บทที่ 2

การตรวจเอกสาร

ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของกาแฟอราบิก้า

กาแฟอราบิก้าเป็นพืชเขตร้อน มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Coffea arabica* L. อยู่ในวงศ์ Rubiaceae (Charrier and Berthaud, 1985) มีถิ่นกำเนิดในป่าใต้ร่มเงาต้นไม้ใหญ่ ที่ระดับความสูงระหว่าง 1,350 -1,800 เมตร ซึ่งมีสภาพอากาศค่อนข้างหนาวเย็น ระหว่างละติจูด 6°- 9° เหนือ ของประเทศเอธิโอเปีย (Purseglove, 1968) กาแฟอราบิก้าเป็นต้นไม้พุ่มขนาดเล็ก อาจมีความสูงได้ถึง 5 เมตร หากไม่มีการตัดทอนกิ่งลงบ้าง เป็นต้นไม้ไม่ผลัดใบ มีสีเขียวตลอดปี (evergreen) อายุประมาณ 10 – 15 ปี เจริญเติบโตได้ดีในช่วงอุณหภูมิ 15 - 25 องศาเซลเซียส และมีปริมาณน้ำฝน 1,500 – 2,000 มิลลิเมตรต่อปี แต่ต้องตกแผ่กระจายเป็นเวลานานและควรมีช่วงฤดูแล้งประมาณ 2 – 3 เดือน เพื่อการสร้างตาดอก เนื่องจากกาแฟเป็นพืชไม่ผลัดใบจึงต้องการน้ำใต้ผิวดิน (Subsoil Water) ตลอดเวลา ดินที่ปลูกควรเป็นดินร่วนซุย หน้าดินลึกอุดมสมบูรณ์ดี ระบายน้ำและอากาศได้ดี มีค่า pH 4.5 – 6.5 และมีปริมาณอินทรีย์วัตถุสูง (อักษรและพัฒนพันธุ์, 2537)

ลักษณะของลำต้น

ลำต้นกาแฟมีข้อปล้องเหมือนต้นไม้อื่น ๆ แต่ปล้องกาแฟจะยาวหรือสั้นขึ้นกับลักษณะพันธุ์กาแฟนั้น ๆ ลำต้นกาแฟมีกิ่งแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ กิ่งตั้ง (orthotropic branch) และกิ่งนอน (pathotropic branch) กิ่งตั้ง คือกิ่งที่ตั้งตรงรวมถึงลำต้นหลักของต้นกาแฟด้วย ตามปกติลำต้นหลักของกาแฟ (main stem) เมื่อยังเล็กจะมีใบอยู่ตรงข้อของลำต้น เมื่อโตขึ้นใบเหล่านั้นจะร่วงหล่นไป และเกิดตาขึ้นบริเวณโคนก้านใบนั้น ตาที่ขึ้นมี 2 ชนิด คือ ตาล่างและตาบนที่โคนก้านใบ ตามธรรมดาตาล่างจะเจริญเป็นกิ่งตั้งขึ้นแต่ยังคงพักตัวอยู่ ส่วนตาบนจะเจริญมาเป็นกิ่งนอน ก็คือกิ่งที่ออกดอกติดผลต่อไป ดังนั้น ลำต้นหลักของกาแฟจึงเป็นที่เกิดของกิ่งตั้ง และกิ่งนอน สำหรับกิ่งนอนที่เกิดจากลำต้นหลัก เรียกว่า กิ่งนอนให้ผลที่หนึ่งหรือกิ่งแขนงที่หนึ่ง (primary fruiting branch) กิ่งนอนให้ผลที่หนึ่งจะเป็นที่เกิดของกิ่งนอนให้ผลที่สอง หรือกิ่งแขนงที่สอง (secondary fruiting branch) กิ่งนอนให้ผลที่หนึ่งจะเกิดเป็นคู่สลับเยื้องกันบนกิ่งตั้งหรือลำต้นหลักในข้อของกิ่งนอนแต่ละข้อนั้นจะเป็นที่เกิดของตาดอกกาแฟต่อไป (อักษร และพัฒนพันธุ์, 2537)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ลักษณะของใบ

ใบของกาแฟจะเกิดขึ้นที่ข้อของกิ่งเรียงตัวเป็นแบบตรงกันข้าม มีลักษณะเป็นรูปไข่หรือรูปโล่ ยอดใบแหลมก้านใบอวบสั้น ขอบใบเรียบเป็นคลื่น ผิวใบด้านบนมีสีเขียวเข้มเป็นมันเงา ด้านใต้ใบมีสีเขียวอ่อน ใบมีความกว้าง 5-6 เซนติเมตร ยาว 5-20 เซนติเมตร มีหูใบเกิดอยู่ระหว่างก้านใบ เมื่อใบอ่อนอยู่อาจมีสีแดงหรือสีเขียว มักเรียกกาแฟยอดแดงหรือยอดเขียว ซึ่งมีความสำคัญในการจำแนกลักษณะสายพันธุ์กาแฟอราบิก้าได้ (อักษรและพัฒนพันธุ์, 2537)

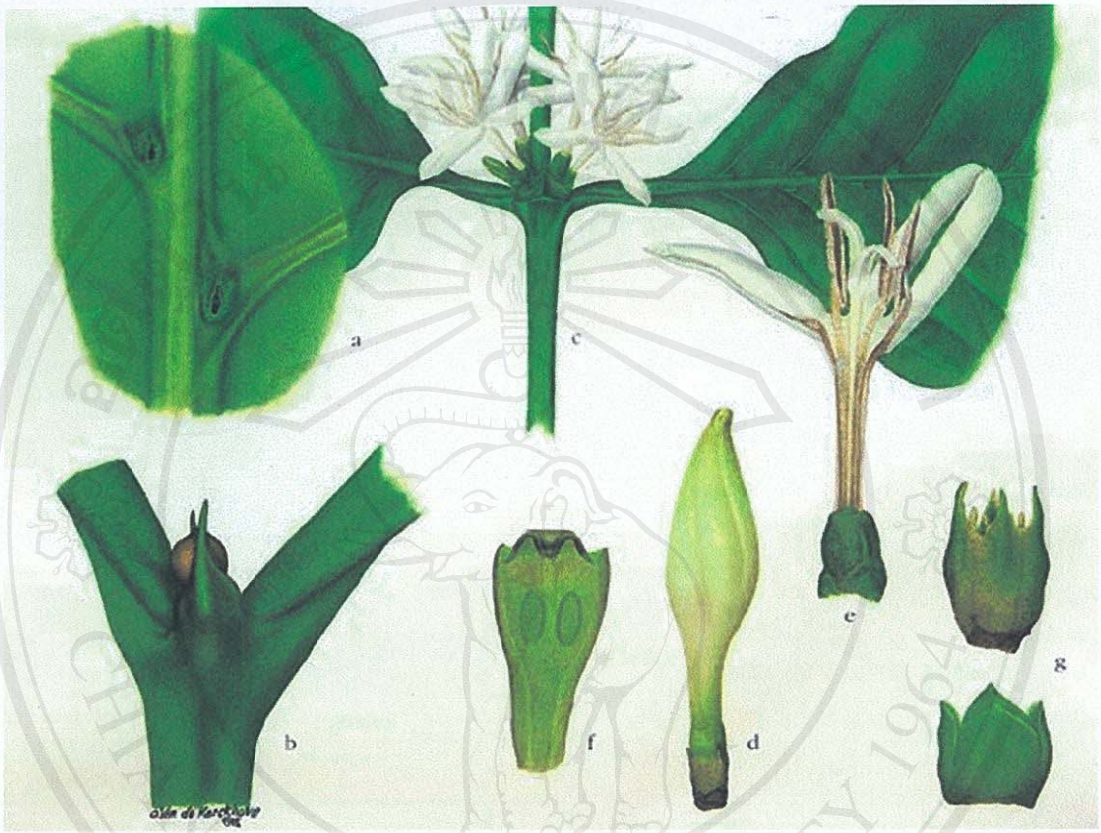
ภาพที่ 1 ลักษณะของใบกาแฟอราบิก้า

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ลักษณะของดอก

ตาดอกกาแฟเกิดบนกิ่งนอนตรงซอกโคนก้านใบ (อักษร และพัฒนพันธุ์, 2537) ตาดอกกาแฟเมื่อเจริญออกมายาว 4-6 มิลลิเมตร จะเข้าสู่ระยะพักตัวและเมื่อได้น้ำอย่างเพียงพอ ในฤดูฝนตาดอกก็จะบาน ในแต่ละข้อของกิ่งอาจมีดอก 2-20 ดอก (อนันต์, 2522; อักษรและพัฒนพันธุ์, 2537; Cannell, 1985; Gordon, 1986; Kumar, 1979,1982) ดอกกาแฟเป็นดอกสมบูรณ์เพศที่มีทั้งเกสรตัวผู้ และตัวเมียในดอกเดียวกัน จึงเป็นพืชผสมตัวเอง (80-95%) ดอกกาแฟมีกลีบดอกสีขาวหรือสีครีม รูปร่างคล้ายดาว มีกลิ่นหอมคล้าย มะลิป่า กลีบเลี้ยงมี 5-6 กลีบ เชื่อมติดกันเป็นหลอดยาว 1-1.5 เซนติเมตร ปลายหลอดผายออกเป็นกลีบแยกตั้งฉากกับก้านดอกเมื่อดอกบาน มีเกสรตัวผู้ 5-6 อัน อับละอองเกสรมี 2 พู แตกออกตามยาว ยอดเกสรตัวเมียมี 2 ก้าน ก้านเกสรตัวเมียยาว มีรังไข่ 1 อัน ดังนั้นจึงพบว่าผลกาแฟส่วนใหญ่จะมีเมล็ด 2 เมล็ดเสมอ (สมศรี, 2538)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพที่ 2 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของดอกกาแฟอราบิก้า

a. domatium
b. stipule
c. flowering twig
d. flower bud
e. flower
f. ovary
g. bract

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ภาพที่ 3 ดอกกาแฟอราบิก้าขณะบาน

ลักษณะของผล

ตั้งแต่ดอกกาแฟบานจนถึงระยะผลแก่ใช้เวลาประมาณ 7-8 เดือน ผลกาแฟเป็นผลแบบ Drupe ผลเดี่ยว รูปร่างค่อนข้างรี ขนาดกว้างประมาณ 1-1.3 เซนติเมตร ยาว 1.5 เซนติเมตร มีก้านผลสั้น ผลดิบมีสีเขียว ผลสุกมีสีแดงหรือสีเหลืองขึ้นอยู่กับพันธุ์

ลักษณะผลประกอบด้วย 3 ส่วน คือ

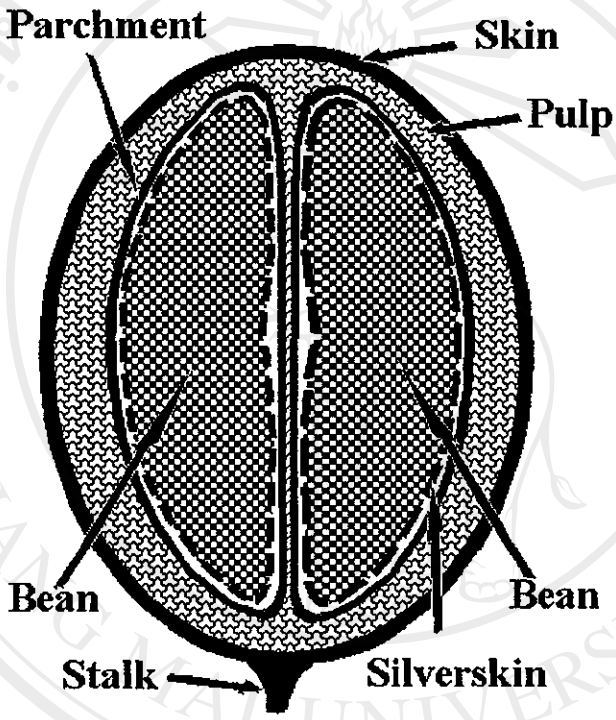
(1) ส่วนของผลที่เป็นเปลือก

(2) ส่วนที่เป็นเนื้อบาง ๆ สีเหลือง หรือสีแดง อาจมีรสหวานเล็กน้อยเมื่อผลสุก

(3) ส่วนในสุดเรียกว่า กะลา เป็นส่วนที่บางแต่แข็งหุ้มเมล็ดเอาไว้ ซึ่งปกติมี 2 เมล็ดต่อ 1 ผล บางผลอาจมีเมล็ดใหญ่เมล็ดเดียวหรือมีเมล็ดใหญ่ 1 เมล็ด เล็ก 1 เมล็ด ซึ่งอาจเกิดจากความล้มเหลวในการผสมเกสร

