ผลของสภาพป่าไม้ที่แตกต่างกันต่อคุณภาพเมล็ดกาแฟอาราบิก้า (*Coffea arabica* L.) ที่ปลูกในพื้นที่โครงการพระราชดำริ ในเขตพื้นที่บ้านขุนแตะ ตำบลดอยแก้ว อำเภอจอมทอง จังหวัดเชียงใหม่

กฤษณะ ทองศรี

ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาพืชไร่
มหาวิทยาลัยแม่โจ้
พ.ศ. 2565

ผลของสภาพป่าไม้ที่แตกต่างกันต่อคุณภาพเมล็ดกาแฟอาราบิก้า (*Coffea arabica* L.) ที่ปลูกในพื้นที่โครงการพระราชดำริ ในเขตพื้นที่บ้านขุนแตะ ตำบลดอยแก้ว อำเภอจอมทอง จังหวัดเชียงใหม่

กฤษณะ ทองศรี

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของความสมบูรณ์ของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาพืชไร่
สำนักบริหารและพัฒนาวิชาการ มหาวิทยาลัยแม่โจ้
พ.ศ. 2565

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยแม่โจ้

ผลของสภาพป่าไม้ที่แตกต่างกันต่อคุณภาพเมล็ดกาแฟอาราบิก้า
(*Coffea arabica* L.) ที่ปลูกในพื้นที่โครงการพระราชดำริ
ในเขตพื้นที่บ้านขุนแตะ ตำบลดอยแก้ว
อำเภอจอมทอง จังหวัดเชียงใหม่

กฤษณะ ทองศรี

วิทยานิพนธ์นี้ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของความสมบูรณ์ของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาพืชไร่

พิจารณาเห็นชอบโดย **อาจารย์ที่ปรึกษา**

อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก .....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิชญ์ภาส สังพาลี)
วันที่.....เดือน.....พ.ศ. .....

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เนตรนภา อินสลุด)
วันที่.....เดือน.....พ.ศ. .....

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....
(อาจารย์ ดร.จุฑามาศ อาจนาเสียว)
วันที่.....เดือน.....พ.ศ. .....

ประธานอาจารย์ผู้รับผิดชอบหลักสูตร .....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เนตรนภา อินสลุด)
วันที่.....เดือน.....พ.ศ. .....

สำนักบริหารและพัฒนาวิชาการรับรองแล้ว .....
(รองศาสตราจารย์ ดร.ญาณิน โอภาสพัฒนกิจ)
รองอธิการบดี
วันที่.....เดือน.....พ.ศ. .....

ชื่อเรื่อง ผลของสภาพป่าไม้ที่แตกต่างกันต่อคุณภาพเมล็ดกาแฟอาราบิก้า (*Coffea arabica* L.) ที่ปลูกในพื้นที่โครงการพระราชดำริ ในเขตพื้นที่บ้านขุนแตะ ตำบลดอยแก้ว อำเภอจอมทอง จังหวัดเชียงใหม่

ชื่อผู้เขียน นายกฤษณะ ทองศรี

ชื่อปริญญา วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาพืชไร่

อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิชญ์ภาส สังพาลี

บทคัดย่อ

กาแฟอาราบิก้าเป็นกาแฟที่นิยมบริโภคกันมากในปัจจุบัน ลักษณะที่ถูกพิจารณาในการประเมินคุณภาพของเมล็ดกาแฟ ได้แก่ ขนาดของเมล็ดกาแฟ และปริมาณคาเฟอีนในเมล็ดกาแฟ การปลูกกาแฟให้ได้คุณภาพของผลที่มีขนาดใหญ่ควรปลูกภายใต้สภาพร่มเงาไม้ป่า เนื่องจากมีความเข้มแสงและอุณหภูมิในพื้นที่ต่ำกว่าการปลูกสภาพกลางแจ้ง ทำให้ยืดระยะเวลาสุกแก่ของเมล็ด และสะสมอาหารในเมล็ดนานขึ้น แต่ภายใต้สภาพของป่าแต่ละพื้นที่ มีลักษณะ และองค์ประกอบของป่าที่แตกต่างกันออกไป ทำให้ยังไม่ทราบแน่ชัดว่าการปลูกกาแฟภายใต้ร่มเงาของป่าที่แตกต่างกัน ส่งผลต่อความผันแปรของผลกาแฟหรือไม่ และปัจจัยสภาพแวดล้อมใดในพื้นที่ที่ส่งผลต่อผลผลิตกาแฟ จึงเป็นที่มาของวัตถุประสงค์ในการศึกษาครั้งนี้ โดยทำการศึกษากาแฟอาราบิก้าที่ปลูกในพื้นที่โครงการฟาร์มตัวอย่างตามพระราชดำริ บ้านขุนแตะ ตำบลดอยแก้ว อำเภอจอมทอง จังหวัดเชียงใหม่ ป่าในพื้นที่เป็นประเภทของป่าดิบเขาระดับต่ำ ความสูงจากระดับน้ำทะเลอยู่ที่ 1,200 – 1,300 เมตร ทำการคัดเลือกแปลงปลูกกาแฟภายใต้สภาพร่มเงาไม้ป่า จำนวน 7 แปลง เพื่อเป็นตัวแทนกาแฟที่ปลูกภายใต้สภาพร่มเงาไม้ป่าที่มีลักษณะของป่าที่แตกต่างกัน จากการศึกษาพบว่า มีความแปรผันของขนาด และปริมาณคาเฟอีน ในเมล็ดกาแฟที่เก็บจากต่างพื้นที่ นอกจากนี้เมล็ดกาแฟที่เก็บจากพื้นที่ที่มีความหนาแน่นของเรือนยอดต่ำมีความกว้างของเมล็ดสูงที่สุดที่ 12.48 มิลลิเมตร ส่วนในด้านของปริมาณคาเฟอีนในเมล็ดกาแฟนั้น พบว่ามีความผันแปรแตกต่างกันในแต่ละแปลงปลูก ถึงแม้จะอยู่ในชั้นขนาดเมล็ดเดียวกัน และจากการศึกษาลักษณะของป่าในพื้นที่ที่ปลูกกาแฟ พบว่า ในแต่ละพื้นที่มีจำนวนต้นไม้ จำนวนชนิดพันธุ์ไม้ และค่าดัชนีความหลากชนิดแตกต่างกัน ส่งผลต่อปัจจัยสภาพแวดล้อมบางประการในพื้นที่ที่ทำการศึกษามีความแตกต่างกัน จากการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างผลผลิตกาแฟกับปัจจัยสภาพแวดล้อมบางประการที่ทำการศึกษาในพื้นที่ ทำให้ได้แบบจำลองเชิงเส้นทั่วไป 4 โมเดล ที่มีความสัมพันธ์ต่อผลผลิตกาแฟ โมเดลแรก เป็นปัจจัยสภาพแวดล้อมส่วนเหนือดิน ได้แก่ ความแตกต่างของความเข้มแสงในพื้นที่ จำนวนต้นไม้ในพื้นที่ ขนาดความโตต้นไม้

และพื้นที่หน้าตัดต้นไม้ โมเดลที่ 2 คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดิน ได้แก่ ความชื้นดิน การอุ้มน้ำของดิน ความหนาแน่นของดิน และค่าความเป็นกรดเป็นด่างในดิน โมเดลที่ 3 ธาตุอาหารหลัก ได้แก่ ไนโตรเจน และโพแทสเซียม และโมเดลที่ 4 ธาตุอาหารรอง ได้แก่ แคลเซียม แมกนีเซียม สังกะสี และแมงกานีส โดยแบบจำลองเชิงเส้นทั่วไปทั้ง 4 โมเดล ทำให้เห็นปัจจัยที่มีความสัมพันธ์ทั้งเชิงบวก และเชิงลบต่อผลผลิตกาแฟ รวมถึงสามารถนำไปใช้ในการทำนายพยากรณ์ผลผลิตของกาแฟได้

คำสำคัญ : กาแฟอาราบิกา, กาแฟที่ปลูกภายใต้ร่มเงาป่า, ขนาดเมล็ด, คาเฟอีน, ความเข้มแสง, คุณภาพเมล็ดกาแฟ

Title EFFECT OF FOREST CONDITIONS ON SEED QUALITY OF *COFFEA ARABICA* L. PLANTED IN THE ROYAL INITIATIVE PROJECT AREA IN KHUN TAE DOI KAEO SUB-DISTRICT, CHOM THONG DISTRICT, CHIANG MAI PROVINCE

Author Mr. Krissana Thongsri

Degree Master of Science in Agronomy

Advisory Committee Chairperson Assistant Professor Dr. Witchaphart Sungpalee

ABSTRACT

Arabica coffee is a widely-consumed coffee nowadays. The arabica coffee bean quality was assessed based on bean sizes and caffeine content. To obtain good bean quality, arabica coffee plants should be grown under the shade of forest trees. This was because the shade helped lowering light intensity and temperature for coffee plants which lead to the deceleration of bean maturity extending its nutrient accumulation period. However, there were differences among forest environmental conditions that could potentially affecting bean quality and this was not known. For this reason, this research aimed to study variation in coffee bean sizes and caffeine contents planting under different shade of natural forest tree and the effects of environmental factors on yield. The experiment focused on 7 arabica coffee planting plots within different forest shade conditions undergone different stages of restoration each consisted of coffee plants of the same age. These plots located in the royal initiative project area in Khun tae Doi kaeo sub-district, Chom thong District, Chiang mai province the lower hill evergreen forest at an altitude of 1,200- 1,300 kilometers The result showed that there were variabilities in size and caffeine content among arabica coffee seeds harvested from different plots. Coffee beans harvested from forest areas where the canopy was less dense had the highest seed width of 12.48 millimeters. On the other hand, caffeine content of the coffee beans varied among plots despite being in the same size category. In addition, forest

species composition of each plot were investigated and found that there were differences in number of trees, number of species, and diversity index values among plots, resulting in differences in environmental conditions among plots. Furthermore, analysis of the relationship between coffee yield and environmental factors found four types of generalized linear model relationship that could explain coffee yield. Model 1 suggested relationship between coffee yield and above ground factors, which included light intensity differences, numbers of tree, tree size, and tree basal area. Model 2 suggested relationship between coffee yield and soil physical and chemical properties, which included soil moisture, soil water holding capacity, bulk density and pH. Model 3 suggested relationship between coffee yield and the macronutrients, which included Nitrogen (N) and Potassium (K). Finally, model 4 suggested relationship between coffee yield and the micronutrients that consisted of Calcium (Ca), Magnesium (Mg), Zinc (Zn), and Manganese (Mn).These four general linear models showed both positive and negative relationships between these different factors and coffee yield, which could be used for the prediction of coffee yield.

Keywords : Arabica coffee, shade-grown Arabica coffee, Seed size, Caffein, Light intensity, Coffee Bean Quality

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้ได้รับความอนุเคราะห์ คำแนะนำ และความช่วยเหลือจากบุคคลหลายฝ่าย โดยเฉพาะอย่างยิ่งขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิชญ์ภาส สังพาลี อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก ที่ได้สละเวลา ให้ความรู้ คำปรึกษา ข้อชี้แนะ และติดตามความก้าวหน้าวิทยานิพนธ์ ตลอดจนให้ความดูแลความเอาใจใส่และความช่วยเหลือในหลาย ๆ สิ่งจนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เนตรนภา อินสลุด และอาจารย์ ดร.จุฑามาศ อาจนาเสียว ที่รับเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ตลอดจนให้คำแนะนำและคำปรึกษา ตลอดจนตรวจทานและแก้ไขข้อบกพร่องในการทำวิทยานิพนธ์

ขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาตราจารย์ ดร.นริศ ยิ้มแย้ม ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้คำแนะนำและคำปรึกษาในการแก้ไขวิทยานิพนธ์ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณคณาจารย์ เพื่อน ๆ พี่ ๆ น้อง ๆ และบุคลากรคณะผลิตกรรมการเกษตรที่ให้คำแนะนำ ให้ความช่วยเหลือ และอำนวยความสะดวกในระหว่างการทำวิทยานิพนธ์จนสำเร็จตามความมุ่งหมาย

ขอขอบคุณโครงการฟาร์มตัวอย่างตามพระราชดำริ บ้านขุนแตะ ตำบลดอยแก้ว อำเภอจอมทอง จังหวัดเชียงใหม่ และพี่เจ้าหน้าที่โครงการในพื้นที่ ที่อนุเคราะห์สถานที่พัก และบริการให้ความสบับสนุนช่วยเหลือในการเข้าไปทำการศึกษาเก็บข้อมูลในพื้นที่

และขอขอบพระคุณบิดา มารดา และครอบครัวที่ให้กำลังใจ ความห่วงใย และสนับสนุนในการศึกษา และเป็นแรงใจสำคัญให้ผู้วิจัยประสบความสำเร็จในการเรียน

กฤษณะ ทองศรี

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ค
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ
กิตติกรรมประกาศ ..... ช
สารบัญ ..... ซ
สารบัญตาราง ..... ญ
สารบัญภาพ ..... ฐ
สารบัญภาพผนวก ..... ฑ
บทที่ 1 บทนำ 1
ที่มาและความสำคัญ 1
วัตถุประสงค์ 2
ขอบเขตของการศึกษา 3
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 3
บทที่ 2 ตรวจเอกสาร 4
ความสำคัญกาแฟในเชิงเศรษฐกิจ 4
ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของกาแฟ 4
สายพันธุ์ของกาแฟอาราบิก้า 7
คุณภาพของเมล็ดกาแฟ 10
สภาพแวดล้อมในการปลูกกาแฟ 13
กาแฟภายใต้ร่มเงาป่า 24
บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีวิจัย 26
พื้นที่ทำการศึกษา 26

อุปกรณ์และวิธีการศึกษา 28
ขั้นตอนการศึกษาและวิธีการศึกษา 30
บทที่ 4 ผลการวิจัยและวิจารณ์ 38
การสำรวจลักษณะพื้นที่ศึกษา ลักษณะต้นกาแฟ พรรณไม้ และปัจจัยสภาพแวดล้อมเบื้องต้น ... 38
ความผันแปรของขนาดเมล็ดกาแฟที่ปลูกภายใต้ร่มเงาไม้ป่าธรรมชาติ 7 พื้นที่ 40
การศึกษาปัจจัยสภาพแวดล้อมในพื้นที่ปลูกกาแฟ 51
บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ 80
บรรณานุกรม 82
ภาคผนวก 91
ประวัติผู้วิจัย 99

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1 องค์ประกอบในเมล็ดกาแฟ 100 กรัม 7

ตารางที่ 2 ค่าเฉลี่ยของขนาดความโต (เซนติเมตร) และความสูง (เซนติเมตร) ของต้นกาแฟที่ปลูกภายใต้ร่มเงาไม้ป่าใน 7 พื้นที่ ในเขตพื้นที่บ้านขุนแตะ อำเภอจอมทอง จังหวัดเชียงใหม่ 38

ตารางที่ 3 ลักษณะร้อยละของความแตกต่างของความเข้มแสงบนเรือนยอดของต้นกาแฟ (%) และภายใต้ทรงพุ่มของต้นกาแฟ (%) ที่ปลูกภายใต้ร่มเงาไม้ป่าใน 7 พื้นที่ ของบ้านขุนแตะ อำเภอจอมทอง จังหวัดเชียงใหม่ 40

ตารางที่ 4 ค่าเฉลี่ยของขนาดผลกาแฟ และค่าประมาณที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ที่ปลูกภายใต้ร่มไม้ป่า 7 พื้นที่ โดยมีขนาดในด้านขนาดความกว้าง ความยาว ความหนาด้านประกบ และน้ำหนักเมล็ดกาแฟ 42

ตารางที่ 5 ความผันแปรของขนาดผลกาแฟในปี 2560 ใน 7 พื้นที่ ในลักษณะความกว้าง ความยาว ความหนาด้านประกบ และน้ำหนักเมล็ดกาแฟ 43

ตารางที่ 6 สัดส่วนของจำนวนเมล็ดกะลากาแฟในแต่ละพื้นที่ เมื่อแบ่งตามเกณฑ์ของกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ ปี 2552 44

ตารางที่ 7 เปรียบเทียบรูปแบบการแจกแจงความถี่ตามชั้นขนาดความเข้มข้นของคาเฟอีนในสารกาแฟแบบจับคู่พบกันหมดในแต่ละพื้นที่ โดยวิธีการ Kolmogorov-Smirnov test 47

ตารางที่ 8 ค่าเฉลี่ย และค่าประมาณของความเข้มข้นของคาเฟอีนในสารกาแฟ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ที่ปลูกภายใต้ร่มไม้ป่า 7 พื้นที่ 49

ตารางที่ 9 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของคาเฟอีน (มิลลิกรัมต่อกรัม) ของสารกาแฟใน 7 พื้นที่ 49

ตารางที่ 10 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของคาเฟอีนในสารกาแฟ (มิลลิกรัมต่อกรัม) เมื่อเปรียบเทียบในชั้นขนาดเมล็ดเดียวกัน จากแหล่งปลูก 7 พื้นที่ 50

ตารางที่ 11 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความเข้มข้นคาเฟอีนในสารกาแฟ (มิลลิกรัมต่อกรัม) จากแหล่งปลูก 7 พื้นที่ ในแต่ละชั้นขนาดเมล็ด 50

ตารางที่ 12 เปรียบเทียบการแจกแจงความถี่ตามชั้นขนาดความโตเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอก (DBH) ที่ระดับความสูง 130 เซนติเมตร ของต้นกาแฟทั้ง 3 พื้นที่ โดยวิธีการ Kolmogorov-Smirnov test 53

ตารางที่ 13 เปรียบเทียบการแจกแจงความถี่ตามชั้นขนาดความสูงต้นกาแฟ ทั้ง 3 พื้นที่ โดยวิธีการ Kolmogorov-Smirnov test 54

ตารางที่ 14 ค่าเฉลี่ยข้อมูลเชิงปริมาณและการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบ non-parametric ของต้นกาแฟในที่ปลูกภายใต้เรือนยอดไม้ป่าธรรมชาติ 3 พื้นที่ 56

ตารางที่ 15 จำนวนต้น (Density: trees) ความถี่ (Frequency: F) ความเด่นพื้นที่หน้าตัด (Ba: m^2) ความหนาแน่นสัมพัทธ์ (RDe: %) ความถี่สัมพัทธ์ (RF: %) ความเด่นสัมพัทธ์ (RDo: %) และ ค่าดัชนีความสำคัญทางนิเวศวิทยา (IVI: %) ของพรรณไม้ในแปลงพื้นที่ปลูกกาแฟภายใต้ร่มเงาไม้ป่า แปลงที่ 1 (เบ๊าะเดย์ 1) 58

ตารางที่ 16 จำนวนต้น (Density: trees) ความถี่ (Frequency: F) ความเด่นพื้นที่หน้าตัด (Ba: m^2) ความหนาแน่นสัมพัทธ์ (RDe: %) ความถี่สัมพัทธ์ (RF: %) ความเด่นสัมพัทธ์ (RDo: %) และ ค่าดัชนีความสำคัญทางนิเวศวิทยา (IVI: %) ของพรรณไม้ในแปลงพื้นที่ปลูกกาแฟภายใต้ร่มเงาไม้ป่า แปลงที่ 2 (เบ๊าะเดย์ 2) 60

ตารางที่ 17 จำนวนต้น (Density: trees) ความถี่ (Frequency: F) ความเด่นพื้นที่หน้าตัด (Ba: m^2) ความหนาแน่นสัมพัทธ์ (RDe: %) ความถี่สัมพัทธ์ (RF: %) ความเด่นสัมพัทธ์ (RDo: %) และ ค่าดัชนีความสำคัญทางนิเวศวิทยา (IVI: %) ของพรรณไม้ในแปลงพื้นที่ปลูกกาแฟภายใต้ร่มเงาไม้ป่า แปลงที่ 3 (แป๊ะโพ) 61

ตารางที่ 18 จำนวนต้นต่อพื้นที่ ดัชนีความหลากหลายของชนิดพรรณ Shannon – Wiener Index (H') จำนวนชนิดพันธุ์ไม้ ค่าเฉลี่ยความโตต้น และพื้นที่หน้าตัดของพรรณไม้ในพื้นที่ทั้ง 3 พื้นที่ 63

ตารางที่ 19 เปรียบเทียบการแจกแจงความถี่ตามชั้นขนาดความโตเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอก (DBH) ที่ระดับความสูง 130 เซนติเมตร ของต้นไม้ทั้ง 3 พื้นที่ โดยวิธีการ Kolmogorov-Smirnov test 64

ตารางที่ 20 เปรียบเทียบการแจกแจงความถี่ตามชั้นขนาดร้อยละความแตกต่างของความเข้มแสงบริเวณบนเรือนยอดของต้นกาแฟ โดยวิธีการ Kolmogorov-Smirnov test 66

ตารางที่ 21 เปรียบเทียบการแจกแจงความถี่ตามชั้นขนาดร้อยละความแตกต่างของความเข้มแสงบริเวณใต้ทรงพุ่มของต้นกาแฟ โดยวิธีการ Kolmogorov-Smirnov test 67

ตารางที่ 22 ค่าเฉลี่ยร้อยละความแตกต่างของความเข้มแสงในพื้นที่ปลูกกาแฟภายใต้เรือนยอดไม้ป่า68

ตารางที่ 23 ค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งของปริมาณซากพืช (ใบ และ กิ่ง) ที่ร่วงหล่นสะสมในพื้นที่ทั้ง 3 พื้นที่ (จากการสุ่มเก็บตัวอย่างขนาด 1x1 เมตร จำนวน 5 ซ้ำในแต่ละพื้นที่) 70

ตารางที่ 24 คุณสมบัติทางฟิสิกส์ของดิน บริเวณดินชั้นบนที่ระดับความลึก 0 – 15 เซนติเมตร ในพื้นที่ที่ปลูกกาแฟภายใต้ร่มเงาไม้ป่าธรรมชาติ 3 พื้นที่ 71

ตารางที่ 25 ปริมาณธาตุอาหารบริเวณดินชั้นบนที่ระดับความลึก 0 – 15 เซนติเมตร ในพื้นที่ที่ปลูกกาแฟภายใต้ร่มเงาไม้ป่าธรรมชาติ 3 พื้นที่ 72

ตารางที่ 26 คุณสมบัติทางฟิสิกส์ของดิน บริเวณดินชั้นล่างที่ระดับความลึก 15 - 30 เซนติเมตร ในพื้นที่ที่ปลูกกาแฟภายใต้ร่มเงาไม้ป่าธรรมชาติ 3 พื้นที่ 73

ตารางที่ 27 ปริมาณธาตุอาหารบริเวณดินชั้นล่างที่ระดับความลึก 15 – 30 เซนติเมตร ในพื้นที่ที่ปลูกกาแฟภายใต้ร่มเงาไม้ป่าธรรมชาติ 3 พื้นที่ 74

ตารางที่ 28 ผลวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างผลผลิตกาแฟ (กิโลกรัม ต่อ 400 ตารางเมตร) ร่วมกับปัจจัยสภาพแวดล้อมส่วนเหนือดินในพื้นที่ปลูกกาแฟ 3 พื้นที่ที่ปลูกภายใต้ร่มไม้ ด้วยแบบจำลองเชิงเส้นทั่วไป (Generalized linear model, GLM) 77

ตารางที่ 29 ผลวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างผลผลิตกาแฟ (กิโลกรัมต่อ 400 ตารางเมตร) ร่วมกับปัจจัยสภาพแวดล้อมคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดินในพื้นที่ปลูกกาแฟ 3 พื้นที่ที่ปลูกภายใต้ร่มไม้ ด้วยแบบจำลองเชิงเส้นทั่วไป (Generalized linear model, GLM) 77

ตารางที่ 30 ผลวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างผลผลิตกาแฟ (กิโลกรัมต่อ 400 ตารางเมตร) ร่วมกับปัจจัยสภาพแวดล้อมธาตุอาหารหลักในดินในพื้นที่ปลูกกาแฟ 3 พื้นที่ที่ปลูกภายใต้ร่มไม้ ด้วยแบบจำลองเชิงเส้นทั่วไป (Generalized linear model, GLM) 78

ตารางที่ 31 ผลวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างผลผลิตกาแฟ (กิโลกรัมต่อ 400 ตารางเมตร) ร่วมกับปัจจัยสภาพแวดล้อมธาตุอาหารรองในดินในพื้นที่ปลูกกาแฟ 3 พื้นที่ที่ปลูกภายใต้ร่มไม้ ด้วยแบบจำลองเชิงเส้นทั่วไป (Generalized linear model, GLM) 78

ตารางที่ 32 ค่าผลผลิตกาแฟที่ได้จากการพยากรณ์ ตามแบบจำลอง ทั้ง 4 แบบ ได้แก่ แบบจำลองที่ 1 ปัจจัยสภาพแวดล้อมส่วนเหนือดิน (a) แบบจำลองที่ 2 คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมิของดิน (b) แบบจำลองที่ 3 ธาตุอาหารหลัก (c) และแบบจำลองที่ 4 ธาตุอาหารรอง (d) 79

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่ 1 ตำแหน่งแปลงปลูกกาแฟภายใต้ร่มเงาไม้ป่า ที่ได้ทำการศึกษาในพื้นที่ โครงการฟาร์มตัวอย่างตามพระราชดำริ บ้านขุนแตะ อำเภอจอมทอง จังหวัดเชียงใหม่ 27

ภาพที่ 2 การแจกแจงความถี่ตามชั้นขนาดความเข้มข้นของคาเฟอีนในสารกาแฟทั้ง 7 พื้นที่ 46

ภาพที่ 3 การแจกแจงความถี่ตามชั้นขนาดความโตเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอก (DBH) ที่ระดับความสูง 130 เซนติเมตร ของต้นกาแฟทั้ง 3 พื้นที่ 52

ภาพที่ 4 การแจกแจงความถี่ตามชั้นขนาดความสูงต้นกาแฟ ทั้ง 3 พื้นที่ 53

ภาพที่ 5 การแจกแจงความถี่ตามชั้นขนาดความโตเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอก (DBH) ที่ระดับความสูง 130 เซนติเมตร ของต้นไม้ทั้ง 3 พื้นที่ 64

ภาพที่ 6 การแจกแจงความถี่ตามชั้นขนาดร้อยละความแตกต่างของความเข้มแสง บริเวณบนเรือนยอดของต้นกาแฟ 66

ภาพที่ 7 การแจกแจงความถี่ตามชั้นขนาดร้อยละความแตกต่างของความเข้มแสง บริเวณใต้ทรงพุ่มของต้นกาแฟ 67

สารบัญภาพผนวก

หน้า

ภาพผนวกที่ 1 สำรวจแปลงปลูกกาแฟใต้เรือนยอดไม้ป่า และจับพิกัดแปลง ตำแหน่งความสูงจากระดับน้ำทะเล ด้วยเครื่อง GPS 92

ภาพผนวกที่ 2 พื้นที่แปลงปลูกกาแฟภายใต้ร่มเงาไม้ป่า (A) ทำการวางแปลงขนาด 5x5 เมตร จำนวน 5 ซ้ำ ต่อ 1 พื้นที่ เพื่อทำการศึกษาลักษณะของต้นกาแฟเบื้องต้น (B) 92

ภาพผนวกที่ 3 วัดขนาดความโตของต้นกาแฟที่ระดับ 130 เซนติเมตร (A) วัดขนาดความโตของต้นกาแฟที่ระดับ 130 เซนติเมตร (C) วัดความสูงของต้นกาแฟ (B) 93

ภาพผนวกที่ 4 วัดค่าแสง โดยใช้เครื่อง Light Meter โดยทำการวัดเปรียบเทียบค่าแสง ในเวลาเดียวกัน ระหว่างภายในแปลงและนอกแปลง 94

ภาพผนวกที่ 5 วัดความเขียวใบของต้นกาแฟ โดยใช้เครื่อง Minolta chlorophyll meter: SPAD-502 94

ภาพผนวกที่ 6 เก็บตัวอย่างดิน โดยกระจายสุ่มเก็บทั่วบริเวณแปลง 95

ภาพผนวกที่ 7 สำรวจชนิดพรรณไม้ในแปลงปลูกกาแฟภายใต้เรือนยอดไม้ป่า 95

ภาพผนวกที่ 8 ตัวอย่างชนิดพรรณไม้ที่พบในพื้นที่แปลงปลูกกาแฟที่ทำการศึกษา เช่น ทะโล้ (a), ก่อใบเลื่อม (b), ก่อแหลม (c), แข้งกวาง (d), ค่าหด (e), แคหัวหมู (f), ปลายสาน (g) และตีนเป็ดเขา (h) 96

ภาพผนวกที่ 9 เก็บเมล็ดกาแฟผลสดในแปลงปลูกกาแฟใต้เรือดยอดไม้ป่าที่ทำการศึกษา 97

ภาพผนวกที่ 10 วัดขนาดเมล็ดกาแฟความกว้าง ความยาว ความหนาด้านประกบ และชั่งน้ำหนักเมล็ดรายเมล็ด ตากในภาชนะ มีชื่อและรหัสกำกับ เพื่อป้องกันไม่ให้ผสมรวมกันของเมล็ดกาแฟ 98

บทที่ 1
บทนำ

ที่มาและความสำคัญ

กาแฟเป็นพืชเศรษฐกิจสำคัญชนิดหนึ่ง ที่มีความสำคัญต่อภาวะเศรษฐกิจของโลก การผลิตกาแฟในประเทศไทยถือเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญชนิดหนึ่งที่ทำรายได้ให้เกษตรกรปีละประมาณ 2,000 ล้านบาท ในปี 2563 ประเทศไทยมีพื้นที่ในการปลูกกาแฟ 214,294 ไร่ แหล่งปลูกกาแฟที่สำคัญในประเทศไทยอยู่ทางภาคใต้และภาคเหนือของไทย การปลูกกาแฟทางภาคใต้ส่วนใหญ่เป็นกาแฟโรบัสตา มีพื้นที่ปลูก 127,135 ไร่ หรือคิดเป็นร้อยละ 59.33 ส่วนทางภาคเหนือพื้นที่ปลูกส่วนใหญ่เป็นกาแฟอาราบิก้า มีพื้นที่ปลูก 87,159 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 40.67 (กรมวิชาการเกษตร, 2563) และในปัจจุบันตลาดของกาแฟในประเทศไทยมีการขยายตัวมากขึ้น ทำให้ความต้องการใช้เมล็ดกาแฟเพิ่มสูงขึ้นเฉลี่ย 78,953 ตันต่อปี (ร้อยละ 6.21 ต่อปี) ขณะที่ผลผลิตภายในประเทศไม่เพียงพอต่อความต้องการ จึงได้มีการแก้ปัญหาในเบื้องต้นคือ การนำเข้าเมล็ดกาแฟดิบจากต่างประเทศ โดยจากสถิติการนำเข้าเมล็ดกาแฟดิบระหว่างปี 2558-2562 พบว่า มีการนำเข้าเมล็ดกาแฟดิบจากต่างประเทศเฉลี่ย 53,240 ตันต่อปี คิดเป็นมูลค่า 17.32 ล้านเหรียญสหรัฐ (สำนักการค้าสินค้า กรมเจรจาการค้าระหว่างประเทศ, 2563; สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2564)

ปัจจัยทางด้านสภาพแวดล้อมในการปลูกกาแฟอาราบิก้า มีผลต่อการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิต รวมไปถึงคุณภาพของเมล็ดกาแฟอาราบิก้า โดยทั่วไปแล้วปัจจัยสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมสำหรับการปลูกกาแฟอาราบิก้าคือ ควรปลูกกาแฟอาราบิก้าภายใต้ร่มไม้ในป่า ความสูงจากระดับน้ำทะเลอยู่ระหว่าง 800 - 1,800 เมตร แต่สำหรับภาคเหนือในประเทศไทยนั้นการปลูกกาแฟอาราบิก้าเจริญเติบโตและให้ผลผลิตได้ดีที่ความสูง 1,200 – 1,300 เมตรจากระดับน้ำทะเล อุณหภูมิที่เหมาะสมโดยทั่วไป คือ 15.5 - 23.8 องศาเซลเซียส ปริมาณน้ำฝนอยู่ที่ประมาณ 1,500 – 2,000 มิลลิเมตรต่อปี และสภาพดินที่เหมาะสมต่อการปลูกกาแฟควรมีลักษณะร่วนซุย ระบายน้ำดี มีความสมบูรณ์ของดินสูง มีความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) อยู่ที่ 4.5 - 5.5 (ศูนย์วิจัยและพัฒนากาแฟบนพื้นที่สูง, 2537) การปลูกกาแฟอาราบิก้าในไทยนั้นมีการปลูกหลายรูปแบบ ได้แก่ การปลูกกาแฟแบบเชิงเดี่ยว การปลูกร่วมกับไม้ผล การปลูกร่วมกับไม้ยืนต้น หรือการปลูกกาแฟภายใต้ร่มไม้ป่าธรรมชาติ ซึ่งรูปแบบการปลูกกาแฟภายใต้ร่มไม้ป่าธรรมชาตินั้น ส่งผลให้เมล็ดกาแฟมีคุณภาพในด้านขนาดของเมล็ดดีกว่าการปลูกรูปแบบอื่น (ประชา และคณะ, 2560; วารุณี และคณะ, 2553; วิชญ์ภาส และคณะ, 2560) การปลูกกาแฟภายใต้ร่มเงาไม้ป่าธรรมชาติมีขนาดเมล็ดที่ดี เนื่องจากกาแฟเป็นไม้กึ่ง

กลางแจ้งกึ่งร่มเงา สามารถเจริญเติบโตและให้ผลผลิตได้แม้ปลูกภายใต้ร่มเงา Bote and Struik (2011) รายงานว่า กาแฟที่ปลูกในที่ร่มเงา มีความเครียดจากสภาพแวดล้อมลดลงและมีศักยภาพในการตรึงคาร์บอนสูงขึ้น ส่งผลต่อขนาดเมล็ดกาแฟที่มีขนาดใหญ่ขึ้นกว่าการปลูกในสภาพกลางแจ้ง สอดคล้องกับ พงศกร และระวี (2560) การปลูกกาแฟในสภาพพรางแสงมีการเจริญเติบโตทางลำต้น รวมถึงลักษณะสัณฐานวิทยาและสรีรวิทยาของใบดีกว่ากาแฟที่ปลูกในสภาพกลางแจ้ง เนื่องจากการปลูกกาแฟภายใต้ร่มเงาไม้ป่าธรรมชาตินั้น ความเข้มแสงที่ส่องลงมามีปริมาณที่น้อยกว่าการปลูกในสภาพกลางแจ้ง ส่งผลให้มีอุณหภูมิในพื้นที่ต่ำกว่าสภาพกลางแจ้ง รวมถึงปริมาณความชื้นในดิน และความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศที่สูงกว่า ทำให้เมล็ดกาแฟนั้นมีการสุกแก่ที่ช้าลง มีการเก็บสะสมอาหารยาวนานขึ้น จึงมีขนาดเมล็ดที่ใหญ่กว่าการปลูกกลางแจ้ง (Eira et al., 2006) นอกจากนี้ยังพบว่าการปลูกกาแฟภายใต้ร่มเงามีการลดลงจากการติดโรคของพืชถึง 20.33 % เนื่องจากการมีร่มเงาช่วยลดปริมาณน้ำฝนที่ชะล้างบริเวณใบลดการแพร่กระจายของเชื้อ (Mouen Bedimo et al., 2009)

การที่ปลูกกาแฟร่วมกับป่า หรือการปลูกกาแฟภายใต้ร่มเงาของป่าธรรมชาติ ส่งผลให้ผลผลิตของกาแฟมีขนาดเมล็ดที่ใหญ่ ซึ่งเกณฑ์ในการประเมินคุณภาพของเมล็ดกาแฟในประเทศไทยนั้น หนึ่งในการประเมินทั่วไปคือ ขนาดเมล็ดกาแฟ โดยในประเทศไทยได้มีเกณฑ์การประเมินคุณภาพเมล็ดกาแฟตามมาตรฐานสินค้ากระทรวงเกษตรและสหกรณ์ (กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2552) ดังนั้นในการศึกษาครั้งนี้มีความสนใจศึกษาในด้านความผันแปรของขนาดผลกาแฟอาราบิก้าที่ปลูกภายใต้ร่มเงาไม้ป่าธรรมชาติที่แตกต่างกัน เนื่องจากการปลูกกาแฟภายใต้สภาพป่าเหมือนกัน อาจมีปัจจัยสภาพแวดล้อมบางอย่างที่แตกต่างกัน ที่จะส่งผลต่อความผันแปรของขนาดเมล็ดกาแฟหรือไม่ เช่น องค์ประกอบของพรรณไม้หรือปัจจัยสภาพแวดล้อมอื่น ๆ ที่อาจส่งผลต่อความแตกต่างในด้านขนาดผลกาแฟ และความเข้มข้นของคาเฟอีนในสารกาแฟ และมีปัจจัยสภาพแวดล้อมใดในพื้นที่ที่อาจส่งผลต่อผลผลิตกาแฟ โดยทำการเลือกพื้นที่ศึกษาเป็นพื้นที่ที่มีการปลูกกาแฟภายใต้ร่มเงาไม้ป่าเป็นประเภทของป่าดิบเขาระดับต่ำ ในเขตพื้นที่โครงการฟาร์มตัวอย่างตามพระราชดำริ บ้านขุนแตะ อำเภอจอมทอง จังหวัดเชียงใหม่ เป็นพื้นที่ที่มีการส่งเสริมให้ชาวเขา หรือชาวไทยภูเขาปลูกพืชเมืองหนาวเพื่อหารายได้ทดแทนการปลูกฝิ่น ซึ่งกาแฟอาราบิก้าเป็นหนึ่งในพืชที่โครงการมีการแนะนำส่งเสริมในการปลูก

วัตถุประสงค์

1. ศึกษาความผันแปรในด้านของขนาดผลกาแฟ และความเข้มข้นของคาเฟอีนในเมล็ดกาแฟอาราบิก้า ที่ปลูกภายใต้ร่มเงาไม้ป่าธรรมชาติที่แตกต่างกัน
2. ศึกษาปัจจัยสภาพแวดล้อมที่ส่งผลต่อผลผลิตกาแฟอาราบิก้า

ขอบเขตของการศึกษา

ทำการศึกษาลักษณะความฝันแปรของขนาดและความเข้มข้นของคาเฟอีนในเมล็ดกาแฟที่ปลูกกาแฟภายใต้ร่มไม้ป่าประเภทของป่าเป็นป่าดิบเขาระดับต่ำ รวมถึงศึกษาลักษณะของต้นกาแฟ องค์ประกอบชนิดพรรณไม้ และปัจจัยสภาพแวดล้อมบางลักษณะ โดยทำการศึกษาในพื้นที่โครงการฟาร์มตัวอย่างตามพระราชดำริ บ้านขุนแตะ ต.ดอยแก้ว อ.จอมทอง จ.เชียงใหม่ ในช่วงฤดูกาล ปี 2560 - 2561

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ทำให้ทราบถึงขนาดและความเข้มข้นของคาเฟอีนในเมล็ดกาแฟที่ปลูกภายใต้ร่มไม้ป่าที่แตกต่างกัน และปัจจัยที่ส่งผลต่อผลผลิตกาแฟ เพื่อเป็นประโยชน์แก่การนำไปต่อยอดศึกษางานวิจัยในอนาคต และช่วยส่งเสริมในการอยู่ร่วมกันระหว่างคนกับป่าเพื่ออนุรักษ์ลดการทำลายป่า

บทที่ 2
ตรวจเอกสาร

ความสำคัญกาแฟในเชิงเศรษฐกิจ

กาแฟเป็นพืชเศรษฐกิจสำคัญชนิดหนึ่งที่มีความสำคัญต่อภาวะเศรษฐกิจของโลก มีประชากรผู้นิยมบริโภคกว่า 1 ใน 4 ของโลก และมีมากกว่า 50 ประเทศ ที่ผลิตกาแฟเป็นสินค้าส่งออกที่สำคัญ โดยผลผลิตกาแฟรวมทั่วโลกประมาณ 70 เปอร์เซ็นต์ เป็นกาแฟอาราบิก้า ในปี 2553 – 2559 การผลิตกาแฟของโลกเพิ่มขึ้นจาก 8.4 ล้านตัน เป็น 9.0 ล้านตัน หรือร้อยละ 2.07 ต่อปี การใช้กาแฟของโลกเพิ่มขึ้นจาก 8.1 ล้านตัน เป็น 8.9 ล้านตัน หรือร้อยละ 1.65 ต่อปี ปัจจุบันความต้องการใช้เมล็ดกาแฟอาราบิก้าเพิ่มขึ้น เนื่องจากกระแสความนิยมบริโภคกาแฟอาราบิก้าเพิ่มสูงขึ้น ส่งผลให้ราคากาแฟสูงขึ้น ซึ่งหากเปรียบเทียบกับประเทศอาเซียนแล้ว ประเทศไทยเป็นประเทศผู้ส่งออกกาแฟ เป็นอันดับที่ 4 รองจากประเทศเวียดนาม อินโดนีเซีย และลาว (กรมวิชาการเกษตร, 2560)

ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของกาแฟ

การจำแนกตามอนุกรมวิธานพืช ดังนี้

- Kingdom: Plantae
    - Class: Dicotyledonae
        - Order: Rubiales
            - Family: Rubiaceae
                - Genus: Coffea

กาแฟอาราบิก้ามีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Coffea arabica* L. อยู่ในวงศ์ Rubiaceae เป็นพืชผสมตัวเอง มีโครโมโซม 4 ชุด allotetraploid inbreeder (4x = 44) แหล่งกำเนิดอยู่ที่ ประเทศเอธิโอเปีย (Ethiopia) กาแฟเป็นต้นไม้พุ่มขนาดเล็ก มีความสูงได้ถึง 5 เมตร เป็นไม้ไม่ผลัดใบ (พงษ์ศักดิ์ และบัณฑูรย์, 2542)

1. ลักษณะรากกาแฟ (Root)

รากแก้วกาแฟมีลักษณะอ้วนสั้น ส่วนมากยาวไม่เกิน 45 เซนติเมตร มีจำนวนรากแขนงที่แตกออกมาจากรากแก้ว 4 - 8 ราก รากลึกลงไปในดินประมาณ 2 – 3 เมตร หรือมากกว่า มีรากแขนงอีกจำนวนมากที่แตกออกมา โดยรากแขนงอาจมีความยาว 1 - 2 เมตร แพร่กระจายขนานไปกับพื้นดิน ในดินที่มีความชื้นและความเย็น ทำให้รากแขนงในชั้นผิวดินตื้น ส่วนรากแขนงที่ลึกลงไป ทำให้ต้นกาแฟต้านทานความแห้งแล้งได้ดีโดยเฉพาะในฤดูแล้ง ตามปกติรากกาแฟเจริญเติบไม่ดีในดินเหนียว เนื่องจากเป็นดินที่มีลักษณะการระบายน้ำไม่ดี และรากกาแฟไม่ชอบน้ำขัง โดยธรรมชาติแล้วรากกาแฟเจริญได้ดีในดินร่วนซุยที่อุดมสมบูรณ์ด้วยแร่ธาตุอาหาร (พงษ์ศักดิ์ และบัณฑูรย์, 2542)

2. ลักษณะต้นกาแฟ (Stem)

ลำต้นกาแฟทั่วไปมีลักษณะเป็นข้อปล้อง เหมือนต้นไม้ชนิดอื่นๆ แต่ปล้องกาแฟอาจสั้นหรือยาวตามลักษณะของพันธุ์กาแฟนั้น ๆ ลักษณะของลำต้นกาแฟมีกิ่งแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด คือ กิ่งตั้งและกิ่งนอน กิ่งตั้งคือ กิ่งที่ตั้งขึ้นข้างบน อาจรวมไปถึงต้นหลักของต้นกาแฟด้วย ที่โคนก้านของใบมีตาอยู่ 2 ชนิด เรียกว่า ตาล่างและตาบน โดยปกติตาล่างยังคงพักตัวอยู่นิ่งไม่แตกออกมาเป็นกิ่ง ส่วนตาบนซึ่งอยู่ที่โคนก้านใบจะแตกออกมาเป็นกิ่งนอนหรือกิ่งที่ติดดอกและผลต่อไป กิ่งนอนนี้เกิดเป็นคู่สลับเยื้องกันบนต้นหลัก กิ่งนอนมีข้อและปล้องเช่นเดียวกับกิ่งตั้ง ในแต่ละข้อของกิ่งนอนมีตาดอก อยู่ประมาณ 6 ตา มักอยู่ที่โคนก้านใบ โดยตาดอกแก่ไม่พร้อมกัน ตาดอกที่อยู่โคนที่สุดเป็นตาที่อ่อนกว่า โดยธรรมชาติตาดอกของกาแฟเกิดไล่จากโคนกิ่งไปสู่ปลายกิ่ง ในสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมต้นกาแฟมีการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้นในส่วนยอด 22 – 35 เซนติเมตร โดยมีจำนวนข้อเพิ่มขึ้น 10 – 12 ข้อ ส่วนยอดของกาแฟมีการเจริญเติบโตอย่างต่อเนื่อง แต่มีการเจริญเติบโตช้าลงหรือหยุดการเจริญเติบโตต่อเมื่อมีสภาพแวดล้อมภายนอกที่ไม่เหมาะสม (พงษ์ศักดิ์ และบัณฑูรย์, 2542)

3. ลักษณะใบ (Leaf)

ใบเป็นใบเดี่ยว ก้านใบสั้น โคนใบและปลายใบเรียวแหลม ตรงกลางใบกว้าง ผิวใบเรียบ นุ่มเป็นมัน ขอบใบหยักเป็นคลื่น ใบจะเกิดที่ข้อเป็นคู่ตรงข้ามกัน ส่วนปากใบอยู่ด้านท้องใบ ขนาดของใบขึ้นกับพันธุ์กาแฟ โดยทั่วไปแผ่นใบมีขนาดประมาณ 6 x 10 เซนติเมตร มีเส้นใบแขนงได้ 7 – 12 คู่ (พงษ์ศักดิ์ และบัณฑูรย์, 2542) และสำหรับใบกาแฟที่มีการปลูกภายใต้สภาพร่มเงา พบว่า มีการขยายขนาดใบให้ใหญ่ขึ้น และบาง เพื่อเพิ่มศักยภาพในการตรึงคาร์บอน (Friend, 1984) มีจำนวนไทลาคอยด์ต่อกรานัมเพิ่มขึ้น ทำให้สามารถช่วยดักจับพลังงานเพิ่มขึ้น (Fahl et al., 1994)

4. ลักษณะดอกกาแฟ (Flowers)

การออกดอกของต้นกาแฟส่วนใหญ่ดอกกาแฟจะออกจากข้อของกิ่งกาแฟ โดยเริ่มไปจากข้อที่อยู่ใกล้ลำต้นออกไปหาปลายกิ่ง บนกิ่งมีตาอยู่ 6 ตา ซึ่งประมาณ 3 – 4 ตาเจริญไปเป็นช่อดอก ตาที่สร้างช่อดอกมักเป็นตาที่ 3 – 4 นับจากโคนกิ่งออกไป ช่อดอกแต่ละกลุ่มของแต่ละข้ออาจมี 10 – 30 ดอก เป็นดอกสมบูรณ์เพศ กลิ่นหอม มีสีขาวครีม ก้านดอกสั้น กลีบเลี้ยงขนาดเล็ก โดยปกติตาดอกของกาแฟเมื่อเกิดขึ้นมาแล้วยังคงพักตัวอยู่ ในระยะนี้มีความยาวของตาดอกประมาณ 4 – 5 มิลลิเมตร ซึ่งระยะนี้ตรงกับช่วงขาดน้ำอย่างรุนแรง เมื่อได้น้ำช่วงต้นฤดูฝน การพัฒนาของดอกเริ่มขึ้นทันที กลีบดอกขยายและบานขึ้นพร้อมกัน เนื่องจากความชื้นเป็นตัวกระตุ้นให้ดอกบานพร้อมกัน ดอกกาแฟใช้เวลาบานต่อเนื่องกัน 8 – 12 วัน หลังจากได้รับน้ำ การบานนี้ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิด้วย เมื่ออยู่ในสภาวะที่อุณหภูมิสูงเกินไป ทำให้ดอกผิดปกติและไม่พัฒนาเป็นผลกาแฟ

ดอกประกอบด้วยกลีบเลี้ยง 5 อัน เชื่อมติดกันมีลักษณะเป็นรูปถ้วยอยู่ตรงด้านฐานของดอก กลีบดอกมีลักษณะเป็นหลอดยาวประมาณ 1 เซนติเมตร ซึ่งแยกออกเป็นแฉกตอนปลาย ตามปกติแล้วมี 5 แฉกซึ่งมีขนาดความยาวขนาดเดียวกันกับหลอดกลีบดอก มีเกสรตัวผู้ที่มีก้านติดกับกลีบดอกเท่ากับจำนวนแฉกของกลีบดอก อับเกสรตัวผู้มีลักษณะเรียวยาวแต่ไม่ยาวกว่าแฉกของกลีบดอก มีรังไข่อยู่เหนือฐานรองดอกซึ่งปกติมี 2 ห้อง อยู่ติดกัน แต่ละห้อง มีไข่ 1 อัน ดังนั้นผลกาแฟส่วนใหญ่มักมีเมล็ดอยู่ 2 เมล็ดเสมอ (พงษ์ศักดิ์ และบัณฑูรย์, 2542)

5. ผลกาแฟ (Fruits)

ตั้งแต่ดอกกาแฟบานจนถึงผลแก่ใช้ระยะเวลาประมาณ 7 – 8 เดือน Castro and Pierre (2006) รายงานว่า ระยะเวลาในการสุกของผลกาแฟผันแปรไปตามระดับความสูงจากระดับน้ำทะเลที่เพิ่มขึ้น และส่งผลให้มีน้ำหนักของเมล็ดกาแฟเพิ่มขึ้น (นริศ และคณะ, 2539) Eira et al. (2006) อธิบายว่า ในระยะเริ่มต้นของการพัฒนาผลกาแฟมีปริมาณน้ำในเมล็ดประมาณ 80 เปอร์เซ็นต์ และในระยะต่อมาปริมาณน้ำในเมล็ดเริ่มลดลงพร้อมกับน้ำหนักแห้งที่เพิ่มขึ้น การพัฒนาของเมล็ดนั้นมีช่วงเวลาในการพัฒนาเมล็ดหลังจากดอกบานจนสิ้นสุดการพัฒนา ใช้ระยะเวลาประมาณ 225 วัน ขณะที่ในส่วนของเนื้อเมล็ดคงยังมีการพัฒนาไปอย่างต่อเนื่อง ขนาดของผลกาแฟโดยทั่วไป มีความยาว 1.5 เซนติเมตร ผลที่แก่เต็มที่ มีรูปร่างค่อนข้างรี มีก้านผลสั้น ผลดิบมีสีเขียว เมื่อสุกอาจมีสีเหลือง ส้ม หรือแดง ขึ้นอยู่กับชนิดสายพันธุ์กาแฟ ลักษณะผลของกาแฟแบ่งออกเป็น 3 ส่วน ประกอบด้วย 1. ผิวหรือเปลือก (Exocarp) 2. เนื้อเยื่อ (Mesocarp) 3. กะลา (Parchment) ซึ่งปกติมีเมล็ด 2 เมล็ดต่อหนึ่งผลประกบกันอยู่ โดยผลเชอร์รี่เมื่อผ่านกระบวนการแปรรูปเป็นเมล็ดกะลามีการสูญเสียเนื้อของเมล็ดไปร้อยละ 47.35 เปอร์เซ็นต์ (Sualeh and Dawid, 2014) ถัดจากกะลากาแฟส่วนในของเมล็ดประกอบไปด้วย เอนโดสเปิร์ม และคัพภะ มีสีเขียวอมฟ้า เรียกว่า

เมล็ดกาแฟหรือสารกาแฟ (Coffee bean or green coffee) โดยทั่วไปกาแฟผลสดประมาณ 5 – 6 กิโลกรัม เปลี่ยนเป็นสารกาแฟได้ 1 กิโลกรัม ในเมล็ดกาแฟ 100 กรัม มีองค์ประกอบดังนี้ ตารางที่ 1 (พงษ์ศักดิ์ และบัณฑูรย์, 2542)

ตารางที่ 1 องค์ประกอบในเมล็ดกาแฟ 100 กรัม

องค์ประกอบ	**ปริมาณ (กรัม)**
น้ำ	10 – 13
โปรตีนและกรดอมิโนอิสระ	11- 16
ไขมัน	12 -14
ซูโครสและ reducing sugar	5 – 9
เซลลูโลสและโพลีแซคคาไรด์อื่น ๆ	32 – 48
กรดคลอโรจีนิคและกรดอื่น ๆ	10 -15
เถ้าและแร่ธาตุ	4
สารคาเฟอีนในกาแฟอาราบิก้า	0.6 – 1.7

ที่มา: พงษ์ศักดิ์ และบัณฑูรย์ (2542)

สายพันธุ์ของกาแฟอาราบิก้า

พันธุกรรมเป็นปัจจัยพื้นฐานในการกำหนดการแสดงออกของสิ่งมีชีวิต และเป็นตัวกำหนดว่าสิ่งมีชีวิตที่เจริญขึ้นมาจะต้องเป็นชนิดเดียวกับพ่อแม่ของมัน ลักษณะที่แสดงออกของสิ่งมีชีวิตถูกควบคุมด้วยหน่วยพันธุกรรม (ยีนส์) ซึ่งประกอบด้วย DNA และ RNA ยีนส์เป็นตัวสำคัญในการกำหนดให้สิ่งมีชีวิตมีการเจริญเติบโตและมีพัฒนาการ โดยการกระตุ้นให้มีการสร้างสารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตหรือเกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโตและพัฒนาการ ลักษณะทางพันธุกรรมเป็นลักษณะที่สามารถถ่ายทอดจากพ่อแม่ไปสู่ลูกหลานได้ และส่งผลในทางสรีรวิทยาของพืชในอัตราที่แตกต่างกัน กาแฟอาราบิก้าเป็นพืชยืนต้นในวงศ์ Rubiaceae จาก 124 สายพันธุ์ของสกุล Coffea (Davis, 2011) มีแหล่งกำเนิดและความหลากหลายทางพันธุกรรมอยู่ทางทิศตะวันตกเฉียงใต้ของเอธิโอเปีย (Anthony et al., 2002; Benti et al., 2021) กาแฟอาราบิก้าเป็น tetraploid เพียงชนิดเดียว หรือมีจำนวนโครโมโซมเป็น (2n = 4x = 44) ในขณะที่ชนิดอื่น ๆ ในสกุลมีจำนวนโครโมโซมเป็น Diploid (2n = 2x = 22) (Clarindo and Carvalho, 2008) จากการศึกษาของ Muschler (2001) พบว่า

กาแฟแต่ละสายพันธุ์ มีการตอบสนองต่อปริมาณแสงของพืชที่ได้รับแตกต่างกัน บางสายพันธุ์มีผลผลิตในเชิงคุณภาพที่ดีขึ้นเมื่อได้รับการปลูกในพื้นที่ที่เป็นร่มเงา บางสายพันธุ์ไม่มีการตอบสนองต่อการเป็นร่มเงา

อรวรรณ และคณะ (2557) กล่าวว่า กาแฟอาราบิก้าสามารถผสมตัวเองได้โดยไม่ทำให้เกิดผลเสีย แต่อาจเกิดการผ่าเหล่า (Mutation) เกิดเป็นสายพันธุ์หลายสายพันธุ์ซึ่งสายพันธุ์ที่สำคัญมีดังต่อไปนี้

1. **พันธุ์ทิปปิก้า (Typica)** เป็นพันธุ์ดั้งเดิมและเป็นพันธุ์ต้นกำเนิดของกาแฟอาราบิก้าสายพันธุ์อื่น ๆ ลักษณะเด่น คือ ใบหรือยอดอ่อนสีทองแดง กิ่งแขนงห้อยย้อยลงมาเป็นพุ่ม มีข้อห่าง ใบมีขนาดเล็ก เรียบ เป็นมัน เจริญเติบโตเร็ว ออกดอก ผล และเก็บเกี่ยวได้เร็วแต่โทรมเร็วกว่า และมีอาการยอดแห้งตายได้ง่าย ไม่ต้านทานต่อโรคราสนิมและไม่ทนต่อความแห้งแล้ง

2. **พันธุ์เบอร์บอน (Bourbon)** เชื่อกันว่ากลายพันธุ์มาจากพันธุ์ทิปปิก้าที่ได้นำไปปลูกที่เกาะเบอร์บอน (ปัจจุบันคือเกาะรียูเนียน) ลักษณะเด่น คือ ยอดหรือใบอ่อนมีสีเขียว ข้อถี่กว่าใบใหญ่กว่าเล็กน้อย กิ่งแขนงเจริญเป็นแนวตั้งตรงขึ้นไปทำมุม 45 องศากับลำต้น ในช่วงติดผลนั้นปลายทั้งสองข้างของกิ่งแขนงโค้งลงมา เนื่องจากน้ำหนักของผลกาแฟ ออกดอกและเก็บผลได้ช้ากว่า ให้ผลผลิตสูงกว่า และทนทานต่ออาการยอดแห้งตายได้ดีกว่า แต่ไม่ต้านทานต่อโรคราสนิม รวมทั้งไม่ทนต่อสภาพความหนาวเย็นและลมแรง คุณภาพของผลผลิตให้รสชาติและกลิ่นหอมดีกว่าพันธุ์ทิปปิก้า

3. **พันธุ์บลูเมาเท่น (Blue Mountian)** กลายพันธุ์มาจากพันธุ์ทิปปิก้าที่นำไปปลูกที่บลูเมาเทน ประเทศจาไมก้า ลักษณะเด่น คือ มียอดอ่อนสีน้ำตาลแดง ใบบางแคบ มีความเหมาะสมต่อสภาพแวดล้อมบนที่สูง ทนทานต่อความแห้งแล้ง มีความต้านทานต่อโรคที่เกิดกับผลกาแฟ แต่อ่อนแอต่อโรคราสนิม กาแฟพันธุ์นี้มีคุณภาพการบริโภคดีมากเป็นที่ยอมรับของตลาดผู้บริโภค และมีราคาแพงมากเช่นกัน เป็นกาแฟที่มีชื่อเสียงเป็นอันดับต้น ๆ ของโลก

4. **พันธุ์โคน่า (Kona)** เป็นพันธุ์ที่มีคุณภาพและรสชาติติดอันดับต้น ๆ ของโลกตามแบบของพันธุ์ทิปปิก้า นำมาจากเมืองริโอเดอจาเนโร ประเทศบราซิล มาปลูกในเมืองโคน่าหมู่เกาะฮาวาย ภายใต้ชื่อการค้า “ฮาวาย โคน่า” ผลผลิตเป็นที่ต้องการและมีราคาสูงมาก เช่นเดียวกับกาแฟบลูเมาเท่น

5. **พันธุ์ม็อกก้า (Mokka หรือ Mocha)** เป็นกาแฟส่งออกผ่านท่าเรือโมช่า (Mocha) โดยใช้ชื่อการค้าว่า โมช่า (Mocha) หรือเรียกว่า ม็อกก้า (Mokka) มีเอกลักษณ์กลิ่นผลไม้คล้ายโกโก้ พันธุ์นี้ เมื่อนำมาปลูกในประเทศอินโดนีเซียมีความแตกต่างอย่างมากจากพันธุ์ที่ปลูกในแหล่งดั้งเดิม ปริมาณผลผลิตออกสู่ตลาดมีจำกัด

6. พันธุ์คาทูร่า (Caturra) เกิด จากการกลายพันธุ์ตามธรรมชาติของพันธุ์เบอร์บอนในประเทศบราซิลลักษณะคล้ายพันธุ์เบอร์บอน แต่ลักษณะเด่น คือทรงพุ่มเล็ก ข้อและปล้องสั้นมากให้ผลผลิตสูงเพราะจำนวนข้อมาก ต้นขนาดเล็ก ทำให้ปลูกได้ถี่ขึ้น

7. พันธุ์มอนโดโนโว (Mondo Novo) เกิดจากการผสมข้ามตามธรรมชาติระหว่างพันธุ์ทิปปิก้าและพันธุ์เบอร์บอน มีความแข็งแรงและให้ผลผลิตค่อนข้างสูง สีของยอดอ่อนและโครงสร้างของกิ่งข้างคล้ายพันธุ์เบอร์บอน แต่สูงกว่าและให้สารกาแฟขนาดใหญ่กว่าพันธุ์เบอร์บอน

8. พันธุ์คาทุย (Catuai) เป็นพันธุ์ที่เกิดจากการปรับปรุงพันธุ์โดยมนุษย์เป็นการผสมพันธุ์ระหว่างพันธุ์มอนโดโนโว และคาทูร่าผลสีเหลืองทำให้ได้ทรงต้นที่มีลักษณะดีกว่าพันธุ์คาทูร่า ผลมีทั้งสีแดงและสีเหลือง

9. พันธุ์เคน (Kent) เป็นพันธุ์จากการคัดเลือกกาแฟที่ปลูกในแคว้นไมเซอร์ (Mysore) ของประเทศอินเดียลักษณะเด่น คือ ยอดอ่อนสีน้ำตาลแดง เติบโตเร็ว ติดผลดก ทนทานโรคที่มักเกิดในกาแฟได้ดี แต่ในเขตพื้นที่ที่มีอุณหภูมิสูง มักมีการติดผลมากเกินไป จนเกิดอาการกิ่งและยอดแห้งตาย

10. พันธุ์คาติมอร์ (Catimor) เกิดจากการปรับปรงพันธุ์โดยมนุษย์ เป็นการผสมพันธุ์ระหว่างพันธุ์คาทูร่าผลแดงเป็นต้นแม่พันธุ์ มีลักษณะทรงต้นเตี้ย ผลผลิตสูง และพันธุ์ไฮบริโดเดอ ติมอร์ (ลูกผสมระหว่างกาแฟโรบัสต้าและกาแฟอาราบิก้า) เป็นต้นพ่อพันธุ์ ซึ่งต้านทานโรคราสนิม และผสมกลับ ระหว่างลูกผสมข้ามชนิด ทำให้ได้ลูกผสมที่มีรสชาติใกล้เคียงกับสายพันธุ์อาราบิก้าบริสุทธิ์แต่มีความทนทานต่อสภาพภูมิอากาศ และโรคราสนิม พันธุ์นี้นิยมปลูกมากในประเทศไทย

กาแฟอาราบิก้าสายพันธุ์ที่ส่งเสริมปลูกในประเทศไทย

โครงการศูนย์วิจัยและพัฒนากาแฟบนที่สูง คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ และศูนย์วิจัยเกษตรหลวงเชียงใหม่ กรมวิชาการเกษตร รวมทั้งหน่วยงานพัฒนาเกษตรที่สูง หลายหน่วยงานในประเทศไทย ได้มีการนำพันธุ์คาติมอร์หลายสายพันธุ์จากต่างประเทศมาทดลองปลูก มีการปรับปรุงคัดเลือกสายพันธุ์ที่เหมาะกับสภาพแวดล้อมของประเทศไทย จนได้สายพันธุ์เพื่อนำไปส่งเสริมปลูกในปัจจุบัน ดังนี้

1. พันธุ์เชียงใหม่ 80 (Catimor CIFC 7963 – 13 – 28) คัดเลือกโดยศูนย์วิจัยเกษตรหลวงเชียงใหม่ และประกาศให้เป็นพันธุ์รับรองโดยกรมวิชาการเกษตร ลักษณะเด่นคือ ต้านทานโรคราสนิมสูง ให้ผลผลิตเมล็ดกาแฟดิบเฉลี่ย 5 ปี สูงถึง 214.7 กิโลกรัมต่อไร่ ให้ปริมาณเมล็ดกาแฟเกรด A เฉลี่ย 5 ปี 81.4 – 87.3 เปอร์เซ็นต์ คุณภาพการชิมอยู่ระหว่าง 6.5 – 7.0 คะแนน (จาก 10 คะแนน) มีปริมาณสารคาเฟอีน 0.42 เปอร์เซ็นต์ สภาพพื้นที่ที่แนะนำให้ปลูก คือ เขตภาคเหนือบนพื้นที่สูงจากระดับน้ำทะเล 700 เมตรขึ้นไป มีอุณหภูมิเฉลี่ย 18-25 องศาเซลเซียส ปริมาณน้ำฝน

โดยเฉลี่ยไม่ต่ำกว่า 1,500 มิลลิเมตรต่อปี แต่มีข้อจำกัด คือ ต้องปลูกภายใต้สภาพร่มเงาป่าธรรมชาติ หรือระหว่างแถวไม้ผลยืนต้นเช่น มะคาเดเมีย บ๊วย ลิ้นจี่ เนื่องจากไม่ทนต่อสภาวะอากาศร้อนแห้งแล้ง

2. **พันธุ์ แอล ซี 1662** ได้รับการผลิตพันธุ์และส่งเสริมโดยมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ สายพันธุ์นี้ให้ผลผลิตสูง ทั้งน้ำหนักผลสด น้ำหนักและขนาดของสารกาแฟ รวมทั้งยังแสดงความต้านทานต่อโรคราสนิมในแปลงปลูก

3. **พันธุ์โปรจินี 88** ได้รับการผลิตพันธุ์และส่งเสริมโดยมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ พ่อและแม่ของลูกผสมนี้มีความต้านทานโรคราสนิมได้ดี ขณะเดียวกันมีความต้านทานต่อโรคที่เกิดกับผลกาแฟอันเกิดจากเชื้อรา *Colletotrichum coffeanum* นอกจากนี้ยังมีคาติมอร์สายพันธุ์อื่น ๆ ที่มีการส่งเสริมให้ปลูกบนที่สูงอีก เช่น พันธุ์เอช 306, เอช 361, เอช 420, เอช 528, เอช 589, โปรจินี 86, โปรจินี 90 และซี 1669-31 เป็นต้น

นิธิ (2553) ได้กล่าวว่า การที่สายพันธุ์กาแฟมีคุณสมบัติดี เป็นที่ต้องการของผู้บริโภค นอกจากปัจจัยทางด้านพันธุกรรมของกาแฟแล้ว สิ่งแวดล้อมและการจัดการยังมีความสำคัญเช่นกัน สภาพอากาศ สภาพดินและองค์ประกอบของแร่ธาตุในดิน อุณหภูมิ การจัดการ เป็นตัวการสำคัญที่ทำให้กาแฟ มีรสชาติอันเป็นลักษณะเฉพาะของพันธุ์ได้ ดังจะเห็นได้จากการนำพันธุ์ที่มีชื่อเสียงมาปลูกต่างที่ออกไป ไม่จำเป็นต้องได้กาแฟคุณภาพดีเหมือนแหล่งกำเนิด ประเทศแถบละตินอเมริกา มักมีการปลูกกาแฟในดินภูเขาไฟซึ่งอุดมด้วยแร่ธาตุอาหารพืช ทำให้กาแฟที่ได้มีรสชาติและคุณภาพในการดื่มที่ดี พันธุ์กาแฟที่ดีที่เหมาะสมสำหรับการนำมาปลูกควรเป็นพันธุ์ที่มีทรงต้นเตี้ย ผลผลิตสูง ต้านทานต่อโรค แมลง และความแห้งแล้ง และมีรสชาติในการดื่มดี ซึ่งในปัจจุบันพันธุ์คาติมอร์มีคุณสมบัติดังกล่าวมากกาแฟสายพันธุ์อื่น ๆ

คุณภาพของเมล็ดกาแฟ

คุณภาพกาแฟ สามารถแบ่งจำแนกได้ 3 ลักษณะ ได้แก่ ลักษณะทางกายภาพ (ขนาด) รสสัมผัส (คุณภาพของการชิม) และคุณลักษณะทางเคมี (Cheng et al., 2016)

1. ลักษณะทางกายภาพ ได้แก่

1.1 ขนาดเมล็ดกาแฟ

ขนาดของเมล็ด หมายถึง ขนาดของเมล็ดในด้านมิติต่าง ๆ ได้แก่ ขนาดความกว้าง ความยาว และความหนาด้านประกบของเมล็ด การที่มีเมล็ดขนาดเล็กอาจทำให้ราคาถูกลง แต่อย่างไรก็ตาม เมล็ดขนาดใหญ่ไม่จำเป็นต้องมีรสชาติที่ดีกว่าเสมอไป แต่การมีเมล็ดเล็กและใหญ่มีผลในการคั่วเมล็ด

เนื่องจากเมล็ดที่มีขนาดเล็กมักสุกก่อนเมล็ดที่มีขนาดใหญ่ (Wintgens, 2009) ซึ่งในปัจจุบันมีเกณฑ์การแบ่งเกรดที่เป็นมาตรฐาน โดยใช้ขนาดความกว้างของขนาดเมล็ดกาแฟเป็นเกณฑ์ในการแบ่งเกรด สำหรับการประเมินคุณภาพเมล็ดกาแฟในประเทศไทย ได้แบ่งขนาดของเมล็ดไปตามมาตรฐานสินค้าเกษตรซึ่งกำหนดโดยกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ โดยได้กำหนดมาตรฐานขนาดเมล็ดกาแฟไว้ 4 ขนาด คือ ขนาดของเมล็ดใหญ่กว่า 7.1 มิลลิเมตร (รหัสขนาด 1) ขนาดของเมล็ด 6.3 – 7.1 มิลลิเมตร (รหัสขนาด 2) ขนาดของเมล็ด 5.6-6.3 มิลลิเมตร (รหัสขนาด 3) และขนาดของเมล็ดน้อยกว่า 5.6 มิลลิเมตร (รหัสขนาด 4) (กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2552)

1.2 สีของเมล็ด

สีของเมล็ดกาแฟ (Green beans) เป็นตัวบ่งบอกถึงความสดและความชื้นของเมล็ดกาแฟ รวมถึงความเสียหายและข้อบกพร่องของเมล็ด สีของเมล็ดกาแฟโดยทั่วไปมักเปลี่ยนไปตามสภาพแวดล้อมของพื้นที่ปลูกกาแฟ เช่น การปลูกในที่สูงเมล็ดมักมีสีเขียวอมฟ้า และหากปลูกในดินที่ขาดสังกะสีเมล็ดอาจกลายเป็นสีเทาอ่อน (Wintgens, 2009)

2. รสสัมผัส (การชิม)

การประเมินทางรสสัมผัสหรือการชิมนั้น เมล็ดกาแฟที่มีขนาด และลักษณะที่ดี รวมถึงไม่มีข้อบกพร่องของเมล็ด ไม่จำเป็นต้องมีรสชาติที่ดีเสมอไป (Wintgens, 2009) ด้วยเหตุนี้การตัดสินคุณภาพกาแฟ ที่มีเรื่องรสชาติมาเกี่ยวข้อง รวมถึงการคั่วกาแฟ เพื่อวิเคราะห์กลิ่น รสสัมผัส และความเป็นกรดในเมล็ด กลุ่มคนที่ชิมเพื่อประเมิน ต้องผ่านการฝึกอบรม ซึ่งได้รับการกำหนดโดยองค์กรกาแฟระหว่างประเทศ International Coffee Organization (ICO)

3. คุณลักษณะทางเคมี

ในเมล็ดกาแฟมีสารประกอบทางเคมีหลายชนิด และมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดในระหว่างช่วงที่เมล็ดมีการพัฒนา

3.1 คาเฟอีน

คาเฟอีนเป็นสารที่ไม่มีกลิ่น มีรสขม เป็นหนึ่งในคุณสมบัติที่ส่งผลต่อคุณภาพของกาแฟ คาเฟอีนเป็นสารที่มีฤทธิ์กระตุ้น จัดอยู่ในกลุ่ม purine alkaloid (1,3,7-trimethyl-xanthine) พบเฉพาะในพืชชั้นชั้นสูง 6 สกุล : Camellia, Coffee, Theobroma, Ilex, Paullinia และ Cola Schott & Endl. คาเฟอีนเป็นสารประกอบอินทรีย์ที่จัดอยู่ในประเภทอัลคาลอยด์ (alkaloids) จำพวกแซนทีน (xanthine) ละลายได้ง่ายในสารอินทรีย์ทั่วไป ยกเว้นไม่ละลายในปิโตรเลียมอีเทอร์ ละลายน้ำได้ร้อยละ 2 ในน้ำเย็น อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส และละลายได้ร้อยละ 18 ในน้ำร้อน อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส และละลายได้ดีมากในคลอโรฟอร์ม (พัชนี, 2542) คาเฟอีนในเมล็ดกาแฟ

อาราบิก้ามีปริมาณเฉลี่ยอยู่ที่ 0.8 – 1.4 โดยปริมาณคาเฟอีนค่อย ๆ สะสมในระหว่างการพัฒนาเมล็ด Geromel et al. (2008) พบว่า ปริมาณคาเฟอีนในเมล็ดมีการเก็บสะสมเพิ่มสูงสุดอยู่ที่ 214 วัน และลดลงเมื่อนานถึง 281 วัน เมล็ดกาแฟจัดเป็นพืชที่เป็นแหล่งของคาเฟอีนมาก นอกจากนี้ลักษณะของพื้นที่ปลูกกาแฟ มีความสำคัญที่ส่งผลต่อปริมาณคาเฟอีนในเมล็ดกาแฟ วรรณภา และดรุณี (2560) พบว่า การปลูกกาแฟในพื้นที่ที่มีความสูงเพิ่มขึ้นส่งผลให้ปริมาณคาเฟอีนในเมล็ดกาแฟลดลง

3.2 ไทรโกเนลลีน (Trigonelline)

ไทรโกเนลลีนเป็นสารอัลคาลอยด์ในเมล็ดกาแฟ มีปริมาณมากเป็นอันดับสอง รองจากคาเฟอีน ไทรโกเนลลีนเป็นสารตั้งต้นให้เกิดกลิ่น ช่วยส่งเสริมกลิ่นและรสขมของกาแฟให้ดีขึ้น ในเมล็ดกาแฟอาราบิก้านั้นมีปริมาณไทรโกเนลลีนที่สูงกว่ากาแฟโรบัสต้า โดยมีปริมาณสารอยู่ที่ 0.8 - 1.82 % และ 0.7 – 1.24 % ตามลำดับ (Bicho et al., 2013) และสำหรับกาแฟที่ปลูกในร่มเงามีไทรโกเนลลีนมากกว่าการปลูกกลางแจ้ง (Vaast et al., 2006)

3.3 กรดคลอโรจีนิก (Chlorogenic acids)

กรดคลอโรจีนิก (CGAs) เป็นกลุ่มของสารประกอบฟีนอลิกที่แสดงคุณลักษณะหลายอย่าง ในระหว่างการคั่ว CGAs ส่วนใหญ่ย่อยสลายเป็นกรด caffeic แลคโตนและอนุพันธ์ฟีนอลอื่น ๆ ผ่านปฏิกิริยาของ Maillard และ Strecker ซึ่งส่งผลให้เกิดความขม ความฝาด และกลิ่นหอมเพิ่มขึ้น (Upadhyay and Mohan Rao, 2013) CGAs ในกาแฟอาราบิก้ามีการสูญเสีย CGA เกิดหลังจากการคั่วระดับอ่อน (คั่วจนเมล็ดกาแฟมีสีน้ำตาลอ่อน) และหลังจากการคั่วเมล็ดกาแฟระดับเข้ม (คั่วจนเมล็ดกาแฟมีสีน้ำตาลเข้ม) มีการสูญเสีย CGA เท่ากับ 60.9 % และ 96.5 % ตามลำดับ สอดคล้องกับในเมล็ดกาแฟโรบัสต้าที่พบการสูญเสียอยู่ที่ 59.7 % ถึง 98 % ตามลำดับ (Trugo and Macrae, 1984)

3.4 ซูโครส (Sucrose)

ซูโครสเป็นสารตั้งต้นของกลิ่นหอม สลายตัวอย่างรวดเร็วในระหว่างการคั่วและก่อตัวเป็นสารประกอบระเหย และไม่ระเหย ปริมาณคาร์โบไฮเดรตทั้งหมดในเมล็ดกาแฟ เป็นซูโครสมากกว่า 90 % (Knopp et al., 2005) ปริมาณซูโครสนั้นจะขึ้นอยู่กับชนิด และสายพันธุ์ของกาแฟ ในกาแฟอาราบิก้ามีปริมาณซูโครสอยู่ที่ 7.4 – 11.1 % ซึ่งสูงกว่ากาแฟโรบัสต้าที่มีปริมาณซูโครสอยู่ที่ 4.05 – 7.05 % (Tran et al., 2016)

3.5 ลิพิด (Lipids)

ในเมล็ดกาแฟ มีไขมันอยู่ในเมล็ดกาแฟ อยู่ระหว่าง 7 ถึง 17 % ประกอบไปด้วย ไตรเอซิลกลีเซอรอล (70–80 %) ไดเทอร์พีนและกรดไขมัน (15–18.5%) สารประกอบความเข้มข้นต่ำอื่น ๆ ที่มีส่วนช่วย 0.1–3.2% ของไขมันทั้งหมด และไขกาแฟ (0.1–0.3 %) ของน้ำหนักเมล็ดกาแฟทั้งหมด บางครั้งสูญเสียจากกระบวนการแปรรูปเมล็ด เช่น การขัด ล้าง หรือการแยกคาเฟอีนออกจากเมล็ด

กาแฟ (Kurzrock and Speer, 2001) ไขมันในกาแฟทำให้เนื้อสัมผัสและความรู้สึกในการชิมเครื่องดื่มมีรสชาติ (Oestreich-Janzen, 2010)

สภาพแวดล้อมในการปลูกกาแฟ

พันธุกรรมเป็นตัวกำหนดประสิทธิภาพหรือขนาดองค์ประกอบของผลผลิต ซึ่งการที่ได้มาของประสิทธิภาพผลผลิตที่ดี ต้องมีการร่วมกับปัจจัยสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมด้วย โดยปัจจัยสภาพแวดล้อมเป็นอีกปัจจัยที่ส่งผลต่อพืชทั้งในด้านการเจริญเติบโต และการให้ผลผลิตของพืช

1. สภาพแวดล้อมแหล่งปลูกกาแฟโลก

ปัจจัยสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมต่อการปลูกกาแฟ อยู่ในโซนเขตร้อน (Tropical zone) โดยแบ่งออกเป็น 3 พื้นที่เพาะปลูกที่สำคัญ แถบแอฟริกา, แถบอเมริกากลาง และอเมริกาใต้, แถบเอเชียและอินโดนีเซีย และชนิดของเมล็ดกาแฟที่นิยมปลูกตามพื้นที่ต่าง ๆ ให้รสชาติและมีเอกลักษณ์แตกต่างกัน

1.1 แอฟริกา

กาแฟจากเขตนี้มีรสชาติโดดเด่นมากที่สุด มีความเข้มข้นกลิ่นหอมแรง ซ่อนกลิ่นรสของช็อกโกแล็ตและผลไม้เปรี้ยวคล้ายไวน์ ตัวอย่างประเทศที่ปลูกกาแฟในเขตนี้ เช่น

ประเทศเอธิโอเปีย แหล่งกำเนิดและส่งออกกาแฟพันธุ์อาราบิก้าที่ใหญ่ที่สุดในแอฟริกา มีขนาดเมล็ดกาแฟปานกลาง รสชาติค่อนข้างเปรี้ยว แรง และฉุน มีกลิ่นไวน์และบลูเบอรี่ผสมอยู่ ซึ่งหาความแน่นอนของรสชาติไม่ค่อยได้ ส่วนใหญ่แหล่งปลูกกาแฟในเอธิโอเปียมีความสูงจากระดับน้ำทะเลระหว่าง 1,500 – 2,200 เมตร

ประเทศเคนย่า เป็นผู้ส่งออกกาแฟอันดับ 14 ของโลก กาแฟที่ผลิตในประเทศเคนย่าเป็นกาแฟที่มีคุณภาพในการบริโภคดี ทั้งรสชาติและกลิ่นหอม มีสารกาแฟที่มีขนาดใหญ่ แหล่งปลูกกาแฟในเคนย่ามีความสูงจากระดับน้ำทะเลระหว่าง 1,400 – 1,900 เมตร มีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยประมาณ 1,000 – 1,150 มิลลิเมตรต่อปี สภาพดินมีความเหมาะสมหน้าดินลึก ไม่มีการปลูกไม้บังร่มเงา

1.2 อเมริกากลางและอเมริกาใต้

กาแฟจากแถบนี้มีเมล็ดกาแฟที่มีน้ำหนักเบาและรสเปรี้ยวกว่ากาแฟแถบอื่นๆ ตัวอย่างประเทศที่ปลูกกาแฟในเขตนี้ เช่น

ประเทศบราซิล เป็นประเทศที่มีการส่งออกกาแฟในปริมาณ 70 % ของกาแฟในตลาดโลก พื้นที่ปลูกส่วนมากเป็นพื้นที่ที่มีการเปิดป่าใหม่ และเมื่อพื้นที่มีความอุดมสมบูรณ์ลดลง

หรือมีปัญหาเกิดขึ้น ก็ทำการหาแหล่งปลูกในพื้นที่ใหม่ ซึ่งขยายไปทางตะวันตกของประเทศ พื้นที่มีความลาดชันไม่มากนัก มีความสูงจากระดับน้ำทะเลประมาณ 900 เมตรขึ้นไป นิยมปลูกในพื้นที่โล่งแจ้ง หากมีการปลูกภายใต้ร่มเงามักปลูกภายใต้ร่มเงาต้นสนอินเดีย และยางพารา

1.3 อินโดนีเซีย

กาแฟอินโดนีเซียมีเพียง 10 % เท่านั้นที่เป็นอาราบิก้า แต่ถือเป็นกาแฟอาราบิก้า 10 % ที่ดีที่สุดในโลก มีรสที่เข้มข้น เปรี้ยวละมุน มีกลิ่นรสของดิน แต่ละจิบจะรู้สึกถึงรสชาติได้นาน

ประเทศอินโดนีเซีย ส่วนใหญ่ปลูกกาแฟโรบัสต้า ส่วนกาแฟอาราบิก้ามีการปลูกกันมากทางภาคเหนือของเกาะสุมาตรา พื้นที่ส่วนใหญ่เป็นภูเขาสูง มีพื้นที่ปลูกลาดชัน ความสูงจากระดับน้ำทะเลตั้งแต่ 1,000 – 1,900 เมตร เหนือระดับน้ำทะเล สภาพแหล่งปลูกมีปริมาณน้ำฝนสูง คือ มีฤดูฝน 2 ช่วง ทำให้ช่วงเก็บเกี่ยวยาวนานถึง 9 เดือน และอุณหภูมิเฉลี่ยประมาณ 19.7 องศาเซลเซียส สภาพแวดล้อมดังกล่าวเอื้อต่อการระบาดของโรคราสนิม ทำให้กาแฟที่ผลิตในเขตนี้มีผลผลิตต่ำ

2. ลักษณะทางภูมิศาสตร์และปัจจัยสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมสำหรับการปลูกกาแฟอาราบิก้า

ลักษณะทางภูมิศาสตร์มีผลทางอ้อมต่อลักษณะของสังคมพืช แต่มีอิทธิพลโดยตรงต่อสภาพภูมิอากาศ และคุณสมบัติของดิน (นิวัติ, 2534) ลักษณะทางภูมิศาสตร์ที่เหมาะสมสำหรับการปลูกกาแฟอาราบิก้า ขึ้นกับส่วนประกอบของสภาพแวดล้อมพื้นฐานของแปลงปลูกโดยทั่วไป เช่น อุณหภูมิ ระดับความสูงของพื้นที่ ทิศทางของพื้นที่ปลูก ความแรงของลม สภาพร่มเงาและสภาพแสง ความอุดมสมบูรณ์ของดิน แหล่งน้ำสำหรับพื้นที่ปลูก ความลาดชัน ปัจจัยต่าง ๆ เหล่านี้ มีความสัมพันธ์กันอย่างใกล้ชิด และส่งผลต่อการเจริญเติบโตของต้นกาแฟ และการให้ผลผลิต (โครงการศูนย์วิจัยและพัฒนากาแฟบนที่สูง, 2530)

2.1 ระดับความสูงจากระดับน้ำทะเล

พื้นที่ที่เหมาะสมกับการปลูกกาแฟอาราบิก้าในประเทศไทยส่วนใหญ่อยู่ทางภาคเหนือมีความสูงจากระดับน้ำทะเลประมาณ 800 เมตรขึ้นไป เนื่องจากอุณหภูมิของพื้นที่ดังกล่าวมีความหนาวเย็น และในส่วนบริเวณหุบเขามีความชื้นที่เหมาะสมกับการเจริญเติบโตของกาแฟอาราบิก้า ระดับความสูงจากระดับน้ำทะเลที่เหมาะสมกับการเจริญเติบโตของกาแฟอาราบิก้าอยู่ที่ 1,200 - 1,300 เมตร หากพื้นที่ที่มีความสูงกว่า 1,500 เมตรขึ้นไป กาแฟอาราบิก้ามักประสบปัญหาน้ำค้างแข็ง ซึ่งอาจทำให้ผลผลิตเสียหายได้ (โครงการศูนย์วิจัยและพัฒนากาแฟบนที่สูง, 2530) จากการศึกษาของ นริศ และคณะ (2539) พบว่า ระดับความสูงของพื้นที่ปลูกกาแฟ มีผลต่อคุณภาพของเมล็ดกาแฟ โดยการปลูกกาแฟในพื้นที่ที่มีระดับความสูงจากระดับน้ำทะเลที่สูงขึ้น ส่งผลให้มีน้ำหนักเมล็ดกาแฟที่เพิ่มขึ้น และจากการศึกษาของ วรรณภา และดรุณี (2560) พบว่า ระดับความสูงของพื้นที่ปลูกกาแฟ ที่มีระดับ

ความสูงเพิ่มขึ้นส่งผลให้ มีปริมาณคาเฟอีนลดลง แต่มีปริมาณไทรโกเนลลีนเพิ่มขึ้น และในด้านของชนิดพรรณไม้นั้นมีรายงานว่าพื้นที่ที่มีความสูงจากระดับน้ำทะเลเพิ่มขึ้น จำนวนต้นไม้หรือความหนาแน่นของหมู่ไม้มักลดลง ส่งผลต่อการลดลงของจำนวนวงศ์ และจำนวนชนิดด้วย (Ogawa et al., 1961)

2.2 ความลาดชัน

ความลาดชันของพื้นที่มีผลโดยตรงต่อสังคมพืชค่อนข้างน้อย แต่มีผลต่อปัจจัยอื่น ๆ ที่มีผลต่อการเจริญเติบโตและโอกาสของการปรากฏของไม้แต่ละชนิด และต่อโครงสร้างสังคมพืชส่วนรวม พื้นที่บริเวณที่มีความลาดชันน้อย ความหนาของผิวหน้าดินจะมีมาก มีการปกคลุมของพืชพรรณหนาแน่นกว่าบริเวณที่มีความลาดชันมาก ซึ่งพื้นที่ที่ความลาดชันมากมีความหนาของผิวหน้าดินน้อย (Siccama et al., 1970) ในด้านของระบบการระบายน้ำกรณีที่พื้นที่มีความลาดชันมากความชื้นค่อนข้างต่ำ หน้าดินตื้นเนื่องจากการกัดเซาะของน้ำผิวดิน กาแฟอาราบิก้าควรปลูกในพื้นที่ราบ หรือมีความเอียงไม่เกิน 35 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากพื้นที่ที่มีความลาดชันสูงมีโอกาสเกิดการชะล้างพังทลายของดินสูง อาจส่งผลต่อต้นกาแฟและผลผลิต อาจมีการปรับปรุงพื้นที่โดยปลูกหญ้าแฝกคลุมดิน ทำขั้นบันไดเฉพาะต้นการปลูกพืชตามแนวระดับการทำทางระบายน้ำออกจากพื้นที่ เพื่อการอนุรักษ์ดินและน้ำ นอกจากนี้ยังสามารถลดผลกระทบต่อการสูญเสียของผลผลิตได้อีก เป็นต้น

2.3 ทิศด้านลาด

ทิศด้านลาดมีผลต่อการได้รับพลังงานจากดวงอาทิตย์ ปริมาณฝนและลม ทิศด้านลาดที่เหมาะสมสำหรับการปลูกกาแฟคือ ทิศเหนือ เนื่องจากกาแฟได้รับแสงที่พอดีไม่ได้รับความร้อนที่สูงเกินไป เพราะไม่ได้รับแสงตลอดทั้งวัน ทิศทางรองลงมาได้แก่ ทิศตะวันออก ส่วนทิศตะวันตก และทิศใต้ ไม่เหมาะสมเป็นแหล่งปลูกกาแฟ เนื่องจากกาแฟได้รับแสงทั้งวัน แต่ถ้าหากหลีกเลี่ยงไม่ได้ควรมีต้นไม้เพื่อบังร่มเงาให้ต้นกาแฟเพื่อป้องกันแสงแดดที่จัดเกินไป (โครงการศูนย์วิจัยและพัฒนากาแฟบนที่สูง, 2530)

2.4 ทิศทางของลม

กาแฟมีระบบรากตื้น พื้นที่ปลูกจึงไม่ควรมีลมแรงอาจทำให้ต้นกาแฟโค่นล้มหรือเอียงจนเกิดความเสียหายต่อระบบราก อาจส่งผลให้ต้นกาแฟชะงักการเจริญเติบโต รวมทั้งยังทำให้มีการระเหยน้ำเพิ่มขึ้น จนต้นกาแฟมีอาการขาดน้ำ (ศูนย์วิจัยและพัฒนากาแฟบนที่สูง, 2537)

2.5 ความชื้นสัมพัทธ์

กาแฟสามารถเจริญเติบโตได้ดี ในสภาพที่มีความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศค่อนข้างสูง และความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศมีความจำเป็นในช่วงที่มีการติดดอก อาจทำให้การออกดอกถูกขัดจังหวะได้ เนื่องจากการที่มีความชื้นต่ำ ทำให้ตาดอกอยู่ในช่วงพักตัว และเลิกพักตัวเมื่อมีความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศที่สูง (ศูนย์วิจัยและพัฒนากาแฟบนที่สูง, 2537)

2.6 แสง

แสงมีผลโดยตรงต่อขบวนการสังเคราะห์แสง เนื่องจากเป็นกระบวนการพื้นฐานที่ทำให้พืชได้มาซึ่งพลังงาน เพื่อนำมาสังเคราะห์เป็นสารประกอบอินทรีย์ในพืช อันเป็นปัจจัยโดยตรงในการควบคุมการเจริญเติบโตของพืช แสงยังควบคุมขบวนการพื้นฐานของการเจริญเติบโตในระดับต่าง ๆ จนได้ผลรวมออกมาในรูปการเจริญและเปลี่ยนแปลงทางด้านโครงสร้าง (สังคม, 2547) นอกจากนี้แสงยังมีอิทธิพลต่อปรากฏการณ์ต่าง ๆ ในการเจริญเติบโตของพืชด้วย เช่น การงอกของเมล็ด การพักตัวของเมล็ด การออกดอก เป็นต้น โดยความเข้มแสงที่มีความเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของต้นกาแฟอยู่ที่ระดับความเข้มแสง 600 µmol (Cannell, 1985) หรือถ้าเป็นร้อยละของความเข้มแสงที่เหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโตของต้นกาแฟอยู่ที่ร้อยละ 62 (Muliasari et al., 2015)

2.6.1 ความเข้มของแสง (Light Intensity)

ความเข้มของแสง คือ ปริมาณแสงทั้งหมดที่พืชได้รับ ซึ่งความเข้มของแสงแตกต่างกันตามพื้นที่ เวลา ฤดูกาล และระยะห่างจากเส้นศูนย์สูตรของโลก ในพื้นที่เดียวกันความเข้มของแสงค่อย ๆ เพิ่มขึ้นตั้งแต่ดวงอาทิตย์ขึ้นจนถึงเที่ยงวัน หรือในช่วงบ่าย จากนั้นค่อย ๆ ลดลงไปจนถึงดวงอาทิตย์ตก บริเวณเส้นศูนย์สูตรของโลกมีความเข้มของแสงสูงที่สุดและค่อย ๆ ลดลงตามเส้นรุ้งที่มุ่งไปหาขั้วโลกในช่วงเวลาเดียวกัน

อิทธิพลของความเข้มของแสงมีผลต่อการเจริญเติบโตของพืช คือ การสังเคราะห์แสงและการหายใจของพืช โดยสามารถแบ่งระดับของความเข้มแสงที่มีผลต่อพืช ดังนี้

1) ระดับความเข้มแสงที่เหมาะสมต่อพืช ถ้ามีปัจจัยอื่น ๆ ที่เหมาะสมร่วมด้วย ทำให้การหายใจเป็นปกติ การสังเคราะห์แสงมีอัตราสูง ทำให้ได้อาหารเพื่อใช้ในการเจริญเติบโตมาก ระดับความเข้มของแสงที่เหมาะสมต่อพืชแต่ละชนิดแตกต่างกัน อาจแบ่งพืชตามความต้องการความเข้มของแสงออกได้เป็น

1.1) พืชในร่ม เป็นพืชที่ต้องการความเข้มของแสงน้อยจึงเจริญเติบโตได้ดี พืชพวกนี้ ถ้านำไปอยู่กลางแดดที่มีความเข้มของแสงสูง ใบไหม้และต้นชะงักการเจริญเติบโต พืชพวกนี้มักนิยมปลูกไว้ในร่ม ตามชายคาบ้าน บริเวณข้างหน้าต่าง และไม้ประดับอาคารสถานที่

1.2) พืชกึ่งร่มกึ่งแจ้ง เป็นพืชที่ต้องการแสงที่มีการพรางหรือลดความเข้มของแสงลงแล้ว พืชพวกนี้นิยมปลูกในที่ร่มที่มีแสงแดดรำไร โดยกาแฟจัดอยู่ในกลุ่มพืชกึ่งร่มกึ่งแจ้ง

1.3) พืชกลางแจ้ง ต้องการความเข้มของแสงสูง มีการเจริญเติบโตได้ดีในที่กลางแจ้ง เป็นพืชที่ปลูกอยู่ทั่วไป

2) ความเข้มของแสงที่ต่ำเกินไป เมื่อความเข้มของแสงไม่เพียงพอ ทำให้มีอัตราการเจริญเติบโตช้า และให้ผลผลิตต่ำ หรือผลผลิตมีคุณภาพต่ำ การรวมตัวของก๊าซ

คาร์บอนไดออกไซด์กับน้ำ ในปฏิกิริยาสังเคราะห์แสงนั้น ขั้นตอนของขบวนการนี้ต้องการพลังงานที่มีในปฏิกิริยาแสงเป็นตัวกระตุ้นจึงเกิดขึ้นได้ กรณีที่แสงมีความเข้มต่ำ พลังงานที่ใช้ในการรวมตัวของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์กับน้ำมีน้อย อัตราการสังเคราะห์แสงต่ำ ส่งผลให้มีอาหารน้อยตามไปด้วย ซึ่งอาหารจากการสังเคราะห์แสงนี้เป็นสารตั้งต้นในการสร้างสารประกอบที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตอื่น ๆ เมื่อพืชมีอาหารต่ำอยู่แล้ว การสร้างสารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตเกิดได้น้อย จึงส่งผลให้พืชมีการเจริญเติบโตช้า และมีผลผลิตต่ำ หรือผลผลิตมีคุณภาพต่ำ

3) ความเข้มของแสงที่สูงเกินไป ส่งผลลบต่อพืชดังนี้

3.1) ปริมาณคลอโรฟิลล์ (Chlorophyll content) ความเข้มของแสงที่สูงเกินไป ทำให้พืชบางชนิดมีปริมาณคลอโรฟิลล์ลดลง หรือคลอโรฟิลล์มีประสิทธิภาพต่ำลง ทำให้มีการสังเคราะห์แสงต่ำไปด้วย

3.2) แสงที่มีความเข้มมากเกินไป ทำให้อุณหภูมิของใบเพิ่มขึ้นอย่างมาก ทำให้พืชมีอัตราการคายน้ำสูง หากอัตราการดูดน้ำของรากไม่สมดุลกับอัตราการคายน้ำ พืชมักแสดงอาการขาดน้ำ

3.2) แสงที่มีความเข้มมากเกินไป ส่งผลให้อุณหภูมิของใบสูงขึ้นเป็นผลให้ระบบเอนไซม์ในกระบวนการเปลี่ยนน้ำตาลไปเป็นแป้งลดลง ทำให้พืชมีการสะสมน้ำตาลแทนแป้ง นอกจากนี้เอนไซม์ที่มีส่วนในการสังเคราะห์แสงลดกิจกรรมลงด้วย ทำให้อัตราการสังเคราะห์แสงลดลง

2.6.2 คุณภาพของแสง (Light quality) หรือความยาวของคลื่นแสง (Wavelength)

แสงมีคุณสมบัติเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า มีความยาวคลื่นหลายระดับ โดยที่แสงอาทิตย์ประกอบด้วยแสงที่มีความยาวคลื่นอยู่ระหว่าง 225 – 2,500 นาโนเมตร แต่แสงอาทิตย์ที่ตกลงมายังพื้นโลก มีความยาวคลื่นระหว่าง 310 - 2,300 นาโนเมตร เนื่องจากคลื่นสั้นหรือแสงเหนือม่วง (Ultra Violet, UV) ซึ่งเป็นแสงที่มีอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต ส่วนใหญ่ถูกดูดซับไว้ โดยชั้นของโอโซน (Ozone) ในบรรยากาศ ส่วนแสงที่มีความยาวคลื่นมากกว่าแสงสีแดง (Infra-red) ความยาวคลื่นมากกว่า 2,300 nm ถูกดูดซับไว้โดยไอน้ำ และคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งแสงอาทิตย์ที่ตกลงมายังพื้นผิวโลกอาจแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่ ๆ คือ

1) คลื่นแสงที่มองไม่เห็น (Invisible light) ได้แก่ แสงเหนือม่วง ช่วงความยาวคลื่นต่ำกว่า 390 นาโนเมตร เป็นตัวการในการยับยั้งการเจริญเติบโตของพืช และแสง Infra-red ช่วงความยาวคลื่นสูงกว่า 810 นาโนเมตร ทำให้ปล้องของพืชยืดยาวออก

2) คลื่นแสงที่มองเห็น (Visible light) อยู่ในช่วงความยาวคลื่น 390-810 nm แต่ละช่วงความยาวคลื่นมีสีต่างกัน แสงในกลุ่มนี้มีผลต่อพืช คือ

แสงสีม่วง (390-410 nm) แสงสีคราม (411-425 nm) และสีน้ำเงิน (426-492 nm) เกี่ยวข้องกับการตอบสนองของพืชต่อแสงที่เรียกว่า Phototropism เช่น การที่ดอกไม้บางชนิดหันเข้าหาแสง การโค้งงอของพืชเข้าหาแสง เป็นต้น และมีความสำคัญต่อการสังเคราะห์แสงที่ 430 สำหรับคลอโรฟิลล์ เอ และ 453 นาโนเมตร สำหรับคลอโรฟิลล์ บี

แสงสีเขียว (493-535 นาโนเมตร) ระงับการเจริญเติบโตของพืช

แสงสีเหลือง (536-586 นาโนเมตร) และแสงสีส้ม (587-647 นาโนเมตร) ส่งเสริมการงอกของเมล็ด

แสงสีแดง (648-760 นาโนเมตร) ส่งเสริมการงอกและหรือยับยั้งการงอกของเมล็ดพืชบางชนิด และมีความสำคัญต่อการสังเคราะห์แสงที่ 642 นาโนเมตร สำหรับคลอโรฟิลล์ เอ และ 662 นาโนเมตร สำหรับคลอโรฟิลล์ บี

แสงสีไกลแดง (761-810 นาโนเมตร) ยับยั้งการงอกของเมล็ด

2.6.3 ช่วงแสง (Light Duration or Photoperiod)

ช่วงแสง หมายถึง ระยะเวลายาวนานของแสงในแต่ละช่วงวัน ซึ่งแตกต่างกันตามฤดูกาล ความยาวของช่วงแสงมีอิทธิพลต่อการเจริญเติบโตและพัฒนาการของพืชบางชนิดเป็นอย่างมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งอิทธิพลในช่วงการเปลี่ยนระยะการเจริญของพืช จากระยะการเจริญเติบโตทางลำต้น (Vegetative growth) ไปเป็นการเจริญเติบโตทางด้านการสืบพันธุ์ (Reproductive growth) ช่วงแสงมีอิทธิพลต่อการออกดอกและการลงหัวของพืชบางชนิด การตอบสนองของพืชต่อช่วงแสงนี้ อาจแบ่งพืชออกเป็น

พืชวันสั้น (short day plant) เป็นพืชที่ต้องการความยาวช่วงแสงสั้นกว่าช่วงวันวิกฤติ (critical day length) จึงออกดอกได้

พืชวันยาว (long day plant) เป็นพืชที่ต้องการความยาวช่วงแสงยาวกว่าช่วงวันวิกฤติจึงออกดอก

พืชที่ไม่ตอบสนองต่อช่วงแสง (day neutral plant) พืชกลุ่มนี้ เมื่อได้รับสภาพแวดล้อมที่เหมาะสม หรือมีอายุเหมาะสม สามารถออกดอกได้ โดยไม่เกี่ยวข้องกับช่วงแสง

2.7 อุณหภูมิ (Temperature)

อุณหภูมิเกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโตของพืช ตั้งแต่พืชเริ่มงอกจนกระทั่งออกดอก ติดผล อุณหภูมิเกี่ยวข้องกับขบวนการงอกของเมล็ด การสังเคราะห์แสง การหายใจ และการพักตัว พืชแต่ละชนิดมีความต้องการอุณหภูมิที่ใช้ในการเจริญเติบโตแตกต่างกัน อุณหภูมิที่เกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโตและพัฒนาการของพืช มีทั้งอุณหภูมิอากาศ และอุณหภูมิดิน

โดยทั่วไปอุณหภูมิอากาศมีผลต่อการเจริญเติบโตของลำต้น โดยมีผลต่อการสังเคราะห์แสงและการหายใจ ขบวนการทั้ง 2 ค่อย ๆ เพิ่มอัตราขึ้น ตามการเพิ่มของอุณหภูมิจนถึงระดับหนึ่ง

ซึ่งเรียกว่า ระดับอุณหภูมิที่เหมาะสม ที่อุณหภูมิประมาณ 30-35 °C ซึ่งอุณหภูมิเพิ่มขึ้นส่งผลต่อการไม่เพิ่มอัตราการเกิดกิจกรรมของขบวนการทั้ง 2 นี้ สำหรับอุณหภูมิดินมีผลต่อการเจริญเติบโตของราก และมีผลต่อการดูดน้ำและแร่ธาตุอาหาร ถ้าอุณหภูมิดินต่ำการดูดน้ำลดลง ต้นพืชแสดงอาการเหี่ยว นอกจากนี้กิจกรรมของจุลินทรีย์ในดินที่มีอุณหภูมิดินต่ำ ส่งผลให้กิจกรรมต่าง ๆ ลดลงด้วย ทำให้ได้อินทรีย์สารที่เป็นประโยชน์ต่อพืชน้อยตามไปด้วย กรณีอุณหภูมิดินสูงกว่าปกติเพียงเล็กน้อย ทำให้สามารถกระตุ้นให้รากมีการเจริญเติบโตยืดยาวมาก แต่หากอุณหภูมิของรากสูงกว่าลำต้นมีผลทำให้การเจริญเติบโตชะงัก

การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในรอบวัน จากอุณหภูมิกลางวันและอุณหภูมิกลางคืนมีอิทธิพลต่อการเจริญเติบโตและพัฒนาการของพืชเช่นกัน โดยส่วนใหญ่แล้วอุณหภูมิกลางคืนมีบทบาทต่อการเจริญเติบโตและพัฒนาการของพืชมากกว่าอุณหภูมิกลางวัน ถ้าอุณหภูมิกลางคืนสูงกว่าอุณหภูมิกลางวัน การเจริญเติบโตและพัฒนาการของพืชมักลดลง การที่อุณหภูมิกลางคืนต่ำกว่าอุณหภูมิกลางวัน ทำให้พืชมีการเจริญเติบโตและพัฒนาการดีกว่าการที่อุณหภูมิกลางคืนเท่ากับอุณหภูมิกลางวัน โดยทั่วไปอุณหภูมิกลางคืนที่เหมาะสมมักต่ำกว่า อุณหภูมิกลางวันที่เหมาะสมประมาณ 10 °C ในด้านอุณหภูมิที่มีผลต่อการผลิตกาแฟนั้น Craparo et al. (2015) ได้ศึกษาและสร้างสมการทำนายพบว่า การที่มีอุณภูมิต่ำสุดในรอบปี เพิ่มสูงขึ้นทุก ๆ 1 องศาเซลเซียส ส่งผลให้มีการลดลงของผลผลิตกาแฟ 21.92 ± 2.70 กิโลกรัมต่อไร่

อุณหภูมิมีบทบาทต่อขบวนการทางสรีรวิทยาของพืช เนื่องจากขบวนการต่าง ๆ ทางชีวเคมีเกิดขึ้นได้โดยกิจกรรมของเอนไซม์ ซึ่งเป็นโปรตีนชนิดหนึ่ง และกิจกรรมของเอนไซม์ขึ้นอยู่กับระดับของอุณหภูมิเป็นอย่างมาก ผลของอุณหภูมิต่อการเจริญเติบโตและพัฒนาการของพืช ได้แก่

1. อุณหภูมิสูง มีผลต่อการลำเลียงอาหาร ในสภาพอุณหภูมิต่ำ พืชมีการลำเลียงอาหารได้ดีกว่า

2. อุณหภูมิต่ำ ส่งผลต่อขบวนการสังเคราะห์แสงและการหายใจ ในสภาพอุณหภูมิต่ำ พืชมีการหายใจน้อยลง การเผาผลาญอาหารที่ได้จากการสังเคราะห์แสงลดลง ทำให้พืชชะงักหรือมีการเจริญเติบโตช้าลง

ในพืชหลายชนิด อุณหภูมิต่ำเป็นตัวชักนำให้พืชเกิดการออกดอก ซึ่งพืชพวกนี้ต้องได้รับอุณหภูมิต่ำช่วงหนึ่งจึงออกดอกได้ นอกจากนี้อุณหภูมิต่ำยังเป็นตัวกระตุ้นให้พืชบางชนิดที่มีถิ่นกำเนิดในเขตอบอุ่น (Temperate zone) สิ้นสุดการพักตัวและสามารถแตกตาดอก ตาใบ เข้าสู่ระยะการเจริญเติบโตในฤดูใบไม้ผลิได้ ซึ่งพืชพวกนี้ต้องการอุณหภูมิต่ำในระยะเวลานานพอสมควรจึงสิ้นสุดการพักตัว อุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโตของกาแฟ อยู่ระหว่าง 20 – 25 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นช่วงที่เหมาะสมในการสังเคราะห์แสงของต้นกาแฟ โดยปริมาณแสงและอุณหภูมิที่เพิ่มมากขึ้น (มากกว่า 45 องศาเซลเซียส) การสังเคราะห์แสงของกาแฟจะลดลงอย่างสมบูรณ์ ทำให้การ

เจริญเติบโต และผลผลิตของกาแฟลดลง แต่อุณหภูมิในสภาพแปลงขึ้นกับปัจจัยหลายอย่าง เช่น ระดับความสูงของพื้นที่ ทิศทางการปลูก ความชื้นและสภาพแสง อุณหภูมิกากาศที่เหมาะสมกับกาแฟอาราบิก้าในตอนกลางวันอยู่ที่ประมาณ 26 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิกลางคืนควรอยู่ประมาณ 20 องศาเซลเซียส (Bote and Struik, 2011; Cannell, 1985; DaMatta et al., 2007; โครงการศูนย์วิจัยและพัฒนากาแฟบนที่สูง, 2530)

2.8 ดิน (Soil)

ดินเป็นปัจจัยสำคัญในการเพาะปลูกพืช เนื่องจากดินทำหน้าที่เป็นวัสดุค้ำยันหรือที่ยึดเหนี่ยวหรือที่ยึดเกาะของรากพืช เป็นแหล่งความชื้นหรือแหล่งน้ำของพืช ให้อากาศเพื่อการหายใจของรากพืช และให้แร่ธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการดำรงชีวิตและการเจริญเติบโตของพืช (จีราภรณ์, 2557) ดินที่เหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโตของพืช ประกอบด้วย อนินทรียวัตถุ อินทรียวัตถุ น้ำใน ดิน และอากาศในดิน (ยงยุทธ และคณะ, 2541) ซึ่งดินมีสมบัติทางกายภาพและเคมีของ ดิน ได้แก่ เนื้อดิน และความชื้นในดิน ที่มีส่งผลกระทบทางตรงและทางอ้อมต่อการงอกของเมล็ด การเติบโต และการให้ผลผลิตของพืชแต่ระดับความสำคัญที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับความต้องการของ พืชแต่ละชนิด การแลกเปลี่ยนแทนที่ประจุที่อยู่ในดินที่ส่งให้เกิดผลดี และผลเสียต่อดินในพื้นที่หนึ่ง ๆ แตกต่างกันไป (นงคราญ, 2549)

อนินทรียวัตถุ (mineral or inorganic matters) กำเนิดมาจากการย่อยสลายของหินที่ให้กำเนิดดิน ส่วนประกอบของดินที่เป็นอนินทรียวัตถุ แบ่งออกเป็น หิน กรวด ทราย ทรายแป้ง และอนุภาคดินเหนียว หน้าที่ของอนินทรียวัตถุในดิน คือ เป็นแหล่งให้ธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืชและของจุลินทรีย์ในดิน โดยดินมีส่วนในขบวนการทางเคมีและทางฟิสิกส์ของดิน เช่น การแลกเปลี่ยนประจุของแร่ธาตุ อาหาร การดูดยึดน้ำในดิน เป็นต้น

อินทรียวัตถุ (organic matters) ได้มาจากสิ่งมีชีวิตที่สลายตัว และสิ่งมีชีวิตที่ยังมีชีวิตอยู่ เช่น หญ้า ไม้ยืนต้น แบคทีเรีย เชื้อรา โปรโตซัว ไส้เดือน และสิ่งขับถ่ายของสัตว์ เป็นต้น หน้าที่ของอินทรียวัตถุในดิน คือ ช่วยให้ดินร่วนซุย และมีโครงสร้างดีขึ้น เหมาะแก่การเจริญของรากพืช เป็นแหล่งให้แร่ธาตุอาหารแก่พืชและจุลินทรีย์ในดิน เป็นแหล่งพลังงานของจุลินทรีย์ในดิน

ดินที่มีลักษณะที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืช ควรมีสัดส่วนของส่วนที่เป็นของแข็งของดินทั้ง 2 ชนิดนี้ ในสัดส่วนที่สมดุลกัน นอกจากนี้ยังต้องคำนึงถึงองค์ประกอบของดินส่วนที่ไม่เป็นของแข็งด้วย เช่น น้ำในดินและอากาศในดิน ภายในดินมีช่องว่าง ซึ่งมีอากาศและน้ำบรรจุอยู่ สัดส่วนของช่องว่างในดิน ต้องมีความสมดุลกับส่วนที่เป็นของแข็งในดิน จึงทำให้ดินมีความเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืช สัดส่วนของน้ำและอากาศที่อยู่ในช่องว่างในดินเป็นสัดส่วนผกผันกัน คือ ถ้าปริมาณน้ำในช่องว่างต่ำลง อากาศในช่องว่างมากขึ้น ในสภาพนี้ดินมีสภาวะขาดน้ำ และส่งผลต่ำกระบวนการทางสรีรวิทยาของพืช แต่ถ้าช่องว่างในดินมีน้ำมากส่วนของอากาศในดินมีน้อย ดินมี

สภาวะขาดออกซิเจน ซึ่งจำเป็นต่อการหายใจของรากพืช อาจก่อให้เกิดการสร้างสารพิษภายในราก นอกจากนี้ยังมีผลต่อกระบวนการสร้างอาหาร และวงจรของไนโตรเจนในดินด้วย การที่น้ำในดินสามารถคงอยู่ได้ในช่องว่างในดินนั้น มีปัจจัยที่เข้ามาเกี่ยวข้อง 2 ประการ

1. โครงสร้างของดิน (soil structure) ช่องว่างระหว่างอนุภาคของดิน ความพรุนของดินเป็นสัดส่วนกับปริมาตรของช่องว่างที่ถูกแทนที่ด้วยน้ำและอากาศ ถ้าดินพรุนมากมีช่องว่างที่มีน้ำและอากาศมาก ดินร่วนมีช่องว่างประมาณ 50 % ของปริมาตรทั้งหมด ดินทรายมีน้อยกว่า 50 % และดินเหนียว มีมากกว่า 50 % ดังนั้นดินเหนียวจึงมีความสามารถในการยึดน้ำในดินได้ดีกว่าดินร่วน และดินทรายตามลำดับ ซึ่งช่องว่างในดินมีขนาดเล็กสามารถยึดน้ำได้ดีกว่าช่องว่างที่มีขนาดใหญ่ น้ำในช่องว่างขนาดใหญ่มักไหลซึมลงสู่ดินชั้นล่าง ๆ ตามแรงดึงดูดของโลก

2. เนื้อดิน (soil texture) ดินที่มีเนื้อละเอียดมักมีความพรุนมากกว่าดินที่มีเนื้อหยาบกว่า ทำให้สามารถยึดน้ำได้ดีกว่า การยึดน้ำของดินเกิดขึ้นด้วยแรง 2 ชนิด คือ แรงยึดที่เกิดขึ้นระหว่างอนุภาคดินกับโมเลกุลของน้ำ (adhesion force) และแรงยึดที่เกิดขึ้นระหว่างโมเลกุลของน้ำ (cohesion force) ด้วยแรงทั้ง 2 ชนิดนี้ ทำให้รอบ ๆ อนุภาคของดินยึดน้ำไว้ได้ และยังควบคุมการเคลื่อนที่ของน้ำในช่องว่างของดิน เมื่อปริมาณน้ำในดินเพิ่มขึ้นภายในช่องว่างขนาดเล็กหรือรอบ ๆ อนุภาคดิน แรงยึดน้ำลดลง ทำให้น้ำไหลซึมผ่านลงไปในดินชั้นล่าง

ดินที่เหมาะสมกับการปลูกกาแฟ ควรมีความลึกของหน้าดินประมาณ 1.5 เมตร ดินควรมีลักษณะร่วนซุย มีสีแดงหรือน้ำตาล มีการระบายน้ำดี เนื้อดินไม่ละเอียดเกินไป มีการระบายอากาศดี มีความอุดมสมบูรณ์ของดินสูง และสามารถเก็บความชื้นในดินได้มาก หรือมีอินทรียวัตถุสูง กาแฟชอบดินที่มีฤทธิ์เป็นกรดเล็กน้อย และดินที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการปลูกกาแฟเมื่อมีความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) 4.5 – 6.5 (อักษร และพัฒนพันธุ์, 2537) ซึ่งดินที่อยู่ตอนสูงของประเทศไทยมีค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดินอยู่ระหว่าง (pH) 4.0 – 6.2 และมีความสมบูรณ์ระดับปานกลาง ซึ่งลักษณะดินตามพื้นที่สูงทางภาคเหนือของไทย พบว่าส่วนใหญ่มีลักษณะที่แตกต่างกันเป็นอย่างมาก อาจมีสาเหตุมาจากพื้นที่เหล่านั้น มีการทำเกษตรแบบไร่เลื่อนลอยมาก่อน ทำให้ดินขาดความอุดมสมบูรณ์ (โครงการศูนย์วิจัยและพัฒนากาแฟบนที่สูง, 2530)

2.9 แร่ธาตุอาหาร (Nutrients)

แร่ธาตุอาหารเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับการเจริญเติบโต พัฒนาการของพืช และการสืบพันธุ์ของพืช ถ้าขาดธาตุใดธาตุหนึ่ง อาจทำให้การเจริญเติบโต พัฒนาการ และการสืบพันธุ์ไม่สมบูรณ์ เนื่องจากแร่ธาตุอาหารเป็นส่วนประกอบของพืช เป็นส่วนประกอบของสารอินทรีย์ในกระบวนการสังเคราะห์แสงและการหายใจ และเป็นส่วนประกอบของเอนไซม์ ความต้องการธาตุแต่ละธาตุต้องมีขอบเขตจำกัด ไม่สามารถทดแทนกันได้ (จีราภรณ์, 2557; ยงยุทธ, 2558)

แร่ธาตุอาหารของพืช มีอยู่ด้วยกัน 17 ชนิด อาจแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่ม คือ

1. ธาตุอาหารที่พืชต้องการในปริมาณมาก มี 10 ธาตุ เรียกว่า ธาตุอาหารหลัก (Macronutrients) ได้แก่ คาร์บอน ไฮโดรเจน ออกซิเจน ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โปแตสเซียม แมกนีเซียม เหล็ก แคลเซียม และกำมะถัน

2. ธาตุอาหารที่พืชต้องการในปริมาณน้อย มี 7 ธาตุ เรียกว่า ธาตุอาหารรอง (Micronutrients) ได้แก่ แมงกานีส ทองแดง โมลิบดีนัม สังกะสี คลอรีน โบรอน และนิกเกิล

ไนโตรเจนเป็นที่ธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของลำต้น ใบ และผลของกาแฟที่ปลูกภายใต้สภาพร่มเงา ซึ่งการปลูกกาแฟภายใต้ร่มเงามีความต้องการในการใช้ปุ๋ยไนโตรเจน น้อยกว่าการปลูกสภาพกลางแจ้ง เนื่องจากในสภาพร่มเงามีการเติบโตช้าและได้ผลผลิตต่ำ แต่ในสภาพกลางแจ้งมีผลผลิตเพิ่มขึ้น ทำให้ต้องการใช้ปุ๋ยไนโตรเจนเพิ่มขึ้น ไนโตรเจนทำให้ต้นกาแฟเพิ่มจำนวนข้อต่อกิ่งแขนงที่ 1 ทำให้ผลผลิตสูงขึ้นโดยไม่มีผลต่อความยาวระหว่างข้อ รวมทั้งพบว่าไนโตรเจนสามารถเพิ่มจำนวนดอกต่อช่อ และช่วยให้อัตราติดผลสูงด้วยเหมือนกัน นอกจากนี้ไนโตรเจนช่วยให้พืชดูดกินฟอสฟอรัสได้เพิ่มขึ้นเนื่องจากไนโตรเจน ช่วยเร่งการเจริญเติบโตของลำต้นและราก ทำให้พืชมีกระบวนการเมตาบิริซึมมากขึ้น เมื่อรากแผ่ขยายมากขึ้นการดูดกินฟอสฟอรัสเพิ่มขึ้นตามไปด้วย (Brady and Weil, 2002) แต่ในกรณีที่ดินมีความเป็นกรด เกิดการตรึงฟอสเฟตขึ้น ทำให้ต้นกาแฟได้รับฟอสเฟตไม่เพียงพอ โดยทั่วไปการแสดงการขาดธาตุนี้มักไม่ปรากฏขึ้นในกาแฟต้นแก่ แต่มีผลต่อต้นกล้าเท่านั้น โปแตสเซียมมีความสำคัญในการผลิตกาแฟมากกว่าไนโตรเจน เป็นธาตุที่มีบทบาทในขบวนการพัฒนาของผล ถ้าดินมีโปแตสเซียมไม่เพียงพอ ทำให้ต้นกาแฟแสดงอาการขาดธาตุอาหาร การเจริญเติบโตทางกิ่งก้านลดลง ใบร่วง และเกิดยอดแห้งตายในที่สุด ซึ่งจากการศึกษาของ Brady and Weil (2008) พบว่า ปริมาณของธาตุโพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียม ในใบพืชมีความเป็นปฏิปักษ์ต่อกัน สอดคล้องกับ อนงนาฏ และคณะ (2562) ที่พบว่า แคลเซียม และแมกนีเซียมมีสหสัมพันธ์ที่เป็นลบกับโพแทสเซียม ในขณะที่แคลเซียม และแมกนีเซียม มีสหสัมพันธ์เป็นบวก เนื่องจากแมกนีเซียมนั้นเป็นองค์ประกอบหลักของคลอโรฟิลล์และเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์แสงของพืช การมีแมกนีเซียมมากเกินไปส่งผลให้ความสมดุลของแคลเซียมและโพแทสเซียมในพืชผิดปกติ การมีสัดส่วนของแมกนีเซียม และแคลเซียม ที่สูงกว่าโพแทสเซียม ทำให้การดูดใช้ธาตุอาหารโพแทสเซียมในกาแฟถูกขัดขวาง และอาจส่งผลต่อการดูดใช้อาหารที่เป็นจุลธาตุของกาแฟอีกด้วย โดยเฉพาะสังกะสีและแมงกานีส และเมื่อพืชขาดโพแทสเซียมใบแก่ของพืชจะแสดงอาการขอบใบไหม้จากปลายใบ อ่อนแอต่อโรค ทนต่อสภาพแห้งแล้งและหนาวเย็นไม่ได้ เนื่องจากโพแทสเซียมมีส่วนช่วยในการสังเคราะห์โปรตีน และคาร์โบไฮเดรต ทำหน้าที่รักษาสมดุลของเซลล์และกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ (Marschner, 2011; Mills and Jones, 1996) และทำให้ผลผลิตเมล็ดกาแฟดีขึ้น มีรสชาติ และกลิ่นหอม (Clemente et al., 2018)

นอกจากนี้ธาตุอาหารอื่น ๆ ล้วนมีความจำเป็นต่อต้นกาแฟ เช่น กำมะถัน หรือ ซัลเฟอร์ เป็นองค์ประกอบของโปรตีนบางชนิดที่สำคัญ คือ Coenzyme A ซึ่งใช้ในขบวนการหายใจ นอกจากนี้ซัลเฟอร์ยังเป็นองค์ประกอบสำคัญในวิตามิน thiamine และ biotin เป็นต้น การขาดธาตุซัลเฟอร์กาแฟมักแสดงอาการ Chlorosis ที่ใบอ่อน เพราะซัลเฟอร์ไม่เคลื่อนย้ายออกจากใบแก่ ธาตุเหล็กมีหน้าที่กระตุ้นกิจกรรมของเอ็นไซม์ในการสร้างคลอโรฟิลล์ และมีส่วนในการพาอิเล็คตรอน (Electron carrier) ในขบวนการหายใจและสังเคราะห์แสง โดยเป็นส่วนหนึ่งในโมเลกุลของ Cytochrome และเป็นองค์ประกอบของเอ็นไซม์ Ferredoxin ที่ทำหน้าที่เป็น Electron carrier และเอ็นไซม์ Nitrate reductase ในการเปลี่ยนรูปไนเตรตเป็นแอมโมเนีย การขาดธาตุเหล็กทำให้เกิด Chlorosis ที่เส้นใบของใบอ่อน เนื่องจากธาตุนี้มีการเคลื่อนย้ายได้ยาก เป็นต้น (ยงยุทธ, 2558; Clemente et al, 2018)

ธาตุอาหารนั้นมีความสำคัญกับกาแฟ ตั้งแต่การเจริญเติบโต พัฒนาการของกาแฟ รวมถึงการสร้างเมล็ดหรือผลผลิตกาแฟ โครงการศูนย์วิจัยและพัฒนากาแฟบนที่สูง (2530) กล่าวว่าการได้มาซึ่งผลผลิตกาแฟผลสด 1 ตัน ปริมาณธาตุอาหารในดินที่ต้องใช้ ได้แก่ ไนโตรเจน จำนวน 63.1 กิโลกรัม ฟอสฟอรัส จำนวน 11.64 กิโลกรัม และโพแทสเซียม จำนวน 67.17 กิโลกรัม

2.10 น้ำ (Water)

น้ำเป็นส่วนประกอบสำคัญของสิ่งมีชีวิต โดยเฉพาะพืชมีน้ำเป็นองค์ประกอบอยู่ประมาณ 75-90 % น้ำมีบทบาทต่อการมีชีวิตตลอดจนการเจริญเติบโตของพืช นับตั้งแต่เมล็ดเริ่มงอกจนกระทั่งออกดอกออกผล ถ้าพืชขาดน้ำอย่างมากเป็นเวลานาน ๆ ทำให้พืชถึงตายได้ ในด้านของการขาดน้ำของต้นกาแฟ ทำให้ต้นกาแฟเกิดความเครียด การได้รับน้ำส่งผลให้ตาดอกที่แก่เต็มที่พ้นระยะพักตัว และดอกบาน แต่ส่งผลให้เมล็ดกาแฟแต่ละรุ่นสุกแก่ไม่พร้อมกัน (Drinnan and Menzel, 1995)

ความต้องการน้ำของพืชมีหลายปัจจัยเข้ามาเกี่ยวข้อง แต่ที่สำคัญคือ การสูญเสียน้ำหรือการคายน้ำ และการสร้างสารประกอบภายในต้นพืช การคายน้ำ (Transpiration) หรือการสูญเสียน้ำของพืชจากการคายน้ำเป็นสิ่งจำเป็นที่ขาดไม่ได้ เนื่องจากการคายน้ำผ่านปากใบ (Stomata) ทำให้เกิดแรงดึงดูดดึงน้ำจากดิน ผ่านรากพืชเข้ามาภายในต้นพืชได้ หากไม่มีการคายน้ำหรือมีการคายน้ำน้อยพืชดูดน้ำได้น้อยด้วยเช่นกัน การคายน้ำต้องมีความสมดุลกับปริมาณน้ำที่พืชได้รับ หากพืชได้รับน้ำน้อยกว่าการคายน้ำ พืชมักแสดงอาการเหี่ยวเฉา

ปัจจัยที่มีผลต่อการคายน้ำ คือ

1. อุณหภูมิ สภาพอุณหภูมิสูง ทำให้พืชมีการคายน้ำมากขึ้น
2. ความชื้นในอากาศ ถ้ามีสภาพความชื้นในอากาศต่ำ พืชมีการคายน้ำมาก
3. ความเร็วลม ลมที่พัดผ่านแรง ทำให้พืชมีการคายน้ำมาก

4. ความเข้มแสง สภาพที่มีความเข้มแสงสูง ทำให้มีอุณหภูมิสูงตามไปด้วย พืชคายน้ำมากในวันที่มีอุณหภูมิสูง อากาศแห้ง มีลมแห้งพัดผ่าน ส่งเสริมให้พืชมีการคายน้ำมาก ซึ่งต้องจัดการเรื่องการให้น้ำให้เพียงพอ กับน้ำที่สูญเสียไป ถ้าปริมาณน้ำไม่เพียงพออาจทำให้พืชเหี่ยวเฉา

5. การสร้างสารประกอบในต้นพืช การเจริญเติบโตของพืชนั้น เป็นผลเนื่องมาจากการกระตุ้นของสารที่จำเป็นหรือเกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโต ซึ่งการสร้างสารที่เกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโตนั้นเกิดมากในช่วงที่พืชกำลังเจริญเติบโต สารที่เกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโตแทบทั้งหมดที่สร้างขึ้นได้ ต้องมีน้ำเป็นวัตถุดิบ หรือต้องการน้ำในการส่งเสริมให้ขบวนการนั้น ๆ ดังนั้นในช่วงที่พืชกำลังเจริญเติบโต จึงต้องการน้ำมากตามไปด้วย

สำหรับกาแฟอาราบิก้าที่ปลูกในประเทศไทยนั้นต้องการปริมาณน้ำฝนต่อปีเฉลี่ยอยู่ที่ 1,700 – 2,000 มิลลิเมตรต่อปี ดังนั้นหากมีการปลูกในแหล่งที่มีฝนตกหนัก ควรคำนึงถึงระบบระบายน้ำ ถ้าปลูกในพื้นที่ที่มีน้ำฝนค่อนข้างน้อย ควรมีการป้องกันการสูญเสียน้ำไปจากดิน (โครงการศูนย์วิจัยและพัฒนากาแฟบนที่สูง, 2530) ฝนนั้นมีผลต่อการติดดอกออกผลของกาแฟ จำนวนวันที่ฝนตกมีผลต่อขนาดเมล็ดกาแฟ ถ้ามีการตกในช่วงเวลาที่เหมาะสม 10 – 17 สัปดาห์หลังดอกบาน มักส่งผลให้เมล็ดสมบูรณ์ เนื่องจากเป็นช่วงที่กาแฟต้องการน้ำมากที่สุดในการพัฒนาเมล็ด ในทางกลับกันหากเกิดมีภัยแล้งเมล็ดจะไม่ขยายขนาดเป็นเวลา 1 เดือน และคงอยู่ในสภาพหัวเข็มหมุดนาน 3 เดือน เมื่อได้รับฝนถึงจะมีการพัฒนาเมล็ดต่อ และปริมาณน้ำที่ได้รับที่เพิ่มขึ้นจนถึง 100 % FC ส่งผลต่อน้ำหนักเมล็ดกาแฟที่เพิ่มขึ้นตามระดับน้ำที่ได้รับ (พริมลักษณ์ และคณะ, 2548)

กาแฟภายใต้ร่มเงาป่า

ในประเทศไทย พื้นที่ปลูกกาแฟอาราบิก้าส่วนใหญ่ อยู่ทางภาคเหนือของประเทศ และมีพื้นที่ส่วนหนึ่งเป็นพื้นที่ในโครงการอันเนื่องมาจากพระราชดำริ ที่ส่งเสริมให้ชาวไทยภูเขาปลูกพืชเมืองหนาวเพื่อหารายได้ทดแทนการปลูกฝิ่น และหนึ่งในพืชเศรษฐกิจที่โครงการแนะนำสนับสนุนให้ปลูกคือกาแฟอาราบิก้า (วรัญญู, 2560) ในปีพ.ศ. 2553 - 2554 มีพื้นที่ปลูกกาแฟในโครงการอันเนื่องมาจากพระราชดำริ และพื้นที่ในโครงการหลวง จำนวน 6,074 ไร่ หรือคิดเป็นร้อยละ 3.84 ของพื้นที่ที่ปลูกกาแฟอาราบิก้าในประเทศไทย การปลูกกาแฟในโครงการส่วนมากมักปลูกกาแฟในรูปแบบวนเกษตรหรือภายใต้ไม้ป่าธรรมชาติ พื้นที่ป่าเหล่านี้ประกอบไปด้วยป่าและสังคมพืชหลากหลายประเภท ขึ้นอยู่กับปัจจัยที่ทำให้เกิดป่าชนิดต่าง ๆ การจำแนกป่าของไทยแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ ป่าไม่ผลัดใบกับป่าผลัดใบ โดยป่าทั้ง 2 ประเภทนี้ยังแบ่งออกเป็นชนิดของป่าได้อีกหลายชนิด ยกตัวอย่างเช่น ประเภทป่าดิบเขาระดับต่ำ เป็นป่าไม่ผลัดใบ โดยป่าดิบเขามักพบบนภูเขาที่สูงกว่าระดับน้ำทะเลปานกลางตั้งแต่ประมาณ 1,000 – 1,900 เมตร สภาพป่ามีเรือนยอดแน่นทึบ

มีพื้นล่างหนาแน่นคล้ายกับป่าดิบชื้นและป่าดิบแล้ง แตกต่างกันในองค์ประกอบของพรรณไม้ ป่าดิบเขาประกอบไปด้วยพรรณไม้เขตอบอุ่นและพรรณไม้ภูเขา ต้องการอากาศค่อนข้างหนาวเย็นตลอดปี ความสูงของเรือนยอดชั้นบนของป่าดิบเขา ประมาณ 20 – 35 เมตร ความสูงของเรือนยอดลดลงตามระดับความสูงของพื้นที่ที่เพิ่มขึ้น (ธวัชชัย, 2549) ป่าดิบเขามีปริมาณน้ำฝนระหว่างปีเฉลี่ยอยู่ที่ 1,000 – 2,000 มิลลิเมตร (นิวัติ, 2546) ลักษณะของดินในป่าดิบเขาเป็นดินที่มีความลึกมาก ส่วนมากเป็นดินร่วนปนทรายค่อนข้างเหนียวเป็นดินประเภท red yellow podozolic soil หรือ riddisd brown laterite soil ความเป็นกรดเป็นด่างของดิน (pH) อยู่ระหว่าง 4 – 6.5 ความอุดมสมบูรณ์สูง (พงษ์ศักดิ์ และคณะ, 2531) ซึ่งป่าดิบเขาระดับต่ำนั้น มีความเหมาะสมสำหรับการปลูกกาแฟอาราบิก้าในประเทศไทย เนื่องจากการปลูกกาแฟอาราบิก้าให้ได้คุณภาพที่ดีควรปลูกในพื้นที่ที่มีความสูงจากระดับน้ำทะเลตั้งแต่ 800 เมตร ขึ้นไป ปริมาณน้ำฝนต่อปีเฉลี่ยอยู่ที่ 1,700 – 2,000 มิลลิเมตรต่อปี และค่า pH อยู่ที่ 4.5 – 5.5 (โครงการศูนย์วิจัยและพัฒนากาแฟบนที่สูง, 2530) และการปลูกกาแฟภายใต้ร่มเงา มีแนวโน้มที่กาแฟออกดอกและให้ผลผลิตที่ดีในแต่ละปี เนื่องจากกาแฟในร่มเงามีการติดผลที่น้อยกว่าการปลูกกลางแจ้งทำให้มีการชดเชยการสะสมอาหารในเอนโดสเปิร์มได้มากกว่า (Cannell, 1985) รวมถึงส่งผลให้มีปริมาณคาเฟอีนที่สูงกว่าการปลูกกลางแจ้งอีกด้วย (Avelino et al., 2007) นอกจากนี้ยังส่งผลต่อการเจริญเติบโตทางด้านลำต้น และขนาดเมล็ดกาแฟ และยังสามารถช่วยสร้างรายได้เพิ่มจากการเก็บของป่า หรือนำเศษไม้ไปทำฟืนอีกด้วย การปลูกกาแฟภายใต้ร่มเงาป่าเป็นแนวทางหนึ่งในการช่วยอนุรักษ์ป่าไม้ ความหลากหลายทางชีวภาพ และระบบนิเวศเอาไว้ได้ (Bote and Struik, 2011)

บทที่ 3
อุปกรณ์และวิธีวิจัย

พื้นที่ทำการศึกษา

ทำการศึกษาในเขตพื้นที่โครงการฟาร์มตัวอย่างตามพระราชดำริ บ้านขุนแตะ อำเภอจอมทอง จังหวัดเชียงใหม่ คัดเลือกแปลงปลูกกาแฟอาราบิก้าที่มีการปลูกภายใต้ร่มเงาไม้ป่า โดยเป็นประเภทของป่าเป็นป่าดิบเขาระดับต่ำ และมีอายุต้นกาแฟใกล้เคียงกัน ในการศึกษาครั้งนี้ได้ทำการศึกษาในพื้นที่ที่มีการปลูกต้นกาแฟที่มีอายุประมาณ 10 ปี คัดเลือกแปลงศึกษา จำนวน 7 แปลง โดยทั้ง 7 แปลง มาจากการสำรวจ และสังเกตลักษณะของป่าแต่ละแปลงที่มีความแตกต่างกัน เช่น ชนิดพรรณไม้ ขนาดความโตต้น ความสูงต้น รวมถึงความหนาแน่นของชั้นเรือนยอดที่แตกต่างกันในแต่ละแปลง ส่งผลความแตกต่างของความเข้มแสงในแต่ละแปลงมีความแตกต่างกัน โดยทั้ง 7 แปลง มีลักษณะดังนี้

(A) แปลงเบ๊าะเดย์ 1 มีลักษณะต้นไม้ในพื้นที่ค่อนข้างแน่น แต่เป็นต้นไม้ที่มีขนาดเล็ก ซึ่งแสดงถึงความเป็นพื้นที่ที่เพิ่งมีการปล่อยให้ป่าฟื้นตัวมาได้สักระยะ

(B) เบ๊าะเดย์ 2 มีลักษณะต้นไม้ในพื้นที่ไม่ค่อยหนาแน่น มีขนาดต้นที่มีขนาดเล็กไปถึงขนาดกลางกระจายอยู่ในพื้นที่ และในพื้นที่ยังมีต้นสนสามใบซึ่งมีลักษณะของทรงพุ่มที่ไม่หนาแน่นทำให้แสงสามารถส่องลงมาได้มาก

(C) สองเมีย 1 มีลักษณะอยู่บนเนินระหว่างหุบเขา และมีการได้รับร่มเงาจากต้นไม้สองฝั่งหุบเขาที่บังร่มเงา

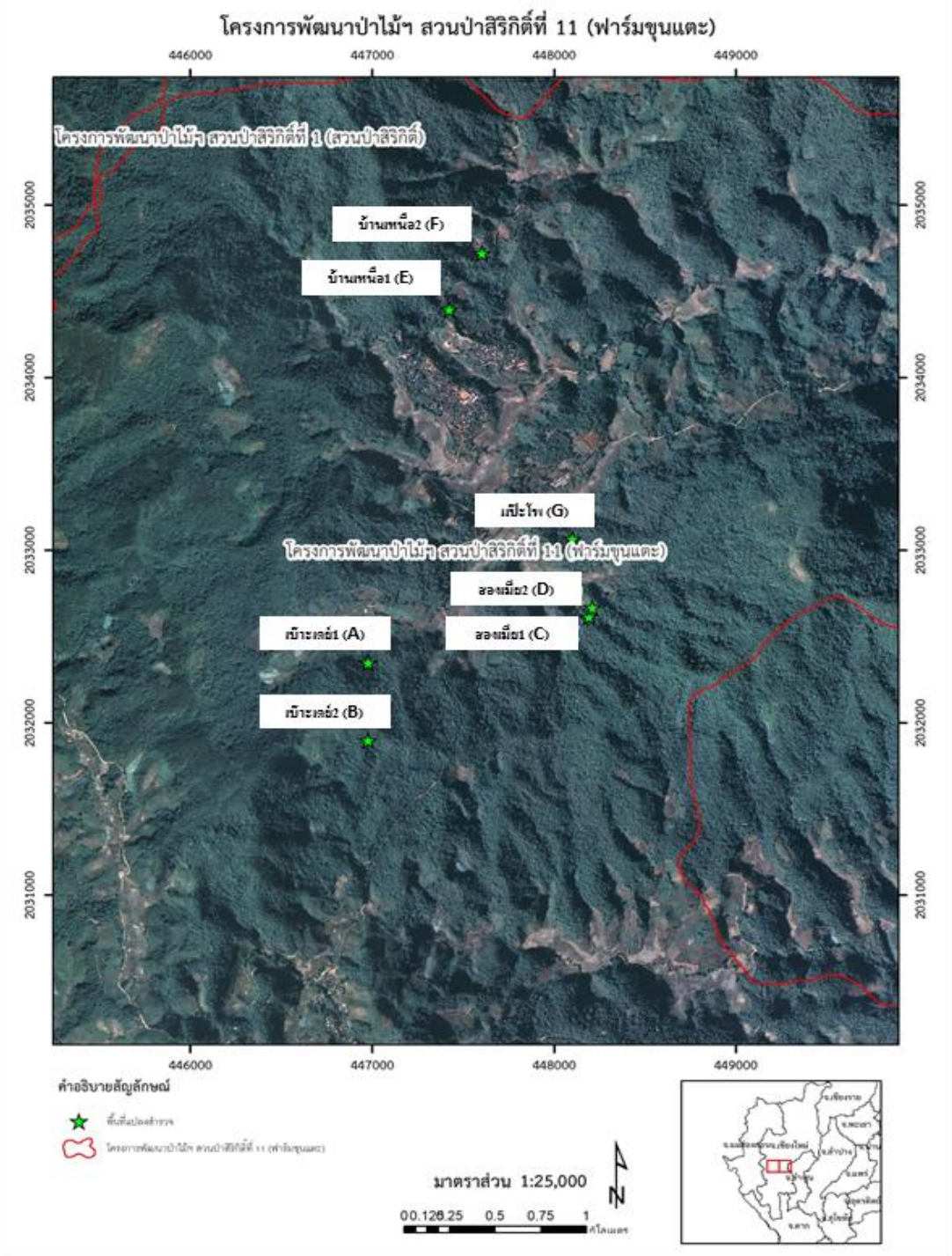
(D) สองเมีย 2 มีความหนาแน่นของต้นไม้ที่ค่อนข้างน้อย และได้รับแสงที่มากในช่วงเช้า ถึงช่วงกลางวัน และจะได้รับการบังร่มเงาจากเนินเขา ในช่วงบ่าย

(E) บ้านเหนือ 1 มีต้นไม้ที่มีขนาดเล็กไปจนถึงใหญ่ในพื้นที่ แต่พื้นที่มีลักษณะที่ลาดชัน

(F) บ้านเหนือ 2 มีต้นไม้ขนาดใหญ่และสูงทำให้มีระยะห่างระหว่างต้นกาแฟกับชั้นเรือนยอดของต้นไม้ทำให้แสงสามารถส่องเข้าถึงในแปลงได้

(G) แป๊ะโพมีสภาพป่าที่มีต้นไม้ขนาดใหญ่เป็นส่วนมากในพื้นที่ และมีการบดบังร่มเงาที่ค่อนข้างทึบ

โดยทั้ง 7 แปลงตั้งอยู่ที่ความสูงจากระดับน้ำทะเลปานกลาง 1,200 – 1,300 เมตร



ภาพที่ 1 ตำแหน่งแปลงปลูกกาแฟภายใต้ร่มเงาไม้ป่า ที่ได้ทำการศึกษาในพื้นที่
โครงการฟาร์มตัวอย่างตามพระราชดำริ บ้านขุนแตะ
อำเภอจอมทอง จังหวัดเชียงใหม่

อุปกรณ์และวิธีการศึกษา

วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการวางแปลงและเก็บข้อมูลลักษณะต้นกาแฟ ต้นไม้ในพื้นที่ และลักษณะปัจจัยสภาพแวดล้อมบางประการ

วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการวางแปลง

1. เทปวัดระยะ ขนาด 10, 20 และ 50 เมตร
2. เหล็กฉาก (สำหรับทำแนววางแปลง)
3. หลักไม้ไผ่
4. ท่อน้ำ PVC สำหรับทำเสาปักบอกระยะขนาดแปลง
5. สีสเปรย์
6. เชือกฟาง

วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการเก็บข้อมูลลักษณะต้นกาแฟ ต้นไม้ และลักษณะปัจจัยสภาพแวดล้อมบางประการ

1. เทปวัดขนาด (Diameter tape) สำหรับวัดขนาดความโตต้น
2. เวอร์เนียเทอร์โมพลาสติก แบบดิจิตอล
3. ไม้วัดความสูง
4. เครื่องวัดคลอโรฟิลล์มิเตอร์ Minolta chlorophyll meter: SPAD-502 ยี่ห้อ KONICA MINOLTA
5. แท็กป้ายชื่อ
6. ลวดทองแดง
7. สีน้ำมัน
8. อุปกรณ์และบันทึกข้อมูล
9. กล้องถ่ายรูปดิจิตอล
10. เครื่องวัดแสง Lux meter ยี่ห้อ TENMARS รุ่น TM204
11. วิทยุสื่อสาร
12. เสียม
13. จอบ
14. กระป๋องเก็บตัวอย่างดิน

วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการศึกษา (ในห้องปฏิบัติการ)

วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดขนาดเมล็ดกาแฟ

1. เวอร์เนียเทอร์โมพลาสติก แบบดิจิตอล ยี่ห้อ HACHI 6 นิ้ว
2. เครื่องชั่งทศนิยม 2 ตำแหน่ง ยี่ห้อ Electronic Compact Scale รุ่น SF-400A
3. ถาดหลุม ขนาดจำนวน 104 หลุม (สำหรับใส่ตัวอย่างเมล็ดที่วัดแล้ว)
4. ป้ายชื่อ (สำหรับติดถาดหลุม)

วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการศึกษาปริมาณสารคาเฟอีนในเมล็ดกาแฟ

1. กระดาษฟอยล์ใช้สำหรับห่อเมล็ดกาแฟ
2. เครื่องชั่งทศนิยม 2 ตำแหน่ง ยี่ห้อ Electronic Compact Scale รุ่น SF-400A
3. เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง ยี่ห้อ Mettler Toledo รุ่น ML20
4. ตู้อบลมร้อน (Hot Air Oven) ยี่ห้อ Memmert รุ่น UNE 5004
5. ถาดใส่ตัวอย่างใช้สำหรับในการอบเมล็ดกาแฟ
6. ครกหินสำหรับบดตัวอย่าง
7. ช้อนตักสาร
8. กระบองตวง ขนาด 25 มิลลิลิตร
9. ตะแกรงร่อนตัวอย่างเมล็ดกาแฟที่บด รูขนาด 4.25 µm
10. เครื่อง UV-Vis Spectrophotometer ยี่ห้อ Thermo scientific รุ่น GENESYS 10S UV-Vis
11. แท่งแก้วคนสาร
12. หลอดทดลอง ขนาด 25 มิลลิลิตร
13. ขวดวัดปริมาตร ขนาด 25 มิลลิลิตร
14. ขวดรูปชมพู่ ขนาด 250 มิลลิลิตร
15. ขวดใส่สาร
16. กรวยกรองแบบแก้ว
17. บีกเกอร์ ขนาด 50 มิลลิลิตร
18. O-ring Clamp
19. Base & Stand
20. ปิเปตต์ ขนาด 25 มิลลิลิตร
21. กระดาษกรอง (Whatman) เบอร์ 1

สารเคมีที่ใช้ในการศึกษา

1. สารละลายอิ่มตัวของเกลือ NaCl ในน้ำ
2. Propanol 99.5 %
3. ผงคาเฟอีน
4. Anhydrous Na_2SO_4
5. แอลกอฮอล์ 70 เปอร์เซ็นต์

ขั้นตอนการศึกษาและวิธีการศึกษา

1. สำรวจโครงสร้างลักษณะของต้นกาแฟและองค์ประกอบพรรณไม้ที่มีการปลูกกาแฟใต้เรือนยอดไม้ป่า

1.1 วิธีการเก็บข้อมูลต้นกาแฟในพื้นที่

1.1.1 แปลงตัวอย่างที่ทำการศึกษาทั้ง 7 แปลง ทำการวางแปลงย่อยสำรวจขนาด 5x5 เมตร จำนวน 5 แปลงย่อย

1.1.2 เก็บข้อมูลวัดขนาดความโตของต้นกาแฟ โดยใช้เทปวัดขนาด (Diameter tape) วัดความโตเส้นรอบวงของต้นกาแฟ ที่ระดับความสูง 130 เซนติเมตร (ทำการวัดต้นที่มีขนาดความโตเส้นรอบวงตั้งแต่ 3.1 เซนติเมตร ขึ้นไป)

1.1.3 เก็บข้อมูลขนาดความสูงของต้นกาแฟ โดยใช้ไม้วัดความสูง ทำการวัดจากโคนต้นจนถึงปลายยอดของต้น

1.2 วิธีการศึกษาปัจจัยสภาพแวดล้อมในพื้นที่

วัดค่าความเข้มแสง โดยใช้เครื่อง Lux Meter การวัดแสงในแปลงที่ทำการศึกษาได้วัดความเข้มแสง 2 ตำแหน่ง ได้แก่ ส่วนบนเรือนยอดของต้นกาแฟและใต้เรือนยอดของต้นกาแฟ จำนวนตำแหน่งละ 5 จุด ในแต่ละแปลงย่อย โดยแต่ละจุดทำการวัดความเข้มแสงเปรียบเทียบกันระหว่างความเข้มแสงภายในแปลงที่ศึกษา กับความเข้มแสงนอกแปลงที่ศึกษา (ในพื้นที่โล่งแจ้ง) ในเวลาเดียวกัน

การหาร้อยละของความแตกต่างของความเข้มแสง (%)

$$\text{ร้อยละของความแตกต่างของความเข้มแสง} = 100 - \left[\frac{\text{ความเข้มแสงภายในแปลง}}{\text{ความเข้มแสงนอกแปลง}} \right] \times 100$$

1.3 การสำรวจพรรณไม้เด่นในแปลง

สำรวจพรรณไม้เด่นในพื้นที่เบื้องต้นเพื่อให้ทราบถึงลักษณะของชนิดพรรณไม้ในพื้นที่ว่ามีความแตกต่างกันมากน้อยเพียงใด โดยพรรณไม้เด่นนั้น สังเกตุได้จากการพบจำนวนพันธุ์ไม้ชนิดนั้น ๆ ที่มีจำนวนมาก และชนิดพันธุ์ไม้ที่มีขนาดใหญ่ในพื้นที่

1.4 การวิเคราะห์ข้อมูล

ทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบความแตกต่างของข้อมูลลักษณะต้นกาแฟ และร้อยละความแตกต่างของความเข้มแสง แบบ Non-parametric ด้วยวิธีการ Kruskal-Wallis Test

2. การเก็บข้อมูลและการศึกษาความผันแปรของขนาดเมล็ดกาแฟ

2.1 ความผันแปรในด้านคุณภาพของขนาดเมล็ดกาแฟผลสด

2.1.1 ทำการสุ่มเก็บเมล็ดกาแฟผลสด (เมล็ดกาแฟเชอร์รี่) ในช่วงปลายฤดูกาลเก็บเกี่ยวกาแฟปี 2560 โดยทำการสุ่มเก็บเมล็ดกาแฟผลสดทั่วทั้งต้น (ของต้นกาแฟที่มีผลผลิต) ในแต่ละแปลงตัวอย่างทั้ง 7 แปลง

2.1.2 นำเมล็ดกาแฟของแต่ละแปลงที่ได้ทำการเก็บมา สุ่มเมล็ดกาแฟนับจำนวน 6 ซ้ำ ซ้ำละ 100 เมล็ด

2.1.3 วัดขนาดเมล็ดด้านกว้าง ด้านยาว ด้านหนา(ด้านประกบ) และชั่งน้ำหนักผลสดแต่ละเมล็ด

2.1.4 ตากในภาชนะถาดหลุม และมีการเขียนชื่อและรหัสกำกับ เพื่อป้องกันไม่ให้ผสมรวมกันของเมล็ดกาแฟ

2.1.5 วิเคราะห์เปรียบเทียบความแตกต่างความผันแปรขนาดเมล็ดกาแฟและน้ำหนักของเมล็ดกาแฟผลสดแต่ละแปลง แบบ Non-parametric ด้วยวิธีการ Kruskal-Wallis Test

2.2 การศึกษาความผันแปรในด้านขนาดของกะลากาแฟ

2.2.1 นำข้อมูลขนาดของเมล็ดกาแฟผลสด แปลงค่าขนาดความกว้างของเมล็ดผลสดเป็นขนาดความกว้างของกะลากาแฟ โดยอ้างอิงจากผลการศึกษาของ Sualeh and Dawin (2014) ซึ่งรายงานว่าขนาดเมล็ดกาแฟผลสดในด้านลักษณะความกว้างระหว่างกระบวนการแปรรูปเป็นกะลากาแฟ ลดลงร้อยละ 47.35 จากนั้นใช้ค่าที่ได้จากการแปลงค่า ทำการคัดแยกขนาดของเมล็ดกาแฟโดยใช้เกณฑ์ตามประกาศกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ โดยให้เมล็ดกะลากาแฟที่มีขนาดความกว้างมากกว่าหรือเท่ากับ 7.1 มิลลิเมตรขึ้นไป เท่ากับรหัสขนาดที่ 1 เมล็ดที่มีขนาดความกว้างตั้งแต่ 6.3 มิลลิเมตร ถึงน้อยกว่าขนาด 7.1 มิลลิเมตร เท่ากับรหัสขนาดที่ 2 เมล็ดที่มีขนาดความกว้าง 5.6 มิลลิเมตร ถึงน้อยกว่าขนาด 6.3 มิลลิเมตร เท่ากับรหัสขนาดที่ 3 และเมล็ดที่มีขนาดความกว้างน้อยกว่า 5.6 มิลลิเมตร เท่ากับรหัสขนาดที่ 4

2.2.2 วิเคราะห์เปรียบเทียบความแตกต่างความผันแปรของขนาดเมล็ดกะลากาแฟในแต่ละแปลง แบบ Non-parametric ด้วยวิธีการ Kruskal-Wallis Test

2.3 การศึกษาความผันแปรในด้านเชิงปริมาณคาเฟอีน

2.3.1 การเตรียมตัวอย่างเมล็ดกาแฟสำหรับการวิเคราะห์ปริมาณคาเฟอีนในเมล็ด

ทำการสุ่มเมล็ดกะลากาแฟจำแนกเมล็ดเป็นรายแปลง และแต่ละชั้นขนาดความกว้างของเมล็ดกะลากาแฟ ได้แก่รหัสขนาดที่ 1 รหัสขนาดที่ 2 รหัสขนาดที่ 3 และรหัสขนาดที่ 4 เมื่อได้ตัวอย่างเมล็ดกะลากาแฟ นำมาชั่งน้ำหนักเริ่มต้น จากนั้นนำเมล็ดกาแฟอบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง นำเมล็ดกาแฟไปบดให้ละเอียดโดยใช้ครกหิน เมื่อได้ผงกาแฟที่ละเอียดนำไปชั่งใส่ถุงเก็บตัวอย่าง ใช้ตัวอย่างละ 2 กรัม จำนวน 3 ซ้ำ

2.3.2 การสกัด Caffeine ออกจากเมล็ดกาแฟและวิเคราะห์หาปริมาณคาเฟอีนในเมล็ดกะลากาแฟ

นำตัวอย่างที่เตรียมไว้ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร โดยใช้ 1 ขวด ต่อ 1 ตัวอย่าง จากนั้นเติม 1-propanol ลงไป 5 มิลลิลิตร หมุนข้อมือแกว่งกรวยแยกเป็นวงกลมให้สารละลายผสมเป็นเนื้อเดียวกันนาน 1 นาที ติดตั้งไว้กับอุปกรณ์จับขวดทดลอง แล้วเติมสารละลายอิ่มตัวของเกลือ NaCl ในน้ำลงไป 2 กรัม จากนั้นแกว่งกรวยแยกอีก 1 นาที แล้วตั้งทิ้งไว้ให้แยกชั้นอย่างสมบูรณ์ เมื่อแยกเก็บชั้น 1-propanol ใส่บีกเกอร์ขนาด 50 มิลลิลิตร จากนั้นนำขวดทดลองใบเดิมไปสกัดซ้ำอีกรอบด้วย 1-propanol และแยกเก็บชั้น 1-propanol มารวมกันในบีกเกอร์ใบเดิม กำจัดสิ่งเจือปน โดยการเติมผง Anhydrous Na_2SO_4 ลงไป 1 กรัม จากนั้นนำกระดาษกรองเบอร์ 1 กรองสารละลาย 1-propanol เพื่อไม่ให้มีสิ่งเจือปนในตัวอย่างที่ทำการทดลอง เมื่อกรองสารละลาย 1-propanol เสร็จนำสารละลาย 1-propanol ที่สกัดได้ใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 10 มิลลิลิตร เติม 1-propanol จนครบปริมาตร เขย่าให้ผสมเป็นเนื้อเดียวกัน หลังจากนั้นนำสารละลายที่สกัดได้ไปวัดค่าการดูดกลืนแสงโดยใช้เครื่อง UV-Vis Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 274 นาโนเมตร บันทึกผลและคำนวณหาความเข้มข้นของคาเฟอีนในเมล็ดกาแฟ

2.3.4 ทำการวิเคราะห์ข้อมูลเปรียบเทียบความแตกต่างของปริมาณคาเฟอีนในเมล็ดกะลากาแฟในแต่ละแปลง แบบ Non-parametric ด้วยวิธีการ Kruskal-Wallis Test

3. การศึกษาปัจจัยสภาพแวดล้อมในแปลงปลูกกาแฟ

3.1 พื้นที่ทำการศึกษา

จากการสำรวจและเก็บข้อมูลลักษณะของต้นกาแฟ องค์ประกอบของพรรณไม้ รวมถึงขนาดเมล็ดกาแฟและปริมาณคาเฟอีนในเมล็ดกาแฟ จากแปลงตัวอย่างทั้ง 7 แปลง เห็นได้ว่าลักษณะที่มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยในด้านขนาดเมล็ดกาแฟนั้นแปลงเบ๊าะเดย์ 2 (B) มีจำนวนเมล็ดกะลา

กาแฟไปในทิศทางที่มีเมล็ดขนาดใหญ่มากที่สุด จึงมีความสนใจในการศึกษาเพิ่มเติมในพื้นที่ และได้ทำการคัดเลือกแปลงที่ต้องการศึกษาปัจจัยสภาพแวดล้อมอื่นๆเพิ่ม โดยใช้ปัจจัยในด้านสภาพภูมิประเทศเกณฑ์ช่วยในการคัดเลือก ได้แก่ มีความสูงจากระดับน้ำทะเลใกล้เคียงกัน มีทิศด้านลาดไปในทางทิศเหนือเช่นเดียวกับแปลงเบ๊าะเดย์ 2 (B) และมีความลาดชันระดับเดียวกัน ซึ่งทำให้สามารถตัดปัจจัยด้านลักษณะภูมิประเทศที่อาจส่งผลต่อผลิต ทำให้ได้มาซึ่งแปลงที่ต้องการศึกษาจำนวน 3 แปลง ได้แก่แปลง เบ๊าะเดย์ 1 (A) เบ๊าะเดย์ 2 (B) และแปลงแป๊ะโพ (G)

3.2 การวางแปลงทดลอง

ทำการสุ่มวางแปลงการทดลองในแต่ละแปลงตัวอย่าง โดยวางแปลงที่ทำการศึกษาจำนวนแปลงละ 3 แปลงย่อย (plot) โดยวางแปลงขนาด 20 x 20 เมตร โดยมีแปลงย่อยขนาด 5 x 5 เมตร (sup plot) จำนวน 16 แปลงย่อย

3.3 วิธีการเก็บข้อมูลต้นกาแฟในพื้นที่

3.3.1 ในพื้นที่แปลงขนาด 20 x 20 เมตร ทำการเก็บข้อมูลลักษณะของต้นกาแฟ โดยวัดขนาดความโตของต้นกาแฟในพื้นที่แปลงตัวอย่าง โดยใช้เทปวัด Diameter tape วัดลำต้นที่ระดับความสูง 130 เซนติเมตร หรือระดับเส้นรอบวงเพียงอก (GBH) สำหรับต้นที่มีขนาดความโตเส้นรอบวงตั้งแต่ 3.1 เซนติเมตร ขึ้นไป แต่เนื่องจากในพื้นที่นั้นเกษตรกรเจ้าของแปลงมีการปลูกขยายต้นกาแฟในพื้นที่ ทำให้มีกรณีต้นกาแฟที่ให้ผลผลิตมีขนาดความโตเส้นรอบวงที่ระดับความสูงเพียงอก 130 เซนติเมตร มีขนาดความโตต่ำกว่า 3.1 เซติเมตร (ในทางป่าไม้ถือว่าเป็นต้นกล้า) จึงทำการวัดขนาดความโต ที่บริเวณความสูงจากคอรากขึ้นมา 30 เซนติเมตร แทน

3.3.2 ทาสีทำสัญลักษณ์ที่บริเวณจุดที่วัดขนาดความโต เพื่อระบุตำแหน่งที่วัด หากมีการเก็บข้อมูลศึกษาการเจริญเติบโตภายภาคหน้า

3.3.3 วัดความสูงของต้นกาแฟ โดยวัดจากโคนต้นจนถึงปลายยอดของต้น

3.3.4 วัดความเขียวใบ โดยใช้เครื่อง Minolta chlorophyll meter: SPAD-502 ทำการวัดความเขียวใบจากต้นกาแฟที่ให้ผลผลิต จำนวน 30 ต้นต่อ 1 plot ทำการวัดค่าความเขียวใบมาจากการสุ่มเลือกต้นที่มีชั้นขนาดความโตของลำต้นแตกต่างกัน การเลือกใบที่ทำการวัดความเขียวใบ เลือกใบที่บริเวณเรือนยอดและใต้เรือนยอดของต้นกาแฟที่ให้ผลผลิต โดยกำหนดทิศทางของใบในการวัดคือใบทางทิศตะวันตกและทางทิศตะวันออก ใบบนเรือนยอดเลือกวัดกิ่งที่ 4 นับจากยอดลงมา เนื่องจากกิ่งที่เหนือจากกิ่งที่ 4 มีลักษณะใบที่อ่อน ส่วนการวัดใบใต้เรือนยอดเลือกวัดใบบนกิ่งที่ 2 นับจากกิ่งล่างขึ้นไป

3.3.5 เก็บผลผลิตเมล็ดกาแฟในพื้นที่ที่วางแปลงตัวอย่างขนาด 20x20 เมตร จำนวน 3 plot ในแต่ละแปลงตัวอย่าง และนำเมล็ดกาแฟผลสดที่ได้มาชั่งน้ำหนัก เพื่อหาค่าเฉลี่ยผลผลิตต่อไร่

3.4 การวิเคราะห์ข้อมูล

ทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบความแตกต่างของข้อมูลลักษณะของต้นกาแฟและผลผลิต แบบ Non-parametric ด้วยวิธีการ Kruskal-Wallis Test

4. การศึกษาและการเก็บข้อมูลปัจจัยสภาพแวดล้อมในพื้นที่ปลูกกาแฟ

4.1 การศึกษาชนิดพรรณไม้ที่เป็นองค์ประกอบในแปลง

4.1.1 ศึกษาชนิดของพันธุ์ของพรรณไม้ ที่อยู่ในพื้นที่ที่วางแปลงการทดลองขนาด 20 x 20 เมตร

4.1.2 วัดขนาดความโตเส้นรอบวงเพียงอก (GBH) ของต้นไม้ที่ระดับ 130 เซนติเมตร จากพื้นดิน

4.1.3 คำนวณหาพื้นที่หน้าตัดของไม้ (Basal area)

พื้นที่หน้าตัดของต้นไม้ หรือ Basal area (BA) เป็นค่าเชิงปริมาณที่สำคัญมากในการบอกถึงการปกคลุมของต้นไม้ในพื้นที่ป่า ซึ่งบอกถึงความหนาแน่น และยังเป็นค่าที่ใช้ในการคำนวณหาค่าดัชนีความสำคัญ (Important Value Index, IVI) ของพันธุ์ไม้ และนอกจากนี้แล้ว ค่าพื้นที่หน้าตัดยังใช้บอกถึงปริมาณมวลชีวภาพได้อีกด้วย

การคำนวณหาพื้นที่หน้าตัด (Basal area) มีดังนี้

$$BA = \frac{\pi\, DBH^2}{4}$$

เมื่อ BA = พื้นที่หน้าตัด

dbh = เส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับอก

4.1.4 คำนวณหาดัชนีความหลากหลายของพรรณไม้

ดัชนีความหลากหลาย (Diversity index) เป็นการรวบรวมค่าความร่ำรวยและความสม่ำเสมอของชนิด (Species richness and evenness) ไว้ให้อยู่เป็นค่าเดียวกันเพื่อใช้ในการประเมินเปรียบเทียบความหลากหลายระหว่างสังคม ซึ่งดัชนีความหลากหลายของแชนนอนวีเนอร์ (Shannon – Wiener Index) มีการใช้อย่างแพร่หลาย โดยมีสูตรการคำนวณค่าดัชนี Shannon-Wiener Index : H' ดังนี้ (Shannon-Wiener et al., 1949)

$$H' = \sum_{i=1}^{s} pi \times \ln(pi)$$

โดย H' = ค่าดัชนีความหลากหลายของ Shannon-Wiener Index Diversity

Pi = สัดส่วนระหว่างจำนวนต้นของชนิดนั้น i ต่อจำนวนต้นไม้ทั้งหมด

S = จำนวนชนิดพันธุ์ที่พบในสังคม

$\sum$ = ผลรวมจำนวนชนิดไม้ทุกชนิด

ln = ลอการิทึมธรรมชาติ (Natural logarithms) หรือลอการิทึมแบบเนเปียร์ (Napierian logarithms) ค่าลอการิทึม (log) ที่เป็นฐานธรรมชาติที่มีฐานเป็น e ซึ่งเขียนว่า loge เขียนแทนด้วย ln

4.1.5 การวิเคราะห์ค่าดัชนีความสำคัญของชนิดไม้ในพื้นที่ที่เป็นนิเวศวิทยาของต้นกาแฟ โดยการวิเคราะห์หาค่าดัชนีความสำคัญของพันธุ์ไม้ (Importance value index, IVI) ของชนิดไม้แต่ละชนิดในสังคม เพื่อหาชนิดไม้เด่นที่สามารถนำมาใช้เป็นตัวดัชนีชี้วัด (Indicator) ของแต่ละสังคมพืชได้ โดยเกิดจากผลรวมของค่าความสัมพัทธ์ทั้งสามคือ ค่าความหนาแน่นสัมพัทธ์ (Relative density, RD) ค่าความถี่สัมพัทธ์ (Relative frequency, RF) และค่าความเด่นสัมพัทธ์ (Relative dominance, RDo) (Whittaker, 1970) โดยมีสูตรคำนวณดังนี้

ค่าดัชนีความสำคัญ (IVI) = ความหนาแน่นสัมพัทธ์ (RD) + ความถี่สัมพัทธ์ (RF) + ความเด่นสัมพัทธ์ (RDo)

โดย RD, RF และ RDo หาได้จาก

ความหนาแน่นของชนิดพันธุ์ (Density: D) คือ จำนวนต้นไม้ทั้งหมดของชนิดพันธุ์ ที่ปรากฏในแปลงตัวอย่างต่อหน่วยพื้นที่ทั้งหมดที่ทำการสำรวจ

$$\text{ความหนาแน่น} = \frac{\text{จำนวนชนิดพันธุ์ } \mathbf{A} \text{ ที่ปรากฏในแปลงตัวอย่าง}}{\text{หน่วยพื้นที่ทั้งหมดของแปลงที่สำรวจ}}$$

จากนั้นนำความหนาแน่นที่ได้ไปคำนวณหาความหนาแน่นสัมพัทธ์ (Relative density, RD) โดย

$$\text{RD (\%)} = \frac{\text{ความหนาแน่นของชนิดพันธุ์ } \boldsymbol{A} \boldsymbol{x} \ 100}{\text{ผลรวมของความหนาแน่นของทุกชนิดไม}}$$

ความถี่ของชนิดพันธุ์ A (Frequency: F) คือ ค่าความบ่อยครั้งของชนิดพันธุ์ไม้ใดไม้หนึ่ง ที่ปรากฏในแปลงตัวอย่าง เป็นการบ่งบอกถึงการกระจายของชนิดพรรณพืชในสังคมพืชนั้น มีสูตรคำนวณ ดังนี้

$$F = \frac{\text{จำนวนแปลงตัวอย่างที่ชนิดพันธุ์ } \mathbf{A} \text{ ปรากฏ}}{\text{จำนวนแปลงทั้งหมดที่ทำการสำรวจ}} \times 100$$

จากนั้นนำความถี่ที่ได้ไปคำนวณหาความถี่สัมพัทธ์ (Relative Frequency: RF) โดย

$$RF = \frac{\text{ความถี่ของชนิดพันธุ์ } \mathbf{A}}{\text{ผลรวมของความถี่ทุกชนิดพันธุ์}} \times 100$$

ความเด่น (Dominance: Do) คือความมีอิทธิพลของชนิดพันธุ์ไม้ในสังคมพืช นิยมวัดกัน 3 รูปแบบ ได้แก่ ความเด่นในด้านคลุมพื้นที่ของเรือนยอด ความเด่นในด้านพื้นที่หน้าตัด (BA) และความเด่นทางด้านมวลพฤกษ์ ในการศึกษาครั้งนี้ใช้ความเด่นในด้านพื้นที่หน้าตัด

$$Do = \frac{\text{ผลรวมพื้นที่หน้าตัดของชนิดพันธ์ } \boldsymbol{A}}{\text{พื้นที่หน้าตัดทั้งหมดของชนิดไม้ที่ทำการสำรวจทั้งหมด}}$$

จากนั้นนำความเด่นที่ได้ไปคำนวณหาความเด่นสัมพันธ์ (Relative Dominance: RDo)

$$RDo = \frac{\text{ความเด่นของชนิดไม้นั้น}}{\text{ความเด่นรวมของชนิดไม้ทุกชนิด}} \times 100$$

ทั้งนี้ ผลรวมของค่า RD, RF และ RDo ในไม้ยืนต้นจะมีค่าเท่ากับ 300

5. การศึกษาปัจจัยสภาพแวดล้อมบางประการ

5.1 ความแตกต่างของความเข้มแสง

วัดความเข้มแสง โดยใช้เครื่อง Lux Meter โดยใช้วิธีการตามหัวข้อที่ 3.1.2 มีการเก็บข้อมูลตัวอย่างเพิ่มเติม โดยเพิ่มเป็นจำนวน 30 ต้น ต่อแปลงย่อย โดยสุ่มเก็บข้อมูลตามการกระจายของชั้นขนาดความโตต้นกาแฟ

5.2 ดิน

เก็บตัวอย่างดินวิเคราะห์ โดยทำการสุ่มเก็บตัวอย่างดินในพื้นที่ที่วางแปลง (plot) เก็บตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์ลักษณะดินทางด้านเคมี ได้แก่ pH, OM, N, P, K, Ca, Mg, Zn, Mn, Fe และ Cu และลักษณะดินทางด้านฟิสิกส์ โดยเก็บตัวอย่าง แปลงละ 3 จุด เก็บที่ระดับความลึก 0-15

เซนติเมตร และที่ความลึก 15 - 30 เซนติเมตร จากหน้าดิน เก็บตัวอย่างดินจำนวน 3 ซ้ำ ในแต่ละแปลงย่อย นำไปวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการภาควิชาปฐพี มหาวิทยาลัยแม่โจ้

5.3 ปริมาณซากพืช

เก็บตัวอย่างปริมาณซากพืชเพื่อศึกษาปริมาณของเศษซากพืชที่มีการร่วงหล่นตามธรรมชาติ โดยวางแปลงเก็บตัวอย่างขนาด 1x1 เมตร จำนวน 5 ตัวอย่าง ต่อ 1 plot ทำการเก็บปริมาณซากพืชทั้งหมดที่อยู่บนพื้นในบริเวณที่วางแปลงเก็บตัวอย่าง

5.4 การวิเคราะห์ข้อมูล

ทำการวิเคราะห์ข้อมูลปัจจัยสภาพแวดล้อมแต่ละด้าน แบบ Non-parametric ด้วยวิธีการ Kruskal-Wallis Test

5.5 การหาความสัมพันธ์ของปัจจัยสภาพแวดล้อมบางประการในพื้นที่ต่อผลผลิตกาแฟ

วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างผลผลิตกาแฟกับปัจจัยสภาพแวดล้อมบางประการที่ได้ทำการศึกษาในครั้งนี้ โดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์แบบการถดถอยพหุคูณ (Multiple Linear Regression) ด้วยวิธี Generalized linear model (GLM) เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยสภาพแวดล้อมที่มีผลต่อผลผลิตกาแฟ (ความสัมพันธ์เชิงบวกหรือเชิงลบ) โดยให้ตัวแปรอิสระเป็นปัจจัยสภาพแวดล้อม ซึ่งมีทั้งปัจจัยสภาพแวดล้อมส่วนเหนือดิน และในดิน ทำให้สามารถแบ่งแบบจำลองเชิงเส้นทั่วไปได้ 4 โมเดลหลัก ๆ ได้แก่ โมเดลที่ 1. ปัจจัยสภาพแวดล้อมส่วนเหนือดิน โมเดลที่ 2.คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดิน โมเดลที่ 3. ธาตุอาหารหลัก และโมเดลที่ 4. ธาตุอาหารรอง ตัวแปรตามเป็นผลผลิตของกาแฟต่อแปลง ทำการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม R version 3.3.1 ดังสมการต่อไปนี้

สมการ Y = <-glm (total Yield I ~ x_1 + x_2 +.....x_n, family = poisson (link=identity))

โดยที่ x_1 – x_n = ปัจจัยสภาพแวดล้อมแต่ละปัจจัยที่นำมาใช้ร่วมในการทดสอบ

บทที่ 4
ผลการวิจัยและวิจารณ์

การสำรวจลักษณะพื้นที่ศึกษา ลักษณะต้นกาแฟ พรรณไม้ และปัจจัยสภาพแวดล้อมเบื้องต้น

จากการศึกษาลักษณะของต้นกาแฟที่ปลูกปลูกภายใต้ร่มเงาไม้ป่าทั้ง 7 พื้นที่ พบว่า ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น (DBH) ของต้นกาแฟทั้ง 7 พื้นที่ มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งยวด โดยพบว่า ต้นกาแฟในพื้นที่บ้านเหนือ 2 มีขนาดความโตเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นสูงที่สุด มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 3.35 เซนติเมตร ตรงข้ามกับต้นกาแฟในพื้นที่เบ๊าะเดย์ 1 พบว่า มีขนาดความเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นเล็กที่สุด มีเฉลี่ยอยู่ที่ 1.14 เซนติเมตร ในด้านความสูงของต้นกาแฟ พบว่า มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง โดยต้นกาแฟในพื้นที่แป๊ะโพมีความสูงเฉลี่ยสูงที่สุดอยู่ที่ 342.51 เซนติเมตร และพื้นที่สองเมีย 1 ต้นกาแฟมีค่าเฉลี่ยความสูงต่ำที่สุดอยู่ที่ 218.65 เซนติเมตร (ตารางที่ 2) จากการสำรวจศึกษาลักษณะของต้นกาแฟทั้ง 7 พื้นที่ ต้นกาแฟที่ปลูกในแต่ละแปลง ถึงแม้มีอายุของต้นกาแฟที่ใกล้เคียงกัน แต่การเจริญเติบโตของต้นกาแฟในแต่ละพื้นที่มีความแตกต่างกัน ทั้งในลักษณะความโตของต้น และความสูงของต้นกาแฟ

ตารางที่ 2 ค่าเฉลี่ยของขนาดความโต (เซนติเมตร) และความสูง (เซนติเมตร) ของต้นกาแฟที่ปลูกภายใต้ร่มเงาไม้ป่าใน 7 พื้นที่ ในเขตพื้นที่บ้านขุนแตะ อำเภอจอมทอง จังหวัดเชียงใหม่

พื้นที่	ขนาดความโต ± SD. (เซนติเมตร)	ความสูง ± SD. (เซนติเมตร)
เบ๊าะเดย์ 1 (A)	1.14 ± 0.05 b	247.59 ± 12.60 ab
เบ๊าะเดย์ 2 (B)	2.06 ± 0.13 ab	236.95 ± 5.67 ab
สองเมีย 1 (C)	2.08 ± 0.13 ab	218.65 ± 18.75 b
สองเมีย 2 (D)	2.31 ± 0.20 ab	291.75 ± 14.41 ab
บ้านเหนือ 1 (E)	2.07 ± 0.08 ab	238.89 ± 42.63 ab
บ้านเหนือ 2 (F)	3.35 ± 0.46 a	341.92 ± 20.31 a
แป๊ะโพ (G)	1.53 ± 0.25 b	342.54 ± 11.61 a
Chi-squared	23.574	22.384
P-value	0.0006253 ***	0.001031 **

หมายเหตุ ภายในคอลัมน์เดียวกันถ้ามีตัวภาษาอังกฤษเหมือนกันแสดงถึงความไม่แตกต่างทางสถิติ

** มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งที่ 0.01

*** มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งยวดที่ 0.001

จากการสำรวจสภาพแวดล้อมในพื้นที่แปลงปลูกกาแฟทั้ง 7 พื้นที่ พบว่า ความแตกต่างของความเข้มแสงทั้ง 7 พื้นที่ มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง โดยความแตกต่างของความเข้มแสงนั้น แสดงให้เห็นถึงองค์ประกอบโครงสร้างของป่า ชนิดของพันธุ์ไม้ชั้นเรือนยอดที่มีความแตกต่างกันในแต่ละพื้นที่ที่ส่งผลให้มีการบดบังแสงที่ส่องลงมายังพื้นล่าง ทำให้เกิดความแตกต่างของความเข้มแสงในพื้นที่ที่ต่างกัน ในศึกษาครั้งนี้พบว่า พื้นที่แป๊ะโพ มีร้อยละความแตกต่างของความเข้มแสงบนเรือนยอดของต้นกาแฟสูงที่สุด และพื้นที่เบ๊าะเดย์ 2 มีร้อยละความแตกต่างของความเข้มแสงบนเรือนยอดของต้นกาแฟต่ำที่สุด (ตารางที่ 3) ในส่วนของความแตกต่างของความเข้มแสงบริเวณใต้เรือนยอดต้นกาแฟ ซึ่งเป็นการแสดงให้เห็นถึงลักษณะของต้นกาแฟ ที่มีการบดบัดร่มเงาภายในต้นกาแฟ พบว่าร้อยละความแตกต่างของความเข้มแสงบริเวณใต้เรือนยอดต้นกาแฟ มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ โดยพื้นที่ที่มีความแตกต่างของความเข้มแสงบริเวณใต้ทรงพุ่มของต้นกาแฟสูงสุด ได้แก่ พื้นที่แป๊ะโพ และพื้นที่สองเมีย 2 มีความเป็นร่มเงาภายใต้ทรงพุ่มของต้นกาแฟต่ำที่สุด (ตารางที่ 3) และจากการสำรวจชนิดพรรณไม้เบื้องต้นทั้ง 7 พื้นที่ พบพันธุ์ไม้เด่น ได้แก่ ต้นทะโล้ ซึ่งเป็นไม้เบิกนำ โดยที่ไม้เบิกนำนั้นมีลักษณะผลัดใบ โตเร็ว และตายไว (สุธีระ และคณะ, 2562) การมีไม้เบิกนำในพื้นที่นั้นแสดงให้เห็นว่าทั้ง 7 พื้นที่ เป็นป่าที่เคยถูกบุกรุก และมีการใช้ประโยชน์พื้นที่ในมาก่อน แล้วปล่อยให้มีการฟื้นตัวของป่า ซึ่งทั้ง 7 พื้นที่ มีระยะของการฟื้นตัวของป่าที่แตกต่างกัน ส่งผลให้องค์ประกอบของพันธุ์ไม้ และความเป็นร่มเงาในพื้นที่มีความแตกต่างกันไปตามระยะการฟื้นตัวของป่าด้วย

ตารางที่ 3 ลักษณะร้อยละของความแตกต่างของความเข้มแสงบนเรือนยอดของต้นกาแฟ (%) และภายใต้ทรงพุ่มของต้นกาแฟ (%) ที่ปลูกภายใต้ร่มเงาไม้ป่าใน 7 พื้นที่ ของบ้านขุนแตะ อำเภอจอมทอง จังหวัดเชียงใหม่

พื้นที่	ความแตกต่างของความเข้มแสง (ร้อยละ)	
	บนเรือนยอดของต้นกาแฟ ± SD	ภายใต้ทรงพุ่มของต้นกาแฟ ± SD
เบ๊าะเดย์ 1 (A)	75.94 ± 10.48 ab	95.15 ± 1.18 ab
เบ๊าะเดย์ 2 (B)	61.67 ± 20.99 b	91.03 ± 4.08 ab
สองเมีย 1 (C)	65.49 ± 11.37 b	91.60 ± 3.25 ab
สองเมีย 2 (D)	75.77 ± 7.16 ab	86.76 ± 7.00 b
บ้านเหนือ 1 (E)	81.53 ± 5.96 ab	94.67 ± 1.50 ab
บ้านเหนือ 2 (F)	71.39 ± 8.17 ab	92.67 ± 2.57 ab
แป๊ะโพ (G)	93.69 ± 2.98 a	97.59 ± 0.65 a
Chi-squared	16.849	18.255
P-value	0.009853**	0.005625**

หมายเหตุ ภายในคอลัมน์เดียวกันถ้ามีตัวภาษาอังกฤษเหมือนกันแสดงถึงความไม่แตกต่างทางสถิติ
** มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งที่ 0.01

ความผันแปรของขนาดเมล็ดกาแฟที่ปลูกภายใต้ร่มเงาไม้ป่าธรรมชาติ 7 พื้นที่

1. ความฝันแปรขนาดและน้ำหนักของผลกาแฟ

จากการสุ่มวัดขนาดของผลกาแฟอาราบิก้าที่ปลูกภายใต้สภาพร่มไม้ป่า 7 พื้นที่ ในลักษณะด้านความกว้าง ความยาว ความหนา และน้ำหนัก พบว่า เมล็ดกาแฟจากพื้นที่เบ๊าะเดย์ 2 มีขนาดผลในด้านลักษณะความกว้างใหญ่ที่สุด รวมไปถึงน้ำหนักต่อเมล็ดกาแฟ (ตารางที่ 4) และจากการวิเคราะห์ความแตกต่างของขนาดผลกาแฟในด้านมิติต่าง ๆ (ตารางที่ 5) พบว่า ผลกาแฟในแต่ละพื้นที่มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยในพื้นที่แปลงที่ 2 (เบ๊าะเดย์ 2) มีขนาดผลกาแฟ และน้ำหนักผลกาแฟที่สูงกว่าพื้นที่อื่น ๆ และในทางตรงกันข้ามเมล็ดกาแฟจากพื้นที่แปลงที่ 4 (สองเมีย 2) มีขนาดผลกาแฟ และน้ำหนักผลกาแฟที่ต่ำกว่าพื้นที่อื่น ๆ แสดงให้เห็นว่า ขนาดของผลกาแฟ ในด้านความกว้าง ความยาว ความหนา และน้ำหนักของผลกาแฟ ถึงแม้ปลูกภายใต้ร่มเงาไม้ป่าเหมือนกัน แต่ยังมีความแตกต่างกัน อาจเนื่องมาจากปัจจัยสภาพแวดล้อมในพื้นที่ปลูก ที่ทำให้ขนาดเมล็ดกาแฟนั้นมี

ความผันแปร ซึ่งสอดคล้องกับ วรรณภา และคณะ (2560) พบว่า ความแตกต่างกันของพื้นที่ปลูกกาแฟส่งผลให้คุณภาพของเมล็ดกาแฟนั้นแตกต่างกันออกไป และ ประชา และคณะ (2560) พบว่าการปลูกกาแฟในรูปแบบที่แตกต่างกันย่อมส่งผลต่อขนาดผลกาแฟที่แตกต่างกัน แต่อย่างไรก็ตามการปลูกกาแฟภายใต้ร่มไม้ป่า ส่งผลต่อคุณภาพด้านขนาดของเมล็ดกาแฟ โดยมีขนาดและน้ำหนักที่ค่อนข้างดีกว่าการปลูกกาแฟในพื้นที่โล่งแจ้ง (Bote and Struik, 2011; Nesper et al., 2017) การปลูกกาแฟภายใต้ร่มไม้ป่าซึ่งมีความหลากหลายของชนิดพันธุ์ไม้ชั้นเรือนยอด ส่งผลทำคุณภาพของเมล็ดกาแฟเพิ่มสูงมากขึ้น เนื่องจากการบดบังของแสงจากเรือนยอดไม้ ทำให้อุณหภูมิในพื้นที่ปลูกกาแฟลดลง ส่งผลต่อการสุกแก่ของผลกาแฟที่ช้าลง และมีระยะเวลาในการสะสมอาหารในเมล็ดที่ยาวนานกว่ากลางแจ้ง ทำให้การปลูกภายใต้ร่มไม้ป่ามีขนาดเมล็ดที่ใหญ่กว่าเมล็ดกาแฟที่ปลูกในพื้นที่โล่งแจ้ง (Bote and Struik., 2011; Eira et al., 2006)

ตารางที่ 4 ค่าเฉลี่ยของขนาดผลกาแฟ และค่าประมาณที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ที่ปลูกภายใต้ร่มไม้ป่า 7 พื้นที่ โดยมีขนาดในด้านขนาดความกว้าง ความยาว ความหนาด้านประกบ และน้ำหนักเมล็ดกาแฟ

พื้นที่	ขนาดความกว้าง (เซนติเมตร)		ขนาดความยาว (เซนติเมตร)		ขนาดความหนาด้านประกบ (เซนติเมตร)		น้ำหนักเมล็ดกาแฟ (มิลลิกรัม / เมล็ด)	
	ค่าเฉลี่ย	95% CI	ค่าเฉลี่ย	95% CI	ค่าเฉลี่ย	95% CI	ค่าเฉลี่ย	95% CI
แปลงที่ 1 (เบ๊าะเดย์ 1)	12.23	12.14 - 12.31	14.97	14.88 - 15.06	13.89	13.81 - 13.97	1.70	1.68 - 1.73
แปลงที่ 2 (เบ๊าะเดย์ 2)	12.48	12.41 - 12.56	15.58	15.49 - 15.67	14.19	14.11 - 14.27	1.79	1.77 - 1.82
แปลงที่ 3 (สองเมีย 1)	12.15	12.06 - 12.25	15.10	15.49 - 15.67	13.87	13.76 - 13.98	1.68	1.65 - 1.72
แปลงที่ 4 (สองเมีย 2)	11.76	11.67 - 11.86	15.12	15.02 - 15.22	13.37	13.28 - 13.46	1.56	1.53 - 1.59
แปลงที่ 5 (บ้านเหนือ 1)	12.30	12.21 - 12.38	15.15	15.07 - 15.23	13.84	13.76 - 13.92	1.65	1.63 - 1.68
แปลงที่ 6 (บ้านเหนือ 2)	12.19	12.12 - 12.27	15.64	15.07 - 15.23	13.82	13.74 - 13.91	1.72	1.70 - 1.74
แปลงที่ 7 (แป๊ะโพ)	12.08	12.00 - 12.15	15.76	15.67 - 15.86	13.94	13.88 - 13.00	1.74	1.72 - 1.76

ตารางที่ 5 ความผันแปรของขนาดผลกาแฟในปี 2560 ใน 7 พื้นที่ ในลักษณะความกว้าง ความยาว ความหนาด้านประกบ และน้ำหนักเมล็ดกาแฟ

พื้นที่	ลักษณะของเมล็ดกาแฟ (ผลสด)			
	ความกว้าง ± SD (มิลลิเมตร)	ความยาว ± SD (มิลลิเมตร)	ความหนาด้าน ± SD ประกบ (มิลลิเมตร)	น้ำหนักเมล็ด ± SD (กรัม)
เบ๊าะเดย์ 1	12.23 ± 0.25a	14.97 ± 0.21b	13.89 ± 0.18b	1.69 ± 0.07a
เบ๊าะเดย์ 2	12.48 ± 0.11a	15.58 ± 0.16a	14.19 ± 0.1a	1.76 ± 0.06a
สองเมีย 1	12.15 ± 0.35a	15.1 ± 0.4ab	13.87 ± 0.37b	1.71 ± 0.13a
สองเมีย 2	11.76 ± 0.3b	15.12 ± 0.38a	13.37 ± 0.32b	1.54 ± 0.1b
บ้านเหนือ 1	12.3 ± 0.28a	15.15 ± 0.25a	13.84 ± 0.22b	1.65 ± 0.09ab
บ้านเหนือ 2	12.19 ± 0.18a	15.64 ± 0.32a	13.82 ± 0.28b	1.72 ± 0.07a
แป๊ะโพ	12.08 ± 0.08ab	15.76 ± 0.25a	13.94 ± 0.08ab	1.73 ± 0.03a
Chi-squared	16.55*	21.09**	18.71**	15.42*
P-value	<0.05	<0.01	<0.01	<0.05

หมายเหตุ ภายในคอลัมน์เดียวกันถ้ามีตัวภาษาอังกฤษเหมือนกันแสดงถึงความไม่แตกต่างทางสถิติ
* มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ 0.05
** มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งที่ 0.01

2. ขนาดเมล็ดกาแฟตามเกณฑ์มาตรฐาน

รูปแบบการขายเมล็ดกาแฟนั้นเป็นการขายในรูปแบบเมล็ดกะลากาแฟ ซึ่งเมล็ดกะลากาแฟเกิดจากการนำผลกาแฟ (เชอร์รี่) นำมาปอกเปลือกออกและผึ่งให้แห้งในที่ร่ม เพื่อลดความชื้น ทำให้มีราคาสูงกว่าการขายผลผลิตแบบผลกาแฟ (เชอรี่) จากการศึกษาของ Sualeh and Dawid (2014) ทำให้สามารถแปลงค่าขนาดความกว้างของเมล็ดกาแฟผลสดเป็นความกว้างของเมล็ดกะลากาแฟได้ ในการศึกษากระจายของจำนวนเมล็ดกาแฟกะลา ในแต่ละชั้นขนาดความกว้างของเมล็ดกาแฟ (แบ่งตามเกณฑ์กระทรวงเกษตรและสหกรณ์) ในเกณฑ์รหัสขนาดที่ 1 ซึ่งเป็นเกณฑ์ที่เมล็ดมีขนาดใหญ่ที่สุด พบว่าทั้ง 7 พื้นที่ มีจำนวนเมล็ดกะลาที่อยู่ในเกณฑ์นี้ไม่มีความแต่ต่างกัน แต่พบมากที่สุดในเกณฑ์รหัสขนาดที่ 2 ซึ่งมีความใหญ่ของเมล็ดรองลงมา พบว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติ พบมากที่สุดในพื้นที่เบ๊าะเดย์ 2 พบร้อยละ 58.2 และในเกณฑ์รหัสขนาดที่ 4 ซึ่งเป็นเกณฑ์เมล็ดที่มีขนาดเล็กที่สุด พบมากที่สุดพื้นที่แปลงสองเมีย 2 พบร้อยละ 15.5 หากพิจารณาโดยภาพรวมพบว่า พื้นที่แปลงที่เบ๊าะเดย์ 2 มีเมล็ดอยู่ในเกณฑ์ที่มีขนาดความกว้างสูงกว่าพื้นที่อื่น ๆ ซึ่งมีเมล็ดที่มีขนาดความกว้าง

มากกว่า 6.5 มิลลิเมตรถึง 71.4 % ส่วนในพื้นที่แปลงที่สองเมีย 2 พบเมล็ดที่มีขนาดเล็กมากที่สุด โดยพบเมล็ดที่มีขนาดน้อยกว่า 6.5 มิลลิเมตร 58 % โดยการปลูกกาแฟภายใต้ร่มเงาป่าส่งผลให้ขนาดเมล็ดส่วนใหญ่อยู่ในเกณฑ์เมล็ดที่มีขนาดใหญ่มากกว่าเมล็ดที่มีขนาดเล็กสอดคล้องกับการศึกษาของวิชญ์ภาส และคณะ (2560) พบว่า การปลูกกาแฟภายใต้ร่มเงาป่าธรรมชาติทำให้ได้สัดส่วนจำนวนขนาดเมล็ดที่อยู่ในเกณฑ์ขนาดใหญ่มากกว่าการปลูกกาแฟในรูปแบบอื่น ๆ

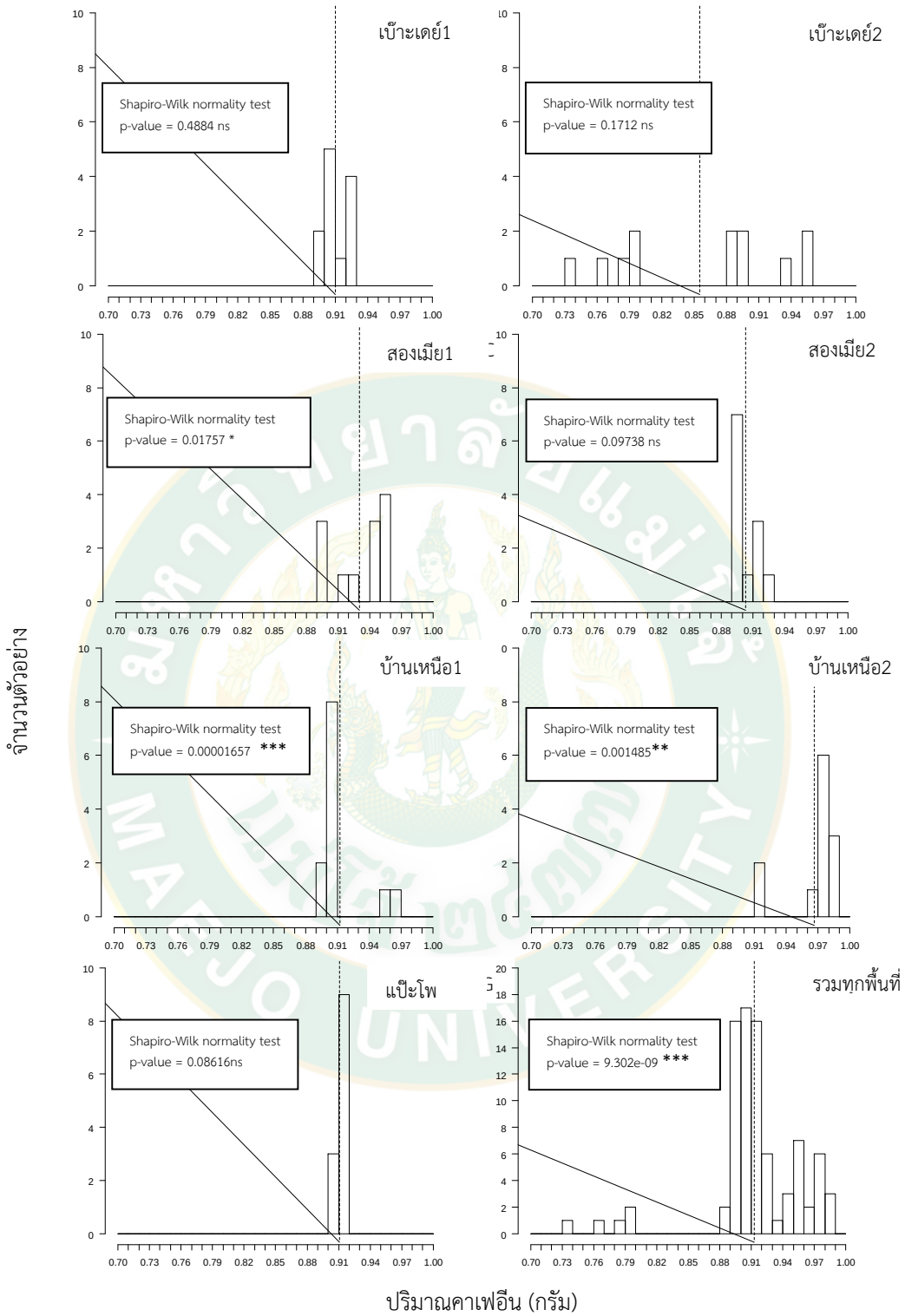
ตารางที่ 6 สัดส่วนของจำนวนเมล็ดกะลากาแฟในแต่ละพื้นที่ เมื่อแบ่งตามเกณฑ์ของกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ ปี 2552

พื้นที่	สัดส่วนของจำนวนเมล็ดตามเกณฑ์ของกระทรวงเกษตรและสหกรณ์			
	รหัสขนาดที่ 1 (< 7.1 มิลลิเมตร)	**รหัสขนาดที่ 2 (6.3 – 7.1 มิลลิเมตร)**	**รหัสขนาดที่ 3 (5.6 – 6.3 มิลลิเมตร)**	**รหัสขนาดที่ 4 (> 5.6 มิลลิเมตร)**
เบ๊าะเดย์ 1	11.0	47.8b	37.3b	3.8b
เบ๊าะเดย์ 2	13.2	58.2a	25.3c	3.3b
สองเมีย 1	12.3	47.3b	31.8b	8.8ab
สองเมีย 2	6.3	35.7b	42.5a	15.5a
บ้านเหนือ 1	11.0	53.2b	31.5bc	5.2b
บ้านเหนือ 2	8.3	53.0b	34.2b	4.5b
แป๊ะโพ	5.3	49.8b	41.3ab	3.5b
Chi-squared	12.12^{ns}	17.72**	14.97*	14.27*
P-value	>0.05	<0.01	<0.05	<0.05

หมายเหตุ ภายในคอลัมน์เดียวกันถ้ามีตัวภาษาอังกฤษเหมือนกันแสดงถึงความไม่แตกต่างทางสถิติ
ns ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ
* มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ 0.05
** มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งที่ 0.01

3. ความเข้มข้นของคาเฟอีนในเมล็ดกาแฟ

จากการศึกษาความเข้มข้นของคาเฟอีนในสารกาแฟ ด้วยเครื่อง UV/Vis spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 274 นาโนเมตร จำนวน 12 ซ้ำ ต่อพื้นที่ จากการวิเคราะห์การแจกแจงความถี่ตามชั้นขนาดความเข้มข้นของคาเฟอีนในสารกาแฟ โดยใช้ Shapiro-Wilk normality test เพื่อดูลักษณะการแจกแจงความถี่ของความเข้มข้นคาเฟอีนในสารกาแฟแต่ละพื้นที่ พบว่า พื้นที่เบ๊าะเดย์ 1 เบ๊าะเดย์ 2 สองเมีย 2 และแป๊ะโพ มีการแจกแจงความถี่ตามชั้นขนาดความเข้มข้นของคาเฟอีนในสารกาแฟแบบปกติ ส่วนพื้นที่สองเมีย 1 บ้านเหนือ 1 และบ้านเหนือ 2 พบว่ามีการแจกแจงความถี่ตามชั้นขนาดความเข้มข้นของคาเฟอีนในสารกาแฟแบบไม่ปกติ (ภาพที่ 2) และเมื่อทำการทดสอบเปรียบเทียบความแตกต่างของลักษณะการแจกแจงความถี่ตามชั้นขนาดความเข้มข้นของคาเฟอีนในสารกาแฟแบบจับคู่พบกันหมดในแต่ละพื้นที่ ด้วยวิธี Kolmogorov-Smirnov test พบว่า ระหว่างพื้นที่เบ๊าะเดย์ 1 เปรียบเทียบกับพื้นที่สองเมีย 2 พื้นที่บ้านเหนือ 1 พื้นที่แป๊ะโพ และในพื้นที่สองเมีย 2 เปรียบเทียบกับพื้นที่บ้านเหนือ 1 ไม่มีความแตกต่างกันในลักษณะการแจกแจงความถี่ตามชั้นขนาดความเข้มข้นของคาเฟอีนในสารกาแฟ ส่วนการแจกแจงความถี่ตามชั้นขนาดความเข้มข้นของคาเฟอีนในสารกาแฟ ของการเปรียบเทียบระหว่างคู่พื้นที่อื่น พบว่า มีความแตกต่างของลักษณะการแจกแจงความถี่ตามชั้นขนาดความเข้มข้นของคาเฟอีนในสารกาแฟ (ตารางที่ 7) จากการที่พบความแตกต่างของลักษณะการแจกแจงความถี่ความเข้มข้นคาเฟอีนในสารกาแฟแต่ละพื้นที่นั้น เกิดจากแหล่งที่มาของเมล็ดกาแฟ สภาพพื้นที่ปลูก หรือปัจจัยสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกันในแต่ละพื้นที่ ซึ่งจากการทดสอบทั้งวิธี Shapiro-Wilk normality test และ Kolmogorov-Smirnov test เป็นการยืนยันว่าข้อมูลนั้นมีการกระจายตัวทั้งแบบปกติและไม่ปกติ จึงเหมาะสมสำหรับการนำข้อมูลมาทดสอบสมุติฐานการทดลองแบบ non-parametric มากกว่าการใช้สถิติแบบ parametric



ภาพที่ 2 การแจกแจงความถี่ตามชั้นขนาดความเข้มข้นของคาเฟอีนในสารกาแฟทั้ง 7 พื้นที่

ตารางที่ 7 เปรียบเทียบรูปแบบการแจกแจงความถี่ตามชั้นขนาดความเข้มข้นของคาเฟอีนในสารกาแฟแบบจับคู่พบกันหมดในแต่ละพื้นที่ โดยวิธีการ Kolmogorov-Smirnov test

คู่ที่ทำการเปรียบเทียบ	**ค่าความเบี่ยงเบน**	**P-value**
เบ๊าะเดย์ 1 - เบ๊าะเดย์ 2	0.66667	0.009656 **
เบ๊าะเดย์ 1 - สองเมีย 1	0.58333	0.0337 *
เบ๊าะเดย์ 1 - สองเมีย 2	0.41667	0.2485 ns
เบ๊าะเดย์ 1 - บ้านเหนือ 1	0.33333	0.5176 ns
เบ๊าะเดย์ 1 - บ้านเหนือ 2	0.83333	0.0004807 ***
เบ๊าะเดย์ 1 - แป๊ะโพ	0.33333	0.5176 ns
เบ๊าะเดย์ 2 - สองเมีย 1	0.66667	0.009656 **
เบ๊าะเดย์ 2 - สองเมีย 2	0.58333	0.0337 *
เบ๊าะเดย์ 2 - บ้านเหนือ 1	0.66667	0.009656 **
เบ๊าะเดย์ 2 - บ้านเหนือ 2	0.83333	0.0004807 ***
เบ๊าะเดย์ 2 - แป๊ะโพ	0.75	0.002342 **
สองเมีย 1 - สองเมีย 2	0.58333	0.0337 *
สองเมีย 1 - บ้านเหนือ 1	0.58333	0.0337 *
สองเมีย 1 - บ้านเหนือ 2	0.83333	0.0004807 ***
สองเมีย 1 - แป๊ะโพ	0.66667	0.009656 **
สองเมีย 2 - บ้านเหนือ 1	0.5	0.09956 ns
สองเมีย 2 - บ้านเหนือ 2	0.83333	0.0004807 ***
สองเมีย 2 - แป๊ะโพ	0.58333	0.0337 *
บ้านเหนือ 1 - บ้านเหนือ 2	0.83333	0.0004807 ***
บ้านเหนือ 1 - แป๊ะโพ	0.58333	0.0337 *
บ้านเหนือ 2 - แป๊ะโพ	0.83333	0.0004807 ***

จากการศึกษาความเข้มข้นของคาเฟอีนในสารกาแฟทั้ง 7 พื้นที่ พบว่าค่าเฉลี่ยของความเข้มข้นของคาเฟอีนในสารกาแฟทั้ง 7 พื้นที่ (ตารางที่ 8) ที่มาจากการปลูกภายใต้ร่มเงาไม้ป่านั้นมีค่าความเข้มข้นคาเฟอีนอยู่ในระดับมาตรฐานคือ 0.8 – 1.4 มิลลิกรัมต่อกรัม (Hečimović et al., 2011) และจากการวิเคราะห์ความแตกต่างของข้อมูล พบว่า ความเข้มข้นของคาเฟอีนในสารกาแฟทั้ง 7 พื้นที่ มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งยวด (ตารางที่ 9) โดยในบ้านเหนือ 2 มีค่าเฉลี่ยของความเข้มข้นของคาเฟอีนในสารกาแฟสูงสุด มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 0.966 มิลลิกรัมต่อกรัม ตรงข้ามกับพื้นที่เบ๊าะเดย์ 2 ที่พบความเข้มข้นของคาเฟอีนเฉลี่ยต่ำที่สุดอยู่ที่ 0.855 มิลลิกรัมต่อกรัม และเมื่อทำการวิเคราะห์ความเข้มข้นของคาเฟอีนในสารกาแฟโดยใช้เกณฑ์ชั้นขนาดเมล็ดกาแฟเดียวกัน ที่มาจากต่างพื้นที่ปลูก (ตารางที่ 10) พบว่า ความเข้มข้นของคาเฟอีนในเมล็ดกาแฟมีความแตกต่างกัน และเมื่อทำการวิเคราะห์ความเข้มข้นของคาเฟอีนในภาพรวมทั้ง 7 พื้นที่ เปรียบเทียบกันในคนละชั้นขนาด (ตารางที่ 11) พบว่า ความเข้มข้นของคาเฟอีนในเมล็ดกาแฟในแต่ละชั้นขนาด ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ (Fox et al., 2013) ที่ได้ศึกษาเมล็ดกาแฟที่มาจากหลายแหล่งทั่วโลก เพื่อศึกษาความเข้มข้นของคาเฟอีนในเมล็ดกาแฟ พบว่า ขนาดของเมล็ดกาแฟไม่มีผลต่อความเข้มข้นของคาเฟอีน โดยขนาดของเมล็ดกาแฟนั้นมีผลต่อความเข้มข้นของคาเฟอีนเพียง ร้อยละ 31 โดยปัจจัยที่ส่งผลคาเฟอีนในเมล็ดกาแฟนั้นมีหลายปัจจัย ในด้านปัจจัยภายในของต้นกาแฟเอง การเก็บผลจากบริเวณของกิ่งที่แตกต่างกัน หรือการเก็บเกี่ยวในระยะเวลาที่ต่างกัน ส่งผลต่อคาเฟอีนที่แตกต่างกัน โดยจากการศึกษาของ Wintgens (2009) พบว่า การสะสมคาเฟอีนจะเริ่มสะสมตั้งแต่ในผลที่ยังไม่สุก และสะสมเพิ่มขึ้นในระหว่างที่เมล็ดพัฒนา Geromel et al. (2008) รายงานว่า ผลกาแฟที่ปลูกภายใต้ร่มเงามีลักษณะทยอยสุก และการเก็บเกี่ยวเมล็ดกาแฟล่าช้า ส่งผลให้ระดับความเข้มข้นของคาเฟอีนในเมล็ดลดลง เนื่องจากมีหลายปัจจัยที่ส่งผลต่อปริมาณคาเฟอีน รวมทั้งยังมีงานวิจัยน้อยในด้านอิทธิพลที่ส่งผลต่อปริมาณคาเฟอีน ในการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่า ถึงแม้เป็นการปลูกกาแฟภายใต้ร่มเงาของป่าเหมือนกัน แต่ความเข้มข้นของคาเฟอีนมีความผันแปรไปตามสภาพแหล่งปลูก หรือแสดงให้เห็นถึงปัจจัยภายนอก หรือสภาพแวดล้อมนั้นมีผลต่อความเข้มข้นของคาเฟอีนในเมล็ดกาแฟ

ตารางที่ 8 ค่าเฉลี่ย และค่าประมาณของความเข้มข้นของคาเฟอีนในสารกาแฟ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ที่ปลูกภายใต้ร่มไม้ป่า 7 พื้นที่

พื้นที่	ปริมาณคาเฟอีนในสารกาแฟ (มิลลิกรัม/กรัม)	
	ค่าเฉลี่ย	95% CI
เบ๊าะเดย์ 1	0.910	0.903 - 0.917
เบ๊าะเดย์ 2	0.855	0.806 - 0.904
สองเมีย 1	0.931	0.915 - 0.947
สองเมีย 2	0.903	0.896 - 0.909
บ้านเหนือ 1	0.912	0.898 - 0.927
บ้านเหนือ 2	0.966	0.950 - 0.982
แป๊ะโพ	0.911	0.907 - 0.914

หมายเหตุ CI คือ ช่วงความเชื่อมั่น

ตารางที่ 9 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของคาเฟอีน (มิลลิกรัมต่อกรัม) ของสารกาแฟใน 7 พื้นที่

พื้นที่	จำนวนตัวอย่าง	ปริมาณคาเฟอีน (มิลลิกรัม/กรัม)
เบ๊าะเดย์ 1	12	0.910 ± 0.011 bc
เบ๊าะเดย์ 2	12	0.855 ± 0.077 c
สองเมีย 1	12	0.931 ± 0.025 ab
สองเมีย 2	12	0.903 ± 0.010 bc
บ้านเหนือ 1	12	0.912 ± 0.023 bc
บ้านเหนือ 2	12	0.966 ± 0.025 a
แป๊ะโพ	12	0.911 ± 0.005 bc
Chi-squared		35.712
P-value		0.000003136 ***

หมายเหตุ ภายในคอลัมน์เดียวกันถ้ามีตัวภาษาอังกฤษเหมือนกันแสดงถึงความไม่แตกต่างทางสถิติ
*** มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งยวดที่ 0.001

ตารางที่ 10 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของคาเฟอีนในสารกาแฟ (มิลลิกรัมต่อกรัม) เมื่อเปรียบเทียบในชั้นขนาดเมล็ดเดียวกัน จากแหล่งปลูก 7 พื้นที่

พื้นที่	ความเข้มข้นคาเฟอีน			
	รหัสขนาดที่ 1	**รหัสขนาดที่ 2**	**รหัสขนาดที่ 3**	**รหัสขนาดที่ 4**
เป๊าะเดย์ 1	0.904 ± 0.005 ab	0.908 ± 0.002 ab	0.924 ± 0.003 ab	0.905 ± 0.015
เป๊าะเดย์ 2	0.890 ± 0.007 b	0.822 ± 0.054 b	0.763 ± 0.027 b	0.946 ± 0.014
สองเมีย 1	0.915 ± 0.036 ab	0.933 ± 0.033 ab	0.948 ± 0.006 ab	0.927 ± 0.014
สองเมีย 2	0.916 ± 0.006 ab	0.903 ± 0.011 ab	0.894 ± 0.004 ab	0.898 ± 0.003
บ้านเหนือ 1	0.898 ± 0.005 ab	0.903 ± 0.001 ab	0.906 ± 0.001 ab	0.942 ± 0.032
บ้านเหนือ 2	0.970 ± 0.007 a	0.974 ± 0.001 a	0.982 ± 0.008 a	0.939 ± 0.043
แป๊ะโพ	0.916 ± 0.001 ab	0.907 ± 0.008 ab	0.909 ± 0.005 ab	0.911 ± 0.001
chi-squared	15.094	13.933	19.337	12.279
p-value	0.01954 *	0.0304 *	0.00363 *	0.05602 ns

หมายเหตุ ภายในคอลัมน์เดียวกันถ้ามีตัวภาษาอังกฤษเหมือนกันแสดงถึงความไม่แตกต่างทางสถิติ ns ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ *มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ 0.05

ตารางที่ 11 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความเข้มข้นคาเฟอีนในสารกาแฟ (มิลลิกรัมต่อกรัม) จากแหล่งปลูก 7 พื้นที่ ในแต่ละชั้นขนาดเมล็ด

เกณฑ์ขนาดเมล็ดกาแฟ	**ความเข้มข้นคาเฟอีนในสารกาแฟ (มิลลิกรัมต่อกรัม)**
รหัสขนาดที่ 1 (< 7.1 มิลลิเมตร)	0.916
รหัสขนาดที่ 2 (6.3 – 7.1 มิลลิเมตร)	0.907
รหัสขนาดที่ 3 (5.6 – 6.3 มิลลิเมตร)	0.904
รหัสขนาดที่ 4 (> 5.6 มิลลิเมตร)	0.924
chi-squared	1.121
p-value	>0.05

การศึกษาปัจจัยสภาพแวดล้อมในพื้นที่ปลูกกาแฟ

จากการศึกษาของคุณภาพของเมล็ดกาแฟในด้านของขนาดเมล็ดมิติต่าง ๆ รวมถึงปริมาณคาเฟอีน ทั้ง 7 พื้นที่ (ตารางที่ 4 - 11) พบว่า การปลูกกาแฟภายใต้สภาพร่มเงาไม้ป่าเหมือนกัน มีความแตกต่างกันในด้านขนาดเมล็ดและปริมาณคาเฟอีน จะเห็นได้ว่าสภาพของพื้นที่ปลูกกาแฟอาราบิก้าทั้ง 7 พื้นที่ มีปัจจัยที่ส่งผลให้คุณภาพของเมล็ดกาแฟแตกต่างกัน โดยในพื้นที่เบ๊าะเดย์ 2 มีคุณภาพขนาดเมล็ดที่มีขนาดใหญ่สูงสุดจาก 7 พื้นที่ จึงทำการศึกษาปัจจัยด้านสภาพแวดล้อม ทำการคัดเลือกพื้นที่เพื่อใช้ในการศึกษาปัจจัยสภาพแวดล้อมเพิ่มเติม ซึ่งการคัดเลือกพื้นที่ศึกษานั้น ใช้เกณฑ์ในการเลือกได้แก่ ขนาดผลกาแฟ ระดับความสูงจากน้ำทะเลที่อยู่ในระดับเดียวกัน มีทิศด้านลาดไปในทิศทางเดียวกัน โดยในการศึกษาครั้งนี้ทิศด้านลาดที่ได้เลือกศึกษาได้แก่ ทิศเหนือ เนื่องจากทิศเหนือเป็นทิศที่มีการได้รับแสงตลอดทั้งวัน และความลาดชันระดับเดียวกัน เพื่อเป็นการลดปัจจัยสภาพแวดล้อมเบื้องต้นในด้านสภาพภูมิประเทศที่อาจส่งผลต่อคุณภาพของเมล็ดกาแฟ ทำให้ได้พื้นที่ศึกษาทั้งหมด 3 พื้นที่ ได้แก่ พื้นที่เบ๊าะเดย์1 พื้นที่เบ๊าะเดย์2 และพื้นที่แป๊ะโพ ในแต่ละพื้นที่นั้นได้ทำการวางแปลงศึกษาขนาด 20 x 20 เมตร จำนวน 3 แปลง

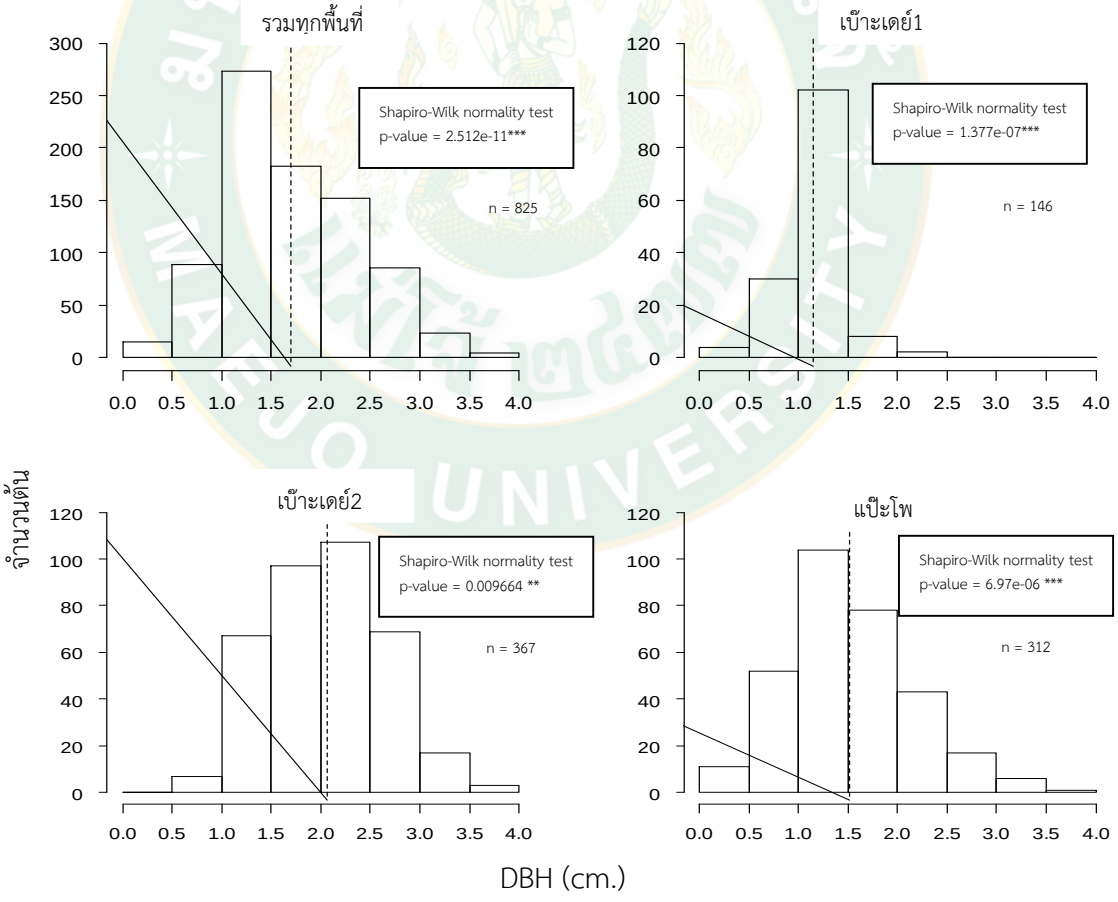
1. ลักษณะของต้นกาแฟ

จากการศึกษาการแจกแจงความถี่ตามชั้นขนาดความโตเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอก (DBH) ที่ระดับความสูง 130 เซนติเมตร ของต้นกาแฟทั้ง 3 พื้นที่ ได้แก่ พื้นที่เบ๊าะเดย์ 1 เบ๊าะเดย์ 2 และแป๊ะโพ มีช่วงค่าเฉลี่ยของขนาดความโตต้นกาแฟ ที่ความเชื่อมั่นร้อยละ 95 อยู่ที่ 1.11 – 1.20 เซนติเมตร 1.99 – 2.12 เซนติเมตร และ1.45 – 1.59 เซนติเมตร ตามลำดับ และจากการวิเคราะห์การแจกแจงความถี่ตามชั้นขนาดความโตเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอกของต้นกาแฟ โดยใช้ Shapiro-Wilk normality test (ภาพที่ 3) พบว่า ความถี่การกระจายตัวของขนาดต้นกาแฟในแต่ละพื้นที่ส่วนใหญ่มีขนาดความโตต้นที่มีขนาดเล็ก ทำให้มีรูปแบบการแจกแจงความถี่ตามชั้นขนาดความโตเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอกแบบไม่ปกติ และเมื่อทดสอบเปรียบเทียบการกระจายตัวแบบพบกันหมดในแต่ละพื้นที่โดยใช้วิธี Kolmogorov-Smirnov test (ตารางที่ 12) พบว่า การแจกแจงความถี่ตามชั้นขนาดความโตเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอกของต้นกาแฟในแต่ละพื้นที่ มีลักษณะการแจกแจงความถี่ตามชั้นขนาดความโตเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอกที่แตกต่างกัน

ลักษณะความสูงของต้นกาแฟ จากการแจกแจงความถี่ตามชั้นขนาดความสูงต้นกาแฟทั้ง 3 พื้นที่ ได้แก่ พื้นที่เบ๊าะเดย์ 1 เบ๊าะเดย์ 2 และแป๊ะโพ มีช่วงในการประมาณค่าของความสูงต้นกาแฟ ที่ความเชื่อมั่นร้อยละ 95 อยู่ที่ 243 – 254 เซนติเมตร 232 – 243 เซนติเมตร. และ 337 – 349 เซนติเมตร. ตามลำดับ และจากการวิเคราะห์การแจกแจงความถี่ตามชั้นขนาดความสูงต้นกาแฟ

โดยใช้ Shapiro-Wilk normality test (ภาพที่ 4) พบว่า การแจกแจงความถี่ตามชั้นขนาดความสูงต้นกาแฟ ในแต่ละพื้นที่ส่วนใหญ่มีความสูงต้นที่อยู่ในระดับใกล้เคียงกันภายในแปลง ส่งผลให้มีความสูงต้นค่อนไปทางด้านใดด้านหนึ่งที่มากกว่า ทำให้มีรูปแบบการแจกแจงความถี่ตามชั้นขนาดความสูงต้นกาแฟแบบไม่ปกติ นอกจากพื้นที่เบ๊าะเดย์1 ที่พบว่า มีการแจกแจงความถี่ตามชั้นขนาดความสูงต้นกาแฟแบบปกติ และเมื่อทดสอบเปรียบเทียบการกระจายตัวแบบพบกันหมดในแต่ละพื้นที่โดยใช้วิธี Kolmogorov-Smirnov test (ตารางที่ 13) พบว่า การแจกแจงความถี่ตามชั้นขนาดความสูงต้นกาแฟในแต่ละพื้นที่ มีลักษณะการกระจายตัวที่แตกต่างกัน

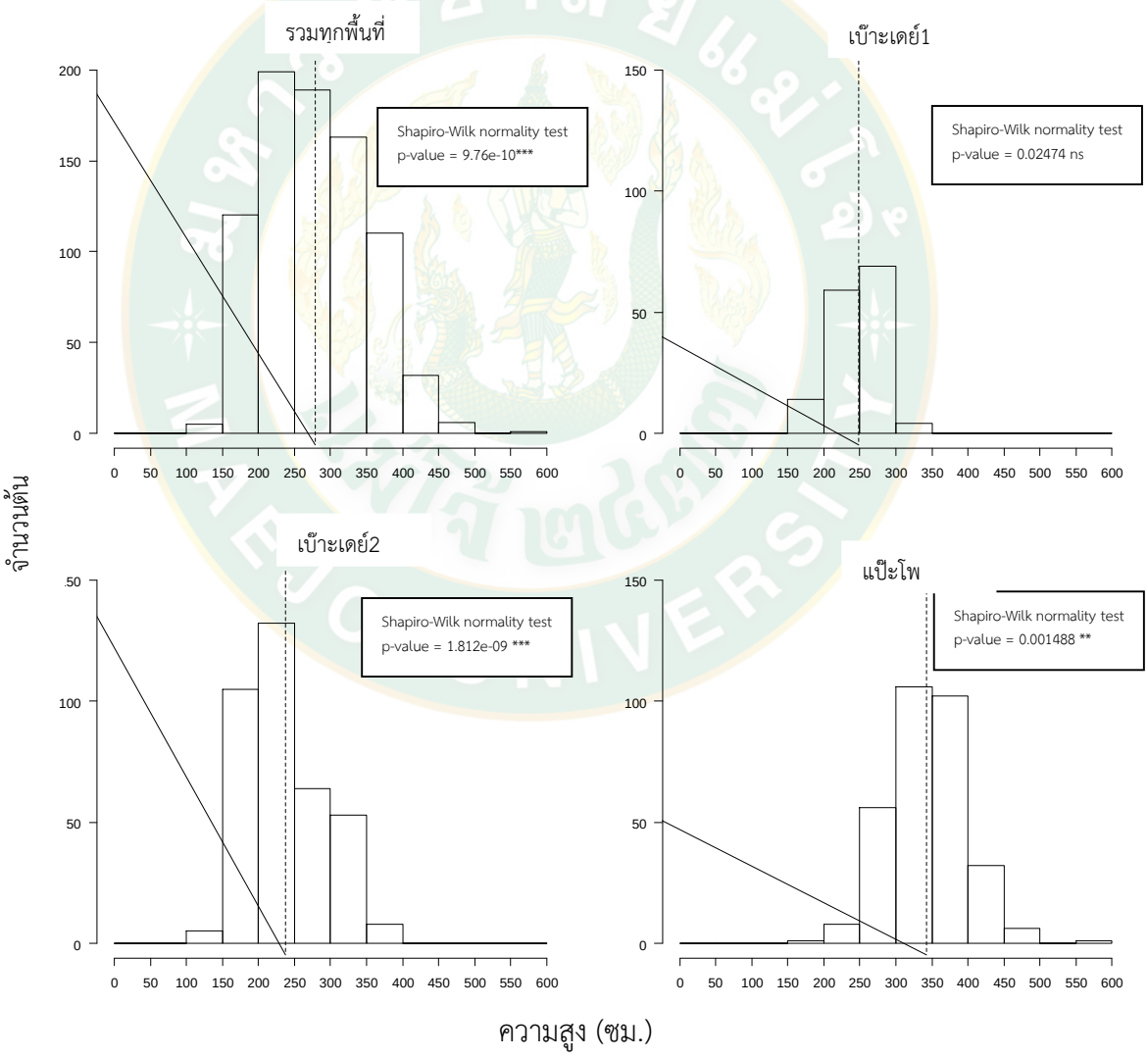
ความแตกต่างของลักษณะรูปแบบการแจกแจงความถี่ตามชั้นขนาดความโตเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอก และการแจกแจงความถี่ความสูงของต้นกาแฟในแต่ละพื้นที่นั้น เกิดจากสภาพพื้นที่หรือปัจจัยสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกันในแต่ละพื้นที่ ซึ่งจากการทดสอบทั้งวิธี Shapiro-Wilk normality test และ Kolmogorov-Smirnov test เป็นการยืนยันว่าข้อมูลนั้นมีการกระจายตัวทั้งแบบปกติและไม่ปกติ จึงเหมาะสมสำหรับการนำข้อมูลมาวิเคราะห์แบบ non-parametric



ภาพที่ 3 การแจกแจงความถี่ตามชั้นขนาดความโตเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอก (DBH) ที่ระดับความสูง 130 เซนติเมตร ของต้นกาแฟทั้ง 3 พื้นที่

ตารางที่ 12 เปรียบเทียบการแจกแจงความถี่ตามชั้นขนาดความโตเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอก (DBH) ที่ระดับความสูง 130 เซนติเมตร ของต้นกาแฟทั้ง 3 พื้นที่ โดยวิธีการ Kolmogorov-Smirnov test

คู่ที่ทำการเปรียบเทียบ	ค่าความเบี่ยงเบน	p-value
เบ๊าะเดย์ 1 - เบ๊าะเดย์ 2	0.7477	2.2e-16 ***
เบ๊าะเดย์ 1 - แป๊ะโพ	0.42422	5.551e-16 ***
เบ๊าะเดย์ 2 - แป๊ะโพ	0.41021	2.2e-16 ***



ภาพที่ 4 การแจกแจงความถี่ตามชั้นขนาดความสูงต้นกาแฟ ทั้ง 3 พื้นที่

ตารางที่ 13 เปรียบเทียบการแจกแจงความถี่ตามชั้นขนาดความสูงต้นกาแฟ ทั้ง 3 พื้นที่ โดยวิธีการ Kolmogorov-Smirnov test

คู่ที่ทำการเปรียบเทียบ	ค่าความเบี่ยงเบน	p-value
เบ๊าะเดย์1 - เบ๊าะเดย์2	0.29308	3.222e-08 ***
เบ๊าะเดย์1 - แป๊ะโพ	0.79456	2.2e-16 ***
เบ๊าะเดย์2 - แป๊ะโพ	0.67128	2.2e-16 ***

จากผลการศึกษาวิเคราะห์ความแตกต่างลักษณะของต้นกาแฟ (ตารางที่ 14) พบว่าต้นกาแฟในพื้นที่ที่ทำการศึกษา ลักษณะของต้นกาแฟที่ให้ผลผลิตมี 2 ลักษณะ ได้แก่ กาแฟต้นโตและกาแฟต้นเล็ก กาแฟต้นโต คือ ต้นกาแฟที่สามารถให้ผลผลิต ที่มีขนาดความโตเส้นรอบวงที่ระดับความสูง 130 เซนติเมตร ตั้งแต่ 3.1 เซนติเมตรขึ้นไป หากมีขนาดเส้นรอบวงต่ำกว่า 3.1 เซนติเมตร ถือว่าเป็นกาแฟต้นเล็ก และทำการวัดขนาดความโตเส้นรอบวงที่ระดับความสูง 30 เซนติเมตร ซึ่งจากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติพบว่า จำนวนต้นกาแฟ ความโตและความสูงต้นกาแฟที่ปลูกในแต่ละพื้นที่มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งยวด โดยต้นกาแฟต้นโต หรือโตกว่า 3.1 เซนติเมตร ในพื้นที่เบ๊าะเดย์ 2 และพื้นที่แป๊ะโพมีความหนาแน่นของต้นกาแฟขนาดโตสูงกว่าในพื้นที่เบ๊าะเดย์ 1 แต่ทางกลับกันพื้นที่เบ๊าะเดย์ 1 กลับมีต้นกาแฟขนาดเล็กที่ให้ผลผลิต หรือทำการวัดที่ระดับความสูง 30 เซนติเมตร มีความหนาแน่นสูงกว่าอีก 2 พื้นที่ จึงทำให้ค่าเฉลี่ยของความโตต้นกาแฟในพื้นที่เบ๊าะเดย์ 2 มีค่าเฉลี่ยสูงสุดใน 3 พื้นที่ ในพื้นที่แป๊ะโพนั้นมีความสูงของต้นกาแฟเฉลี่ยสูงสุด เท่ากับ 343 เซนติเมตร อาจเกิดจากการแข่งขันกันเองในพื้นที่ เนื่องจากความหนาแน่นของประชากร หรือจากความเป็นร่มเงาที่ได้รับการบดบังจากพรรณไม้เรือนยอดชั้นบนในพื้นที่ เนื่องจากพื้นที่แป๊ะโพต้นไม้ในพื้นที่มีขนาดใหญ่ และมีความเป็นร่มเงาในพื้นที่สูง จากการปกคลุมของเรือนยอดส่งผลต่อปริมาณแสงที่ส่องผ่านลงมา ซึ่งปริมาณแสงที่น้อยทำให้ต้นกาแฟสูงมากขึ้น หรือกล่าวได้ว่ามีแสงน้อยต้นไม้มีแนวโน้มที่มีความสูงต้นเพิ่มมากขึ้นเพื่อยืดลำต้นรับแสง (Koch et al., 2004) (ตารางที่ 14 และ 17) ในด้านการให้ผลผลิตของเมล็ดกาแฟผลสดในแต่ละพื้นที่นั้น มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ พบมากที่สุดในพื้นที่เบ๊าะเดย์ 2 ซึ่งอาจมีหลายปัจจัยในการส่งผลต่อผลผลิต โดยเฉพาะปัจจัยด้านสายพันธุ์ แต่ในกรณีพื้นที่ศึกษาครั้งนี้ มีการอ้างจากเกษตรกรเจ้าของแปลงว่า สายพันธุ์กาแฟที่ปลูกทั้ง 3 พื้นที่เป็นสายพันธุ์เดียวกัน คือ สายพันธุ์คาติมอร์ และเมื่อสังเกตจากจำนวนต้นกาแฟต่อพื้นที่พบว่า พื้นที่เบ๊าะเดย์ 2 นั้นที่ความหนาแน่นของต้นกาแฟที่สูง สอดคล้องกับ นริศ และคณะ (2539) กล่าวว่ากาแฟอาราบิก้าสายพันธุ์คาติมอร์มักให้ผลผลิตต่อเฮกตาร์สูงที่สุดเมื่อปลูกที่ความหนาแน่น 6,250 ต้นต่อเฮกตาร์ แต่ในขณะเดียวกันพื้นที่แป๊ะโพมีความหนาแน่น

ของต้นกาแฟไม่ต่างจากพื้นที่เบ๊าะเดย์ 2 แต่กลับมีผลผลิตต่อเฮกตาร์ต่ำที่สุด สำหรับในพื้นที่เบ๊าะเดย์ 1 มีความหนาแน่นในการปลูกกาแฟน้อยที่สุด แต่เมื่อเทียบปริมาณผลผลิตกลับไม่ต่างจากพื้นที่เบ๊าะเดย์ 2 ทำให้เห็นได้ว่า นอกจากปัจจัยในด้านความหนาแน่นของต้นกาแฟในพื้นที่ปลูกแล้ว ลักษณะความสมบูรณ์ของต้นกาแฟมีผลต่อการให้ผลผลิตของกาแฟ โดยต้นกาแฟในพื้นที่เบ๊าะเดย์ 1 และ 2 มีลักษณะต้นที่มีความสมบูรณ์กว่าพื้นที่แป๊ะโพ ซึ่งลักษณะต้นกาแฟในพื้นที่แป๊ะโพนั้นมีลักษณะที่ยืดสูง เนื่องจากในพื้นที่มีการบดบังร่มเงาจากไม้ชั้นเรือนยอดที่ทึบ ทำให้ต้นกาแฟมีลักษณะยืดหาแสง ส่งผลให้มีระยะห่างของกิ่งแขนง มีการติดผลที่น้อยกว่าอีก 2 พื้นที่ และส่งผลให้ผลผลิตน้อยกว่า ส่วนลักษณะในด้านความเขียวใบของต้นกาแฟซึ่งมีความสำคัญ คือ สามารถใช้ความสัมพันธ์ของปริมาณคลอโรฟิลล์ในต้นกาแฟ โดยจากการศึกษาของ Netto et al. (2005) พบว่า เมื่อประเมินความเขียวใบของต้นกาแฟ และได้ทำการหาความสัมพันธ์ระหว่างความเขียวใบกับปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ และคลอโรฟิลล์ บี พบว่า มีความสัมพันธ์มากกว่าร้อยละ 94 ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้พบว่า ความเขียวใบของต้นกาแฟบริเวณเรือนยอดและใต้ทรงพุ่มของต้นกาแฟ และทิศทางของใบที่อยู่ทางทิศตะวันออกและตะวันตก ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

ตารางที่ 14 ค่าเฉลี่ยข้อมูลเชิงปริมาณและการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบ non-parametric ของต้นกาแฟในที่ปลูกภายใต้เรือนยอดไม้ป่าธรรมชาติ 3 พื้นที่

ลักษณะของต้นกาแฟ	พื้นที่			Chi - squared	P -value
	เบ๊าะเดย์1 (ค่าเฉลี่ย ± SD)	เบ๊าะเดย์2 (ค่าเฉลี่ย ± SD)	แปะโพ (ค่าเฉลี่ย ± SD)		
ต้นกาแฟ (H>130 cm)					
จำนวนต้นกาแฟ (ต้น/เฮกตาร์)	1217 ± 632 b	3058 ± 592 a	2600 ± 363 a	15.263	***
ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอก (ซม.)	1.14 ± 0.09 c	2.06 ± 0.16 a	1.53 ± 0.22 b	38.604	***
ความสูงต้นกาแฟ (ซม.)	247 ± 12 b	238 ± 13 b	343 ± 15 a	33.494	***
ต้นกาแฟ (H<130 cm)					
จำนวนต้นกาแฟ (ต้น/เฮกตาร์)	817 ± 195 a	129 ± 49 b	389 ± 247 b	18.476	***
ขนาดเส้นผ่านที่ระดับความสูง 30 ซม.	0.54 ± 0.10	0.63 ± 0.13	0.46 ± 0.22	2.977	ns
ความสูงต้นกาแฟ (ซม.)	181.16 ± 17.95	150.43 ± 14.59	174.63 ± 65.25	5.4344	ns
ความเขียวใบบนเรือนยอด ทิศตะวันออก	71.62 ± 5.74	67.59 ± 5.09	68.50 ± 5.22	5.9556	ns
ความเขียวใบบนเรือนยอด ทิศตะวันตก	70.69 ± 5.78	68.23 ± 6.11	68.40 ± 5.58	1.0667	ns
ความเขียวใบใต้เรือนยอด ทิศตะวันออก	68.42 ± 6.91	65.32 ± 5.44	65.49 ± 6.52	1.1556	ns
ความเขียวใบใต้เรือนยอด ทิศตะวันออก	68.58 ± 5.53	65.24 ± 5.57	65.79 ± 5.87	2.4889	ns
ผลผลิต (กก./เฮกต้าร์)	1941.67±177.36 ab	2758.33±284.31 a	1416.67±72.17 b	7.2605	*
ผลผลิต (กก./ต้น)	1.07 ± 0.38	0.89 ± 0.12	0.49 ± 0.02	5.6471	ns

หมายเหตุ ภายในแถวเดียวกันถ้ามีตัวภาษาอังกฤษเหมือนกันแสดงถึงความไม่แตกต่างทางสถิติ ns ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ
*มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ 0.05, ***มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งยวด 0.001

2. องค์ประกอบและความสำคัญทางนิเวศวิทยาของชนิดพันธุ์ไม้

ในพื้นที่ศึกษาแปลงเบ๊าะเดย์ 1 มีชนิดพรรณไม้ทั้งหมดจำนวน 30 ชนิด 27 สกุล 18 วงศ์ โดยมีขนาดพื้นที่หน้าตัดทั้งหมด 3.0707 ตารางเมตรต่อเฮกตาร์ โดยวงศ์ที่ครอบครองพื้นที่หน้าตัดสูงสุด 5 อันดับแรก ได้แก่ Theaceae, Anacardiaceae, Lauraceae, Betulaceae และ Rubiaceae (ตารางที่ 15)

ในพื้นที่ศึกษาแปลงเบ๊าะเดย์ 2 มีชนิดพรรณไม้ทั้งหมดจำนวน 20 ชนิด 20 สกุล 17 วงศ์ โดยมีขนาดพื้นที่หน้าตัดทั้งหมด 2.5834 ตารางเมตรต่อเฮกตาร์ วงศ์ที่ครอบครองพื้นที่หน้าตัดสูงสุด 5 อันดับแรก ได้แก่ Theaceae, Anacardiaceae, Juglandaceae, Rubiaceae และ Euphorbiaceae (ตารางที่ 16)

ในพื้นที่ศึกษาแปลงที่แป๊ะโพ มีชนิดพรรณไม้ทั้งหมดจำนวน 22 ชนิด 21 สกุล 16 วงศ์ โดยมีขนาดพื้นที่หน้าตัดทั้งหมด 3.8536 ตารางเมตรต่อเฮกตาร์ วงศ์ที่ครอบครองพื้นที่หน้าตัดสูงสุด 5 อันดับแรก ได้แก่ Theaceae, Fabaceae, Lauraceae, Lamiaceae และ Araliaceae (ตารางที่ 17)

ค่าดัชนีความสำคัญทางนิเวศวิทยา ของแต่ละแปลงปลูกกาแฟภายใต้ร่มเงาไม้ป่า มีความผันแปรไปตามชนิดและองค์ประกอบพรรณไม้ ชนิดพรรณไม้ที่มีค่า IVI สูงสุดของแต่ละแปลงที่ศึกษาได้แก่ ทะโล้ โดยมีค่าเท่ากับ 107.258, 65.240 และ 56.102 ของแปลงเบ๊าะเดย์ 2 เบ๊าะเดย์ 1 และแป๊ะโพ ตามลำดับ ค่า IVI ของทะโล้ค่อนข้างมีความแตกต่างกันระหว่างแปลง แสดงถึงระดับการฟื้นตัวของป่าที่แตกต่างกัน เนื่องจากต้นทะโล้ เป็นไม้เบิกนำของป่าดิบเขา ฉะนั้นในพื้นที่มีต้นไม้ที่เป็นไม้เบิกนำในพื้นที่สูงที่มีจำนวนมากอย่างแปลงที่เบ๊าะเดย์ 1 แสดงลักษณะของป่าที่กำลังมีการฟื้นตัวขึ้นมาในระยะเริ่มต้น แปลงที่เบ๊าะเดย์ 2 ฟื้นตัวในระยะกลาง ส่วนแปลงแป๊ะโพ มีค่า IVI ต่ำกว่าแสดงลักษณะของป่าที่มีการฟื้นตัวในระยะที่ไกลกว่าแปลงเบ๊าะเดย์ 1 และเบ๊าะเดย์ 2 ทำให้มีพรรณไม้ประจำถิ่นเริ่มขึ้นมาทดแทนไม้เบิกนำ โดยความหนาแน่นสัมพัทธ์ และความเด่นสัมพัทธ์ ของพื้นที่แปลงเบ๊าะเดย์ 1 และแปลงเบ๊าะเดย์ 2 แตกต่างกันไม่มากนัก แต่ค่อนข้างมีความแตกต่างกับแปลงแป๊ะโพ ซึ่ง Bormann and Likens (1979) รายงานว่าการสะสมชีวมวลในระบบนิเวศหลังจากถูกทำลาย การฟื้นตัวของป่าในระยะแรกเริ่มมีการเพิ่มขึ้นของชนิดพันธุ์ไม้ในระยะ Aggradation และมีการเพิ่มขึ้นของมวลชีวภาพสูงสุด เมื่อถึงในช่วงเวลาการเปลี่ยนแปลง (Transition) เริ่มมีการลดลงของมวลชีวภาพ และหลังจากนั้นสถานะคงที่ (Steady stage)

ตารางที่ 15 จำนวนต้น (Density: trees) ความถี่ (Frequency: F) ความเด่นพื้นที่หน้าตัด (Ba: m^2) ความหนาแน่นสัมพัทธ์ (RDe: %) ความถี่สัมพัทธ์ (RF: %) ความเด่นสัมพัทธ์ (RDo: %) และ ค่าดัชนีความสำคัญทางนิเวศวิทยา (IVI: %) ของพรรณไม้ในแปลงพื้นที่ปลูกกาแฟภายใต้ร่มเงาไม้ป่า แปลงที่ 1 (เบ๊าะเดย์ 1)

ลำดับ	ชื่อสามัญ	Density	F	Basal	Re.De	Re.F	Re.Do	IVI
1	ทะโล้	32	10	0.9781	21.192	12.195	31.853	65.240
2	แข้งกวาง	21	9	0.2283	13.907	10.976	7.435	32.318
3	ตีนเป็ดเขา	21	6	0.2417	13.907	7.317	7.872	29.097
4	มะมือ	4	3	0.4306	2.649	3.659	14.023	20.33
5	อินทวา	9	7	0.08	5.96	8.537	2.605	17.102
6	ปลายสาน	10	6	0.0475	6.623	7.317	1.546	15.485
7	กะทังใบใหญ่	4	4	0.1664	2.649	4.878	5.42	12.947
8	ค่าหด	5	5	0.0791	3.311	6.098	2.575	11.983
9	ก่อตลับ	4	3	0.1498	2.649	3.659	4.879	11.186
10	กำลังเสือโคร่ง	1	1	0.2607	0.662	1.22	8.49	10.372
11	หว้าเขา	4	2	0.1573	2.649	2.439	5.123	10.211
12	เมียดต้น	3	3	0.011	1.987	3.659	0.358	6.004
13	เมี่ยงผี	5	2	0.0018	3.311	2.439	0.06	5.81
14	แหลช่อ	4	2	0.0197	2.649	2.439	0.643	5.731
15	นวล	4	2	0.0082	2.649	2.439	0.268	5.356
16	ทองหลางป่า	2	1	0.0858	1.325	1.22	2.795	5.339
17	คอไก่	2	2	0.0241	1.325	2.439	0.786	4.55
18	เข็ม sp.	2	2	0.0028	1.325	2.439	0.092	3.856
19	ก่อน้อย	2	1	0.0271	1.325	1.22	0.881	3.425
20	แกนมอ, รักเวียดนาม	1	1	0.0376	0.662	1.22	1.223	3.105
21	มณฑาดอย	2	1	0.0013	1.325	1.22	0.043	2.587
22	มะขามแป	1	1	0.0101	0.662	1.22	0.328	2.21
23	มะมุ่น	1	1	0.0099	0.662	1.22	0.323	2.205
24	ส้านเห็บ	1	1	0.0042	0.662	1.22	0.137	2.019
25	แคหัวหมู	1	1	0.0032	0.662	1.22	0.105	1.986
26	มะไฟ	1	1	0.0016	0.662	1.22	0.053	1.935

ตารางที่ 15 (ต่อ)

ลำดับ	ชื่อสามัญ	Density	F	Basal	Re.De	Re.F	Re.Do	IVI
27	กล้วยฤาษี	1	1	0.0011	0.662	1.22	0.037	1.919
28	พีพ่าย	1	1	0.0006	0.662	1.22	0.019	1.9
29	หว้าลิง	1	1	0.0005	0.662	1.22	0.017	1.899
30	สตีต้น	1	1	0.0003	0.662	1.22	0.009	1.891
	รวม	**151**		**3.0707**	**100**	**100**	**100**	**300**

ตารางที่ 16 จำนวนต้น (Density: trees) ความถี่ (Frequency: F) ความเด่นพื้นที่หน้าตัด (Ba: m^2) ความหนาแน่นสัมพัทธ์ (RDe: %) ความถี่สัมพัทธ์ (RF: %) ความเด่นสัมพัทธ์ (RDo: %) และ ค่าดัชนีความสำคัญทางนิเวศวิทยา (IVI: %) ของพรรณไม้ในแปลงพื้นที่ปลูกกาแฟภายใต้ร่มเงาไม้ป่า แปลงที่ 2 (เบ๊าะเดย์ 2)

ลำดับ	ชื่อสามัญ	Density	F	Ba	Rde	RF	Rdo	IVI
1	ทะโล้	27	7	1.2857	38.571	18.919	49.768	107.258
2	ค่าหด	6	4	0.287	8.571	10.811	11.108	30.49
3	แข้งกวาง	8	4	0.1187	11.429	10.811	4.593	26.832
4	แกนมอ, รักเวียดนาม	8	4	0.1052	11.429	10.811	4.073	26.312
5	มะมือ	1	1	0.3377	1.429	2.703	13.071	17.203
6	แคหัวหมู	4	3	0.0482	5.714	8.108	1.867	15.689
7	สอยดาว	2	1	0.1097	2.857	2.703	4.246	9.806
8	ขนุนป่า	2	1	0.0315	2.857	2.703	1.218	6.778
9	ตีนเป็ดเขา	1	1	0.0589	1.429	2.703	2.278	6.409
10	กล้วยฤาษี	1	1	0.0542	1.429	2.703	2.097	6.228
11	ซ้อ	1	1	0.05	1.429	2.703	1.937	6.068
12	ทองหลางป่า	1	1	0.0238	1.429	2.703	0.922	5.053
13	กะทังใบใหญ่	1	1	0.0171	1.429	2.703	0.66	4.792
14	ไคร้มันปลา	1	1	0.0133	1.429	2.703	0.515	4.647
15	มณฑาดอย	1	1	0.0109	1.429	2.703	0.422	4.553
16	หว้าเขา	1	1	0.0097	1.429	2.703	0.377	4.509
17	ส้านเห็บ	1	1	0.0089	1.429	2.703	0.346	4.477
18	อินทวา	1	1	0.0078	1.429	2.703	0.304	4.435
19	แคทราย	1	1	0.0046	1.429	2.703	0.177	4.309
20	เกื้อดง	1	1	0.0005	1.429	2.703	0.021	4.152
	รวม	70		2.5834	100	100	100	300

ตารางที่ 17 จำนวนต้น (Density: trees) ความถี่ (Frequency: F) ความเด่นพื้นที่หน้าตัด (Ba: m^2) ความหนาแน่นสัมพัทธ์ (RDe: %) ความถี่สัมพัทธ์ (RF: %) ความเด่นสัมพัทธ์ (RDo: %) และ ค่าดัชนีความสำคัญทางนิเวศวิทยา (IVI: %) ของพรรณไม้ในแปลงพื้นที่ปลูกกาแฟภายใต้ร่มเงาไม้ป่า แปลงที่ 3 (แป๊ะโพ)

ลำดับ	ชื่อสามัญ	Density	F	Basal	Re.De	Re.F	Re.Do	IVI
1	ทะโล้	9	5	1.0726	16.364	11.905	27.833	56.102
2	กางหลวง	4	2	0.733	7.273	4.762	19.02	31.055
3	นิ้วมือพระนารายณ์	6	5	0.3169	10.909	11.905	8.223	31.037
4	กะทังใบใหญ่	3	3	0.3845	5.455	7.143	9.977	22.575
5	กะอวม	5	4	0.0537	9.091	9.524	1.392	20.007
6	ซ้อ	3	2	0.355	5.455	4.762	9.212	19.429
7	ปลายสาน	2	2	0.1336	3.636	4.762	3.466	11.864
8	หว้าเขา	2	2	0.0935	3.636	4.762	2.427	10.826
9	เมี่ยงผี	3	2	0.0051	5.455	4.762	0.132	10.349
10	หว้าลิง	2	2	0.0461	3.636	4.762	1.197	9.595
11	โพบาย	1	1	0.1974	1.818	2.381	5.123	9.322
12	สอยดาว	2	2	0.0349	3.636	4.762	0.906	9.304
13	เติม	1	1	0.1949	1.818	2.381	5.058	9.257
14	ตาฉู่แม	1	1	0.1696	1.818	2.381	4.402	8.601
15	ค่าหด	2	1	0.0187	3.636	2.381	0.485	6.502
16	มะไฟ	2	1	0.0011	3.636	2.381	0.029	6.046
17	สตีต้น	2	1	0.0001	3.636	2.381	0.003	6.02
18	สิวาละที	1	1	0.0172	1.818	2.381	0.447	4.646
19	มะกอกพราน	1	1	0.0154	1.818	2.381	0.4	4.599
20	มะเดื่อหว้า	1	1	0.0087	1.818	2.381	0.225	4.424
21	กล้วยฤาษี	1	1	0.0009	1.818	2.381	0.022	4.221
22	เมียดต้น	1	1	0.0008	1.818	2.381	0.022	4.221
	รวม			**3.8536**	**100**	**100**	**100**	**300**

ลักษณะเชิงปริมาณพรรณไม้ในพื้นที่ทั้ง 3 พื้นที่ ด้านจำนวนต้นไม้ มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งยวด (ตารางที่ 18) โดยพื้นที่เบ๊าะเดย์ 1 มีจำนวนต้นต่อเฮกตาร์สูงสุด เท่ากับ 1258 ต้นต่อเฮกตาร์ และมีดัชนีความหลากหลายของชนิดพรรณ สูงสุด เท่ากับ 2.44 รวมถึงชนิดพันธุ์ต่อพื้นที่มีจำนวน 16 ชนิด

จากการสำรวจและบันทึกข้อมูลใน 3 พื้นที่ ทั้งด้านจำนวนต้นไม้ ค่าดัชนีความหลากหลายของชนิดพรรณ และจำนวนชนิดของพรรณไม้ (ตารางที่ 18) ประกอบชนิดพรรณไม้ในพื้นที่ ค่าดัชนีความสำคัญทางนิเวศวิทยา (ตารางที่ 15-17) สามารถจำแนกความแตกต่างของป่าในพื้นที่ที่ปลูกกาแฟในแต่ละพื้นที่ได้ชัดเจนขึ้น โดยพื้นที่เบ๊าะเดย์ 1 เป็นป่าที่มีการฟื้นตัวในระยะเริ่มต้น เนื่องจากมีจำนวนพันธุ์ไม้เบิกนำสูง มีดัชนีความหลากชนิดพันธุ์ จำนวนชนิดของพรรณไม้ และจำนวนต้นไม้ในพื้นที่สูง ในพื้นที่เบ๊าะเดย์ 2 เป็นป่าฟื้นตัวระยะกลาง และพบว่า บริเวณรอบพื้นที่วางแปลงทดลองมีต้นสนสามใบอยู่รอบบริเวณ ซึ่งส่วนใหญ่แล้วเชื้อไมคอร์ไรซ่ามักอาศัยอยู่ร่วมกับต้นสนสามใบทำให้บริเวณที่มีต้นสนสามใบมีเชื้อไมคอร์ไรซ่าอาศัยอยู่มาก ทำให้เป็นประโยชน์ต่อต้นกาแฟ (Bormann et al., 1993) และในพื้นที่แป๊ะโพ เป็นป่าฟื้นตัวระยะพัฒนา เมื่อเปรียบเทียบกับอีก 2 พื้นที่ ต้นไม้ในพื้นที่แป๊ะโพมีขนาดความโตต้นที่ใหญ่กว่าอีก 2 พื้นที่ สังเกตได้จากพื้นที่หน้าตัดของไม้ที่มีมากกว่า 2 พื้นที่ ตรงกับการศึกษาของ สุธีระ และคณะ (2562) ที่แสดงให้เห็นว่าในพื้นที่ของป่าที่ฟื้นฟูมักมีค่าดัชนีความหลากของชนิดพรรณไม้สูง และจำนวนชนิดที่สูงกว่าพื้นที่ป่าที่ค่อนข้างสมบูรณ์แล้ว และสอดคล้องกับการศึกษาของ สนิท และคณะ (2520) ซึ่งพบว่า ในระยะแรกหลังจากปล่อยให้ป่าฟื้นตัว พรรณไม้ที่ขึ้นยังมีปริมาณน้อยเพราะเริ่มมีการตั้งตัว และเริ่มมีชนิดพรรณไม้เพิ่มขึ้น จนพอนานเข้าพรรณไม้เริ่มมีการแก่งแย่งแสงและอาหารทำให้พรรณไม้เริ่มลดลง การปลูกกาแฟภายใต้เรือนยอดไม้ป่า องค์ประกอบของชนิดพันธุ์ไม้ และความหนาแน่นของไม้ยืนต้น ทำให้มีโครงสร้างป่า และการปกคลุมเรือนยอดที่แตกต่างกัน ส่งผลต่อความสัมพันธ์ของปริมาณแสง อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ ลม น้ำในดิน รวมถึงดินและธาตุอาหารในพื้นที่ ที่ส่งผลต่อการเติบโตของต้นกาแฟ (Muschler, 2008) สำหรับความหลากชนิดพันธุ์มีส่วนทำให้มีแมลงผสมเกสรเข้ามาและเพิ่มโอกาสการผสมของดอกกาแฟ (Krishnan et al., 2012)

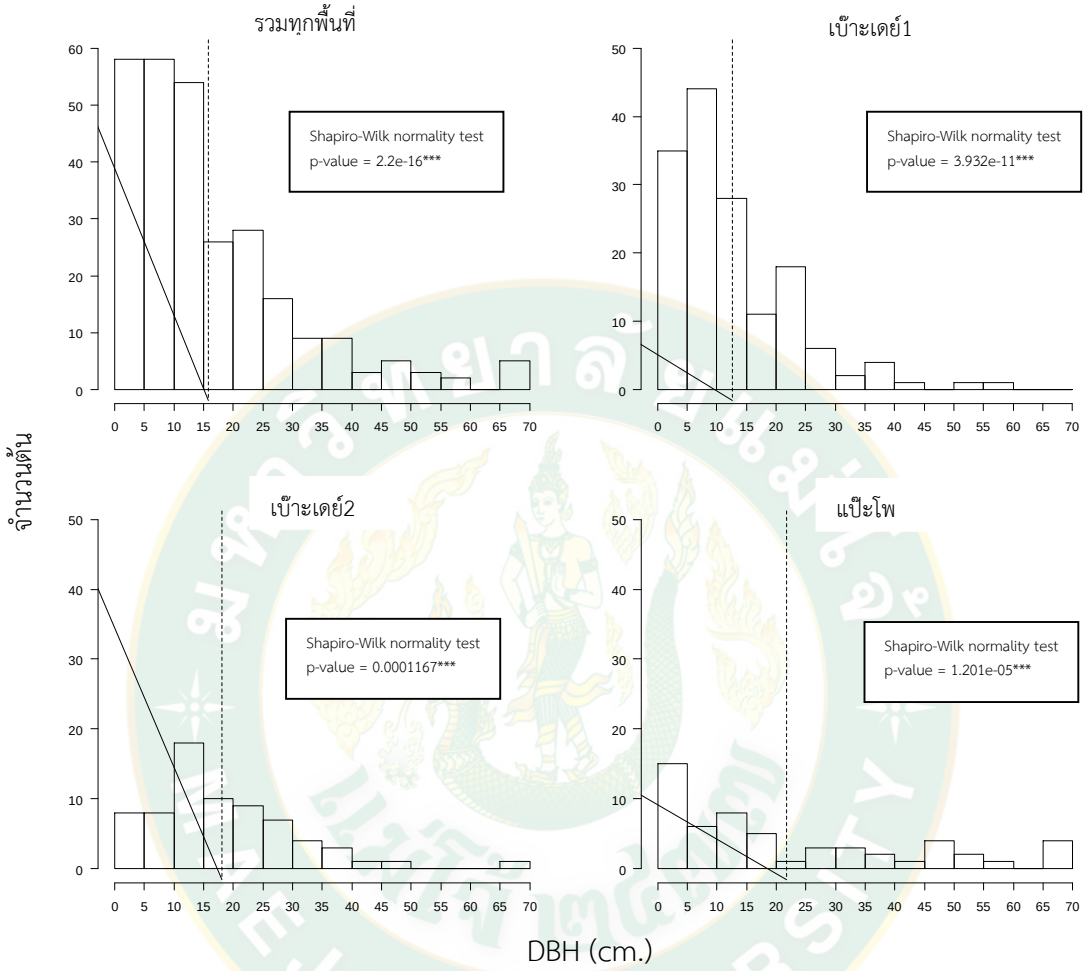
ตารางที่ 18 จำนวนต้นต่อพื้นที่ ดัชนีความหลากหลายของชนิดพรรณ Shannon – Wiener Index (H') จำนวนชนิดพันธุ์ไม้ ค่าเฉลี่ยความโตต้น และพื้นที่หน้าตัดของพรรณไม้ในพื้นที่ทั้ง 3 พื้นที่

ลักษณะของพรรณไม้ในพื้นที่	พื้นที่			Chi-squared
	เบ๊าะเดย์1	เบ๊าะเดย์2	แป๊ะโพ	
จำนวนต้นไม้ (ต้น/เฮกตาร์)	1258 ± 483 a	583 ± 301 b	458 ± 243 b	15.114 ***
Shannon – Wiener Index	2.44 a	1.80 b	2.27 ab	7.20 *
จำนวนชนิดพันธุ์ (ชนิด/พื้นที่)	16 a	9 b	11 ab	7.32 *
ค่าเฉลี่ยความโตต้น (ซม.)	12.98 ± 1.99	18.41 ± 6.19	18.39 ± 10.95	4.8288 ns
พื้นที่หน้าตัด (ตร.ม./เฮกตาร์)	76.77 ± 2.26	64.59 ± 4.13	96.34 ± 8.23	0.98649 ns

หมายเหตุ ภายในแถวเดียวกันถ้ามีตัวภาษาอังกฤษเหมือนกันแสดงถึงความไม่แตกต่างทางสถิติ ns ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ *มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ 0.05, ***มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งยวด 0.001

จากการแจกแจงความถี่ตามชั้นขนาดความโตเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอก (DBH) ที่ระดับความสูง 130 เซนติเมตร ของต้นไม้ทั้ง 3 พื้นที่ ได้แก่ พื้นที่เบ๊าะเดย์ 1 เบ๊าะเดย์ 2 และแป๊ะโพ พบว่ามีช่วงในการประมาณค่าเฉลี่ยของขนาดความโตต้นไม้ ที่ความเชื่อมั่นร้อยละ 95 อยู่ที่ 12.47 – 12.73 เซนติเมตร 17.72 – 18.39 เซนติเมตร และ21.07 – 22.54 เซนติเมตร ตามลำดับ และจากการวิเคราะห์การแจกแจงความถี่ตามชั้นขนาดความโตเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอกของต้นไม้ โดยใช้ Shapiro-Wilk normality test พบว่า มีรูปแบบการแจกแจงความถี่ตามชั้นขนาดความโตเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอกแบบไม่ปกติ (ภาพที่ 5) และเมื่อทดสอบเปรียบเทียบรูปแบบการแจกแจงความถี่ตามชั้นขนาดความโตเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอกแบบพบกันหมดในแต่ละพื้นที่ โดยใช้วิธี Kolmogorov-Smirnov test พบว่า มีเพียงพื้นที่เบ๊าะเดย์ 2 และพื้นที่แป๊ะโพ ที่ไม่มีความแตกต่างของการแจกแจงความถี่ตามชั้นขนาดความโตเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอก (ตารางที่ 19) แสดงให้เห็นถึงพื้นที่ทั้งสองพื้นที่มีสภาพความโตของต้นไม้ที่ใกล้เคียงกัน จากความแตกต่างลักษณะการแจกแจงความถี่ตามชั้นขนาดความโตเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอกของต้นไม้ แสดงให้เห็นว่าในแต่ละพื้นที่มีการฟื้นตัวของป่าที่ต่างกัน ซึ่งเกิดจากสภาพพื้นที่หรือปัจจัยสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกันในแต่ละพื้นที่ จากการทดสอบทั้งวิธี Shapiro-Wilk normality test และ Kolmogorov-Smirnov test เป็น

การยืนยันว่าข้อมูลนั้นมีการแจกแจงความถี่ตามชั้นขนาดความโตเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอกแบบไม่ปกติ จึงเหมาะสมสำหรับการนำข้อมูลมาวิเคราะห์แบบ non-parametric



ภาพที่ 5 การแจกแจงความถี่ตามชั้นขนาดความโตเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอก (DBH) ที่ระดับความสูง 130 เซนติเมตร ของต้นไม้ทั้ง 3 พื้นที่

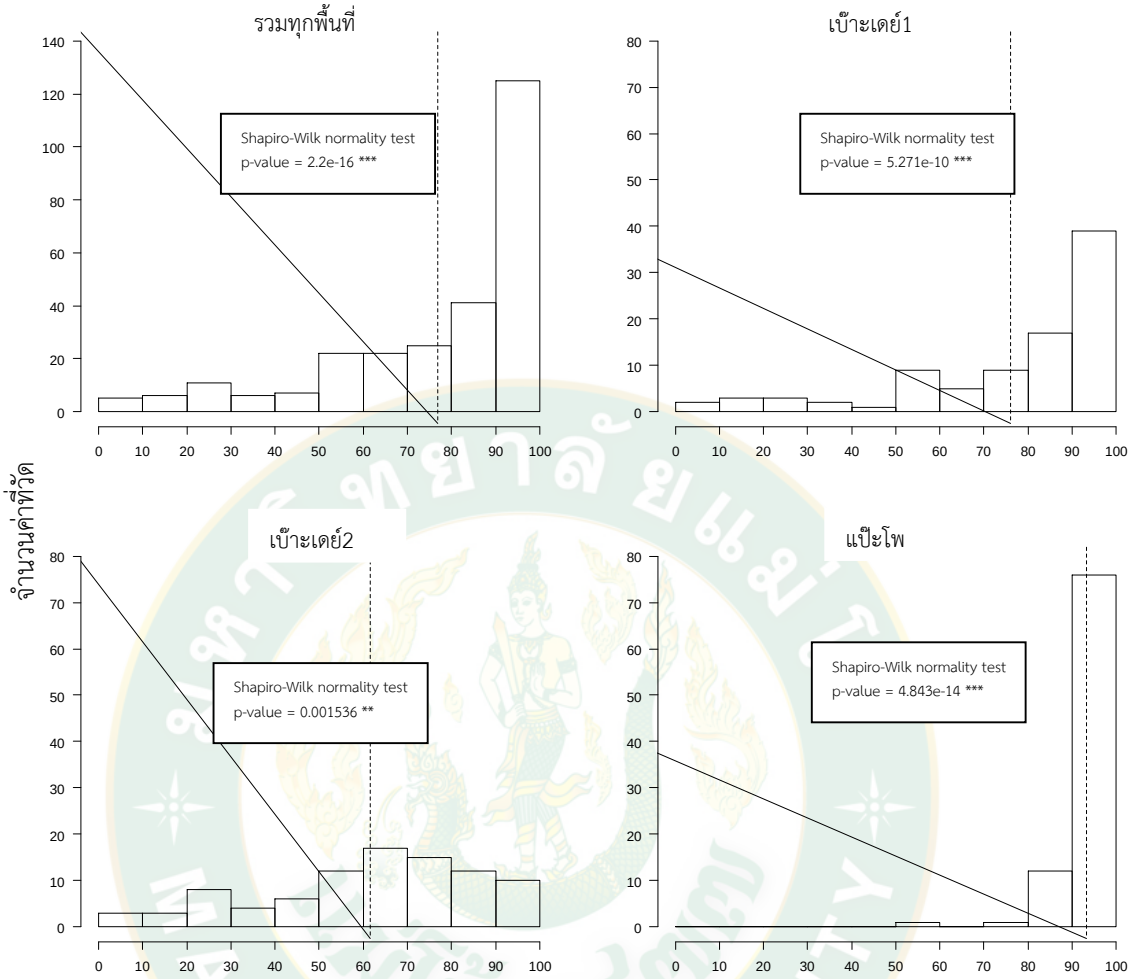
ตารางที่ 19 เปรียบเทียบการแจกแจงความถี่ตามชั้นขนาดความโตเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอก (DBH) ที่ระดับความสูง 130 เซนติเมตร ของต้นไม้ทั้ง 3 พื้นที่ โดยวิธีการ Kolmogorov-Smirnov test

คู่ที่ทำการเปรียบเทียบ	**ค่าความเบี่ยงเบน**	**p-value**
เบ๊าะเดย์1 - เบ๊าะเดย์2	0.31239	0.0001765***
เบ๊าะเดย์1 - แป๊ะโพ	0.28417	0.002974 **
เบ๊าะเดย์2 - แป๊ะโพ	0.23506	0.06649 ns

3. ลักษณะปัจจัยสภาพแวดล้อม

3.1 ความแตกต่างความเข้มแสงในพื้นที่ปลูกกาแฟ

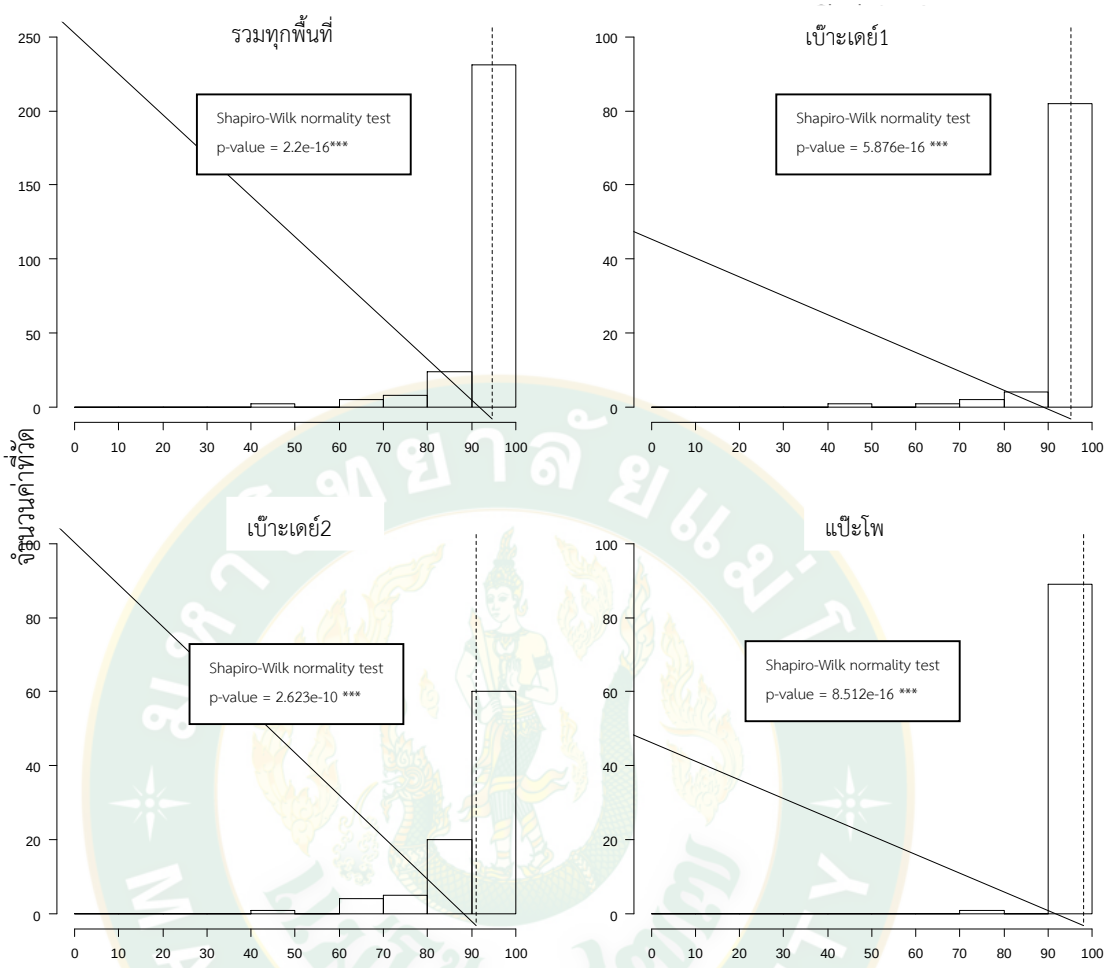
จากการศึกษาความแตกต่างความเข้มแสงบนเรือนบนยอดของต้นกาแฟใน 3 พื้นที่ ได้แก่ พื้นที่เบ๊าะเดย์ 1 เบ๊าะเดย์ 2 และแป๊ะโพ พบว่า มีช่วงร้อยละความแตกต่างของความเข้มแสง ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 อยู่ที่ 71.03 % – 80.85 %, 56.77 % – 66.56 % และ 91.62 % - 94.98 % ตามลำดับ และช่วงร้อยละความแตกต่างของความเข้มแสงใต้เรือนยอดของต้น ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 อยู่ที่ 93.65 % - 96.67 %, 88.96 % - 93.10 % และ97.50 % - 98.61 % ตามลำดับ เมื่อศึกษาการแจกแจงความถี่ตามชั้นขนาดร้อยละความแตกต่างของความเข้มแสง พบว่าทั้ง 3 พื้นที่ มีการแจกแจงความถี่ตามชั้นขนาดร้อยละความแตกต่างของความเข้มแสงแบบไม่ปกติ ซึ่งในพื้นที่เบ๊าะเดย์ 1 มีลักษณะการแจกแจงความถี่ตามชั้นขนาดร้อยละความแตกต่างของความเข้มแสงค่อนไปในทางที่มาก เนื่องจากระยะของการฟื้นฟูป่าในพื้นที่เป็นป่าที่มีการฟื้นตัวในระยะเริ่มต้นทำให้ต้นไม้ในพื้นที่มีจำนวนมาก และหนาแน่น ทำให้เกิดการบังร่มเงาในพื้นที่ ส่วนพื้นที่เบ๊าะเดย์ 2 มีความแตกต่างของความเข้มแสงภายในแปลงที่กระจายในพื้นที่ตั้งแต่ความเข้มแสงน้อยจนถึงการได้รับความเข้มแสงมาก เนื่องจากป่าในพื้นที่มีการฟื้นตัวมาในระยะกลางทำให้มีต้นไม้ในพื้นที่มีความหนาแน่นต่ำ มีการกระจายตัวของต้นไม้ในพื้นที่ที่ค่อนข้างห่างกัน รวมถึงพันธุ์ไม้ในพื้นที่มีต้นสนสามใบอาศัยร่วมอยู่ด้วย ซึ่งต้นสนสามใบมีลักษณะความหนาแน่นของทรงพุ่มที่ค่อนข้างโปร่งทำให้แสงสามารถส่องลงมาได้มากกว่าในพื้นที่อื่น และในแปลงแป๊ะโพ มีร้อยละความแตกต่างของความเข้มแสงภายในแปลงส่วนใหญ่ไปในทิศทางที่มาก และสม่ำเสมอทั่วทั้งพื้นที่ ซึ่งเกิดจากลักษณะของป่าในพื้นที่มีต้นไม้ที่มีขนาดใหญ่ค่อนข้างมาก ทำให้เรือนยอดชั้นบนค่อนข้างทึบและแสงสามารถส่องลงมาได้น้อย ทำให้เกิดความแตกต่างของความเข้มแสงที่มาก (ภาพที่ 6 – 7) และเมื่อนำลักษณะการแจกแจงความถี่ตามชั้นขนาดร้อยละความแตกต่างของความเข้มแสงในแต่ละพื้นที่ ทดสอบเปรียบเทียบแบบพบกันหมด (ตารางที่ 20 - 21) พบว่า ในแต่ละพื้นที่มีการแจกแจงความถี่ตามชั้นขนาดร้อยละความแตกต่างของความเข้มแสงที่แตกต่างกัน ซึ่งทำให้สามารถยืนยันถึงการวิเคราะห์ข้อมูลควรเป็นแบบ Non-parametric เนื่องจากข้อมูลมีการกระจายตัวแบบไม่ปกติ



ภาพที่ 6 การแจกแจงความถี่ตามชั้นขนาดร้อยละความแตกต่างของความเข้มแสงบริเวณบนเรือนยอดของต้นกาแฟ

ตารางที่ 20 เปรียบเทียบการแจกแจงความถี่ตามชั้นขนาดร้อยละความแตกต่างของความเข้มแสงบริเวณบนเรือนยอดของต้นกาแฟ โดยวิธีการ Kolmogorov-Smirnov test

คู่ที่ทำการเปรียบเทียบ	**ค่าความเบี่ยงเบน**	**p-value**
เบ๊าะเดย์1 - เบ๊าะเดย์2	0.38889	1.847e-06 ***
เบ๊าะเดย์1 - แป๊ะโพ	0.54444	1.372e-12 ***
เบ๊าะเดย์2 - แป๊ะโพ	0.78889	2.2e-16 ***



ภาพที่ 7 การแจกแจงความถี่ตามชั้นขนาดร้อยละความแตกต่างของความเข้มแสงบริเวณใต้ทรงพุ่มของต้นกาแฟ

ตารางที่ 21 เปรียบเทียบการแจกแจงความถี่ตามชั้นขนาดร้อยละความแตกต่างของความเข้มแสงบริเวณใต้ทรงพุ่มของต้นกาแฟ โดยวิธีการ Kolmogorov-Smirnov test

คู่ที่ทำการเปรียบเทียบ	**ค่าความเบี่ยงเบน**	**p-value**
เบ๊าะเดย์1 - เบ๊าะเดย์2	0.33333	7.931e-05 ***
เบ๊าะเดย์1 - แป๊ะโพ	0.46667	3.18e-09 ***
เบ๊าะเดย์2 - แป๊ะโพ	0.5	1.372e-10 ***

ปริมาณร้อยละความแตกต่างของความเข้มแสงในพื้นที่ที่ทำการศึกษา ในส่วนของร้อยละความแตกต่างของความเข้มแสงบริเวณบนเรือนยอดของต้นกาแฟ และใต้เรือนยอด พบว่า มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งยวด โดยในพื้นที่แป๊ะโพ มีค่าเฉลี่ยความแตกต่างของความเข้มแสงบนเรือนยอดสูงสุดเท่ากับ 93.32 % และใต้เรือนยอดเท่ากับ 97.65 % แสดงให้เห็นถึงความทึบ (ร่มเงา) ของไม้เรือนยอดชั้นบนที่บดบังแสงในพื้นที่ Muschler (2001) การที่มีร่มเงาที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ได้เมล็ดกาแฟที่มีขนาดใหญ่ขึ้น และมีน้ำหนักต่อ 100 เมล็ดที่เพิ่ม และการมีร่มเงาที่เหมาะสำหรับกาแฟสามารถทำให้กาแฟมีการเจริญเติบโตทางลำต้นที่ดีขึ้นได้ (Muliasan et al., 2015) เมล็ดกาแฟที่ปลูกภายใต้ร่มเงามีขนาดเมล็ดที่ใหญ่กว่าการปลูกกลางแจ้ง อาจเนื่องจากปริมาณแสงส่องลงมายังต้น และอุณหภูมิในพื้นที่ที่ต่ำกว่าสภาพการปลูกกาแฟกลางแจ้ง ทำให้เมล็ดกาแฟที่ปลูกภายใต้สภาพร่มเงามีการสุกแก่ที่ช้ากว่า มีระยะเวลาในการสะสมอาหารในเมล็ดนานกว่า ทำให้มีขนาดเมล็ดที่ใหญ่กว่าการปลูกกลางแจ้ง (Eira et al., 2006)

ตารางที่ 22 ค่าเฉลี่ยร้อยละความแตกต่างของความเข้มแสงในพื้นที่ปลูกกาแฟภายใต้เรือนยอดไม้ป่า

ลักษณะความเป็นร่มเงาในพื้นที่	พื้นที่			chi-squared	p-value
	เบ๊าะเดย์1	เบ๊าะเดย์2	แป๊ะโพ		
ความแตกต่างของความเข้มแสงบนเรือนยอด ต้นกาแฟ (%) ± SD.	75.94±10.48 b	61.67±20.99 c	93.32±3.50 a	116.93	2.2e-16 ***
ความแตกต่างของความเข้มแสงใต้เรือนยอด ต้นกาแฟ (%) ± SD.	95.15±1.18 b	91.03±4.08 c	97.65±0.75 a	51.127	7.904e-12 ***

หมายเหตุ ภายในแถวเดียวกันถ้ามีตัวภาษาอังกฤษเหมือนกันแสดงถึงความไม่แตกต่างทางสถิติ
***มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งยวด 0.001

3.2 ปริมาณซากพืช

ปริมาณซากพืช เกิดจากการร่วงหล่นของซากพืช หรือมวลชีวภาพเหนือพื้นดิน ที่มาจากส่วนเหนือดินของสังคมพืชลงสู่พื้นผิวดิน ทำให้ เกิดการหมุนเวียนของธาตุอาหารคืนอินทรียวัตถุ และธาตุอาหารกลับสู่ดิน (สรายุทธ และธนิตย์, 2539) เนื่องจากซากพืชประกอบด้วยอินทรียวัตถุหลาย

รูปแบบ ดังนั้นปริมาณลักษณะของซากพืช จึงมีส่วนสำคัญในการกำเนิดดิน และความอุดมสมบูรณ์ของดิน นอกจากนี้ซากพืชยังเป็นแหล่งพลังงานสำคัญของพืชอีกด้วย จากการศึกษาปริมาณซากพืชที่หล่นในพื้นที่ที่ศึกษาทั้ง 3 พื้นที่ พบว่า ปริมาณซากพืชส่วนที่เป็นใบ กิ่ง และรวมทุกส่วนของซากพืชมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งยวด โดยในพื้นที่แป๊ะโพมีค่าเฉลี่ยของปริมาณซากพืชในส่วนใบและกิ่งสูงสุด โดยส่วนของใบมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 8,477.09 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ ในส่วนกิ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2,022.90 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ และในภาพรวมนั้นปริมาณซากพืชรวมในพื้นที่แป๊ะโพมีค่าเฉลี่ยของปริมาณซากพืชสูงสุด เท่ากับ 10,500 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ จากการศึกษาการร่วงหล่นของซากพืชข้างต้นพบซากพืชในส่วนที่เป็นใบมากกว่าส่วนที่เป็นกิ่ง จากลักษณะต้นไม้ในพื้นที่แป๊ะโพ (ตารางที่ 15 - 18) จัดเป็นป่าฟื้นฟูที่มีการฟื้นตัวของสภาพป่าจนมีลักษณะใกล้เคียงกับป่าธรรมชาติ เนื่องจากขนาดของต้นไม้ รวมถึงพื้นที่หน้าตัดต้นไม้ มีขนาดที่โตกว่าอีก 2 พื้นที่ แสดงถึงการมีมวลชีวภาพส่วนที่อยู่เหนือดินค่อนข้างมาก ส่งผลให้มีการร่วงหล่นของปริมาณซากพืชที่สูงกว่าพื้นที่อื่น (ตารางที่ 23) สอดคล้องกับรายงานของ Sahunalu (1987) ที่พบว่า การมีมวลชีวภาพเหนือดินสูง เป็นทุนที่ส่งผลให้มีการสร้างปริมาณซากพืชได้สูงตามไปด้วย และขนาดของพื้นที่หน้าตัดไม้มีความสัมพันธ์ ในทิศทางเดียวกันกับปริมาณซากพืช (พฤติพงษ์ และคณะ, 2559) สำหรับพื้นที่เบ๊าะเดย์ 1 มีความหนาแน่นของต้นไม้และความหลากชนิดมากกว่าพื้นที่อื่น อาจเนื่องมาจากอยู่ในขั้นตอนการทดแทนของป่าธรรมชาติ และมีกลุ่มพันธุ์ไม้เบิกนำ (pioneer species) ได้แก่ ทะโล้ มะมือ แข้งกวาง และทองหลางป่า เป็นต้น ที่ตั้งตัวในพื้นที่จำนวนมาก เป็นชนิดพันธุ์ที่มีการผลัดใบ พรรณไม้เบิกนำนั้นเรียกได้ว่าเป็นพืชรุกราน เจริญเติบโตได้ดีในพื้นที่โล่งมีแสงเพียงพอ หากมีไม้ใหญ่ปกคลุมพื้นที่ หรือมีการบดบังแสงกันเอง อาจทำให้มีการล้มตายหมุนเวียนกันไป มีลักษณะโตเร็ว ตายเร็ว ทำให้มีการคืนธาตุอาหารในพื้นที่เร็ว พรรณไม้ส่วนมากมีลักษณะเนื้อไม้เบา มีปริมาณคาร์บอนในเนื้อไม้ต่ำ (Sungpalee et al., 2015) การมีชนิดพันธุ์ไม้จำนวนมาก ทำให้ในพื้นที่มีการคืนปริมาณซากพืชสู่ระบบนิเวศสูงกว่าในพื้นที่ที่มีชนิดพันธุ์น้อยกว่า (Celentano et al., 2011) ในการศึกษาครั้งนี้ทั้งพื้นที่เบ๊าะเดย์ 1 และพื้นที่แป๊ะโพมีปริมาณซากพืชที่มีปริมาณมากกว่าในพื้นที่เบ๊าะเดย์ 2

ตารางที่ 23 ค่าเฉลี่ยน้ำหนักแห้งของปริมาณซากพืช (ใบ และ กิ่ง) ที่ร่วงหล่นสะสมในพื้นที่ทั้ง 3 พื้นที่ (จากการสุ่มเก็บตัวอย่างขนาด 1x1 เมตร จำนวน 5 ซ้ำในแต่ละพื้นที่)

ลักษณะของซากพืช	พื้นที่			chi-squared	p-value
	เบ๊าะเดย์1 ต่าเฉลี่ย ± SD	เบ๊าะเดย์2 ต่าเฉลี่ย ± SD	แป๊ะโพ ต่าเฉลี่ย ± SD		
ใบ (กก./เฮกตาร์)	6,912.68 ± 2704.57 a	1,498.46 ± 453.36 b	8,477.09 ± 2989.69 a	25.644	2.701e-06 ***
กิ่ง (กก./เฮกตาร์)	3,009.98 ± 885.91 a	537.89 ± 235.34 b	2,022.9 ± 1131.53 a	17.077	0.0001958 ***
รวม (กก./เฮกตาร์)	9,922.65 ± 3580.09 a	2,036.35 ± 682.87 b	10,500 ± 3901.94 a	24.845	4.027e-06 ***

หมายเหตุ ภายในแถวเดียวกันถ้ามีตัวภาษาอังกฤษเหมือนกันแสดงถึงความไม่แตกต่างทางสถิติ
***มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งยวด 0.001

3.3 ดิน และธาตุอาหาร

จากการศึกษาลักษณะเนื้อดินทั้ง 3 พื้นที่ ได้แก่ พื้นที่เบ๊าะเดย์ 1 พื้นที่เบ๊าะเดย์ 2 และพื้นที่แป๊ะโพ พบว่า ลักษณะเนื้อดินเป็นดินร่วนปนทราย คุณสมบัติของดินทางด้านกายภาพในดินชั้นบนที่ระดับความลึก 0 – 15 เซนติเมตร และดินชั้นล่างที่ระดับความลึก 15 – 30 เซนติเมตร ซึ่งเป็นบริเวณที่รากกาแฟหาอาหาร ในด้านความชื้นในดิน การอุ้มน้ำของดิน และความหนาแน่นของดิน ทั้ง 3 พื้นที่ ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ทั้ง 3 พื้นที่มีความหนาแน่นของดินต่ำ อาจเกิดจากการมีปริมาณอินทรียวัตถุมาก (ตารางที่ 24 และตารางที่ 26) ในด้านคุณสมบัติทางเคมีของดิน ปริมาณแร่ธาตุอาหารในดินพื้นที่ปลูกกาแฟภายใต้ร่มเงาไม้ป่าทั้ง 3 พื้นที่ (ตารางที่ 25 และตารางที่ 27) มีปริมาณธาตุอาหารแต่ละธาตุอยู่ในระดับสูง แต่มีความแตกต่างกันของปริมาณธาตุอาหารในแต่ละพื้นที่ ซึ่งทั้ง 3 พื้นที่ มีค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดินเป็นกรดจัด แต่ยังอยู่ในระดับที่เหมาะสมสำหรับการปลูกกาแฟ ซึ่งกาแฟสามารถเติบโตได้ดีในดินที่มีค่าความเป็นกรดเป็นด่างอยู่ที่ระหว่าง 4.37 – 6.78 (Alemayehu, 1992) การที่ดินในพื้นที่มีความเป็นกรด ส่วนหนึ่งเกี่ยวกับการมีปริมาณซากพืชที่ร่วงหล่นในพื้นที่ ทำให้มีกระบวนการย่อยสลายอินทรียวัตถุของจุลินทรีย์ และปลดปล่อยกรดออกมาทำให้ดินมีความเป็นกรด จากการร่วงหล่นของปริมาณซากพืชนั้น และการสะสมย่อยสลายเป็นระยะเวลานาน ส่งผลต่อการมีปริมาณอินทรียวัตถุในดินที่สูง ซึ่งทั้ง 3 พื้นที่ มีปริมาณอินทรียวัตถุในปริมาณที่สูงมาก จัดว่าเป็นดินที่เหมาะสมสำหรับการปลูกกาแฟ และปริมาณอินทรียวัตถุนั้นมีการลดลงตามความลึกของชั้นดิน สอดคล้องกับ ขนิษฐา และคณะ (2555) ที่พบว่าในระดับชั้นดินที่ลึก พบปริมาณอินทรียวัตถุที่ลดลงตามไปด้วย การมีปริมาณซากพืช หรืออินทรียวัตถุ

ในดินส่งผลทำให้มีการปลดปล่อยธาตุอาหารในโตรเจนที่พร้อมใช้งานสำหรับกาแฟที่ปลูกภายใต้ร่มไม้อีกด้วย (Babbar and Zak, 1995) ในด้านของธาตุอาหารต่าง ๆ ในพื้นที่ทั้ง 3 พื้นที่ ส่วนมากพบธาตุอาหารในปริมาณที่สูง ทั้งไนโตรเจน โพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม แมงกานีส และธาตุเหล็ก ธาตุอาหารที่พบในปรมาณปานกลาง ได้แก่ สังกะสี และทองแดง ส่วนปริมาณธาตุอาหารที่พบในปริมาณที่ต่ำทั้ง 3 พื้นที่ ได้แก่ ฟอสฟอรัส อาจเนื่องจาก ดินมีสภาพกรดจัด ทำให้มีการตรึงฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ค่อนข้างสูง และการที่มีปริมาณธาตุเหล็กในดินสูง มักทำปฏิกิริยากับฟอสฟอรัส ทำให้เกิดการตกตะกอน ความเป็นประโยชน์ของฟอสฟอรัสจึงลดลง (Sanchez, 1977; Tisdale et al., 1988) ซึ่งการที่มีธาตุอาหารในปริมาณที่เพียงพอต่อความต้องการของต้นกาแฟนั้นมีความสำคัญในการช่วยเพิ่มผลผลิตกาแฟได้ Melke and Ittana (2014) พบว่า การใส่ปุ๋ยไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม ในปริมาณที่เพิ่มขึ้น ส่งผลทำให้กาแฟให้ผลผลิตมากขึ้น และมีน้ำหนักผลที่เพิ่มขึ้น ในด้านปริมาณธาตุอาหารในดินชั้นล่าง (15 – 30 ซม.) ผลการวิเคราะห์มีลักษณะไปในทิศทางเดียวกันปริมาณธาตุอาหารดินชั้นบน (0 – 15 ซม.) แต่พบในปริมาณที่ลดลง

ตารางที่ 24 คุณสมบัติทางฟิสิกส์ของดิน บริเวณดินชั้นบนที่ระดับความลึก 0 – 15 เซนติเมตร ในพื้นที่ที่ปลูกกาแฟภายใต้ร่มเงาไม้ป่าธรรมชาติ 3 พื้นที่

คุณสมบัติทางด้านฟิสิกส์ของดิน	พื้นที่			χ^2	P-value
	เบ๊าะเดย์ 1	เบ๊าะเดย์ 2	แป๊ะโพ		
น้ำหนักดินแห้ง (กรัม)	103.50 ± 10.19	111.50 ± 12.66	97.33 ± 13.75	2.5659	ns
ความชื้นในดิน (%)	30.66 ± 4.78	28.54 ± 6.20	32.96 ± 7.88	0.5731	ns
การอุ้มน้ำ (มิลลิเมตร)	46.00 ± 3.95	46.33 ± 7.47	48.67 ± 6.50	0.53309	ns
ความหนาแน่นของดิน (กรัมต่อลูกบาศก์เมตร)	1.05 ± 0.10	1.14 ± 0.13	0.99 ± 0.14	2.5659	ns

หมายเหตุ ns ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ

ตารางที่ 25 ปริมาณธาตุอาหารบริเวณดินชั้นบนที่ระดับความลึก 0 – 15 เซนติเมตร ในพื้นที่ที่ปลูกกาแฟภายใต้ร่มเงาไม้ป่าธรรมชาติ 3 พื้นที่

คุณสมบัติดินด้านเคมี	พื้นที่			χ^2	p-value
	เบ๊าะเดย์ 1	เบ๊าะเดย์ 2	แป๊ะโพ		
pH	4.50 ± 0.24 b	5.09 ± 0.08 a	4.64 ± 0.33 b	15.475	***
OM (%)	7.74 ± 0.48	7.39 ± 3.32	9.80 ± 4.27	1.257	ns
N (%)	0.39 ± 0.02	0.37 ± 0.17	0.55 ± 0.29	1.366	ns
P (มก./กก.)	5.67 ± 1.09 ab	4.83 ± 1.30 b	9.67 ± 4.09 a	11.130	**
K (มก./กก.)	153.56 ± 24.38 b	312.33 ± 140.15 a	231.00 ± 60.55 a	12.741	**
Ca (มก./กก.)	592.89 ± 476.49	1052.50 ± 569.59	797.33 ± 399.75	3.503	ns
Mg (มก./กก.)	125.22 ± 79.42 b	267.50 ± 70.77 a	214.83 ± 79.81 ab	9.937	**
Zn (มก./กก.)	1.62 ± 0.94 b	2.92 ± 0.86 a	2.05 ± 0.42 ab	10.254	**
Mn (มก./กก.)	156.39 ± 10.78 a	155.83 ± 13.52 a	99.00 ± 39.06 b	16.753	***
Fe (มก./กก.)	74.22 ± 8.80 ab	54.83 ± 11.24 b	116.50 ± 50.88 a	20.933	***
Cu (มก./กก.)	0.91 ± 0.17	0.90 ± 0.23	1.10 ± 0.20	5.109	ns

หมายเหตุ ภายในแถวเดียวกันถ้ามีตัวภาษาอังกฤษเหมือนกันแสดงถึงความไม่แตกต่างทางสถิติ
***มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งยวด 0.001,
**มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง 0.01,
*มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ 0.05,
ns ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ

ตารางที่ 26 คุณสมบัติทางฟิสิกส์ของดิน บริเวณดินชั้นล่างที่ระดับความลึก 15 - 30 เซนติเมตร ในพื้นที่ที่ปลูกกาแฟภายใต้ร่มเงาไม้ป่าธรรมชาติ 3 พื้นที่

คุณสมบัติทางด้านฟิสิกส์ของดิน	พื้นที่			χ^2	p-value
	เบ๊าะเดย์ 1	เบ๊าะเดย์ 2	แป๊ะโพ		
น้ำหนักดินแห้ง (กรัม)	113.67 ± 15.63	104.50 ± 19.69	106.00 ± 10.64	0.49517	ns
ความชื้นในดิน (%)	27.97 ± 7.47	32.00 ± 10.11	28.94 ± 6.79	0.5614	ns
การอุ้มน้ำ (มิลลิเมตร)	45.67 ± 8.59	46.83 ± 6.79	43.67 ± 4.84	0.59323	ns
ความหนาแน่นของดิน (กรัมต่อลูกบาศก์เมตร)	1.16 ± 0.16	1.06 ± 0.20	1.08 ± 0.11	0.4952	ns

หมายเหตุ ns ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ

ตารางที่ 27 ปริมาณธาตุอาหารบริเวณดินชั้นล่างที่ระดับความลึก 15 – 30 เซนติเมตร ในพื้นที่ที่ปลูกกาแฟภายใต้ร่มเงาไม้ป่าธรรมชาติ 3 พื้นที่

คุณสมบัติดินด้านเคมี	พื้นที่			χ^2	p-value
	เบ๊าะเดย์ 1	เบ๊าะเดย์ 2	แป๊ะโพ		
pH	4.54 ± 0.08 b	4.79 ± 0.09 a	4.57 ± 0.25 b	9.2605	**
OM (%)	4.53 ± 0.79 b	4.94 ± 1.21 b	6.72 ± 1.76 a	10.677	**
N (%)	0.23 ± 0.04 b	0.25 ± 0.06 ab	0.34 ± 0.09 a	10.314	**
P (มก./กก.)	2.67 ± 0.43 b	2.67 ± 0.75 b	5.67 ± 2.83 a	10.513	**
K (มก./กก.)	105.17 ± 21.99 b	242.00 ± 94.16 a	154.83 ± 72.82 ab	12.325	**
Ca (มก./กก.)	146.00 ± 72.24	292.17 ± 105.66	295.67 ± 185.52	5.1534	ns
Mg (มก./กก.)	29.33 ± 8.53 b	86.83 ± 38.85 a	78.00 ± 64.05 ab	7.9264	*
Zn (มก./กก.)	0.37 ± 0.12 b	1.60 ± 0.38 a	0.63 ± 0.22 b	20.024	***
Mn (มก./กก.)	115.17 ± 20.84 a	141.67 ± 9.53 a	49.23 ± 31.64 b	20.435	***
Fe (มก./กก.)	50.67 ± 6.02 ab	45.83 ± 4.41 b	65.33 ± 16.81 a	10.528	**
Cu (มก./กก.)	0.72 ± 0.18 b	1.02 ± 0.24 a	0.95 ± 0.16 ab	8.0003	*

หมายเหตุ ภายในแถวเดียวกันถ้ามีตัวภาษาอังกฤษเหมือนกันแสดงถึงความไม่แตกต่างทางสถิติ
***มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งยวด 0.001,
**มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง 0.01,
*มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ 0.05,
ns ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ

4. ความสัมพันธ์ของปัจจัยสภาพแวดล้อมบางประการในพื้นที่ต่อผลผลิตกาแฟ

ผลการวิเคราะห์ปัจจัยสภาพแวดล้อมในพื้นที่ที่ส่งผลต่อผลผลิตกาแฟ โดยปัจจัยที่ใช้ในการหาความสัมพันธ์ แบ่งเป็นปัจจัยสภาพแวดล้อมส่วนเหนือดิน 7 ปัจจัย และปัจจัยสภาพแวดล้อมคุณสมบัติดิน โดยแบ่งเป็นดินที่ระดับความลึก 0 - 15 เซนติเมตร และดินที่ระดับความลึก 15 – 30 เซนติเมตร รวม 28 ปัจจัย จากการระบุความสัมพันธ์ระหว่างผลผลิตกาแฟกับตัวแปรอิสระด้วยแบบจำลองเชิงเส้นทั่วไป (Generalized linear model, GLM) จากปัจจัยสภาพแวดล้อม 35 ปัจจัย คงเหลือปัจจัยที่มีความสัมพันธ์ต่อผลผลิตกาแฟ 18 ปัจจัย โดยแบ่งเป็นปัจจัยสภาพแวดล้อมส่วนเหนือดิน 4 ปัจจัย (ตารางที่ 28) คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดิน 6 ปัจจัย (ตารางที่ 29)

ธาตุอาหารหลัก 3 ปัจจัย (ตารางที่ 30) และธาตุอาหารรอง 5 ปัจจัย (ตารางที่ 31) โดยในแต่ละปัจจัย ทำให้ได้โมเดลสมการที่ใช้ในการระบุปัจจัยที่มีความสัมพันธ์ต่อผลผลิตกาแฟ และสามารถแทนค่าตามแต่ละปัจจัย ที่แต่ละโมเดลได้คัดเลือกไว้ เพื่อประยุกต์ใช้ในการคาดการณ์ผลผลิตกาแฟได้

จากการศึกษาปัจจัยสภาพแวดล้อมส่วนเหนือดิน พบว่าปัจจัยที่มีความสัมพันธ์เชิงบวกต่อผลผลิตกาแฟ ได้แก่ จำนวนต้นไม้ในพื้นที่ และขนาดความโตต้นไม้ ส่วนปัจจัยที่มีความสัมพันธ์เชิงลบกับผลผลิตกาแฟ ได้แก่ ความแตกต่างของความเข้มแสงใต้เรือนยอดกาแฟ และพื้นที่หน้าตัดไม้ หรืออาจกล่าวได้ว่า การปลูกกาแฟภายใต้ร่มเงาไม้ป่าที่มีต้นไม้ในพื้นที่ มีผลดีกับผลผลิตกาแฟ เนื่องจากมีการชดเชยปริมาณซากพืชทำให้มีการย่อยสลายและคืนธาตุอาหารสู่ดิน รวมทั้งมีการบดบังร่มเงาของไม้เรือนยอดชั้นบน (Notaro et al., 2014) แต่หากมีการบดบังร่มเงาที่มากเกินไป หรือมีความแตกต่างของความเข้มแสงที่มากเกิน อาจส่งผลลบต่อผลผลิตซึ่งสอดคล้องกับการที่มีพื้นที่หน้าตัดของต้นไม้รวมในพื้นที่ที่มากเกินไป

คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดิน โมเดลได้คัดเลือกปัจจัยที่มีผลกับผลผลิตกาแฟมา 6 ปัจจัย โดยปัจจัยที่มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับผลผลิตกาแฟ ได้แก่ ความชื้นของดินชั้นบน pH ของดินชั้นบน และการอุ้มน้ำของดินชั้นล่าง และส่วนปัจจัยที่มีความสัมพันธ์เชิงลบกับผลผลิตกาแฟ ได้แก่ การอุ้มน้ำของดินชั้นบน ความหนาแน่นของดินชั้นบน และความชื้นในดินชั้นล่าง ซึ่งค่า pH ในพื้นที่ที่ทำการศึกษานั้นจะเห็นว่ามีความเป็นกรด ซึ่งความเหมาะสมสำหรับการปลูกกาแฟ (อักษร และพัฒนพันธุ์, 2537) ด้านความชื้นในดินนั้นจะเห็นได้ว่า ความชื้นในดินชั้นบน มีความสัมพันธ์ในเชิงบวกกับผลผลิตกาแฟ แต่ในดินชั้นล่างกลับมีความสัมพันธ์ในเชิงลบกับผลผลิต เนื่องจากความชื้นในดินส่วนใหญ่หากได้รับน้ำ หรือฝนที่ตกลงมาหากมีในปริมาณที่น้อย บริเวณที่ดูดซับน้ำเอาไว้จะเป็นในส่วนของหน้าดิน ทำให้เป็นแหล่งน้ำสำหรับพืช และเป็นส่วนหนึ่งในการช่วยละลายธาตุอาหารในดินเพื่อให้พืชนำไปใช้ได้ และเนื่องจากกาแฟนั้นเป็นพืชที่มีระบบรากตื้น และมีการหาน้ำ หาอาหารที่ในดินชั้นบนที่มากกว่าดินชั้นล่าง แต่ในธรรมชาตินั้น ในด้านกายภาพการอุ้มน้ำของดิน จะเห็นได้ว่าน้ำจะมีการไหลผ่านของน้ำจากดินชั้นบน ลงไปในดินชั้นล่าง จากการที่น้ำไหลผ่านนั้นทำให้มีการชะล้างธาตุอาหารจากที่อยู่ในดินชั้นบน ลงสู่ชั้นล่าง แต่เนื่องจากในดินชั้นบนมีความอุดมสมบูรณ์ และมีปริมาณอินทรีย์วัตถุที่มากกว่าดินชั้นล่าง จึงทำให้ในดินชั้นบนมีการอุ้มน้ำมากกว่า อาจทำให้ดินมีลักษณะเปียกแฉะ ซึ่งไม่เหมาะสมต่อการปลูกกาแฟ ทำให้มีความสัมพันธ์ในเชิงลบกับผลผลิตกาแฟ

ธาตุอาหารหลัก โมเดลได้คัดเลือกปัจจัยที่มีผลกับผลผลิตกาแฟมา 3 ปัจจัย โดยปัจจัยที่มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับผลผลิตกาแฟ ได้แก่ ปริมาณไนโตรเจนในดินชั้นบน และปริมาณโพแทสเซียมในดินชั้นล่าง ซึ่ง Melke and Ittana (2014) กล่าวว่า ปริมาณไนโตรเจนที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้มีน้ำหนักผลผลิตกาแฟที่เพิ่มขึ้น และ Clemente et al. (2015) พบว่าการมีไนโตรเจนกับโพแทสเซียมที่เหมาะสมสามารถเพิ่มผลผลิตของกาแฟอาราบิก้าได้ ซึ่งโพแทสเซียมนั้นมีส่วนช่วยในการกระตุ้น

การทำงานของเอนไซม์ และมีส่วนช่วยในการสังเคราะห์โปรตีนและคาร์โบไฮเดรต รวมถึงมีบทบาทในกระบวนการสังเคราะห์แสง (ยงยุทธ, 2558) และช่วยให้ผลผลิตกาแฟเพิ่มขึ้น รวมถึงปริมาณคาเฟอีน ฟีนอล และปริมาณน้ำตาลในเมล็ดกาแฟ (Clemente et al., 2015) ส่วนปริมาณไนโตรเจนในดินชั้นล่าง กลับพบว่ามีความสัมพันธ์เชิงลบกับผลผลิตกาแฟ อาจเนื่องจากรากฝอยของต้นกาแฟ มีการหาอาหารอยู่ที่บริเวณดินชั้นบน ทำให้บริเวณดินชั้นล่างมีปริมาณรากที่น้อยกว่าในดินชั้นบน และมีการดูดใช้ธาตุอาหารที่น้อย เมื่อดินชั้นล่างได้รับน้ำจึงมีการสูญเสียธาตุอาหารจากการชะล้างได้สูง

ธาตุรอง โมเดลได้คัดเลือกปัจจัยที่มีผลกับผลผลิตกาแฟมา 5 ปัจจัย โดยปัจจัยที่มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับผลผลิตกาแฟ ได้แก่ ปริมาณแมกนีเซียมในดินชั้นบน สังกะสีในดินชั้นบน และแมงกานีสในดินชั้นบน เนื่องจาก แม็กนีเซียม สังกะสี และแมงกานีส เป็นธาตุอาหารที่เป็นส่วนประกอบในเซลล์พืช และส่งผลต่อการเจริญเติบโต ผลผลิต และรวมถึงคุณภาพของผลผลิต (ยงยุทธ, 2558) นอกจากนี้สังกะสีนั้นช่วยส่งผลต่อรสชาติจากการชิมกาแฟ (Abebe et al., 2019) ส่วนปัจจัยที่มีความสัมพันธ์เชิงลบกับผลผลิตกาแฟ ได้แก่ แคลเซียม และแมกนีเซียมในดินชั้นล่าง ในด้านของแคลเซียมอาจเนื่องด้วยต้นกาแฟนั้นชอบลักษณะดินในพื้นที่ปลูกที่มีความเป็นกรด การมีแคลเซียมในปริมาณที่มากจึงส่งผลทางลบกับผลผลิตกาแฟเนื่องจากทำให้ค่าดินมีลักษณะที่มีความเป็นด่าง

โดยแบบจำลองเชิงเส้นทั้ง 4 โมเดลนั้น จากการแทนค่าเพื่อพยากรณ์ผลผลิตเป็นรายแปลง พบว่าทั้ง 4 โมเดล สามารถพยากรณ์ผลผลิตกาแฟใกล้เคียงกับผลผลิตที่เก็บจากแปลงตัวอย่างทั้ง 3 พื้นที่ หรือ 9 แปลงย่อย (ตารางที่ 32)

ตารางที่ 28 ผลวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างผลผลิตกาแฟ (กิโลกรัม ต่อ 400 ตารางเมตร) ร่วมกับปัจจัยสภาพแวดล้อมส่วนเหนือดินในพื้นที่ปลูกกาแฟ 3 พื้นที่ที่ปลูกภายใต้ร่มไม้ ด้วยแบบจำลองเชิงเส้นทั่วไป (Generalized linear model, GLM)

กลุ่มตัวแปรอิสระ	ค่าเฉลี่ย ± SD	Coefficients	P-value
(a) glm (formula = total yield ~ X_1 + X_2 + X_3+ X_4 , family = poisson (link=identity))			
AIC : 72.711 R^2 = 0.8799856			
(a) ปัจจัยสภาพแวดล้อมส่วนเหนือพื้นดิน			
(X_1) ความแตกต่างของความเข้มแสงใต้เรือนยอดกาแฟ (%)	94.75 ± 3.77	-2.459	>0.05.
(X_2) จำนวนต้นไม้ (ต้น/แปลง)	30.67 ± 17.01	3.515	<0.05*
(X_3) ขนาดความโตต้นไม้ (เซนติเมตร)	17.53 ± 4.32	16.012	<0.05*
(X_4) พื้นที่หน้าตัดไม้ (ตารางเมตร/เฮกตาร์)	26.42 ± 8.56	-5.747	<0.01**

ตารางที่ 29 ผลวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างผลผลิตกาแฟ (กิโลกรัมต่อ 400 ตารางเมตร) ร่วมกับปัจจัยสภาพแวดล้อมคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดินในพื้นที่ปลูกกาแฟ 3 พื้นที่ที่ปลูกภายใต้ร่มไม้ ด้วยแบบจำลองเชิงเส้นทั่วไป (Generalized linear model, GLM)

กลุ่มตัวแปรอิสระ	ค่าเฉลี่ย ± SD	Coefficients	P-value
(b) glm (formula = total yield ~ X_1 + X_2 +....+ X_5, family = poisson (link=identity))			
AIC : 69.873 R^2 = 0.9990521			
(b) คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดิน			
(X_1) ความชื้นดินชั้นบน (0 – 15 ซม.)	30.70 ± 4.24	13.577	< 0.05 *
(X_2) การอุ้มน้ำของดินชั้นบน (0 – 15 ซม.)	47.00 ± 4.15	-15.819	< 0.05 *
(X_3) ความหนาแน่นของดินชั้นบน (0 – 15 ซม.)	1.06 ± 0.10	-235.741	> 0.05
(X_4) pH ของดินชั้นบน (0 – 15 ซม.)	4.75 ± 0.33	203.822	< 0.001 ***
(X_5) ความชื้นดินชั้นล่าง (15 – 30 ซม.)	29.63 ± 5.10	-14.464	< 0.001 ***
(X_6) การอุ้มน้ำของดินชั้นล่าง (15 – 30 ซม.)	45.39 ± 4.29	20.329	< 0.001 ***

ตารางที่ 30 ผลวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างผลผลิตกาแฟ (กิโลกรัมต่อ 400 ตารางเมตร) ร่วมกับปัจจัยสภาพแวดล้อมธาตุอาหารหลักในดินในพื้นที่ปลูกกาแฟ 3 พื้นที่ที่ปลูกภายใต้ร่มไม้ ด้วยแบบจำลองเชิงเส้นทั่วไป (Generalized linear model, GLM)

กลุ่มตัวแปรอิสระ	ค่าเฉลี่ย ± SD	Coefficients	P-value
(c) glm (formula = total yield ~ X_1 + X_2 + X_3 , family = poisson (link=identity))			
AIC : 68.153 R^2 = 0.0.924525			
(c) ธาตุอาหารหลัก			
(X_1) N (%) ดินชั้นบน (0 – 15 ซม.)	0.44 ± 0.21	93.52949	< 0.001***
(X_2) N (%) ดินชั้นล่าง (15 – 30 ซม.)	0.27 ± 0.07	-483.82320	< 0.001***
(X_3) K (มก./กก.) ดินชั้นล่าง (15 – 30 ซม.)	232.28 ± 94.53	0.26273	< 0.001***

ตารางที่ 31 ผลวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างผลผลิตกาแฟ (กิโลกรัมต่อ 400 ตารางเมตร) ร่วมกับปัจจัยสภาพแวดล้อมธาตุอาหารรองในดินในพื้นที่ปลูกกาแฟ 3 พื้นที่ที่ปลูกภายใต้ร่มไม้ ด้วยแบบจำลองเชิงเส้นทั่วไป (Generalized linear model, GLM)

กลุ่มตัวแปรอิสระ	ค่าเฉลี่ย ± SD	Coefficients	P-value
(d) glm (formula = total yield ~ X_1 + X_2 +.....+ X_5 , family = poisson (link=identity))			
AIC : 69.622 R^2 = 0.9686053			
(d) ธาตุอาหารรอง			
(X_1) Ca (มก./กก.) ดินชั้นบน (0 – 15 ซม.)	814.22 ± 429.52	-0.10820	< 0.001 ***
(X_2) Mg (มก./กก.) ดินชั้นบน (0 – 15 ซม.)	202.50 ± 87.08	0.43401	< 0.01 **
(X_3) Zn (มก./กก.) ดินชั้นบน (0 – 15 ซม.)	2.19 ± 0.87	32.12322	< 0.01 **
(X_4) Mn (มก./กก.) ดินชั้นบน (0 – 15 ซม.)	137.06 ± 34.30	0.55019	< 0.001 ***
(X_5) Mg (มก./กก.) ดินชั้นล่าง (15 – 30 ซม.)	64.72 ± 49.93	-0.45027	< 0.001 ***

ตารางที่ 32 ค่าผลผลิตกาแฟที่ได้จากการพยากรณ์ ตามแบบจำลอง ทั้ง 4 แบบ ได้แก่ แบบจำลองที่ 1 ปัจจัยสภาพแวดล้อมส่วนเหนือดิน (a) แบบจำลองที่ 2 คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดิน (b) แบบจำลองที่ 3 ธาตุอาหารหลัก (c) และแบบจำลองที่ 4 ธาตุอาหารรอง (d)

พื้นที่	แปลงย่อย	ผลผลิตต่อ 400 ตารางเมตร	ค่าผลผลิตกาแฟที่ได้จากการพยากรณ์			
			แบบจำลอง (a)	แบบจำลอง (b)	แบบจำลอง (c)	แบบจำลอง (d)
เบ๊าะเดย์ 1	1	84	79.86	83.92	96.8	93.32
เบ๊าะเดย์ 1	2	70	82.89	69.25	65.56	65.04
เบ๊าะเดย์ 1	3	79	67.15	79.99	79.57	81.42
เบ๊าะเดย์ 2	1	101	99.43	101.34	102.45	98.98
เบ๊าะเดย์ 2	2	107	98.76	105.66	109.11	102.3
เบ๊าะเดย์ 2	3	123	124.61	123.71	108.42	121.4
แป๊ะโพ	1	55	53.61	54.99	52.4	54.27
แป๊ะโพ	2	55	56.75	55.65	57.78	57.54
แป๊ะโพ	3	60	70.94	59.51	61.91	59.72

บทที่ 5
สรุปและข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาความผันแปรของขนาดผลกาแฟที่ปลูกภายใต้ร่มเงาไม้ป่า ในพื้นที่โครงการฟาร์มตัวอย่างตามพระราชดำริ บ้านขุนแตะ ตำบลดอยแก้ว อำเภอจอมทอง จังหวัดเชียงใหม่ ทำการศึกษา จำนวน 7 แปลงตัวอย่าง พบว่า การปลูกกาแฟภายใต้สภาพร่มเงาไม้ป่าที่แตกต่างกัน ส่งผลให้มีขนาดของผลกาแฟ และความเข้มข้นคาเฟอีนในเมล็ดกาแฟที่ต่างกัน แต่โดยทั่วไปผลกาแฟถือว่าอยู่ในเกณฑ์ที่มีขนาดใหญ่ และมีเข้มเข้มข้นของคาเฟอีนอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน โดยเมล็ดกาแฟจากทั้ง 7 พื้นที่ มีช่วงของขนาดความกว้างของผลกาแฟอยู่ที่ 12.14 – 12.20 มิลลิเมตร และช่วงของน้ำหนักผลอยู่ที่ 1.68 -1.70 กรัม ที่ระดับความเชื่อมัน 95 % ซึ่งจากสภาพพื้นที่ทั้ง 7 พื้นที่ที่ทำศึกษาเป็นตัวแทนของกาแฟที่ปลูกภายใต้สภาพป่าที่แตกต่างกัน แต่ละแปลงมีขนาดเมล็ดกาแฟที่ผันแปรแตกต่างกันออกไป เช่น แปลงเบ๊าะเดย์ 2 เมล็ดกาแฟมีช่วงของขนาดความกว้าง และน้ำหนักเมล็ดที่สูงกว่าค่าเฉลี่ยของกาแฟที่ปลูกใต้ป่าทั้ง 7 พื้นที่ สำหรับพื้นที่สองเมีย 2 เมล็ดกาแฟมีช่วงของขนาดความกว้าง และน้ำหนักเมล็ด ที่ต่ำกว่าค่าเฉลี่ยทั้ง 7 พื้นที่ ซึ่งจากปัจจัยที่เราทำการสำรวจเบื้องต้นในด้านความแตกต่างของความแตกต่างของความเข้มแสง ชนิดพันธุ์ไม้เด่นในพื้นที่ หรือลักษณะของต้นกาแฟ ยังไม่สามารถบอกได้ชัดเจนว่าเป็นเพราะปัจจัยหรือลักษณะใดที่ส่งผลต่อขนาดผล รวมถึงด้านความเข้มข้นของคาเฟอีนในเมล็ดกาแฟทั้ง 7 พื้นที่ ทำให้ไม่สามารถระบุอิทธิพลใดอิทธิพลหนึ่งได้อย่างชัดเจน เนื่องจากมีหลายปัจจัยที่ส่งผลต่อความเข้มข้นของคาเฟอีน ทั้งปัจจัยทางด้านพันธุกรรมต้นกาแฟ ระยะเวลาเก็บเกี่ยวที่ต่างกัน หรือบริเวณของกิ่งที่แตกต่างกัน ล้วนส่งผลต่อปริมาณคาเฟอีนที่แตกต่างกัน แต่ในการศึกษานี้ทำให้เห็นว่าการปลูกกาแฟภายใต้ป่าเหมือนกัน แต่ขนาดเมล็ดและปริมาณคาเฟอีนมีความผันแปรไปตามสภาพแหล่งปลูก แสดงให้เห็นว่าปัจจัยภายนอก หรือสภาพแวดล้อมนั้นมีผลต่อขนาดและปริมาณคาเฟอีนในผลกาแฟ

ด้านปัจจัยสภาพแวดล้อมในพื้นที่ พบว่า ปัจจัยข้างต้นที่ได้ทำการศึกษาในแต่ละพื้นที่มีความแตกต่างกันในแต่ละปัจจัยสภาพแวดล้อม และเมื่อหาความสัมพันธ์ร่วมกับปริมาณผลผลิตของกาแฟทำให้ได้แบบจำลองเชิงเส้นทั่วไป 4 โมเดล ที่มีความสัมพันธ์ต่อผลผลิตกาแฟ ได้แก่ โมเดลที่ 1 ปัจจัยสภาพแวดล้อมส่วนเหนือดิน โมเดลที่ 2 คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดิน โมเดลที่ 3 ธาตุอาหารหลัก และโมเดลที่ 4 ธาตุอาหารรอง ซึ่งสำหรับแปลงปลูกกาแฟภายใต้สภาพร่มเงาไม้ป่านั้น หากได้ทำการเก็บวัดค่าต่าง ๆ ตามโมเดลทั้ง 4 สามารถนำมาแทนค่า และทำนายพยากรณ์ผลผลิตได้ย้อนกลับได้ สามารถทำให้คาดการณ์ผลผลิตในแปลงนั้น ๆ ได้

ดังนั้นการปลูกกาแฟควรปลูกกาแฟในพื้นที่ภายใต้ร่มเงาไม้ป่า เนื่องจากกาแฟชอบความเป็นร่มเงารำไรในพื้นที่ ส่งผลให้ได้คุณภาพของผลผลิตในด้านของขนาดเมล็ดที่มีขนาดใหญ่ และปริมาณสารคาเฟอีนยังอยู่ในระดับมาตราฐานของกาแฟอาราบิก้า นอกจากนี้ยังมีการหมุนเวียนธาตุอาหารในพื้นที่จากการร่วงหล่นและย่อยสลายซากพืช สามารถช่วยลดต้นทุนการจัดการ การใส่ปุ๋ยในพื้นที่ และในด้านของการจัดการแปลงปลูกกาแฟภายใต้ร่มเงาไม้ป่า หากในพื้นที่มีชั้นเรือนยอดของต้นไม้ที่ทึบเกินไป อาจทำให้ต้นกาแฟในพื้นที่มีลักษณะยืดหาแสง กิ่งแขนงห่าง ทำให้อาจมีการติดผลผลิตที่น้อย ฉะนั้นควรมีการตัดแต่งชั้นเรือนยอดให้มีความโปร่งขึ้น เพื่อให้แสงสามารถส่องลงมาในพื้นที่ได้เพิ่มขึ้น และหากในพื้นที่ที่มีชั้นเรือนยอดปกคลุมที่เบาบางหรือแสงส่องลงมามากเกินไป ควรมีการปลูกต้นไม้เสริมเข้าไป เพื่อความเป็นร่มเงาในพื้นที่ให้เหมาะสมสำหรับการปลูกกาแฟ และในการศึกษาในอนาคต ควรแยกเก็บผลกาแฟเป็นรายแปลงเพื่อวัดขนาดเมล็ด รวมถึงปริมาณคาเฟอีนในเมล็ด จะทำให้สามารถวิเคราะห์ข้อลมูลขนาดเมล็ดรายแปลง ร่วมกับปัจจัยสภาพแวดล้อมต่าง ๆ อาจทำให้เห็นถึงความสัมพันธ์ที่หลากมิติเพิ่มขึ้น เช่น ระหว่างขนาดเมล็ด หรือปริมาณคาเฟอีน ร่วมกับปัจจัยสภาพแวดล้อมรายแปลงได้

บรรณานุกรม

กรมวิชาการเกษตร. 2560. **ยุทธศาสตร์กาแฟปี 2560-2564**. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา https://www.doa.go.th/hort/wpcontent/uploads/2019/11/%E0%B8%A2%E0%B8%B8%E0%B8%97%E0%B8%98%E0%B8%A8%E0%B8%B2%E0%B8%AA%E0%B8%95%E0%B8%A3%E0%B9%8C%E0%B8%81%E0%B8%B2%E0%B9%81%E0%B8%9F-%E0%B8%9B%E0%B8%B5-2560-2564.pdf (30 พฤษภาคม 2564).

_____. 2563. **สถานการณ์การผลิตกาแฟ**. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา https://www.doa.go.th/hort/wpcontent/uploads/2020/05/%E0%B8%AA%E0%B8%96%E0%B8%B2%E0%B8%99%E0%B8%81%E0%B8%B2%E0%B8%A3%E0%B8%93%E0%B9%8C%E0%B8%81%E0%B8%B2%E0%B9%81%E0%B8%9F_%E0%B8%9E%E0%B8%A4%E0%B8%A9%E0%B8%A0%E0%B8%B2%E0%B8%84%E0%B8%A163.pdf (30 พฤษภาคม 2564).

กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 2552. **ราชกิจจานุเบกษา. เล่มที่ 126 ตอนพิเศษ 186 ง**. กรุงเทพฯ: กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

ขนิษฐา เสถียรพีระกุล, สุนทร คำยอง, นิวัติ อนงค์รักษ์ และ เกรียงศักดิ์ ศรีเงินยวง. 2555. การประเมินมูลค่าคาร์บอนและธาตุอาหารสะสมในดินป่าดิบเขาบริเวณดอยอินทนนท์ จังหวัดเชียงใหม่. **วารสารเกษตร**, 28(2), 173-182.

โครงการศูนย์วิจัยและพัฒนากาแฟบนที่สูง. 2530. **คู่มือการปลูกกาแฟอาราบิก้าในภาคเหนือของประเทศไทย**. เชียงใหม่: ดารารัตน์.

จีราภรณ์ อินทสาร. 2557. **ความอุดมสมบูรณ์ของดิน**. เชียงใหม่: ดีพริ้นท์.

ธวัชชัย สันติสุข. 2549. **ป่าของประเทศไทย**. กรุงเทพฯ: สำนักหอพรรณไม้ กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช.

นงคราญ กาญจนประเสิริฐ. 2549. **ทรัพยากรดิน**. กรุงเทพฯ: แม็คจำกัด.

นริศ ยิ้มแย้ม, วราพงษ์ บุญมา และ ชวลิต กอสัมพันธ์. 2539. ผลของความสูงของพื้นที่ที่มีผลต่อคุณภาพกาแฟอาราบิก้า. **วารสารเกษตร**, 12(2), 157-163.

นิธิ ไทยสันทัด. 2553. **กระบวนการผลิตกาแฟคั่วบดสำหรับเกษตรกร**. เชียงใหม่: ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมที่สูง คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

นิวัติ เรืองพานิช. 2534. **นิเวศวิทยาทรัพยากรธรรมชาติ**. กรุงเทพฯ: คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

_____. 2546. **การอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม**. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ประชา เตชนันท์, วิชญ์ภาส สังพาลี, สาวิกา กอนแสง และ ผานิตย์ นาขยัน. 2560. คุณภาพของเมล็ดกาแฟอาราบิก้าภายใต้รูปแบบกรปลูกแบบต่างๆของชาวเขาชาติพันธุ์พันธ์อาข่าตำบลวาวี อำเภอแม่สรวย จังหวัดเชียงราย. **วารสารพฤกษศาตร์ไทย**, 9(2), 235-246.

พงศกร สุธีกาญจโนทัย และ ระวี เจียรวิภา. 2560. การเปลี่ยนแปลงลักษณะสัณฐานและสรีรวิทยาของใบกาแฟโรบัสต้าในสภาพกลางแจ้งและพรางแสง. น. 97-103. ใ**การประชุมทางวิชาการมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 55: สาขาพืช, สาขาสัตว์, สาขาสัตวแพทย์, สาขาประมง, สาขาส่งเสริมการเกษตรและคหกรรมศาสาตร์**. 31 มกราคม - 3 กุมภาพันธุ์ 2560 ณ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

พงษ์ศักดิ์ อังกสิทธิ์ และ บัณฑูรย์ วาฤทธิ์. 2542. **การปลูกและผลิตกาแฟอาราบิก้าบนที่สูง**. เชียงใหม่: ศูนย์วิจัยและพัฒนากาแฟบนที่สูง คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

พงษ์ศักดิ์ อังกสิทธิ์, สุนันท์ ละอองศรี และ ธีรภัทร สันติเมทนีดล. 2531. **จากฝิ่น - สู่กาแฟ**. เชียงใหม่: ดารารัตน์.

พริมลักษณ์ ประพุทธ์พิทยา, ชวลิต กอสัมพันธ์ และ บัณฑูรย์ วาฤทธิ์. 2548. ผลของการให้น้ำต่อการบานของดอกองค์ประกอบผลผลิตและคุณภาพของกาแฟอาราบิก้า. **วารสารเกษตร**, 21(1), 37-45.

พฤติพงษ์ พุ่มวิเศษ, สคาร ทีจันทึก และ จงรัก วัชรินทร์รัตน์. 2559. ปริมาณซากพืชที่ร่วงหล่นของสังคมพืชป่าไม้ที่เกิดจากการฟื้นฟูในรูปแบบที่ต่างกัน ณ จังหวัดลำปาง. **วารสารวนศาสตร์**, 35(1), 45-61.

พัชนี สุวรรณวิศลกิจ. 2542. การสกัดคาเฟอีน. **วารสารเกษตร**, 15(1), 1-10.

ยงยุทธ โอสถสภา. 2558. **ธาตุอาหารพืช**. พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ยงยุทธ โอสถสภา, ศุภมาศ พนิชศักดิ์, อรรถศิษฐ์ วงศ์มณีโรจน์ และ ชัยสิทธ์ ทองจู. 2541. **ปฐพีวิทยาเบื้องต้น**. พิมพ์ครั้งที่ 8. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

วรรณภา เดชครุฑ และ ดรุณี นาพรหม. 2560. การเปรียบเทียบคุณภาพและองค์ประกอบทางชีวเคมีของเมล็ดกาแฟอาราบิก้าอินทรีย์ที่ปลูกในระดับพ้นที่ความสูงที่แตกต่างกัน. **วารสารเกษตร**, 33(2), 163-173.

วรัญญู อินทรกำแหง. 2560. **กาแฟจากน้ำพระราชหฤทัย ต้นกาแฟประวัติศาสตร์ของโครงการหลวง**. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา https://thestandard.co/kingrama9-coffee-royalproject/ (1 มีนาคม 2562).

วารุณี เถียรถาวร, รัตนวัฒน์ ไชยรัตน์ และ สคาร ทีจันทึก. 2553. ผลผลิตกาแฟอะราบิก้าในระบบ

วนเกษตรในพื้นที่โครงการพัฒนาดอยตุง (พื้นที่ทรงงาน) อันเนื่องมาจากพระราชดำริ จังหวัดเชียงราย. **วารสารพฤษศาสตร์ไทย**, 2(ฉบับพิเศษ)), 123-133.

วิชญ์ภาส สังพาลี, ประชา เตชนันท์, สุธีระ เหิมฮึก, จุฑามาศ อาจนาเสียว, เนตรนภา อินสลุด และเกรียงศักดิ์ ศรีเงินยวง. 2560. ความผันแปรของขนาดเมล็ดกาแฟอาราบิก้าภายใต้การปลูกรูปแบบต่างๆ ตำบลวาวี อำเภอแม่สรวย จังหวัดเชียงราย. **แก่นเกษตร**, 45(ฉบับพิเศษ 1), 1080-1086.

ศูนย์วิจัยและพัฒนากาแฟบนพื้นที่สูง. 2537. **การปลูกและการผลิตกาแฟอราบิก้าบนพื้นที่สูง**. เชียงใหม่: พี อาร์ คอมพิวเตอร์.

สนิท อักษรแก้ว, สามัคคี บุณยะวัฒย์ และ ปรีชา ธรรมานนท์. 2520. **การทดแทนของสังคมพืชกับปริมาณตะกอนบนพื้นที่หลังการทำไร่เลื่อนลอยในป่าดิบเขา ดอยปุย เชียงใหม่**. กรุงเทพฯ: คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สรายุทธ บุณยะเวชชีวิน และ ธนิตย์ หนูยิ้ม. 2539. ผลผลิตซากพืช และปริมาณธาตุอาหารในซากพืชของป่าพรุโต๊ะแดง จังหวัดนราธิวาส. **วารสารวนศาสตร์**, 15(1), 37-47.

สังคม เตชะวงค์เสถียร. 2547. **สรีรวิทยาของพืชสวน**. ขอนแก่น: ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

สำนักการค้าสินค้า กรมเจรจาการค้าระหว่างประเทศ. 2563. **สินค้ากาแฟและผลิตภัณฑ์กาแฟ**. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา https://api.dtn.go.th/files/v3/5e8712f2ef4140204c3022ce/download (4 ธันวาคม 2564).

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2564. **กาแฟ**. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา http://mis-app.oae.go.th/product/%E0%B8%81%E0%B8%B2%E0%B9%81%E0%B8%9F (4 ธันวาคม 2564).

สุธีระ เหิมฮึก, วิชญ์ภาส สังพาลี, เกรียงศักดิ์ ศรีเงินยวง, ขนิษฐา เสถียรพีระกุล และธาตรี มีแก้ว. 2562. การเจริญทดแทนตามธรรมชาติของพรรณไม้ท้องถิ่น ภายหลังการฟื้นฟูด้วยการปลูกสร้าง สวน ป่ายูคาลิปตัส สวนป่าขุนหาญ จังหวัดศรีสะเกษ. **Thai Journal of Forestry**, 38(1), 66-80.

อนงนาฏ ศรีประโชติ, พรภัสสร ศุขะพันธุ์, ปิยธิดา ชัยดำรงโรจน์, นุจรี บุญแปลง และพรทิวา กัญยวงศ์หา. 2562. ความผันแปรของเหล็ก แมงกานีส ทองแดงและสังกะสี ในใบกาแฟที่ปลูกในพื้นที่ขนาดเล็ก: กรณีศึกษาอำเภอวังสะพุง จังหวัดเลย. **วารสารพืชศาสตร์สงขลานครินทร์**, 6(2), 60-68.

อรวรรณ วิชัยลักษณ์, พิสมัย พึ่งวิกรัย และ ณัฐธิดา ห้าวหาญ. 2557. **การเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตกาแฟ**. กรุงเทพฯ: กลุ่มส่งเสริมไม้ยืนต้น กรมส่งเสริมการเกษตร สำนักส่งเสริมและจัดการ

สินค้าเกษตร.

อักษร เสกธีระ และ พัฒนพันธุ์ ไพชยนต์. 2537. **ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของกาแฟ. คู่มือการปลูกและการผลิตกาแฟอาราบิก้าบนพื้นที่สูง**. เชียงใหม่: ศูนย์วิจัยและพัฒนาพื้นที่สูง คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

Abebe, Y., Juergen, B., Bekele, E., Hundera, K. & Heiner, G. 2019. The role of soil nutrient ratios in coffee quality: Their influence on bean size and cup quality in the natural coffee forest ecosystems of Ethiopia. **African Journal of Agricultural Research**, 14(35), 2090-2103.

Alemayehu, M. 1992. **The effect of traditional ditches on soil erosion and production. Research Report 22**. Switzerland: Soil Conservation Research Project, University of Bern.

Anthony, F., Combes, C., Astorga, C., Bertrand, B., Graziosi, G. & Lashermes, P. 2002. The origin of cultivated Coffea arabica L. varieties revealed by AFLP and SSR markers. **Theor Appl Genet**, 104(5), 894-900.

Avelino, J., Barboza, B., Davrieux, F. & Guyot, B. 2007. Shade effects on sensory and chemical characteristics of coffee from very high altitude plantations in Costa Rica. In **Second International Symposium on Multi-Strata agroforestry systems with perennial crops: Making ecosystem services count for farmers, consumers and the environment**. September 17-21, 2007, Turrialba, Costa Rica. Oral and posters presentations. Turrialba : CATIE.

Babbar, L. & Zak, D. 1995. Nitrogen Loss from Coffee Agroecosystems in Costa Rica: Leaching and Denitrification in the Presence and Absence of Shade Trees. **Journal of Environmental Quality**, 24(2), DOI: 10.2134/jeq1995.00472425002400020003x.

Benti, T., Gebre, E., Tesfaye, K., Berecha, G., Lashermes, P., Kyallo, M. & Kouadio Yao, N. 2021. Genetic diversity among commercial arabica coffee (Coffea arabica L.) varieties in Ethiopia using simple sequence repeat markers. **Journal of Crop Improvement**, 35(2), 147-168.

Bicho, N., Leitão, A., Ramalho, J., Alvarenga, N. & Lidon, F. 2013. Impact of Roasting Time on the Sensory Profile of Arabica and Robusta Coffee. **Ecology of food and nutrition**, 52(2), 163-177.

Bormann, F. H. & Likens, G. E. 1979. Catastrophic Disturbance and the Steady State in Northern Hardwood Forests: A new look at the role of disturbance in the development of forest ecosystems suggests important implications for land-use policies. **American Scientist**, 67(6), 660-669.

Bormann, T., Bormann, F., Bowden, W., Pierce, R., Hamburg, S., Wang, D., Snyder, M., Li, C. & Ingersoll, R. 1993. Rapid N^2 Fixation in Pines, Alder, and Locust: Evidence From the Sandbox Ecosystems Study. **Ecology**, 74(2), 583-598.

Bote, A. D. & Struik, P. C. 2011. Effects of shade on growth, production and quality of coffee (Coffea arabica) in Ethiopia. **Journal of Horticulture and Forestry**, 3(11), 336-341.

Brady, N. C. & Weil, R. R. 2002. **The Nature and Properties of Soils**. 13th ed. New Jersey: Prentice Hall.

Cannell, M. G. R. 1985. Physiology of coffee crop. In M. N. Clifford and K. C. Willson (Eds.), **Coffee, Botany, Biochemistry and Production of Beans and Beverage**. London: Croom Helm.

Castro, R. D. D. & Pierre, M. 2006. Cytology, biochemistry and molecular changes during coffee fruit development. **Braz. J. Plant Physiol**, 18(1), 175-199.

Celentano, D., Zahawi, R. A., Finegan, B., Ostertag, R., Cole, R. J. & Holl, K. D. 2011. Litterfall Dynamics Under Different Tropical Forest Restoration Strategies in Costa Rica. **Biotropica**, 43(3), 279-287.

Cheng, B., Furtado, A., Smyth, H. E. & Henry, R. J. 2016. Influence of genotype and environment on coffee quality. **Trends in Food Science & Technology**, 57, 20-30.

Clarindo, W. R. & Carvalho, C. R. 2008. First Coffea arabica karyogram showing that this species is a true allotetraploid. **Plant Systematics and Evolution**, 274(3), 237.

Clemente, J. M., Martinez, H. E. P., Alves, L. C., Finger, F. L. & Cecon, P. R. 2015. Effects of nitrogen and potassium on the chemical composition of coffee beans and on beverage quality. **Acta Scientiarum. Agronomy**, 37, 297-305.

Clemente, J. M., Martinez, H. E. P., Pedrosa, A. W., Poltronieri Neves, Y., Cecon, P. R. & Jifon, J. L. 2018. Boron, Copper, and Zinc Affect the Productivity, Cup Quality,

and Chemical Compounds in Coffee Beans. **Journal of Food Quality**, 2018(3), 1-14.

Craparo, A. C. W., Van Asten, P. J. A., Läderach, P., Jassogne, L. T. P. & Grab, S. W. 2015. Coffea arabica yields decline in Tanzania due to climate change: Global implications. **Agricultural and Forest Meteorology**, 207, 1-10.

DaMatta, F. M., Ronchi, C. P., Maestri, M. & Barros, R. S. 2007. Ecophysiology of coffee growth and production. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, 19(4), 485-510.

Davis, A. 2011. Psilanthus mannii, the type species of Psilanthus, transferred to Coffea. **Nordic Journal of Botany**, 29(4), 471-472.

Drinnan, J. E. & Menzel, C. M. 1995. Temperature affects vegetative growth and flowering of coffee (*Coffea arabica* L.). **Journal of Horticultural Science**, 70(1), 25-34.

Eira, M., Amaral da Silva, E., De Castro, R., Dussert, S., Walters, C., Bewley, J. & Hilhorst, H. 2006. Coffee seed physiology. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, 18(1), DOI:10.1590/S1677-04202006000100011.

Fahl, J. I., Carelli, M. L. C., Vega, J. & Magalhães, A. C. 1994. Nitrogen and irradiance levels affecting net photosynthesis and growth of young coffee plants (Coffea arabica L.). **Journal of Horticultural Science**, 69(1), 161-169.

Fox, G. P., Wu, A., Yiran, L. & Force, L. 2013. Variation in caffeine concentration in single coffee beans. **J Agric Food Chem**, 61(45), 10772-10778.

Friend, D. J. C. 1984. Shade adaptation of photosynthesis in Coffea arabica. **Photosynthesis Research**, 5(4), 325-334.

Geromel, C., Ferreira, L., Davrieux, F., Guyot, B., Ribeyre, F., Scholz, M. B., Pereira, L., Vaast, P., Pot, D., Leroy, T., Filho, A., Vieira, L., Mazzafera, P. & Marraccini, P. 2008. Effects of shade on the development and sugar metabolism of coffee (*Coffea arabica* L.) fruits. **Plant physiology and biochemistry**, 46(5-6), 569-579.

Hečimović, I., Belščak-Cvitanović, A., Horžić, D. & Komes, D. 2011. Comparative study of polyphenols and caffeine in different coffee varieties affected by the degree of roasting. **Food Chem**, 129(3), 991-1000.

Knopp, S., Bytof, G. & Selmar, D. 2005. Influence of processing on the content of

sugars in green Arabica coffee beans. **European Food Research and Technology**, 223(2), 195-201.

Koch, G. W., Sillett, S. C., Jennings, G. M. & Davis, S. D. 2004. The limits to tree height. **Nature**, 428(6985), 851-854.

Krishnan, S., Kushalappa, C. G., Shaanker, R. U. & Ghazoul, J. 2012. Status of pollinators and their efficiency in coffee fruit set in a fragmented landscape mosaic in South India. **Basic and Applied Ecology**, 13(3), 277-285.

Kurzrock, T. & Speer, K. 2001. Diterpenes and diterpene esters in coffee. **Food reviews international**, 17(4), 433-450.

Marschner, H. 2011. **Marschner's mineral nutrition of higher plants**. San Diego: Academic press.

Melke, A. & Ittana, F. 2014. Nutritional Requirement and Management of Arabica Coffee (Coffea arabica L.) in Ethiopia: National and Global Perspectives. **American Journal of Experimental Agriculture**, 5(5), 400-418.

Mills, H. A. & Jones, J. B. 1996. **Plant Analysis Handbook II: A Practical Sampling, Preparation, Analysis, and Interpretation Guide**. Georgia: Micro-Macro Pub.

Mouen Bedimo, J. A., Njiayouom, I., Bieysse, D., Nkeng, M., Cilas, C. & Notteghem, J.-L. 2009. Effect of Shade on Arabica Coffee Berry Disease Development: Toward an Agroforestry System to Reduce Disease Impact. **Phytopathology**, 98(12), 1320-1325.

Muliasari, A. A., Wachjar, A. & Supijatno. 2015. The Growth of Arabica Coffee (*Coffea arabica* L.) Seedling on Combination of Inorganic-organic Fertilizers and Shading Level. **Asian Journal of Applied Sciences**, 3(6), 739-746.

Muschler, R. 2001. Shade improves coffee quality in a sub-optimal coffee-zone of Costa Rica. **Agrofor. Syst.**, 51(12), 131-139.

Muschler, R. G. 2008. Shade Management and its Effect on Coffee Growth and Quality. pp. 391-418. In **Coffee: Growing, Processing, Sustainable Production: A Guidebook for Growers, Processors, Traders, and Researchers**. New York: WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA.

Nesper, M., Kueffer, C., Krishnan, S., Kushalappa, C. & Ghazoul, J. 2017. Shade tree

diversity enhances coffee production and quality in agroforestry systems in the Western Ghats. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, 247, 172-181.

Netto, A. T., Campostrini, E., Oliveira, J. G. d. & Bressan-Smith, R. E. 2005. Photosynthetic pigments, nitrogen, chlorophyll a fluorescence and SPAD-502 readings in coffee leaves. **Scientia Horticulturae**, 104(2), 199-209.

Notaro, K. d. A., Medeiros, E. V. d., Duda, G. P., Silva, A. O. & Moura, P. M. d. 2014. Agroforestry systems, nutrients in litter and microbial activity in soils cultivated with coffee at high altitude. **Scientia Agricola**, 71(2).

Oestreich-Janzen, S. 2010. Chemistry of coffee. pp. 1085-1117. In **Comprehensive Natural Products II**. New York: Elsevier Science.

Ogawa, H., Yoda, K. & Kira, T. 1961. A preliminary survey on the vegetation of Thailand. **Nature and life in SE Asia**, 1, 21-157.

Sahunalu, P. 1987. **Primary Production of Tropical Forests**. Bangkok: Kasetsart university.

Sanchez, P. A. 1977. Properties and Management of Soils in the Tropics. **Soil Science**, 124(3).

Shannon-Wiener, C. E., Weaver, W. & Weater, W. J. 1949. **The mathematical theory of communication**. Urbana: University of Illinois Press.

Siccama, T. G., Bormann, F. H. & Likens, G. E. 1970. The Hubbard Brook Ecosystem Study: Productivity, Nutrients, and Phytosociology of the Herbaceous Layer. **Ecological Monographs**, 40(4), 389-402.

Sualeh, A. & Dawid, J. 2014. Relationship of Fruit and Bean Sizes and Processing Methods on the Conversion Ratios of Arabica Coffee (Coffea arabica) Cultivars. **Scholars Journal of Agriculture and Veterinary Sciences**, 2(2), 70-74.

Sungpalee, W., Itoh, A., Sri-ngernyuang, K., Nanami, S. & Kanzaki, M. 2015. Spatial Biomass Variation, Biomass Dynamics and Species Diversity in Relation to Topographic Factors of Lower Tropical Montane Forest. **Thai Journal of Forestry**, 34(3), 69-82.

Tisdale, S. L., Nelson, W. L., Balasch, J. & Piña, C. 1988. **Fertilidad de los suelos y fertilizantes**. México: Uteha.

Tran, H., Lee, L., Furtado, A., Smyth, H. & Henry, R. 2016. Advances in genomics for

the improvement of quality in Coffee. **Journal of the science of food and agriculture**, 96(10), 3310-3312.

Trugo, L. C. & Macrae, R. 1984. A study of the effect of roasting on the chlorogenic acid composition of coffee using HPLC. **Food Chemistry**, 15(3), 219-227.

Upadhyay, R. & Mohan Rao, L. J. 2013. An outlook on chlorogenic acids-occurrence, chemistry, technology, and biological activities. **Crit Rev Food Sci Nutr**, 53(9), 968-984.

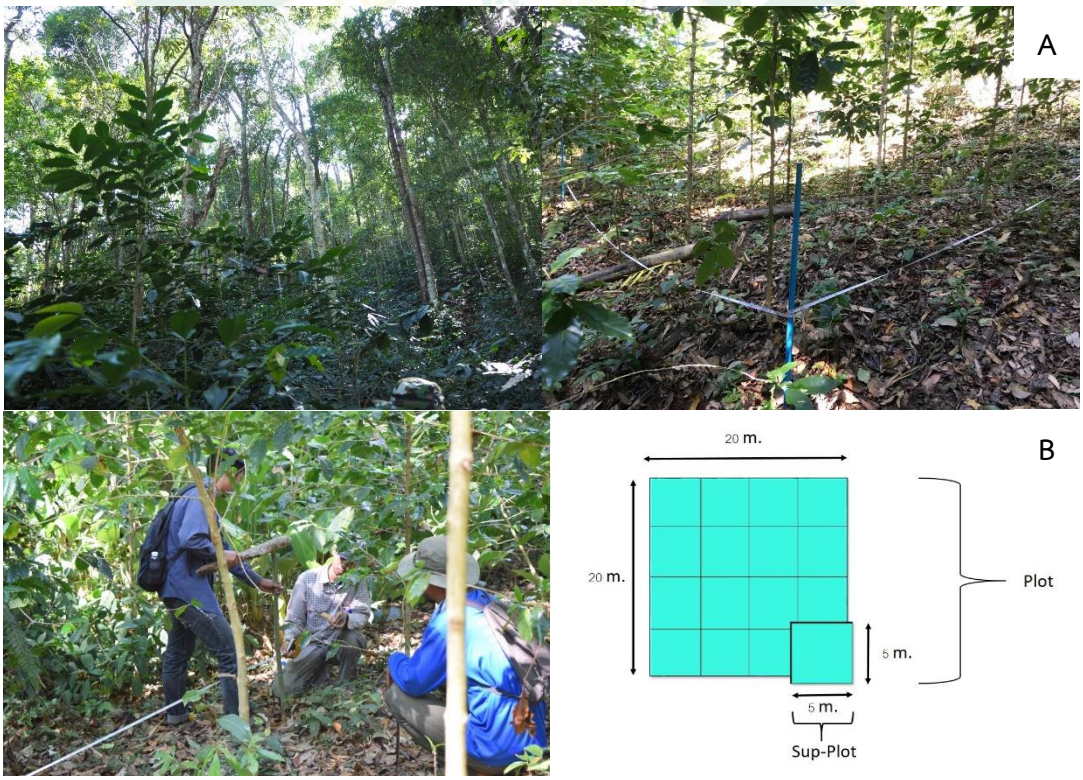
Vaast, P., Bertrand, B., Perriot, J.-J., Guyot, B. & Génard, M. 2006. Fruit thinning and shade improve bean characteristics and beverage quality of coffee (Coffea arabica L.) under optimal conditions. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, 86(2), 197-204.

Whittaker, R. H. 1970. **Communities and ecosystems**. 2nd ed. New York: McMil Publication.

Wintgens, J. N. 2009. **Coffee: Growing, processing, sustainable production. A guidebook for growers, processors, traders and researchers**. Corseaux, Switzerland: Chemin des Cornalles.

ภาคผนวก

ภาพผนวกที่ 1 สำรวจแปลงปลูกกาแฟใต้เรือนยอดไม้ป่า และจับพิกัดแปลง ตำแหน่งความสูงจากระดับน้ำทะเล ด้วยเครื่อง GPS



ภาพผนวกที่ 2 พื้นที่แปลงปลูกกาแฟภายใต้ร่มเงาไม้ป่า (A) ทำการวางแปลงขนาด 5x5 เมตร จำนวน 5 ซ้ำ ต่อ 1 พื้นที่ เพื่อทำการศึกษาลักษณะของต้นกาแฟเบื้องต้น (B)

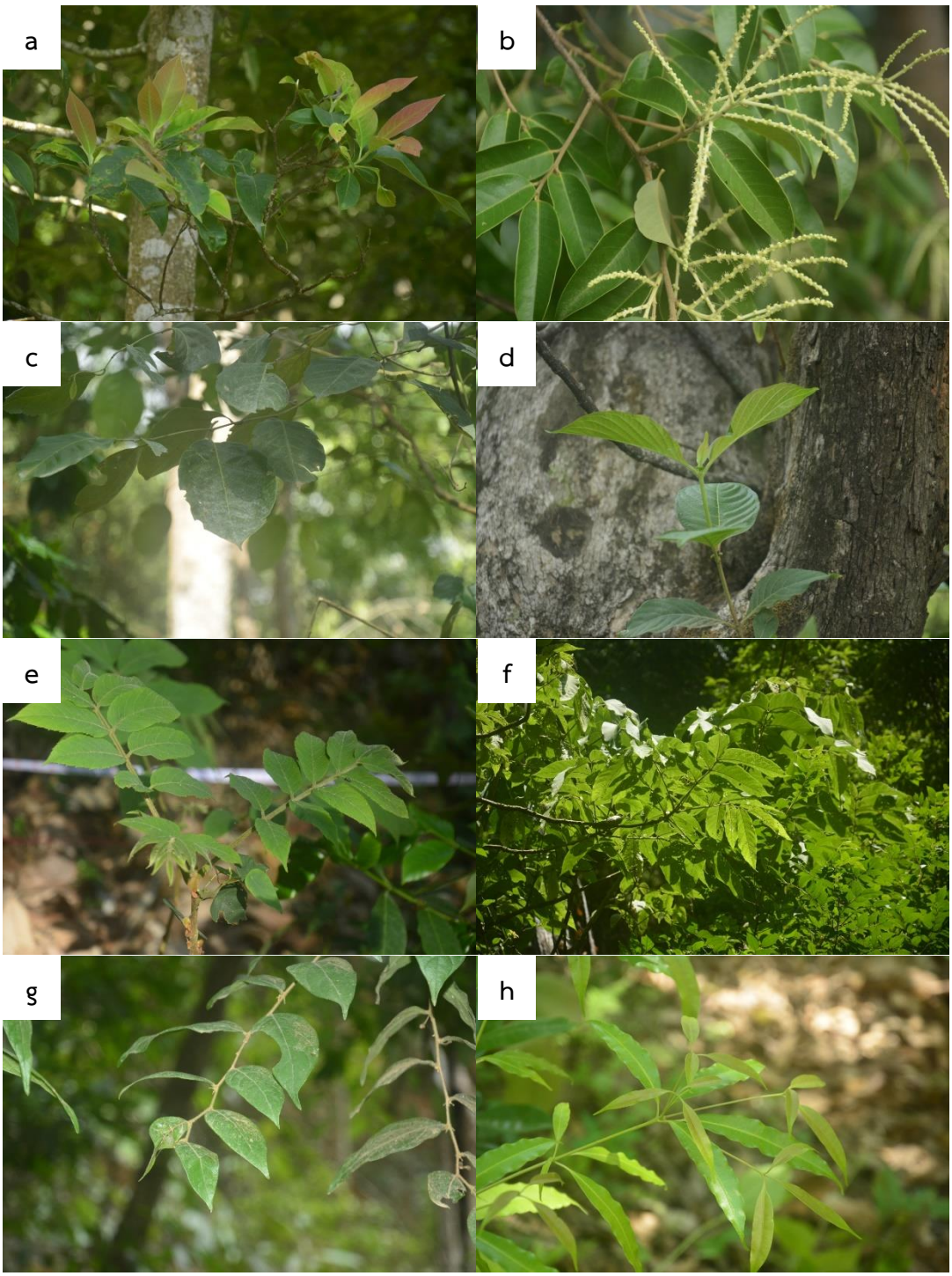
ภาพผนวกที่ 3 วัดขนาดความโตของต้นกาแฟที่ระดับ 130 เซนติเมตร (A) วัดขนาดความโตของต้นกาแฟที่ระดับ 130 เซนติเมตร (C) วัดความสูงของต้นกาแฟ (B)

ภาพผนวกที่ 4 วัดค่าแสง โดยใช้เครื่อง Light Meter โดยทำการวัดเปรียบเทียบค่าแสงในเวลาเดียวกัน ระหว่างภายในแปลงและนอกแปลง

ภาพผนวกที่ 5 วัดความเขียวใบของต้นกาแฟ โดยใช้เครื่อง Minolta chlorophyll meter: SPAD-502

ภาพผนวกที่ 6 เก็บตัวอย่างดิน โดยกระจายสุ่มเก็บทั่วบริเวณแปลง

ภาพผนวกที่ 7 สำรวจชนิดพรรณไม้ในแปลงปลูกกาแฟภายใต้เรือนยอดไม้ป่า



ภาพผนวกที่ 8 ตัวอย่างชนิดพรรณไม้ที่พบในพื้นที่แปลงปลูกกาแฟที่ทำการศึกษา เช่น ทะโล้ (a), ก่อใบเลื่อม (b), ก่อแหลม (c), แข้งกวาง (d), ค่าหด (e), แคหัวหมู (f), ปลายสาน (g) และตีนเป็ดเขา (h)

ภาพผนวกที่ 9 เก็บเมล็ดกาแฟผลสดในแปลงปลูกกาแฟใต้เรือดยอดไม้ป่าที่ทำการศึกษา

ภาพผนวกที่ 10 วัดขนาดเมล็ดกาแฟความกว้าง ความยาว ความหนาด้านประกบ และชั่งน้ำหนักเมล็ดรายเมล็ด ตากในภาชนะ มีชื่อและรหัสกำกับ เพื่อป้องกันไม่ให้ผสมรวมกันของเมล็ดกาแฟ

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ-สกุล นายกฤษณะ ทองศรี

เกิดเมื่อ 8 กรกฎาคม 2536

ประวัติการศึกษา

พ.ศ. 2559	ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาพืชศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมลคลอีสาน วิทยาเขตสุรินทร์ จังหวัดสุรินทร์
พ.ศ. 2554	มัธยมศึกษาตอนปลาย การศึกษานอกระบบและการศึกษาตามอัธยาศัย

มหาวิทยาลัยแม่โจ้ MAEJO UNIVERSITY