การพัฒนาการหมักกาแฟอะราบิกาแบบครบวงจรมุ่งสู่ระบบเศรษฐกิจหมุนเวียน

Development on Arabica Coffee Fermentation technology on Bio-Circular Green Economical approach

โกเมศ สัตยาวุธ[1] สุกัญญา นิติยนต์[1] กนกศักดิ์ ลอยเลิศ[1]

ฉัตต์นภา ข่มอาวุธ[2] สุภัทรา เลิศวัฒนาเกียรติ[3]

Komate Satayawut[1] Sukanya nitiyon[1] Karnoksak Loylert[1]

Chatnapa Khomarwut[2] Supattra Lertwattanakiat[3]

บทคัดย่อ

การหมักกาแฟอะราบิกาโดยจุลินทรีย์ถือเป็นนวัตกรรมการพัฒนากลิ่นรสกาแฟคุณภาพที่ได้รับการยอมรับในปัจจุบัน อย่างไรก็ตามยังพบปัญหาในกระบวนการหมักให้ควบคุมได้และมีความสม่ำเสมอของผลผลิต การไม่มีเชื้อจุลินทรีย์ที่ใช้ในการหมัก ปัญหาด้านแรงงาน เวลา การใช้ทรัพยากรน้ำที่สิ้นเปลืองรวมทั้งของเสียจากการหมักที่ถูกทิ้งให้เป็นมลภาวะก่อให้เกิดปัญหาระหว่างเกษตรกรและชุมชนข้างเคียง ซึ่งหัวใจสำคัญของการหมักกาแฟคือ จุลินทรีย์ที่ใช้ในการหมักเมือกกาแฟ ได้แก่ ยีสต์ และ แบคทีเรีย ที่ผลิตกลิ่นรส โครงการพัฒนาการหมักกาแฟอะราบิกาแบบครบวงจรจึงพัฒนากระบวนการหมักกาแฟให้มีประสิทธิภาพรูปแบบใหม่ด้วยการหมักกาแฟโดยเทคนิค AAF (Acid-Air-Flore Techniques) หรือการหมักโดยเชื้อจุลินทรีย์ *Saccharomyces cerevisiae* strain BAwine แบบเติมอากาศและปรับกรด ที่สามารถควบคุมการหมักให้เสร็จภายในเวลา 18 ชั่วโมงมีการผลิตกลิ่นรสผลไม้ นอกจากนี้มีการใช้จุลินทรีย์ *Pichia kluyveri* strain Pro-Y15 ในการหมักแบบไม่เติมอากาศที่มีศักยภาพดีในพื้นที่สูงและพัฒนากลิ่นรสกลุ่มช็อคโกแลต และกระบวนการหมักแบบจำลองทางเดินอาหารสัตว์โดยเชื้อที่คัดแยกจากชะมดที่สามารถพัฒนากลิ่นรสนมเนยให้กาแฟได้ ทั้งนี้มีการพัฒนาเครื่องช่วยหมักกาแฟทำให้ควบคุมการหมักง่ายโดยใช้หลักการของอากาศแบบยก มีการควบคุมการเติมอากาศและป้องกันการปนเปื้อนของเชื้อจุลินทรีย์นอกสภาวะการหมัก ต้นทุนต่ำและกำลังการผลิตไม่น้อยกว่า 50 กิโลกรัมต่อครั้ง ส่วนเหลือใช้จากการหมักกาแฟอันได้แก่ เปลือกหุ้มเมล็ดกาแฟ เมือกกาแฟ และน้ำเสียจากการหมักกาแฟมีการนำไปวิเคราะห์และนำไปใช้ประโยชน์ โดยเฉพาะเปลือกหุ้มเมล็ดกาแฟที่มีกรดอินทรีย์สูงสามารถพัฒนาเป็นสารปรุงแต่งรสได้เมื่อผ่านการหมักแบบกึ่งแห้งโดยเชื้อ *Streptoccocus spp.* และหากนำเชื้อ *Aspergillus niger* หมักสารสกัดที่ความเข้มข้นร้อยละ ๔๐จะมีผลยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อก่อโรคแอนแทรคโนสในกาแฟ เมือกกาแฟมีเพคตินเป็นองค์ประกอบเพคตินสำคัญนั้นสามารถนำมาผลิตสารเคลือบผลไม้เพื่อยืดอายุทดแทนสารเคมีสังเคราะห์ที่มีต้นทุนสูง นอกจากนี้มีการศึกษาการใช้น้ำหมักซ้ำเพื่อลดการใช้ทรัพยากรและกระบวนการบำบัดน้ำเสียโดยใช้พืชบำบัดก่อนปล่อยสู่แหล่งน้ำธรรมชาติลดปัญหามลพิษทางสิ่งแวดล้อมและข้อพิพาทจากชุมชน ทั้งนี้ผลการพัฒนาการหมักกาแฟอะราบิกาแบบครบวงจรเพื่อมุ่งแก้ไขปัญหาที่ตั้งไว้ ผ่านผลการทดลองที่มีการทดสอบในพื้นที่จริงและแปลงเกษตรกรไม่น้อยกว่า 7 จังหวัด เพื่อทดสอบความเป็นไปได้ในการต่อยอดสู่ระดับอุตสาหกรรมให้เกิดความยั่งยืน มีการสร้างเครือข่ายการผลิตกาแฟพรีเมี่ยมของกรมวิชาการเกษตร

---

[1] กองวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตร (Post-harvest and Processing Research and Development division)

[2] ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเกษตรแพร่ (Phrae agricultural research station)

[3] สถาบันวิจัยพืชสวน (Horticultural Research institute)

เพื่อสอดรับเทคโนโลยีและพัฒนา ต่อยอดให้ตอบโจทย์ความต้องการของเกษตรกร ป้องกันปัญหาที่สามารถเกิดได้ตลอดกระบวนการผลิตในอนาคต นวัตกรรมการหมักกาแฟอะราบิกาทั้งกระบวนการใหม่และต้นแบบผลิตภัณฑ์จากโครงการจึงทำให้เกษตรกรสามารถยกระดับคุณภาพกาแฟอะราบิกาให้มีมูลค่าเพิ่ม สร้างอัตลักษณ์เฉพาะตัว นอกจากนี้ยังมีการใช้ประโยชน์จากทรัพยากรจากฐานชีวภาพตอบโจทย์ธุรกิจชีวภาพเชิงสร้างสรรค์ตามนโยบายของภาครัฐกับการเพิ่มมูลค่าเศรษฐกิจการฐานชีวภาพแบบครบวงจร

คำหลัก : กาแฟอะราบิกา, การหมัก, จุลินทรีย์, ถังหมัก, วัสดุเหลือใช้, หลักการเศรษฐกิจหมุนเวียน

Abstract

Arabica fermentation valids as novel innovation for developing the flavor of coffee quality is known worldwide. However, there are still problems since incontrollable fermentation process, absence of microorganisms, labor problems, time consuming, wastewater resources, and polluted fermentation waste which related to the core of coffee fermentation ‘Microorganisms’ included yeast and bacteria. Arabica Coffee Fermentation Project had developed 3 new efficient coffee fermentation processes as follows: AAF techniques or oxidative fermentation using *Saccharomyces cerevisiae* strain BAwine with aerated and acidified. This technique reduces time consume to 18 hours with the production of fruit flavor. In addition, *Pichia kluyveri* strain Pro-Y15 was used in anaerobic fermentation with good potency at high altitudes and developed chocolate flavor. Thirdly, the bio-processing fermentation imitated the animal gastrointestinal model extracted from civet enhances milk and butter flavor to coffee. Pilot coffee fermenter has been developed in parallel to facilitate these processes by using the air-lifting principle. This pilot-fermenter model help aeration controlled and evitated microbial with affordable cost and the production capacity is at less 50 kg per process. Futhermore, coffee fermentation by-products, which are Coffee cherry pulp, Coffee mucile and coffee wastewater, were analyzed and utilized. Especially, coffee pulp with high organic acid was able to develop as a flavoring agent after solid-state fermentation by *Streptococus spp*., indeed if using *Aspergillus niger*, the extract could inhibit the growth of anthracnose pathogens in coffee. These technogy have been tested in coffee farm to realize the feasibility of extending to the industrial level for sustainability. Thai Premium Coffee network affected in Department of Agriculture has been established to support this technology, extend to meet the needs of farmers, prevent problems causing throughout the production process in the future. The innovation of Arabica coffee

fermentation, both new processes and product prototypes from the project, will enable farmers to raise the quality of arabica coffee to high value added, creating farmers' identity. Finally, whole process aims to meet the creative bio-business needs in accordance with government policies with an integrated Bio-Circular-Green economy community.

Keyword: Arabica, Fermentation, Microbial, Fermenter, Waste, Circular Economy

คำนำ

กาแฟเป็นเครื่องดื่มที่มีการบริโภคมากที่สุดในโลกรองจากน้ำ ประมาณการบริโภคกาแฟของโลกประมาณ 3.5 ล้านล้านแก้วต่อวัน โดยกาแฟมีการปลูกในพื้นที่กว่า 70 ประเทศทั่วโลก และมีผลผลิตมากกว่า 16 ล้านล้านปอนด์ต่อปี หัวใจของคุณภาพกาแฟคือการหมัก เพื่อพัฒนาคุณภาพสู่กาแฟระดับพรีเมี่ยมจะต้องหมักเพื่อเพิ่มปริมาณกรด พัฒนากลิ่นรสชาติ และรักษาสมดุลจุลินทรีย์ ซึ่งกลิ่นรสในกาแฟจากการหมักนั้นเกิดจากสารเคมีกว่า 1,500 ชนิดซึ่งเป็นสารให้กลิ่นกว่า 850 ชนิด สารให้กลิ่นเหล่านี้จะพบได้ในน้ำมันกาแฟและจะปรับเปลี่ยนตามกระบวนการหมักกาแฟ อย่างไรก็ตามยังมีวัสดุส่วนเหลือใช้จากหมักกาแฟปริมาณมาก ซึ่งเกิดตั้งแต่กระบวนการหลังการเก็บเกี่ยวกาแฟ ได้แก่ เปลือกหุ้มเมล็ดกาแฟ เมือกกาแฟ กะลากาแฟ ซิลเวอร์สกิน กากกาแฟ รวมทั้งน้ำเสียจากการผลิตกาแฟ โดยเปลือกหุ้มเมล็ดกาแฟนั้นถือเป็นส่วนเหลือใช้จากกระบวนการผลิตที่มีมากเป็นลำดับแรกหรือประมาณร้อยละ 60 ของผลผลิต เปลือกหุ้มเมล็ดกาแฟนี้ประกอบด้วยคาร์โบไฮเดรตร้อยละ 21-32 โปรตีนร้อยละ 5 - 15 ไขมันร้อยละ 2 – 7 และเกลือแร่ นอกจากนี้ยังมีสารสำคัญ ได้แก่ แทนนิน โพลีเฟนอลและคาเฟอีนร้อยละ 2 - 8 สารประกอบเพคตินร้อยละ 6.5 น้ำตาลรีดิวซ์ร้อยละ 12.4 และกรดคลอโรเจนิกร้อยละ 2.6 ซึ่งได้มีงานวิจัยการนำเปลือกหุ้มเมล็ดกาแฟไปใช้ประโยชน์เป็นวัสดุปลูกเห็ด และการทำปุ๋ยหมัก รวมทั้งการผลิตไบโอแกส ไบโอเอทานอล แต่การนำเปลือกหุ้มเมล็ดกาแฟไปใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมอาหารและการใช้สารสำคัญจากเปลือกหุ้มเมล็ดกาแฟยังมีไม่มากนัก โดยได้มีการทดลองนำเปลือกหุ้มเมล็ดมาหมักเป็นเครื่องดื่มและสามารถพัฒนาเป็นเครื่องดื่มฟองได้ผลเป็นอย่างดี ในการศึกษาเบื้องต้นพบว่า มีการเพิ่มขึ้นของปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระกลุ่มฟีนอลลิกและแทนนินที่สามารถพัฒนาต่อยอดสู่การใช้ประโยชน์เชิงพาณิชย์ในการเพิ่มมูลค่า และลดต้นทุนในการผลิตกาแฟตลอดจนการสร้างรายได้เสริมแก่เกษตรกรมากกว่าการทิ้งให้เป็นขยะในระหว่างการแปรรูปกาแฟ

การหมักกาแฟยังมีเมือกกาแฟและน้ำเสียจากการหมักกาแฟ ในขั้นตอนการหมักกาแฟนั้นเป็นขั้นตอนที่มีการใช้น้ำสูงมาก โดยการล้างถึงการหมักก่อให้เกิดน้ำเสียจากการผลิตในปริมาณมาก พบว่าในการผลิตกาแฟ 1 กิโลกรัมจะใช้น้ำในการล้างถึงการหมักอย่างต่ำ 200 ลิตร นอกจากนี้น้ำจากกระบวนการหมักยังมีปริมาณคาร์บอนจากผลผลิตกาแฟและขั้นตอนการแปรรูปในปริมาณสูงซึ่งอาจก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอย่างชัดเจน เดิมในการหมักกาแฟจะใช้ปริมาณน้ำ 20 ลูกบาศก์เมตรต่อกาแฟ 1 ตัน และในเทคโนโลยีการหมักกาแฟโดยใช้เชื้อจุลินทรีย์ แล้วใช้เครื่องขัดเมือกกาแฟ พบว่ามี

การใช้น้ำในการหมักกาแฟปริมาณ 1 ลูกบาศก์เมตรต่อกาแฟ 1 ตันในการขัดเมือกกาแฟ ทั้งนี้เมือกกาแฟและน้ำเสียจากการหมักกาแฟที่ได้กระบวนการผลิตนั้น เป็นประเด็นสำคัญที่จะส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอย่างมาก ได้ตรวจสอบคุณภาพเบื้องต้นของน้ำเสียจากการหมักกาแฟ พบปริมาณของสารประกอบอินทรีย์ที่สูงมากเกินค่ามาตรฐานที่จะปล่อยสู่สิ่งแวดล้อม สารอินทรีย์ดังกล่าวประกอบด้วยน้ำตาลหมักและโปรตีน ซึ่งระหว่างการหมักนั้นเพคตินที่ละลายน้ำที่เป็นเมือกกาแฟจะถูกย่อยด้วยเอนไซม์กลายเป็นเพคติน ขนาดเล็กหรือสารโอลิโกแซคคาไรท์ที่ละลายในสารละลายอัลคาไลท์ แต่ด้วยน้ำหมักมักมีความเป็นกรดสูงทำให้สารเพคตินที่ได้จากการหมักจะอยู่ในสภาพกรด และเมื่อมีปริมาณแคลเซียมและไอออนชนิดต่างๆปนอยู่มาก จะมีการฟอร์มเจลเป็นลักษณะของแคลเซี่ยมเพคเตท ทำให้ค่าบีโอดี (Biological Oxygen Demand) มีปริมาณสูงกว่า 20,000 มิลลิกรัมต่อลิตรจากการหมักในบ่อปกติและปริมาณสูงกว่า 8,000 มิลลิกรัมต่อลิตรจากการหมักในถังหมัก ซึ่งมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องบำบัดน้ำให้มีค่าบีโอดีต่ำกว่า 200 มิลลิกรัมต่อลิตรก่อนจะปล่อยคืนสู่ธรรมชาติ ดังนั้นในการบำบัดน้ำเสียจากการหมักกาแฟจึงเป็นสิ่งสำคัญในการจัดการโดยค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำให้เหมาะสม

ทั้งนี้การพัฒนาการหมักกาแฟอะราบิกาแบบครบวงจรนี้ มุ่งตอบโจทย์การขยายตัวของธุรกิจกาแฟในประเทศไทยที่มีการเติบโตสูงมากและการรักษาสิ่งแวดล้อม การใช้การหมักกาแฟเพื่อให้สอดคล้องตามระบบเศรษฐกิจหมุนเวียนพัฒนาการผลิตกาแฟสู่ระดับพรีเมี่ยมพร้อมนำส่วนเหลือใช้จากกระบวนการผลิตนำมาใช้ประโยชน์ จึงเป็นหนทางที่จะสามารถเพิ่มรายได้ให้เกษตรกรเพื่อต่อยอดการผลิตขั้นต้น พัฒนาการกระบวนการผลิตกาแฟที่ดี ส่งเสริมการลดต้นทุนการผลิต ลดระยะเวลาในการแปรรูป ป้องกันปัญหาด้านแรงงานลดลง ตลอดจนสามารถเสริมสร้าง ภาพลักษณ์ คุณภาพชีวิตและสิ่งแวดล้อม

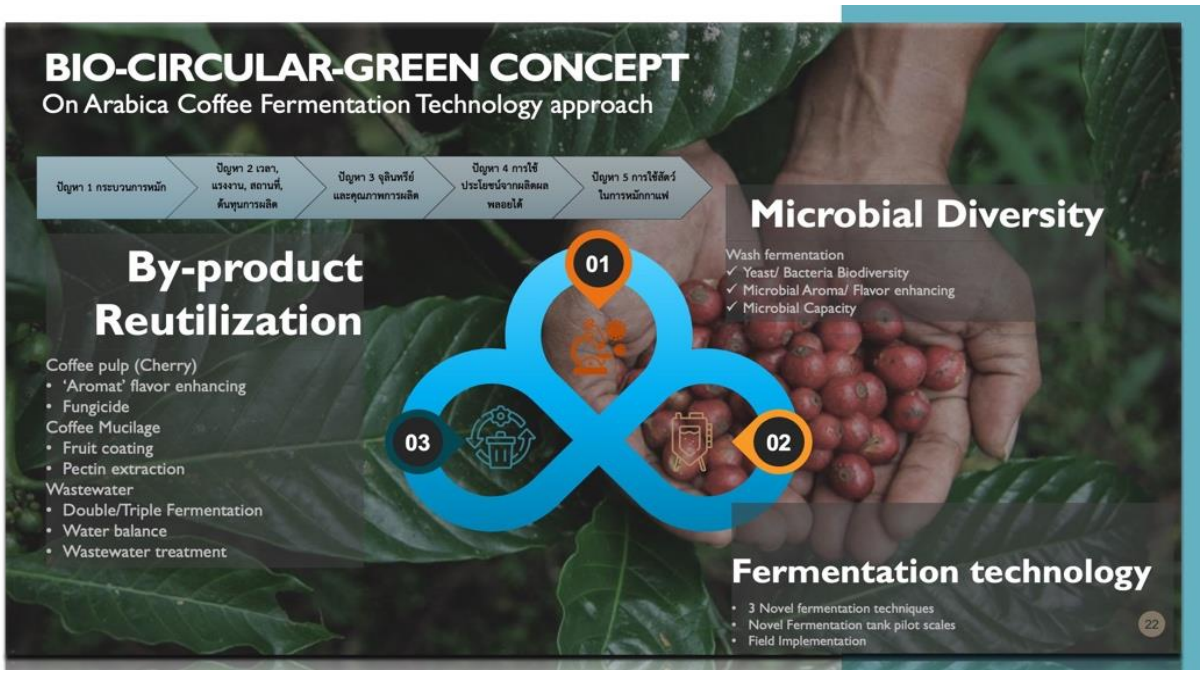


Figure 1 Summarize on Arabica Fermentation Technology according on BCG model

อุปกรณ์และวิธีการ

ขั้นตอนที่ 1 การพัฒนากระบวนการหมักกาแฟกาแฟอะราบิกาด้วยจุลินทรีย์ ศึกษาการเจริญเติบโตของแบคทีเรียและยีสต์ต่อผลของการหมักกาแฟอะราบิกา พัฒนาการหมักกาแฟอะราบิกาและตรวจสอบคุณภาพกาแฟจำนวน 3 กระบวนการ ได้แก่ (1.) การหมักกาแฟแบบเปียก ด้วยยีสต์ *Saccharomyces cerevisiae* strain BAwine โดยการแปรผันปัจจัยการเติมกรดทาทาริกตั้งแต่ 1 - 50 ppm และเติมอากาศ 5 – 10 ลิตรต่อนาทีตลอดเวลาการหมัก 12 – 72 ชั่วโมง (2.) การหมักกาแฟในระบบที่มีอากาศน้อย ด้วยยีสต์ *Pichia kluyveri* strain Pro-Y15 ร่วมกับการใช้แบคทีเรียแลคติกในธรรมชาติ แล้วศึกษาปัจจัยที่ส่งเสริมการเจริญของจุลินทรีย์และส่งผลต่อการเร่งการหมักเมือกกาแฟ ได้แก่ ปริมาณเกลือแอมโมเนียมซัลเฟต 5 – 50 ppm อุณหภูมิในการหมักที่ 10 – 30 องศาเซลเซียส และค่าความเป็นกรด-ด่างที่ 2.0 – 7.0 (3.) การหมักกาแฟโดยจำลองแบบระบบย่อยอาหารของสัตว์ด้วยยีสต์ที่คัดแยกจุลินทรีย์จากขี้ชะมดร่วมกับการใช้กรดเอนไซม์เปปซิน เอนไซม์จากตับอ่อน และทดสอบปัจจัยปริมาณกรดที่เหมาะสมระหว่าง 2.0 – 4.0 และเวลาที่เหมาะสมของการหมักระหว่าง 12 – 72 ชั่วโมง

ขั้นตอนที่ 2 การพัฒนาต้นแบบเครื่องหมักกาแฟ ดัดแปลงเครื่องช่วยหมักขนาด 20 ลิตรโดยใช้หลักการของ single-stage pilot plan ดัดแปลงตามวิธีของ Bartlett and Gerhandt (1989) ประกอบด้วย 3 ส่วนได้แก่ ชุดปั๊มอากาศ ถังหมัก และชุดเก็บตัวอย่างน้ำหมัก และทดสอบการหมักแบบ twin-batch competition ตลอดจนศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อการใช้ถังหมักในสถานีวิจัยและแปลงเอกชน

ขั้นตอนที่ 3 ศึกษาการใช้ส่วนเหลือใช้จากการหมักกาแฟ ได้แก่ (1.) เปลือกหุ้มเมล็ดกาแฟ เพื่อเป็นสารสกัดที่ใช้ยับยั้งเชื้อรา *Colletotrichum gleosporoides* ด้วยวิธี Broth Dilution Technique และการผลิตกรดซิตริกด้วย *Streptococcus* spp. ในเครื่องปรุงรส Aromat (2.) เมือกกาแฟเพื่อนำมาสกัดเพคตินในการทดสอบการเคลือบผิวส้ม (3.) น้ำหมักกาแฟจากการหมักเพื่อใช้ซ้ำและดัดแปลงระบบบำบัดน้ำเสียจำนวน 5 ขั้นตอน ได้แก่ บ่อรวบรวมน้ำหมัก บ่อตกตะกอน บ่อกรอง บ่อเติมอากาศและบ่อพืชบำบัด

ขั้นตอนที่ 4 การส่งเสริมการหมักกาแฟอะราบิกาในกลุ่มเกษตรกรพรีเมี่ยมสู่ระบบเศรษฐกิจหมุนเวียน ในพื้นที่ 7 จังหวัดได้แก่ เชียงใหม่ เชียงราย ตาก เพชรบูรณ์ เลย ชุมพรและสตูล กลุ่มเกษตรกรเป้าหมายรายจังหวัด 280 ราย และเกษตรกรต้นแบบ 8 ราย โดยพัฒนาการหมักกาแฟด้วยจุลินทรีย์ 3 รูปแบบ การส่งเสริมการใช้ประโยชน์จากวัสดุเหลือใช้เพื่อนำกลับมาใช้ในกระบวนการผลิตลดต้นทุน การวางเครือข่าย Research-Farmer-Entrepreneurship เพื่อส่งเสริมการขายและการวางแผนธุรกิจ

ผลการทดลองและวิจารณ์

1.การพัฒนากระบวนการหมักกาแฟอาราบิกาด้วยจุลินทรีย์

เชื้อยีสต์มีการเจริญเติบโตร่วมกับแบคทีเรียอย่างรวดเร็วใน 24 ชั่วโมงแรก โดยจะพบการลดลงของปริมาณเมือกอย่างต่อเนื่องเมื่อความเป็นกรดด่างลดลงต่ำกว่า 4.5 เชื้อยีสต์จะเจริญเติบโตสูงสุดในระบบหมักที่จำนวนเซลล์ 6.95 log CFU/ml จากนั้นแบคทีเรียแลคติกจะเพิ่มขึ้นจนถึงในช่วงท้ายของการหมักซึ่งจะเป็นกลุ่มเดียวกับ Enterobactor ที่ผลิตกรดแลคติก โดยกระบวนการหมักเมือกหรือเพคตินนี้เมื่อศึกษาโดยการใช้กล้องจุลทรรศน์แบบส่งกราด (SEM) เคลือบเมือกด้วยสาร Ruthidiam Red จะอธิบายด้วยกระบวนการ “Polysaccharide modification” หรือการย่อยผนังเซลล์พืชด้วยจุลินทรีย์ ทำให้สภาพสารละลายมีความเป็นกรดสูง และเมือกกาแฟหลุดออกมาจากกระบวนการของจุลินทรีย์ โดยพบจุลินทรีย์ที่คุณสมบัติดังกล่าว ได้แก่ *S. cerevisiae* strain BAwine ที่สามารถพัฒนาเทคนิคใหม่ AAF techniques (Acid-Air-Flor Techniques) ในการหมักโดยปรับกรดระหว่างการหมักโดยกรดทาทาริกที่ 20 ppm และเติมอากาศที่ 6 ลิตรต่อนาที สามารถลดเวลาการหมักได้ที่ 18 ชั่วโมง และการใช้น้ำมากกว่าร้อยละ 200 โดยเมื่อทดสอบด้วยเทคนิค HS-SPME-GC-MS พบสารให้กลิ่นกลุ่มผลไม้ (fruity) ประกอบด้วยกรดอินทรีย์และเอสเทอร์ และคะแนนการทดสอบการชิมสูงถึง 83 - 85/100 จัดเป็นเกรดกาแฟพิเศษ (Specialty coffee) มีค่าความเป็นกรดโดยรวม (Total Acidity in tartaric acid) เฉลี่ย 0.02% (STD: 0) ในขณะที่ค่าความเป็นกรดด่าง (pH) 5.20 (STD: 0.10)

การพัฒนาการเร่งการหมักโดยเทคนิคเอเอเอฟ (AAF techniques) ระยะเวลาการหมักจะถูกเร่งจาก 120 ชั่วโมงเป็นไม่เกิน 18 ชั่วโมง ซึ่งเทคนิคเอเอเอฟคือเทคนิคผสานระหว่างการควบคุมกรด การให้อากาศและการใช้เชื้อร่วม โดยการใช้ความเป็นกรดที่ pH 4.50 โดยใช้การหมักแบบออกซิเดชันที่ 6 ลิตรต่อนาที ที่อุณหภูมิห้อง กับใช้เชื้อยีสต์ลูกผสม *Saccharomyces cerevisiae* strain BAwine อัตรา 20 พีพีเอ็ม ซึ่งผลการหมักย่อยเมือกแสดงถึงกิจกรรมเพกติโนไลติกที่ช่วยลดการใช้เวลาในกระบวนการหมักย่อย สังเกตได้จากการลดค่าพีเอชและน้ำตาลรีดิวซ์ที่ปล่อยออกมา รวมถึงกรดอินทรีย์ประเภทกรดแลคติก โดยการหมักโดยวิธีเอเอเอฟนี้จะใช้น้ำน้อยกว่ากระบวนการเปียกแบบดั้งเดิมถึงร้อยละ 200 ซึ่งการหมักย่อยเมือกดังกล่าวนี้แสดงชัดเจนถึงกลไกของการปรับเปลี่ยน polysaccharide นอกจากนี้ผลการประเมินทางประสาทสัมผัสของกาแฟจากเทคนิคเอเอเอฟ มีความโดดเด่นจากกาแฟหมักแบบดั้งเดิม พบว่าผลจากการทดสอบโดยใช้เทคนิค Headspace-SPME-Gas Chromatography-Mass Spectrometry ส่งเสริมว่าหากผลิตกาแฟโดยเทคนิคเอเอเอฟ กาแฟมีแนวโน้มที่จะมีลักษณะใกล้เคียงกับกลิ่นของผลไม้และดอกไม้ และมีคะแนนทดสอบคุณภาพที่สูงขึ้นเป็น 85-87/100 (ตามวิธีของสภาภัณฑ์กาแฟพิเศษ)

ในขณะที่การหมักในสภาวะที่มีอากาศน้อยโดยใช้ยีสต์ *Pichia kluyveri* strain ProY15 ร่วมกับการใช้แบคทีเรียแลคติกร่วมในธรรมชาติ จะมีการย่อยเมือกที่ดีกว่าวิธีตามธรรมชาติ เมื่อทำการทดสอบการหมักในแปลงทดสอบโดยเติมหัวเชื้อยีสต์ PRO-Y15 ในระบบที่ไม่ต้องควบคุมค่าความเป็นกรดด่าง (pH 5-8) และไม่เติมแอมโมเนียมซัลเฟต เปรียบเทียบกับกรรมวิธีที่เติมหัวเชื้อยีสต์ BAwine และที่ไม่

เติมหัวเชื้อยีสต์ (ชุดควบคุม) ผลการทดสอบพบว่าในระหว่างการหมักที่มีการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิและสภาพแวดล้อมในช่วงเวลากลางวันและเวลากลางคืน โดยมีอุณหภูมิอยู่ระหว่าง 14-27 องศาเซลเซียส ค่าความเป็นกรดด่างเริ่มต้นมีค่าอยู่ระหว่าง 6.5-7.5 กรรมวิธีที่เติมหัวเชื้อยีสต์ PRO-Y15 ในระบบหมักที่ไม่เติมแอมโมเนียมซัลเฟตทำให้เกิดการหลุดของเมือกกาแฟอย่างสมบูรณ์ได้เร็วที่สุด โดยการหลุดของเมือกกาแฟเกิดขึ้นภายใน 20-24 ชั่วโมงหลังเริ่มการหมักกาแฟ ค่าความขุ่นของกรรมวิธีที่เติมหัวเชื้อยีสต์ PRO-Y15 มีค่าสูงกว่ากรรมวิธีอื่นๆ แสดงให้เห็นถึงการเจริญของยีสต์และการหลุดของเมือกกาแฟ ในขณะที่กรรมวิธีที่ไม่มีการเติมเชื้อยีสต์ เมือกกาแฟยังคงเกาะเมล็ดแน่น แม้ว่าจะล้างทำความสะอาดเมล็ดกาแฟด้วยน้ำหลังจากหยุดการหมัก ไม่สามารถทำให้เมือกหลุดออกจากเมล็ดกาแฟได้ ส่งผลให้ใช้ระยะเวลามากขึ้นในการตากกาแฟเพื่อลดความชื้น และเกิดการปนเปื้อนของเชื้อราได้ง่าย ซึ่งส่งเสียผลต่อคุณภาพของกาแฟ

การตรวจสอบคุณภาพของกาแฟที่ได้จากการหมัก พบว่าคุณสมบัติทางกายภาพของกาแฟที่ทำการหมักในแต่ละกรรมวิธีมีค่าใกล้เคียงไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ แต่เมื่อทดสอบการชิม พบว่าการเติมหัวเชื้อยีสต์ PRO-Y15 มีคะแนนจากการชิมอยู่ที่ 78 – 83 คะแนน แสดงให้เห็นว่าหัวเชื้อจุลินทรีย์นอกจากจะมีผลในการช่วยเร่งการหลุดของเมือกกาแฟแล้ว ยังส่งผลต่อคุณภาพของกาแฟอีกด้วย โดยหัวเชื้อยีสต์ *Pichia kluyveri* PRO-Y15 สามารถทำให้เมือกกาแฟหลุดอย่างสมบูรณ์ได้ภายในเวลา 20-24 ชั่วโมง ช่วยลดระยะเวลาการหมักกาแฟ ลดการใช้ทรัพยากรน้ำและแรงงานที่ใช้ในการขัดเมือกกาแฟ เมื่อเปรียบเทียบกับการแปรรูปกาแฟแบบดั้งเดิมลงได้ร้อยละ 80 และกาแฟที่ได้จากการหมักมีแนวโน้มที่จะมีกลิ่นที่ใกล้เคียงกับกลิ่นของช็อคโกแลตเป็นส่วนประกอบ โดยกลไกการพัฒนากลิ่นช็อคโกแลตของ *Pichia kluyveri* นั้นยังไม่มีการศึกษาอย่างแน่ชัด แต่สอดคล้องกับรายงานของ Crafack *et al.* (2013) ซึ่งรายงานว่า *Pichia kluyveri* นั้นช่วยเพิ่มกลิ่นรสในโกโก้ได้ และให้เพิ่มคุณภาพทางประสาทสัมผัสให้กับโกโก้ได้สูงกว่าการหมักตามธรรมชาติ

สำหรับการหมักกาแฟโดยจำลองแบบระบบย่อยอาหารของสัตว์ โดยมีเป้าหมายเพื่อลดการทรมานสัตว์ ได้ทำการคัดแยกจุลินทรีย์จากตัวอย่างชี้ชะมด จำนวน 25 ไอโซเลต ประกอบด้วยแบคทีเรีย 19 ไอโซเลต และยีสต์ 12 ไอโซเลต จัดจำแนกเป็น *Lactobacillus plantarum, Shigella flexneri, Kurthia gibsonii, Escherichia coli*, *Serratia* sp. และ *Pichia kudriavzevii* ซึ่ง แบคทีเรียแลคติก *Lactobacillus plantarum* และยีสต์ *Pichia kudriavzevii* เป็นจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ต่อการหมักกาแฟ เนื่องจากมีคุณสมบัติในการสร้างเอนไซม์เพื่อย่อยโปรตีนในกาแฟเพื่อสร้างสารตั้งต้นของกลิ่นรสในกาแฟได้ (Hadipernata and Nugraha, 2017) จากผลสอบการหมักแสดงให้เห็นว่าการเติมจุลินทรีย์ผสมกับเอนไซม์เปปซิน เอนไซม์จากตับอ่อน (pancreatin) และ การปรับ pH ในระบบการหมัก มีผลต่อการพัฒนาคุณภาพของกาแฟให้แตกต่างจากการหมักกาแฟแบบเดิม และเพิ่มความซับซ้อนของกลิ่นรสกาแฟเพิ่มมาก แต่ยังมีความเปรี้ยวในกาแฟคั่วและรสชาติค้างในปาก (Aftertaste) ต่ำกว่ากาแฟขี้ชะมด โดยการปรับ pH เริ่มต้นให้อยู่ในช่วง pH 2-3 โดยกรดไฮโดรคลอริก เพิ่มความซับซ้อนของกลิ่นรสได้ดี แสดงให้เห็นว่าการย่อยโครงสร้างของกาแฟด้วยกรดช่วยสารตั้งต้นกลิ่นรสในกาแฟได้

และเมื่อเปรียบเทียบระยะเวลาในการหมัก พบว่าการเพิ่มเวลาในการหมักจะส่งผลต่อการเพิ่มความซับซ้อนของกลิ่นรสกาแฟยิ่งขึ้น โดยเวลาที่เหมาะสม คือ หมักกาแฟนาน 24 ชั่วโมง การหมักกาแฟโดยจำลองระบบการย่อยอาหารสัตว์สามารถปรับระดับความเข้มข้นของสารเคมีในกาแฟ ได้แก่ Pyrazine, 2,6-dimethyl และ 2-Furancarboxaldehyde, 5-methyl ซึ่งให้กลิ่นในกลุ่มของถั่ว และ 2-Furanmethanol, acetate และ 2-Methoxy-4-vinylphenol ซึ่งให้กลิ่นในกลุ่มผลไม้ และกลิ่นโทนหวาน ให้เพิ่มขึ้นให้มีปริมาณใกล้เคียงกับกาแฟขี้ชะมดได้

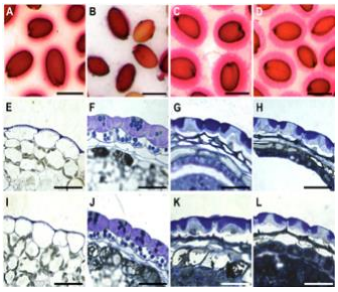


Figure 2 Polysaccharide modification of muscilage deform using High performance microscopy in every 48 hour; A – muscilage bean, B – completed demusculage bean, C & D show the occurrence of AAF techniques, E-L explained more in polysaccharide modification using dehydration of coffee muscile

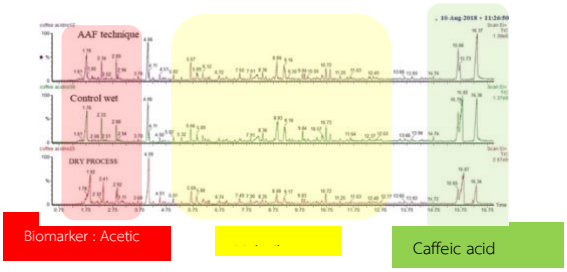


Figure 3 Comparative chromatogram of coffee flavor profile using dry process, wet process as control and AAF techniques distinguished the different volatiles which shown the various flavor compared to those two existent techniques. The result of cupping testing confirmed the ranking of 85 – 87 /100 compared to control as 75/100

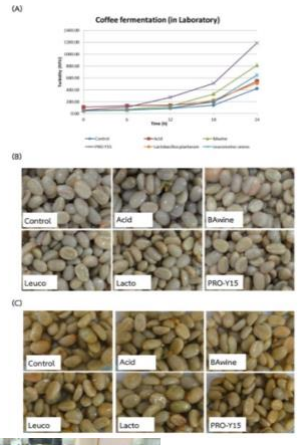


Figure 4 Coffee fermentation of six treatments (Control, Acid, Yeast BAwine, *Lactobacillus plantarum*, *Leuconostoc oenos* and PRO-Y15) explain in Turbidity (A), mucilage removal of coffee bean at 18 hour (B) and mucilage removal of coffee bean at 24 hours (C)

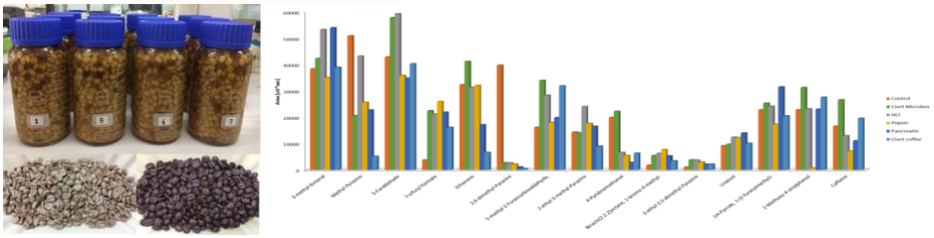


Figure 5 Fermentation process of coffee in jar, green bean coffee and roasted coffee and Chemical compounds in roasted fermentation coffee and civet coffee.

2. การพัฒนาต้นแบบเครื่องหมักกาแฟ

พัฒนาต้นแบบถังหมักกาแฟโดยใช้หลักการของ Single-stage pilot plan ประกอบด้วย (1.) การพัฒนาตัวถัง (2.) ระบบจ่ายอากาศ (3.) ระบบเติมสาร (4.) ระบบเก็บผลผลิต ตามภาพพิมพ์เขียวใช้ปริมาณออกซิเจนไม่น้อยกว่า 6 ลิตรต่อนาที ด้วยการจ่ายอากาศแบบเทอบีน (turbine) ที่กระจายอากาศได้ทั่วถังดีที่สุดและควบคุมการลดลงของแก๊สออกซิเจนและการเพิ่มขึ้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในระดับที่สม่ำเสมอ ด้วยปั๊มจ่ายอากาศขนาด 6 ลิตรต่อนาที จะพบการไหลออกของอากาศ (fluxed air) ในอัตราที่คงที่ที่ 100 ลิตรต่อวัน จากนั้นทดสอบประดิษฐ์ต้นแบบถังหมักขนาด 50 ลิตรใช้วัสดุสแตนเลสเกรด 304 ทนต่อการเกิดสนิมตรงตามมาตรฐาน มอก. สามารถลดการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์บริเวณผนังมีตะแกรงแบ่งเก็บตะกอนและหัวเชื้อเพื่อการใช้งานซ้ำ ส่งผลให้เชื้อจุลินทรีย์เจริญเติบโตได้เพื่อเหมาะสมในการหมักกาแฟที่ 6.95 log CFU ต่อมิลลิลิตร สำหรับถังหมักมีท่อระบาย 2 จุดได้แก่ (1.) ท่อระบายเมือกมีตะแกรงกันเมล็ดกาแฟหลุดด้านล่าง (2.) ท่อปล่อยเมล็ดกาแฟสำหรับระบายเมล็ดกาแฟที่หมักเสร็จด้านหน้ามีฝาปิดถอดได้ เมื่อทดสอบจริงพบว่าระบบจ่ายอากาศถือเป็นปัญหาสำคัญของต้นแบบเครื่องช่วยหมักกาแฟ ซึ่งระบบเดิมจะใช้ท่อจ่ายอาหารและหัวจ่ายแบบพ่นฝอยเทอบีนที่ระดับต่ำ ทำให้ระดับการเติมอากาศที่คาดไว้ต่ำกว่า 6 ลิตรต่อนาที โดยเฉพาะเมื่อเมือกกาแฟเริ่มหลุดเกิดการทับถมของเมือกบริเวณจุดจ่ายอากาศ ซึ่งถังหมักรุ่นที่พัฒนาใหม่จะมีการพัฒนาระบบจ่ายอากาศแบบเทอบีนฝังส่วนฝา โดยมีรูเจาะความยาวร้อยละ 80 ของตัวถัง เพื่อให้ระบบจ่ายอากาศสามารถมีการจ่ายอากาศที่สม่ำเสมอ ลดอัตราการทับถมของเมือกกาแฟระหว่างการหลุด ทำให้ได้อัตราการเติมอากาศที่สม่ำเสมอที่ 6 ลิตรต่อนาที และปริมาณการไหลของอากาศ (flux air) ตลอดกระบวนการหมักตามที่ต้องการที่ 600 ลิตร นอกจากนี้มีการพัฒนาระบบแยกเมือกออกจากกาแฟที่หมัก โดยใช้ตะแกรงฝังแยกเพื่อสามารถเก็บเมือกได้ทันทีที่หมักเสร็จ และปรับปรุงขาตั้งให้สามารถเคลื่อนย้ายได้ เพื่อให้สามารถย้ายทำความสะอาดได้สะดวก ตัดระบบเติมกรดออกเนื่องจากไม่จำเป็นต้องมีการเติมกรดตลอดเวลา ผลการทดสอบต้นแบบถังหมัก พบว่าผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของการทดสอบหมักโดยถังหมักและการหมักแบบดังเดิม พบผลวิเคราะห์โปรไฟล์กลิ่นโดยเครื่อง GC-SPME-FID-O-MS โดยพบความแตกต่างในกลุ่มสาร Ethanone (กลิ่นผลไม้), ∂-butyrolactone (กลิ่นนมเนย), β-damascenone (กลิ่นดอกไม้) และสารกลุ่ม Phenol (กลิ่นผลไม้) เมื่อใช้ถังหมักต้นแบบ และพบสาร 5-methyl-2-furancarboxaldehyde และ 2-methylbutanal ที่ให้กลิ่นน้ำตาลไหม้ในชุดควบคุมมากกว่า แสดงให้เห็นว่าถังหมักสามารถควบคุมการผลิตกลิ่นสารสำคัญได้ดีจากการหมัก นอกจากนี้ยังพบว่าการใช้ถังหมักนี้มีการลดลงของเวลาการหมัก และความคงตัวของปริมาณกรดด่างตามผลทดลองในพื้นที่ทดสอบทั้ง 4 แห่ง แสดงให้เห็นถึงความสำคัญของการใช้ถังหมักในการหมักกาแฟที่ควบคุมได้ โดยต้นทุนการใช้ถังหมักอยู่ที่ 25 บาทต่อกาแฟหมัก 50 กิโลกรัมหรือ (0.45 บาทต่อกิโลกรัม) ต่างจากวิธีปกติที่ 1.2 บาทต่อกิโลกรัม

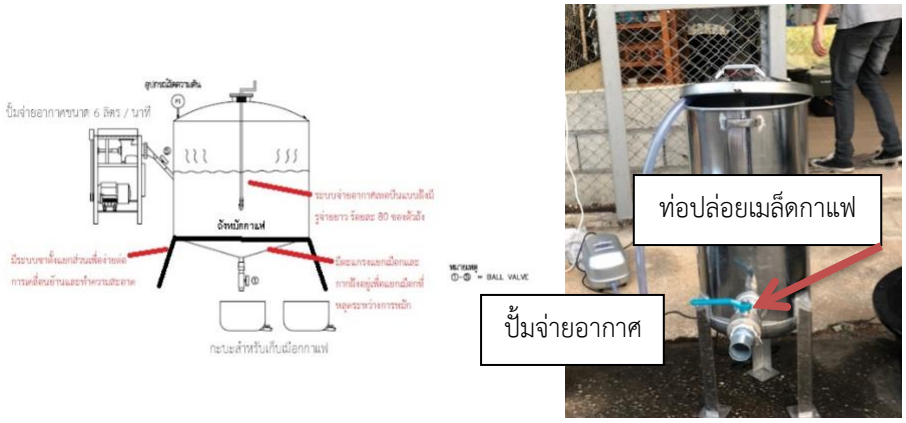


Figure 6 Demonstration of new model of coffee fermenter model completed on air turbine, tank and waste harvested unit

3. การใช้วัสดุเหลือใช้จากการหมักกาแฟ

ผลการทดสอบสารสกัดจากเปลือกหุ้มเมล็ดกาแฟในการเกิด Clear-zone ในการยับยั้งเชื้อรา *Colletotrichum gleosporoides* ให้ช้าลงโดยเมื่อทดสอบในแปลงทดสอบตามที่ความเข้มข้น ร้อยละ 40 สามารถยับยั้งการเกิดโรคแอนแทรคโนสได้ควบคุมที่ร้อยละ 83.33 จากกลุ่มตัวอย่าง 30 ต้น (30:30) โดยมีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.01 (p-value <0.01) นอกจากนี้จากการทำแห้งเปลือกหุ้มเมล็ดกาแฟ โดยการหมักแห้ง Solid state fermentation โดย *Streptococcus spp.* แล้วทำแห้งจนความชื้นต่ำกว่า ร้อยละ 8 สามารถนำมาพัฒนาผลิตภัณฑ์ปรุงรส (aromat) โดยแบ่งตามขนาดของแป้งเปลือกกาแฟ โดยผงละเอียดที่สุดที่ GCP400 ที่สามารถนำไปทำซอสปรุงรสได้ที่ความหวาน 35 องศาบริกซ์ GCP600 สามารถนำไปเป็นผงโรยปรุงรสอาหารได้โดยเน้นอาหารคาวและขนาดใหญ่สุดที่ GGCP ที่นำไปผสมกับแป้งเค้กใช้ในผลิตภัณฑ์เบเกอร์รี่โดยสามารถนำไปทดแทนแป้งสาลีได้

เพคตินสกัดจากเปลือกหุ้มเมล็ดและเมือกกาแฟมีสีน้ำตาลอ่อนโปร่งแสงซึ่งมีค่า Degree of Esterification ที่ร้อยละ 65.57 และ Equivalent Weight 213.43 mg/mol ซึ่งถือเป็น High Methoxy Pectin (HMP) สามารถนำไปใช้ในอุตสาหกรรมอาหารได้ โดยจากผล FTIR พบว่าอัตราส่วนของกรดกาแลกทูโรนิคสูงถึง 452.84 mg (79.57%) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Rakitikul, 2016 อย่างไรก็ตามผลวิเคราะห์ดังกล่าวเมื่อพิจารณาสเปคตรัม 1,250 – 950 cm^{-1} ที่กำกับ glycosidic bonding และ carboxylic ที่ส่งผลต่อการก่อเจล ดังนั้นการนำไปใช้จึงจำเป็นต้องมีการเติมน้ำตาลแอลกอฮอล์เพื่อกระตุ้นการทำลายพันธะดังกล่าวด้วย ซึ่งเมื่อทดลองใช้เพคติน (PCE) เพื่อเป็นสารเคลือบผิวส้มดัดแปลง (องอาจ, 2553) โดยใช้เพคตินสกัดผสม canaubar wax (สารเคลือบทางการค้า) พบว่าอัตราส่วนร้อยละ 5 สามารถยืดอายุส้มได้กว่า 10 วัน และลดการใช้สารเคลือบลงได้ร้อยละ 10 ทั้งนี้เพคตินสกัดมีคุณสมบัติละลายน้ำได้ดีทำให้สารเคลือบลอกหลุดง่ายเมื่ออากาศร้อนจัดแต่ไม่เป็นอันตรายต่อผู้บริโภคด้วยสามารถบริโภคได้

คุณภาพน้ำหมักกาแฟตั้งแต่ขั้นตอนการล้างและการหมักซ้ำครั้งที่ 1 – 3 หรือการใช้เครื่องขัดเมือกล้วนเกินมาตรฐานกรมโรงงานอุตสาหกรรมโดยเฉพาะค่าความเป็นกรดด่างที่สูง (pH 3.7 – 4.2) รวมทั้งค่า COD ที่สูงกว่าค่ามาตรฐานกว่า 10 – 50 เท่า และกว่า 100 เท่าเมื่อผ่านเครื่องขัดเมือกและ

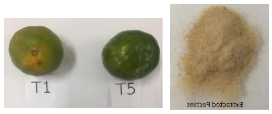
ค่า BOD ที่มีปริมาณเพิ่มกว่า 38 – 280 เท่า นอกจากนี้ยังพบปริมาณน้ำมัน (Oil & Grease) และของแข็งแขวนลอยปริมาณมากเกินมาตรฐานอีกด้วย ซึ่งจำเป็นต้องมีการบำบัดก่อนนำปล่อยสู่สิ่งแวดล้อม พบว่าการใช้น้ำหมักซ้ำจำนวนไม่เกิน 3 ครั้งนั้น พบว่าคุณภาพของน้ำซ้ำไม่แตกต่างกันและสามารถให้คุณภาพกาแฟที่ดี นอกจากนี้ยังลดการใช้น้ำได้ ซึ่งจะมีปริมาณสารกลุ่ม Furans, Pyrazines และ Maltol ลดลงอย่างมีนัยสำคัญโดยเฉพาะปริมาณ Caffeine ที่ลดร้อยละ 90 และ Methylchromone ลดร้อยละ 86.67 ซึ่งสามารถสันนิษฐานได้ว่าเชื้อจุลินทรีย์ที่มีปริมาณมากขึ้น (ตามค่า BOD) มีผลต่อการย่อยคาเฟอีน และลดการผลิต methylchromone ที่เป็นสารต้านจุลชีพ โดยการออกแบบระบบบำบัดน้ำหมักกาแฟพบการเปลี่ยนแปลงของคุณสมบัติสำคัญ เพื่อบำบัดน้ำหมักให้ได้คุณภาพตามมาตรฐานกรมโรงงานอุตสาหกรรม โดยการใช้พืชเพื่อการบำบัดน้ำหมัก 2 ชนิดในส่วนของ Wetland ได้แก่ ธูปฤาษีและต้นพุทธรักษา เปรียบเทียบกับการปล่อยบำบัดในดินนั้น พบว่าการบำบัดโดยใช้พืชนั้นสามารถปรับปรุงคุณภาพน้ำหมักกาแฟได้อย่างมีนัยสำคัญ นอกจากนี้เมื่อนำน้ำมาวิเคราะห์เปรียบเทียบกับน้ำตัวอย่างก่อนหมัก พบว่าระบบการบำบัดที่ได้พัฒนาขึ้นสามารถบำบัดน้ำจากการหมักได้จริงทั้ง 10 คุณสมบัติโดยเฉลี่ยร้อยละ 95 ยกเว้น Oil & Grease หรือน้ำมันจากเครื่องจักรที่เกิดจากการใช้เครื่องสีกาแฟและเครื่องขัดเมือกที่ใช้ในระหว่างการหมักกาแฟ อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐานน้ำเสียจากกรมโรงงานอุตสาหกรรม (ISI standard) พบว่าน้ำที่ผ่านการบำบัดเข้าเกณฑ์ในการนำกลับมาใช้ซ้ำ หรือสามารถปล่อยสู่แหล่งน้ำตามธรรมชาติได้

CPE 40% No CPE

Figure 7 Application on nursery for young coffee plant (butterfly state) using 40% of CPE and control replication with in prior infected by *Colletotrichum gleosporoides*

Cherry Grind Cherry flour

Figure 8 Cherry pod transformation for on-purpose flour utilization on food products using sun-drying method (14 days of exposed sun-dry)



No Pectin 5% Pectin

Figure 9 Coffee pectin extraction from mucilage for orange coating trial could expand shelf-life to 10 - 15 days

การนำผลงานไปใช้ประโยชน์ตามแนวทางการดำเนินการเพิ่มประสิทธิภาพกาแฟพรีเมี่ยมไทย

การพัฒนา Solution Platform เพื่อสร้างขีดความสามารถการพัฒนาพืชสวนอุตสาหกรรมและไม้ผลเศรษฐกิจ ให้เปลี่ยนผ่านไปสู่ระบบเศรษฐกิจหมุนเวียน ถือเป็นการเพิ่มมูลค่าผลผลิตทางการเกษตรที่สร้างรายได้กว่า 3,000 ล้านล้านบาทต่อปี โดยตามร่างยุทธศาสตร์การพัฒนาพืชสวนอุตสาหกรรม มีเป้าหมายมุ่งวิจัยและพัฒนาพันธุ์พืช และใช้สายพันธุ์จุลินทรีย์ที่มีความหลากหลายในท้องถิ่นเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต ยกระดับคุณภาพผลผลิต พร้อมพัฒนาเทคโนโลยีลดต้นทุนโดยใช้หลักการของการสร้างเศรษฐกิจจากฐานชีวภาพ เพื่อการผลิตสินค้าที่ได้มาตรฐานและมีความปลอดภัย ขณะเดียวกันยังมีเป้าหมายวิจัยและพัฒนาการแปรรูป เพื่อเพิ่มมูลค่าผลิตภัณฑ์และสร้างผลิตภัณฑ์ใหม่

ให้ตรงกับความต้องการของตลาด ซึ่งจะช่วยขยายโอกาสด้านการตลาดและเพิ่มการส่งออก จึงมีโอกาสในการสร้างโมเดลทางธุรกิจปิดวงจร (Closed Loop Economy) ได้ ด้วยความร่วมมือของบุคลากรในภาคเกษตร อุตสาหกรรมและการส่งออกของประเทศไทย ทำให้มีการพัฒนาสายพันธุ์ที่มีความหลากหลาย และการใช้เทคโนโลยีชีวภาพเพื่อการแปรรูปสู่สินค้าเกษตรพรีเมี่ยมมูลค่าสูง สร้างการเปลี่ยนผ่านสู่ระบบเศรษฐกิจหมุนเวียนในระบบห่วงโซ่อุปทานที่มีมูลค่าสูงในท้องตลาดปัจจุบันโดยปัจจุบันกระแสสิ่งแวดล้อมกำลังเป็นที่จับตามองทำให้มีการรณรงค์ลดปริมาณขยะ และนำขยะมาแปรรูปเป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมต่อไป ซึ่งเป็นแนวคิดเศรษฐกิจหมุนเวียน (Circular Economic)

การต่อยอดเทคโนโลยีการหมักในโครงการ**ขับเคลื่อนผลิตกาแฟพรีเมี่ยมของประเทศในพื้นที่ 7 จังหวัดได้แก่ จังหวัดเชียงราย เชียงใหม่ ตาก เพชรบูรณ์ เลย ชุมพรและสตูล (เกษตรกรจำนวน 280 รายและเกษตรกรต้นแบบ 7 ราย)** ตั้งแต่การหมักกาแฟและการใช้ประโยชน์จากผลิตผลพลอยได้ (Zerowaste process) โดยถ่ายทอดความรู้ ชี้แจง และแนะนำถึงแนวทางขั้นตอนการผลิตกาแฟ และสร้างความเข้าใจในแนวทางปฏิบัติที่ถูกต้อง และเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ตามมาตรฐานกำหนดรวมทั้งเพื่อสามารถนำไปประยุกต์ใช้เพื่อการพัฒนาธุรกิจด้านพืชสวนอุตสาหกรรม นอกจากนี้ยังมีการ**สร้างแปลงต้นแบบการผลิตกาแฟพรีเมี่ยมและพัฒนาโรงงานแปรรูปกาแฟ**ต้นแบบในพื้นที่เกษตรกรต้นแบบในพื้นที่ยุทธศาสตร์รวมทั้ง**สร้างเครือข่าย RFE (Research-Farmer-Entrepreneur Network) ในพื้นที่** พร้อมส่งเสริมผู้ประกอบการต้นแบบการผลิตกาแฟพรีเมี่ยม ให้เจ้าหน้าที่ของภาครัฐ ผู้ประกอบการและเกษตรกรที่สนใจ อย่างน้อย 4 เครือข่าย

การขับเคลื่อนงานวิจัยและขยายผลกลุ่มเป้าหมายสู่ระบบเศรษฐกิจหมุนเวียนนั้น (ภาพที่ 12) มุ่ง (1.)พัฒนาคุณภาพเมล็ดกาแฟอะราบิกาและโรบัสตาเพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับคุณภาพกาแฟพรีเมี่ยมตามมาตรฐานโลก**ไม่น้อยกว่าร้อยละ 50 (คะแนนผลทดสอบทางประสาทสัมผัส**) (2.) ปรับปรุงกระบวนการหมักโดยใช้เทคโนโลยีชีวภาพโดยลดระยะเวลาการหมัก ต้นทุนการใช้แรงงานและทรัพยากร**ไม่น้อยกว่าร้อยละ 50 (การใช้เชื้อยีสต์ที่กรมผลิตเพื่อการหมักกาแฟคุณภาพสม่ำเสมอ**) **(3.)** ปรับปรุงกระบวนการหมักโดยใช้เทคโนโลยีชีวภาพโดยลดระยะเวลาการหมัก ต้นทุนการใช้แรงงานและทรัพยากร**ไม่น้อยกว่าร้อยละ 50 (ลดเวลาการหมัก ลดการใช้น้ำและแรงงาน**) **(**4.**)** พัฒนาการใช้เทคโนโลยีทางประสาทสัมผัสในงานวิจัยและในสถานประกอบการเพื่อประเมินคุณภาพกาแฟตลอดกระบวนการผลิต**ไม่น้อยกว่าร้อยละ 50 (กิจกรรมอบรม cupping**) (5.) มีการใช้ประโยชน์จากเครือข่ายในการต่อยอดและสร้างความยั่งยืนทางธุรกิจ**ไม่น้อยกว่าร้อยละ 30 (กิจกรรมอบรม marketing และ branding และส่งเสริมการขาย ณ สาธารณรัฐเกาหลี Asean Coffee 2021**)

เกษตรกรสามารถจำหน่ายกาแฟได้ในราคามาตรฐานโดยสารกาแฟพรีเมี่ยมมีราคา **200 บาทขึ้นไปต่อกิโลกรัม และกาแฟคั่วพรีเมี่ยมมีราคาไม่น้อยกว่า 1,200 บาทต่อกิโลกรัม** นอกจากนี้เกษตรกรในโครงการได้ชนะการประกวดกาแฟพิเศษประจำปี 2563 โดยราคาสารกาแฟที่ชนะการประมูลมีราคาสูงกว่า 27,000 บาทต่อกิโลกรัม และ 2564 โรบัสตาพรีเมี่ยม ได้รับการประมูลในราคา 20,000 บาทต่อกิโลกรัม

Figure 10 Research-Farmer-Entrepreneurship model using in premium coffee model during 2562 -2564

Figure 11 Staff training of Q-grader association and Premium Farmers on Marketing and Brand creation in Premium Coffee Project

Arabica Coffee Quality (85 - 90/100)

Starter-culture yeast

Reduce Manpower, Water resource, Time

Cupping Session

Marketing Session (Asean Coffee 2021)

Figure 12 BCG resolution targeting point to Bioprocess (Diversity of dosmestic microbial use) – Circular (Innovative fermentation technology and by products) – Green (By products reutlization and reduce resources) and Marketing targeting

Figure 13 Effective outcome and impact on ‘model premium coffee farmer’ in differents region and their tentative for Geographical Indication application for creating the authentic coffee by using fermenation techniques from regional flor (Yeasts) and Zerowaste techniques on BCG model

เอกสารอ้างอิง

โกเมศ สัตยาวุธ, สุกัญญา นิติยนต์, ฉัตต์นภา ข่มอาวุธ, สุภัทรา เลิศวัฒนาเกียรติ. 2561. การวิจัยและพัฒนาการหมักกาแฟอะราบิก้าโดยจุลินทรีย์, รายงานผลงานวิจัยเรื่องเต็มประจำปี 2561, กองวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตร กรมวิชาการเกษตร. 18 หน้า

นนทวัชร ชิตวิลัย. 2547. การเปลี่ยนแปลงของสารประกอบระเหย และกรดอินทรีย์ระหว่างกระบวนการหมักของกาแฟอาราบิก้าที่ปลูกในประเทศไทย. บัณฑิตวิทยาลัย, สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร, ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร, มหาวิทยาลัยศิลปากร. 8 หน้า

สุกัญญา นิติยนต์, โกเมศ สัตยาวุธ, ฉัตต์นภา ข่มอาวุธ, สุภัทรา เลิศวัฒนาเกียรติ. 2562. การศึกษาการหมักกาแฟด้วยจุลินทรีย์ในระบบแอนแอโรบิก (ไม่ใช้ออกซิเจน), รายงานผลงานวิจัยเรื่องเต็มประจำปี 2562, กองวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตร กรมวิชาการเกษตร

องอาจ เด็ดดวง. 2553. การเปรียบเทียบเพคตินสกัดจากฝรั่งสามชนิดกับเพคตินมาตรฐาน. สารนิพนธ์ กศ. ม. (เคมี). กรุงเทพฯ. บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.

Avallone, S., Brillouet, J.M., Guyot, B., Olguin, E. and J.P Guiraud. 2001. Microbiological and biochemical study of coffee fermentation. *Current Microbiology*, 42, 252-256.

Bartlett, M.C. and P. Gerhardt. 1989. Continuous Antibiotic Fermentation – Design of a 20 litre, Single-stage Pilot plant and trials with two contrasting processes, journal of Biochemical and microbiological technology and engineering, Vol I, No.4: 359-377.

Clarke, R.J. 1986. The Flavour of Coffee. Department of Food Science. University of Reading, UK. 1-47 p.

Crafack, M., Mikkelsen, M., Saerens, S., Knudsen, M., Blennow, A., *et. al* (2013). Influencing cocoa flavour using *Pichia kluyveri* and *Kluyveromyces marxianus* in a defined mixed starter culture for cocoa fermentation. *International journal of food microbiology*. 167(1), 103-16.

Hadipernata, M. and S. Nugraha. 2018. Process technology of luwak coffee through bioreactor utilization. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 102. 012092. 10.1088/1755-1315/102/1/012092.

Jagani, H. Hebber, K. Gang, S.S. Vasath Raj P. Chandrashekhar, R. and J. Venkata. 2010. An overview of fermenter and the design considerations to enhance its productivity. Pharmacologyonline 1:261-301.

Muzaifa, M., Hasni, D., Patria, A. Febriani and A. Abubakar. 2018. Sensory and microbial characteristics of Civet coffee. International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology. 8. 165-171.

Nasanit R., and K. Satayawut. 2014. Microbial communities during wet fermentation process of Coffea Arabica var. chiangmai 80. Kasetsart Journal-Natural Science. 49. 32-41.

Padmapriya, R. 2013. Coffee waste management- An overview. *International Journal of Current Science, vol.9,* pp. 83-91.

Rakitikul, W., P. Nimmanpipug. Degree of Esterification and gelling properties of pectin structure in coffee pulp. Key Engineering Materials. 1662-9795. Vols. 675-676. Pp11-14.

Sivetz, M. and H.E. Foote. 1963. Coffee Processing Technology. Vol 1: Fruit-Green, Roast and soluble Coffee. London. 598 p.