ผลกาแฟจะแก่และเริ่มเก็บเกี่ยวได้ตั้งแต่เดือนพฤศจิกายนจนถึงเดือนกุมภาพันธ์ (สมศรี, 2538; อักษรและพัฒนพันธุ์, 2537; Cambrony, 1992)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพที่ 4 ผลกาแฟผ่าตามยาว

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ลักษณะของเมล็ด

มีรูปร่างกลมรียาว 8.5-12.5 มิลลิเมตร ผลส่วนใหญ่มี 2 เมล็ด ประกบกันเหมือนไข่ผ่าซีก ด้านในของเมล็ดอยู่ภายในเปลือกหุ้มที่เรียกว่า กะลา (parchment) เมล็ดที่มีเปลือกหุ้มอยู่ เรียกว่า กาแฟกะลา (parchment coffee) เมื่อกระเทาะเอากะลาออกจะได้ส่วนของเมล็ดที่เรียกว่า สารกาแฟ (Coffee Bean) เมื่อยังสด มีสีขาว เมื่อแห้ง มีสีเขียวอ่อน จึงมักเรียกว่า Green Coffee ถ้าเก็บไว้นาน จะเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล (อนันต์, 2522; อักษร และพัฒนพันธุ์, 2537)

ภาพที่ 5 ลักษณะของเมล็ดกาแฟ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สภาพแวดล้อมสำหรับการปลูกกาแฟอราบิก้า

1. ดิน

ดินที่เหมาะสมสำหรับการปลูกกาแฟอราบิก้า โดยทั่วไปควรมีหน้าดินลึกประมาณ 1.5 เมตร ดินควรมีลักษณะร่วนซุย มีสีแดงหรือสีน้ำตาล มีการระบายน้ำดี เนื้อดินไม่ละเอียดเกินไป มีการระบายอากาศดี มีความอุดมสมบูรณ์ของดินสูง และสามารถเก็บความชื้นดินในดินมาก (พงษ์ศักดิ์, 2537) ความเป็นกรดเป็นด่างของดินควรอยู่ระหว่าง 4.5 – 6.5 น้ำที่เป็นประโยชน์ในดินจะต้องสามารถเก็บรักษาไว้เพียงพอสำหรับการคายระเหยตลอดฤดูแล้ง (Willson, 1985)

2. ระดับความสูงของพื้นที่

ระดับความสูงของพื้นที่มีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิในเขตศูนย์สูตร กาแฟอราบิก้าจะปลูกบนที่สูง 1,000 - 2,000 เมตร เหนือระดับน้ำทะเล (Willson, 1985) พงษ์ศักดิ์และพัฒนพันธุ์ (2537) กล่าวว่าระดับความสูงของพื้นที่ที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของกาแฟอราบิก้า มีความสูงประมาณ 1,200 - 1,300 เมตร เหนือระดับน้ำทะเล หากพื้นที่มีความสูงมากกว่า 1,500 เมตรขึ้นไป กาแฟอราบิก้าจะประสบปัญหาน้ำค้างแข็ง ซึ่งมักเกิดขึ้นในตอนฤดูหนาว และทำให้ผลผลิตเสียหายในที่สุด

3. ปริมาณน้ำฝน

ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงจากฤดูฝนเป็นฤดูแล้ง และจากฤดูแล้งเป็นฤดูฝน มีความสำคัญสำหรับการสร้างตาดอก การทำลายการพักตัวของตาดอก และการเจริญทางกิ่งใบ ซึ่งการกระจายของฝนก็มีความสำคัญ เช่นเดียวกับปริมาณน้ำฝน (Willson, 1985) ปริมาณน้ำฝนควรอยู่ระหว่าง 1,750-2,000 มิลลิเมตร ระยะเวลาฝนตกควรจะนานถึง 9 เดือน ส่วนอีก 3 เดือนควรจะเป็นหน้าแล้งซึ่งเป็นการกระตุ้นให้เกิดตาดอก พื้นที่ที่มีปริมาณน้ำฝนสูง อาจช่วยลดการให้น้ำ

4. อุณหภูมิ

อุณหภูมิมีอิทธิพลต่อการปลูกกาแฟอราบิก้าเป็นอย่างมาก เริ่มตั้งแต่การเพาะเมล็ด การเจริญเติบโตในระยะกล้า ระยะต้นโตในแปลง จนกระทั่งออกดอก ติดผล ความดกของผล และการสุกของผล อุณหภูมิในสภาพแปลงปลูกจะขึ้นกับปัจจัยหลายอย่าง เช่น ระดับความสูงของพื้นที่ละติจูด ทิศทางการปลูก ความชื้น และสภาพแสงในช่วงวัน (พงษ์ศักดิ์ และพัฒนพันธุ์ , 2537)

อุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการปลูกและการเจริญเติบโตของกาแฟอราบิก้านั้น มีผู้รายงานไว้หลายการทดลอง เช่น Willson (1985) กล่าวว่า ช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมของกาแฟจะใกล้เคียงกับแหล่งปลูกตามธรรมชาติ สำหรับกาแฟอราบิก้าจะอยู่ในช่วง 15-24 องศาเซลเซียส

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ส่วน อาภรณ์ (2533) เสนอว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการปลูกกาแฟอราบิก้า ควรมีค่าเฉลี่ยทั้งปีระหว่าง 15 - 25 องศาเซลเซียส และจากรายงานของ พงษ์ศักดิ์และพัฒนพันธุ์ (2537) พบว่าอุณหภูมิที่เหมาะสำหรับการเจริญเติบโตของกาแฟจะอยู่ระหว่าง 20 - 25 องศาเซลเซียส

ที่อุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมจะเร่งให้ต้นกาแฟโตเร็วกว่าปกติ คือเกิดอาการติดผลขณะอายุยังน้อย ติดผลมากเกินไป ต้นโทรมเร็ว มีอาการกิ่งแห้ง และโรคเข้าทำลาย นอกจากนี้ Willson (1985) รายงานว่า ถ้าต้นกาแฟได้รับอุณหภูมิมากกว่า 25 องศาเซลเซียส อัตราการสังเคราะห์แสงจะลดลง เนื่องจากใบถูกทำลายหากได้รับอุณหภูมิมากกว่า 30 องศาเซลเซียส นอกจากนั้นใบที่ได้รับความเข้มแสงสูงติดต่อกัน ทำให้เกิดอาการใบเหลือง ซึ่งบริเวณที่เกิดการเปลี่ยนสีจะไม่มีรูปร่างที่แน่นอน ใบบางใบจะลดขนาดลงผิดส่วน เกิดรอยด่าง ไหม้ และร่วงหล่นในที่สุด ยิ่งไปกว่านั้น อาการอาจรุนแรงมากขึ้น หากต้นกาแฟได้รับอุณหภูมิสูงแล้วตามด้วยอุณหภูมิต่ำ เช่นการชักนำให้ต้นกล้าได้รับอุณหภูมิ 3 องศาเซลเซียส ภายหลังจากได้รับอุณหภูมิสูง ต้นกล้าจะเกิดการแตกกิ่งแขนงชุดที่ 2 และ 3 มากเกินไป ปลายยอดดำ ผิดส่วน และเหี่ยว เนื่องจากผลของอุณหภูมิที่แตกต่างกันมาก อาการนี้เป็นที่รู้จักในชื่อ hot-and-cold disease

5. การคลุมดิน

การคลุมดินเป็นปัจจัยสำคัญที่สุดในการปลูกกาแฟอราบิก้า โดยเฉพาะในพื้นที่ที่ค่อนข้างแห้งแล้ง เพราะช่วยรักษาความชื้นในดินให้อยู่นานยิ่งขึ้น ช่วยลดอุณหภูมิของดิน เพิ่มธาตุอาหารแก่ดินและเพิ่มผลผลิตกาแฟ (อาภรณ์, 2533) นอกจากนี้ยังพบว่าการคลุมดิน ทำให้การเจริญเติบโตของวัชพืชลดลง และลดการสูญเสียดินจากการชะล้างเมื่อเกิดฝนตกหนัก (Willson, 1985)

6. ร่มเงา

เนื่องจากถิ่นกำเนิดตามธรรมชาติของกาแฟเกือบทั้งหมดอยู่ภายใต้สภาพป่าซึ่งเป็นต้นไม้ใหญ่ การปลูกในช่วงแรกจึงปลูกภายใต้สภาพร่มเงา โดยอาศัยร่มเงาจากต้นไม้ป่าแทนการปลูกไม้บังร่มขึ้นมาใหม่ (Willson, 1985) ระบบการปลูกกาแฟของประเทศต่าง ๆ ในโลก แยกเป็นสองลักษณะด้วยกัน คือการปลูกกาแฟกลางแจ้ง และปลูกกาแฟในร่มรำไร ปัจจุบันการปลูกกาแฟมีการปลูกกลางแจ้งมากขึ้นเรื่อย ๆ และมีแนวโน้มที่จะทำลายร่มเงาและสร้างระบบปลูกใหม่โดยไม่อาศัยร่มเงา เนื่องจากการปลูกกาแฟกลางแจ้งให้ผลเร็วและมากกว่ากาแฟที่ปลูกในร่ม แต่ต้นมีการติดผลมากเกินไป ทำให้เกิดอาการกิ่งแห้งตาย และติดผลปีเว้นปี ซึ่งเป็นสาเหตุให้ต้นกาแฟมีอายุการให้ผลสั้นลงได้ (อักษร และคณะ, 2537)

กาแฟอราบิก้าที่ปลูกในสภาพที่เหมาะสมทั้งความอุดมสมบูรณ์ของดิน และสภาพอากาศเหมาะสม การดูแลที่ดี ได้รับปุ๋ยเพียงพอต่อความต้องการ ผลผลิตกาแฟที่ปลูกกลางแจ้งจะสูงกว่าที่อยู่ภายใต้ร่มเงาอย่างเห็นได้ชัด แต่ในสภาพที่ความอุดมสมบูรณ์ของดินต่ำ ได้รับปริมาณ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

น้ำฝนมากเกินความต้องการ อุณหภูมิไม่เหมาะสม และได้รับความเข้มแสงสูงได้มีการแนะนำให้ใช้ไม้บังร่ม เพื่อรักษาผลผลิตให้เป็นปกติและป้องกันการติดผลมากเกินไป

บทบาทของน้ำที่มีต่อพืช (ดนัย, 2539)

1. น้ำเป็นส่วนประกอบภายในต้นพืชถึง 85 – 90 % และเป็นส่วนประกอบของเมล็ดแห้งและสปอร์ประมาณ 10 %

2. น้ำสามารถควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ได้ดี เนื่องจากมีความจุความร้อนและมีความสามารถรับความร้อนที่ทำให้เป็นไอ (heat of vaporization) ได้สูง และมีความสามารถในการนำความร้อน (thermal conductivity) สูง

3. น้ำเป็นตัวทำละลายสำหรับสารต่างๆ เพื่อทำให้เกิดปฏิกิริยาได้

4. น้ำเป็นตัวพยุงให้ต้นพืชตั้งตัวอยู่ได้โดยทำให้เซลล์พืชเต่ง

5. น้ำเป็นแหล่งที่ใช้ในการผลิต ATP จากกระบวนการสังเคราะห์แสง

ความสัมพันธ์ระหว่างดิน-พืช-บรรยากาศ (Soil-Plant-Atmosphere Continuum)

