รายงานฉบับสมบูรณ์
(Final Report)

โครงการย่อยที่ 2: การเพิ่มคุณค่าและมูลค่ากาแฟอราบิก้าโครงการหลวงเพื่อสุขภาพ
Sub project 2: The Value Added of Royal Project Arabica Coffee for Health

โครงการย่อยภายใต้ชุดโครงการ : วิจัยการคัดเลือกสายพันธุ์และพัฒนาเทคโนโลยีในการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตกาแฟอราบิก้าอย่างยั่งยืนบนพื้นที่สูง

แผนงานวิจัย : เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตทางการเกษตรบนพื้นที่สูง

โดย
ไพโรจน์ วิริยจารี และคณะ

สนับสนุนทุนวิจัยโดย สถาบันวิจัยและพัฒนาพื้นที่สูง (องค์การมหาชน)
ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2563

รายงานฉบับสมบูรณ์
(Final Report)

โครงการย่อยที่ 2: การเพิ่มคุณค่าและมูลค่ากาแฟอราบิก้าโครงการหลวงเพื่อสุขภาพ
Sub project 2: The Value Added of Royal Project Arabica Coffee for Health

โครงการย่อยภายใต้ชุดโครงการ : วิจัยการคัดเลือกสายพันธุ์และพัฒนาเทคโนโลยีในการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตกาแฟอราบิก้าอย่างยั่งยืนบนพื้นที่สูง

แผนงานวิจัย : เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตทางการเกษตรบนพื้นที่สูง

คณะผู้วิจัย	สังกัด
1. ศาสตราจารย์ ดร.ไพโรจน์ วิริยจารี	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
2. ดร.เรวัตร พงษ์พิสุทธินันท์	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
3. ดร.สุภกิจ ไชยพุฒ	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
4. นางสาวจิรนันท์ โนวิชัย	มูลนิธิโครงการหลวง

สถาบันวิจัยและพัฒนาพื้นที่สูง (องค์การมหาชน) Highland Research and Development Institute (Public Organization)

ตุลาคม 2563

กิตติกรรมประกาศ

การศึกษาการเพิ่มคุณค่าและมูลค่ากาแฟอราบิก้าโครงการหลวงเพื่อสุขภาพ โครงการย่อยภายใต้ชุดโครงการวิจัยการคัดเลือกสายพันธุ์และพัฒนาเทคโนโลยีในการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตกาแฟอราบิก้าอย่างยั่งยืนบนพื้นที่สูง ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากสถาบันวิจัยและพัฒนาพื้นที่สูง โดยได้รับการสนับสนุนงบประมาณประจำปี พ.ศ.2563 คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณการสนับสนุนการวิจัยมา ณ โอกาสนี้ด้วย

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณบุคลากร เจ้าหน้าที่ของโรงคั่วกาแฟ มูลนิธิโครงการหลวง และหน่วยวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารพื้นบ้าน สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ที่มีส่วนให้ความช่วยเหลือและสนับสนุนโครงการวิจัยนี้มาโดยตลอด

ท้ายที่สุดนี้ คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณผู้ทรงคุณวุฒิหลายท่านที่ได้ให้คำปรึกษาและข้อแนะนำต่างๆ ตลอดทั้งโครงการ ซึ่งทำให้โครงการดำเนินไปได้ด้วยความเรียบร้อย และมีประสิทธิภาพ แนวความคิดที่เป็นประโยชน์ทั้งปวง คณะผู้วิจัยขอน้อมรับและจะนำไปใช้ประโยชน์ในการทำงานในอนาคต องค์ความรู้ที่เกิดจากโครงการวิจัยนี้ขอให้เกิดประโยชน์ต่อประเทศชาติโดยรวมต่อไป

คณะผู้วิจัย

สถาบันวิจัยและพัฒนาพื้นที่สูง (องค์การมหาชน) Highland Research and Development Institute (Public Organization)

คณะผู้วิจัย

1. ชื่อหัวหน้าโครงการ หน่วยงานสังกัด ที่อยู่ หมายเลขโทรศัพท์ โทรสาร และ E-mail

ชื่อ-สกุล (ภาษาไทย)	ดร. ไพโรจน์ วิริยจารี
ชื่อ-สกุล (ภาษาอังกฤษ)	Dr. Pairote Wiriyacharee
คุณวุฒิ	ปริญญาเอก (Product Development)
ตำแหน่ง	ศาสตราจารย์
หน่วยงาน 1	คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
ที่อยู่	155 หมู่ 2 ต.แม่เหียะ อ.เมือง จ.เชียงใหม่ 50100
โทรศัพท์/โทรสาร	0 5394 8308/ 0 5394 8230
หน่วยงาน 2	สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
ที่อยู่	239 ถ.ห้วยแก้ว ต.สุเทพ อ.เมืองเชียงใหม่ จ.เชียงใหม่ 50200
โทรศัพท์/โทรสาร	0 5394 8308/ 0 5394 2478
E-mail:	pairote.w@cmu.ac.th

2. ชื่อและสถานที่ติดต่อของนักวิจัย หน่วยงานสังกัด ที่อยู่ หมายเลขโทรศัพท์ โทรสาร และ E-mail

2.1 ชื่อ-สกุล (ภาษาไทย)	ดร. เรวัตร พงษ์พิสุทธินันท์
ชื่อ-สกุล (ภาษาอังกฤษ)	Dr. Rewat Phongphisutthinant
คุณวุฒิ	ปริญญาเอก (จุลชีววิทยาประยุกต์)
ตำแหน่ง (ทางวิชาการ/ราชการ)	นักวิจัย
หน่วยงาน	หน่วยวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารพื้นบ้าน สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
ที่อยู่	239 ถ.ห้วยแก้ว ต.สุเทพ อ.เมืองเชียงใหม่ จ.เชียงใหม่ 50200
โทรศัพท์/โทรสาร	053-948305; 08-17161026 / 053-942478
E-mail	rewat.p@cmu.ac.th; rewat.psn@gmail.com
2.2 ชื่อ-สกุล (ภาษาไทย)	ดร. สุภกิจ ไชยพุฒ
ชื่อ-สกุล (ภาษาอังกฤษ)	Dr. Supakit Chaipoot
คุณวุฒิ	ปริญญาเอก (เทคโนโลยีการพัฒนาผลิตภัณฑ์)
ตำแหน่ง (ทางวิชาการ/ราชการ)	นักวิจัย
หน่วยงาน	หน่วยวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารพื้นบ้าน สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
ที่อยู่	239 ถ.ห้วยแก้ว ต.สุเทพ อ.เมืองเชียงใหม่ จ.เชียงใหม่ 50200
โทรศัพท์/โทรสาร	053-948305 / 053-942478
E-mail	supakit.ch79@gmail.com

สถาบันวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารพื้นบ้าน (องค์การมหาชน) Northern Thailand Research and Development Institute (Public Organization)

2.3 ชื่อ-สกุล (ภาษาไทย)	นางสาวจิรนันท์ โนวิชัย
ชื่อ-สกุล (ภาษาอังกฤษ)	Miss Jiranan Novichai
คุณวุฒิ	ปริญญาโท (การพัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกษตร)
ตำแหน่ง (ทางวิชาการ/ราชการ)	นักอุตสาหกรรมอาหาร
หน่วยงาน	โรงงานแปรรูปและพัฒนาผลิตภัณฑ์ มูลนิธิโครงการหลวง
ที่อยู่	243/1 หมู่ 3 ต.แม่เหียะ อ.เมือง จ.เชียงใหม่ 51000
โทรศัพท์	0-5311-4236-9 ต่อ 104
E-mail	jiranan_nov@hotmail.com

สถาบันวิจัยและพัฒนาพื้นที่สูง (องค์การมหาชน) Highland Research and Development Institute (Public Organization)

บทสรุปผู้บริหาร

1. ที่มาและความสำคัญ

มูลนิธิโครงการหลวงวิจัยและส่งเสริมการปลูกกาแฟอราบิก้า เพื่อเป็นพืชรายได้ทดแทนพืชเสพติด ปัจจุบันจะเห็นได้ว่าผลิตภัณฑ์กาแฟในท้องตลาดมีวางจำหน่ายในหลายรูปแบบทั้งในรูปเมล็ดดิบ เมล็ดกาแฟคั่ว เมล็ดกาแฟบด เมล็ดกาแฟบดบรรจุซองพร้อมชง และผลิตภัณฑ์แปรรูปจากกาแฟ ดังนั้น ในการสร้างงานวิจัยด้านกาแฟจะต้องทำการวิจัยเพื่อพัฒนากระบวนการผลิตให้ได้ผลิตภัณฑ์กาแฟที่มีความแตกต่างและยังไม่มีวางจำหน่ายในท้องตลาดเพื่อเพิ่มช่องทางการจำหน่ายให้กับกาแฟโครงการหลวง โดยต้องเป็นผลิตภัณฑ์กาแฟในรูปแบบใหม่ตอบโจทย์สุขภาพและมีเอกลักษณ์เฉพาะตัว มีความแตกต่างทั้งในด้านกลิ่นรสและคุณประโยชน์ต่างๆ ที่ผู้บริโภคจะได้รับเพิ่มจากการบริโภคกาแฟแบบเดิม เช่น สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ กรดอะมิโน โพลีแซ็กคาไรด์ และสารประกอบพันธะเชื่อม เป็นต้น นอกจากนี้ในกระบวนการผลิตกาแฟนั้นจะมีส่วนเหลือทิ้ง เช่น เปลือกกาแฟเชอรี่ เปลือกกาแฟกะลา และกากกาแฟ โดยเกษตรกรบางส่วนนำมาใช้ประโยชน์ในการทำปุ๋ยหมัก อย่างไรก็ตามมีข้อมูลจากการค้นคว้าและวิจัยเบื้องต้น พบว่า ในกากกาแฟมีปริมาณน้ำมันคงเหลืออยู่ค่อนข้างสูง ซึ่งน้ำมันจากกากกาแฟประกอบด้วยไตรอซีลกลีเซอรอล (triacylglycerol) และไดเทอร์พีนส์ (diterpenes) จัดเป็นสารประกอบที่มีประโยชน์ต่อระบบทางชีววิทยา ในการยับยั้งการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์หลายชนิด และมีฤทธิ์ในการต้านออกซิเดชัน ทั้งนี้กากกาแฟที่ได้จากการสกัดข้างต้นจะถูกนำไปประยุกต์ใช้ร่วมกับกะลากาแฟในการศึกษาความเป็นไปได้ในการพัฒนาเป็นเยื่อเซลลูโลสสำหรับวัสดุกรองกาแฟหรือบรรจุภัณฑ์อื่นๆ ต่อไป ดังนั้นโครงการนี้จึงมุ่งเน้นการศึกษาเพื่อเพิ่มคุณค่าและมูลค่ากาแฟอราบิก้าโครงการหลวงให้มีความแตกต่างจากกาแฟทั่วไปในท้องตลาดทั้งด้านกลิ่นรส และคุณค่าทางอาหาร รวมถึงการใช้เศษเหลือทิ้งในกระบวนการผลิตกาแฟให้เกิดประโยชน์สูงสุด โดยจะทำการพัฒนาผลิตภัณฑ์ เมล็ดกาแฟอราบิก้าโครงการหลวงรูปแบบใหม่เสริมสารสกัดจากธรรมชาติที่มีสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ กรดอะมิโน โพลีแซ็กคาไรด์ และสารประกอบพันธะเชื่อม เป็นต้น

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1) เพื่อศึกษาและพัฒนาผลิตภัณฑ์เมล็ดกาแฟโครงการหลวงรูปแบบใหม่เสริมสารสกัดจากธรรมชาติ
2) เพื่อศึกษาและพัฒนาผลิตภัณฑ์จากสารประกอบพันธะเชื่อมจากเมล็ดกาแฟอราบิก้าดิบโครงการหลวง
3) เพื่อศึกษาและพัฒนาผลิตภัณฑ์จากส่วนเหลือทิ้งจากกระบวนการผลิตและแปรรูปกาแฟ

3. ผลการวิจัย

3.1 การพัฒนาผลิตภัณฑ์เมล็ดกาแฟโครงการหลวงรูปแบบใหม่เสริมสารสกัดจากธรรมชาติด้วยเทคโนโลยีการแทรกซึมภายใต้สุญญากาศ

3.1.1 ศึกษาการผลิตสารไอโซฟลาโวนอะไกลโคนและสารกาบา

จากการศึกษาสารสกัดไอโซฟลาโวนรวมจากจมูกถั่วเหลือง พบว่า มีปริมาณสารไอโซฟลาโวนชนิดโครงสร้างกลุ่มกลูโคไซด์ ซึ่งประกอบด้วยสารไดซิน เจนิสทิน และไกลซิทิน เท่ากับ 27.18, 111.08 และ 25.01 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ ในส่วนของไอโซฟลาโวนชนิดโครงสร้างกลุ่มอะไกลโคน ประกอบด้วยสารไดซีอีน เจนิสทีอีน และไกลซิทีอีน เท่ากับ 457.37, 433.57 และ 102.43 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ ทั้งนี้ปริมาณสารไอโซฟลาโวนรวมที่สกัดได้จากจมูกถั่วเหลืองมีค่าเท่ากับ 1,156.84 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร สำหรับการผลิตสารกาบาโดยใช้เชื้อแบคทีเรีย *Micrococcus varians* ในการหมักสารสกัดจากหอมหัวใหญ่ และทำการบ่มเป็นระยะเวลา 6 วัน พบว่า มีสารกาบาในสารสกัดจากหอมหัวใหญ่อยู่เท่ากับ 2.81 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร

3.1.2 ศึกษาการสกัดสารคาเทชินจากใบชาเขียวด้วยน้ำ

เมื่อทำการสกัดสารคาเทชินจากใบชาเขียวด้วยน้ำ พบว่า สารสกัดมีปริมาณคาเทชินอยู่ในช่วง 0.00-71.96 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร และปริมาณอิพิคาเทชินอยู่ในช่วง 15.96-454.97 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร เมื่อทำการกำหนดขอบเขตของปัจจัยที่ศึกษาและขอบเขตของคุณลักษณะที่ต้องการในการศึกษาอุณหภูมิ เวลา และอัตราส่วนใบชาต่อน้ำที่เหมาะสม พบว่า อุณหภูมิที่เหมาะสมในการสกัดอยู่ที่ 89.47 องศาเซลเซียส (ประมาณ 90 องศาเซลเซียส) ใช้เวลาในการสกัด 60 นาที และอัตราส่วนใบชาต่อน้ำในการสกัดที่เหมาะสมอยู่ที่ 1:10

3.1.3 การศึกษาการออกแบบส่วนผสมของระบบสารละลายสารสกัดจากธรรมชาติ

จากการศึกษาการออกแบบส่วนผสมของระบบสารละลายสารสกัดจากธรรมชาติโดยทำการผันแปรปริมาณสารไอโซฟลาโวน สารกาบา และสารคาเทชิน ผ่านกระบวนการแทรกซึมภายใต้สุญญากาศ โดยกำหนดสภาวะความดัน -0.5 บาร์ ระยะเวลาคงความดัน 30 นาที และระยะเวลาแช่ที่ความดันบรรยากาศ 30 นาที พบว่าในเมล็ดกาแฟดิบมีสารกาบาอยู่ในช่วง 325-366.18 ไมโครกรัมต่อกรัม คาเทชินอยู่ในช่วง 14.94-18.60 มิลลิกรัมต่อกรัม และอิพิคาเทชินอยู่ในช่วง 78.58-110.00 มิลลิกรัมต่อกรัม และพบว่าปริมาณไกลซิทิน ไดซีอีน และปริมาณไอโซฟลาโวนรวม มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญสถิติ เมื่อทำการกำหนดขอบเขตของปัจจัยที่ศึกษาและขอบเขตของคุณลักษณะที่ต้องการในปริมาณสารไอโซฟลาโวน สารกาบา และสารเคชิน พบว่า สัดส่วนสารละลายสารสกัดจากธรรมชาติที่เหมาะสมเมื่อเพิ่มเติมลงในเมล็ดกาแฟดิบ คือ การใช้สารไอโซฟลาโวนร้อยละ 60 สารกาบาร้อยละ 20 และสารคาเทชินร้อยละ 20

3.1.4 การศึกษากระบวนการแทรกซึมภายใต้สุญญากาศที่เหมาะสมในการเสริมสารไอโซฟลาโวนรวม สารกาบา และสารคาเทชินในเมล็ดกาแฟอราบิก้าดิบ

จากการศึกษากระบวนการแทรกซึมภายใต้สุญญากาศที่เหมาะสม โดยทำการผันแปรระดับความดันสุญญากาศ ระยะเวลาคงความดัน และระยะเวลาแช่ที่ความดันบรรยากาศ พบว่าเมล็ดกาแฟดิบไม่พบไอโซฟลาโวนชนิดโครงสร้างกลุ่มกลูโคไซด์ แต่พบไอโซฟลาโวนชนิดโครงสร้างกลุ่มอะไกลโคน โดยมีสารไดซีอีนอยู่ในช่วง 0.00-75.83 ไมโครกรัมต่อกรัม สารไกลซิทีอีนอยู่ในช่วง

0.00-66.56 ไมโครกรัมต่อกรัม และสารเจนิสทีอีนอยู่ในช่วง 0.00-8.56 ไมโครกรัมต่อกรัม สำหรับปริมาณสารกาบาที่พบอยู่ในช่วง 276.71-804.77 ไมโครกรัมต่อกรัม คาเทชินอยู่ในช่วง 14.56-19.15 มิลลิกรัมต่อกรัม และอิพิคาเทชินอยู่ในช่วง 85.19-186.54 มิลลิกรัมต่อต่อกรัม เมื่อทำการกำหนดขอบเขตของปัจจัยที่ศึกษาและขอบเขตของคุณลักษณะที่ต้องการในปริมาณสารคาเทชิน พบว่า ระดับที่เหมาะสมของกระบวนการแทรกซึมภายใต้สุญญากาศ คือ ระดับความดันสุญญากาศที่ -0.80 บาร์ ใช้ระยะเวลาคงความดันคงที่เป็นเวลา 60 นาที และระยะเวลาแช่เมล็ดกาแฟดิบที่ความดันบรรยากาศเป็นเวลา 60 นาที

3.2 การพัฒนาผลิตภัณฑ์จากสารประกอบพันธะเชื่อมจากเมล็ดกาแฟอราบิก้าดิบโครงการหลวง

3.2.1 การศึกษากระบวนการผลิตสารประกอบพันธะเชื่อมจากเมล็ดกาแฟดิบที่เหมาะสม

จากการศึกษาวิธีการผลิตสารประกอบพันธะเชื่อมจากเมล็ดกาแฟดิบที่เหมาะสม โดยผันแปรกระบวนการในการสกัด พบว่า สารสกัดที่ผ่านการให้ความร้อนเปียกและเทคโนโลยีพลาสมา มีปริมาณกรดคลอโรจินิกและน้ำตาลรีดิวซ์ในปริมาณที่ต่ำกว่าตัวอย่างควบคุม และพบว่าสารสกัดที่ผ่านเทคโนโลยีพลาสมา มีปริมาณกรดอะมิโนทั้งหมดต่ำที่สุด และเมื่อทำการวิเคราะห์น้ำหนักโมเลกุลของพอลิเพปไทด์โดยเทคนิค SDS-PAGE พบว่า สารสกัดที่ผ่านกระบวนการให้ความร้อนเปียก สนามไฟฟ้าแบบพัลส์ และเทคโนโลยีพลาสมา เกิดแถบพอลิเปปไทด์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 250 กิโลดาลตัน แสดงให้เห็นถึงสารประกอบพันธะเชื่อมที่เกิดขึ้นเมื่อผ่านกระบวนการดังกล่าว เมื่อทำการวิเคราะห์สารสำคัญ การเกิดสารประกอบพันธะเชื่อม รวมถึงความคุ้มทุนในการผลิตสารประกอบพันธะเชื่อม จึงเลือกกระบวนการให้ความร้อนเปียกในการผลิตสารประกอบพันธะเชื่อมต่อไป

3.2.2 การพัฒนากระบวนการผลิตสารประกอบพันธะเชื่อมที่เหมาะสม

ทำการศึกษาการพัฒนากระบวนการผลิตสารประกอบพันธะเชื่อม โดยวิธีการทำให้ความร้อนแบบเปียก (wet process) ทำการผันแปรค่าความเป็นกรด-ด่าง อุณหภูมิ และเวลา พบว่ากระบวนการให้ความร้อนแบบเปียกที่เหมาะสม เพื่อผลิตสารประกอบพันธะเชื่อม คือ ค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 8.88 อุณหภูมิ 86 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 วัน

3.3 การพัฒนาผลิตภัณฑ์เพื่อสุขภาพจากกากกาแฟ

3.3.1 การศึกษาการเตรียมกากกาแฟที่เหมาะสมสำหรับนำไปสกัดน้ำมันกากกาแฟ

จากการคั่วเมล็ดกาแฟระดับต่างๆ โดยแปรผันระดับการคั่วเมล็ดกาแฟ 4 ระดับ ได้แก่ ระดับอ่อน ระดับกลาง ระดับเข้ม และระดับเข้มมาก พบว่า น้ำมันจากกากกาแฟที่ระดับการคั่วอ่อนและระดับคั่วกลาง มีปริมาณสารคาเฟสตอลและคาห์วีออลใกล้เคียงกัน แต่เมื่อพิจารณาปริมาณคาเฟสตอลและคาห์วีออลในน้ำมันกากกาแฟที่สกัดได้ จะเห็นว่าน้ำมันจากกากกาแฟที่ระดับการคั่วอ่อน 7.89 กรัม จะมีปริมาณสารคาเฟสตอลและคาห์วีออลเท่ากับ 2.76 และ 54.81 มิลลิกรัม ตามลำดับ ในขณะที่น้ำมันจากกากกาแฟที่ระดับคั่วกลาง 10.12 กรัม มีปริมาณสารคาเฟสตอลและคาห์วีออล เท่ากับ 2.96 และ 59.97 มิลลิกรัม ตามลำดับ ดังนั้นน้ำมันจากกากกาแฟที่ระดับการคั่วกลางจึงเหมาะสมที่จะนำไปใช้ในการทดลองต่อไป

3.3.2 การศึกษากระบวนการสกัดที่เหมาะสมในการสกัดน้ำมันจากกากกาแฟ

ทำการศึกษาวิธีการและสภาวะที่เหมาสมในการสกัดน้ำมันกากกาแฟด้วยวิธี การสกัด 3 วิธี ได้แก่ การสกัดโดยใช้ชุดกลั่นซอกห์เลตร่วมกับตัวทำละลายเฮกเซน (SOX) การสกัดแบบต้มกลั่น (HD) และการสกัดด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ภายใต้สภาวะวิกฤตยิ่งยวด (SC-CO_2) โดยพบว่าการสกัดน้ำมันกากกาแฟโดยวิธี SC-CO_2 ที่ผันแปรสภาวะในการสกัด (อุณหภูมิ 35-65 องศาเซลเซียส และความดัน 100-200 บาร์) ให้ร้อยละผลผลิตน้ำมันกากกาแฟอยู่ในช่วง 0.40-9.84 และมีปริมาณสารคาเฟสตอลและคาห์วีออลอยู่ในช่วง 25.73-42.24 และ 412.60-796.34 มิลลิกรัมต่อน้ำมัน 100 กรัม ตามลำดับ เมื่อทำการวิเคราะห์พบว่า สภาวะที่เหมาะสมในการสกัดน้ำมันกากกาแฟโดยวิธี SC-CO_2 ได้แก่ การสกัดที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส และความดันเท่ากับ 200 บาร์ เนื่องจากมีปริมาณสารสำคัญสูงที่สุด

3.3.3 การศึกษากระบวนการสกัดที่เหมาะสมในการสกัดสารที่คงเหลือในกากกาแฟหลังสกัดน้ำมัน

นำกากกาแฟหลังสกัดน้ำมันจากข้อ 3.2 มาทำการสกัดสารที่ยังคงเหลืออยู่ในการกากกาแฟด้วยวิธีการสกัด 2 วิธี ได้แก่ การสกัดด้วยน้ำ ที่ผันแปรอุณหภูมิและเวลาในการสกัด (อุณหภูมิ 30-100 องศาเซลเซียส และเวลา 30-120 นาที) และการสกัดด้วยเอทานอล ที่ผันแปรความเข้มข้นของเอทานอล (ร้อยละ 40-95) พบว่าการกาแฟหลังสกัดที่สกัดด้วยน้ำ มีปริมาณน้ำมันอยู่ในช่วงร้อยละ 0.69-0.92 และกากกาแฟหลังสกัดที่สกัดด้วยเอทานอล มีปริมาณน้ำมันอยู่ในช่วงร้อยละ 0.39-1.01 เมื่อทำการวิเคราะห์พบว่า สภาวะที่เหมาะสมในการสกัดกากกาแฟหลังสกัดด้วยน้ำที่เหมาะสม ได้แก่ การสกัดที่อุณหภูมิ 92 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 104 นาที เนื่องจากมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิก การต้านออกซิเดชัน DPPH และ ABTS สูง และกากกาแฟหลังสกัดที่สกัดด้วยเอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 60 มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิก การต้านออกซิเดชัน DPPH และ FRAP สูงที่สุด

3.4 การศึกษาความเป็นไปได้ในการพัฒนาเยื่อเซลลูโลสสำหรับวัสดุกรองกาแฟหรือบรรจุภัณฑ์จากกะลากาแฟและกากกาแฟ

การวิเคราะห์องค์ประกอบของกะลากาแฟและกากกาแฟ

นำตัวอย่างกะลากาแฟ ที่มีความชื้นเหลือน้อยกว่าร้อยละ 10 และตัวอย่างกากกาแฟหลังชง ที่มีความชื้นเหลือน้อยกว่าร้อยละ 15 วิเคราะห์หาปริมาณกากใย (fiber) ปริมาณเส้นใยอาหาร (dietary fiber) พบว่ากะลากาแฟและกากกาแฟมีปริมาณกากใยเท่ากับ 50.46 และ 46.69 กรัมต่อตัวอย่าง 100 กรัม ตามลำดับ และมีปริมาณเส้นใยอาหารเท่ากับ 57.43 และ 70.35 กรัมต่อตัวอย่าง 100 กรัมต่อตัวอย่าง 100 กรัม ตามลำดับ และกะลากาแฟ มีปริมาณเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน เท่ากับ 20.83, 20.79 และ 8.83 กรัมต่อตัวอย่าง 100 กรัม ตามลำดับ และกากกาแฟมีปริมาณเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนินเท่ากับ 11.55, 23.07 และ 12.07 กรัมต่อตัวอย่าง 100 กรัม ตามลำดับ

สรุปผลการวิจัย

1. พัฒนาผลิตภัณฑ์เมล็ดกาแฟโครงการหลวงรูปแบบใหม่เสริมสารสกัดจากธรรมชาติด้วยเทคโนโลยีการแทรกซึมภายใต้สุญญากาศ

ทำการเตรียมสารสกัดจากธรรมชาติ 3 ชนิด ได้แก่ สารสกัดไอโซฟลาโวนจากจมูกถั่วเหลือง สารสกัดกาบาจากหอมหัวใหญ่ และสารสกัดคาเทชินจากใบชาเขียว จากนั้นทำการออกแบบระบบสารละลาย เพื่อนำสารสกัดทั้ง 3 ชนิดเข้าไปในเมล็ดกาแฟดิบด้วยเทคโนโลยีการแทรกซึมภายใต้สุญญาการ ที่สภาวะความดัน -0.5 บาร์ ระยะเวลาคงความดัน 30 นาที และระยะเวลาแช่ที่ความดันบรรยากาศ 30 นาที พบว่าสัดส่วนสารละลายสารสกัดจากธรรมชาติที่เหมาะสมประกอบด้วยสารไอโซฟลาโวน สารกาบา และสารคาเทชิน เท่ากับร้อยละ 60, 20 และ 20 ตามลำดับ 5.1.5 และกระบวนการแทรกซึมภายใต้สุญญากาศที่เหมาะสม ได้แก่ ระดับความดันสุญญากาศที่ -0.80 บาร์ ใช้ระยะเวลาคงความดันที่เป็นเวลา 60 นาที และระยะเวลาแช่เมล็ดกาแฟดิบที่ความดันบรรยากาศเป็นเวลา 60 นาที

2. พัฒนาผลิตภัณฑ์จากสารประกอบพันธะเชื่อมจากเมล็ดกาแฟอราบิก้าดิบโครงการหลวง

ทำการศึกษากระบวนการผลิตสารประกอบพันธะเชื่อมจากเมล็ดกาแฟดิบที่เหมาะสม พบว่า กระบวนการให้ความร้อนแบบเปียก (wet process) มีความเหมาะสมในการผลิตสารประกอบพันธะเชื่อมจากเมล็ดกาแฟมากที่สุด เนื่องจากสามารถผลิตสารประกอบพันธะเชื่อม และเป็นกระบวนการที่สามารถทำได้ง่ายและประหยัดต้นทุนมากที่สุด สำหรับกระบวนการให้ความร้อนแบบเปียก (wet process) ที่เหมาะสมได้แก่ ค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 8.88 โดยใช้อุณหภูมิ 86 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 วัน

3. พัฒนาผลิตภัณฑ์เพื่อสุขภาพจากกากกาแฟ

การเตรียมกากกาแฟที่เหมาะสมสำหรับนำไปสกัดน้ำมันกากกาแฟ พบว่า น้ำมันจากกากกาแฟที่ระดับการคั่วกลาง มีความเหมาะสมที่สุด เนื่องจากมีปริมาณคาเฟสตอลและคาห์วีออลสูงที่สุด และสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดน้ำมันกากกาแฟได้แก่ การสกัดโดยวิธี SC-CO_2 โดยใช้อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส และความดันเท่ากับ 200 บาร์ สำหรับกระบวนการสกัดที่เหมาะสมในการสกัดสารที่คงเหลือในกากกาแฟหลังสกัดน้ำมัน พบว่ากากกาแฟหลังสกัดที่สกัดด้วยน้ำมีความเหมาะสมและคุ้มค่าในการนำไปใช้ประโยชน์ หรือใช้เป็นแนวทางในการประยุกต์ใช้เป็นส่วนผสมในอาหารและเครื่องดื่มต่อไป

4. ศึกษาความเป็นไปได้ในการพัฒนาเยื่อเซลลูโลสสำหรับวัสดุกรองกาแฟหรือบรรจุภัณฑ์จากกะลากาแฟและกากกาแฟ

กะลากาแฟและกากกาแฟมีปริมาณกากใยเท่ากับ 50.46 และ 46.69 กรัมต่อตัวอย่าง 100 กรัม ตามลำดับ และมีปริมาณเส้นใยอาหารเท่ากับ 57.43 และ 70.35 กรัมต่อตัวอย่าง 100 กรัม ตามลำดับ กะลากาแฟ มีปริมาณเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน เท่ากับ 20.83, 20.79 และ 8.83 กรัมต่อตัวอย่าง 100 กรัม ตามลำดับ และกากกาแฟ มีปริมาณเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน

เท่ากับ 11.55, 23.07 และ 12.07 กรัมต่อตัวอย่าง 100 กรัม ตามลำดับ ซึ่งพบว่าในกากกาแฟมีความเป็นไปได้ในการผลิตสารเพิ่มความทนร้อนในพอลิเมอร์ เพื่อพัฒนาเป็นพลาสติกทนร้อนจากกากกาแฟ รวมถึงยังสามารถผลิตเป็นกระดาษกรอง เพื่อใช้ในการกรองกาแฟในกระบวนการชงกาแฟแบบดริป นอกจากนี้ ในกะลากาแฟยังมีความเป็นไปได้ในการผลิตไบโอพอลิเมอร์ชนิด food grade และยังสามารถผลิตเป็นสารเคลือบผลไม้ รวมถึงผลิตไบโอพอลิเมอร์ฟิล์มที่มีฤทธิ์ทางชีวภาพ

สถาบันวิจัยและพัฒนาพื้นที่สูง (องค์การมหาชน)
Highland Research and Development Institute (Public Organization)

Executive Summary

1. Introduction

Royal Project Foundation research and promotes arabica cultivation to stop the cultivation of addictive plants. Nowadays, there are varieties of coffee products including green coffee bean, roasted coffee bean, ground coffee bean, instant coffee, and other related coffee products. Therefore, it is necessary to develop coffee products that is unique in both of sensorial and functional properties from active ingredients such as amino acids, polysaccharides, and conjugated products. Besides, current coffee production process still has at lot of waste and by-products including coffee pulp, coffee husk and spent coffee ground. Those by-products were commonly used to make composts. Nonetheless, our initial founding had indicated that the spent coffee ground had high amount of remaining coffee oil which contained triacylglycerol and diterpenes. Those compounds have many biological functions, for instance, antimicrobial and antioxidant. Furthermore, the spent coffee ground after oil extract could still be use in conjunction with coffee husk. Thus, this research is aimed to study the value-adding process of Royal Project arabica coffee by-product differentiation with sensory and functional properties using the by-products of coffee industry to develop new products. The development includes the fortification of coffee bean using bio-active natural extract, amino acids, polysaccharides, and conjugated compounds

2. Objectives

1) To study and develop new products from Royal Project from natural extracts
2) To study and develop product from conjugated compounds form Royal Project green coffee bean
3) To study and develop product from by-product form production and consumption of coffee

3. Results

3.1 New Royal Project coffee bean product development by fortification of natural extracts using vacuum impregnation

3.1.1 Production of isoflavone aglycone and GABA

Isoflavone extract form soy gem contained both glucoside and aglycone forms. Isoflavone glucosides included Daidzin, Genistin and Glycitin were 27.18, 111.08 and 25.01 micrograms per milliliter, respectively. For Isoflavone aglycones, there were Daidzein, Genistein and Glycitein as 457.37, 433.57 and 102.43 micrograms per milliliter,

respectively. GABA was produced from fermented *Micrococcus varians* in onion extract for 6 days. The obtained extract contained GABA as 2.81 milligrams per milliliter.

3.1.2 Catechin extraction from green tea leave with water

Catechin extract from green tea leaves with water contained the amount of catechin in range of 0.00-71.96 micrograms per milliliter and epicatechin in range of 15.96-454.97 micrograms per milliliter. Process optimization showed that the optimal condition for the extraction was 89.47 degree Celsius, 60 minutes and the ratio of green tea leaves to water was 1:10.

3.1.3 Mixture design of natural extracts

Mixture design of isoflavone, GABA and catechin extracts for vacuum impregnation process at -0.5 bar for 30 minutes and duration of immersion in atmospheric pressure was 30 minutes resulted in coffee bean with 325-366.18 micrograms per gram of GABA, 14.94-18.60 milligrams per gram of catechin, 78.58-110.00 milligrams per gram of epicatechin. Glycitein, Daidzein and total isoflavone having statistical difference. The optimization showed that the ratio of isoflavone, GABA and catechin is 60%, 20, and 20%, respectively.

3.1.4 Vacuum impregnation process optimization for fortification of total isoflavone GABA and catechins in green arabica coffee bean

Vacuum pressure, time at vacuum and time at atmospheric pressure were varied. The results showed that green coffee beans did not contain isoflavone glucosides but contained isoflavone aglycones with 0.00-75.83 micrograms per gram of Daidzein, 0.00-66.56 micrograms per gram of Glycitein and 0.00-8.56 micrograms per gram of Genistein. The GABA was found in between 276.71-804.77 micrograms per gram. Catechin was in between 14.56-19.15 milligrams per gram and epicatechin was 85.19-186.54 milligrams per gram. The optimization found that the suitable process condition for vacuum impregnation process was -0.80 bar of vacuum pressure for 60 minutes then submerged at atmospheric pressure for 60 minutes.

3.2 Conjugated compound product development form Royal Project arabica coffee bean

3.2.1 Suitable conjugation process for production of conjugated green coffee bean extract

Various conjugation processes were studied. Conjugation by wet process and plasma had amounts of chlorogenic acids and reducing sugars less than control. Extract from plasma treatment had the smallest amount of total amino acid. SDS-PAGE results showed that treatments by wet process, pulse electric field and plasma could generate

conjugate compounds as shown by the peptide band at 250 kDa. When considering the amount of bioactive compound and production cost, wet process was chosen as the best process for production of conjugate compounds.

3.2.2 Optimization of conjugated compound production process

pH, Temperature, and time were varied to optimize the production process. The results showed that the optimal wet process condition was at pH 8.88 and 86 degree Celsius for 1 day.

3.3 Functional product development form spent coffee ground

3.3.1 Suitable pretreatment method for coffee oil extraction from spent coffee ground

Four roasting levels were studied: light, medium, dark, and extra dark. The results showed that light roast and medium roast had similar level of cafestol and kahweol. Light roast contained 7.89 grams of oil with 2.76 and 54.86 milligrams of cafestol and kahweol, respectively. Medium roast contained 10.12 grams of oil with 2.96 and 59.97 milligrams of cafestol and kahweol, respectively. Therefore, the most suitable roast level is medium.

3.3.2 Optimization of coffee oil extraction from spent coffee ground

Three extraction process were compared: Soxhlet extraction with hexane (SOX), hydro distillation (HD) and supercritical carbon dioxide extraction (SC-CO_2). Supercritical carbon dioxide extraction (SC-CO2) was studied by varying temperature between 35-65 degree Celsius and pressure between 100-200 bar. The results showed the amount of oil in between 0.40-9.84% yield, and cafestol and kahweol in range of 25.73-42.24 and 412.60-796.34 milligrams per 100 grams of oil. The optimal process condition with highest bioactive compounds was at 35 degree Celsius and 200 bar.

3.3.3 Optimization of bioactive compound extraction from spent coffee ground after oil extraction

The residue of bioactive compounds was extracted by 2 processes: water extraction and ethanol extraction. Water extraction was performed at 30-100 degree Celsius and 30-120 minutes. Ethanol extraction was performed with ethanol concentration between 40-95%. The resulting extracts from water and ethanol contained oil at 0.62-0.92% and 0.39-1.01%, respectively. The optimal process for spent coffee ground extraction with water was 92 degree Celsius for 104 minutes. The resulting extract contained high amount of total phenolic compounds and antioxidant activities as shown by DPPH and ABTS assays. While the best condition for extraction

by ethanol is using 60% ethanol, which had the high amount of total phenolic compounds and antioxidant activities as shown by DPPH and ABTS assays.

3.4 Feasibility study of development of cellulose fiber from coffee husk and spent coffee ground for filter material and packaging

Analysis of coffee husk and spent coffee ground constitution

Coffee husk with less that 10% moisture content and spent coffee ground after brewing with less than 15% moisture content were analyzed for fiber and dietary fiber. The results showed that fiber contained in coffee husk and spent coffee ground were 68.48 and 25.80 grams per 100 grams, respectively, while their dietary fiber were 57.43 and 70.35 grams per 100 grams, respectively. Additionally, coffee husk had amounts of cellulose, hemicellulose, and lignin at 20.83, 20.79 and 8.83 grams per 100 grams, respectively. On the other hand, spent coffee ground contained 11.55, 23.07 and 12.07 grams per 100 grams, respectively.

Conclusion

1. New Royal Project coffee bean product development by fortification of natural extracts using vacuum impregnation

Preparation of 3 natural extracts consist of isoflavone from soy germ, GABA from onion extracts and catechins from green tea leaves. Then, mixture of natural extracts was designed. The extracts were used in the vacuum impregnation process of green coffee bean at -0.5 bar for 30 minutes and duration of immersion in atmospheric pressure was 30 minutes. The optimization showed that the ratio of isoflavone, GABA and catechins is 60%, 20, and 20%, respectively. The optimal process for vacuum impregnation was vacuum pressure at -0.80 bar for 60 minutes, then submerged at atmospheric pressure for 60 minutes.

2. Conjugated compound product development form Royal Project arabica coffee bean

Various conjugate reaction was studied. The results showed that the suitable process for conjugate compound production from green coffee bean extract was wet process, because it was simple and the most cost effective in producing conjugate compounds. The optimal condition for producing conjugate compound from wet process was at pH 8.88 and 86 degree Celsius for 1 day.

3. Functional product development form spent coffee ground

Study of pretreatment method for coffee oil extraction from spent coffee ground showed that medium roasted coffee ground was chosen because of highest level of cafestol and kahweol. The optimal process condition for oil extraction from spent coffee ground was supercritical carbon dioxide extraction (SC-CO_2) at 35 degree Celsius and 200 bars. Therefore, optimization of bioactive compounds extraction from spent coffee ground after oil extraction showed that water extraction contained oil at 0.62-0.92%. Ethanol extraction contained oil at 0.39-1.01%. For the suitable extraction process for spent coffee ground after oil extraction, I was found that water extraction is the most suitable and feasible for utilization and could be applied as food ingredient for food and beverages.

4. Feasibility study of development of cellulose fiber from coffee husk and spent coffee ground for filter material and packaging

The results showed that fiber contained in coffee husk and spent coffee ground were 68.48 and 25.80 grams per 100 grams, respectively, while their dietary fiber were 57.43 and 70.35 grams per 100 grams, respectively. Coffee husk had amounts of cellulose, hemicellulose, and lignin at 20.83, 20.79 and 8.83 grams per 100 grams, respectively. On the other hand, spent coffee ground contained 11.55, 23.07 and 12.07 grams per 100 grams, respectively. These findings indicated that it is possible for using spent coffee ground to produce heat resistant polymers that can be used as a raw material for heat resistant plastic. It could also be used to produced filter paper for drift coffee. Besides, coffee husk could also be used to produce food grade biopolymer and fruit coatings as well as bioactive polymer films.

.

สถาบันวิจัยและพัฒนาพื้นที่สูง (องค์การมหาชน) Highland Research and Development Institute (Public Organization)

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
คณะผู้วิจัย	ข
บทสรุปผู้บริหาร	ง
Executive Summary	ญ
สารบัญ	ฒ
สารบัญภาพ	ด
สารบัญตาราง	ถ
บทคัดย่อ	ธ
Abstract	บ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ปัญหาหลักที่ต้องการศึกษาและความสำคัญของเรื่อง	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	3
1.3 ขอบเขตของการศึกษา	3
บทที่ 2 การตรวจเอกสาร	4
2.1 กาแฟอราบิก้า (*Coffea arabica* L.)	4
2.2 องค์ประกอบของเมล็ดกาแฟดิบ	4
2.3 องค์ประกอบของสารให้กลิ่นในกาแฟ	5
2.4 การคั่วกาแฟ	6
2.5 การชงกาแฟ	6
2.6 กระบวนการเกิดสารประกอบพันธะเชื่อม (conjugate reaction)	7
2.7 กากกาแฟ (spent coffee ground)	8
2.8 ไอโซฟลาโวน (isoflavones)	11
2.9 บทบาทของไอโซฟลาโวนต่อสุขภาพ	13
2.10 กรดแกมมาอะมิโนบิวทีริกหรือกาบา (gamma amino butyric acid, GABA)	15
2.11 แหล่งกรดกลูตามิกหรือกลูตาเมตจากวัตถุดิบธรรมชาติ	16
2.12 แหล่งเอนไซม์กลูตาเมตดีคาร์บอกซีเลสจากเชื้อแบคทีเรียแลคติก	16
2.13 คาเทชิน (cathechin)	17
2.14 กะลากาแฟ (coffee parchment)	18

สถาบันวิจัยและพัฒนาพื้นที่สูง (องค์การมหาชน) Highland Research and Development Institute (Public Organization)

สารบัญ (ต่อ)

บทที่ 3 วิธีการวิจัย 20

3.1 วิธีวิจัย 20

1) กิจกรรมที่ 1 การพัฒนาผลิตภัณฑ์เมล็ดกาแฟโครงการหลวงรูปแบบใหม่เสริมสารสกัดจากธรรมชาติด้วยเทคโนโลยีการแทรกซึมภายใต้สุญญากาศ 20

2) กิจกรรมที่ 2 การพัฒนาผลิตภัณฑ์จากสารประกอบพันธะเชื่อมจากเมล็ดกาแฟอราบิก้าดิบโครงการหลวง 23

3) กิจกรรมที่ 3 การพัฒนาผลิตภัณฑ์เพื่อสุขภาพจากกากกาแฟ 26

4) กิจกรรมที่ 4 การศึกษาความเป็นไปได้ในการพัฒนาเยื่อเซลลูโลสสำหรับวัสดุกรองกาแฟหรือบรรจุภัณฑ์จากกะลากาแฟและกากกาแฟ 29

3.2 สถานที่ดำเนินงานการวิจัย 29

บทที่ 4 ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล 30

4.1 การพัฒนาผลิตภัณฑ์เมล็ดกาแฟโครงการหลวงรูปแบบใหม่เสริมสารสกัดจากธรรมชาติด้วยเทคโนโลยีการแทรกซึมภายใต้สุญญากาศ 30

4.2 การพัฒนาผลิตภัณฑ์จากสารประกอบพันธะเชื่อมจากเมล็ดกาแฟอราบิก้าดิบโครงการหลวง 52

4.3 การพัฒนาผลิตภัณฑ์เพื่อสุขภาพจากกากกาแฟ 66

4.4 การศึกษาความเป็นไปได้ในการพัฒนาเยื่อเซลลูโลสสำหรับวัสดุกรองกาแฟหรือบรรจุภัณฑ์จากกะลากาแฟและกากกาแฟ 84

บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย 85

เอกสารอ้างอิง 87

ตารางสรุปเปรียบเทียบผลงานวิจัยกับแผนงานวิจัย 99

สถาบันวิจัยและพัฒนาพื้นที่สูง (องค์การมหาชน) Highland Research and Development Institute (Public Organization)

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 โครงสร้างทางเคมีของคาเฟสตอลและคาห์วิออล	9
2.2 ลักษณะโครงสร้างของไอโซฟลาโวนชนิดต่างๆ	12
2.3 การสังเคราะห์ GABA จากกลูตาเมต	16
4.1 ตัวอย่างเมล็ดกาแฟดิบจากมูลนิธิโครงการหลวง	30
4.2 กระบวนการผลิตสารไอโซฟลาโวนจากจมูกถั่วเหลือง	31
4.3 กระบวนการผลิตสารกาบาจากหอมหัวใหญ่	34
4.4 ขั้นตอนการสกัดสารคาเทชินจากใบชาเขียวด้วยน้ำ	36
4.5 พื้นที่ตอบสนองของสมการความสัมพันธ์ของอุณหภูมิ เวลา และอัตราส่วนใบชาต่อน้ำ	40
4.6 อุณหภูมิ เวลา และอัตราส่วนใบชาต่อน้ำในการสกัดที่เหมาะสม	41
4.7 ขั้นตอนกระบวนการแทรกซึมภายใต้สุญญากาศ	42
4.8 พื้นที่ตอบสนองของสมการความสัมพันธ์ของปริมาณสารไอโซฟลาโวน สารกาบา และสารคาเทชิน ในระบบสารละลายสารสกัดจากธรรมชาติ	47
4.9 ปริมาณสารไอโซฟลาโวน สารกาบา และสารคาเทชินที่เหมาะสม ในระบบสารละลายสารสกัดจากธรรมชาติ	48
4.10 ปริมาณสารต่างๆ ในเมล็ดกาแฟดิบหลังผ่านกระบวนการแทรกซึมภายใต้สุญญากาศ ในแต่ละปัจจัย	53
4.11 กระบวนการสกัดสารประกอบพันธะเชื่อมจากเมล็ดกาแฟดิบ	
4.12 สารประกอบพันธะเชื่อมที่ผ่านกระบวนการต่างๆ	53
4.13 แถบพอลิเพปไทด์บน SDS-PAGE ของสารประกอบพันธะเชื่อมที่ผ่านกระบวนการต่างๆ	57
4.14 สารสกัดก่อนผ่านกระบวนการให้ความร้อนแบบเปียก	59
4.15 แถบพอลิเพปไทด์บน SDS-PAGE ของสารสกัดก่อนผ่านกระบวนการให้ความร้อนแบบเปียก	60
4.16 สารสกัดที่ผ่านกระบวนการให้ความร้อนแบบเปียก (wet process)	61
4.17 พื้นที่ตอบสนองของการสกัดต่อปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด	63
4.18 สภาวะที่เหมาะสมในการผลิตสารประกอบพันธะเชื่อม โดยการให้ความร้อนแบบเปียก (wet process)	64
4.19 แถบพอลิเพปไทด์บน SDS-PAGE ของสารประกอบพันธะเชื่อมที่ผ่านสภาวะที่เหมาะสม	65
4.20 เมล็ดกาแฟคั่วที่ระดับต่างๆ (ก. สารกาแฟ เกรด A (ตามมาตรฐานของโครงการหลวง), ข. คั่วอ่อน, ค. คั่วกลาง, ง. คั่วเข้ม และ จ. คั่วเข้มมาก)	66
4.21 ขั้นตอนการเตรียมกากกาแฟ	68
4.22 พื้นที่การตอบสนองของปริมาณร้อยละผลได้ของกากกาแฟที่ผันแปรตามอุณหภูมิและความดัน	74
4.23 สภาวะที่เหมาะสมสำหรับการสกัดน้ำมันกากกาแฟโดยวิธี SC-CO_2	75

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4.24 พื้นที่ตอบสนอง (ก) ค่าสี a* (ข) ปริมาณน้ำมัน (ค) ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก (ง) สมบัติการต้านออกซิเดชันโดยวิธี DPPH และ (จ) สมบัติการต้านออกซิเดชันโดยวิธี ABTS	78
4.25 สภาวะการสกัดกากกาแฟหลังสกัดด้วยน้ำที่เหมาะสม	80
4.26 ตัวอย่าง (ก) กากกาแฟ (ข) กะลากาแฟ	84

สถาบันวิจัยและพัฒนาพื้นที่สูง (องค์การมหาชน) Highland Research and Development Institute (Public Organization)

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 สารให้กลิ่นจาก MRPs	8
3.1 แผนการทดลองแบบ 2^3 Factorial experiment design with 3 center points ในการสกัดสารคาเทชินจากใบชาเขียวด้วยน้ำ	21
3.2 แผนการทดลองแบบ Mixture design ในการออกแบบส่วนผสมของระบบสารละลายสารสกัดจากธรรมชาติ	22
3.3 แผนการทดลองการพัฒนากระบวนการผลิตสารประกอบพันธะเชื่อมที่เหมาะสม	24
3.4 แผนการทดลองแบบ 2^2 Factorial experiment design with 3 center points ในการสกัดสารประกอบพันธะเชื่อมโดยวิธีการให้ความร้อนแบบเปียก (wet process)	25
3.5 แผนการทดลองแบบ 2^2 Factorial experiment design with 2 center points ในการสกัดน้ำมันจากกากกาแฟด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ภายใต้สภาวะวิกฤตยิ่งยวด	27
3.6 แผนการทดลองแบบ 2^2 Factorial experiment design with 2 center points ในการสกัดกากกาแฟด้วยน้ำ	28
4.1 ปริมาณไอโซฟลาโวนในสารสกัดจากจมูกถั่วเหลือง	32
4.2 ปริมาณสารกาบาและปริมาณกรดกลูตามิกในสารละลายจากหอมหัวใหญ่ (มิลลิกรัมต่อสารสกัด 1 มิลลิลิตร)	35
4.3 แผนการทดลองแบบ 2^3 Factorial experiment design with 3 center points ในการสกัดสารคาเทชินจากใบชาเขียวด้วยน้ำ	37
4.4 ปริมาณคาเทชินและอิพิคาเทชินในการแปรผันอุณหภูมิ เวลา และอัตราส่วนใบชาต่อน้ำในการสกัด	38
4.5 สมการความสัมพันธ์การแปรผันอุณหภูมิ เวลา และอัตราส่วนใบชาต่อน้ำในการสกัดที่มีผลต่อปริมาณคาเทชินและปริมาณอิพิคาเทชิน	39
4.6 ขอบเขตของปัจจัยที่ศึกษาและขอบเขตของคุณลักษณะที่ต้องการในการศึกษาอุณหภูมิ เวลา และอัตราส่วนใบชาต่อน้ำที่เหมาะสม	40
4.7 แผนการทดลองแบบ Mixture design ในการออกแบบส่วนผสมของระบบสารละลายสารสกัดจากธรรมชาติ	43
4.8 ปริมาณไอโซฟลาโวนในเมล็ดกาแฟดิบที่ผ่านกระบวนการแทรกซึมภายใต้สุญญากาศเมื่อแปรผันปริมาณสารไอโซฟลาโวน สารกาบา และสารคาเทชิน	44
4.9 ปริมาณสารกาบา สารคาเทชิน และอิพาคาเทชินของตัวอย่างที่ผ่านกระบวนการแทรกซึมภายใต้สุญญากาศ เมื่อแปรผันปริมาณสารไอโซฟลาโวน สารกาบา และสารคาเทชิน	45
4.10 สมการความสัมพันธ์การแปรผันปริมาณสารไอโซฟลาโวน สารกาบา และสารคาเทชินในระบบสารละลายสารสกัดจากธรรมชาติ	46
4.11 ขอบเขตของปัจจัยที่ศึกษาและขอบเขตของคุณลักษณะที่ต้องการในการศึกษาปริมาณสารไอโซฟลาโวน สารกาบา และสารคาเทชินที่เหมาะสม	48

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.12 ผลของปริมาณสารต่างๆ ในเมล็ดกาแฟดิบหลังผ่านกระบวนการแทรกซึมภายใต้สุญญากาศในแต่ละปัจจัย	50
4.13 แผนการทดลองการพัฒนากระบวนการผลิตสารประกอบพันธะเชื่อมที่เหมาะสม	53
4.14 ปริมาณกรดคลอโรจินิก น้ำตาลรีดิวซ์ และกรดอะมิโนทั้งหมดในสารประกอบพันธะเชื่อม	54
4.15 ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด และค่าการต้านออกซิเดชันด้วย DPPH readical scavenging activity assay ในสารประกอบพันธะเชื่อม	54
4.16 ปริมาณกรดอะมิโนจำนวน 17 ชนิด ที่พบในสารประกอบพันธะเชื่อม	56
4.17 ปริมาณกรดอะมิโนจำนวน 17 ชนิด ที่พบในสารประกอบพันธะเชื่อม (ต่อ)	56
4.18 แผนการทดลองแบบ 2^3 Factorial experimental design with 3 center points ในการสกัดสารประกอบพันธะเชื่อมโดยวิธีการให้ความร้อนแบบเปียก (wet process)	58
4.19 ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด ค่าการต้านออกซิเดชัน DPPH และ และปริมาณกรดอะมิโนอิสระ ของสารสกัดก่อนผ่านกระบวนการให้ความร้อนแบบเปียก (wet process)	59
4.20 ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด ค่าการต้านออกซิเดชัน DPPH และ และปริมาณกรดอะมิโนอิสระ ของสารสกัดที่ผ่านกระบวนการให้ความร้อนแบบเปียก (wet process)	62
4.21 สมการความสัมพันธ์การแปรผันของค่าความเป็นกรด-ด่าง อุณหภูมิและระยะเวลาในการสกัดที่มีผลต่อค่าคุณภาพ	63
4.22 ขอบเขตของปัจจัยที่ศึกษาและขอบเขตของคุณลักษณะที่ต้องการในการศึกษาปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด เมื่อแปรผันค่าความเป็นกรด-ด่าง อุณหภูมิ และเวลาในการสกัด	64
4.23 คุณลักษณะทางกายภาพ และทางเคมีของน้ำมันกากกาแฟที่ระดับการคั่วแตกต่างกัน	70
4.24 คุณลักษณะทางกายภาพ และทางเคมีของกากกาแฟหลังสกัด	71
4.25 กระบวนการและสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดน้ำมันกากกาแฟ	73
4.26 สมการความสัมพันธ์ของอุณหภูมิ และความดันในการสกัดน้ำมันกากกาแฟ	74
4.27 คุณภาพทางกายภาพ และทางเคมีของกากกาแฟหลังสกัดที่สกัดด้วยน้ำ	76
4.28 คุณภาพทางกายภาพ และทางเคมีของกากกาแฟหลังหสัดที่สกัดด้วยน้ำ (ต่อ)	76
4.29 สมการความสัมพันธ์ของอุณหภูมิ และเวลาในการสกัดกากกาแฟหลังสกัดที่สกัดด้วยน้ำ	77
4.30 ขอบเขตของปัจจัยที่ศึกษาและขอบเขตของคุณลักษณะที่ต้องการในการศึกษาค่าคุณภาพเมื่อแปรผันอุณหภูมิและเวลาในการสกัด	79
4.31 คุณภาพทางกายภาพ และทางเคมีของกากกาแฟหลังสกัดที่สกัดด้วยเอทานอล	81
4.32 คุณภาพทางกายภาพ และทางเคมีของกากกาแฟหลังสกัดที่สกัดด้วยเอทานอล (ต่อ)	81
4.33 ค่าคุณภาพต่างๆ ของกากกาแฟหลังสกัดเปรียบเทียบทั้ง 2 วิธี	82