

การเปรียบเทียบคุณภาพและองค์ประกอบทางชีวเคมีของเมล็ดกาแฟอาราบิก้า อินทรีย์ที่ปลูกในระดับความสูงพื้นที่ที่แตกต่างกัน

Comparison of Quality and Biochemical Compositions of Organic Arabica Coffee Bean Grown at Different Elevations

วรรณภา เดชครุฑ และ ดรุณี นภาพรหม^{*}
Wannapa Dechkruth and Daruni Naphrom^{*}

ภาควิชาพืชศาสตร์และปฐพีศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ อ.เมือง จ.เชียงใหม่ 50200
Department of Plant Science and Soil Science, Faculty of Agriculture, Chiang Mai University, Chiang Mai 50200, Thailand
^{*}Corresponding author: Email: dnaphrom@gmail.com

(Received: 7 July 2016; Accepted: 27 January 2017)

Abstract: The comparison of quality and biochemical compositions of organic arabica coffee grown at different elevations was carried out at 3 sub-districts; Na Kian, Yang Piang and Khun Tuen in Omkoi district, Chiang Mai province. The elevations were studied at 800-1,000, 1,000-1,200 and 1,200-1,400 meters above mean sea level (msl), respectively. Coffee parchments were collected from each location. Size of the coffee parchment and weight of green bean were measured. Caffeine and trigonelline contents in green bean and roasted bean were determined by HPLC method. The consumer satisfaction for cup test as also investigated. Results revealed that the sizes of coffee parchment were not significantly different in each elevation, however the highest weight of green bean was found at 1,000-1,200 msl. The green bean and roasted bean at 800-1,000 msl had the highest caffeine contents; 1.73 and 1.43 mg/g, respectively. There caffeine contents were significantly higher when compared with the other elevations. Furthermore, arabica coffee grown at the elevation 800-1,000 msl had also the highest trigonelline content in the green and roasted bean (0.99 and 1.78 mg/g, respectively) The trigonelline contents of green and roasted been grown at 1,000-1,200 msl were 0.83 and 1.35 mg/g while the value of 0.60 and 1.03 mg/g were observed at 1,200-1,400 msl planting area. For the consumer satisfaction test, most of consumers preferred aroma and taste of arabica coffee roasted bean from Khun Tuen sub-district at the elevation in 1,200-1,400 msl.

Keywords: Coffee, caffeine, trigonelline, planting area

บทคัดย่อ: การเปรียบเทียบคุณภาพและองค์ประกอบทางชีวเคมีของกาแฟอะราบิกาอินทรีย์ที่ปลูกในระดับความสูงที่แตกต่างกันจาก 3 พื้นที่ในอำเภออมก๋อย จังหวัดเชียงใหม่ ได้แก่ ตำบลนาเกียน ตำบลยางเปียง และตำบลขุนต้น ซึ่งมีความสูงเหนือระดับน้ำทะเล 800-1,000, 1,000-1,200 และ 1,200-1,400 เมตร ตามลำดับ โดยเก็บตัวอย่างกาแฟกลามาวัดขนาดและชั่งน้ำหนัก วิเคราะห์ปริมาณ caffeine และ trigonelline ในกาแฟเมล็ดและกาแฟเมล็ดคั่วด้วยเทคนิคโครมาโตกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง จากนั้นทดสอบความพึงพอใจของผู้บริโภคด้านกลิ่นและรสชาติของกาแฟ ผลการศึกษาพบว่าในแต่ละพื้นที่มีขนาดของกาแฟกลาไม่มีความแตกต่างกัน อย่างไรก็ตามในระดับความสูง 1,000-1,200 เมตรเหนือระดับน้ำทะเล ให้น้ำหนักของกาแฟเมล็ดมากที่สุด ส่วนปริมาณคาเฟอีนในกาแฟเมล็ดและกาแฟเมล็ดคั่วที่ปลูกในระดับความสูง 800-1,000 เมตร มีปริมาณมากที่สุดคือ 1.73 และ 1.43 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ ซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเทียบกับที่ระดับความสูงอื่น นอกจากนี้เมล็ดของกาแฟอะราบิกาที่ปลูกในระดับความสูง 800-1,000 เมตร มีปริมาณไทโรโกเนลลีนในกาแฟเมล็ดและกาแฟเมล็ดคั่วที่สูงที่สุดคือ 0.99 และ 1.78 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ ส่วนที่ระดับความสูง 1,000-1,200 เมตร มีปริมาณไทโรโกเนลลีน 0.83 และ 1.35 มิลลิกรัมต่อกรัม ในขณะที่ระดับความสูง 1,200-1,400 เมตร มีปริมาณไทโรโกเนลลีน 0.60 และ 1.03 มิลลิกรัมต่อกรัม สำหรับผลจากการทดสอบความพึงพอใจของผู้บริโภคส่วนใหญ่ชอบรสชาติของกาแฟที่ปลูกในตำบลขุนต้น ซึ่งมีระดับความสูง 1,200-1,400 เมตร

คำสำคัญ: กาแฟ คาเฟอีน ไทโรโกเนลลีน แหล่งปลูก

คำนำ

กาแฟอะราบิกา มีชื่อสามัญว่า Arabica coffee ชื่อวิทยาศาสตร์คือ *Coffea arabica* L. อยู่ในวงศ์ Rubiaceae มีแหล่งกำเนิดที่ประเทศเอธิโอเปีย ลักษณะเป็นต้นไม้พุ่มขนาดเล็ก อาจมีความสูงได้ถึง 5 เมตร เป็นต้นไม้ไม่ผลัดใบ (พงษ์ศักดิ์ และบัณฑิต, 2542) ในผลงานวิจัยการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีภูมิสารสนเทศในการศึกษาความหลากหลายและการแพร่กระจายของแมลงศัตรูกาแฟอะราบิกาในจังหวัดเชียงใหม่และเชียงราย โดยใช้กับดักดัดแปลงร่วมกับสารล่อ CMU-C1 และการสุ่มสำรวจนับด้วยตาเปล่า พบมอดเจาะผลกาแฟ *Hypothenemus hampei* (Ferrari) (Coleoptera: Scolytidae) และเพลี้ยหอยสีเขียว *Coccus viridis* (Green) (Hemiptera: Coccidae) ซึ่งถือเป็นแมลงศัตรูที่สำคัญของกาแฟอะราบิกาและพบสูงสุดในเดือนเมษายน พ.ศ. 2556 ในทุกพื้นที่ (เผ่าไท และปิยะวรรณ, 2558) กาแฟเป็นพืชเครื่องดื่มที่มีสารประกอบคาเฟอีน (caffeine) ซึ่งมีฤทธิ์ช่วยกระตุ้นการหลั่งของกรดในกระเพาะอาหาร และกระตุ้นระบบประสาทส่วนกลาง จึงส่งผลให้นอนไม่หลับเมื่อได้รับเข้าสู่ร่างกาย (พัชนี, 2553) ปริมาณคาเฟอีนในเมล็ดกาแฟขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ โดยใน

กาแฟพันธุ์โรบัสต้ามีปริมาณคาเฟอีนที่สูงกว่ากาแฟพันธุ์อะราบิกา ซึ่งในกาแฟอะราบิกามีร้อยละ 1.2 และในกาแฟโรบัสต้ามีประมาณร้อยละ 2.2 โดยน้ำหนักแห้ง (Clarke and Macrae, 1985) ส่วนไทโรโกเนลลีนซึ่งเป็นสารอัลคาลอยด์ที่เมื่อแตกตัวให้ทั้งกลิ่นและรสขมอ่อน ๆ ซึ่งในกาแฟสายพันธุ์อะราบิกามีปริมาณร้อยละ 1.0 ของน้ำหนักแห้ง ส่วนโรบัสต้ามีร้อยละ 0.7 ของน้ำหนักแห้ง การสลายตัวของไทโรโกเนลลีนเป็นสัดส่วนกับระดับของการคั่วทำให้ได้ไพรดีน ซึ่งให้กลิ่นของการคั่ว (roasty) นอกจากนี้ยังมีโปรตีนและกรดอะมิโนอิสระที่มีความสำคัญต่อการเกิดกลิ่นรสในกาแฟเนื่องจากรวมตัวกับสารประกอบที่อยู่ในเมล็ดเกิดเป็นสารที่ให้กลิ่นรส (Vamam and Sutherland, 1994)

ในประเทศไทยได้มีการส่งเสริมการปลูกกาแฟอะราบิกาทดแทนฝิ่นบนพื้นที่สูงในภาคเหนือ และมีการวิจัยเกี่ยวกับกาแฟอะราบิกานบนพื้นที่สูงจำนวนมาก ทั้งหน่วยงานของรัฐบาลและโครงการพัฒนาพื้นที่สูง การบริโภคกาแฟเป็นการบริโภคกลิ่นและรสชาติ คุณภาพของกาแฟอะราบิกาที่ดีมักอ้างอิงกับแหล่งผลิตและความสูงของพื้นที่ปลูกจากระดับน้ำทะเล เช่น กาแฟ Mocha ของเยเมน กาแฟ Kona ของฮาวาย และกาแฟ Blue Mountain ของจาไมก้า และอ้างอิงกับเครื่องหมายการค้า

เช่น กาแฟอาราบิก้า และกาแฟดอยช้าง เป็นต้น นอกจากนี้การจัดการแปลงปลูกแบบอนุรักษ์ เช่น การปลูกกาแฟร่วมกับป่าหรือกาแฟอินทรีย์ เป็นเอกลักษณ์ที่สามารถเพิ่มมูลค่าทางการตลาดได้เช่นกัน (ชวลิต และคณะ, 2550) พื้นที่ปลูกและแหล่งผลิตกาแฟอาราบิก้าที่เหมาะสมในประเทศไทยอยู่ในเขตพื้นที่ภูเขาทางภาคเหนือ ตั้งแต่ระดับความสูง 700 เมตรเหนือระดับน้ำทะเลขึ้นไป มีอุณหภูมิอยู่ระหว่าง 15 - 25 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์มากกว่าร้อยละ 60 (กรมวิชาการเกษตร, 2551) ส่วนใหญ่มักปลูกในร่มเงาร่วมกับไม้ยืนต้นชนิดอื่น หรือปลูกร่วมกับป่าในพื้นที่ภูเขาซึ่งแม้จะทำให้ต้นกาแฟมีการเจริญเติบโตช้ากว่าการปลูกในที่โล่งแจ้ง แต่มีระยะเวลาการสะสมอาหารและสารสำคัญต่าง ๆ ภายในผลยาวนานกว่าจึงทำให้ได้กาแฟคุณภาพดี (Bertrand *et al.*, 2006) นอกจากนี้คุณภาพของกาแฟเมล็ดยังเกี่ยวข้องกับอีกหลายปัจจัย เช่น ธาตุอาหาร อุณหภูมิ รวมไปถึงกระบวนการจัดการทุกขั้นตอนของการผลิตกาแฟเมล็ด อย่างไรก็ตามสภาพพื้นที่ปลูกโดยเฉพาะอย่างยิ่งความสูงจากระดับน้ำทะเลและการให้ร่มเงาเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อคุณภาพผลของกาแฟอาราบิก้าอย่างมาก (Decazy *et al.*, 2006) ซึ่งระดับความสูงของพื้นที่ที่มีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิในเขตศูนย์สูตร (Willson, 1985) และการให้ร่มเงามีความสัมพันธ์กับการสังเคราะห์แสงและการสะสมสารสำคัญในต้นกาแฟ ผู้บริโภคจึงให้ความสำคัญกับแหล่งผลิต ดังนั้นการศึกษาการเปรียบเทียบคุณภาพและองค์ประกอบทางเคมีของเมล็ดกาแฟอาราบิก้าอินทรีย์ที่ปลูกในระดับความสูงของพื้นที่ที่แตกต่างกัน จึงเป็นสิ่งสำคัญเพื่อเป็นข้อมูลในการเลือกพื้นที่ปลูกกาแฟอาราบิก้าอินทรีย์ที่มีคุณภาพและสามารถเพิ่มมูลค่าตามความต้องการของผู้บริโภคและตลาด

อุปกรณ์และวิธีการ

1. การเก็บตัวอย่างดินและพืช

เลือกสวนกาแฟอาราบิก้าพันธุ์เชียงใหม่ 80 อายุ 4-5 ปี ที่ปลูกร่วมกับป่าและเป็นการปลูกแบบอินทรีย์ จาก 3 พื้นที่ในอำเภออมก๋อย จังหวัดเชียงใหม่ ได้แก่ ตำบลนาเกียน ตำบลยางเปียง และตำบลแม่ตืน ซึ่งมีความสูง

เหนือระดับน้ำทะเลปานกลางประมาณ 800-1,000, 1,000-1,200 และ 1,200-1,400 เมตร ตามลำดับ โดยที่ระดับความสูง 800 เมตร มีลักษณะเป็นป่าเบญจพรรณ ชนิดไม้ที่พบ ได้แก่ สัก ประดู่ ตะแบก ไผ่ เป็นต้น ส่วนที่ระดับความสูง 900 เมตรขึ้นไป มีลักษณะเป็นป่าดิบเขา ชนิดไม้ที่พบ ได้แก่ ตระกูลก่อต่าง ๆ จำปีป่า กำลังเสือโคร่ง เป็นต้น จากนั้นเก็บตัวอย่างดินจาก 3 พื้นที่ พื้นที่ละ 5 สวน จำนวนทั้งหมด 15 สวน นำมาวิเคราะห์ค่าความเป็นกรด-ด่างของดิน (pH) ปริมาณอินทรีย์วัตถุ และปริมาณธาตุอาหารในดินตามวิธีของเนาวรัตน์ (2527) รวบรวมตัวอย่างกาแฟกะลาซึ่งผ่านกระบวนการหมักและตากแห้งจากแต่ละสวน สวนละ 500 กรัม ในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2558

2. การเก็บข้อมูลอุณหภูมิและความชื้นแสง

วัดอุณหภูมิและความชื้นแสงของสวนกาแฟที่ระดับความสูง 800-1,000, 1,000-1,200 และ 1,200-1,400 เมตรเหนือระดับน้ำทะเล โดยใช้เครื่องบันทึกอุณหภูมิและความชื้นแสง (HOBO Data loggers; UA-002-64) จำนวน 1 เครื่องติดตั้งบริเวณกลางแปลงทดลอง โดยให้เครื่องบันทึกอุณหภูมิและความชื้นแสงอยู่เหนือต้นกาแฟ และควรเลือกพื้นที่ที่ไม่สามารถมีการบังแสงเกิดขึ้นได้ จากนั้นจึงเริ่มบันทึกข้อมูลระหว่างเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2557 - มีนาคม พ.ศ. 2558

3. การวัดคุณภาพ ขนาด และความชื้นของกาแฟกะลาและกาแฟเมล็ด

วัดขนาดกาแฟกะลา (parchment) ที่เก็บมาจาก 3 พื้นที่ พื้นที่ละ 5 สวน จำนวนทั้งหมด 15 สวน หรือ 15 ตัวอย่างโดยใช้ digital vernier caliper โดยการสุ่มวัดจำนวน 100 เมล็ด ต่อ 1 ตัวอย่าง และชั่งน้ำหนักต่อ 100 เมล็ด โดยชั่งน้ำหนักทั้งกาแฟกะลาและกาแฟเมล็ด (green bean) ด้วยเครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง วัดความชื้นของกาแฟกะลาและกาแฟเมล็ด จำนวน 100 กรัม โดยเครื่องวัดความชื้นรุ่น KU 60

4. การวิเคราะห์คาเฟอีนและไทรโกเนลลิน

นำตัวอย่างกาแฟเมล็ดที่เก็บมาจาก 3 พื้นที่พื้นที่ละ 5 สวน จำนวนทั้งหมด 15 ตัวอย่าง มาผ่านการคั่วแบบคั่วเข้มที่อุณหภูมิ 198 องศาเซลเซียส นานประมาณ 17 นาที จากนั้นเป่าลมเย็นเพื่อให้กาแฟเมล็ดคั่วเย็นตัวลง จึงนำไปบดแล้วชั่งจำนวน 1.25 กรัม เติมน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร จากนั้นนำไปต้มใน water bath ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส นาน 10 นาที ตั้งทิ้งไว้ให้เย็นสำหรับกาแฟเมล็ดนำมาบดแล้วชั่งน้ำหนัก 1 กรัม เติมนีทานอลสำหรับวิเคราะห์ HPLC จำนวน 15 มิลลิลิตร ทิ้งไว้ข้ามคืน แล้วจึงนำมากรองด้วยกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 1 เพื่อกรองกากกาแฟที่มีขนาดใหญ่ออก จากนั้นกรองสารละลายที่ได้ด้วยแผ่นกรองไนลอนเมมเบรน 0.45 ไมครอนเมตร นำสารสกัดที่ได้ไปวัดปริมาณคาเฟอีนและไทรโกเนลลิน ด้วยเครื่อง high-performance liquid chromatographic: HPLC (ยี่ห้อ Shimadzu รุ่น LC-10AD) ตามวิธีของ Ky *et al.* (2001) นำค่าที่วิเคราะห์ได้มาเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานของคาเฟอีนและไทรโกเนลลิน

5. การประเมินความพึงพอใจของผู้บริโภค (consumer satisfaction)

นำตัวอย่างกาแฟเมล็ดจาก 3 พื้นที่ในระดับความสูงของพื้นที่ต่างกัน พื้นที่ละ 5 สวน จำนวนทั้งหมด 15 ตัวอย่าง มาผ่านการคั่วแบบคั่วเข้มตามกรรมวิธีข้างต้น แล้วบดเป็นผง ชั่งน้ำหนัก 10 กรัม นำมาชงกับน้ำร้อนปริมาตร 50 มิลลิลิตร จากนั้นกรองด้วยกระดาษกรองกาแฟยี่ห้อ BON CAFE ให้บุคลากรในคณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ที่บริโภคกาแฟเป็นประจำจำนวน 20 คน มาชิมกาแฟเพื่อให้คะแนนประเมินความพึงพอใจตามวิธีของพัชนี (2546)

6. การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วางแผนการทดลองแบบ completely randomized design (CRD) ทดสอบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยโดยการวิเคราะห์ความแปรปรวนด้วย (analysis of variance: ANOVA) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วย least significance different (LSD) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ผลการทดลองและวิจารณ์

คุณสมบัติของดิน

ผลจากการวิเคราะห์ความเป็นกรดต่างของดิน (pH) ในตารางที่ 1 พบว่าที่ระดับความสูง 800-1,000, 1,000-1,200 และ 1,200-1,400 เมตรเหนือระดับน้ำทะเล มีค่า pH เท่ากับ 5.0, 5.7 และ 4.5 ตามลำดับ (ตารางที่ 1) จากงานวิจัยของสิรินาถ (2551) ที่ศึกษาการปลูกกาแฟอาราบิก้าแบบปล่อยตามธรรมชาติรายงานว่า pH ของดินในพื้นที่ปลูกอยู่ในช่วง 4.6-5.4 ทั้งนี้ปกติดินป่ามักมีสภาพเป็นกรด ซึ่งเป็นผลมาจากการสลายตัวของซากอินทรีย์วัตถุเกิดเป็นสารต่าง ๆ เช่น ฮิวมัส กรดอินทรีย์ และธาตุอาหาร เป็นต้น ซึ่งมีปริมาณมากน้อยแตกต่างกันตามชนิดของอินทรีย์วัตถุ อย่างไรก็ตามยังมีปัจจัยอื่นที่มีอิทธิพลต่อค่า pH ของดินป่า เช่น ไฟป่าทำให้ความเป็นกรดของดินลดลงได้ (ดุสิต และคณะ, 2547 อ้างโดยสิรินาถ, 2551)

สำหรับผลการวิเคราะห์ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินของทั้ง 3 พื้นที่พบว่ามีความค่อนข้างสูง มีค่าอยู่ระหว่างร้อยละ 5.6-6.7 (ตารางที่ 1) ซึ่งเมื่อเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานของค่าอินทรีย์วัตถุในดิน (สุนทร, 2554) จัดว่าอยู่ในระดับสูง เพราะดินป่ามีการทับถมของเศษซากพืชทำให้มีความอุดมสมบูรณ์ค่อนข้างมาก ในการ

Table 1. Soil characteristics in 3 different coffee planting locations in Omkoi district, Chiang Mai province

Elevation (msl) (m)	pH	Organic matter (%)	Phosphorus (P ₂ O ₅) available (mg/kg)	Potassium (K ₂ O) exchangeable (mg/kg)
800-1,000 (Na Kian)	5.0	5.6	88.2	106.0
1,000-1,200 (Yang Piang)	5.7	6.5	19.4	330.4
1,200-1,400 (Khun Tuen)	4.5	6.7	30.3	113.2

วิเคราะห์ตัวอย่างดินที่มีความอุดมสมบูรณ์นั้นไม่นิยมวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนในดิน แต่จะประเมินปริมาณไนโตรเจนในดินจากปริมาณอินทรีย์วัตถุที่มีในดินนั้น ๆ เนื่องจากไนโตรเจนในดินมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลาโดยกิจกรรมของจุลินทรีย์ดิน (นันทรัตน์, 2558) ทั้งนี้ไนโตรเจนมีความเป็นประโยชน์สูง เมื่อ pH ของดินอยู่ในช่วง 4.5-7.5 หากต่ำกว่านี้ขบวนการที่เปลี่ยนไนโตรเจนให้อยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืชจะหยุดชะงัก (กชกร, 2537) ส่วนปริมาณฟอสฟอรัสในดินที่ระดับความสูง 800-1,000 เมตร จัดว่ามีค่าสูง คือ 88.2 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ที่ระดับ 1,000-1,200 เมตร อยู่ในระดับปานกลาง คือ 19.4 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และที่ระดับ 1,200-1,400 เมตร จัดว่าอยู่ในระดับสูง คือ 30.3 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม โดยอ้างอิงจากระดับปริมาณของฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืช (Bray and Kurtz, 1945) ส่วนปริมาณโพแทสเซียมในดินที่ระดับความสูง 800-1,000 และ 1,200-14,00 เมตร จัดว่ามีค่าสูง คือ 106.0 และ 113.2 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ และที่ระดับ 1,000-1,200 เมตร อยู่ในระดับที่มีค่าสูงมาก คือ 330.4 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม อาจเป็นเพราะเนื้อดินมีลักษณะละเอียดจึงทำให้มีปริมาณโพแทสเซียมสูงกว่าพื้นที่อื่นซึ่งมีเนื้อดินที่ค่อนข้างหยาบกว่า เนื่องจากอนุภาคของโพแทสเซียมในดินส่วนใหญ่มักจะดูดยึดที่พื้นผิวของอนุภาคของดินเหนียว อีกทั้งโพแทสเซียมเป็นธาตุที่สามารถละลายน้ำได้ดีเมื่อวิเคราะห์ออกมาจึงทำให้มีค่าที่สูงกว่าธาตุอื่น (สารานุกรมไทยสำหรับเยาวชน, 2537) จากผลการวิเคราะห์ดินดังกล่าวมีความสอดคล้องกับงานวิจัยของดุสิต และคณะ (2528) ที่รายงานว่าดินส่วนใหญ่บนพื้นที่สูงมักมีโพแทสเซียมและแมกนีเซียมเพียงพอ แต่มีค่า pH ค่อนข้างต่ำ จึงทำให้ดินมีธาตุอาหารเพียงพอสำหรับการพัฒนาผลและเมล็ดของต้นกาแฟ

สภาพอากาศของแปลงปลูกกาแฟ

ระหว่างเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2557 ถึงเดือนมีนาคม พ.ศ. 2558 ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิสูงสุดที่ระดับความสูง 1,200-1,400 เมตรเหนือระดับน้ำทะเล มีค่าสูงสุด (43 องศาเซลเซียส) รองลงมาคือที่ระดับความสูง 800-1,000 และ 1,000-1,200 เมตร (35 และ 30 องศาเซลเซียสตามลำดับ) สาเหตุที่ระดับความสูง 1,200-1,400 เมตร

เหนือระดับน้ำทะเลมีอุณหภูมิสูงถึง 43 องศาเซลเซียสเนื่องจากสภาพต้นไม้เรือนยอดมีความหนาแน่นน้อยกว่าที่ระดับต่ำลงมา เพราะเป็นช่วงที่ต้นไม้มีการทิ้งใบ ส่วนค่าเฉลี่ยอุณหภูมิต่ำสุด ที่ระดับความสูง 800-1,000 เมตรเหนือระดับน้ำทะเล มีค่าเท่ากับ 17 องศาเซลเซียส ในขณะที่ระดับ 1,000-1,200 และ 1,200-1,400 เมตรเหนือระดับน้ำทะเล มีอุณหภูมิต่ำสุดเท่ากันคือ 15 องศาเซลเซียส (ภาพที่ 1) สำหรับค่าความเข้มแสงเฉลี่ยในแปลงปลูกกาแฟ พบว่าที่ระดับความสูง 1,200-1,400 เมตรเหนือระดับน้ำทะเล มีระดับความเข้มแสงสูงกว่าอีกสองพื้นที่ ซึ่งที่ระดับความสูง 1,000-1,200 เมตรเหนือระดับน้ำทะเลนั้น มีค่าความเข้มแสงค่อนข้างต่ำกว่าพื้นที่อื่น (ภาพที่ 2) เนื่องจากพื้นที่ดังกล่าวมีลักษณะเป็นป่าดิบเขา มีสภาพต้นไม้เรือนยอดค่อนข้างหนาแน่น จึงทำให้พื้นที่ดังกล่าวมีความเข้มแสงต่ำ ทั้งนี้อุณหภูมิสูงสุดและความเข้มแสงของพื้นที่ปลูกทั้ง 3 ระดับความสูงมีความสัมพันธ์กันคือ พื้นที่ที่มีความเข้มแสงมากพบว่ามีอุณหภูมิสูงสุดค่อนข้างสูงด้วยเช่นกัน และอุณหภูมิสามารถส่งผลต่อการชักนำให้เกิดการสร้างสารต่าง ๆ ภายในต้นพืช โดยนริศ (2539) รายงานว่าผลกาแฟในแต่ละระดับความสูงของพื้นที่มีการใช้ระยะเวลาในการเจริญเติบโตและสร้างสารภายในเมล็ดที่แตกต่างกันซึ่งทำให้ผลกาแฟมีระยะเวลาการสุกแก่ของแต่ละพื้นที่ต่างกัน

ขนาดและน้ำหนักของกาแฟเมล็ด

ขนาดความกว้าง ความยาว และน้ำหนักของกาแฟกะลาจากทั้ง 3 ระดับความสูงของพื้นที่คือ 800-1,000 1,000-1,200 และ 1,200-1,400 เมตรเหนือระดับน้ำทะเล นั้นไม่มีความแตกต่างกัน โดยมีความกว้างของกะลา 6.7-7.0 มิลลิเมตร และความยาวเท่ากับ 8.0-8.4 มิลลิเมตร น้ำหนัก 100 เมล็ดเท่ากับ 17.12, 19.93 และ 16.78 กรัม ตามลำดับ อย่างไรก็ตาม เมื่อผ่านการสีเมล็ดได้เป็นกาแฟเมล็ดแล้ว พบว่าที่ระดับความสูง 1,000-1,200 เมตรเหนือระดับน้ำทะเล ให้น้ำหนักกาแฟเมล็ด 100 เมล็ด มากกว่าที่ระดับ 1,200-1,400 เมตรเหนือระดับน้ำทะเล อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีน้ำหนักเท่ากับ 9.33 และ 7.72 กรัม ตามลำดับ แต่น้ำหนักไม่แตกต่างจากที่ระดับ 800-1,000 เมตรเหนือ

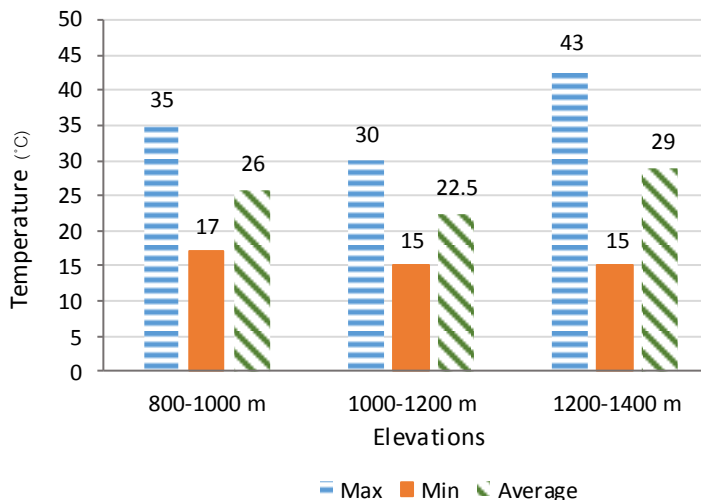


Figure 1. The average maximum and minimum temperature of 3 different elevations during November, 2014-March, 2015

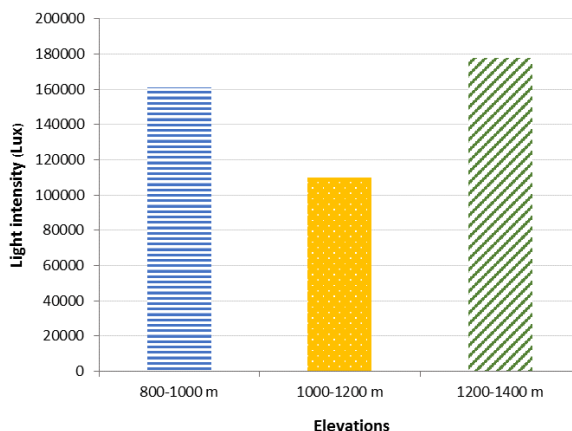


Figure 2. Light intensity of 3 different elevations during November, 2014-March, 2015

ระดับน้ำทะเล ซึ่งมีน้ำหนักเท่ากับ 8.28 กรัม (ตารางที่ 2) อาจเป็นเพราะที่ระดับความสูง 1,000-1,200 เมตร มีปริมาณโพแทสเซียมในดินสูงกว่าพื้นที่อื่น (330 มิลลิกรัม ต่อกิโลกรัม) จึงทำให้กาแฟเมล็ดมีน้ำหนักมากกว่าพื้นที่อื่น เนื่องจากโพแทสเซียมเป็นธาตุที่ช่วยในการสังเคราะห์ น้ำตาล แป้ง และโปรตีน ส่งเสริมการเคลื่อนย้ายน้ำตาล จากใบไปสู่ผล ช่วยให้ผลเจริญเติบโตเร็วและมีคุณภาพดี (สำนักสำรวจและวิจัยทรัพยากรดิน กรมพัฒนาที่ดิน, 2559) และมีรายงานว่าในกลุ่มของธาตุอาหารหลัก โพแทสเซียมมีบทบาทสำคัญต่อสรีรวิทยาการเจริญเติบโต ของต้นกาแฟ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการพัฒนาคุณภาพ

ผล และการเพิ่มของผลผลิตกาแฟ (Clemente *et al.*, 2015) ในแปลงปลูกกาแฟการสูญเสียธาตุโพแทสเซียม จากดินเกิดขึ้นมากกว่าการสูญเสียไนโตรเจน ดังนั้นธาตุ โพแทสเซียมจึงเป็นปัจจัยที่เป็นข้อจำกัดในแปลงปลูก กาแฟที่สำคัญ (Mitchell, 1988) นอกจากนี้ปัจจัยหนึ่ง อาจเป็นเพราะอุณหภูมิและความเข้มแสงภายใต้สภาพร่มเงาของพื้นที่ที่ระดับความสูง 1,000-1,200 เมตร มีค่าต่ำกว่าอีกสองพื้นที่ จึงทำให้ต้นกาแฟมีน้ำหนักผลผลิตจาก น้ำหนักต่อ 100 เมล็ดและคุณภาพดีกว่า ซึ่งอุณหภูมิมี บทบาทสำคัญต่อการเจริญเติบโตโดยเฉพาะอย่างยิ่งใน การพัฒนาผล และการสุกแก่ของผล (Bertrand *et al.*,

Table 2. Sizes of coffee parchment and weights of green beans grown in 3 different elevations of Omkoi district, Chiang Mai province

Elevations (msl) (m)	Sizes of coffee parchment (mm)		Weights of 100 seeds (g)	
	Width	Length	Coffee parchment	Green bean
800-1,000 (Na Kian)	6.987	8.42	17.12	8.28 ab ¹
1,000-1,200 (Yang Piang)	6.821	8.34	19.93	9.33 a
1,200-1,400 (Khun Tuen)	6.730	8.02	16.78	7.72 b
F-test	ns	ns	ns	*

¹ Means within the same column followed by the different letters are significantly different by LSD at $P < 0.05$

ns= non significantly different

2006) ในการทดลองนี้พื้นที่ระดับความสูง 1,200-1,400 เมตร มีความหนาแน่นของไม้เรือนยอดค่อนข้างน้อยกว่าพื้นที่อื่น จึงทำให้มีความเข้มแสงค่อนข้างสูงและมีอุณหภูมิสูงสุด ซึ่งภายใต้สภาพความเข้มแสงและอุณหภูมิที่สูงสามารถทำให้อัตราการสังเคราะห์แสงของใบลดลง เนื่องจากการปิดของปากใบในช่วงอุณหภูมิสูง (Larcher, 2003) ส่งผลให้มีการสร้างอาหารและการสะสมอาหารในเมล็ดน้อยลง น้ำหนักของกาแฟเมล็ดจึงมีแนวโน้มต่ำกว่าพื้นที่อื่น

ปริมาณคาเฟอีนและไทโรโกเนลลีน

ผลจากการวิเคราะห์สารละลายมาตรฐานเพื่อตรวจสอบปริมาณของคาเฟอีนและไทโรโกเนลลีนโดยเทคนิค HPLC จากภาพที่ 3 ของสารมาตรฐานและของสารละลายตัวอย่าง พบว่าไทโรโกเนลลีนและคาเฟอีนถูกแยกออกจากคอลัมน์ที่เวลาประมาณ 1.63 และ 6.14 นาที ตามลำดับ ซึ่งเมื่อคำนวณหาปริมาณสารเทียบกับสารมาตรฐาน พบว่าปริมาณสารในกาแฟที่ผลิตจากพื้นที่ปลูกในการทดลองนี้ให้ผลดังแสดงในตารางที่ 3 ในระดับความสูง 800-1,000 เมตร กาแฟเมล็ดและกาแฟเมล็ดคั่วมีปริมาณคาเฟอีนมากที่สุดคือ 1.73 และ 1.43 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับที่ระดับความสูง 1,000-1,200 และ 1,200-1,400 เมตร โดยมีปริมาณคาเฟอีนในกาแฟเมล็ดและกาแฟเมล็ดคั่วเท่ากับ 0.83-0.90 และ 1.05-1.15 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ (ตารางที่ 3) ปริมาณคาเฟอีน

ในเมล็ดมีแนวโน้มลดลงเมื่อปลูกในพื้นที่ที่มีความสูงจากระดับน้ำทะเลมากขึ้น อาจมีสาเหตุมาจากอุณหภูมิในขณะเก็บเกี่ยวผล เนื่องจากช่วงระยะเวลาการเก็บเกี่ยวกาแฟมีผลต่อปริมาณคาเฟอีนด้วยเช่นกัน โดยพบว่าในช่วงปลายฤดูการเก็บเกี่ยวผลผลิตมีปริมาณคาเฟอีนสูงที่สุด รองลงมา คือ ช่วงกลางและต้นฤดูการเก็บเกี่ยวผลผลิต ทั้งนี้เมื่ออุณหภูมิในช่วงการเก็บเกี่ยวผลผลิตเพิ่มขึ้นทำให้ปริมาณคาเฟอีนเพิ่มสูงขึ้นตามไปด้วย (อดิเทก, 2553)

สำหรับปริมาณไทโรโกเนลลีนในกาแฟเมล็ดและกาแฟเมล็ดคั่วที่ปลูกในระดับความสูง 800-1,000 เมตร พบว่ามีปริมาณมากที่สุด คือ 0.99 และ 1.78 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ ส่วนที่ระดับความสูง 1,000-1,200 เมตร มีปริมาณไทโรโกเนลลีน 0.83 และ 1.35 มิลลิกรัมต่อกรัม ในขณะที่ระดับความสูง 1,200-1,400 เมตร มีปริมาณไทโรโกเนลลีน 0.60 และ 1.03 มิลลิกรัมต่อกรัม ซึ่งไทโรโกเนลลีนเป็นสารกลุ่มอัลคาลอยด์ที่ให้รสขม เป็นสารตั้งต้นและมีส่วนในการให้กลิ่นของกาแฟ (aroma formation) ปริมาณไทโรโกเนลลีนในกาแฟเมล็ดมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกับปริมาณคาเฟอีนคือมีแนวโน้มลดลงเมื่อมีความสูงของพื้นที่เหนือระดับน้ำทะเลเพิ่มขึ้น ซึ่งแตกต่างจากงานวิจัยของ Bertrand *et al.* (2006) ที่ว่าในพื้นที่สูงจะมีปริมาณคาเฟอีนมาก แต่สอดคล้องตรงที่ว่าในพื้นที่สูงมีปริมาณไทโรโกเนลลีนน้อยกว่าพื้นที่ต่ำกว่านั้น อาจเป็นผลมาจากอุณหภูมิและความเข้มแสงที่สามารถส่งผลต่อการสังเคราะห์คาเฟอีนและไทโรโกเนลลีนในเมล็ดได้

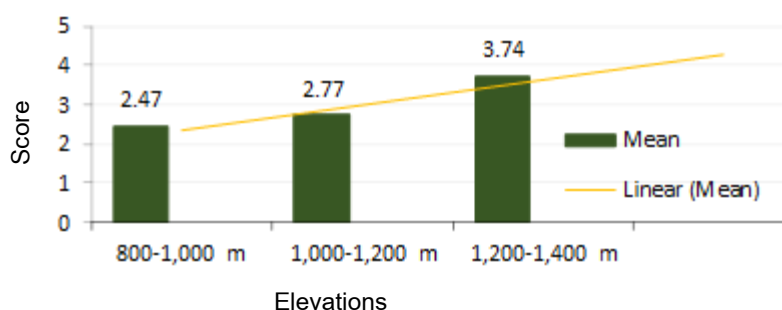


Figure 3. Score of cup test at 3 different elevations in Omkoi district, Chiang Mai province

Table 3. Comparison of caffeine and trigonelline contents grown in 3 different elevations of Omkoi district, Chiang Mai province

Elevations (msl) (m)	Caffeine content (mg/g)		Trigonelline content (mg/g)	
	Green bean *	Roasted bean **	Green bean *	Roasted bean **
800-1,000 (Na Kian)	1.73 a ¹	1.43 a	0.99 a	1.78 a
1,000-1,200 (Yang Piang)	0.90 b	1.15 b	0.83 a	1.35 b
1,200-1,400 (Khun Tuen)	0.83 b	1.05 b	0.60 b	1.03 b

¹ Means within the same column followed by the different letters are significantly different by LSD at $P < 0.05$

* 11% moisture content

** 4% moisture content

ด้วยเช่นกัน อย่างไรก็ตามจากตารางที่ 3 การคั่วกาแฟเมล็ดทำให้ความเข้มข้นของคาเฟอีนและไทรโกเนลลีนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น อาจเนื่องจากความชื้นในเมล็ดลดลงเมื่อเทียบกับกาแฟเมล็ดที่ไม่ผ่านการคั่ว

การประเมินความพึงพอใจของผู้บริโภค

การประเมินความพึงพอใจรสชาติกาแฟ พบว่าผู้บริโภคจำนวน 13 คน จากผู้บริโภคทั้งหมด 20 คน คิดเป็นร้อยละ 65 ให้คะแนนความชอบมากที่สุด คือ กาแฟจากที่ระดับความสูง 1,200-1,400 เมตร ซึ่งมากกว่าพื้นที่อื่น ส่วนผู้บริโภคจำนวน 7 คน ให้คะแนนความชอบมากที่สุดที่ระดับความสูง 800-1,000 และ 1,000-1,200 เมตร จากผลการประเมินตามวิธีของ พัทณี (2546) คะแนนเต็ม 5 พบว่าที่ระดับความสูงดังกล่าวมีค่าความพึงพอใจเฉลี่ยสูงที่สุด คือ 3.74 รองลงมาคือที่ระดับความสูง 1,000-1,200 และ 800-1,000 เมตรเหนือระดับน้ำทะเล โดยให้

ค่าความพึงพอใจเฉลี่ย 2.77 และ 2.47 ตามลำดับ (ภาพที่ 3) เหตุผลที่ผู้บริโภคชื่นชอบรสชาติกาแฟจากที่ระดับความสูง 1,200-1,400 เมตร เนื่องจากมีรสเปรี้ยวและมีความเข้มข้นกว่าพื้นที่อื่น เพราะที่ระดับความสูงดังกล่าวมีปริมาณคาเฟอีนและไทรโกเนลลีนต่ำกว่าพื้นที่อื่น จึงทำให้กาแฟมีรสชาติเข้มข้นน้อยกว่า เนื่องจากคาเฟอีนและไทรโกเนลลีนในกาแฟมีรสขม (Sivetz and Foote, 1963) และการที่กาแฟมีรสเปรี้ยวนั้นเกิดจากในระหว่างการคั่วกาแฟเมล็ดเกิดการสลายตัวของกรด chlorogenic จากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสให้กรด caffeic และกรด quinic ทำให้มีรสเปรี้ยวเมื่อมีหมู่กรด carboxylic เป็นองค์ประกอบ ให้รสขมและฝาดจากหมู่ phenolic เป็นองค์ประกอบ ซึ่งสารเหล่านี้เป็นกรดที่ไม่ระเหยในระหว่างการคั่วกาแฟเมล็ด จึงทำให้กาแฟมีรสชาติเปรี้ยวเมื่อชงดื่ม (Sivetz and Foote, 1963)

การปลูกกาแฟในประเทศฮอนดูรัสที่ระดับความสูงจากระดับน้ำทะเลมากกว่า 1,000 เมตร ทำให้ปริมาณไขมันในกาแฟเมล็ดสูงกว่าและให้คุณภาพกาแฟถ้วย (cup quality) ดีกว่าที่ระดับความสูงต่ำกว่า 1,000 เมตร (Decazy *et al.*, 2006) นอกจากนี้ยังมีรายงานการเปรียบเทียบความพึงพอใจของผู้บริโภคต่อกาแฟอาราบิก้าพันธุ์ลูกผสม ชั่วที่ 1 จากแหล่งปลูกพื้นที่ที่มีระดับความสูงต่าง ๆ กันของประเทศแถบอเมริกากลาง พบว่าผู้บริโภคพึงพอใจรสชาติของกาแฟที่ปลูกที่ระดับ 1,450 เมตรเหนือระดับน้ำทะเล มากกว่าที่ระดับความสูง 900 เมตรเหนือระดับน้ำทะเล และยังพบว่ากาแฟที่ปลูกที่ระดับความสูง 900 เมตรเหนือระดับน้ำทะเล มีค่า aroma, body, fat และ acidity ต่ำกว่า แต่มีค่าความขม (bitterness) มากกว่ากาแฟที่ระดับความสูง 1,450 เมตรเหนือระดับน้ำทะเล (Bertrand *et al.*, 2006)

สรุป

จากการศึกษาเปรียบเทียบคุณภาพและองค์ประกอบทางชีวเคมีของเมล็ดกาแฟอาราบิก้าอินทรีย์ที่ปลูกในระดับความสูงที่แตกต่างกัน พบว่าขนาดของกาแฟและเมล็ดมีความแตกต่างกันใน 3 ระดับความสูงของพื้นที่ มีน้ำหนักของกาแฟเมล็ดที่ปลูกที่ระดับความสูง 800-1,000 และ 1,000-1,200 เมตรเหนือระดับน้ำทะเล มีค่าใกล้เคียงกัน ส่วนปริมาณคาเฟอีนและโพรโทแคเทชินในกาแฟเมล็ดพบว่ามีความโน้มถ่วงลดลงตามความสูงของพื้นที่ที่เพิ่มขึ้น โดยคาเฟอีนและโพรโทแคเทชินของกาแฟที่ปลูกที่ระดับความสูง 800-1,000 เมตรเหนือระดับน้ำทะเล มีค่ามากที่สุด รองลงมาคือกาแฟที่ปลูกในระดับความสูง 1,000-1,200 และ 1,200-1,400 เมตรเหนือระดับน้ำทะเล ตามลำดับ จากการทดสอบความพึงพอใจพบว่าผู้บริโภคส่วนใหญ่ชอบและให้คะแนนกลิ่นและรสชาติของกาแฟอาราบิก้าอินทรีย์ที่ปลูกในพื้นที่ระดับความสูง 1,200-1,400 เมตรเหนือระดับน้ำทะเล มากที่สุด

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณโครงการการพัฒนาศักยภาพและขีดความสามารถในการแข่งขันด้านการตลาด สินค้ากาแฟอาราบิก้าไทยในเขตภาคเหนือตอนบน ภายใต้ข้อตกลงการเปิดเสรีทางการค้า จากงบประมาณสนับสนุนของกรมการค้าภายใน กระทรวงพาณิชย์ และคณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ผู้สนับสนุนการใช้ห้องปฏิบัติการ

เอกสารอ้างอิง

- กชกร ป้อมน้อย. 2537. ผลของไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และจุลินทรีย์ต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของกาแฟอาราบิก้า. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่. 115 หน้า.
- กรมวิชาการเกษตร. 2551. กาแฟอาราบิก้า (ระบบออนไลน์). แหล่งข้อมูล: <http://it.doa.go.th/vichakan/news.php?newsid=9> (3 กรกฎาคม 2557).
- ชลิต กอสมพันธ์ ถาวร สุภาวงศ์ นริศ ยิ้มแย้ม นิธิไทยสันทัด ประเสริฐ คำออน และ วราพงษ์ บุญมา. 2550. การสร้างมูลค่าเพิ่มของกาแฟอาราบิก้าโดยการพัฒนากระบวนการผลิตและการแปรรูป. รายงานผลการปฏิบัติงานโครงการบริการวิชาการ. ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมที่สูง คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่. 13 หน้า.
- ดุสิต มานะจติ บุญยวาทย์ ลำเพาพงศ์ และ จุฑา สุขเกษม. 2528. การศึกษาคุณสมบัติของดินที่ใช้ปลูกกาแฟในภาคเหนือของประเทศไทย. ภาควิชาปฐพีศาสตร์และอนุรักษศาสตร์. คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่. 86 หน้า.
- นริศ ยิ้มแย้ม. 2539. ผลของสภาพความสูงของพื้นที่ที่มีผลต่อคุณภาพกาแฟอาราบิก้า. วารสารเกษตร 12(2): 157-163.

- นันทรัตน์ ศุภกานี. 2558. การจัดการดินและปุ๋ยสำหรับพืชสวน. (ระบบออนไลน์). แหล่งข้อมูล: <http://www.doa.go.th/hort/images/stories/knownledgemanagement/soilfertihort170958full.pdf> (16 มิถุนายน 2559).
- เนาวรัตน์ ศิวะศิลป์. 2527. คู่มือวิเคราะห์ดิน พืช และปุ๋ย. ภาควิชาปฐพีศาสตร์และอนุรักษศาสตร์. คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่. 138 หน้า.
- เผ่าไท ภาวะพิงค์ และ ปิยะวรรณ สุทธิประพันธ์. 2558. การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีภูมิสารสนเทศในการศึกษาความหลากหลายชนิดและการแพร่กระจายของแมลงศัตรูกาแฟอาราบิกาในจังหวัดเชียงใหม่ และเชียงราย. วารสารเกษตร 31(2): 203-213.
- พงษ์ศักดิ์ อังกลิทธิ และ บัณฑิต วาฤทธิ์. 2542. การปลูกและผลิตกาแฟอาราบิกานที่สูงเชียงใหม่. ศูนย์วิจัยและพัฒนาการแปรรูปที่สูง คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่. 229 หน้า.
- พัชนี สุวรรณวิศลกิจ. 2546. ความเหมาะสมของมาตรฐานกาแฟอาราบิกาของไทย. รายงานการวิจัย. ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมที่สูง คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่. 31 หน้า.
- พัชนี สุวรรณวิศลกิจ. 2553. สรรสาระ “กาแฟ”. พิมพ์ครั้งที่ 2, โรงพิมพ์นันทพันธ์, เชียงใหม่. 120 หน้า.
- สารานุกรมไทยสำหรับเยาวชน. 2537. เรื่องที่ 8 ดินและปุ๋ย. ธาตุอาหารในพืช. เล่มที่ 18. (ระบบออนไลน์)แหล่งข้อมูล: <http://kanchanapisek.or.th/kp6/sub/book/book.php?book=18&chap=8&page=t18-8-infodetail05.html> (29 ธันวาคม 2559).
- สิรินาถ จอมพงษ์. 2551. รูปแบบการจัดการที่แตกต่างกันในระบบการผลิตกาแฟแบบวนเกษตรต่อผลผลิตและความอุดม สมบูรณ์ของดิน กรณีศึกษากันปางกีด ตำบลอินทิล อำเภอแม่แตง จังหวัดเชียงใหม่. เชียงใหม่. วิทยานิพนธ์มหาวิทยาลัยมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยแม่โจ้, เชียงใหม่. 84 หน้า.
- สุนทรียัง ชัชวาล. 2554. ใช้อินทรีย์วัตถุให้ถูกประเภท. (ระบบออนไลน์). แหล่งข้อมูล: <http://www.cab.ku.ac.th/suntaree/pdf/54OrganicMatterExplain.pdf> (14 มิถุนายน 2559).
- สำนักสำรวจและวิจัยทรัพยากรดิน กรมพัฒนาที่ดิน. 2559. ธาตุอาหารที่จำเป็นสำหรับการเจริญเติบโตของพืช. (ระบบออนไลน์). แหล่งข้อมูล : http://oss101.1dd.go.th/web_soils_for_youth/s_prop_nutri02.htm (22 มกราคม 2559).
- อดิเรก ศรีมูล. 2553. ปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณคาเฟอีนในเมล็ดกาแฟพันธุ์อาราบิกาที่ปลูกในจังหวัดเชียงใหม่. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่. 83 หน้า.
- Bertrand, B., P. Vaast, E. Alpizar, H. Etienne, F. Davrieux and P. Charmetant. 2006. Comparison of bean biochemical composition and beverage quality of Arabica hybrids involving Sudanese-Ethiopian origins with traditional varieties at various elevations in Central America. Tree Physiology 26: 1239-1248.
- Bray, R.H. and L.T. Kurtz. 1945. Determination of total, organic and available forms of phosphorus in soils. Soil Science 59: 39-45.
- Clarke, R.J. and R. Macrae. 1985. Coffee. Vol. 1: Chemistry. 1st ed. Elsevier Science Publishers, London. 306 p.
- Clemente, J.M., H.E.P. Martinez, L.C. Alves, F.L. Finger and P.R. Cecon. 2015. Effect of nitrogen and potassium on the chemical composition of coffee beans and on beverage quality. Acta Scientiarum: Agronomy 37(3): 297-305.

- Decazy, F., J. Avelino, B. Guyot, J.J. Perriot, C. Pineda and C. Cilas. 2006. Quality of different Honduran coffees in relation to several environments. *Journal of Food Science* 68: 2356-2361.
- Ky, C.L., B. Guyot, J. Louarn, S. Hamon and M. Noirot. 2001. Trigonelline inheritance in the interspecific *Coffea pseudozanguebariae* x *C. liberica* var. *dewevrei* cross. *Theoretical and Applied Genetics* 102: 603-634.
- Larcher, W. 2003. *Physiological Plant Ecology: Ecophysiology and Stress Physiology of Functional Groups*. 4th ed. Springer, New York. 513 p.
- Mitchell, H.W. 1988. Cultivation and harvesting of the Arabica coffee tree, pp. 43-89 *In*: R.J. Clarke and R. Macrae (eds.). *Coffee*. Elsevier Applied Science, London.
- Sivetz, M. and H.E. Foote. 1963. *Coffee Processing Technology*. Vol 1: Fruit-Green, Roast and Soluble Coffee. The AVI Publishing Company, London. 598 p.
- Varnam, H.A. and P.J. Sutherland. 1994. *Beverage Technology Chemistry and Microbiology*. Chapman & Hall, New York. 464 p.
- Willson, K.C. 1985. *Climate and Soil, Coffee Botany, Biochemistry and Production of Beans and Beverage*. The AVI Publishing Company Inc., Connecticut. 457 p.
-