เนื่องจากดินเป็นแหล่งเก็บน้ำให้แก่พืช โดยที่รากพืชทำหน้าที่ดูดน้ำขึ้นไปใช้หรือเป็นส่วนประกอบต่าง ๆ ในต้นพืช ทั้งนี้เพื่อเป็นการรักษาความสมดุลของน้ำที่พืชสูญเสียไปโดยการคายน้ำสู่บรรยากาศผ่านทางปากใบ ดังนั้นปากใบจึงมีความสำคัญในการควบคุมระดับน้ำในใบพืช ขณะที่ปากใบเปิด มีการนำเอาก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เข้าไปใช้ในกระบวนการสังเคราะห์แสง แต่ถ้าหากดินแห้ง รากพืชไม่สามารถดูดน้ำได้ตามปกติ พืชจะมีการปรับตัวโดยปิดปากใบ เพื่อพยายามรักษาระดับน้ำในใบไว้ ช่วยให้พืชสามารถรักษาความเต่งของเซลล์ไว้ได้ (สายัณห์, 2534) เช่นเดียวกับถนอม (2528) ที่กล่าวว่าน้ำในดินมีบทบาทเป็นอย่างมากต่อการเจริญและเติบโตของพืช โดยที่น้ำเข้ามาเกี่ยวข้องตั้งแต่การงอกของเมล็ดไปจนกระทั่งครบวัฏจักรของการเจริญ นอกจากนี้น้ำยังเป็นองค์ประกอบหลักของเซลล์พืชที่กำลังเจริญและเติบโต ในกระบวนการเติบโตของพืช มีน้ำเข้าไปเกี่ยวข้องอยู่เสมอไม่ทางตรงก็ทางอ้อม เมื่อพืชขาดน้ำทำให้เซลล์ของพืชขาดความเต่งตึง (turgor) และเหี่ยวเฉา (wilting) เซลล์หยุดการแผ่ขยายตัวและหยุดแบ่งเซลล์ ปากใบปิด การสังเคราะห์แสงลดลงหรือหยุดชะงัก มีผลต่อกระบวนการเมตาโบลิซึมพื้นฐานต่าง ๆ และถ้าหากพืชขาดน้ำอย่างรุนแรงแล้วโปรโตพลาสซึมจะหยุดทำงานและตายไปในที่สุด

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

น้ำในดิน (Soil water)

1. การจำแนกน้ำในดิน เพื่อให้ทราบถึงระดับน้ำที่มีอยู่ในดินจึงมีการใช้กฎเกณฑ์ในการวัดโดยใช้ค่า "ศักย์ของน้ำ" (water potential หรือ Ψ) ซึ่งแสดงถึงสภาวะพลังงานของน้ำ การจำแนกน้ำในดินที่มีประโยชน์พิจารณาจากปริมาณน้ำที่สัมพันธ์กับน้ำที่พืชนำไปใช้ได้ โดยแบ่งออกเป็น 4 ส่วนคือ

1.1 น้ำอิสระ (gravitational water หรือ free water) คือน้ำที่ถูกแรงยึดเหนี่ยวของดินมากกว่า -1/3 bars น้อยกว่าแรงดึงดูดของโลกทำให้น้ำไหลลงสู่ที่ต่ำกว่าอย่างอิสระ ในดินทรายค่านี้อยู่ระหว่าง -0.1 ถึง -0.2 bars (1 bar = 0.1 J/กรัม = 0.987 atm = 0.1 MPa)

1.2 น้ำที่พืชนำไปใช้ได้ (plant available water) คือ น้ำในดินส่วนที่รากพืชสามารถดูดไปได้เร็ว คือ ถูกดินดึงดูดไว้ด้วยแรงยึดเหนี่ยวระหว่าง -1/3 ถึง -15 bars

1.3 น้ำที่ field capacity หมายถึงจำนวนน้ำที่ยังเหลืออยู่ในดินหลังจากที่ดินนั้น ๆ อิ่มตัวด้วยน้ำ แล้วปล่อยให้น้ำที่เกินอำนาจดูดยึดของดิน เคลื่อนออกจากดินจนหมด ภายใต้แรงดึงดูดของโลกและอัตราเร็วของการเคลื่อนของน้ำในดินลดลงมากแล้วจนแทบจะเรียกได้ว่าเท่ากับศูนย์ ซึ่งโดยปกติสภาพเช่นนี้เกิดขึ้นภายใน 2 – 3 วัน สำหรับดินที่ซึมน้ำได้ดีและมีโครงสร้างและเนื้อดินที่สม่ำเสมอกันโดยตลอดและต้องไม่มีการระเหยของน้ำจากผิวดิน แรงดูดยึดของน้ำในดินหรือความเครียดแมตริกขนาดที่ระดับความชื้นเท่ากับ FC จะมีค่าใกล้เคียงกับ 1/3 บรรยากาศ

1.4 น้ำที่จุดเหี่ยวถาวร (Permanent Wilting Point) หมายถึงจำนวนน้ำในดินขณะที่พืชเริ่มแสดงอาการเหี่ยวอย่างถาวรและไม่อาจแก้ไขให้กลับคืนเปล่งปลั่งได้ แม้ว่าบรรยากาศรอบ ๆ ต้นพืชจะมีความชื้นสัมพัทธ์ถึง 100% เป็นเวลานาน 15 ชั่วโมง ก็ตาม ที่ระดับความชื้นที่จุดเหี่ยวเฉาถาวรของพืชนั้นสมมูลย์กับแรงดูดยึดของน้ำในดินประมาณ 15 บรรยากาศ

นอกจากนี้ยังมีส่วนของน้ำซับ (capillary water) คือ น้ำที่เคลื่อนที่ผ่านช่องว่างในดินเพราะความต่างศักย์ของน้ำ (water potential gradient) 2 ตำแหน่งในดิน คือน้ำมีการเคลื่อนที่จากที่มีศักย์ของน้ำสูงไปยังที่มีศักย์ของน้ำต่ำกว่า ในบางสภาพที่ดินแห้งมากน้ำจะถูกแรงดึงดูดจากดินให้ยึดติดแน่นกับเม็ดดินและไม่สามารถทำให้น้ำเคลื่อนที่ได้ด้วยแรงดูดซับ เรียกน้ำซึ่งติดแน่นกับดินนี้ว่า น้ำเยื่อ (hygroscopic water)

2. คุณสมบัติการเก็บน้ำในดิน (soil water retention) คุณสมบัตินี้ขึ้นกับลักษณะของเนื้อดิน สารอินทรีย์หรือฮิวมัสในดิน ช่องว่างในดินที่มีขนาดใหญ่จะปล่อยให้น้ำถูกระบายออกจากดินได้ง่าย ตรงกันข้ามช่องว่างดินขนาดเล็กจะมีแรงดูดซับน้ำได้สูงกว่า ดังนั้นดินเหนียวที่มีฮิวมัสสูงสามารถเก็บน้ำไว้ได้ในปริมาณสูงกว่าดินทราย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

3. การวัดน้ำในดิน สามารถทำการวัดได้ทั้งทางตรงและโดยอ้อม ซึ่งแบ่งออกได้เป็น 5 วิธีใหญ่ ๆ คือ

3.1 Gravimetric method เป็นวิธีที่นิยมทั่วไปโดยการเก็บตัวอย่างดินเพื่อหาน้ำหนักดินเปียก จากนั้นนำไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 105-110°ซ จนกระทั่งน้ำหนักแห้งของดินคงที่ จึงนำไปคำนวณโดยใช้สูตร

$$\text{เปอร์เซ็นต์ความชื้นโดยน้ำหนัก} = \frac{\text{น้ำหนักดินเปียก - น้ำหนักดินอบแห้ง}}{\text{น้ำหนักดินอบแห้ง}} \times 100$$

3.2 Tensiometric method เป็นการวัดศักย์ของน้ำโดยวัดแรงดึงน้ำของดินโดยใช้เครื่องมือที่เรียกว่า tensiometer ปักลงไปในดินที่ต้องการวัดหลังจากนั้น 3-4 วันจึงเริ่มทำการวัด เครื่องมือนี้เหมาะสำหรับการวัดความชื้นจากระดับอิ่มตัวถึง -8.5 bars

3.3 การวัดโดยใช้แท่งยิปซั่ม ที่ประกอบด้วยขั้วไฟฟ้า 2 ขั้วอยู่ภายใน ฝังลงในดินที่ต้องการวัด โดยใช้หลักการของการลดความเป็นตัวนำไฟฟ้าเมื่อความชื้นดินลดลง เหมาะสำหรับช่วงความชื้นของดินแห้ง ตั้งแต่ -0.5 ถึง -15 bars หลังจากฝังแท่งยิปซั่มลงในดินแล้วประมาณ 1 สัปดาห์เพื่อให้มีการปรับสภาพความชื้นในแท่งยิปซั่มจนถึงระดับสมดุล จึงวัดโดยใช้เครื่องมือวัดความชื้น (soil moisture tester) จากนั้นนำมาเขียนกราฟแสดงความเปลี่ยนแปลงของความชื้นในดินเปรียบเทียบกับปริมาณฝนในแต่ละเดือน

3.4 การวัดโดย neutron probe หรือเรียกว่า hydroprobe มีหลักการทำงานคือปล่อยรังสีที่เคลื่อนที่เร็ว (fast neutron) ออกจาก probe ที่หย่อนลงไปในดินที่เจาะรูไว้ในระดับความลึกต่าง ๆ เมื่อรังสีเคลื่อนที่เร็วนี้ไปกระทบกับไฮโดรเจนไอออนของโมเลกุลน้ำหรือความชื้นในดิน มีผลทำให้นิวตรอนอ่อนกำลังลงเป็นนิวตรอนเคลื่อนที่ช้าและสะท้อนมาที่ probe ค่าที่อ่านได้สูงแสดงว่ามีปริมาณน้ำในดินสูง จัดว่าเป็นเครื่องมือที่สามารถวัดได้รวดเร็วและสามารถทำการวัดอย่างต่อเนื่องได้

3.5 การคำนวณหาปริมาณความชื้นในดินโดยใช้ สมการการใช้น้ำโดยแนวความคิดของ Driessen (1986) จากสมการการศึกษาการใช้น้ำและสมดุลของน้ำ ในสภาพการใช้น้ำอย่างแท้จริงจากการวัดโดยวิธีตรงในถังไลซิมิเตอร์ Dagg (1970) กล่าวว่า การทดสอบโดยการใช้ถังไลซิมิเตอร์เป็นวิธีที่น่าพอใจ และสามารถให้ข้อมูลด้านการคายระเหยค่อนข้างน่าเชื่อถือได้โดยขึ้นอยู่ในช่วงระยะเวลาสั้น ๆ Van Keulen (1986) ได้รวบรวมสมการดังกล่าวในรูปแบบของ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

โปรแกรมภาษา FORTRAN (Fortran Compiler version ZZ 1.2) ซึ่งค่อนข้างยุ่งยากและสับสน ดังนั้นเพื่อความสะดวก บัณฑูรย์ (2541) ได้ทำการปรับปรุงแก้ไขโดยได้เรียบเรียงโปรแกรมใหม่ในรูปของภาษาเบสิค (MBASIC) จากแนวความคิดของ Driessen (1986) การคำนวณอัตราการเปลี่ยนแปลงความชื้นภายในดินบริเวณรากพืช หมายถึงปริมาณการเปลี่ยนแปลงการได้รับและการสูญเสียของน้ำในดินที่ระดับความลึกรากซึ่งจะประกอบไปด้วยการได้รับและสูญเสียจากส่วนบน และส่วนล่างของรากพืช การสูญเสียโดยตรงจากภายในบริเวณรากพืช

น้ำในพืช

เนื่องจากน้ำเป็นองค์ประกอบสำคัญในส่วนต่าง ๆ ของพืชและจำเป็นต่อกระบวนการทางสรีรวิทยาของพืช ในสภาพธรรมชาติปริมาณน้ำที่มีอยู่ในพืชมีปริมาณน้อยมากเมื่อเทียบกับปริมาณน้ำที่ถูกดูดไปจากดินผ่านต้นพืชและสูญเสียออกไปโดยการคายน้ำ สภาพที่น้ำในพืชมีการเปลี่ยนแปลงจนลดลงต่ำกว่าระดับที่เหมาะสมมีผลทำให้พืชสูญเสียความเต่งของเซลล์ ส่งผลกระทบต่อกระบวนการทางสรีรวิทยา และสภาวะขาดน้ำที่เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องมีผลทำให้พืชเหี่ยวตายได้ ดังนั้นจำเป็นต้องมีการศึกษาน้ำในพืชดังต่อไปนี้

ศักย์ของน้ำ (Ψ Water Potential) คือ พลังงานของน้ำ ซึ่งใช้อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างดิน พืช และบรรยากาศ ซึ่งหมายถึงความแตกต่างของศักย์ทางเคมีต่อหน่วยปริมาตรระหว่างน้ำที่ต้องการศึกษากับน้ำอิสระบริสุทธิ์ (pure water) ที่อุณหภูมิเดียวกัน หน่วยศักย์ของน้ำที่นิยมใช้คือ bar (1 bar = 0.1 J/กรัม = 0.987 atm = 0.1 MPa) ปกติศักย์ของน้ำอิสระที่บริสุทธิ์มีค่าเป็นศูนย์

จากหลักเกณฑ์ในการวัดน้ำในพืชโดยใช้ค่าศักย์ของน้ำและปริมาณน้ำ จึงได้มีการพัฒนาวิธีการศึกษาสภาวะน้ำในพืชเพื่อให้สามารถทำได้รวดเร็วและมีค่าถูกต้องขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการวัดศักย์ของน้ำในพืชจำเป็นต้องมีการศึกษาถึงองค์ประกอบศักย์ของน้ำ ดังนี้

- การวัดศักย์ของน้ำ วิธีที่นิยมใช้ในปัจจุบันคือวิธีใช้ pressure chamber โดยนำใบพืชที่มีก้านใบใส่ใน chamber โดยให้ก้านใบโผล่ออกมาแล้วให้ความดันจนถึงระดับที่ขับน้ำออกมาจากก้านใบ ความดันที่ระดับนี้มีค่าเท่ากับศักย์ของน้ำในใบพืช
- การวัดค่า osmotic potential เป็นการวัดโดยใช้เครื่องมือ vapour pressure osmometer เพื่อวัดปริมาณ solute ที่มีอยู่ในน้ำในใบพืช
- การวัดค่า turgor pressure สามารถวัดโดยตรงโดยใช้เครื่อง pressure probe

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

Warrit and Sukasem (2527) ได้กล่าวว่า กาแฟที่ปลูกในประเทศไทยมีช่วงการเจริญเติบโตทางด้านกิ่งก้านสาขา (vegetative growth) อยู่ 2 ช่วง ช่วงแรกจะมีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วในฤดูฝน ส่วนช่วงที่สองจะมีการเจริญเติบโตอย่างช้า ๆ ในช่วงฤดูหนาวและฤดูร้อน กาแฟเป็นพืชยืนต้นที่มีความซับซ้อนทางสรีระ ปริมาณน้ำที่ต้นกาแฟได้รับหรือความเครียดจากการขาดน้ำจะมีอิทธิพลต่อกาแฟหลายทางทั้งนี้ขึ้นอยู่กับช่วงเวลาที่เกิดความเครียดจากการขาดน้ำกับวัฏจักรการเจริญในรอบปีและความรุนแรงของความเครียดจากการขาดน้ำที่เกิดขึ้น

บัณฑูรย์ (2527) ได้กล่าวว่าการไหลของน้ำจากดินเข้าสู่พืชจะเกิดขึ้นเนื่องจากความแตกต่างของค่าศักย์ของน้ำ (water potential) และจะมีแรงผลักดันให้น้ำไหลข้ามระหว่างข้อ (segment) ได้ การไหลของน้ำเข้าสู้พืชนี้ ψ_{plant} จะต้องต่ำกว่า ψ_{soil} และจุดศักย์ (potential) มีค่าต่ำที่สุด ตามปกติจะอยู่ในส่วนของใบที่เป็นตัวดึง (sink) ซึ่งเป็นแหล่งที่ของเหลวจะไหลเข้าไปหา ปัจจัยที่ลด ψ_{soil} ให้ต่ำกว่า 0 เป็นผลมาจากการขาดน้ำภายในใบ ซึ่งปัจจัยนี้ไม่เพียงแต่เพิ่มการ reduction ของ ψ_{soil} เท่านั้น แต่อาจทำให้เกิดความแตกต่างของค่าศักย์ของน้ำในดินและพืชซึ่งทำให้เกิดการไหลของน้ำ

อิทธิพลของความเครียดของน้ำในดินที่มีต่อพืช

ความเครียดของน้ำในดิน เป็นความชื้นในดินที่ลดต่ำลงยังไม่ถึงระดับความชื้นที่จุดเหี่ยวเฉาถาวร อยู่ในระหว่างระดับความจุสนามกับระดับความชื้นที่จุดเหี่ยวเฉาถาวร ซึ่งความชื้นจะลดต่ำลงจากระดับความจุสนามลงไปถึงระดับจำกัดจุดหนึ่ง หากความชื้นลดลงต่ำจากระดับจำกัดจุดนี้แล้วจะมีผลกระทบในทางลบต่อการเจริญเติบโตของพืชทันที (ประโมทย์ และศจี 2531; Levitt, 1980; Kramer, 1983) พืชจะมีอาการเหี่ยวเนื่องจากพืชมีอัตราการคายน้ำสูงกว่าการดูดน้ำ ซึ่งในดินอาจมีน้ำน้อยเกินไปไม่เพียงพอกับความต้องการของพืช (อภิชาติ และคณะ 2524) และในสภาวะที่บรรยากาศมีความชื้นสัมพัทธ์ต่ำ ความเครียดของน้ำและปริมาณน้ำจะเป็นปัจจัยที่สำคัญที่สุดในการเจริญเติบโตของพืช แต่ถ้าความชื้นสัมพัทธ์สูง ความเครียดของน้ำจะมีอิทธิพลต่อการเจริญเติบโตเพียงเล็กน้อยเท่านั้น (Peters, 1960) ความเครียดของน้ำในดินนอกจากจะทำให้การเจริญเติบโตของพืชลดลงแล้วยังมีผลทำให้ผลผลิตลดลงด้วย (ประโมทย์ และศจี 2531; Levitt, 1980; Kramer, 1983) ผลของความเครียดของน้ำในดินที่มีต่อพืชมีดังต่อไปนี้

1. ผลที่มีต่อการเจริญเติบโตทางลำต้นและใบ การเจริญเติบโตของพืชจะเป็นการเพิ่มขนาดและจำนวนเซลล์ อันเป็นผลมาจากกระบวนการทางสรีรวิทยาของพืช การเจริญเติบโตของเซลล์จะไวต่อความเครียดของน้ำมากที่สุด การเจริญเติบโตของเซลล์จะได้รับผลกระทบก่อน ถ้าความเครียด

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

มีมากขึ้นอีกจะมีผลต่อกิจกรรมต่าง ๆ ภายในเซลล์ การแบ่งเซลล์และการยืดขยายตัวของเซลล์นี้ขึ้นอยู่กับความเต่งของเซลล์ ซึ่งความเต่งนี้กำหนดโดยปริมาณน้ำภายในเซลล์ ดังนั้นถ้าพืชขาดน้ำจะทำให้เซลล์เหี่ยวมีผลทำให้เจริญเติบโตช้า ต้นมีขนาดเล็ก แคระแกรน

จินดา (2524) และ Slayer (1967) กล่าวว่า การที่ใบมีขนาดเล็กลง เป็นผลจากการที่เซลล์มีการยืดขยายตัวลดลง ถ้าเกิดความเครียดของน้ำนาน ๆ จะทำให้การแบ่งเซลล์ลดลง มีผลทำให้การสร้างใบใหม่ลดลงด้วย เมื่อพิจารณาภาพรวมผลกระทบของความเครียดของน้ำในระยะเจริญเติบโตทางลำต้นและใบ พบว่าต้นพืชจะมีขนาดเล็กลง ลำต้นเตี้ย ใบเล็กลง พืชที่ตกอยู่ภายใต้สภาพเครียดของน้ำมาก ๆ ทำให้ท่ออาหารของพืชได้รับความเสียหาย การส่งอาหารเป็นไปได้ไม่สะดวก มีผลทำให้ขนาด คุณภาพ และอายุของใบลดลงและถึงตายได้ (Slayers, 1967; Boyer, 1965)

สายัญ (2534) กล่าวว่าเมื่อพืชเกิดความเครียดจากการขาดน้ำ ซึ่งเกิดขึ้นเนื่องจากอัตราการคายน้ำของพืชมากกว่าอัตราการดูดน้ำของพืช เป็นผลทำให้ปริมาณน้ำในพืชลดลงจนมีผลต่อสรีรวิทยาของพืช ซึ่งมีหลายกระบวนการของการตอบสนองที่แตกต่างขึ้นอยู่กับระดับความรุนแรงของการขาดน้ำ และช่วงเวลาของการขาดน้ำ เช่นการพัฒนาพื้นที่ใบ เกี่ยวข้องกับการขยายตัวของใบ การแก่และร่วงของใบนับเป็นกระบวนการปรับตัวที่ช่วยให้พืชอยู่รอดได้ และจัดว่าเป็นกระบวนการตอบสนองที่เร็วที่สุด สภาวะขาดน้ำยังมีผลต่อการสังเคราะห์แสงของพืช เนื่องจากการปิดของปากใบ ทำให้การใช้ CO_2 ลดลง เพราะ CO_2 จะผ่านเข้าออกทางปากใบ

2. ผลที่มีต่อการออกดอกติดผล การเจริญของกลุ่มเนื้อเยื่อที่ให้กำเนิดดอกจะมีความไวต่อความเครียดของน้ำสูง ถ้าได้รับน้ำไม่เพียงพอ (เฉลิมพล, 2526) พืชอาจไม่สามารถพัฒนาดอกขึ้นมาได้เลย ถ้าได้รับผลกระทบกระเทือนอย่างรุนแรงในขณะที่เนื้อเยื่อนี้กำลังพัฒนา พืชบางชนิดอาจจะยังสามารถสร้างกลุ่มเนื้อเยื่อดอกชุดที่สองขึ้นมาทดแทนได้บ้าง โดยการให้น้ำกับพืชอย่างเพียงพอถึงกระนั้นก็ตาม ผลผลิตในขั้นสุดท้ายก็ยังลดลง ถ้าเกิดความเครียดในช่วงที่พืชกำลังมีการผสมเกสร มีผลทำให้ยอดเกสรตัวเมียเหี่ยว รังไข่ไม่สมบูรณ์ ทำให้ผลร่วงหล่น ซึ่งเป็นผลมาจากการเคลื่อนย้ายน้ำและอาหารไม่เป็นไปตามปกติ (สุรนันต์ 2526; Slayers, 1967) ถ้าเกิดในช่วงติดผลจะทำให้ผลมีขนาดเล็กลง เพราะการผสมเกสรไม่สมบูรณ์ (Slayers, 1967) หรือทำให้เมล็ดมีจำนวนน้อยลงเพราะพืชได้รับน้ำน้อยเกินไป มีผลทำให้การเคลื่อนย้ายอาหารจากแหล่งอื่นมายังเมล็ดลดลง (เฉลิมพล, 2526) แต่ในพืชบางชนิดเช่น กาแฟ โกโก้และฝรั่ง การทำให้ต้นพืชได้รับความเครียดจากการขาดน้ำเป็นระยะเวลาสั้น ๆ จะทำให้ตาดอกเข้าสู่ระยะพักตัวเพื่อเตรียมความพร้อมที่จะเจริญต่อไปเป็นดอกบาน ต่อมาเมื่อต้นพืชนั้นได้รับน้ำอย่างเพียงพอ ตาดอกจะพ้นจากระยะพักตัวแล้วมีการเจริญไปเป็นดอกบานได้ ซึ่ง Browning and Fisher (1975) พบว่าต้นกาแฟที่ได้รับน้ำหลังจากที่ได้รับสภาพเครียดจากการขาดน้ำมาเป็นเวลา 8 สัปดาห์ ทำให้ตาดอกที่พักตัวพ้นจากการพักตัวและ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

