



ผลของการทำแห้งต่อปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ
และกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระของชาดอกกาแฟ
Effect of drying on bioactive compounds and
antioxidant capacity of coffee blossom tea

ผู้ช่วยศาสตราจารย์วิลาสินี ดีปัญญา

มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ ปี 2567

ชื่อโครงการวิจัย	ผลของการทำแห้งต่อปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพและกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระของชาดอกกาแฟ
ชื่อผู้ทำการวิจัย	ผู้ช่วยศาสตราจารย์วิลาสินี ดีปัญญา
หลักสูตรสาขาวิชา	เทคโนโลยีการอาหารและการพัฒนาผลิตภัณฑ์
คณะ	วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัย	มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์
ปีการศึกษาวิจัย	2567

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาผลของการทำแห้งต่อปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพและกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระของชาดอกกาแฟ โดยทำการอบแห้ง 4 วิธี คือ การอบแห้งแบบลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 60 และ 70 องศาเซลเซียส การอบแห้งแบบสุญญากาศที่อุณหภูมิ 50 60 และ 70 องศาเซลเซียส การอบแห้งแบบแช่เยือกแข็ง และการอบแห้งแบบธรรมชาติ จากการทดลองพบว่า อุณหภูมิที่ใช้ออบแห้งส่งผลให้ค่าความสว่าง (L^*) ของดอกกาแฟลดลง และเมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการอบแห้ง ส่งผลให้ค่าความสีแดงสูงขึ้น (a^*) โดยที่อุณหภูมิต่ำที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ดัชนีความเป็นสีน้ำตาล (BI) สูงขึ้นด้วย โดยการอบแห้งแบบสุญญากาศที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ดัชนีความเป็นสีน้ำตาล (BI) สูงที่สุดเท่ากับ 33.70 เนื่องจากการอบแห้งวิธีนี้ที่อุณหภูมิต่ำจะมีปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลแบบใช้เอนไซม์ เพราะอุณหภูมิต่ำในการอบแห้งไม่สามารถยับยั้งเอนไซม์ได้ อีกทั้งต้องใช้เวลาในการอบแห้งนาน ทำให้เอนไซม์ในดอกกาแฟทำปฏิกิริยาเกิดสีน้ำตาลอย่างต่อเนื่อง ส่งผลให้ดอกกาแฟมีสีเข้มขึ้นสูงที่สุด อีกทั้งผลของวิธีและสภาวะต่าง ๆ ในการอบแห้งที่มีต่อปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมด และกิจกรรมต้านอนุมูลอิสระ พบว่าชาดอกกาแฟที่อบแห้งที่อุณหภูมิเพิ่มขึ้น มีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดและปริมาณฟลาโวนอยด์สูงขึ้นด้วย

คำสำคัญ : ดอกกาแฟ การทำแห้ง สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ

Research Title	Effect of drying on bioactive compounds and antioxidant capacity of coffee blossom tea
Name	Asst. Prof. Wilasinee Deepanya
Program	Food Technology and Product Development
Faculty	Science and Technology
University	Rajabhat Phetchabun
Year	2024

Abstract

This research aimed to study the effect of drying on the bioactive compound content and antioxidant capacity of coffee blossom tea by using four drying methods: hot air drying at 50, 60 and 70 °C, Vacuum drying at 50, 60 and 70 °C, freeze drying and natural drying. The experiment found that the drying temperature resulted in a decrease in the brightness (L*) of coffee blossom and an increase in the redness (a*) resulting in a higher browning index (BI) of the dried coffee blossom. By vacuum drying at 50 °C, the browning index (BI) was highest at 33.70 because this drying method at low temperature has enzymatic browning reaction because low drying temperature cannot inhibit enzyme. In addition, it takes a long time to dry, causing the enzymes in the coffee blossom to react and continuously brown, resulting in the coffee blossom having the highest dark color. In addition, the effects of different drying methods and conditions on total phenolic content, total flavonoid content and antioxidant capacity were investigated. It was found that coffee blossom tea dried at increased temperatures had higher total phenolic content and flavonoid content.

Key Words: coffee blossom, drying, bioactive compounds, antioxidant capacity

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

กาแฟเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของโลกและประเทศไทย เนื่องจากถูกนำไปแปรรูปเป็นเครื่องดื่ม กาแฟ โดยจะใช้เพียงเมล็ดกาแฟเท่านั้น และภายในเมล็ดกาแฟจะมีคาเฟอีนซึ่งมีฤทธิ์ ช่วยให้ร่างกาย รู้สึกสดชื่น อารมณ์ดี กระปรี้กระเปร่า และรู้สึกผ่อนคลายจากความเครียด สายพันธุ์ที่นิยมปลูกและ บริโภค คือ สายพันธุ์อาราบิกา (*Coffea arabica* L.) และสายพันธุ์โรบัสต้า (*Coffea canephora* Pierre ex A. Froehner) แต่ในพื้นที่จังหวัดเพชรบูรณ์เกษตรกรผู้ปลูกกาแฟส่วนใหญ่จะปลูกกาแฟ สายพันธุ์อาราบิกาเป็นหลัก และส่วนใหญ่จะเป็นการผลิตเมล็ดกาแฟ ส่วนดอกกาแฟซึ่งมีปริมาณ สารสำคัญที่เป็นประโยชน์ต่อร่างกายมนุษย์ (Nguyen, et al, 2019) นั้น ได้ถูกนำมาใช้ประโยชน์น้อย อีกทั้งปัจจุบันชาสมุนไพรเป็นเครื่องดื่มที่มีการนำมาบริโภค และเป็นที่นิยมอย่างต่อเนื่อง โดยสมุนไพร ที่นำมาแปรรูปเป็นชานั้นมีสรรพคุณในด้านการรักษาโรค (อาริษา โสภากจารย์ และคณะ, 2563) ชา ดอกกาแฟ (Coffee Blossom tea) จัดอยู่ในกลุ่มชาดอกไม้ เพราะส่วนที่นำมาชงเป็นเครื่องดื่มนั้น คือ ของดอกกาแฟ และหากเปรียบเทียบกับชาชนิดต่าง ๆ เช่น ชาเขียว ชาดำ หรือ ชาเหลือง ที่มี คาเฟอีนและแทนนินในปริมาณสูง แต่ในชาดอกกาแฟนั้นไม่มีทั้งแทนนิน และคาเฟอีน คนที่แพ้ คาเฟอีนจึงทานได้ และไม่ต้องกลัวท้องผูก เพราะปราศจากแทนนิน คุณสมบัติ Coffee Blossom tea นั้น ป้องกันการเกิดมะเร็ง และช่วยลดไขมันในเลือด เนื่องจากการชาดอกกาแฟ จะมีความหอมหวาน โดยธรรมชาติ ซึ่งเป็นน้ำตาลฟรุคโทสที่ร่างกายสามารถนำไปใช้งาน และไม่ตกค้างในร่างกาย ชาดอก กาแฟเหมาะสำหรับผู้ที่เป็นเบาหวาน แต่ยังต้องการความหวานอยู่บ้าง ซึ่งโดยปกติชาดอกไม้จะมีความหอมอยู่ในตัวอยู่แล้วขึ้นกับว่าเป็นดอกไม้ประเภทไหน ดอกกาแฟก็เช่นกัน จะมีความหอมมาก และที่สำคัญใน 1 ปีจะออกดอกเพียงช่วงเดียวเท่านั้น และหากติดดอกแล้ว จะมีเวลาเพียงสามวันให้ เก็บเกี่ยวก่อนที่จะดอกกาแฟจะร่วงหล่นพื้น และไม่สามารถนำมาใช้ได้ โดยกระบวนการผลิตชาดอก กาแฟจะเป็นการนำเอาการทำแห้งมาใช้ในการผลิต

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้สนใจที่จะทำการศึกษาผลของการทำแห้งต่อปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพและกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระของชาดอกกาแฟ เพื่อเป็นการพัฒนาผลิตภัณฑ์ให้ได้คุณภาพ และมาตรฐานต่อไป และนำไปถ่ายทอดองค์ความรู้ในการสร้างมูลค่าผลิตภัณฑ์ชาดอกกาแฟให้กับชุมชนผู้ปลูกกาแฟในเขตจังหวัดเพชรบูรณ์

1.2 วัตถุประสงค์

1. ศึกษาองค์ประกอบทางเคมี-กายภาพของดอกกาแฟ
2. ศึกษาผลของการทำแห้งต่อปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพและกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระของชาดอกกาแฟ
3. เพื่อถ่ายทอดองค์ความรู้ในการสร้างมูลค่าผลิตภัณฑ์ชาดอกกาแฟให้กับชุมชน

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้ผลของการทำแห้งต่อปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพและกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระของชาดอกกาแฟ
2. ต้นแบบผลิตภัณฑ์ (Prototype) ระดับห้องปฏิบัติการ

1.4 ขอบเขตของการวิจัย

ศึกษาผลของการทำแห้งต่อปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพและกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระของชาดอกกาแฟพันธุ์อาราบิกา บนพื้นที่อำเภอเขาค้อ จังหวัดเพชรบูรณ์

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 กาแฟ

กาแฟมีลักษณะเป็นไม้พุ่มขนาดเล็กจนถึงไม้พุ่มขนาดใหญ่สูงถึง 10 เมตร ลักษณะของต้น, ใบ, ยอด และดอก มีความหลากหลาย สีของยอดและขนาดของใบแตกต่างกันมากระหว่าง Species ในจำนวนกาแฟ 4 Species ที่มีการปลูกอยู่ในปัจจุบันนี้มีเพียง 2 Species ที่มีความสำคัญในเชิงเศรษฐกิจปลูกเป็นการค้าอย่างแพร่หลาย ส่วนอีก 2 Species ปลูกในขอบเขตจำกัด เพื่อใช้บริโภคตามท้องถิ่น หรือใช้ในการผสมพันธุ์ เพื่อถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรมที่ดีบางประการสู่พันธุ์ที่ปลูกเป็นการค้าเชิงเศรษฐกิจ สำหรับในเขตภาคเหนือ โดยเฉพาะจังหวัดเพชรบูรณ์ พันธุ์กาแฟที่ใช้ปลูกและมีความเหมาะสมกับสภาพพื้นที่สูงและคุณภาพดี คือ กาแฟพันธุ์อาราบิกา (*Coffea Arabica*, 2n = 44) เป็นกาแฟพันธุ์ที่มีความสำคัญมากที่สุด ซึ่งผลิตประมาณร้อยละ 80 ของกาแฟที่ปลูกทั่วโลก เป็นกาแฟที่สามารถผสมตัวเองได้ ดังนั้นกาแฟอาราบิกาก็มีหลายสายพันธุ์ ทั้งที่เกิดจากการผสมตัวเอง (Self fertile) ในธรรมชาติ ทำให้มีการผสมภายในสายพันธุ์ (inbreeding) หรือเกิดการกลายพันธุ์ (mutation) การผสมพันธุ์กาแฟอาราบิกาโดยนักผสมพันธุ์พืชได้เริ่มขึ้นหลังปี พ.ศ. 2493 เป็นต้นมา กาแฟอาราบิกามีลักษณะลำต้น, ใบ และเมล็ดมีขนาดค่อนข้างเล็กให้ผลผลิตปานกลางคุณภาพของเมล็ดสูง รสชาติหอมหวานชวนดื่ม ต้องการอุณหภูมิระหว่าง 13-21 องศาเซลเซียส ระดับความสูงจากน้ำทะเลปานกลาง 700-1800 เมตร ปริมาณน้ำฝนประมาณ 1,500 มิลลิเมตร ระยะติดผลถึงเก็บเกี่ยวประมาณ 6-9 เดือน ปัจจุบันกาแฟอาราบิกาได้มีพันธุ์แนะนำของกรมวิชาการเกษตร 1 สายพันธุ์ คือ Catimor CIFC 7963-13-28 มีลักษณะเด่น คือ ต้านทานโรคราสนิมได้ร้อยละ 100 มีลักษณะต้นเตี้ยข้อสั้น ทรงต้นแข็งแรง ขนาดทรงพุ่มกว้าง รูปทรงปิรามิด ใบใหญ่ ปลูก 400 ต้นต่อไร่ ผลผลิตสูงสามารถปลูกแบบผสมผสานได้ดีในระบบปลูกพืชที่ไม่ต้องการแสงแดดจัด หรืออยู่ภายใต้สภาพร่มเงา ทำให้ปลูก ร่วมกับไม้ผลอื่น ๆ ได้ โดยปลูกระหว่างแถวไม้ผลยืนต้น เช่น มะคาเคเมีย ไม้ผลเมืองหนาว เป็นต้น กาแฟ Catimor CIFC 7963-13-28 ให้ผลผลิตสูง และมีคุณภาพการชิมดีกว่าพันธุ์แม่ (Catura) โดยให้ปริมาณสารกาแฟเกรด A เฉลี่ยมากกว่าร้อยละ 80 แต่การปลูกมีข้อจำกัดดังนี้ คือ ต้องปลูกที่ระดับความสูงตั้งแต่ 700 เมตร จากระดับน้ำทะเลขึ้นไป และมีสภาพอากาศหนาวเย็น มีปริมาณน้ำฝนตกกระจาย 4-6 เดือน ต้องปลูกภายใต้ร่มเงา ไม่ทนต่อสภาพอากาศร้อน หรือปลูกในสถานกลางแจ้ง

2.1.1 การจำแนกกลุ่มพันธุ์กาแฟ

กาแฟที่พบในปัจจุบันที่ปลูกเป็นการค้าสามารถแบ่งได้เป็น 4 กลุ่ม (กำพล เมืองโคมพัส, 2551) ตามลักษณะของใบ สีของใบ สีของยอดอ่อน ขนาดของใบ เส้นกลางใบ ความสูง ความยาวระหว่างข้อของกิ่ง ปริมาณและขนาดของสารกาแฟผลิตและคุณภาพ ดังนี้ คือ

2.1.1.1 กาแฟพันธุ์อาราบิกา (*C. Arabica* 2n = 44) กาแฟพันธุ์นี้มีความสำคัญมากผลิตประมาณร้อยละ 80 ของกาแฟที่ปลูกทั่วโลก ส่วนใหญ่ปลูกบนที่สูงตั้งแต่ระดับ 700-1,800 เมตรเหนือระดับน้ำทะเล ซึ่งส่วนใหญ่มีสภาพเป็นป่าและพื้นที่ลาดชัน จึงควรปลูกตามแนว Contour

live หรือ ปลูกอยู่ระหว่างแนว Orchard ต้องการอุณหภูมิระหว่าง 13-21 องศาเซลเซียส อาราบิก้ามีปริมาณคาเฟอีนต่ำ สามารถผสมตัวเอง (Self fertile) หรือกลายพันธุ์ (mutation) ได้ ในธรรมชาติมีการผสมในสายพันธุ์ได้ (nbreding) กาแฟอาราบิก้ามีปริมาณคาเฟอีนต่ำเพียง 0.8-1.5% ต่อน้ำหนักเมล็ด รสชาติหอมกลมกล่อมนุ่มนวล ประเทศไทยส่วนมากปลูกในบริเวณเขตภาคเหนือ ตั้งแต่จังหวัดเชียงรายลงมาถึงจังหวัดเพชรบูรณ์

2.1.1.2 กาแฟพันธุ์โรบัสตา หรือ อานีฟอร่า (*C. canephora* $2n = 22$) เป็นพันธุ์ดั้งเดิมของแถบศูนย์สูตร มีความสำคัญทางการผลิตรองจากกาแฟอาราบิก้า ลักษณะพันธุ์ มีลำต้นสูง และเมล็ดใหญ่กว่ากาแฟอาราบิก้า ทนทานต่อโรคราสนิมและ โรคที่เกิดจากเชื้อรา *fusarium* ได้ดี แต่คุณภาพของสารกาแฟด้อยกว่ากาแฟอาราบิก้า ต้องการอากาศร้อนชื้น ประมาณ 20-32 องศาเซลเซียส พันธุ์โรบัสตา มีปริมาณคาเฟอีนสูงร้อยละ 40-6.0 ต่อน้ำหนักเมล็ด รสชาติขมเปรี้ยว กลิ่นไม่หอมไม่กลมกล่อม มีความเข้มข้นในน้ำกาแฟมาก ปลูกได้ตั้งแต่ระดับน้ำทะเล จนถึงระดับความสูง 1,200 เมตร ระยะออกดอกถึงเก็บเกี่ยวประมาณ 9-11 เดือน

2.1.1.3 กาแฟพันธุ์เอกเซลซ่า (*C. liberica* $2n = 22$) เป็นพันธุ์ที่มีลักษณะทรงต้น และใบใหญ่กว่าพันธุ์โรบัสตา และอาราบิก้า มีกลิ่นเหม็นเขียว คุณภาพสารกาแฟไม่ดี แต่ทนแล้ง และมอดหัวหิน (*stephanidres*) แมลงเจาะผล (Berry borer) ได้ดี ให้ผลดก ผลสุกสีแดง ปลูกกันมากแถบแอฟริกา บริเวณใกล้เส้นศูนย์สูตร เป็นพันธุ์ที่ใช้สำหรับทำกาแฟสำหรับคัดเลือกพันธุ์ของนักปรับปรุงพันธุ์ทั้งหลาย

2.1.1.4 กาแฟพันธุ์ลิเบอริกา (*C. excelsa* $2n = 22$) เป็นกาแฟที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจรองลงมาจากกาแฟแม่ ซึ่งเป็นพืชพื้นเมืองของประเทศแองโกล่า มีลักษณะทรงต้นสูงใหญ่ ใบใหญ่ทนทานต่อโรคราสนิมได้ดีสามารถเจริญเติบโตได้ตั้งแต่ระดับความ สูงจากระดับน้ำทะเลถึงระดับความสูง 1,600 เมตร อายุเก็บเกี่ยวตั้งแต่ดอกบานถึงเก็บเกี่ยวประมาณ 12-15 เดือน ประเทศที่ปลูกได้แก่ อินโดนีเซีย แองโกล่า เซียร์ราเลโอน และ เนเธอร์แลนด์ สำหรับพันธุ์นี้มีส่วนพันธุ์ *Dewerei* ที่ทนทานต่อความแห้งแล้ง และปรับตัวเองให้สามารถเจริญเติบโตได้ดีในดินค่อนข้างเหลว

2.1.2 สถานการณ์การผลิตกาแฟอาราบิก้า

กาแฟอาราบิก้า นับเป็นพืชเศรษฐกิจของภาคเหนือของประเทศไทย และของโลก แหล่งผลิตกาแฟอาราบิก้ารายใหญ่ของโลกอยู่แถบกลุ่มประเทศลาตินอเมริกา ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 48.4 เช่น ประเทศเอกวาดอร์ กัวเตมาลา คอสตาริกา บราซิล โดยมีประเทศบราซิล เป็นผู้ผลิตกาแฟรายใหญ่ของโลกประมาณ 1,298,000 ตัน คิดเป็นร้อยละ 21.95 ของผลผลิตโลก สำหรับประเทศไทยมีการปลูกกาแฟอยู่ 2 ชนิด คือ กาแฟโรบัสตา ที่ปลูกมากแถบภาคใต้ของประเทศไทยและกาแฟอาราบิก้า ปลูกมากแถบภาคเหนือของประเทศไทย รวมแล้วผลผลิตประมาณ 80,000 ตัน พื้นที่ที่เหมาะสมสำหรับปลูกกาแฟอาราบิก้า ส่วนใหญ่อยู่บนที่สูง และเป็นพื้นที่ที่อยู่ในเขตป่าสงวนหรืออุทยานแห่งชาติ ซึ่งเป็นปัญหาหนึ่งสำหรับการปลูกกาแฟอาราบิก้าตั้งแต่อดีตถึงปัจจุบัน และกาแฟอาราบิก้าก็เป็นพืชหนึ่งที่รัฐบาลได้นำมาเป็นพืชปลูกทดแทนพืชเสพติดหรือฝิ่น ดังนั้นจึงไม่อาจหลีกเลี่ยงเรื่องพื้นที่ปลูกที่ส่วนใหญ่อยู่ในเขตป่าสงวนหรืออุทยานแห่งชาติได้ เช่น ในจังหวัดเพชรบูรณ์ จะปลูกในพื้นที่อำเภอเขาค้อซึ่งเป็นเขตอุทยานแห่งชาติทุ่งแสลงหลวง และอำเภอน้ำหนาวจะปลูกในเขตพื้นที่อุทยานแห่งชาติน้ำหนาวจากโครงการส่งเสริมการปลูกกาแฟอาราบิก้าภายใต้โครงการถ่ายทอดเทคโนโลยี

เพื่อพัฒนาการเกษตร (Agricultural Technology Transfer Project, ATT) ในพื้นที่ 13 จังหวัดในเขตภาคเหนือ ซึ่งจังหวัดเพชรบูรณ์ก็เป็นหนึ่งใน 13 จังหวัดของโครงการ โดยมีโครงการขยายพื้นที่การปลูกกาแฟอาราบิก้าให้เพิ่มมากขึ้น และสร้างสวนกาแฟอาราบิก้าพันธุ์ดี ทดแทนสวนกาแฟเดิมที่ไม่ต้านทานต่อโรคราสนิม โดยใช้พันธุ์ Catimar มาปลูกทดแทนจากโครงการ ATT ทำให้พื้นที่ปลูกกาแฟอาราบิก้าเพิ่มมากขึ้นโดยเฉพาะจังหวัดเพชรบูรณ์ มีการปลูกกาแฟเพิ่มขึ้นปีละ 500 ไร่ โดยศูนย์วิจัยเป็นผู้ผลิตกล้าปีละ 200,000 ต้น เพื่อให้เกษตรกรปลูกที่อำเภอเขาค้อ และอำเภอน้ำหนาว เหตุที่เกษตรกรให้ความสนใจเพราะว่ากาแฟในตลาดโลกมีแนวโน้มที่จะสูงขึ้น ทำให้ราคาสารกาแฟในประเทศไทยสูงขึ้นตามไปด้วย (กำพล เมืองโคมพัส, 2551)

2.1.2 ลักษณะดอก

กาแฟจะมีจำนวนดอกต่อช่อ 4-6 ดอก และ 1 ช่อ จะมีช่อดอก 15-200 ช่อ ดอกจะเกิดจากตาที่ 1-6 ของใบ แต่ละช่อใบของกิ่งนอน (Plagio topic or Latesal beanchs) โดยมากมักเกิดจากตาที่ 1-4 ต้นดอกจะสั้น ดอกกาแฟจะมีกลีบดอกสีขาวหรือครีม รูปร่างคล้ายดาว มีกลิ่นหอมคล้ายมะลิป่า เป็นดอกสมบูรณ์เพศ มีเกสรตัวผู้และตัวเมียอยู่ในดอกเดียวกันและผสมตัวเอง (Self Festill) ร้อยละ 80-95 กลีบเลี้ยงจะมี 5-6 กลีบ เท่ากับกลีบดอกเชื่อมติดกันเป็นหลอดห่อหุ้มฐานรองคอกรูปคล้ายถ้วย กลีบดอกจะยาวประมาณ 1-1.5 เซนติเมตร เกสรตัวผู้มี 5-6 อัน เท่ากับจำนวนกลีบดอก และอยู่ติดผนังหลอดของกลีบดอก แต่ต้นเกสรนั้นติดสลับเยื้องกับแกนของกลีบดอก อับละอองเกสรประกอกด้วย 2 พู และแตกออกตามความยาว ยอดเกสรตัวเมียแยกเป็น 2 แฉก เห็นได้ชัดเจน ค้านเกสรตัวเมียจะยาวมีรังไข่ 1 อัน อยู่ใต้ส่วนประกอบต่าง ๆ ของดอก (infesios oraey) ภายในแยกเป็น 2 ช่อง (locules) และมี 2 ช่องรังไข่ (Ceaspol) อยู่ติดกัน ช่องรังไข่จะบรรจุไข่อ่อน 1 ใบ ต่อ 1 ช่องรังไข่เกาะบริเวณฐานของรังไข่ (basdl placontation) ช่วงระยะเวลาออกดอก คือ เมษายน - พฤษภาคม ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับ ต้นกาแฟได้รับน้ำหรือปริมาณน้ำเป็น 10-20 มิลลิเมตร เป็นระยะเวลาติดต่อกัน ปกติตาดอกของกาแฟเมื่อเกิดมาแล้วจะยังคงพักตัวอยู่ซึ่งจะเป็นช่วงฤดูแล้ง ในระยะนี้จะมีความยาว 4-5 มิลลิเมตร ซึ่งจะเป็นช่วงฤดูแล้ง กาแฟจะขาดน้ำอย่างรุนแรง แต่เมื่อได้รับน้ำฝน การพัฒนาของดอกจะเริ่มขึ้นทันที ต้นดอกจะยืดยาว กลีบดอกจะขยายและบานพร้อมกัน ดอกกาแฟจะใช้เวลาในการบานต่อเนื่องกัน 8-12 วัน และดอกจะบานอยู่ประมาณ 2 วัน จึงจะเหี่ยว กลีบดอกและส่วนอื่น ๆ จะร่วงคงเหลือแต่รังไข่จะกลายเป็นผล ปกติใน 1 ผล จะมีเมล็ดอยู่ 2 เมล็ด ในสภาวะที่อุณหภูมิสูงมาก จะทำให้คอกของกาแฟผิดปกติ โดยพบว่าเกสรตัวผู้จะไม่สมบูรณ์ทำให้ไม่สามารถติดผลได้ ลักษณะของดอกกาแฟ ดังกล่าวเรียกว่า ดอกดาว (Star flower) (กำพล เมืองโคมพัส, 2551)

พัฒนาการของดอกสามารถแบ่งออกเป็น 6 ระยะด้วยกันโดยดูจากลักษณะสัณฐานวิทยา (ภาพที่ 1) ดังนี้ (สุรรัตน์ ปัญญาโตนะ และเสาวนีย์ มีมูทา, 2551)

ระยะที่ 1 เป็นระยะที่ดอกเพิ่งเริ่มปรากฏให้เห็นด้วยตาเปล่าดอกมีขนาดเล็ก มีลักษณะแบนราบไปตามความโค้งของกิ่งตรงที่มันเกิด มีขนาด $1.5-2.5 \times 2-7$ มิลลิเมตร โดยดอกสวนใหญ่มีความยาว 3-5 มม. ระยะเวลาที่ตาดอกเปลี่ยนจากระยะที่ 1 ไปเป็นระยะที่ 2 กินเวลา 3-28 วัน โดยที่ร้อยละ 66 ของตัวอย่างดอกทั้งหมดใช้เวลา 4-7 วัน



ภาพที่ 2.1 ลักษณะของดอกกาแฟพันธุ์อาราบิกา

ระยะที่ 2 เป็นระยะที่ดอกเริ่มขยายขนาด มีขนาดใหญ่ขึ้นทุกมิติกลมขึ้น ทำให้เห็นได้ชัดเจนยิ่งขึ้นความยาวของดอกอยู่ในช่วงประมาณ 3-8 มิลลิเมตร สวนใหญ่มีความยาวอยู่ในช่วง 4-6 มิลลิเมตร ระยะเวลาในการเปลี่ยนจากระยะที่ 2 ไปเป็นระยะที่ 3 กินเวลา 4-21 วัน โดยที่ร้อยละ 79 ของตัวอย่างทั้งหมดใช้เวลา 4-10 วัน

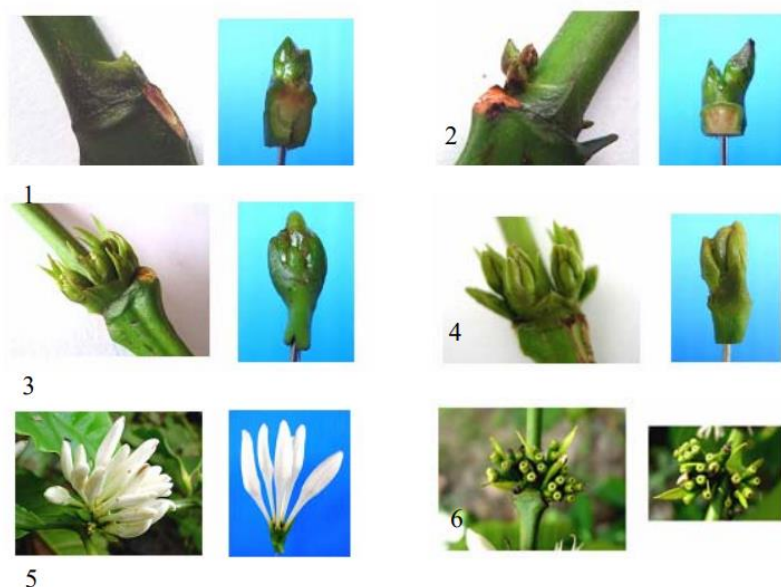
ระยะที่ 3 ดอกเริ่มมีรูปร่างเป็นกลุ่มดอกย่อย (glomerule) อย่างชัดเจน ในกลุ่มหนึ่ง ๆ มีดอกย่อยประกอบอยู่ประมาณ 3-6 ดอก ความยาวประมาณ 4-11 มิลลิเมตร สวนใหญ่มีความยาว 7-9 มิลลิเมตร ระยะเวลาในการเปลี่ยนจากระยะที่ 3 ไปเป็นระยะที่ 4 กินเวลา 4 - 19 วัน โดยที่ร้อยละ 74 ของตัวอย่างดอกทั้งหมดใช้เวลา 4-5 วัน

ระยะที่ 4 ดอกย่อยแต่ละดอกเริ่มขยายตัวแยกดอกใหญ่ขึ้นเห็นได้ชัดเจนขึ้น ความยาวประมาณ 7-13 มิลลิเมตร โดยที่สวนใหญ่ อยู่ในช่วง 9-11 มิลลิเมตร เมื่อพัฒนาการของดอกถึงระยะนี้แล้ว ดอกจะเริ่มพังก้าวสูงสุดท้ายจนกว่าจะได้รับฝน ดอกจึงเริ่มเข้าสู่ระยะที่ 5 สรุปพัฒนาการของตาดอกรวมตั้งแต่เริ่มเห็นตาดอกด้วยตาเปล่าจนถึงระยะที่เริ่มเข้าสู่การพังก้าวมีขนาด 9-11 มิลลิเมตร กินเวลาประมาณ 10-49 วัน โดยที่ดอกร้อยละ 52 ของตัวอย่างทั้งหมดใช้เวลาประมาณ

14-25 วัน ซึ่งต่างจากที่พบในกาแฟอะราบิกาที่มีรายงานว่ามีขนาดเพียง 4-6 มิลลิเมตร และกินเวลานานหลายเดือน ทั้งนี้อาจเนื่องจากสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน โดยเฉพาะอุณหภูมิอากาศ

ระยะที่ 5 หลังจากที่ฝนตกประมาณ 7+2 วันดอกเขาสู่ระยะที่ 5 เป็นระยะที่ดอกขยายขนาดมากและเปลี่ยนเป็นสีขาวกลีบดอกเบียดกันแน่นรูปร่างคล้ายลำเทียนอยู่ระยะหนึ่งแล้วคลี่ดอกบานเต็มทีนาน 1-3 วัน

ระยะที่ 6 เป็นระยะที่ดอก ได้รับการผสมไปแล้วและกลีบดอกสีขาวร่วงไป ทิ้งไว้แต่ผล (รังไข่) ที่ภายในมีเมล็ด (ไข่ที่ได้รับการผสมแล้ว)



ภาพที่ 2.2 ลักษณะสัณฐานวิทยาพัฒนาการของดอกกาแฟ 6 ระยะ

ที่มา : สุรรัตน์ ปัญญาโตนะ และเสาวนีย์ มีมูทา, 2551

2.2 ชาสมุนไพร

ชาสมุนไพร หมายถึง การนำส่วนต่าง ๆ ของพืชชนิดอื่นที่ไม่มีการแปรรูปมาทำให้แห้ง ซึ่ง "ชาสมุนไพร" ตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 280) พ.ศ.2547 กำหนดคุณลักษณะ

ชาจากพืช ต้องมีคุณภาพหรือมาตรฐาน ดังต่อไปนี้

1) มีความชื้นได้ไม่เกินร้อยละ 10 ของน้ำหนัก

2) จุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรคให้เป็นไปตามประกาศกระทรวงสาธารณสุขว่าด้วยกำหนดคุณภาพหรือมาตรฐาน หลักเกณฑ์เงื่อนไข และวิธีการในการตรวจวิเคราะห์ของอาหารด้านจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรค ประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 416) พ.ศ. 2563

- 3) ตรวจพบสารปนเปื้อนไม่เกินปริมาณสูงสุดที่กำหนดตามประกาศกระทรวงสาธารณสุขว่าด้วยมาตรฐานอาหารที่มีสารปนเปื้อน
- 4) สารพิษตกค้าง ให้เป็นไปตามประกาศกระทรวงสาธารณสุขว่าด้วยอาหารที่มีสารพิษตกค้าง
- 5) ไม่มียาแผนปัจจุบันหรือวัตถุที่ออกฤทธิ์ต่อจิตและประสาท หรือยาเสพติดให้โทษตามกฎหมายว่าด้วยการนั้นแล้วแต่กรณี
- 6) การใช้วัตถุเจือปนอาหาร ให้ปฏิบัติตามประกาศกระทรวงสาธารณสุขว่าด้วยวัตถุเจือปนอาหาร
- 7) ไม่มีการปรุงแต่งกลิ่น รส ด้วยวัตถุอื่น นอกจากพืชที่ระบุในบัญชีรายชื่อพืช และส่วนของพืชที่ใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับชาจากพืชท้ายประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 426) พ.ศ. 2564 หรือใบยอด และก้านที่ยังอ่อนอยู่ของต้นชาในสกุล *Camellia*

2.3 การทำแห้ง

การทำแห้งเป็นกระบวนการซึ่งมีความสำคัญในการถนอมรักษาสภาพผลผลิตทางการเกษตรให้สามารถเก็บรักษาไว้ได้นาน เนื่องจากเกิดการระเหยของน้ำออกจากเนื้อเยื่อของผักและผลไม้ทำให้ปริมาณน้ำในอาหารลดลง ค่าแอกติวิตีของน้ำลดลงต่ำกว่า 0.70 จึงทำให้การเจริญของจุลินทรีย์ชนิดต่าง ๆ ตลอดจนปฏิกิริยาเคมีในอาหารนั้นลดลง อีกทั้งเป็นการลดค่าใช้จ่ายของการบรรจุหีบห่อและการขนส่งอีกด้วย (Mujumdar, 2015)

2.3.1 กระบวนการทำแห้ง

การทำแห้งเป็นการระเหยนํ้าออกจากเนื้อเยื่อของผักและผลไม้จนกระทั่งมีความชื้นลดลงอยู่ในระดับที่ไม่สามารถทำให้เกิดการเน่าเสีย วิธีการกำจัดน้ำที่นิยม คือ การใช้ความร้อนในรูปของความร้อนแฝงของการระเหย (latent heat of vaporization) ปรากฏการณ์ทางกายภาพที่เกิดขึ้นในระหว่างการอบแห้งที่มีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ที่สำคัญมี 2 ประการ คือ การถ่ายเทความร้อนและการเคลื่อนย้ายของน้ำในอาหาร

2.3.1.1 การถ่ายเทความร้อน อาจเป็นแบบการนำความร้อน (conduction) การพาความร้อน (convection) หรือการแผ่รังสี (radiation) อย่างใดอย่างหนึ่ง หรือร่วมกันก็ได้ ซึ่งในระหว่างการอบแห้งสามารถทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อน และมวลสารได้หลายวิธี ดังนี้ (ปรรัตน์ ศุภมิตรโยธิน, 2556)

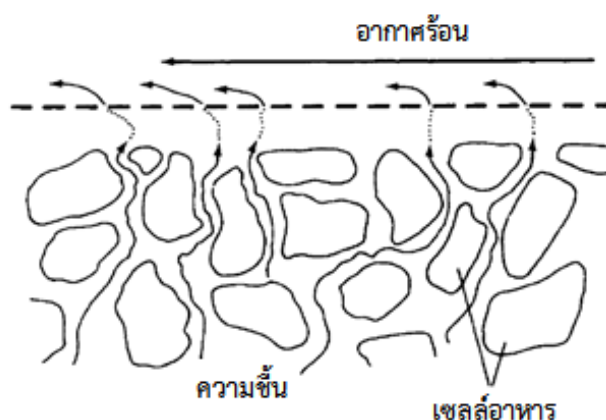
- 1) การให้กระแสความร้อนเคลื่อนที่ผ่านอาหาร กระแสความร้อนจะทำหน้าที่ให้ความร้อน และเคลื่อนย้ายไอน้ำ การถ่ายเทความร้อนเป็นแบบการพาความร้อน
- 2) การแผ่อาหารเป็นชั้นบาง ๆ บนพื้นที่ผิวที่ให้ความร้อนอาหารจะได้รับความร้อนแบบการนำความร้อน ทำให้อิหร่านกระจายตัวออกไปสู่บรรยากาศเหนืออาหาร อาหารที่ร้อนจัดทำให้ไอน้ำกระจายตัวได้ดี อาหารจึงแห้งในเวลาสั้นๆ การมีระบบดูดอากาศออกจากผิวหน้าจะทำให้ความชื้นในอาหารลดลงได้มากขึ้น โดยไม่ต้องใช้อุณหภูมิสูงในการทำแห้ง

3) การให้ความร้อนแก่อาหารโดยใช้เครื่องอบ เป็นการนำความร้อนหรือการแผ่รังสีร่วมกับการดูดอากาศที่มีไอน้ำออกไปควบแน่นด้านนอก

4) การปรับสภาพความดันและอุณหภูมิ เพื่อให้ น้ำในอาหารเป็นของแข็งที่ระดับต่ำกว่าจุดรวมสามสถานะ (triple point) แล้วให้พลังงานความร้อนหรือลดความดันลงอีกเพื่อให้เกิดการระเหิด น้ำจะเปลี่ยนสถานะจากของแข็งกลายเป็นไอโดยตรง วิธีการนี้ เรียกว่า การทำแห้งด้วยการแช่เยือกแข็ง (freeze drying หรือ lyophilization)

5) การใช้ความดันออสโมติกลดปริมาณน้ำจากชิ้นอาหาร ได้แก่ การทำผลไม้แช่อิ่ม เมื่อแช่อิ่มผลไม้ในน้ำเชื่อม น้ำในอาหารจะเคลื่อนที่ออกมาที่น้ำเชื่อมข้างนอก และน้ำตาลจะเคลื่อนที่เข้าไปในชิ้นผลไม้จนกระทั่งความเข้มข้นของน้ำตาลภายในและภายนอกชิ้นผลไม้เท่ากัน จากนั้นนำไปทำแห้งต่อ

2.3.2 การเคลื่อนย้ายของน้ำในอาหาร เมื่ออากาศหรือลมร้อนผ่านผิวหน้าอาหารที่เปียกชื้น ความร้อนจะถูกถ่ายเทไปยังผิวของอาหาร และน้ำบริเวณผิวนอกของอาหารจะระเหยออกไปก่อนเมื่อน้ำเคลื่อนที่ออกมาภายนอกจะระเหยออกมาด้วยความร้อนแฝงของการเกิดไอ จะทำให้น้ำระเหยกลายเป็นไอน้ำ และแพร่ผ่านฟิล์ม (boundary film) ของอากาศและถูกพัดพาไปโดยลมร้อนที่เคลื่อนที่ ทำให้บริเวณที่ผิวนอกของอาหารมีความดันไอของไอน้ำลดลง จะเกิดความแตกต่างของความดันไอน้ำระหว่างอากาศภายนอกกับความชื้นภายในชิ้นอาหารจึงเป็นแรงขับให้น้ำจากภายในเคลื่อนที่มายังผิวหน้าของอาหาร การเคลื่อนย้ายนี้จะหยุดลงต่อเมื่อน้ำในเซลล์ผิวนอกไม่สามารถระเหยออกไปได้อีกแล้ว ดังแสดงในภาพที่ 2.3

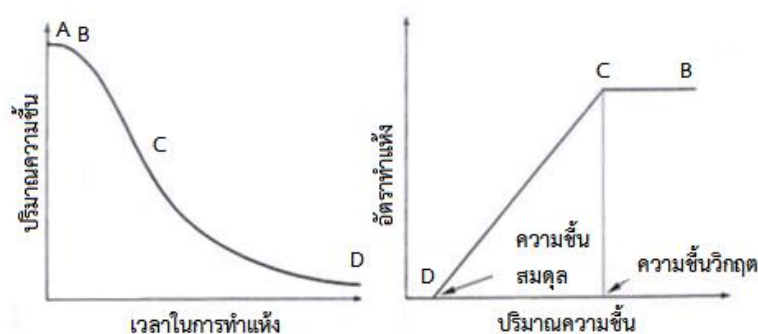


ภาพที่ 2.3 การเคลื่อนที่ของความชื้นระหว่างการทำแห้ง
ที่มา: (Fellows, 2009)

2.3.3 อัตราการทำแห้ง (drying rate) คือ อัตราการระเหยน้ำออกจากวัสดุต่อพื้นที่ที่เกิดการระเหยต่อหน่วยเวลาระหว่างการทำแห้ง (dehydration) อัตราการทำแห้งของอาหาร ขึ้นอยู่กับสภาพธรรมชาติของอาหารเริ่มต้นก่อนการทำแห้ง และสภาวะแวดล้อมระหว่างการทำแห้ง เช่น ชนิดของเครื่องทำแห้ง อุณหภูมิ เวลา ความชื้นสัมพัทธ์ สัมประสิทธิ์การพาความร้อน (heat transfer

coefficient) เป็นต้น จากภาพที่ 2.4 เป็นกราฟระหว่างอัตราการแห้ง (drying rate) และปริมาณความชื้นในสารนั้น (moisture content) แบ่งออกเป็น 3 ช่วง คือ

2.3.3.1 ช่วงการปรับสภาวะเบื้องต้น (initial adjustment period-AB) เป็นช่วงเริ่มต้นที่อาหารที่ใช้ในการทำแห้ง มีความชื้นเริ่มต้น (A) ของอาหารยังสูงอยู่ ผิวของอาหารจะมีลักษณะเปียกชื้นมาก เกิดการถ่ายเทความร้อนระหว่างตัวกลางลมร้อนกับอาหารทำให้อุณหภูมิพื้นผิวอาหารมีค่าใกล้เคียงกับอุณหภูมิกระเปาะเปียก (wet bulb temperature) ของกระแสลมร้อนที่ใช้เป็นตัวกลาง อัตราการแห้งค่อยๆ เพิ่มขึ้น จนถึงช่วงอัตราแห้งคงที่ (constant rate)



ภาพที่ 6.3 กราฟอัตราการแห้งและปริมาณความชื้นในสาร

ที่มา: (Fellows, 2009: 486)

2.3.3.2 ช่วงอัตราแห้งคงที่ (constant rate period-BC) เป็นช่วงที่น้ำภายในวัสดุเคลื่อนที่มาที่ผิวหน้า พลังงานความร้อนที่วัสดุได้รับจะใช้ในการระเหยน้ำออกจากของวัสดุอย่างต่อเนื่อง ความชื้นเฉลี่ยของวัสดุจะลดลงเป็นสัดส่วนกับเวลาในการทำแห้ง จุดสุดท้ายของช่วงอัตราแห้งคงที่ อัตราเร็วในการทำแห้งจะเริ่มลดลง ความชื้นของวัสดุ ณ เวลานั้น เรียกว่า ความชื้นวิกฤต (critical moisture content)

2.3.3.3 ช่วงอัตราแห้งลดลง (falling rate period-CD) เป็นช่วงที่ความชื้นในอาหารเหลือน้อยจนแพร่ไปยังผิวหน้าอาหารอย่างไม่ต่อเนื่อง ผิวหน้าของอาหารเริ่มแห้งทำให้อุณหภูมิที่ผิวของอาหารสูงขึ้นเรื่อย ๆ อัตราการแห้งจะลดลง ความชื้นจะลดลงเรื่อย ๆ จนถึงค่าความชื้นสมดุล (equilibrium moisture content) ซึ่งเป็นความชื้นที่ต่ำสุด ภายใต้สภาวะที่ใช้อยู่ในขณะนั้น ที่ความชื้นนี้ อัตราการแห้งเป็นศูนย์ น้ำในอาหารไม่สามารถระเหยออกมาได้อีก

2.3.4 ปัจจัยที่มีผลต่อการทำแห้ง

สภาวะการทำแห้งสามารถเปลี่ยนแปลงได้ เนื่องจากการดำเนินงานและการควบคุมสภาวะภายนอกที่สำคัญและมีผลต่ออัตราการแห้งวัสดุ ได้อุณหภูมิของลมร้อน ความเร็วของลมร้อนและน้ำหนักของวัสดุทำแห้งต่อหน่วยพื้นที่นอกจากนี้ ยังมีปัจจัยอื่น ๆ อีก

2.3.4.1 อุณหภูมิของลมร้อนโดยปกติการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบถาดที่มีความดันบรรยากาศ อุณหภูมิของการทำแห้งจะถูกควบคุมโดยเครื่องควบคุมอุณหภูมิในกรณีดังกล่าวถือว่าเป็นปัจจัยคงที่ในกรณีที่มีการเพิ่มหรือลดอุณหภูมิในขณะทำแห้งถือว่าอุณหภูมิ มีผลต่ออัตราการทำ

แห้งเป็นอย่างมาก ในกรณีการทำแห้งวัสดุที่มีความเร็วคงที่ อัตราการทำแห้งจะขึ้นอยู่กับผลต่างของ อุณหภูมิกระเปาะเปียกและกระเปาะแห้งของอากาศร้อน ดังนั้นอัตราการทำแห้งมีค่าสูงเมื่ออุณหภูมิ กระเปาะแห้งมีค่าสูงและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศมีค่าต่ำสุดในช่วงอัตราการทำแห้งคงที่ อัตราการ ทำแห้งจะขึ้นอยู่กับสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนและผลต่างระหว่างอุณหภูมิอากาศแห้งเท่านั้น ในช่วงอัตราการทำแห้งลดลงวัสดุทำแห้งมีแนวโน้มจะแห้งเร็วขึ้นถ้าอุณหภูมิในห้องทำแห้งเพิ่มขึ้น

2.3.4.2 ความเร็วของลมร้อนจะไม่ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบทำของอากาศ อุณหภูมิและการ นำอากาศที่ใช้แล้วมาผสมกับอากาศแวดล้อมแม้ว่าการนำอากาศที่ใช้แล้วมาผสมกับอากาศแวดล้อม ทำให้องค์ประกอบและคุณสมบัติของอากาศร้อนเปลี่ยนแปลงไป แต่จะไม่ผลต่อความเร็วของลมร้อน โดยปกติแล้วในการทำแห้งจะควบคุมให้ความเร็วของลมร้อนคงที่ตลอดช่วงการทำแห้ง ในกรณีที่มี การเปลี่ยนแปลงความเร็วของลมร้อนจะมีผลต่ออัตราการทำแห้งเนื่องจากความเร็วของลมร้อนจะมี ผลต่อสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน ดังนั้น ถ้าปัจจัยอื่น ๆ คงที่การทำแห้งที่ความเร็วลมร้อนสูงจะ ทำให้อัตราการทำแห้งดีขึ้น (ชลันทร ยศบุญเรือง และคณะ, 2556)

2.3.4.3 ความชื้นของลมร้อนจะขึ้นอยู่กับสัดส่วนอากาศที่ใช้แล้วกับอากาศแวดล้อมและ ยังขึ้นอยู่กับอัตราการทำแห้งที่เวลาใด ๆ หากลมร้อนมีความชื้นสูงจะทำให้ความสามารถในการดึงน้ำใน วัสดุทำแห้งต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรของลมร้อนลดลง

2.3.5 การทำแห้ง (dehydration หรือ drying) เป็นการทำแห้ง โดยนำเครื่องมือกลเข้ามา ช่วยในการระเหยน้ำที่ต้องการอบแห้งให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้นและสามารถควบคุมคุณภาพและอัตรา การทำแห้งได้ การทำแห้งวิธีต่าง ๆ ได้แก่

2.3.5.1 การทำแห้งแบบถาด (cabinet tray drying) เป็นเครื่องมือแบบง่ายที่มีการ ทำงานเป็นกะมีลักษณะเป็นตู้สี่เหลี่ยมภายในจัดเรียงเป็นชั้นสำหรับใส่ถาดบรรจุวัสดุที่ต้องการอบแห้ง ถาดบรรจุผลิตภัณฑ์อยู่ในแต่ละชั้นมีระยะห่างกันพอสมควร แหล่งให้ความร้อนในเครื่อง คือ ขดลวดที่ ถูกทำให้ร้อนด้วยไฟฟ้า เมื่ออากาศถูกดูดผ่านขดลวดก็จะร้อนขึ้น พัดลมภายในเครื่องจะทำงานเป่า อากาศร้อนนี้กระจาย และหมุนเวียนไปทั่วตู้ผ่านอาหารจนทำให้อาหารนั้นแห้งในที่สุดเหมาะสำหรับ โรงงานขนาดเล็ก อุณหภูมิลมร้อนที่ใช้กันโดยทั่วไปสำหรับการอบแห้งผลไม้ประมาณ 60-70 องศา เซลเซียส ถ้าใช้สูงกว่านี้จะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีสีเข้มซึ่งไม่สวย ผิวอาจเหี่ยวย่นมาก ใช้ระยะเวลาใน การอบประมาณ 10-12 ชั่วโมง เหมาะสำหรับการพัฒนาผลิตภัณฑ์ชนิดใหม่

2.3.5.2 การทำแห้งสุญญากาศ (Vacuum drying) เป็นเทคนิคที่ทำให้วัสดุ อาหารแห้งด้วยแรงดันต่ำ ในขณะที่จุดเดือดของความร้อนภายในวัตถุดิบอาหารจะลดลงและระเหยไป ที่อุณหภูมิต่ำ แหล่งความร้อนสำหรับการอบแห้งวัตถุดิบอาหารมักจะได้รับจากกระบวนการนำความร้อน การทำแห้งแบบสุญญากาศใช้สำหรับวัสดุอาหารที่ไวต่อความร้อนและไวต่อการเปลี่ยนสี ลักษณะ การสูญเสียสารอาหารและปริมาณวิตามิน ในช่วงไม่กี่ปีที่ผ่านมา เทคโนโลยีนี้ถูกนำมาใช้ อย่างกว้างขวางในการอบแห้งวัสดุอาหารที่มีสารประกอบออกฤทธิ์ทางชีวภาพสูง เนื่องจาก ความสามารถในการป้องกันการเกิดออกซิเดชัน การอบแห้งเกิดขึ้นในสภาพแวดล้อมที่มีความดัน ลดลง ซึ่งจะช่วยลดความร้อนที่จำเป็นสำหรับการอบแห้งอย่างรวดเร็ว (Parikh, 2015)

2.3.5.3 การทำแห้งแบบเยือกแข็ง (freeze drying) โดยการอบแห้งทั่วไปจะใช้ความร้อนในการทำให้น้ำในผลิตภัณฑ์ระเหยเป็นไอ แต่ในกระบวนการนี้น้ำจะระเหยออกจากผลิตภัณฑ์

ด้วยการระเหิดน้ำเป็นไอ ดังนั้นจึงไม่มีการเคลื่อนที่ของน้ำจากกึ่งกลางขึ้นไปยังผิวหน้า ในระหว่างกระบวนการระเหิดชั้นน้ำแข็งลดลงจากผิวหน้าไปหาจุดกึ่งกลางเหลือแต่ช่องว่างเดิมที่เคยมีน้ำแข็งแทรกอยู่ ข้อดีของวิธีนี้ คือ สามารถรักษากลิ่นรสและคุณค่าทางโภชนาการได้ดีมาก เกิดการทำลายโครงสร้าง และเนื้อสัมผัสน้อยมากเกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง สี และลักษณะภายนอกน้อย เกิดโพรงในโครงสร้างทำให้เกิดการดูดน้ำกลับได้อย่างรวดเร็วและสมบูรณ์ สำหรับข้อเสียของวิธีนี้ คือ ลงทุนสูง ใช้ค่าใช้จ่ายสูงในการทำแห้ง เพื่อทำให้ผลิตภัณฑ์แห้ง ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีโครงสร้างเปิด ซึ่งจำเป็นต้องใช้ภาชนะบรรจุพิเศษเพื่อป้องกันการดูดน้ำกลับ และการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน การทำแห้งแบบนี้ประกอบด้วย 2 ขั้นตอน คือ การนำผลไม้มาแช่แข็งปกติ และทำแห้งให้เหลือความชื้นร้อยละ 2 ในห้องสุญญากาศขณะที่ผลไม้อยู่ อัตรการแช่แข็งอาจจะส่งผลต่อคุณสมบัติในการดูดน้ำกลับของผลิตภัณฑ์ที่แห้ง เนื่องจากลักษณะของรูพรุนที่เกิดขึ้น

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จิราภัทร โอทอง และคณะ (2556) ศึกษาการพัฒนาชาสมุนไพรย่านางและศึกษาสมบัติด้านเคมีกายภาพฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระและสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของชาย่านางล้วน ชาย่านางผสมดอกเก๊กฮวยและชาย่านางผสมใบเตยในสัดส่วน 7:1 โดยวิธีการทำแห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมงพบว่าชาย่านางที่พัฒนามีปริมาณความชื้นอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน aw อยู่ที่ 0.40-0.50 และ pH มีค่า 5.32-5.67 ค่า a^* ของชาย่านางผสมใบเตยมีค่าเป็นสีเขียวมากกว่าชนิดอื่นค่าสีของน้ำชา (L^*, a^*, b^*) นั้นไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) ส่วนฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี Ferric Reducing Ability Power (FRAP), 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) และสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของน้ำชาย่านางทั้ง 3 สูตรแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) โดยอยู่ในช่วง 2.30-3.11, 6.34-6.60 mg TE/100 mL และ 0.72-1.39 mg GAE/100 mL ตามลำดับเมื่อทดสอบทำคุณภาพทางประสาทสัมผัสของน้ำชาทั้ง 3 สูตรพบว่ามีความชอบด้านสีแตกต่างกันส่วนคะแนนความชอบด้านอื่น ๆ ไม่มีความแตกต่างกันซึ่งอยู่ในระดับชอบเล็กน้อยถึงชอบปานกลางศึกษาการพัฒนาชาสมุนไพรย่านางและศึกษาสมบัติด้านเคมีกายภาพ ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระและสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของชาย่านางล้วน ชาย่านางผสมดอกเก๊กฮวยและชาย่านางผสมใบเตยในสัดส่วน 7:1 พบว่าชาย่านางที่พัฒนามีปริมาณความชื้นอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน aw อยู่ที่ 0.40-0.50 และ pH มีค่า 5.32-5.67 ค่า a^* ของชาย่านางผสมใบเตยมีค่าเป็นสีเขียวมากกว่าชนิดอื่น ค่าสีของน้ำชา (L^*, a^*, b^*) นั้นไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) ส่วนฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี Ferric Reducing Ability Power (FRAP), 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) และสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของน้ำชาย่านางทั้ง 3 สูตรแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) โดยอยู่ในช่วง 2.30-3.11, 6.34-6.60 mg TE/100 mL และ 0.72-1.39 mg GAE/100 mL ตามลำดับ เมื่อทดสอบทำคุณภาพทางประสาทสัมผัสของน้ำชาทั้ง 3 สูตร พบว่ามีความชอบด้านสีแตกต่างกัน ส่วนคะแนนความชอบด้านอื่น ๆ ไม่มีความแตกต่างกันซึ่งอยู่ในระดับชอบเล็กน้อยถึงชอบปานกลาง

เอกชัย เดชเรืองศรี และคณะ (2558) ศึกษาวิจัยเกี่ยวกับความเป็นไปได้ในการพัฒนา เครื่องดื่มชาใบหม่อนพร้อมดื่มที่มีการเติมไมโครแคปซูลสารสกัดพลาโวนอยด์ลงไปใบชาใบหม่อน ทำแห้งโดยใช้

ตู้ทำลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 18 ชั่วโมง พบว่าผู้บริโภคร้อยละ 71.26 จากนั้นศึกษาประสิทธิภาพของไมโครแคปซูลสารสกัดปลาไวโนอยด์พบว่าฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของไมโครแคปซูลที่วัดด้วยวิธี DPPH มีฤทธิ์การต่อต้านอนุมูลอิสระ 18.11 มิลลิโมลโทรลอกซ์ต่อกรัมของไมโครแคปซูลและการวัดด้วยวิธี FRAP พบว่าไมโครแคปซูลมี ฤทธิ์การต่อต้านอนุมูลอิสระ 30.79 มิลลิโมลโทรลอกซ์ต่อกรัมของไมโครแคปซูล มีค่าการละลายที่ดี ที่สุดที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส สามารถละลายได้ถึงร้อยละ 97.68 เมื่อทำการศึกษาเปรียบเทียบค่าฤทธิ์การต่อต้านอนุมูลอิสระของชาใบหม่อนทั่วไปชาใบหม่อนที่มีการเติมไมโครแคปซูลสารสกัดจากใบหม่อนกับชาเขียวทั่วไปพบว่าชาใบหม่อนที่มีการเติมไมโครแคปซูลสารสกัดจากใบหม่อนเพิ่มลงไปมีฤทธิ์การต่อต้านอนุมูลอิสระสูงที่สุด

พัทธ นันทน์นาถพิณิจ และคณะ (2563). ศึกษาเพื่อศึกษาปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ของเปลือกกาแฟเชอร์รี่และดอกกาแฟซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้งจากการผลิตกาแฟสายพันธุ์โรบัสต้าในระบบวน เกษตร ผลการวิเคราะห์สารต้านอนุมูลอิสระ พบว่าสารสกัดเปลือกกาแฟเชอร์รี่มีปริมาณคาเทชินทั้งหมด (21.13 ± 6.3 mgEGCG/gDW) ฟีนอลิกทั้งหมด (9.23 ± 0.22 mgGAE/gDW) สูงที่สุด ส่วนสารสกัดดอกกาแฟ มีปริมาณปลาไวโนอยด์ทั้งหมด (0.18 ± 0.02 mgQE/gDW) สูงที่สุด เมื่อวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH radical scavenging พบว่าสารสกัดเปลือกกาแฟเชอร์รี่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ สูงที่สุด (IC_{50} ; 0.17 ± 0.03 mg/mL) จากผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าสามารถส่งเสริมให้เกษตรกรนำเปลือกกาแฟเชอร์รี่ และดอกกาแฟซึ่งเป็นส่วนที่เหลือทิ้งจากการผลิตกาแฟไปศึกษาและพัฒนาเพื่อยกระดับรายได้และ เสริมสร้างคุณค่าให้กับผลผลิตของชุมชนให้มากขึ้นต่อไป

ฉันทนา ปาปัดถา. (2566) ศึกษาข้อมูลคุณค่าทางโภชนาการและฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระของกาแฟพันธุ์อาราบิก้าและดอกกาแฟขงตี๋มผลิตโดยวิสาหกิจชุมชนน้ำหนาวอาราบิก้า จังหวัดเพชรบูรณ์ และนำข้อมูลดังกล่าวถ่ายทอดความรู้ให้แก่สมาชิกในวิสาหกิจชุมชนเพื่อสร้างนักวิจัยท้องถิ่นและให้สมาชิกมีความรู้เกี่ยวกับผลิตภัณฑ์ของตนเองเป็นแนวทางในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ในอนาคต จากการทดสอบพบว่ากาแฟอาราบิก้า น้ำหนาวคั่วอ่อน กลางและเข้มในปริมาตร 100 มิลลิลิตรมีแคลอรี 2-3 กิโลแคลอรี โปรตีน 0.1-0.2 กรัม คาร์โบไฮเดรต 0.4-0.6 กรัม และตรวจไม่พบปริมาณไขมัน น้ำตาลและวิตามิน เมื่อเปรียบเทียบกาแฟคั่วอ่อนกับดอกกาแฟอาราบิก้าขงตี๋มพบว่ามีปริมาณคุณค่าทางโภชนาการที่ไม่แตกต่างกันมากนัก เมื่อทดสอบความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระพบว่ากาแฟคั่วอ่อนมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระสูงที่สุด รองลงมาคือคั่วกลาง และคั่วเข้มตามลำดับสอดคล้องกับปริมาณสารประกอบฟีนอลิกและปริมาณแทนนินที่พบมากที่สุดในการกาแฟคั่วอ่อนเช่นกัน เมื่อพิจารณาถึงปริมาณคาเฟอีนต่อ 100 มิลลิลิตรพบว่ากาแฟคั่วเข้มมีปริมาณคาเฟอีนต่ำสุดคือ 62.2 กรัม รองลงมาคือคั่วอ่อนและคั่วกลางในขณะที่ดอกกาแฟขงตี๋มมีปริมาณคาเฟอีนต่ำ

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 วัตถุดิบ

ดอกกาแฟ พันธุ์อะราบิกา ปลุกบนพื้นที่ อำเภอลำปาง จังหวัดพิจิตร เก็บเกี่ยวด้วยมือ ระยะการติดดอกเป็นเวลา 3 วัน ซึ่งเป็นระยะที่มีการผสมเกสรแล้ว และยังไม่มีการเปลี่ยนแปลงสีของดอก

3.2 อุปกรณ์และสารเคมี

3.2.1 อุปกรณ์

1. เครื่อง Ultra violet -Visible Spectrophotometer (UV-VIS)
2. เครื่อง Freeze dryer
3. เครื่อง Tray dryer
4. เครื่อง Vacuum dryer
5. เครื่องวัดสี (KONICA MINOLTA รุ่น CR-400 ประเทศญี่ปุ่น)
6. เครื่องวัดค่าวอเตอร์แอกติวิตี (METER Aqualad PAWKIT)
5. เครื่อง Sonicator
6. เครื่องดูดสารไมโครปิเปต (Micro pipette) 10-100 ไมโครลิตร และ 100-1000 ไมโครลิตร
7. เครื่องชั่งดิจิตอลทศนิยม 4 ตำแหน่ง (Analytical balance)
8. เครื่องปั่นเหวี่ยงตกตะกอน (Centrifuge)
9. เครื่องผลิตน้ำปราศจากไอออน น้ำกลั่น น้ำดีไอ (DI)
10. เครื่อง Vortex Mixer
11. ตู้อบลมร้อน (hot air oven)
12. ขวดวัดปริมาตร 1, 5, 25, 50, 100 และ 500 มิลลิลิตร
13. ปีกเกอร์ขนาด 50, 100, 500 และ 1000 มิลลิลิตร
14. หลอดเซนต์ปีฟักพลาสติก ขนาด 50 มิลลิลิตร
15. กระบอกตวง ขนาด 10 มิลลิลิตร
16. หลอดหยดพร้อมลูกยาง
17. แท่งแก้วคนสาร
18. ข้อนตักสาร
19. กรวยกรอง
20. ขวดสีชา

3.2.2 สารเคมี

1. น้ำปราศจากไอออน น้ำกลั่น น้ำดีไอ (DI)
2. ดีพีพีเอช (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl ;DPPH) เกรด HPLC มวลโมเลกุล 394.32 กรัมต่อโมล ของบริษัท Sigma-Aldrich ประเทศไทย
3. โทรลอกซ์ (Trolox) เกรด HPLC, ความบริสุทธิ์ 99.87% มวลโมเลกุล 250.29 กรัมต่อโมล ของบริษัท Sigma-Aldrich ประเทศไทย
4. กรดแอสคอร์บิก (Ascorbic) เกรดวิเคราะห์, ความบริสุทธิ์ 99.7% มวลโมเลกุล 176 กรัมต่อโมล ของบริษัท Sigma-Aldrich ประเทศไทย
5. กรดแกลลิก (Gallic acid) เกรด HPLC ความบริสุทธิ์ 99% มวลโมเลกุล 188.13 กรัมต่อโมล ของบริษัท Sigma-Aldrich ประเทศไทย
6. แคทีชิน (Catechin) เกรด HPLC, ความบริสุทธิ์ 97% มวลโมเลกุล 290.27 กรัมต่อโมล ของบริษัท Sigma-Aldrich ประเทศไทย
7. เอบีทีเอส (2,2'-azino-bis(3-ethylbenzthiazoline-6-sulphonic acid ;ABTS) เกรด HPLC ความบริสุทธิ์ 98% มวลโมเลกุล 548.48 กรัมต่อโมล ของบริษัท Sigma-Aldrich ประเทศไทย
8. ทีพีทีแซด 2,4,6,-tris (2-pyridyl)-s-triazine (TPTZ) เกรด HPLC ความบริสุทธิ์ 98% มวลโมเลกุล 312.33 กรัมต่อโมล ของบริษัท Sigma-Aldrich ประเทศไทย
9. โฟลิน-ซีโอแคลทู ฟีนอล รีเอเจนต์ (Folin-Ciocalteu's phenol reagent) เกรด วิเคราะห์ มวลโมเลกุล 94.11 กรัมต่อโมล ของบริษัท LOBA CHEMIE PVT.LTD. ประเทศอินเดีย
10. โพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟต (potassium persulphate; K₂S₂O₈) เกรดวิเคราะห์ ความบริสุทธิ์ 98% มวลโมเลกุล 270.31 กรัมต่อโมล ของบริษัท LOBA CHEMIE PVT.LTD. ประเทศอินเดีย
11. โซเดียมคาร์บอเนต (Sodium carbonate; Na₂CO₃) เกรดวิเคราะห์ ความบริสุทธิ์ 99.5% มวลโมเลกุล 105 กรัมต่อโมล ของบริษัท LOBA CHEMIE PVT.LTD. ประเทศอินเดีย
12. โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide; NaOH) เกรดวิเคราะห์ ความบริสุทธิ์ 98.5% มวลโมเลกุล 40 กรัมต่อโมล ของบริษัท Carlo Erba ประเทศไทย
13. โซเดียมไนไตรต์ (Sodium nitrite; NaNO₂) เกรดวิเคราะห์ ความบริสุทธิ์ 98% มวลโมเลกุล 69 กรัมต่อโมล ของบริษัท Carlo Erba ประเทศไทย
14. อะลูมิเนียมคลอไรด์ (Aluminum chloride; AlCl₃) เกรดวิเคราะห์ ความบริสุทธิ์ 98% มวลโมเลกุล 241.43 กรัมต่อโมล ของบริษัท Qrec ประเทศนิวซีแลนด์
15. โซเดียมอะซิเตต (Sodium Acetate; CH₃COONa) เกรดวิเคราะห์ ความบริสุทธิ์ 99.5% มวลโมเลกุล 136.08 กรัมต่อโมล ของบริษัท Qrec ประเทศนิวซีแลนด์

16. เฟอร์ริกคลอไรด์ (Ferric chloride; FeCl₃) เกรดวิเคราะห์ ความบริสุทธิ์ 99% มวลโมเลกุล 162.2 กรัมต่อโมล ของบริษัท Qrec ประเทศนิวซีแลนด์
17. กรดอะซิติก (Acetic acid) เกรดวิเคราะห์ ความบริสุทธิ์ 99.8% มวลโมเลกุล 60 กรัมต่อโมล ของบริษัท Qrec ประเทศนิวซีแลนด์
18. กรดไฮโดรคลอริก (hydrochloric acid; HCl), เกรดวิเคราะห์ ความบริสุทธิ์ 37% มวลโมเลกุล 36.5 กรัมต่อโมล ของบริษัท Carlo ประเทศอิตาลี
19. เมทานอล (Methanol) เกรดวิเคราะห์ ความบริสุทธิ์ 99.8% มวลโมเลกุล 32.04 กรัมต่อโมล ของบริษัท Qrec, ประเทศนิวซีแลนด์

3.3 วิธีการทดลอง

3.3.1 การศึกษาสมบัติทางเคมี-กายภาพของดอกกาแฟ

โดยนำดอกกาแฟมาทำการคัดแยกสิ่งแปลกปลอมออก นำไปล้างให้สะอาดจากนั้นนำดอกกาแฟมาวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี-กายภาพ ดังนี้

- วิเคราะห์ค่าสีด้วยเครื่อง Colorimeter ระบบ CIELAB รายงานค่า L* a* b*
- วิเคราะห์ปริมาณความชื้น (AOAC 2000)
- วิเคราะห์ปริมาณน้ำอิสระ (Water activity)
- วิเคราะห์สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ โดยวิเคราะห์สารฟีนอลิกทั้งหมด โดยใช้วิธี Folin-Ciocalteu
- วิเคราะห์กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ โดยวิธี DPPH radical scavenging activity

ABTS radical scavenging activity และ FRAP radical scavenging activity

3.3.2 การศึกษาผลของการทำแห้งต่อปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพและกิจกรรมการต้าน

อนุมูลอิสระของชาดอกกาแฟ โดยศึกษาการวิธีทำแห้ง ดังนี้ คือ การอบแห้งตามธรรมชาติ การอบแห้งแบบแช่เยือกแข็ง การอบแห้งแบบลมร้อนที่ 50 60 และ 70 องศาเซลเซียส และการอบแห้งแบบสุญญากาศที่ 50 60 และ 70 องศาเซลเซียส นำดอกกาแฟมาวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี-กายภาพ ดังนี้

- วิเคราะห์ค่าสีด้วยเครื่อง Colorimeter ระบบ CIELAB รายงานค่า L* a* b* C* และ h*
- และดัชนีการเกิดสีน้ำตาล (Browning index, BI) (Araujo *et al.*, 2016)

จากสมการ 1

$$BI = 100 \times (x-0.31) / 0.17 \dots\dots\dots (1)$$

$$\text{เมื่อ } x = (a^* + 1.75L^*) (5.645L^* + a^* - 3.012b^*)$$

L*, a* และ b* คือ ค่าความสว่าง ค่าความเป็นสีเขียว และค่าความเป็นสีเหลืองของดอกกาแฟอบแห้ง

-วิเคราะห์สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ โดยวิเคราะห์สารฟีนอลิกทั้งหมด โดยใช้วิธี Folin–Ciocalteu

-วิเคราะห์กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ โดยวิธี DPPH radical scavenging activity ABTS radical scavenging activity และ FRAP radical scavenging activity

-ทดสอบการยอมรับประเมินผลความชอบแบบ 9-point Hedonic Scale (1=ไม่ชอบมากที่สุด9=ชอบมากที่สุด)

3.3.3 ถ่ายทอดเทคโนโลยีให้กลุ่มผู้ปลูกกาแฟจังหวัดเพชรบูรณ์ และบุคคลทั่วไปที่สนใจ

3.4 สถานที่ทำการทดลอง

ห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหารและห้องปฏิบัติการเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์

3.5 ระยะเวลาในการทดลอง

เดือนธันวาคม พ.ศ. 2566 - กันยายน พ.ศ. 2567

บทที่ 4

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

จากการลงพื้นที่ในการเก็บดอกกาแฟ พันธุ์อะราบิกา บนพื้นที่ศูนย์วิจัยการเกษตรที่สูงเพชรบูรณ์ (เขาค้อ) หมู่ 3 ตำบลสะเดาพอง อำเภอเขาค้อ จังหวัดเพชรบูรณ์ พิกัด 16.61228° N, 100.94241° E ได้ทำการเก็บดอกกาแฟที่ระยะการบานของดอกเป็นเวลา 5 วัน ลักษณะของดอกกาแฟ ดังแสดงในภาพที่ 4.1



ภาพที่ 4.1 ลักษณะของดอกกาแฟ พันธุ์อะราบิกา ระยะการบานของดอกเป็นเวลา 5 วัน

การศึกษาสมบัติทางเคมี-กายภาพของดอกกาแฟ โดยนำดอกกาแฟมาทำการตัดแยกสิ่งแปลกปลอมออก จากนั้นนำดอกกาแฟมาวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี-กายภาพ ดังนี้

วิเคราะห์ค่าสีด้วยเครื่อง Colorimeter ระบบ CIELAB รายงานค่า L^* a^* b^* โดยค่า L^* จะแสดงค่าความสว่างของสี ซึ่งมีค่า 0-100 ค่าที่เข้าใกล้ 100 หมายถึง ตัวอย่างมีความสว่างมากจนเป็นสีขาวหรือสีจาง แต่ถ้าค่า L^* เข้าใกล้ 0 หมายถึง ตัวอย่างมีความสว่างน้อยลงจนเป็นสีคล้ำ ส่วนค่า a^* และ b^* บอกเฉดสี โดยค่า a^* ที่เป็นบวก หมายถึงเฉดของสีแดง a^* ที่เป็นลบ หมายถึงเฉดของสีเขียว ส่วนค่า b^* ที่เป็นบวก หมายถึงอยู่ในเฉดของสีเหลือง และค่า b^* ที่เป็นลบ หมายถึงอยู่ในเฉดสีน้ำเงิน (Siriamompun *et al.*, 2012) สำหรับการแสดงเฉดสี (Hue, h^*) เป็นตัวเลขที่ระบุว่าสีมีตำแหน่งอยู่ที่ใดในกราฟมีหน่วยเป็นองศา $h^* = 0^\circ$ และ 360° แสดงว่าเป็นเฉดสีแดง $h^* = 90^\circ$ แสดงว่าเป็นเฉดสีเหลือง $h^* = 180^\circ$ แสดงว่าเป็นเฉดสีเขียว $h^* = 270^\circ$ แสดงว่าเป็นเฉดสีน้ำเงิน ส่วนค่าความเข้มสี (Chroma, C^*) เป็นตัวเลขบ่งบอกความค่าแสดงความเข้มตัวของสี ถ้ามีค่ามาก สีจะเข้มมาก (Pankaj *et al.*, 2013)

ตารางที่ 4.1 คุณสมบัติทางเคมี-กายภาพของดอกกาแฟพันธุ์อาราบิกาก่อนอบแห้ง

Properties	Values
Color value	
L*	45.75±0.52
a*	3.32±0.46
b*	10.29±0.27
C*	10.72±0.39
h*	73.14±0.75
Moisture (%)	61.61±0.78
aw	0.84±0.02
Phenolic content (mg GA/gDW)	38.47±0.10
Flavonoid (mg CA/gDW)	103.43±0.38
Antioxidant capacity	
DPPH (mgTE/gDW)	37.74±0.76
ABTS (mg TE/gDW)	63.09±0.88
FRAP (mg TE/gDW)	45.31±0.60

หมายเหตุ L* = ความสว่าง, a* (-a* สีเขียว จนถึง สีแดง +a*), b* = (-b* คือค่าสีน้ำเงิน จนถึง สีเหลือง +b*), c* = (บ่งบอกค่าความอิ่มตัวของสี มีค่ามากสีจะเข้มมาก) h* = (เป็นตัวเลขที่ระบุตำแหน่งว่าอยู่ที่ใดในกราฟ มีหน่วยเป็นองศา h* = 0 และ 360 แสดงว่าเป็นเฉดสีแดง h* = 90 แสดงว่าเป็นเฉดสีเหลือง h* = 180 แสดงว่าเป็นเฉดสีน้ำเงิน)

จากตารางที่ 4.1 พบว่าดอกกาแฟพันธุ์อาราบิกาก่อนอบแห้ง มีค่าสี ดังนี้ โดยค่าความสว่าง (L*) เท่ากับ 45.75±0.52 ค่า a* เท่ากับ 3.32±0.46 ค่า b* เท่ากับ 10.29±0.27 ส่วนค่าความเข้มสี (Chroma, C*) เท่ากับ 10.72±0.39 สำหรับการแสดงเฉดสี (Hue, h*) เท่ากับ 73.14±0.75 มีปริมาณความชื้นร้อยละ 61.61±0.78 ค่า aw เท่ากับ 0.84±0.02 สารประกอบฟีนอลิก เท่ากับ 38.47±0.10 mg GA/gDW ปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมด เท่ากับ 103.43±0.38 mg CA/gDW เมื่อทำการทดสอบกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ โดยวิธี DPPH เท่ากับ 37.74±0.76 mgTE/gDW วิธี ABTS เท่ากับ 63.09±0.88 mg TE/gDW และวิธี FRAP เท่ากับ 45.31±0.60 mg TE/gDW

ตารางที่ 4.2 ผลของวิธีการอบแห้งต่อคุณภาพของสีชาดอกกาแฟพันธุ์อะราบิกา

Treatment	L*	a*	b*	C*	h*	BI
VD at 50 °C	33.16±0.58	4.75±0.67	7.08±0.93	8.15±0.59	56.75±0.96	33.70±0.88
VD at 60 °C	38.88±0.54	4.38±0.75	5.54±0.61	7.86±0.73	64.63±0.56	23.03±0.65
VD at 70 °C	36.35±0.95	3.17±0.66	5.16±0.88	6.15±0.81	60.81±0.72	21.12±0.61
HAD at 50 °C	40.64±0.65	3.59±0.79	5.32±0.84	9.09±0.74	69.86±0.62	19.95±0.71
HAD at 60 °C	37.94±0.78	4.03±0.43	5.49±0.56	7.64±0.25	64.64±0.68	22.80±0.54
HAD at 70 °C	35.62±0.73	4.37±0.27	6.58±0.75	6.80±0.59	53.75±0.96	28.69±0.68
FD	43.63±0.87	2.89±0.73	6.07±0.67	10.12±0.81	71.14±0.83	19.30±0.61
ND	36.54±0.68	4.37±0.76	5.42±0.98	7.35±0.88	58.96±0.72	24.17±0.60

หมายเหตุ HAD: การอบแห้งแบบลมร้อน; VD: การอบแห้งแบบสุญญากาศ; FD: การอบแห้งแบบแช่เยือกแข็ง; ND: การอบแห้งตามธรรมชาติ; L* = ความสว่าง, a* (-a* สีเขียว จนถึง สีแดง +a*), b* = (-b* คือค่าสีน้ำเงิน จนถึง สีเหลือง +b*), BI: เป็นค่าดัชนีสีน้ำตาล;

Note: Different letters in the same column indicate significant differences between treatments $P < 0.05$, $X \pm SE$, $n = 3$.

คุณภาพด้านสีถือว่าเป็นคุณสมบัติทางกายภาพที่สำคัญต่อคุณภาพของชาดอกกาแฟ เนื่องจากสีมีผลต่อการยอมรับของผู้บริโภค ทั้งนี้อุณหภูมิ และระยะเวลาในการอบแห้งเป็นปัจจัยหลักที่ส่งผลกระทบต่อ การเปลี่ยนแปลงสีของวัตถุดิบ และจะเกิดการเปลี่ยนแปลงขึ้นในระหว่างกระบวนการอบแห้ง (Prachayawarakorn *et al*, 2004) จากตารางที่ 4.2 และ ภาพที่ 4.2 เป็นผลของวิธีการอบแห้งต่อคุณภาพของสีชาดอกกาแฟพันธุ์อะราบิกา จากการทดลองพบว่าอุณหภูมิที่ใช้อบแห้งส่งผลให้ค่าความสว่าง (L*) ของดอกกาแฟลดลง และเมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการอบแห้ง รวมทั้งส่งผลให้ค่าความสีแดงสูงขึ้น (a*) โดยที่อุณหภูมิอบแห้งที่สูงขึ้นชาดอกกาแฟแห้งที่ได้จะมีค่าดัชนีความเป็นสีน้ำตาล (BI) สูงขึ้นด้วย การเปลี่ยนแปลงของค่าสีที่เพิ่มขึ้นในตัวอย่างที่ผ่านการอบแห้งแบบลมร้อนที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส จากอุณหภูมิการอบแห้งที่สูงขึ้นอาจมีส่วนในการเร่งการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาล และการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันขององค์ประกอบอาหารได้ (Ortiz *et al*. 2013) ทำให้ส่งผลกระทบต่อเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีของดอกกาแฟ

การอบแห้งแบบสุญญากาศที่ 50 องศาเซลเซียส เป็นการอบแห้งการอบแห้งที่ใช้อุณหภูมิต่ำ จะมีปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลเกิดขึ้น เนื่องจากเกิดจากปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลแบบใช้เอนไซม์ (Enzymatic browning reactions) เพราะอุณหภูมิต่ำในการอบแห้งไม่สามารถยับยั้งเอนไซม์ได้ อีกทั้งต้องใช้ระยะเวลาในการอบแห้งนาน ทำให้เอนไซม์ที่หลงเหลืออยู่ภายในดอกกาแฟทำปฏิกิริยาเกิดสีน้ำตาลอย่างต่อเนื่องจนกระทั่งความชื้นของดอกกาแฟจะลดลง ส่งผลให้ดอกกาแฟมีสีเข้มขึ้นสูงที่สุด

โดยเอนไซม์ที่เป็นสาเหตุหลักของการเกิดปฏิกิริยาประเภทนี้ คือ พอลิฟีนอลออกซิเดส ซึ่งจัดเป็นเอนไซม์ในกลุ่มของออกซิโครีดักเทส (Oxidoreductases) ในสภาพปกติเอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดสจะถูกเก็บอยู่ในโครงสร้างของไทลาคอยด์ (Thylakoid) ซึ่งเป็นส่วนประกอบของคลอโรพลาสต์ แต่เมื่อเนื้อเยื่อของพืชได้รับความเสียหายหรือถูกทำลายทำให้เซลล์พืชแตกออกสารประกอบฟีนอลิกซึ่งเป็นสารตั้งต้น ที่ทำปฏิกิริยา (Substrate) ที่อยู่ในแวคิวโอล (Vacuole) (Macheix *et al*, 1990) จึงทำปฏิกิริยากับเอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดสและออกซิเจนในอากาศ ทำให้เกิดปฏิกิริยาไฮดรอกซิเลชัน ได้เป็นไดฟีนอล (Diphenol) และถูกออกซิไดส์ต่อเป็นสารออร์โท-ควิโนน (O-quinone) ซึ่งจะทำปฏิกิริยา ต่อกับกรดอะมิโนหรือโปรตีนได้เป็นสารสีน้ำตาล และจะรวมตัวกันเป็นพอลิเมอร์ที่มีโมเลกุลใหญ่ส่งผลให้มีสีเข้มขึ้น (นิธิยา รัตนพานนท์ และพิมพ์เพ็ญ เฉลิมพงศ์, 2559) นอกจากนี้การใช้สภาวะสุญญากาศ ทำให้ช่องว่างภายในเซลล์เกิดการรวมตัวกัน (Collapsed) เกิดการปลดปล่อยสารประกอบฟีนอลิกออกมาภายนอกเซลล์มากขึ้นอีกด้วย (Di Cosare *et al.*, 2003)



ภาพที่ 4.2 เปรียบเทียบดอกกาแฟก่อนและหลังการอบแห้งด้วยวิธีที่แตกต่างกัน (a. ก่อนการอบแห้ง b. การอบแห้งตามธรรมชาติ c. การอบแห้งแบบแช่เยือกแข็ง d. การอบแห้งแบบลมร้อนที่ 50 องศาเซลเซียส e. การอบแห้งแบบลมร้อนที่ 60 องศาเซลเซียส f. การอบแห้งแบบลมร้อนที่ 70 องศาเซลเซียส g. การอบแห้งแบบสุญญากาศที่ 50 องศาเซลเซียส h. การอบแห้งแบบสุญญากาศที่ 60 องศาเซลเซียส i. การอบแห้งแบบสุญญากาศที่ 70 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 4.3 ผลของวิธีการอบแห้งต่อคุณภาพของปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพและกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระของชาดอกกาแฟพันธุ์อะราบิกา

Treatment	Flavonoid (mg CA/gDW)	Phenolic content (mg GA/gDW)	Antioxidant capacity		
			DPPH (mgTE/gDW)	ABTS (mgTE/gDW)	FRAP (mgTE/gDW)
VD at 50 °C	18.53±0.13	6.54±0.02	1.55±0.01	4.66±0.08	4.12±0.14
VD at 60 °C	35.90±0.16	17.11±0.07	7.69±0.02	27.88±0.24	18.01±0.28
VD at 70 °C	39.91±0.09	21.03±0.06	12.59±0.31	29.07±0.14	20.09±0.38
HAD at 50 °C	12.38±0.11	16.24±0.13	10.21±0.15	10.59±0.09	18.94±0.24
HAD at 60 °C	13.81±0.34	18.05±0.13	27.82±0.32	17.54±0.42	20.82±0.42
HAD at 70 °C	14.24±0.20	25.03±0.05	37.74±0.23	21.26±0.12	24.08±0.20
FD	26.49±0.05	19.12±0.14	12.36±0.27	24.99±0.54	37.61±0.34
ND	16.54±0.14	17.54±0.23	7.02±0.31	13.16±0.30	15.22±0.08

หมายเหตุ HAD: การอบแห้งแบบลมร้อน; VD: การอบแห้งแบบสุญญากาศ; FD: การอบแห้งแบบแช่เยือกแข็ง; ND: การอบแห้งตามธรรมชาติ;

Note: Different letters in the same column indicate significant differences between treatments $P < 0.05$, $X \pm SE$, $n = 3$

จากตารางที่ 4.3 ผลของวิธีการอบแห้งต่อคุณภาพของปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพและกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระของชาดอกกาแฟพันธุ์อะราบิกา

ผลของวิธีการอบแห้งต่อปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ พบว่าผลของวิธีและสภาวะต่างๆ ในการอบแห้งแบบลมร้อนที่มีต่อปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมด พบว่าชาดอกกาแฟที่อบแห้งที่อุณหภูมิเพิ่มขึ้น มีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดและปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมดสูงขึ้นด้วย โดยการอบแห้งแบบลมร้อนมีตัวกลางเป็นลมร้อนในการถ่ายเทความร้อน และสามารถยับยั้งเอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดส (Polyphenol Oxidase/PPO) ที่มีอยู่ในพืชได้อย่างรวดเร็วเมื่ออุณหภูมิสูงกว่า 50 องศาเซลเซียส ทำให้ลดการสลายตัวของสารประกอบฟีนอลิกจากปฏิกิริยาของเอนไซม์เหล่านี้ (Dewanto *et al.*, 2002)

โดยการทดสอบกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH เป็นการทดสอบความสามารถในการให้ไฮโดรเจนอะตอมของสาร กำจัดอนุมูลอิสระแก่อนุมูล DPPH (Binsan *et al.*, 2008) ส่วน

ประสิทธิภาพของความสามารถในการจับอนุมูล ABTS เป็นการทดสอบความสามารถของสารกำจัดอนุมูลอิสระในการให้อิเล็กตรอนกับอนุมูล ABTS ซึ่งขึ้นอยู่กับน้ำหนักโมเลกุลโดยสารประกอบที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง มีความสามารถในการจับอนุมูล ABTS ได้อย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้ยังขึ้นกับจำนวนวงแหวนอะโรมาติก และการแทนที่ของหมู่ไฮดรอกซิล (Benjakul *et al.*, 2014) สำหรับการทดสอบความสามารถของสารกำจัดอนุมูลอิสระ ด้วยวิธี FRAP เป็นการทดสอบความสามารถของสารต้านออกซิเดชันในการรีดิวซ์อนุมูลอิสระ สังเคราะห์โดยการถ่ายเทอิเล็กตรอนให้กับอนุมูลอิสระ (คุณสมบัติเป็น reductant) ทำให้สารประกอบเชิงซ้อน $[\text{Fe(III)} (\text{TPTZ})_2]^{3+}$ รับอิเล็กตรอนจากสารกำจัดอนุมูลอิสระในตัวอย่างจากนั้นเกิดการเปลี่ยนเป็น $[\text{Fe(II)} (\text{TPTZ})_2]^{2+}$ (Alam *et al.*, 2013) สารประกอบฟีนอลิกมีความสัมพันธ์ต่อคุณสมบัติสารกำจัดอนุมูลอิสระ ดังนั้นเมื่อปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดมีค่าสูงกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระจึงมีค่าสูงเช่นกัน (สมฤดี ไทพานิชย์ และ ธีรรัตน์ แยมอาษา, 2552) เนื่องจากสารประกอบฟีนอลิกสามารถหยุดปฏิกิริยาอนุมูลอิสระได้

ผลของวิธีการอบแห้งต่อกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ พบว่าเมื่อทดสอบประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระ โดยวิธี DPPH, ABTS และ FRAP ในตัวอย่างชาดอกกาแฟที่ใช้วิธีการอบแห้งแบบลมร้อน พบว่าชาดอกกาแฟที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียสมีความสามารถในการกำจัดอนุมูล DPPH ABTS และ FRAP สูงที่สุด สอดคล้องกับจากงานวิจัยของฤทธิชัย อัศวราชันย์ (2556) พบว่าการอบแห้งดอกเบญจมาศด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 60 70 และ 80 องศาเซลเซียส พบว่าตัวอย่างที่อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียสสามารถกำจัดอนุมูลอิสระ ARTS และ DPPH ได้มากกว่า

บทที่ 5

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุปผลการทดลอง

ผลของการทำแห้งต่อปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพและกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระของชาดอกกาแฟ โดยทำการอบแห้ง 4 วิธี คือ การอบแห้งแบบลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 60 และ 70 องศาเซลเซียส การอบแห้งแบบสุญญากาศที่อุณหภูมิ 50 60 และ 70 องศาเซลเซียส การอบแห้งแบบแช่เยือกแข็ง และการอบแห้งแบบธรรมชาติ จากการทดลองพบว่าอุณหภูมิที่ใช้อบแห้งส่งผลให้ค่าความสว่าง (L^*) ของดอกกาแฟลดลง และเมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการอบแห้ง ส่งผลให้ค่าความสีแดงสูงขึ้น (a^*) โดยที่อุณหภูมิอบแห้งที่สูงขึ้นชาดอกกาแฟแห้งที่ได้จะมีค่าดัชนีความเป็นสีน้ำตาล (BI) สูงขึ้นด้วย โดยการอบแห้งแบบสุญญากาศที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสดัชนีความเป็นสีน้ำตาล (BI) สูงที่สุดเท่ากับ 33.70 เนื่องจากการอบแห้งวิธีนี้ที่อุณหภูมิต่ำจะมีปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลแบบใช้เอนไซม์ เพราะอุณหภูมิต่ำในการอบแห้งไม่สามารถยับยั้งเอนไซม์ได้ อีกทั้งต้องใช้ระยะเวลาในการอบแห้งนาน ทำให้เอนไซม์ในดอกกาแฟทำปฏิกิริยาเกิดสีน้ำตาลอย่างต่อเนื่อง ส่งผลให้ดอกกาแฟมีสีเข้มขึ้นสูงที่สุด

ข้อเสนอแนะ

ควรทำการศึกษาผลของการทำแห้งต่อการเปลี่ยนแปลงกลิ่นของชาดอกกาแฟเพื่อให้ทราบถึงองค์ประกอบด้านกลิ่นที่มีผลต่อการยอมรับของผู้บริโภค

บรรณานุกรม

- กำพล เมืองโคมพัส. 2551. **การผลิตกาแฟอาราบิก้าให้มีคุณภาพเหมาะสมกับพื้นที่จังหวัดเพชรบูรณ์**. ศูนย์วิจัยพืชสวนเพชรบูรณ์ สำนักวิจัยและพัฒนาการเกษตรเขตที่ 2 กรมวิชาการเกษตร.
- ชลันทร ยศบุญเรือง พจนา มุลธำรัฐพล ป้าคา .(2556). **เครื่องอบแห้งลมร้อนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์**. วิทยานิพนธ์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา.
- จิราภัทร โอทอง จิราภรณ์ ทองตันและ ทศนีย์ ลิ้มสุวรรณ. (2556). **การพัฒนาชาสมุนไพรยานาง และสมบัติด้านเคมีกายภาพฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระและสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด**. ภาควิชาคหกรรมศาสตร์คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ.
- ปรรัตน์ ศุภมิตรโยธิน. (2556). **เทคโนโลยีผักและผลไม้**. กรุงเทพฯ: โอเดียนสโตร์.
- พัทธ นันทนาถพินิจ, อัจฉรา ไชยองค์การ และสิรินทิพย์ ยะกับ. (2563). ปริมาณ สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดเปลือกกาแฟเชอรี่ พันธุ์อาราบิก้า. **วารสาร วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี**, 11(2), 83-99.
- สินธนา ลีนานุรักษ์. (2542). **การแปรรูปผักและผลไม้**. เชียงใหม่: ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร มหาวิทยาลัยแม่โจ้.
- สุรรัตน์ ปัญญาโตะและเสาวนีย์ มีมุทา. (2551). การศึกษาพัฒนาของดอกกาแฟโรบัสต้า และการบังคับให้ดอกบานพร้อมกัน. **วารสารเกษตร**, 24(3), 225-231.
- อาริชา ไสภอาจารย์ สุหิตินิเช็งธีรยุทธโทยานและธีรภัทรฤทธิผลิน. 2563. การศึกษาการอบใบชาสมุนไพรด้วยความร้อนจากฮีตเตอร์อินฟราเรดโดยใช้ไฟฟ้าจากโซลาร์เซลล์. **วารสารมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย**. 12(1): 171-179.
- Fellows, P. J. (2009). **Food processing technology: principles and practice**. Boca Raton, FL: CRC Press.
- Nguyen, T. M. T., Cho, E. J., Song, Y., Oh, C. H., Funada, R., & Bae, H. J. (2019). Use of coffee flower as a novel resource for the roduction of bioactive compounds melanoidins, and bio-sugars. **Food chemistry**, 299, 125120.
- Mujumdar, A. S. (Ed.). (2015). **Handbook of industrial drying**. (4th ed). Boca Raton, FL: CRC Press.
- Ortiz, J., Lemus-Mondaca, R., Vega-Galvez, AhHen K., Puente- Diaz L., Zura-Bravo L., Aubourg, S. (2013). Influence of airdrying temperature on drying kinetics, colour, firmness and biochemical characteristics of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) fillets. **Food Chemistry**, 139, 162–169. Doi: 10.1016/j.foodchem.2013.01.037.
- Parikh, D.M.(2015). Vacuum drying: basics and application. **Chemical Engineering**, 122(4), 48-54.

ภาคผนวก

1. การวิเคราะห์ทางเคมี

1.1 การเตรียมตัวอย่าง

ชั่งน้ำหนักที่แน่นอนของตัวอย่าง 1 กรัม จากนั้นเติม 80 % v/v เอทานอล 10 มิลลิลิตร นำไปสกัดด้วยการใช้คลื่นเสียงความถี่สูงร่วมด้วยในการสกัด (Sonicator) เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นนำปั่นเหวี่ยงที่ 10000 รอบต่อนาที (rpm) ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที นำตัวอย่างบางส่วนใส่ที่ได้ไปทำการทดสอบหาปริมาณสารพฤกษเคมี และทดสอบฤทธิ์การยับยั้งอนุมูลอิสระ

1.2 การเตรียมสารละลาย

1. เตรียมสารละลายมาตรฐานโทรลอกซ์ (Trolox) โดยนำโทรลอกซ์มาชั่ง จำนวน 50 มิลลิกรัม ละลายด้วยเมทานอลแล้วปรับปริมาตรให้ครบ 50 มิลลิลิตร จะได้สารละลายมาตรฐานโทรลอกซ์ความเข้มข้น 1000 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร

2. เตรียมสารละลายมาตรฐานกรดแกลลิก (Gallic acid) โดยนำแกลลิกมาชั่งจำนวน 50 มิลลิกรัม ละลายด้วยเมทานอลแล้วปรับปริมาตรให้ครบ 50 มิลลิลิตร จะได้สารละลายมาตรฐาน แกลลิกความเข้มข้น 1000 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร

3. เตรียมสารละลายมาตรฐานแคทีชิน (Catechin) โดยนำแคทีชินมาชั่งจำนวน 50 มิลลิกรัม ละลายด้วยเมทานอลแล้วปรับปริมาตรให้ครบ 50 มิลลิลิตร จะได้สารละลายมาตรฐานแคทีชินความเข้มข้น 1000 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร

4. เตรียมสารละลายดีพีพีเอช (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl; DPPH) โดยนำดีพีพีเอชมาชั่งจำนวน 7.8 มิลลิกรัม ละลายด้วยเมทานอล ปรับปริมาตรให้ครบ 100 มิลลิลิตร จะได้สารละลายดีพีพีเอชความเข้มข้น 0.2. มิลลิโมลาร์

5. เตรียมสารละลาย โฟลิน-ซีโอแคลทู (Folin-Ciocalteu's) โดยดูดสารละลาย โฟลิน-ซีโอแคลทู ฟีนอล รีเอเจนต์ (Folin-Ciocalteu's phenol reagent) มาจำนวน 10 มิลลิลิตร ละลายด้วยเมทานอล แล้วปรับปริมาตร 100 มิลลิลิตร จะได้สารละลายความเข้มข้น 10%

6. เตรียมสารละลาย โซเดียมคาร์บอเนต (Sodium carbonate; Na_2CO_3) โดยชั่ง โซเดียมคาร์บอเนต มาจำนวน 7.5 กรัม ละลายด้วยน้ำกลั่นปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ครบ 100 มิลลิลิตร จะได้สารละลายโซเดียมคาร์บอเนตความเข้มข้น 7.5%

7. เตรียมสารละลาย โซเดียมไนไตรต์ (Sodium nitrite; NaNO_2) โดยนำโซเดียมไนไตรต์ มาชั่งจำนวน 5 กรัม ละลายด้วยน้ำกลั่นปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ครบ 100 มิลลิลิตร จะได้สารละลายโซเดียมไนไตรต์ ความเข้มข้น 5%

8. เตรียมสารละลาย โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide; NaOH) โดยนำโซเดียมไฮดรอกไซด์มาชั่งจำนวน 4 กรัม ละลายด้วยน้ำกลั่นเล็กน้อยและปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ครบ 100 มิลลิลิตร จะได้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 1 โมลาร์

9. เตรียมสารละลาย อะลูมิเนียมคลอไรด์ (Aluminum chloride; AlCl_3) โดยนำอะลูมิเนียมคลอไรด์มาชั่งจำนวน 10 กรัม ละลายด้วยน้ำกลั่นเล็กน้อยปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ครบ 100 มิลลิลิตร จะได้สารละลายอะลูมิเนียมคลอไรด์ความเข้มข้น 10%

10. เตรียมบัฟเฟอร์ pH 4.5 โดยชั่งโซเดียมอะซิเตต (Sodium Acetate; CH_3COONa) มาจำนวน 7.7 กรัม ละลายน้ำเล็กน้อย นำมาผสมกับกรดอะซิติก (acetic acid) 10 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ครบ 1 ลิตร

11. เตรียมสารละลายโพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟต (potassium persulphate; $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$) ความเข้มข้น 2.45 มิลลิโมลาร์ โดยชั่งโพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟตจำนวน 66.24 มิลลิกรัม ละลายด้วยอะซิติกบัฟเฟอร์ pH 4.5 ปรับปริมาตรให้ครบ 100 มิลลิลิตร

12. เตรียมสารละลายเอบีทีเอส (2,2'-azino-bis(3-ethylbenzthiazoline-6-sulphonic acid ;ABTS) ความเข้มข้น 7 มิลลิโมลาร์ โดยชั่งเอบีทีเอสจำนวน 192 มิลลิกรัม ละลายด้วยอะซิติกบัฟเฟอร์ pH 4.5 ปรับปริมาตรให้ครบ 50 มิลลิลิตร จากนั้นผสม ABTS : $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$ ใช้อัตราส่วน 10:10 จะได้สารละลาย ABTS จากนั้นทิ้งไว้ที่มีอุณหภูมิห้องเป็นเวลา 12-16 ชั่วโมงก่อนนำมาใช้

13. เตรียมบัฟเฟอร์ pH 3.6 โดยชั่งโซเดียมอะซิเตต (Sodium Acetate; CH_3COONa) มาจำนวน 1.820 กรัม ละลายน้ำเล็กน้อย นำมาผสมกับกรดอะซิติก (acetic acid) 16 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ครบ 1 ลิตร

14. เตรียมสารละลายกรดไฮโดรคลอริก (hydrochloric acid; HCl) โดยปิเปตต์กรดไฮโดรคลอริก 170 ไมโครลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ครบ 50 มิลลิลิตร จะได้ไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 40 มิลลิโมลาร์

15. เตรียมสารละลายทีพีทีแซด 2,4,6,-tris (2-pyridyl)-s-triazine (TPTZ) โดยชั่ง 78.08 มิลลิกรัม ละลายด้วยไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 40 มิลลิโมลาร์ ปรับปริมาตร 25 มิลลิลิตร

16. เตรียมสารละลายเฟอร์ริกคลอไรด์ (Ferric chloride; FeCl_3) โดยชั่งเฟอร์ริกคลอไรด์จำนวน 81 มิลลิกรัม ละลายด้วยน้ำกลั่นปรับ ปริมาตรให้ครบ 25 มิลลิลิตร

1.3 การวิเคราะห์ปริมาณฟีนอลิก

การวิเคราะห์หาปริมาณสารฟีนอลิกรวม (Total phenolic content) โดยวิธี Folin-ciocalteu's ดัดแปลงจากงานวิจัยของ Kupina *et al.*, 2018; Sansenya *et al.*, 2021 โดยใช้กรดแกลลิก (Gallic acid: GA) เป็นสารละลายมาตรฐาน ที่ความเข้มข้น 10 30 50 70 100 150 และ 200 ppm ทำการวิเคราะห์โดยเติมสารละลาย Folin-ciocalteu's ความเข้มข้น 10% ปริมาตร 5 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดลองขนาด 25 มิลลิลิตร จากนั้นเติมสารมาตรฐานหรือตัวอย่างชา ปริมาตร 1 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้ในความมืด ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 5 นาที เติมสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต (NaCO_3) ความเข้มข้น 7.5% ปริมาตร 4 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้ในความมืด ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 15 นาที(ปริมาตรรวมทั้งหมด 10 มิลลิลิตร ทำซ้ำ 3 ครั้ง) และวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 765 นาโนเมตรโดยใช้เครื่อง Ultra violet -Visible Spectrophotometer (UV-VIS) นำค่าการดูดกลืนที่ได้มาคำนวณหาปริมาณฟีนอลิก

เทียบจากกราฟมาตรฐานกรดแกลลิก ในหน่วยมิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อกรัมของน้ำหนักตัวอย่างแห้ง (Milligram gallic acid equivalent/gram of dried sample weight, mgGAE/gDW)

1.4 การวิเคราะห์ปริมาณฟลาโวนอยด์

การวิเคราะห์หาปริมาณฟลาโวนอยด์ (Total flavonoid content) โดยวิธี Aluminium chloride ดัดแปลงจากงานวิจัยของ Kongdin *et al.*, 2023 โดยใช้แคทีชิน (Catechin: CE) เป็นสารละลายมาตรฐาน ที่ความเข้มข้น 50 100 200 300 400 500 และ 600 ppm ทำการวิเคราะห์โดยเติมสารมาตรฐานหรือตัวอย่างชา ปริมาตร 0.6 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดลองขนาด 25 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่น 2.4 มิลลิลิตร เติมโซเดียมไนไตรท์ (NaNO_2) ความเข้มข้น 5% ปริมาตร 0.3 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ 5 นาที เติมสารละลายอะลูมิเนียมคลอไรด์ (AlCl_3) ความเข้มข้น 10% ปริมาตร 0.3 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ 5 นาที เติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ความเข้มข้น 1 โมลาร์ ปริมาตร 1 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่น 1.4 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้ในความมืด ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 15 นาที (ปริมาตรรวมทั้งหมด 6 มิลลิลิตร ทำซ้ำ 3 ครั้ง) และวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 415 นาโนเมตร โดยใช้เครื่อง Ultra violet -Visible Spectrophotometer (UV-VIS) นำค่าการดูดกลืนที่ได้มา คำนวณหาปริมาณฟลาโวนอยด์เทียบจากกราฟมาตรฐานแคทีชิน ในหน่วยมิลลิกรัมสมมูลของแคทีชินต่อกรัมของน้ำหนักตัวอย่างแห้ง (Milligram Catechin equivalent/gram of dried sample weight, mg CEE/g DW)

1.5 การวิเคราะห์ปริมาณฤทธิ์การยับยั้งอนุมูลอิสระ DPPH

การวิเคราะห์ปริมาณฤทธิ์การยับยั้งอนุมูลอิสระ DPPH ดัดแปลงจากงานวิจัยของ Sansenya *et al.*, 2021 โดยใช้โทรลอกซ์ (Trolox) เป็นสารละลายมาตรฐาน ที่ความเข้มข้น 10 30 40 50 70 และ 100 ppm ทำการวิเคราะห์โดยเติมสารมาตรฐานหรือตัวอย่างชา ปริมาตร 0.5 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดลองขนาด 25 มิลลิลิตร เติมสารละลายดีฟิฟิเอซ (DPPH) ความเข้มข้น 200 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 4.5 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้ในความมืด ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 30 นาที (ปริมาตรรวมทั้งหมด 5 มิลลิลิตร ทำซ้ำ 3 ครั้ง) และวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร โดยใช้เครื่อง Ultra violet -Visible Spectrophotometer (UV-VIS) นำค่าการดูดกลืนที่วัดได้ (A) สร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ต้านอนุมูลอิสระ (%Radical scavenging activity) และความเข้มข้นของชา

1.6 การวิเคราะห์ปริมาณฤทธิ์การยับยั้งอนุมูลอิสระ ABTS

การวิเคราะห์ปริมาณฤทธิ์การยับยั้งอนุมูลอิสระ ABTS ดัดแปลงจากงานวิจัยของ Xiao *et al.*, 2020 โดยใช้โทรลอกซ์ (Trolox) เป็นสารละลายมาตรฐาน ที่ความเข้มข้น 10 20 30 40 50 56 และ 60 ppm ทำการวิเคราะห์โดยเติมสารมาตรฐานหรือตัวอย่างชา ปริมาตร 0.5 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดลองขนาด 25 มิลลิลิตร เติมสารละลายเอบีทีเอส (ABTS) ปริมาตร 4.5 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 7 นาที (ปริมาตรรวมทั้งหมด 5 มิลลิลิตร ทำซ้ำ 3 ครั้ง) และวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 734 นาโนเมตร โดยใช้เครื่อง Ultra violet -Visible Spectrophotometer (UV-VIS) นำค่าการดูดกลืน

ที่วัดได้ (A) สร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ต้านอนุมูลอิสระ (% Radical scavenging activity) และความเข้มข้นของชา

$$\% \text{ radical scavenging activity} = \left[\frac{A_{\text{control}} - (A_{\text{sample}} - A_{\text{blank}})}{A_{\text{control}}} \right] \times 100 \quad (1)$$

A_{control} คือ ค่าการดูดกลืนแสงของชุดควบคุม

A_{sample} คือ ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายสกัด และ reagent

A_{blank} คือ ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายสกัด และเมทานอล

1.6 การวิเคราะห์ปริมาณฤทธิ์การยับยั้งอนุมูลอิสระ FRAP

การวิเคราะห์ปริมาณฤทธิ์การยับยั้งอนุมูลอิสระ FRAP ดัดแปลงจากงานวิจัยของ Xiao *et al.*, 2020 ทำการทดลองโดยใช้โทรลอกซ์ (Trolox) เป็นสารละลายมาตรฐาน ที่ความเข้มข้น 25 50 100 150 200 และ 250 ppm ทำการวิเคราะห์โดยเติมน้ำกลั่น ปริมาตร 1 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดลองขนาด 25 มิลลิลิตร เติมสารมาตรฐานหรือตัวอย่างชา ปริมาตร 0.1 มิลลิลิตร เติมสารละลาย FRAP ปริมาตร 3 มิลลิลิตร จากนั้นนำไปบ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที (ปริมาตรรวมทั้งหมด 4.1 มิลลิลิตร ทำซ้ำ 3 ครั้ง) และวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 593 นาโนเมตร โดยใช้เครื่อง Ultra violet -Visible Spectrophotometer (UV-VIS) นำค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้ คำนวณหาความสามารถในการรีดิวซ์ FRAP จากกราฟมาตรฐานโทรลอกซ์ในหน่วยมิลลิกรัมโทรลอกซ์ต่อกรัมของน้ำหนักตัวอย่างแห้ง (Milligram Trolox equivalent/gram of dried sample weight, mg TE/g DW)