บทที่ 2
ตรวจเอกสาร

กาแฟอาราบิก้า (*Coffea arabica*) อยู่ในวงศ์ Rubiaceae มีแหล่งกำเนิดอยู่ในป่าธรรมชาติเขตร้อนชุ่มชื้นของเทือกเขาในประเทศเอธิโอเปีย (Charrier and Berthand, 1985) กาแฟอาราบิก้าเป็นพืชที่ขึ้นอยู่ในที่สูงซึ่งมีความสูงอยู่ระหว่าง 800-1,800 เมตรเหนือระดับน้ำทะเล เส้นรุ้ง 6 ถึง 9 องศาเหนือ (พงษ์ศักดิ์ และบัณฑูรย์, 2542) เป็นไม้พุ่มขนาดเล็กสูง 3 ถึง 5 เมตร ไม่ผลัดใบ ใบสีเขียวตลอดปี (evergreen) มีอายุประมาณ 10 ถึง 15 ปี ความเข้มแสงที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตอยู่ในระดับ 300 ถึง 600 $\mu Em^{-2}s^{-1}$ อุณหภูมิที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 15 ถึง 25 องศาเซลเซียส กาแฟ อาราบิก้าเป็นพืชวันสั้น ดินที่เหมาะสมควรเป็นดินร่วนซุย อุดมสมบูรณ์ ปริมาณอินทรียวัตถุสูง มีค่าความเป็นกรดด่าง ประมาณ 4.5 ถึง 5.5 (Cannell, 1985) ปริมาณน้ำฝน 1,700 ถึง 2,000 มิลลิเมตรต่อปี ระยะตั้งแต่ดอกบานจนถึงเก็บเกี่ยวใช้เวลา 6 ถึง 8 เดือน มีเมล็ดขนาดปานกลาง ปริมาณคาเฟอีนของกาแฟอาราบิก้าอยู่ในช่วง 0.85 ถึง 1.70 เปอร์เซ็นต์ กาแฟอาราบิก้านิยมปลูกกันมากที่สุด 3 ใน 4 ของ ผลผลิตกาแฟทั่วโลกเป็นพันธุ์นี้ เพราะเป็นกาแฟที่มีคุณภาพสูงทางด้านกลิ่นและรส ปลูกกันมากที่ประเทศแถบลาตินอเมริกา และอัฟริกา ได้แก่ ประเทศบราซิล โคลัมเบีย ฯลฯ รวมทั้งประเทศในทวีปเอเชีย เช่น อินเดีย อินโดนีเซีย เวียดนาม และไทย

สภาพการปลูกกาแฟในโลกส่วนมากจะมีการปลูกทั้งในสภาพกลางแจ้ง และสภาพร่มเงา รำไรของไม้ป่า ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อม แสง อุณหภูมิ ระดับการจัดการสภาพปัญหาที่เกิดขึ้นในแปลง ตลอดจนสภาพสังคมวัฒนธรรมที่แตกต่างกัน โดยมากแหล่งปลูกกาแฟใหญ่ๆ เช่นบราซิล เคนยา ฮาวาย มีการปลูกกาแฟกลางแจ้งแทบทั้งสิ้น โดยอาศัยเทคโนโลยีที่เรียกว่า ไฮเทค (hi-tech) ถึงได้ผลตอบแทนที่คุ้มค่า ส่วนการปลูกกาแฟในประเทศอินเดีย อินโดนีเซีย และปาปัวนิวกินี มีการปลูกใต้ร่มไม้อื่น (พงษ์ศักดิ์ และบัณฑูรย์, 2542)

ปัจจุบันจึงการนำกาแฟอาราบิก้ามาปลูกในสภาพกลางแจ้งเพื่อให้ได้ผลผลิตสูงกว่าการปลูกภายใต้สภาพร่มเงา แต่เนื่องจากกาแฟเป็นพืชที่ไม่สลัดผลทิ้ง ดังนั้นเมื่อเกิดสภาพเครียด อันเนื่องมาจากปัจจัยสภาพแวดล้อม เช่น การขาดน้ำ ความเข้มแสงที่สูงเกินไป ย่อมส่งผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของพืชเป็นอย่างมาก นอกจากนี้สภาวะเครียดที่เกิดขึ้นในขณะติดผล ทำให้ต้นพืชต้องนำเอาอาหารสะสมจากกิ่ง ลำต้น และรากออกมาเลี้ยงผล ซึ่งจะทำให้เกิดอาการกิ่งแห้งตาย และทำให้ผลผลิตลดลงในปีต่อไปด้วย การให้ร่มเงาแก่แปลงปลูกกาแฟ น่าจะเป็นวิธีหนึ่งที่จะช่วยลดปัญหาดังกล่าวได้ดี

2.1 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของกาแฟอาราบิก้า

ราก กาแฟมีรากแก้วที่อ้วนสั้นยาวไม่เกิน 45 เซนติเมตร มีรากแขนงที่แตกออกมาจากรากแก้ว 4 ถึง 8 ราก หยั่งลึกลงไปในดิน 2 ถึง 3 เมตร รากที่หยั่งลึกลงไปในดินจะมีรากแขนงแตกออกมาจำนวนมาก มีความยาว 1 ถึง 2 เมตร แผ่กระจายขนานในระดับใต้ผิวดินที่ไม่ลึกมาก (พงษ์ศักดิ์ และบัณฑูรย์, 2542)

ลำต้น ลำต้นกาแฟจะมีข้อและปล้องเหมือนต้นไม้อื่นๆ แต่ปล้องกาแฟจะยาวหรือสั้นขึ้นอยู่กับลักษณะพันธุ์กาแฟนั้นๆ ลำต้นกาแฟมีกิ่งแบ่งออกได้ 2 ชนิด คือ กิ่งตั้ง (orthotropic branch) และกิ่งนอน (plagiotropic branch) กิ่งตั้ง คือ กิ่งที่ตั้งตรงรวมถึงลำต้นของกาแฟด้วย ตามปกติลำต้นหลักของกาแฟ (main stem) เมื่อยังเล็กจะมีใบอยู่ตรงข้อของลำต้น เมื่อโตขึ้นใบเหล่านั้นจะร่วงหล่นไป และเกิดตาขึ้นบริเวณโคนก้านใบนั้น ตาที่ขึ้นมี 2 ชนิด คือ ตาล่างและตาบนที่โคนก้านใบ ตามธรรมดาตาล่างจะเจริญเป็นกิ่งตั้งขึ้นแต่ยังคงพักตัวอยู่ ส่วนตาบนจะเจริญออกมาเป็นกิ่งนอน ก็คือกิ่งที่ออกดอกติดผลต่อไป ดังนั้นลำต้นหลักของกาแฟจึงเป็นที่เกิดของกิ่งตั้งและกิ่งนอน สำหรับกิ่งนอนที่เกิดจากลำต้นหลัก เรียกว่า กิ่งนอนให้ผลที่หนึ่งหรือกิ่งแขนงที่หนึ่ง (primary fruiting branch) กิ่งนอนที่ให้ผลที่หนึ่งจะเป็นที่เกิดของกิ่งนอนให้ผลที่สอง หรือกิ่งแขนงที่สอง (secondary fruiting branch) กิ่งนอนให้ผลที่หนึ่งจะเกิดเป็นคู่สลับเยื้องกันบนกิ่งตั้งหรือลำต้นหลัก ในข้อของกิ่งนอนแต่ละข้อนั้นจะเป็นที่เกิดของตาดอกกาแฟต่อไป (สมศรี, 2538 ; อักษร และพัฒนพันธุ์, 2537) กาแฟข้อหนึ่งๆ ที่ให้ผลแล้วในปีต่อไปจะไม่ให้ผลอีก ผลกาแฟจะออกในข้อต่อไปที่ยังไม่ออกผล (นพรัตน์, 2536)

ใบ ใบของกาแฟจะเกิดที่ข้อของกิ่งเรียงตัวเป็นแบบตรงกันข้าม มีลักษณะเป็นรูปไข่หรือรูปโล่ ยอดใบแหลมก้านใบอ้วนสั้น ขอบใบเรียบเป็นคลื่น ผิวใบด้านบนมีสีเขียวเข้มเป็นมันเงา ด้านใต้ใบมีสีเขียวอ่อน ใบมีความกว้าง 5 ถึง 6 เซนติเมตร ยาว 5 ถึง 20 เซนติเมตร มีเส้นกลางใบ 7 ถึง 12 คู่ มีหูใบเกิดอยู่ระหว่างก้านใบ เมื่อใบอ่อนอยู่อาจมีสีแดงหรือเขียวก็ได้ มักเรียกกาแฟยอดแดงหรือยอดเขียว ซึ่งมีความสำคัญในการจำแนกลักษณะสายพันธุ์กาแฟอาราบิก้าได้ (อักษร และพัฒนพันธุ์, 2537)

ดอก ตาดอกเกิดบนกิ่งนอนตรงซอกโคนก้านใบ ตาดอกมีประมาณ 6 ตา ช่อดอกแต่ละช่อมีดอก 4-6 ดอก ในแต่ละข้อของกิ่งอาจมีดอก 2 ถึง 20 ดอก (อักษร และพัฒนพันธุ์, 2537) ตาดอกกาแฟเมื่อเจริญออกมายาว 4 ถึง 5 มิลลิเมตรจะเข้าสู่ระยะพักตัวและเมื่อได้น้ำอย่างเพียงพอในฤดูฝนดอกก็จะบาน (อนันต์, 2522 ; อักษร และพัฒนพันธุ์, 2537 ; Cannell, 1985 ; Gordon, 1986 ; Kumar, 1979) ดอกกาแฟเป็นดอกสมบูรณ์เพศมีทั้งเกสรตัวผู้ และตัวเมียในดอกเดียวกันจึงเป็นพืชผสมตัวเอง (80 ถึง 95%) ดอกจะบาน และติดผลจนถึงเก็บเกี่ยวได้ 40 เปอร์เซ็นต์ ดอกกาแฟมีกลีบดอก

สีขาว หรือสีครีม รูปร่างคล้ายดาวมีกลิ่นหอมคล้ายมะลิป่า กลีบเลี้ยงมี 5 ถึง 6 กลีบ เชื่อมติดกันเป็นหลอดยาว 1 ถึง 1.50 เซนติเมตร ปลายหลอดผายออกเป็นกลีบแยกตั้งฉากกับก้านดอกเมื่อดอกบาน มีเกสรตัวผู้ 5 ถึง 6 อัน ก้านเกสรสั้นติดสลับเยื้องกับแฉกของกลีบดอกก้านและกลีบ อับละอองเกสรมี 2 พู แตกออกตามยาว ยอดเกสรตัวเมียมี 2 ก้านเกสรตัวเมียยาว มีรังไข่แยกออกเป็นช่อง (locules) ในแต่ละช่องมีไข่อยู่ 1 อัน ดังนั้นจึงพบว่าผลกาแฟส่วนใหญ่จะมีเมล็ด 2 เมล็ดเสมอ (สมศรี, 2538)

ผล ตั้งแต่ดอกกาแฟบานจนถึงผลแก่ใช้เวลาประมาณ 6 ถึง 8 เดือน ผลกาแฟเป็นผลแบบ drupe ผลเดี่ยว รูปร่างค่อนข้างรีขนาดกว้างประมาณ 1 ถึง 1.3 เซนติเมตร ยาว 1.5 เซนติเมตร มีก้านผลสั้น ผลดิบมีสีเขียว ผลสุกมีสีแดงหรือสีเหลืองขึ้นอยู่กับพันธุ์ ลักษณะผลประกอบด้วย 3 ส่วน (1) ส่วนผลที่เป็นเปลือก (2) ส่วนที่เป็นเนื้อบางๆ สีเหลืองหรือสีแดงอาจมีรสหวานเล็กน้อยเมื่อสุก (3) ส่วนในสุดเรียกว่า กะลา เป็นส่วนที่บางแต่แข็งหุ้มเมล็ดเอาไว้ซึ่งปกติมี 2 เมล็ดต่อ 1 ผล บางผลอาจมีเมล็ดใหญ่เมล็ดเดียวหรือมีเมล็ดใหญ่ 1 เมล็ด เล็ก 1 เมล็ด ซึ่งอาจเกิดจากความล้มเหลวในการผสมเกสร ผลกาแฟจะแก่ และเริ่มเก็บเกี่ยวได้ตั้งแต่เดือนพฤศจิกายนจนถึงเดือนกุมภาพันธ์ (สมศรี, 2538 ; อักษร และพัฒนพันธุ์, 2537 ; Cambrony, 1992)

เมล็ด มีรูปร่างกลมเรียวยาว 8.5 ถึง 12.5 มิลลิเมตร ผลส่วนใหญ่มี 2 เมล็ดประกบกัน เหมือนไข่ผ่าซีกด้านในของเมล็ดจะมีร่องตรงกลางเมล็ดจะอยู่ภายในเปลือกหุ้มเมล็ดนี้ เรียกว่า กะลา (parchment) เมล็ดที่มีเปลือกหุ้มอยู่เรียกว่ากาแฟกะลา (parchment coffee) เมื่อกะเทาะเอากะลาออกก็จะได้ส่วนของเมล็ดกาแฟที่เรียกว่า สารกาแฟ (coffee bean) เมื่อยังสดอยู่จะมีสีขาวเมื่อแห้งมีสีเขียวอ่อน จึงมักเรียกว่า green coffee ถ้าเก็บไว้นานๆ ก็จะค่อยๆ เปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล (อนันต์, 2522 ; อักษร และพัฒนพันธุ์, 2537) เมื่อนำกาแฟคั่วกะลาไปตากแห้งจะเสียน้ำหนักไปประมาณร้อยละ 80 แต่เมื่อนำไปคั่วเป็นกาแฟชงรับประทาน จะได้เนื้อกาแฟเพียงร้อยละ 13.60 ของน้ำหนักสดที่เริ่มเก็บต้นใหม่ๆ (นพรัตน์, 2536)

2.2 อิทธิพลที่มีผลต่อการเจริญเติบโต ลักษณะกายวิภาค และปริมาณคาเฟอีนของกาแฟอาราบิก้า

2.2.1 แสง

แสงเป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญในการสังเคราะห์แสง ซึ่งเป็นกระบวนการสร้างอาหารเพื่อใช้ในการเจริญเติบโตและสร้างผลผลิตของพืช (สมบุญ, 2544) แสงมีผลต่อการเจริญเติบโตโดยตรงต่อกระบวนการสังเคราะห์แสง ซึ่งเป็นกระบวนการรากฐานการได้มาซึ่งพลังงานอันเป็นปัจจัยโดยตรงในการควบคุมการเจริญเติบโตของพืช ใบพืชที่อยู่นอกทรงพุ่มที่ได้รับแสงแดดเต็มที่ต่างจากใบที่อยู่ในทรงพุ่มทึบทั้งรูปร่างและกิจกรรมภายใน

Kurmar and Tieszen (1976) พบว่า การสังเคราะห์แสงของกาแฟจะเริ่มเกิดขึ้น ขณะที่ได้รับพลังงานแสงเพียง 18 $\mu Em^{-2}s^{-1}$ เมื่อพลังงานแสงเพิ่มขึ้นเป็น 27 $\mu Em^{-2}s^{-1}$ อัตราการสังเคราะห์แสงจะเพิ่มขึ้นเป็นเส้นตรง จนกระทั่งถึงพลังงานแสง 300 $\mu Em^{-2}s^{-1}$ อัตราการสังเคราะห์แสงจะเพิ่มขึ้น ในอัตราที่ไม่เป็นเส้นตรงจนถึงจุดสูงสุดที่พลังงาน 600 $\mu Em^{-2}s^{-1}$ อัตราการสังเคราะห์แสงคงที่ไปจนถึงระดับพลังงาน 1,200 $\mu Em^{-2}s^{-1}$ หลังจากนั้นอัตราการสังเคราะห์แสงจะลดลง ซึ่งสาเหตุอาจจะมาจากเมื่อใบกาแฟได้รับพลังงานมากเกินไป ทำให้ปริมาณคลอโรฟิลล์ลดน้อยลง (Akunda and Kumar, 1979) Venkatarmmianan (1988) รายงานถึงประสิทธิภาพของใบกาแฟอาราบิก้าที่ใช้ในการสังเคราะห์แสง พบว่า ใบกาแฟคู่ที่ 3 และ 4 อยู่ในสภาพที่แก่สมบูรณ์ที่สุด (physiologically mature) ส่วนใบกาแฟคู่ที่ 6 มีอัตราการสังเคราะห์แสงลดลง และยังรายงานเพิ่มเติมว่าอัตราการสังเคราะห์แสงในใบมีความสัมพันธ์ไปในทางเดียวกันกับปริมาณคลอโรฟิลล์ และความหนาแน่นของปากใบ แต่ความสัมพันธ์ในกระบวนการหายใจจะเป็นไปในทางตรงข้าม ความเข้มแสงที่สูงเกินไปจะมีผลโดยตรงต่อการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิใบเป็นผลให้เกิดการชะงักการเจริญเติบโตและคลอโรฟิลล์ในใบถูกทำลาย ทำให้ปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบลดลง

ตามธรรมชาติกาแฟอาราบิก้าเกิดตามร่มเงาของไม้ป่า จะมีความทนต่อความแรงกล้าของแสงแดดได้ต่ำ แสงที่จำเป็นในการสังเคราะห์แสงจะมีความเข้มแสงที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตอยู่ในระดับ 600 $\mu Em^{-2}s^{-1}$ ในใบสภาพกลางแจ้ง และ 300 $\mu Em^{-2}s^{-1}$ ในใบสภาพในร่ม ในขณะที่ความเข้มแสงในเขตร้อนมีถึง 2,500 $\mu Em^{-2}s^{-1}$ การที่กาแฟได้รับแสงที่เข้มเกินไปและอุณหภูมิที่สูงเกินไปจะทำให้การสังเคราะห์แสงผิดปกติ โดยจะไปทำให้คลอโรฟิลล์ถูกทำลาย อุณหภูมิที่เหมาะสมในการสังเคราะห์แสงเท่ากับ 20-25 องศาเซลเซียส แต่ในสภาพเขตร้อนจะสูงถึง 35 ถึง 40 องศาเซลเซียส เป็นเหตุทำให้อัตราการสังเคราะห์แสงโดยรวมลดลง เนื่องจากอุณหภูมิสูงเกินไป และที่อุณหภูมิเกิน 45 องศาเซลเซียส จะทำให้อัตราการสังเคราะห์แสงของใบกาแฟหยุดชะงักอย่างถาวร (Cannell, 1985) วรวิทย์ (2531) พบว่าแปลงกาแฟของสถานีทดลองเกษตรที่สูงขุนช่างเคี่ยน จังหวัดเชียงใหม่ สูงจากระดับน้ำทะเล 1,250 เมตร มีความเข้มแสงในฤดูฝน 1,700 $\mu Em^{-2}s^{-1}$ ฤดูหนาว 1,400 $\mu Em^{-2}s^{-1}$ และฤดูร้อนสูงถึง 2,000 $\mu Em^{-2}s^{-1}$ ซึ่งจะเห็นได้ว่าเป็นความเข้มแสงเกินกว่าที่ต้นกาแฟต้องการมาก

ความเข้มของแสงนอกจากจะมีผลต่อลักษณะการเจริญเติบโตแล้วยังมีผลต่อความสูงของลำต้น เนื่องจากแสงจะชะลอการขยายตัวของเซลล์ในแนวดิ่ง โดยจะมีผลมากน้อยขึ้นอยู่กับความเข้มของแสง นอกจากนี้การเพิ่มความเข้มของแสงหรือลดความเข้มของแสงจะส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงการเจริญเติบโตในด้านอื่น ๆ (อานนท์, 2534) เช่น การเพิ่มความเข้มของแสงจะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงทางโครงสร้างดังนี้ ลำต้นหนา มีการเจริญของเนื้อเยื่อลำเลียง และพยุงดีขึ้น

พื้นที่ใบลดลง แต่ใบหนาขึ้น มีปล้องสั้นลง มีการแตกแขนงมากขึ้น มีช่องว่างระหว่างเซลล์น้อยลง มีชั้นของคิวตินและผนังเซลล์หนาขึ้น มีปากใบลดลง จำนวนคลอโรพลาสต์ลดลง และมีขนาดเล็กลง มีจำนวนชั้นของเซลล์ที่อยู่ระหว่างผิวใบทั้งสองด้าน (Palisade parenchyma) ลดลง มีน้ำหนักแห้งเพิ่มขึ้น

ความเข้มของแสงเพิ่มขึ้น พลังงานของแสงจะส่งผลให้ใบพืชมีอุณหภูมิสูงขึ้น และคายน้ำมากขึ้น เซลล์คุมจะขาดน้ำและปากใบจะปิดในที่สุด (Meidner and Mansfield, 1968 ; Davies and Kozlowski, 1974) นอกจากนี้ Kumar (1979) ยังรายงานว่า ปากใบกาแฟจะเริ่มเปิดในช่วงที่ความเข้มของแสงประมาณ 300 $\mu Em^{-2}s^{-1}$ และเปิดมากที่สุดที่ความเข้มแสง 600 $\mu Em^{-2}s^{-1}$ ในสภาพธรรมชาติที่มีความเข้มแสงสูงการเปิดของปากใบจะลดลง และอุณหภูมิของกาแฟในขณะนั้นจะสูงกว่าอุณหภูมิของอากาศประมาณ 10 องศาเซลเซียส นอกจากนี้ปริมาณคลอโรฟิลล์ต่อตารางเซนติเมตรของใบที่อยู่ในร่มยังสูงกว่าใบที่อยู่กลางแจ้งหรือได้รับแสงแดดเต็มที่ (Cannell, 1985) โดยใบที่มีอัตราการสังเคราะห์แสงสูงสุด คือ ใบคู่ที่ 4 และ 5 จากปลายยอดซึ่งจะมีอัตราการสะสมคาร์บอนไดออกไซด์ประมาณ 9.5 $mgCO_2dm^{-2}hr^{-1}$ (Kumar and Tieszen, 1976)

Clowes and Allison (1982) รายงานว่าใบกาแฟที่ปลูกในสภาพกลางแจ้งจะมีปริมาณผลผลิตมากกว่าต้นที่ปลูกในร่มเงา ถึงแม้ว่าต้นที่ปลูกในร่มเงาจะให้ขนาดของสารกาแฟที่มากขึ้น แต่น้ำหนักผลผลิตรวมจะไม่แตกต่างกับที่ปลูกกลางแจ้ง Castro et al. (1983) พบว่าใบกาแฟที่ปลูกในสภาพกลางแจ้งจะมีการสะสมธาตุไนโตรเจนในปริมาณสูง ส่วนใบในร่มจะมีการสะสมฟอสฟอรัส แคลเซียม และสังกะสี ในปริมาณสูง Huxley (1967) กล่าวว่าต้นกล้ากาแฟอาราบิก้าที่ปลูกภายใต้ระดับความเข้มแสงปานกลางจะมีน้ำหนักแห้งและพื้นที่ใบต่อต้นสูงกว่ากาแฟที่ปลูกภายใต้ระดับความเข้มแสงสูงหรือในสภาพกลางแจ้ง แสดงว่าในสภาพกลางแจ้ง และสภาพร่มเงามากใบกาแฟจะมีอัตราการสังเคราะห์แสงต่ำกว่าใบที่ได้รับแสงปานกลาง

การลดความเข้มแสงโดยการให้ร่มเงาในแปลงปลูกกาแฟจะส่งผลกระทบต่อการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตด้วยดังที่ Willey (1975) กล่าวว่า การให้ร่มเงาแก่แปลงปลูกกาแฟจะทำให้ผลผลิตกาแฟลดลง เนื่องจากกลไกตามธรรมชาติของพืชที่จะต้องปรับตัวให้เกิดความสมดุลกับปริมาณอาหารที่พืชสะสมและธาตุอาหารที่พืชสามารถดูดไปใช้ได้ เพื่อลดอันตรายอันอาจเกิดจากการให้ผลผลิตมากเกินไปเช่นเดียวกับ Cannell (1985) ที่ว่าอาการตายยอดในกาแฟเกิดจากปริมาณธาตุอาหารภายในต้นกาแฟอยู่ในสภาพที่ไม่สมดุลย์กันระหว่างการสร้างอาหารและการใช้อาหาร ผลของร่มเงาต่อการเจริญของกาแฟ Vander Vossen (1988) อธิบายไว้ว่าการปลูกกาแฟภายใต้สภาพร่มเงาที่เหมาะสมจะทำให้ปริมาณคลอโรฟิลล์ต่อพื้นที่ใบมีมากกว่าทำให้ประสิทธิภาพการสังเคราะห์แสงสูงกว่า การสร้างตาดอกลดลงทำให้ติดผลน้อยกว่ากลางแจ้งทำให้สมดุลของการส่ง

คาร์โบไฮเดรตที่ได้จากการสังเคราะห์แสง และเกลือแร่ที่ดูดจากรากไปที่ผลดีกว่าการติดผลมาก ๆ การติดผลมากทำให้สมดุลย์นี้เสียไป กาแฟจึงเกิดอาการกิ่งและยอดแห้ง (die back) ได้ง่าย แต่อย่างไรก็ตามพืชร่มเงาที่หนาแน่นเกินไปก็มีผลเสียกล่าวคือเมื่อเกิดภาวะขาดน้ำในฤดูแล้งจะเกิดความเครียดจากการขาดน้ำอย่างรุนแรงได้ (Op de laak, 1992)

ระบบการปลูกกาแฟในประเทศไทยระยะแรก ๆ ส่งเสริมให้ปลูกกาแฟในระบบเปิดไม่มีร่มเงา ซึ่งต่อมาเกิดปัญหาตามมามากมาย เช่น โรคเหี่ยว โรคกิ่งและยอดแห้งตาย หนอนเจาะลำต้น ภายหลังจึงเห็นให้เกษตรกรปลูกกาแฟในร่มซึ่งจะช่วยลดปัญหาเหล่านี้ได้มาก (วราพงษ์ และคณะ, 2542) ธีระเดช และคณะ (2541) ได้ทำการวิเคราะห์ระบบการปลูกกาแฟอาราบิก้าทางภาคเหนือตอนบนของประเทศไทยในปัจจุบันพอจะแบ่งเป็น 3 ระบบ คือ ระบบการปลูกกาแฟอย่างเดียว ระบบการปลูกกาแฟร่วมกับพืชอื่นประกอบด้วยไม้ป่า เมี่ยง ไม้ผลเศรษฐกิจ และระบบการปลูกกาแฟในสวนหลังบ้าน วราพงษ์ และคณะ (2542) กล่าวว่ากาแฟเป็นพืชยืนต้นที่สามารถปลูกเพื่อพัฒนาเป็นป่าไม้ได้เป็นอย่างดี ทั้งในด้านการอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติบนที่สูง ระบบการผลิตกาแฟอาราบิก้าบนที่สูงที่เหมาะสมต่อการอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติในระบบการเกษตรแบบยั่งยืนนั้น การผลิตกาแฟอาราบิก้าในระบบร่วมกับพืชอื่น ดีกว่าระบบการผลิตกาแฟอาราบิก้าอย่างเดียวเพราะมีความหลากหลายของหลายพืชหลายชนิดในระบบ โดยเฉพาะการผลิตกาแฟร่วมกับไม้ผลเศรษฐกิจ ซึ่งเป็นการลดความเสี่ยงทางด้านการตลาดผลผลิตของพืชต่าง ๆ ในระบบโดยพืชต่างๆ ในระบบจะต้องเกื้อกูลกันในแง่ของการบังร่มเงาไม่ให้ร่มเงาบดบังต้นกาแฟหนาทึบมากเกินไป โดยการจัดระยะปลูกของไม้ผลต่างๆ ที่ร่วมกับกาแฟให้เหมาะสม การปลูกกาแฟกลางแจ้งจะมีโรคและแมลงเข้าทำลายต้นกาแฟมาก แต่ถ้าในสภาพภายใต้ร่มเงาที่หนาทึบเกินไปก็ไม่เหมาะสม เพราะกาแฟไม่เจริญเติบโตทางกิ่งก้านจะมีขนาดเล็ก หรือเจริญเติบโตทางลำต้นมากเกินไปจนไม่ติดผล กาแฟที่ปลูกในร่มเงาปานกลาง (30 ถึง 50%) จะมีการเจริญเติบโตได้ดี ไม่มีโรคและแมลงรบกวนมากนัก และเกิดผลมากโดยไม่เป็นโรคผลไหม้ หรือกิ่งและยอดแห้ง นอกจากการปลูกกาแฟร่วมกับไม้ผลเศรษฐกิจ ยิ่งสะดวกในการจัดการ ด้านต่างๆ เช่น การให้น้ำ ใส่ปุ๋ย การกำจัดวัชพืช ไปพร้อมกันโดยไม่แยกการจัดการในแต่ละพืช ช่วยลดแรงงาน และต้นทุนการผลิตไปด้วย ส่วนระบบการผลิตกาแฟแบบสวนหลังบ้านนั้น เป็นการเสริมรายได้ ให้กับเกษตรกรผู้ปลูกได้ (วราพงษ์ และคณะ, 2542)

2.2.2 อุณหภูมิ

อุณหภูมิมีความสัมพันธ์กับพลังงานแสงซึ่งส่งผลกระทบต่อการสังเคราะห์แสงของพืช Kumar (1979) พบว่า อุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการสังเคราะห์แสงของใบกาแฟอาราบิก้า จะอยู่ในช่วงระหว่าง 20 ถึง 25 องศาเซลเซียส และพลังงานแสงที่พอเหมาะจะอยู่ประมาณ 600 $\mu Em^{-2}s^{-1}$

หากพลังงานของแสงเพิ่มขึ้นจะทำให้อุณหภูมิใบสูงขึ้น การสังเคราะห์แสงจะลดลง แต่ถ้าทำให้อุณหภูมิใบมีค่าต่ำคงที่ การเพิ่มของพลังงานแสงจะไม่ทำให้อัตราการสังเคราะห์แสงลดลง และถ้าปรับพลังงานแสงให้คงที่ 300 $\mu Em^{-2}s^{-1}$ ที่อุณหภูมิต่ำประมาณ 10 องศาเซลเซียส จะมีอัตราการสังเคราะห์แสงประมาณ 4 $mgCO_2dm^{-2}h^{-1}$ อัตราการสังเคราะห์แสงนี้จะเพิ่มขึ้นในอัตราที่คงที่ ถ้ามีการเพิ่มอุณหภูมิ จนถึงอุณหภูมิที่ 20 องศาเซลเซียส หลังจากนั้นอัตราการเพิ่มจะน้อยลงและมีจุดสูงสุดที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส (Cannell, 1985) อุณหภูมิที่ 45 องศาเซลเซียส อัตราการสังเคราะห์แสงของใบกาแฟ จะหยุดลงอย่างสิ้นเชิง ทั้งนี้เพราะอุณหภูมิใบที่สูงเกินกว่าจุดที่เหมาะสมจะมีผลให้ปากใบปิด เนื่องจากมีการสะสมคาร์บอนไดออกไซด์ขึ้นภายในช่องว่างระหว่างเซลล์ในใบ (Heath and Mansfield, 1969)

อุณหภูมิเป็นปัจจัยสำคัญในการควบคุมกระบวนการเมตาโบลิซึมและปฏิกิริยาเคมีภายในเซลล์พืชที่ส่งผลออกมาเป็นการเติบโตของพืชทั้งต้น เพราะฉะนั้นอัตราการเจริญเติบโตและผลผลิตของพืชจึงขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ อุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโตของกาแฟจะอยู่ระหว่าง 15 ถึง 25 องศาเซลเซียส แต่อุณหภูมิในสภาพแปลงปลูกจะขึ้นกับปัจจัยหลายอย่าง เช่น สภาพแสงในช่วงวัน ความชื้น ระดับความสูงของพื้นที่ ความหนาแน่นของต้นกาแฟ และทิศทางการปลูก โดยทั่วไปอุณหภูมิในตอนกลางวันที่เหมาะสมต่อการเจริญของกาแฟอาราบิก้าควรอยู่ประมาณ 25 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิกลางคืนควรอยู่ประมาณ 15 องศาเซลเซียส ซึ่งที่หนาวเย็นบนที่สูงจะทำให้กาแฟมีการสร้างสารกาแฟที่มีคุณภาพดีมาก เมื่อเปรียบเทียบกับการปลูกในพื้นที่ ที่ต่ำลงมา มีอุณหภูมิสูงกว่า 30 องศาเซลเซียส อัตราการสังเคราะห์แสงของใบจะลดลง ใบจะแสดงอาการเหลือง และร่วงหล่นในที่สุด หากกาแฟได้รับความเย็นในตอนกลางคืนสลับกับความร้อนในตอนกลางวันก็จะทำให้ใบกาแฟมีขอบใบสีเหลืองและเจริญเติบโตช้า กาแฟที่ปลูกในภาคเหนือมักจะประสบกับปัญหาในช่วงฤดูร้อนหรือปลายฤดูหนาว ทำให้ต้นกาแฟชะงักการเจริญเติบโต ต้นโทรม ดังนั้นการเลือกพื้นที่ปลูกจึงควรคำนึงถึงสภาพร่มเงาธรรมชาติหรือการบังร่มเงาแก่กาแฟเพื่อลดผลเสียหายที่เกิดจากอุณหภูมิสูงที่จะเกิดขึ้นในแปลงในช่วงนี้

Cannell (1971) พบว่าใบกาแฟที่อยู่กลางแจ้ง จะมีอุณหภูมิใบสูงกว่าใบที่อยู่ร่มเงา 10 ถึง 15 องศาเซลเซียส และถ้าใบได้รับแสงแดดจัดนานเกินไปจะก่อให้เกิดอาการใบเหลืองเนื่องจากคลอโรฟิลล์ถูกทำลายส่งผลให้กระบวนการสังเคราะห์แสงต่ำประมาณ 7 $mmoleCO_2m^{-2}s^{-1}$ ที่ระดับอุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ส่วนใบที่อยู่ในร่มมีปริมาณการสังเคราะห์แสงสุทธิสูงกว่าถึงประมาณ 2 เท่า แต่จะมีค่าลดลงเมื่อเพิ่มอุณหภูมิใบเป็น 25 องศาเซลเซียส (Cannell, 1985)

การให้ร่มเงาแก่แปลงปลูก จะส่งผลต่อสภาพแวดล้อม ตลอดจนประสิทธิภาพของต้นกาแฟด้วย Willey (1975) รายงานว่า การให้ร่มเงาจะทำให้ผลผลิตของพืชลดลง ทั้งนี้เพราะร่มเงามีผลทำ

ให้ประสิทธิภาพการสร้างอาหารของพืชต่ำลง ในกรณีของกาแฟ Kimermia and Njoroge (1988) กล่าวว่า การให้ร่มเงาจะช่วยให้กาแฟสามารถให้ผลผลิตได้ยาวนานขึ้น และจะช่วยลดอัตราการตายยอด (die back) ได้ ร่มเงาจะช่วยลดอุณหภูมิสูงสุด และต่ำสุดในรอบวันได้ นอกจากนี้ร่มเงาจะช่วยลดอุณหภูมิอากาศลงได้ ซึ่งจะมีผลทางอ้อมไปถึงระดับอุณหภูมิของใบกาแฟ Kumar and Tieszen (1976) รายงานว่า อัตราการสังเคราะห์แสงของใบกาแฟจะลดลงถ้ามีอุณหภูมิผิวใบสูงกว่า 25 องศาเซลเซียส การให้ร่มเงาแก่แปลงปลูกจะช่วยลดอุณหภูมิดินได้ ซึ่งจะทำให้อัตราการระเหยของน้ำและการสลายตัวของสารอินทรีย์ในดินลดลงด้วย (Willey, 1975) ดังนั้นจะเห็นได้ว่าการที่แปลงปลูกพืชได้รับสภาพร่มเงา จะมีผลทำให้สภาพแวดล้อมต่างๆ ที่พืชได้รับเปลี่ยนแปลงไปได้

2.2.3 น้ำและความชื้น

น้ำมีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืช ทั้งทางตรงและทางอ้อม เช่น

1.น้ำมีผลทางตรงต่อการเจริญเติบโต เช่น การเพิ่มขนาดของเซลล์ถ้าพืชขาดน้ำเซลล์ที่เกิดมาใหม่จะไม่สามารถเพิ่มขนาดได้ ทำให้เซลล์มีขนาดเล็กลง ต้นพืชจะแคระลง

2.น้ำเป็นปัจจัยสำคัญในการควบคุมกระบวนการทางสรีรวิทยาและกระบวนการทางชีววิทยา เช่น การสังเคราะห์แสง การหายใจ การดูดแร่ธาตุ การสังเคราะห์องค์ประกอบภายในเซลล์ กระบวนการเหล่านี้จะเกิดในอัตราต่ำหรือชะงักได้ ถ้าหากเซลล์อยู่ในสภาพน้ำไม่เพียงพอ ทำให้พืชชะงักการเจริญเติบโตได้

3.น้ำเป็นปัจจัยในการลำเลียงอาหารและแร่ธาตุ ซึ่งมีผลต่อการเจริญเติบโตของพืช การพาแร่ธาตุนี้เป็นกระบวนการที่สำคัญกระบวนการหนึ่งของการคายน้ำ ในกระบวนการคายน้ำน้ำจะเป็นตัวพาแร่ธาตุอาหารที่จำเป็นต่างๆ ขึ้นไปสะสมบนใบได้มากและเพียงพอต่อความต้องการหรือไม่ขึ้นอยู่กับอัตราการคายน้ำ

Meidner and Mansfield (1968) รายงานว่าการเปิดของปากใบเกิดจากการเปลี่ยนแปลงความดันเต่ง (turgor pressure) ภายในเซลล์คุมผิวใบที่อยู่ข้างเคียง เมื่อได้รับน้ำและมีความเต่งเพิ่มขึ้นปากใบจะเปิด นอกจากนั้นยังมีปัจจัยภายนอกมาควบคุม เช่น สภาพแสง อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ สัมพันธ์ (2525) รายงานว่าการเปิดปากใบนับว่ามีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการควบคุมระดับของน้ำภายในต้นพืช โดยทั่วไปพืชมักเปิดปากใบในเวลากลางวันและปิดในเวลากลางคืน การที่เปิดปากใบในเวลากลางวัน นับว่าเป็นสาเหตุที่สำคัญที่ทำให้พืชคายน้ำทั้งนี้เกิดจากส่วนของใบ ซึ่งอยู่ภายใต้ปากใบนั้นมักจะเป็นช่องว่างว่างเรียกว่า substomatal cavity ปกติแล้วช่องว่างนี้จะเต็มไปด้วยไอน้ำ ทั้งนี้เพราะว่าผนังเซลล์ที่ติดกับช่องว่างดังกล่าวจะเปียกชื้นด้วยน้ำตลอดเวลา ด้วยเหตุนี้ค่าศักย์ของน้ำของช่องว่างใต้ปากใบจึงมักสูงกว่าค่าศักย์ของน้ำ ของอากาศ ดังนั้นในวันที่อากาศร้อนและความชื้นในบรรยากาศต่ำ ไอน้ำที่อยู่ในช่องว่างใต้ปากใบจะระเหย

ออกสู่ภายนอก เมื่อช่องว่างใต้ปากใบเสียน้ำ จะทำให้ค่าศักย์ของน้ำลดลง และน้ำจากผนังเซลล์ของเซลล์ที่มีค่าศักย์ของน้ำสูงกว่าแพร่เข้าไปแทนที่โดยหลักการเช่นเดียวกัน ผนังเซลล์จะไปดึงน้ำจากภายในเซลล์ พอเซลล์สูญเสียน้ำจะทำให้ความเข้มข้นของสารละลายเพิ่มขึ้นจึงไปดึงน้ำมาจากเซลล์อื่นที่มีความเข้มข้นน้อยกว่า โดยกระบวนการออสโมซีส ซึ่งกระบวนการดังกล่าวนี้จะเกิดติดต่อกันไปเรื่อยๆ จนถึงท่อน้ำของใบของลำต้น และของรากในที่สุด จากนั้นรากจะไปดึงน้ำมาจากดิน

Passioura (1982) รายงานว่าการเปิดปากใบมีสาเหตุหนึ่งมาจากศักย์ของน้ำในใบ และ Whitham et al. (1971) ได้รายงานว่าศักย์ของน้ำในใบสามารถใช้ทำนายการเปิดของใบได้ พิทักษ์ และเรืองยศ (2528) รายงานว่าศักย์ของน้ำในใบกาแฟจะมีค่าสูงสุดตอนเช้าตรู่ และมีค่าต่ำสุดในช่วงบ่าย ซึ่งค่าศักย์ของน้ำในใบมีความสัมพันธ์อย่างใกล้ชิดกับระดับอุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ด้วย เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงค่าศักย์ของน้ำในใบกาแฟ มีทิศทางสัมพันธ์กับการเปิดปากใบ โดย Kumar (1979) รายงานว่ากาแฟที่ปลูกในดินที่มีความชื้น 100 เปอร์เซ็นต์ ของความจุสนาม ปากใบจะเริ่มเปิดตั้งแต่เช้าประมาณ 8.00 นาฬิกา มีอัตราการเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ และสูงสุดเมื่อเวลา 12.00 นาฬิกา หลังจากนั้นอัตราจะคงที่ไปจนถึงเวลา 15.00 นาฬิกา แล้วเริ่มลดลงเมื่อเวลา 17.00 นาฬิกา ปากใบจะปิดเกือบหมด และปิดหมดภายหลังดวงอาทิตย์ตกดิน สำหรับปากใบกาแฟที่ปลูกในดินที่มีความชื้น 55 และ 90 เปอร์เซ็นต์ ของความจุสนามจะมีการตอบสนอง โดยปากใบจะเริ่มเปิดตั้งแต่เช้า อัตราการเปิดจะเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ และสูงสุดเมื่อเวลา 11.00 นาฬิกา แต่ในช่วงบ่ายจะปิดแล้วมาเปิดอีกครั้งหนึ่งในช่วงเย็น ส่วนกาแฟที่ปลูกในดินระดับความชื้น 45 เปอร์เซ็นต์ของความจุสนาม ปากใบจะเริ่มเปิดในช่วงเช้าจนถึง 9.00 นาฬิกา เท่านั้น หลังจากนั้นการเปิดปากใบจะมีน้อยตลอดทั้งวัน