บานออก พร้อมกับมีการแตกใบอ่อนอย่างรวดเร็วและพบว่า มีจำนวนปากใบเปิดเป็นจำนวนมากกว่าต้นกาแฟที่ได้รับน้ำอย่างสม่ำเสมอ

3. ผลกระทบที่มีต่อผลผลิต การสร้างผลผลิตของพืชนั้น จะต้องผ่านกระบวนการสังเคราะห์แสง กระบวนการเคลื่อนย้ายอาหาร และกระบวนการสร้างขนาดของแหล่งผลิตอาหาร กระบวนการเหล่านี้จะดำเนินไปได้อย่างดีนั้น ถ้าพืชได้รับน้ำอย่างเพียงพอ การสร้างใบและพื้นที่ใบจะมีความไวต่อการตอบสนองต่อความเครียดของน้ำในดินมาก โดยเฉพาะที่พืชอยู่ในระยะที่มีการเจริญเติบโตสูง ดังนั้นเมื่อเกิดความเครียดของน้ำในดินกับพืชทำให้ประสิทธิภาพในการสังเคราะห์แสงลดลง จะทำให้ผลผลิตลดลงอย่างมากมาย เนื่องจากการลดลงของจำนวนใบ และพื้นที่ใบซึ่งเป็นแหล่งผลิตอาหารของพืชนั่นเอง (เฉลิมพล, 2526)

จากการศึกษาของ Hunt (1978) พบว่าในแต่ละช่วงการเจริญเติบโตของสิ่งมีชีวิตทุกชนิดจะมีการเปลี่ยนแปลงขนาด รูปร่างและปริมาณ เพื่อให้เหมาะสมกับสภาพแวดล้อมที่ได้รับขณะนั้น Proebstring and Middleton (1980) รายงานว่าในสภาพแวดล้อมที่มีการดูแลรักษาอย่างดีนั้น ปัจจัยที่จำกัดการเจริญเติบโตของพืชที่สำคัญที่สุด คือ น้ำ พืชได้รับน้ำหลายทางด้วยกัน แต่น้ำส่วนใหญ่ที่พืชนำมาใช้ประโยชน์ในการเจริญเติบโตได้จากรูปของน้ำในดิน (วิบูลย์, 2526) ถ้าเกิดความเครียดของน้ำในดินจะทำให้พืชลดการแบ่งเซลล์ ลดการยืดขยายขนาดของเซลล์ (Kramer and Kowslowski, 1960) มีผลทำให้พืชเจริญเติบโตช้า ผลผลิตน้อย และมีคุณภาพต่ำกว่าปกติ (Slayer, 1967) ในสภาวะที่มีความเครียดของน้ำในดิน มีผลทำให้มีการพัฒนาทางต้นลดลง ซึ่งเป็นคุณสมบัติของพืชที่ขาดน้ำที่พยายามลดการสูญเสียน้ำโดยการลดการเจริญเติบโตลง (สายัณห์, 2533)

O'Neill (1983) พบว่าความเครียดของน้ำในดิน ทำให้ใบพืชแก่และร่วงเร็วขึ้น ถ้าความเครียดของน้ำในดินเกิดขึ้นอย่างช้า ๆ ใบแก่จะตายก่อน แต่ถ้าเกิดอย่างรวดเร็วใบอ่อนจะตายก่อนและรากขนอ่อนจะตายที่ระดับความเครียดต่ำ ๆ (Kramer and Kowslowski, 1960) หากความเครียดของน้ำในดินเกิดขึ้นเพียงเล็กน้อยจะทำให้การเจริญเติบโตของพืชลดลง และหากความเครียดของน้ำในดินเกิดขึ้นในระดับรุนแรงมากขึ้น ทำให้ต้นไม้แคระแกรน การเจริญเติบโตของพืชช้าลง (Slatyer, 1967; Syvertsen, 1985) และทำให้พืชหยุดการเจริญเติบโตได้ (Kramer and Kowslowski, 1960) ถ้าน้ำในดินเกิดความเครียดจะไม่เป็นผลดีต่อการเจริญเติบโตและผลิต (Bhattacharyya and Rao, 1986)

สำหรับส้มความเครียดของน้ำในดินจะมีผลทำให้การเจริญเติบโตของทรงพุ่มลดลง 37 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณผลผลิตคงเดิมแต่ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้เพิ่มขึ้น 0.5 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับส้มที่ปลูกในสภาพไม่เกิดความเครียดของน้ำในดิน (Irving and Drost, 1988) ส่วนน้ำในบริเวณรากของมะเขือเทศที่มีความเครียดในระดับน้อยกว่า –2 บาร์ จะทำให้ผลผลิตของมะเขือเทศเพิ่มขึ้น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

17 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับมะเขือเทศที่มีความเครียดของน้ำบริเวณรากมากกว่า -4 บาร์ (Bower *et al.*, 1975)

นอกจากนี้ Daniells *et al.* (1988) พบว่าความเครียดของน้ำในดินที่ระดับ –5 บาร์ มีผลทำให้กล้วยมีการเจริญเติบโตน้อยลง ขนาดของผลเล็กลง และทำให้ผลสุกเร็วขึ้น ถ้าเทียบกับที่ระดับ –4 บาร์ และจากการศึกษาการเจริญเติบโตของกระทกรกฝรั่ง พบว่าความเครียดของน้ำในดินในระดับ –0.1 บาร์ มีผลทำให้ลดน้ำหนักแห้งของใบ ลำต้น ราก พื้นที่ใบ การยืดตัวของเถา จำนวนข้อ การแตกตาดอก จำนวนดอกบาน (Menzel *et al.*, 1986) หากเกิดความเครียดของน้ำในดิน จะมีผลทำให้ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ในสตรอเบอรี่มีค่าสูงขึ้น (Oliveira *et al.*, 1984; Gehrmann, 1985) Giovanardi and Testdin (1985) ศึกษาการให้น้ำสตรอเบอรี่ที่ระดับ 80, 50 และ 20% Available water capacity (%Awca) พบว่าการให้น้ำที่ 50 และ 20% Awca จะประหยัดน้ำถึง 37 และ 53 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ช่วยให้ประหยัดน้ำและแรงงานมากกว่า

Morales (1984) พบว่าที่ระดับความชื้น 80 และ 90% FC กาแฟจะมีการเจริญเติบโตและให้ผลผลิตสูงกว่าที่ปลูกในระดับความชื้น 60 และ 70% FC ดังนั้นการรักษาระดับความชื้นให้อยู่ในระดับที่เหมาะสมไม่ว่าความชื้นในอากาศหรือความชื้นในดิน จึงน่าจะช่วยให้ปากใบสามารถเปิดได้นานขึ้น

Browning and Fisher (1975) พบว่าต้นกาแฟที่ได้รับน้ำหลังจากที่ได้รับสภาพเครียดจากการขาดน้ำมาเป็นเวลา 8 สัปดาห์ ทำให้ตาดอกที่พักตัวพ้นจากการพักตัวและบานออก พร้อมกับมีการแตกใบอ่อนอย่างรวดเร็วและพบว่ามีจำนวนปากใบเปิดเป็นจำนวนมากกว่าต้นกาแฟที่ได้รับน้ำอย่างสม่ำเสมอ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

อิทธิพลของปริมาณคลอโรฟิลล์ที่มีผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของพืช (ดนัย, 2533 และ Gross, 1987)

คลอโรฟิลล์เป็นรงควัตถุที่ปรากฏอยู่ในคลอโรพลาสต์ (chloroplast) ทำหน้าที่ในการสังเคราะห์แสง ในพืชส่วนใหญ่มีคลอโรฟิลล์อยู่ 2 ชนิด ได้แก่

1. คลอโรฟิลล์เอ (chlorophyll a) จัดว่าเป็น primary pigment ที่ทำหน้าที่ในการสังเคราะห์แสงโดยตรง ส่วนรงควัตถุชนิดอื่น ๆ ต้องรับแสงแล้วส่งต่อให้คลอโรฟิลล์เอ เรียกว่าเป็น accessory pigment คลอโรฟิลล์เอ มีช่วงการดูดกลืนแสงที่ช่วง 420 ถึง 620 นาโนเมตร โดย คลอโรฟิลล์เอ พบได้ทั่วไปในพืชชั้นสูงทุกชนิด และสาหร่ายเขียว

2. คลอโรฟิลล์บี (chlorophyll b) เป็นคลอโรฟิลล์ที่มีสีเหลืองอมเขียว ช่วงในการดูดกลืนแสง 435 ถึง 643 นาโนเมตร พบได้ทั่วไปในพืชชั้นสูงทุกชนิด และสาหร่ายสีเขียว

การสลายตัวของคลอโรฟิลล์ (chlorophyll degradation) (สายชล, 2528)

การสลายตัวของคลอโรฟิลล์ จะสลายตัวไปเป็นสารที่ไม่มีสี คลอโรฟิลล์เปลี่ยนแปลงได้ง่ายในสภาพที่เป็นกรด ซึ่งทำให้เกิดการเคลื่อนย้ายแมกนีเซียม (Mg) จากศูนย์กลางโครงสร้าง tetrapyrrole และเกิดสารใหม่คือ pheophytin เป็นสารสีเขียวมะกอก มี chlorophyllase ทำหน้าที่เป็น catalyse ของปฏิกิริยาการสลายตัวของคลอโรฟิลล์

การสลายตัวของคลอโรฟิลล์สามารถเร่งให้เกิดขึ้นได้เร็วโดยเอธีลีน โดย lipo-protien ที่คลอโรฟิลล์เกาะติดอยู่ จะทำหน้าที่ป้องกันคลอโรฟิลล์จากกรดซึ่งมีอยู่โดยธรรมชาติในเนื้อเยื่อของพืช โปรตีนเมื่อถูกความร้อนจะรวมตัวกัน และทำให้คลอโรฟิลล์ทำปฏิกิริยากับกรด ทำให้เกิดการเคลื่อนย้าย Mg ออกจากโมเลกุลของคลอโรฟิลล์และเกิดสาร pheophytin กลไกที่สำคัญในการทำลายคลอโรฟิลล์ คือ phytochemical oxidation ซึ่งควบคุมโดย pH และอุณหภูมิ

ปัจจัยต่าง ๆ ในสภาพแวดล้อมที่พืชขึ้นอยู่ เช่น แสง อุณหภูมิ น้ำ ธาตุ อาหารและออกซิเจน ล้วนมีผลกระทบต่อการสร้างและการรักษาสภาพของคลอโรฟิลล์ในใบพืชทั้งสิ้น การสังเคราะห์คลอโรฟิลล์เกิดจากการกระตุ้นของแสง แต่แสงที่มีความเข้มสูงและภาวะขาดน้ำส่งผลให้ปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบพืชถูกทำลายได้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สรีรวิทยาการออกดอก

