ็บคอ ระคายคอ อาการระคายเคืองที่ดวงตา น้ำตาไหล ตาแดง และอาจก่อให้เกิดอาการแสบไหม้และระคายเคืองต่อผิวหนัง อย่างไรก็ตาม อาการเหล่านี้ส่วนใหญ่จะเกิดขึ้นเมื่อสัมผัสกับสารที่มีความเข้มข้นสูง โดยทั่วไปแล้ว ปริมาณของเอลิลไอโซไธโอไซยาเนทที่ใช้เป็นส่วนประกอบในอาหารมีเพียงแค่ประมาณ 0.2 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมเท่านั้น (Barolo, 1996) Kinae *et al* (2000) รายงานว่า เอลิลไอโซไธโอไซยาเนทไม่จัดเป็นสารก่อมะเร็ง เมื่อทำการทดสอบกับสัตว์ตระกูลหนู (rat, mice and hamster) และกระต่าย แต่พบว่าหนู (rat) ที่ได้รับเอลิลไอโซไธโอไซยาเนท ปริมาณตั้งแต่ 339 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมของน้ำหนักตัวขึ้นไป จะทำให้เกิดอาการเป็นพิษอย่างเฉียบพลัน (acute toxicity) ได้ แต่ยังไม่มีรายงานว่าเอลิลไอโซไธโอไซยาเนทก่อให้เกิดมะเร็งในมนุษย์

ในแง่ของสิ่งแวดล้อม การใช้เอลิลไอโซไธโอไซยาเนทไม่ก่อให้เกิดผลกระทบใด ๆ กับสิ่งแวดล้อม เนื่องจากเอลิลไอโซไธโอไซยาเนทเป็นสารที่สกัดได้จากพืช ซึ่งมีการสร้างและปลดปล่อยสารชนิดนี้ออกมาในบรรยากาศอยู่แล้ว ทำให้มีผลยับยั้งการเจริญของเชื้อที่อยู่ในดิน (soilborne fungi) รวมทั้งการเจริญของวัชพืช ก่อให้เกิดประโยชน์ทางเขตกรรม (Claudia *et al.*, 1998) Mayton *et al.* (1995) รายงานว่า ได้มีการปลูกพืชตระกูลมัสตาร์ดเพื่อควบคุมโรค dry rot ในแปลงมันฝรั่ง สำหรับการใช้เอลิลไอโซไธโอโซยาเนท ยังเป็นการลดความเสี่ยงในเรื่องของการดื้อยาของเชื้อโรค โดยการใช้สารฆ่าเชื้อรา เช่น benzimidazole, iprodione และ vinclozolin เป็นระยะเวลาติดต่อกันนาน ๆ จะทำให้เชื้อ *Botrytis* sp. สามารถพัฒนาความต้านทานต่อสารฆ่าเชื้อราได้ (Moorman, 1998) แต่การใช้เอลิลไอโซไธโอไซยาเนทในการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์เพื่อถนอมรักษาอาหารและควบคุมโรคของผลิตผลทางการเกษตรจะไม่ก่อให้เกิดการพัฒนาความต้านทานของเชื้อโรค ตลอดจนการกลายพันธุ์ (mutagenicity) (Kono *et al.*, 1995)