การศึกษาบทบาทของน้ำในต้นพืช บางครั้งสามารถทำได้โดยให้พืชอยู่ในสภาวะขาดน้ำ ซึ่งสภาวะขาดน้ำ คือสภาวะที่เกิดขึ้นเนื่องจากอัตราการคายน้ำของพืชมากกว่าอัตราการดูดน้ำของพืช เป็นผลทำให้ปริมาณน้ำในพืชลดลงจนมีผลต่อสรีรวิทยาของพืช ซึ่งมีหลายกระบวนการของการตอบสนองที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับระดับความรุนแรงของการขาดน้ำและช่วงเวลาของการขาดน้ำ บางกระบวนการสามารถตอบสนองได้เร็ว ถึงแม้ว่าจะมีการขาดน้ำเพียงเล็กน้อย และเมื่อความรุนแรงของการขาดน้ำเพิ่มมากขึ้น จะทำให้มีผลเสียต่อกระบวนการทางสรีรวิทยารุนแรงขึ้นพร้อมส่งผลไปยังกระบวนการอื่นๆ ที่มีความสัมพันธ์ต่อเนื่อง (สายัณห์, 2537) Meinzer et al. (1990) รายงานว่าในสภาวะขาดน้ำของกาแฟอาราบิก้าแต่ละสายพันธุ์ หากลดค่าศักย์ของน้ำในใบจะทำให้การสังเคราะห์แสง และ carboxylation efficiency ลดลงตามไปด้วยทั้งการทดลอง ในร่มและกลางแจ้ง การลดลงของศักย์ของน้ำในใบจนมีค่า -18 MPa จะทำให้อัตราการสังเคราะห์แสง

ลดลง 60 % และหากค่าศักย์ของน้ำในใบลดลงจนมีค่า -3 MPa ปากใบจะปิด ควบคุมให้อัตราการสังเคราะห์แสงลดลงกว่า 90 % Da Matta, et al. (1993) ทำการทดลองภายใต้เรือนพลาสติก รายงานว่า ค่าศักย์ของน้ำในใบกาแฟลดลงจนถึง -16 MPa จะทำให้ความเต่งของเซลล์ลดลง (turgor loss) และถ้าลดลงจนถึง -20 MPa จะมีการปรับออสโมติก (osmotic adjustment) ประมาณ 22 เปอร์เซ็นต์ Maestri et al. (1995) รายงานว่าจะมีการสะสมโปรตีน และสารประกอบแอมโมเนียม เมื่อกาแฟเข้าสู่ภาวะขาดน้ำ Davies et al. (1998) รายงานว่าการเปลี่ยนแปลงค่าศักย์ของน้ำยังมีความสัมพันธ์กับปริมาณสารควบคุมการเจริญเติบโต และธาตุอาหาร เช่น ไนโตรเจน Tesha and Kumar (1978) พบว่าหากศักย์ของน้ำในใบลดลง ไนโตรเจนในพืชจะลดลงด้วย

2.2.4 ความชื้นสัมพัทธ์

Nunes (1988) รายงานการทดลองการปลูกกาแฟอาราบิก้าสายพันธุ์ Caturra อายุ 2 ปี ในห้องทดลองที่มีความชื้นสัมพัทธ์ 80 เปอร์เซ็นต์ แล้วเปิดให้แสงเข้ามามากกว่า 150 $\mu molm^{-2}s^{-1}$ ทั้งบางส่วนของการทดลองจะให้ร่มเงาที่มีแสงน้อยกว่า 50 $\mu molm^{-2}s^{-1}$ โดยทุกเงื่อนไขมีการควบคุมปริมาณ CO_2 ให้เท่ากัน ได้ผลการทดลองว่า ความชื้นสัมพัทธ์ เป็นปัจจัยที่มีความสัมพันธ์ กับการเปิดปากใบ และการสังเคราะห์แสงสุทธิ (net photosysthesis) โดยจะมีค่าสัมพันธ์ไปในทางเดียวกัน ขณะอยู่ที่กลางแจ้ง (>150 $\mu molm^{-2}s^{-1}$) มากกว่าในร่ม (< 50 $\mu molm^{-2}s^{-1}$) นอกจากนั้นใบกาแฟที่ปลูกในห้องทดลองที่ความชื้น 50 เปอร์เซ็นต์ จะมีความหนาและน้ำหนักใบต่อพื้นที่สูงกว่าในเรือนเพาะชำที่ความชื้น 80 เปอร์เซ็นต์ (โดยน้ำหนักใบต่อพื้นที่มีค่า 37 และ 29 กรัมต่อตารางเมตรตามลำดับ)

พิทักษ์ และเรืองยศ (2528) รายงานว่าค่าศักย์ของน้ำในใบกาแฟจะมีค่าสูงสุดตอนเช้าตรู่ และมีค่าต่ำสุดในช่วงบ่าย ซึ่งค่าศักย์น้ำในใบมีความสัมพันธ์อย่างใกล้ชิดกับระดับอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ด้วย Morales (1984) พบว่าที่ระดับ ความชื้น 80 และ 90 เปอร์เซ็นต์ FC กาแฟจะมีการเจริญเติบโตและให้ผลผลิตสูงกว่าปลูกในระดับ ความชื้น 60 และ 70 เปอร์เซ็นต์ FC ดังนั้นการรักษาระดับความชื้นให้อยู่ในระดับที่เหมาะสมไม่ว่าความชื้นในอากาศหรือความชื้นในดินด้วยการให้ร่มเงาจึงน่าจะช่วยให้ปากใบสามารถเปิดได้นานขึ้น

2.2.5 ร่มเงา

จากสภาพแหล่งกำเนิด กาแฟจะมีการเจริญเติบโตได้ดีภายใต้ร่มเงาของพืชชนิดอื่น แต่ปัจจุบันมีแหล่งปลูกหลายชนิด นิยมปลูกกาแฟในสภาพกลางแจ้ง ซึ่งความเข้มแสงและระดับอุณหภูมิจะมีผลอย่างมากต่อการแสดงออกทางสรีรวิทยาของกาแฟ จากการศึกษาพบว่า เมื่ออยู่ภายใต้สภาพร่มเงาปกติอุณหภูมิในใบกาแฟ จะต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศ ประมาณ 1 ถึง 2 องศาเซลเซียส (Kimermia and Njoroge 1988 ; Willey, 1975) แต่ถ้าปลูกกลางแจ้งอุณหภูมิใบจะสูงกว่าใบที่อยู่ในร่มเงาประมาณ 10-15 องศาเซลเซียส (Cannell, 1971) สภาพแสงและร่มเงาจะมีผลต่อ

ประสิทธิภาพการสังเคราะห์แสงของใบกาแฟด้วย โดย (Cannell, 1985) พบว่าใบกาแฟที่ได้รับแสงเต็มที่จะมีปริมาณการสังเคราะห์แสงต่ำคือ ประมาณ 7 $\mu moleCO_2m^{-2}s^{-1}$ ที่ระดับอุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ส่วนใบที่อยู่ในร่ม มีปริมาณการสังเคราะห์แสงสุทธิสูงกว่าถึงประมาณ 2 เท่า แต่จะมีค่าลดลงเมื่อเพิ่มอุณหภูมิใบเป็น 25 องศาเซลเซียส ทั้งนี้เพราะการปล่อยให้ใบได้รับแสงแดดจัดเป็นเวลานานๆ จะทำให้เกิดอาการใบเหลือง เนื่องจากคลอโรฟิลล์ถูกทำลาย ซึ่งมีผลให้ขบวนการสังเคราะห์แสงผิดปกติ

จะเห็นได้ว่าการให้ร่มเงาในแปลงกาแฟ นอกจากจะมีผลต่อการลดอุณหภูมิลดความเข้มแสง ช่วยลดการชะล้างพังทะลายของหน้าดินเนื่องจากน้ำฝน ลดปริมาณวัชพืชซึ่งเป็นปัญหากับพืชในแง่การแก่งแย่งอาหาร การบังแสงแล้ว การให้ร่มเงาจะมีผลต่อการให้ผลผลิตกาแฟลดลง การที่ผลผลิตลดลงนี้เป็นกลไกตามธรรมชาติของพืชที่จะปรับตัวให้เกิดความสมดุลย์กับอาหารสะสมและธาตุอาหารที่พืชจะสามารถดูดเอามาใช้ได้ เพื่อลดอันตรายอันเกิดจากการให้ผลผลิตมากเกินไป ซึ่งสนับสนุนข้อกล่าวของ Cannell (1985) ที่ว่าเมื่อปริมาณธาตุอาหารภายในต้นกาแฟอยู่ในสภาพที่ไม่สมดุลย์กันระหว่างการสร้างอาหาร และการใช้อาหารจะก่อให้เกิดอาการตายยอดในกาแฟได้

ความสำคัญ และความจำเป็นของร่มเงาในการที่จะควบคุมอุณหภูมิที่สูง และความเข้มของแสงที่มากเกินไป เพื่อให้เกิดความพอเหมาะพอดีต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของกาแฟอาราบิก้าในแถบลาตินอเมริกานั้น Rayner (1942) ได้อธิบายไว้ว่า เมื่อต้นกาแฟโดนแสงแดดเต็มที่ในขณะที่อุณหภูมิก็สูง ทั้งแสงแดด และอุณหภูมิสูงนี้จะไปเร่งการปรุงอาหารของกาแฟอย่างเต็มที่จนกระทั่งเกิดการดูดซับธาตุอาหารมากผิดปกติ ทำให้การติดดอกติดผลมากเกินกว่าความสามารถของต้นกาแฟจะรับได้ ถ้าจำนวนผลกาแฟติดมากเกินไปในปีหนึ่ง ในปีต่อมาจะทำให้คุณภาพของเมล็ดลดลงอย่างมาก เพราะว่าธาตุอาหารถูกใช้ไปอย่างรวดเร็วจนกระทั่งไม่เพียงพอสำหรับการออกดอกและติดผลในปีถัดไป ผลกาแฟที่สุกก่อนแก่จัดเนื่องจากโดนแสงแดดจัดเกินไป เมื่อนำไปคั่วจะทำให้เกิดรสขม ซึ่งเหมือนกับการเก็บเมล็ดกาแฟที่ไม่สุกจากกิ่งเช่นกัน การปลูกกาแฟอาราบิก้าโดยใช้ไม้บังร่มจะช่วยลดอุณหภูมิและความเข้มของแสงทำให้เมล็ดกาแฟมีคุณภาพสูงที่เรียกว่า mild coffee เนื่องจากการกำจัดแสงที่มากเกินไปนี้ออกไปทำให้สารที่ก่อให้เกิดรสชาติและกลิ่นที่หอมหวลเกิดการรวมตัวกันขึ้นในผลกาแฟ นอกจากนั้นอายุของต้นกาแฟและช่วงเวลาที่ให้ผลผลิตคุ้มทุนขึ้นอยู่กับการปรับสภาพแวดล้อมรอบๆ ต้นกาแฟให้เหมาะสม

Wellman (1961) ได้สรุปการศึกษาของ Nutman ในปี ค.ศ. 1937 ว่าใบกาแฟมีความไวต่อแสงแดดมาก ดังนั้นร่มเงาน่าจะเป็นผลดีกับกาแฟอาราบิก้ามากกว่าผลเสีย ในสภาพที่มีปริมาณน้ำฝนและความชื้นเพียงพอ การปลูกไม้บังร่มให้กาแฟอาราบิก้าเป็นสิ่งที่ดี ในบางพื้นที่ที่มีเมฆคลุมตลอดเวลาและมีหมอกด้วย ความจำเป็นเรื่องร่มเงาก็หมดไป Nutman ยังได้พบว่า การปรุงอาหาร

ของใบกาแฟจะเกิดขึ้นเมื่อใบได้รับแสงโดยตรง อัตราการปรุงอาหารจะเพิ่มขึ้นเมื่อได้รับแสงเพิ่มขึ้นตราบเท่าที่ความเข้มข้นของแสงยังต่ำอยู่ เมื่อความเข้มของแสงสูงมากขึ้น อัตราการปรุงอาหารของใบจะค่อย ๆ ลดลงจนกระทั่งไม่มีเลย อัตราการปรุงอาหารของใบกาแฟจะถึงจุดสูงสุดเมื่อความเข้มของแสงเป็น 1 ต่อ 3 ของความเข้มของแสงในตอนเที่ยงวัน ต้นกาแฟอาราบิก้าที่ปลูกกลางแจ้งจะเริ่มปรุงอาหารตั้งแต่พระอาทิตย์ขึ้นไปจนกระทั่งถึง 9.00 นาฬิกา ในกรณีที่ใบกาแฟโดนแสงแดดโดยตรง และจะหยุดปรุงอาหารไปจนกระทั่งถึง 18.00 นาฬิกา กาแฟที่ปลูกภายใต้ร่มเงาปานกลาง (50 เปอร์เซ็นต์) ปากใบจะเปิดและเริ่มปรุงอาหารในอัตราที่สูงพอสมควรตลอดทั้งวันที่มีแสงแดด อัตราการดูดซึมธาตุอาหารที่นำไปใช้ในการเจริญเติบโตของใบกาแฟที่อยู่ภายใต้ร่มเงาปานกลางจะสูงเป็น 3 เท่า ของใบกาแฟที่ปลูกอยู่กลางแจ้ง ถึงอย่างไรก็ตาม ร่มเงามีความจำเป็นอย่างยิ่งสำหรับกาแฟอาราบิก้าที่ปลูกอยู่บนพื้นที่ไม่สูงนักในเขตร้อนและฝนตกชุก (Harrar, 1956)

2.2.6 ปากใบ

ปากใบ เป็นตัวแสดงบทบาทที่สำคัญในการรักษาความสมดุลย์ของน้ำภายในต้นพืชและยังเป็นอวัยวะสำคัญสำหรับการแลกเปลี่ยนก๊าซในกระบวนการสังเคราะห์แสง และกระบวนการหายใจ ดังนั้นพฤติกรรมของปากใบ ภายใต้สภาวะต่างๆ จึงส่งผลโดยตรงต่อการเจริญเติบโต และผลผลิตของพืชด้วย (Kumar, 1979) การปิด-เปิดปากใบ เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของความดันเต่ง (turgor pressure) ภายในเซลล์คุมและผิวใบที่อยู่ข้างเคียงเมื่อได้รับน้ำและมีความดันเต่งเพิ่มขึ้นปากใบจะเปิดและจะมีปัจจัยมาควบคุมทั้งปัจจัยภายนอก เช่น สภาพแสง อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ (Meidner and Mansfied, 1968) และปัจจัยภายในเช่น การสะสมฮอร์โมนบางชนิดโดยเฉพาะอย่างยิ่ง abscissic acid (Wright and Hiron, 1969) และสภาพของน้ำภายในต้นพืชซึ่งมักจะวัดกันเป็นค่าศักย์ของน้ำภายในใบ leaf water potential (พัฒนพันธ์, 2535)

ดนัย (2533) กล่าวว่าอุณหภูมิสูงจะทำให้ปากใบปิด ซึ่งอาจจะเป็นเพราะการหายใจเพิ่มขึ้นทำให้ CO_2 ภายในใบมากขึ้น แต่ถ้าผ่านอากาศที่ปราศจาก CO_2 ไปที่ใบพืชที่อุณหภูมิ 30 ถึง 35 องศาเซลเซียส ปากใบจะเปิดได้ Kumar (1979) รายงานว่าปากใบของกาแฟ จะเริ่มเปิดเมื่อพระอาทิตย์ขึ้น และเปิดมากเมื่อเวลา 9.00 นาฬิกา แต่เมื่อถึงช่วงเวลาก่อนเที่ยงวัน จะมีการเพิ่มของอุณหภูมิใบและมีการลดลงของศักย์ของน้ำในใบต่ำ ช่วงอุณหภูมิอากาศประมาณ 25 องศาเซลเซียส ค่าการเปิดปากใบ (stomatal conductance) จะมีค่าสูงสุด และคงที่ไปจนกระทั่ง 30 องศาเซลเซียส แต่ถ้าอุณหภูมิสูงกว่านี้ค่าการเปิดปากใบจะลดต่ำลง นอกจากนี้ Jones (1983) กล่าวว่า ความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิของอากาศจะมีผลต่อค่า leaf to air vapour pressure deficit ($VPD^{leaf\ to\ air}$) เมื่อ $VPD^{leaf\ to\ air}$ มีค่าสูง มีผลทำให้ปากใบมีแนวโน้มที่จะคายน้ำมากขึ้นและปากใบจะปิด การตอบสนองจะแตกต่างกันไปตามชนิดของพืช สภาพการปลูก และสภาวะของน้ำภายในพืช

เมื่อความชื้นในดินสูง การเพิ่มความชื้นในบรรยากาศจะไม่มีผลต่อการเปิดของปากใบ แต่ถ้าความชื้นในดินต่ำหรือปานกลางเพิ่มความชื้นในบรรยากาศจะทำให้ปากใบเปิดมากขึ้น และการเปิดของปากใบที่มากขึ้นจะเกิดร่วมกับการเพิ่มปริมาณของน้ำในใบด้วย (Tesha and Kumar, 1978) ถ้าน้ำในดินลดลงหรือมีปัจจัยอื่นๆ ทำให้พืชดูดน้ำได้น้อย จะทำให้ผนังเซลล์ของใบแห้ง และจะลดปริมาณการคายน้ำลง ซึ่งถ้าขาดน้ำมากขึ้นปากใบจะปิด อัตราการคายน้ำจะลดลง (ดนัย, 2533) O'Toole et al. (1976) ; Davies et al. (1981) และ Sruamsiri (1984) รายงานว่า พฤติกรรมของปากใบ และอัตราการสังเคราะห์แสงของพืชจะไม่ถูกกระทบกระเทือนถ้าพืชขาดน้ำเพียงเล็กน้อย แต่ค่าศักย์ของน้ำภายในใบลดลงต่ำเรื่อย ๆ จนถึงจุด ๆ หนึ่ง ปากใบจะเริ่มปิดทันที จุดดังกล่าว เรียก critical leaf water potential

จากการศึกษาในพืชหลายชนิดพบว่า ความผันแปรของสภาพภูมิอากาศในแต่ละฤดูกาลทั้ง อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และความเข้มแสง มีอิทธิพลอย่างสำคัญต่อการปิดเปิดของปากใบ (Vince-prue, 1975) อันจะส่งผลต่อเนื่องไปยังประสิทธิภาพในการสร้างอาหารเพื่อการเจริญเติบโต และการให้ผลผลิตด้วย (Black, 1973) ในกาแฟ Kumar (1979) รายงานว่า ปากใบของกาแฟจะเปิดได้ดีในช่วงความเข้มแสงประมาณ 600 $\mu Em^{-2}s^{-1}$ ถ้าเกินกว่านี้ปากใบจะเปิดน้อยลง และอุณหภูมิของใบจะสูงมาก อุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการเปิดของปากใบคือ 25-30 องศาเซลเซียส จากการศึกษาของ (วรวิทย์ และพิทยา, 2531) ถึงพฤติกรรมปากใบกาแฟอาราบิก้า เนื่องจากอิทธิพลของฤดูกาล ได้ทดลองกับกาแฟ 5 พันธุ์ คือ Catimor LC 1662 , Red catuai, Mundo Novo, Icatu และ Red caturra ปลูกที่สถานีทดลองขุนช่างเคี่ยน จังหวัดเชียงใหม่ มีความสูงเหนือระดับน้ำทะเล 1,200 เมตร พบว่าการผันแปรของปัจจัยหลายชนิดทั้ง อุณหภูมิของอากาศ ความเข้มแสง และความชื้นสัมพัทธ์ในแต่ละฤดูจะมีผลร่วมกันทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของผลต่างของความดันไอน้ำระหว่างใบและอากาศซึ่งจะส่งผลต่อพฤติกรรมของปากใบด้วย กล่าวคือในฤดูร้อนค่าผลต่างของความดันไอน้ำระหว่างใบ และอากาศจะสูงกว่าในฤดูหนาว และฤดูฝนตามลำดับ ทำให้ปากใบกาแฟเปิดน้อยที่สุดในฤดูร้อน เพื่อลดปริมาณการสูญเสียน้ำจากใบ ในขณะที่ปากใบจะเปิดมากที่สุดในฤดูฝน การเปิดของปากใบกาแฟทั้ง 5 พันธุ์ จะคล้ายๆ กัน คือ จะเริ่มเปิดเมื่อเวลา 6.00 นาฬิกา และจะเปิดมากที่สุดเมื่อ 12.00 ถึง 14.00 นาฬิกา และจะลดลงอย่างรวดเร็วจนกระทั่งปิดเมื่อเวลา 18.00 นาฬิกา กาแฟพันธุ์ Icatu และ Red caturra นั้น ในช่วงฤดูหนาวจะมีการเปิดของปากใบมากกว่าในฤดูอื่น ๆ ทั้งนี้น่าจะมีสาเหตุมาจาก ในฤดูหนาวเป็นช่วงที่กาแฟติดผลใกล้ถึงระยะเวลาเก็บเกี่ยว และกาแฟ 2 พันธุ์นี้มีการติดผลดกมาก ทำให้มีการใช้อาหารเพื่อเลี้ยงผลมาก จึงมีผลต่อพฤติกรรมของปากใบ ซึ่งจะต้องเปิดมากขึ้น เพื่อให้มีอัตราการสังเคราะห์แสงสูงขึ้นด้วย ข้อมูลจากการทดลองนี้เป็นการบ่งชี้ถึงความจำเป็นในการให้น้ำกับต้นกาแฟระยะผลใกล้สุก ซึ่งจะตรงกับฤดูแล้งพอดี ทั้งนี้เพื่อให้ปาก

ใบเปิดได้เต็มที่ และมีการสังเคราะห์แสงมากขึ้นอันจะส่งผลโดยตรงต่อปริมาณและคุณภาพของผลกาแฟที่ได้

2.2.7 ปริมาณคลอโรฟิลล์

ปัจจัยต่างๆ ในสภาพแวดล้อมที่พืชขึ้นอยู่ เช่น แสง อุณหภูมิ น้ำ ธาตุอาหาร และออกซิเจน ล้วนมีผลกระทบต่อการสร้าง และการรักษาสภาพคลอโรฟิลล์ในใบพืชทั้งสิ้น การสังเคราะห์คลอโรฟิลล์เกิดจากการกระตุ้นของแสง แต่แสงที่มีความเข้มสูงเกินไปจะส่งผลให้ปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบพืชถูกทำลายได้

Akunda and Kumar (1979) กล่าวว่า ปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบกาแฟที่ปลูกในสภาพได้รับแดดจัด จะมีปริมาณคลอโรฟิลล์ต่ำกว่ากาแฟที่ปลูกในสภาพร่มเงา ปัจจัยด้านแสงมีความสำคัญต่อขบวนการสังเคราะห์แสง และเป็นปัจจัยหนึ่งที่กำหนดการให้ผลผลิตของพืช ปริมาณแสงที่ถูกจับยึดโดยคลอโรฟิลล์จะทำให้เกิดความแตกต่างในแง่ของการให้ผลผลิตของพืช ในขณะที่ช่วงระยะการเจริญเติบโตของพืชจะกำหนดปริมาณแสงสำหรับการสังเคราะห์แสง Gross (1991) ได้กล่าวว่า คลอโรฟิลล์เป็นเม็ดสีเขียวในพืชชั้นสูงใช้ในการสังเคราะห์แสง ซึ่งคลอโรฟิลล์ในพืชชั้นสูงจะประกอบด้วย คลอโรฟิลล์เอ และบี ในอัตรา 1 ต่อ 3 แต่คลอโรฟิลล์เอ เป็นองค์ประกอบหลัก คลอโรฟิลล์ทั้งเอ และบีจะเป็นส่วนประกอบหลักขององค์ประกอบ พลาสติด คลอโรฟิลล์นั้นไม่ละลายน้ำแต่ละลายในตัวทำละลายอินทรีย์ คลอโรฟิลล์เอมีสีเขียวแกมน้ำเงิน คลอโรฟิลล์บีมีสีเขียวแกมเหลือง เม็ดสีของพืชที่ละลายในตัวทำละลายต่างชนิดกัน จะแสดงคุณสมบัติในการดูดแสงต่างกันเล็กน้อย เช่น คลอโรฟิลล์เอ และคลอโรฟิลล์บี ที่ละลายใน อีเธอร์มีค่า absorption maxima ในช่วงแสงสีแดง ที่ 660 และ 643 นาโนเมตร ตามลำดับ แต่คลอโรฟิลล์เอ และคลอโรฟิลล์บีที่ละลายในอะซีโตนจะมีค่า absorption maxima ที่ 663 และ 645 นาโนเมตร ตามลำดับ (Hall and Rao, 1994)