การออกดอกของพืชเป็นการเปลี่ยนแปลงจากสภาพการเจริญเติบโตทางกิ่งก้านสาขามาเป็นการเจริญเติบโตทางด้านการสืบพันธุ์ (พีรเดช, 2537) ดอกคืออวัยวะสืบพันธุ์ของพืชชั้นสูง หลังจากที่พืชมีการเจริญเติบโตทางด้านกิ่งก้านสาขาจนถึงอายุที่มีความพร้อมที่จะออกดอกก็จะเกิดการออกดอกหรืออาจเกิดจากสภาพแวดล้อม เช่น ความยาวของวัน อุณหภูมิ นอกจากนี้ยังมีปัจจัยอื่น ๆ เช่น ความชื้นในดิน และสารควบคุมการเจริญเติบโต (ดนัย, 2539)

ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการออกดอก

1. แสง

เป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญในกระบวนการสร้างอาหารของพืชและการสะสมอาหารในพืช โดยทั่วไปพืชส่วนใหญ่ต้องการความเข้มแสงสูงในการออกดอก (สมบุญ, 2538) แสงมีผลต่อการออกดอกทั้งในแง่ของช่วงเวลาที่ได้รับแสง (photoperiod) ความยาวคลื่นแสง (wave length) และปริมาณพลังงานแสง (radiant energy) โดยองค์ประกอบทั้งสามส่วนของแสงมักจะมีผลกระทบต่อการออกดอกอย่างมาก (ดนัย, 2539)

2. อุณหภูมิ

ไม้ผลหลายชนิดต้องการอากาศเย็นในช่วงหนึ่งก่อนการออกดอก เช่น มะม่วง ลิ้นจี่ ลำไย และเงาะ ความต้องการอากาศเย็นของพืชแต่ละชนิดหรือแต่ละพันธุ์แตกต่างกันไป โดยเฉพาะอุณหภูมิต่ำมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงระดับฮอร์โมนภายใน ทำให้พืชชะงักการเจริญเติบโตทางกิ่งใบจึงมีผลกระตุ้นการออกดอกได้ (พีรเดช, 2537)

สำหรับการออกดอกของพืชที่ได้รับความหนาวเย็น เรียกว่า เวอร์นาไลเซชั่น (vernalization) และเนื้อเยื่อที่ตอบสนองต่อความหนาวเย็นในกระบวนการเกิดเวอร์นาไลเซชั่น คือ เนื้อเยื่อเจริญบริเวณปลายยอด โดยความต้องการอุณหภูมิในการเกิดเวอร์นาไลเซชั่นของพืชต่างชนิดก็ต่างกัน ถ้าใช้อุณหภูมิต่ำก็จะทำให้ระยะเวลาในการเวอร์นาไลเซชั่นสั้นลง และถ้าระยะเวลาในการเวอร์นาไลเซชั่นเท่ากัน การใช้อุณหภูมิต่ำกว่าจะมีผลทำให้พืชออกดอกเร็วกว่าการใช้อุณหภูมิสูงกว่า อย่างไรก็ตามการให้พืชได้รับอุณหภูมิต่ำนานเกินไปอาจมีผลกระทบทำให้การออกดอกของพืชลดลงหรืออาจไม่ออกดอกเลยก็ได้ ส่วนภายหลังการเกิดกระบวนการเวอร์นาไลเซชั่นของพืชแล้ว ถ้าปล่อยให้พืชได้รับอุณหภูมิสูงกว่า 30 องศาเซลเซียส จะมีผลทำให้พืชไม่ออกดอก ปรากฏการณ์ที่พืชผ่านการเวอร์นาไลเซชั่นแล้วเกิดการสูญเสียผลของการเวอร์นาไลเซชั่น เรียกว่า

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ดีเวอร์นาไลเซชั่น (devernalization) และอาจทำให้กลับมาอยู่ในสภาพเวอร์นาไลเซชั่นได้อีกถ้าให้อุณหภูมิต่ำแก่พืช (สมบุญ, 2538)

3. ความชื้นในดิน

ในสภาพที่พืชขาดน้ำหรือเกิดความเครียดเนื่องจากน้ำ (water stress) จะเป็นตัวชักนำให้เกิดการสร้างตาดอก (สมบุญ, 2538) ในไม้ผลหลายชนิด เช่น โกโก้ ฝรั่ง และกาแฟ ต้องการช่วงแล้งก่อนการออกดอก โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อประกอบกับสภาพอากาศเย็นก็จะช่วยกระตุ้นให้ออกดอกได้มากขึ้น (พีรเดช, 2537)

4. การตัดแต่งกิ่ง

สามารถใช้บังคับการออกดอกของไม้ผลบางชนิด เช่น น้อยหน่า เป็นการลดการเจริญเติบโตทางใบและทำให้ใบใหม่มีประสิทธิภาพในการสังเคราะห์แสงสูง ทำให้มีอาหารสะสมในการออกดอกมากขึ้น (พีรเดช, 2537)

5. พันธุ์

พืชต่างพันธุ์กันมีความสามารถในการออกดอกไม่เท่ากัน เช่น ลิ้นจี่ พันธุ์ฮงฮวยจะออกดอกได้ยากกว่าลิ้นจี่พันธุ์ค่อมเมื่อปลูกในสภาพแวดล้อมเช่นภาคกลางและในมะม่วงทะวายต่าง ๆ มีพฤติกรรมการออกดอกง่ายและสม่ำเสมอกว่ามะม่วงพันธุ์เขียวเสวย (พีรเดช, 2537)

6. อายุของพืช

เป็นปัจจัยที่สำคัญอันหนึ่งที่กำหนดการออกดอกของพืช ในไม้ผลการเจริญเติบโตทางกิ่งใบสลับกับการออกดอกนั้นจะควบคุมการออกดอกได้ยากกว่า เนื่องจากช่วงอายุระหว่างการเติบโตทางกิ่งใบและการออกดอกไม่มีกำหนดตายตัวที่แน่นอน การออกดอกของพืชเหล่านี้มักขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมอื่น ๆ เป็นสำคัญ (พีรเดช, 2537)

7. ฮอร์โมน

ในช่วงที่มีการออกดอกพบว่า ปริมาณจิบเบอเรลลินจะลดระดับลง มีการสร้างเอทิลีนมากขึ้น ส่วนออกซินและไซโตไคนินอาจเกี่ยวข้องกับการออกดอกเช่นกัน ดังนั้นการออกดอกอาจควบคุมโดยระดับความสมดุลระหว่างสารกระตุ้นการเจริญเติบโตและสารยับยั้งการเจริญเติบโต (พีรเดช, 2537)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การสร้างตาดอกของกาแฟ

ดอกเกิดจากตาดอก (floral bud) ซึ่งเป็น apical meristem โดยเกิดการเปลี่ยนแปลงจาก vegetative meristem เป็น reproductive meristem หลังจากที่มีการเจริญเติบโตทางด้านกิ่งก้านสาขาจนถึงอายุที่มีความพร้อมที่จะออกดอกก็จะเกิดการออกดอกหรืออาจเกิดจากสภาพแวดล้อม เช่น ความยาวของวัน อุณหภูมิ นอกจากนี้ยังมีปัจจัยอื่น ๆ เช่น ความชื้นในดิน และสารควบคุมการเจริญเติบโตที่ต้นกาแฟได้รับในขณะนั้น (โสระยา, 2544)

ตาดอกกาแฟเกิดบริเวณซอกใบที่ข้อของกิ่งแขนง โดยมีการสร้างตาดอกขึ้นมาแทนที่ตาใบ ตาดอกกาแฟเมื่อเกิดขึ้นมาแล้วจะพักตัวอยู่ ในระยะนี้มีความยาวประมาณ 4-6 มิลลิเมตร ในระยะนี้เองจะตรงกับช่วงที่กาแฟเกิดความเครียดจากการขาดน้ำอย่างรุนแรง ในตาดอกกาแฟที่พักตัวอยู่นี้จะพบว่ามีสารยับยั้งการเจริญเติบโตจำพวก ABA (Absicsic acid) อยู่สูงมากและมีสารเร่งการเจริญเติบโตพวก GA (Gibberellic acid) อยู่ในระดับต่ำ และเมื่อกาแฟได้รับน้ำฝนหรือมีการให้น้ำแก่ต้นกาแฟจะทำให้อุณหภูมิลดลงอย่างรวดเร็วด้วย พร้อมกับมีค่าศักย์ของน้ำที่ตาดอกเพิ่มขึ้น ร่วมกับการทำงานของเอทิลีน จึงทำให้ดอกกาแฟบานได้ (Wormer and Gituanja, 1970)

ภาพที่ 6 ตาดอกกาแฟเกิดบริเวณซอกใบที่ข้อของกิ่งแขนง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การพักตัวของตาดอกกาแฟ

สรีรวิทยาการออกดอกของต้นกาแฟอราบิก้านั้น Kumar (1979) ได้แบ่งการพัฒนาของตาดอกกาแฟเป็น 3 ช่วง คือ

1. **ช่วงสร้างและพัฒนาตาดอก (Floral Initiation and differentiation)**

ช่วงสร้างตาดอกเป็นการเปลี่ยนแปลงจากสภาพการเจริญเติบโตทางกิ่งใบมาเป็นการเจริญเติบโตทางด้านการสืบพันธุ์

2. **ระยะพักตัวสั้น ๆ (Quiescent)**

ระยะที่สองเกิดจากการขาดน้ำในกิ่งและตาดอก การที่ตาดอกเข้าสู่ระยะพักตัวก็เพื่อเป็นการปรับโครงสร้างภายในและโครงสร้างส่วนของตาดอกเพื่อใช้ในการสืบพันธุ์ของต้นกาแฟ ในช่วงที่ต้นกาแฟได้รับความเครียดจากการขาดน้ำ (Alvim, 1960; Browning, 1971; Gopal and Vishveshwara, 1971; Clowes and Allison, 1974; Magalhaes and Angelocci, 1976; Crisoto *et al.*, 1992)

ในระหว่างที่มีการเจริญของตาดอกบนต้นกาแฟอาจเข้าสู่ระยะพักตัว ซึ่งระยะพักตัวแบ่งออกเป็น 3 ระยะก่อนที่ดอกบาน

ระยะแรกของการพักตัว การเกิดขึ้นทันทีที่มีการสร้างตาดอก ตาดอกจะไม่มีการเจริญและการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของเซลล์

ระยะที่สองของการพักตัว ตาดอกในระยะนี้มีสารคล้ายยางเหนียวปกคลุมอยู่กลีบประดับที่ห่อหุ้มตาดอกอยู่นั้นมีการขยายขนาดขึ้นเล็กน้อย (Wormer and Gituanja, 1970.; Browning, 1971)ระยะนี้ตาดอกมีความยาวประมาณ 4 – 8 มิลลิเมตร และขนาดของตาดอกยังคงเท่าเดิมตลอดช่วงแล้ง (Schuch *et al.*, 1992)

ระยะที่สามของการพักตัว ช่อดอกมีขนาด 9 – 12 มิลลิเมตร สามารถเห็นตาดอกสีเขียวที่เคยติดกันแน่น แยกออกจากกันอย่างชัดเจนโดยไม่มีสารคล้ายยางเหนียวปกคลุม ตาดอกยังคงอยู่ในระยะพักตัวจนกระทั่งถูกกระตุ้นจากสิ่งแวดล้อมภายนอก โดยทั่ว ๆ ไปการพ้นระยะพักตัวจะเกิดขึ้นพร้อม ๆ กับการเข้าสู่ฤดูฝนหรือมีการให้น้ำแก่ต้นกาแฟ เมื่อตาดอกมีการเจริญเติบโตอีกครั้งหลังจากพ้นระยะพักตัวและตาดอกนั้นเจริญต่อไปจนเป็นดอกบาน

ในช่วงระหว่างที่ตาดอกมีการพักตัวเมื่อได้รับน้ำหรือสารอาหารที่ได้จากการสังเคราะห์แสงแล้ว น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของตาดอก จะอยู่ในระดับคงที่ตลอดช่วงที่มีการพักตัว (Frederrico and Maestri, 1970)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาดอกกาแฟที่อยู่ในระยะพักตัวมีการปรับโครงสร้างภายในของก้านดอก โดยที่จะมีการจำกัดจำนวนท่อน้ำและท่ออาหาร และมีการปรับโครงสร้างให้มีผนังที่หนาขึ้นเพื่อลดการสูญเสียน้ำไปยังส่วนอื่นของต้นและการที่มีสารคล้ายยางเหนียวปกคลุมตาดอกช่วยลดการสูญเสียน้ำได้อีกทางหนึ่ง (Mes, 1957) ซึ่งสอดคล้องกับ Magalhaes and Angelocci (1976) ที่พบว่าภายใต้สภาพเครียดจากการขาดน้ำ ค่าศักย์ของน้ำที่วัดได้ในส่วนของตาดอกมีค่ามากกว่าที่ใบในข้อเดียวกัน

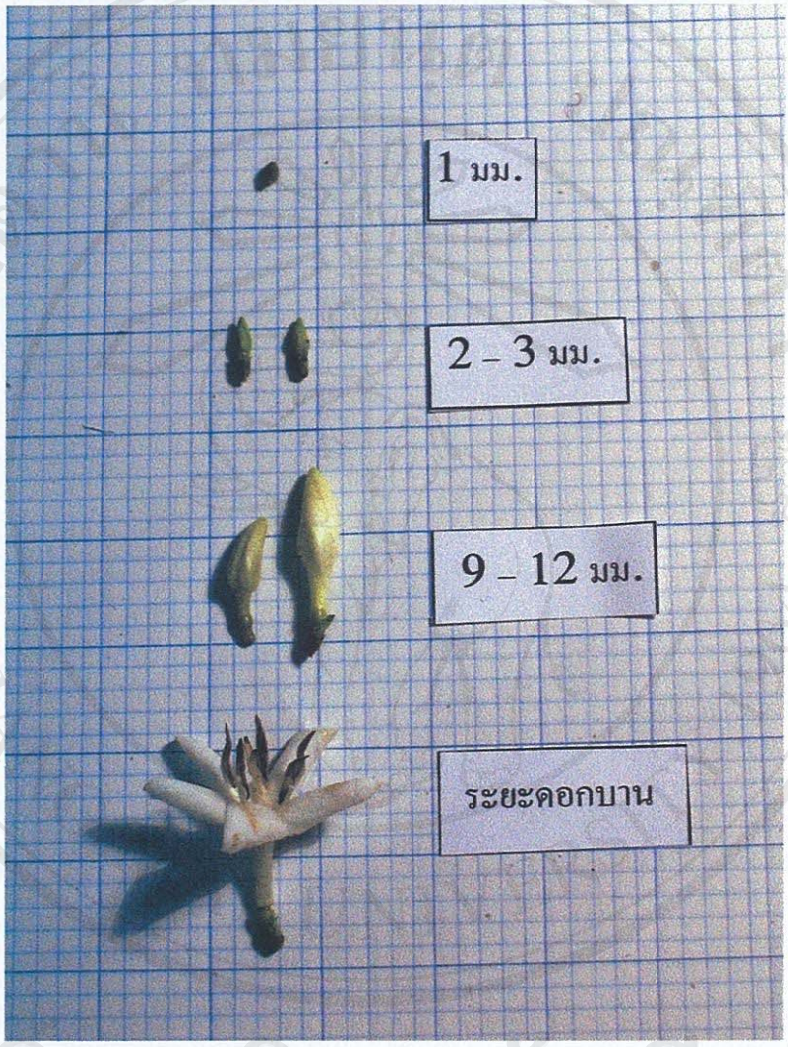
3. ระยะดอกบาน (Blossoming)

ระยะที่สามของการออกดอกนั้น ดอกจะบานหลังจากการ มีการให้น้ำหรือมีฝนตกภายในตาดอกที่กำลังพักตัวมีการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีเกิดขึ้นในอัตราที่ต่ำและช้ามาก แต่หลังจากที่พ้นจากระยะพักตัวแล้วการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีเกิดขึ้นในอัตราที่รวดเร็ว สังเกตได้จากสีและขนาดที่เพิ่มขึ้นของตาดอก การเพิ่มขึ้นของน้ำหนักสด และน้ำหนักแห้ง แสดงให้เห็นถึงการดูดน้ำและการเคลื่อนที่อย่างรวดเร็วของสารอาหารที่ได้จากการสังเคราะห์แสง สิ่งที่เกิดขึ้นเหล่านี้เป็นลักษณะสำคัญที่แสดงได้ว่ามีการเพิ่มขึ้นในการที่จะนำธาตุอาหารจากบริเวณใบผ่านส่วนก้านของตาดอกไปยังดอก ซึ่งการลำเลียงแร่ธาตุอาหารเหล่านี้มีความสำคัญต่อการบานของดอกกาแฟอราบิก้า (Magalhaes and Angelocci, 1976)

Crisosto *et al.* (1992) พบว่ามีเพียงตาดอกที่แก่จัดเท่านั้นที่บาน จากการตอบสนองต่อความเครียดจากการขาดน้ำ ซึ่งขึ้นกับระยะเวลาที่ได้รับความเครียดรวมถึงระดับน้ำที่ได้รับอีกครั้งและหากได้รับสภาพแวดล้อมที่เหมาะสม ไม่เพียงมีผลต่อตาดอกที่แก่จัดเท่านั้น แต่ทำให้ตาดอกที่ยังอ่อนอยู่ทยอยกันเจริญเป็นดอกกาแฟที่บานในระยะต่อมา

Mes (1957) กล่าวว่าความเครียดจากการขาดน้ำทำให้ตาดอกกาแฟเข้าสู่ระยะพักตัว และการให้น้ำจำเป็นอย่างยิ่งต่อการกระตุ้นให้ตาดอกกาแฟที่พักตัวนั้นมีการพัฒนาไปเป็นดอกบานได้ภายใน 8 ถึง 12 วัน (Alvim, 1958; 1960; Browning, 1975; van der Veen, 1968; Piringer and Borthwick, 1955)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพที่ 7 ตาดอกกาแฟระยะต่าง ๆ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การให้น้ำแก่ต้นกาแฟเพื่อกระตุ้นให้ดอกบาน

พื้นที่ภาคเหนือของประเทศไทยโดยเฉพาะบนภูเขาสูง ฝนตกแตกต่างไปจากพื้นที่ราบทั่วไป ถ้ามีฝนตกอย่างเพียงพอต้นกาแฟสามารถออกดอกค่อนข้างพร้อมกัน ซึ่งทำให้ผลสุกในระยะใกล้เคียงกัน ทำการเก็บเกี่ยวง่าย แต่ถ้ามีฝนตกไม่สม่ำเสมอหรือตกเพียงเล็กน้อยระหว่างเดือนมีนาคมถึงเมษายน ดอกกาแฟบานจะไม่พร้อมกัน บริเวณที่ได้รับน้ำมากดอกจะบานเร็ว ในขณะที่บริเวณที่ได้รับน้ำน้อย ต้นกาแฟอาจไม่ออกดอกหรือดอกบานช้า ทำให้ติดผลหลายรุ่น และผลแต่ละรุ่นขนาดไม่เท่ากัน ทำให้ผลสุกไม่พร้อมกัน ยุ่งยากในการเก็บเกี่ยวและทำให้คุณภาพของผลกาแฟไม่ดี (อักษรและพัฒนพันธุ์, 2537) สอดคล้องกับ Drinnan and Menzel (1994) และ Cannell (1985) ที่กล่าวว่าหลายประเทศทั่วโลกที่ปลูกกาแฟในเชิงการค้า เช่นในเขตร้อนของประเทศออสเตรเลีย (Drinnan and Menzel, 1995) หรือในแถบฮาวาย พบว่าปัจจัยที่สำคัญที่สุดในการผลิตกาแฟคือปริมาณน้ำฝนและการที่ฝนตกเป็นช่วง ๆ ตลอดฤดูกาลผลิตกาแฟไม่ว่าจะเป็นระยะที่ต้นกาแฟมีการเจริญทางด้านกิ่งก้านสาขา ระยะที่มีการออกดอก การเจริญของผล การสุกของผลและในช่วงทำการเก็บเกี่ยวผลผลิต ปริมาณน้ำที่ต้นกาแฟได้รับมีผลไปกระตุ้นการเจริญทางด้านกิ่งก้านสาขาพร้อม ๆ กับช่วงที่ต้นกาแฟมีการติดผลกาแฟไปด้วย หากต้นกาแฟได้รับน้ำฝนตลอดปีเช่นนี้ การออกดอกและการติดผลก็จะเกิดขึ้นตลอดทั้งปี ต้นกาแฟจะออกดอกเป็นระยะ ๆ อย่างต่อเนื่องกัน หลาย ๆ เหตุการณ์เหล่านี้เกี่ยวข้องกับปริมาณน้ำที่ต้นได้รับในแต่ละครั้งหลังจากที่ต้นกาแฟได้รับความเครียดจากการขาดน้ำ ซึ่งจะทำให้ตาดอกที่แก่เต็มที่พ้นระยะพักตัว มีการเปลี่ยนแปลงสัณฐานวิทยา (ดอกบาน) ในแต่ละรุ่นไม่พร้อมกัน การออกดอกและการเจริญเติบโตของผลกาแฟอราบิก้าจนเข้าสู่ระยะที่ผลสุกนั้นใช้เวลาหลายเดือน เกิดปัญหาทางด้านการผลิตกาแฟทางด้านประสิทธิภาพในการเก็บเกี่ยวผลผลิต เนื่องจากการออกดอกของต้นกาแฟบานไม่พร้อมกันส่งผลให้ผลกาแฟสุกแก่ไม่พร้อมกัน ดังนั้น Drinnan and Menzel (1995) จึงมีแนวคิดว่าหากต้นกาแฟได้รับช่วงสภาพแห้งแล้งแล้วตามด้วยการให้น้ำแก่ต้นกาแฟหรือการที่ต้นกาแฟได้รับน้ำฝนภายหลังจากนั้น อาจเป็นวิธีการที่ใช้ในการทำให้ดอกกาแฟบานอย่างพร้อมเพรียงกันเนื่องจากทราบแล้วว่าการขาดน้ำมีความจำเป็นต่อการกระตุ้นให้ดอกกาแฟบานได้ ซึ่ง Magalhaes and Angelocci (1976) พบว่าการพ้นจากระยะพักตัวถูกชักนำขึ้นเมื่อต้นกาแฟอยู่ภายใต้สภาพเครียดจากการขาดน้ำเมื่อค่าศักย์ของน้ำในใบมีค่า –1.2 MPa. และ Crisosto *et al.* (1992) พบว่าต้นกาแฟอราบิก้า *Coffea arabica* (cv. Guatemalan) สามารถออกดอกได้หากได้รับการกระตุ้นโดยการให้น้ำหลังจากที่ต้นกาแฟได้รับความเครียดจากการขาดน้ำในช่วงเวลาสั้น ถ้าค่าศักย์ของน้ำในใบมีค่าลดลงต่ำกว่า –0.8 MPa

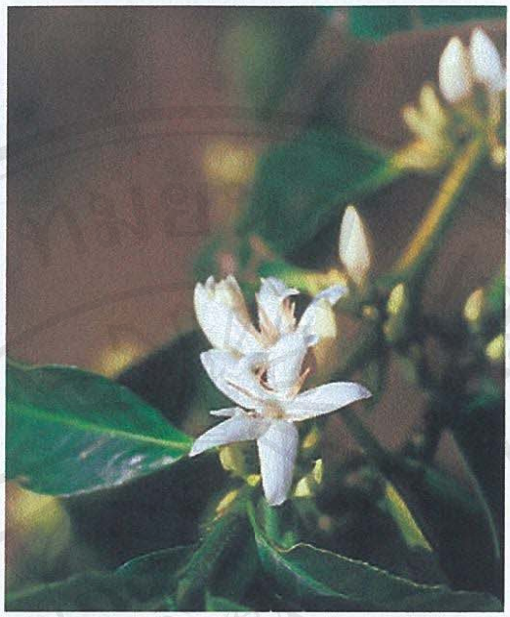
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

Shawn (2000) กล่าวว่าหลังจากที่ต้นกาแฟสร้างจุดกำเนิดตาดอก และตาดอกใช้เวลาหลายเดือนในการพัฒนา และจะเข้าสู่ระยะพักตัวเนื่องจากเกิดความเครียดจากการขาดน้ำเป็นระยะเวลาสั้น ๆ ทำให้ไม่มีการเจริญไปเป็นผล และหากได้รับปริมาณน้ำฝนหรือมีการให้น้ำแก่ต้นกาแฟที่ระดับใกล้เคียงกับค่าความจุสนามของน้ำในดินแล้วจะเกิดการชักนำให้ตาดอกพ้นระยะพักตัวได้ และดอกกาแฟบานภายใน 8-12 วัน หลังจากได้รับน้ำ

Drinnan and Menzel (1994) กล่าวว่าตาดอกกาแฟจะพ้นจากระยะพักตัวได้ก็ต่อเมื่อได้รับน้ำอีกครั้งหลังจากที่ผ่านช่วงแล้งมาแล้ว แต่ในทางตรงกันข้ามเมื่อปล่อยให้ต้นกาแฟได้รับความเครียดจากการขาดน้ำต่อไปอีกระยะตาดอกกาแฟจะยังอยู่ในระยะพักตัวต่อไปเรื่อย ๆ จนกว่าจะได้รับปริมาณน้ำที่เหมาะสมสำหรับทำให้ดอกกาแฟบาน เช่นเดียวกับกรณีที่มีการให้น้ำแก่ต้นกาแฟอย่างสม่ำเสมอ โดยหลีกเลี่ยงไม่ให้ต้นกาแฟได้รับความเครียดจากการขาดน้ำเลย ตาดอกจะยังคงอยู่ในระยะพักตัวต่อไปเช่นเดียวกัน การปฏิบัติตามวิธีดังกล่าวเพื่อต้องการจัดการให้ต้นกาแฟสามารถออกดอกได้อย่างพร้อมเพรียงกันและย่นระยะเวลาในการเก็บเกี่ยวผลผลิตได้

นอกจากนี้ สุรนันต์ (2526) กล่าวว่าในสภาวะขาดน้ำทำให้ความชื้นในดินลดลง เป็นส่วนหนึ่งที่ช่วยกระตุ้นการเกิดจุดกำเนิดของดอกกาแฟ ดังนั้นช่วงก่อนออกดอก กาแฟต้องการน้ำน้อยมากหรือไม่ต้องการเลย ถ้าหากได้รับฝนหรือให้น้ำมากไปในช่วงนี้อาจทำให้ต้นกาแฟมีการเจริญทางด้านกิ่งก้านสาขาเป็นยอดอ่อนแทนที่จะเป็นการเจริญทางด้านการสืบพันธุ์ซึ่งหมายถึงการแทงช่อดอก แต่ถ้าเกิดความแห้งแล้งในช่วงดังกล่าวยาวนานเกินไป จนทำให้เกิดสภาวะขาดน้ำรุนแรง สามารถทำให้ดอกและผลอ่อนร่วง จนทำให้ผลผลิตในปีนั้น ๆ ต่ำลงได้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพที่ 8 การทยอยบานของดอกกาแฟอราบิก้า

ภาพที่ 9 การทยอยสุกของผลกาแฟอราบิก้า

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การเจริญเติบโตของผลกาแฟ

การเจริญเติบโตของผลส่วนใหญ่เป็นการเจริญเติบโตของรังไข่หรือการขยายตัวของรังไข่ ซึ่งเกิดขึ้นหลังจากการเกิดการปฏิสนธิ (Fertilization) ระหว่างไข่และละอองเรณู (บัญญัติ, 2526; Schneider and Scarborough, 1960; Tesar, 1984) แต่มีผลบางชนิดที่มีการเจริญเติบโตของผลเกิดจากการขยายตัวของฐานรองดอก เช่น สตรอเบอร์รี่ และบางชนิดเกิดจากการขยายตัวของก้านช่อดอก เช่น สับปะรด และมะเดื่อ เป็นต้น (ดนัย, 2534) ผลส่วนใหญ่มีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วในช่วงแรก และอัตราการเจริญเติบโตจะค่อย ๆ ลดลงในช่วงหลังที่ผลมีขนาดโตเต็มที่ ซึ่งสามารถแบ่งลักษณะการเจริญของผลได้ 2 ชนิด ได้แก่ 1. แบบ Simple Sigmoid Curve เป็นการเจริญเติบโตของผลที่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงแรก และลดลงอย่างช้า ๆ ในช่วงหลังจนผลมีขนาดโตเต็มที่ ขนาดของผลก็จะคงที่ ผลไม้ที่มีการเจริญเติบโตแบบนี้ ได้แก่ มะเขือเทศ มะม่วง แอบเปิ้ล สตรอเบอร์รี่ และสับปะรด เป็นต้น 2. แบบ Double Sigmoid Curve เป็นการเจริญเติบโตของผล 2 ระยะ คือ มีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วในระยะแรกและจะช้าลงช่วงระยะเวลาหนึ่ง หลังจากนั้นจะมีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วอีกระยะหนึ่งจนผลมีขนาดโตเต็มที่ ผลไม้ที่มีการเจริญเติบโตแบบนี้ได้แก่ ผลพวก Drupe หรือ Stone fruit เช่น พลับ ท้อ พลัม และพวกองุ่น เป็นต้น (ดนัย, 2354; Bleasdale, 1977; Schneider and Scarborough, 1960; Tesar, 1984) ตลอดช่วงการเจริญเติบโตของผลสามารถแบ่งได้ 4 ระยะคือ

1. ระยะการเจริญเติบโต (Growth) เป็นระยะที่มีการแบ่งเซลล์ (Cell division) และการขยายตัวของเซลล์ (Cell elongation) ร่วมกันเพื่อเพิ่มขนาดของผลให้โตขึ้นเรื่อย ๆ จนผลโตเต็มที่

2. ระยะการแก่ (Maturation) เป็นระยะหลังของการเจริญเติบโตก่อนที่การเจริญเติบโตจะหยุด รวมถึงระยะที่มีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นภายในเนื้อเยื่อหรือเซลล์ของผลที่โตเต็มที่แล้ว

3. ระยะการสุก (Ripening) เป็นระยะที่เกิดหลังจากที่ผลแก่จัดส่วนใหญ่เป็นการเกิดขบวนการที่มีการเปลี่ยนแปลงทางเคมีและทางกายภาพเกิดขึ้นร่วมกันเรียกว่า Physio Chemical Changes การเกิดขบวนการสุกเป็นการบ่งชี้ว่าผลไม้เริ่มเข้าสู่ขบวนการเสื่อมสภาพแล้ว

4. ระยะการเสื่อมสภาพ (Senescence) เป็นระยะหลังจากที่ผลไม้สุกเริ่มมีการเสื่อมสลายตัวของเนื้อเยื่อต่าง ๆ ซึ่งขบวนการส่วนใหญ่ที่เกิดขึ้นเป็นการสลายตัวมากกว่าการสังเคราะห์ ทำให้มีการเสื่อมสภาพของเซลล์และเนื้อเยื่อเกิดขึ้น (ดนัย, 2534)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ในกาแฟเมื่อดอกได้รับการผสมเกสรและติดผลแล้ว ผลกาแฟโดยปกติจะเจริญเติบโตในภาวะที่แตกต่างกันออกไป ธนะชัย (2534) รายงานว่าผลกาแฟมีการเจริญเติบโตแบบ double sigmoid curve โดยการเพิ่มปริมาตรของผลกาแฟในระยะ 4 สัปดาห์แรกหลังดอกบาน ผลกาแฟมีอัตราการเจริญเติบโตน้อยมาก ผลจึงมีลักษณะค่อนข้างกลม จากนั้นผลกาแฟจึงมีอัตราการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ซึ่งผลกาแฟมีการขยายตัวทางความยาวมากกว่าทางกว้าง ผลกาแฟจึงมีลักษณะกลมรี จนถึงสัปดาห์ที่ 14 หลังดอกบาน ผลกาแฟจึงมีอัตราการเจริญเติบโตลดลงจนเกือบจะคงที่และเมื่อผลกาแฟมีอายุ 18 สัปดาห์หลังดอกบาน อัตราการเจริญเติบโตมีค่าเพิ่มขึ้นอีกเล็กน้อยจนถึงสัปดาห์ที่ 23 หลังดอกบาน ผลกาแฟจึงมีขนาดเกือบคงที่ และผลมีลักษณะกลมรีคล้ายไข่ โดยปกติแล้วผลกาแฟจะใช้เวลาประมาณ 9 เดือน ตั้งแต่เริ่มออกดอกจนผลแก่เก็บเกี่ยวได้ โดยผลกาแฟเริ่มเปลี่ยนจากสีเขียวเข้มเป็นสีแดงเมื่อผลสุกเต็มที่ แต่ในสภาพอุณหภูมิค่อนข้างสูงหรืออากาศร้อน ผลกาแฟจะแก่เร็วขึ้น บางครั้งอาจใช้เวลาเพียง 4 เดือน จากการติดผลถึงเก็บเกี่ยว (พงษ์ศักดิ์ และคณะ, 2531)

ในอเมริกากลาง (Central America) ที่ความสูงจากระดับน้ำทะเล 2,000 ฟุต กาแฟอราบิก้าบางพันธุ์ต้องการเวลาประมาณ 7 เดือน จากการออกดอกจนแก่เก็บเกี่ยวได้ ในขณะที่ความสูงจากระดับน้ำทะเลประมาณ 4,500 ฟุต หรือมากกว่านี้จะต้องการเวลาประมาณ 8 ถึง 8 เดือนครึ่ง (Wellman, 1961)

กาแฟอราบิก้า ดอกจะติดผลถึงระยะสุกแก่เก็บเกี่ยวได้ประมาณ 40 เปอร์เซ็นต์ ผลมีรูปร่างกลมเหมือนไข่ ยาวประมาณ 1.5 เซนติเมตร มีเปลือกและเนื้อฉ่ำน้ำห่อหุ้มเมล็ดแข็งอยู่ภายใน เมื่อสุกมีรสหวาน เปลือกนอกเมื่อสุกมีสีแดง ในผลหนึ่ง ๆ มี 2 เมล็ด ยกเว้นบางผลอาจมีเมล็ดเดียวหรือมีเมล็ดใหญ่ 1 เมล็ด ที่เกิดขึ้นเนื่องจากการล้มเหลวในการผสมเกสรหรือแท้ง จะเก็บเกี่ยวผลกาแฟสุกได้ตั้งแต่เดือนกันยายนถึงกุมภาพันธ์ (อนันต์, 2522)

ภาพที่ 10 ลักษณะของผลกาแฟจากผลดิบจนถึงสุกแก่

การเก็บเกี่ยวผลกาแฟ

กาแฟอราบิก้าจะเริ่มให้ผลผลิตในปีที่ 3 – 4 หลังปลูก และให้ผลผลิตเต็มที่เมื่ออายุ 6 – 8 ปี หลังออกดอกจนถึงผลสุกใช้เวลา 7 – 9 เดือน ผลกาแฟจะสุกจนเก็บเกี่ยวได้ประมาณเดือนกันยายน ถึงกุมภาพันธ์ การเก็บเกี่ยวจะกระทำโดยการใช้มือปลิดผลกาแฟที่แก่เต็มที่ ซึ่งอาจสุกไม่พร้อมกัน ทำให้เก็บเกี่ยวได้หลายรุ่น ต้องเลือกเก็บผลกาแฟเฉพาะที่สุกเต็มที่เท่านั้น ทดสอบโดยใช้นิ้วมือบีบผลกาแฟ ถ้าผลกาแฟแก่เต็มที่เมล็ดจะหลุดออกโดยง่าย (อนันต์, 2522)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved