ผลของขนาดเมล็ดและการตัดรากต่อการงอกและการเจริญเติบโตของต้นกล้ากาแฟอาราบิก้า (*Coffea arabica* L.)

ธีรานนท์ ปาสุธรรม

ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาพืชไร่
มหาวิทยาลัยแม่โจ้
พ.ศ. 2565

ผลของขนาดเมล็ดและการตัดรากต่อการงอกและการเจริญเติบโตของต้นกล้ากาแฟอาราบิก้า (*Coffea arabica* L.)

ธีรานนท์ ปาสุธรรม

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของความสมบูรณ์ของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาพืชไร่
สำนักบริหารและพัฒนาวิชาการ มหาวิทยาลัยแม่โจ้
พ.ศ. 2565

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยแม่โจ้

ผลของขนาดเมล็ดและการตัดรากต่อการงอกและการเจริญเติบโต
ของต้นกล้ากาแฟอาราบิก้า (*Coffea arabica* L.)

ธีรานนท์ ปาสุธรรม

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 ปฏิบัติการแทน
อธิการบดี มหาวิทยาลัยแม่โจ้
วันที่.....เดือน.....พ.ศ. .....

ชื่อเรื่อง ผลของขนาดเมล็ดและการตัดรากต่อการงอกและการเจริญเติบโต ของต้นกล้ากาแฟอาราบิก้า (*Coffea arabica* L.)
ชื่อผู้เขียน นายธีรานนท์ ปาสุธรรม
ชื่อปริญญา วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาพืชไร่
อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิชญ์ภาส สังพาลี

บทคัดย่อ

การคัดเลือกขนาดเมล็ดพันธุ์กาแฟอาราบิก้าก่อนนำไปเพาะเมล็ด และการตัดรากก่อนย้ายปลูก เป็นวิธีที่อาจนำไปใช้เป็นแนวทางในการผลิตกล้ากาแฟอาราบิก้าให้กับเกษตรกร โดยมีการตั้งข้อสังเกตว่าเมล็ดพันธุ์ที่มีขนาดแตกต่างกัน ส่งผลต่อการงอก และการเจริญเติบโตของต้นกล้า นอกจากนี้การตัดรากต้นกล้าก่อนย้ายปลูก ยังเป็นวิธีการในการควบคุมการเจริญเติบโต และส่งผลโดยตรงต่อผลผลิตพืชด้วยเช่นกัน แต่ยังไม่พบรายงานในพืชกาแฟอาราบิก้า ดังนั้นจึงได้ทำการศึกษาผลของขนาดเมล็ดและการตัดรากต่อการงอกและการเจริญเติบโตของต้นกล้ากาแฟอาราบิก้า โดยแบ่งเป็น 2 การทดลอง คือ การทดลองที่ 1 ศึกษาผลของขนาดเมล็ดต่อการงอกและการเจริญเติบโตของต้นกล้ากาแฟอาราบิก้า โดยสุ่มเก็บผลเชอร์รี่ที่ปลูกภายใต้เรือนยอดป่าธรรมชาติแบบเจาะจง (Purposive sampling) จำนวน 4 แปลง แปลงละ 600 เมล็ด มาชั่งน้ำหนักและวัดขนาดเมล็ด แล้วทำการแบ่งขนาดเมล็ดโดยใช้น้ำหนักเมล็ดเป็นเกณฑ์ แบ่งได้เป็น 3 ขนาด ได้แก่ ขนาดใหญ่ หรือ น้ำหนักเมล็ด >2.21 กรัม ขนาดกลาง น้ำหนักเมล็ด 1.43-<2.21 กรัม และขนาดเล็ก น้ำหนักเมล็ด <1.43 กรัม นอกจากนี้เมล็ดกาแฟทั้งหมดยังถูกแบ่งเกรดตามกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ โดยใช้ความกว้างของเมล็ดเป็นเกณฑ์ แบ่งได้เป็น 7 เกรด จากนั้นนำเมล็ดไปเพาะทดสอบการงอกในโรงเรือน และติดตามการเจริญเติบโต ผลการศึกษาพบว่า น้ำหนักและความกว้างของเมล็ดพันธุ์กาแฟอาราบิก้าที่แตกต่างกัน ไม่ส่งผลต่อความงอกของเมล็ดพันธุ์ รวมถึงการเจริญเติบโตและการสะสมน้ำหนักแห้งของต้นกล้า แต่เมล็ดกาแฟที่มีน้ำหนักเบางอกได้เร็วกว่าเมล็ดกาแฟที่มีน้ำหนักมาก ในส่วนของการทดลองที่ 2 คือ ศึกษาผลของการตัดรากต่อการเจริญเติบโตของต้นกล้ากาแฟอาราบิก้า โดยนำต้นกล้ากาแฟที่อายุ 75 วัน มาตัดรากออก 1 ใน 3 ของความยาวรากทั้งหมดก่อนย้ายปลูก กับการย้ายกล้าปลูกแบบไม่ตัดราก อย่างละ 10 ต้น 7 ซ้ำ จากนั้นติดตามการเจริญเติบโตของต้นกล้า และประเมินลักษณะรากด้วยภาพถ่ายดิจิทัล โดยใช้โปรแกรม ImageJ plugin: smart root ผลการศึกษาพบว่า ต้นกล้ากาแฟที่ตัดรากก่อนย้ายปลูก มีการเพิ่มขึ้นของพื้นที่ผิวรากมากกว่าต้นกล้ากาแฟที่ไม่ตัดรากถึง 22.2 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งอิทธิพลที่เกิดจากการตัดรากดังกล่าวจะปรากฏหลังจากย้าย

กล้าลงปลูกไปแล้ว 20 วันเท่านั้น เมื่อระยะเวลาผ่านไปต้นกล้าที่ย้ายปลูกแบบไม่ตัดรากจะมีการเพิ่มขึ้นของพื้นที่ผิวรากจนเทียบเท่ากับต้นกล้าที่ตัดราก ขณะที่ลักษณะการเจริญเติบโตอื่น ๆ ไม่พบอิทธิพลที่เกิดจากการตัดรากแต่อย่างใด ดังนั้นการศึกษาครั้งนี้ทำให้ได้เห็นว่า เมล็ดกาแฟอาราบิก้าขนาดเล็กสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการเป็นเมล็ดพันธุ์ได้ ซึ่งเป็นการลดการสูญเสียรวมถึงลดต้นทุนในทางธุรกิจเมล็ดพันธุ์ได้อย่างมาก และเป็นการใช้ประโยชน์จากเมล็ดกาแฟให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด และการตัดรากต้นกล้าก่อนย้ายปลูกนั้น ทำให้ทราบว่าระบบรากของต้นกล้ากาแฟอาราบิก้าสามารถงอกหรือซ่อมแซมตัวเองได้ภายใน 20 วันหลังการตัดราก

คำสำคัญ : ขนาดเมล็ด, ตัดราก, การงอก, การเจริญเติบโต, กาแฟอาราบิก้า

Title THE EFFECT OF SEED SIZE AND ROOT PRUNING ON GERMINATION AND GROWTH OF ARABICA COFFEE SEEDLING (*Coffea arabica* L.)

Author Mr. Teeranon Pasutham

Degree Master of Science in Agronomy

Advisory Committee Chairperson Assistant Professor Dr. Witchaphart Sungpalee

ABSTRACT

Selection of arabica coffee seeds before seeding or pruning of seedling root before transplanting is method that could be recommended to farmers for use in arabica coffee seedling productions. It has been observed that different seed sizes affect germination and seedling growth. Although Root pruning of seedlings before transplanting has been used as a method for controlling growth and yield of other plants, it has not been reported in arabica coffee. Therefore, the effect of seed size and root pruning on germination and growth of arabica coffee seedling was studied. This study is composed of 2 parts. First experiment was on the effect of seed size on germination and growth of arabica coffee seedling. Six hundred coffee cherries were collected from coffee trees within each of the four plots under the canopy of natural forest using purposive sampling method and seed sized were measured.Then, seeds were divided into 3 size categories according to weight, which were large (>2.21 g), medium (1.43-<2.21 g), and small (<1.43 g). In addition, coffee seeds were also categorized according to the ministry of agriculture and cooperatives grades using seed width as a criterion and resulted in 7 grades. Graded coffee seeds were then germinated in greenhouse condition and seedling growth was monitored over time. The results showed that differences among seed sizes either according to weight or width did not affect seed germination, seedling growth, or seed dry weight. However, lighter seeds appeared to germinate faster than heavier seeds. Second experiment look at the effect of root pruning on growth of arabica coffee seedling. For this,

roots of 75 days old coffee seedlings were cut off 1 out of 3 parts of root length prior to transplanting and their growth were recorded and compared with the growth of unpruned seedlings. An experiment was repeated 7 times and 10 seedlings were measured in each replication. Assessment of root characteristics was done with the aid or ImageJ plugin: smart root tool. The results showed that arabica coffee seedlings of which roots had been pruned before transplanting had a 22.2 percent increase in root surface area over unpruned seedlings. The influence of such root pruning was evident only 20 days after transplanting. After that unpruned seedlings had an increase in root surface area equivalent to those of pruned seedlings. Other growth characteristics were not affected by root pruning. Therefore, this study shows that small seeds can be used in coffee seedling production, which can greatly reduce production costs for the seed business, as well as allow for an efficient use of arabica coffee seeds. As for the root pruning of seedlings before transplanting, it was revealed that the root system of arabica coffee seedlings was able to repair itself within 20 days after pruning.

Keywords : Seed size, Root pruning, Germination, Growth, Arabica coffee

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้เสร็จสมบูรณ์เป็นอย่างดีได้โดยได้รับความอนุเคราะห์จาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นริศ ยิ้มแย้ม ที่ได้ให้เกียรติเป็นประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิชญ์ภาส สังพาลี อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เนตรนภา อินสลุด และอาจารย์ ดร.จุฑามาศ อาจนาเสียว อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ที่ได้ให้คำแนะนำและช่วยเหลืออย่างดียิ่งในการทำวิทยานิพนธ์นี้ นอกจากนี้ยังได้ประสิทธิ์ประสาทความรู้ทางด้านวิชาการ ด้านกระบวนการคิดวิเคราะห์ และการแก้ปัญหาต่าง ๆ แด่ผู้วิจัย จึงกราบขอบพระคุณไว้ ณ ที่นี้เป็นอย่างสูง

ขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์สาขาวิชาพืชไร่ ที่ได้ประสิทธิ์ประสาทความรู้ทางด้านพืชไร่ รวมถึงศาสตร์วิชาความรู้ต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง และขอกราบขอบพระคุณมหาวิทยาลัยแม่โจ้ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์สถานที่ศึกษา ทำวิจัย แด่ผู้วิจัย

ขอขอบคุณพี่ ๆ ปริญญาโท สาขาวิชาพืชไร่ ที่คอยชี้แนะให้คำปรึกษา ในการศึกษาระดับบัณฑิตศึกษาจนประสบความสำเร็จ และขอขอบคุณเพื่อน ๆ น้อง ๆ ที่คอยสนับสนุน ช่วยเหลือ ในการดำเนินการทดลอง การเก็บบันทึกข้อมูลจนเสร็จสิ้นการทำวิจัย

ขอกราบขอบพระคุณครอบครัวปาสุธรรม ที่ให้การสนับสนุนค่าเล่าเรียน ค่าอาหาร ค่าที่พัก และคอยให้กำลังใจในระหว่างที่ผู้วิจัยกำลังศึกษาวิจัย

ธีรานนท์ ปาสุธรรม

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ค
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ
กิตติกรรมประกาศ ..... ช
สารบัญ ..... ซ
สารบัญตาราง ..... ญ
สารบัญภาพ ..... ฐ
บทที่ 1 บทนำ 1
วัตถุประสงค์ 3
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 3
บทที่ 2 ทบทวนเอกสาร 4
ประวัติความเป็นมา การแพร่กระจายพันธุ์ และ ความสำคัญของกาแฟอาราบิก้า 4
ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของกาแฟอาราบิก้า 5
การขยายพันธุ์กาแฟอาราบิก้า 9
การงอกและเจริญเติบโตของกาแฟอาราบิก้า 12
การเจริญเติบโตของกาแฟอาราบิก้าและปัจจัยที่เกี่ยวข้อง 13
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย 18
ขอบเขตการศึกษา 18
วัสดุอุปกรณ์ 19
วิธีการศึกษา 20
บทที่ 4 ผลการศึกษา 26
ศึกษาผลของขนาดเมล็ดต่อการงอกและการเจริญเติบโตของต้นกล้ากาแฟอาราบิก้า 26

ศึกษาผลของการตัดรากต่อการเจริญเติบโตของต้นกล้ากาแฟอาราบิก้า 48
บทที่ 5 สรุปผลการศึกษา 61
บรรณานุกรม 63
ประวัติผู้วิจัย 71

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1 สูตรคำนวณการงอกของเมล็ดพันธุ์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ 22

ตารางที่ 2 ลักษณะทางกายภาพของเมล็ดพันธุ์กาแฟอาราบิก้า ที่แบ่งขนาดตามน้ำหนักเมล็ดเซอร์รี่ (ประเภทที่ 1) และแบ่งตามเกรดการค้าตามประกาศของสำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ 2561 (ประเภทที่ 2)..... 27

ตารางที่ 3 ความงอก (%) ของเมล็ดกาแฟอาราบิก้า ที่เพาะด้วยเมล็ดพันธุ์ที่มีน้ำหนักเมล็ดแตกต่างกัน (ประเภทที่ 1) ที่อายุ 45 60 75 และ 120 วันหลังเพาะเมล็ด..... 29

ตารางที่ 4 เปอร์เซ็นต์ต้นกล้ากาแฟอาราบิก้าที่พบในแปลงเพาะแยกตามระยะกล้าหัวไม้ขีด และระยะปีกผีเสื้อ ที่เกิดจากผลเซอร์รี่ที่มีน้ำหนักแตกต่างกัน (ประเภทที่ 1) ที่อายุ 45 60 และ 75 วันหลังเพาะเมล็ด..... 30

ตารางที่ 5 ดัชนีการงอกของเมล็ดกาแฟอาราบิก้า ที่เพาะด้วยเมล็ดพันธุ์ที่มีน้ำหนักเมล็ดแตกต่างกัน (ประเภทที่ 1) ที่อายุ 45 60 75 และ 120 วันหลังเพาะเมล็ด..... 31

ตารางที่ 6 วันงอกเฉลี่ย (วัน) ของเมล็ดกาแฟอาราบิก้า ที่เพาะด้วยเมล็ดพันธุ์ที่มีน้ำหนักเมล็ดแตกต่างกัน (ประเภทที่ 1) ที่อายุ 45 60 75 และ 120 วันหลังเพาะเมล็ด 31

ตารางที่ 7 ลักษณะความสูงต้น เส้นผ่านศูนย์กลางคอราก และจำนวนใบ ของต้นกล้ากาแฟอาราบิก้าที่เพาะด้วยเมล็ดพันธุ์ที่มีน้ำหนักเมล็ดแตกต่างกัน (ประเภท(ประเภทที่ 1) ที่อายุ 75 90 105 135 165 195 และ 225 วันหลังเพาะเมล็ด 33

ตารางที่ 8 ลักษณะความสูงต้น เส้นผ่านศูนย์กลางคอราก จำนวนใบ ความยาวราก น้ำหนักแห้งต้น น้ำหนักแห้งราก และน้ำหนักแห้งใบ ของต้นกล้ากาแฟอาราบิก้าที่เพาะด้วยเมล็ดพันธุ์ที่มีน้ำหนักผลเซอร์รี่แตกต่างกัน (ประเภทที่ 1) ที่อายุ 255 วันหลังเพาะเมล็ด 34

ตารางที่ 9 ความงอก (%) ของเมล็ดกาแฟอาราบิก้า เพาะด้วยเมล็ดพันธุ์ที่มีขนาดความกว้างแตกต่างกัน (ประเภทที่ 2) ที่อายุ 45 60 75 และ 120 วันหลังเพาะเมล็ด 35

ตารางที่ 10 เปอร์เซนต์ของต้นกล้ากาแฟอาราบิก้าที่พบในแปลงเพาะ แยกตามระยะกล้าหัวไม้ขีดและระยะปีกผีเสื้อ ที่เกิดจากเมล็ดพันธุ์ที่มีขนาดความกว้างของเมล็ดกะลาแตกต่างกัน (ประเภทที่ 2) ที่อายุ 45 60 และ 75 วันหลังเพาะเมล็ด 36

ตารางที่ 11 ดัชนีการงอกของเมล็ดกาแฟอาราบิก้า ที่เพาะด้วยเมล็ดพันธุ์ที่มีขนาดความกว้างของเมล็ดกะลาแตกต่างกัน (ประเภทที่ 2) ที่อายุ 45 60 75 และ 120 วันหลังเพาะเมล็ด 37

ตารางที่ 12 วันงอกเฉลี่ยของเมล็ดกาแฟอาราบิก้า ที่เพาะด้วยเมล็ดพันธุ์ที่มีขนาดความกว้างของเมล็ดกะลาแตกต่างกัน (ประเภทที่ 2) ที่อายุ 45 60 75 และ 120 วันหลังเพาะเมล็ด 37

ตารางที่ 13 ลักษณะความสูงต้น และเส้นผ่านศูนย์กลางคอราก ของต้นกล้ากาแฟอาราบิก้า ที่เพาะด้วยเมล็ดพันธุ์ที่มีขนาดความกว้างของเมล็ดกะลาแตกต่างกัน (ประเภทที่ 2) ที่อายุ 75 90 105 135 165 195 และ 225 วันหลังเพาะเมล็ด 39

ตารางที่ 14 จำนวนใบ ของต้นกล้ากาแฟอาราบิก้า ที่เพาะด้วยเมล็ดพันธุ์ที่มีขนาดความกว้างของเมล็ดกะลาแตกต่างกัน (ประเภทที่ 2) ที่อายุ 75 90 105 135 165 195 และ 225 วันหลังเพาะเมล็ด 40

ตารางที่ 15 ลักษณะความสูงต้น เส้นผ่านศูนย์กลางคอราก จำนวนใบ ความยาวราก น้ำหนักแห้งต้น น้ำหนักแห้งราก และน้ำหนักแห้งใบ ของต้นกล้ากาแฟอาราบิก้า ที่เพาะด้วยเมล็ดพันธุ์ที่มีขนาดความกว้างแตกต่างกัน (ประเภทที่ 2) ที่อายุ 255 วันหลังเพาะเมล็ด..... 41

ตารางที่ 16 เปรียบเทียบขนาดความกว้าง ความยาว ความหนา และน้ำหนัก ของเมล็ดกาแฟกะลาที่อยู่ภายในผลกาแฟเชอร์รี่เดียวกัน 44

ตารางที่ 17 ความงอก (%) ดัชนีการงอก และวันงอกเฉลี่ย ของเมล็ดกาแฟกะลาที่อยู่ภายในเมล็ดเชอร์รี่เดียวกัน ที่อายุ 120 วันหลังเพาะเมล็ด..... 44

ตารางที่ 18 ลักษณะความสูงต้น เส้นผ่านศูนย์กลางคอราก จำนวนใบ และความยาวราก ของต้นกล้ากาแฟอาราบิก้าที่เพาะด้วยเมล็ดกาแฟกะลาทั้ง 2 เมล็ดที่อยู่ภายในเมล็ดเชอร์รี่เดียวกัน ที่อายุ 75 85 95 105 135 และ 165 วันหลังเพาะเมล็ด..... 45

ตารางที่ 19 ความยาวราก น้ำหนักแห้งต้น น้ำหนักแห้งราก และน้ำหนักแห้งใบ ของต้นกล้ากาแฟอาราบิก้าที่เพาะด้วยเมล็ดกาแฟกะลาทั้ง 2 เมล็ดที่อยู่ภายในเมล็ดเชอร์รี่เดียวกัน ที่อายุ 75 85 95 105 135 และ 165 วันหลังเพาะเมล็ด 46

ตารางที่ 20 ลักษณะความสูงต้น เส้นผ่านศูนย์กลางคอราก ความยาวราก น้ำหนักแห้งต้น น้ำหนักแห้งราก น้ำหนักแห้งใบ ความยาวรากรวม พื้นที่ผิวราก ปริมาตรราก ของต้นกล้ากาแฟอาราบิก้าที่ตัดราก 1:3 ของความยาวรากทั้งหมด และไม่ตัดราก ที่อายุกล้า 75 วัน ก่อนย้ายลงถุงเพาะ 50

ตารางที่ 21 เปอร์เซ็นต์การรอดตายของต้นกล้ากาแฟอาราบิก้าที่ทำการตัดราก 1 ใน 3 ของความยาวรากทั้งหมด และไม่ตัดราก ที่อายุกล้า 30 วันหลังย้ายปลูก..... 52

ตารางที่ 22 ลักษณะความสูงต้น (เซนติเมตร) เส้นผ่านศูนย์กลางคอราก (มิลลิเมตร) และจำนวนใบของกล้ากาแฟอาราบิก้าที่ทำการตัดราก 1:3 ของความยาวรากทั้งหมด และไม่ตัดราก หลังย้ายปลูกที่อายุกล้า 10 20 30 60 และ 90 วันหลังย้ายปลูก..... 53

ตารางที่ 23 ลักษณะความยาวราก (เซนติเมตร) น้ำหนักแห้งต้น (กรัม) น้ำหนักแห้งราก (กรัม) และน้ำหนักแห้งใบ (กรัม) ของกล้ากาแฟอาราบิก้าที่ทำการตัดราก 1:3 ของความยาวรากทั้งหมด และไม่ตัดราก หลังย้ายปลูกที่อายุกล้า 10 20 30 60 และ 90 วันหลังย้ายปลูก 54

ตารางที่ 24 การประเมินพัฒนาการของรากกล้ากาแฟอาราบิก้าที่ทำการตัดราก 1:3 ของความยาวรากทั้งหมด และไม่ตัดราก ด้วยภาพถ่ายดิจิทัลโดยโปรแกรม imageJ หลังย้ายปลูกที่อายุกล้า 1 10 20 30 60 และ 90 วันหลังย้ายปลูก..... 55

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่ 1 ลักษณะทางกายภาพของรากและลำต้นของกาแฟอาราบิก้า 5

ภาพที่ 2 ลักษณะทางกายภาพของใบและดอกของกาแฟอาราบิก้า..... 6

ภาพที่ 3 ลักษณะทางกายภาพของเมล็ดกาแฟอาราบิก้า..... 8

ภาพที่ 4 แปลงปลูกกาแฟอาราบิก้าใต้เรือนยอดป่าธรรมชาติ ในพื้นที่โครงการฟาร์มตัวอย่าง ในสมเด็จพระนางเจ้าสิริกิติ์ พระบรมราชินีนาถ บ้านขุนแตะ ตำบลดอยแก้ว อำเภอจอมทอง จังหวัดเชียงใหม่..... 18

ภาพที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะความกว้าง (มิลลิเมตร) ความยาว (มิลลิเมตร) ความหนา (มิลลิเมตร) และน้ำหนัก (กรัม) ของผลกาแฟเชอร์รี่..... 28

ภาพที่ 6 การแจกแจงความถี่ขนาดความกว้าง ความยาว ความหนา และน้ำหนัก ของเมล็ดกาแฟกะลาที่อยู่ภายในเมล็ดเชอร์รี่เดียวกัน และทดสอบการแจกแจงแบบสองตัวอย่าง (Two-sample Kolmogorov-Smirnov test)..... 43

ภาพที่ 7 ต้นกล้ากาแฟอาราบิก้า ที่ตัดราก 1 ใน 3 ของความยาวรากทั้งหมด และไม่ตัดรากก่อนย้ายปลูก ที่อายุ 75 วัน หลังเพาะเมล็ด..... 49

ภาพที่ 8 ลักษณะรากต้นกล้ากาแฟที่ตัดราก 1 ใน 3 ของความยาวรากทั้งหมด และไม่ตัดราก ที่อายุกล้า 20 วัน หลังย้ายปลูก..... 56

ภาพที่ 9 ลักษณะรากต้นกล้ากาแฟที่ตัดราก 1 ใน 3 ของความยาวรากทั้งหมด และไม่ตัดราก ที่อายุกล้า 60 วัน หลังย้ายปลูก..... 56

ภาพที่ 10 ความสัมพันธ์ระหว่างความสูงต้นกับความยาวราก (A) น้ำหนักแห้งต้นกับน้ำหนักแห้งราก (B) ของต้นกล้ากาแฟที่ตัดราก 1 ใน 3 ของความยาวรากทั้งหมด (-o-) และไม่ตัดราก (—•—) ก่อนย้ายปลูก (Simple Linear Regression; y=a+bx)..... 58

ภาพที่ 11 ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวรากรวมกับความยาวราก (A) พื้นที่ผิวรากกับความยาวราก (B) ปริมาตรรากกับความยาวราก (C) ของต้นกล้ากาแฟที่ตัดราก 1 ใน 3 ของความยาวรากทั้งหมด (-o-) และไม่ตัดราก (—•—) ก่อนย้ายปลูก (Simple Linear Regression; y=a+bx) 58

ภาพที่ 12 ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวรากรวมกับน้ำหนักแห้งราก (A) พื้นที่ผิวรากกับน้ำหนักแห้งราก (B) ปริมาตรรากกับน้ำหนักแห้งราก (C) ของต้นกล้ากาแฟที่ตัดราก 1 ใน 3 ของความยาวรากทั้งหมด (-○-) และไม่ตัดราก (—●—) ก่อนย้ายปลูก (Simple Linear Regression; y=a+bx) 59

บทที่ 1
บทนำ

กาแฟอาราบิก้ามีถิ่นกำเนิดอยู่ในทวีปแอฟริกา ซึ่งเป็นพืชพื้นเมืองบนพื้นที่สูงของประเทศเอธิโอเปีย โดยนิเวศวิทยาของกาแฟอาราบิก้านั้น แต่เดิมเป็นพืชที่เจริญเติบโตอยู่ในพื้นที่ป่าฝน (rain forest) มีความสูงจากระดับน้ำทะเลของพื้นที่อยู่ประมาณ 1,400-1,800 เมตร และอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 20-29 องศาเซลเซียส (Ellis, 1774)

ประเทศไทยมีลักษณะของภูมิประเทศ และสภาพแวดล้อมที่เอื้อต่อการเจริญเติบโตของกาแฟอาราบิก้า โดยเฉพาะในพื้นที่ภาคเหนือ (ปรัชญา, 2537; สมศักดิ์, 2545) ดังนั้นกาแฟอาราบิก้าจึงเป็นพืชชนิดหนึ่งที่ได้มีการนำเข้ามาปลูกในประเทศ โดยกำหนดให้เป็นพืชที่ใช้ส่งเสริมให้เกษตรกรปลูกบนพื้นที่สูงแถบภาคเหนือ เพื่อลดปัญหาการปลูกพืชผิดกฎหมาย รวมถึงลดปัญหาการบุกรุกทำลายป่า ซึ่งเกิดขึ้นจากแนวคิดของในหลวงราชการที่ 9 (ภีศเดช, 2551) จนกลายมาเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญ และเป็นพืชที่สร้างอาชีพ สร้างรายได้ให้กับเกษตรกรบนพื้นที่สูงในภาคเหนือของประเทศไทย ในปัจจุบันตลาดของกาแฟในประเทศไทยมีการขยายตัวมากขึ้น ทำให้ความต้องการใช้เมล็ดกาแฟเพิ่มสูงขึ้นเฉลี่ย 78,953 ตัน/ปี (ร้อยละ 6.21 ต่อปี) ขณะที่ผลผลิตภายในประเทศไม่เพียงพอต่อความต้องการ จึงได้มีการแก้ปัญหาในเบื้องต้นคือ การนำเข้าเมล็ดกาแฟดิบจากต่างประเทศ โดยจากสถิติการนำเข้าเมล็ดกาแฟดิบระหว่างปี 2558-2562 พบว่า มีการนำเข้าเมล็ดกาแฟดิบจากต่างประเทศเฉลี่ย 53,240 ตัน/ปี คิดเป็นมูลค่า 17.32 ล้านเหรียญสหรัฐ (สำนักการค้าสินค้า กรมเจรจาการค้าระหว่างประเทศ, 2563; สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2564) อย่างไรก็ตามทางเลือกหนึ่งในการแก้ปัญหาผลผลิตกาแฟไม่เพียงพอต่อความต้องการ คือ การส่งเสริมให้เกษตรปลูกกาแฟเพิ่มมากขึ้น เพื่อเป็นการเพิ่มพื้นที่การผลิต (กรมวิชาการเกษตร, 2562) ซึ่งจำเป็นต้องมีต้นกล้าที่สมบูรณ์ แข็งแรงที่อาจส่งผลต่อการเจริญเติบโต รวมถึงการให้ผลผลิตที่สูง โดยต้องอาศัยวิธีการขยายพันธุ์ที่มีประสิทธิภาพ

การขยายพันธุ์พืช เป็นการเพิ่มจำนวนต้นพืชด้วยวิธีการต่าง ๆ เพื่อการเพาะปลูกหรือใช้ประโยชน์อื่น ๆ เช่น การค้า การส่งเสริม หรือธุรกิจ เป็นต้น โดยการขยายพันธุ์พืชนั้นจัดว่ามีความสำคัญในการเพาะปลูกพืชทุกชนิดเนื่องจากเป็นขั้นตอนพื้นฐานของการทำเกษตร ซึ่งต้องเตรียมต้นพืชให้ได้จำนวนเพียงพอต่อความต้องการและทันต่อเวลาปลูก โดยต้นพืชนั้นต้องมีความสมบูรณ์แข็งแรงและได้มาตรฐานตรงตามความต้องการของตลาด (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2556)

สำหรับวิธีการขยายพันธุ์กาแฟอาราบิก้านั้น ส่วนใหญ่นิยมขยายพันธุ์โดยใช้เมล็ดเนื่องจากเป็นวิธีที่ง่าย สามารถผลิตต้นกล้าได้จำนวนมาก ต้นกล้าที่ได้มีความแข็งแรงสมบูรณ์ สามารถปรับตัว

กับสภาพแวดล้อมได้ดี และใช้ต้นทุนในการผลิตที่ต่ำ เมื่อเปรียบเทียบกับการขยายพันธุ์แบบวิธีอื่น (กรมวิชาการเกษตร, 2562; ณัฏฐากร, 2553; นันทิยา, 2542) การขยายพันธุ์โดยใช้เมล็ดพันธุ์นั้น ความงอก และความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์ เป็นองค์ประกอบของคุณภาพของเมล็ดพันธุ์ที่สำคัญที่สุด (นักสิทธิ์, 2556) หากเลือกใช้เมล็ดพันธุ์ที่ดีมีคุณภาพโดยเริ่มตั้งแต่มีความงอก และความแข็งแรงสูง ประกอบกับกรรมวิธีการผลิตกล้าที่ได้มาตรฐาน อาจลดระยะเวลาในการผลิตกล้าให้สั้นลง และช่วยลดภาระค่าใช้จ่ายได้ นอกจากนี้ยังเป็นการเพิ่มโอกาสในการผลิตกล้าให้ประสบความสำเร็จเพิ่มมากขึ้น สำหรับการงอกและความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์นั้นถูกควบคุมด้วยหลายปัจจัย ขนาดของเมล็ดพันธุ์เป็นอีกหนึ่งปัจจัย ซึ่งเป็นตัวบ่งชี้ทางกายภาพที่สำคัญของคุณภาพเมล็ดพันธุ์ ที่มีผลต่อการงอกและการเจริญเติบโตของพืช (นภาพร และพีระยศ, 2561) Chacón et al. (1998) รายงานว่า เมล็ดที่มีขนาดใหญ่มีเปอร์เซ็นต์การงอกมากกว่าเมล็ดขนาดเล็กถึง 50 เปอร์เซ็นต์ และต้นกล้าที่เกิดจากเมล็ดขนาดใหญ่ยังมีการสะสมน้ำหนักแห้งในส่วนของลำต้น ราก และใบสูง โดยทำการศึกษาในเมล็ด *Cryptocarya alba* (Lauraceae) นอกจากนี้ Samreen and Shaukat (2000) ได้รายงานว่า เปอร์เซ็นต์การงอกของเมล็ดผันแปรตามน้ำหนักเมล็ด โดยเมล็ดที่มีน้ำหนักมากจะมีเปอร์เซ็นต์การงอกสูง อีกทั้งยังมีการเจริญเติบโตของต้นกล้าที่ดีด้วยเช่นกัน อย่างไรก็ตามได้มีการศึกษาในเมล็ดพืชหลายชนิดก็ได้ผลการศึกษาที่สอดคล้องกัน แต่ยังไม่พบรายงานในเมล็ดพันธุ์กาแฟอาราบิก้า

ขณะเดียวกันขนาดของเมล็ดกาแฟอาราบิก้า มีลักษณะที่ผันแปรตามสภาพพื้นที่ปลูกที่มีความแตกต่างกันในหลายปัจจัย ทั้งภูมิประเทศ ภูมิอากาศ ความอุดมสมบูรณ์ของดิน (Muschler, 2001; Romero-Alvarado et al., 2002) วิชญ์ภาส และคณะ (2560) รายงานว่า กาแฟอาราบิก้าที่ปลูกภายใต้เรือนยอดป่าธรรมชาติให้คุณภาพของผลผลิตด้านน้ำหนักผลสด และความกว้างของผลมากกว่า ผลกาแฟจากพื้นที่ปลูกรูปแบบกลางแจ้ง และกาแฟที่ปลูกร่วมกับไม้ผล นอกจากนี้ กฤษณะ และคณะ (2562) รายงานว่า กาแฟอาราบิก้าที่ปลูกภายใต้เรือนยอดป่าธรรมชาติ ยังมีความผันแปรของน้ำหนักผลสด และขนาดความกว้าง ความยาว ความหนาของผล เนื่องจากการติดดอกและการพัฒนาของผลกาแฟอาราบิก้าขึ้นอยู่กับปัจจัยด้านแสงเป็นหลัก ซึ่งป่าธรรมชาตินั้นมีความหลากหลายและจำนวนของพันธุ์ไม้ รวมถึงขนาดความโต ความสูง และขนาดของเรือนยอดพันธุ์ไม้ที่แตกต่างกัน ทำให้เกิดความเป็นร่มเงาภายในแปลงปลูกกาแฟที่มีพันธุ์ไม้ปกคลุมอยู่ รวมถึงอินทรียวัตถุในดินที่เกิดจากการย่อยสลายของเศษซากกิ่งไม้ และใบไม้ (Morais et al., 2006; Mouen Bedimo et al. (2009) ดังนั้นการคัดเลือกเมล็ดพันธุ์กาแฟอาราบิก้า โดยใช้ขนาดของเมล็ดเป็นเกณฑ์การพิจารณาคุณภาพของเมล็ดพันธุ์ อาจเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่ทำได้ง่าย ไม่ต้องอาศัยเครื่องมือที่ซับซ้อน และช่วยให้การขยายพันธุ์กาแฟอาราบิก้ามีประสิทธิภาพมากขึ้น

นอกจากการคัดเลือกเมล็ดพันธุ์แล้ว กาแฟอาราบิก้ายังต้องอาศัยการจัดการ และการดูแลรักษาที่เหมาะสม เพื่อให้การเจริญเติบโตและผลผลิตเป็นไปตามความคาดหวังที่วางไว้ การตัดรากต้นกล้าก่อนย้ายปลูกก็เป็นอีกการจัดการรูปแบบหนึ่ง (Budiarto et al., 2019) ที่อาจเป็นการช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตและผลผลิตของของกาแฟอาราบิก้า เนื่องจากการตัดรากเป็นการกระตุ้นให้ต้นกล้าสร้างรากขึ้นมาใหม่ และมีปริมาณมากกว่าเดิม (Na et al., 2013) Ma et al. (2008) กล่าวว่า การตัดรากนั้นสามารถควบคุมการเจริญเติบโตของพืช ซึ่งนิยมทำในพืชไม้เนื้อแข็ง เช่น ไม้ผล ไม้ยืนต้น Vysotskay et al. (2001) รายงานว่า ฮอร์โมนออกซินที่สะสมอยู่ในพืช ซึ่งทำหน้าที่ยับยั้งการแตกตาข้างบริเวณส่วนของลำต้นและรากจะลดลงเมื่อพืชถูกตัดส่วนของปลายรากออก เนื่องจากฮอร์โมนออกซินส่วนใหญ่จะสังเคราะห์ และสะสมตรงบริเวณส่วนปลายยอด และปลายราก (Kurepa et al., 2018) จึงทำให้ฮอร์โมนไซโตไคนิน ซึ่งมีส่วนช่วยในการกระตุ้นการแตกตาข้างส่วนของลำต้นและรากของพืช ทำงานได้อย่างเต็มที่ ส่งผลให้พืชสร้างรากมากขึ้น ซึ่งปริมาณรากมีความสำคัญต่อการเจริญเติบโต รวมถึงการสร้างผลผลิตของกาแฟในบางลักษณะ จากการศึกษาของ Magesa et al. (2018) ได้ทำการศึกษาผลของปริมาณรากของต้นกล้ากาแฟต่อการเจริญเติบโตและผลผลิต พบว่าต้นกล้ากาแฟที่มีจำนวนรากมาก มีการเจริญเติบโตด้านความสูงต้น น้ำหนักแห้งต้น และความยาวของกิ่งที่ดีกว่าต้นกาแฟที่มีจำนวนรากที่น้อย อีกทั้งยังส่งผลต่อการให้ผลผลิตในด้านน้ำหนักที่สูงอีกด้วย ดังนั้นการศึกษาและพัฒนากระบวนการผลิตกล้ากาแฟอาราบิก้าให้ได้คุณภาพที่ดี ใช้ต้นทุนการผลิตต่ำ โดยการพิจารณาถึงปัจจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องในกระบวนการขั้นตอนการผลิตกล้า ตั้งแต่การคัดเลือกเมล็ดพันธุ์จนถึงการปฏิบัติดูแลรักษา โดยการนำเอาเทคนิควิธีการต่าง ๆ มาประยุกต์ใช้เพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตกล้าให้ดียิ่งขึ้น

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาผลของขนาดเมล็ดต่อการงอกและการเจริญเติบโตของต้นกล้ากาแฟอาราบิก้า
2. เพื่อศึกษาผลของการตัดรากก่อนย้ายปลูกต่อการเจริญเติบโตของต้นกล้ากาแฟอาราบิก้า

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ได้องค์ความรู้และแนวทางการผลิตกล้ากาแฟอาราบิก้า แก่เกษตรกร และผู้ที่สนใจในการผลิตกล้ากาแฟอาราบิก้า

บทที่ 2
ทบทวนเอกสาร

ประวัติความเป็นมา การแพร่กระจายพันธุ์ และ ความสำคัญของกาแฟอาราบิก้า

กาแฟอาราบิก้า มีถิ่นกำเนิดอยู่ในทวีปแอฟริกา ซึ่งเป็นพืชพื้นเมืองบนพื้นที่สูงของประเทศเอธิโอเปีย (Ellis, 1774) เมื่อประมาณปี ค.ศ. 850 ก่อนคริสต์ศักราช มีการสันนิษฐานว่าชาวแอฟริกาพื้นเมืองได้ค้นพบกาแฟและนำมาเป็นอาหาร โดยการสังเกตพฤติกรรมการกินของสัตว์ จึงนำมาทดลองบริโภคตาม พบว่า ผลกาแฟสุกมีรสหวาน ต่อมาได้ทดลองบริโภคส่วนของเมล็ดกาแฟและพบว่า เมื่อทำการบริโภคเมล็ดกาแฟแล้วรู้สึกสบายหายเหนื่อยจากอากาศร้อนหรือการเดินทางไกล เพราะกาแฟ มีฤทธิ์ช่วยกระตุ้นร่างกาย และได้มีการพัฒนานำเมล็ดกาแฟมาบดผสมไขมันสัตว์ปั้นเป็นก้อนไว้กินเป็นอาหาร นอกจากนี้ยังนำเมล็ดกาแฟบดมาผสมน้ำเป็นเครื่องดื่มอีกด้วย ต่อมากาแฟอาราบิก้าได้เริ่มเป็นที่รู้จักของคนทั่วไป และได้เริ่มมีการซื้อขาย แลกเปลี่ยน จนได้แพร่กระจายไปยังหลายประเทศ ซึ่งหนึ่งในนั้นคือประเทศไทย จากบันทึกของพระสารศาสตร์พลขันธ์ (นายเจรินี ชาวอิตาลี) กล่าวว่าประเทศไทยมีการนำกาแฟพันธุ์อาราบิก้าเข้ามาปลูกตั้งแต่ปี พ.ศ. 2393 แล้ว แต่ประสบปัญหาโรคราสนิม ส่งผลให้ต้นกาแฟโทรม และได้ผลผลิตต่ำ ทำให้เกษตรกรเลิกให้ความสนใจ เนื่องจากไม่สามารถแก้ไขปัญหาเรื่องโรคราสนิมได้ จึงปล่อยให้สวนกาแฟรกร้าง และเลิกปลูกกันเป็นส่วนมาก ต่อมาได้มีการศึกษาวิจัย และพัฒนาการปลูกกาแฟอาราบิก้าบนพื้นที่สูงอย่างจริงจัง ซึ่งเกิดจากพระราชดำรัสของในหลวงรัชกาลที่ 9 ครั้งที่พระองค์ได้ทรงเสด็จมาทอดพระเนตรความเป็นอยู่ของเกษตรกรบนพื้นที่สูง พบว่า เกษตรกรบนพื้นที่สูงมีการปลูกฝิ่น และบุกรุกทำลายป่าเพื่อทำการเกษตร ด้วยเหตุนี้พระองค์จึงได้มีรับสั่งให้ โครงการหลวงจัดหาพืชที่สามารถนำมาปลูกทดแทนฝิ่น และสามารถปลูกร่วมกับป่าเพื่อลดการบุกรุกทำลายป่า อีกทั้งยังเป็นพืชที่สามารถสร้างรายได้ให้แก่เกษตรกรบนพื้นที่สูงได้ ต่อมาพระองค์ทรงทราบว่า มีพืชที่สามารถนำมาส่งเสริมให้เกษตรกรบนพื้นที่สูงปลูกทดแทนได้ คือ กาแฟอาราบิก้า พระองค์จึงได้เสด็จมาทอดพระเนตร และได้ตรัสให้กาแฟอาราบิก้าเป็นพืชที่ใช้ส่งเสริมให้เกษตรกรบนพื้นที่สูงปลูก จึงได้มาเป็นกาแฟอาราบิก้าที่เห็นอยู่ทุกวันนี้ (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2557; ภีศเดช, 2551)

ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของกาแฟอาราบิก้า

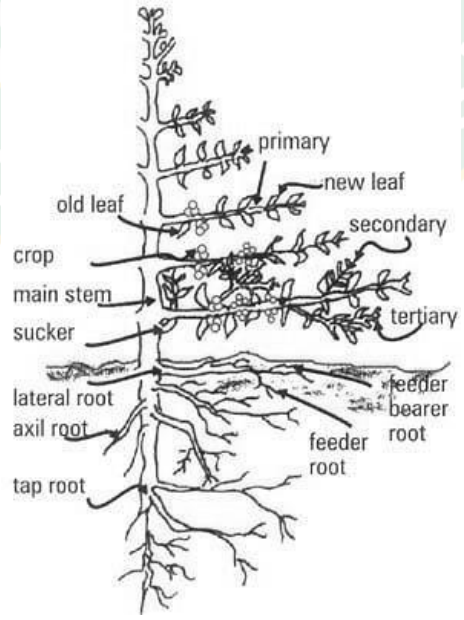
กาแฟอาราบิก้ามีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Coffea arabica* L. อยู่ในวงศ์ Rubiaceae เป็นไม้ยืนต้นไม่ผลัดใบ (evergreen) สามารถเจริญเติบโตได้ดีในเขตร้อนชื้นและเขตหนาว โดยมีอุณหภูมิอยู่ที่ 15 ถึง 26 องศาเซลล์เซียส และมีความสูงจากระดับน้ำทะเลตั้งแต่ 1,000 เมตร ขึ้นไป หรือบริเวณบนเขาแถบภาคเหนือของประเทศไทย (ปรัชญา, 2537; สมศักดิ์, 2545) ลักษณะต้นเป็นทรงพุ่มสูงประมาณ 15 เมตร ในกรณีที่ไม่มีการตัดแต่งทรงพุ่ม และมีส่วนประกอบต่าง ๆ ดังนี้

1. ราก (root)

รากของกาแฟอาราบิก้าประกอบไปด้วยรากแก้ว (tap root) มีลักษณะอ้วนสั้น ความยาวไม่เกิน 45 เซนติเมตร และมีรากแขนง (lateral root) แตกออกมาจากด้านข้างประมาณ 4-8 ราก หยั่งลึกลงไปในดิน 2-3 เมตร และมีรากฝอย (fibrous root) กับรากดูดอาหาร (feeder roots) ดังภาพที่ 1

2. ลำต้น (stem)

ลำต้นของกาแฟอาราบิก้ามีลักษณะที่ตั้งตรง เป็นข้อปล้อง มีการแตกกิ่งแยกออกจากกันและอยู่ตรงข้ามกันแบ่งออกเป็นกิ่งตั้ง (orthotropic) และกิ่งนอน (plagiotropic) ดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 ลักษณะทางกายภาพของรากและลำต้นของกาแฟอาราบิก้า

3. ใบ (leaf)

ใบของกาแฟอาราบิก้าเกิดที่ข้อปล้องของกิ่ง เรียงตัวเป็นคู่ตรงข้ามกัน ลักษณะเป็นใบเดี่ยว ก้านใบสั้น โคนใบและปลายใบเรียวแหลมขนาดใบกว้าง 5-6 เซนติเมตร ยาว 5-20 เซนติเมตร ผิวใบด้านบนมีสีเขียวเข้มมันเงา ด้านใต้เป็นสีเขียวอ่อน (ภาพที่ 2)

ภาพที่ 2 ลักษณะทางกายภาพของใบและดอกของกาแฟอาราบิก้า

4. ดอก (flower)

ดอกของกาแฟอาราบิก้าเป็นดอกสมบูรณ์เพศที่มีเกสรตัวผู้และตัวเมียอยู่ในดอกเดียวกัน ลักษณะดอกมีสีขาว มีกลีบดอก 5 กลีบ กลีบเลี้ยง 5 กลีบ และมีเกสรตัวผู้ 5 อัน รังไข่มี 2 ห้อง แต่ละห้องมีไข่ 1 ใบ เกิดตรงบริเวณตาของกิ่ง (ภาพที่ 2) ซึ่งตาดอกเกิดช่วงหน้าแล้ง หลังจากนั้นตาดอกเริ่มพัฒนาเป็นดอกโดยสมบูรณ์เมื่อได้รับน้ำฝนตอนต้นฤดู โดยดอกจะบานอย่างต่อเนื่อง 8-12 วัน เมื่อดอกได้รับการผสมเกสรที่เกิดจากแรงโน้มถ่วงของโลก หรือโดยลมและแมลง ดอกจะเริ่มเหี่ยวและร่วงเหลือแต่รังไข่ที่จะพัฒนากลายเป็นผลกาแฟต่อไป ซึ่งโดยปกติแล้วกาแฟจะออกดอกตั้งแต่เดือนพฤศจิกายนถึงเมษายน (อักษร และพงษ์ศักดิ์, 2537)

5. ผลและเมล็ด (fruits)

ผลของกาแฟอาราบิก้าเป็นผลเดี่ยวรูปร่างกลมรี มีสีเขียวเมื่อผลยังไม่สุกแก่และเริ่มเปลี่ยนเป็นสีแดงเมื่อสุขแก่พร้อมเก็บเกี่ยวเรียกว่า “ผลเชอร์รี่ หรือ ผลสด” โดยปกติแล้วภายในผลเชอร์รี่ 1 ผล ประกอบไปด้วยเมล็ดจำนวน 2 เมล็ด เรียกว่า เมล็ดกาแฟกะลา (parchment coffee) มีลักษณะด้านหนึ่งโค้ง ด้านหนึ่งเรียบและมีร่องตรงกลาง ด้านเรียบของเมล็ดทั้งสองด้านจะหันหน้า

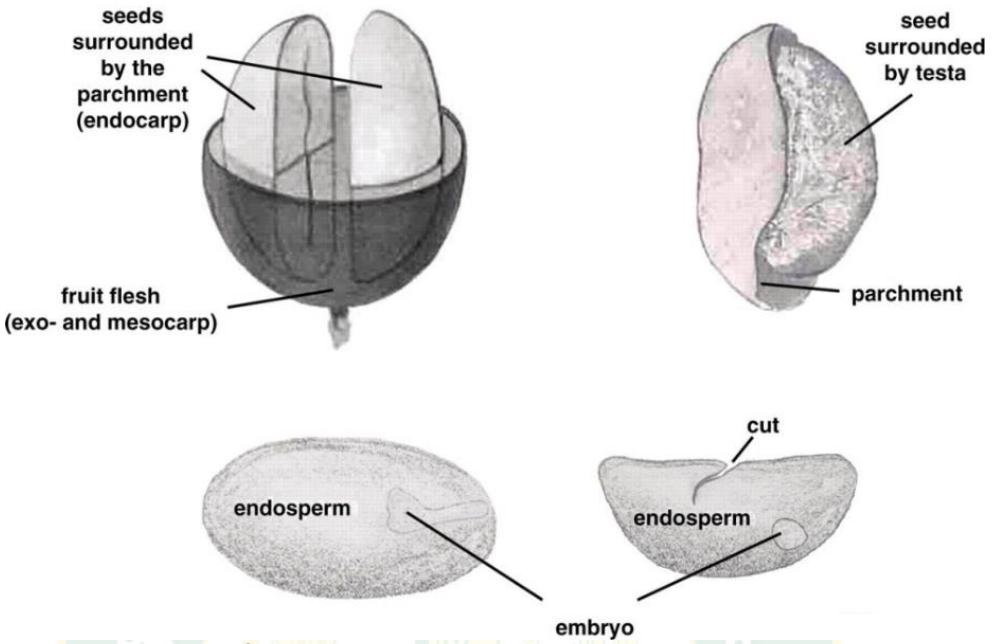
เข้าหากันและประกบกัน และเมื่อกะเทาะส่วนกะลาออกจะพบส่วนของเมล็ดที่เรียกว่า สารกาแฟ (coffee bean) ซึ่งเป็นส่วนที่ใช้ประโยชน์ (ภาพที่ 3)

สำหรับการพัฒนาของผลกาแฟอาราบิก้านั้นเกิดขึ้นหลังจากที่ดอกได้รับการผสมเกสรแล้ว โดยผลมีการขยายขนาดเพิ่มขึ้น พร้อมกับขนาดของเมล็ดและเอ็มบริโอ Eira et al. (2006) อธิบายว่า ในช่วงเริ่มต้นของการพัฒนา ผลกาแฟมีปริมาณน้ำในเมล็ดประมาณ 80 เปอร์เซ็นต์ (น้ำหนักสด) และลดลงในระหว่างการพัฒนาของผล โดยเอ็มบริโอและเมล็ดหยุดพัฒนาหลังจากเมล็ดเริ่มพัฒนาแล้ว 225 วัน ขณะที่ในส่วนของเนื้อเมล็ด ยังคงมีการพัฒนาไปอย่างต่อเนื่อง Castro and Marraccini (2006) รายงานว่า กาแฟอาราบิก้าใช้ระยะเวลา 6-8 เดือน ผลจึงพัฒนาจนสุกแก่เต็มที่

ในส่วนของขนาดเมล็ดกาแฟอาราบิก้านั้นมีลักษณะที่ผันแปรไปตามสภาพพื้นที่ปลูก ซึ่งมีความแตกต่างกันในหลายปัจจัยทั้งด้านภูมิประเทศ ภูมิอากาศ ความอุดมสมบูรณ์ของดิน รวมถึงปัจจัยด้านแสง (Moraris et al., 2006; Mouen Bedimo et al., 2009; Muschler, 2001; Romero-Alvarado et al., 2002)

วิชญ์ภาส และคณะ (2560) ได้ศึกษาความผันแปรของขนาดเมล็ดกาแฟอาราบิก้าภายใต้การปลูกรูปแบบต่าง ๆ โดยทำการสุ่มเก็บเมล็ดกาแฟผลสดจากแปลงปลูกกาแฟอาราบิก้า ในพื้นที่ปลูกกาแฟที่แตกต่างกัน 5 รูปแบบ ได้แก่ พื้นที่ปลูกกาแฟร่วมกับไม้ผลเมืองหนาว พื้นที่ปลูกกาแฟร่วมแบบผสมผสานกับไม้ยืนต้น พื้นที่ปลูกกาแฟเชิงเดี่ยว และพื้นที่ปลูกกาแฟร่วมกับป่าธรรมชาติ พบว่า กาแฟที่ปลูกภายใต้รูปแบบที่แตกต่างกันมีขนาดและน้ำหนักของเมล็ดที่ผันแปรแตกต่างกันออกไป และยังมีความผันแปรของขนาดเมล็ดภายในรูปแบบการปลูกเดียวกันอีกด้วย ซึ่งส่วนใหญ่แล้วกาแฟที่ปลูกภายใต้เรือนยอดป่าธรรมชาติ มีน้ำหนักเมล็ดผลสด ผลแห้ง และความกว้างผลมากกว่าผลกาแฟจากพื้นที่ปลูกภายใต้รูปแบบอื่น

กฤษณะ และคณะ (2562) ได้ศึกษาคุณภาพด้านขนาดของเมล็ดกาแฟอาราบิก้าที่ปลูกภายใต้สภาพป่าฟื้นฟูต่างกัน 3 ระยะ ได้แก่ ป่าฟื้นตัวระยะเริ่มต้น ระยะกลาง และระยะพัฒนา ซึ่งป่าในแต่ละระยะมีความหลากหลายทางชีวภาพและจำนวนชนิดพันธุ์ไม้ที่แตกต่างกัน และพบว่า กาแฟที่ปลูกภายใต้ป่าฟื้นตัวทั้ง 3 ระยะ มีความผันแปรด้านขนาดและน้ำหนักเมล็ด นอกจากนี้ยังมีความผันแปรของขนาดเมล็ดภายในป่าระยะเดียวกัน ซึ่งส่วนใหญ่แล้วกาแฟที่ปลูกภายใต้ป่าฟื้นตัวระยะกลาง มีขนาดและน้ำหนักเมล็ดมากกว่าเมล็ดกาแฟจากป่าฟื้นตัวระยะอื่น เนื่องจากป่าที่กำลังฟื้นฟูตามธรรมชาติตามระยะของกระบวนการทดแทนที่ต่างกัน มีความหลากหลายในส่วนของชนิดและขนาดเส้นรอบวงของชนิดไม้ที่แตกต่างกันออกไปในแต่ละพื้นที่ ส่งผลให้เกิดความเป็นร่มเงาภายในพื้นที่ที่แตกต่างกัน ซึ่งผลผลิตด้านขนาดเมล็ดกาแฟผันแปรไปตามระดับความเข้มของร่มเงา โดยกาแฟอาราบิก้าที่ปลูกภายใต้พื้นที่ที่มีระดับความเข้มของร่มเงาสูง เมล็ดกาแฟจะมีขนาดใหญ่ (Muschler, 2001; ธีรานนท์ และคณะ, 2564)



ภาพที่ 3 ลักษณะทางกายภาพของเมล็ดกาแฟอาราบิก้า

ที่มา: Kleinwaechter et al. (2015)

5.1 สารสำคัญในเมล็ดกาแฟอาราบิก้า

เมล็ดกาแฟอาราบิก้าประกอบไปด้วยสารสำคัญหลายชนิด ได้แก่ โปรตีน คาร์โบไฮเดรต ลิปิด แทนนิน โพลีฟีนอล คาเฟอีน และธาตุอาหารต่าง ๆ โดยธาตุอาหาร ได้แก่ โพแทสเซียม แมกนีเซียม แคลเซียม โซเดียม และเหล็ก เป็นต้น (Sharma, 2020) สำหรับกลุ่มของคาร์โบไฮเดรต ได้แก่ sucrose, glucose, fructose, arabinose, galactose และ mannose เป็นต้น (Wei et al., 2010)นอกจากนี้ยังพบสารกลุ่มโปรตีน จำพวกกรดอะมิโน เช่น alanine, arginine, asparagine, cysteine, glutamic acid, glycine, histidine, isoleucine, leucine, lysine, methionine, phenylalanine, proline, serine, threonine, tyrosine และ valine เป็นต้น (Ky et al., 2001)

5.2 การแบ่งเกรดเมล็ดกาแฟอาราบิก้า

สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ (2561) ได้ประกาศมาตรฐานสินค้าเกษตรเรื่อง เมล็ดกาแฟอาราบิก้า โดยมีรายละเอียดเกี่ยวกับเกณฑ์ที่ใช้ในการแบ่งเกรดของเมล็ดกาแฟอาราบิก้า ซึ่งใช้ความกว้างของเมล็ดกาแฟกะลาเป็นเกณฑ์ในการแบ่งเกรด ได้แก่ เมล็ดกาแฟกะลาที่มีความกว้าง ≥7.14 มิลลิเมตร เป็นเกรด 1 เมล็ดกาแฟกะลาที่มีความกว้าง 6.75 -<7.14 มิลลิเมตร เป็นเกรด 2 เมล็ดกาแฟกะลาที่มีความกว้าง 6.35- <6.75 มิลลิเมตร

เป็นเกรด 3 เมล็ดกาแฟกะลาที่มีความกว้าง 5.95 -<6.35 มิลลิเมตร เป็นเกรด 4 เมล็ดกาแฟกะลาที่มีความกว้าง 5.56 -<5.59 มิลลิเมตร เป็นเกรด 5เมล็ดกาแฟกะลาที่มีความกว้าง 4.76 -<5.56 มิลลิเมตร เป็นเกรด 6 และเมล็ดกาแฟกะลาที่มีความกว้าง <4.76 มิลลิเมตร เป็นเกรด 7

นอกจากนี้ได้มีการแบ่งเกรดของเมล็ดกาแฟอาราบิก้า โดยใช้ความกว้างของสารกาแฟ สีของสารกาแฟ และความสมบูรณ์ของเมล็ด เป็นเกณฑ์ในการแบ่งเกรด ได้แก่ สารกาแฟมีสีเขียว และมีความกว้างของสารกาแฟ >5.5 มิลลิเมตร เป็นเกรด A สารกาแฟมีสีเขียวอ่อน และมีความกว้างของสารกาแฟ >5.5 มิลลิเมตร เป็นเกรด X สารกาแฟมีความกว้างของสารกาแฟ <5.5 มิลลิเมตร และเมล็ดมีการแตกหัก เป็นเกรด Y และสารกาแฟมีความกว้างของสารกาแฟ <5.5 มิลลิเมตร และเมล็ดมีการแตกหักมาก เป็นเกรด YY

การขยายพันธุ์กาแฟอาราบิก้า

1. ความหมายและความสำคัญของการขยายพันธุ์

การขยายพันธุ์พืช หมายถึง การเพิ่มจำนวนต้นพืชด้วยวิธีการต่าง ๆ เช่น การใช้เมล็ด การตอนกิ่ง การปักชำการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ เป็นต้น เพื่อใช้ในการเพาะปลูก หรือใช้ประโยชน์ด้านการค้า และธุรกิจ การขยายพันธุ์พืชจัดว่ามีความสำคัญในการเพาะปลูกพืชทุกชนิด เนื่องจากเป็นขั้นตอนพื้นฐานของการทำเกษตร ซึ่งต้องเตรียมต้นพืชให้ได้จำนวนเพียงพอต่อความต้องการ และทันต่อเวลาปลูก โดยต้นพืชนั้นต้องมีความสมบูรณ์แข็งแรงและได้มาตรฐานตรงตามความต้องการของตลาด (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2556) นอกจากนี้การขยายพันธุ์พืชยังเป็นการดำรงสายพันธุ์พืชไว้ไม่ให้สูญพันธุ์ เพื่อเป็นประโยชน์ของมวลมนุษยชาติต่อไป (จิรา, 2541)

สำหรับการขยายพันธุ์กาแฟอาราบิก้าสามารถขยายพันธุ์ได้หลายวิธี โดยกรมวิชาการเกษตร (2562) ได้จำแนกการขยายพันธุ์ของกาแฟอาราบิก้าออกเป็น 2 ประเภท คือ การขยายพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศ (asexual propagation) เป็นวิธีการขยายพันธุ์กาแฟโดยใช้ส่วนต่าง ๆ ของลำต้นพืชมาขยายพันธุ์ด้วยวิธีต่าง ๆ เช่น การปักชำ (cutting) การเสียบยอด (cleft grafting) การเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ (tissue culture) และการขยายพันธุ์แบบอาศัยเพศ (sexual propagation) เป็นวิธีการขยายพันธุ์กาแฟโดยใช้เมล็ด

ณัฏฐากร (2553) ได้อธิบายข้อดีของการขยายพันธุ์พืชแบบไม่อาศัยเพศ คือ ต้นกล้าที่คงลักษณะเดิมของต้นแม่ไว้ นอกจากนี้ต้นกล้ามีการเจริญเติบโตและให้ผลผลิตได้เร็ว เนื่องจากท่อนพันธุ์ที่นำมาใช้อยู่ในระยะเต็มวัยพร้อมออกดอกติดผล ส่วนข้อเสีย คือ เป็นวิธีที่ยุ่งยากใช้ต้นทุนสูง และต้องอาศัยประสบการณ์ความรู้ ความชำนาญในการขยายพันธุ์ นอกจากนี้ต้นกล้ายังเสี่ยงต่อการเกิดโรคได้ โดยเฉพาะโรคที่เกิดจากเชื้อไวรัส ส่วนการขยายพันธุ์แบบอาศัยเพศ หรือการขยายพันธุ์โดยใช้เมล็ด ข้อดี คือ ทำได้ง่าย ใช้ต้นทุนต่ำ สามารถผลิตต้นกล้าได้จำนวนมาก นอกจากนี้ต้นกล้ายังมีระบบรากดี มีรากแก้ว เพื่อช่วยในการยึดเกาะให้พืชทรงตัวได้ดีไม่หักล้มง่าย โดยเฉพาะในพืชกลุ่มไม้ผลและไม้ยืนต้น ส่วนข้อเสีย คือ ต้นพืชให้ผลผลิตช้า เนื่องจากต้องรอให้ต้นกล้าเจริญเติบโตจนถึงระยะเต็มวัย (mature stage) ก่อนจึงสามารถให้ผลผลิตได้ อย่างไรก็ตามได้มีรายงานจากกรมส่งเสริมการเกษตร (2556) ว่าการขยายพันธุ์กาแฟอาราบิก้าโดยส่วนใหญ่แล้วเกษตรกรนิยมขยายพันธุ์ด้วยเมล็ด และเมล็ดพันธุ์ที่นำมาเพาะนั้นเป็นเมล็ดพันธุ์ที่เกษตรกรได้เก็บรวบรวมเอง เนื่องจากกาแฟอาราบิก้าเป็นพืชที่ผสมตัวเอง ดังนั้นต้นกล้าที่ได้จะมีลักษณะที่ไม่แตกต่างไปจากต้นแม่พันธุ์มากนัก

2. วิธีการขยายพันธุ์กาแฟอาราบิก้าโดยใช้เมล็ด

ขั้นตอนในการขายพันธุ์กาแฟโดยใช้เมล็ดจากคำแนะนำของ กรมวิชาการเกษตร (2562) และกรมส่งเสริมการเกษตร (2557) มีวิธีการดังต่อไปนี้

2.1 การเตรียมเมล็ดพันธุ์ โดยเมล็ดพันธุ์ที่นำมาเพาะนั้นใช้เมล็ดกาแฟกะลา ซึ่งได้จากการแปรรูปผลกาแฟเชอร์รี่เป็นเมล็ดกาแฟกะลาด้วยกรรมวิธีแบบเปียก (wet processing) และผึ่งในที่ร่มเพื่อลดความชื้นในเมล็ดเท่านั้น เพื่อป้องกันไม่ใช้เมล็ดสูญเสียความมีชีวิต

2.2 การเพาะเมล็ดกาแฟ โดยทั่วไปแล้วทำการเพาะเมล็ดในวัสดุเพาะทรายผสมขี้เถ้าแกลบอัตราส่วน 1:1 และเพาะเมล็ดแบบเป็นแถว โดยใช้ไม้กดลงบนแปลงเพาะเป็นร่องเล็ก ๆ จากนั้นนำเมล็ดกาแฟกะลามาวางเรียงเป็นแถว ให้ด้านราบของเมล็ดสัมผัสกับพื้นร่อง ระยะห่างระหว่างร่อง 10 เซนติเมตร และระยะห่างระหว่างเมล็ดกาแฟ 1 เซนติเมตร แล้วกลบด้วยวัสดุเพาะที่เหลือหนา 1 เซนติเมตร สำหรับโรงเรือนที่ใช้ในการเพาะเมล็ดนั้นต้องเป็นโรงเรือนที่มีการพลางแสงอย่างน้อย 50 เปอร์เซ็นต์ และมีการคลุมพลาสติกกันฝน เพื่อป้องกันการเกิดโรคในกล้ากาแฟ ในการปฏิบัติดูแลนั้นทำการรดน้ำทุก ๆ เช้า และเย็น

2.3 หลังจากเมล็ดงอกและเจริญเติบโตจนถึงระยะปีกผีเสื้อ หรืออายุประมาณ 60-75 วัน หลังการเพาะ ทำการย้ายต้นกล้าลงถุงเพาะขนาด 3 x 9 นิ้ว บรรจุด้วยดินปลูกผสมปุ๋ยคอก อัตราส่วน 2:1 (ไม่ควรย้ายกล้าในระยะใบจริง เนื่องจากจะทำให้ต้นกล้าชะงักการเจริญเติบโต และมีอัตราการรอดตายต่ำ ในการปฏิบัติดูแลนั้นทำการรดน้ำทุก ๆ เช้า และเย็น

2.4 เมื่อต้นกล้าพร้อมสำหลับการย้ายปลูกหรืออายุ 6-14 เดือน ซึ่งลักษณะของต้นกล้าที่เหมาะสมในการย้ายปลูกลงแปลง คือ มีใบจริง 6-8 คู่ใบ ลำต้นตั้งตรงมีความสูงอย่างน้อย 20 เซนติเมตร รากสมบูรณ์ไม่คดงอมากเกินไป และกล้าปราศจากโรคแมลง

3. เทคนิคการขยายพันธุ์กาแฟโดยใช้เมล็ด

การขยายพันธุ์กาแฟโดยใช้เมล็ดนั้น เมล็ดพันธุ์ ถือเป็นปัจจัยพื้นฐานที่สำคัญในการผลิตกล้าให้ได้ต้นกล้าที่มีคุณภาพ และมีความสมบูรณ์ แข็งแรง การเพาะกล้ากาแฟโดยเลือกใช้เมล็ดพันธุ์ที่มีคุณภาพเริ่มตั้งแต่มีความงอก และความแข็งแรงที่สูง อาจลดระยะเวลาในการผลิตกล้าให้สั้นลง และช่วยลดภาระค่าใช้จ่ายได้ นอกจากนี้ยังเป็นการเพิ่มโอกาสในการผลิตกล้าให้ประสบความสำเร็จเพิ่มมากขึ้น (ธัญญา, 2554; นภาพร และพีระยศ, 2561; นักสิทธิ์, 2556) อย่างไรก็ตามการงอกและความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์นั้นถูกควบคุมด้วยหลายปัจจัย ขนาดของเมล็ดพันธุ์ (seed size) เป็นอีกหนึ่งปัจจัย ซึ่งเป็นตัวบ่งชี้ทางกายภาพที่สำคัญของคุณภาพเมล็ดพันธุ์ ที่มีผลต่อการงอกและการเจริญเติบโตในพืชหลายชนิด (Bremner et al., 1963)

ขนาดและน้ำหนักของเมล็ดสัมพันธ์กับ น้ำหนักของเอนโดสเปิร์ม ซึ่งทำหน้าที่ในการสะสมอาหารและสนับสนุนการเจริญเติบโตของต้นอ่อนหรือเอ็มบริโอ (Zhang and Maun, 1993) นอกจากนี้ Díaz et al. (2015) รายงานว่า ขนาดเมล็ดมีความเกี่ยวข้องโดยตรงกับปริมาณของเอนโดสเปิร์มและยังเกี่ยวข้องกับการงอกของเมล็ด โดยจากการศึกษาเมล็ดพันธุ์ของพืชวงศ์ Brassicaceae (*Lepidium sativum* และ *Brassica rapa*) ซึ่งเป็นกลุ่มเมล็ดที่มีเอนโดสเปิร์ม และวงศ์ Fabaceae (*Crotalaria pumila* และ *Medicago sativa*) ซึ่งเป็นกลุ่มเมล็ดที่ไม่มีเอนโดสเปิร์ม จากการศึกษาพบว่า เมล็ดพันธุ์พืชทั้ง 2 วงศ์ ที่มีขนาดใหญ่มีเปอร์เซ็นต์การงอกสูงกว่าเมล็ดขนาดเล็ก และยังสามารถงอกได้เร็วกว่าด้วยเช่นกัน ขณะเดียวกัน Corby et al. (2011) รายงานว่า น้ำหนักเมล็ดของพืชวงศ์ Fabaceae มีความสัมพันธ์กับปริมาณไนโตรเจนของเมล็ด โดยปริมาณไนโตรเจนของเมล็ดจะสูงขึ้นตามน้ำหนักเมล็ด นอกจากนี้ Chacón et al. (1998) ได้ศึกษาผลของขนาดเมล็ดต่อการงอกและการเจริญเติบโตของต้นกล้า *Cryptocarya alba* (Lauraceae) โดยแบ่งขนาดเมล็ดออกเป็น 3 ขนาด ได้แก่ เมล็ดขนาดใหญ่ (ความยาวเมล็ด >16 มิลลิเมตร) ขนาดกลาง (ความยาวเมล็ด 12-15.9 มิลลิเมตร) และขนาดเมล็ด (ความกว้างเมล็ด <12 มิลลิเมตร) พบว่า เมล็ดขนาดใหญ่มีเปอร์เซ็นต์การงอกสูงกว่าเมล็ดขนาดอื่น นอกจากนี้ต้นกล้าที่เกิดจากเมล็ดขนาดใหญ่เจริญเติบโตเร็วและมีการสะสมมวลชีวภาพในส่วนของราก ลำต้น และใบ สูงอีกด้วย นอกจากนี้ Vera (1997) รายงานว่า เมล็ดขนาดใหญ่ไม่เพียงแต่งอกดีเท่านั้น แต่ยังมีอัตราการรอดตายของต้นกล้าสูงกว่าเมล็ดขนาดเล็กอีกด้วย ซึ่งได้ศึกษาในเมล็ด *Calluna Vulgaris*, *Erica Cinerea* และ *Erica Vagans*

และนอกจากนี้ยังมีการศึกษาอิทธิพลของขนาดเมล็ดในกลุ่มของเมล็ดพืชที่เป็นใบเลี้ยงเดี่ยว เช่น ข้าวโพด โดยจากการศึกษาของ ธีระศักดิ์ และบุญมี (2554) ได้ทำการศึกษาผลของขนาดเมล็ดต่อความงอกและการเจริญเติบโตของตนกล้าข้าวโพด โดยแบ่งขนาดของเมล็ดข้าวโพดเป็น 3 ขนาด ตามขนาดของเครื่องคัดเกรดเมล็ดข้าวโพด คือ เมล็ดขนาดใหญ่ (ขนาด 20/64 นิ้ว) กลาง (ขนาด 16/64 นิ้ว) และเล็ก (ขนาด 14/64 นิ้ว) พบว่า เมล็ดขนาดใหญ่มีการงอกไม่แตกต่างจากเมล็ดขนาดกลางและขนาดเล็ก แต่เมื่อทดสอบความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์โดยผ่านการเร่งอายุ พบว่า เมล็ดขนาดใหญ่กลับมีการงอกสูงกว่าเมล็ดขนาดอื่น ๆ นอกจากนี้ต้นกล้าที่เกิดจากเมล็ดขนาดใหญ่ยังมีความสูงต้น ความยาวรากมากที่สุด และระยะเวลาในการคลี่ใบที่ไวกว่าต้นกล้าที่เกิดจากเมล็ดขนาดเล็ก

การงอกและเจริญเติบโตของกาแฟอาราบิก้า

1. การงอกของเมล็ดกาแฟอาราบิก้า

การงอกของเมล็ด หมายถึง การเจริญเติบโตและการพัฒนาของต้นอ่อน หรือเอมบริโอ (embryo) ที่อยู่ภายในเมล็ด โดยต้องอาศัยปัจจัยพื้นฐานที่เหมาะสมสำหรับการงอก ได้แก่ น้ำหรือความชื้น ออกซิเจน อุณหภูมิ และแสง เป็นต้น (Steinbrecher and Leubner-Metzger, 2017) ซึ่งในเมล็ดกาแฟต้องอาศัยปัจจัยดังกล่าวด้วยเช่นกัน เมล็ดกาแฟอาราบิก้าต้องใช้ระยะเวลาในการงอก 50-60 วัน หลังจากเพาะเมล็ด จึงจะพร้อมสำหรับการย้ายปลูกลงถุงเพาะและดูแลต่อไป ซึ่งในช่วง 10-15 วันแรกหลังจากเพาะเมล็ด เมล็ดกาแฟจะเริ่มปรากฏส่วนของรากแรก (radicle) หลังจากนั้นไฮโปคอติล (hypocotyl) จะงอกและเจริญยืดยาวตามอย่างรวดเร็ว ดึงส่วนของใบเลี้ยง (cotyldon) กับเอพิคอทิล (epicotyl) ขึ้นมาเหนือดินจึงถือได้ว่าเป็นการงอกของเมล็ดกาแฟที่สมบูรณ์ โดยใช้ระยะเวลาประมาณ 40-55 วัน หลังจากรากแรกเริ่มปรากฏ ซึ่งเป็นลักษณะการงอกแบบชูใบเลี้ยงขึ้นมาเหนือดิน (epigeal germination) (Eira et al., 2006; วันชัย, 2553)

2. ระยะการเจริญเติบโตของกาแฟอาราบิก้า

การเจริญเติบโตของกาแฟอาราบิก้าในระยะกล้าจากรายงานของ อักษร และพงษ์ศักดิ์ (2537) สามารถแบ่งได้เป็น 4 ระยะ ดังนี้

2.1 ระยะหัวไม้ขีด (hooked stage) พบที่อายุ 45-60 วัน หลังจากเพาะเมล็ด ซึ่งเมล็ดกาแฟจะมีลักษณะการงอกที่ชูใบเลี้ยงขึ้นมาเหนือดิน (epigeal germination) โดยส่วนรากอ่อนจะงอกโผล่พ้นเมล็ดและเจริญสู่พื้นดิน จากนั้นส่วนของลำต้นเจริญและยืดยาวโผล่พ้นดินพร้อมกับส่วนของเมล็ด

2.2 ระยะปีกผีเสื้อ (butterfly stage) พบที่อายุ 60-75 วัน หลังจากเพาะเมล็ด โดยส่วนของเมล็ดที่โผล่พ้นพื้นดินพัฒนาเป็นใบเลี้ยง (cotyledon) จำนวน 2 ใบ คู่กัน มีลักษณะคล้ายรูปหัวใจ ซึ่งทำหน้าที่สะสมอาหารเพื่อเลี้ยงต้นอ่อน

2.3 ระยะใบจริง (true leaf stage) พบที่อายุกล้าตั้งแต่ 75 วัน หลังจากเพาะเมล็ด โดยใบจริงจะขึ้นแทรกกลางระหว่างใบเลี้ยง ในช่วงแรกเกิดเป็นตุ่มและเริ่มพัฒนาจนเห็นเป็นรูปร่างใบอย่างชัดเจน ซึ่งในช่วงแรกนั้นใบจริงปรากฏเพียงแค่ 2 ใบ

2.4 ระยะต้นกล้าพร้อมย้ายไปปลูก 180-365 วัน หลังจากเพาะเมล็ด ลักษณะของต้นกล้าที่เหมาะสมในการย้ายปลูกลงแปลง คือ มีใบจริง 6-8 คู่ใบ ลำต้นตั้งตรงมีความสูงอย่างน้อย 20 เซนติเมตร (กรมวิชาการเกษตร, 2562; กรมส่งเสริมการเกษตร, 2557)

การเจริญเติบโตของกาแฟอาราบิก้าและปัจจัยที่เกี่ยวข้อง

1. พันธุกรรม

พันธุกรรมเป็นปัจจัยพื้นฐานที่ทำหน้าที่ควบคุมและกำหนดการแสดงออกต่าง ๆ ของพืช เช่น รูปทรงต้น ความสูง ลักษณะใบ ลักษณะดอก รูปทรงผล รวมถึงคุณภาพของผลผลิต เช่น ขนาดผลผลิต และสารสำคัญ เป็นต้น (Marie et al., 2020) โดยลักษณะที่แสดงออกจะถูกควบคุมด้วยหน่วยพันธุกรรม ที่เรียกว่า ยีน (genes) ซึ่งประกอบด้วย DNA ซึ่งเป็นตัวกำหนดและควบคุมให้พืชมีการเจริญเติบโตและพัฒนาการ โดยการกระตุ้นให้มีการสร้างสารที่จำเป็น หรือเกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโตและพัฒนาการของพืช โดยสารเหล่านี้เรียกว่าสารควบคุมการเจริญเติบโต (plant growth regulators) มีบทบาทต่อพืช แบ่งได้เป็น 2 รูปแบบ ได้แก่ กระตุ้นหรือเร่งการเจริญเติบโตและพัฒนาการ (growth promoters) และยับยั้งหรือชะลอการเจริญเติบโตและพัฒนาการ (growth inhibitors) ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับการพิจารณาถึงบทบาท ซึ่ง สามารถแบ่งออกได้ดังนี้ (Clouse, 2017; นิตย์ศรี, 2551)

กลุ่มออกซิน (auxins) เป็นสารที่มีบทบาทอย่างมากในการกระตุ้นการเจริญเติบโตและพัฒนาการของพืช ในส่วนของลำต้น ราก และยังรวมไปถึงการออกดอก การติดผล การเจริญของผลและเมล็ด นอกจากนี้ออกซินยังเกี่ยวข้องกับการยับยั้งการแตกตาข้าง ในธรรมชาติของพืชจะมีการสร้างออกซิน หรือ Indole acetic acid (IAA) บริเวณเนื้อเยื่อเจริญของปลายยอดและปลายราก และจะเคลื่อนย้ายผ่านทางระบบท่อลำเลียงของพืช โดยออกซินจากปลายยอดเคลื่อนย้ายลงสู่โคนต้น ขณะที่ออกซินจากปลายรากจะเคลื่อนย้ายขึ้นไปยังโคนต้น ซึ่งการเคลื่อนย้ายออกซินในต้นพืชนั้น เซลล์หรือกลุ่มเซลล์ที่อยู่โดยรอบจะถูกออกซิน เปลี่ยนแปลงรูปร่างของผนังเซลล์ให้มีความยืดหยุ่นมากขึ้นทำให้เกิดการยืดขยายตัวของเซลล์ ขณะเดียวกันในระหว่างการเคลื่อนย้ายออกซินจาก

ปลายยอดสู่โคนต้น และจากปลายรากสู่โคนต้นนั้นจะทำให้ตาข้างทั้งในส่วนของลำต้นและราก มีการเจริญเติบโตน้อยลง เนื่องจากออกซินสามารถยับยั้งการสังเคราะห์ไซโตไคนิน ซึ่งเป็นสารที่ช่วยกระตุ้นการแตกกิ่งและรากของพืช (Nordström et al., 2004; ทวีศักดิ์, 2559)

กลุ่มไซโตไคนิน (cytokinins) เป็นสารควบคุมการเจริญเติบโตที่มีบทบาทสำคัญในการควบคุมการแบ่งเซลล์ การสร้างอวัยวะของพืช รวมถึงการเพิ่มขนาดเซลล์และอวัยวะของพืช นอกจากนี้ยังช่วยกระตุ้นการแตกตาข้างของพืชในส่วนของยอด ราก และการเคลื่อนย้ายอาหารในพืช อย่างไรก็ตามไซโตไคนินยังเป็นสารที่ยับยั้งการการทำงานของออกซินทำให้การเจริญของตายอดพืชลดลง หากภายในต้นพืชมีสัดส่วนระหว่างไซโตไคนินสูงกว่าออกซิน

กลุ่มจิบเบอเรลลิน (gibberellins) เป็นสารควบคุมการเจริญเติบโตและมีอิทธิพลต่อกระบวนการทางพัฒนาการรวมทั้งการยืดของข้อ การงอก การพักตัว การออกดอก การแสดงเพศ การชักนำการสร้างเอนไซม์ รวมทั้งการชราของดอกและผล นอกจากนี้ยังสามารถยับยั้งการออกดอกของพืชบางชนิด

เอทธิลีน (ethylene) เป็นฮอร์โมนพืชเพียงชนิดเดียวที่มีสถานะเป็นก๊าซ สามารถแพร่กระจายไปยังส่วนต่าง ๆ ของพืชได้ง่าย ทำให้มีอิทธิพลค่อนข้างกว้าง ต่อการพัฒนาของพืช โดยทั่วไปแล้วจะเร่งอัตราการเสื่อมสภาพของพืชทั้งนี้เพราะ เอทธิลีนสามารถกระตุ้นให้เนื้อเยื่อพืชทุกชนิดให้มีอัตราการหายใจสูงขึ้น ในใบพืชสามารถกระตุ้นเกิดการหลุดร่วงของใบ ในดอกทำให้ดอกเหี่ยวเร็วขึ้น และในผลทำผลสุกแก่เร็วขึ้น

2. สภาพแวดล้อม

สภาพแวดล้อมเป็นปัจจัยสำคัญที่เกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโต และการสร้างผลผลิตของกาแฟอาราบิก้า โดยเฉพาะ อุณหภูมิ และแสง (Bote and Struik, 2011; ปรัชญา, 2537; สมศักดิ์, 2545) รายงานว่า ร่มเงาจากต้นไม้ช่วยป้องกันไม่ให้ต้นกาแฟเกิดความเครียดจากสภาพแวดล้อม เช่น อุณหภูมิในดินสูง และความชื้นสัมพัทธ์ต่ำ นอกจากนี้การปลูกกาแฟภายใต้ร่มเงาของไม้ยืนต้น ยังทำให้เกิดความแตกต่างทางสรีรวิทยาของต้นกาแฟ เช่น การสังเคราะห์แสงที่ดีขึ้น ดัชนีพื้นที่ใบที่เพิ่มขึ้นมากกว่ากาแฟที่ปลูกในที่กลางแจ้ง ด้วยเหตุนี้จึงทำให้ต้นกาแฟที่ปลูกภายใต้ร่มเงาให้ผลผลิตที่มีขนาดใหญ่ และมีคุณภาพของเมล็ดดีกว่าต้นกาแฟที่ปลูกในที่กลางแจ้ง

Drinnan and Menzel (1995) รายงานว่า อุณหภูมิในเวลากลางวัน และกลางคืน ส่งผลต่อการเจริญเติบโตลำต้น และการสร้างข้อของลำต้นกาแฟอาราบิก้า โดยอุณหภูมิที่เพิ่มสูงขึ้น ทำให้การเจริญเติบโตของต้นกาแฟเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว และจะเริ่มลดช้าลงเมื่ออุณหภูมิเริ่มต่ำลง ขณะเดียวกันในช่วงที่อุณหภูมิต่ำ (23 °C ในเวลากลางวันและ 18 °C ในเวลากลางคืน) ต้นกาแฟจะเริ่มเกิดตาดอก

และใช้ระยะเวลาในการพัฒนาเป็นช่อดอกประมาณ 12-14 สัปดาห์ อย่างไรก็ตามหากมีอุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นในช่วงที่ต้นกาแฟกำลังพัฒนาช่อดอกนั้นจะส่งผลให้เกิดความผิดปกติของดอก

Kumar and Tieszen (1980) รายงานว่า การสังเคราะห์แสงในใบกาแฟจะเริ่มเกิดขึ้น เมื่อใบกาแฟได้รับความเข้มแสงตั้งแต่ 18 μmol m^{-2} s^{-1} เมื่อความเข้มแสงเพิ่มขึ้นเป็น 27 μmol m^{-2} s^{-1} อัตราการสังเคราะห์แสงจะเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องจนกระทั่งถึงความเข้มแสงที่ 300 μmol m^{-2} s^{-1} ต่อมาอัตราการสังเคราะห์แสงจะเริ่มคงที่จนถึงความเข้มแสงที่ 1200 μmol m^{-2} s^{-1} หลังจากนั้นอัตราการสังเคราะห์แสงในใบกาแฟจะเริ่มลดลงหากใบกาแฟได้รับความเข้มแสงที่มากกว่า

3. การจัดการ

การจัดการเป็นวิธีหนึ่งที่ส่งผลต่อการเจริญเติบโตและการสร้างผลผลิตของพืช เช่นในกรณีที่สภาพแวดล้อมไม่เอื้ออำนวยต่อการเพาะปลูก ควรมีการจัดการกับสภาพแวดล้อมให้เหมาะสมเพื่อเพิ่มศักยภาพการผลิตพืช ขณะเดียวกันกาแฟอาราบิก้าก็เป็นพืชต้องอาศัยการจัดการด้านการเพาะปลูก และการดูแลรักษาที่เหมาะสม เพื่อให้การเจริญเติบโตรวมถึงให้ผลผลิตเป็นไปตามความคาดหวังที่วางไว้

กรมวิชาการเกษตร (2562) ได้อธิบายไว้ว่า การผลิตกาแฟอาราบิก้านั้นการจัดการร่มเงาเป็นส่วนหนึ่งในวิธีการปลูกและการดูแลรักษากาแฟอาราบิก้า เนื่องจากกาแฟอาราบิก้ามีการตอบสนองต่อแสงแดดสูง จึงไม่ควรปลูกในพื้นที่กลางแจ้ง การปลูกไม้บังร่มก่อนการปลูกกาแฟอาราบิก้า หรือการปลูกกาแฟใต้ร่มไม้ยืนต้น จะช่วยให้กาแฟมีการเจริญเติบโตที่ดีรวมถึงการให้ผลผลิตที่ดีด้วยเช่นกัน นอกจากนี้ การให้น้ำ เป็นส่วนหนึ่งที่ต้องมีการจัดการที่เหมาะสม โดยพื้นที่ปลูกกาแฟอาราบิก้าควรมีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยอย่างน้อย 1,200-1,500 มิลลิเมตรต่อปี และมีการกระจายน้ำฝนอย่างน้อย 5 – 8 เดือน เพื่อใช้ในการเจริญเติบโตโดยเฉพาะในช่วงเริ่มติดผล และช่วงการพัฒนาของผล

อนงนาฏ และคณะ (2560) รายงานว่า การจัดการธาตุอาหาร เป็นอีกหนึ่งปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อการเจริญเติบโต รวมถึงคุณภาพและปริมาณผลผลิตของกาแฟอาราบิก้า ซึ่งในความจำเป็นและวิธีการที่เหมาะสมสำหรับการใส่ปุ๋ยให้กับต้นกาแฟอาราบิก้า มีข้อจำกัดมากมาย (พิทยา, 2536) เช่น สภาพพื้นที่ในการทำงาน ประกอบกับปริมาณ และระยะเวลาที่ควรใส่ปุ๋ย เนื่องจากกาแฟอาราบิก้าปลูกบนพื้นที่สูง ซึ่งมีความลาดชันของพื้นที่ อีกทั้งยังเป็นการปลูกภายใต้เรือนยอดป่าธรรมชาติ ดังนั้นการขนย้ายหรือการเดินทาง อาจเป็นไปได้โดยความยากลำบาก (Tavares et al., 2018)

อย่างไรก็ตามวิธีการดังกล่าวเป็นเพียงการจัดการปัจจัยด้านสภาพแวดล้อม ให้เอื้อต่อการเจริญเติบโต และการสร้างผลผลิตของกาแฟอาราบิก้าเท่านั้น ซึ่งในการจัดการเพื่อเพิ่มศักยภาพในด้านการเจริญเติบโต และการสร้างผลผลิตที่ดีของต้นกาแฟอาราบิก้า อาจทำได้โดยการเพิ่มศักยภาพ

ในตัวของต้นกาแฟเอง โดยเฉพาะการพัฒนาระบบรากให้มีความสมบูรณ์ เพื่อเป็นพื้นฐานที่ดีในการเจริญเติบโต รวมถึงการสร้างผลผลิต (พงษ์ศักดิ์ และบัณฑูรย์, 2542) เนื่องจากรากเป็นอวัยวะที่สำคัญของพืช ทำหน้าที่ในการดูดซึมน้ำและธาตุอาหารไปเลี้ยงต้นพืช นอกจากนี้รากยังมีความสำคัญต่อขบวนการทางสรีรวิทยาของพืชอย่างมาก โดยรากสามารถส่งสัญญาณไปยังส่วนยอด เพื่อการปรับตัวต่อความเครียดที่เกิดจากสภาวะแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม เช่น ภายใต้สภาวะขาดน้ำ มีผลทำให้รากพืชมีการสังเคราะห์ไซโตไคนินลดลง ทำให้ระดับความสมดุลระหว่างไซโตไคนิน ต่อกรดแอบไซซิกต่ำ ส่งผลให้ปากใบพืชปิด และส่งผลต่อกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืชลดลงเป็นต้น (Turner et al., 1985) นอกจากนี้ปริมาณรากยังมีความสำคัญกับการเจริญเติบโต และการสร้างผลผลิตของกาแฟอาราบิก้า โดย Magesa et al. (2018) รายงานว่า การปลูกกาแฟอาราบิก้าโดยใช้ต้นกล้าที่มีจำนวนรากมาก ส่งผลให้ต้นกาแฟมีลักษณะความโต และความสูงของลำต้น รวมถึงปริมาณของผลผลิตด้าน จำนวนผลต่อต้น และน้ำหนักผลผลิตสูง

การตัดราก (Root pruning) เป็นวิธีการหนึ่งที่ใช้ในการควบคุมการเจริญเติบโตของพืช (Ma et al., 2008) ซึ่งนิยมทำในพืชไม้เนื้อแข็ง เช่น ไม้ผลหรือไม้ยืนต้น โดยการตัดรากสามารถทำในช่วงการถอนย้ายกล้า และช่วงที่ต้นกล้ามีการปลูกลงดินแล้ว (Zieslin and Mor, 2012) ได้อธิบายว่า พืชทั่วไปมีการเจริญเติบโตของปลายยอดและรากอยู่เสมอ เมื่อเซลล์ของปลายยอดและรากมีอายุมากขึ้นจะมีการเจริญเติบโตที่น้อยลง ซึ่งการตัดรากหรือยอดช่วยกระตุ้นการเจริญเติบโตในส่วนดังกล่าว โดยชักนำให้พืชเกิดการเจริญเติบโตในส่วนของรากและยอด หลังจากการตัดแต่งกิ่งและราก ซึ่งเกี่ยวข้องกับฮอร์โมน ที่ชักนำให้พืชมีการเจริญเติบโตของรากและยอด

Vysotskaya et al. (2001) ได้ศึกษาการอิทธิพลจากการตัดรากในข้าวสาลีพบว่าการตัดแต่งรากสามารถนำไปสู่การผลิต IAA และไซโตไคนินที่สูงขึ้นและส่งผลให้การเจริญเติบโตของรากเพิ่มขึ้น ขณะที่ Na et al. (2013) รายงานว่า สิ่งที่ต้องพิจารณาในการตัดรากคือ ปริมาณรากที่ถูกตัดออก เนื่องจากในพืชบางชนิด เช่น ต้นโอ๊ก (*Quercus acutissima*) การตัดรากให้เหลือปริมาณรากน้อยทำให้การอยู่รอดและการเจริญเติบโตต่ำ ในกาแฟอาราบิก้าได้มีรายงานว่า ต้นกล้ากาแฟที่อายุ 10 เดือน ที่มีจำนวนรากมากกว่า 18 ราก ส่งผลให้ต้นกาแฟมีการเจริญเติบโตที่ดีและให้ผลผลิตสูง (Magesa et al., 2018) ดังนั้นหากกระตุ้นให้กล้ากาแฟมีปริมาณรากที่เพิ่มขึ้นด้วยวิธีการตัดรากก่อนย้ายปลูก อาจช่วยส่งเสริมให้ต้นกาแฟมีการเจริญเติบโตที่ดีและให้ผลผลิตสูง

อย่างไรก็ตามในการศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อการเจริญเติบโตของรากนั้น จำเป็นต้องประเมินพัฒนาการของราก เพื่อเป็นตัวบ่งชี้ถึงการตอบสนองของรากต่อปัจจัยที่ศึกษา ซึ่งสามารถใช้วิธีการศึกษาแบบดั้งเดิม (conventional method) โดยการวัดความยาวรากและขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง หรือการทำลายตัวอย่าง เพื่อนำตัวอย่างรากมาคำนวณเป็นพื้นผิวรากหรือปริมาณราก ซึ่งมีความยุ่งยากและไม่สะดวกในการทำงาน (Newman, 1966; Tagliavini et al., 1993) ปัจจุบันมีการ

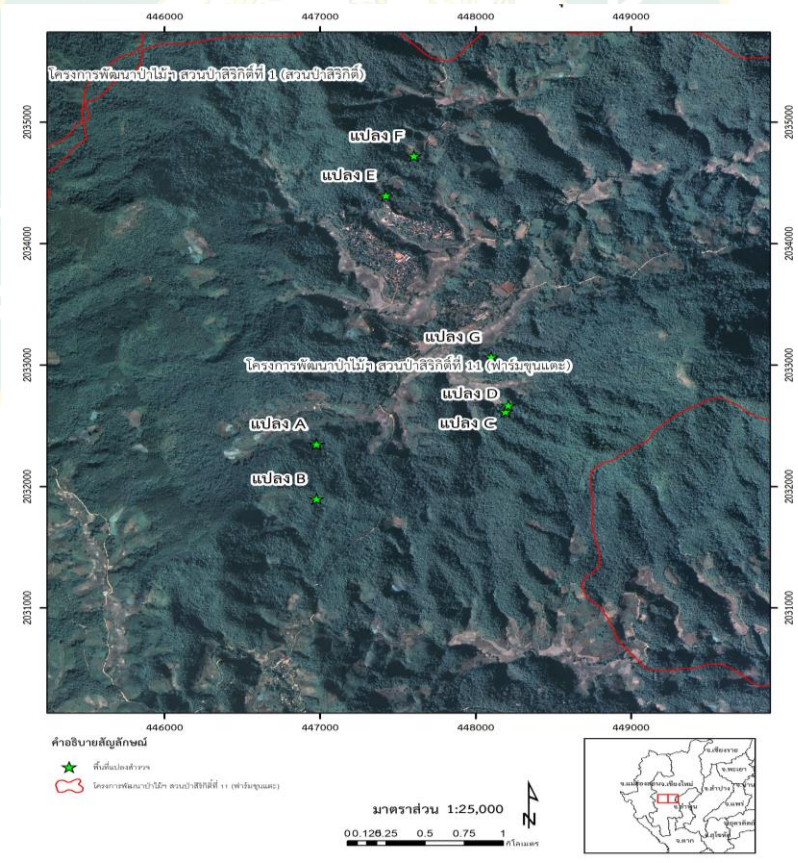
พัฒนาโปรแกรมเชิงพาณิชย์เพื่อใช้ประเมินพัฒนาการของรากพืช แต่การใช้งานโปรแกรมดังกล่าวมีค่าใช้จ่ายสูง เช่น โปรแกรม WinRHIZO ขณะเดียวกันได้มีการพัฒนาโปรแกรมที่ใช้ประเมินพัฒนาการของรากพืชโดยเป็นโปรแกรม Freeware เช่น โปรแกรม Rootfly และ imageJ ซึ่งโปรแกรมดังกล่าวสามารถใช้ประเมินพัฒนาการของรากได้เทียบเท่ากับโปรแกรมที่ต้องเสียค่าใช้จ่าย โดย ณัฐวิทย์ และ ระวี (2560) ได้ศึกษาเทคนิคการประเมินพัฒนาการของรากด้วยการประมวลภาพถ่ายดิจิตอล โดยทำการศึกษารากพืชกลุ่มไม้ยืนต้น (ยางพารา) ในการศึกษานี้ได้ใช้โปรแกรม Rootfly และ imageJ ในการประเมินพัฒนาการของรากยางพารา ควบคู่กับการเมินแบบดั้งเดิม พบว่า การเปรียบเทียบเทคนิคการประเมิน พัฒนาการของรากต้นกล้ายางพาราทั้ง 3 เทคนิค แสดงให้เห็นว่าการใช้โปรแกรม Rootfly มีความเหมาะสม สำหรับการประเมินความยาวและเส้นผ่านศูนย์กลาง รากต้นกล้ายางพารา แต่โปรแกรม ImageJ มีความสะดวกและเหมาะสมกว่าในการประเมินพื้นที่ผิวรากต้นกล้ายางพาราเมื่อเทียบกับวิธีการแบบดั้งเดิม ดังนั้น โปรแกรม Rootfly และ ImageJ สามารถใช้ในการ ประเมินพัฒนาการของรากต้นกล้ายางพาราได้ นอกจากนี้ยังสามารถนำมาประเมินมวลแห้งของรากต้นกล้ายางพาราได้อีกด้วย ดังนั้นวิธีการประเมินพัฒนาการของรากด้วยภาพถ่ายดิจิทัล อาจเป็นทางเลือกหนึ่งที่สามารถนำมาใช้ประเมินพัฒนาการของรากกาแฟได้ เพื่อใช้อำนวยความสะดวกในการเก็บข้อมูล และให้มีความถูกต้องแม่นยำสูง

บทที่ 3
วิธีการดำเนินการวิจัย

ขอบเขตการศึกษา

1. แหล่งที่มาของเมล็ดพันธุ์กาแฟอาราบิก้าที่นำมาศึกษา

เก็บรวบรวมเมล็ดพันธุ์จากพื้นที่ปลูกกาแฟอาราบิก้าใต้เรือนยอดป่าธรรมชาติ ในพื้นที่โครงการฟาร์มตัวอย่างในสมเด็จพระนางเจ้าสิริกิติ์ พระบรมราชินีนาถ บ้านขุนแตะ ตำบลดอยแก้ว อำเภอจอมทอง จังหวัดเชียงใหม่ ความสูงจากระดับน้ำทะเล 1,200 เมตร อุณหภูมิเฉลี่ย 22 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย 95.80% ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยต่อปี 1,000-1,500 มิลลิเมตร (สำนักบริหารพื้นที่อนุรักษ์ที่ 16, 2557)



ภาพที่ 4 แปลงปลูกกาแฟอาราบิก้าใต้เรือนยอดป่าธรรมชาติ ในพื้นที่โครงการฟาร์มตัวอย่างในสมเด็จพระนางเจ้าสิริกิติ์ พระบรมราชินีนาถ บ้านขุนแตะ ตำบลดอยแก้ว อำเภอจอมทอง จังหวัดเชียงใหม่

2. สถานที่ทำการศึกษา

ทำการศึกษาภายใต้สภาพโรงเรือน สาขาวิชาพืชไร่ คณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้เชียงใหม่ ตำบลหนองหาร อำเภอสันทราย จังหวัดเชียงใหม่ ตำแหน่งพิกัด 18°53'38.9"N 99°01'00.2"E ความสูงจากระดับน้ำทะเล 320 เมตร

วัสดุอุปกรณ์

1. อุปกรณ์สำหรับวัดขนาดเมล็ดพันธุ์กาแฟ

1.1 เวอเนียร์แบบดิจิตอล ทศนิยม 2 ยี่ห้อ Hachi

1.2 เครื่องชั่งดิจิตอล ทศนิยม 4 ตำแหน่ง ยี่ห้อ Ohaus รุ่น PA214

1.3 ภาชนะสำหรับบรรจุเมล็ดกาแฟเพื่อป้องกันไม่ให้เมล็ดผสมรวมกัน

2. อุปกรณ์สำหรับแปรรูปผลกาแฟเชอร์รี่เป็นเมล็ดกาแฟกะลาด้วยกระบวนการผลิตกาแฟแบบเปียก (wet processing)

2.1 ถุงมือยาง

2.2 กะละมังพลาสติก สำหรับบรรจุน้ำ

2.3 สก๊อตไบร์ท สำหรับขัดเมือกที่หุ้มเมล็ดกาแฟกะลา

3. อุปกรณ์สำหรับเพาะเมล็ดพันธุ์กาแฟ

3.1 แปลงเพาะเมล็ดทำจากอิฐบล็อก

3.2 ผ้าทอป้องกันวัชพืช (pp ground) สำหรับปูพื้นแปลงเพาะ

3.3 ดินเพาะที่มีส่วนผสมของแกลบดำ ทรายละเอียด อัตราส่วน 1:1

4. อุปกรณ์สำหรับย้ายกล้ากาแฟลงถุงเพาะ

4.1 ถุงเพาะสีดำ ขนาด 3 x 9 นิ้ว

4.2 ดินปลูกที่มีส่วนผสมของดินดำ ขุยมะพร้าว แกลบดำ และแกลบขาว อัตราส่วน 2:1:1

5. อุปกรณ์สำหรับทดลองตัดรากกาแฟ

5.1 ไม้บรรทัด

5.2 กรรไกร

6. อุปกรณ์สำหรับการวัดและบันทึกข้อมูล

6.1 ไม้บรรทัด สำหรับวัดความสูง

6.2 เวอเนียร์แบบดิจิตอล ทศนิยม 2 ตำแหน่ง ยี่ห้อ Hachi สำหรับวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางคอราก

6.3 เครื่องชั่งดิจิตอล ทศนิยม 4 ตำแหน่ง ยี่ห้อ Ohaus รุ่น PA214 สำหรับชั่งตัวอย่างแห้ง

6.4 ตู้อบลมร้อน ยี่ห้อ Memmert รุ่น UN750

6.5 กล้องถ่ายภาพความละเอียดสูง สำหรับถ่ายภาพตัวอย่างรากเพื่อใช้ในการประเมินลักษณะทางกายภาพของราก ด้วยโปรแกรม Imagej (package : smartroot)

วิธีการศึกษา

การศึกษานี้แบ่งออกเป็น 2 การทดลอง ประกอบไปด้วยการทดลองที่ 1 ซึ่งแบ่งเป็น 2 การทดลองย่อย คือ การทดลองย่อยที่ 1.1 ศึกษาผลของขนาดเมล็ดต่อการงอกและการเจริญเติบโตของต้นกล้ากาแฟอาราบิก้า การทดลองย่อยที่ 1.2 ศึกษาความผันแปรด้านขนาดเมล็ด การงอก และการเจริญเติบโตของเมล็ดกาแฟกะลาที่อยู่ภายในเมล็ดเชอร์รี่เดียวกัน และการทดลองที่ 2 ศึกษาผลของการตัดรากต่อการเจริญเติบโตของต้นกล้ากาแฟอาราบิก้า ซึ่งมีรายละเอียดในวิธีการศึกษาดังต่อไปนี้

1. การทดลองที่ 1 ศึกษาผลของขนาดต่อการงอกและการเจริญเติบโตของต้นกล้ากาแฟอาราบิก้า

1.1 การทดลองย่อยที่ 1.1 ศึกษาผลของขนาดเมล็ดต่อการงอกและการเจริญเติบโตของต้นกล้ากาแฟอาราบิก้า

ศึกษาการงอกเมล็ดและการเจริญเติบโตของต้นกล้ากาแฟภายใต้สภาพโรงเรือน และใช้เกณฑ์การแบ่งขนาดเมล็ดกาแฟออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่ ประเภทที่ 1 แบ่งตามน้ำหนักของผลเชอร์รี่ และประเภทที่ 2 แบ่งตามเกรดการค้าตามประกาศของสำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ (2561) โดยมีรายละเอียดวิธีการศึกษาดังนี้

1) สุ่มเก็บผลกาแฟเชอร์รี่จากแปลงปลูกกาแฟอาราบิก้าใต้เรือนยอดป่าธรรมชาติ แปลง B D F และ G ในพื้นที่โครงการฟาร์มตัวอย่างในสมเด็จพระนางเจ้าสิริกิติ์ พระบรมราชินีนาถ บ้านขุนแตะ (ภาพที่ 4) แปลงละ 600 ผล รวมทั้งหมด 2,400 ผล ทำการวัดขนาดความกว้าง ความยาว ความหนา (มิลลิเมตร) และน้ำหนักของผล (กรัม) แล้วจัดเรียงผลกาแฟเชอร์รี่ลงในถาดหลุม โดยเขียนชื่อรหัสกำกับไว้เพื่อป้องกันไม่ให้เมล็ดผสมรวมกัน

2) นำข้อมูลน้ำหนักของผลกาแฟเชอร์รี่ทั้งหมด 2,400 ผล มาแบ่งขนาดตามน้ำหนักของผลเชอร์รี่ (ประเภทที่ 1) โดยใช้สูตรการหาอันตรภาคชั้น แบ่งเป็น 3 ขนาด ได้แก่ ขนาดใหญ่ (น้ำหนักผลเชอร์รี่ มากกว่า 2.21 กรัม) ขนาดกลาง (น้ำหนักผลเชอร์รี่ 1.43 - 2.20 กรัม) และขนาดเล็ก (น้ำหนักผลเชอร์รี่ น้อยกว่า 1.43 กรัม)

3) นำข้อมูลความกว้างของผลกาแฟเชอร์รี่จากข้อมูลชุดเดิม มาแปลงค่าเป็นความกว้างของเมล็ดกาแฟกะลา โดยใช้ค่าเปอร์เซ็นต์การสูญเสียเนื้อของผลกาแฟเชอร์รี่จากการแปรรูปจากการศึกษาของ Sualeh and Dawid (2014) มาประยุกต์ใช้เป็นสูตรการแปลงค่า ดังสูตร

$$\text{ความกว้างของเมล็ดกาแฟกะลา} = \text{ความกว้างของผลกาแฟเชอร์รี่} - \left(\frac{\text{ความกว้างของผลกาแฟเชอร์รี่} \times 100}{47.35}\right)$$

จากนั้นนำค่าความกว้างของเมล็ดกาแฟกะลาดังกล่าว มาแบ่งขนาดตามกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ (ประเภทที่ 2) โดยใช้เกณฑ์ตามประกาศของปี 2561 ที่กำหนดให้ขนาดของเมล็ดกาแฟกะลา ≥7.14 มิลลิเมตร เป็นเมล็ดเกรด 1 ขนาดของเมล็ดกาแฟกะลา <7.14 – 6.75 มิลลิเมตร เป็นเมล็ดเกรด 2 ขนาดของเมล็ดกาแฟกะลา <6.75 – 6.35 มิลลิเมตร เป็นเมล็ดเกรด 3 ขนาดของเมล็ดกาแฟกะลา <6.35 – 5.95 มิลลิเมตร เป็นเมล็ดเกรด 4 ขนาดของเมล็ดกาแฟกะลา <5.95 – 5.56 มิลลิเมตร เป็นเมล็ดเกรด 5 ขนาดของเมล็ดกาแฟกะลา <5.56 – 4.76 มิลลิเมตร เป็นเมล็ดเกรด 6 และขนาดของเมล็ดกาแฟกะลา <4.76 มิลลิเมตร เป็นเมล็ดเกรด 7 ซึ่งผลกาแฟเชอร์รี่ที่แบ่งขนาดแบบประเภทที่ 1 และประเภทที่ 2 ในข้อ 2 และ 3 นั้นจะมีสัดส่วนของจำนวนเมล็ดแต่ละขนาด ของแต่ละซ้ำไม่เท่ากัน

4) แปรรูปผลกาแฟเชอร์รี่ เป็นเมล็ดกาแฟกะลาสำหรับเตรียมเพาะเมล็ดพันธุ์ โดยการแกะเปลือกเชอร์รี่ออก ใช้สก๊อตไบร์ทขัดเมือกที่หุ้มเมล็ดกาแฟกะลาออก จากนั้นล้างทำความสะอาดเมล็ดด้วยน้ำสะอาด แล้วนำเมล็ดมาผึ่งในที่ร่มที่อุณหภูมิห้อง เพื่อลดความชื้นในเมล็ดเป็นระยะเวลา 1 วัน

5) เตรียมแปลงเพาะเมล็ดกาแฟขนาด 1 x 3 เมตร รองพื้นด้วยผ้าทอป้องกันวัชพืช (pp ground) ใช้วัสดุเพาะทรายละเอียดผสมแกลบดำ อัตราส่วน 1:1 จากนั้นเจาะหลุมสำหรับหยอดเมล็ดโดยมีระยะห่างของหลุม 5 x 5 เซนติเมตร แต่ละหลุมลึก 1 เซนติเมตร

6) นำเมล็ดกาแฟที่เตรียมไว้วางลงในหลุม ในลักษณะคว่ำส่วนที่เรียบของเมล็ดลง แล้วกลบหลุมด้วยวัสดุเพาะเดิมหนา 1 เซนติเมตร รดน้ำทุกเช้า-เย็น

7) เมื่อเมล็ดงอกจนอยู่ในระยะปีกผีเสื้อ ทำการถอนย้ายกล้าลงปลูกในถุงเพาะขนาด 3 x 9 นิ้ว โดยระวังไม่ให้รากได้รับการกระทบกระเทือนและคดงอระหว่างย้ายปลูก ใช้วัสดุปลูก คือ ดินดำ ขุยมะพร้าว แกลบดำ อัตราส่วน 2:1:1 รดน้ำทุกเช้า-เย็น

การบันทึกข้อมูลของการทดลองที่ย่อยที่ 1.1

เก็บบันทึกข้อมูลการงอกทุกวัน เป็นระยะเวลา 120 วัน หลังเพาะเมล็ด หรือจนกว่าเมล็ดที่เพาะจะมีการงอกที่สิ้นสุดแล้ว เพื่อคำนวณหาค่าความงอก (%) ดัชนีการงอก และวันงอกเฉลี่ย (วัน) (ตารางที่ 2) จากนั้นติดตามการเจริญเติบโตของต้นกล้ากาแฟโดยการประเมินความสูงต้น (เซนติเมตร) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางคอราก (มิลลิเมตร) และจำนวนใบที่อายุ 75 90 105 135 165 195 และ 225 วัน หลังเพาะเมล็ด และสุ่มถอนตัวอย่างกล้ากาแฟที่อายุ 225 วัน หลังเพาะ มาวัดความยาวราก (เซนติเมตร) และอบตัวอย่างแยกส่วนลำต้น ราก และใบ ที่อุณหภูมิ 72 องศาเซลเซียส 48 ชั่วโมง หรือจนกว่าน้ำหนักแห้งจะคงที่

ตารางที่ 1 สูตรคำนวณการงอกของเมล็ดพันธุ์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้

ตัวแปร	สูตร	อ้างอิง
ความงอก (%)	(จำนวนเมล็ดที่งอก/จำนวนเมล็ดที่เพาะทั้งหมด) x 100	ISTA (1979)
ดัชนีความเร็วการงอก	ผลรวมของ (จำนวนเมล็ดงอก/จำนวนวันที่นับครั้งแรก) +...+ (จำนวนเมล็ดงอก/จำนวนวันที่นับครั้งสุดท้าย)	Powell et al. (2000)
วันงอกเฉลี่ย (วัน)	ผลรวมของ (จำนวนเมล็ดที่งอก x จำนวนวันที่เพาะ)/วันสุดท้ายที่นับ	Powell et al. (2000)

การวิเคราะห์ข้อมูลของการทดลองที่ย่อยที่ 1.1

วิเคราะห์ความแปรปรวน และเปรียบเทียบการงอกของผลกาแฟเชอร์รี่อาราบิก้า ด้านความงอก (%) ดัชนีการงอก วันงอกเฉลี่ย (วัน) รวมถึงการเจริญเติบโตของต้นกล้าด้านลักษณะความสูงต้น ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางคอราก จำนวนใบ น้ำหนักแห้งต้น น้ำหนักแห้งราก และน้ำหนักแห้งใบ โดยวิธี One-way ANOVA และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ย ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($P<0.05$) ด้วยวิธี Fisher's Least – Significant Different (LSD) ด้วยโปรแกรม R

1.2 การทดลองย่อยที่ 1.2 ศึกษาความผันแปรของขนาดเมล็ด และคุณภาพของเมล็ดกาแฟกะลาที่อยู่ภายในเมล็ดเชอร์รี่เดียวกัน

การศึกษานี้เป็นการศึกษาเพิ่มเติมเพื่อเป็นการยืนยันว่าการแบ่งขนาดเมล็ดกาแฟโดยใช้ขนาดของเชอร์รี่ จากการทดลองย่อยที่ 1.1 นั้น ไม่มีอิทธิพลของขนาดเมล็ดกาแฟกะลาที่อยู่ภายในเมล็ดเชอร์รี่เดียวกันเข้ามาเกี่ยวข้องกับการงอกและการเจริญเติบโตของต้นกล้า ซึ่งมีวิธีการศึกษาดังนี้

1) สุ่มเก็บผลกาแฟเชอร์รี่จากแปลงปลูกกาแฟใต้เรือนยอดป่าธรรมชาติในพื้นที่โครงการฟาร์มตัวอย่างในสมเด็จพระนางเจ้าสิริกิติ์ พระบรมราชินีนาถ บ้านขุนแตะ จำนวน 100 ผล 5 ซ้ำจากนั้นจัดเรียงผลกาแฟเชอร์รี่ลงในถาดหลุม โดยเขียนชื่อรหัสกำกับไว้เพื่อป้องกันไม่ให้เมล็ดผสมรวมกัน

2) แปรรูปผลกาแฟเชอร์รี่แต่ละเมล็ดเป็นเมล็ดกาแฟกะลาด้วยกรรมวิธีแบบเปียก (wet processing) แล้วนำเมล็ดกาแฟกะลามาผึ่งในพื้นที่ร่ม (อุณหภูมิห้อง) เพื่อลดความชื้นในเมล็ดเป็นระยะเวลา 1 วัน จากนั้นทำการวัดขนาดความกว้าง ความยาว ความหนา (มิลลิเมตร) และน้ำหนัก (มิลลิกรัม) ของเมล็ดกาแฟกะลาแต่ละเมล็ด

3) เพาะเมล็ดกาแฟกะลาในสภาพโรงเรือน โดยทำการเตรียมแปลงเพาะเมล็ดขนาด 1 x 3 เมตร รองพื้นด้วยผ้าทอป้องกันวัชพืช (pp ground) ใช้วัสดุเพาะทรายละเอียดผสมแกลบดำอัตราส่วน 1 : 1 รดน้ำทุกเช้า-เย็น

4) เมื่อเมล็ดกาแฟงอกจนอยู่ในระยะปีกผีเสื้อ ทำการถอนย้ายกล้าลงปลูกในถุงเพาะขนาด 3 x 9 นิ้ว โดยระวังไม่ให้รากได้รับการกระทบกระเทือนและคดงอระหว่างย้ายปลูก ใช้วัสดุปลูกคือดินดำ ขุยมะพร้าว แกลบดำ แกลบขาว รดน้ำทุกเช้า-เย็น

การบันทึกข้อมูลของการทดลองที่ย่อยที่ 1.2

เก็บบันทึกข้อมูลการงอกทุกวัน เป็นระยะเวลา 120 วัน หลังเพาะเมล็ด หรือจนกว่าเมล็ดที่เพาะจะมีการงอกที่สิ้นสุดแล้ว เพื่อคำนวณหาค่าความงอก (%) ดัชนีการงอก และวันงอกเฉลี่ย (วัน) จากนั้นติดตามการเจริญเติบโตของต้นกล้ากาแฟที่อายุ 70 85 100 130 160 วัน หลังเพาะเมล็ด โดยการประเมินความสูงต้น (เซนติเมตร) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางคอราก (มิลลิเมตร) จำนวนใบ และทำการสุ่มถอนตัวอย่างกล้ากาแฟมาอบแยกส่วนลำต้น ราก และใบ ที่อุณหภูมิ 72 องศา 48 ชั่วโมง หรือจนกว่าน้ำหนักแห้งจะคงที่

การวิเคราะห์ข้อมูลของการทดลองที่ย่อยที่ 1.2

เปรียบเทียบการแจกแจงข้อมูลความถี่ และวิเคราะห์ความแปรปรวนของขนาดความกว้าง ความยาว ความหนา และน้ำหนักของเมล็ดกาแฟกะลาทั้ง 2 เมล็ดที่อยู่ภายในเมล็ดเชอร์รี่เดียวกัน โดยวิธี Two sample Kolmogorov-smirnov test และ Two sample t -test

วิเคราะห์ความแปรปรวนของเมล็ดกาแฟกะลาทั้ง 2 เมล็ดที่อยู่ภายในเมล็ดเชอร์รี่เดียวกัน ด้านความงอก (%) ดัชนีการงอก วันงอกเฉลี่ย รวมถึงการเจริญเติบโตของต้นกล้าด้านลักษณะความสูงต้น ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางคอราก จำนวนใบ น้ำหนักแห้งต้น น้ำหนักแห้งราก และน้ำหนักแห้งใบ โดยวิธี Two sample t -test ด้วยโปรแกรม R

2. การทดลองที่ 2 ศึกษาผลของการตัดรากต่อการเจริญเติบโตของต้นกล้ากาแฟอาราบิก้า

ศึกษาการเจริญเติบโตของต้นกล้ากาแฟที่ทำการตัดรากก่อนย้ายปลูกในสภาพโรงเรือน แบ่งวิธีการตัดรากกาแฟออกเป็น 2 กรรมวิธี ได้แก่

กรรมวิธีที่ 1 ไม่ตัดรากก่อนย้ายปลูก (ควบคุม)

กรรมวิธีที่ 2 ตัดรากออก 1 ใน 3 ของความยาวรากทั้งหมดก่อนย้ายปลูก

ทำการถอนย้ายต้นกล้ากาแฟในระยะปีกผีเสื้อ (อายุ 70 วัน หลังเพาะเมล็ด) จากแปลงเพาะมาทำการตัดราก กรรมวิธีละ 80 ต้น แบ่งเป็น 8 ซ้ำ ซ้ำละ 10 ต้น จากนั้นนำต้นกล้ากาแฟดังกล่าวปลูกลงในถุงเพาะสีดำขนาด 3 x 9 นิ้ว ใช้วัสดุปลูกคือดินดำ ขุยมะพร้าว แกลบดำ แกลบขาว รดน้ำทุกเช้า-เย็น

การบันทึกข้อมูลของการทดลองที่ย่อยที่ 2

บันทึกข้อมูลการเจริญเติบโตของต้นกล้ากาแฟด้านความสูงต้น (เซนติเมตร) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางคอราก (มิลลิเมตร) จำนวนใบ ความยาวราก (เซนติเมตร) และถ่ายภาพตัวอย่างรากกาแฟด้วยกล้องความละเอียดสูง เพื่อใช้ในการประเมินพัฒนาการของรากด้านความยาวรากรวม (เซนติเมตร) พื้นที่ผิวราก (ตารางเซนติเมตร) ปริมาตราก (ลูกบาศก์เซนติเมตร) ด้วยโปรแกรม ImageJ (plugin : smartroot) และทำการอบตัวอย่างกล้ากาแฟเพื่อหาน้ำหนักแห้งต้น (กรัม) น้ำหนักแห้งราก (กรัม) และน้ำหนักแห้งใบ (กรัม) ที่อุณหภูมิ 72 องศา 48 ชั่วโมง หรือจนกว่าหนักแห้งของตัวอย่างจะคงที่ ก่อนทำการทดลอง และติดตามการเจริญเติบโตของต้นกล้ากาแฟที่อายุ 10 20 30 60 และ 90 วัน โดยแบ่งเป็นกรรมวิธีละ 10 ต้น ของแต่ละรอบวันที่เก็บข้อมูล

การวิเคราะห์ข้อมูลของการทดลองที่ย่อยที่ 2

ประเมินพัฒนาการของรากต้นกล้ากาแฟด้านความยาวรากรวม (เซนติเมตร) พื้นที่ผิวราก (ตารางเซนติเมตร) ปริมาตราก (ลูกบาศก์เซนติเมตร) ด้วยโปรแกรม ImageJ (plugin : smartroot) วิเคราะห์ความสัมพันธ์ของการเจริญเติบโตของกล้ากาแฟอาราบิก้าในแต่ละมิติ โดยการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย (Simple linear regression) เพื่อทราบสมการในการทำนายการเจริญเติบโตของต้นกล้ากาแฟในแต่ละลักษณะโดยพิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนด (Coefficient of determination; R^2) ด้วยโปรแกรม R

เปรียบเทียบลักษณะความสูงของต้นกล้า (เซนติเมตร) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางคอราก (มิลลิเมตร) จำนวนใบ ความยาวราก (เซนติเมตร) ความยาวรากรวม (เซนติเมตร) พื้นที่ผิวราก (ตารางเซนติเมตร) ปริมาตราก (ลูกบาศก์เซนติเมตร) น้ำหนักแห้งต้น (กรัม) น้ำหนักแห้งราก (กรัม) และน้ำหนักแห้งใบ (กรัม) ระหว่างต้นกล้ากาแฟที่ไม่ตัดรากก่อนย้ายปลูก (ควบคุม) กับต้นกล้ากาแฟที่ตัดรากออก 1 ใน 3 ของความยาวรากทั้งหมดก่อนย้ายปลูก ด้วยวิธีการ Two-sample t-test โดยโปรแกรม R

บทที่ 4
ผลการศึกษา

ศึกษาผลของขนาดเมล็ดต่อการงอกและการเจริญเติบโตของต้นกล้ากาแฟอาราบิก้า

1. ศึกษาผลของขนาดเมล็ดต่อการงอกและการเจริญเติบโตของต้นกล้ากาแฟอาราบิก้า (การทดลองย่อยที่ 1.1)

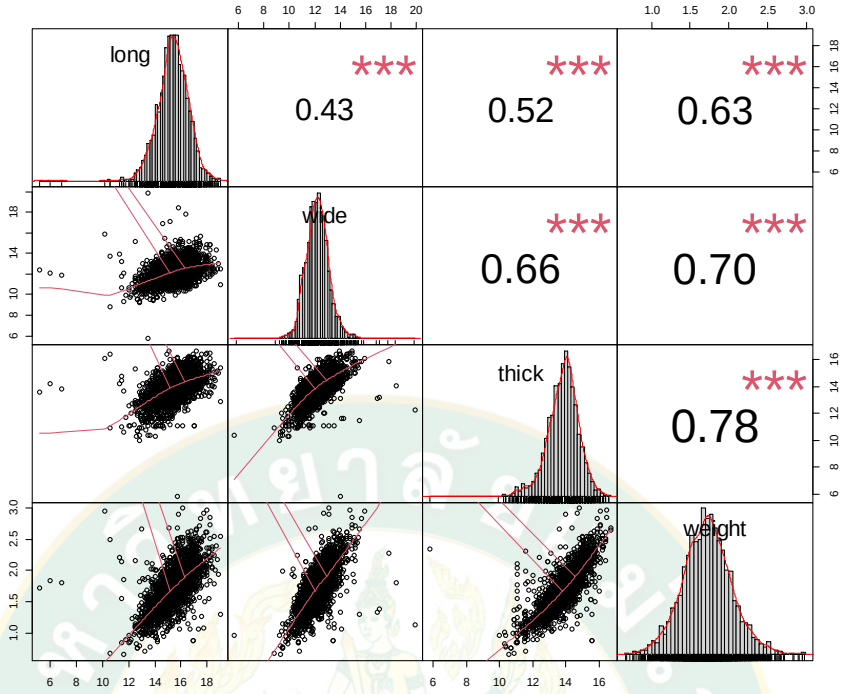
1.1 ลักษณะทางกายภาพของเมล็ดพันธุ์กาแฟอาราบิก้า

จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะความกว้าง ความยาว ความหนา และน้ำหนักของผลเชอร์รี่ รวมถึงความกว้างของเมล็ดกะลาที่แปลงค่ามาจากความกว้างของผลเชอร์รี่ พบว่าลักษณะดังกล่าวมีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ภาพที่ 5) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าลักษณะความกว้าง ความยาว ความหนา และน้ำหนักของผลกาแฟเชอร์รี่ สามารถใช้เป็นเกณฑ์กำหนดขนาดของเมล็ดได้ ดังนั้นในการศึกษานี้จึงเลือกใช้น้ำหนักผลกาแฟเชอร์รี่เป็นเกณฑ์สำหรับแบ่งขนาดเมล็ดแบบประเภทที่ 1 เนื่องจากเป็นลักษณะที่สามารถตรวจวัดได้ง่าย และจากการนำข้อมูลน้ำหนักของผลกาแฟเชอร์รี่ และความกว้างของเมล็ดกาแฟกะลา มาแบ่งขนาดเมล็ดเป็น 2 ประเภท พบว่า เมล็ดกาแฟแบ่งขนาดตามน้ำหนักของผลเชอร์รี่ แบบประเภทที่ 1 นอกจากมีน้ำหนักของผลที่แตกต่างกันทางสถิติแล้ว ยังพบว่าลักษณะความกว้าง ความยาว และความหนาของผลก็มีความแตกต่างกันทางสถิติด้วยเช่นกัน โดยผลกาแฟที่มีน้ำหนักมากหรือขนาดใหญ่ จะมีขนาดความกว้าง ความยาว และความหนาของผลที่มากตามด้วยเช่นกันนอกจากนี้เมื่อนำค่าความกว้างของเมล็ดกะลาที่แปลงค่ามาจากความกว้างของผลเชอร์รี่ ที่แบ่งขนาดแบบประเภทที่ 1 มาเทียบเกรดตามกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ พบว่า ผลกาแฟที่มีน้ำหนักมากหรือขนาดใหญ่จัดอยู่ในเมล็ดเกรด 1 ซึ่งเป็นเกรดที่มีขนาดความกว้างของเมล็ดกะลามากที่สุด เมล็ดขนาดกลางอยู่ในกลุ่มของเมล็ดกาแฟเกรด 3 และผลเชอร์รี่ที่มีน้ำหนักเบาสุดหรือขนาดเล็กอยู่ในกลุ่มของเมล็ดกาแฟเกรด 5 รองลงมาตามลำดับ ในส่วนของเมล็ดกาแฟที่แบ่งเกรดตามกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ หรือแบบประเภทที่ 2 โดยใช้ความกว้างของเมล็ดกาแฟกะลาเป็นเกณฑ์ในการแบ่งเกรด พบว่า เมล็ดกาแฟทั้ง 6 เกรด นอกจากจะมีความกว้างของเมล็ดกะลาที่แตกต่างกันทางสถิติแล้ว ยังพบว่าลักษณะความยาว ความหนา และน้ำหนักของผลก็มีความแตกต่างกันทางสถิติด้วยเช่นกัน โดยเมล็ดกะลาที่มีความกว้างมากที่สุด หรือเมล็ดเกรด 1 ที่มีขนาดความกว้างของเมล็ดกะลามากที่สุด จะมีขนาดความยาว ความหนา และน้ำหนักของผลที่มากตาม (ตารางที่ 2)

ตารางที่ 2 ลักษณะทางกายภาพของเมล็ดพันธุ์กาแฟอาราบิก้า ที่แบ่งขนาดตามน้ำหนักเมล็ดเชอร์รี่ (ประเภทที่ 1) และแบ่งตามเกรดการค้าตามประกาศของสำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ 2561 (ประเภทที่ 2)

เกณฑ์กำหนดขนาดเมล็ดกาแฟ		ความกว้างเมล็ดกะลา (มิลลิเมตร)	ขนาดผลกาแฟเชอร์รี่			
			กว้าง (มิลลิเมตร)	ยาว (มิลลิเมตร)	หนา (มิลลิเมตร)	น้ำหนัก (กรัม)
ประเภทที่ 1	**น้ำหนักเมล็ดเชอร์รี่ (มิลลิกรัม)**					
ใหญ่	≥2.21	7.17 ± 0.46a	13.7 ± 0.12a	16.72 ± 0.36a	15.22 ± 0.39a	2.38 ± 0.15a
กลาง	1.43 - <2.21	6.42 ± 0.37ab	12.31 ± 0.15ab	15.58 ± 0.28ab	14.08 ± 0.12ab	1.77 ± 0.19ab
เล็ก	<1.43	5.85 ± 0.41b	11.23 ± 0.17b	14.21 ± 0.27b	12.69 ± 0.23b	1.26 ± 0.15b
Kruskal-Wallis chi-squared		17.82***	17.82***	17.82***	17.82***	17.82***
p-value		<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
ประเภทที่ 2	**ความกว้างเมล็ดกะลา (มิลลิเมตร)**					
1	≥7.14	7.43 ± 0.3a	14.23 ± 0.57a	16.23 ± 1.22a	15.1 ± 1.09a	2.26 ± 0.26a
2	6.75 - <7.14	6.9 ± 0.1ab	13.23 ± 0.19ab	15.99 ± 0.95ab	14.66 ± 0.67ab	1.97 ± 0.25ab
3	6.35 - <6.75	6.54 ± 0.12abc	12.52 ± 0.23abc	15.71 ± 1.01abc	14.23 ± 0.62abc	1.81 ± 0.21abc
4	5.95 - <6.35	6.17 ± 0.1abc	11.82 ± 0.19abc	15.16 ± 1.1abc	13.69 ± 0.66abc	1.62 ± 0.2abc
5	5.56 - <5.95	5.79 ± 0.11bc	11.1 ± 0.22bc	14.74 ± 1.03bc	13.07 ± 0.74bc	1.43 ± 0.21bc
6	4.76 - <5.56	5.32 ± 0.21d	10.2 ± 0.4d	13.8 ± 1.11d	11.98 ± 0.92d	1.17 ± 0.27d
Kruskal-Wallis chi-squared		39.89***	39.89***	35.08***	38.57***	39.79***
p-value		<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001

หมายเหตุ *** = มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ p-value<0.001



ภาพที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะความกว้าง (มิลลิเมตร) ความยาว (มิลลิเมตร) ความหนา (มิลลิเมตร) และน้ำหนัก (กรัม) ของผลกาแฟเชอร์รี่

1.2 ความงอก ดัชนีการงอก และวันงอกเฉลี่ย ของเมล็ดพันธุ์กาแฟอาราบิก้าที่มีน้ำหนักผลเชอร์รี่แตกต่างกัน (ประเภทที่ 1)

ผลการทดสอบการงอกของเมล็ดพันธุ์กาแฟอาราบิก้าในสภาพโรงเรือน พบว่า ผลเชอร์รี่ที่มีขนาดใหญ่ หรือมีน้ำหนักผลมากกว่า 2.21 กรัม มีความงอกไม่แตกต่างจากผลเชอร์รี่ขนาดปานกลางและขนาดเล็ก หรือน้ำหนักผลตั้งแต่ 1.43 - 2.20 กรัม และน้อยกว่า 1.43 กรัม ตามลำดับ ที่อายุ 45 60 75 วันหลังเพาะเมล็ด หรือช่วงอายุกล้าที่เหมาะสมต่อการถอนย้าย ตามคำแนะนำของกรมวิชาการเกษตร และ 120 วันหลังเพาะเมล็ด หรือช่วงที่สิ้นสุดการประเมินการงอกของเมล็ดพันธุ์ (ตารางที่ 3) เมื่อพิจารณาจากความงอกของเมล็ด โดยจำแนกตามระยะกล้าที่ปรากฏ คือ ระยะหัวไม้ขีดและระยะปีกผีเสื้อ พบว่า หลังจากเพาะเมล็ดไปแล้ว 45 วัน เมล็ดกาแฟที่งอกทั้งหมดจะอยู่ในระยะกล้าหัวไม้ขีด และหลังจาก 45 วัน ต้นกล้ากาแฟที่อยู่ในระยะหัวไม้ขีดทั้งหมดจะเริ่มพัฒนาเข้าสู่ระยะปีกผีเสื้อ โดยต้นกล้ากาแฟที่เกิดจากผลเชอร์รี่ขนาดเล็ก มีแนวโน้มพัฒนาเข้าสู่ระยะปีกผีเสื้อไวกว่าต้นกล้ากาแฟที่เกิดจากผลเชอร์รี่ขนาดใหญ่ อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ของระยะกล้าหัวไม้ขีด และระยะปีกผีเสื้อ ที่เกิดจากเมล็ดพันธุ์ที่มีน้ำหนักของผลเชอร์รี่แตกต่างกัน พบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 4) ในส่วนของความเร็วในการงอกของเมล็ด ซึ่ง

ประเมินจากค่าดัชนีการงอกนั้น พบว่า ผลเชอร์รี่ที่มีขนาดเล็กมีค่าดัชนีการงอกสูงที่สุด ที่อายุ 45 60 75 วันหลังเพาะเมล็ด หรือช่วงอายุกล้าที่เหมาะสมต่อการถอนย้าย ตามคำแนะนำของกรมวิชาการเกษตร โดยการเพาะกล้ากาแฟอาราบิก้า โดยใช้เมล็ดพันธุ์ที่มาจากผลเชอร์รี่ที่มีขนาดเล็ก งอกได้เร็วกว่าเมล็ดพันธุ์ขนาดอื่น (ตารางที่ 5) และจากการประเมินวันงอกเฉลี่ยของเมล็ดที่อายุ 45 60 75 วันหลังเพาะเมล็ด หรือช่วงอายุกล้าที่เหมาะสมต่อการถอนย้าย ตามคำแนะนำของกรมวิชาการเกษตร และ 120 วันหลังเพาะเมล็ด หรือช่วงที่สิ้นสุดการประเมินการงอกของเมล็ดพันธุ์ พบว่า เมล็ดพันธุ์ที่มีน้ำหนักผลเชอร์รี่แตกต่างกันทั้ง 3 ขนาด มีวันงอกเฉลี่ยไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยเมล็ดพันธุ์กาแฟส่วนใหญ่จะใช้ระยะเวลาในการงอกโดยเฉลี่ยที่ 45 วัน หรือประมาณ 43-46 วัน ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (ตารางที่ 6)

ตารางที่ 3 ความงอก (%) ของเมล็ดกาแฟอาราบิก้า ที่เพาะด้วยเมล็ดพันธุ์ที่มีน้ำหนักเมล็ดแตกต่างกัน (ประเภทที่ 1) ที่อายุ 45 60 75 และ 120 วันหลังเพาะเมล็ด

ขนาดเมล็ด	ความงอก (%)			
	45 วัน	60 วัน	75 วัน	120 วัน
ใหญ่	30.60 ± 14.73	53.62 ± 14.32	67.61 ± 10.29	75.26 ± 12.95
กลาง	35.32 ± 8.98	59.14 ± 8.96	64.46 ± 8.59	68.01 ± 6.36
เล็ก	43.11 ± 19.61	65.27 ± 17.72	70.62 ± 14.61	72.49 ± 14.73
F-test	ns	ns	ns	ns

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน,
ns = ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ p-value>0.05

ตารางที่ 4 เปอร์เซ็นต์ต้นกล้ากาแฟอาราบิก้าที่พบในแปลงเพาะแยกตามระยะกล้าหัวไม้ขีด และระยะปีกผีเสื้อ ที่เกิดจากผลเชอร์รี่ที่มีน้ำหนักแตกต่างกัน (ประเภทที่ 1) ที่อายุ 45 60 และ 75 วันหลังเพาะเมล็ด

ขนาดเมล็ด	45 วัน หลังเพาะ		60 วัน หลังเพาะ		75 วันหลังเพาะ	
	ระยะหัวไม้ขีด	ระยะปีกผีเสื้อ	ระยะหัวไม้ขีด	ระยะปีกผีเสื้อ	ระยะหัวไม้ขีด	ระยะปีกผีเสื้อ
ใหญ่	30.60 ± 14.73		34.70 ± 7.22	18.92 ± 8.49	37.7 ± 6.58	29.91 ± 8.82
กลาง	35.32 ± 8.98		31.69 ± 3.14	27.45 ± 6.71	42.81 ± 4.16	21.65 ± 5.46
เล็ก	43.11 ± 19.61		34.55 ± 13.59	30.72 ± 10.10	47.57 ± 10.61	23.06 ± 9.98
F-test	ns	-	ns	ns	ns	ns

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน, ns = ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ p-value>0.05 และ MSE = Mean squared error

ตารางที่ 5 ดัชนีการงอกของเมล็ดกาแฟอาราบิก้า ที่เพาะด้วยเมล็ดพันธุ์ที่มีน้ำหนักเมล็ดแตกต่างกัน (ประเภทที่ 1) ที่อายุ 45 60 75 และ 120 วันหลังเพาะเมล็ด

ขนาดเมล็ด	ดัชนีการงอก			
	45 วัน	60 วัน	75 วัน	120 วัน
ใหญ่	0.77 ± 0.38b	1.24 ± 0.32b	1.45 ± 0.21b	1.49 ± 0.18
กลาง	0.89 ± 0.22b	1.37 ± 0.21b	1.45 ± 0.21b	1.55 ± 0.19
เล็ก	1.09 ± 0.47a	1.53 ± 0.43a	1.62 ± 0.38a	1.64 ± 0.38
F-test	**	***	***	ns

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน,
ns = ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ p-value>0.05

ตารางที่ 6 วันงอกเฉลี่ย (วัน) ของเมล็ดกาแฟอาราบิก้า ที่เพาะด้วยเมล็ดพันธุ์ที่มีน้ำหนักเมล็ดแตกต่างกัน (ประเภทที่ 1) ที่อายุ 45 60 75 และ 120 วันหลังเพาะเมล็ด

ขนาดเมล็ด	วันงอกเฉลี่ย (วัน)			
	45 วัน	60 วัน	75 วัน	120 วัน
ใหญ่	40 ± 1	44 ± 2	48 ± 3	51 ± 6
กลาง	40 ± 1	44 ± 1	46 ± 1	48 ± 2
เล็ก	40 ± 1	44 ± 2	45 ± 3	46 ± 4
F-test	ns	ns	ns	ns

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน,
ns = ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ p-value>0.05

เมื่อติดตามการเจริญเติบโตของต้นกล้ากาแฟอาราบิก้า พบว่า ลักษณะความสูงของต้นกล้าที่เกิดจากเมล็ดพันธุ์ที่มีน้ำหนักผลเชอร์รี่แตกต่างกันทั้ง 3 ขนาด (ตารางที่ 7) มีความแตกต่างกันทางสถิติ ในช่วง 105-225 วันหลังเพาะเมล็ด โดยต้นกล้าที่เกิดจากเมล็ดพันธุ์ขนาดกลางและขนาดใหญ่ มีค่าเฉลี่ยความสูงต้นที่สูงกว่าและมีความแตกต่างกันอย่างชัดเจนกับต้นกล้าที่เกิดจากเมล็ดพันธุ์ขนาดเล็ก ในส่วนของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางคอรากของต้นกล้า พบว่า มีความแตกต่างกันทางสถิติ ในช่วง 195-225 วันหลังเพาะเมล็ด โดยต้นกล้าที่เกิดจากเมล็ดพันธุ์ขนาดใหญ่และขนาดเล็ก มีค่าเฉลี่ยเส้นผ่านศูนย์กลางคอรากมากกว่าและมีความแตกต่างกันอย่างชัดเจนกับต้นกล้าที่เกิดจากเมล็ดพันธุ์ขนาดกลาง และในส่วนของจำนวนใบของต้นกล้า พบว่า มีความแตกต่างกันทางสถิติ ในช่วง 105-225 วันหลังเพาะเมล็ด โดยต้นกล้าที่เกิดจากเมล็ดพันธุ์ขนาดใหญ่และขนาดกลาง มีจำนวนใบมากกว่าและมีความแตกต่างกันอย่างชัดเจนกับต้นกล้าที่เกิดจากเมล็ดพันธุ์ขนาดเล็ก

จากการประเมินการเจริญเติบโตและการสะสมมวลชีวภาพของต้นกล้ากาแฟอาราบิก้าที่เกิดจากเมล็ดพันธุ์ที่มีน้ำหนักผลเชอร์รี่แตกต่างกันทั้ง 3 ขนาด ที่อายุกล้า 255 วันหลังเพาะเมล็ด ซึ่งเป็นระยะกล้าที่เหมาะสมสำหรับการย้ายปลูกลงแปลงหรือจำหน่าย ตามคำแนะนำของกรมส่งเสริมการเกษตร (ตารางที่ 8) พบว่า การสะสมมวลชีวภาพส่วนลำต้นและใบ ของต้นกล้าที่เกิดจากเมล็ดพันธุ์ทั้ง 3 ขนาด มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยต้นกล้าที่เกิดจากเมล็ดพันธุ์ขนาดกลางและขนาดใหญ่ มีการสะสมมวลชีวภาพส่วนลำต้นมากกว่าและมีความแตกต่างกันอย่างชัดเจนกับต้นกล้าที่เกิดจากเมล็ดพันธุ์ขนาดเล็ก ในส่วนของการสะสมมวลชีวภาพส่วนใบ พบว่า มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยต้นกล้าที่เกิดจากเมล็ดพันธุ์ขนาดกลางและขนาดเล็ก มีการสะสมมวลชีวภาพส่วนใบมากกว่าและมีความแตกต่างกันอย่างชัดเจนกับต้นกล้าที่เกิดจากเมล็ดพันธุ์ขนาดใหญ่ ขณะที่ลักษณะความสูงต้น เส้นผ่านศูนย์กลางคอราก จำนวนใบ ความยาวราก และน้ำหนักแห้งราก ของต้นกล้ากาแฟที่เกิดจากเมล็ดพันธุ์ทั้ง 3 ขนาด ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ตารางที่ 7 ลักษณะความสูงต้น เส้นผ่านศูนย์กลางคอราก และจำนวนใบ ของต้นกล้ากาแฟอาราบิก้าที่เพาะด้วยเมล็ดพันธุ์ที่มีน้ำหนักเมล็ดแตกต่างกัน (ประเภท (ประเภทที่ 1) ที่อายุ 75 90 105 135 165 195 และ 225 วันหลังเพาะเมล็ด

ขนาดเมล็ด	วันหลังเพาะเมล็ด						
	75	90	105	135	165	195	225
				ความสูงต้น (เซนติเมตร)			
ใหญ่	5.63 ± 2.89	6.55 ± 1.9	10.68 ± 2.87a	15.66 ± 2.69a	21.27 ± 3.27a	28.22 ± 3.74a	39.53 ± 4.44a
กลาง	6.29 ± 0.26	7.12 ± 0.49	11.83 ± 0.76a	16.97 ± 0.63a	21.74 ± 1.1a	28.06 ± 0.93a	38.61 ± 0.87a
เล็ก	5.71 ± 0.43	6.62 ± 0.61	8.39 ± 1.18b	13.41 ± 1.22ab	18.32 ± 1.19b	24.78 ± 1.23b	35.22 ± 1.23b
F-test	ns	ns	**	**	**	**	*
				เส้นผ่านศูนย์กลางคอราก (มิลลิเมตร)			
ใหญ่	1.75 ± 0.14	1.88 ± 0.32	2.48 ± 0.23	2.72 ± 0.18	2.99 ± 0.11	3.54 ± 0.1a	4.11 ± 0.09a
กลาง	1.83 ± 0.04	1.89 ± 0.08	2.34 ± 0.14	2.6 ± 0.17	2.87 ± 0.2	3.32 ± 0.19b	3.94 ± 0.16b
เล็ก	1.85 ± 0.03	1.96 ± 0.03	2.44 ± 0.03	2.74 ± 0.03	3.04 ± 0.03	3.49 ± 0.03a	4.1 ± 0.04a
F-test	ns	ns	ns	ns	ns	*	*
				จำนวนใบ			
ใหญ่	0	2	4a	6a	12a	16a	18a
กลาง	0	2	3a	5a	11a	15a	17a
เล็ก	0	2	2b	4b	10b	14b	16b
F-test	-	ns	***	***	***	***	***

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน, ns = ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ p-value>0.05,
* = มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ p-value<0.05

ตารางที่ 8 ลักษณะความสูงต้น เส้นผ่านศูนย์กลางคอราก จำนวนใบ ความยาวราก น้ำหนักแห้งต้น น้ำหนักแห้งราก และน้ำหนักแห้งใบ ของต้นกล้ากาแฟอาราบิก้าที่เพาะด้วยเมล็ดพันธุ์ที่มีน้ำหนักผลเชอร์รี่แตกต่างกัน (ประเภทที่ 1) ที่อายุ 255 วันหลังเพาะเมล็ด

	ขนาดเมล็ด			F-test
	ใหญ่	กลาง	เล็ก	
ความสูงต้น (เซนติเมตร)	50.44 ± 5.31	50.7 ± 1.92	48.21 ± 4.15	ns
เส้นผ่านศูนย์กลางคอราก (มิลลิเมตร)	5.55 ± 0.31	5.42 ± 0.48	5.21 ± 0.71	ns
จำนวนใบ	20	19	20	ns
ความยาวราก (เซนติเมตร)	29.08 ± 3.17	29.68 ± 2.25	28 ± 2.33	ns
น้ำหนักแห้งต้น (กรัม)	5.9023 ± 1.0353 a	5.9753 ± 0.6280 a	4.6869 ± 0.5985 b	**
น้ำหนักแห้งราก (กรัม)	6.7633 ± 1.808	7.1687 ± 1.3447	5.6689 ± 1.1182	ns
น้ำหนักแห้งใบ (กรัม)	9.9940 ± 2.5964 b	13.1654 ± 1.8039 a	11.7428 ± 1.7281 ab	*

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน, ** = มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ p-value<0.01

1.3 ความงอก ดัชนีการงอก วันงอกเฉลี่ย ของเมล็ดกาแฟอาราบิก้า ที่เพาะด้วยเมล็ดพันธุ์ที่มีขนาดความกว้างแตกต่างกัน (ประเภทที่ 2)

ผลการทดสอบการงอกของเมล็ดพันธุ์กาแฟอาราบิก้าในสภาพโรงเรือน พบว่า ผลกาแฟเชอร์รี่ที่แปลงค่าเป็นขนาดความกว้างเมล็ดกะลาทั้ง 6 เกรด มีเปอร์เซนต์การงอกไม่แตกต่างทางสถิติ ที่อายุ 45 60 75 วันหลังเพาะเมล็ด หรือช่วงอายุกล้าที่เหมาะสมต่อการถอนย้าย ตามคำแนะนำของกรมวิชาการเกษตร และ 120 วันหลังเพาะเมล็ด หรือช่วงที่สิ้นสุดการประเมินการงอกของเมล็ดพันธุ์ (ตารางที่ 9) นอกจากนี้ยังรวมถึงการงอกของเมล็ดที่จำแนกตามระยะกล้าที่ปรากฏได้แก่ ระยะหัวไม้ขีด และระยะปีกผีเสื้อ (ตารางที่ 10) ในส่วนของความเร็วในการงอกของเมล็ด และวันงอกเฉลี่ยของเมล็ด ที่เพาะด้วยเมล็ดพันธุ์ทั้ง 6 เกรด ก็ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติด้วยเช่นกัน (ตารางที่ 11 และตารางที่ 12) ซึ่งเมล็ดพันธุ์กาแฟอาราบิก้าส่วนใหญ่จะใช้ระยะเวลาในการงอกโดยเฉลี่ยที่ 44 วัน หรือประมาณ 43-44 วัน ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ 9 ความงอก (%) ของเมล็ดกาแฟอาราบิก้า เพาะด้วยเมล็ดพันธุ์ที่มีขนาดความกว้างแตกต่างกัน (ประเภทที่ 2) ที่อายุ 45 60 75 และ 120 วันหลังเพาะเมล็ด

เกรด	ความงอก (%)			
	45 วัน	60 วัน	75 วัน	120 วัน
1	39.72 ± 14.15	64.88 ± 23.12	73.07 ± 20.05	77.23 ± 18.86
2	41.73 ± 18.19	58.91 ± 18.81	65.02 ± 16.48	68.28 ± 12.74
3	31.84 ± 11.55	54.45 ± 8.58	60 ± 8.6	65.16 ± 5.38
4	39.13 ± 7.92	65.45 ± 8.67	69.63 ± 9.53	71.67 ± 8.5
5	34.27 ± 8.41	58.52 ± 11.37	65.21 ± 10.86	68.77 ± 11.63
6	33.53 ± 32.89	53.57 ± 30.51	73.02 ± 19.97	73.02 ± 19.97
F-test	ns	ns	ns	ns

หมายเหตุ ns = ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ p-value>0.05

ตารางที่ 10 เปอร์เซนต์ของต้นกล้ากาแฟอาราบิก้าที่พบในแปลงเพาะ แยกตามระยะกล้าหัวไม้ขีด และระยะปีกผีเสื้อ ที่เกิดจากเมล็ดพันธุ์ที่มีขนาดความกว้างของเมล็ดกะลาแตกต่างกัน (ประเภทที่ 2) ที่อายุ 45 60 และ 75 วันหลังเพาะเมล็ด

เกรด	45 วัน หลังเพาะ		60 วัน หลังเพาะ		75 วันหลังเพาะ	
	หัวไม้ขีด	ปีกผีเสื้อ	หัวไม้ขีด	ปีกผีเสื้อ	หัวไม้ขีด	ปีกผีเสื้อ
1	39.72 ± 14.15		38.71 ± 19.58	26.18 ± 4.32	11.85 ± 5.74	61.22 ± 17.71
2	41.73 ± 18.19		29.38 ± 9.47	29.53 ± 11.27	13.58 ± 2.61	51.44 ± 18.45
3	31.71 ± 11.52		30.13 ± 3.73	24.32 ± 10.69	15.26 ± 6.21	44.74 ± 13.66
4	38.98 ± 7.95		33.8 ± 8.18	31.65 ± 5.84	15.98 ± 4.64	53.65 ± 9.43
5	34.27 ± 8.41		32.25 ± 15.72	26.27 ± 7.98	17.14 ± 5.5	48.07 ± 8.38
6	33.53 ± 32.89		41.96 ± 20.42	28.27 ± 21.88	19.35 ± 22.31	59.23 ± 48.05
F-test	ns	-	ns	ns	ns	ns

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน, ns = ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ p-value>0.05

ตารางที่ 11 ดัชนีการงอกของเมล็ดกาแฟอาราบิก้า ที่เพาะด้วยเมล็ดพันธุ์ที่มีขนาดความกว้างของเมล็ดกะลาแตกต่างกัน (ประเภทที่ 2) ที่อายุ 45 60 75 และ 120 วันหลังเพาะเมล็ด

เกรด	ดัชนีการงอก			
	45 วัน	60 วัน	75 วัน	120 วัน
1	0.98 ± 0.34	1.50 ± 0.49	1.62 ± 0.43	1.67 ± 0.41
2	1.05 ± 0.47	1.39 ± 0.46	1.49 ± 0.42	1.52 ± 0.38
3	0.79 ± 0.29	1.24 ± 0.22	1.33 ± 0.22	1.39 ± 0.18
4	1.00 ± 0.2	1.53 ± 0.20	1.59 ± 0.21	1.62 ± 0.19
5	0.87 ± 0.21	1.36 ± 0.26	1.47 ± 0.26	1.51 ± 0.27
6	0.84 ± 0.84	1.24 ± 0.78	1.54 ± 0.56	1.54 ± 0.56
F-test	ns	ns	ns	ns

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน,
ns = ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ p-value>0.05

ตารางที่ 12 วันงอกเฉลี่ยของเมล็ดกาแฟอาราบิก้า ที่เพาะด้วยเมล็ดพันธุ์ที่มีขนาดความกว้างของเมล็ดกะลาแตกต่างกัน (ประเภทที่ 2) ที่อายุ 45 60 75 และ 120 วันหลังเพาะเมล็ด

เกรด	วันงอกเฉลี่ย (วัน)			
	45 วัน	60 วัน	75 วัน	120 วัน
1	41 ± 2	44 ± 2	47 ± 2	49 ± 4
2	40 ± 1	43 ± 1	46 ± 2	48 ± 6
3	41 ± 1	45 ± 1	46 ± 1	50 ± 4
4	40 ± 1	44 ± 1	45 ± 1	46 ± 2
5	40 ± 1	44 ± 1	46 ± 1	48 ± 1
6	40 ± 1	44 ± 3	50 ± 8	50 ± 8
F-test	ns	ns	ns	ns

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน,
ns = ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ p-value>0.05

เมื่อติดตามการเจริญเติบโตของต้นกล้ากาแฟอาราบิก้าพบว่า ต้นกล้าที่เกิดจากเมล็ดกาแฟทั้ง 6 เกรด มีลักษณะความสูงต้น (เซนติเมตร) เส้นผ่านศูนย์กลางคอราก (มิลลิเมตร) และจำนวนใบที่อายุกล้า 75 – 225 วัน ไม่แตกต่างกันทางสถิติ (ตารางที่ 13) นอกจากนี้จากการประเมินการเจริญเติบโตและการสะสมมวลชีวภาพ ของต้นกล้ากาแฟอาราบิก้าที่เกิดจากเมล็ดพันธุ์ทั้ง 6 เกรด ที่อายุกล้า 255 วันหลังเพาะเมล็ด หรือต้นกล้ามีลักษณะที่เหมาะสมสำหรับการย้ายปลูกลงแปลงหรือจำหน่าย ตามคำแนะนำของกรมส่งเสริมการเกษตร (ตารางที่ 14) พบว่า ต้นกล้าที่เกิดจากเมล็ดกาแฟทั้ง 6 เกรด มีลักษณะความสูงต้น (เซนติเมตร) เส้นผ่านศูนย์กลางคอราก (มิลลิเมตร) จำนวนใบ ความยาวราก (เซนติเมตร) รวมถึงการสะสมน้ำหนักแห้งต้น (กรัม) น้ำหนักแห้งราก (กรัม) และน้ำหนักแห้งใบ (กรัม) ไม่แตกต่างกันทางสถิติด้วยเช่นกัน

ตารางที่ 13 ลักษณะความสูงต้น และเส้นผ่านศูนย์กลางคอราก ของต้นกล้ากาแฟอาราบิก้า ที่เพาะด้วยเมล็ดพันธุ์ที่มีขนาดความกว้างของเมล็ดกะลาแตกต่างกัน (ประเภทที่ 2) ที่อายุ 75 90 105 135 165 195 และ 225 วันหลังเพาะเมล็ด

เกรด	วันหลังเพาะเมล็ด						
	75	90	105	135	165	195	225
				ความสูงต้น (เซนติเมตร)			
1	6.33 ± 0.22a	7.07 ± 0.73	8.54 ± 1.24	13.75 ± 1.21	18.71 ± 1.26	25.11 ± 1.41	35.87 ± 1.08
2	5.75 ± 0.77ab	6.64 ± 0.79	8.9 ± 1.77	14.06 ± 1.8	19.03 ± 2.01	25.49 ± 2.25	35.74 ± 2.25
3	5.98 ± 0.28ab	6.77 ± 0.6	8.85 ± 1.51	13.93 ± 1.43	18.77 ± 1.32	25.38 ± 1.02	35.93 ± 1
4	5.67 ± 0.38ab	6.55 ± 0.55	8.64 ± 1.13	13.45 ± 1.32	18.4 ± 1.32	24.91 ± 1.41	35.38 ± 1.59
5	5.6 ± 0.69b	6.33 ± 0.69	8.33 ± 1.53	13.31 ± 1.72	18.14 ± 1.71	24.58 ± 1.88	34.93 ± 2.19
6	5.75 ± 0.42b	6.64 ± 0.47	7.52 ± 0.97	12.9 ± 1.33	18.09 ± 1.44	24.39 ± 1.75	34.66 ± 1.63
F-test	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
				ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางคอราก (มิลลิเมตร)			
1	1.9 ± 0.13	1.96 ± 0.12	2.49 ± 0.14	2.78 ± 0.12	3.08 ± 0.12	3.55 ± 0.12	4.18 ± 0.12
2	1.8 ± 0.12	2.04 ± 0.15	2.55 ± 0.27	2.86 ± 0.27	3.16 ± 0.27	3.6 ± 0.29	4.2 ± 0.26
3	1.8 ± 0.09	1.92 ± 0.05	2.38 ± 0.18	2.67 ± 0.18	2.97 ± 0.17	3.41 ± 0.17	4.02 ± 0.15
4	1.87 ± 0.03	1.95 ± 0.04	2.41 ± 0.06	2.7 ± 0.06	3 ± 0.07	3.44 ± 0.08	4.05 ± 0.09
5	1.91 ± 0.1	1.92 ± 0.06	2.46 ± 0.09	2.78 ± 0.1	3.09 ± 0.1	3.54 ± 0.11	4.14 ± 0.11
6	1.88 ± 0.08	1.94 ± 0.17	2.34 ± 0.11	2.67 ± 0.11	2.98 ± 0.11	3.44 ± 0.1	4.05 ± 0.11
F-test	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน, ns = ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ p-value>0.05,

* = มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ p-value<0.05

ตารางที่ 14 จำนวนใบ ของต้นกล้ากาแฟอาราบิก้า ที่เพาะด้วยเมล็ดพันธุ์ที่มีขนาดความกว้างของเมล็ดกะลาแตกต่างกัน (ประเภทที่ 2) ที่อายุ 75 90 105 135 165 195 และ 225 วันหลังเพาะเมล็ด

เกรด	วันหลังเพาะเมล็ด						
	75	90	105	135	165	195	225
				จำนวนใบ			
1	2	3	4	10	14	16	19
2	2	3	4	10	14	16	20
3	2	3	4	10	14	16	20
4	2	3	4	10	14	16	19
5	2	3	4	10	14	16	19
6	2	2	3	9	13	15	20
F-test	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน, ns = ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ p-value>0.05

ตารางที่ 15 ลักษณะความสูงต้น เส้นผ่านศูนย์กลางคอราก จำนวนใบ ความยาวราก น้ำหนักแห้งต้น น้ำหนักแห้งราก และน้ำหนักแห้งใบ ของต้นกล้ากาแฟอาราบิก้า ที่เพาะด้วยเมล็ดพันธุ์ที่มีขนาดความกว้างแตกต่างกัน (ประเภทที่ 2) ที่อายุ 255 วันหลังเพาะเมล็ด

	เกรด						F-test
	1	2	3	4	5	6	
ความสูงต้น (เซนติเมตร)	49.64 ± 4.69	51.44 ± 4.53	52.73 ± 4.48	50.03 ± 3.47	49.64 ± 5.13	51.44 ± 3.61	ns
เส้นผ่านศูนย์กลางคอราก (มิลลิเมตร)	4.98 ± 0.6	5.75 ± 0.56	5.5 ± 0.54	5.37 ± 0.64	4.98 ± 0.77	5.75 ± 0.75	ns
จำนวนใบ	19	20	20	19	19	20	ns
ความยาวราก (เซนติเมตร)	29.39 ± 3.77	30.57 ± 5.06	28.31 ± 2.74	29.29 ± 3.61	29.39 ± 2.98	30.57 ± 3.87	ns
น้ำหนักแห้งต้น (กรัม)	5.1771 ± 1.7181	6.2385 ± 1.3884	6.2864 ± 1.5071	5.6328 ± 0.6337	5.1771 ± 1.7294	6.2385 ± 0.8828	ns
น้ำหนักแห้งราก (กรัม)	5.2867 ± 2.6504	7.9224 ± 2.1213	7.3431 ± 3.2329	6.9219 ± 1.2019	5.2867 ± 1.8886	7.9224 ± 1.2812	ns
น้ำหนักแห้งใบ (กรัม)	10.1575 ± 3.4155	13.0436 ± 3.2809	13.5067 ± 3.3219	13.334 ± 2.0032	10.1575 ± 2.299	13.0436 ± 2.7023	ns

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน, ns = ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ p-value>0.05

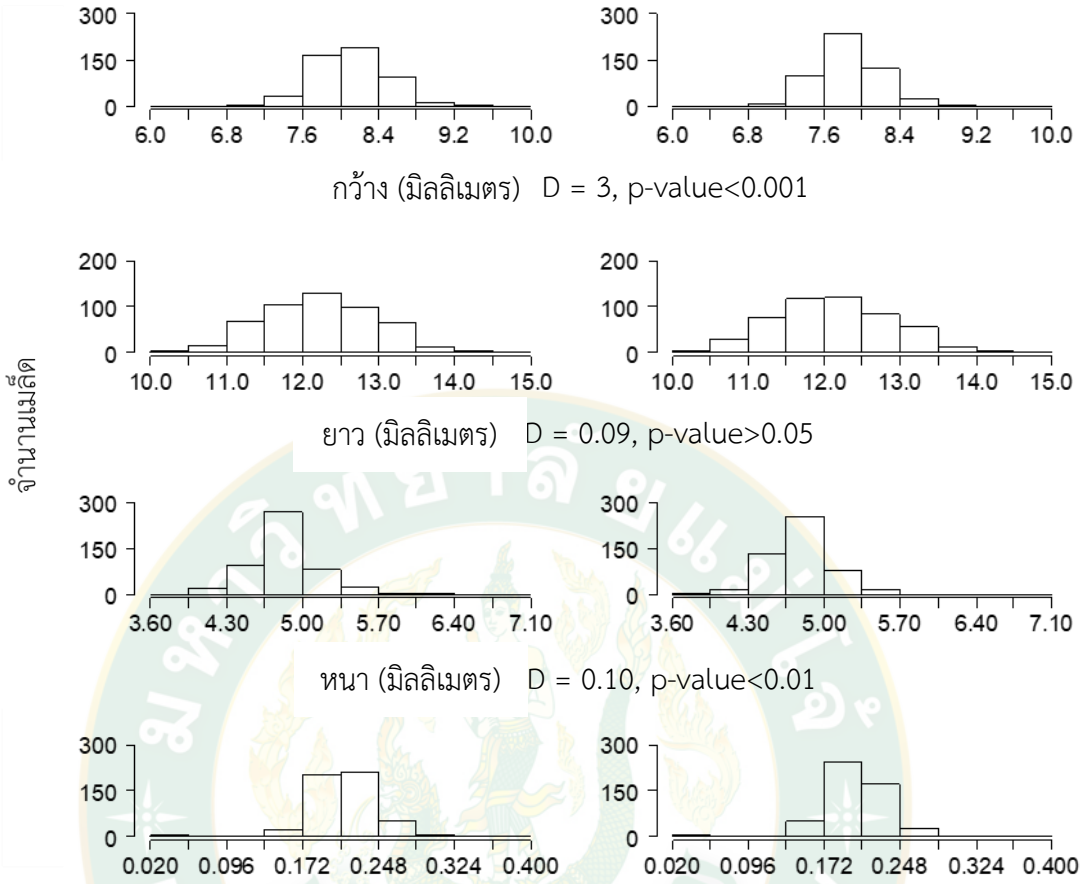
2. ศึกษาความผันแปรด้านขนาดเมล็ด การงอก และการเจริญเติบโตของเมล็ดกาแฟกะลาที่อยู่ภายในเมล็ดเชอร์รี่เดียวกัน (การทดลองย่อยที่ 1.2)

2.1 ความผันแปรของขนาดเมล็ด

ในการศึกษาความผันแปรของขนาดเมล็ดกาแฟกะลาที่อยู่ภายในเมล็ดเชอร์รี่เดียวกัน ได้ศึกษาขึ้นเพื่อยืนยันว่าการแบ่งขนาดเมล็ดกาแฟจากการทดลองย่อยที่ 1.1 ที่ใช้น้ำหนักของผลเชอร์รี่และความกว้างของเมล็ดกะลานั้น ไม่มีความผันแปรของขนาดเมล็ดกาแฟกะลาที่อยู่ภายในผลเชอร์รี่เข้ามาเกี่ยวข้องกับการงอกและการเจริญเติบโตของต้นกล้า ดังนั้น จึงทำการสุ่มวัดขนาดเมล็ดกาแฟกะลาทั้ง 2 เมล็ด ที่อยู่ภายในผลเชอร์รี่เดียวกัน แล้วนำไปทดสอบการงอก และการเจริญเติบโตของต้นกล้า จากการศึกษาพบว่า เมล็ดกาแฟกะลาทั้ง 2 เมล็ด ที่อยู่ภายในผลเชอร์รี่เดียวกันมีความผันแปรด้านขนาดความกว้าง ความหนา และน้ำหนักของเมล็ด (ภาพที่ 6) ซึ่งจากการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย พบว่า ขนาดความกว้าง ความหนา และน้ำหนักของเมล็ดกะลาทั้ง 2 เมล็ด มีความแตกต่างกันทางสถิติ (ตารางที่ 16) โดยเมล็ดคิดเป็นส่วนต่างของขนาดความกว้างเมล็ดกะลาอยู่ที่ 3.27 เปอร์เซ็นต์ ความหนาเมล็ดกะลา 1.51 เปอร์เซ็นต์ และน้ำหนักเมล็ดกะลา 4.79 เปอร์เซ็นต์

2.2 การงอกและการเจริญเติบโต

เมื่อนำเมล็ดกาแฟกะลาทั้ง 2 เมล็ดมาเพาะทดสอบการงอกในสภาพโรงเรือน พบว่า ความงอก ดัชนีการงอก และวันงอกเฉลี่ยของเมล็ดกาแฟกะลาทั้ง 2 เมล็ด ไม่แตกต่างกันทางสถิติ (ตารางที่ 17) นอกจากนี้การเจริญเติบโตของต้นกล้าในลักษณะความสูงต้น ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางคอราก ความยาวราก น้ำหนักแห้งต้น น้ำหนักแห้งราก และน้ำหนักแห้งใบ ที่อายุ 75 85 95 105 135 และ 165 วันหลังเพาะเมล็ด ของต้นกล้ากาแฟที่เกิดจากเมล็ดกาแฟกะลาทั้ง 2 เมล็ด ที่อยู่ภายในผลกาแฟเชอร์รี่เดียวกัน ก็ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติด้วยเช่นกัน (ตารางที่ 18) ดังนั้นการแบ่งขนาดเมล็ดกาแฟอาราบิก้าของการทดลองย่อยที่ 1.1 สำหรับทำการศึกษาการงอกของเมล็ดและการเจริญเติบโตของต้นกล้านั้น ไม่ได้รับอิทธิพลจากขนาดเมล็ดกาแฟกะลาที่อยู่ภายในเมล็ดเชอร์รี่เดียวกันเข้ามามีส่วนเกี่ยวข้อง



ภาพที่ 6 การแจกแจงความถี่ขนาดความกว้าง ความยาว ความหนา และน้ำหนัก ของเมล็ดกาแฟกะลาที่อยู่ภายในเมล็ดเชอร์รี่เดียวกัน และทดสอบการแจกแจงแบบสองตัวอย่าง (Two-sample Kolmogorov-Smirnov test)

ตารางที่ 16 เปรียบเทียบขนาดความกว้าง ความยาว ความหนา และน้ำหนัก ของเมล็ดกาแฟกะลาที่อยู่ภายในผลกาแฟเชอร์รี่เดียวกัน

ขนาดเมล็ด	กาแฟกะลา (1)		กาแฟกะลา (2)		T-test
	ค่าเฉลี่ย	95% CI	ค่าเฉลี่ย	95% CI	
กว้าง (มิลลิเมตร)	8.18	8.15-8.21	7.91	7.88-7.94	***
ยาว (มิลลิเมตร)	12.27	12.2-12.34	12.19	12.12-12.26	ns
หนา (มิลลิเมตร)	4.87	4.84-4.9	4.80	4.77-4.83	*
น้ำหนัก (กรัม)	0.2122	0.2092-0.2152	0.2021	0.1991-0.2051	*

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน, 95% CI = ค่าประมาณ ที่ช่วงความเชื่อมั่น 95%,
ns = ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ p-value>0.05,
* = มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ p-value<0.01 และ
*** = มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ p-value<0.001

ตารางที่ 17 ความงอก (%) ดัชนีการงอก และวันงอกเฉลี่ย ของเมล็ดกาแฟกะลาที่อยู่ภายในเมล็ดเชอร์รี่เดียวกัน ที่อายุ 120 วันหลังเพาะเมล็ด

คุณภาพเมล็ดพันธุ์	กาแฟกะลา (1)	กาแฟกะลา (2)	T-test
ความงอก (%)	70.08 ± 12.94	68.62 ± 15.55	ns
ดัชนีการงอก	1.52 ± 0.29	1.51 ± 0.35	ns
วันงอกเฉลี่ย (วัน)	27 ± 5	27 ± 6	ns

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน,
ns = ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ p-value>0.05

ตารางที่ 18 ลักษณะความสูงต้น เส้นผ่านศูนย์กลางคอราก จำนวนใบ และความยาวราก ของต้นกล้ากาแฟอาราบิก้าที่เพาะด้วยเมล็ดกาแฟกะลาทั้ง 2 เมล็ดที่อยู่ภายในเมล็ดเชอร์รี่เดียวกัน ที่อายุ 75 85 95 105 135 และ 165 วันหลังเพาะเมล็ด

	วันหลังเพาะเมล็ด					
	75	**85**	**95**	**105**	**135**	**165**
			ความสูงต้น (เซนติเมตร)			
กาแฟกะลา (1)	5.32 ± 0.58	5.88 ± 0.8	5.58 ± 1.01	7.82 ± 0.48	8.78 ± 0.65	9.98 ± 0.74
กาแฟกะลา (2)	5.42 ± 0.38	5.76 ± 0.51	6.28 ± 0.63	8.08 ± 0.49	9.7 ± 1.23	10.98 ± 1.36
t-test	ns	ns	ns	ns	ns	ns
			เส้นผ่านศูนย์กลางคอราก (มิลลิเมตร)			
กาแฟกะลา (1)	2.06 ± 0.24	1.92 ± 0.18	2.36 ± 0	1.94 ± 0.42	1.8 ± 0.36	2.06 ± 0.19
กาแฟกะลา (2)	1.94 ± 0.32	2.26 ± 0.23	1.8 ± 0	1.76 ± 0.24	1.72 ± 0.08	1.98 ± 0.13
t-test	ns	ns	ns	ns	ns	ns
			จำนวนใบ			
กาแฟกะลา (1)	0	2	4	4	6	6
กาแฟกะลา (2)	0	2	4	4	6	6
t-test	ns	ns	ns	ns	ns	ns
			ความยาวราก (เซนติเมตร)			
กาแฟกะลา (1)	4.9 ± 0.63	6 ± 0.8	6.44 ± 1.21	7.98 ± 2.78	13.82 ± 0.84	14.7 ± 0.97
กาแฟกะลา (2)	5.82 ± 0.4	7.08 ± 0.91	7.02 ± 1.14	8.08 ± 1.57	12.64 ± 3.55	14.88 ± 1.09
t-test	ns	ns	ns	ns	ns	ns

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน, ns = ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ p-value>0.05

ตารางที่ 19 ความยาวราก น้ำหนักแห้งต้น น้ำหนักแห้งราก และน้ำหนักแห้งใบ ของต้นกล้ากาแฟอาราบิก้าที่เพาะด้วยเมล็ดกาแฟกะลาทั้ง 2 เมล็ดที่อยู่ภายในเมล็ดเชอร์รี่เดียวกัน ที่อายุ 75 85 95 105 135 และ 165 วันหลังเพาะเมล็ด

	วันหลังเพาะเมล็ด (วัน)					
	75	**85**	**95**	**105**	**135**	**165**
			น้ำหนักแห้งต้น (กรัม)			
กาแฟกะลา (1)	0.0205 ± 0.0731	0.0207 ± 0.0998	0.0293 ± 0.0987	0.0436 ± 0.1912	0.0647 ± 0.3397	0.0793 ± 0.4029
กาแฟกะลา (2)	0.0146 ± 0.1037	0.0197 ± 0.1027	0.02 ± 0.1466	0.0382 ± 0.2182	0.0565 ± 0.2413	0.0745 ± 0.2657
t-test	ns	ns	ns	ns	ns	ns
			น้ำหนักแห้งราก (กรัม)			
กาแฟกะลา (1)	0.0139 ± 0.0042	0.0593 ± 0.0134	0.0724 ± 0.0158	0.0913 ± 0.0051	0.1283 ± 0.0047	0.1309 ± 0.0053
กาแฟกะลา (2)	0.0139 ± 0.0026	0.0729 ± 0.0059	0.071 ± 0.0218	0.097 ± 0.0086	0.1229 ± 0.0166	0.1246 ± 0.0207
t-test	ns	ns	ns	ns	ns	ns
			น้ำหนักแห้งใบ (กรัม)			
กาแฟกะลา (1)	0.0271 ± 0.0021	0.0267 ± 0.0069	0.0522 ± 0.0095	0.0821 ± 0.0159	0.0819 ± 0.0093	0.0959 ± 0.0061
กาแฟกะลา (2)	0.0263 ± 0.0032	0.0316 ± 0.0086	0.0537 ± 0.0097	0.0781 ± 0.0169	0.0862 ± 0.0149	0.086 ± 0.0156
t-test	ns	ns	ns	ns	ns	ns

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน, ns = ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ p-value>0.05

วิจารณ์ผลการทดลองที่ 1

การศึกษาการงอกของเมล็ดกาแฟอาราบิก้า ที่เพาะด้วยเมล็ดพันธุ์ที่มีน้ำหนักของผลเชอร์รี่และความกว้างของเมล็ดกะลาที่แตกต่างกัน พบว่าการงอกของเมล็ดกาแฟอาราบิก้าส่วนใหญ่มีแนวโน้มผันแปรไปตามน้ำหนักของผลเชอร์รี่ โดยเฉพาะความเร็วในการงอกของเมล็ด ซึ่งผลเชอร์รี่ที่มีน้ำหนักเบางอกได้เร็วกว่าผลเชอร์รี่ที่มีน้ำหนักมาก อีกทั้งยังส่งผลให้ต้นกล้ามีการพัฒนาจากระยะหัวไม้ขีดเข้าสู่ระยะปีกผีเสื้อได้อย่างรวดเร็ว ซึ่งอาจเป็นผลมาจากเมล็ดขนาดเล็กยังมีการพัฒนาส่วนเนื้อเยื่อเจริญต่าง ๆ ยังไม่สมบูรณ์เต็มที่ เช่น มีเปลือกหุ้มเมล็ดที่บาง ทำให้น้ำและก๊าซออกซิเจนสามารถซึ่งผ่านเข้าไปข้างในเมล็ดจนถึงระดับที่เมล็ดเริ่มต้นกระบวนการงอกได้ง่าย (Souza and Fagundes, 2014) และเมื่อพิจารณาจากแหล่งที่มาของเมล็ดพันธุ์กาแฟอาราบิก้าที่นำมาศึกษาครั้งนี้จะเห็นได้ว่าเป็นเมล็ดที่เก็บรวบรวมมาจากแปลงกาแฟภายใต้ป่าธรรมชาติ ซึ่งถูกเรือนยอดของไม้ยืนต้นขึ้นปกคลุมภายในแปลงจนเกิดร่มเงา ซึ่ง Geromel et al. (2008) อธิบายว่า กาแฟที่ปลูกภายใต้ร่มเงานั้น เมล็ดจะใช้ระยะเวลาในการพัฒนาส่วนของ ผล ผนังของผล และอาหารสะสมในเมล็ดที่ค่อนข้างนาน จึงอาจเป็นไปได้ว่าเมล็ดกาแฟขนาดเล็กที่นำมาศึกษายังมีการพัฒนาที่ไม่สมบูรณ์เต็มที่ หรืออาจเป็นไปได้ว่าเมล็ดกาแฟขนาดเล็ก มีสารเคลือบหรือเมือกที่หุ้มเมล็ดที่บาง ซึ่งสารดังกล่าวทำหน้าที่เป็นตัวขัดขวางการงอกของเมล็ด ดังนั้นการทำความสะอาดเมล็ดกาแฟในระหว่างขั้นตอนการแปรเมล็ดเพื่อใช้สำหรับเป็นเมล็ดพันธุ์ อาจทำให้สารเคลือบเมล็ดหลุดออกไปได้ง่าย ทำให้เมล็ดได้รับปัจจัยที่ช่วยกระตุ้นการงอกได้ไวขึ้น นอกจากนี้เมล็ดขนาดเล็กยังมีอัตราส่วนพื้นที่ผิวต่อปริมาตรที่มากจึงมีโอกาสที่จะดูดซับความชื้นได้มากกว่าเมล็ดที่มีขนาดใหญ่ (Eira et al., 2006; Sung, 1995) ด้านความงอกของเมล็ด พบว่า เมล็ดกาแฟที่มีขนาดใหญ่กับมีความงอกไม่แตกต่างกับเมล็ดกาแฟที่มีขนาดเล็ก ขณะที่การศึกษาในเมล็ดพืชชนิดอื่นกับพบว่า เมล็ดขนาดใหญ่มีความงอกที่มากกว่าเนื่องจากมีอาหารสะสมที่จำเป็นสำหรับการงอกของเมล็ดที่มากกว่า (Chacón et al., 1998; Díaz et al., 2015; Mtambalika et al., 2014; Samreen and Shaukat, 2000; ธีระศักดิ์ และบุญมี, 2554) ขณะที่ Paz et al. (1999) ได้ศึกษาการงอกของเมล็ดกลุ่มวงศ์ RUBIACEAE จำนวน 7 สายพันธุ์ ซึ่งเป็นเมล็ดในวงศ์เดียวกับกาแฟอาราบิก้า และได้รายงานว่า มวลหรือขนาดเมล็ดเป็นปัจจัยภายในที่มีผลต่อการงอก เฉพาะในเมล็ดพันธุ์บางชนิดเท่านั้น ซึ่งส่วนใหญ่แล้วการงอกของเมล็ดจะถูกควบคุมโดยปัจจัยภายนอกเป็นส่วนใหญ่ นอกจากนี้ Estanislau (2002) รายงานว่า ต้นอ่อนหรือเอ็มบริโอที่อยู่ภายในเมล็ดกาแฟอาราบิก้าสามารถงอกได้ แม้อยู่ในสภาวะที่ยังพัฒนาตัวไม่สมบูรณ์เต็มที่ หรือตั้งแต่ 120 ถึง 150 วัน หลังจากเริ่มติดดอกและพัฒนาเป็นเมล็ด ดังนั้นอาจเป็นไปได้ว่าเมล็ดกาแฟขนาดเล็กมีอาหารสะสมที่เพียงพอสำหรับใช้ในกระบวนการงอก (Eira et al., 2006; ธีระ

ศักดิ์ และบุญมี, 2554) ดังนั้นเมล็ดพันธุ์ขนาดเล็กสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการผลิตกล้าได้ ซึ่งเป็นการเพิ่มมูลค่าของผลผลิต และลดการสูญเสียในทางธุรกิจเมล็ดพันธุ์ได้

ด้านการเจริญเติบโตของต้นกล้ากาแฟอาราบิก้า ที่เพาะด้วยเมล็ดพันธุ์ที่มีน้ำหนักของผลเชอร์รี่แตกต่างกัน พบว่า ลักษณะความสูงต้น เส้นผ่านศูนย์กลางคอราก และจำนวนใบ มีความแตกต่างกัน ซึ่งลักษณะการเจริญเติบโตดังกล่าว อาจเป็นผลมาจากปัจจัยอื่น เนื่องจากการงอกของเมล็ดพืชโดยทั่วไป จะใช้อาหารสะสมที่อยู่ภายในเมล็ดสำหรับการงอก และการพัฒนาต้นอ่อนในช่วงแรกเท่านั้น เมื่อต้นอ่อนเริ่มปรากฏใบจริงและสามารถสังเคราะห์แสงได้เอง ต้นกล้าจะไม่ใช้อาหารสะสมที่อยู่ภายในเมล็ด (ลิลลี่, 2559) ดังนั้นเมื่อต้นกล้ากาแฟเริ่มปรากฏใบจริงขึ้น ปัจจัยที่จะส่งผลต่อการเจริญเติบโต อาจเกิดจากสภาพแวดล้อมโดยรอบ หรือธาตุอาหาร จึงคาดการณ์ได้ว่าต้นกล้ากาแฟที่เกิดจากเมล็ดพันธุ์ที่มีขนาดต่างกัน มีการสะสมน้ำหนักแห้งต้นที่แตกต่างกันนั้น จึงอาจไม่ใช่ปัจจัยที่เกิดจากขนาดของเมล็ดโดยตรง

ศึกษาผลของการตัดรากต่อการเจริญเติบโตของต้นกล้ากาแฟอาราบิก้า

1. ลักษณะการเจริญเติบโตของต้นกล้ากาแฟอาราบิก้าก่อนย้ายปลูก

ลักษณะความสูงต้น (เซนติเมตร) เส้นผ่านศูนย์กลางคอราก (มิลลิเมตร) ความยาวราก (เซนติเมตร) น้ำหนักแห้งต้น (กรัม) น้ำหนักแห้งใบ (กรัม) น้ำหนักแห้งราก (กรัม) และลักษณะรากต้นกล้าที่ประเมินจากภาพถ่ายดิจิทัล ได้แก่ ความยาวรากรวม (เซนติเมตร) พื้นที่ผิวราก (ตารางเซนติเมตร) และปริมาตรราก (ลูกบาศก์เซนติเมตร) ก่อนทำการตัดรากออก 1 ใน 3 ของความยาวรากทั้งหมดก่อนย้ายปลูก กับต้นกล้ากาแฟที่ไม่ได้รับการตัดราก ที่อายุ 75 วันหลังเพาะเมล็ด ไม่แตกต่างกันทางสถิติ และเมื่อทำการตัดรากกล้ากาแฟออก 1 ใน 3 แล้ว พบว่า ลักษณะความยาวราก (เซนติเมตร) น้ำหนักแห้งราก (กรัม) และความยาวรากรวม (เซนติเมตร) แตกต่างกับต้นกล้าที่ไม่ได้รับการตัดรากคิดเป็นส่วนต่างอยู่ที่ 28 20 และ 22 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ตารางที่ 20 และ ภาพที่ 7)

ภาพที่ 7 ต้นกล้ากาแฟอาราบิก้า ที่ตัดราก 1 ใน 3 ของความยาวรากทั้งหมด และไม่ตัดรากก่อนย้ายปลูก ที่อายุ 75 วัน หลังเพาะเมล็ด

ตารางที่ 20 ลักษณะความสูงต้น เส้นผ่านศูนย์กลางคอราก ความยาวราก น้ำหนักแห้งต้น น้ำหนักแห้งราก น้ำหนักแห้งใบ ความยาวรากรวม พื้นที่ผิวราก ปริมาตรราก ของต้นกล้ากาแฟอาราบิก้าที่ตัดราก 1:3 ของความยาวรากทั้งหมด และไม่ตัดราก ที่อายุกล้า 75 วัน ก่อนย้ายลงถุงเพาะ

ลักษณะต้นกล้า	กรรมวิธี			T-test	T-test
	ไม่ตัดราก	ก่อนตัดราก 1:3	หลังตัดราก 1:3	(ไม่ตัดราก vs ก่อนตัดราก 1:3)	(ไม่ตัดราก vs หลังตัดราก 1:3)
ความสูงต้น (เซนติเมตร)	5.4 ± 0.46	6.0 ± 0.59	6.0 ± 0.59	ns	ns
เส้นผ่านศูนย์กลางคอราก (มิลลิเมตร)	2.3 ± 0.27	2.3 ± 0.18	2.3 ± 0.18	ns	ns
ความยาวราก (เซนติเมตร)	5.4 ± 0.69	5.8 ± 0.6	3.8 ± 0.37	ns	***
น้ำหนักแห้งต้น (กรัม)	0.0177 ± 0.0045	0.0219 ± 0.0023	0.0219 ± 0.0023	ns	ns
น้ำหนักแห้งใบ (กรัม)	0.0267 ± 0.0026	0.0279 ± 0.0041	0.0279 ± 0.0041	ns	ns
น้ำหนักแห้งราก (กรัม)	0.0529 ± 0.0033	0.0546 ± 0.0007	0.0425 ± 0.0025	ns	*
ลักษณะรากที่วิเคราะห์ด้วยโปรแกรม ImageJ (plugin: smartroot)					
ความยาวรากรวม (เซนติเมตร)	33.6 ± 9.61	35.6 ± 2.8	26.4 ± 5.83	ns	*
พื้นที่ผิวราก (ตารางเซนติเมตร)	42.8 ± 12.53	45.2 ± 3.3	39.9 ± 10.19	ns	ns
ปริมาตรราก (ลูกบาศก์เซนติเมตร)	0.8238 ± 0.1608	0.7992 ± 0.1175	0.7929 ± 0.0582	ns	ns

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน, ns = ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ p-value>0.05,

* = มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ p-value<0.05,

** = มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ p-value<0.01 และ

*** = มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ p-value<0.001

2. อัตราการรอดตาย และการเจริญเติบโตของต้นกล้ากาแฟอาราบิก้าหลังการย้ายปลูก

จากการศึกษาพบว่า หลังจากย้ายกล้าลงปลูก 30 วัน ต้นกล้ากาแฟที่ตัดรากมีการตายของต้นกล้าเกิดขึ้น 2 ใน 100 หรือคิดเป็นอัตราการรอดตายร้อยละ 98.18 ขณะที่ต้นกล้ากาแฟที่ไม่ได้ตัดรากมีการตายของต้นกล้า 1 ใน 100 หรือคิดเป็นอัตราการรอดตายร้อยละ 99.09 อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยอัตราการรอดตายของต้นกล้าที่ตัดรากและไม่ตัดรากก่อนย้ายปลูก พบว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (ตารางที่ 21)

จากการติดตามการเจริญเติบโตของต้นกล้ากาแฟในสภาพโรงเรือน พบว่าลักษณะความยาวราก (เซนติเมตร) และพื้นที่ผิวราก (ตารางเซนติเมตร) มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยต้นกล้าที่ตัดราก 1 ใน 3 ของความยาวรากทั้งหมด ยังคงมีความยาวรากที่น้อยกว่าต้นกล้ากาแฟที่ไม่ได้ตัดราก หลังจากย้ายกล้าลงปลูกไปแล้ว 10-20 วัน เมื่อระยะเวลาที่ผ่านไปหลังจากย้ายกล้าลงปลูกไปแล้ว 20 วัน ต้นกล้ากาแฟที่ตัดรากเริ่มมีการสร้างรากใหม่ขึ้นมาทดแทนจนใกล้เคียงกับต้นกล้ากาแฟที่ไม่ตัดราก จึงส่งผลให้ความยาวรากของต้นกล้ากาแฟที่อายุ 30-90 วัน หลังย้ายปลูกไม่แตกต่างกันทางสถิติ ในส่วนของพื้นที่ผิวราก (ตารางเซนติเมตร) พบว่า ต้นกล้ากาแฟที่ตัดราก 1 ใน 3 ของความยาวรากทั้งหมดที่อายุ 20 วันหลังย้ายปลูก มีค่าเฉลี่ยพื้นที่ผิวรากมากกว่าต้นกล้ากาแฟที่ตัดรากถึง 22.2 เปอร์เซ็นต์ (ภาพที่ 7) แต่เมื่อหลังจากย้ายกล้าลงปลูกไปแล้ว 20 วัน ต้นกล้ากาแฟที่ไม่ได้ตัดรากจะมีการพัฒนาพื้นที่ผิวรากเพิ่มขึ้นจนมีพื้นที่ผิวรากใกล้เคียงกับต้นกล้ากาแฟที่ตัดราก (ภาพที่ 8) จึงส่งผลให้พื้นที่ผิวรากของต้นกล้ากาแฟที่อายุ 30-90 วัน หลังย้ายปลูกไม่แตกต่างกันทางสถิติ (ตารางที่ 22 23 และ 24) อย่างไรก็ดีหลังจากที่ได้มีการย้ายปลูก 20 วัน จะเห็นได้ว่าลักษณะความสูงต้น น้ำหนักแห้งต้น น้ำหนักแห้งใบ น้ำหนักแห้งราก ความยาวรากรวม และปริมาตรรากของต้นกล้ากาแฟที่ตัดราก ออก 1 ใน 3 ของความยาวรากทั้งหมด มีแนวโน้มที่สูงกว่าต้นกล้าที่ไม่ได้รับการตัดราก แต่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ดังนั้นการตัดรากกล้ากาแฟ 1 ใน 3 ของความยาวรากทั้งหมดก่อนย้ายปลูก เป็นการกระตุ้นให้ต้นกล้ามีการสร้างรากเพิ่มมากขึ้น แต่อาจส่งผลให้ต้นกล้ามีความยาวรากที่น้อยด้วยเช่นกัน ซึ่งอิทธิที่เกิดจากการตัดรากนี้จะปรากฏแค่ในช่วงระยะแรกเท่านั้น เมื่อระยะเวลาที่ผ่านไปต้นกล้ากาแฟจะมีการปรับตัวและสร้างรากใหม่ขึ้นมาทดแทนเพื่อให้การเจริญเติบโตของต้นกล้าเป็นไปอย่างปกติ แต่ต้องใช้ระยะเวลาในการปรับตัวค่อนข้างนาน ในขณะที่ต้นกล้ากาแฟที่ไม่ได้ตัดรากก่อนย้ายปลูกมีการพัฒนาของรากที่ช้ากว่าแค่ช่วงระยะแรก เนื่องจากต้นกล้าอาจได้รับผลกระทบที่เกิดจากการย้ายปลูกทำให้ต้นกล้าชะงักการเจริญเติบโตชั่วขณะ เมื่อต้นกล้าสามารถปรับตัวได้แล้วการเจริญเติบโตของต้นกล้าก็จะเป็นไปอย่างปกติ และดีกว่าต้นกล้ากาแฟที่ตัดราก

ตารางที่ 21 เปอร์เซ็นต์การรอดตายของต้นกล้ากาแฟอาราบิก้าที่ทำการตัดราก 1 ใน 3 ของความยาวรากทั้งหมด และไม่ตัดราก ที่อายุกล้า 30 วันหลังย้ายปลูก

กรรมวิธี	เปอร์เซ็นต์การรอดตายของต้นกล้า
ตัดราก 1 ใน 3	98.18±5.88
ไม่ตัดราก	99.09±4.26
t-test	ns

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน,
ns = ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ p-value>0.05

ตารางที่ 22 ลักษณะความสูงต้น (เซนติเมตร) เส้นผ่านศูนย์กลางคอราก (มิลลิเมตร) และจำนวนใบ ของกล้ากาแฟอาราบิก้าที่ทำการตัดราก 1:3 ของความยาวรากทั้งหมด และไม่ตัดราก หลังย้ายปลูกที่อายุกล้า 10 20 30 60 และ 90 วันหลังย้ายปลูก

กรรมวิธี	อายุกล้าหลังย้ายปลูก (วัน)				
	10	20	30	60	90
			ความสูงต้น (เซนติเมตร)		
ตัดราก 1:3	6.16 ± 0.42	6.5 ± 0.33	7.76 ± 0.59	9.04 ± 0.72	10.17 ± 0.81
ไม่ตัดราก	5.48 ± 0.56	5.93 ± 0.87	7.95 ± 0.48	9.24 ± 1.04	10.48 ± 1.16
t-test	ns	ns	ns	ns	ns
			เส้นผ่านศูนย์กลางคอราก (มิลลิเมตร)		
ตัดราก 1:3	1.97 ± 0.19	1.73 ± 0.09	2.08 ± 0.26	1.9 ± 0.34	2.1 ± 0.21
ไม่ตัดราก	2.07 ± 0.16	1.7 ± 0	1.98 ± 0.4	1.72 ± 0.24	2.02 ± 0.16
t-test	ns	ns	ns	ns	ns
			จำนวนใบ		
ตัดราก 1:3	3	4	4	6	6
ไม่ตัดราก	4	4	5	6	6
t-test	ns	ns	ns	ns	ns

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน, ns = ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ p-value>0.05

ตารางที่ 23 ลักษณะความยาวราก (เซนติเมตร) น้ำหนักแห้งต้น (กรัม) น้ำหนักแห้งราก (กรัม) และน้ำหนักแห้งใบ (กรัม) ของกล้ากาแฟอาราบิก้าที่ทำการตัดราก 1:3 ของความยาวรากทั้งหมด และไม่ตัดราก หลังย้ายปลูกที่อายุกล้า 10 20 30 60 และ 90 วันหลังย้ายปลูก

กรรมวิธี	อายุกล้าหลังย้ายปลูก (วัน)				
	10	20	30	60	90
			ความยาวราก (เซนติเมตร)		
ตัดราก 1:3	5.36 ± 1.35	5.53 ± 1.05	7.81 ± 1.61	13.16 ± 0.51	14.5 ± 0.66
ไม่ตัดราก	6.23 ± 1.04	6.73 ± 1.15	8.03 ± 2.13	13.23 ± 2.51	14.79 ± 0.98
t-test	*	*	ns	ns	ns
			น้ำหนักแห้งต้น (กรัม)		
ตัดราก 1:3	0.0223 ± 0.0025	0.027 ± 0.0064	0.0385 ± 0.0073	0.0538 ± 0.0172	0.0603 ± 0.022
ไม่ตัดราก	0.0184 ± 0.0056	0.0245 ± 0.0077	0.0409 ± 0.008	0.0581 ± 0.0172	0.0669 ± 0.0238
t-test	ns	ns	ns	ns	ns
			น้ำหนักแห้งราก (กรัม)		
ตัดราก 1:3	0.0751 ± 0.0115	0.0853 ± 0.0115	0.0953 ± 0.01	0.1243 ± 0.0104	0.1274 ± 0.0102
ไม่ตัดราก	0.0713 ± 0.0076	0.0717 ± 0.018	0.0941 ± 0.0073	0.1256 ± 0.0119	0.1277 ± 0.0146
t-test	ns	ns	ns	ns	ns
			น้ำหนักแห้งใบ (กรัม)		
ตัดราก 1:3	0.0301 ± 0.0045	0.0607 ± 0.0089	0.0806 ± 0.013	0.0853 ± 0.0117	0.0921 ± 0.0144
ไม่ตัดราก	0.0295 ± 0.0083	0.053 ± 0.0091	0.0801 ± 0.0156	0.084 ± 0.0119	0.091 ± 0.0123
t-test	ns	ns	ns	ns	ns

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน, ns = ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ p-value>0.05 และ

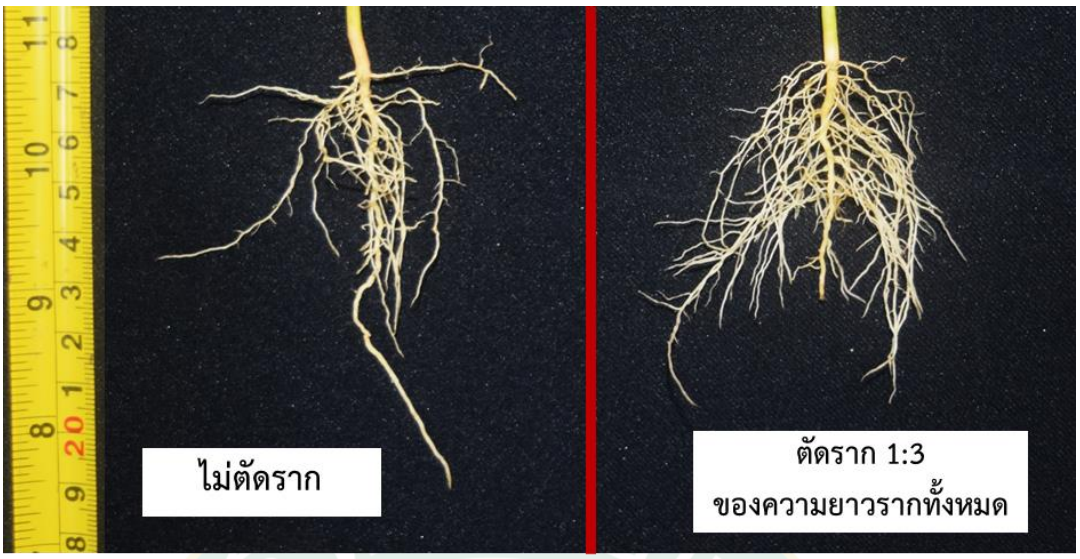
* = มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ p-value<0.01

ตารางที่ 24 การประเมินพัฒนาการของรากกล้ากาแฟอาราบิก้าที่ทำการตัดราก 1:3 ของความยาวรากทั้งหมด และไม่ตัดราก ด้วยภาพถ่ายดิจิทัลโดยโปรแกรม imageJ หลังย้ายปลูกที่อายุกล้า 1 10 20 30 60 และ 90 วันหลังย้ายปลูก

กรรมวิธี	อายุกล้าหลังย้ายปลูก (วัน)				
	10	20	30	60	90
			ความยาวรากรวม (เซนติเมตร)		
ตัดราก 1:3	34.31 ± 3.32	39.62 ± 7.92	43.47 ± 5.01	55.32 ± 5.27	57.43 ± 4.96
ไม่ตัดราก	33.7 ± 4.43	33.98 ± 12.32	42.68 ± 4.93	56.24 ± 8.14	58.45 ± 5.9
t-test	ns	ns	ns	ns	ns
			พื้นที่ผิวราก (ตารางเซนติเมตร)		
ตัดราก 1:3	62.87 ± 10.72	72.07 ± 15.29	73.75 ± 11.69	89.86 ± 6.83	93.9 ± 7.97
ไม่ตัดราก	60.64 ± 8.55	59.05 ± 30.16	69.89 ± 8.04	92.12 ± 14.71	96.41 ± 17.92
t-test	ns	*	ns	ns	ns
			ปริมาตรราก (ลูกบาศก์เซนติเมตร)		
ตัดราก 1:3	1.12 ± 0.1	1.3 ± 0.27	1.48 ± 0.18	1.89 ± 0.07	2.07 ± 0.08
ไม่ตัดราก	1.04 ± 0.13	1.17 ± 0.24	1.43 ± 0.22	1.92 ± 0.07	2.12 ± 0.06
t-test	ns	ns	ns	ns	ns

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน, ns = ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ p-value>0.05 และ

* = มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ p-value<0.01



ภาพที่ 8 ลักษณะรากต้นกล้ากาแฟที่ตัดราก 1 ใน 3 ของความยาวรากทั้งหมด และไม่ตัดราก ที่อายุกล้า 20 วัน หลังย้ายปลูก

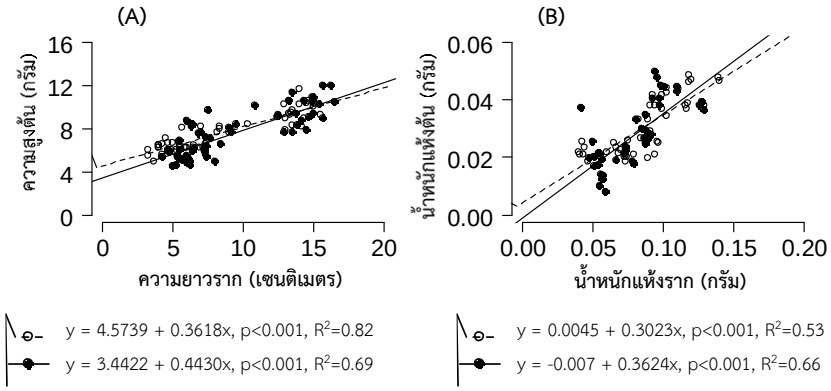
ภาพที่ 9 ลักษณะรากต้นกล้ากาแฟที่ตัดราก 1 ใน 3 ของความยาวรากทั้งหมด และไม่ตัดราก ที่อายุกล้า 60 วัน หลังย้ายปลูก

3. ความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะราก กับการเจริญเติบโตของต้นกล้ากาแฟอาราบิก้า

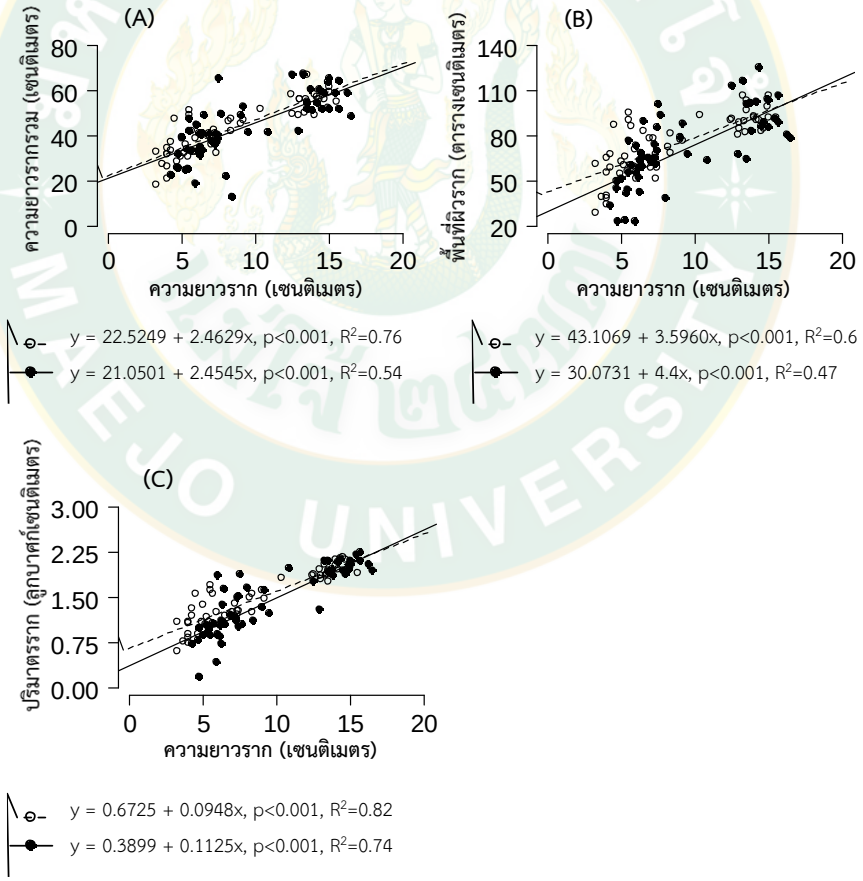
จากการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นอย่างง่ายระหว่างลักษณะความยาวราก กับความสูงของต้นกล้ากาแฟที่ตัดราก และไม่ตัดราก พบว่าการเพิ่มขึ้นของความยาวรากมีความสัมพันธ์อย่างยิ่งกับความสูงต้น นอกจากนี้ในส่วนของลักษณะน้ำหนักแห้งราก ก็มีความสัมพันธ์อย่างยิ่งกับน้ำหนักแห้งต้นด้วยเช่นกัน เมื่อพิจารณาจากค่าความลาดชัน (b) ที่แสดงถึงอัตราการเปลี่ยนแปลงหนึ่งหน่วยของความยาวราก ต่อการเปลี่ยนแปลงความสูงต้น และอัตราการเปลี่ยนแปลงหนึ่งหน่วยของน้ำหนักแห้งราก ต่อการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักแห้งต้น พบว่าต้นกล้ากาแฟที่ไม่ตัดรากมีการเพิ่มขึ้นของความสูงต้นและน้ำหนักแห้งรากมากกว่าต้นกล้ากาแฟที่ตัดราก (ภาพที่ 10) ซึ่งจะเห็นได้ว่าลักษณะน้ำหนักแห้งต้นและน้ำหนักแห้งราก ผันแปรในทิศทางเดียวกันกับลักษณะความสูงต้นและความยาวราก

เมื่อทำการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นอย่างง่ายระหว่างลักษณะความยาวราก กับความยาวรากรวมพื้นที่ผิวราก และปริมาตรราก ที่ได้จากการประเมินพัฒนาการของรากด้วยภาพถ่ายดิจิทัลของต้นกล้ากาแฟที่ตัดราก และไม่ตัดราก พบว่าการเพิ่มขึ้นของความยาวรากมีความสัมพันธ์อย่างยิ่งกับความยาวรากรวม พื้นที่ผิวราก และปริมาตรราก (ภาพที่ 11) นอกจากนี้ยังพบว่าในส่วนของลักษณะน้ำหนักแห้งราก ก็มีความสัมพันธ์อย่างยิ่งกับความยาวรากรวม พื้นที่ผิวราก และปริมาตรรากด้วยเช่นกัน (ภาพที่ 12) เมื่อพิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนด (Coefficient of determination; R^2) ทำให้เห็นว่าตัวแปรด้านลักษณะความยาวราก และน้ำหนักแห้งรากสามารถนำมาคาดการณ์ลักษณะความยาวรากรวม พื้นที่ผิวราก และปริมาตรรากได้

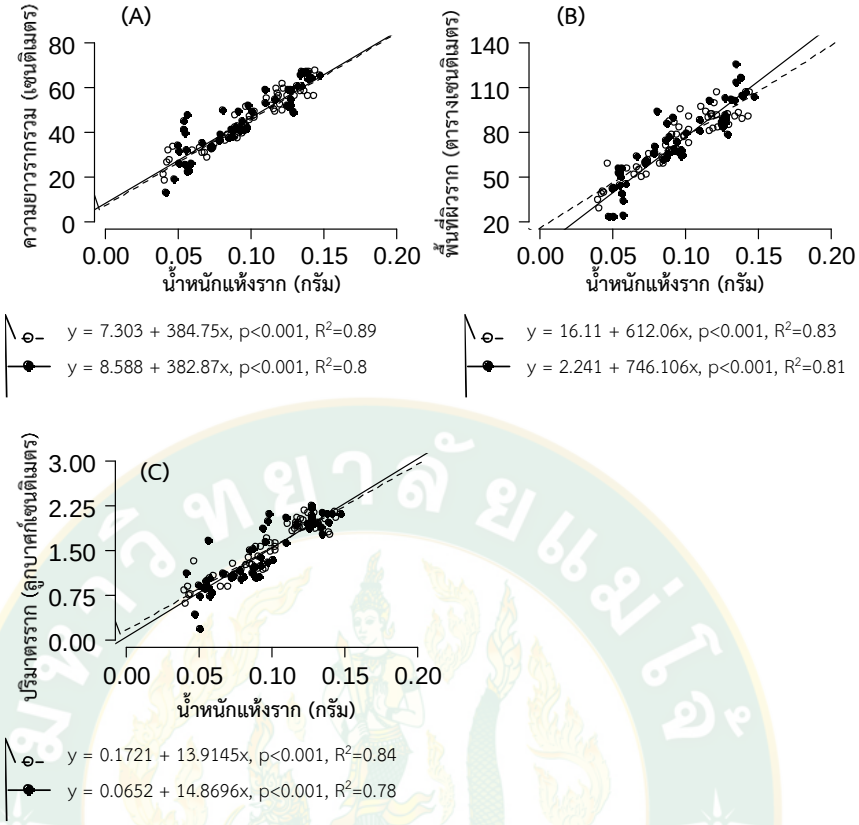
อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาจากค่าความลาดชันที่แสดงอัตราการเปลี่ยนแปลงหนึ่งหน่วยของความยาวราก และน้ำหนักแห้งราก ต่อการเปลี่ยนแปลงของพื้นที่ผิวราก และปริมาตรรากนั้น ทำให้ทราบว่าต้นกล้าที่ไม่ได้ตัดรากมีการเพิ่มขึ้นของพื้นที่ผิวราก และปริมาตรราก มากกว่าต้นกล้ากาแฟที่ตัดราก ขณะที่อัตราการเปลี่ยนแปลงหนึ่งหน่วยของค่าความยาวราก และน้ำหนักแห้งรากต่อการเปลี่ยนแปลงความยาวรากรวม ทำให้ทราบว่าต้นกล้าที่ตัดรากมีการเพิ่มขึ้นของความยาวรากรวมมากกว่าต้นกล้ากาแฟที่ไม่ได้ตัดราก



ภาพที่ 10 ความสัมพันธ์ระหว่างความสูงต้นกับความยาวราก (A) น้ำหนักแห้งต้นกับน้ำหนักแห้งราก (B) ของต้นกล้ากาแฟที่ตัดราก 1 ใน 3 ของความยาวรากทั้งหมด (-o-) และไม่ตัดราก (—●—) ก่อนย้ายปลูก (Simple Linear Regression; y=a+bx)



ภาพที่ 11 ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวรากรวมกับความยาวราก (A) พื้นที่ผิวรากกับความยาวราก (B) ปริมาตรรากกับความยาวราก (C) ของต้นกล้ากาแฟที่ตัดราก 1 ใน 3 ของความยาวรากทั้งหมด (-o-) และไม่ตัดราก (—●—) ก่อนย้ายปลูก (Simple Linear Regression; y=a+bx)



ภาพที่ 12 ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวรากรวมกับน้ำหนักแห้งราก (A) พื้นที่ผิวรากกับน้ำหนักแห้งราก (B) ปริมาตรรากกับน้ำหนักแห้งราก (C) ของต้นกล้ากาแฟที่ตัดราก 1 ใน 3 ของความยาวรากทั้งหมด (-o-) และไม่ตัดราก (—●—) ก่อนย้ายปลูก (Simple Linear Regression; y=a+bx)

วิจารณ์ผลการทดลองที่ 2

การตัดรากต้นกล้ากาแฟอาราบิก้าออก 1 ใน 3 ของความยาวรากทั้งหมดก่อนย้ายลงถุงเพาะส่งผลให้ต้นกล้าที่อายุ 20 วันหลังย้ายปลูก มีพื้นที่ผิวรากเพิ่มมากขึ้น 22.2 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีย้ายปลูกแบบไม่ตัดราก Kurepa et al. (2018) อธิบายว่า บริเวณปลายรากมีฮอร์โมนกลุ่มออกซินสะสมอยู่ ซึ่งเป็นฮอร์โมนที่ทำหน้าที่กระตุ้นให้เซลล์เนื้อเยื่อเกิดการยืดขยายตัว และยังยับยั้งการแตกตาข้างของส่วนลำต้นและรากพืช หรือข่มการทำงานของฮอร์โมนกลุ่มไซโทไคนิน ดังนั้นเมื่อกาแฟถูกตัดในส่วนของปลายรากออก ปริมาณของฮอร์โมนออกซินจะลดลง และปริมาณของฮอร์โมนไซโทไคนินจะมีมากกว่าจึงส่งผลให้บทบาทของไซโทไคนินเด่นขึ้น ทำให้ต้นพืชมีการแตกรากเพิ่มมากขึ้น (Aloni et al., 2006) และเมื่อระยะเวลาผ่านไปต้นพืชจะมีการปรับสมดุลของฮอร์โมน โดยปริมาณออกซินจะมีการสะสมเพิ่มขึ้นทำให้เกิดการยับยั้งการแตกรากและต้นกล้าจะมีการ

เจริญเติบโตตามปกติ (Feng et al., 2021; Vysotskay et al., 2001) ดังนั้นจะเห็นได้ว่าเมื่อระยะเวลาที่ผ่านไปหลังจากย้ายกล้ากาแฟลงปลูกไปแล้ว 20 วัน อิทธิพลที่เกิดจากการตัดรากดังกล่าวจะไม่ปรากฏให้เห็น เนื่องจากต้นกล้ากาแฟที่ไม่ได้ตัดรากมีพื้นที่ผิวรากที่เพิ่มขึ้นจนใกล้เคียงกับต้นกล้ากาแฟที่ตัดราก หมายความว่าต้นกล้ากาแฟที่ตัดรากมีการเพิ่มปริมาณพื้นที่ผิวรากลดลง ซึ่งอาจเกิดจากการปรับสมดุลของฮอร์โมนภายในราก (Feng et al., 2012) ดังที่รายงานไว้ก่อนหน้านี้ นอกจากนี้ในส่วนของความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะความยาวรากและน้ำหนักแห้งราก กับลักษณะความสูงต้นและน้ำหนักแห้งต้น พบว่ามีความสัมพันธ์กันในทางบวก ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Weaver and Himmel (1929) ที่รายงานว่า การเจริญเติบโตของรากและยอดมีความสัมพันธ์กันในสภาพที่สภาพแวดล้อมที่เหมาะสม โดยรากพืชมีความสำคัญต่อกระบวนการทางสรีรวิทยาของพืช ในด้านเจริญเติบโตและพัฒนาในส่วนของลำต้นและยอด อย่างไรก็ตามในการศึกษานี้ต้นกล้ากาแฟที่ไม่ตัดรากมีแนวโน้มอัตราการเปลี่ยนแปลงของลักษณะความยาวรากและน้ำหนักแห้งรากต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะความสูงต้นและน้ำหนักแห้งต้นเพิ่มขึ้นมากกว่าต้นกล้ากาแฟที่ตัดราก ซึ่งอาจเกิดจากการที่ต้นกล้ากาแฟที่ถูกตัดรากโดนรบกวนการเจริญเติบโตของราก ทำให้ต้นกล้าต้องมีการฟื้นฟูในส่วนของรากที่ถูกตัดออกเพื่อปรับสมดุลในพืช ดังนั้นพลังงานภายในเซลล์ของต้นพืชส่วนใหญ่จะถูกใช้สำหรับการสร้างรากขึ้นมาทดแทนใหม่ จึงส่งผลให้การพัฒนาส่วนลำต้นและยอดลดลง

บทที่ 5
สรุปผลการศึกษา

การทดลองที่ 1 ผลของขนาดเมล็ดต่อการงอกและการเจริญเติบโตของต้นกล้ากาแฟอาราบิก้า

จากการประเมินลักษณะทางกายภาพของผลกาแฟเชอร์รี่ ที่ได้ทำการเก็บรวมรวบมาจากพื้นที่ปลูกกาแฟอาราบิก้าใต้เรือนยอดป่าธรรมชาติก่อนทำการทดลอง ทำให้ทราบในเบื้องต้นว่าลักษณะของผลเชอร์รี่ในมิติด้านความกว้าง ความยาว ความหนา และน้ำหนักมีความสัมพันธ์กันในทิศทางบวก โดยลักษณะดังกล่าวส่วนใหญ่จะมีแนวโน้มผันแปรไปตามน้ำหนักของผล และจากการประเมินลักษณะทางกายภาพของเมล็ดกาแฟกะลาที่อยู่ภายในเมล็ดเชอร์รี่ พบว่า เมล็ดกาแฟกะลาทั้ง 2 เมล็ด ที่อยู่ภายในเมล็ดเชอร์รี่เดียวกัน มีส่วนต่างของความกว้างเมล็ดกะลาอยู่ที่ 3.27 เปอร์เซ็นต์ ความหนาเมล็ดกะลา 1.51 เปอร์เซ็นต์ และน้ำหนักเมล็ดกะลา 4.79 เปอร์เซ็นต์

จากการประเมินการงอกของเมล็ดพันธุ์กาแฟอาราบิก้าที่แบ่งขนาดโดยใช้น้ำหนักผลเชอร์รี่เป็นเกณฑ์ (ประเภทที่ 1) พบว่า ผลเชอร์รี่ที่มีน้ำหนักเบามีความงอกไม่แตกต่างจากผลเชอร์รี่ที่มีน้ำหนักมาก และมีแนวโน้มว่าผลเชอร์รี่ที่มีน้ำหนักเบาจะสามารถงอกได้เร็วกว่าผลเชอร์รี่ที่มีน้ำหนักมาก ขณะการงอกของเมล็ดพันธุ์กาแฟอาราบิก้าที่แบ่งขนาดตามเกรดของกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ โดยใช้ความกว้างของเมล็ดกะลาเป็นเกณฑ์ในการแบ่ง (ประเภทที่ 2) พบว่า เมล็ดกาแฟแต่ละเกรดมีความงอก ความเร็วในการงอก และระยะเวลางอกเฉลี่ยไม่แตกต่างกัน และจากการประเมินการงอกของเมล็ดกาแฟกะลาที่อยู่ภายในเมล็ดเชอร์รี่ พบว่า เมล็ดกาแฟกะลาทั้ง 2 เมล็ด ที่อยู่ภายในเมล็ดเชอร์รี่เดียวกันมีความงอก ความเร็วในการงอก และระยะเวลาการงอกเฉลี่ยไม่แตกต่างกัน ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการแบ่งขนาดของเมล็ดพันธุ์กาแฟอาราบิก้า โดยใช้ขนาดของผลเชอร์รี่เป็นเกณฑ์นั้น ไม่ได้รับอิทธิพลของขนาดเมล็ดกาแฟกะลาที่อยู่ภายในเมล็ดเชอร์รี่เข้ามาเกี่ยวข้องกับการงอกแต่อย่างใด

ในด้านการเจริญเติบโตของต้นกล้ากาแฟอาราบิก้า พบว่า ต้นกล้าที่เกิดจากเมล็ดกาแฟที่แบ่งขนาดโดยใช้น้ำหนักผลเชอร์รี่เป็นเกณฑ์ มีการสะสมมวลชีวภาพส่วนลำต้นและใบที่แตกต่างกัน ซึ่งอาจเป็นผลจากปัจจัยอื่นที่นอกเหนือจากปัจจัยด้านขนาดเมล็ด ขณะที่ลักษณะความสูงต้น ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางคอราก จำนวนใบ ความยาวราก การสะสมมวลชีวภาพส่วนลำต้น ราก และใบของต้นกล้าที่เกิดจากเมล็ดกาแฟที่แบ่งขนาดตามเกณฑ์ของกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ ไม่แตกต่างกัน รวมถึงต้นกล้าที่เกิดจากเมล็ดกาแฟทั้ง 2 เมล็ด ที่อยู่ภายในเมล็ดเชอร์รี่เดียวกันด้วยเช่นกัน จึงได้ข้อสรุปว่า เมล็ดขนาดเล็กสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในด้านเป็นเมล็ดพันธุ์ได้ ซึ่งเป็นการลดการสูญเสีย

หรือลดต้นทุนในทางธุรกิจเมล็ดพันธุ์ได้อย่างมาก และเป็นการใช้ประโยชน์จากเมล็ดกาแฟอาราบิก้าให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด

การทดลองที่ 2 ศึกษาผลของการตัดรากต่อการเจริญเติบโตของต้นกล้ากาแฟอาราบิก้า

ต้นกล้ากาแฟอาราบิก้าที่ถูกตัดรากออก 1 ใน 3 ของความยาวรากทั้งหมด ไม่ส่งผลต่อเปอร์เซ็นต์การรอดตายของต้นกล้าหลังจากนำไปปลูก และจากการประเมินพัฒนาการของราก พบว่าต้นกล้ากาแฟอาราบิก้าที่ถูกตัดรากออก 1 ใน 3 ของความยาวรากทั้งหมดก่อนปลูก ส่งผลให้ต้นกล้าสร้างพื้นที่ผิวรากมากกว่าปกติ 22.2 เปอร์เซ็นต์ หลังจากย้ายกล้าลงปลูกไปแล้ว 20 วันเท่านั้น ซึ่งระบบรากของต้นกล้ากาแฟอาราบิก้าจะงอกและซ่อมแซมตัวเองได้ภายใน 30 วันหลังการตัดราก จึงสรุปได้ว่าการตัดรากต้นกล้ากาแฟก่อนย้ายปลูก ไม่ส่งผลต่อการเจริญเติบโตของต้นกล้ากาแฟในระยะยาว แต่อย่างไรก็ตามในการทดลองนี้ทำให้ทราบว่า ลักษณะความยาวรากและน้ำหนักแห้งรากสามารถนำมาคาดการณ์ลักษณะความยาวรากรวม พื้นที่ผิวราก และปริมาตรรากที่เป็นลักษณะที่ค่อนข้างประเมินได้ยากได้

บรรณานุกรม

กรมวิชาการเกษตร. 2562. **คู่มือการจัดการการผลิตกาแฟอะราบิกา**. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: การันตี.

กรมส่งเสริมการเกษตร. 2556. **องคความรูเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตสู่การเป็น smart officer : การขยายพันธุ์พืช**. กรุงเทพฯ: กรมส่งเสริมการเกษตร.

_____. 2557. **การเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตกาแฟ**. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย จำกัด.

กฤษณะ ทองศรี, วิชญ์ภาส สังพาลี, จุฑามาศ อาจนาเสียว, เนตรนภา อินสลุด, สธีระ เหิมฮึก, เกรียงศักดิ์ ศรีเงินยวง, สมเกียรติ คณะแก้ว และ ธีรนนท์ ปาสุธรรม. 2562. คุณภาพด้านขนาดของเมล็ดกาแฟอาราบิก้าที่ปลูกภายใต้สภาพป่าที่แตกต่างกันในพื้นที่โครงการกระราชดำริในเขตพื้นที่บ้านขุนแตะ ตำบลดอยแก้ว อำเภอจอมทอง จังหวัดเชียงใหม่. น. 38-44. ใน **การประชุมวิชาการเครือข่ายวิจัยนิเวศวิทยาป่าไม้ประเทศไทย ครั้งที่** 8 **"นิเวศวิทยาเพื่อการพัฒนาประเทศ"**. วันที่ 24-25 มกราคม 2562 ณ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น จังหวัดขอนแก่น.

จิรา ณ หนองคาย. 2541. **หลักการและเทคโนโลยีการขยายพันธุพืชในประเทศไทย : การขยายพันธุพืชแบบใชเมล็ด**. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพนายสุข.

ณัฏฐากร เสมสันทัด. 2553. **การขยายพันธุ์ไม้ป่า. การจัดรากความรู้ด้านวนวัฒนวิจัย**. ม.ป.ท.: ม.ป.พ.

ณัฐวิทย์ ญาณพิสิฐกุล และ ระวี เจียรวิภา. 2560. เทคนิคการประเมินพัฒนาการของรากต้นกล้ายางพาราในไรโซบอกโดยการประมวลภาพถ่ายดิจิตอล. **แก่นเกษตร**, 45(ฉบับพิเศษ 1), 1136-1141.

ทวีศักดิ์ แสงอุดม. 2559. **สารควบคุมการเจริญเติบโตพืชและแนวทางการใช้กับไม้ผล**. กรุงเทพฯ: สถาบันวิจัยพืชสวน.

ธัญญา ทะพิงค์แก. 2554. หลักการขยายพันธุ์พืช. เชียงใหม่: คณะเทคโนโลยีการเกษตร มร.ชม.

ธีระศักดิ์ สาขามุละ และ บุญมี ศิริ. 2554. ผลของขนาดเมล็ดต่อการงอกและการเจริญเติบโตของต้นกล้าข้าวโพด. **วารสารแก่นเกษตร**, 39(พิเศษ), 98-91-93.

ธีรานนท์ ปาสุธรรม, วิชญ์ภาส สังพาลี, เนตรนภา อินสลุด, จุฑามาศ อาจนาเสียว, สุธีระ เหิมฮึก และ เกรียงศักดิ์ ศรีเงินยวง. 2564. ผลของความแตกต่างของสภาพป่าต่อคุณภาพของเมล็ด

พันธุ์กาแฟอาราบิก้า. น. 461-471. ใน **การประชุมวิชาการเครือข่ายวิจัยนิเวศวิทยาป่าไม้ประเทศไทย ครั้งที่ 10 "สหวิทยาการเพื่อการจัดการนิเวศวิทยาป่าไม้"**. วันที่ 4-5 กุมภาพันธ์ 2564 ณ มหาวิทยาลัยแม่โจ้-แพร่ เฉลิมพระเกียรติ จังหวัดแพร่.

นภาพร เวชกามา และ พีระยศ แข็งขัน. 2561. การปรับปรุงคุณภาพของเมล็ดพันธุ์ด้วยเทคนิค Seed priming. **วารสารเกษตรพระวรุณ**, 15(1), 17-30.

นักสิทธิ์ สังข์จันทร์. 2556. เทคนิคการเพาะชำกล้าไม้ท้องถิ่น. ใน **เอกสารประกอบการฝึกอบรมเทคนิคการเพาะชำกล้าไม้ท้องถิ่น โครงการจัดการพื้นที่ชุ่มน้ำ แก่งละว้า WWF ประเทศไทย**. กรุงเทพฯ: องค์การกองทุนสัตว์ป่าโลกสากล.

นันทิยา วรรธนะภูติ. 2542. **การขยายพันธุ์พืช**. กรุงเทพฯ: โอ.เอส.พริ้นติ้ง เฮ้าท์.

นิตย์ศรี แสงเดือน. 2551. **พันธุศาสตร์พืช**. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ปรัชญา รัศมีธรรมวงค์. 2537. **การเพาะปลูกกาแฟ**. กรุงเทพฯ: เพรชกะรัต.

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

พิทยา สรวมศิริ. 2536. ธาตุอาหารพืชกับคุณภาพของผลผลิตกาแฟอาราบิก้า 1. **ปัญหาในการปลูกและแนวทางการแก้ไข**, 9(3), 274-280.

ภีศเดช รัชนี, หม่อมเจ้า. 2551. **พระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวและโครงการหลวง**. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: Allied Printers.

ลิลลี่ กาวีต๊ะ. 2559. **โครงสร้างพืช**. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: ภาควิชาพฤกษศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

วันชัย จันทร์ประเสริฐ. 2553. **สรีรวิทยาเมล็ดพันธุ์**. กรุงเทพฯ: ม.ป.ท.

วิชญ์ภาส สังพาลี, ประชา เตชนันท์, สุธีระ เหิมฮึก, จุฑามาศ อาจนาเสียว, เนตรนภา อินสลุด และ เกรียงศักดิ์ ศรีเงินยวง. 2560. ความผันแปรของขนาดเมล็ดกาแฟอาราบิก้าภายใต้การปลูกรูปแบบต่าง ๆ ตำบลวาวี อำเภอแม่สวย จังหวัดเชียงใหม่. **แก่นเกษตร**, 45(ฉบับพิเศษ 1), 1080-1086.

สมศักดิ์ วรรณศิริ. 2545. **การปลูกกาแฟ**. พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพฯ: ฐานเกตรกรรม.

สำนักการค้าสินค้า กรมเจรจาการค้าระหว่างประเทศ. 2563. **สินค้ากาแฟและผลิตภัณฑ์กาแฟ**. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา https://api.dtn.go.th/files/v3/60ab89bfef41404c064045a6/download (12 กันยายน 2564).

สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 2561. **มาตรฐานสินคาเกษตร มกษ. 5701-2561 "เมล็ดกาแฟอะราบิกา"**. กรุงเทพฯ:

กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2564. **ผลผลิตกาแฟแยกตามจังหวัด ปี 2564**. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา https://api.dtn.go.th/files/v3/60ab89bfef41404c064045a6/download (1 กันยายน 2564).

สำนักบริหารพื้นที่อนุรักษ์ที่ 16. 2557. **โครงการฟาร์มตัวอย่างตามพระราชดำริ บ้านขุนแตะ ต.ดอยแก้ว อ.จอมทอง จ.เชียงใหม่**. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา https://www.chiangmai.go.th/project/kuntae.html (2 กันยายน 2564).

อนงนาฏ ศรีประโชติ, พรภัสสร ศุขะพันธุ์, ปิยธิดา ชัยดำรงค์โรจน์, นุจรี บุญแปลง และ พรทิวา กัญยวงศ์หา. 2560. ความผันแปรของสมบัติดินและธาตุมหัพภาค (ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แคลเซียมและแมกนีเซียม) ในใบกาแฟปลูกบนพื้นที่ขนาดเล็ก: กรณีศึกษาอำเภอวังสะพุง จังหวัดเลย. **วารสารพืชศาสตร์สงขลานครินทร์**, 4(1), 54-61.

อักษร เสกธีระ และ พงษ์ศักดิ์ อังกสิทธิ์. 2537. **การปลูกและผลิตกาแฟอาราบิก้าบนพื้นที่สูง**. เชียงใหม่: พี อาร์ คอมพิวเตอร์.

Aloni, R., Aloni, E., Langhans, M. & Ullrich, C. I. 2006. Role of cytokinin and auxin in shaping root architecture: regulating vascular differentiation, lateral root initiation, root apical dominance and root gravitropism. **Annals of botany**, 97(5), 883-893.

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.

Bremner, P. M., Eckersall, R. N. & Scott, R. K. 1963. The relative importance of embryo size and endosperm size in causing the effects associated with seed size in wheat. **The Journal of Agricultural Science**, 61(1), 139-145.

Budiarto, R., Poerwanto, R., Santosa, E. & Efendi, D. 2019. A Review of Root Pruning to Regulate Citrus Growth. **Journal of Tropical Crop Science**, 6(1), 1-7.

Castro, R. D. D. & Marraccini, P. 2006. Cytology, biochemistry and molecular changes during coffee fruit development. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, 18(1), 175-199.

Chacón, P., Bustamante, R. & Henriquez, C. 1998. The effect of seed size on germination and seedling growth of Cryptocarya alba (Lauraceae) in Chile. **Revista chilena de historia natural**, 71(2), 189-197.

Clouse, S. D. 2017. Brassinosteroids. **Encyclopedia of Applied Plant Sciences**, 378–385.

Corby, H. D. L., Smith, D. L. & Sprent, J. I. 2011. Size, structure and nitrogen content of seeds of Fabaceae in relation to nodulation. **Botanical Journal of the Linnean Society**, 167(3), 251-280.

Díaz, S. V., Morales, A. F., Palacios, A. F. & Arango, I. P. 2015. How does the presence of endosperm affect seed size and germination? **Botanical Sciences**, 93(4), 783-789.

Drinnan, J. E. & Menzel, C. 1995. Temperature affects vegetative growth and flowering of coffee (Coffea arabica L.) following water stress during flower initiation. **Journal of Horticultural Science**, 69(1), 841-849.

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), 149-163.

Ellis, J. 1774. **An historical account of coffee. : With an engraving, and botanical description of the tree. To which are added sundry papers relative to its culture and use, as an Article of Diet and of Commerce. Published by John Ellis, F.R.S. Agent for the Island of Dominica**. London: Printed for Edward and Charles Dilly. [eBook].

Estanislau, W. T. 2002. **Modelo funcional de desenvolvimento de sementes de cafeeiro (*Coffea arabica* L.)**. Phd. Dissertation. Uni-versidade Federal de Lavras.

Feng, Z., Kong, D., Kong, Y., Zhang, B. & Yang, X. 2021. Coordination of root growth with root morphology, physiology and defense functions in response to root pruning in Platycladus orientalis. **Journal of Advanced Research**, https://doi.org/10.1016/j.jare.2021.07.005

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

ISTA. (1979). Handbook for seedling Evaluation Second Blition. pp. 130. In J. Bekendam and R. Grob (Ed.), **Intemational Seed Testing Association**. Zurich, SwiEerlard: Intemational Seed Testing Association.

Kleinwaechter, M., Bytof, G. & Selmar, D. 2015. Chapter 9. Coffee Beans and Processing. pp. 73-81. In **Coffee in Health and Disease Prevention**. New York: Acdemic Press.

Kumar, D. & Tieszen, L. L. 1980. Photosynthesis in Coffea arabica. I. Effects of Light and Temperature. **Experimental Agriculture**, 16(1), 13-19.

Kurepa, J., Shull, T. E., Karunadasa, S. S. & Smalle, J. A. 2018. Modulation of auxin and cytokinin responses by early steps of the phenylpropanoid pathway. **BMC Plant Biology**, 18(1), 278.

Ky, C. L., Louarn, J., Dussert, S., Guyot, B., Hamon, S. & Noirot, M. 2001. Caffeine, trigonelline, chlorogenic acids and sucrose diversity in wild Coffea Arabica L. and C. canephora P. accessions. **Food Chemistry**, 75(2), 223-230.

Ma, S.-c., Li, F., Xu, B.-c. & Huang, Z. 2008. Effects of root pruning on the growth and water use efficiency of winter wheat. **Plant Growth Regulation**, 57(3), 233-241.

Magesa, J. M., Msogoya, T. J. & Rweyemamu, C. L. 2018. Effect of seedling fibrous roots on field performance of hybrid coffee varieties. **African Journal of Agricultural Research**, 13(3), 627-634.

Marie, L., Abdallah, C., Campa, C., Courtel, P., Bordeaux, M., Navarini, L., Lonzarich, V., Bosselmann, A. S., Turreira-García, N., Alpizar, E., Georget, F., Breitler, J.-C., Etienne, H. & Bertrand, B. 2020. G×E interactions on yield and quality in *Coffea arabica*: new F1 hybrids outperform American cultivars. **Euphytica**, 216(5), 78-95.

Morais, H., Caramori, P., Ribeiro, A., Gomes, J. & Koguishi, M. 2006. Microclimatic characterization and productivity of coffee plants grown under shade of pigeon pea in Southern Brazil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 41(5), 763-770.

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.

Mtambalika, K., Munthali, C., Gondwe, D. & Missanjo, E. 2014. Effect of Seed Size of Afzelia quanzensis on Germination and Seedling Growth. **International Journal of Forestry Research**, 2014, https://doi.org/10.1155/2014/384565.

Muschler, R. G. 2001. Shade improves coffee quality in a sub-optimal coffee-zone of Costa Rica. **Agroforestry Systems**, 51(2), 131-139.

Na, S.-J., Lee, D.-H. & Kim, I.-S. 2013. Influence of Initial Seedling Size and Root Pruning Intensity on Growth of Transplanting Seedling of Quercus acutissma. **Korean Journal of Plant Resources**, 26(6), 709-717.

Newman, E. I. 1966. A Method of Estimating the Total Length of Root in a Sample. **Journal of Applied Ecology**, 3(1), 139-145.

Nordström, A., Tarkowski, P., Tarkowska, D., Norbaek, R., Astot, C., Dolezal, K. & Sandberg, G. 2004. Auxin regulation of cytokinin biosynthesis in Arabidopsis thaliana: a factor of potential importance for auxin-cytokinin-regulated development. **Proc Natl Acad Sci U S A**, 101(21), 8039-8044.

Paz, H., Mazer, S. J. & Martínez-Ramos, M. 1999. Seed Mass, Seedling Emergence, and Environmental Factors in Seven Rain Forest Psychotria (Rubiaceae). **Ecology**, 80(5), 1594-1606.

Powell, A. A., Yule, L. J., Jing, H.-C., Groot, S. P. C., Bino, R. J. & Pritchard, H. W. 2000. The influence of aerated hydration seed treatment on seed longevity as assessed by the viability equations. **Journal of Experimental Botany**, 51(353), 2031-2043.

Romero-Alvarado, Y., Soto-Pinto, L., García-Barrios, L. & Barrera-Gaytán, J. F. 2002. Coffee yields and soil nutrients under the shades of Inga sp. vs. multiple species in Chiapas, Mexico. **Agroforestry Systems**, 54(3), 215-224.

Samreen, S. & Shaukat, S. 2000. Effect of Seed Size on Germination, Emergence, Growth and Seedling Survival of Senna occidentalis Link. **Pakistan Journal of Biological Sciences**, 3(2), 292-295.

Sharma, H. 2020. A Detail Chemistry of Coffee and Its Analysis. pp. 1-12. In **Coffee Production and Research**. Bharatpur, Nepal: IntechOpen.

Souza, M. L. & Fagundes, M. 2014. Seed Size as Key Factor in Germination and Seedling Development of *Copaifera langsdorffii* (Fabaceae). **American Journal of Plant Sciences**, 5(17), 2566-2573.

Steinbrecher, T. & Leubner-Metzger, G. 2017. The biomechanics of seed germination. **Journal of Experimental Botany**, 68(4), 765-783.

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

Sung, J. M. 1995. The effect of sub-optimal O2 on seedling emergence of soybean seeds of different size. **Seed Science and Technology**, 23(3), 807-814.

Tagliavini, M., Veto, L. J. & Looney, N. E. 1993. Measuring Root Surface Area and Mean Root Diameter of Peach Seedlings by Digital Image Analysis. **Hort Science HortSci**, 28(11), 1129-1130.

Tavares, P. d. S., Giarolla, A., Chou, S. C., Silva, A. J. d. P. & Lyra, A. d. A. 2018. Climate change impact on the potential yield of Arabica coffee in southeast Brazil. **Regional Environmental Change**, 18(3), 873-883.

Turner, N. C., Schulze, E. & Gollan, T. 1985. The responses of stomata and leaf gas exchange to vapour pressure deficits and soil water content : II. In the mesophytic herbaceous species Helianthus annuus. **Oecologia**, 65(3), 348-355.

Vera, M. L. 1997. Effects of Altitude and Seed Size on Germination and Seedling Survival of Heathland Plants in North Spain. **Plant Ecology**, 133(1), 101-106.

Vysotskay, L. B., Timergalina, L. N., Simonyan, M. V., Veselov, S. Y. & Kudoyarova, G. R. 2001. Growth rate, IAA and cytokinin content of wheat seedling after root pruning. **Plant Growth Regulation**, 33, 51-57.

Weaver, J. E. & Himmel, W. J. 1929. Relation Between the Development of Root System and Shoot Under Long-and Short-Day Illumination. **Plant physiology**, 4(4), 435-457.

Wei, F., Furihata, K., Hu, F., Miyakawa, T. & Tanokura, M. 2010. Complex mixture analysis of organic compounds in green coffee bean extract by two-dimensional

NMR spectroscopy. **Magn Reson Chem**, 48(11), 857-865.

Zhang, J. & Maun, M. A. 1993. Components of seed mass and their relationships to seedling size in Calamovilfa longifolia. **Canadian Journal of Botany**, 71(4), 551-557.

Zieslin, N. & Mor, Y. 2012. Plant Management of greenhouse roses. **The pruning**. **JSci Hort**, 14(3), 285-293.

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ-สกุล นายธีรานนท์ ปาสุธรรม

เกิดเมื่อ 17 มิถุนายน 2538

ประวัติการศึกษา

พ.ศ. 2556 ประกาศนียบัตรวิชาชีพ (ปวช.)
สาขาวิชาเกษตรศาสตร์ สาขางานพืชศาสตร์
วิทยาลัยเกษตรและเทคโนโลยีเชียงใหม่

พ.ศ. 2558 ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.)
สาขาพืชศาสตร์ (พืชไร่)
วิทยาลัยเกษตรและเทคโนโลยีเชียงใหม่

พ.ศ. 2560 ปริญญาตรี วิทยาศาสตรบัณฑิต (เกษตรศาสตร์)
คณะผลิตกรรมการเกษตร สาขาวิชาพืชไร่
มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่