บทที่ 2

การตรวจเอกสาร

จากข้อมูลทางภูมิศาสตร์และเรณูวิทยา สันนิษฐานว่า พืชตระกูลน้อยหน่ามีถิ่นกำเนิดในทวีปอเมริกาใต้หรือแอฟริกา มีสมาชิก 130 สกุล 2,300 ชนิด ในทวีปเอเชียและออสเตรเลีย มีสมาชิก 51 สกุล 950 ชนิด ในทวีปแอฟริกาและมาดากัสกามีสมาชิก 40 สกุล 450 ชนิด และในทวีปอเมริกา มีสมาชิก 38 สกุล 740 ชนิด (เกศิณี, 2546)

ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของน้อยหน่า

เกศิณี (2546) ได้กล่าวถึงลักษณะทางสัณฐานวิทยาของน้อยหน่าดังนี้

นิสัยการเจริญเติบโต ไม้พุ่มหรือไม้ยืนต้นขนาดเล็ก สูง 2-7 เมตร แตกกิ่งก้านสาขาใกล้โคนต้นและอย่างไม่เป็นระเบียบ เป็นไม้ผลัดใบ

ลำต้น เปลือกค่อนข้างเรียบ สีน้ำตาล มีร่องตื้นตามความยาวเปลือก ลำต้นเป็นไม้เนื้ออ่อน

ใบ ใบเดี่ยว ใบอ่อนมีขนหนาแน่น ใบแก่เรียบไม่มีขน ใบรูปหอก ปลายใบแหลมหรือค่อนข้างแหลม ฐานใบรูปลิ่ม ที่โคนใบมีขนอ่อนละเอียดปกคลุมทั้ง 2 ด้าน ใบสีเขียวคล้ำ ยาว 5-17 เซนติเมตร กว้าง 2-7 เซนติเมตร

ดอก ดอกสมบูรณ์เพศ ดอกเดี่ยว ได้สมมาตรตามรัศมี ดอกห้อยหัวลง ใบประดับ 1 อัน รูปร่างสามเหลี่ยม กลีบเลี้ยง 3 กลีบ ยาว 0.2-0.3 เซนติเมตร ปลายแหลมและเชื่อมติดกันที่ฐาน กลีบดอก 2 ชั้นๆ ละ 3 กลีบ กลีบดอกชั้นนอกรูปใบหอก หนา ด้านนอกสีเขียวปนเหลือง ด้านในสีขาวปนเหลือง ยาว 2.0-2.5 เซนติเมตร กลีบดอกชั้นในอยู่สลับกับกลีบดอกชั้นนอก ขนาดเล็กมาก หรือบางครั้งลดรูปไป เกสรตัวผู้จำนวนมาก 182-185 อัน สีขาวปนเหลือง เกสรตัวเมียประกอบด้วยรังไข่จำนวนมาก 80-120 อัน สีม่วงคล้ำแยกกัน แต่เกิดอยู่บนฐานดอกอันเดียวกัน

ผล ผลกลุ่ม รูปร่างกลมหรือ รูปไข่ค่อนข้างกลม ฐานผลค่อนข้างแบน ปลายผลกลม ไม่มีขน สีเขียวปนเหลือง ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 5-10 เซนติเมตร

เมล็ด รูปไข่กลับหรือรูปรี ค่อนข้างแบน ยาว 1.0-1.5 เซนติเมตร กว้าง 0.5-0.8 เซนติเมตร เปลือกแข็ง เป็นมันวาว สีน้ำตาลคล้ำหรือดำ คัพภะขนาดเล็ก ชั้นสะสมอาหารขนาดใหญ่ มีถุงน้ำมันบรรจุอยู่ภายในเนื้อเยื่อพาเรงคิมา

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

พืชตระกูลน้อยหน่ามีหลายชนิด (Nakasone and Paull, 1998) ได้กล่าวถึงพืชตระกูลน้อยหน่าที่มีความสำคัญทางการค้าคือมี 9 ชนิดคือ

1. เชอริโมย่า (cherimoya; *Annona cherimola* Mill.)
2. อิลามา (illama; *Annona diversifolia* Saff.)
3. น้อยหน่าน้ำ (*Annona glabra* Linn.)
4. น้อยหน่าภูเขา (*Annona montana* Magfady)
5. ทุเรียนน้ำ หรือ ทุเรียนเทศ (sour sop; *Annona muricata* Linn.)
6. น้อยโหน่ง (custard-apple; *Annona reticulata* Linn.)
7. น้อยหน่า (sugar apple; sweet sop; *Annona squamosa* Linn.)
8. อะติโมย่า (atemoya; *Annona atemoya*)
9. น้อยหน่าอะเมซอน (*Rollinia orthopetala* R.DC.)

น้อยหน่า

เกศิณี (2546) กล่าวว่าพันธุ์ของน้อยหน่าแบ่งออกตาม ลักษณะของใบ และลักษณะผล ทั้งภายนอกและภายใน ได้เป็น 2 กลุ่มดังนี้

1. น้อยหน่าพื้นเมือง หรือ น้อยหน่าฝ้าย เป็นน้อยหน่าที่ปลูกกันมานานแล้วน้อยหน่าพันธุ์ดีมีแหล่งกำเนิดในจังหวัดลพบุรี ชื่อว่า น้อยหน่าพระที่นั่งเย็น หรือ น้อยหน่าพระนารายณ์ น้อยหน่าพื้นเมืองแบ่งออกตามลักษณะสีผลได้ 2 พันธุ์ คือ

1.1 พันธุ์พื้นเมืองผิวสีเขียว หรือ พันธุ์ฝ้ายเขียว ใบสีเขียวเข้ม รูปไข่ปลายเรียวแหลม ฐานใบมน ยาวเฉลี่ย 12.32 เซนติเมตร กว้างเฉลี่ย 5.13 เซนติเมตร ก้านใบยาวเฉลี่ย 1.51 เซนติเมตร ผลรูปหัวใจ ผลขนาดใหญ่กว่าพันธุ์อื่น ยาวเฉลี่ย 6.75 เซนติเมตร กว้างเฉลี่ย 6.86 เซนติเมตร น้ำหนักเฉลี่ย 182.20 กรัม ผลแก่เต็มที่ผิวเปลือกสีเขียว อ่อนหรือขาวนวล ร่องตาสีออกขาว ร่องตาตื้น ผลสุกมักแตกจากขั้ว ผลอ่อนนุ่ม เปลือกไม่ล่อน เมื่อปอกเปลือกจะเห็นว่าเนื้อกับเมล็ดมักติดกับเปลือก เนื้อยุ่ยไม่จับตัวเป็นก้อน เนื้อสีขาว หยาบเป็นทราย กลิ่นหอม รสหวาน มีน้ำตาลเฉลี่ย 17.2 เปอร์เซ็นต์ เมล็ด เฉลี่ย 50 เมล็ดต่อผล เมล็ดสีดำเป็นมัน เมื่อแห้งสีน้ำตาล

1.2 พันธุ์พื้นเมืองผิวสีม่วง หรือ พันธุ์ฝ้ายครั่ง ใบสีเขียวคล้ำ รูปไข่ถึงรูปใบหอกปลายใบแหลม ฐานใบมน ยาวเฉลี่ย 10.39 เซนติเมตร กว้างเฉลี่ย 4.70 เซนติเมตร ก้านใบยาวเฉลี่ย 1.72 เซนติเมตร ผลรูปหัวใจ ขนาดเล็กกว่าพันธุ์อื่น ยาวเฉลี่ย 5.86 เซนติเมตร กว้างเฉลี่ย 5.75 เซนติเมตร ผิวเปลือกสีม่วงเข้ม ตานูน ร่องตาสีชมพู ผลสุกอ่อนนุ่ม ปอกเปลือกไม่ล่อน เนื้อสีเขียวปนชมพู เนื้อยุ่ย กลิ่นหอม รสหวาน มีน้ำตาลเฉลี่ย 17.0 เปอร์เซ็นต์ เมล็ดเฉลี่ย 43 เมล็ดต่อผล

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2. น้อยหน่าหนัง หรือ น้อยหน่าญวน เป็นพันธุ์นำเข้าจากประเทศเวียดนามเมื่อ พ.ศ. 2475 เริ่มปลูกที่จังหวัดอุบลราชธานี น้อยหน่าหนังมีลักษณะที่ดีกว่าน้อยหน่าฝ้าย หลายประการ คือ (1) เปลือกเหนียว ผลเมื่อแก่และสุกจะไม่แตก (2) สามารถลอกเปลือกออกได้เป็นแผ่น เนื้อไม่ติดเปลือก (3) เนื้อหนา ปริมาณเนื้อมากกว่า จำนวนเมล็ดน้อยกว่า (4) เมล็ดแยกออกจากเนื้อได้ง่ายกว่า (5) มีรสหวานกว่า (6) สามารถเก็บไว้ได้นานกว่า และ (7) ไม่เสียหายขณะขนส่ง น้อยหน่าหนังมี 3 พันธุ์ คือ

2.1 พันธุ์หนังผลสีเขียว หรือ น้อยหน่าเขมร หรือ น้อยหน่าเหนียวใบ ผิวด้านบนสีเขียวเข้ม ด้านล่างสีเขียว รูปไข่หรือรูปใบหอก ปลายใบเรียวแหลม ฐานใบมนยาวเฉลี่ย 11.55 เซนติเมตร กว้างเฉลี่ย 5.00 เซนติเมตร ก้านใบยาวเฉลี่ย 1.50 เซนติเมตร ผลรูปหัวใจยาวเฉลี่ย 6.87 เซนติเมตร กว้างเฉลี่ย 7.35 เซนติเมตร น้ำหนักเฉลี่ย 180.00 กรัม ผลแก่ผิวเปลือกสีเขียวตากว้าง ไม่ค่อยนูน ผลแก่เต็มที่สีเขียวนวล ร่องตาสีเนื้ออ่อน ผลอ่อนนุ่ม เปลือกล่อนลอกออกจากเนื้อได้เป็นแผ่นเนื้อสีขาว เนื้อมากเหนียวละเอียด กลิ่นหอม รสหวานมีน้ำตาลเฉลี่ย 17.9 เปอร์เซ็นต์ เมล็ดเฉลี่ย 41 เมล็ดต่อผล

2.2 พันธุ์หนังผลสีครั่ง หรือ หนังครั่ง เกิดจากการผ่าเหล่าของพันธุ์หนังเขียว ที่ตำบลหมูสี อำเภอปากช่อง จังหวัดนครราชสีมา ต้น ใบ และ ผลมีลักษณะคล้ายพันธุ์ฝ้ายครั่ง ผลรูปหัวใจ ผิวเปลือกสีม่วงเข้ม ตาใหญ่กว่าและตื้นกว่าพันธุ์ฝ้ายครั่ง ร่องตาสีชมพูเข้มปอกเปลือกได้ล่อนไม่ติดกับเนื้อ ผลสุกอ่อนนุ่ม เนื้อสีขาวปนชมพู เนื้อเหนียวปนทราย เนื้อมาก กลิ่นหอม รสหวาน มีน้ำตาลเฉลี่ย 17.5 เปอร์เซ็นต์ ให้ผลดกกว่าพันธุ์หนังทอง

2.3 พันธุ์หนังผลสีเหลือง หรือ หนังทอง ให้ผลดกน้อยกว่าพันธุ์หนังเขียว และพันธุ์หนังครั่ง ใบสีเหลืองปนเขียว รูปไข่หรือรูปใบหอก ปลายใบแหลมกว่าพันธุ์หนังเขียว ยาว 12.02 เซนติเมตร กว้าง 4.96 เซนติเมตร ก้านใบยาวเฉลี่ย 1.65 เซนติเมตร ผลรูปหัวใจ ยาวเฉลี่ย 5.61 เซนติเมตร กว้างเฉลี่ย 6.51 เซนติเมตร น้ำหนักผลเฉลี่ย 160.00 กรัม ผลอ่อนผิวเปลือกสีเขียว ผลแก่สีเหลืองทอง ร่องตาตื้น ผลสุกอ่อนนุ่ม ปอกเปลือกล่อนได้หมดไม่ติดเนื้อออกมา เนื้อสีขาว ละเอียด เนื้อมาก กลิ่นหอม รสหวาน มีน้ำตาลเฉลี่ย 17.12 เปอร์เซ็นต์ รสชาติดี เมล็ด เฉลี่ย 46 เมล็ดต่อผล

ทุเรียนน้ำหรือทุเรียนเทศ

ทุเรียนน้ำ เป็นพืชวงศ์ Annonaceae ที่มีต้นขนาดใหญ่ที่สุด (ปิยะ, 2544) เป็นไม้ยืนต้นไม่ผลัดใบ ขึ้นได้ดีในที่มีฝนตกชุกและดินชื้นแฉะ (กลุ่มเกษตรสัญจร, 2531) ลำต้นสีน้ำตาล กิ่งอ่อนมีขนสีน้ำตาลแดง เมื่อแก่ขนจะร่วงหลุดไป ใบเดี่ยวเรียงสลับ รูปไข่กลับ ปลายใบเป็นติ่งแหลม โคนใบมน ขอบใบเรียบ ด้านบนมีสีเขียวเข้ม เป็นมัน ด้านล่างสีอ่อนกว่า ดอกออกเดี่ยว ๆ จากลำต้น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

หรือกลางกิ่ง สีเหลืองมีกลิ่นแรง กลีบรองกลีบดอก 3 กลีบ รูปสามเหลี่ยมเล็ก ๆ กลีบดอกอวบหนา มี 6 กลีบ แบ่งเป็น 2 ชั้น ชั้นนอก 3 กลีบ งองุ้มรูปหัวใจ ปลายบีบแหลม ชั้นใน 3 กลีบ มีขนาดเล็กกว่า เกสรผู้และรังไข่มีเป็นจำนวนมากอยู่บนฐานค่อนข้างยาว ผลเป็นผลกลุ่ม มีเนื้อรูปร่างและขนาดไม่แน่นอน มักเป็นรูปไข่ โคนผลกว้างกว่าส่วนปลาย รูปคล้ายหัวใจเปลือกหนาเหนียวมีหนามอ่อนโค้งงอออกโดยรอบ ผลมีเสียเขียวเข้มเมื่อสุกมีสีเหลือง (นันทวันและอรนุช, 2541) พบได้ทั่วไปในภาคใต้ของประเทศไทย แต่ยังไม่มีการปลูกเป็นพืชเศรษฐกิจ ทั้งนี้เพราะคนส่วนใหญ่ยังไม่รู้จักวิธีการนำไม้ผลชนิดนี้ไปใช้ประโยชน์เหมือนดังประเทศอื่นในแถบอเมริกากลาง อเมริกาใต้ อินโดนีเซีย ฟิลิปปินส์ และมาเลเซีย ซึ่งมีการนำทุเรียนเทศมาผลิตเป็นน้ำผลไม้พร้อมดื่มบรรจุกระป๋องและยารักษาโรค (ไพโรจน์, 2544)

น้อยโหน่ง

เป็นไม้ยืนต้น ที่มีลำต้นขนาดเล็ก แตกกิ่งก้านสาขาโค้งคด เปลือกของต้นอ่อนจะเป็นสีน้ำตาลกระขาว พอแก่เป็นสีเทาลำต้นสูง 6-7 เมตร ใบออกใบเดี่ยว เรียงสลับกันไปตามข้อต้น ลักษณะของใบเป็นรูปหอกขอบขนาน ปลายใบแหลมและเป็นติ่งแหลม ขอบใบเรียบ มีสีเขียวเป็นมันแต่ด้านใต้ใบสีจะอ่อนกว่าด้านบนขนาดของใบกว้าง 2-2.5 นิ้ว ยาว 5-7 นิ้ว ดอกออกเป็นช่อ และบางทีก็เป็นดอกเดี่ยว ๆ ช่อหนึ่งจะมีดอกอยู่ประมาณ 1-3 ดอก ซึ่งอยู่ตรงข้ามกับใบ ดอกมีสีเหลืองอมเขียว มี 2 ชั้น ๆ ละ 3 กลีบชั้นในกลีบดอกจะเล็กกว่าชั้นนอก ก้านดอกจะห้อยลงยาวประมาณ 2 นิ้ว ผลเป็นลูกเกือบกลม แต่จะคล้ายรูปหัวมากกว่าจะโต 3-5 นิ้ว เปลือกผลจะบางเรียบแต่จะเหนียวไม่มีหนามเหมือนน้อยหน่า เมื่อผลยังอ่อนเป็นสีเขียวเข้มปนชมพูพอสุกเป็นสีแดงคล้ำรับประทานได้ มีรสหวาน (วิทย์, 2531) น้อยโหน่งเป็นผลไม้ที่ทนต่อความแห้งแล้งได้ดีพอสมควร อาจใช้เป็นต้นตอขยายพันธุ์ได้ (กลุ่มเกษตรสัญจร,2531)

น้อยหน่าอะเมซอนหรือ บิริบ้า

เป็นไม้ยืนต้นสูงประมาณ 25 ฟุต จากเขตร้อนของอเมริกา มีการเจริญเติบโตที่รวดเร็ว มีขนาดผลปานกลาง มีปุ่มแหลมอ่อนๆ ที่ผิวผล มีสีเหลือง เนื้อผลสามารถใช้รับประทานสด ทำน้ำคั้น ไอศกรีม และ ขนม สามารถเจริญได้ดีในดินหลายชนิด มีระบบรากตื้น ชอบดินที่ระบายน้ำได้ดี เจริญเติบโตได้ดีในดินที่มีความเป็นกรดเป็นด่าง 5.5-6.6 จะเริ่มติดผลครั้งแรกเมื่อต้นมีอายุ 3 ปี (www.plantithawaii.com/plant_guide/rollinia.htm)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

Bonaventure (1999) รายงานว่าได้ทำการคัดเลือกพันธุ์เพื่อใช้เป็นต้นตอน้อยหน่ามีสองชนิด คือ *Rollinia* spp. และ *Rollinia emarginata* ซึ่งช่วยเพิ่มความทนทานต่อโรครากเน่าโดยเข้ากันได้ดีกับอะติโมย่าและเชอริโมย่า ในประเทศบราซิล

เชอริโมย่า

เกศิณี (2546) กล่าวถึงว่าถิ่นกำเนิดแถบเทือกเขาแอนดีสทางตอนเหนือของทวีปอเมริกาใต้ มีปลูกมาตั้งแต่ยุคก่อนประวัติศาสตร์ ที่ประเทศเปรูและเอกวาดอร์ สามารถเจริญเติบโตได้ดีในบริเวณที่มีระดับความสูงจากน้ำทะเลระหว่าง 500-1,250 เมตร แต่อาจพบในป่าที่อยู่สูงจากระดับน้ำทะเลถึง 2,350-3,000 เมตร และสามารถทนความหนาวได้ถึง –3 องศาเซลเซียส ปัจจุบันแพร่กระจายในประเทศสหรัฐอเมริกา หมู่เกาะคานารี มาไดรา อินเดีย อิสราเอล ชิลี แอฟริกาใต้ และออสเตรเลีย

โครงสร้างทางสัณฐานวิทยาของเชอริโมย่ามีดังนี้ นิสัยการเจริญเติบโต ไม้ยืนต้นขนาดเล็ก สูงประมาณ 7.5 เมตร เป็นพืชผลัดใบ ลำต้น กิ่งก้านสาขามีขนอ่อน สีเทาปกคลุมอยู่ ใบรูปไข่ถึงรูปใบหอก สีเขียวคล้ำ ยาว 10-25 เซนติเมตร ผิวใบด้านล่างมีขนอ่อนปกคลุมอยู่ ดอก ดอกเดี่ยว หรือช่อดอกขนาดเล็ก มี 2-3 ดอก ก้านดอกเรียวยาว ยาวประมาณ 2.5 เซนติเมตร มีขนสีน้ำตาลหรือสีเหลืองปกคลุมอยู่ กลีบดอกชั้นนอกมีรูปร่างแคบส่วนกลีบดอกชั้นในเป็นเพียงเกล็ดเล็กๆ ผลรูปร่างกลมจนถึงรูปกรวย ยาว 7.5-12.5 เซนติเมตร ผลเรียบหรือมีรอยบุ๋มคล้ายนิ้วมือ เนื้อสีขาวครีม เนื้อนิ่ม กลิ่นหอม รสชาติอร่อย เมล็ดรูปยาวความยาวประมาณ 1 เซนติเมตร สีน้ำตาลเข้มถึงดำ

พันธุ์ของเชอริโมย่าแบ่งออกตามลักษณะผิวเปลือกได้ 5 พันธุ์ หรือ 5 รูปแบบ คือ

1. พันธุ์ทิวเบอร์คูเลต (Tuberculate cherimoya or *forma tuberculata*) ผลรูปหัวใจ ผิวเปลือกมีตุ่มเล็กๆ ใกล้กับปลายผล ปลูกมากที่ประเทศเปรู

2. พันธุ์ผิวเรียบ (Smooth cherimoya or *forma lavis*) มีผิวเปลือกเรียบ จึงมีผู้เข้าใจผิดและจัดให้เป็นชนิดใหม่ (*A. glabra* Linn.) หรือจัดให้เป็นน้อยโหน่ง (custard apple; Bullock's heart; *A. reticulata* Linn.) มีปลูกมากที่ประเทศเม็กซิโก

3. พันธุ์แมมมิลเลต (Mammillate cherimoya or *forma mamillata*) ปลูกมากที่เกาะมาไดรา และบนเทือกเขาของประเทศอินเดีย

4. พันธุ์ลายนิ้วมือ (Finger-printed cherimoya or *forma impressa*) ผลรูปกรวยหรือเกือบกลม ผิวเปลือกมีรอยบุ๋มเป็นรูปตัวยู (U-shaped) คล้ายลายนิ้วมือ เป็นพันธุ์ที่ดีที่สุด เพราะมีเนื้อที่ฉ่ำน้อย รสหวาน กลิ่นหอม มีเมล็ดน้อย ปลูกมากที่ประเทศคอสตาริกา

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

5. พันธุ์อัมโบเนต (Umbonate cherimoya or *forma umbonata*) ผิวเปลือก หนากว่าพันธุ์อื่น เนื้อมีกรดมากกว่าพันธุ์อื่น มีเมล็ดมากกว่าพันธุ์อื่น กลิ่นคล้ายสับปะรด เหมาะสำหรับทำเครื่องดื่มเย็นๆ หรือ เครื่องดื่มผสมน้ำผลไม้ (sherbet)

ซึ่ง Morton (1987) กล่าวว่าในประเทศอิสราเอลใช้เชอริโมย่าเป็นต้นตอของอะติโมย่า และ George *et al*. (1999) รายงานว่าในนิวซีแลนด์ใช้เชอริโมย่าพันธุ์ Whaley เป็นต้นตอแคระกับอะติโมย่าได้ดี

อะติโมย่า

Morton (1987) กล่าวว่าอะติโมย่าเป็นพืชที่เกิดจากการผสมข้ามระหว่างน้อยหน่าและเชอริโมย่า โดย P. J. Wester ที่ รัฐไมอามี ประเทศสหรัฐอเมริกาเมื่อปี ค.ศ. 1908 มีการผสมข้ามจนเกิดผลสำเร็จ และได้ออกปลูกในปี ค.ศ. 1910 จากนั้น Wester ได้นำเมล็ดไปยังฟิลิปปินส์ โดยลูกผสมที่ได้มีการเติบโตซึ่งในปีแรกมีความสูง 2 - 3 เมตร ผลมีคุณภาพดีกว่าน้อยหน่า และมีการให้ชื่อคือ “อะติโมย่า” ประกอบมาจากคำว่า ate ซึ่งเป็นภาษาเม็กซิกันหมายถึง น้อยหน่า และคำว่า moya มาจาก cherimoya ทั้งนี้ อรวรรณ (2545) กล่าวว่าในประเทศไทย เรียก “ อะติโมย่า ” ว่า “ น้อยหน่าออสเตรเลีย ” โดยเกศิณี (2546) กล่าวว่าอะติโมย่ามีการแพร่กระจายพันธุ์ ในบริเวณที่มีการปลูกน้อยหน่า แต่เจริญเติบโตได้ดีในบริเวณที่มีอากาศหนาวเย็นกว่าและอยู่สูงจากระดับน้ำทะเล และในประเทศไทยปลูกมากที่อำเภอปากช่อง จังหวัดนครราชสีมา

เกศิณี (2546) กล่าวว่าอะติโมย่ามีโครงสร้างทางสัณฐานวิทยาคล้ายกับน้อยหน่า โดยมีลำต้นและใบใหญ่กว่าน้อยหน่า ลักษณะแตกต่างกันไปตามพันธุ์ ใบรูปไข่หรือรูปใบหอก ผลรูปหัวใจหรือรูปกลม ผิวค่อนข้างเรียบ หรือมีหนาม หรือมีปุ่มคล้ายหัวนม ปอกเปลือกได้ล่อนหมดเหมือนน้อยหน่าหนัง เนื้อหนา รสหวานหรือหวานอมเปรี้ยว ติดผลดก

พันธุ์ของอะติโมย่าที่ปลูกในประเทศไทย มี 6 พันธุ์ คือ

1. พันธุ์เกฟเนอร์ (Geffner) ต้นและใบขนาดเท่ากับพันธุ์เพจ ผลขนาดเล็ก น้ำหนักผล 200 – 300 กรัม ผิวเปลือกมีหนามบริเวณใกล้ขั้วผล แต่ส่วนที่ถัดลงมาค่อนข้างเรียบ มีน้ำตาลประมาณ 19.2 เปอร์เซ็นต์ ติดผลดก

2. พันธุ์คูชิไอส์แลนด์ (Coochi Island) ใบรูปค่อนข้างกลม ขนาดใหญ่กว่า ของพันธุ์แอฟริกันไพรด์ และพิงค์แมมมอธ ผลรูปหัวใจ ขนาดใหญ่ น้ำหนักผล 400-1,100 กรัม รสหวานอร่อย มีน้ำตาล 22-24 เปอร์เซ็นต์ เนื้อหนา เมล็ดน้อย แต่ติดผลไม่ดก

3. พันธุ์แบรดลีย์ (Bradley) ต้นและใบขนาดเท่ากับพันธุ์เพจ ผลคล้ายผลน้อยหน่า น้ำหนักผล 150-220 กรัม ผลมีตาใหญ่ รสหวาน ติดผลค่อนข้างดก

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4. พันธุ์พิงค์แมมมอธ (Pink Mammoth) หรือ พันธุ์คิงมดแดง ใบรูปค่อนข้างกลมกว่าพันธุ์แอฟริกันไพรด์ ผิวเปลือกสีเขียวปนเหลือง ผลใกล้แก่มีสีชมพูที่ใกล้ขั้วผล ผิวขรุขระแต่ตาไม่นูน น้ำหนักผล 300-900 กรัมหรืออาจถึง 1,000 กรัม มีน้ำตาลประมาณ 24 เปอร์เซ็นต์ ติดผลไม่ดก ในประเทศไทยเก็บเกี่ยวผลได้ในเดือนสิงหาคมถึงกันยายน

5. พันธุ์เพจ (Page) ต้น และใบใหญ่กว่าน้อยหน่าหนังหรือน้อยหน่าฝ้ายประมาณหนึ่งเท่าครึ่ง ผลรูปหัวใจผิวเปลือกสีเขียวปนเหลือง เปลือกมีลักษณะเป็นหนามอวบน้ำเกือบรอบทั้งผล น้ำหนักผล 150-600 กรัม เนื้อน้อย กรอบ รสหวานอมเปรี้ยว มีน้ำตาลประมาณ 20.6 เปอร์เซ็นต์ ผลแก่มักแตกจากขั้วลงมา ผลเสียหายขณะขนส่งได้ง่าย ติดผลดก

6. พันธุ์แอฟริกันไพรด์ (African Pride) ใบรูปใบหอกยาว 18 เซนติเมตร กว้าง 12 เซนติเมตร ผลรูปหัวใจยาว ผิวเปลือกเรียบ น้ำหนักผล 200-700 กรัม รสหวาน มีน้ำตาลประมาณ 20.8 เปอร์เซ็นต์ ให้ผลดกเป็นพิเศษ ปลูกมากในประเทศสหรัฐอเมริกา และอิสราเอล ในประเทศไทยเก็บเกี่ยวผลได้ในเดือนสิงหาคมถึงกันยายน

อะติโมย่าที่มีสำคัญปลูกเป็นการค้าในประเทศสหรัฐอเมริกา (Ellstrand and Lee, 1987) อเมริกาใต้ (Garcia, 1965) สเปน (Sanewski, 1991) อิยิปต์ แอฟริกากลาง เอเชียใต้ อิสราเอล (Purohit, 1995) นิวซีแลนด์และออสเตรเลีย (George and Nissen, 1985) ซึ่งออสเตรเลียเป็นแหล่งผลิตใหญ่ของโลก ใช้พันธุ์แอฟริกันไพรด์ ใช้เป็นพันธุ์หลัก ปลูกมากประมาณกว่า 80 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ปลูกทั้งหมดในประเทศ (Nissen *et al*., 1999)

น้อยหน่าเป็นผลไม้ที่มีคุณค่าทางอาหารสูง อุดมไปด้วยโปรตีน ไขมัน น้ำตาลและ แร่ธาตุหลายชนิด (ตารางที่1) สำหรับใบของน้อยหน่านำมาใช้โขลกพอกตัวแก้ฟกช้ำ ทาแก้โรคผิวหนังกลากเกลื้อน ใช้ฆ่าเหา ส่วนเปลือกของผลใช้ฝนกับเหล้า กินแก้พิษงูกัด เปลือกของลำต้นใช้ต้มรับประทานแก้โรคลำไส้อักเสบ รากใช้เป็นยาระบาย เมล็ดใช้สกัดเอาน้ำมันไปทำสบู่หรืออุตสาหกรรมต่างๆ ส่วนกากที่เหลือก็ใช้ทำปุ๋ยได้ด้วย (กลุ่มเกษตรสัญจร, 2544)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 1 คุณค่าทางอาหารของพืชตระกูลน้อยหน่า (Wu Leung and Flores, 1961; Venkataratnam, 1965 ; Zayas; 1966; Bueso, 1980; Catro *et al*., 1984; Leal, 1990; Lizana and Reginato, 1990)

ส่วนประกอบ	น้อยหน่า	น้อยโหน่ง	ทุเรียนน้ำ	เชอริโมย่า
น้ำ (กรัม)	72.6	76.3	81.5	77.3
คาร์โบไฮเดรต (กรัม)	19.6	18.7	17.25	18.42
โปรตีน (กรัม)	1.6	1.85	1.55	1.6
ไขมัน (กรัม)	0.4	0.35	0.6	0.3
แคลเซียม (มก.)	26.2	24	15	27.14
ฟอสฟอรัส (มก.)	42	26	28	35.2
เหล็ก (มก.)	0.8	1.0	0.7	0.6
พลังงาน (100 กรัม/เนื้อผล)	96	75	65	68.6
เส้นใย (กรัม)	1.4	2.55	0.86	1.64
ปริมาณกรดรวม (กรัม)	0.1	-	1.0	0.58
วิตามินเอ (มก.)	0.005	เล็กน้อย	0.07	-
วิตามินบี12 (มก.)	0.13	0.12	0.08	0.12

การขยายพันธุ์

น้อยหน่าสามารถขยายพันธุ์ได้ทั้งวิธีการอาศัยเพศและไม่อาศัยเพศ (เกศิณี, 2528) สำหรับการขยายพันธุ์โดยการเพาะเมล็ดมีโอกาสกลายพันธุ์เป็นอย่างมาก (เรืองศักดิ์ และฉลองชัย, 2540) และการเพาะเมล็ดตามธรรมชาติมีเปอร์เซ็นต์การงอกต่ำ งอกได้ยากเนื่องจากมีเยื่อหุ้มเมล็ดแข็ง ส่งผลให้น้ำผ่านได้ช้ามาก (ประศาสตร์, 2538)

ตารางที่ 2 เปรียบเทียบการขยายพันธุ์โดยการเพาะเมล็ด (Hernandez, 1993)

ชนิดน้อยหน่า	ระยะเวลาเก็บเมล็ด (วัน)	ระยะเวลาการงอก (วัน)	การงอกเมล็ด (เปอร์เซ็นต์)	อายุการย้ายปลูก (วัน)	อายุต้นสำหรับต่อกิ่ง (วัน)
เชอริโมย่า	50-60	35-45	90-95	70-100	240
น้อยโหน่ง	40-50	30-35	90-95	50-60	180
ทุเรียนน้ำ	30-40	30-40	90-95	60-90	210
น้อยหน่า	40-50	35-50	85-95	90-120	220

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ซึ่ง Toll-Jubes *et al*., (1975) กล่าวว่าเชอริโมย่าจะแสดงการพักตัวของเมล็ด โดย Stenzel *et al*., (2003) ได้ทำการศึกษาการงอกของเมล็ดน้อยหน่าและอะติโมย่าพันธุ์ PR-1, PR-3 และ Geffner ซึ่งทดลองโดยแช่กรดจิบเบอเรลลิก (GA_3) ความเข้มข้น 50 ส่วนต่อล้าน (สตล.) 100 สตล. แช่น้ำเย็นที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส แช่น้ำอุ่น 30 องศาเซลล์เซียส และชุดควบคุม พบว่าจิบเบอเรลินความเข้มข้น 50 สตล. และ 100 สตล. ให้ผลการงอกเหมือนกันแต่ดีกว่ากรรมวิธีอื่นคือ 55 – 67 เปอร์เซ็นต์

สำหรับวิธีการขยายพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศที่เหมาะสมกับน้อยหน่า คือ วิธีการติดตาและต่อกิ่ง (กลุ่มเกษตรสัญจร, 2531) ได้มีการศึกษาต่อกิ่งแบบเสียบข้างโดยใช้ต้นตอเป็นน้อยหน่าที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางลำต้น 4-5 มม. กิ่งพันธุ์ดีที่มีตาอย่างน้อย 2 ตา และความยาวประมาณ 8.5 ซม. พบว่าการต่อกิ่งในฤดูหนาวหรือเดือนธันวาคมมีเปอร์เซ็นต์การติดตามากที่สุดถึง 96.33 เปอร์เซ็นต์ และสามารถนำกิ่งที่ต่อแล้วไปปลูกในต้นฤดูฝนหรือเดือนพฤษภาคม การต่อกิ่งในฤดูร้อนหรือเดือนเมษายนมีเปอร์เซ็นต์การติดรองลงมาคือ 76.67 เปอร์เซ็นต์ และสามารถนำกิ่งไปปลูกในกลางฤดูฝน แต่กิ่งจะเจริญเติบโตไม่สู้ดีนัก ส่วนการต่อกิ่งในฤดูฝนหรือเดือนสิงหาคมมีเปอร์เซ็นต์การติดต่ำที่สุดคือ 72.33 เปอร์เซ็นต์และกิ่งพันธุ์ดีเจริญเติบโตไม่นานก็เข้าฤดูหนาวจึงต้องดูแลรักษามากเป็นพิเศษ (เกศิณี, 2528) วิธีการขยายพันธุ์พืชโดยการต่อกิ่งทำเพื่อช่วยการขยายพันธุ์พืชจากต้นด้วยวิธีการอื่นทำได้ยากไม่สะดวกและไม่คุ้มค่า เพื่อได้รับประโยชน์จากลักษณะของต้นตอและต้นตอกลางบางชนิด

ต้นตอ

ต้นตอ (rootstock) หมายถึง พืชหรือส่วนของพืชที่นำกิ่งพันธุ์ดี (scion) มาติดตา ต่อกิ่งบนต้นที่มีรากเรียกว่า ‘rootstock’ หรือ ‘understock’ มีรายงานถึงไม้ผลหลายชนิดที่ขยายพันธุ์โดยใช้ต้นตอ เช่น มะม่วง (ตระกูลและเสริมสกุล, 2542) ส้ม (วิภาดา, 2546) ป๊วย (Ermel *et al*., 1997) แอปเปิล (Lockard and Schneider, 1981) องุ่น เชอรี่ พลัม พลับ อัลมอนด์ (Castle, 1987) เป็นต้น

อิทธิพลของต้นตอ (Hartmann *et al*., 2002)

1. ช่วยทนทานต่อสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม เช่น ดินเค็ม ดินด่าง แห้งแล้ง น้ำขัง
2. ช่วยทนทานต่อเชื้อโรค ไวรัส และแมลง
3. ควบคุมขนาดต้นสม่ำเสมอ เพื่อให้สามารถควบคุมการปลูก การดูแลรักษา และคุณภาพผลผลิตได้
4. ช่วยเสริมความแข็งแรงในการเจริญเติบโต และเสริมความแข็งแรงของระบบราก

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

5. ช่วยขจัดระยะเยาว์วัย ช่วยเร่งการเจริญเติบโตของต้นกล้าให้ออกดอกติดผล
6. เพื่อช่วยปรับปรุงคุณภาพผลผลิตพันธุ์เดิมที่ปลูกอยู่ก่อนแล้ว
7. เพื่อช่วยแซมต้นที่เสียหายทำลาย
8. เพื่อใช้สำหรับตรวจสอบการเกิดไวรัสหรือการเกิดโรค

นันทิยา (2538) กล่าวว่าการใช้ต้นตอบางชนิดทำให้ผลผลิตมีคุณภาพดีกว่าเมื่อใช้ต้นตอชนิดอื่นๆ แต่บางครั้งอาจทำให้ผลผลิตมีลักษณะไม่เป็นที่ต้องการและมีนิสัยการเจริญเติบโตที่เปลี่ยนแปลงไป เนื่องจากพืชทั้งสองเข้ากันไม่ได้ (Incompatibility)

ข้อจำกัดทางพันธุกรรมในการต่อกิ่ง

นันทิยา (2538)กล่าวว่าการต่อกิ่งให้สำเร็จต้องวางเนื้อเยื่อแคลลัสบริเวณแคมเบียมให้แนบกัน การต่อกิ่งจึงมักทำกับพืชใบเลี้ยงคู่ ซึ่งมีเนื้อเยื่อแคมเบียมต่อกันเป็นวงระหว่างท่อน้ำและท่ออาหาร พืชมีดอกที่เป็นพวกใบเลี้ยงเดี่ยวจะไม่มีแคมเบียม การต่อกิ่งจึงยากและมีเปอร์เซ็นต์ติดค่อนข้างต่ำมาก แต่ก็มีความสำเร็จที่ทำได้กับกล้วยไม้วานิลลาและหญ้าบางชนิด โดยวางเนื้อเยื่อที่โคนปล้องให้แนบกัน ซึ่งก่อนที่จะทำการต่อกิ่งควรพิจารณาว่าพืชทั้งสองคือต้นตอและกิ่งพันธุ์ดีสามารถต่อกันได้และทำให้รอยต่อที่แข็งแรง ซึ่งไม่มีกฎว่าพืชใดจะต่อกันได้ แต่อาจกล่าวได้ว่าถ้าพืชมีความใกล้ชิดกันทางพฤกษศาสตร์ก็จะยิ่งมีโอกาสต่อกันสำเร็จมากยิ่งขึ้น อย่างไรก็ตามกฎนี้ย่อมมีข้อยกเว้น

การต่อกิ่งภายในสายพันธุ์เดียวกัน

กิ่งพืชจากต้นหนึ่งสามารถต่อกับกิ่งอื่นจากสายต้นนั้นได้แน่นอน และกิ่งพันธุ์ดีจากสายต้นหนึ่งก็สามารถ พืชพันธุ์ Elberta ต้นหนึ่งสามารถ ไปต่อกิ่งกับพืชพันธุ์ Elberta ต้นใดในโลกก็ได้ (Hartmann *et al*., 2002)

การต่อกิ่งระหว่างสายพันธุ์ภายในชนิดเดียวกัน

ในไม้ผลและนัทต่างสายต้นแต่ในสายพันธุ์เดียวกันสามารถต่อกันได้เกือบทั้งหมดและให้ความแข็งแรงดี แต่ยกเว้นกับ Douglas fir (*Pseudotsuga menziesii*) พบปัญหาการเข้ากันไม่ได้กับพืชในสายพันธุ์เดียวกัน เช่น *P. menziesii* ที่ต่อบนต้นตอ *P. menziesii* ที่มาจากเพาะเมล็ด มีปัญหาการการเข้ากันไม่ได้ (นันทิยา, 2538)

การต่อกิ่งระหว่างชนิดภายในสกุลเดียวกัน

พืชต่างชนิดกันแต่อยู่ในสกุลเดียวกัน เมื่อนำมาต่อกันจะสำเร็จบ้างและไม่สำเร็จบ้าง เช่น การต่อกิ่งส้มชนิดต่างในสกุลเดียวกันมักจะสำเร็จเป็นส่วนใหญ่ และที่นิยมทำการต่อกิ่งเป็นการค้าอย่างกว้างขวาง เช่น อัลมอนด์ บ๊วย พลัมยุโรป และพลัมจีน ซึ่งทั้งหมดต่างชนิดกันแต่สามารถต่อกิ่งบนต้นตอพืชได้ แต่ในอัลมอนด์ และบ๊วยซึ่งในสกุลเดียวกันแต่ไม่สามารถต่อกัน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ได้สำเร็จ ความไม่แน่นอนของการต่อกิ่งในลักษณะนี้เห็นได้ดังเช่น พลัมญี่ปุ่นพันธุ์ Beauty กับต้นตออัลมอนด์สามารถต่อกันได้สำเร็จ แต่ถ้าใช้พลัมญี่ปุ่นพันธุ์อื่นๆเช่น พันธุ์ Santa Rosa จะไม่สามารถต่อบนต้นตออัลมอนด์ ได้สำเร็จ

การต่อกิ่งระหว่างต้นพืชที่อยู่ต่างตระกูลกัน

การต่อกิ่งต้นพืชต่างตระกูลกัน โดยทั่วไปถือว่าไม่อาจทำได้ แต่ก็เคยมีรายงานว่าสามารถทำได้สำเร็จในพืชไม้เนื้ออ่อนบางชนิด แต่มีอายุสั้น ดังเช่น ในการต่อกิ่งระหว่างไวท์สวีทโคลเวอร์กับทานตะวัน โดยการต่อกิ่งท่อน้ำท่ออาหารของกิ่งพันธุ์ดีและต้นตอตรงกันโดยใช้ไวท์สวีทโคลเวอร์ ซึ่งอยู่ในพืชตระกูล Leguminosae เป็นกิ่งพันธุ์ดี และใช้ต้นทานตะวันซึ่งอยู่ในตระกูล Compositae เป็นต้นตอ ทำการต่อกิ่งแบบต่อลิ่ม (Cleft grafting) โดยสอดส่วนยอดพันธุ์ดีโคลเวอร์เข้าไปในส่วนพิธของเนื้อเยื่อพาเรงคิม่าของต้นตอ พบว่ากิ่งพันธุ์ดีสามารถเจริญได้นานกว่า 5 เดือน ต่อมาเมื่อทานตะวันเป็นพืชล้มลุกตายต้นโคลเวอร์ก็ตายไปด้วย อย่างไรก็ตามยังไม่มีพันธุ์พืชที่มีเนื้อไม้แข็ง ชนิดใดที่ต่างตระกูลกันสามารถทำการต่อกิ่งกันได้อย่างถาวร

กระบวนการในการเกิดรอยต่อของกิ่ง (Processes of healing the graft union)

กระบวนการในการเกิดรอยต่อนั้น จะเกิดขึ้นทันทีหลังจากการติดต่อกระทำเสร็จเรียบร้อยแล้ว (หุ้มหรือพันพลาสติกแล้ว) ซึ่ง (นันทิยา, 2538) อธิบายขั้นตอนดังนี้

1. ขั้นตอนการเกิดแคลลัส (callusing)

การเกิดแคลลัสของรอยต่อ จะเกิดขึ้นเช่นเดียวกับการเกิดแคลลัสของรอยแผลโคนกิ่งตัดชำหรือกิ่งตอน และบริเวณที่เป็นรอยแผลทั่วไป นั่นคือจะเกิดกลุ่มเซลล์พาเรงคิม่า (parenchyma) จากกลุ่มเซลล์พาเรงคิม่าที่เปลือกหรือกลุ่มเซลล์เนื้อเยื่อเจริญที่เปลี่ยนแปลงสภาพ (differentiation of cambium cell) โดยการเกิดกลุ่มเซลล์เหล่านี้จะเกิดขึ้นหรือไม่ ต้องขึ้นอยู่กับอุณหภูมิที่พอเหมาะ มีสารอาหารที่สะสมหรือสร้างจากใบทั้งต้นตอและกิ่งพันธุ์ดีอย่างเพียงพอ โดยเฉพาะในต้นตอจะมีบทบาทมากกว่ากิ่งพันธุ์ดี มีความชื้นบริเวณรอยแผลที่เหมาะสม (80-100เปอร์เซ็นต์) พืชที่ต้องใช้เวลาในการเกิดรอยต่อยาวนานคือเกิดแคลลัสยาก เช่น มะปราง หรือ มังคุด ปัจจัยในการเกิดแคลลัสจะมีผลมากในการติดต่อให้ได้ผลดี (สนั่น, 2526) และนันทิยา (2538) กล่าวว่าจะมีการสร้างสารนิโครตินจากส่วนประกอบของเซลล์และผนังเซลล์จากกิ่งพันธุ์ดีและต้นตอ โดยเมื่อเฉือนกิ่งพันธุ์ดีและต้นตอเซลล์บริเวณที่เฉือนจะตายไปอย่างน้อย 1 ชั้นเซลล์ สารนิโคตินส่วนมากอาจหายไปบางส่วน และบางส่วนยังอยู่ในช่องว่างระหว่างเซลล์พาเรงคิม่าที่สร้างขึ้นในเวลาต่อมา

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2. ขั้นตอนที่แคลลัสของทั้งสองประสานตัวกัน (callus interlocking) พบว่า แคลลัสที่เกิดขึ้นได้ไวเท่าไร การประสานตัวของแคลลัสก็จะเกิดขึ้นได้ไวเท่านั้น การประสานตัวของแคลลัสได้ไวนี้ จะมีผลยืดอายุของกิ่งพันธุ์ดีที่ต่ออยู่ให้ยาวขึ้น เพื่อรอการเกิดรอยต่อทั้งนี้เพราะน้ำจากต้นตอจะส่งผ่านแคลลัสของต้นตอไปยังแคลลัสของกิ่งพันธุ์ดีได้ มีผลให้กิ่งพันธุ์ดีมีเวลารอการเกิดรอยต่อได้ยาวนานขึ้น และมีโอกาสที่จะเกิดรอยต่อในเปอร์เซ็นต์ที่สูง (สนั่น, 2526)

3. ขั้นตอนการเนื้อเยื่อเจริญใหม่ (initiation of new cambium)

เซลล์ที่มีชีวิตอยู่ใต้เซลล์ที่มีการตาย จะมีการทำงานของไซโทพลาสซึมเพิ่มขึ้น ในบางพืชมีการสะสมดิกโทโซม (dictyosomes) จำนวนมากตามผิวหน้าของการต่อกิ่ง ดิกโทโซมเหล่านี้หลั่งสารเข้าไปในช่องว่างระหว่างผนังเซลล์ของต้นตอและกิ่งพันธุ์ดี ทำให้มีการเชื่อมต่อระหว่างเซลล์พาเรงคิม่าอย่างรวดเร็ว จากเซลล์ที่มีชีวิตเหล่านี้ เซลล์พาเรงคิม่าที่สร้างใหม่แบ่งตัวจากต้นตอและกิ่งพันธุ์ ใน 1-7 วัน โดยเกิดจากเซลล์พาเรงคิม่าของโฟลเอมเรย์และบางส่วนของท่อน้ำที่ยังไม่แก่ที่ชั้นของแคมเบียม ซึ่งจริงๆแล้ว มีส่วนในการสร้างแคลลัสแรกๆนี้น้อยมาก ถ้าต่อกิ่งพันธุ์ดีบนต้นตอที่ตั้งตัวได้ดีแล้ว ต้นตอจะสร้างแคลลัสเป็นส่วนมาก โดยเซลล์พาเรงคิม่าเหล่านี้ประกอบด้วยเนื้อเยื่อแคลลัสฟองน้ำ ที่เติบโตแทรกในชั้นบางๆของนิโครติกจนเต็มช่องว่างระหว่างพันธุ์ดีกับต้นตอภายใน 2-3 วัน และประสานกันทำให้เกิดโครงสร้างที่แข็งแรงยอมให้น้ำและแร่ธาตุผ่านระหว่างต้นตอและกิ่งพันธุ์ดี บางครั้งมีเส้นสีน้ำตาลซึ่งเป็นส่วนของเซลล์ที่ตาย มาจากเนื้อเยื่อของต้นตอและกิ่งพันธุ์ดี ซึ่งต่อมาเส้นสีน้ำตาลนี้ถูกดูดซึมทีละน้อยแล้วหายไป ในขั้นสุดท้ายของการสมานรอยต่อ เซลล์ชั้นนอกของแคลลัสมีสารซูเบอรินมาเกาะ ส่วนของท่อน้ำท่ออาหารที่มีอยู่เดิม (นันทิยา, 2538)

4. ขั้นตอนการเกิดสะพานเยื่อเจริญใหม่ (cambium bridge)

โดยที่บริเวณริมๆ ของกลุ่มแคลลัสที่สร้างขึ้นใหม่ เซลล์พาเรงคิม่าที่อยู่ติดกับเซลล์แคมเบียมของต้นตอและกิ่งพันธุ์ดี เปลี่ยนแปลงรูปร่างเป็นเนื้อเยื่อเจริญเป็นเซลล์แคมเบียมใหม่หลังจากการต่อกิ่งได้ 2-3 สัปดาห์ และมีการสร้างแคมเบียมในกลุ่มแคลลัสไปเรื่อยๆ จนเข้าไปในแคมเบียมของต้นตอและกิ่งพันธุ์ดี โดยผ่านสะพานเชื่อมเนื้อเยื่อใหม่จนได้แคมเบียมที่เชื่อมต่อกันระหว่างต้นตอกับกิ่งพันธุ์ดี (นันทิยา, 2538)

5. การสร้างท่อน้ำและท่ออาหารใหม่จากแคมเบียมใหม่ในแคลลัสบริดจ์ ชั้นของแคลลัสแคมเบียมใหม่ในแคลลัสบริดจ์เริ่มทำงานโดยสร้างท่อน้ำเข้าทางด้านในและสร้างท่ออาหารออกทางด้านนอกไปพร้อมๆกับท่อน้ำท่ออาหารของต้นตอและกิ่งพันธุ์ดี เป็นดังนี้เรื่อยไปตลอดชีวิตของพืช การสร้างท่อน้ำท่ออาหารหลังจากแคมเบียมเชื่อมต่อกันแล้ว ดูเหมือนว่าชนิดของเซลล์ที่แคมเบียมสร้างขึ้นได้รับอิทธิพลจากเซลล์ของต้นตอที่อยู่ติดกับแคมเบียมนั้น เช่นถ้าแคมเบียมอยู่ติดกับ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ไซเล็มเรย์ของต้นตอก็จะสร้างไซเล็มเรย์เซลล์ และถ้าอยู่ติดกับส่วนประกอบของไซเล็มก็จะสร้างส่วนของไซเล็ม ใบจะเจริญจากกิ่งพันธุ์ดีและไม่เจริญจากต้นตอสังเกตว่ามีสิ่งเร้าที่ชักนำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสภาพของเนื้อเยื่อท่อน้ำท่ออาหารที่รอยต่อ มีรายงานการสร้างเนื้อเยื่อท่อน้ำใหม่ที่กำเนิดจะมากจากกิ่งพันธุ์ดีมากกว่าจากต้นตอ เช่นเมื่อต่อกิ่งที่เปลือกของแอปเปิลพันธุ์ Scugog ซึ่งมีท่อน้ำสีม่วงลงบนต้นแอปเปิลพบว่าท่อน้ำใหม่ใต้เปลือกมีสีม่วงด้วยในขณะที่ส่วนอื่นของต้นที่ไม่ได้ต่อกิ่งที่เปลือกมีท่อน้ำสีขาว การสร้างท่อน้ำท่ออาหารใหม่ทำให้มีท่อน้ำท่ออาหารเชื่อมต่อกันระหว่างต้นตอกับกิ่งพันธุ์ดี สิ่งสำคัญคือขั้นตอนนี้ต้องเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ก่อนที่จะมีใบใหม่เจริญจากตาของกิ่งพันธุ์ดี ซึ่งพื้นที่ใบที่ใหญ่มากจากกิ่งพันธุ์ดีจะไม่มีน้ำหรือมีน้อยมากมาชดเชยกับที่สูญเสียไปจากการระเหยน้ำ ทำให้กิ่งพันธุ์กิ่งพันธุ์ดีแห้งเร็วและตายไป อย่างไรก็ตามแม้ท่อน้ำท่ออาหารจะต่อกันไม่สำเร็จก็ยังอาจมีการลำเลียงอาหารผ่านเซลล์พาเรงคิม่าของแคลลัสได้อย่างพอเพียงเพื่อทำให้กิ่งพันธุ์ดีมีชีวิตอยู่ได้ เช่นการต่อกิ่งต้นกล้วยไม้วานิลลา ซึ่งเป็นพืชใบเลี้ยงเดี่ยว กิ่งพันธุ์ดีมีชีวิตรอดและเติบโตได้ถึง 2 ปี โดยมีแต่รอยต่อของเซลล์พาเรงคิม่าเท่านั้น สำหรับต้นยาสูบและฝ้ายมีขั้นตอนการพัฒนาแปลกออกไปเล็กน้อยคือแคลลัสสามารถเปลี่ยนแปลงสภาพเป็นท่อน้ำ tracheary elements หรือ โฟลเอ็ม ซีฟทิว หรือ ทั้งสองอย่างได้โดยตรง และมีชั้นของแคมเบียมระหว่างท่อน้ำและท่ออาหารในเวลาต่อมา ที่เห็นได้ชัดคือเซลล์พาเรงคิม่าซึ่งรวมกันเป็นแคลลัสสามารถเปลี่ยนแปลงสภาพ เป็นส่วนที่มีลักษณะคล้ายเทรคีดได้ง่าย (นันทิยา, 2538)

นงพร (2526) รายงานว่าขั้นตอนการพัฒนาการของรอยประสานในการติดตาพุทราจีนและพุทราอินเดีย บนต้นตอพุทราไทยและพุทราอินเดียไม่มีแตกต่างกันคือต้นตอเริ่มสร้างแคลลัสขึ้นก่อนและสร้างจนเต็มรอยแผล 12-14 วันหลังติดตา โดยแคลลัสสร้างจากเซลล์บริเวณพิธโฟลเอ็มทุติยภูมิ ไซเล็มทุติยภูมิ และ แคมเบียมท่อลำเลียงของต้นตอและ โฟลเอ็มทุติยภูมิ ไซเล็มทุติยภูมิ และแคมเบียมท่อลำเลียงของกิ่งพันธุ์ดี

Copes (1969) ศึกษาการพัฒนาของรอยประสานใน Douglas fir ตั้งแต่อายุ 2-84 วันหลังต่อกิ่ง พบว่ามีการพัฒนาการเหมือนกันกับการต่อกิ่งสนและ spruce แต่มีชนิดเซลล์ ระยะเวลาการสร้างแคลลัส และรูปแบบการรักษาแผลที่แตกต่างกัน โดยเริ่มสร้างแคลลัสเมื่ออายุ 2 วันหลังต่อกิ่ง จากนั้นเริ่มสร้างสะพานแคลลัสที่อายุ 10-14 วันและเปลี่ยนแปลงไปเป็นแคมเบียมเมื่ออายุ 17-23 วันหลังต่อกิ่งโดยแคลลัสจะสร้างจากส่วนของ โฟลเอ็มทุติยภูมิ หรือ คอร์เทกซ์ เกิดขึ้น

Suriyapananont and Suriyapananont (1990) ศึกษาการพัฒนาของรอยประสานระหว่างแอปเปิลพันธุ์ Anna บนต้นตอ MM 106 และ Docynia พบว่ามีระยะการสร้างรอยประสาน(bud union) ดังนี้ 1) ระยะก่อนการสร้างแคลลัสบริเวณรอบๆ บาดแผลเกิด wound periderm มีสีเหลืองอมน้ำตาลจนถึงสีน้ำตาล 2) ระยะการสร้างแคลลัส 3) ระยะการสร้างสะพาน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

แคมเบียมและเปลี่ยนแปลงเป็นเนื้อเยื่อลำเลียง (vascular tissue) 4) ระยะที่มีการสร้างแคลลัสจนเต็มรอยประสาน ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาการพัฒนาของรอยประสานของพลับพันธุ์ Fuyu ที่ติดตาบนต้นตอ Kluai Rusi และที่มีขั้นตอนการพัฒนาของรอยประสานที่เหมือนกันแต่มีระยะเวลาในแต่ละขั้นตอนแตกต่างกันในแต่ละคู่ติดตา (Suriyapananont and Suriyapananont, 1997)

สุรีรัตน์ (2526) รายงานว่าฝ่ายที่มีสภาพอาหารและน้ำสมบูรณ์กว่ามักจะเป็นผู้สร้างเนื้อเยื่อใหม่มากกว่าเช่นเดียวกับการทดลองของกัลยา (2530) ซึ่งรายงานว่าหลังการต่อกิ่งพลับพันธุ์ Fuyu บนต้นตอพลับพันธุ์ไต้หวัน อ่างขาง แม่แฮ ดอยปุย 1 และดอยปุย 2 ต้นตอพลับพันธุ์ต่างๆ สามารถสร้างเนื้อเยื่อใหม่ได้มากกว่ากิ่งพันธุ์ดีเสมอ แต่บางรายงานกล่าวว่าขึ้นกับความสามารถในการสร้างเนื้อเยื่อใหม่ของแต่ละฝ่ายแข็งแรงมากกว่า (Buck and Heppel, 1970)

Soumelidou *et al*. (1994) ทำการศึกษากายวิภาคการพัฒนารอยประสานและปัจจัยอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกับการเกิดอาการเตี้ยแคระ (dwarfing) ในแอปเปิล พบว่ามีการสร้างสะพานแคมเบียมซึ่งเปลี่ยนแปลงมาจากแคลลัสเชื่อมต่อกันระหว่างกิ่งพันธุ์แอปเปิล Gala และ กับต้นตอ Bramley โดยต้นตอเตี้ยแคระมีแนวโน้มไปลดการสร้างไซเล็ม ทำให้การส่งผ่านน้ำและธาตุอาหารจากต้นตอไปยังกิ่งพันธุ์ไม่ดีด้วย

Errea *et al*. (1994b) ศึกษาและเปรียบเทียบการเกิดรอยประสานในการต่อกิ่ง Prunus spp. ที่เข้ากันได้ (compatible) และเข้ากันไม่ได้ (incompatible) หลังการต่อกิ่ง 1 เดือนพบว่าต้นพืชทั้ง 2 ลักษณะอาการมีขั้นตอนการสร้างรอยประสานที่ไม่แตกต่างกัน อย่างไรก็ตามแคลลัสของต้น พืชที่เข้ากันได้จะมีการเปลี่ยนแปลงไปเป็นแคมเบียมและเนื้อเยื่อลำเลียงใหม่รวดเร็วและสมบูรณ์กว่าต้นท้อที่เข้ากันไม่ได้

Verma *et al*. (2000) รายงานว่าความเข้ากันไม่ได้ (incompatibility) ของ *Zizyphus mauritiana* พันธุ์ Gola กับต้นตอพันธุ์ Jharber นั้นเกิดจากการสร้างแคลลัสไม่เต็มรอยแผลเกิดช่องว่างระหว่างต้นตอกับกิ่งพันธุ์ดี แคลลัสไม่มีการเปลี่ยนแปลงไปเป็นแคมเบียมและเนื้อเยื่อลำเลียงใหม่ ซึ่งอาจส่งผลให้ต้นพืชใหม่ที่ได้มีความอ่อนแอ และมีแนวโน้มเกิดอาการ bottle neck เมื่อต้นพืชมีอายุมากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Unal (1995) และ Ermel *et al*. (1997) ซึ่งกล่าวไว้ว่าอาการเข้ากันไม่ได้ของรอยประสานเกิดจากแคลลัสไม่มีการเปลี่ยนแปลงพัฒนาหรือเกิดช่องว่างเนื่องจากสร้างแคลลัสไม่เต็มรอยแผล ทำให้แคมเบียมของต้นตอและกิ่งพันธุ์ดีไม่มีการเชื่อมต่อกัน ซึ่งเป็นอาการสำคัญอย่างหนึ่งที่สามารถบ่งบอกถึงการเข้ากันไม่ได้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ปัจจัยที่มีผลต่อการต่อกิ่ง

เป็นที่ทราบกันว่าการต่อกิ่งมักได้ผลไม่แน่นอนบางครั้งได้ผลดี บางครั้งอาจไม่ได้ผลทั้งเพราะมีปัจจัยหลายอย่างที่เกี่ยวข้องและมีอิทธิพลต่อการประสานตัวของรอยต่อกิ่ง (นันทิยา, 2538) ซึ่งปัจจัยดังกล่าวนี้ได้แก่

1. ชนิดของพืช

พืชบางชนิดต่อกันได้ยากแม้ไม่ใช่เพราะการเข้ากันได้ แต่เมื่อต่อกิ่งได้สำเร็จจะเติบโตดีมากและมีรอยต่อที่แข็งแรง เช่น โอ๊ค บีช และพืชบางชนิดต่อกิ่งง่าย เช่น แอปเปิล มะม่วง สามารถเปลี่ยนยอดด้วยวิธีง่ายๆ และมีเปอร์เซ็นต์ความสำเร็จสูง แต่การเปลี่ยนยอดพืชและบ๊วยต้องดูแลอย่างใกล้ชิด ขณะที่การต่อกิ่งพืชบนต้นตอพืชทำได้ยากกว่าการต่อกิ่งพืชบนพลัมและอัลมันด์ ในบางพืชการต่อกิ่งวิธีหนึ่งได้ผลดีกว่าอีกวิธีการหนึ่ง หรือใช้การติดตาดีกว่าการต่อกิ่ง บางพืชใช้การต่อกิ่งดีกว่าการติดตา ในแคลิฟอร์เนียใช้การเสียบเปลือก (Bark graft) เปลี่ยนยอดวอลนัท (*Juglans hindsii*) ด้วยวอลนัทเปอร์เซีย (*Juglans regia*) ได้ผลดีกว่าการต่อกิ่งแบบต่อลิ่ม พืชที่ต่อกิ่งง่าย เช่น แอปเปิลซึ่งมียาง (wound gum) จะมาอุดท่อน้ำหลังจากเฉือนแผลทำให้เนื้อเยื่อไม่สูญเสียน้ำมาก พืชอื่น เช่น วอลนัทซึ่งสามารถสมานแผลเกิดขึ้นยากเพราะมียางมาอุดท่อน้ำช้ามาก จึงทำให้เกิดการสูญเสียน้ำและเนื้อเยื่อในบริเวณรอยต่อตายเป็นจำนวนมาก พืชบางชนิด เช่น องุ่น มะม่วง และ คาเมลเลียใช้วิธีการต่อกิ่งหรือติดตาไม่สำเร็จดีเท่าวิธีทาบกิ่ง ซึ่งทั้งกิ่งพันธุ์ดีและต้นตอมีรากของตน การที่มีความสามารถในการสร้างแคลลัสซึ่งเป็นสิ่งจำเป็นในการเกิดรอยต่อที่สมบรูณ์ต่างกัน (นันทิยา, 2538)

2. อุณหภูมิ ความชื้นและออกซิเจนระหว่างและภายหลังการต่อกิ่ง

2.1 อุณหภูมิ

อุณหภูมิมีอิทธิพลในการเกิดเนื้อเยื่อแคลลัสอย่างมากกับการต่อกิ่งแอปเปิล ในสภาพอุณหภูมิต่ำกว่า 0 °ซ หรือสูงกว่า 40 °ซ จะมีแคลลัสเกิดขึ้นได้น้อยมากแม้ที่อุณหภูมิ 4 °ซ การเกิดแคลลัสก็น้อยและช้ามาก หรือ ที่อุณหภูมิ 32° ซ หรือสูงกว่านั้นการเกิดแคลลัสจะช้าออกไป ยิ่งอุณหภูมิสูงขึ้นเซลล์ยิ่งได้รับอันตรายจนเซลล์ตาย เช่น ที่อุณหภูมิประมาณ 40 °ซ อัตราการเกิดแคลลัสเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงในช่วง 4-32 °ซ การทำ Bench grafting มักให้พืชสร้างช้าๆ เป็นเวลาหลายเดือนโดยเก็บรักษากิ่งที่ต่อกิ่งแล้วไว้ที่อุณหภูมิ 29 °ซ หรือสูงกว่านั้นจะได้แคลลัสจำนวนมากแต่บอบบางและได้รับอันตรายง่ายเมื่อนำกิ่งไปปลูกถ้าให้อุณหภูมิ 20 °ซ จะเกิดแคลลัสช้าและไม่สร้างแคลลัสเลยถ้าได้รับอุณหภูมิต่ำกว่า 15 °ซ การต่อกิ่งในสภาพกลางแจ้งในเขตหนาวถ้ามีสภาพอุณหภูมิสูงเกินไปมักทำให้ต่อกิ่งไม่สำเร็จ เช่น การเปลี่ยนยอดของวอลนัทในแคลิฟอร์เนียในช่วงอากาศร้อนจัดของเดือนพฤษภาคมพบว่าการทาสีขาวช่วยสะท้อนแสงของ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ดวงอาทิตย์ทำให้เปลือกของต้นไม้มีอุณหภูมิต่ำลง นอกจากนั้นการต่อกิ่งทางทิศใต้และทิศตะวันตกทำให้เปลือกของต้นไม้มีอุณหภูมิต่ำลงด้วยเช่นเดียวกัน ซึ่งเป็นเพราะได้รับอุณหภูมิต่ำกว่าเนื่องจากอยู่ในทางทิศทางที่มีการบังร่ม (นันทิยา, 2538)

2.2 ความชื้น

เนื่องจากเซลล์พาเริงคิม่า ซึ่งประกอบขึ้นเป็นเนื้อเยื่อแคลลัสนั้นมีผนังเซลล์บางและอ่อนไม่สามารถทนทานต่อการสูญเสียน้ำ ถ้าสัมผัสกับอากาศแห้งเป็นเวลานานเซลล์จะตายไป ดังจะได้จากการต่อกิ่งแอปเปิล ความชื้นในอากาศที่ต่ำกว่าจุดอิ่มตัวจะยับยั้งการสร้างแคลลัสและเมื่อความชื้นลดลงอัตราการสูญเสียน้ำของเซลล์จะเพิ่มขึ้น อันที่จริงการมีฟิลม์ของน้ำรอบๆผิวของแคลลัส จะทำให้การสร้างแคลลัสเกิดขึ้นได้มากกว่าการรักษาความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศให้อยู่ที่ 100 เปอร์เซ็นต์ เซลล์สามารถสร้างแคลลัสได้มากกว่าเซลล์เหี่ยว การศึกษาการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อของต้นแอช ในหลอดแก้ว พบว่าการสร้างแคลลัสที่บริเวณรอยต่อลดลงอย่างมากเมื่อเซลล์มีความเต่งลดลง ถ้าไม่รักษาเนื้อเยื่อตรงรอยต่อให้อยู่ในสภาพที่มีความชื้นสูงมากแล้ว โอกาสที่จะเกิดรอยต่อที่สมบรูณ์มีน้อยมาก การใช้ขี้ผึ้งทารอบบริเวณรอยต่อ ซึ่งเป็นการรักษาความชื้นตามธรรมชาติของเนื้อเยื่อก็เป็นการเพียงพอแล้วสำหรับพืชส่วนมาก แต่การต่อรากมักไม่ใช้ขี้ผึ้งทาแต่เก็บวัสดุชื้นๆ ในช่วงการเกิดแคลลัส เช่น ใช้พีทมอสชื้นๆ หรือขี้กบขี้เลื่อยชื้นๆ ก็เป็นวัสดุที่ทำให้ได้ความชื้นและอากาศที่เพียงพอและใช้ได้พอดี (นันทิยา, 2538)

2.3 ออกซิเจน

การเกิดเนื้อเยื่อแคลลัสจำเป็นต้องมีออกซิเจนที่บริเวณรอยต่อเนื่องจากการแบ่งเซลล์อย่างรวดเร็วและการเติบโตของเซลล์นั้นต้องมีการหายใจสูงและต้องใช้ออกซิเจน สำหรับบางพืชการสมานรอยต่อจะดีขึ้นถ้าไม่ทาขี้ผึ้งแต่เก็บรักษาไว้ในวัสดุชื้นๆ แสดงว่าพืชในกลุ่มหลังนี้ต้องการออกซิเจนในการสร้างแคลลัสสมากกว่า ตัวอย่างพืชที่ไม่ใช้ขี้ผึ้งหรือวัสดุที่ป้องกันอากาศเข้าได้ในช่วงการเกิดแคลลัสคืออุ่น และมีรายงานว่าการเลี้ยงเนื้อเยื่อแคลลัสของเชอรี่ดำ (*Prunus serotina*) ในหลอดแก้วนั้น แสงยับยั้งการเกิดแคลลัส คือ แคลลัสจะมีขนาดใหญ่ขึ้นเมื่อเลี้ยงในที่มืดเมื่อเปรียบเทียบกับในที่มีแสง (นันทิยา, 2538)

3. สภาพการเติบโตของต้นตอ

การติดตาแบบตัวทีและการเสียบเปลือก ต้องอาศัยการมีเปลือกล่อนคือเซลล์แคมเบียมเริ่มแบ่งตัวในฤดูใบไม้ผลิก็เนื่องจากตาเริ่มเจริญ หลังจากตาเริ่มเจริญได้ไม่นานจะสามารถตรวจเช็คการแบ่งตัวของแคมเบียมใต้ตาที่กำลังเจริญนั้น โดยมีอัตราการแบ่งตัวลดลงไปตามกิ่งและลำต้นที่อยู่ต่ำ สิ่งเร้าที่ทำให้เกิดการแบ่งตัว คือ ออกซินและจิบเบอเรลลินจากตาที่กำลังผลิ ถ้าติดตาต้นกล้าในเนิสเซอรี่ในช่วงปลายฤดูร้อน จำเป็นต้องมีความชื้นในดินอย่างพอเพียงทั้งก่อนและหลัง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ช่วงการติดตา ถ้าขาดน้ำจะชะงักการเติบโตของต้นพืช แคมเบียมจะหยุดแบ่งตัวและเปลือกจะไม่ล่อนทำให้สอดชิ้นตาได้ยาก มีรายงานว่าการแบ่งตัวของแคลลัสซึ่งเป็นเรื่องสำคัญสำหรับการต่อกิ่งได้สำเร็จนั้นเกิดขึ้นในช่วงก่อนและระหว่างตาผลิในฤดูใบไม้ผลิ เนื่องจากปริมาณของออกซินที่พืชสร้างขึ้นจะลดลงเป็นลำดับจากฤดูร้อนจนถึงฤดูใบไม้ร่วง การแบ่งตัวของแคลลัสจะเพิ่มขึ้นอีกครั้งในตอนปลายฤดูหนาวแต่คราวนี้ไม่ขึ้นอยู่กับการพ้นระยะพักตัวของตา ในบางช่วงที่พืชกำลังเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว ถ้าตัดหรือเฉือนกิ่งจะมีน้ำเลี้ยงในพืชไหลออกมามาก การต่อกิ่งในลักษณะนี้รอยต่อจะสมานได้ยาก ควรจะให้ต้นตอจะมีสภาพทางสรีรวิทยาพร้อมที่จะสมานกับกิ่งพันธุ์ดี (นันทิยา, 2538) โดยฉลองชัย (2533) กล่าวว่าการประสานของรอยต่อจะช้าหรือเร็วขึ้นกับความสมบูรณ์หรือการสะสมอาหารของต้นตอและยอดพันธุ์ดี ต้นตอต้องอยู่ในช่วงที่กำลังเจริญเติบโต ส่วนยอดพันธุ์ดีควรมีตาเป็นตุ่มเล็กๆ เตรียมที่ผลิเป็นยอดใหม่ (ปิยะ, 2544) การใช้ยอดพันธุ์ดีที่เจริญเติบโตเต็มที่ เมื่อนำไปต่อกิ่งจะมีความสามารถในการเจริญเติบโตไปได้ดีกว่าใช้ยอดพันธุ์ดีที่ยังอ่อน แม้การประสานกันระหว่างเนื้อเยื่อบนกิ่งอ่อนจะเกิดได้ดีกว่ากิ่งที่แก่ (Hossain *et al*., 1991)

4. เทคนิคของการต่อกิ่ง

การต่อกิ่งต้องต่อกิ่งพันธุ์ดีกับต้นตอโดยวางแคมเบียมให้แนบกันมากที่สุด ถ้าแคมเบียมสัมผัสกันน้อยบริเวณนั้นคงเกิดการสมานหรือเชื่อมต่อกันและกิ่งพันธุ์ดีเริ่มเจริญ แต่เมื่อตาแตกใบและมีพื้นที่ใบใหญ่ ในสภาพอุณหภูมิสูงและมีอัตราระเหยน้ำสูง การเคลื่อนที่ของน้ำผ่านบริเวณท่อน้ำท่ออาหารที่จำกัดย่อมเกิดขึ้นไม่พอทำให้กิ่งพันธุ์ดีตายไป ความผิดพลาดอื่นๆ ในเรื่องเทคนิคของการต่อกิ่ง ได้แก่ การทาขี้ผึ้งไม่ทั่วหรือทาขี้ผึ้งช้า การเฉือนกิ่งได้แผลไม่เรียบหรือใช้กิ่งพันธุ์ดีที่เหี่ยวแล้ว สิ่งเหล่านี้มีผลทำให้การต่อกิ่งไม่สำเร็จ เทคนิคในการต่อกิ่งไม่ดีอาจทำให้การสมานแผลช้าออกไปหลายอาทิตย์หรือหลายเดือน แต่ไม่ได้เป็นสาเหตุของการเข้ากันไม่ได้ ตราบใดที่การสมานแผลของรอยต่อเกิดขึ้นอย่างเพียงพอแล้ว ต้นที่ต่อกิ่งแล้วนั้นจะเติบโตได้อย่างเป็นปกติ (นันทิยา, 2538)

5. การติดเชื้อไวรัส การมีโรคและแมลงรบกวน

การใช้ต้นตอหรือกิ่งพันธุ์ดีที่ติดเชื้อไวรัสจะทำให้เปอร์เซ็นต์ความสำเร็จลดลงและทำให้ต้นที่ต่อกิ่งแล้วมีความแข็งแรงลดลงด้วย ในผลไม้ชนิดที่มีเปลือกเมล็ดแข็งมาก การขยายพันธุ์โดยใช้ตาที่ปลอดจากโรค ring spot virus จะมีเปอร์เซ็นต์ ติด สูงกว่าการใช้ตาจากต้นที่ติดเชื้อนี้ ในแคลิฟอร์เนีย การเปลี่ยนยอดต้นมะกอกใช้เวลานานกว่าปกติในบางปี เนื่องจากมีหนอนเจาะต้น (American plum borer; *Euzophera semifuneralis*) มากินเนื้อเยื่อแคลลัสรอบๆ รอยต่อทำให้กิ่งพันธุ์ดีตายไป ในอังกฤษมักมีหนอน (red bud borer; *Thomasiniana oculiperda*) ระบาด

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตามเนิสเซอรี่ที่ปลูกแอปเปิลและกินแคลลัสใต้แผ่นตาที่ติดแบบตัวที ทำให้แผ่นตาตายไป บางครั้งเชื้อราหรือบัคเตรีเข้าไปในแผลขณะเตรียมต่อกิ่งหรือติดตา เช่นการต่อกิ่ง *Cornusflorida rubra* บนต้นตอ *C. florida* ไม่สำเร็จเพราะมีเชื้อรา *Chalaropsis thielavioides* การใช้สารเคมีควบคุมการติดเชื้อสามารถช่วยให้การต่อกิ่งเป็นผลสำเร็จ การขยายพันธุ์ยางพาราในอเมริกากลางและอเมริกาใต้ใช้วิธีประยุกต์การติดตาแบบปะ (patch bud) สาเหตุของการติดตาไม่สำเร็จในสภาพร้อนชื้นเช่นนั้นเนื่องจากมีเชื้อรา *Diplodia theobromae* ขึ้นที่ผิวรอยติดตา และการใช้ยากันราจะช่วยควบคุมเชื้อนี้ได้ ในฟลอริดา การเปลี่ยนยอดต้นมะม่วงจำเป็นต้องควบคุมเชื้อราที่ทำให้เกิดโรคแอนแทรกโนสและสแคบจึงประสบความสำเร็จ โดยฉีดพ่นต้นตอและกิ่งพันธุ์ดีด้วยยากันราที่มีธาตุทองแดงเป็นส่วนประกอบอย่างสม่ำเสมอก่อนทำการเปลี่ยนยอด (นันทิยา, 2538)

6. สารควบคุมการเจริญเติบโตกับสมานรอยต่อ

การใช้สารควบคุมการเจริญเติบโตโดยเฉพาะออกซิน ใส่แผลในต้นไม้หรือใส่รอยต่อกิ่งปรากฏว่าให้ผลในการสมานแผลต่างกัน แต่การเลี้ยงเนื้อเยื่อในหลอดแก้วพบว่าระดับของสารควบคุมการเจริญเติบโต โดยเฉพาะไคเนตินและออกซินมีความสัมพันธ์กับการสร้างเนื้อเยื่อแคลลัส ซึ่งมีความสำคัญต่อการสมานแผลของรอยต่อแน่นอน มีหลักฐานว่ากรดแอบซิสิกกระตุ้นการสร้างแคลลัส โดยเฉพาะเมื่อให้กับเนื้อเยื่อพร้อมกับออกซินหรือพร้อมกับไคเนตินน่าจะเป็นไปได้ที่การใช้ออกซินและไคเนติน หรือกรดแอบซิสิกกับออกซินจะมีผลในทางปฏิบัติโดยกระตุ้นการสร้างแคลลัสเพื่อช่วยสมานรอยต่อกิ่งด้วย (นันทิยา, 2538)

7. ทิศทางด้านโคนและด้านปลายในการต่อกิ่ง (Polarity in grafting)

ถ้าต้องการให้การต่อกิ่งเป็นผลสำเร็จถาวร การวางด้านโคนหรือด้านปลายกิ่งให้ถูกต้องเป็นเรื่องสำคัญมาก คือ

- การต่อกิ่งต้องเอาโคนของกิ่งพันธุ์ดีต่อกับปลายของต้นตอ
- การต่อกิ่งเข้ากับรากดังที่ทำในการต่อราก (root grafting) ให้ต่อโคนของกิ่งพันธุ์ดีเข้ากับโคนของต้นตอ (คือราก)
- การวางกิ่งพันธุ์ดีกลับหัว เช่น เมื่อทำการต่อกิ่งแบบสะพาน (bridge grafting) ก็อาจจะต่อได้สำเร็จและมีชีวิตอยู่ได้ระยะหนึ่ง แต่กิ่งพันธุ์ดีนั้นจะไม่ขยายขนาดเมื่อเทียบกับกิ่งพันธุ์ดีที่ต่อด้านโคนด้านปลายอย่างถูกต้องซึ่งจะขยายใหญ่ขึ้น
- การทำ nurse root grafting มีเจตนาใช้ต้นตอกลับหัวต่อกิ่งกับพันธุ์ดี การสมานรอยต่อจะเกิดขึ้นได้ รากจะหาน้ำและแร่ธาตุให้กิ่งพันธุ์ดีแต่กิ่งพันธุ์ดีไม่สามารถลำเลียงอินทรีย์สารให้แก่ราก ทำให้รากตายในที่สุด การทำ nurse root grafting

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

จึงเจตนาให้รอยต่ออยู่ใต้ระดับดินเพื่อให้กิ่งพันธุ์ดีออกรากเอง และกลายเป็นระบบรากทั้งหมดของพืชต้นนั้น

- การติดตาแบบตัวทีหรือการติดตาแบบปะ การวางชิ้นตาไม่จำเป็นต้องให้ถูกทิศทางเสมอไป การวางตากลับหัวลงก็ยังทำการติดตาเป็นผลสำเร็จ ตาจะแตกเป็นกิ่งเจริญลงด้านล่างแล้วโค้งขึ้นข้างบนทำให้ได้กิ่งทำมุมกว้างกับลำต้นเมื่อวางตากลับหัว แคมเบียม ยังทำหน้าที่ปกติและเจริญเติบโตได้ ท่อน้ำท่ออาหารและไฟเบอร์ที่แคมเบียมสร้างขึ้นอาจมีรูปร่างบิดเบี้ยวแต่ก็มีการลำเลียงน้ำและแร่ธาตุได้ตามปกติ (นันทิยา, 2538)

8. การเข้ากันไม่ได้ (Incompatibility)

การต่อกิ่งระหว่างพืชที่ไม่มีความใกล้ชิดกันทางพฤกษศาสตร์จะทำให้การต่อกิ่งไม่ติดหรือมีเปอร์เซ็นต์ต่ำ การต่อกิ่งบางพืชที่เข้ากันไม่ได้บางครั้งอาจเกิดรอยต่ออย่างดีในตอนแรกและก็จะแยกจากกันในภายหลัง (นันทิยา, 2538) โดยนาตยา และคณะ (2542) รายงานว่าการเกิดรอยต่อระหว่างกิ่งพันธุ์ส้มสายน้ำผึ้งบนต้นตอ *Cleopatra mandarin* และส้มแดงมีรอยเชื่อมติดต่อเข้ากันได้ดี ส่งผลให้มีการเจริญเติบโตได้ดีทั้งส่วนต้น และส่วนราก (rootstock) ส่วนต้นตอ *Troyer citrange* และ ต้นตอ Swingle พบว่ารอยเชื่อมรวมเข้ากันได้ไม่ดี โดยกิ่งพันธุ์มีขนาดเล็กกว่าต้นตอ เกิดลักษณะเท้าช้าง ทำให้มีการเจริญเติบโตได้ไม่ดีเท่าที่ควร

ความเข้ากันไม่ได้ในการต่อกิ่ง (Graft incompatibility)

ความเข้ากันไม่ได้ คือ ปรากฏการที่เกิดขึ้นเมื่อต่อกิ่งพืชทั้งสองเข้าด้วยกันแล้วรอยต่อไม่สามารถเชื่อมต่อกันได้สำเร็จ และได้ต้นที่เติบโตไม่ดี เมื่อเปรียบเทียบกับการต่อกิ่งพืชที่เข้ากันได้ รอยต่อที่เชื่อมกันได้ดีและเติบโตเหมือนเป็นต้นเดียว อันที่จริงความแตกต่างระหว่างรอยต่อของพืชที่เข้ากันได้ดีกับของพืชที่เข้ากันไม่ได้นั้นไม่ชัดเจนนัก ต้นตอและกิ่งพันธุ์ดีของพืชที่มีความใกล้ชิดกันทางพฤกษศาสตร์ต่อกันไม่สำเร็จ มีพืชหลายคู่ที่มีสภาพกึ่งกลางของที่กล่าวมานี้คือ ในตอนแรกสามารถต่อกันได้ดูเหมือนสำเร็จดี แต่พอนานไปเริ่มมีอาการซึ่งอาจเป็นเพราะรอยต่อแยกจากกันหรือมีการเติบโตผิดปกติ (นันทิยา, 2538)

อาการผิดปกติภายนอกของการเข้ากันไม่ได้

Hartmann *et al*. (2002) ได้อธิบายอาการผิดปกติภายนอกของความเข้ากันไม่ได้ มีดังนี้

1. มีความล้มเหลวในการประสานรวมกันได้ในเปอร์เซ็นต์ที่สูง
2. ใบเหลืองและใบร่วงก่อนเวลาอันควร การเจริญเติบโตลดลง มีกิ่งแห้งตาย และต้นมีสุขภาพไม่แข็งแรง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

3. เกิดการตายของต้น ซึ่งมีชีวิตอยู่ในสถานเพาะชำต้นกล้าเพียงหนึ่งหรือสองปีเท่านั้น

4. มีความแตกต่างที่ชัดเจนในอัตราการเจริญเติบโต หรือความแข็งแรงของต้นตอ

5. มีความแตกต่างระหว่างกิ่งพันธุ์ดีและต้นตอ ของช่วงเวลาการเจริญทางลำต้นที่เริ่มและสิ้นสุดฤดูกาล

6. มีการเจริญเติบโตที่ผิดปกติของรอยต่อที่เหนือและใต้ต้นตอ

7. เกิดการแตกหน่อที่ต้นตอ

8. ส่วนของรอยต่อกิ่งแยกออกจากกันอย่างชัดเจน

อาการในข้อใดข้อหรือมากกว่าหนึ่งข้อที่เกิดอาการผิดปกติ (ยกเว้นขอสุดท้าย) ไม่จำเป็นต้องเป็นอาการของความเข้ากันไม่ได้เสมอไป อาการเข้ากันไม่ได้ที่ชัดเจนที่สุด คือการเกิดการแยกของต้นที่รอยต่อที่ประสานกันของต้นตอและกิ่งพันธุ์ดี

ซึ่งตามลักษณะอาการบางอย่างที่แสดงออกมาในการติดตา ต่อกิ่งพืชในบางกรณี อาจไม่ได้แสดงถึงการเข้ากันไม่ได้ แต่ลักษณะอาการดังกล่าวอาจแสดงถึงผลของสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม เป็นการขาดน้ำหรือแร่ธาตุที่จำเป็น หรือถูกทำลาย โดยโรคและแมลง หรือใช้วิธีการติดตาหรือต่อกิ่งที่ไม่เหมาะสม เพื่อให้แน่ชัดลงไปว่าเกิดการเข้ากันไม่ได้ ควรจะยึดหลักว่าเมื่อเกิดการเข้ากันไม่ได้ จะเกิดการหักหรือแยกออกจากกันของต้นพืชทั้งสองตรงรอยต่อ โดยเฉพาะเมื่อต้นพืชเจริญเติบโตได้ 1-2 ปี ส่วนที่หักจะมีลักษณะราบเรียบ ตัวอย่างเช่น ในการติดตา ต่อกิ่ง ของกิ่งพันธุ์ดี ที่เป็นบ๊วย บน ต้นตอที่เป็นอัลมอนด์ ในบางกรณีการแตกหักจะไม่เกิดขึ้น จนกว่าจะถึงเวลาที่พืชโตเต็มที่และให้ดอกและผล เช่น การติดตาต่อกิ่งของกิ่งพันธุ์ดี ที่เป็นบ๊วย บางพันธ์บนต้นตอที่เป็นพลัมพันธุ์ Myrobalan ถ้าทำการตรวจสอบโดยการเฉือนเปลือกเล็กน้อยที่บริเวณรอยต่อ เพื่อดูว่าเกิดการเข้ากันไม่ได้หรือไม่ จะพบว่าถ้าเกิดการเข้ากันไม่ได้จะเกิดเส้นสีน้ำตาล หรือบริเวณตายของเนื้อเยื่อที่รอยต่อ โดยพบว่ามีลักษณะอาการผิดปกติทางสัณฐานวิทยาที่เกิดขึ้นระหว่างรอยต่อกิ่งพันธุ์ดีกับต้นตอทั้งเกิดขึ้น (เกศิณี, 2522)

อาการผิดปกติที่ระหว่างรอยต่อ

มีความผิดปกติเกิดขึ้นในการติดตา ต่อกิ่งพืชบางชนิด เช่น ในการต่อกิ่งสาลี่พันธุ์ Conference ใช้ต้นสาลี่พันธุ์ C8 เป็นต้นตอกลางต่อบน Quince พันธุ์ A กับคู่การต่อกิ่งของสาลี่พันธุ์ Conference บน Quince พันธุ์ A เป็นต้นตอกลางแล้วต่อบนต้นตอ C8 พบว่ารอยต่อระหว่าง ต้นตอกลาง และ ต้นตอ ของคู่ที่สองเกิดรอยต่อที่ไม่ดี เพราะเกิดก้อนของเซลล์พาเรินไคม่าคั่นเนื้อไม้อยู่หลายแห่ง ทำให้เปลือกไม้ถูกแยกออกจากกันเป็นตอน ๆ ไป การที่รอยต่อไม้เกิดการเจริญติดต่อกัน โดยตลอดนี้ทำให้เกิดอาการของการเข้ากันไม่ได้ อันเนื่องมาจากส่งผ่านสารอาหารพืชทั้งสอง โดยมีการเจริญเติบโตเป็นเวลา 3 ปี เมื่อนำเอาพืชทั้งสองคู่มาวิเคราะห์ให้ละเอียด จะ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

พบว่าในคู่ที่สองได้แตกยอดใหม่เพียงเล็กน้อยมีใบ 2-3 ใบ มีสีน้ำตาลอมเหลือง แสดงให้เห็นถึงอาการของ การเข้ากันไม่ได้อย่างรุนแรง ส่วนคู่ที่หนึ่งเพียงแต่เกิดรอยต่อที่ไม่ดีเหมือนกัน แต่พืชยังคงเจริญเติบโตได้ดี (เกศิณี, 2522)

การบวมพองบริเวณรอยต่อ

อาการบวมพวงที่รอยต่อนี้หากปรากฏว่าไม่มีอาการอย่างอื่นแสดงให้เห็นแล้ว อาจไม่ได้ทให้เกิดความเข้ากันไม่ได้ ซึ่งจากการศึกษาในแอปเปิลและสาลี่ที่พบการบวมพองของรอยต่อกับการเกิดการเข้ากันไม่ได้ พบว่าทั้งสองอย่างนี้ไม่มีความเป็นสหสัมพันธ์กันแต่อย่างใด ดังจะเห็นได้จากการต่อกิ่งสาลี่บนแอปเปิล คู่ที่มีการเข้ากันไม่ได้มากที่สุดจะไม่เกิดการบวมพอง แต่อาการบวมพองจะแสดงมากที่สุดในคู่ที่สามารถต่อกิ่งเข้ากันได้ เช่นเดียวกับการศึกษาในประเทศอังกฤษเมื่อเวลานานประมาณ 20 ปีมาแล้ว จากการศึกษาคู่ของ ต้นตอ และ กิ่งพันธุ์ดีที่เป็นพลัม ท้อ สาลี่ เชอรี่ และแอปเปิล สามารถยืนยันได้ว่าการเกิดบวมพองที่รอยต่อไม่ได้เป็นตัวชี้ให้เห็น การเข้ากันไม่ได้แต่อย่างใด เพราะคู่ที่ต่อกิ่งเข้ากันไม่ได้ อาจไม่พบอาการบวมพองเลย แต่ขณะที่คู่ที่ต่อกิ่งเข้ากันได้จะเกิดการบวมพองขึ้นบ่อยครั้ง แต่ทั้งนี้ลักษณะอาการบางอย่างเหล่านี้ไม่อาจเป็นตัวชี้ว่าเกิดการเข้ากันไม่ได้หรือเข้ากันได้ (เกศิณี, 2522)

การเข้ากันไม่ได้ที่เกิดขึ้นภายหลัง (Delayed Symptoms of Incompatibility)

เป็นลักษณะอาการบางอย่างที่ปรากฏหลังจากที่คู่ของต้นตอ และ กิ่งพันธุ์ดี ซึ่งเคยเจริญเติบโตได้ดีมาก่อนแล้วนานเป็นเวลาหลาย ๆ ปีแล้ว ถึงจะมีอาการแสดงออกมาให้เห็น ตัวอย่างเช่น ในการต่อกิ่งสาลี่พันธุ์ Bristol Cross บนต้นตอ Quince เมื่อปี ค.ศ.1932 จะได้รอยต่อที่ดีมาก ต่อมาอีก 30 ปี พืชคู่ดังกล่าวนี้จะต้องการต้นตอกลาง ที่สามารถเข้ากันได้คือพันธุ์ Beurre hardy จึงจะได้รอยต่อที่เหมาะสมและเป็นที่ยอมรับ และตัวอย่างของการต่อกิ่งสาลี่พันธุ์ Conference บน Quince เมื่อปี ค.ศ. 1937 จะได้รอยต่อที่แข็งแรงดีและพืชเจริญเติบโตดี ต่อมาอีก 20 ปี พืชคู่นี้จะได้รอยต่อที่อ่อนแอ และการเข้ากันไม่ได้ (เกศิณี, 2522)

ลักษณะของการเข้ากันไม่ได้

โดยทั้งนี้ Mosso (1962) กล่าวถึงชนิดของการเข้ากันไม่ได้ของการต่อกิ่ง ดังนี้

1. ความเข้ากันไม่ได้ที่มีสาเหตุจากการไม่สามารถส่งผ่านอาหารระหว่างรอยต่อ (Translocated incompatibility)

ชนิดนี้มีสารที่เป็นสาเหตุทำให้เกิดเข้ากันไม่ได้ เคลื่อนย้ายผ่านรอยต่อทำให้ท่ออาหารเสียไปเกิดรอยสีน้ำตาลในเปลือกเห็นได้ชัด การที่ท่ออาหารเสียไปทำให้เกิดการสะสมของคาร์โบไฮเดรตเหนือบริเวณรอยต่อเป็นจำนวนมากและมีสารคาร์โบไฮเดรตปริมาณที่ลดลงตรงใต้รอยต่อ ซึ่งไม่สามารถใช้ต้นตอกลางแก้ไขได้ โดยเนื้อเยื่อตรงเปลือกที่เสียไปอาจทำให้ไม่เกิด

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

รอยต่อหรืออาจได้รอยต่อแต่ไม่แข็งแรงหรือได้รอยต่อที่แข็งแรงโดยมีเนื้อเยื่อจากทั้งพันธุ์ดีและต้นตอสมานกันดีตามปกติ ตัวอย่างเช่น พีชพันธุ์ Hale's Early ต่อบนต้นตอของพลัมพันธุ์ Myrobalan B ได้รอยต่อที่ไม่แข็งแรงและมีสารจำพวกแป้งเป็นจำนวนมากมาสะสมที่โคนของกิ่งพืช ถ้าใช้พลัมพันธุ์ Brompton เป็นต้นตอกลางก็ยังมีอาการเข้ากันไม่ได้โดยมีสารจำพวกแป้งมาสะสมอยู่ที่ต้นตอกลาง อย่างไรก็ตาม มีรายงานว่าเมื่อต่อกิ่งพีชบนต้นตอพลัมแล้ว แต่ใช้ต้นตอพลัมระยะต้นกล้ามีใบเลี้ยง ไม่ปรากฏว่าอาการเข้ากันไม่ได้หลังจากต่อกิ่งได้นานถึง 13 ปี แต่ถ้าใช้ต้นตออายุปกติจะมีอาการเข้ากันไม่ได้หลังจากต่อกิ่งได้หนึ่งปี อาจเป็นไปได้ที่ปัจจัยทำให้เกิดการเข้ากันไม่ได้นั้นไม่มีอยู่ในต้นตอระยะเป็นต้นกล้าซึ่งเป็นระยะเยาว์วัย

อีกตัวอย่างหนึ่งคือการต่อกิ่งต้นอัลมอนด์พันธุ์ Nonpareil บนต้นพลัมพันธุ์ Marianna 2624 ซึ่งทำให้ท่ออาหารเสียไปแต่เนื้อเยื่อท่อน้ำต่อกันได้ดี และเมื่อต่อกิ่งอัลมอนด์พันธุ์ Texas บนต้นตอพันธุ์ Marianna 2624 ปรากฏว่าเข้ากันได้ดี และเมื่อใช้อัลมอนด์พันธุ์Texas เป็นต้นตอกลางระหว่างอัลมันด์พันธุ์ Nonpareil กับต้นตอพลัมพันธุ์ Marianna 2624 ก็ไม่สามารถแก้ปัญหาความเข้ากันไม่ได้แบบนี้ได้ เปลือกของต้นตรงรอยต่อของต้นตอกลางกับต้นตอเสียไปเนื่องจากมีสารที่เคลื่อนย้ายในท่ออาหารจากกิ่งพันธุ์ดีผ่านต้นตอกลางมายังต้นตออุดตันอยู่

การติดตาพีชบนต้นตอพลัมพันธุ์ Marianna จะเกิดปัญหาเข้ากันไม่ได้ แม้ว่าในฤดูแรกจะติดได้ดีและเติบโตได้ แต่ต่อมาที่เหนือรอยติดตาจะมีการเติบโตผิดปกติ และใบของพืชเหี่ยวและต้นตาย เมื่อศึกษาทางกายวิภาคพบว่าที่รอยต่อนั้นท่อน้ำมีการต่อกันได้ดี แต่ท่ออาหารไม่เชื่อมต่อกันทำให้รากตายและทำให้กิ่งพันธุ์ดีตายด้วย ถ้าต้นตอพลัมยังมีใบสดอยู่เพื่อเลี้ยงรากน่าจะทำให้ต้นอยู่รอดตลอดไป ในการศึกษาการต่อกิ่งของพีช กับพลัม พบว่ามีการแสดงลักษณะอาการเข้ากันไม่ได้ของการต่อกิ่งแบบการไม่สามารถส่งผ่านอาหารระหว่างรอยต่อ (Moreno *et al*., 1993)

2. การผสานเนื้อเยื่อและรอยต่อไม่แข็งแรง (Localized Incompatibility)

ชนิดนี้เป็นลักษณะการเข้ากันไม่ได้ที่เกิดเฉพาะตรงรอยต่อของกิ่งพันธุ์ดีกับต้นตอ ซึ่งถ้าใช้ต้นตอกลางที่สามารถเข้ากันได้กับทั้งกิ่งพันธุ์ดีและต้นตอสามารถแก้ปัญหานี้ได้ อาการของการเข้ากันไม่ได้แบบนี้คือเป็นลักษณะรอยต่อที่ไม่แข็งแรง มีเนื้อเยื่อเจริญต่อกันแต่ท่อน้ำท่ออาหารขาดตอนไม่ต่อเนื่อง แม้ว่ามีบางกรณีที่รอยต่อแข็งแรงและเนื้อเยื่อประสานกันได้ดี ส่วนมากอาการที่แสดงออกภายนอกเกิดขึ้นช้า แต่มีความขัดข้องทางกายวิภาคตรงรอยต่อเกิดภายใน ทำให้ในที่สุดต้นขาดอาหารจากยอดและใบเพราะอาหารเคลื่อนย้ายผ่านรอยต่อมาได้ยาก ดังตัวอย่างเช่น เมื่อต่อกิ่งสาลี่พันธุ์ Bartlett บนต้นตอควินซ์ แล้วใช้สาลี่พันธุ์ Old home เป็นต้นตอกลางทำให้ทั้งสามส่วนต่อกันได้ดีมากขึ้นและได้ต้นที่เจริญเติบโตดี (Mosse, 1958)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

3. การเกิดโรคชักนำให้เกิดการเข้ากันไม่ได้ (Pathogen-induced Incompatibility)

ความล้มเหลวในการเกิดรอยต่อโดยมีอาการเหมือนการเข้ากันไม่ได้อาจมีสาเหตุจากโรค ในบางกรณีความผิดปกติที่เกี่ยวข้องกับการเข้ากันไม่ได้นั้นมาพบสาเหตุภายหลังว่าเป็นเพราะมีเชื้อไวรัสแฝงอยู่ (หรือเชื้อไมโครพลาสม่า) ซึ่งติดได้จากการต่อกิ่งพันธุ์ที่ต้านทานโรคกับต้นตอที่อ่อนแอ ตัวอย่างหนึ่งได้แก่ส้ม ซึ่งเดิมเคยเข้าใจกันว่าการติดตาส้ม Sweet orange กับต้นตอส้ม Sour orange ในแอฟริกาในเมื่อปี ค.ศ. 1910 และในชวาเมื่อปี ค.ศ. 1928 นั้นเกิดการเข้ากันไม่ได้ ทั้งที่ในส่วนอื่นของโลกได้ทำกันเป็นการค้าและประสบความสำเร็จด้วย สาเหตุของการเข้ากันไม่ได้เชื่อว่าเป็นเพราะกิ่งพันธุ์ดีผลิตสารพิษให้กับต้นตอ มีการศึกษาต่อมาในบราซิลและแคลิฟอร์เนีย พบว่าที่เข้าใจว่าเป็นสารพิษนั้นแท้จริงคือไวรัสซึ่งกิ่งพันธุ์ดีคือ Sweet orange ทนได้แต่ไวรัสนี้ทำให้ต้นตอ Sour orange ตายไป (นันทิยา, 2538)

โรค pear decline เกิดครั้งแรกในอิตาลีและต่อมาพบทางตะวันตกของอเมริกาเหนือ โรคนี้ทำให้ต้นสาลี่ในรัฐแคลิฟอร์เนียตายไปหลายแสนต้น ครั้งแรกเข้าใจกันว่าเป็นเพราะปัญหาของต้นตอและลงความเห็นว่าเป็นการเข้ากันไม่ได้ที่ไม่ทราบสาเหตุ ถ้าใช้กิ่งพันธุ์ดี Bartlett ต่อบนต้นตอสาลี่ (*Pyrus pyrifolia*) จะเกิดปัญหามาก แต่ถ้าใช้ต้นตอ *P. comminis* ไม่มีปัญหา ซึ่งงานวิจัยต่อมาพบว่าโรค pear decline ที่ทำให้เกิดจากการเข้ากันไม่ได้นั้น เกิดจากเชื้อไวรัสซึ่งแพร่มาโดยแมลง *Psylla pyricola* เป็นพาหะ สาลี่พันธุ์ Bartlett และ *P. comminis* ทนทานต่อโรคนี้ได้แต่ต้นตอ *P. pyrifolia* อ่อนแอต่อเชื้อมาก อาการที่พบคือท่ออาหารตรงใต้รอยต่อเสียไป การศึกษาต่อมาทราบว่าเชื้อโรคที่เป็นสาเหตุไม่ใช้เชื้อไวรัสแต่เป็นจุลินทรีย์คล้ายไมโครพลาสม่า อาการของโรค Pear decline จะเกิดขึ้นเมื่อมีเชื้อโรคนี้มีแมลงเป็นพาหะ และมีต้นตอที่อ่อนแอต่อโรค เชื้อนี้ปราบโดยใช้ยาปฏิชีวนะเตตราไซคลีนฉีดเข้าไปในลำต้น (นันทิยา,2538)

การเข้ากันไม่ได้ที่อาจเกิดขึ้นในตอนหลังเรียกว่า delayed การเข้ากันไม่ได้ เช่น กับต้นวอลนัทเกิดอาการ black line ในสวนที่ปลูกวอลนัทในเมืองออเรกอน รัฐแคลิฟอร์เนียและในฝรั่งเศสเมื่อใช้ต้นวอลนัท (*Juglans regia*) ต่อกิ่งบนต้นตอ *J. hindsii* หรือต้นตอ *J. hindsii x J. regia* ต้นวอลนัทที่ต่อกิ่งเหล่านี้เติบโตตามปกติให้ผลผลิตดีจนกระทั่งต้นโตเต็มที่อายุ 15-20 ปี หรือมากกว่านั้น เนื้อเยื่อเจริญและท่ออาหารตรงรอยต่อเริ่มตายลงไป เนื้อเยื่อที่ตายนี้ค่อยๆ ขยายวงไปรอบต้นจนมีอาการเหมือนต้นไม้ถูกคว่ัน ความกว้างของเนื้อเยื่อที่ตายอาจกินบริเวณแนวตั้งถึง 12 นิ้ว การคว่ันทำให้ต้นพืชเหนือรอยคว่ันตายไป แต่ต้นตออาจมีกิ่งแตกขึ้นมาและยังมีชีวิตอยู่ ปัจจุบันนี้ทราบกันว่าปัญหานี้มิได้เกิดจากการเข้ากันไม่ได้ แต่เกิดเพราะเชื้อไวรัสที่ทำให้เกิดอาการใบม้วนของต้นเชอรี่และแพร่เชื้อไปด้วยละอองเกสร เมื่อไวรัสเคลื่อนที่ไปถึงรอยต่อเซลล์ของต้น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

วอลนัท *J. hindsii* ซึ่งมีความอ่อนแอต่อเชื้อมากจะมีปฏิกิริยาเป็นพิษตรงรอยต่อทำให้เกิดการคว่ันลำต้น (นันทิยา,2538)

4. ความบกพร่องทางกายวิภาค (Anatomical flaws)

Hartmann *et al*. (2002) ได้กล่าวถึงการต่อกิ่งเชอร์รี่ (*Prunus avium*) ซึ่งพบว่ามีจำนวนของโฟลเอ็ม ซีฟทิวอยู่น้อย และมีจำนวนลดน้อยลงที่รอยต่อ ที่สำคัญยังพบว่ามีการเปลี่ยนแปลงสภาพของเซลล์ในการเชื่อมติดเพียงเล็กน้อย มีการสร้างท่ออาหารได้ไม่ดีที่รอยต่อ รอยต่อประสานจึงไม่แข็งแรง ซึ่งการเปลี่ยนแปลงสภาพของเซลล์เป็นท่ออาหารได้น้อยอาจมีสาเหตุมาจากความผิดปกติของฮอร์โมน คาร์โบไฮเดรต และปัจจัยอื่นๆ ขณะที่ขนาดของซีฟทิวขึ้นอยู่กับฮอร์โมน ออกซิน ไซโตไคนิน และระดับน้ำตาล และในการต่อกิ่งบ๊วย (*P. armeniaca*) กับพลัม (*P. cersifera*) พบว่ามีแคลลัสที่เปลี่ยนสภาพเป็นแคมเบียมและเนื้อเยื่อท่อลำเลียงได้น้อย โดยแคลลัสส่วนใหญ่จะไม่เปลี่ยนแปลงสภาพ ซึ่งเป็นกลไกที่ทำให้เกิดรอยต่อประสานที่อ่อนแอ ซึ่งยังพบความเข้ากันไม่ได้ในคู่ต่อกิ่งไม้ผลหลายชนิด เช่น แอปเปิล (Richardson *et al*.,1996) องุ่น (Bonfiglio *et al*., 2003) และมังคุด (มงคลและคณะ, 2533)

สาเหตุและกลไกการเข้ากันไม่ได้

สำหรับสาเหตุที่ไม่สามารถเชื่อมต่อกันได้อย่างเด็ดขาดหรือเชื่อมต่อได้ชั่วคราวนั้นยังไม่เป็นที่สรุปได้ ทั้งนี้อาจเนื่องจากจังหวะในการเจริญเติบโตที่แตกต่างกันอาจเป็นสาเหตุหนึ่งในการเกิดความเข้ากันไม่ได้ (Abolins, 2000) ซึ่งลักษณะการเจริญเติบโตที่ต่างกันหรือความแตกต่างในด้านสรีรวิทยาและด้านชีวเคมีระหว่างต้นตอและกิ่งพันธุ์ดีคู่นั้น (Hartmann *et al*., 1990) มีรายงานที่กล่าวไว้ในหลายแนวทางดังนี้

การเปลี่ยนแปลงของพลาสโมเดสมาทาและผลของการเชื่อมต่อกันระหว่างเซลล์

จากการศึกษาพบว่าที่ผนังเซลล์มีการสะสมสารบางอย่างที่ไม่สม่ำเสมอกัน ทำให้ความหนาบางของผนังเซลล์ไม่เท่ากัน ซึ่งจะที่มีผนังเซลล์บางส่วนเป็นช่องว่างหรือรู และมีรูเล็กๆ นี้จะทำให้ส่วนไซโตพลาสซึมสามารถเชื่อมต่อกัน เรียกว่า พลาสมาเดสมาทา (ลิลลี่, 2546) โดยทั้งนี้ Jefree and Yeoman (1983) ได้อธิบายถึงความเป็นไปได้ของกลไกการต่อกิ่งเข้ากันไม่ได้ ที่เริ่มจากเซลล์กับเซลล์ที่เชื่อมต่อกัน โดยเมื่อเกิดการเชื่อมต่อระหว่างเซลล์ในคู่ต่อกิ่งที่สัมผัสกันจะมีช่องว่างบางส่วนที่เกิดขึ้นของผนังเซลล์ทั้งสองที่ติดกัน ซึ่งการเชื่อมต่อกันนั้นจะเป็นส่วนของพลาสโมเดสมาทาที่ติดกัน ซึ่งพบว่ารูปร่างที่แตกต่างกันของพลาสโมเดสมาทาทำให้เกิดเป็นช่องว่างระหว่างเซลล์เกิดขึ้น โดยเป็นอาการผิดปกติ symplastically ระหว่างคู่ต่อกิ่งทั้งสอง ซึ่งอาจจะมีปฏิกิริยาเมตาบอลิซึมที่ร่วมกันหรือรบกวนกันของเซลล์ทั้งสองที่สัมผัสกันเกิดขึ้น โดย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สารประกอบของเซลล์ทั้งสองข้างอาจจะฟุ้งเข้าผ่านรอยประสานเข้าในผนังเซลล์ สู่ชั้นที่เชื่อมติดระหว่างต้นตอและกิ่งพันธุ์ดี (Yeoman and Brown, 1976) นอกจากนี้ Kollmann and Glockmann, (1985) and Kollmann et *al*. (1985) รายงานว่ากลไกของความผิดปกติของรูปร่างของพลาสโมเดสมาทาที่มีความแตกต่างมีความสำคัญในการเชื่อมต่อกันของเซลล์ ระหว่างคู่กิ่งต่อทั้งสอง และเป็นกลไกที่เกี่ยวข้องในการประสานรวมกันซึ่งนำไปสู่กระบวนการไม่รวมตัวของรอยต่อกิ่ง โดยเฉพาะกับตำแหน่งที่ตั้งและการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของพลาสโมเดสมาทาปฐมภูมิชั้นนอก และการเปลี่ยนแปลงของพลาสโมเดสมาทาทุติยภูมินั้นจะนำไปสู่การสร้างชั้นพลาสโมเดสมาทาทุติยภูมิที่เริ่มเชื่อมติดกับร่างแหเอนโดพลาสซึมชนิดเรียบกับพลาสมาเลนม่า (Ehlers and Kollmann, 1996; Ehlers and Kollmann, 2001)

หลังจากกระบวนการสอดผสานของพลาสมาเลนม่าเกิดขึ้นรอบๆ ชั้นร่างแหเอนโดพลาสซึมจะเกิดชั้นของผนังเซลล์ โดยส่วนของพลาสมาเลนม่า กับกอลจิเวซิเคิลรวมกันกับเยื่อหุ้มของ ฟูซิ่ง กอลจิเชื่อมต่อในแนวเดียวกันกับพลาสมาเลนม่า (Kollmann and Glockmann, 1991) ด้วยเพราะความบางและตำแหน่งที่ตรงข้ามที่ติดต่อกับ ร่างแหเอนโดพลาสซึม-พลาสมาเลนม่า ซึ่งก่อให้เกิดความผิดปกติกับ เซลล์ต่อเซลล์ที่สร้างเชื่อมต่อกัน โดยมีการเปลี่ยนแปลงสัญญาข้อมูลข้ามผ่านผนังเซลล์ ซึ่งอาจจะเกี่ยวข้องการเชื่อมประสาน (Jefree and Yeoman, 1983; Moore and Walker, 1981a; Kollmann and Glockmann, 1991; Kollmann and Glockmann, 1999) ด้วยเหตุนี้ส่งให้รูปแบบความต่อเนื่องของพลาสมาเลนม่าทุติยภูมิในการประสานกันอย่างถูกต้องของเซลล์คู่ต่อกิ่งทั้งสอง ซึ่งความไม่เพียงพอในการประสานกันระหว่างเซลล์ที่ติดกันจะนำไปสู่รูปร่างของเซลล์ที่ขาดหายไป ด้วยผนังเซลล์เพียงบางส่วนของเซลล์คู่ต่อกิ่งกับผิวหน้าคู่ต่อกิ่งจะทำให้เกิดการต่อกิ่งที่รวมเข้ากันไม่ได้ โดยการไม่เชื่อมต่อกันครึ่งหนึ่งของพลาสโมเดสมาทาที่สังเกตได้ระหว่างรอยต่อกิ่งต่างชนิดกันของเซลล์ อาจสามารถบอกได้ถึงชนิดที่เฉพาะเจาะจงเซลล์ ในการการจำแนกในกิ่งต่อที่รวมเข้ากันได้ (Kollmann *et al*., 1985) ซึ่งมีรายงานแสดงถึงพาสโมเดสมาทาที่ทำให้เกิดการต่อกิ่งไม่สำเร็จ โดยเนื่องจากการร่วมกันในลักษณะที่ผิดตำแหน่งของคู่ต่อกิ่ง แต่ทว่ายังไม่ได้เป็นเหตุผลเดียวที่เกิดกับการต่อกิ่งรวมเข้ากันได้

ซึ่งต่อมาด้วยความก้าวหน้าในการศึกษาทางสรีรวิทยาซึ่งควบคุมพลาสโมเดสมาทา โดยการทดลองจะหลีกเลี่ยงการเปลี่ยนแปลงแรงดันหรือการเกิดบาดแผลของเซลล์จาก microinjection (Schulz, 1999; Martens *et al*., 2004) มีการศึกษาโดยใช้การเรืองแสงแสดงมีชีวิตในของพาสโมเดสมาทาที่เชื่อมต่อในเซลล์แคลลัสของต้น *P. munsoniana* ในสภาพปลอดเชื้อสนับสุนนโดยการตอบสนองที่เชื่อว่าการต่อกิ่งเข้ากันไม่ได้ โดยการเรืองแสงจะแสดงบ่งชี้การไม่มีบทบาทของพลาสโมเดสมาทา ซึ่งการศึกษาโดยหลักการพื้นฐานการตอบสนองของเนื้อเยื่อแคลลัส

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ในต้นป๊วยที่ต่อกิ่งรวมกับพลัมซึ่งสามารถต่อกิ่งรวมเข้ากันได้ จึงยังจำเป็นที่จะต้องการงานวิจัยที่มีการยืนยันมากกว่านี้ต่อไป

การสร้างแคลลัส : การเริ่มต้นกระบวนการต่อกิ่ง(Callus formation: the beginning of the graft process)

กระบวนการสร้างแคลลัสที่เชื่อมติดผิวหน้ารอยต่อกิ่งเป็นการตอบสนองแรกในการต่อกิ่ง ด้วยเหตุนี้ จึงอาจเป็นเหตุผลที่เกี่ยวข้องในต่อกิ่งไม่สำเร็จ ทั้งนี้เนื่องจากการสร้างแคลลัสเชื่อมต่อกันได้เพียงเล็กน้อยที่ผิวหน้ารอยต่อกิ่ง (Weatherhead, 1986) แต่ต่อมาเมื่อมีการศึกษาพบว่าการสร้างแคลลัสใหม่ไม่ได้มีความสัมพันธ์กับความเข้ากันได้และเข้ากันไม่ได้ของการต่อกิ่ง แต่เป็นเพียงการตอบสนองของพืชโดยทั่วไปเมื่อเกิดบาดแผลขึ้น (Moore and Walker, 1981a; Moore and Walker, 1981b) ซึ่งได้รับการสนับสนุนการสร้างแคลลัสใหม่เกิดขึ้นได้อย่างเป็นอิสระกับกระบวนการพัฒนาการของต่อกิ่ง

ซึ่งการสร้างแคลลัสเป็นกระบวนการเริ่มต้นที่ทำให้เกิดรูปร่าง โดยเมื่อเซลล์แคลลัสแรกได้สัมผัสกัน ซึ่งจะเป็นสิ่งที่บอกถึงพัฒนาการของการเชื่อมต่อท่อลำเลียงที่จะเกิดขึ้นต่อไปได้ในอนาคตโดย โดยลักษณะโครงสร้างมีความสัมพันธ์ต่อการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น ซึ่งในผนังเซลล์ของมะเขือที่ทำการต่อกิ่ง โดยจะเกิดจากกลไลการตอบสนองของเซลล์ซึ่งอยู่ตรงกันข้ามของคู่ต่อกิ่งที่สัมผัสกัน (Yeoman *et al*., 1978; Yeoman, 1984) ซึ่งหลักการพื้นฐานของระบบการตอบสนองของเซลล์นี้จะมีการปลอดปล่อยโมเลกุลของโปรตีนจากพลาสมาเลนม่าเข้ารวมกัน ซึ่งจะทำปฏิกิริยาช่วยเร่งกิจกรรมในการเริ่มต้นพัฒนาการกระบวนการต่อกิ่งจนสำเร็จตามลำดับ โดยธรรมชาติของโปรตีนเหล่านี้ที่ไม่เหมือนกันจะส่งผลที่แตกกันออกไปด้วย เมื่อมีการรวมตัวเป็นรูปร่างก็จะเกิดความแตกต่างกันระหว่างเซลล์ที่เชื่อมต่อกัน ซึ่งเรียกโปรตีนนี้ว่า เลคทีน (lectin) ซึ่งจะมีการสร้างและปลดปล่อยออกมาสู่คู่ต่อกิ่งที่อยู่ตรงข้าม ซึ่งจะนำไปสู่กระบวนการต่อกิ่งที่เข้ากันไม่ได้ (Yeoman and Brown, 1976)

มีการศึกษาพบว่าในกระบวนการสร้างแคลลัสนั้นมีส่วนประกอบสำคัญในกลไกการยึดติดของคู่ต่อกิ่งทั้งสอง โดยส่วนของก้อนเนื้อเยื่อที่ยื่นออกมาติดที่ผิวหน้าของผนังเซลล์เป็นเซลล์ก้อนแคลลัสรอยต่อกิ่ง (Jefree and Yeoman, 1983; Barnett and Weatherhead, 1988) โดยในสน Sitka จะมีเซลล์ยึดระหว่างกิ่งพันธุ์ดีและต้นตอ ซึ่งพบว่าสิ่งที่ยึดประสานมีลักษณะเป็นปุ่มก้อนของแคลลัส เป็นวัสดุผสมที่ประกอบด้วย เพคทินและคาร์โบไฮเดรต โปรตีน และกรดไขมันและเส้นใย ซึ่งโดยส่วนใหญ่ท่อลำเลียงมีส่วนประกอบส่วนใหญ่ของสารอาหารจำพวกคาร์โบไฮเดรตและเพคทิน (Miller and Barnett, 1993) ซึ่งพบว่าสารที่ปลดปล่อยออกมานอกมี

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ส่วนในการรวมกันและยึดเกาะกันของเซลล์ยังจะมีบทบาทในการตอบสนองเซลล์และผลสำเร็จในการรวมกันของเนื้อเยื่อคู่ต่อกิ่ง

นอกจากนี้ Moore and Walker (1981a) และ Moore and Walker (1981b) ได้ทำทดลองถึงความสัมพันธ์ระหว่างโครงสร้างที่เกี่ยวข้องกับการต่อกิ่งของ Crassulaceae โดยพบว่าไม่มีการตอบสนองเกิดขึ้น จึงพบว่าเป็นเพียงความจำเป็นในระยะเริ่มแรกของกิ่งพันธุ์ดีและต้นตอที่จะยึดติดกัน โดยตั้งแต่เริ่มมีการยึดติดกันจะเป็นการตอบสนองต่อการเกิดบาดแผล อย่างไรก็ตามในรูปร่างของเซลล์ที่ต่อเชื่อมกันเป็นเพียงความต้องการระยะสุดท้าย เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงสภาพของโปรแคมเบียมระหว่างต้นตอและกิ่งพันธุ์ดี (Moore and Walker, 1981a) ซึ่งในการต่อกิ่งเข้ากันไม่ได้นี้ อาจจะเป็นผลมาจากความล้มเหลวในพัฒนาการของโปรแคมเบียมที่เพิ่มขึ้นและเกิดโดยตรงจากการเชื่อมโยงระหว่างคู่ต่อกิ่ง (Moore and Walker, 1981b) ด้วยเหตุนี้ความสามารถในการยึดเกาะที่ผิวหน้าที่ต่อกิ่งกันไม่ได้ปรากฏขึ้นโดยตรงเซลล์ที่เชื่อมต่อกัน และความต่อเนื่องของโปรโตพลาสมิค Moore (1984) ซึ่งในการต่อกิ่งที่มีความเข้ากันได้ใน *Sedum telephoides* พบว่าเมื่อเริ่มเกาะยึดของต้นตอและกิ่งพันธุ์ดีผ่านเซลล์ด้านนอกจะมีการทำปฏิกิริยาต่อกันระหว่างคู่ต่อกิ่งทั้งสองโดยผนังเซลล์จะสร้างเส้นใยโพลิเมอร์เชื่อมติดกัน ซึ่งจะเป็นปฏิกิริยาตอบสนองที่สมบูรณ์ในรอยต่อกิ่ง โดยบาดแผลที่เกิดขึ้นพบว่ามีชิ้นส่วนของเพคตินรวมกันที่ชัดเจนกับกิ่งต่อที่สามารถรวมเข้ากันได้ (Jefree and Yeoman, 1983) โดยส่วนของผนังเซลล์จะขับสาร oligassacharides ที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงการเจริญเติบโต (Ridley *et al*., 2001; Creelman and Mullet, 1997; John *et al*., 1997 ; Fry *et al*., 1993)

นอกจากนี้ยังพบว่ามีสารจากเซลล์ภายนอกระหว่างการเชื่อมต่อกันของเซลล์ที่ผิวหน้าแพร่ขยายสู่เซลล์แคลลัส โดยส่วนใหญ่ที่ปรากฏคือเพคตินที่รวมตัวกันอยู่ ซึ่งเป็นกลไกในการสร้างและรวมกันระหว่างผิวหน้าเซลล์ทั้งสอง (Moore, 1983; Kollmann and Glockmann, 1991) แม้ว่าอันที่จริงการสร้างแคลลัสเกิดขึ้นจากปฏิกิริยาการตอบสนองต่อบาดแผลและพบว่าการต่อกิ่งเข้ากันได้และเข้ากันไม่ได้ โดยทั้งภายในและสภาพธรรมชาติของเซลล์ที่รวมกันในระยะแรกของกระบวนการต่อกิ่งมีความสำคัญ มีเป้าหมายในการตอบสนองที่จะนำไปสู่การสร้างความแข็งแรงและผลสำเร็จการต่อกิ่งของรอยต่อ โดยบางความแตกต่างที่พบในการรวมตัวของเนื้อเยื่อแคลลัสของพรุนที่ทำการเพาะเลี้ยงในสภาพปลอดเชื้อมีการจัดเรียงตัวของเซลล์ ที่ปรากฏสารเซลล์ลูโลส ลิคฟิด และฟีนอลในเซลล์ (Errea *et al*., 2001) ซึ่งสังเกตพบการเปลี่ยนแปลงในระบบเซลล์มีความสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงที่พบระยะสุดท้ายของการต่อกิ่ง เซลล์ที่ผิดปกติที่สังเกตพบในเนื้อเยื่อแคลลัส ซึ่งอาจจะมีความเกี่ยวข้องกับความไม่สมบูรณ์ของแคลลัสและท่อลำเลียง และความไม่แข็งแรงของรอยต่อต้นพรุน ซึ่งบางทฤษฎีอ้างอิงถึงเหตุผลจากตัวอย่างของพืชอวบน้ำว่า

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เป็นเพราะการทำปฏิกิริยากันภายในระหว่างเซลล์ที่ตรงข้ามกันของเซลล์รอยต่อกิ่ง (Yeoman, 1984); Jefree *et al*., 1987)

การเชื่อมต่อท่อลำเลียงในกระบวนการต่อกิ่ง

ในระยะสุดท้ายของกระบวนการต่อกิ่ง ซึ่งการสร้างท่อลำเลียงเชื่อมต่อกันคือความจำเป็นอย่างยิ่งสำหรับที่จะทำการต่อกิ่งสำเร็จ (Moore, 1984; Wang and Kollmann, 1996) ซึ่งความไม่สามารถเปลี่ยนแปลงสภาพเนื้อเยื่อในการเชื่อมต่อกันของท่อลำเลียงใหม่ หรือเกิดความอ่อนแอ ไม่แข็งแรงรอยต่อกิ่ง จึงเป็นสมมติฐานสาเหตุของการต่อกิ่งเข้ากันไม่ได้ในไม้เนื้อแข็ง (Mosse, 1962; Errea *et al*., 1994a; Errea *et al*., 1994b) ซึ่งในกรณีความผิดปกติที่เกิดขึ้นจะมีความเกี่ยวข้องกับเนื้อเยื่อแคมเบียมใหม่ ที่เปลี่ยนแปลงสภาพแคมเบียมไปเป็นท่อลำเลียงใหม่ไม่ได้ ดังเช่นที่ปรากฏกับต้นสาลี่ที่ต่อกิ่งบนต้นตอควินซ์ (Ermel *et al*., 1997) และต้น บ๊วยที่ต่อกิ่งบนต้นตอพรุน (Errea *et al*., 1994b) แต่ยังปรากฏว่ามีการเชื่อมต่อกันของส่วนประกอบท่อลำเลียงที่จำเป็นต่อกิ่งสมบูรณ์ได้ในพืชไม้เนื้ออ่อน ซึ่งพบว่าการสร้างท่อลำเลียงเชื่อมต่อกันมีความจำเป็นสำหรับผลสำเร็จของการต่อกิ่งพืชอวบน้ำ ส่วนในพืชไม้เนื้อแข็งที่ต่อกิ่งเข้ากันไม่ได้ยังสามารถเจริญเติบโตได้อีกหลายปี โดยไม่มีสิ่งที่บ่งบอกภายนอกอื่นของความเข้ากันไม่ได้ปรากฏ หรือแสดงถึงการทำหน้าที่ของการเชื่อมต่อท่อลำเลียงในต่อกิ่งที่มีความเข้ากันไม่ได้ (Mosse, 1962; Hartmann *et al*., 1997) โดยจากการศึกษาถึงการสร้างท่ออาหารขึ้นมาใหม่ที่ประสานกันในคู่ต่อกิ่ง ที่จำเป็นกับพืชไม้เนื้ออ่อนบางชนิด (Stoddard and Mc Cully, 1979; Tiedemann, 1989; Kollmann and Glockmann, 1990; Golecki *et al*., 1998) ซึ่งพบความสอดคล้องกับความเข้ากันได้ มะเขือเทศ (*Lycopersicon esculentum* L.) ที่ต่อกิ่งบนต้นตอมันฝรั่ง *(Solanum tuberosum*) โดยสามารถต่อกันติดได้ (Schöning and Kollmann, 1995; Schöning and Kollmann, 1997) โดยได้นำเทคนิคการเคลื่อนย้ายคาร์บอน (^{14}C-transport) มาทำการศึกษากับต้นตอทุกระยะของการพัฒนารอยต่อกิ่ง ซึ่งไม่พบว่ามีความสัมพันธ์ระหว่างการสร้างท่ออาหารขึ้นมาใหม่และดูดซึมผ่านผิวหน้ารอยต่อ ซึ่งในการรวมเข้ากันได้เพียงเล็กน้อยนี้พบว่าสารคาร์บอนที่เรืองแสง (carboxifluorescein; CF) ที่ส่งผ่านสามารถยืนยันการไม่ทำหน้าที่เชื่อมต่อ ของท่อลำเลียงอาหารได้ เช่นในคู่ต่อกิ่งที่ต่างกันของต้นพังพวยกับต้นทานตะวัน (Schöning and Kollmann, 1997)

อย่างไรก็ตามในบ๊วยที่ต่อกิ่งบนพลัมมีการสร้างท่อลำเลียงใหม่เชื่อมต่อกันได้ (Errea *et al*., 1994b) โดยมีการศึกษาการลำเลียง disodium fluorescein ข้ามผ่านร่อยต่อกิ่ง โดยสามารถช่วยยืนยันการสื่อสารและหน้าที่เชื่อมต่อเหล่านี้ว่ามีอิทธิพล ซึ่งพบในทั้งคู่ของการต่อกิ่งที่รวมเข้าด้วยกัน โดยจะมีการเปลี่ยนแปลงสภาพระหว่างความเข้ากันได้และความเข้ากันไม่ได้ในการต่อกิ่ง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ที่แตกต่างกัน โดยส่วนของเนื้อเยื่อแคลลัสในการต่อกิ่งเข้ากันไม่ได้จะไม่สามารถเปลี่ยนแปลงสภาพแคมเบียมไปเป็นท่อลำเลียงได้ ซึ่งมีการรวมกันที่คล้ายคลึงกัน แต่พบว่าเซลล์แคลลัสไม่มีเปลี่ยนแปลงสภาพซึ่งพบว่ามีกิจกรรมการสร้างแคมเบียมที่ลดลงในบางส่วนของรอยต่อกิ่ง ทำให้ความสามารถการสร้างท่อน้ำและท่อลำเลียงใหม่เกิดจากแคมเบียมหยุดชะงัก และมีการสร้างเซลล์พาเรงคิม่าที่ขัดขวางการต่อเชื่อมต่อท่อลำเลียง (Hartmann *et al*., 2002) ทำให้กลไกในการรวมเข้ากันที่อ่อนแอลง (Pina and Errea, 2005)

ในการศึกษาส่วนใหญ่ที่ทำกับพืชเนื้อไม้อ่อนในต้นฟักทอง ซึ่งพบความแตกต่างกันของลักษณะทางกายวิภาคของท่ออาหารและ การรั่วซึมของท่อลำเลียงพืช ทั้งนี้อาจเนื่องจากพัฒนาการเจริญเติบโตของ ซีฟ อิลิเมนต์ และ เซลล์คอมพาเนียน ซึ่งมีการสังเคราะห์โปรตีนเกิดขึ้นมาพร้อมกับพัฒนาการของท่อลำเลียง ซึ่งพบหลักฐานยืนยันว่าในการต่อกิ่ง ต้น แตงกวา (*Cucumis*) กับฟักทอง (*Cucurbita*) ว่ามีการเปลี่ยนแปลงแถบโปรตีน โดยมีการเคลื่อนที่ของ polypeptides symplastically ข้ามผ่านรอยต่อกิ่ง ซึ่งการเชื่อมต่อผ่านท่ออาหารไม่ได้มาจาก ขั้นตอนการต่อกิ่ง (Tiedemann and Carsens-Behrens, 1994) โดยเชื่อมต่อกลุ่มท่อลำเลียงเป็นผลที่บ่งชี้ถึงความจำเป็นของโปรตีนในการเร่งกิจกรรมที่ต้องการ โดยอาจเป็นได้ที่พบว่าความเข้มข้นที่ลดเนื่องจากระยะของการพัฒนาการที่ลดลง (Schulz, 1990) ซึ่งในความสามารถในการต่อกิ่งพืชรวมเข้ากันได้ดีและ มีการทำหน้าที่สร้างท่อลำเลียงที่เชื่อมกันอย่างต่อเนื่อง โดยพบว่าการส่งผ่านสัญญาณโมเลกุลกับสาย polypeptides ในท่อลำเลียงอาหารอาจจะแตกต่างกันในการตอบสนองของเซลล์และความสามารถเข้ากันได้ของระหว่างคู่ต่อกิ่งทั้งสอง (Hartmann *et al*., 2002) โดยมีการศึกษายืนยันพบว่ามีการส่งผ่านโปรตีนในการต่อกิ่ง (Golecki *et al*., 1998; Golecki *et al*., 1999) และเกี่ยวข้องกับ RNA (Ruiz-Medrano *et al*., 1999; Gómez and Pallás, 2004; Gómez *et al*., 2005) ซึ่งปรากฏว่าโปรตีนที่ท่อลำเลียงอาหาร คือ P-proteins (PP1, PP2) ซึ่งถูกสร้างในเซลล์คอมพาเนียนที่แตกต่างกันของซีฟอิลิเมนต์ เซลล์คอมพาเนียนโดยมีการเคลื่อนย้ายสารผ่านท่อลำเลียงอาหาร (Clark *et al*., 1997) ซึ่งโปรตีนจะคงอยู่ในการส่งผ่านในซีฟอิลิเมนต์ (Golecki *et al*., 1999) สิ่งเหล่านี้ถูกสร้างขึ้นและทำหน้าที่การแสดงออกของยีนส์ PP1 และ PP2 ซึ่งจะพัฒนาการแสดงถึงการเปลี่ยนแปลงในท่อลำเลียงอาหาร (Dannenhoffer *et al*., 1997) และเคลื่อนย้ายในท่อลำเลียงอาหาร (Tiedemann and Carsens-Behrens, 1994) ซึ่งการปรากฏของรูปแบบ PP2 ยีนส์จะมีการแสดงออกร่วมกันในซีฟอิลิเมนต์ เซลล์คอมพาเนียน ซึ่งจะพบว่ามีความแตกต่างกันในพืช angiosperm โดยจะมีบทบาทที่สำคัญในการพัฒนาและบทบาทหน้าที่ในระบบท่อลำเลียงต่างกัน (Dinant *et al*., 2003) โดยการตอบสนองส่วนใหญ่ไม่ได้เกิดเพียงใน ซีฟทิว แต่สามารถติดต่อกันได้โดยตรง ทางอ้อมจากสภาวะเครียด และ การ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ตอบสนองในการป้องกันตัวเองของพืช (Walz *et al*., 2002; Walz *et al*., 2004) ซึ่งต่อมาได้มีการจำแนกลักษณะบางอย่างของโปรตีนในท่อลำเลียงพืชตระกูลแตงพบว่ามีผลต่อกิจกรรมในการรวมตัวของ RNA (Gómez *et al*., 2005)

นอกจากนี้ยังพบว่า สารควบคุมการเจริญเติบโตมีผลต่อความสัมพันธ์กับต้นตอและกิ่งพันธุ์ดี และมีความเกี่ยวข้องกับการต่อกิ่งเข้ากันไม่ได้ ดังตัวอย่าง ของสารที่สำคัญเกี่ยวข้องกับพัฒนาการของความเข้ากันได้ของรอยต่อกิ่งนั่นคือ ออกซิน ซึ่งจะถูกปล่อยออกมาจากท่อลำเลียงของต้นตอและกิ่งพันธุ์ดี โดยจะชักนำให้เกิดความแตกต่างระหว่างเนื้อเยื่อท่อลำเลียง โดยมีบทบาทต่อลักษณะทางกายวิภาค (Moore, 1984; Aloni, 1987; Mattsson *et al*., 2003) ซึ่งจากการลำเลียงสารจากรากในต้นแอปเปิลมีความสัมพันธ์กับการต่อกิ่งเข้ากันไม่ได้ ทั้งนี้มีการเคลื่อนย้ายของออกซินจากด้านข้างและด้านบนทำให้มีผลต่อความสามารถในการจัดรูปแบบทางกายวิภาคของส่วนต่างๆของพืชทั้งหมด (Zajaczowski *et al*., 1983) แม้ว่าจะเป็นการเพิ่มความสำเร็จในการต่อกิ่ง (Shimomura and Fujihara, 1977) นอกจากนี้ยังพบว่ามีส่วนประกอบอื่นๆ ของสารโพลีฟีนอล มีอิทธิพลในการรวมกันของรอยต่อกิ่ง โดยมีอิทธิพลกระบวนการลิกนินฟิเคชั่น โดยพบว่ามีการเพิ่มขึ้นของโปรตีน (Haslam, 1979) มีรายงานถึงสภาวะเครียดที่ชักนำให้เกิดการสะสมสาร flavonoids และการลดลงของสาร oxidases (Van Sumere *et al*., 1985) ซึ่งมีผลกระทบกับการเจริญเติบโต และเมตาโบลิสซึมของเนื้อเยื่อซึ่งจะยับยั้งวิถีของลิกนิน (Buchloh, 1960) มีรายงานถึงสาร monomeric and oligomeric flavan-3-ols ในเลียงและต้นตอ (Errea *et al*., 1994a) ซึ่งสารเหล่านั้นสะสมรวมในต้นบ๊วยโดยมีระดับความแตกต่างกับความสามารถรวมเข้ากันได้ (Errea *et al*., 1992; Errea *et al*., 2000) ซึ่งพบว่ามีการสังเคราะห์ flavanones ปรากฏชัดเจนในต้นที่มีความเข้ากันไม่ได้ของพืช ซึ่งนั้นคือสาร prunasin (Moing *et al*., 1987; Moing and Carde, 1988) และสารดังกล่าวมีผลต่อสามารถในการกระตุ้นโดย ABA และ GA (Treutter and Feucht, 1988) โดยการเปลี่ยนแปลงของสาร pruning ในใบมีอิทธิพลต่อการควบคุมการเจริญเติบโตของพืชในระดับมาร์โครโมเลกุลล่า (โฟลเอ็ม โปรตีน, RNA, ฮอร์โมน) ที่แสดงในท่ออาหารมีความสำคัญกับจุดที่อยู่ระหว่างการเปลี่ยนแปลงสภาพท่อลำเลียงในการต่อกิ่งเข้ากันได้ รวมถึงของเอนไซม์จำนวนหนึ่งที่มีความเกี่ยวข้องกับพฤติกรรมของเซลล์ระหว่างระยะแรกของการต่อกิ่ง โดยมีการศึกษาความแตกต่างของชนิด ซึ่งจะมีบทบาทที่เฉพาะเจาะจงกระทบต่อความเข้ากันไม่ได้ และอิทธิพลในการต่อกิ่งเข้ากันไม่ได้ (Quesada and Macheix, 1984; Deloire and Hebant, 1982) โดย Schmid and Feucht (1985) ศึกษาโปรตีน เอนไซม์เพอร์ออกซิเดสในท่ออาหารและเอนไซม์แอซิคฟอฟาเตสในการต่อกิ่ง เชอร์รี่หวาน (*P. avium*) บนต้นตอเชอร์รี่เปรี้ยว (*P. cerasus*) ยืนยันความเป็นไปได้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

รวมกันได้ดีไม่ได้เกิดเพียงลักษณะทางกายวิภาค แต่ด้วยวิธีการทางชีวเคมีที่อาศัยบนหลักการพื้นฐานชีวเคมีในการวิเคราะห์สอดคล้องกับการทดลองของ Gulen *et al*. (2002) ได้รายงานพบว่าการปรากฏและไม่ปรากฏของแบบแผนไอโซไซม์เพอร์ออกซิเดส ในต้นสาลี่และควินส์ในการต่อรวมเข้าด้วยกัน ในการทดลองแสดงถึงความสัมพันธ์ดังกล่าวสามารถพยากรณ์การเข้ากันไม่ได้ ซึ่งมีการเพิ่มขึ้นของกิจกรรมเพอร์ออกซิเดสและกิจกรรมการของเอนไซม์ คัลทาเลส และยังพบว่ามีความสัมพันธ์เกี่ยวข้องกับพัฒนาการต่อกิ่งต้นมะเขือเทศ (Fernandez *et al*., 2004)

เมื่อพิจารณาในกระบวนศึกษาต่อกิ่งไม้ยืนต้น อาจจะมีการศึกษาที่ลงลึกมากกว่านี้ ซึ่งองค์ความรู้เกี่ยวกับกลไกการทำงานความสัมพันธ์ระหว่างการต่อกิ่งเข้ากันไม่ได้ จะช่วยในการตัดสินใจเพื่อคัดเลือกต้นตอที่เหมาะสม ก่อนที่จะสังเกตพบอาการผิดปกติในการต่อกิ่งเข้ากันไม่ได้จากภายนอก

การคาดคะเนการเข้ากันไม่ได้

การที่สามารถคาดคะเนการต่อกิ่งเข้ากันไม่ได้ มีความสำคัญและเป็นประโยชน์ต่องานด้านพืชสวนอย่างมาก ทั้งนี้ความสามารถในการรวมเข้ากันได้นี้จะช่วยคัดเลือกพืชก่อนทำการต่อกิ่งและหลีกเลี่ยงที่จะใช้ต้นที่ไม่สามารถต่อกิ่งรวมเข้ากันไม่ได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีเมื่ออาการเข้ากันที่มีการพัฒนาเกิดขึ้นอย่างช้าๆ และใช้เวลาที่ยาวนานหลายฤดูกว่าจะแสดงการต่อกิ่งไม่สำเร็จที่ชัดเจนเกิดขึ้น โดยวิธีการที่ใช้คาดคะเนการเข้ากันไม่ได้ อาศัยพื้นฐานของการพัฒนาการที่เกิดขึ้นของอาการเข้ากันไม่ได้ โดยต้องอาศัยประสบการณ์การศึกษาที่คอยเฝ้าสังเกตการณ์เปลี่ยนแปลงอาการผิดปกติที่เกิดขึ้นกับการต่อกิ่ง เพื่อที่จะช่วยในการตัดสินใจก่อนที่คู่ต่อกิ่งทั้งสองว่าสามรถจะเชื่อมต่อกันได้จริง ซึ่งวิธีการใช้คาดคะเนความเข้ากันได้นี้ มีการแบ่งเป็น 2 ประเภทใหญ่ คือ

1. การศึกษาจากสภาพภายในที่ควบคุมสภาพแวดล้อม (*in vitro*) โดยใช้เทคนิคการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืชมาทำศึกษาความเข้ากันไม่ได้ โดยมุ่งศึกษาถึงกลไกการทำงานของการเข้ากันไม่ได้ และ เพื่อศึกษาถึงการพัฒนาการของการเข้ากันไม่ได้ที่เกิดขึ้นใช้เทคนิควิธีการการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อที่ใช้ ได้แก่ การเพาะเลี้ยงแคลลัส (callus cultures) การเพาะเลี้ยงเซลล์แขวนลอย (cell suspension) การเพาะเมล็ดที่งอกในสภาพปลอดเชื้อและทำการต่อกิ่งในสภาพปลอดเชื้อ ซึ่งด้วยการต่อกิ่งสามารถได้รวดเร็วในสภาพปลอดเชื้อ ซึ่งมีรายงานเปรียบเทียบผลของในสภาพปลอดเชื้อและการปลูกเลี้ยงในสภาพภายนอกซึ่งมีผลที่คล้ายคลึงกันในการตอบสนองต่อการเข้ากันไม่ได้และเข้ากันได้ (Aaouine, 1986) แต่เป็นผลเพียงส่วนหนึ่งของกระบวนการต่อกิ่ง ซึ่งเป็นขั้นแรกของกลไกสร้างความแข็งแรงระหว่างคู่ต่อกิ่งทั้งสอง (Parkinson *et al*. 1987) โดยจะเป็นผล

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ที่เฉพาะในกรณีของการเข้ากันไม่ได้แบบ Localized incompatibility อาการเด่นชัด ซึ่งผลการรวมตัวเนื้อเยื่อนี้นำไปสู่การรวมกันบริเวณรอยต่อ (Andrews and Marquez, 1993)

2. การศึกษาสภาพแปลงปลูกภายนอกและในโรงเรือนเพาะเลี้ยงต้นพืช

จากสภาพโรงเรือนเพาะชำ หรือแปลงปลูก โดยเริ่มแรกวิธีการคาดคะเนความเข้ากันไม่ได้ของการต่อกิ่ง อาศัยการสังเกตอาการผิดปกติจากลักษณะภายนอก หรือลักษณะทางสัณฐานวิทยาที่ผิดปกติที่เกิดขึ้นหลังการต่อกิ่ง ซึ่งถ้าพบอาการเข้ากันไม่ได้ ก็มักจะพบว่ามีการต่อกิ่งรวมกันไม่ได้ ซึ่งระบบการคาดคะเนดังกล่าว พิจารณาบนพื้นฐานการพัฒนาการของพืชที่เกิดจากอาการผิดปกติที่เห็นได้โดยภายนอก ซึ่งต้องรอคอยจนกว่าอาการที่ชัดเจนสามารถมองเห็นได้ ซึ่งอาจต้องใช้เวลาหลายฤดูหรือเป็นปี โดยต่อมาได้นำกล้องจุลทรรศ์มาสังเกตอาการผิดปกติและพัฒนาการทางกายวิภาค ซึ่งเป็นการเปลี่ยนแปลงภายในต้นที่จะเกิดขึ้นมาก่อนอาการผิดปกติภายนอกที่เห็น ทำให้ช่วยลดระยะเวลาการประเมินผลของการต่อกิ่ง แต่วิธีการนี้จะต้องทำลายรอยต่อกิ่งเพื่อสังเกตลักษณะการเปลี่ยนแปลงภายใน และต่อมาได้มีการนำแบบแผนของไอโซไซม์โดยวิธีการทางอิเล็กโทรไฟโซซิส มาพิจารณาการต่อกิ่งเข้ากันไม่ได้ ซึ่งเป็นวิธีการหนึ่งที่ให้ผลการคาดคะเนของการต่อกิ่งเข้ากันไม่ได้ที่มีความรวดเร็วกว่าวิธีการอื่นๆ (Copes, 1987)

การศึกษาแบบแผนไอโซไซม์

ไอโซไซม์ หรือไอโซเอนไซม์ (isozyme) คือ เอนไซม์พวกหนึ่งที่สามารถเร่งปฏิกิริยาเดียวกันได้ แต่เอนไซม์เหล่านั้นมีสมบัติทางกายภาพและจลนศาสตร์ที่แตกต่างกัน ไอโซไซม์แต่ละแบบแผนอาจทำหน้าที่อยู่ในอวัยวะต่างกัน บางแบบแผนอาจอยู่ในอวัยวะเดียวกันหรือแม้แต่เซลล์เดียวกันก็ได้ ด้วยความแตกต่างทางโครงสร้างของมัน จึงอาจทำให้สามารถแยกออกจากกันได้ด้วยวิธีการทางอิเล็กโทรโฟรีซีส (สุกัญญาและวิเชียร, 2547)

การจำแนกพันธุ์โดยวิธีอิเล็กโทรโฟรีซิส

อิเล็กโทรโฟริซิสเป็นวิธีการแยกและวิเคราะห์สาร โดยอาศัยการเคลื่อนที่ของสารในสนามไฟฟ้า สารที่มีประจุจะเคลื่อนที่ไปยังขั้วไฟฟ้าที่มีประจุตรงกันข้าม อัตราเร็วของการเคลื่อนที่ปริมาณประจุสุทธิบนโมเลกุลของสาร (กฤษณาและชิษณุสรร, 2521) เป็นวิธีการที่ดีที่สุดวิธีการหนึ่งในการแยกและเตรียมสารไมโครโมเลกุล เช่น ดีเอ็นเอ โปรตีน และเอนไซม์ (อาภัสสรา, 2537; จริงแท้, 2531; ชวนพิศ, 2538.)

หลักการที่สำคัญคือ โปรตีน ถือได้ว่าเป็น primary product ที่เกิดขึ้นจากการแสดงกิจกรรมของยีน ซึ่งเป็นสารพันธุกรรมที่อยู่ในพืช โดยเฉพาะพวกยีนที่เป็นโครงสร้าง ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงใด ๆ ที่เกิดขึ้นที่ลำดับการเรียงตัวในนิวคลีโอไทด์ของยีน หรือลำดับการเรียงตัวของ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เบส ย่อมมีผลต่อการสร้างโปรตีนหรือโพลีเป็บไทด์ที่มีโครงสร้างทางโมเลกุลของกรดอะมิโนที่เรียงลำดับแตกต่างกันไปด้วย ดังนั้นการวิเคราะห์โปรตีนที่ประกอบด้วยกรดอะมิโนต่างๆ กันย่อมมีประจุไฟฟ้ารวม ขนาด และรูปร่างของโมเลกุลที่ไม่เหมือนกัน ซึ่งเมื่อนำมาย้อมสีก็จะเกิดเป็นแถบของโปรตีนที่เรียกว่า zymogram ในการแยกสารให้ออกจากกันได้ดี จะต้องใส่สารตัวอย่างในลักษณะแถบแคบๆ (narrow zone or band) ให้มีระยะห่างพอเหมาะจากขั้วอิเล็กโทรด จึงเรียกวิธีการนี้ว่า “zone electrophoresis” เนื่องจากเมื่อเปิดสนามไฟฟ้า สารที่มีความหนาแน่น ประจุต่างกันจะเคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็วต่างกัน โดยสารที่มีประจุลบจะเคลื่อนไปสู่ขั้วอิเล็กโทรดบวก จะค่อยๆ แยกออกจากกันเป็นแถบเมื่อระยะการเคลื่อนที่พอเหมาะ โดยทั่วไปการแยกจะเกิดขึ้นในสารละลายบัพเฟอร์บนสารค้ำจุนที่เป็นแผ่นหรือแท่ง (supporting medium) เพื่อช่วยลดผลกระทบจากความร้อนที่มักจะทำให้แถบตัวอย่างโค้ง และผลกระทบจากการแพร่ทั้งระหว่างการแยกเมื่อสิ้นสุดแล้ว สารค้ำจุนที่ใช้กันมาก ได้แก่ กระดาษ cellulose acetate, polyacrylamide gel, starch gel และ agarose gel สารค้ำจุนประเภทเจลหรือวุ้นยังสามารถมีส่วนช่วยเสริมการแยก โดยอาศัยการกรองโมเลกุล (molecular sieving effect) ซึ่งจะช่วยให้โมเลกุลขนาดแตกต่างกันแยกออกจากกันได้ดีขึ้น เพราะเจลเหล่านี้จะมีลักษณะการเป็นรูพรุนซึ่งการเลือกชนิดของเจลซึ่งมีขนาดรูพรุนให้ใกล้เคียงเหมาะสมกันขนาดโมเลกุลสารตัวอย่างจะเป็นผลดีต่อการแยกโดยจะทำให้สารที่โมเลกุลใหญ่เคลื่อนที่ได้ช้าลงเทียบกับสารโมเลกุลเล็ก เช่น การใช้ starch หรือ polyacrylamide gel ซึ่งมีขนาดรูพรุนใกล้เคียงกับสารโปรตีนทั่วไปจึงนิยมใช้ในการแยกโปรตีน ส่วน agarose gel จะมีความพรุนขนาดใหญ่เกินไปสำหรับโปรตีน แต่จะเหมาะสมในการแยกกรดนิวคลิโอของโปรตีน

ชนิดของอิเล็กโทรโฟริซิส ได้แก่

1. Gel electrophoresis
2. Isoelectrophoresis หรือ electro focusing
3. Disc electrophoresis

Gel electrophoresis เป็นแบบที่มีสารตัวกลางจำพวกหรือสารกึ่งแข็ง ได้แก่ แป้ง (starch) อะกาโรส (agarose) โพลีอะคริลามายด์ (polyacrylamide) ซึ่งเกิดจากการรวมตัวของสารผสมระหว่าง acrylamide กับ N,N-methylene-bis-acrylamide (cross linking) การแยกของโมเลกุลสารจะอาศัยสภาพของเนื้อเจล และขนาดช่องของเนื้อเจล (pore size) ที่เตรียมให้อยู่ในระดับความเข้มข้นที่ต่างกัน โดยทั่วไปความเข้มข้นของเจลที่ใช้อยู่ระหว่าง 2-20 เปอร์เซ็นต์ ในอดีต gel electrophoresis ที่นำมาใช้งานไอโซไซม์ส่วนใหญ่จะเป็น stach gel ซึ่งเหมาะกับการศึกษาด้านกิจกรรมของเอนไซม์แต่บางครั้งขนาดของตัวอย่างที่ต้องการศึกษาเอนไซม์มีจำกัด ทำให้ผลที่ได้ไม่ชัดเจน จึงทำให้มีการนำ polyacrylamide gel มาแทนที่ เนื่องจากสามารถควบคุม

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ขนาดของช่องเนื้อเจลได้โดยการกำหนดความเข้มข้นของเจล นอกจากจะให้ประสิทธิภาพในด้านการแยกโปรตีนแล้วยังสามารถใช้กับโมเลกุลขนาดเล็กอย่าง RNA และชิ้นส่วน DNA ในกรณีที่ต้องการแยกโปรตีนควรใช้ตัวกลางที่มี Sodium dodecyl sulfate (SDS) gel และถ้าแยกกรดนิวคลีอิก(nucleic acid) จะใช้ตัวกลางที่เป็น polyacrylamide gel หรือ polyacrylamide-agarose gel เป็นต้น สำหรับการเตรียมเจลทำได้ดังรูป คอลัมน์ (columm gel) เจลแผ่น (slab gel) จัดเป็น ระบบอิเล็กโทรโฟรีซิสในแนวดิ่ง (vertical type) ซึ่งเหมาะกับการใช้แยกเอนไซม์และโปรตีนของสารตัวอย่าง ส่วนระบบอิเล็กโทรโฟริซิสในแนวราบ (horizontal type) มักเป็นเจลแผ่นนิยมใช้แยก DNA, RNA หรือกรดนิวคลีอิก

โดยได้การนำเทคนิคทางอิเล็กโทรโฟริซิสมา ใช้ศึกษากระบวนการเมตาบอลิซึมนั้นๆ เนื่องจากปฏิกิริยาส่วนใหญ่ กระบวนการเมตาโบลิซึมจะมีเอนไซม์เป็นตัวเร่ง การควบคุมการทำงานของเอนไซม์จึงเป็นกลไกลที่สำคัญในการควบคุมการเมตาบอลิซึม (กฤษณาและชิษณุสรร, 2521) โดยพิจารณาจากไอโซไซม์หรือแบบแผนไอโซไซม์

ประเภทของเอนไซม์ที่จะใช้เป็น genetic marker

ประเภทของเอนไซม์สามารถแยกเป็น 2 กลุ่ม คือ

1. เอนไซม์ที่ทำปฏิกิริยาเฉพาะเจาะจง (specific enzyme) ได้แก่ amylase (AMY), malate dehydrogenase (MDH), alcohol dehydrogenase (ADH), phosphoglucomutase (PER)

2. เอนไซม์ที่ไม่ทำปฏิกิริยาเฉพาะเจาะจง(non-specific enzyme) ได้แก่ เอสเตอเรส (EST), เพอร์ออกซิเดส (P0X), catalase (CAT), acid phosphase (ACP) และ alkaline phosphatase (ALP)

ซึ่งโปรตีนและเอนไซม์เป็นโมเลกุลที่มีความสำคัญมากในการศึกษาความแตกต่างหรือความสัมพันธ์ระหว่างต้นพืช เพราะศึกษาเปรียบเทียบโปรตีนหรือเอนไซม์โดยวิธีการทางอิเล็กโทรโฟริซิสก็จะแยกโมเลกุลที่มีความแตกต่างกันของประจุและน้ำหนักโมเลกุล ตามชนิด ขนาดและรูปร่างเฉพาะของสารนั้นๆ แล้วนำมาวิเคราะห์เปรียบเทียบกับต้นพืชที่ศึกษา (ชวนพิศ, 2538)

ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการอิเล็กโทรโฟริซิส (ชวนพิศ, 2531) มีดังนี้

- เนื่องด้วยกระบวนการอิเล็กโทรโฟริซิส เป็นการผ่านกระแสไฟฟ้าตรง (DC.) ลงในสารละลายที่มีอนุภาคต่างๆ กัน กล่าวคือ ถ้ามีอนุภาคเป็นประจุไฟฟ้าลงการเคลื่อนที่ของประจุลบจะเข้ายังขั้วบวก (Anode) แต่ถ้ามีอนุภาคเป็นประจุไฟฟ้าบวก การเคลื่อนที่ของประจุไปยังขั้วลบ(Cathode) ดังนั้นอัตราการเคลื่อนที่ของประจุไฟฟ้าขึ้นกับขนาดความเข้มข้นของสนามไฟฟ้าของสารละลายตัวกลางจะทำให้อัตราการเคลื่อนที่ของอนุภาคเพิ่มขึ้น อุณหภูมิขณะปฏิบัติงานจะ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สูงขึ้น ทำให้โปรตีนและเอนไซม์สลายตัวไป คุณสมบัติของโปรตีนและเอนไซม์นั้นจะลดลง ซึ่งเป็นผลต่อการตรวจสอบไม่ชัดเจน

- ค่าไอโอนิกสเตรน์ธ (ionic strength) ของสารละลายบัพเฟอร์ ซึ่งมีผลต่อการละลายของโปรตีนในสารละลายบัฟเฟอร์ โดยทั่วไปค่าไอออนิกสเตรน์ธของสารละลายบัฟเฟอร์ที่ใช้มากคือ 0.05, 0.075, และ 0.10 (หรือ 0.03-0.15) เมื่อค่าไอออนิกสเตรน์ธเพิ่มขึ้นโปรตีนหรือเอนไซม์จะละลายน้อยลงจนไม่ละลายและแยกตัวตกตะกอนออกมา เนื่องจากส่วนของน้ำในโมเลกุลของโปรตีนหรือเอนไซม์ถูกดึงออกมาสู่สารละลาย นอกจากนั้นค่าไอออนิกสเตรน์ธของสารละลายที่มีค่าสูงทำให้อนุภาคประจุไฟฟ้าเคลื่อนที่ช้าลงและช่วยแยกโมเลกุลชนิดต่างๆ ได้ชัดเจน

- pH ของสารละลายบัฟเฟอร์ pH ของสารละลายบัฟเฟอร์ pH จะมีผลต่อประจุไฟฟ้ารวมของอนุภาคของโปรตีนและเอนไซม์และยังมีอิทธิพลต่อสารละลายบัฟเฟอร์ซึ่งส่งผลต่อทิศทางและอัตราการเคลื่อนที่ของอนุภาคประจุต่างๆ

- ชนิดของสารละลายบัฟเฟอร์ต่างชนิดกันจะมีผลต่อการแยกโมเลกุลของสารโปรตีนหรือเอนไซม์ต่างกัน เช่น tris-hydoxymethyl amino-methane, หรือ acetate buffer เป็นต้น

ซึ่งมีการใช้ประโยชน์นำเอาวิธีการอิเล็กโทรโฟริซิสใช้ในงานด้านต่างเช่น การจำแนกพันธุ์พืช ดังงานทดลองของเสาวณี (2538) ซึ่งวิเคราะห์พันธุ์มะขามหวานและมะขามเปรี้ยว โดยใช้ลักษณะไอโซไซม์ 3 ชนิดคือ เพอร์ออกสิเดส เอสเตอร์เลส และ แอซิดฟอสฟาเตส แสดงให้เห็นถึงความแตกต่างของลักษณะแถบสี จำนวนแถบสี และตำแหน่งแถบสี ที่ปรากฏบนเจลในมะขามแต่ละพันธุ์ และอำนวย (2522) ได้ทำตรวจสอบพันธุ์ของน้อยหน่าลูกผสมที่ได้จากการผสม โดยพิจารณาแบบแผนของแถบโปรตีนในการทำดิสก์อิเล็กโทรโฟรีซิสพบความสัมพันธ์ของลูกผสมและพ่อแม่พันธุ์นั้นมีความสัมพันธ์ต่อกัน นอกจากนี้ยังมีการศึกษาถึงแบบแผนไอโซไซม์จากวิธีการทางอิเล็กโตรโฟรีซิสเพื่อศึกษาถึงกิจกรรมการทำงานของเอนไซม์ในกระบวนการทางสรีระวิทยาและชีวเคมีของพืช ดังเช่น งานทดลองของ Santamour (1983) รายงานว่าสามารถนำมาใช้คาดคะเนพืชที่จะทำการต่อกิ่งว่ามีความสามารถเข้ากันได้หรือไม่ โดยใช้วิธีการทางอิเล็กโทรโฟรีซิส ซึ่งใช้ลักษณะของแถบเอนไซม์เพอร์ออกซิเดสจากบริเวณเนื้อเยื่อแคมเบียมของกิ่งพันธุ์ดีและต้นตอมาเปรียบเทียบไอโซไซม์ จากส่วนของแถบสีที่ปรากฏหรือไม่ปรากฏ ซึ่งการเกิดแถบไอโซไซม์มีความเฉพาะเจาะจง ทั้งด้านปริมาณหรือคุณภาพที่แตกต่างกัน เป็นข้อมูลถึงความสัมพันธ์ทางสัณฐานวิทยาและเมตาบอลิซึมที่คล้ายคลึงกันของต้นต่อกิ่งทั้งสองที่นำมาทดสอบได้ โดยการเปลี่ยนแถบไอโซไซม์นี่จะเป็นข้อมูลของการตอบสนองทางสัณฐานวิทยาและการ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

พัฒนาการ ซึ่งจะนำไปสู่การเกิดการเข้ากันไม่ได้ ซึ่ง Copes (1987) ได้รายงานผลการตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงไอโซไซม์เพอร์ออกซิเดสและไอโซไซม์เอสเตอร์เลสในการต่อกิ่ง Douglas fir (*P. menziesii* Mirb Franco) พบว่าเอนไซม์เอสเตอร์เลส และเพอร์ออกซิเดสเอนไซม์มีกิจกรรมที่ทำงานได้เพิ่มขึ้นในต้นที่มีการต่อกิ่งเข้ากันไม่ได้ โดยมีอาการผิดปกติของ cell necrosis โดยมีความชัดเจนของแถบสีที่เข้มข้นของแถบเอนไซม์ เอสเตอร์เลสและเพอร์ออกซิเดส และพบว่าแถบไอโซไซม์คู่ต่อกิ่งของเอนไซม์ คัลทาเลส แอซิดฟอสฟาเตส และ ลิวซินอะมิโนเป็ปติเดส นั่นไม่มีความสัมพันธ์อันใดกับคู่ต่อกิ่งที่เข้ากันได้หรือเข้ากันไม่ได้

ปัจจุบันการวิเคราะห์โดยใช้เทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซีสนิยมกันอย่างกว้างขวางมากขึ้น ซึ่งเพอร์ออกซิเดสเป็นเอนไซม์หนึ่งในความสนใจ ที่มีการศึกษากันเพราะสามารถตรวจสอบได้ในเนื้อเยื่อ ซึ่งเอนไซม์เพอร์ออกซิเดส ที่มีอยู่ในพืชจะพบในส่วนของไซโตพลาสซึม ผนังเซลล์ มีหน้าที่สำคัญเกี่ยวข้องกับการออกซิเดทีพ (oxidative) ที่ผนังเซลล์พบเอนไซม์เพอร์ออกซิเดสในรูปสารอิสระหรือจับอยู่กับส่วนประกอบของผนังเซลล์ (Ros *et al*. 1988) ความสำคัญของเอนไซม์เพอร์ออกซิเดสมีความเกี่ยวข้องกับกระบวนการลิกนินฟิเคชั่น (lignification) ดังนั้นเพื่อทราบถึงไอโซไซม์เพอร์ออกซิเดส ซึ่งจะมีผลเกี่ยวข้องกับกระบวนการสังเคราะห์ลิกนิน โดยลิกนินเป็นส่วนประกอบของเซลล์พาเรงคิม่า ซึ่งเซลล์พาเรงคิม่าจะสะสมและทำหน้าที่ช่วยลำเลียงอาหารในลำต้นพืชทั้งแนวรัศมีและตามความสูง (พวงผกา, 2548) ลิกนินที่สะสมในผนังเซล์จะช่วยส่งเสริมความแข็งแรงของรอยต่อกิ่งระหว่างต้นตอและกิ่งพันธุ์ดี ช่วยสร้างเนื้อเยื่อเจริญเมื่อเกิดบาดแผลหรือเปลี่ยนเป็นเนื้อเยื่อแคมเบียม (ลิลลี่, 2546) นอกจากนี้ยังพบว่ามีหน้าทีเกี่ยวข้องกับการยึดของเซลล์การครอสลิงค์(croos-linking) ของโพลีแซคคาไรด์ในผนังเซลล์ (Fry,1986) การซ่อมแซมบาดแผล (Espelie *et al*.,1986) และการต่อต้านการเข้าทำลายของเชื้อโรค (Hammerschmidt *et al*., 1982; Vance and Sherwood, 1976) โดย Alexandre *et al*. (2002) รายว่ากิจกรรมของเอนไซม์เพอร์ออกซิเดส แสดงความสำคัญในการรวมตัวระหว่างรอยต่อและต้นตอ ซึ่งใช้เป็นแนวทางประเมินค่าตอบสนองสภาวะเครียดของเข้ากันไม่ได้ในกระบวนการต่อกิ่งของเนื้อเยื่อต้นตอพืชตระกูลพรูนนัท ซึ่งสอดคล้องกับของ Santamour *et al*. (1986) รายงานไว้ว่าลักษณะที่ปรากฏของไอโซไซม์ต้นตอและกิ่งพันธุ์ดีที่มีความคล้ายคลึงกัน จะสามารถรวมเข้ากันได้ดีและจะสามารถต่อเข้ากันได้ ซึ่งกิ่งที่ต่อกิ่งเข้ากันได้จะมีแคมเบียมจำนวนมากล้อมรอบบริเวณรอยต่อและสามารถสร้างท่อลำเลียงเชื่อมต่อกันได้อย่างต่อเนื่อง ยังพบว่าไอโซไซม์ที่แตกต่างกันจะมีการสร้างแคลลัสเพียงเล็กน้อยที่ผิวหน้าของกิ่งต่อทั้งสองและไม่สามารถสร้างท่อลำเลียงเชื่อมต่อกันได้ (Andrews and Marquez, 1993) ซึ่ง Santamour (1988a) ยังรายงานผลว่าการประยุกต์ใช้วิธีการทางอิเล็กโทรโฟรีซิส ที่อาศัยความน่าจะเป็นคาดคะเนการต่อกิ่ง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เข้ากันไม่ได้โดยใช้ไอโซไซม์กับการต่อกิ่งต้นตอและกิ่งพันธุ์ดีของต้นเกาลัดจีน(*Castanea mollissimablume*) พบว่าต้นที่ต่อกิ่งเข้ากันไม่ได้จะมีความแตกต่างของไอโซไซม์ และพบว่าในแคมเบียมส่วนใหญ่จะประกอบด้วยไอโซไซม์เพอร์ออกซิเดสที่แตกต่างกันจากผลงานวิจัยของ Santamour (1988b) ยังรายงานผลทดลองอีกว่าในการต่อกิ่งโอ๊คแดง (*Quercus rubra* L.) พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงไอโซไซม์ของแคมเบียมที่เกิดขึ้นระหว่างต้น มีไอโซไซม์เพอร์ออกซิเดสที่คล้ายคลึงกัน มีความสามารถรวมเข้ากันได้และมีทำลำเลียงที่ต่อเนื่องกัน แต่ในต้นที่มีส่วนประกอบไอโซไซม์ที่มีความแตกต่างกันก็จะไม่สามารถต่อกิ่งรวมเข้ากันได้ โดยสามารถสังเกตเห็นอาการเข้ากันไม่ได้ที่จะเกิดขึ้นตามมาเมื่อต่อกิ่งผ่านไปนาน ซึ่งแสดงผลพบว่ามีแบบแผนของเพอร์ออกซิเดสที่ให้ความชัดเจนมากกว่า 90 ชนิดของต้นโอ๊คสามารถต่อกิ่งเข้ากันได้ โดยมีความสัมพันธ์ที่มีความคล้ายคลึงกันของแบบแผนแถบสีไอโซไซม์ (Santamour, 1983) และจากรายงานของ Gulen *et al*. (2002) พบว่าแบบแผนไอโซไซม์ที่มีความสัมพันธ์ที่ชัดเจนของแคมเบียมระหว่างรอยต่อกับการต่อกิ่งเข้ากันได้และเข้ากันไม่ได้ในต้นสาลี่กับควินส์ การใช้แบบแผนที่เกิดขึ้นนี้มาเปรียบเทียบคาดคะเนการต่อกิ่งรวมเข้ากันไม่ได้กับการศึกษาพืชอื่นๆ ได้แก่ พืชตระกูลพรุน (Huang *et al*., 1984; Schmid and Feucht, 1985) และ องุ่น (Masa, 1986; 1989)

แบบแผนไอโซไซม์จึงเป็นข้อมูลที่แสดงถึงพัฒนาการที่ความสัมพันธ์กับการเข้ากันได้ของคู่ต่อกิ่ง โดยสามารถคาดหมายว่าพืชที่มีตำแหน่งที่แตกต่างกันของเอนไซม์เพอร์ออกซิเดส ซึ่งมีนำไปสู่การเข้ากันไม่ได้ของคู่ต่อกิ่งทั้งสอง (Andrews and Marquez, 1993) โดยแบบแผนไอโซไซม์ที่มีความแตกต่างกันที่ปรากฏ ก็จะสามารถคาดคะเนถึงลักษณะทางกายวิภาค หรือลักษณะทางภายนอกที่ผิดปกติของการต่อกิ่งเข้ากันไม่ได้ที่จะเกิดขึ้นตามมาได้ ซึ่งผลจากวิธีการทางอิเล็กโทรโฟรีซิสนี้ สามารถใช้พยากรณ์ความเข้ากันไม่ได้อย่างถูกต้องถึง 90-100 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเป็นประโยชน์กับการต่อกิ่งพืช เนื่องจากให้ผลที่รวดเร็ว ซึ่งวิธีการนี้สามารถใช้ได้กับพืชที่มีการต่อกิ่งแล้วโดยศึกษาการเปลี่ยนแปลงเอนไซม์ที่เข้ามาแทนที่ แม้ว่าการสังเกตทางภายวิภาคให้ผลความถูกต้อง แต่ต้องใช้เวลารอคอยพัฒนาการของการเข้ากันไม่ได้ที่จะเกิดขึ้น ดังนั้นวิธีการทางอิเล็กโทโฟรีซิสจึงเป็นวิธีการช่วยคาดคะเนถึงสิ่งที่ยังมาไม่ถึงและยังไม่เกิดขึ้นได้ (Andrews and Marquez, 1993)

นอกจากนี้การแยกไอโซไซม์นี้ไม่ได้จำกัดกับวิธีการอิเล็กโทรไฟรีซิสเพียงอย่างเดียว แต่งานวิจัยเกี่ยวกับการต่อกิ่งเข้ากันไม่ได้โดยส่วนใหญ่นิยมใช้วิธีการนี้ ซึ่ง Lachaud (1975)ได้นำเสนอรายงานว่าสามารถประเมินความเข้ากันไม่ได้ที่แน่ใจโดยใช้ antibody serological ที่มีหลักการคล้ายกันในการพิจารณาจากส่วนประกอบโปรตีนระหว่างคู่ต่อกิ่ง เพื่อช่วยเพิ่มข้อมูลความเป็นไปได้ของผลการต่อกิ่ง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

จากรายงานเกี่ยวกับความเข้ากันได้ของต้นตอและกิ่งพันธุ์ดีในพืชตระกูลน้อยหน่าพบว่ามีความแตกต่างของระดับการต่อกิ่งเข้ากันได้ทีหลากหลายอย่างมาก (Vidal *et al*., 2002) โดยทุเรียนน้ำ (พันธุ์ที่มีเส้นใยน้อย) และ น้อยหน่าพบว่าต่อกิ่งรวมเข้ากันไม่ได้ แต่ทุเรียนน้ำ (พันธุ์ที่มีเส้นใยน้อย) จะสามารถต่อกิ่งเข้ากันได้กับน้อยหน่าภูเขา และจะสามารถต่อกิ่งเข้ากันได้เพียงบางชนิดกับ น้อยหน่าน้ำ น้อยโหน่ง เชอริโมย่า และ *A. purpurea* นอกจากนี้ยังพบว่า ทุเรียนน้ำ กับน้อยหน่าแสดงการเจริญเติบโตทางลำต้นที่ลดต่ำลง ส่วนต้นเชอริโมย่า และน้อยหน่า พบว่ามีเพียงบางชนิดสามารถต่อกิ่งเข้ากันได้ และพบว่าต้นตอ เชอริโมย่าและ น้อยหน่าสามารถต่อกิ่งเข้ากันได้อย่างสมบูรณ์กับอะติโมย่า (Nakasone and Paull,1998) โดยทั้งนี้พบว่าภายในสายพันธุ์อะติโมย่าด้วยกันเองนั้นยังมีความสามารถเข้ากันได้กับต้นตอที่ความแตกต่างกัน โดยอะติโมย่าพันธุ์ แบรดเลย์ (Bradley) และเพจ (Page) สามารถเข้ากันได้กับต้นตอน้อยโหน่ง แต่อะติโมย่าพันธุ์เกฟเนอร์(Geffner) แสดงอาการเข้ากันไม่ได้กับต้นตอน้อยโหน่ง (Sanewski, 1991)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved