บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ข้อมูลเบื้องต้นที่เกี่ยวข้องกับกาแฟอราบีก้า

2.1.1 ถิ่นกำเนิดและการจัดจำแนกกาแฟอราบีก้า

กาแฟ (Coffee) เป็นพืชพื้นเมือง มีถิ่นกำเนิดอยู่ในอัฟริกา หรือทางตะวันออกเฉียงเหนือของอเมริกา โดยเฉพาะประเทศเอธิโอเปีย อาบีสซีเนีย และอาราเบีย ได้ค้นพบเมื่อประมาณศตวรรษที่ 5 ที่ประเทศอาราเบีย สำหรับในประเทศไทย ตามบันทึกของพระสารศาสตร์พลขันธ์ (นายเจรินี ชาวอิตาลี) พ.ศ. 2454 กล่าวว่า ประเทศไทยเริ่มปลูกกาแฟพันธุ์อราบีก้าตั้งแต่ปี พ.ศ. 2393 ส่วนพันธุ์โรบัสต้านั้น มีชาวไทยอิสลามผู้หนึ่งชื่อนายตีหมุน ได้นำพันธุ์โรบัสต้ามาปลูกเป็นคนแรกที่อำเภอสะบ้าย้อย จังหวัดสงขลา เมื่อปี พ.ศ. 2447 ข่าวได้แพร่หลายไปยังจังหวัดต่าง ๆ ของประเทศในภาคเหนือได้เริ่มมีการศึกษาวิจัยการปลูกกาแฟอราบีก้าขึ้นตั้งแต่ปี พ.ศ. 2512 ที่สถานีทดลองพืชสวนดอยมูเซอ จังหวัดตาก สถานีทดลองเกษตรกรรมแม่โจ้ สถานีทดลองพืชสวนฝาง อ.ฝาง จังหวัดเชียงใหม่ โดยมีหน่วยงานหลายหน่วยงานที่ได้เริ่มการศึกษาวิจัยกันขึ้น รวมทั้งสถานีวิจัยและศูนย์ฝึกอบรมการเกษตรที่สูงขุนช่างเคี่ยน คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ก็ได้เข้าร่วมในการวิจัยครั้งนี้ เนื่องจากกาแฟอราบีก้าเป็นพืชที่มีศักยภาพในการปลูกทดแทนการปลูกฝิ่นของชาวไทยภูเขา และเป็นประโยชน์ต่อการพัฒนาพื้นที่บนที่สูง ทั้งในด้านการเพิ่มรายได้และช่วยอนุรักษ์สภาพป่าไม้และระบบนิเวศน์บนที่สูง ดังนั้นทางคณะเกษตรศาสตร์จึงได้ก่อตั้งโครงการศูนย์วิจัย และพัฒนากาแฟบนที่สูงขึ้นในปี พ.ศ. 2526 โดยได้รับการสนับสนุนเงินทุนจากรัฐบาลเนเธอร์แลนด์ เพื่อทำการศึกษาวิจัยการปลูกและพัฒนาการผลิตกาแฟอราบีก้าบนที่สูง ตลอดจนศึกษาแก้ไขปัญหาที่จะเกิดขึ้นในอนาคตสำหรับการผลิตกาแฟอราบีก้าต่อไป (พัฒนพันธุ์, มปพ.)

กาแฟอราบีก้า มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า Coffea arabica L. เป็นพืชผสมตัวเอง (80-95%) จำนวนโครโมโซม 2n=4x=44 มีถิ่นกำเนิดจากป่าธรรมชาติเขตร้อนชุ่มชื้นของเทือกเขาในประเทศเอธิโอเปีย ซึ่งมีความสูงจากระดับน้ำทะเล 1,300-2,000 เมตร การจัดจำแนกและคำบรรยายลักษณะของกาแฟอราบีก้า (ณพพร, 2527 ; มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, มปพ ; พัฒนพันธุ์,

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

มปพ ; Bailey, 1966 ; Brown, 1935 ; Cronquist, 1971 ; Greulach and Adams, 1967 ; Hutchinson, 1973 ; Porter, 1967 ; Rendle, 1971 ; และ Wellman, 1961) เป็นดังนี้

Division	Spermatophyta
Subdivision	Angiospermae
Class	Dicotyledonae
Order	Rubiales
Family	Rubiaceae [Madder family]
Genus	Coffea
Species	arabica

นิสัยการเจริญเติบโต ไม้พุ่มยืนต้นขนาดเล็ก สูงประมาณ 3-5 เมตร เป็นพืชไม่ผลัดใบ (เขียวตลอดปี) โดยทั่วไปมีอายุ 10-15 ปี มักเจริญเติบโตภายใต้ร่มเงาของพืชอื่น มีความต้องการสภาพอากาศที่มีฤดูฝนและฤดูแล้งเด่นชัด ต้องการช่วงฤดูแล้งสำหรับการเจริญของตาดอกประมาณ 2-3 เดือน ถ้ามีฝนตกตลอดปีจะทำให้เกิดดอกไม่มากและออกดอกประปราย ทำให้ผลผลิตต่ำและเก็บเกี่ยวลำบาก อุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโต และให้ผลผลิตอยู่ระหว่าง 15-25°ซ ขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ และต้องการอุณหภูมิกลางวันและกลางคืนที่แตกต่างกัน กาแฟอราบีก้าต้องการแสงแดดและความอบอุ่นในเวลากลางวัน เพื่อสังเคราะห์แสงสร้างอาหารใช้ในการเจริญเติบโต และต้องการอากาศเย็นในเวลากลางคืนเพื่อสะสมอาหาร ปริมาณน้ำฝน 750-2,500 มิลลิลิตรต่อปี ต้องการสภาพดินและสภาพแวดล้อมที่เฉพาะเจาะจงในสภาพดินร่วนสีแดง มีความอุดมสมบูรณ์ มีการระบายน้ำและอากาศดี มีความเป็นกรดเล็กน้อยประมาณ 4.5-6.5 ซึ่งเป็นลักษณะดินภูเขาโดยทั่วไป เริ่มให้ผลผลิตตั้งแต่อายุ 2-3 ปีหลังการย้ายปลูก ระยะเวลาตั้งแต่ดอกบานถึงเก็บเกี่ยวประมาณ 6-8 เดือน อ่อนแอต่อโรคราสนิม (coffee rust จากเชื้อ Hemileia vastatrix)

ราก มีรากแก้วเนื่องจากขยายพันธุ์ด้วยเมล็ด รากแก้วมีขนาดใหญ่แต่ค่อนข้างสั้น ไม่หยั่งลึก มีรากแขนงแผ่ออกทางด้านข้างรอบ ๆ ในแนวราบยาวประมาณ 1-2 เมตร อยู่ระดับดินชั้นบนเพื่อหาอาหารลึกไม่เกิน 2-3 เมตร มีรากฝอยแผ่กว้างไม่เกิน 30 ซม.

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ลำต้น โดยธรรมชาติแล้ว ต้นกาแฟอราบีก้ามีลักษณะลำต้นตั้งตรงในระยะแรกของการเจริญเติบโต โดยไม่แตกกิ่ง แต่มีใบแตกออกตรงข้ออยู่ตรงข้ามกันเป็นคู่ ๆ ต่อมาเมื่อมีการเจริญเติบโตขึ้นเรื่อย ๆ ก็มีการแตกกิ่งออกจากลำต้นในลักษณะที่แยกออกจากกันแบบสองข้างเท่ากันและอยู่ตรงข้ามกัน กิ่งข้างหรือกิ่งนอน (Plagiotropic branch) จะแตกออกจากตาที่ก้านใบรอบลำต้น หรือกิ่งตั้ง (Orthotropic branch) ออกไปตรงกันข้ามที่ข้อ แต่ละข้อทำมุมกับลำต้นประมาณ 45-55 องศา แล้วจึงเอนลงเรียกว่า กิ่งแขนงชุดที่ 1 (primary plagiotropic branch) และจากกิ่งข้างนี้จะแตกกิ่งแขนงออกตรงกันข้ามอีกเรียกว่า กิ่งแขนงชุดที่ 2 (secondary plagiotropic branch) และสามารถแตกกิ่งแขนงชุดที่ 3 ได้อีก กิ่งนอนเหล่านี้เท่านั้นที่จะติดดอกออกผลได้ แต่จะไม่สามารถแตกกิ่งตั้งได้เลย ส่วนกิ่งตั้งก็ไม่สามารถติดดอกออกผลเช่นกัน ส่วนยอดของลำต้นจะควบคุมการแตกตาใบที่อยู่ข้างล่างมิให้แตกกิ่งตั้งออกมา ตาใบเหล่านี้จะพักตัวอยู่จนกว่าส่วนยอดจะถูกตัดหรือถูกทำลายไป ตาใบคู่ที่อยู่บนสุดจะเริ่มเจริญเติบโตขึ้นเป็นกิ่งนอน ส่วนตาใบคู่ที่อยู่ด้านล่างจะเจริญเป็นกิ่งตั้ง ในซอกใบของกิ่งนอนจะมีตา 4-6 ตาเรียงซ้อนกันอยู่ ตาที่อยู่บนสุดจะใหญ่และแก่ที่สุด ในขณะที่ตาที่อยู่ด้านล่างยังเล็กและอ่อนอยู่ ตาเหล่านี้เจริญเป็นช่อดอกหรือเป็นกิ่งนอนชุดที่ 2 ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสารอาหารและฮอร์โมนภายในลำต้น ในสภาพที่ออกดอกตาแรก ๆ 3-4 ตา จะเจริญไปเป็นช่อดอก

ใบ เกิดที่ข้อเรียงตัวแบบตรงกันข้าม รูปไข่หรือรูปไล่ ฐานใบแหลมและสั้น ปลายใบแหลม ขอบใบเรียบเป็นคลื่น สีเขียวเข้มเป็นมันเงา ผิวด้านบนสีเขียวเข้ม ด้านใต้สีเขียวอ่อน แผ่นใบมีขนาดกว้าง 5-6 ซม. ยาว 5-20 ซม. เส้นกลางใบ 7-12 คู่ มี Dormatia มากน้อยขึ้นกับพันธุ์ ก้านใบสั้นประมาณ 1 ซม. มีหูใบเกิดอยู่ระหว่างก้านใบ ยอดอ่อนจะมีสีทองแดงหรือสีเขียวขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ ขนาดของใบและสีของยอดอ่อนใช้เป็นลักษณะจำแนกพันธุ์ได้

ช่อดอก เกิดจากตาที่ 1-6 ของใบ แต่ละซอกใบของกิ่งนอน (Plagiotropic or lateral branchs) โดยมากมักจะเกิดจากตาที่ 1,2,3 และ 4 ก้านดอกสั้น จำนวนดอกต่อช่อประมาณ 4-6 ดอก มีประมาณ 20 ช่อต่อข้อ และมีประมาณ 15-20 ข้อต่อกิ่ง

ดอก สีขาวหรือครีม รูปร่างคล้ายดาวสมมาตรกัน มีกลิ่นหอมคล้ายมะลิป่า เป็นดอกสมบูรณ์เพศที่มีเกสรตัวผู้และเกสรตัวเมียอยู่ในดอกเดียวกันและเป็นพืชผสมตัวเอง (80-95%) ชั้นกลีบเลี้ยง 5-6 กลีบเท่าจำนวนกลีบดอก เชื่อมติดกันเป็นหลอดห่อหุ้มฐานรองดอกรูปคล้ายถ้วย กลีบดอกสีขาว 5-6 กลีบเชื่อมติดกันเป็นหลอดยาว 1-1.5 ซม. ปลายหลอดผายออกเป็นกลีบแยก

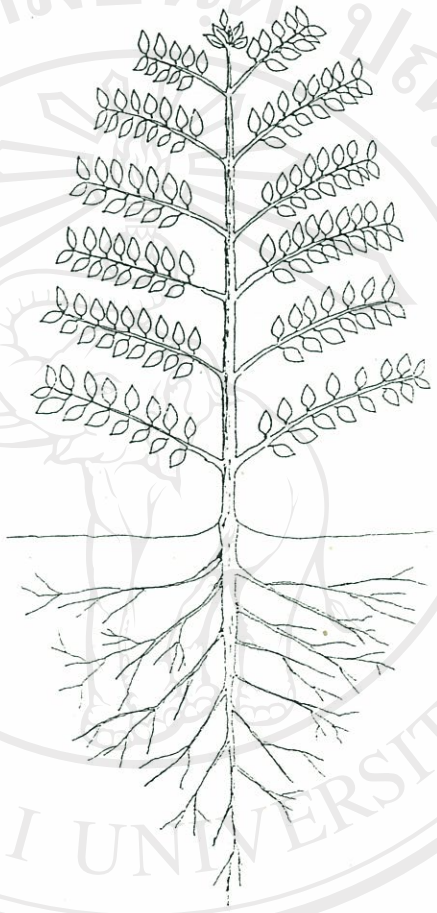
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ตั้งฉากกับก้านดอกเมื่อดอกบาน แต่เมื่อดอกยังตูมปลายกลีบจะบิดเวียน เกสรตัวผู้มี 5-6 อัน เท่าจำนวนกลีบดอกและติดกับผนังหลอดของกลีบดอก ก้านเกสรสั้นติดสลับเยื้องกับแฉกของกลีบดอกก้านละกลีบ อับละอองเกสรประกอบด้วย 2 พู และแตกออกตามความยาว ยอดเกสรตัวเมียแยกเป็นสองแฉกเห็นได้ชัดเจน ก้านเกสรตัวเมียมักยาว มีรังไข่ 1 อันอยู่ด้านใต้ส่วนประกอบต่าง ๆ ของดอก (inferior ovary) ภายในแยกเป็น 2 ช่อง (locules) และมี 2 ช่องรังไข่ (carpels) อยู่ติดกัน บรรจุไข่อ่อน 1 ใบต่อ 1 ช่องรังไข่ ไข่เกาะบริเวณฐานของรังไข่ (basal placentation)

ผล เป็นแบบ Drupe ผลเดี่ยว รูปร่างกลม หรือกลมเหมือนไข่ ขนาดประมาณกว้าง 1-1.3 ซม. ยาว 1.5 ซม. เปลือกและเนื้อฉ่ำน้ำห่อหุ้มเมล็ดแข็งอยู่ภายใน ผลอ่อนมีสีเขียว เมื่อสุกเปลือกนอกมีสีส้มแดง แดงเข้ม หรือเหลือง ขึ้นกับสายพันธุ์ เนื้อมีรสหวาน ในผลหนึ่ง ๆ จะมีเมล็ดจำนวน 2 เมล็ด ยกเว้นบางผลอาจมีเมล็ดเดียว หรือมีขนาดใหญ่ 1 เมล็ดและเล็ก 1 เมล็ด เนื่องจากการล้มเหลวในการผสมเกสร หรือแท้ง ผลกาแฟจะสุกแก่ เริ่มเก็บเกี่ยวได้ตั้งแต่เดือนพฤศจิกายนถึงเดือนกุมภาพันธ์ขึ้นกับสายพันธุ์

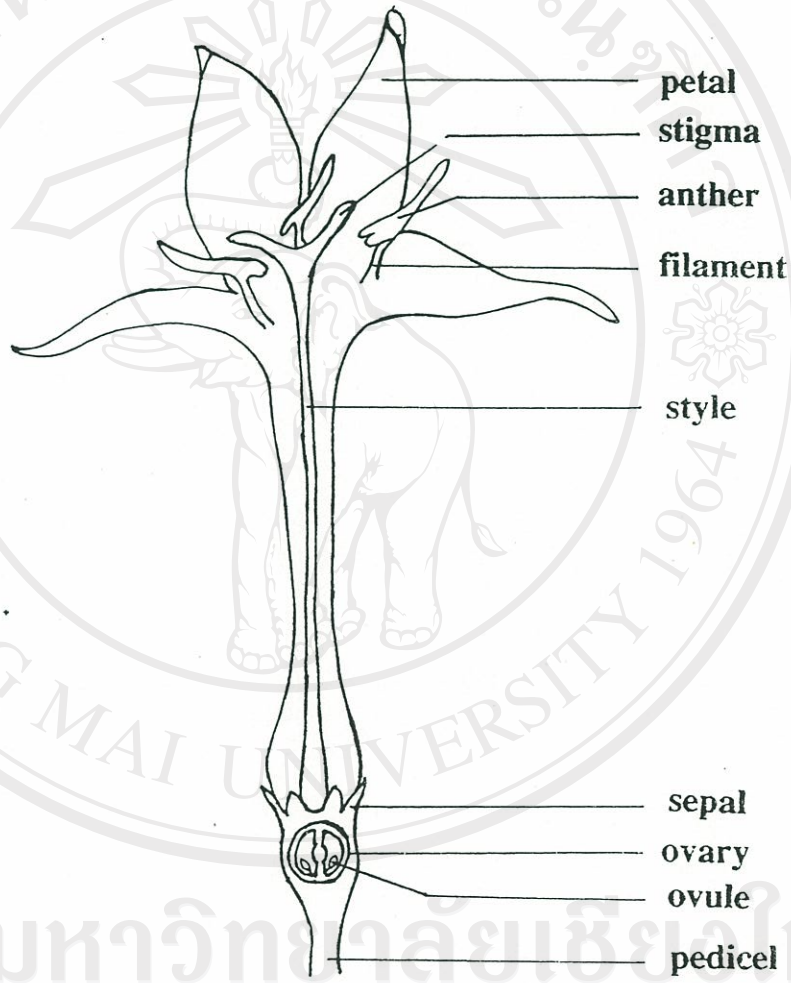
เมล็ด มีลักษณะด้านหนึ่งโค้ง ด้านหนึ่งแบนเรียบ และมีร่องตรงกลาง ด้านเรียบของทั้งสองเมล็ดจะหันหน้าเข้าหากันและประกบกัน เมล็ดรูปไข่ ยาวประมาณ 8.5-12.5 มิลลิเมตร มีเยื่อบาง ๆ (testa) สีเงินหุ้มอยู่ และอยู่ภายในเปลือกหุ้มใส ๆ ที่เรียกว่า "กะลา" (parchment) เมล็ดที่มีเปลือกหุ้มอยู่เรียกว่า "กาแฟกะลา" (parchment coffee) และรอบ ๆ เปลือกหุ้มหรือกะลานี้จะมีเมือกใสและเหนียว (mucilage) เคลือบอยู่ เมื่อกระเทาะส่วนของกะลานี้ออกจะเหลือส่วนเมล็ดที่เรียกว่า "สารกาแฟ" (coffee bean) ซึ่งเมื่อยังสดอยู่มีสีขาว แต่เมื่อแห้งมีสีเขียวอ่อน จึงมักเรียกว่า "กรีน คอฟฟี่" (green coffee) เมื่อเก็บรักษาไว้นาน ๆ จะค่อย ๆ เปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลและสีดำในที่สุด

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



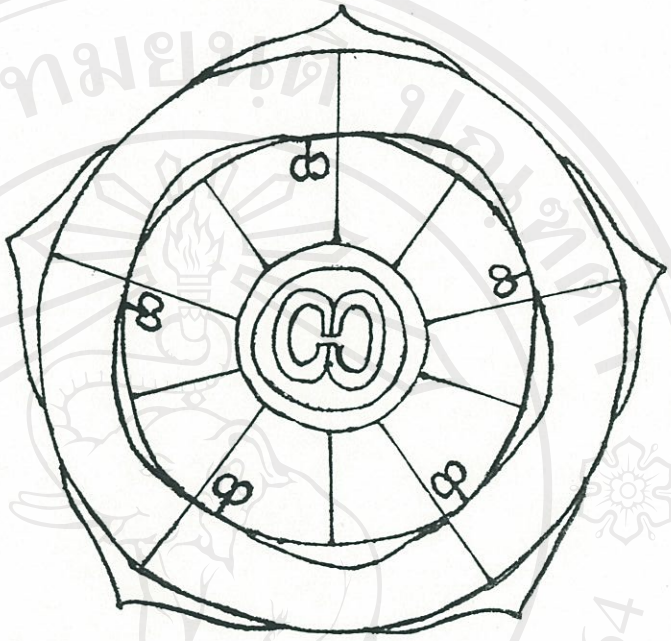
ภาพที่ 1 โครงสร้างของต้นกาแฟซึ่งมีการแตกกิ่งออกจากลำต้นในลักษณะที่แยกออกจากกันแบบสองข้างเท่ากันและอยู่ตรงกันข้าม (ประยุกต์จากอนันต์, 2522)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ภาพที่ 2 โครงสร้างดอก (Floral structure) ของกาแฟอราบีก้า (ภาพขยายประมาณ 6 เท่า)

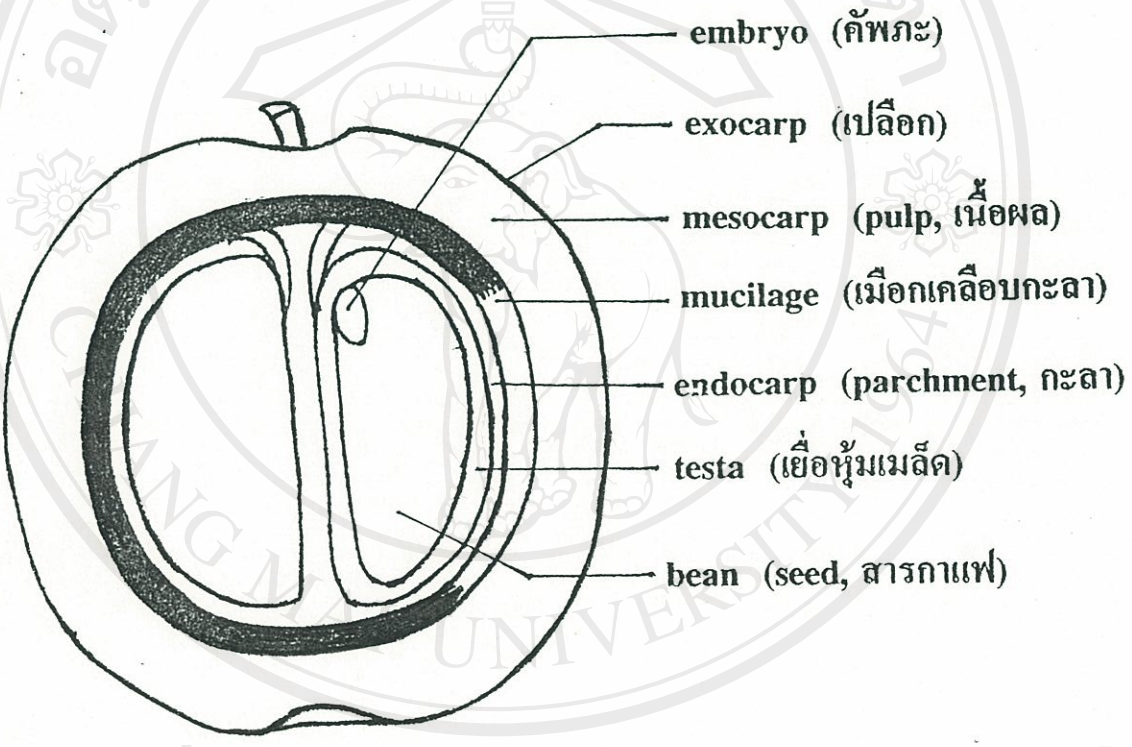


ภาพที่ 3 แผนผังดอก (Floral diagram) ของกาแฟอราบีก้า ประกอบด้วยชั้นของส่วนต่าง ๆ ดังนี้ ชั้นนอกสุดเป็นชั้นกลีบเลี้ยง 5 กลีบติดกัน ชั้นกลีบดอก 5 กลีบติดกัน ชั้นเกสรตัวผู้ 5 อันติดอยู่บนกลีบดอก กลีบละ 1 อัน และชั้นในสุดเป็นชั้นรังไข่ ภายในแบ่งเป็น 2 ช่องรังไข่ติดกัน และมีไข่อ่อน 1 ใบต่อ 1 ช่องรังไข่ โดยไข่เกาะอยู่บริเวณฐานของรังไข่

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

$$\oplus \quad K_{(5)}\ C_{(5)}\ A_5\ \overline{G}_{(2)}$$

ภาพที่ 4 สูตรดอก (Floral formula) ของกาแฟอราบีก้า ประกอบด้วย ดอกสมมาตรกัน ชั้นกลีบเลี้ยง 5 กลีบติดกัน ชั้นกลีบดอก 5 กลีบติดกัน เกสรตัวผู้ 5 อันไม่ติดกัน และรังไข่แบบ inferior ovary แยกเป็น 2 ช่องรังไข่ติดกัน



ภาพที่ 5 โครงสร้างของผลกาแฟอราบีก้า (ภาพขยายประมาณ 10 เท่า)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.1.2 ความพร้อมผสมของเกสรตัวเมีย (stigma receptivity)

ความพร้อมผสมของเกสรตัวเมียเป็นปัจจัยสำคัญต่อปรากฏการณ์การผสมเกสรอย่างสมบูรณ์ ตามปกติเกสรตัวเมียของพืชจะพร้อมผสมสูงสุดหลังจากดอกเริ่มบาน ช่วงระยะเวลาของความพร้อมผสมก็จะแตกต่างกันไปในพืชแต่ละชนิด และมักจะอยู่ภายใต้อิทธิพลของสภาพแวดล้อม โดยเฉพาะอุณหภูมิและความชื้นด้วย ในกรณีพืชไร่บางชนิด เช่น ข้าวสาลี ข้าวไรย์ และ triticale ภายใต้สภาพอุณหภูมิและความชื้นที่เหมาะสม (22°ซ และ 60% RH) เกสรตัวเมียจะแสดงความพร้อมผสมสม่ำเสมอ ประมาณ 3-4 วัน หลังดอกบาน หลังจากนั้นการติดผลจะลดลงเรื่อย ๆ และพบว่า อุณหภูมิและความชื้นในบรรยากาศมีผลไปลดระยะเวลาของความพร้อมผสมของเกสรตัวเมียด้วย (Shivanna and Johri, 1989) โดยทั่วไปแล้วความพร้อมผสมของเกสรตัวเมียจะสังเกตได้จากก้านเกสรตัวเมียจะยังสดอยู่ และที่ปลายก้านเกสรจะมียางเหนียว ๆ เคลือบอยู่พร้อมที่จะจับเม็ดละอองเกสรตัวผู้ ในกรณีของดอกกาแฟอราบีก้า นั้นจะสังเกตพบยางเหนียวได้ชัดเจนในระยะที่ดอกใกล้บานแล้วเท่านั้น

Kho and Baer (1968) ได้ศึกษาความสามารถผสมของพืชโดยการตรวจหาการเจริญของ pollen tube ในก้านชูเกสรตัวเมียของพืชในตระกูล Solanaceae และ Cruciferae โดยใช้ Fluorescent microscope พบว่าเป็นวิธีที่เหมาะสมมาก เพราะรวดเร็วกว่าวิธีอื่น ๆ ที่เคยใช้ ภาพที่ได้มีข้อผิดพลาดน้อย และพบว่าในผนังของ pollen tube เนื้อเยื่อของพืชส่วนใหญ่จะมีสารชื่อ callose ซึ่งจะไม่พบในเนื้อเยื่อของก้านชูเกสรตัวเมียที่อยู่ล้อมรอบ เนื้อเยื่อนี้จะติดสีเฉพาะ aniline จึงต้องใช้ Fluorescence ที่ฉายแสงสีฟ้า หรือ ultraviolet callose จึงจะแสดงแสงสีเหลืองเขียวที่สว่างตัดกับพื้นสีดำอย่างเห็นได้ชัด pollen tube จะถูกกำหนดรูปร่างโดย callose และ callose plug ซึ่งจะถูกเรียงเป็นระยะทางไม่สม่ำเสมอภายในท่อเทคนิค Fluorescence นี้ทำให้มองเห็น pollen tube ในก้านชูเกสรตัวเมียได้ชัดเจน และยังสามารถติดตามดูจนกระทั่งเข้าผสมกับไข่ วิธีการนี้ยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้ตรวจสอบการผสมเข้ากันได้ (compatibility) ของพืชต่างสายพันธุ์หรือการผสมตัวเองไม่ติด (self-incompatibility) ของพืชผสมข้ามได้ด้วย จานุลักษณ์ (2535) ได้รายงานวิธีการตรวจสอบลักษณะการผสมตัวเองไม่ติด หลังจากการผสมเกสร 1-2 วันด้วยกล้องจุลทรรศน์ โดยนำดอกอ่อนและดอกบานภายในช่อเดียวกันมาแยกเอาเฉพาะส่วน pistil เท่านั้นแช่ในโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ในสภาพอุณหภูมิ 60°ซ นาน 45 นาทีเพื่อให้เนื้อเยื่อนิ่ม หลังจากนั้นแล้วนำไปย้อมสีในสารผสม 0.2 เปอร์เซนต์ของอะนีลินบลู (aniline blue) กับ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2 เปอร์เซนต์ของโปรตัสเซี่ยมฟอสเฟต (K_3PO_4) ย้อมสีในสภาพอุณหภูมิห้องนาน 24 ชม. หรืออุณหภูมิ 60°ซ นาน 5 นาที หลังจากนั้นนำมาส่องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์ในสภาพแสงอุลตร้าไวโอเลต ในลักษณะการผสมตัวเองไม่ติดจะเห็นท่อ pollen tube ไม่สามารถงอกผ่าน stigma ได้

2.1.3 ความพร้อมผสมของเกสรตัวผู้ (pollen shedding)

เกสรตัวผู้ประกอบด้วย ก้านชูเกสร (filament) และอับละอองเกสรตัวผู้ (anther) ภายในอับละอองเกสรตัวผู้จะแยกออกเป็นช่องใหญ่ ๆ (pollen sacs) 2 ช่อง และแต่ละช่องจะถูกแยกออกเป็น 2 ช่องย่อย (pollen chambers) ซึ่งภายในจะบรรจุละอองเกสรตัวผู้ (pollen grains) จำนวนมาก เมื่อละอองเกสรเหล่านี้ได้รับการพัฒนาจนสุกแก่เต็มที่พร้อมที่จะผสมพันธุ์ได้ ผนังของอับละอองเกสรก็จะเริ่มปริแตกออกให้ละอองเกสรฟุ้งกระจายไป หรือติดไปกับพาหะอื่น ๆ เพื่อผสมเกสรบนยอดเกสรตัวเมียที่อยู่ภายในดอกเดียวกันหรือต่างดอกกัน โดยเรียกขบวนการนี้ว่า การถ่ายละอองเกสร หรือ Pollination (Greulach and Adams, 1967 ; Sinnott, 1946 ; Wilson and Loomis, 1962) จากนั้นละอองเกสรจะงอก pollen tube แทงเข้าสู่ภายในก้านชูเกสรตัวเมียจนเข้าผสมกับไข่อ่อนในรังไข่เกิดขบวนการปฏิสนธิ หรือ Fertilization ถ้าหากการผสมเกิดขึ้นภายในดอกเดียวกันหรือต่างดอก แต่อยู่ภายในต้นเดียวกัน จะเรียกการผสมนั้นว่า การผสมตัวเอง หรือ Self-pollination แต่ถ้าการผสมเกิดขึ้นระหว่างดอกที่อยู่ต่างต้นกัน เรียกการผสมนั้นว่า การผสมข้าม หรือ Cross-pollination (ลาวัลย์, 2534 ; Cronquist, 1971)

รูปร่างลักษณะของอับละอองเกสรและละอองเกสรตัวผู้ ตลอดจนลักษณะการปริแตกของอับละอองเกสร เพื่อกระจายละอองเกสรก็แตกต่างกันในแต่ละชนิดของพืช โดยทั่วไปจะพบลักษณะการแตกของอับละอองเกสรได้ 3 แบบ คือ แตกเป็นรอยตะเข็บตามความยาวของอับละอองเกสร เช่น พืชสกุล amaryllis หรือแตกเป็นลิ้นเปิดบริเวณปลายด้านบนของอับละอองเกสร เช่น พืชสกุล barberry หรือแตกเป็นช่องบริเวณปลายยอดของแต่ละพูของอับละอองเกสร เช่น พืชสกุล nightshade (Brown, 1935)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.1.4 การเก็บรักษาละอองเกสรตัวผู้ (pollen longivity)

การเก็บรักษาละอองเกสรตัวผู้มีความสำคัญต่องานผสมพันธุ์กาแฟมาก เพราะจะสามารถทำการผสมกาแฟระหว่างสายพันธุ์ที่มีการออกดอกไม่พร้อมกันหรือออกดอกห่างกันมากได้ เพื่อ

ประโยชน์ในงานปรับปรุงพันธุ์อย่างมีประสิทธิภาพ ดังนั้น การศึกษาหาวิธีการเก็บรักษาละอองเกสร จึงมีความจำเป็นจะต้องศึกษาทั้งทางด้านระยะเวลา และสภาพของการเก็บรักษาควบคู่กันไป

Sybenga (1960) อ้างโดย Walyaro and Van der Vossen (1976) ได้ทำการศึกษาการยืดอายุการเก็บรักษาละอองเกสรตัวผู้ และวิธีการหาความงอกของละอองเกสรของกาแฟอราบีก้าในสภาพปลอดเชื้อ พบว่า เมื่อเก็บรักษาละอองเกสรในสภาพที่มีความชื้นต่ำ ภายใต้อุณหภูมิ 0-5°ซ จะสามารถรักษาความมีชีวิตของละอองเกสรได้นาน 1-2 เดือน และได้นำผลการศึกษานี้ไปประยุกต์ใช้ในการเก็บรักษาละอองเกสรทั้งของ C. arabica (Carvalho and Monaco, 1969) และ C. canephora (Ferwerda, 1969) แต่ต่อมาเนื่องจากงานผสมกาแฟบางโครงการที่สถานีวิจัยกาแฟประเทศเคนยา (CRS) เป็นงานต่อเนื่องใช้เวลาไม่ต่ำกว่า 6 เดือน Walyaro and Van der Vossen (1977) จึงต้องศึกษาวิธียืดอายุการเก็บรักษาละอองเกสรให้นานขึ้น และหาสูตรอาหารที่เหมาะสมต่อการงอกของละอองเกสรด้วย และพบว่าการเก็บรักษาละอองเกสรของกาแฟอราบีก้าสายพันธุ์ SL28 ภายใต้สภาพสูญญากาศที่อุณหภูมิ -18°ซ จะสามารถเก็บละอองเกสรได้นานกว่า 2 ปี โดยที่ความมีชีวิตยังสูงอยู่ และศึกษาความมีชีวิตของละอองเกสรจากความงอกของละอองเกสรในสภาพปลอดเชื้อด้วยวิธี "Hanging drop in a Van Tieghem cell" ในสารละลาย sucrose 10% ที่เพิ่มสารแมงกานีสหรือโบรอน ในความเข้มข้นต่ำมาก ๆ (10-25 ppm)

2.2 การผสมพันธุ์กาแฟอราบีก้า (Coffee breeding)

งานผสมพันธุ์กาแฟได้เริ่มขึ้นในระหว่างปี ค.ศ. 1920 และ 1930 ในประเทศบราซิล อินเดีย แทนซาเนีย และเคนยา ซึ่งเดิมมีฐานพันธุกรรมแคบมาก ต่อมาได้เริ่มในประเทศโคลัมเบีย กัวเตมาลา คอสตาริก้า และแมคซิโก วัตถุประสงค์หลักของการริเริ่มงานปรับปรุงพันธุ์กาแฟอราบีก้าในหลาย ๆ ประเทศจะมุ่งเน้นงานคัดเลือกพันธุ์เพื่อเพิ่มผลผลิต การปรับตัวได้ดี ความสม่ำเสมอของผลผลิต การเพิ่มขนาดของสารกาแฟ และการพัฒนาคุณภาพในรูปเครื่องดื่ม ซึ่งวิธีการคัดเลือกส่วนใหญ่จะทำใน individual plant และทดสอบด้วย progeny test ต่อมาก็เพิ่มวัตถุประสงค์เพื่อการปรับปรุงสายพันธุ์ด้านทานโรค 2 ชนิดของกาแฟอราบีก้า ได้แก่ โรคราสนิมหรือโรคราสนิมสีส้ม (Coffee rust หรือ Orange rust) และโรคผลเน่า (Coffee berry disease) (Walyaro, 1983)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

กาแฟอราบีก้าเป็นพืชผสมตัวเอง (allogamy) สูงประมาณ 90-95% แต่ก็ยังมีการผสมข้ามตามธรรมชาติได้ถึง 5-10% เช่นเดียวกับพืชผสมตัวเองอื่น ๆ เช่น ข้าว ถั่วต่าง ๆ ปอ ป่าน ยาสูบ และมะเขือเทศ เป็นต้น ดอกกาแฟอราบีก้าจะเป็นดอกสมบูรณ์ที่มีเกสรตัวผู้และเกสรตัวเมียอยู่ภายในดอกเดียวกัน และจะมีกลไกป้องกันการผสมข้ามโดยเกสรตัวเมีย และยอดเกสรตัวเมียจะถูกหุ้มด้วยเกสรตัวผู้ ขณะเดียวกันละอองเกสรตัวผู้จะกระจายตัวออกจากอับละอองเกสรก่อนที่ดอกจะบาน หรือพร้อม ๆ กับดอกบาน หรือหลังดอกบานเล็กน้อย ขึ้นกับระดับความชื้นของสภาพแวดล้อมขณะที่ดอกบาน คือ ถ้าสภาพแวดล้อมขณะดอกกาแฟกำลังจะบานมีความชื้นสูง เช่น ได้รับการให้น้ำมาก หรือได้รับน้ำฝนใหม่ ๆ ดอกกาแฟจะบานเร็วขึ้นจนอาจจะบานก่อนการแตกของอับละอองเกสรเล็กน้อย จึงเปิดโอกาสให้เกิดการผสมข้ามได้บ้างเล็กน้อย แต่เนื่องจากการปลูกกาแฟในพื้นที่หนึ่ง ๆ หรือใกล้เคียงกัน มักจะปลูกพันธุ์เดียวกันตลอด ดังนั้นโอกาสผสมข้ามของดอกกาแฟโดยลมหรือแมลง จึงมักเป็นเพียงการผสมข้ามต้นภายในพันธุ์เดียวกัน (Carvalho and Monaco, 1962) การออกดอกของกาแฟอราบีก้าแต่ละสายพันธุ์จะใกล้เคียงกัน ปกติจะออกดอกรุ่นแรกในช่วงปลายฤดูร้อนถึงต้นฤดูฝน ประมาณปลายเดือนเมษายนถึงเดือนพฤษภาคม โดยการพัฒนาของตาดอกจะเกิดขึ้นเมื่อต้นกาแฟได้รับน้ำฝน (ปริมาณไม่ต่ำกว่า 20 มม.) หลังจากผ่านช่วงแล้งมาระยะหนึ่ง เป็นการทำลายการพักตัวของตาดอกตลอดระยะเวลา 6-7 เดือนที่ผ่านมา และการออกดอกของกาแฟอราบีก้าอาจจะออกเพียงรุ่นเดียว หรือสองรุ่นขึ้นกับการกระจายของฝน (Van der Vossen, 1985) เคยมีรายงานว่า กาแฟอราบีก้าแสดงลักษณะเป็นพืชวันกลางถึงพืชวันสั้น แต่ต่อมา Cannell (1925) และ Monaco et al (1978) ได้พิสูจน์ว่าช่วงแสงมีผลต่อต้นกาแฟอราบีก้าน้อยมาก การออกดอกของกาแฟอราบีก้าจะขึ้นกับวงจรการเจริญเติบโตของต้นกาแฟเอง และปัจจัยของสภาพแวดล้อมที่ต้นกาแฟนั้นปลูกอยู่ ระยะเวลาตั้งแต่ตาดอกถูกทำลายการพักตัวจนถึงดอกบานประมาณ 6-10 วัน ขึ้นกับอุณหภูมิและระดับความชื้นในบรรยากาศ ช่วงดอกบานจะนานไม่เกิน 3 วัน หลังจากดอกบานได้เพียงครู่เดียวในตอนเช้าตรู่ อับละอองเกสรตัวผู้จะเริ่มแตกทันที และขณะนั้นเกสรตัวเมียก็พร้อมที่จะรับการผสม จากนั้นดอกกาแฟก็จะเริ่มเหี่ยวและร่วงหลังจากการผสม 1-2 วัน (Van der Vossen, 1985)

Carvalho and Monaco (1969) ได้ศึกษาและอธิบายวิธีการผสมเกสรของกาแฟอราบีก้า โดยเริ่มจากเลือกดอกกาแฟที่ยังตูมอยู่ซึ่งกำลังอยู่ในระยะที่เรียกว่า "candle stage" แล้วทำหมัน (emasculation) ดอกกาแฟในระยะก่อนดอกบาน 1 หรือ 2 วัน เพื่อป้องกันการผสมตัวเองภายใน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ดอกโดยใช้กรรไกรที่ประยุกต์พิเศษ (specially adapted scissors) หรือใช้คีมคีบ (forceps) ตัดส่วนของชั้นกลีบดอก (corolla) ทั้งหมดตรงบริเวณใกล้กับชั้นกลีบเลี้ยง (calyx) แล้วดึงส่วนของชั้นกลีบดอกทั้งหมด (ซึ่งภายในมีส่วนของ anther เกาะติดอยู่กับกลีบดอก) ออกไป เหลือส่วนของ pistil และรังไข่ติดอยู่กับช่อดอก จากนั้นให้คลุมกิ่งที่ทำหมันดอกหมดแล้วด้วยถุงกระดาษ เมื่อต้องการผสมเกสรให้เปิดปากถุงออก ใช้ปลายพู่กันแตะละอองเกสรที่เก็บไว้ในขวดเล็ก ๆ แล้วป้ายลงบนยอดเกสรตัวเมีย เมื่อเสร็จสิ้นแล้วให้ปิดไว้เหมือนเดิมพร้อมกับแขวนป้ายบอกชื่อสายพันธุ์พ่อและแม่ที่ทำการผสม เมื่อดอกพัฒนาเป็นผลและสุกแก่เต็มที่แล้วจึงเก็บผลไปทำการศึกษาต่อไป Walyaro and Van der Vossen (1977) ได้ทำการทดลองในประเทศเคนยา พบว่าการทำหมันดอก และการคลุมถุงดอกกาแฟจะปลอดภัยจนกระทั่งถึงช่วงเย็นของวันก่อนดอกบาน 1 วัน และยอดเกสรตัวเมียของดอกที่ยังไม่ได้รับการผสมนี้จะยังพร้อมรับการผสมได้นานถึง 9 วัน ซึ่งแสดงว่ายังไม่ควรเปิดถุงคลุมออกจนกระทั่งหลังดอกบานไปแล้ว 2 สัปดาห์ เพื่อป้องกันการถูกผสมจากภายนอก ดังนั้นในงานผสมพันธุ์กาแฟจำนวนมาก ๆ จึงสามารถขยายระยะเวลาที่ทำการผสมออกไปได้บ้างโดยไม่มีผลกระทบกระเทือนต่อการติดผล Browning (1975) ได้แนะนำวิธีการเร่งการบานของดอกกาแฟโดยการปล่อยน้ำเข้าแปลง เป็นการทำลายช่วงเครียดเนื่องจากการขาดน้ำในฤดูแล้งที่ผ่านมา จึงมักทำกันในช่วงปลายฤดูแล้ง วิธีนี้ช่วยเร่งให้ดอกบานพร้อมกันและเพิ่มปริมาณดอกบาน ซึ่งนิยมใช้ในงานผสมพันธุ์โครงการใหญ่ ๆ หรือใช้เพื่อเพิ่มการผลิตเมล็ดพันธุ์ลูกผสมภายในหนึ่งฤดูกาล

2.3 ลักษณะพันธุกรรมและการทดสอบความทนแล้ง

ลักษณะของความทนแล้ง หรือ ความทนทานต่อสภาพการขาดน้ำ (drought resistance) ของพืชเป็นลักษณะเชิงปริมาณ (quantitative characters) ที่ถูกควบคุมด้วยยีนกลุ่มหนึ่ง (polygenes) โดยทั่วไปแล้วลักษณะที่สำคัญทางเศรษฐกิจในพืชมักเป็นลักษณะเชิงปริมาณ เช่น ผลผลิต จำนวนผลต่อต้น ขนาดเมล็ด อายุออกดอก และอายุเก็บเกี่ยวผลผลิต เป็นต้น ซึ่งในการถ่ายทอดลักษณะต่าง ๆ เหล่านี้จะพบว่ามีความแปรปรวนเป็นไปอย่างต่อเนื่อง (continuous variation หรือ continuous distribution) โดยที่ความแปรปรวนของลักษณะเชิงปริมาณที่เกิดขึ้นนี้ Briggs and Knowles (1967) และ Mather and Jinks (1977) ได้กล่าวว่าเป็นผลเนื่องมาจาก (1) การทำงานร่วมกันระหว่างพันธุกรรมและสภาพแวดล้อม (2) ลักษณะเชิงปริมาณเป็นลักษณะที่ควบคุม

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ด้วยยีนเป็นจำนวนมาก ซึ่งยีนต่าง ๆ เหล่านี้มีผลต่อการแสดงออกของลักษณะแตกต่างกัน (3) ยีนแต่ละยีนมีผลต่อลักษณะเพียงเล็กน้อยไม่เป็นอิสระต่อกัน และถูกกระทบจากการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อมได้ง่าย และ (4) ลักษณะเชิงปริมาณหนึ่ง ๆ อาจถูกควบคุมด้วยยีนมากกว่าหนึ่งยีน และยีนหนึ่งอาจสามารถควบคุมได้มากกว่าหนึ่งลักษณะ ดังนั้นลักษณะที่พืชแสดงปรากฏให้เห็น (phenotype, P) จึงเป็นผลอันเนื่องมาจากการแสดงออกของพันธุกรรม (genotype, G) ร่วมกับอิทธิพลของสภาพแวดล้อม (environments, E) และปฏิกริยาร่วมระหว่างพันธุกรรมกับสภาพแวดล้อม (genotype × environments, GE) ดังสมการ

$$P = G + E + GE \quad \text{.....} \quad (1)$$

และ Falconer (1981) ได้กล่าวถึงการแสดงออกของพันธุกรรมว่าเป็นผลจากการทำงานร่วมกันของยีน ซึ่งอาจเป็นผลการทำงานร่วมกันของยีนภายในตำแหน่งเดียวกัน (allelic gene action) และ/หรือการทำงานร่วมกันของยีนที่อยู่ต่างตำแหน่งกัน (non-allelic gene action) ดังนั้นพฤติกรรมอันเนื่องจากการแสดงออกของยีนจึงประกอบด้วย (1) พฤติกรรมของยีนแบบบวก (additive gene action) (2) พฤติกรรมของยีนแบบข่ม (dominance gene action) และ (3) พฤติกรรมร่วมระหว่างยีนต่างตำแหน่ง (non-allelic gene action หรือ epistasis) ด้วยเหตุนี้จำนวนยีน ชนิดของพฤติกรรมของยีน และความสัมพันธ์ระหว่างพันธุกรรมกับสภาพแวดล้อม จึงเป็นปัจจัยที่เข้ามามีบทบาทเกี่ยวข้องกับความแปรปรวนที่เกิดขึ้นอันเนื่องจากพันธุกรรม ในการศึกษาลักษณะเชิงปริมาณจึงจำเป็นต้องอาศัยวิธีการทางสถิติเข้ามาเกี่ยวข้องในการวิเคราะห์ด้วย

ดังนั้นลักษณะพันธุกรรมของความทนแล้งของพืชจึงประกอบด้วย กลุ่มยีนจำนวนมาก (polygenes) ร่วมกับการปรับตัวของพืชให้สามารถมีชีวิตรอดจากสภาพขาดน้ำ และสามารถเจริญเติบโตจนกระทั่งให้ผลผลิตเป็นที่น่าพอใจได้ การตอบสนองของพืชต่อสภาวะดังกล่าว อาจจะโดยการเปลี่ยนแปลงกลไกต่าง ๆ ทางสัณฐานวิทยา ทางสรีรวิทยา หรือทางชีวเคมีภายในต้นพืช เพื่อปรับกิจกรรมต่าง ๆ ให้เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตในสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมได้ (Blum, 1979 และ Turner and Kramer, 1980) วิธีการทดสอบความทนแล้งในงานปรับปรุงพันธุ์พืชภายใต้สภาพการขาดน้ำนั้น นอกจากการประเมินจากปริมาณผลผลิตสุทธิแล้ว อาจใช้วิธีประเมินจากลักษณะที่พืชตอบสนองทั้งทางสัณฐานวิทยา ทางสรีรวิทยา หรือทางชีวเคมี เพื่อการเปรียบเทียบ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

และคัดเลือกสายพันธุ์พืชทนแล้งที่ต้องการได้ (Blum et al., 1981 ; Levitt, 1980 และ Turner 1979, 1986) ซึ่งในทางปฏิบัติจะเลือกประเมินจากลักษณะใดก็ควรจะคำนึงถึงอุปกรณ์และวิธีการที่ไม่ยุ่งยาก รวดเร็ว และที่สำคัญควรคำนึงถึงความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะที่จะศึกษากับความทนแล้งของพืชชนิดนั้น ๆ (Fischer and Sanchez, 1979 ; O' Toole et al., 1978 และ Sammons et al., 1978, 1979)

Boyer (1970) และ Kramer (1983) กล่าวว่า โดยทั่วไปความทนแล้งของพืชมักจะมีความสัมพันธ์อย่างใกล้ชิดกับความสามารถในการดูดซึมน้ำของราก (ซึ่งเกี่ยวข้องกับความลึกและความหนาแน่นของราก) ความสามารถในการสะสมน้ำภายในต้นพืช (เกี่ยวข้องกับค่าศักย์ของน้ำภายในต้นพืช) และความสามารถควบคุมการสูญเสียน้ำออกจากต้น (เกี่ยวข้องกับการปิด-เปิดปากใบ การเปลี่ยนแปลงรูปร่างและสัณฐานของใบ หรือการลดกิจกรรมในขบวนการเมตาโบลิซึมต่าง ๆ ภายในต้นพืช) ซึ่งทั้งหมดจะส่งผลกระทบต่อการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตในที่สุด โดยพฤติกรรมเหล่านี้เป็นพฤติกรรมหลบหลีก และ/หรือปรับตัวเพื่อความทนทานต่อสภาวะการขาดน้ำ (Kuo, 1993 และ Salim et al., 1969)

สำหรับการทดสอบความทนแล้งในกาแฟอราบีก้านั้น Paichayon (1988) ได้ทำการคัดเลือกสายพันธุ์กาแฟอราบีก้าเพื่อความทนแล้งด้วยวิธีการวิเคราะห์การเจริญเติบโต (จากพื้นที่ใบ น้ำหนักใบ น้ำหนักสดและแห้งของต้น) ศึกษาพฤติกรรมของปากใบ การสะสมสารโปรลีน ปริมาณคลอโรฟิลล์ (ประสิทธิภาพการสังเคราะห์แสง) และศึกษาโครงสร้างใบกาแฟภายใต้สภาวะเครียดจากการขาดน้ำและอุณหภูมิสูง และนริศ (2534) ศึกษาการใช้สารเคมีกับกาแฟอราบีก้าเพื่อความทนแล้ง โดยการประเมินความทนแล้งจากพฤติกรรมของปากใบ ค่าศักย์ของน้ำในใบ ปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบ ปริมาณการสะสมสารโปรลีนในใบ และอัตราการเจริญเติบโตของต้น (ด้านความสูงและเส้นผ่าศูนย์กลางลำต้น)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.4 การตอบสนองต่อสภาวะการขาดน้ำของกาแฟอราบีก้า

น้ำเป็นปัจจัยสำคัญที่จำกัดการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตของพืช ผลกระทบเนื่องจากความเครียดที่ขาดน้ำของพืชจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับชนิดของพืช ระดับความรุนแรงและระยะเวลาที่เกิดความเครียดน้ำ (Turner and Kramer, 1980) ในสภาพที่ขาดน้ำจะมีผลไปลดประสิทธิภาพการทำงานของเซลล์ และทำให้ขบวนการเมตาโบลิซึมที่สำคัญต่าง ๆ ภายในเซลล์

โดยเฉพาะขบวนการทางสรีรวิทยาของพืชเปลี่ยนแปลงไป ซึ่งได้แก่ การแบ่งตัวและการขยายตัวของเซลล์ การปิด-เปิดของปากใบ การคายน้ำ การตรึงและการดูดซึมธาตุอาหาร การสำเลียงสารอาหาร การหายใจ การสังเคราะห์แสง การสังเคราะห์โปรตีนบางชนิด และปฏิกริยาต่าง ๆ ของเอ็นไซม์ เป็นต้น (พรศิริ, 2534 ; สมชาย, 2535 ; Blum, 1979 ; Boyer, 1970 ; Kramer, 1983 ; Levitt, 1980 ; Sammons et al., 1979 ; และ Wright et al., 1970)

Jones (1979) และ Turner (1979) ได้ทำการศึกษาในพืชไร่บางชนิด เช่น ข้าวโพด ข้าวฟ่าง ถั่วเหลือง ข้าวสาลี ฯลฯ พบว่า พืชจะมีการปรับตัวตอบสนองต่อสภาพการขาดน้ำได้ โดยการสร้างกลไกบางอย่างทางสัณฐานวิทยาหรือสรีรวิทยา เพื่อหลีกเลี่ยงการสูญเสียน้ำภายในต้น ขณะเดียวกันก็เพิ่มความคงทน (tolerance) ต่อการสูญเสียน้ำด้วย เช่น การเพิ่มสารคิวตินเคลือบผิวใบให้หนาขึ้น การลดขนาดหรือลดพื้นที่ใบ และการเปลี่ยนรูปร่างใบหรือม้วนใบ เพื่อลดการคายน้ำ และสูญเสียน้ำออกจากเซลล์ การลดปริมาณคลอโรฟิลล์และการเปิดปากใบให้น้อยลง เพื่อลดการแลกเปลี่ยนแก๊สและลดการสังเคราะห์แสง การมีระบบรากลึกและหนาแน่นเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการดูดน้ำและอาหาร ตลอดจนมีอายุเก็บเกี่ยวเร็วขึ้น เป็นต้น กรณีต้นกาแฟอราบีก้าที่ปลูกภายใต้สภาพขาดน้ำมาก ๆ จะมีผลไปลดการปิดเปิดของปากใบ ค่าศักย์ของน้ำในใบ (Ψ_l) ปริมาณคลอโรฟิลล์ และประสิทธิภาพของราก ทำให้อัตราการหายใจ และอัตราการสังเคราะห์แสงลดต่ำลงด้วย ส่งผลกระทบต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตในที่สุด (พัฒนพันธุ์, 2532 ; ศรีปาล, 2528 ; Kumar, 1979 และ Warrit and Sukasem, 1988) และเมื่อระดับการขาดน้ำรุนแรงเพิ่มมากขึ้นจนเข้าสู่สภาพแล้ง จะมีผลทำให้ระบบลำเลียง (Vascular system) ของต้นกาแฟได้รับความเสียหาย การส่งอาหารภายในลำต้นเป็นไปอย่างไม่สะดวกจึงมีการเจริญเติบโตไม่ดี ซึ่งจะเห็นได้ชัดเจนจากพื้นที่ใบ และการสะสมน้ำหนักแห้ง ส่วนการศึกษาการสะสมสารโปรลีนซึ่งเป็นกรดอะมิโนที่เกี่ยวข้องกับขบวนการเมตาโบลิซึมภายในต้น และจำนวนปากใบต่อหน่วยพื้นที่ใบภายใต้สภาวะขาดน้ำระดับต่าง ๆ กันของต้นกาแฟนั้น พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก (พัฒนพันธุ์, 2532) ดังนั้นในการศึกษาความทนแล้งของกาแฟอราบีก้า จึงต้องอาศัยกลไกต่าง ๆ ทางสัณฐานวิทยา และสรีรวิทยาบางอย่างที่ต้นกาแฟมีการปรับตัวตอบสนองต่อสภาพการขาดน้ำ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

2.4.1 พฤติกรรมการตอบสนองของปากใบ

พืชมีดอกทุกชนิดจะมีปากใบปรากฏอยู่บนส่วนสีเขียวที่สัมผัสกับอากาศ ซึ่งอาจปรากฏอยู่บนส่วนต่าง ๆ ของพืช เช่น ใบ ลำต้น ผล และบางส่วนของช่อดอก แต่ส่วนมากมักจะปรากฏอยู่ที่ส่วนของใต้ใบ (Jones, 1983) กรณีกาแฟจะมีปากใบปรากฏอยู่เฉพาะด้านใต้ใบเท่านั้น โดยมีค่าเฉลี่ยประมาณ 230-285 ปากใบต่อตารางมิลลิเมตร (Kumar, 1979) ปากใบประกอบด้วยเซลปากใบ 2 อันรูปร่างทรงรีคล้ายไต ซึ่งทำหน้าที่ควบคุมการเปิดปิดของปากใบ โดยมีผนังด้านในที่ติดอยู่กับรูปากใบหนากว่าผนังด้านนอก เมื่อเซลปากใบมีค่าความดันออสโมติกภายในประมาณ -13 ถึง -17 บาร์ ปากใบก็จะสามารถเปิดได้ ภายในเซลปากใบประกอบด้วยคลอโรพลาส แป้ง เอ็นไซม์และไอออนต่าง ๆ เช่น Ca^{2++}, K^{+} ซึ่งเกี่ยวข้องกับการปิดเปิดของปากใบด้วย

ปากใบมีบทบาทสำคัญในการรักษาความสมดุลของน้ำภายในต้นพืช และควบคุมการแลกเปลี่ยนก๊าซในขบวนการสังเคราะห์แสงและขบวนการหายใจ ดังนั้นพฤติกรรมของปากใบภายใต้สภาวะต่าง ๆ จึงส่งผลต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของพืชด้วย จากรายงานของ Kumar (1979) พบว่า ปากใบกาแฟจะเริ่มเปิดหลังจากพระอาทิตย์ขึ้น และเปิดเต็มที่เมื่อเวลา 9.00 น. เมื่อถึงช่วงเที่ยงวันซึ่งมีอุณหภูมิสูงที่สุดปากใบจะเปิดน้อยที่สุด จนกระทั่งถึงช่วงเวลา 15.00 น. ซึ่งอุณหภูมิของอากาศเริ่มลดลงปากใบจะเปิดเพิ่มขึ้น ในช่วงเย็นปากใบจะเปิดน้อยลงและปิดในที่สุดเมื่อพระอาทิตย์ตกดิน และยังสรุปได้ว่า ต้นกาแฟที่ปลูกในดินที่มีระดับความชื้นสูงจะมีช่วงเวลาเปิดปากใบยาวนานกว่า ต้นกาแฟที่ปลูกในดินที่มีระดับความชื้นต่ำ สอดคล้องกับรายงานของพัฒนพันธุ์ (2532) พบว่า ต้นกาแฟที่ปลูกในระดับน้ำในดินสูง (100%, 75% AWC) จะมีการเปิดปากใบมากกว่าต้นกาแฟที่ปลูกในระดับน้ำในดินต่ำ (50%, 25% AWC) และมีแนวโน้มที่จะมีจำนวนปากใบมากกว่าด้วย ดังนั้นในการพิจารณาเปรียบเทียบพันธุ์ภายใต้สภาวะเครียดของระดับน้ำในดินต่ำและอุณหภูมิสูง (50%, 25% AWC) ซึ่งเป็นสภาวะเครียดที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ สายพันธุ์ที่มีจำนวนปากใบต่อพื้นที่สูงที่สุดจะแสดงถึงแนวโน้มในการปรับตัวของพืชเพื่อการเจริญเติบโตได้ดีที่สุด เพราะปากใบที่มากกว่าจะส่งผลให้มีการผ่านเข้าของ CO_2 เพื่อการสังเคราะห์แสงที่มากกว่าด้วย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

2.4.2 สภาวะของน้ำภายในต้น

สถานภาพของน้ำที่อยู่ภายในต้นพืชเป็นสิ่งที่จะทำให้เกิดการตอบสนองทางด้านสรีรวิทยาได้หลายอย่าง ค่าศักย์ของน้ำในใบพืช (leaf water potential, Ψ_l) เป็นตัวที่ใช้วัดสถานภาพของน้ำในพืชซึ่งขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำในดิน การระเหยของน้ำจากดิน รูเปิดของปากใบ และความต้านทานในระบบการลำเลียงน้ำ Kumar (1979) พบว่า การเปิดของปากใบเกี่ยวข้องกับปริมาณความชื้นในดิน และอุณหภูมิของอากาศ และจะมีความสัมพันธ์อย่างใกล้ชิดกับค่าศักย์ของน้ำในใบด้วย พิทักษ์และเรืองยศ (2528) ได้ทำการศึกษากับกาแฟที่อยู่ภายใต้สภาวะการขาดน้ำ และวัดการเปลี่ยนแปลงของค่าศักย์ของน้ำในใบกาแฟในช่วงตลอดวัน พบว่า ในแต่ละวันค่าศักย์ของน้ำในใบได้มีการเปลี่ยนแปลงโดยมีค่าสูงสุดในตอนเช้าตรู่และมีค่าต่ำสุด ตอนช่วงเวลาประมาณ 14.00 น. ค่าที่สูงสุดของแต่ละวันจะลดลงเรื่อย ๆ เมื่อเวลาการทดลองนานขึ้น โดยจะสัมพันธ์กับค่าศักย์ของน้ำในดิน (Ψ_s) ที่ลดลง อัตราการลดลงของค่าศักย์ของน้ำในใบในช่วงแรกช้า แต่ในช่วงหลังอัตราการลดลงจะเร็ว เมื่อค่าศักย์ของน้ำในดินลดลง ความแตกต่างระหว่างค่าสูงสุดกับค่าต่ำสุดในแต่ละวันจะลดน้อยลงเรื่อย ๆ และค่าศักย์ของน้ำในใบจะมีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศอีกด้วย Blum et al (1981), Fischer and Sanchez (1979) และ O' Toole and Chang (1979) กล่าวว่า พืชที่มีความคงทนต่อสภาพแล้ง จะต้องมีองค์ประกอบอย่างหนึ่งคือ ความสามารถในการรักษาระดับค่าศักย์ของน้ำในต้นให้สูงอยู่เสมอ

2.4.3 ประสิทธิภาพการสังเคราะห์แสง

กาแฟเป็นพืชที่มีการสังเคราะห์แสงแบบพืช C-3 ทั่วไป จากการศึกษาพบว่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะเข้ารวมตัวกับ C-3 phosphorylated compound เป็นตัวแรกในขบวนการสังเคราะห์แสง Cannell (1985) พบว่า ใบกาแฟอราบีก้าที่อยู่ในที่ร่มจะมีอัตราการสังเคราะห์แสงสุทธิ (Net photosynthetic rate) สูงกว่าใบที่อยู่กลางแจ้ง (14 และ 7 μmole $CO_2.m^{-2}.s^{-1}$ ตามลำดับ ที่อุณหภูมิ 20°ซ) และมีปริมาณคลอโรฟิลล์ต่อตารางเซนติเมตรมากกว่าใบที่อยู่กลางแดด โดยคู่ใบที่มีอัตราการสังเคราะห์แสงสูงสุดนั้น ได้แก่ใบคู่ที่ 4 และ 5 นับจากยอดของต้น (Kumar and Tieszen, 1976) อุณหภูมิที่เหมาะสมของการสังเคราะห์แสงของใบกาแฟจะอยู่ในช่วงระหว่าง 20°-25°ซ และมีความเข้มของแสงต่ำประมาณ 600 $\mu E.m^{-2}.s^{-1}$ ถ้าหากความเข้มแสงเพิ่มขึ้นจะทำให้อุณหภูมิใบสูงขึ้นการสังเคราะห์แสงจะลดลง แต่ถ้าทำให้อุณหภูมิใบมีค่าต่ำ การเพิ่มความ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เข้มแสงจะไม่ทำให้อัตราการสังเคราะห์แสงลดลงเลย (Kumar, 1979) อัตราการสังเคราะห์แสงที่ลดลงในแปลงปลูกที่อุณหภูมิสูง มักจะเกิดพร้อมกับความเข้มแสงสูงเกินไป และมีค่าศักย์ของน้ำในดินต่ำคือขาดน้ำ ซึ่งทำให้ปากใบปิดในตอนกลางวัน และมีผลทำให้ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายในปากใบเพิ่มสูงขึ้น กรณีนี้ใบกาแฟจะแสดงอาการสูญเสียคลอโรฟิลล์ ทำให้ใบมีปริมาณคลอโรฟิลล์น้อยลงด้วย (Cannell, 1985)

Kumar and Tieszen (1976) ได้ศึกษาหาความสัมพันธ์ของการสังเคราะห์แสงกับสภาวะของน้ำในต้นกาแฟ โดยวัดในรูปของค่าศักย์ของน้ำในใบ (Ψ_1) พบว่า อัตราการสังเคราะห์แสงของกาแฟจะแปรตามค่า Ψ_1 เป็น 3 ช่วง คือ อัตราการสังเคราะห์แสงที่ระดับปกติ (16 mg. $CO_2.dm^{-2}.hr^{-1}$) จะยังคงที่จนกระทั่งค่า Ψ_1 ลดลงไปจนถึง -10 บาร์ ในช่วง -12 ถึง -20 บาร์ อัตราการสังเคราะห์แสงจะลดลงประมาณ 25% และจะลดลงจนเหลือเพียง 10-20% ของอัตราปกติ ถ้า Ψ_1 ลดลงต่ำกว่า -20 บาร์ นอกจากนั้นยังได้สรุปไว้ว่า การให้น้ำแก่กาแฟน่าจะกระทำเมื่อค่า Ψ_1 ลดลงใกล้ -20 บาร์ ทั้งนี้เพราะในช่วงที่ Ψ_1 ใกล้ -20 บาร์ อัตราการสังเคราะห์แสงจะลดลงน้อยมาก เพียงแค่ 25% ของอัตราปกติเท่านั้น แต่ไม่ควรปล่อยให้ Ψ_1 ลดลงต่ำกว่า -20 บาร์ เพราะในสภาวะเครียดระดับนี้คลอโรพลาสจะสูญเสียประสิทธิภาพในการจับ CO_2 ทำให้อัตราการสังเคราะห์แสงลดลงอย่างมากถึงแม้ต้นกาแฟจะได้รับน้ำอีกจนกลับมาใกล้ระดับปกติ

2.4.4 การเจริญเติบโตของต้น

ผลผลิตที่สร้างขึ้นจากขบวนการสังเคราะห์แสงจะอยู่ในรูปของน้ำหนักแห้ง ซึ่งจะสะสมอยู่ที่ลำต้น ใบ ผล และเมล็ด วิธีวิเคราะห์การเจริญเติบโตทำได้โดยติดตามการเปลี่ยนแปลงของต้นที่วัดในรูปของน้ำหนักแห้งของพืชที่สะสมในส่วนต่าง ๆ ถ้าหากมีการสะสมน้ำหนักแห้งอยู่ในส่วนที่เจริญเติบโตมาก ก็สามารถวิเคราะห์ได้ว่าพืชชนิดนั้นมีอัตราการเจริญเติบโตสูง ในการเปรียบเทียบสายพันธุ์พืชที่ปลูกในสภาพขาดน้ำ ถ้าหากสายพันธุ์ไหนมีการสะสมน้ำหนักแห้งมากย่อมแสดงถึงอัตราการเจริญเติบโตสูง และมีแนวโน้มในการสร้างผลผลิต (products) มากในสภาพแล้งด้วย (Levitt, 1980 ; Sammons et al, 1978, 1979) การหาอัตราการเจริญเติบโต นอกจากจะหาได้จากการชั่งน้ำหนักแห้งสะสมทั้งหมด (biological products) แล้วยังอาจจะหาได้จากการวัดความสูงสะสมของต้น หรือพื้นที่ใบที่ได้จากการสุ่มตัวอย่างพืชในทุก ๆ ระยะการเจริญเติบโตได้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ด้วย และจากการศึกษาในพืชตระกูลถั่ว พบว่า พืชที่มีอัตราการเจริญเติบโต (biological yield) สูง จะให้ผลผลิต (economic yield) สูงด้วย (Pandey et al, 1984)

2.4.4.1 พื้นที่ใบกับการเจริญเติบโต

พื้นที่ใบเป็นส่วนหนึ่งที่มีความสำคัญต่อพืชในการสร้างสารอาหารที่ได้จากขบวนการสังเคราะห์แสง การเปลี่ยนแปลงพื้นที่ใบจึงมีความสัมพันธ์กับอัตราการเจริญเติบโตของพืช (Sivakumar and Shaw, 1978) พื้นที่ใบจะมีผลต่ออัตราการสร้างน้ำหนักแห้งของพืช ซึ่งจะแตกต่างกันไปตามชนิดพืชและสภาพแวดล้อม การขาดน้ำเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลกระทบทำให้พื้นที่ใบลดลง ทั้งนี้เป็นการตอบสนองเพื่อช่วยลดการสูญเสียน้ำจากขบวนการคายน้ำ ทำให้พืชสามารถอยู่รอดได้ในสภาพขาดน้ำดังกล่าว ซึ่งจัดเป็นกลไกอย่างหนึ่งในการหลีกเลี่ยงต่อการขาดน้ำ (Pandey et al., 1984)

จากการศึกษาได้พบว่าสภาพขาดน้ำมีผลกระทบต่อการขยายตัวของใบมากกว่าขบวนการสังเคราะห์แสงและขบวนการหายใจ เช่น ในถั่วเหลืองพบว่า การขยายตัวของใบจะถูกยับยั้งเมื่อค่า Ψ_1 ลดลงเหลือ -4 บาร์ แต่ขบวนการสังเคราะห์แสงจะถูกยับยั้งเมื่อค่า Ψ_1 ลดลงถึง -16 บาร์ นอกจากนี้ในพืชแต่ละชนิดยังมีอัตราการขยายตัวของใบที่แตกต่างกัน เช่น เมื่อค่า Ψ_1 ลดลงถึง -4 บาร์ อัตราการขยายตัวของใบทานตะวันจะหยุดทันที ในขณะที่ถั่วเหลืองและข้าวโพดยังคงดำเนินต่อไปในอัตราที่ลดลง (Boyer, 1970)

ในกรณีของกาแฟนั้น พัฒนพันธุ์ (2532) ได้วิเคราะห์การเจริญเติบโตของกาแฟอราบิก้า 3 สายพันธุ์ภายใต้สภาวะเครียดของการขาดน้ำและอุณหภูมิสูง โดยการศึกษาการเปลี่ยนแปลงพื้นที่ใบทั้งต้นควบคู่กับการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักสดและแห้งของต้น เพื่อประเมินความทนแล้งในขั้นต้น และได้ให้แนวความคิดว่าสายพันธุ์ที่มีอัตราการเพิ่มพื้นที่ใบ น้ำหนักสดและแห้งสูง จะมีการเจริญเติบโตภายใต้สภาวะเครียดดังกล่าวได้ดี นั่นคือ น่าจะมีความทนแล้งได้ดี

2.4.5 ค่า Permanent wilting percentage (PWP) กับความทนแล้ง

เมื่อน้ำในดินถูกพืชดูดขึ้นไปใช้มากขึ้นเรื่อย ๆ หากไม่มีการเพิ่มน้ำให้แก่ดินอีก เปอร์เซนต์ความชื้นของดินก็จะลดลง และในขณะเดียวกัน พลังงานที่พืชจะต้องใช้ในการดูดน้ำหนึ่งหน่วยน้ำหนักหรือหนึ่งหน่วยปริมาตรก็จะเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ เมื่อถึงจุดหนึ่ง จำนวนน้ำที่พืชอาจดูดได้ในหนึ่งหน่วยเวลา จะต้องน้อยกว่าจำนวนน้ำที่สูญเสียไปโดยการระเหยผ่านใบของพืช

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

(transpiration) ในหนึ่งหน่วยเวลา เมื่อเป็นเช่นนี้ ความเปล่งปลั่ง (turgidity) ของพืชจะลดลง และพืชจะแสดงอาการเหี่ยว หากอาการที่ปรากฏขึ้นไม่อาจแก้ได้โดยการทำให้บรรยากาศรอบ ๆ ต้นพืชมีความชื้นสัมพัทธ์ 100% เป็นเวลา 24 ชั่วโมง การเหี่ยวนั้น ๆ เรียกว่า permanent wilting เปอร์เซนต์ความชื้นของดินในขณะที่เกิด permanent wilting นี้เรียกว่า permanent wilting percentage (PWP) หรือ wilting point หรือ wilting coefficient (ถนอม, 2528) ค่า PWP ของพืชเป็นเพียงข้อมูลเบื้องต้นที่บอกถึงความทนทานของพืชต่อสภาพขาดน้ำ โดยมีแนวความคิดว่าพืชที่มีค่า PWP ต่ำ มีแนวโน้มที่จะทนต่อสภาพการขาดน้ำได้ดี

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved