



การเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีกายภาพและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระในระหว่างการหมักสมุนไพรไทย
ร่วมกับน้ำผึ้งดิบ

CHANGES IN PHYSICOCHEMICAL PROPERTIES AND ANTIOXIDANT ACTIVITIES
DURING FERMENTATION OF THAI HERBS WITH RAW HONEY

นิชธิมา เอื้อพูนผล

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

2567

การเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีกายภาพและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระในระหว่างการหมักสมุนไพรไทย
ร่วมกับน้ำผึ้งดิบ



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชานวัตกรรมอาหารและการเป็นผู้ประกอบการ
คณะเทคโนโลยีและนวัตกรรมผลิตภัณฑ์การเกษตร มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
ปีการศึกษา 2567
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

CHANGES IN PHYSICOCHEMICAL PROPERTIES AND ANTIOXIDANT ACTIVITIES
DURING FERMENTATION OF THAI HERBS WITH RAW HONEY



NIGHTIMA UAPOONPHOL

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of MASTER OF SCIENCE
(Food Innovation and Entrepreneurship)
Faculty of Agricultural Product Innovation and Technology, Srinakharinwirot University
2024
Copyright of Srinakharinwirot University

ปริญญานิพนธ์
เรื่อง
การเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีกายภาพและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระในระหว่างการหมักสมุนไพรไทย
ร่วมกับน้ำผึ้งดิบ
ของ
นิชริมา เอื้อพูนผล

ได้รับอนุมัติจากบัณฑิตวิทยาลัยให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชานวัตกรรมอาหารและการเป็นผู้ประกอบการ
ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

(รองศาสตราจารย์ นายแพทย์ฉัตรชัย เอกปัญญาสกุล)
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

คณะกรรมการสอบปากเปล่าปริญญานิพนธ์

..... ที่ปรึกษาหลัก ประธาน
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธีรรัตน์ อธิธิโสภณกุล) (ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธนัท อ้วนอ่อน)

..... ที่ปรึกษาร่วม กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พิสิฐ ธรรมวิถิ) (ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วาสนา จันทร์นวล)

ชื่อเรื่อง	การเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีกายภาพและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระในระหว่างการหมักสมุนไพรไทยร่วมกับน้ำผึ้งดิบ
ผู้วิจัย	นิชธิมา เอื้อพูนผล
ปริญญา	วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต
ปีการศึกษา	2567
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชีวรัตน์ อธิธิโสภณกุล
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พิสิฐ ธรรมวิทย์

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีกายภาพและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของเครื่องดื่มหมักจากสมุนไพรไทย ได้แก่ กระชาย (*Boesenbergia rotunda*), บัวบก (*Centella asiatica*) และมะขามป้อม (*Phyllanthus emblica*) โดยใช้จุลินทรีย์ร่วมอาศัย (SCOBY) หมักร่วมกับน้ำผึ้งดิบ ซึ่งมีคุณสมบัติด้านสารต้านอนุมูลอิสระ สูตรเครื่องดื่มประกอบด้วย สมุนไพร 1% (w/v), น้ำผึ้งดิบ 10% (w/v), น้ำหัวเชื้อ 6% (v/v) และ SCOBY 4% (w/v) การหมักแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน คือ ขั้นที่หนึ่ง (F1) หมักแบบใช้อากาศที่อุณหภูมิ $25 \pm 2^\circ\text{C}$ เป็นเวลา 7 วัน และขั้นที่สอง (F2) โดยนำส่วนผสมของ F1 เติมน้ำแอปเปิ้ลแดงสด 10% (w/v) แล้วหมักต่ออีก 24 ชั่วโมง ศึกษาทั้งหมด 3 สูตร ได้แก่ กระชายผสมน้ำผึ้ง (KK), บัวบกผสมน้ำผึ้ง (KB) และมะขามป้อมผสมน้ำผึ้ง (KE) โดยสุ่มเก็บตัวอย่างในวันที่ 0, 3, 5, 7 ของ F1 และหลัง F2 เพื่อตรวจวิเคราะห์ค่า pH, ความเป็นกรดทั้งหมด, °Brix, ค่าสี (ΔE), ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (TPC) และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH และ ABTS ผลการทดลองพบว่า สูตรมะขามป้อมมีศักยภาพสูงสุด โดยค่า TPC เพิ่มขึ้นจาก 438.38 ± 10.64 เป็น 1238.10 ± 5.95 มก. GAE/ลิตร หลัง F2 ซึ่งสูงกว่าสูตรอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) และมีค่า DPPH และ ABTS เท่ากับ 99.59% และ 95.85% ตามลำดับ ส่วนสมบัติทางเคมีกายภาพพบว่า ทุกสูตรมีแนวโน้มของค่า pH ลดลงและความเป็นกรดทั้งหมดเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาหมัก โดยค่า pH หลัง F2 อยู่ในช่วง 2.71–2.97 ซึ่งเหมาะสมต่อการเจริญของจุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์และปลอดภัยต่อการบริโภค ค่าสี (ΔE) แสดงการเปลี่ยนแปลงอย่างชัดเจนในทุกสูตรเมื่อเปรียบเทียบกับก่อนและหลังการหมัก ในภาพรวม สูตรที่มีมะขามป้อมแสดงศักยภาพสูงสุดในด้านสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ จึงเหมาะสำหรับการพัฒนาเป็นเครื่องดื่มสุขภาพเชิงพาณิชย์ นอกจากนี้ยังสามารถศึกษาต่อยอดในด้านฤทธิ์ต้านจุลชีพ หรือฤทธิ์ทางชีวภาพอื่น ๆ เพื่อเพิ่มมูลค่าทางนวัตกรรมในอนาคต

คำสำคัญ : เครื่องดื่มหมัก, น้ำผึ้งดิบ, สมุนไพรไทย, สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ, ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ

Title	CHANGES IN PHYSICOCHEMICAL PROPERTIES AND ANTIOXIDANT ACTIVITIES DURING FERMENTATION OF THAI HERBS WITH RAW HONEY
Author	NICHTIMA UAPOONPHOL
Degree	MASTER OF SCIENCE
Academic Year	2024
Thesis Advisor	Assistant Professor Dr. Teerarat Itthisoponkul
Co Advisor	Assistant Professor Dr. Pisit Dhamvithee

This research aimed to investigate the changes in physicochemical properties and antioxidant activities of fermented beverages prepared from three Thai medicinal herbs: fingerroot (*Boesenbergia rotunda*), Asiatic pennywort (*Centella asiatica*), and Indian gooseberry (*Phyllanthus emblica*), using a symbiotic culture of bacteria and yeast (SCOBY) fermented with raw honey, known for its antioxidant properties. The fermentation medium consisted of 1% (w/v) herbal extract, 10% (w/v) raw honey, 6% (v/v) starter broth, and 4% (w/v) SCOBY. The fermentation process was conducted in two phases. The first phase (F1) involved aerobic fermentation at 25 ± 2 °C for 7 days. In the second phase (F2), the supernatant from F1 was combined with fresh red apple slices at 10% (w/v) and further fermented for 24 hours. Three formulations were studied: honey–fingerroot (KK), honey–pennywort (KB), and honey–gooseberry (KM). Samples were collected on days 0, 3, 5, and 7 of F1, and after F2, for analysis of physicochemical parameters and antioxidant activities, including pH, titratable acidity, total soluble solids (°Brix), color difference (ΔE), total phenolic content (TPC), and free radical scavenging activities using DPPH and ABTS assays. The results revealed that the Indian gooseberry formula demonstrated the highest functional potential. Its TPC increased from 438.38 ± 10.64 mg GAE/L at the start of F1 to 1238.10 ± 5.95 mg GAE/L after F2, significantly higher than the other formulations ($p < 0.05$). After F2, its DPPH and ABTS radical scavenging activities reached 99.59% and 95.85%, respectively. Regarding physicochemical properties, all formulations showed increasing acidity and decreasing pH during fermentation, with final pH values ranging from 2.71 to 2.97—levels suitable for the growth of beneficial microbes and considered microbiologically safe. Color difference (ΔE) values also showed a clear deviation from day 0 to post-F2 in all formulations. In conclusion, the Indian gooseberry formulation exhibited the greatest potential for development as a commercial functional beverage. Further studies could explore its antimicrobial effects or additional bioactivities to enhance its innovative value.

Keyword : fermented beverage, raw honey, Thai herbs, bioactive compound, antioxidant activity

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์นี้สำเร็จได้ด้วยดี จากความกรุณาในการให้คำปรึกษา ชี้แนะแนวทาง ตลอดจนการผลักดัน สร้างขวัญกำลังใจให้เกิดการเรียนรู้ จากผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธีรวัฒน์ อธิธิโสภณกุล อาจารย์ที่ปรึกษาหลักควบคุมปริญญานิพนธ์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พิสิฐฐ์ ธรรมวิที อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งและขอกราบขอบพระคุณไว้ ณ โอกาสนี้

ขอขอบพระคุณ คณาจารย์และเจ้าหน้าที่หลักสูตรนวัตกรรมการอาหารและการเป็นผู้ประกอบการ รวมถึงคณาจารย์และเจ้าหน้าที่คณะเทคโนโลยีและนวัตกรรมผลิตภัณฑ์การเกษตร มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ที่ให้ความรู้ คำแนะนำ และกำลังใจตลอดระยะเวลาการศึกษา รวมถึงให้ความช่วยเหลือ สนับสนุนข้อมูลและทรัพยากรต่าง ๆ สำหรับการศึกษา และประสานการดำเนินการที่เกี่ยวข้องกับการทำปริญญานิพนธ์ในครั้งนี้จนสำเร็จ

ขอขอบคุณรุ่นพี่ และเพื่อน ๆ ร่วมหลักสูตรนวัตกรรมการอาหารและการเป็นผู้ประกอบการ เพื่อนร่วมงาน ให้ความช่วยเหลือ แลกเปลี่ยนข้อมูล และกำลังใจ รวมถึงครอบครัวที่คอยสนับสนุน ส่งเสริม และให้กำลังใจในการดำเนินการทุกอย่างได้อย่างราบรื่น

สุดท้ายนี้ ขอขอบคุณทุกท่านที่มีส่วนช่วยทั้งทางตรงและทางอ้อม ให้การทำงานวิจัยครั้งนี้ให้ลุล่วงลงได้

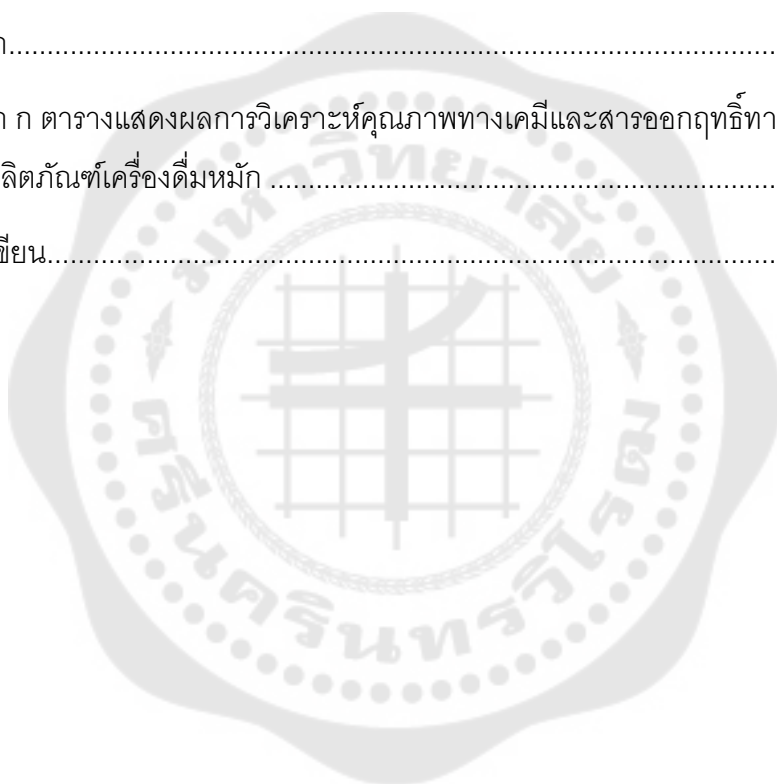
นิชธิมา เอื้อพูนผล

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญรูปภาพ	ฎ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	3
1.3 สมมติฐานการวิจัย.....	3
1.4 ขอบเขตการศึกษา	3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	4
บทที่ 2 ทบทวนวรรณกรรมและเอกสารที่เกี่ยวข้อง	5
2.1 น้ำผึ้ง (Honey)	5
2.1.1 คุณสมบัติของน้ำผึ้ง	5
2.1.2 คุณสมบัติฟิสิกส์เคมีของน้ำผึ้ง	6
2.1.3 คุณสมบัติของน้ำผึ้งดิบ.....	6
2.1.4 การใช้ประโยชน์จากน้ำผึ้งในผลิตภัณฑ์อาหารหมัก	7
2.2 สมุนไพรไทย.....	7
2.2.1 กระชาย (Fingerroot).....	8
2.2.2 บัวบก (Gotu Kola)	9

2.2.3 มะขามป้อม (Indian Gooseberry)	10
2.3 เครื่องดื่มหมักด้วยแบคทีเรียและยีสต์ที่ทำงานร่วมกัน (SCOBY)	10
2.3.1 กลุ่มจุลินทรีย์และยีสต์ที่อยู่ร่วมกัน (SCOBY) และน้ำหมักตั้งต้น (starter broth) ..	11
2.3.2 ปัจจัยที่ส่งผลต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มหมักแบบคอมบูชา	12
2.4 แนวโน้มของโรคในระบบทางเดินอาหารในประเทศไทยและระดับโลก	14
บทที่ 3 ระเบียบวิธีวิจัย	16
3.1 วัตถุประสงค์	16
3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์	16
3.3 สารเคมี	17
3.4 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย	18
3.4.1 การศึกษาพฤติกรรมและความต้องการของผู้บริโภคเครื่องดื่มคอมบูชาด้วยวิธีการเก็บข้อมูลทุติยภูมิ	18
3.4.2 การศึกษากระบวนการหมักเครื่องดื่มสมุนไพรหมักผสมน้ำผึ้ง	18
3.4.3 การวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีและสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพของตัวอย่าง	19
3.4.4 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ	22
บทที่ 4 ผลการการวิจัย และการอภิปรายผล	23
4.1 ผลการศึกษาพฤติกรรมความต้องการของผู้บริโภคจากการเก็บข้อมูลทุติยภูมิ	23
4.2 ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีกายภาพและสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพของเครื่องดื่มสมุนไพรหมักผสมน้ำผึ้ง	28
4.2.1 การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) และค่าความเป็นกรดทั้งหมด (Titratable Acidity)	28
4.2.2 ค่าปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ของตัวอย่างวัตถุดิบที่เป็นของเหลว	31
4.2.3 สีของเครื่องดื่มสมุนไพรหมักผสมน้ำผึ้ง	34
4.2.4 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (Total Phenolic Content)	37

4.2.5 ค่าการยับยั้งอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH และ ABTS	40
4.3 อภิปรายผล	45
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ.....	48
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	48
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	48
บรรณานุกรม	49
ภาคผนวก.....	56
ภาคผนวก ก ตารางแสดงผลการวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีและสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพของ ตัวอย่างผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มหมัก	57
ประวัติผู้เขียน.....	61



สารบัญตาราง

หน้า

ตาราง 1 ตำแหน่งผลิตภัณฑ์คอมบูชาที่มีแหล่งผลิตและจัดจำหน่ายในต่างประเทศและประเทศไทย เปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์จากงานวิจัยนี้ (Product Positioning Comparison)	26
ตาราง 2 ผลการวิเคราะห์ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ ($^{\circ}$ Brix) ของสารละลายตัวอย่างวัตถุดิบ ...	32
ตาราง 3 ผลค่าสีที่วัดได้ในตัวอย่างเครื่องดื่มสมุนไพรหมักผสมน้ำผึ้งแต่ละช่วงเวลาการหมัก.....	34
ตาราง 4 ผลการวิเคราะห์ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด (Total Phenolic Content) ในตัวอย่างวัตถุดิบ	38
ตาราง 5 ผลการวิเคราะห์ค่าการยับยั้งอนุมูลอิสระ DPPH ในตัวอย่างวัตถุดิบ	40
ตาราง 6 ผลการวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง ในตัวอย่างเครื่องดื่มสมุนไพรหมักผสมน้ำผึ้งที่ทำการทดสอบแต่ละช่วงเวลาของขั้นตอนการหมัก.....	58
ตาราง 7 ผลการวิเคราะห์ความเป็นกรดจากวิธีการไทเทรต ในตัวอย่างเครื่องดื่มสมุนไพรหมักผสมน้ำผึ้งที่ทำการทดสอบแต่ละช่วงเวลาของขั้นตอนการหมัก.....	58
ตาราง 8 ค่าปริมาณของแข็งที่ละลายในน้ำของเครื่องดื่มสมุนไพรหมักผสมน้ำผึ้งที่วิเคราะห์ได้ระหว่างกระบวนการหมัก	59
ตาราง 9 ผลการวิเคราะห์ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด (Total Phenolic Content) ในเครื่องดื่มสมุนไพรหมักผสมน้ำผึ้งแต่ละช่วงเวลาการหมัก	59
ตาราง 10 ผลการวิเคราะห์ค่าการยับยั้งอนุมูลอิสระ DPPH ในตัวอย่างเครื่องดื่มสมุนไพรหมักผสมน้ำผึ้งแต่ละช่วงเวลาการหมัก	60
ตาราง 11 ผลการวิเคราะห์ค่าการยับยั้งอนุมูลอิสระ ABTS ในตัวอย่างเครื่องดื่มสมุนไพรหมักผสมน้ำผึ้งแต่ละช่วงเวลาการหมัก	60

สารบัญรูปภาพ

หน้า

ภาพประกอบ 1 แผนผังโมเดลธุรกิจของผลิตภัณฑ์เครื่องต้มเครื่องต้มสมุนไพรหมักผสมน้ำผึ้ง...	28
ภาพประกอบ 2 กราฟแสดงค่าความเป็นกรดต่าง (pH) ของเครื่องต้มหมักสมุนไพรทั้ง 3 สูตรที่ ระยะเวลาต่าง ๆ	29
ภาพประกอบ 3 กราฟแสดงค่าความเป็นกรดจากวิธีการไทเทรตของเครื่องต้มสมุนไพรหมักผสมน้ำผึ้ง ทั้ง 3 สูตร ที่ระยะเวลาการหมักต่างกัน.....	30
ภาพประกอบ 4 กราฟแสดงปริมาณของแข็งละลายในน้ำ (°Brix) ของเครื่องต้มสมุนไพรหมักแต่ละ สูตรตามระยะเวลาการหมักที่ต่างกัน	33
ภาพประกอบ 5 แสดงลักษณะสีของตัวอย่างน้ำผึ้งคอมบูชาผสมสมุนไพรไทยในวันที่ 0 3 5 และ 7	35
ภาพประกอบ 6 แสดงลักษณะสีของตัวอย่างเครื่องต้มสมุนไพรหมักกับน้ำผึ้งหลังการหมักในชั้น F2 เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง	37
ภาพประกอบ 7 กราฟแสดงปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด (Total phenolic content) ของเครื่องต้มหมัก สมุนไพรแต่ละสูตรที่เปลี่ยนแปลงตามระยะเวลาการหมัก	38
ภาพประกอบ 8 กราฟแสดงผลร้อยละการยับยั้งอนุมูลอิสระ DPPH (inhibition of DPPH) ของ เครื่องต้มหมักสมุนไพรแต่ละสูตรตามระยะเวลาที่เปลี่ยนแปลง	41
ภาพประกอบ 9 กราฟแสดงผลร้อยละการยับยั้งอนุมูลอิสระ ABTS (inhibition of ABTS) ของ เครื่องต้มหมักสมุนไพรแต่ละสูตรตามระยะเวลาที่เปลี่ยนแปลง	43

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันผู้บริโภคทั่วโลกมีความตื่นตัวต่อการเลือกบริโภคอาหารและเครื่องดื่มจากวัตถุดิบธรรมชาติมากขึ้น โดยเฉพาะในกลุ่มอาหารที่ผ่านกระบวนการแปรรูปต่ำ (minimally processed food) และผลิตภัณฑ์ที่อิงกับภูมิปัญญาดั้งเดิม เช่น การหมัก (fermentation) ซึ่งได้รับความสนใจจากทั้งผู้บริโภคทั่วไปและกลุ่มที่ใส่ใจสุขภาพ การเติบโตของตลาดเครื่องดื่มสุขภาพทั่วโลกสนับสนุนการพัฒนานวัตกรรมที่ใช้วัตถุดิบพื้นถิ่นและจุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์ต่อร่างกาย ซึ่งสอดคล้องกับแนวโน้ม อาหารฉลากสะอาด (clean label) และอาหารฟังก์ชัน (functional food) อย่างชัดเจน (Chauhan & Rao, 2024)

เครื่องดื่มหมัก (fermented beverages) เป็นหนึ่งในกลุ่มผลิตภัณฑ์ที่แสดงให้เห็นถึงศักยภาพในการผสมผสานวัฒนธรรมอาหารแบบดั้งเดิมกับวิทยาศาสตร์สมัยใหม่ ตัวอย่างเช่น ไวน์และเบียร์เป็นผลิตภัณฑ์หมักที่ใช้ยีสต์ในการเปลี่ยนน้ำตาลให้เป็นแอลกอฮอล์ ขณะที่โยเกิร์ตและคีเฟอร์เป็นผลิตภัณฑ์หมักจากนมที่ใช้แบคทีเรียกรดแลคติกในการสร้างกรดอินทรีย์ที่ช่วยปรับสมดุลจุลินทรีย์ในระบบทางเดินอาหาร (Marco et al., 2017) แม้ผลิตภัณฑ์เหล่านี้จะมีประโยชน์ในเชิงสุขภาพ แต่ก็มีข้อจำกัดบางประการ เช่น ข้อจำกัดด้านวัตถุดิบในกรณีของไวน์และเบียร์จากนม หรือปริมาณแอลกอฮอล์ที่ไม่เหมาะกับบางกลุ่มผู้บริโภคในกรณีของไวน์และเบียร์

ด้วยเหตุนี้ การพัฒนาเครื่องดื่มหมักจากพืชจึงได้รับความสนใจมากขึ้น โดยเฉพาะเครื่องดื่มหมักที่ไม่ใช่ผลิตภัณฑ์จากนม (non-dairy fermented beverages) และไม่ก่อให้เกิดแอลกอฮอล์ในระดับสูง หนึ่งในกลุ่มเครื่องดื่มหมักที่โดดเด่นคือ คอมบูชา (kombucha) หรือเครื่องดื่มชาหมัก ซึ่งใช้จุลินทรีย์ร่วมอาศัยระหว่างแบคทีเรียและยีสต์ที่เรียกว่า สโคบี (Symbiotic Culture of Bacteria and Yeast; SCOBY) เป็นกลไกสำคัญในกระบวนการหมัก โดยที่สโคบีสามารถเปลี่ยนน้ำตาลเป็นกรดอินทรีย์ วิตามิน เอนไซม์ และสารต้านอนุมูลอิสระที่มีผลดีต่อสุขภาพ (Greenwalt, Steinkraus, & Ledford, 2000; Jayabalan, Malbaša, Lončar, Vitas, & Sathishkumar, 2014) ซึ่งการหมักแบบใช้สโคบี มีข้อดีที่แตกต่างจากระบบการหมักอื่น ๆ เช่น การใช้จุลินทรีย์หลากหลายชนิดทำให้ผลิตภัณฑ์มีสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่หลากหลายมากกว่าการหมักแบบใช้ยีสต์เพียงชนิดเดียว นอกจากนี้ยังสามารถประยุกต์ใช้กับวัตถุดิบหลากหลายประเภท ไม่จำกัดเฉพาะใบชา แต่สามารถใช้น้ำผลไม้ น้ำสมุนไพร หรือแม้แต่ส่วนผสมน้ำตาลทรายได้ ทำให้เป็นทางเลือกที่ดึงดูดใจสำหรับผู้บริโภคยุคใหม่ที่ต้องการเสริมสร้างสุขภาพจากสารอาหาร

ธรรมชาติ (Jayabalan et al., 2014) สังเกตได้จากข้อมูลทางการตลาดของเครื่องดื่มคอมบูชาทั่วโลกมีการเติบโตที่โดดเด่น ข้อมูลจากรายงานทางการตลาดล่าสุดแสดงให้เห็นว่า ตลาดคอมบูชาจะมีอัตราการเติบโตเฉลี่ยต่อปี (CAGR) สูงถึงร้อยละ 15 – 20 ในช่วงปี ค.ศ. 2022 – 2028 ซึ่งมาจากความต้องการของผู้บริโภคที่เพิ่มขึ้นในเอเชีย ยุโรป และอเมริกาเหนือ (GrandViewResearch, 2024) นอกจากนี้ ผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มหมักที่มีส่วนผสมของสมุนไพรและผลไม้ยังได้รับความนิยมอย่างมาก เนื่องจากการเพิ่มคุณค่าและรสชาติที่หลากหลายให้กับเครื่องดื่ม อีกทั้งมีคุณสมบัติด้านการอักเสบ จึงได้รับการยอมรับในตลาดเครื่องดื่มเพื่อสุขภาพ (Ridder, 2024a) แนวโน้มที่เพิ่มขึ้นของการบริโภคคอมบูชาและเครื่องดื่มหมักที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพนี้ชี้ให้เห็นถึงโอกาสในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่ โดยเฉพาะในกลุ่มเครื่องดื่มที่มีส่วนผสมของสมุนไพร ซึ่งช่วยตอบโจทย์ผู้บริโภคที่สนใจในเครื่องดื่มเพื่อสุขภาพและต้องการลดการบริโภคน้ำตาลและสารเคมีในเครื่องดื่ม อีกทั้งยังเป็นการเปิดโอกาสในการพัฒนาสูตรเฉพาะที่ตอบสนองความต้องการของผู้บริโภคในตลาดเฉพาะกลุ่ม (niche market) ได้อย่างยืดหยุ่น (Villarreal-Soto, Beaufort, Bouajila, Souchard, & Taillandier, 2018)

หนึ่งในวัตถุดิบที่มีศักยภาพสูงต่อการพัฒนาเครื่องดื่มหมักจากธรรมชาติคือน้ำผึ้งดิบ (raw honey) ซึ่งอุดมไปด้วยน้ำตาลธรรมชาติชนิดโมเลกุลเดี่ยว เช่น กลูโคสและฟรุกโตส ที่จุลินทรีย์สามารถนำไปใช้เป็นแหล่งพลังงานได้โดยตรง อีกทั้งยังมีสารประกอบฟีนอลิก วิตามิน เอนไซม์ และกรดอินทรีย์ในปริมาณที่เหมาะสม ซึ่งสามารถส่งเสริมการทำงานของจุลินทรีย์ในระบบหมัก และยังเพิ่มคุณค่าทางชีวภาพให้กับผลิตภัณฑ์ขั้นสุดท้าย (Kwakman, Te Velde, de Boer, Vandenbroucke-Grauls, & Zaat, 2011) ในขณะเดียวกัน สมุนไพรไทย ซึ่งเป็นวัตถุดิบท้องถิ่นที่มีภูมิปัญญาในการใช้งานทั้งในแง่ของอาหารและยา ก็ได้รับความสนใจมากขึ้นในการนำมาพัฒนาเป็นส่วนประกอบในผลิตภัณฑ์อาหารสุขภาพ สมุนไพรไทยหลายชนิดมีคุณสมบัติทางชีวภาพ เช่น ด้านอนุมูลอิสระ ด้านการอักเสบ ด้านจุลชีพ และช่วยเสริมการทำงานของระบบต่าง ๆ ในร่างกาย ตัวอย่างเช่น กระชาย (*Boesenbergia rotunda*) มีสารฟลาโวนอยด์ที่ต้านจุลชีพ บัวบก (*Centella asiatica*) มีสารไตรเทอร์พีนอยด์ที่มีฤทธิ์ด้านการอักเสบ และมะขามป้อม (*Phyllanthus emblica*) อุดมด้วยวิตามินซีและกรดแกลลิกที่มีฤทธิ์ด้านอนุมูลอิสระที่ดีเยี่ยม (Klawpiyapamornkun et al., 2023; Sudjaroen & Thongmuang, 2022)

ผลิตภัณฑ์ต้นแบบจากงานวิจัยนี้ คือ เครื่องดื่มหมักจากน้ำผึ้งดิบและสมุนไพรไทยโดยใช้จุลินทรีย์ร่วมอาศัย (SCOBY) จะเป็นการบูรณาการองค์ความรู้ด้านจุลชีววิทยา อาหาร และภูมิปัญญาท้องถิ่น เป็นแนวทางที่สอดคล้องกับการพัฒนานวัตกรรมผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพที่ใช้

วัตถุประสงค์ของงานวิจัย อีกทั้งยังสามารถเชื่อมโยงกับแนวคิดการพัฒนาที่ยั่งยืน (Sustainable Development Goals; SDGs) โดยเฉพาะในด้านเป้าหมายที่ 3 คือ การส่งเสริมสุขภาพและความเป็นอยู่ที่ดี (Good Health and Well-being), เป้าหมายที่ 9 คือ การส่งเสริมอุตสาหกรรมและนวัตกรรมที่ยั่งยืน (Industry, Innovation and Infrastructure) และเป้าหมายที่ 12 คือ แผนการผลิตและการบริโภคอย่างยั่งยืน (Responsible Consumption and Production) ผ่านการส่งเสริมการใช้วัตถุดิบท้องถิ่น การเพิ่มมูลค่าให้ผลผลิตทางการเกษตร และการลดการพึ่งพาสารเคมีในอาหารที่ช่วยสร้างความยั่งยืนต่อชุมชนและสิ่งแวดล้อมในประเทศไทย

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

- 1.2.1 เพื่อศึกษาพฤติกรรมและความต้องการของผู้บริโภคที่มีต่อเครื่องดื่มหมัก
- 1.2.2 เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางเคมีกายภาพ และการต้านอนุมูลอิสระของเครื่องดื่มสมุนไพรหมักผสมน้ำผึ้งในระหว่างการหมัก
- 1.2.3 เพื่อพัฒนาต้นแบบเครื่องดื่มสมุนไพรหมักผสมน้ำผึ้ง

1.3 สมมติฐานการวิจัย

- 1.3.1 ระยะเวลาในการหมักจะส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางเคมีกายภาพของเครื่องดื่มสมุนไพรหมักผสมน้ำผึ้ง
- 1.3.2 ระยะเวลาในกระบวนการหมักที่เพิ่มขึ้นจะมีผลในการเพิ่มปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของเครื่องดื่มสมุนไพรหมักผสมน้ำผึ้ง

1.4 ขอบเขตการศึกษา

- 1.4.1 วัตถุดิบที่เลือกใช้ ประกอบด้วย น้ำผึ้งดิบ (Raw Honey) จากแหล่งผลิตทางภาคเหนือของประเทศไทยภายใต้ตราสินค้าฟอราปี จัดจำหน่ายโดยบริษัทเชียงใหม่เฮลตี้โปรดักส์ จำกัด จังหวัดเชียงใหม่ และสมุนไพรไทย 3 ชนิด ได้แก่ ผงกระชาย ผงบัวบก และผงมะขามป้อม จากแหล่งในประเทศไทย ผลิตและจำหน่ายโดยมูลนิธิโรงพยาบาลเจ้าพระยาอภัยภูเบศร ในพระอุปถัมภ์ สมเด็จพระเจ้าภคินีเธอ เจ้าฟ้าเพชรรัตนราชสุดา สิริโสภาพัณณวดี จังหวัดปราจีนบุรี
- 1.4.2 ศึกษากระบวนการหมักโดยใช้วิธีการหมักแบบคอมบูช่า ทำการหมักโดยผสมน้ำผึ้งดิบกับน้ำสมุนไพรแต่ละชนิด และใช้สโคปเป็นหัวเชื้อในการหมัก

1.4.3 ศึกษาปริมาณสารสำคัญและฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของวัตถุดิบ และผลิตภัณฑ์ระหว่างกระบวนการหมัก 7 วัน

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 ได้ผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มสมุนไพรหมักผสมน้ำผึ้งที่มีคุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระ

1.5.2 เพิ่มความรู้และนวัตกรรมเกี่ยวกับการใช้สมุนไพรไทยในผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มเพื่อสุขภาพที่มีผลต่อระบบทางเดินอาหาร

1.5.3 ผลิตภัณฑ์ที่พัฒนาขึ้นสามารถนำไปใช้ในการตลาดกลุ่มผลิตภัณฑ์เพื่อสุขภาพที่สนใจอาหารและเครื่องดื่มที่มาจากธรรมชาติซึ่งช่วยส่งเสริมสุขภาพทางเดินอาหาร

1.5.4 สร้างแนวทางในการพัฒนาผลิตภัณฑ์จากน้ำผึ้งแท้และสมุนไพรไทย เพื่อต่อยอดสู่อุตสาหกรรมอาหารและเครื่องดื่มในอนาคต

บทที่ 2

บททวนวรรณกรรมและเอกสารที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาข้อมูลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับน้ำผึ้ง สมุนไพรไทย วิธีการหมักแบบคอมบูชา ที่ส่งผลต่อสุขภาพระบบทางเดินอาหาร รวมถึงข้อมูลงานวิจัยและหลักฐานทางวิทยาศาสตร์ที่กล่าวถึงโพรไบโอติกและโพรไบโอติกในอาหารหมักซึ่งช่วยเสริมสร้างการย่อยอาหารและสุขภาพลำไส้ และประโยชน์จากเครื่องดื่มหมักแบบคอมบูชา (Kombucha) ในการส่งเสริมสุขภาพทางเดินอาหาร เพื่อเป็นข้อมูลสำหรับพัฒนานวัตกรรมผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มน้ำผึ้งผสมสมุนไพรไทยต่อไป รายละเอียดงานวิจัยและเอกสารที่เกี่ยวข้องทั้งหมด มีดังนี้

2.1 น้ำผึ้ง (Honey)

2.1.1 คุณสมบัติของน้ำผึ้ง

น้ำผึ้งเป็นสารธรรมชาติที่มีสารต้านอนุมูลอิสระ และมีคุณสมบัติในการต้านเชื้อแบคทีเรียด้านการอักเสบ และเสริมสร้างระบบภูมิคุ้มกัน จากการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับคุณสมบัติของน้ำผึ้งพบว่า น้ำผึ้งดิบ (Raw Honey) มีสารประกอบสำคัญ เช่น ฟลาโวนอยด์ (Flavonoids) และกรดฟีนอลิก (Phenolic Acids) ซึ่งมีบทบาทในการส่งเสริมสุขภาพลำไส้และการป้องกันการติดเชื้อในระบบทางเดินอาหาร (Al-Waili & Haq, 2004)

สำหรับข้อมูลการบริโภคน้ำผึ้งในแต่ละวัน มีการแนะนำว่า ปริมาณการบริโภคน้ำผึ้งต่อวันไม่ควรเกิน 1 - 2 ช้อนโต๊ะ หรือประมาณ 21 - 42 กรัม ซึ่งจะให้ปริมาณน้ำตาลโดยประมาณ 17 - 34 กรัมตามลำดับ การบริโภคในระดับนี้ให้พลังงานเพียงพอโดยไม่กระทบระดับน้ำตาลในเลือดมากนัก (ขึ้นอยู่กับแต่ละบุคคล) และยังคงอยู่ในระดับที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพ เช่น การต้านอนุมูลอิสระ และการเสริมสร้างภูมิคุ้มกันจากสารประกอบกลุ่มฟลาโวนอยด์และกรดฟีนอลิกในน้ำผึ้ง ทั้งนี้ น้ำผึ้งประกอบด้วยน้ำตาลธรรมชาติเป็นหลัก เช่น กลูโคสและฟรุกโตส ในสัดส่วนที่ใกล้เคียงกัน ซึ่งน้ำตาลในน้ำผึ้งมีความเข้มข้นโดยประมาณร้อยละ 80 การบริโภคตามที่แนะนำนี้จะไม่เกินจากปริมาณน้ำตาลที่แนะนำต่อวันตามข้อกำหนดขององค์การอนามัยโลก หรือ World Health Organization (WHO) ซึ่งแนะนำให้จำกัดการบริโภคน้ำตาลในอาหารไม่เกิน 25 กรัม เท่ากับประมาณ 6 ช้อนชา หรือคิดเป็นร้อยละ 5 ของพลังงานที่ได้รับต่อวันในวัยผู้ใหญ่ เพื่อป้องกันภาวะอ้วนและโรคเรื้อรังต่าง ๆ ที่เกิดจากการบริโภคน้ำตาลสูงเกินไป (WHO, 2015)

นอกจากนี้ บางการศึกษาวิจัยพบว่าการบริโภคน้ำผึ้งในระดับปานกลางช่วยลดความเครียดจากอนุมูลอิสระและลดการอักเสบในร่างกาย ทั้งนี้ยังพบว่าน้ำผึ้งมีฤทธิ์ช่วยปกป้อง

ระบบหัวใจและหลอดเลือดเมื่อบริโภคในปริมาณที่ไม่มากเกินไป (ประมาณ 1 - 2 ช้อนโต๊ะต่อวัน) โดยมีการศึกษาวิจัยในอาสาสมัคร พบว่าการบริโภคน้ำผึ้งในระดับต่ำถึงปานกลางช่วยลดระดับน้ำตาลในเลือด และยังช่วยลดไขมันในเลือดเมื่อเปรียบเทียบกับกลูโคสบริสุทธิ์ ทั้งนี้แนะนำว่าการบริโภคน้ำผึ้งประมาณ 20 - 30 กรัมต่อวัน มีประโยชน์ทางสุขภาพและลดความเสี่ยงการเกิดโรคเมตาบอลิกได้ดี โดยยังคงควบคุมระดับน้ำตาลในร่างกายได้ (Al-Waili & Haq, 2004)

ในการศึกษาเชิงทดลองบางแห่ง (Bogdanov, Jurendic, Sieber, & Gallmann, 2008) ระบุว่าเมื่อบริโภคน้ำผึ้งธรรมชาติในปริมาณที่เหมาะสม ซึ่งไม่เกิน 50 กรัมต่อวัน จะไม่กระทบต่อการควบคุมระดับน้ำตาลในเลือดและอาจช่วยเสริมระบบภูมิคุ้มกันได้ โดยเน้นว่าการบริโภคที่พอเหมาะและเป็นส่วนหนึ่งของอาหารเพื่อสุขภาพ จะเห็นได้ว่า การบริโภคน้ำผึ้งที่ไม่มากเกินไปและอยู่ในปริมาณที่แนะนำจะส่งเสริมสุขภาพในด้านต่าง ๆ เช่น การต้านอนุมูลอิสระ การควบคุมน้ำตาลในเลือด และการเสริมสร้างภูมิคุ้มกัน หากอยู่ในปริมาณที่เหมาะสม

2.1.2 คุณสมบัติพรีไบโอติกของน้ำผึ้ง

น้ำผึ้งจัดเป็นแหล่งพรีไบโอติกจากธรรมชาติที่มีประสิทธิภาพ เนื่องจากมีสารอาหารสำคัญ เช่น ฟรุคโตโอลิโกแซ็กคาไรด์ (Fructooligosaccharides, FOS) และโอลิโกแซ็กคาไรด์ (Oligosaccharides) ซึ่งทำหน้าที่เป็นแหล่งพลังงานสำหรับจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ในระบบทางเดินอาหาร โดยเฉพาะจุลินทรีย์ในกลุ่มโพรไบโอติกที่มีบทบาทสำคัญในการส่งเสริมสุขภาพลำไส้ สารโอลิโกแซ็กคาไรด์ในน้ำผึ้งช่วยกระตุ้นการเจริญเติบโตของแบคทีเรียชนิดดีในกลุ่ม บิฟิโดแบคทีเรีย (*Bifidobacterium*) และ แลคโตบาซิลลัส (*Lactobacillus*) ซึ่งเป็นกลุ่มจุลินทรีย์ที่สำคัญในการรักษาสสมดุลของจุลินทรีย์ในลำไส้และช่วยลดความเสี่ยงในการติดเชื้อในระบบทางเดินอาหาร (Kumar, Hajam, Dhull, & Giri, 2024) ด้วยคุณสมบัติเหล่านี้ น้ำผึ้งจึงเป็นตัวเลือกที่ดีในการพัฒนาผลิตภัณฑ์เสริมสุขภาพที่มีคุณสมบัติพรีไบโอติกตามธรรมชาติ

2.1.3 คุณสมบัติของน้ำผึ้งดิบ

น้ำผึ้งดิบ (Raw Honey) มีคุณสมบัติที่แตกต่างจากน้ำผึ้งที่ผ่านกระบวนการ (Processed Honey) เนื่องจากน้ำผึ้งดิบไม่ได้ผ่านความร้อนหรือการกรอง จึงยังคงอุดมด้วยสารอาหารและเอนไซม์ที่สำคัญ รวมถึงละอองเกสรผึ้งและพอลิฟีนอลซึ่งมีคุณสมบัติต้านเชื้อแบคทีเรียและต้านการอักเสบ ในทางตรงข้าม น้ำผึ้งที่ผ่านกระบวนการ มักถูกกรองและให้ความร้อน ซึ่งสามารถทำลายสารอาหารสำคัญ เช่น เอนไซม์และสารประกอบฟีนอลิก และลดคุณสมบัติการต้านอนุมูลอิสระของน้ำผึ้งลงได้อย่างมาก น้ำผึ้งดิบมีคุณสมบัติที่โดดเด่นเมื่อเทียบกับน้ำผึ้งที่ผ่านกระบวนการแปรรูป (Mustar & Ibrahim, 2022) เนื่องจากน้ำผึ้งดิบยังคงรักษาเอนไซม์น้ำตาลธรรมชาติ และสารประกอบต้านจุลชีพไว้ได้ ซึ่งทั้งหมดนี้ช่วยส่งเสริมสุขภาพระบบทางเดิน

อาหารและสนับสนุนการเจริญเติบโตของแบคทีเรียที่มีประโยชน์ เช่น *Lactobacillus* และ *Bifidobacterium* ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทั้งนี้ ยังมีข้อมูลที่ระบุว่าน้ำผึ้งดิบเป็นวัตถุดิบที่เหมาะสมสำหรับการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารเชิงหน้าที่ (functional foods) โดยเฉพาะเมื่อนำไปใช้สำหรับกระบวนการหมัก (Sharaf El-Din, Farrag, Wu, Huang, & Wang, 2025) ซึ่งสามารถเพิ่มคุณสมบัติของโพรไบโอติกและพรีไบโอติกให้ดียิ่งขึ้น

2.1.4 การใช้ประโยชน์จากน้ำผึ้งในผลิตภัณฑ์อาหารหมัก

น้ำผึ้งนิยมนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในกระบวนการหมัก เช่น เครื่องดื่มแบบคอมบูชา (Kombucha) โดยน้ำผึ้งจะทำหน้าที่เป็นแหล่งพลังงานให้กับแบคทีเรียและยีสต์ในกระบวนการหมัก เนื่องจากน้ำผึ้งอุดมไปด้วยน้ำตาลธรรมชาติ เช่น ฟรุกโตส และกลูโคส ซึ่งสามารถช่วยกระตุ้นการเจริญเติบโตของแบคทีเรียและยีสต์ระหว่างการหมักและเพิ่มปริมาณสารที่มีประโยชน์ต่อร่างกาย เช่น กรดแลคติก กรดอะซิติก และสารต้านอนุมูลอิสระ มีรายงานข้อมูลกล่าวถึงประโยชน์ของเครื่องดื่มคอมบูชาที่หมักจากน้ำผึ้ง พบว่าการหมักด้วยน้ำผึ้งสามารถเพิ่มปริมาณกรดอินทรีย์ วิตามินบี และสารต้านอนุมูลอิสระที่มีประโยชน์ในการเสริมสร้างระบบภูมิคุ้มกันและส่งเสริมการทำงานของระบบย่อยอาหารได้ (Jayabalan et al., 2014)

ในการศึกษาเชิงลึกโดยการวิเคราะห์การเจริญเติบโตของแบคทีเรียและยีสต์ในน้ำผึ้งที่ใช้เป็นสารตั้งต้นในคอมบูชา (Marsh, O'Sullivan, Hill, Ross, & Cotter, 2014) พบว่ามีการกระตุ้นการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์และเพิ่มปริมาณกรดอินทรีย์ในเครื่องดื่มหมัก นอกจากนี้ยังมีรายงานว่าน้ำผึ้งสามารถทำหน้าที่เป็นแหล่งพลังงานหลักให้กับจุลินทรีย์ที่อยู่ใน SCOBY (Symbiotic Culture of Bacteria and Yeast) ซึ่งเป็นหัวใจสำคัญของกระบวนการหมัก และสร้างสารสำคัญที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพ (Chakravorty et al., 2016) และเมื่อศึกษาผลกระทบของชนิดของสารตั้งต้นในกระบวนการหมักคอมบูชา พบว่าน้ำผึ้งเป็นสารตั้งต้นที่ดีที่สุดสำหรับการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์และส่งผลต่อคุณภาพและคุณสมบัติของคอมบูชาที่ได้ ซึ่งพบว่าเครื่องดื่มมีสารต้านอนุมูลอิสระและกรดอินทรีย์สูงกว่าการใช้น้ำตาลเป็นสารตั้งต้น (Villarreal-Soto et al., 2018)

2.2 สมุนไพรไทย

สมุนไพรไทยมีประวัติการใช้ในด้านการรักษาโรคและการส่งเสริมสุขภาพมายาวนาน เนื่องจากสมุนไพรเหล่านี้มีสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่มีประโยชน์ เช่น สารต้านการอักเสบ สารต้านแบคทีเรีย และสารต้านอนุมูลอิสระ (Wachtel-Galor & Benzie, 2011) นอกจากนี้ ตามข้อมูลแผนปฏิบัติการด้านสมุนไพรแห่งชาติ ฉบับที่ 2 พ.ศ.2566 – 2570 มีการระดมมาตรการส่งเสริม

Herbal Champions หรือสมุนไพรตัวอย่างที่มีศักยภาพสูง โดยการนำนวัตกรรมและงานวิจัยมาต่อยอดพัฒนาผลิตภัณฑ์ และขยายขอบเขตการพัฒนาผลิตภัณฑ์ให้หลากหลาย เพื่อสร้างการรับรู้และการตอบรับในตลาดที่กว้างขึ้น จะส่งผลให้สมุนไพรไทยมีความต้องการเพิ่มขึ้นในฐานะส่วนประกอบสำคัญในผลิตภัณฑ์สุขภาพ อาหาร เครื่องดื่ม และเครื่องสำอาง แนวโน้มนี้สะท้อนถึงศักยภาพของสมุนไพรไทยในระดับสากล ที่ไม่เพียงตอบโจทย์การส่งเสริมสุขภาพ แต่ยังช่วยสนับสนุนเศรษฐกิจของประเทศผ่านอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้อง (Division of Herb Economy, 2023) จากข้อมูลข้างต้น งานวิจัยนี้จึงเลือกใช้สมุนไพร 3 ชนิด ได้แก่ กระชาย (*Boesenbergia rotunda*) มะขามป้อม (*Phyllanthus emblica*) และบัวบก (*Centella asiatica*) มาต่อยอดเป็นผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มจากสมุนไพร เนื่องจากเป็นสมุนไพรในกลุ่มที่มีการศึกษาวิจัยก่อนหน้าที่มีสรรพคุณเด่นด้านคุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระ อีกทั้งยังถูกจัดอยู่ในกลุ่มสมุนไพรเป้าหมายของแผน Herbal Champions ซึ่งแสดงให้เห็นถึงศักยภาพในการพัฒนาเป็นส่วนประกอบของเครื่องดื่มฟังก์ชันเพื่อสุขภาพโดยมีรายละเอียดข้อมูลงานวิจัยเกี่ยวกับสมุนไพรทั้ง 3 ชนิด ดังนี้

2.2.1 กระชาย (Fingerroot)

กระชาย หรือชื่อทางวิทยาศาสตร์ *Boesenbergia rotunda* เป็นสมุนไพรดั้งเดิมและนำมาเป็นส่วนผสมในอาหารของกลุ่มเอเชียตะวันออกเฉียงใต้และอินโดจีน นิยมนำมาบริโภคเนื่องจากมีคุณสมบัติที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพหลายประการ ได้แก่ การต้านเชื้อแบคทีเรีย การต้านการอักเสบ การต้านอนุมูลอิสระ มีการศึกษาเกี่ยวกับการจัดลำดับจีโนมของกระชายแสดงให้เห็นการสร้างสาร ฟลาโวนอยด์และฟีนิลโพรพานอยด์ ซึ่งมีบทบาทสำคัญในกระบวนการต้านอนุมูลอิสระและการต้านการอักเสบ (Taheri et al., 2022) ทั้งยังส่งเสริมระบบภูมิคุ้มกันและช่วยฟื้นฟูสุขภาพในผู้ที่มีปัญหาเรื้อรังเกี่ยวกับระบบย่อยอาหาร อีกทั้งยังพบสารประกอบฟลาโวนอยด์หลายชนิด รวมถึง Pinostrobin Boesenbergin Krachazin และ Panduratin A ซึ่งมีฤทธิ์ต้านเชื้อแบคทีเรีย ต้านการอักเสบ และสามารถช่วยปรับสมดุลจุลินทรีย์ในระบบย่อยอาหาร ซึ่งมีความสำคัญต่อการพัฒนาผลิตภัณฑ์ส่งเสริมสุขภาพที่เกี่ยวกับลำไส้ (Akazawa et al., 2015) นอกจากนี้ยังพบว่าสารสกัดจากกระชายสามารถช่วยเสริมการย่อยอาหารโดยการกระตุ้นการหลั่งเอนไซม์ในกระเพาะอาหารและลำไส้ ซึ่งเป็นประโยชน์สำหรับผู้ที่มีปัญหาการย่อยอาหารบกพร่อง ทั้งนี้ ปริมาณฟลาโวนอยด์ที่ได้อาจจะแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับส่วนของกระชายที่นำมาใช้

จากการศึกษาพบว่าส่วนของเหง้ากระชายมีปริมาณฟลาโวนอยด์สูงกว่าส่วนราก (Rithichai, Jirakiattikul, Poljan, Youngvises, & Itharat, 2022) ทั้งนี้พบว่าสภาวะในการทำแห้งส่งผลต่อปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์และสมบัติต้านออกซิเดชันในกระชายเหลือง

(Sooksing & Jirapakkul, 2011) โดยเปรียบเทียบระหว่างเครื่องทำแห้งแบบระเหิด ตู้อบลมร้อน แบบถาดที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เวลา 5 และ 6 ชั่วโมง พบว่าหากใช้วิธีการอบแห้งจากตู้อบลมร้อนแบบถาด ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง จะทำให้ได้สารสกัดที่มีปริมาณสารประกอบฟลาโวนอยด์ทั้งหมดสูงกว่าสภาวะการทำแห้งอื่น และจากข้อมูลการศึกษาสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพจากเหง้ากระชาย (Sudjaroen & Thongmuang, 2022) พบปริมาณสารที่ตรวจวัดได้ดังนี้ ปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมด (Total Phenolic Content, TPC) เท่ากับ 91.51 ± 0.76 มิลลิกรัม กรดแกลลิกเทียบเท่ากับต่อกรัม (mg GAE/g) และฟลาโวนอยด์ทั้งหมด (Total Flavonoid Content, TFC) มีค่าเท่ากับ 21.05 ± 1.53 มิลลิกรัม เควอซีตินเทียบเท่ากับต่อกรัม (mg QE/g) ด้วยศักยภาพทางชีวภาพในการใช้ประโยชน์ กระชายจึงเหมาะที่จะนำมาพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์สำหรับสุขภาพ

2.2.2 บัวบก (Gotu Kola)

บัวบก (*Centella asiatica*) เป็นสมุนไพรที่มีสารสำคัญหลากหลายชนิดที่มีคุณประโยชน์ทางสุขภาพ มีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดในสารสกัดไฮโดรแอลกอฮอล์สูงถึง 13.296 มิลลิกรัมกรดแกลลิกต่อกรัม (mg GA/g) น้ำหนักแห้ง และปริมาณฟลาโวนอยด์สูงสุดถึง 76.503 มิลลิกรัมเควอซีตินต่อกรัม (mg Q/g) ซึ่งบ่งชี้ถึงศักยภาพของสารกลุ่มนี้ในการส่งเสริมสุขภาพ (MUNDU, PURAN, & MEHTA, 2024) งานวิจัยยังพบว่าสารประกอบเหล่านี้มีความสัมพันธ์กับกิจกรรมต้านอนุมูลอิสระ และคุณสมบัติการยับยั้งเอนไซม์ α -glucosidase ที่ช่วยควบคุมระดับน้ำตาลในเลือด ทำให้ใบบัวบกมีประโยชน์ต่อผู้ป่วยโรคเบาหวาน (Minarti, Wati, & Fajriah, 2021) งานวิจัยหลายเรื่องที่ยืนยันถึงคุณสมบัติทางชีวภาพที่โดดเด่น เช่น การต้านอนุมูลอิสระ การต้านการอักเสบ และการส่งเสริมการฟื้นฟูเนื้อเยื่อ โดยสารในกลุ่มไตรเทอร์พีน (Triterpenes) เช่น Asiaticoside และ Madecassoside มีบทบาทสำคัญในการลดการอักเสบในลำไส้ ชุ่มชื้นเนื้อเยื่อ และป้องกันการเกิดแผลในกระเพาะอาหาร (Brinkhaus, Lindner, Schuppan, & Hahn, 2000) นอกจากนี้ สารฟีนอลิกและฟลาโวนอยด์ในใบบัวบกยังแสดงศักยภาพในการต้านจุลชีพ ยับยั้งเซลล์มะเร็งบางชนิด และช่วยลดการเกิดลิ่มเลือด ซึ่งมีบทบาทสำคัญในการลดความเสี่ยงของโรคเรื้อรัง เช่น โรคหัวใจและหลอดเลือด โรคเบาหวาน และมะเร็ง (Rashid et al., 2023) จากคุณสมบัติที่หลากหลายนี้ ใบบัวบกจึงถือเป็นพืชสมุนไพรที่มีศักยภาพสูงในการพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์เพื่อสุขภาพ โดยเฉพาะในด้านการป้องกันโรคเรื้อรังและการบำบัดโรคที่เกี่ยวข้องกับการอักเสบและระบบหลอดเลือด

2.2.3 มะขามป้อม (Indian Gooseberry)

มะขามป้อม (*Phyllanthus emblica*) หรือที่เรียกกันทั่วไปว่า Indian Gooseberry เป็นผลไม้ที่มีคุณสมบัติทางชีวภาพที่หลากหลาย อุดมด้วยวิตามินซี และเป็นแหล่งของสารต้านอนุมูลอิสระ เช่น ฟลาโวนอยด์ และแทนนิน ซึ่งมีประโยชน์ในการเสริมสุขภาพระบบย่อยอาหาร ช่วยป้องกันการเกิดแผลในกระเพาะอาหาร และสามารถช่วยลดระดับกรดในกระเพาะอาหาร ทำให้สามารถบรรเทาอาการกรดไหลย้อนและป้องกันการอักเสบในลำไส้ได้ (Prananda et al., 2023) ทั้งนี้ ปริมาณสารฟีนอลิกและสารฟลาโวนอยด์ในมะขามป้อมขึ้นอยู่กับวิธีการสกัด ส่วนของพืชที่ใช้ และขนาดอนุภาคของตัวอย่าง งานวิจัยในประเทศจีนพบว่า การสกัดด้วยเมทานอลให้ปริมาณสารฟีนอลิกรวมอยู่ในช่วง 81.5–120.9 มิลลิกรัมกรดแกลลิกเทียบเท่า (GAE) ต่อกรัม และฟลาโวนอยด์รวมอยู่ที่ 20.3–38.7 มิลลิกรัมควิซีนินเทียบเท่า (QE) ต่อกรัม (Liu, Zhao, Wang, Yang, & Jiang, 2008) จากการศึกษาเปรียบเทียบส่วนของมะขามป้อมพบว่าสารสกัดจากเมล็ดมีปริมาณฟลาโวนอยด์สูงกว่าสารสกัดจากผล และพบว่าสารฟลาโวนอยด์ในสารสกัดมีปริมาณเพิ่มขึ้นเมื่อขนาดอนุภาคของตัวอย่างเล็กลง โดยพบค่าที่สูงที่สุดในตัวอย่างที่มีขนาดอนุภาคตัวอย่างระหว่าง 0.250–0.149 มิลลิเมตร (Raaf, Mulana, Syamsuddin, Arpi, & Supardan, 2023) ข้อมูลเหล่านี้เน้นถึงศักยภาพของมะขามป้อมในฐานะแหล่งสารต้านอนุมูลอิสระและสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่สำคัญ ซึ่งสามารถนำไปใช้ในผลิตภัณฑ์เสริมอาหารเพื่อสุขภาพในอนาคตได้

2.3 เครื่องดื่มหมักด้วยแบคทีเรียและยีสต์ที่ทำงานร่วมกัน (SCOBY)

เครื่องดื่มหมักด้วยแบคทีเรียและยีสต์ทำงานร่วมกัน หรือที่รู้จักกันโดยทั่วไปว่า คอมบูชา (Kombucha) เป็นเครื่องดื่มที่มีต้นกำเนิดจากประเทศจีน มีประวัติการบริโภคมาอย่างยาวนานในหลายวัฒนธรรมทั่วโลก คอมบูชามีลักษณะเป็นเครื่องดื่มรสเปรี้ยว ซึ่งเกิดจากการหมักน้ำชาหวานด้วยจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ เช่น แบคทีเรีย *Acetobacter* และ *Lactobacillus* รวมถึงยีสต์หลากหลายชนิด ซึ่งกลุ่มจุลินทรีย์และยีสต์ที่อาศัยอยู่ร่วมกันนี้เรียกว่า Symbiotic Culture of Bacteria and Yeast หรือ SCOBY โดยกระบวนการหมักจะใช้ร่วมกับของเหลวตั้งต้น (starter broth) ที่หมักไว้ก่อนหน้านี้ เพื่อปรับสภาพความเป็นกรดและช่วยกระตุ้นการสร้างประชากรจุลินทรีย์ในระยะแรกของการหมัก (Marsh et al., 2014) กระบวนการหมักทำให้เกิดสารประกอบชีวภาพหลายชนิด เช่น กรดอะซิติก กรดกลูคูโรนิก เอทานอล สารฟีนอลิก และสารต้านอนุมูลอิสระ ซึ่งมีส่วนช่วยในการปรับสมดุลจุลินทรีย์ในลำไส้ เสริมภูมิคุ้มกัน และส่งผลดีต่อสุขภาพทางเดินอาหาร (Greenwalt et al., 2000; Jayabalan et al., 2014; Villarreal-Soto et al., 2018) ชาที่ใช้ใน

กระบวนการหมักคอมบูชาแบบดั้งเดิมมีองค์ประกอบสำคัญคือ สารประกอบ กลุ่มโพลีฟีนอล (Polyphenols) โดยเฉพาะฟลาโวนอยด์ (Flavonoids) และ แทนนิน (Tannins) ซึ่งทำหน้าที่เป็น แหล่งพลังงานและสารตั้งต้นให้จุลินทรีย์ใน SCOBY สามารถดำเนินกระบวนการหมักได้อย่างมีประสิทธิภาพ และยังช่วยเสริมคุณค่าทางชีวภาพให้แก่ผลิตภัณฑ์หมัก (Zhang et al., 2020)

2.3.1 กลุ่มจุลินทรีย์และยีสต์ที่อยู่ร่วมกัน (SCOBY) และน้ำหมักตั้งต้น (starter broth)

SCOBY ย่อมาจาก Symbiotic Culture of Bacteria and Yeast ประกอบด้วยจุลินทรีย์หลากหลายชนิดที่อยู่ร่วมกันอย่างสมดุลและทำหน้าที่ร่วมกันในการย่อยน้ำตาล มีลักษณะเป็นแผ่นวุ้นซึ่งเกิดจากการเจริญเติบโตของแบคทีเรียสร้างกรดอะซิติกและยีสต์ โดยจุลินทรีย์หลักที่พบ ได้แก่ *Komagataeibacter xylinus* *Acetobacter aceti* และยีสต์ในกลุ่ม *Saccharomyces* และ *Zygosaccharomyces* ซึ่งมีบทบาทในการย่อยสลายน้ำตาลและสร้างกรดอินทรีย์และเอทานอล (Greenwalt et al., 2000) โดยระหว่างการหมักคอมบูชา ยีสต์จะทำหน้าที่ย่อยน้ำตาลซูโครสเป็น ฟรุกโตสและกลูโคส ผ่านกระบวนการ glycolysis ผลิตเอทานอลและคาร์บอนไดออกไซด์ ขณะที่แบคทีเรียจะใช้ออกซิเจนเปลี่ยนเอทานอลเป็นกรดอะซิติก และกลูโคสเป็นกรดกลูโคนิกในกระบวนการ oxidative fermentation (Jayabalan et al., 2014) พร้อมทั้งสร้างเซลล์ลูลอสที่สะสมบนผิวน้ำหมักจนเกิดเป็นแผ่น SCOBY

น้ำหมักตั้งต้น (Starter Broth) คือของเหลวที่ได้จากการหมักคอมบูชาในรอบก่อนหน้า ซึ่งมีลักษณะเป็นของเหลวที่มีค่า pH ต่ำ อยู่ในช่วง 2.5 – 4.0 และมีความเข้มข้นของกรดอินทรีย์ในระดับสูง ประกอบด้วยจุลินทรีย์ที่มีชีวิตจากกลุ่มเดียวกับใน SCOBY จึงมีบทบาทสำคัญในการเริ่มต้นกระบวนการหมักใหม่ (Jayabalan et al., 2014) เนื่องจากน้ำหมักตั้งต้นจะช่วยปรับให้ค่า pH ของน้ำหมักมีความเหมาะสมกับการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่ดี และไม่เอื้อต่อการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ก่อโรค

การใช้ปริมาณ SCOBY ที่เหมาะสมในการหมักมีผลต่อความเร็วในการเริ่มต้นการหมัก ปริมาณจุลินทรีย์ในระบบ และคุณภาพของผลิตภัณฑ์ มีการศึกษาวิจัยของ Neffe-Skocińska et al. (2017) พบว่า การใช้ SCOBY ในสัดส่วนร้อยละ 5 น้ำหนักต่อปริมาตร ส่งผลให้ค่า pH ลดลง และเพิ่มการผลิตกรดอินทรีย์ได้อย่างมีนัยสำคัญ อีกทั้งพบข้อมูลของ Chaluvadi et al. (2024) ที่แสดงให้เห็นว่าการใช้ SCOBY ในปริมาณร้อยละ 4.5 น้ำหนักต่อปริมาตร สามารถรักษาสมดุลของการหมักและให้ค่าการเจริญเติบโตของแบคทีเรียที่ดี ทั้งนี้การเติมน้ำหมักตั้งต้นมีจุดประสงค์เพื่อปรับสภาพค่า pH ให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสมกับการเจริญของแบคทีเรียกรดแลกติก (Lactic acid bacteria; LAB) และแบคทีเรียกรดอะซิติก (Acetic acid bacteria; AAB) อีกทั้งยังช่วยยับยั้ง

การปนเปื้อนของจุลินทรีย์ที่ไม่พึงประสงค์ (Marsh et al., 2014) โดยทั่วไปปริมาณน้ำหมักตั้งต้นที่ใช้ในการหมักคอมบูชาอยู่ในช่วงร้อยละ 5 – 20 ปริมาตรต่อปริมาตร ซึ่งจะช่วยให้การหมักและเพิ่มความสม่ำเสมอของรสชาติในผลิตภัณฑ์ขึ้นอยู่กับสูตรและวัตถุดิบ โดยปริมาณน้ำหมักตั้งต้นที่ร้อยละ 11 ปริมาตรต่อปริมาตร อาจส่งผลดีในเชิงความเร็วของการหมัก แต่รสชาติและสารสำคัญที่เกิดขึ้นจากกระบวนการหมักแปรผันตามวัตถุดิบ (Chaluvadi et al., 2024) อย่างไรก็ตาม พบว่าปริมาณน้ำหมักตั้งต้นร้อยละ 6 (v/v) ทำให้ได้สมดุลระหว่างการควบคุมจุลินทรีย์และต้นทุนการผลิต (Neffe-Skocińska, Sionek, Scibisz, & Kołozyn-Krajewska, 2017)

2.3.2 ปัจจัยที่ส่งผลต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มหมักแบบคอมบูชา

2.3.2.1 บทบาทของวัตถุดิบ

น้ำผึ้ง

เมื่อใช้น้ำผึ้งเป็นแหล่งน้ำตาลในการหมักคอมบูชา น้ำผึ้งไม่เพียงแต่ทำหน้าที่เป็นแหล่งน้ำตาลและพลังงานสำหรับสโคบี (SCOBY) ในกระบวนการหมัก แต่ยังทำหน้าที่เป็นพรีไบโอติกที่ช่วยเสริมสร้างการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์พรีไบโอติกที่เกิดขึ้นในกระบวนการหมัก ซึ่งพรีไบโอติกเหล่านี้มีส่วนช่วยในการปรับสมดุลของจุลินทรีย์ในลำไส้และส่งเสริมสุขภาพระบบย่อยอาหารโดยรวม มีการศึกษาพบว่ากระบวนการหมักคอมบูชาที่ใช้น้ำผึ้งสามารถเพิ่มปริมาณจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์และส่งผลดีต่อสุขภาพลำไส้ (Kwakman et al., 2011) การผสมผสานคุณสมบัติของพรีไบโอติกในน้ำผึ้ง เข้ากับจุลินทรีย์พรีไบโอติกจากคอมบูชาจึงเป็นการสร้างเครื่องดื่มที่ช่วยเสริมสุขภาพระบบทางเดินอาหารได้อย่างมีประสิทธิภาพ

สมุนไพร

จากกระแสความนิยมเครื่องดื่มชาหมักที่มากขึ้นในปัจจุบัน มีการนำสมุนไพรหลากหลายชนิดมาใช้ในการผลิตคอมบูชาเพื่อเพิ่มคุณสมบัติทางสุขภาพและรสชาติ งานวิจัยหลายชิ้นได้ศึกษาการใช้สมุนไพรในการทำคอมบูชา ไม่ว่าจะเป็นการศึกษาการใช้สมุนไพรพื้นบ้าน เช่น ฮอป (*Humulus lupulus* L.) มาติ้ม (*Polygonum cognatum*) และฮอว์ธอร์น (*Crataegus monogyna*) ทดแทนชาดำในการหมักคอมบูชา พบว่าเครื่องดื่มคอมบูชาที่ได้มีฤทธิ์ทางชีวภาพที่ดี เช่น ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและฤทธิ์ต้านจุลชีพ (Tefon Öztürk, Eroğlu, Delik, Çiçek, & Çiçek, 2023) รวมถึงการศึกษากการใช้สมุนไพร 6 ชนิด ได้แก่ สมุนไพรฤดูหนาว (winter savory herb) ใบเปเปอมินต์ (peppermint leaves) ใบตำแย (stinging nettle leaves) สมุนไพรไทม์ป่า (wild thyme herb) ดอกเอลเดอร์เบอร์รี่ (elderberry flowers) และใบควินซ์ (quince leaves) แทนการใช้ชาดำและชาเขียว นำมาหมักร่วมกับ SCOBY เป็นคอมบูชา พบว่าคอมบูชาที่ได้จากการหมักสมุนไพรมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระที่แตกต่างกัน โดยคอมบูชาจากสมุนไพรฤดูหนาว ให้ค่าการต้าน

อนุมูลอิสระจากไฮดรอกซิลสูงที่สุด ในขณะที่คอมบูชาจากสมุนไพรโพรโทมิป้า มีความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระ DPPH สูงสุด และสูตรจากใบคินน์ มีค่าความสามารถในการรีดิวซ์เหล็ก (FRAP) สูงที่สุด รวมถึงมีการเปลี่ยนแปลงในองค์ประกอบทางเคมีและคุณสมบัติทางประสาทสัมผัสที่แตกต่างกันตามแต่ชนิดของสมุนไพร (Vitas, Vukmanović, Cakarevic, Popovic, & Malbaša, 2019)

งานวิจัยโดย Anantachoke และคณะ (2023) ได้รวบรวมข้อมูลจากงานวิจัยหลากหลายฉบับที่ศึกษาการใช้พืชสมุนไพรหลากหลายชนิดที่ใช้เป็นวัตถุดิบแทนชาดำหรือชาเขียว ในการหมักกับ SCOBY เพื่อพัฒนาเป็นเครื่องดื่มแนวคอมบูชาที่เน้นการประเมนผลในด้านฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ การต้านอักเสบ และฤทธิ์เสริมภูมิคุ้มกัน มีการศึกษาการใช้วัตถุดิบกลุ่มสมุนไพร เช่น ใบมินต์ (*Mentha cordifolia*) ใบโหระพา (*Ocimum basilicum*) ตะไคร้ ใบมะตูม ใบฝรั่ง ใบยาริวั (Achillea millefolium) และขมิ้นชัน เป็นต้น พบว่าเครื่องดื่มคอมบูชาที่หมักจากสมุนไพรเหล่านี้มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิก (Total Phenolic Content; TPC) และสารฟลาโวนอยด์รวม (Total Flavonoid Content; TFC) เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเปรียบเทียบกับสารสกัดของสมุนไพรที่ยังไม่ผ่านการหมัก นอกจากนี้ยังพบว่า ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของเครื่องดื่มหลังการหมัก เช่น ค่าความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระ DPPH และ ABTS เพิ่มขึ้นตลอดช่วงระยะเวลาการหมัก โดยเฉพาะในช่วง 7–14 วันแรก ซึ่งเป็นช่วงที่กิจกรรมของจุลินทรีย์ใน SCOBY มีความเข้มข้นสูงสุด ตัวอย่างเช่น คอมบูชาที่หมักจากใบโหระพา พบว่ามีค่าการยับยั้งอนุมูลอิสระ DPPH สูงถึงร้อยละ 68.09 และค่าการยับยั้งจากวิธี CUPRAC สูงถึงร้อยละ 43.91 ซึ่งสูงกว่าเครื่องดื่มคอมบูชาที่หมักจากชาดำล้วน และสูตรที่ผสมระหว่างชาดำกับใบโหระพาในสัดส่วนอื่น ๆ นอกจากนี้สมุนไพรบางชนิดยังแสดงฤทธิ์ต้านอักเสบที่ชัดเจน โดยในการศึกษาที่ใช้เซลล์ macrophage (RAW264.7) ที่กระตุ้นด้วย LPS พบว่าคอมบูชาจากใบโอ๊ค (*Quercus spp.*) สามารถยับยั้งการผลิตไนตริกออกไซด์ (NO) interleukin-6 (IL-6) และ tumor necrosis factor- α (TNF- α) ได้อย่างมีนัยสำคัญ โดยเฉพาะสูตรที่ใช้ *Q. resinosa* และ *Q. convallata* ซึ่งมีประสิทธิภาพในการยับยั้งการหลั่ง IL-6 สูงที่สุด

ในการศึกษาวิจัยในระดับเซลล์มนุษย์ (human cell line) พบว่าคอมบูชาที่หมักจากใบมินต์ร่วมกับชาชนิดอื่น เช่น ชาอู่หลง และดอกอัญชัน สามารถลดการสร้างอนุมูลอิสระที่เกิดจากออกซิเจนภายในเซลล์ HEK-293 ที่ถูกกระตุ้นด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ได้ อีกทั้งยังสามารถกระตุ้นการแสดงออกของยีนที่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์ต้านอนุมูลอิสระ ได้แก่ GPx-1, Mn-

SOD และ HO-1 ซึ่งแสดงให้เห็นถึงกลไกการต้านอนุมูลอิสระที่เกี่ยวข้องกับการควบคุมยีนในระดับโมเลกุล (Anantachoke, Duangrat, Sutthiphatkul, Ochaikul, & Mangmool, 2023)

ในภาพรวม งานวิจัยเหล่านี้ชี้ให้เห็นว่า การเลือกใช้พืชสมุนไพรในการหมักร่วมกับ SCOBY ไม่เพียงแต่สามารถสนับสนุนการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในกระบวนการหมักได้เป็นอย่างดี แต่ยังส่งผลให้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายมีคุณภาพทางชีวภาพที่ดีขึ้น โดยเฉพาะในด้านการต้านอนุมูลอิสระและการต้านอักเสบ ซึ่งคุณสมบัติเหล่านี้มีศักยภาพในการพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มสุขภาพทางเลือกที่ตอบสนองต่อความต้องการของผู้บริโภคในยุคปัจจุบัน

2.3.2.2 กระบวนการหมัก

นอกจากการควบคุมอัตราส่วนของวัตถุดิบสำหรับการหมักเครื่องดื่มแบบคอมบูชาแล้ว ปัจจัยที่ต้องควบคุมในกระบวนการหมักยังรวมถึง อุณหภูมิ และสภาพแวดล้อม นอกจากนี้ ปัจจัยด้านระยะเวลาการหมักก็ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพสมบัติทางกายภาพและเคมีที่เกิดขึ้นระหว่างการหมัก มีการศึกษาเกี่ยวกับระยะเวลาที่เหมาะสมอยู่ระหว่าง 7 – 14 วัน ซึ่งต้องควบคุมอุณหภูมิแวดล้อมอยู่ในช่วง 25 – 30 องศาเซลเซียส การหมักในระยะเวลาและสภาพแวดล้อมนี้จะให้รสชาติที่ค่อนข้างหวานและมีความเป็นกรดต่ำ โดยน้ำตาลบางส่วนจะถูกเปลี่ยนเป็นกรด เช่น กรดแลคติก และกรดอะซิติก เหมาะสำหรับผู้ที่ต้องการเครื่องดื่มที่มีรสเปรี้ยวเล็กน้อย และย่อยง่าย (Teoh, Heard, & Cox, 2004) หากใช้เวลาในการหมักนานขึ้นมากกว่า 2 สัปดาห์ จะมีความเป็นกรดสูงขึ้น และปริมาณน้ำตาลลดลง ทำให้มีรสเปรี้ยว (Villarreal-Soto et al., 2018) และเมื่อปล่อยให้เกิดการหมักนานกว่า 3 สัปดาห์ น้ำตาลจะถูกย่อยสลายเกือบทั้งหมด ทำให้มีรสเปรี้ยวจัด และเกิดแอลกอฮอล์ (Jayabalan et al., 2014)

2.4 แนวโน้มของโรคในระบบทางเดินอาหารในประเทศไทยและระดับโลก

ในช่วงทศวรรษที่ผ่านมา เครื่องดื่มหมักได้กลายเป็นหนึ่งในผลิตภัณฑ์ที่ได้รับความนิยมเพิ่มขึ้นอย่างมากในกลุ่มผู้บริโภคที่ใส่ใจสุขภาพ เนื่องจากการค้นพบว่ากระบวนการหมักสามารถเพิ่มปริมาณสารประกอบทางชีวภาพ เช่น สารต้านอนุมูลอิสระ กรดอินทรีย์ และจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ ซึ่งส่งผลดีต่อระบบทางเดินอาหาร ระบบภูมิคุ้มกัน และการลดการอักเสบในร่างกาย (Marco et al., 2017) โดยเฉพาะอย่างยิ่ง เครื่องดื่มหมักจากวัตถุดิบธรรมชาติ เช่น โยเกิร์ต คีเฟอร์ คอมบูชา หรือเครื่องดื่มสมุนไพรหมัก มักถูกเลือกใช้เป็นอาหารฟังก์ชัน (functional food) เพื่อบรรเทาอาการไม่พึงประสงค์ในระบบทางเดินอาหาร และส่งเสริมระบบย่อยอาหาร (Batista, Penas, Pintado, & Oliveira-Silva, 2022; Gibson et al., 2017) ทั้งนี้ สาเหตุหนึ่งที่ผู้บริโภคหันมาสนใจผลิตภัณฑ์อาหารและเครื่องดื่มหมักเพื่อสุขภาพระบบทางเดินอาหาร และได้รับความนิยม

เพิ่มขึ้นในกลุ่มผู้บริโภคที่ใส่ใจสุขภาพ เนื่องจากมีหลักฐานทางวิทยาศาสตร์ที่สนับสนุนว่าอาหารหมักที่อุดมไปด้วยจุลินทรีย์ที่ดีสามารถช่วยลดความเสี่ยงในการเกิดโรคทางเดินอาหารได้ (de Vrese & Schrezenmeir, 2008) และป้องกันการอักเสบในระบบทางเดินอาหารได้ดี (Greenwalt et al., 2000)

จากข้อมูลขององค์การอนามัยโลก (World Health Organization; WHO) ได้ระบุว่าแนวโน้มของโรคทางเดินอาหารที่มีอัตราการเพิ่มสูงขึ้นทั่วโลก โดยเฉพาะในประเทศที่กำลังพัฒนา และมีอัตราการเติบโตของเศรษฐกิจอย่างรวดเร็ว ซึ่งกลุ่มประชากรวัยทำงานและผู้สูงอายุ ต้องเผชิญกับปัจจัยเสี่ยงจากวิถีชีวิตเร่งรีบ อาหารแปรรูป และความเครียดสะสม ส่งผลให้โรคเรื้อรังที่เกี่ยวข้องกับลำไส้และกระเพาะอาหารมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เช่น โรคลำไส้แปรปรวน โรคกรดไหลย้อน ลำไส้อักเสบ และกลุ่มโรคอักเสบเรื้อรังในทางเดินอาหาร ซึ่งคาดการณ์ว่าแนวโน้มนี้จะยังคงเพิ่มขึ้นต่อเนื่องในอนาคตอันใกล้ เป็นหนึ่งในสาเหตุหลักที่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพชีวิตที่ลดลงของประชากรในหลายภูมิภาค (WHO, 2024) จะเห็นได้ว่าโรคที่เกี่ยวข้องกับระบบทางเดินอาหารกลายเป็นปัญหาสุขภาพที่ส่งผลกระทบในวงกว้าง ข้อมูลจากประเทศไทยก็สะท้อนแนวโน้มดังกล่าวเช่นกัน โดยมีรายงานจากกรมอนามัยว่า โรคเกี่ยวกับระบบทางเดินอาหารเป็นสาเหตุการเข้ารับการรักษาในโรงพยาบาลที่พบบ่อยในประชาชนไทย โดยเฉพาะโรคกระเพาะอาหารและกรดไหลย้อน

จากแนวโน้มของผู้บริโภคในปัจจุบันที่ต้องการผลิตภัณฑ์สุขภาพที่มีความหลากหลาย และใช้วัตถุดิบธรรมชาติจากท้องถิ่น จึงเกิดแนวคิดนวัตกรรมที่อยู่บนหลักการเดียวกับคอมบูชา โดยการพัฒนาเครื่องดื่มหมักด้วย SCOBY ที่ใช้สมุนไพร เช่น กระชาย (*Boesenbergia rotunda*) บัวบก (*Centella asiatica*) และมะขามป้อม (*Phyllanthus emblica*) ทดแทนชา แต่ยังคงมีองค์ประกอบของสารสำคัญคล้ายกับชา ได้แก่ สารโพลีฟีนอล ฟลาโวนอยด์ และกรดฟีนอลิก ที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ด้านการอักเสบ และด้านจุลินทรีย์ก่อโรค ในขณะเดียวกันก็เป็นแหล่งของสารอาหารให้กับจุลินทรีย์ใน SCOBY และส่งผลให้เกิดกระบวนการหมักได้อย่างสมบูรณ์ (Donadi & Kola, 2019; Mayachiew & Devahastin, 2008; Wang et al., 2025)

บทที่ 3

ระเบียบวิธีวิจัย

3.1 วัตถุดิบ

3.1.1 น้ำผึ้งดิบ (Raw Honey) จากแหล่งผลิตทางภาคเหนือของประเทศไทย ภายใต้มาตรฐานการผลิต HACCP โดยบริษัทเชียงใหม่เฮลตี้โปรดักส์ จำกัด ภายใต้ตราสินค้าฟอราบี

3.1.2 ผงสมุนไพรไทย 3 ชนิด ได้แก่ ผงกระชาย (Fingerroot) ผงบัวบก (Asiatic pennywort) และผงมะขามป้อม (Indian gooseberry) ภายใต้การผลิตโดยมูลนิธิโรงพยาบาลเจ้าพระยาอภัยภูเบศร ในพระอุปถัมภ์ สมเด็จพระเจ้าภคินีเธอ เจ้าฟ้าเพชรรัตนราชสุดา สิริโสภาพัณณวดี ที่จำหน่ายทางการค้าภายใต้ตราสินค้าอภัยภูเบศร

3.1.3 เชื้อแบคทีเรียและยีสต์ที่ใช้ในการหมัก ได้จากสโคบี (SCOBY: Symbiotic Culture of Bacteria and Yeast) ที่จำหน่ายทางการค้าในรูปแบบออนไลน์ ภายใต้ตราเนเชอร์คอมมูนา

3.1.4 น้ำสะอาด

3.1.5 แอปเปิ้ลแดง สายพันธุ์แจ๊ส จัดจำหน่ายโดยห้างสรรพสินค้าโลตัส

3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์

3.2.1 ภาชนะสำหรับการหมักที่ทำจากแก้ว หรือวัสดุที่ไม่ทำปฏิกิริยากับตัวอย่างที่หมัก

3.2.2 แท่งแก้วคนสาร

3.2.3 ข้อนตักสาร

3.2.4 ปีกเกอร์

3.2.5 ผ้าขาวบาง

3.2.6 อุปกรณ์เครื่องครัวสำหรับการต้มวัตถุดิบและอุปกรณ์

3.2.7 เครื่องชั่งไฟฟ้า ทศนิยม 2 ตำแหน่ง ยี่ห้อ Sartorius รุ่น Entris II ประเทศเยอรมนี

3.2.8 เครื่องชั่งไฟฟ้า ทศนิยม 4 ตำแหน่ง ยี่ห้อ Mettler รุ่น MX204 ประเทศสหรัฐอเมริกา

3.2.9 เครื่อง pH meter ยี่ห้อ VWR รุ่น MD 8000 L ประเทศสหรัฐอเมริกา

3.2.10 เครื่อง Refractometer ยี่ห้อ ATAGO รุ่น PAL- α ประเทศญี่ปุ่น

3.2.11 เครื่องวัดสี ยี่ห้อ Hunter Lab รุ่น ColorFlex EZ ประเทศสหรัฐอเมริกา

3.2.12 เครื่องวัดการดูดกลืนแสงของสาร (Ultra Violet-Visible Spectrophotometer) ยี่ห้อ Metash รุ่น V-5100 ประเทศจีน

- 3.2.13 ชุดเครื่องวัดปริมาณแอลกอฮอล์แบบอีบูลลิโอมิเตอร์ (Ebulliometer) ยี่ห้อ Dujardin-Salleron ประเทศฝรั่งเศส พร้อมเครื่องวัดอุณหภูมิแบบดิจิตอล และแผ่นดิสก์คำนวณ
- 3.2.14 ไมโครปิเปต (Micropipette) ยี่ห้อ BRAND รุ่น Transferpette S ประเทศเยอรมนี
- 3.2.15 เครื่องเขย่าสาร (Vortex mixer) ยี่ห้อ IKA รุ่น VORTEX 3 ประเทศเยอรมนี
- 3.2.16 ตู้แช่แข็ง ยี่ห้อ SANYO รุ่น SF-C997 ประเทศไทย

3.3 สารเคมี

- 3.3.1 สารละลาย Folin-Ciocalteu ยี่ห้อ Loba Chemie ประเทศอินเดีย
- 3.3.2 กรดแกลลิก ยี่ห้อ Loba Chemie ประเทศอินเดีย
- 3.3.3 สาร 1,1-Diphenyl-2-picrylhydrazyl free radical หรือ DPPH ยี่ห้อ TCI ประเทศญี่ปุ่น
- 3.3.4 สาร 2,2'-Azino-bis(3-ethylbenzothiazoline-6-sulphonic acid) diammonium salt หรือ ABTS ยี่ห้อ Sigma-Aldrich ประเทศเยอรมนี
- 3.3.5 สารโพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟต (K_2SO_4) ยี่ห้อ Merck ประเทศเยอรมนี
- 3.3.6 สารโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) ยี่ห้อ Loba Chemie ประเทศอินเดีย
- 3.3.7 สารโพแทสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต (KH_2PO_4) ยี่ห้อ Loba Chemie ประเทศอินเดีย
- 3.3.8 สารไดโซเดียมไฮโดรเจนฟอสเฟต ($Na_2HPO_4 \cdot 12H_2O$) ยี่ห้อ Loba Chemie ประเทศอินเดีย
- 3.3.9 สารโพแทสเซียมคลอไรด์ (KCl) ยี่ห้อ KemAus ประเทศออสเตรเลีย
- 3.3.10 สารโซเดียมเอไซด์ (NaN_3) ยี่ห้อ Loba Chemie ประเทศอินเดีย
- 3.3.11 กรดไฮโดรคลอริก 37% (HCl) ยี่ห้อ Qrec ประเทศนิวซีแลนด์
- 3.3.12 สารโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ยี่ห้อ Qrec ประเทศนิวซีแลนด์
- 3.3.13 น้ำปราศจากไอออน (Deionized water)

3.4 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

3.4.1 การศึกษาพฤติกรรมและความต้องการของผู้บริโภคเครื่องดื่มคอมบูชาด้วยวิธีการเก็บข้อมูลทุติยภูมิ

ทำการศึกษาพฤติกรรมผู้บริโภคและแนวโน้มความต้องการในกลุ่มเครื่องดื่มเพื่อสุขภาพ โดยเฉพาะเครื่องดื่มประเภทหมัก เช่น คอมบูชา โดยค้นคว้าจากแหล่งข้อมูลทุติยภูมิ (Secondary Data) และนำมาวิเคราะห์ โดยขั้นตอนการดำเนินการ มีรายละเอียดดังนี้

3.4.1.1 กำหนดขอบเขตของการศึกษาข้อมูล เพื่อศึกษาลักษณะพฤติกรรมผู้บริโภค แนวโน้มความนิยม และกลุ่มเป้าหมายที่มีศักยภาพในการเลือกซื้อและบริโภคเครื่องดื่มคอมบูชาที่มีส่วนผสมจากธรรมชาติ เช่น น้ำผึ้ง และสมุนไพรไทย

3.4.1.2 เก็บรวบรวมข้อมูลจากแหล่งที่น่าเชื่อถือ เช่น

- รายงานการวิจัยตลาดขององค์กรระหว่างประเทศ เช่น Mintel Grand View Research และ Innova Market Insights

- รายงานหน่วยงานภาครัฐของประเทศไทย เช่น สำนักงานสถิติแห่งชาติ สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา

- งานวิจัยที่เกี่ยวข้องจากบทความทางวิชาการ และวิทยานิพนธ์ที่ผ่านมา

- รายงานเชิงพฤติกรรมผู้บริโภคและรายงานด้านเศรษฐกิจ จากธนาคารหรือสถาบันการเงิน เช่น ธนาคารแห่งประเทศไทย ธนาคารกรุงศรี ธนาคารไทยพาณิชย์

3.4.1.3 การสังเคราะห์ข้อมูลเพื่อเป็นแนวทางการออกแบบผลิตภัณฑ์ ซึ่งข้อมูลเชิงลึกที่ได้จากการวิเคราะห์จะนำไปสู่การกำหนดแนวทางในการพัฒนาผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มหมักสูตรใหม่ โดยเลือกใช้วัตถุดิบที่ตรงกับความต้องการของผู้บริโภค ได้แก่ การใช้น้ำผึ้งแทนน้ำตาล และการใช้สมุนไพรไทยที่มีคุณสมบัติด้านสุขภาพ เช่น กระชาย มะขามป้อม และใบบัวบก

3.4.2 การศึกษากระบวนการหมักเครื่องดื่มสมุนไพรหมักผสมน้ำผึ้ง

เตรียมวัตถุดิบสำหรับการหมัก โดยแบ่งออกเป็น 3 สูตร แต่ละสูตรใช้ผงสมุนไพร (กระชาย บัวบก มะขามป้อม) อย่างละ 10 กรัมผสมกับน้ำร้อน 1 ลิตร เติมน้ำผึ้งดิบ 100 กรัม คนผสมและตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 15 นาที จากนั้นนำส่วนผสมทั้งหมดไปต้มจนเดือดเป็นเวลา 5 นาที กรองใส่ภาชนะสำหรับหมักที่สะอาดปราศจากเชื้อ และทิ้งไว้จนกระทั่งส่วนผสมเย็นลงที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นเติมน้ำตั้งต้น (starter broth) ในอัตราส่วนร้อยละ 6 (ปริมาตรต่อปริมาตร) คนให้เข้ากัน จากนั้นเติมชันสโคบี้ (SCOBY) ในอัตราส่วนร้อยละ 4 (น้ำหนักต่อปริมาตร) ปิดปากภาชนะสำหรับการหมักด้วยผ้าขาวบางเพื่อป้องกันฝุ่นและแมลง ปล่อยให้เกิดกระบวนการหมัก

แบบใช้อากาศ ที่อุณหภูมิช่วง 25 ± 2 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 7 วัน เมื่อครบระยะเวลากการหมัก นำเฉพาะส่วนของเหลวไปหมักในขั้นที่ 2 ต่อไป

ส่วนของเหลวในขั้นตอนที่ 1 ทำการสุ่มตัวอย่างมาตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงคุณภาพในวันที่ 0 3 5 และ 7 เก็บรักษาแบบแช่แข็งสำหรับรอการวิเคราะห์ โดยตรวจสอบค่า pH ความเป็นกรด ค่าปริกซ์ ค่าสี สารประกอบฟีนอลิก และสารต้านอนุมูลอิสระ

3.4.2.2 การหมักขั้นที่ 2 (Second Fermentation; F2)

เตรียมแอปเปิ้ลแดงที่มีความสุกระดับเปลือกแดงทั่วผลไปแช่สารละลายผงฟู (อัตราส่วนผงฟู 7.5 กรัมต่อน้ำ 10 ลิตร) เป็นเวลา 15 นาที ล้างด้วยน้ำผ่านเป็นเวลา 5 นาที หั่นชิ้นขนาดไม่เกินด้านละ 1.5 เซนติเมตร นำไปหมักร่วมกับตัวอย่างของเหลวที่ได้จากการหมักทุกสูตรตามขั้นที่ 1 ใส่ภาชนะที่มีฝาปิด ในอัตราส่วนร้อยละ 10 น้ำหนักต่อปริมาตร ปิดฝาภาชนะ บ่มไว้ที่อุณหภูมิช่วง 25 ± 2 องศาเซลเซียส ในที่มืดไม่โดนแสงโดยตรง ระยะเวลา 24 ชั่วโมง เมื่อครบระยะเวลากการหมักในขั้นนี้เก็บตัวอย่างของเหลวจากแต่ละสูตรไปตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงคุณภาพ โดยตรวจสอบค่า pH ความเป็นกรด ค่าปริกซ์ สารประกอบฟีนอลิก และสารต้านอนุมูลอิสระ เก็บรักษาตัวอย่างสำหรับรอการวิเคราะห์ด้วยวิธีการแช่แข็ง

3.4.3 การวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีและสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพของตัวอย่าง

3.4.3.1 ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) โดยใช้ pH meter

3.4.3.2 การวิเคราะห์ความเป็นกรด (Acidity) โดยวิธีการไทเทรต (Titration) รายงานผลในรูปของกรดอะซิติก ดัดแปลงจาก (Chong, Chin, Talib, & Basha, 2024) โดยคำนวณจากสูตร

$$\text{ปริมาณกรดอะซิติก (g/L)} = \frac{(N_{NaOH})(V_{NaOH})(Eq.wt. of acetic acid)}{V_{Sample}}$$

โดยที่ N_{NaOH} หมายถึง ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ หน่วย Eq/L

V_{NaOH} หมายถึง ปริมาตรของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในการไทเทรต หน่วย L

$Eq.wt. of acetic acid$ หมายถึง น้ำหนักสมมูลของกรดอะซิติก เท่ากับ 60.05 g/Eq

V_{NaOH} หมายถึง ปริมาตรของตัวอย่างที่นำมาไทเทรต หน่วย L

3.4.3.3 ค่าปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายในตัวอย่าง หน่วยของศาบริกซ์ (°Brix) โดยใช้เครื่อง Refractometer เพื่อสังเกตการเปลี่ยนแปลงของปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายในตัวอย่างตลอดระยะเวลาการหมัก

3.4.3.4 การวัดค่าสี ($L^*a^*b^*$) ของตัวอย่าง ด้วยหลักการ spectrophotometry ตามระบบ CIE Lab* โดยที่ผลของการวัดแสดงเป็นค่า ดังนี้

- ค่าสี L^* แสดงถึงความสว่างของตัวอย่าง มีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 100 โดยที่ 0 หมายถึงสีดำ และ 100 หมายถึงสีขาว

- ค่าสี a^* แสดงถึงสีเขียวไปถึงสีแดงในตัวอย่าง โดยที่ค่าลบ (-) หมายถึง วัตถุที่มีสีเขียว และค่าบวก (+) หมายถึง วัตถุที่มีสีแดง

- ค่าสี b^* แสดงถึงสีน้ำเงินไปถึงสีเหลืองของตัวอย่าง โดยที่ค่าบวก (+) หมายถึง วัตถุที่มีสีน้ำเงิน และค่าลบ (-) หมายถึง วัตถุที่มีสีเหลือง จากนั้นนำค่าที่ได้มาคำนวณหาค่า ΔE ได้จากสูตร

$$\Delta E = \sqrt{(L_n^* - L_0^*)^2 + (a_n^* - a_0^*)^2 + (b_n^* - b_0^*)^2}$$

โดยที่ 0 หมายถึง วันที่เริ่มต้นการหมัก (วันที่ 0)

และ n หมายถึง วันที่เพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการหมัก ได้แก่ วันที่ 3 5 และ 7

3.4.3.5 การวิเคราะห์หาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวม (total phenolic content; TPC) ด้วยวิธี Folin-Ciocalteu assay ที่ดัดแปลงจากวิธีของ Ali และ Monir (Ebrahimi Pure & Pure, 2016) ซึ่งจะวิเคราะห์ปริมาณ TPC ในวัตถุดิบ ได้แก่ น้ำผึ้งดิบ ผงกระชาย ผงบัวบก และผงมะขามป้อม รวมถึงผลิตภัณฑ์ F1 และ F2 ในแต่ละช่วงเวลาการหมัก

วิธีการคือ นำตัวอย่างที่ต้องการวิเคราะห์มาเจือจางด้วยน้ำกลั่นในอัตราส่วนที่เหมาะสม ดึงตัวอย่างมา 0.50 มิลลิลิตร เติมสารละลาย Folin-Ciocalteu (เจือจางกับน้ำกลั่น 1:10) ปริมาตร 2.5 มิลลิลิตร จากนั้นเติมสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตที่มีความเข้มข้น 7.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ปริมาตร 2 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน บ่มที่อุณหภูมิห้องในที่มืดเป็นเวลา 20 นาที นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 725 นาโนเมตร ด้วยเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ ทำการวัดจำนวน 3 ครั้ง แล้วจึงนำค่าที่วัดได้มาคำนวณหาปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมด โดยใช้กรดแกลลิก (Gallic Acid) ที่ระดับความเข้มข้น 0.00 – 0.10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตรเป็นสารในการสร้างกราฟมาตรฐาน ผลลัพธ์จากการวิเคราะห์ตัวอย่างแสดงเป็นค่าเทียบเท่ากับปริมาณของกรดแกลลิกต่อมิลลิลิตรของตัวอย่าง ในหน่วย มิลลิกรัม GAE ต่อ มิลลิลิตร

3.4.3.6 การวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidant Activity) ด้วยวิธี 1,1-Diphenyl-2-picrylhydrazyl (DPPH) เป็นการทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระในวัตถุดิบ และผลิตภัณฑ์ F1 และ F2 ในแต่ละช่วงเวลากการหมัก โดยดัดแปลงวิธีการมาจาก Ali และ Monir (Ebrahimi Pure & Pure, 2016) วิธีนี้ใช้การวัดแสงเชิงสเปกโตรโฟโตเมตริก โดยการเตรียมสารละลาย DPPH ที่ความเข้มข้น 40 มิลลิกรัมต่อลิตร เจือจางในเอทานอล ให้มีค่าดูดกลืนแสงที่ 517 นาโนเมตร เท่ากับ 0.9 จากนั้นเติมตัวอย่างน้ำหมักแต่ละทรีทเมนต์จำนวน 0.5 มิลลิลิตร ลงในสารละลาย DPPH ปริมาตร 1.950 มิลลิลิตร บ่มที่อุณหภูมิห้องและไม่มีแสง เป็นเวลา 30 นาที ในการทดลองชุดควบคุมใช้เอทานอล 50 ไมโครลิตร แทนน้ำหมัก เนื่องจากน้ำหมักที่ได้อาจมีสีจึงต้อง นำตัวอย่างแต่ละระดับความเข้มข้นเติมลงเอทานอลที่มีปริมาตร 1950 มิลลิลิตร จากนั้นวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร เพื่อหาค่าสี สามารถคำนวณหา Scavenging activity (%) ได้จากสมการ

$$\% \text{ Inhibition of DPPH} = [(A_{\text{control}} - A_{\text{sample}}) / A_{\text{control}}] \times 100$$

โดยที่ A_{control} คือ ค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้จากสารละลาย DPPH (Wang et al., 2025) ผสมกับเอทานอล

และ A_{sample} คือ ค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้จากสารตัวอย่างทำปฏิกิริยากับสารละลาย DPPH

3.4.3.7 การวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidant Activity) ด้วยวิธี 2,2'-azino-bis(3-ethylbenzothiazoline- 6-sulphonic acid) diammonium salt (ABTS) ซึ่งดัดแปลงวิธีการมาจาก (Romsomsa, Pornsanthia, Rimlumduan, & Vechklang, 2021) เป็นการทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระในผลิตภัณฑ์ F1 และ F2 ในแต่ละช่วงเวลากการหมัก โดยเตรียมสารละลาย 7mM ABTS ในน้ำปราศจากไอออน ผสมกับสารละลายโพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟต (K_2SO_4) เข้มข้น 2.6 มิลลิโมลาร์ในอัตราส่วน 1 ต่อ 0.5 นำไปบ่มในที่มืด อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 16 ชั่วโมง จากนั้นเจือจาง ABTS ด้วยสารละลาย 10 มิลลิโมลาร์ phosphate buffer pH 7.4 ไปวัดค่าการดูดกลืนแสงจนได้ค่าการดูดกลืนแสงเท่ากับ 0.700 ± 0.02 ที่ความยาวคลื่น 734 นาโนเมตร ปิเปิดน้ำหมักแต่ละทรีทเมนต์ปริมาตร 20 ไมโครลิตร ทำปฏิกิริยากับสารละลายอนุมูลอิสระ ABTS ปริมาตร 1980 ไมโครลิตร โดยในการทดลองชุดควบคุมใช้เอทานอล 20 ไมโครลิตรแทนน้ำหมัก นำไป Vortex Mixer ทิ้งไว้ในที่มืด 5 นาที จากนั้นวัดค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 734 นาโนเมตร รายงานผลเป็นร้อยละการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี ABTS โดยคำนวณหาจากสมการ

$$\% \text{ Inhibition of ABTS} = [(A_{\text{control}} - A_{\text{sample}}) / A_{\text{control}}] \times 100$$

โดยที่ A_{control} คือ ค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้จากสารละลาย ABTS ผสมกับเอทานอล
 และ A_{sample} คือ ค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้จากสารตัวอย่างทำปฏิกิริยากับ
 สารละลาย ABTS

3.4.4 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

ทำการวางแผนหัวข้อการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีแบบ Completely Randomized Design (CRD) จากนั้นข้อมูลผลการทดสอบจำนวน 3 ซ้ำ มาทำการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ โดยวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance; ANOVA) จากโปรแกรมวิเคราะห์ทางสถิติ SPSS ด้วยวิธีการเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระหว่างตัวอย่างแบบ Duncan's Multiple Range Test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p \leq 0.05$) นำมารายงานผลเป็นค่าเฉลี่ย พร้อมทั้งระบุส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation; SD)

บทที่ 4

ผลการวิจัย และการอภิปรายผล

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาและประเมินคุณภาพของผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มสมุนไพรหมักผสมน้ำผึ้ง 3 ชนิด ได้แก่ กระชาย (*Boesenbergia rotunda*), บัวบก (*Centella asiatica*) และมะขามป้อม (*Phyllanthus emblica*) โดยทำการหมักในขั้นที่ 1 (F1) เป็นเวลา 7 วัน จากนั้นนำของเหลวส่วนใสที่ได้มาหมักกับเนื้อแอปเปิ้ลแดงต่อในขั้นที่ 2 (F2) เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และเก็บตัวอย่างมาวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีกายภาพในช่วงวันที่ 0 3 5 7 และเมื่อสิ้นสุดการหมักขั้นที่ 2 ผลการวิจัยนี้ครอบคลุมทั้งผลของพฤติกรรมและความต้องการของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มหมักจากข้อมูลทุติยภูมิ คุณภาพทางเคมีกายภาพและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของตัวอย่างผลิตภัณฑ์

4.1 ผลการศึกษาพฤติกรรมความต้องการของผู้บริโภคจากการเก็บข้อมูลทุติยภูมิ

การศึกษาพฤติกรรมและความต้องการของผู้บริโภคมีบทบาทสำคัญในการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารและเครื่องดื่มฟังก์ชัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งผลิตภัณฑ์ที่เกี่ยวข้องกับสุขภาพ เช่น เครื่องดื่มหมักคล้ายคอมบูชาที่มีส่วนผสมของน้ำผึ้งหรือสมุนไพรไทย ในงานวิจัยฉบับนี้ ผู้วิจัยได้ดำเนินการวิเคราะห์ข้อมูลทุติยภูมิ (Secondary Data Analysis) เพื่อศึกษาลักษณะพฤติกรรมผู้บริโภค แนวโน้มความนิยมในตลาด ข้อมูลที่ได้จะนำไปสู่แนวทางในการพัฒนาผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มสมุนไพรหมักผสมน้ำผึ้ง และการวางตำแหน่งกลุ่มเป้าหมาย (Target Market) ที่มีศักยภาพสูงสุดต่อผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มสุขภาพดังกล่าว

การสำรวจนี้ครอบคลุมพฤติกรรมผู้บริโภคทั้งในระดับประเทศและระดับโลก โดยเน้นข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับเครื่องดื่มฟังก์ชัน เครื่องดื่มหมัก และผลิตภัณฑ์ที่ใช้ส่วนผสมจากธรรมชาติ โดยเฉพาะกลุ่มผู้บริโภคที่ให้ความสำคัญกับสุขภาพ การใช้ชีวิตอย่างยั่งยืน และค่านิยมด้านสิ่งแวดล้อม ซึ่งครอบคลุมกลุ่มเป้าหมายสำคัญได้แก่ Generation Y (Millennials) และ Generation Z ซึ่งเป็นกลุ่มที่แสดงแนวโน้มการบริโภคเครื่องดื่มสุขภาพเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง

จากการศึกษาข้อมูลพฤติกรรมและการเลือกบริโภคเครื่องดื่มสุขภาพและคอมบูชาของกลุ่มคนแต่ละช่วงวัยจากแหล่งข้อมูลทุติยภูมิ พบข้อมูลดังต่อไปนี้

Generation Z (ผู้ที่เกิดระหว่าง พ.ศ. 2540 - 2555) หรือกลุ่มคนรุ่นใหม่ เป็นกลุ่มที่มีแนวโน้มจะเปิดรับผลิตภัณฑ์ใหม่ๆ ที่ส่งเสริมสุขภาพและความเป็นธรรมชาติ มีความตระหนักถึงสุขภาพและการรักษาสิ่งแวดล้อมสูง เมื่อพิจารณาถึงพฤติกรรมผู้บริโภคคอมบูชา คนรุ่นนี้ให้

ความสนใจในเครื่องดื่มที่มีส่วนผสมที่ช่วยเรื่องสุขภาพ ซึ่งช่วยสนับสนุนระบบทางเดินอาหาร และ ยังนิยมผลิตภัณฑ์ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม (NielsenIQ, 2021) ดังนั้น เครื่องดื่มหมักแนวคอมบูชา จึงเป็นตัวเลือกที่เหมาะสมสำหรับคนรุ่นนี้ที่มองหาสินค้าที่มีคุณค่าในด้านสุขภาพและความยั่งยืน

Millennials (ผู้ที่เกิดระหว่าง พ.ศ. 2524 - 2539) เป็นกลุ่มที่อยู่ในช่วงวัยทำงานและมัก ใช้ชีวิตประจำวันด้วยความเร่งรีบ จึงให้ความสำคัญกับผลิตภัณฑ์ที่ช่วยให้สุขภาพดีขึ้นและ สนับสนุนการใช้ชีวิตที่มีประสิทธิภาพสูง โดยเฉพาะผลิตภัณฑ์ที่ช่วยเรื่องการย่อยอาหารและ ภูมิคุ้มกัน ซึ่งสอดคล้องกับเครื่องดื่มหมักแนวคอมบูชาที่มีสารโพรไบโอติกและสารต้านอนุมูลอิสระ ที่ช่วยเสริมระบบภูมิคุ้มกันและปรับสมดุลของร่างกาย (Mintel, 2024) กลุ่มนี้มักยอมรับผลิตภัณฑ์ เพื่อสุขภาพและเครื่องดื่มฟังก์ชันเป็นอย่างดี จึงทำให้คอมบูชากลายเป็นเครื่องดื่มที่ตอบโจทย์ สำหรับกลุ่ม Millennials ที่ใส่ใจในสุขภาพ

Generation X (ผู้ที่เกิดระหว่าง พ.ศ. 2508 - 2523) เป็นกลุ่มที่กำลังเข้าสู่ช่วงวัยกลางคน และเริ่มให้ความสำคัญกับการดูแลสุขภาพในระยะยาว โดยเฉพาะการป้องกันโรคและการรักษา สุขภาพของระบบย่อยอาหาร เนื่องจากปัญหาทางสุขภาพที่อาจเริ่มปรากฏเมื่อเข้าสู่วัยนี้ คนกลุ่มนี้ จึงมองหาผลิตภัณฑ์ที่ช่วยบำรุงสุขภาพอย่างมีประสิทธิภาพ เช่น คอมบูชาที่มีคุณสมบัติช่วย ส่งเสริมการย่อยอาหารและปรับสมดุลของจุลินทรีย์ในลำไส้ (Ridder, 2024b) คนรุ่นนี้จึงมี แนวโน้มที่จะหันมาสนใจคอมบูชาในฐานะเครื่องดื่มที่มีคุณประโยชน์ต่อสุขภาพโดยรวม

Baby Boomers (ผู้ที่เกิดระหว่าง พ.ศ. 2489 - 2507) ให้ความสำคัญกับการรักษา สุขภาพและชะลอความเสื่อมของร่างกาย เนื่องจากเข้าสู่ช่วงวัยสูงอายุ จึงให้ความสนใจผลิตภัณฑ์ ที่สามารถช่วยป้องกันและดูแลสุขภาพ โดยเฉพาะในเรื่องการย่อยอาหารและการลดความเสี่ยง ของโรคที่เกี่ยวข้องกับอายุ คอมบูชาจึงเป็นทางเลือกที่น่าสนใจ เนื่องจากมีส่วนช่วยเสริมการย่อย อาหารและรักษาสมดุลของจุลินทรีย์ในร่างกาย (NielsenIQ, 2021)

อย่างไรก็ตาม จากการวิเคราะห์พฤติกรรมของผู้บริโภคของคนแต่ละช่วงวัยในการเลือก บริโภคเครื่องดื่มคอมบูชา (Kombucha Beverage) สามารถสรุปแนวโน้มได้ว่า กลุ่ม Millennials (Gen Y) หรือผู้ที่เกิดระหว่าง พ.ศ. 2524 - 2539 เป็นกลุ่มที่มีแนวโน้มจะเลือกบริโภคมากที่สุด เนื่องจากปัจจัยดังต่อไปนี้

- 1) Gen Y ให้ความสำคัญกับเครื่องดื่มที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพ มีคุณสมบัติเสริมสร้าง สุขภาพ โดยที่เครื่องดื่มคอมบูชาที่มีโพรไบโอติกช่วยปรับสมดุลจุลินทรีย์ในลำไส้ สนับสนุนระบบย่อยอาหาร และส่งเสริมภูมิคุ้มกัน ตอบโจทย์ความต้องการของ

ผู้บริโภคกลุ่มนี้ซึ่งมองหาเครื่องดื่มที่สามารถทดแทนเครื่องดื่มหวาน เช่น น้ำอัดลม หรือเครื่องดื่มให้พลังงานสูงได้ (Mintel, 2024)

- 2) บุคคลกลุ่มนี้เปิดรับผลิตภัณฑ์ใหม่และประสบการณ์ที่แปลกใหม่ จึงมองหาสินค้าใหม่และมีความอยากรู้อยากลอง ด้วยรสชาติเปรี้ยวและกลิ่นที่เป็นเอกลักษณ์ของคอมบูชา รวมถึงกระบวนการผลิตแบบหมักตามธรรมชาติ จึงดึงดูดผู้บริโภคกลุ่มนี้ นอกจากนี้ ความนิยมในเครื่องดื่มที่มีต้นกำเนิดจากธรรมชาติและไม่มีสารปรุงแต่งเพิ่มเป็นอีกหนึ่งเหตุผลที่ทำให้คอมบูชาได้รับความนิยม (Euromonitor, 2024)
- 3) ผู้บริโภคกลุ่มนี้มีค่านิยมด้านความยั่งยืนและจริยธรรม มักสนับสนุนแบรนด์ที่ใส่ใจสิ่งแวดล้อมและมีความรับผิดชอบต่อสังคม แบรนด์คอมบูชาหลายแบรนด์เน้นใช้บรรจุภัณฑ์ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมและส่งเสริมการผลิตแบบยั่งยืน ทำให้กลุ่ม Millennials เชื่อมมั่นและเลือกบริโภคสินค้าประเภทนี้มากขึ้น (Ridder, 2024b)
- 4) จากการส่งเสริมภาพลักษณ์ของเครื่องดื่มคอมบูชาที่ทำให้มีความทันสมัยและเข้ากับวิถีชีวิต จึงเหมาะสำหรับการบริโภคในโอกาสต่าง ๆ เช่น แทนเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ในงานปาร์ตี้ หรือเป็นเครื่องดื่มสุขภาพในวันพักผ่อน ทำให้กลุ่ม Millennials ที่มักใช้ชีวิตแบบผสมผสานระหว่างการทำงานและการพักผ่อน รู้สึกว่าเครื่องดื่มนี้เหมาะกับวิถีชีวิต (NielsenIQ, 2021)

จากการศึกษาข้อมูลทุติยภูมิที่เกี่ยวข้องกับพฤติกรรมผู้บริโภคของแต่ละช่วงวัย ที่พบข้อสรุปว่ากลุ่ม Millennials เป็นกลุ่มเป้าหมายหลักที่มีแนวโน้มในการบริโภคผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มคอมบูชามากที่สุด เนื่องจากความตระหนักในสุขภาพ ความยืดหยุ่นในการเปิดรับผลิตภัณฑ์ใหม่ และความสนใจในสินค้าแนวธรรมชาติและยั่งยืน อย่างไรก็ตาม พฤติกรรมของผู้บริโภคไม่ได้เป็นปัจจัยเดียวในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ให้ประสบความสำเร็จในเชิงพาณิชย์

ดังนั้น การวิเคราะห์การตลาดเชิงเปรียบเทียบตำแหน่งผลิตภัณฑ์จึงมีความสำคัญอย่างยิ่ง โดยเฉพาะในกลุ่มผลิตภัณฑ์คอมบูชาที่มีความหลากหลายด้านวัตถุดิบ กระบวนการผลิต ช่องทางการจัดจำหน่าย และกลุ่มเป้าหมาย การศึกษาดำเนินงานของผลิตภัณฑ์คอมบูชาแบรนด์ต่าง ๆ เช่น Betagen Kombucha (ประเทศไทย) Remedy Kombucha (เครือรัฐออสเตรเลีย) Health-Ade Kombucha (สหรัฐอเมริกา) รวมถึงผลิตภัณฑ์ที่พัฒนาในงานวิจัยฉบับนี้ ช่วยให้เราสามารถวิเคราะห์ได้อย่างชัดเจนว่าแต่ละแบรนด์เน้นจุดเด่นในด้านใด เช่น การเน้นกลิ่นที่รียูโรไบโอติกที่ยังมีชีวิต การใช้สมุนไพรไทยและวัตถุดิบธรรมชาติใน หรือการทำตลาดกลุ่มวิถีชีวิตรักสุขภาพและสิ่งแวดล้อมของแบรนด์ต่างประเทศ ซึ่งการเปรียบเทียบเหล่านี้ไม่เพียงแต่ให้ภาพรวมของตลาด แต่

ยังช่วยระบุตำแหน่งทางการแข่งขัน (Market Positioning) และกลุ่มเป้าหมายเฉพาะของผลิตภัณฑ์ที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้ได้ชัดเจนยิ่งขึ้น เช่น ผลิตภัณฑ์น้ำผึ้งคอมบูชาผสมสมุนไพรไทย ในงานวิจัยมีจุดเด่นที่ชัดเจนในด้านการใช้วัตถุดิบธรรมชาติ ได้แก่ น้ำผึ้งดิบ และสมุนไพรไทย 3 ชนิด คือ กระชาย มะขามป้อม และใบบัวบก ซึ่งสามารถสร้างความแตกต่างจากผลิตภัณฑ์ในท้องตลาดทั้งในด้านภาพลักษณ์และคุณค่าทางโภชนาการ

นอกจากนี้ การเปรียบเทียบยังช่วยในการประเมินศักยภาพของผลิตภัณฑ์ที่พัฒนาว่าสามารถตอบโจทย์ตลาดได้ในระดับใด มีโอกาสต่อยอดในด้านการพัฒนาแบรนด์ การเจาะตลาดเฉพาะกลุ่ม (Niche Market) การขยายผลิตภัณฑ์ในอนาคต เช่น การออกแบบบรรจุภัณฑ์ที่ยั่งยืน การพัฒนารสชาติใหม่ หรือการเสริมคุณค่าด้วยการใช้วัตถุดิบท้องถิ่น ข้อมูลปรากฏดังตาราง 1

ตาราง 1 ตำแหน่งผลิตภัณฑ์คอมบูชาที่มีแหล่งผลิตและจัดจำหน่ายในต่างประเทศและประเทศไทย เปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์จากงานวิจัยนี้ (Product Positioning Comparison)

ชื่อแบรนด์	ประเทศต้นกำเนิด	ส่วนประกอบหลัก	แหล่งน้ำตาล	จุดขายเฉพาะ (USP)	กลุ่มเป้าหมายหลัก
Health-Ade Kombucha	สหรัฐอเมริกา	ชาดำ/ชาเขียว น้ำตาล อ้อย รสผลไม้ ธรรมชาติ	น้ำตาลอ้อย	ใช้น้ำผลไม้สกัดเย็น บรรจุ ขวดแก้ว รักษาความสด	วัยรุ่นและวัยทำงาน ตอนต้น (Gen Z และ Millennials)
GT's Living Foods	สหรัฐอเมริกา	ชาออร์แกนิก น้ำตาล อ้อย น้ำผลไม้ ธรรมชาติ	น้ำตาลอ้อย	หมักแบบดั้งเดิม ไม่พาส เจอร์ไรส์ สื่อสารแบรนด์ด้วย เรื่องราวส่วนตัว	กลุ่มรักสุขภาพที่ ต้องการคอมบูชาแบบ ดั้งเดิม
Remedy Kombucha	ออสเตรเลีย	ชาเขียว สารให้ความ หวานจากธรรมชาติ (สตีเวีย) รสผลไม้	สตีเวีย (ไม่มี น้ำตาล)	ไม่มีน้ำตาล เก็บที่ อุณหภูมิห้องได้ ปริมาณ แอลกอฮอล์ต่ำ	ผู้บริโภคที่ควบคุม อาหาร เลี่ยงน้ำตาล หรือมีภาวะเบาหวาน
BUCHA Kombucha	สหรัฐอเมริกา	ชาผสม น้ำผลไม้ สมุนไพรต่าง ๆ	น้ำตาลอ้อย	กลั่นรสจัดจ้านจากผลไม้ สูตรรสชาติเข้มข้น	ผู้บริโภคที่ต้องการ เครื่องดื่มเพื่อสุขภาพที่ มีรสชาติดีเยี่ยม
Betagen (ปีทาเก้น)	ประเทศไทย	ชาหมัก UHT	น้ำตาลอ้อย	จุลินทรีย์โพรไบโอติก ผลิต และวางจำหน่ายทั่วไปใน ประเทศไทย ราคาประหยัด มีหลายขนาด	กลุ่มครอบครัว เด็ก วัยรุ่น และผู้บริโภค ทั่วไปที่มองหา เครื่องดื่มช่วยขับถ่าย
ผลิตภัณฑ์ จากงานวิจัย	ประเทศไทย	น้ำผึ้งดิบและสมุนไพร ไทย	น้ำผึ้งดิบ (ไม่มี น้ำตาลทราย)	ใช้วัตถุดิบท้องถิ่นที่มีสาร ออกฤทธิ์ทางชีวภาพสูง ให้ ฤทธิ์ด้านอนุมูลอิสระได้ เด่นชัด	Millennials และ ผู้บริโภคใส่ใจสุขภาพ ที่ชื่นชอบสมุนไพรไทย

กล่าวโดยสรุปได้ว่า การวิเคราะห์การตลาดเปรียบเทียบจะช่วยต่อยอดจากการวิเคราะห์พฤติกรรมผู้บริโภค ช่วยให้การออกแบบผลิตภัณฑ์มีทิศทางที่ชัดเจน สร้างจุดเด่นที่แตกต่าง และมีความเป็นไปได้เชิงพาณิชย์ในระยะยาว ทั้งยังสามารถนำข้อมูลดังกล่าวไปสนับสนุนการนำเสนอธุรกิจ การสร้างแบรนด์ และการพัฒนาผลิตภัณฑ์เชิงกลยุทธ์ต่อไปได้อย่างเหมาะสมต่อไป

ผลจากการวิเคราะห์ข้อมูลทุกมิติทั้งหมดที่กล่าวไว้ตามข้อมูลข้างต้นนี้ สามารถนำมาใช้กำหนดแนวทางในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ได้อย่างชัดเจน กล่าวคือ การใช้น้ำผึ้งดิบที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ มาเป็นแหล่งพลังงานสำหรับกลุ่มจุลินทรีย์ที่ดีในกระบวนการหมัก รวมถึงการเลือกสมุนไพรไทยที่มีคุณสมบัติเด่นด้านสารต้านอนุมูลอิสระและฤทธิ์ด้านการอักเสบ ล้วนเป็นปัจจัยสำคัญที่สอดคล้องกับแนวโน้มผู้บริโภคยุคใหม่ นอกจากนี้ ยังสอดคล้องกับเป้าหมายการพัฒนาอย่างยั่งยืน (Sustainable Development Goals; SDGs) ตามเป้าหมายที่ 3 สุขภาพและความเป็นอยู่ที่ดี

ดังนั้น จึงได้แนวทางการพัฒนาผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มสมุนไพรหมักผสมน้ำผึ้ง โดยให้ความสำคัญใน 3 ประเด็น ได้แก่

- 1) คุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่มีส่วนผสมของสมุนไพรไทย ที่มีสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ ช่วยในการต้านอนุมูลอิสระ และมีคุณค่าในการส่งเสริมสุขภาพ
- 2) รสชาติของเครื่องดื่มสมุนไพรหมักผสมน้ำผึ้ง ที่มีความหวานจากธรรมชาติ เป็นเอกลักษณ์ และได้คุณประโยชน์จากสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพของน้ำผึ้งดิบที่นำมาใช้ในกระบวนการหมัก
- 3) ความยั่งยืนของเกษตรกรรมไทย ที่การผลิตเครื่องดื่มหมักแบบคอมบูตาด้วยน้ำผึ้งผสมสมุนไพรไทยนี้จะเป็นส่วนหนึ่งในการสนับสนุนเกษตรกรในท้องถิ่น โดยมีงานวิจัยทางวิทยาศาสตร์เป็นข้อมูลสนับสนุนอีกช่องทางหนึ่ง

ทั้งนี้ ในงานวิจัยนี้ขอนำเสนอผังโมเดลธุรกิจ (Business model canvas; BMC) สำหรับผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มหมักผสมสมุนไพรไทย เพื่อสื่อสารรูปแบบการวางแผนดำเนินงานที่สอดคล้องกับธุรกิจการผลิตและจำหน่ายผลิตภัณฑ์ดังกล่าวอย่างครอบคลุม โดยสรุปองค์ประกอบสำคัญของธุรกิจ และแสดงภาพรวมของธุรกิจทั้งหมด ดังภาพประกอบ 1 โดยภาพรวมของโมเดลธุรกิจนี้ต้องการสะท้อนการออกแบบธุรกิจที่ไม่เพียงแต่สร้างผลิตภัณฑ์เพื่อสุขภาพ แต่ยังคำนึงถึงการมีส่วนร่วมของชุมชน การอนุรักษ์ภูมิปัญญาท้องถิ่น และความยั่งยืนทางสิ่งแวดล้อม ซึ่งสามารถต่อยอดไปสู่การพัฒนาผลิตภัณฑ์เชิงพาณิชย์ และเสริมสร้างคุณค่าทางเศรษฐกิจได้อย่างมีประสิทธิภาพในอนาคต



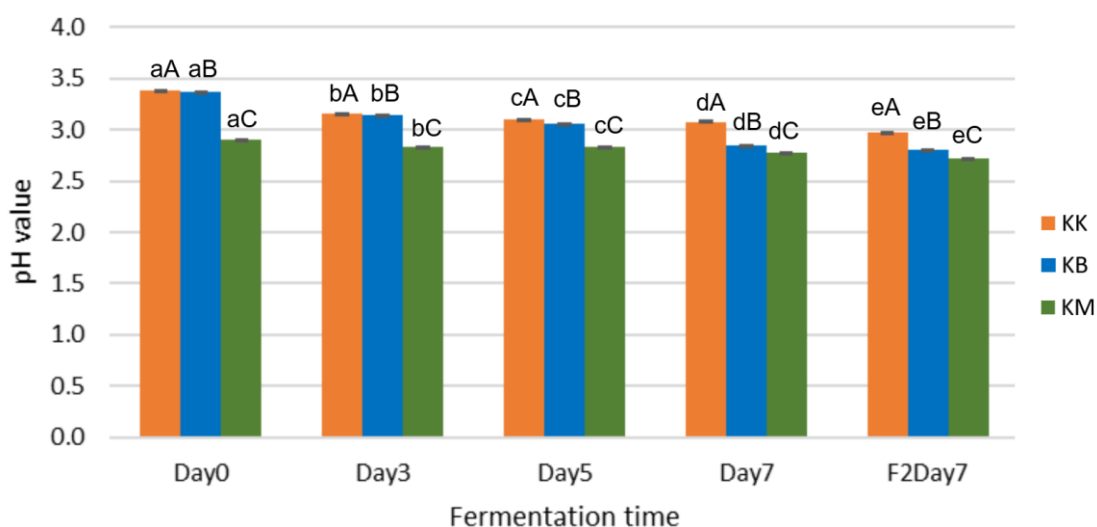
ภาพประกอบ 1 แผนผังโมเดลธุรกิจของผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มเครื่องดื่มสมุนไพรหมักผสมน้ำผึ้ง

4.2 ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีกายภาพและสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพของเครื่องดื่มสมุนไพรหมักผสมน้ำผึ้ง

4.2.1 การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) และค่าความเป็นกรดทั้งหมด (Titratable Acidity)

ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของตัวอย่างเครื่องดื่มสมุนไพรหมักผสมน้ำผึ้งทั้งสามสูตร ได้แก่ สูตรกระชาย (KK) สูตรบัวบก (KB) และสูตรมะขามป้อม (KM) มีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่องตลอดกระบวนการหมัก จากข้อมูลที่ได้แสดงไว้ดังตาราง 1 จะเห็นได้ว่าผลเฉลี่ยจากการวัดค่า pH ในตัวอย่างเครื่องดื่มหมักน้ำผึ้งสูตร KK สูตร KB และสูตร KM ที่ทำการสุ่มเก็บในวันเริ่มต้นกระบวนการหมัก มีค่าเท่ากับ 3.38 ± 0.00 , 3.37 ± 0.00 และ 2.90 ± 0.00 ตามลำดับ และหลังจากครบระยะเวลา 7 วัน ของการหมักในขั้น F1 ตัวอย่างดังกล่าวมีการเปลี่ยนแปลงของค่า pH ลดลงเหลือ 3.08 ± 0.00 , 2.85 ± 0.00 และ 2.78 ± 0.00 ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับค่าความเป็นกรดที่คำนวณได้จากวิธีการไทเทรต (Titratable Acidity) เครื่องดื่มหมักทุกสูตร ในวันเริ่มต้นการหมัก พบว่า ปริมาณกรดที่วิเคราะห์ได้จากตัวอย่างเครื่องดื่มหมักสูตรมะขามป้อมมีความแตกต่างจากเครื่องดื่มหมักสูตรกระชายและบัวบกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) แต่ปริมาณกรดในตัวอย่างสูตรกระชายและบัวบกไม่มีความแตกต่างกัน โดยที่ค่าเฉลี่ยปริมาณกรดที่วิเคราะห์ได้จากตัวอย่างในช่วงเริ่มต้นกระบวนการหมักของสูตร KK สูตร KB และสูตร KM มีค่าเท่ากับ 1.53 ± 0.03 , 1.71 ± 0.03 และ 3.09 ± 0.03 กรัมต่อลิตร ตามลำดับ ซึ่งพบการเปลี่ยนแปลง

เพิ่มขึ้นเมื่อครบเวลา 7 วันของการหมักในชั้นที่ 1 เห็นได้จากค่าเฉลี่ยปริมาณกรดเท่ากับ 2.70 ± 0.06 , 4.65 ± 0.03 และ 5.28 ± 0.06 กรัมต่อลิตรในสูตร KK KB และ KM ตามลำดับ อีกทั้งจากการเปรียบเทียบปริมาณกรดที่วิเคราะห์ได้ในวันที่ 7 พบว่าทุกสูตรมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)



ภาพประกอบ 2 กราฟแสดงค่าความเป็นกรดต่าง (pH) ของเครื่องต้มหมักสมุนไพรทั้ง 3 สูตร ที่ระยะเวลาต่าง ๆ

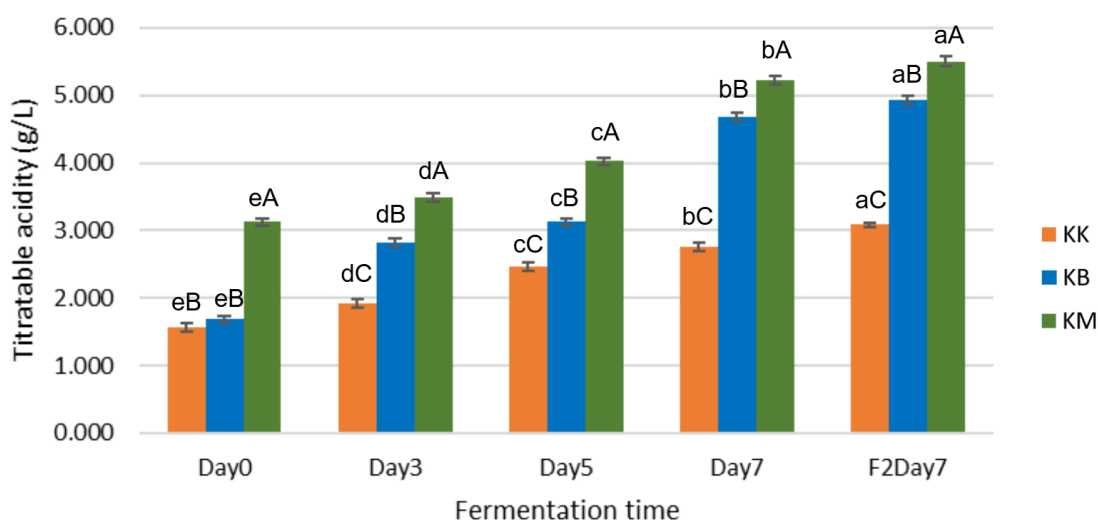
หมายเหตุ KK หมายถึงเครื่องต้มหมักสูตรผสมกระชาย KB หมายถึงเครื่องต้มหมักสูตรผสมบัวบก และ KM หมายถึงเครื่องต้มหมักสูตรผสมมะขามป้อม ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กที่ต่างกันแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญในแต่ละวัน และตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์ใหญ่แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างสูตรในช่วงเวลาเดียวกัน ($p < 0.05$)

โดยสรุปข้อมูลจากภาพประกอบ 2 แสดงให้เห็นถึงค่าความเป็นกรดต่าง (pH) ของตัวอย่างเครื่องต้มสมุนไพรหมักผสมน้ำผึ้งทุกสูตรที่มีเปลี่ยนแปลงไปตามระยะเวลา พบว่าค่า pH ของตัวอย่างทุกสูตรมีการลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยเมื่อเปรียบเทียบกันระหว่างสูตร พบว่า สูตรกระชาย (KK) มีค่า pH ที่สูงกว่าสูตรอื่นอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) รองลงมาคือสูตรบัวบก (KB) และสูตรมะขามป้อม (KM) ตามลำดับ

ทั้งนี้ มีข้อมูลอ้างอิงเกี่ยวกับค่าความเป็นกรดต่าง (pH) ที่ปลอดภัยและเหมาะสมของเครื่องต้มสมุนไพรที่ปลอดภัยต่อการบริโภค จากงานวิจัยของ Jayabalan et al. (2014) และ Villarreal-Soto et al. (2018) ได้รายงานค่า pH ที่ปลอดภัยในการบริโภคของสมุนไพรควรอยู่ระหว่าง 2.5 – 3.5 ซึ่งเป็นค่า pH ที่สามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ก่อโรคหลายชนิดได้

อย่างมีประสิทธิภาพ เช่น *Escherichia coli*, *Salmonella spp.* และ *Listeria monocytogenes* ซึ่งไม่สามารถเจริญได้ดีในสภาวะที่เป็นกรดสูง หรือ pH น้อยกว่า 4.0 แต่ค่า pH ในช่วงนี้ยังเหมาะสมต่อการเจริญของจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ เช่น *Lactobacillus* และ *Bifidobacterium* ซึ่งเป็นโพรไบโอติกที่มีบทบาทในการเสริมสร้างสุขภาพของระบบทางเดินอาหาร อย่างไรก็ตามค่า pH ที่ต่ำกว่า 2.5 อาจเป็นอันตรายต่อระบบทางเดินอาหารหากบริโภคในปริมาณมากหรืออย่างต่อเนื่อง เนื่องจากอาจก่อให้เกิดภาวะเป็นกรดในกระเพาะอาหารมากเกินไป

ในการศึกษานี้ พบว่าเครื่องดื่มนมสมุนไพรหมักผสมน้ำผึ้งทุกสูตร มีค่า pH ในช่วงประมาณ 2.71 ± 0.01 ถึง 3.38 ± 0.00 ซึ่งอยู่ในช่วงที่ปลอดภัยและเหมาะสมต่อการบริโภค และไม่ต่ำกว่าค่าที่แนะนำของสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยาของสหรัฐอเมริกา (USFDA) ที่ระบุว่าเครื่องดื่มนมที่หมักแล้วควรมีค่า pH ไม่ต่ำกว่า 2.5 (Mukherjee, Gómez-Sala, O'Connor, Kenny, & Cotter, 2022) อีกทั้งยังพบอีกว่าเครื่องดื่มนมสมุนไพรหมักผสมน้ำผึ้งทุกสูตรมีค่า pH ต่ำกว่า 4.2 ก่อนระยะเวลา 7 วัน ซึ่งจะลดความเสี่ยงจากการปนเปื้อนจากจุลินทรีย์ก่อโรคได้ สอดคล้องตามการวิเคราะห์อันตรายและจุดควบคุมวิกฤต (HACCP) ตามแบบจำลอง FDA Food Code ของสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยาของสหรัฐอเมริกา ซึ่งแนะนำให้ใช้ค่า pH ≤ 4.0 เป็นค่าวิกฤตสำหรับการหมักนม และหากไม่ถึงค่านี้นภายใน 7 วัน อาจบ่งชี้ถึงการปนเปื้อนได้ (Nummer, 2013)



ภาพประกอบ 3 กราฟแสดงความเป็นกรดจากวิธีการไทเทรตของเครื่องดื่มนมสมุนไพรหมักผสมน้ำผึ้งทั้ง 3 สูตร ที่ระยะเวลาการหมักต่างกัน

หมายเหตุ KK หมายถึงเครื่องดื่มหมักสูตรผสมกระชาย KB หมายถึงเครื่องดื่มหมักสูตรผสมบัวบก และKM หมายถึงเครื่องดื่มหมักสูตรผสมมะขามป้อม ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กที่ต่างกันแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญในแต่ละวัน และตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์ใหญ่แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างสูตรในช่วงเวลาเดียวกัน ($p \leq 0.05$)

จากข้อมูลแสดงดังภาพประกอบ 3 พบว่าในช่วงเริ่มต้น (วันที่ 0) ตัวอย่างสูตร KM มีค่าความเป็นกรดสูงสุดอยู่ที่ 3.12 ± 0.06 กรัมต่อลิตร ซึ่งสูงกว่าสูตรอื่นอย่างมีนัยสำคัญ ขณะที่สูตร KK มีค่าความเป็นกรดต่ำสุดอยู่ที่ 1.56 ± 0.06 กรัมต่อลิตร เมื่อระยะเวลาการหมักเพิ่มขึ้น ค่าความเป็นกรดในทุกสูตรเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยสูตร KM ยังคงมีค่าความเป็นกรดสูงที่สุดตลอดกระบวนการหมัก และหลังการหมักจนถึงระยะสุดท้าย (F2) พบว่าสูตร KM ยังคงมีค่าความเป็นกรดสูงสุดที่ 5.50 ± 0.07 กรัมต่อลิตร รองลงมาคือ KB ที่ 4.92 ± 0.06 กรัมต่อลิตร และ KK ที่ 3.08 ± 0.03 กรัมต่อลิตร ตามลำดับ

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างสูตร จะเห็นว่า KM มีความเป็นกรดเพิ่มขึ้นอย่างเด่นชัดที่สุด ซึ่งอาจเป็นผลมาจากองค์ประกอบของน้ำหมักสูตร KM มีกรดอินทรีย์ที่เหมาะสมต่อการเจริญของจุลินทรีย์ในการหมัก ส่งผลให้เกิดการผลิตกรดในระดับที่สูงขึ้น ขณะที่สูตร KK มีค่าความเป็นกรดต่ำที่สุดในทุกช่วงเวลา ดังนั้น จะเห็นได้ว่าทั้งระยะเวลาการหมักและชนิดของสมุนไพรที่ใช้มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อค่าความเป็นกรดของเครื่องดื่มหมัก

จากข้อมูลการเปลี่ยนแปลงของค่า pH และความเป็นกรดจากวิธีการไทเทรตแสดงถึงการเกิดกรดอินทรีย์จากกระบวนการหมัก โดยเฉพาะอย่างยิ่ง กรดอะซิติก ที่ผลิตจากกระบวนการเมแทบอลิซึมของจุลินทรีย์กลุ่ม *Acetobacter* หรือ Acetic Acid Bacteria (AAB) ซึ่งเป็นจุลินทรีย์ที่พบได้ในธรรมชาติ โดยทั่วไปแล้วจุลินทรีย์กลุ่มนี้ ไม่ก่อให้เกิดโรค (non-pathogenic) และเจริญเติบโตได้ดีในสภาพแวดล้อมที่มีอากาศ (aerobic) ถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลาย เนื่องจากเป็นจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ในอุตสาหกรรมการผลิตอาหารที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการหมักที่ (Han et al., 2024) ไม่ว่าจะเป็นกระบวนการหมักน้ำส้มสายชู (vinegar) การผลิตเบียร์เปรี้ยว (sour beer) การหมักผลไม้ การหมักเมล็ดกาแฟ รวมถึงการหมักเครื่องดื่มคอมบูชา (kombucha)

4.2.2 ค่าปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ของตัวอย่างวัตถุดิบที่เป็นของเหลว

จากการนำตัวอย่างวัตถุดิบไปผสมกับน้ำปราศจากไอออนให้อยู่ในรูปของเหลว และนำสารละลายที่ได้มาทดสอบหาปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ แสดงผลการวัดในหน่วย °Brix ดังตาราง 2 จะเห็นได้ว่าน้ำผึ้งดิบที่ความเข้มข้น 10%(w/v) มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้สูงที่สุด (8.30 ± 0.10 °Brix) รองลงมา ได้แก่ ผงมะขามป้อม และผงบัวบก ซึ่งมีค่าเฉลี่ยปริมาณของแข็งที่

ละลายได้เท่ากับ 0.40 ± 0.00 °Brix และ 0.37 ± 0.06 °Brix ตามลำดับ ในขณะที่ผงกระชายมีปริมาณของแข็งละลายต่ำที่สุดอย่างมีนัยสำคัญ (0.10 ± 0.00 °Brix)

ตาราง 2 ผลการวิเคราะห์ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (°Brix) ของสารละลายตัวอย่างวัตถุดิบ

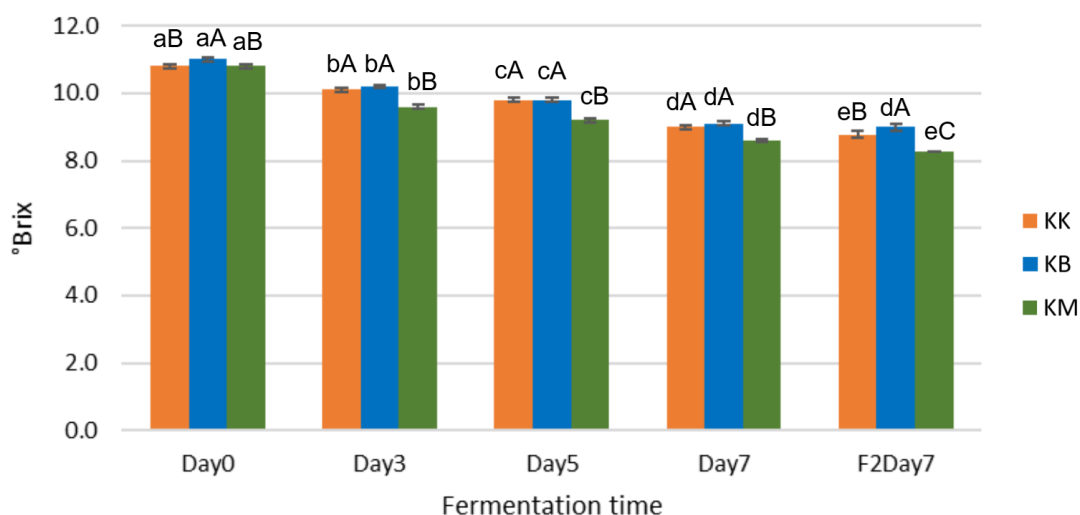
ตัวอย่าง	ปริมาณของแข็งละลายในน้ำ (°Brix)
น้ำผึ้งดิบ 10%(w/v) ในน้ำ	8.30 ± 0.10^a
ผงกระชาย 1%(w/v) ในน้ำ	0.10 ± 0.00^c
ผงบัวบก 1%(w/v) ในน้ำ	0.37 ± 0.06^b
ผงมะขามป้อม 1%(w/v) ในน้ำ	0.40 ± 0.00^b

หมายเหตุ: ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กที่ต่างกันแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ของแต่ละตัวอย่าง

ทั้งนี้ การศึกษาปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (Total Soluble Solids; TSS) ในเครื่องต้มสมุนไพรหมักผสมน้ำผึ้งดิบ เป็นดัชนีที่สะท้อนถึงปริมาณของสารที่ละลายอยู่ในระบบการหมัก ซึ่งรวมถึงน้ำตาล กรดอินทรีย์ สารฟีนอลิก และสารอื่น ๆ ที่เกิดขึ้นหรือถูกปล่อยออกมาจากวัตถุดิบและจุลินทรีย์ในระหว่างกระบวนการหมักที่เกิดจากการทำงานของจุลินทรีย์ในหัวเชื้อ SCOBY (Symbiotic Culture of Bacteria and Yeast) โดยทั่วไป ค่าดังกล่าวมักลดลงเมื่อเวลาหมักเพิ่มขึ้น เนื่องจากจุลินทรีย์จะใช้สารตั้งต้น เช่น น้ำตาลจากน้ำผึ้ง เพื่อผลิตกรดอินทรีย์และสารเมตาโบไลต์ต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับคุณสมบัติทางชีวภาพของผลิตภัณฑ์ (Jayabalan et al., 2014; Villarreal-Soto et al., 2018)

เมื่อพิจารณาข้อมูลจากภาพประกอบ 4 ซึ่งแสดงค่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ของตัวอย่างเครื่องต้มสมุนไพรหมัก ซึ่งมีทั้งน้ำตาล กรดอินทรีย์ และสารอื่น จะให้เห็นว่าในช่วงเริ่มต้น (Day 0) สูตรใบบัวบก (KB) มีปริมาณของแข็งละลายน้ำได้สูงที่สุด (11.10 ± 0.00 °Brix) รองลงมาคือสูตรมะขามป้อม (KM) (10.90 ± 0.00 °Brix) และสูตรกระชาย (KK) (10.80 ± 0.10 °Brix) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าส่วนผสมสมุนไพรที่ต่างชนิดกันส่งผลให้มีค่า Brix ที่วัดได้แตกต่างกัน โดยเฉพาะสูตรมะขามป้อม (KM) ที่มีความแตกต่างจากสูตรอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ทั้งนี้ยังพบอีกว่า ตลอดระยะเวลาการหมัก ค่า Brix ในทุกสูตรมีการลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยที่ในวันสุดท้ายของการหมักขั้นที่ 2 (F2) พบว่า เครื่องต้มหมักสูตรมะขามป้อม (KM) มีค่าปริมาณของแข็งละลายน้ำต่ำที่สุด (8.20 ± 0.00 °Brix) รองลงมาคือสูตรกระชาย (KK) (8.80 ± 0.10 °Brix) และสูตรใบบัวบก (KB) (9.00 ± 0.10 °Brix) แสดงถึง

ความสามารถของจุลินทรีย์ในการใช้น้ำตาลและสารตั้งต้นได้อย่างมีประสิทธิภาพ ในสูตรมะขามป้อม



ภาพประกอบ 4 กราฟแสดงปริมาณของแข็งละลายในน้ำ (°Brix) ของเครื่องดื่มสมุนไพรหมักแต่ละสูตรตามระยะเวลาการหมักที่ต่างกัน

โดยที่ KK หมายถึงเครื่องดื่มหมักสูตรผสมกระชาย KB หมายถึงเครื่องดื่มหมักสูตรผสมบัวบก และ KM หมายถึงเครื่องดื่มหมักสูตรผสมมะขามป้อม ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กที่ต่างกันแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญในแต่ละวัน และตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์ใหญ่แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างสูตรในช่วงเวลาเดียวกัน ($p < 0.05$)

จากข้อมูลค่าปริมาณของแข็งละลายในน้ำของเครื่องดื่มสมุนไพรหมักผสมน้ำผึ้งดิบที่แสดงไว้ดังกล่าว สะท้อนว่าวัตถุดิบสมุนไพรที่ใช้ในแต่ละสูตรมีอิทธิพลต่ออัตราการใช้น้ำตาลและสารอินทรีย์ของจุลินทรีย์ในกระบวนการหมัก โดยสูตรมะขามป้อมซึ่งมีสารประกอบฟีนอลิกและวิตามินซีในปริมาณสูง อาจมีผลกระตุ้นการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ได้ดีกว่าสูตรอื่น (Kumari, Sinha, Sharma, & Dhiman, 2024; Rababah et al., 2020) ขณะที่สูตรใบบัวบกมีค่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำคงอยู่ในระดับที่สูงกว่า อาจเนื่องจากองค์ประกอบทางชีวภาพบางอย่างที่มีฤทธิ์ยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์หมัก และแนวโน้มการลดลงของค่าปริมาณของแข็งที่สอดคล้องกับเวลาหมัก ทั้งนี้ผลการวิจัยนี้ยังสอดคล้องกับผลการศึกษาวิจัยของ Gaggia et al. (2019) ที่พบว่าค่าปริมาณของแข็งในเครื่องดื่มคอมบูชาที่หมักจากผลไม้และสมุนไพร เช่น elderflower rooibos และ basil มีแนวโน้มลดลงตามระยะเวลาเช่นกัน (Gaggia et al., 2018)

การเปลี่ยนแปลงของค่าของแข็งละลายน้ำได้นี้ นอกจากใช้เป็นดัชนีสะท้อนถึงกิจกรรมทางชีวภาพของจุลินทรีย์ในแต่ละสูตร ยังสามารถนำมาใช้ประกอบการประเมินระยะเวลาที่เหมาะสมของการผลิตเครื่องดื่มสมุนไพรหมักผสมน้ำผึ้งต่อไปได้

4.2.3 สีของเครื่องดื่มสมุนไพรหมักผสมน้ำผึ้ง

สีของเครื่องดื่มสมุนไพรหมักผสมน้ำผึ้งที่แตกต่างกัน ได้รับอิทธิพลจากประเภทของสมุนไพรที่ใช้ในกระบวนการหมัก โดยแสดงค่า L^* (ความสว่าง) a^* (สีแดง-เขียว) และ b^* (สีเหลือง-น้ำเงิน) ของตัวอย่างเครื่องดื่มสมุนไพรหมักผสมน้ำผึ้งทั้ง 3 สูตร ในช่วงเวลา 7 วันของการหมักชั้น F1 ไว้ดังตาราง 3

ตาราง 3 ผลค่าสีที่วัดได้ในตัวอย่างเครื่องดื่มสมุนไพรหมักผสมน้ำผึ้งแต่ละช่วงเวลากการหมัก

สูตรเครื่องดื่ม หมัก	ระยะเวลาใน การหมัก (วัน)	ค่าสี			
		L^*	a^*	b^*	ΔE
KK	0	41.13 ± 0.06	1.30 ± 0.03	20.65 ± 0.01	-
	3	37.29 ± 0.21	0.79 ± 0.01	24.89 ± 0.21	6.12
	5	42.10 ± 0.16	0.93 ± 0.01	19.72 ± 0.16	6.30
	7	42.65 ± 0.01	1.18 ± 0.04	17.86 ± 0.18	6.45
KB	0	31.57 ± 0.09	5.39 ± 0.06	24.26 ± 0.90	-
	3	30.37 ± 0.09	5.32 ± 0.05	25.03 ± 0.24	5.74
	5	32.04 ± 0.44	4.19 ± 0.15	24.18 ± 0.11	1.40
	7	34.88 ± 0.13	4.39 ± 0.01	25.89 ± 0.17	3.19
KM	0	25.89 ± 1.45	5.23 ± 0.34	9.64 ± 0.93	-
	3	31.66 ± 1.00	4.25 ± 0.15	7.86 ± 0.54	1.43
	5	32.18 ± 0.93	5.09 ± 0.09	9.72 ± 0.49	1.30
	7	32.30 ± 0.55	4.62 ± 0.06	10.01 ± 0.37	3.82

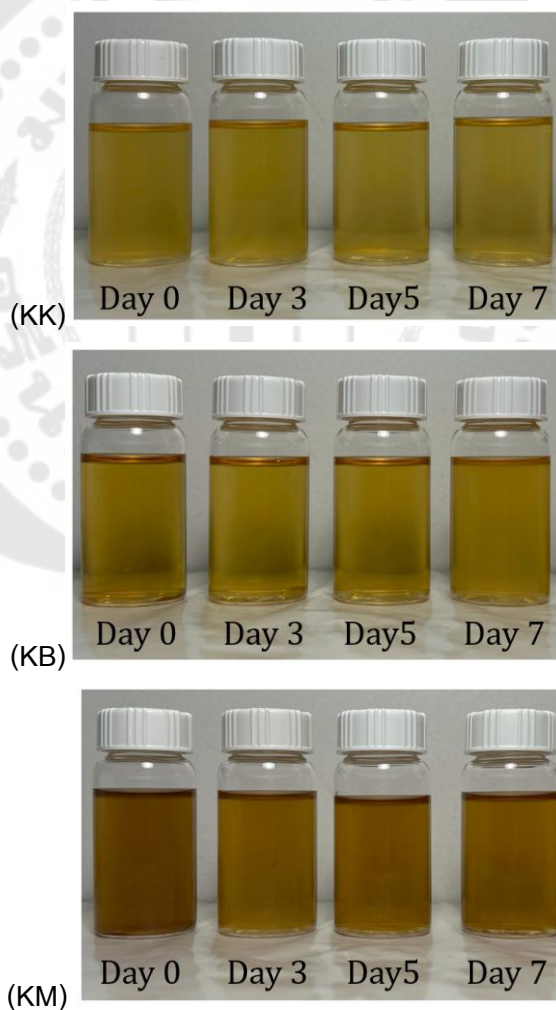
จากข้อมูลจะเห็นได้ว่าค่า L^* ในวันเริ่มต้น (0) ของการหมักเครื่องดื่มที่มีส่วนผสมของมะขามป้อม (KM) มีค่า L^* ต่ำที่สุด (25.89 ± 1.45) ตามด้วยสูตรบัวบก (KB) สูตรกระชาย (KK) ที่มีความสว่างมากขึ้น มีค่า L^* เท่ากับ 31.57 ± 0.09 และ 41.13 ± 0.06 ตามลำดับ สอดคล้องกับลักษณะทางกายภาพที่มองเห็นได้ในวันแรก of สูตรมะขามป้อม มีสีที่เข้มกว่าสูตรอื่น (ภาพประกอบ 5) และเมื่อพิจารณาค่า a^* ที่วัดได้จากตัวอย่างเครื่องดื่มน้ำผึ้งคอมบูชาในวันแรกของการหมัก พบว่าสูตรผสมบัวบก (KB) แสดงสีแดงสูงสุด ($a^* = 5.39 \pm 0.06$) รองลงมาด้วยสูตรมะขามป้อม และสูตรกระชาย ที่มีค่า a^* เท่ากับ 5.23 ± 0.34 และ 1.30 ± 0.03 ตามลำดับ ซึ่งจะ

เห็นได้จากภาพประกอบ 5 สูตรกระชายมีความเหลืองมากที่สุด ทั้งนี้ การเปลี่ยนแปลงของสีในผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มหมักจากน้ำผึ้งผสมสมุนไพร สามารถวิเคราะห์ได้จากค่าความแตกต่างเชิงสี ซึ่งสะท้อนถึงการเปลี่ยนแปลงของความสว่าง (L^*) สีแดง-เขียว (a^*) และสีเหลือง-น้ำเงิน (b^*) โดยค่าที่ได้จะถูกนำมาคำนวณหาความแตกต่างรวมของสี (ΔE) ของผลิตภัณฑ์โดยเทียบระหว่าง วันเริ่มต้นของกระบวนการหมักกับวันอื่น หากมีค่ามากแสดงถึงการเปลี่ยนแปลงไปมากของสีโดยรวม ในวันนั้นเทียบกับวันแรก คำนวณค่าได้จากสูตร

$$\Delta E = \sqrt{(L_n^* - L_0^*)^2 + (a_n^* - a_0^*)^2 + (b_n^* - b_0^*)^2}$$

โดยที่ 0 หมายถึง วันที่เริ่มต้นการหมัก (วันที่ 0)

และ n หมายถึง วันที่เพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการหมัก ได้แก่ วันที่ 3 5 และ 7



ภาพประกอบ 5 แสดงลักษณะสีของตัวอย่างน้ำผึ้งคอมบูชาผสมสมุนไพรไทยในวันที่ 0 3 5 และ 7

โดยที่ KK แทนสูตรผสมกระชาย (*Boesenbergia rotunda*) KB แทนสูตรผสมบัวบก (*Centella asiatica*) และ KM แทนสูตรผสมมะขามป้อม (*Phyllanthus emblica*)

จากการคำนวณเปรียบเทียบผลของการวัดค่าสีในตัวอย่างเครื่องดื่มหมักจากน้ำผึ้งผสมสมุนไพรทั้งสามสูตร ระหว่างวันเริ่มต้น (0)ของการหมัก จนกระทั่งวันที่ 7 ของกระบวนการหมักขั้นแรก (F1) ได้ข้อมูลดังตาราง 3 สามารถนำข้อมูลมาพิจารณาผลของการเปลี่ยนแปลงแยกเป็นรายละเอียดแต่ละสูตรต่าง ได้ดังนี้

1) สูตรกระชาย (KK)

ผลการวัดแสดงให้เห็นว่าค่า L^* มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องในช่วงวันที่ 3 ถึง 7 บ่งบอกถึงความสว่างของผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้นตลอดระยะเวลาหมัก การเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยของค่า a^* และ b^* แสดงให้เห็นว่ามีการเปลี่ยนแปลงไม่มากในมิติของสีแดง-เขียว และเหลือง-น้ำเงิน อย่างไรก็ตามพบว่าค่า ΔE ซึ่งสะท้อนความแตกต่างรวมของสีมีค่าสูงตั้งแต่ช่วงต้น (วันที่ 0) จนถึงระยะปลายการหมัก (6.12 – 6.45) แสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงทางสีที่ชัดเจนพอสมควร ซึ่งอาจมาจากการสลายหรือเปลี่ยนแปลงของสารประกอบฟีนอลิกในกระชายระหว่างการหมัก รวมถึงปฏิกิริยา Maillard ที่อาจเกิดขึ้นร่วมด้วย (Villarreal-Soto et al., 2018)

2) สูตรบัวบก (KB)

สูตรนี้มีค่าการเปลี่ยนแปลงของสีสูงที่สุดในช่วงต้นของการหมัก โดยเฉพาะวันที่ 3 พบค่า ΔE เท่ากับ 5.74 ที่ได้รับอิทธิพลมาจากค่าการเปลี่ยนแปลงของค่า b^* ซึ่งบ่งชี้ถึงการเปลี่ยนจากโทนสีเหลืองไปยังสีน้ำเงิน แต่ในวันที่ 5 และ 7 พบว่าค่า ΔE ลดลงเหลือเพียง 1.40 และ 3.19 ตามลำดับ แสดงถึงความเปลี่ยนแปลงของสีที่ช้าลงกว่าวันที่ 3 อาจเนื่องมาจากการที่สารคลอโรฟิลล์และฟลาโวนอยด์ในบัวบกถูกออกซิไดซ์บางส่วนในช่วงต้นของการหมัก และเข้าสู่ภาวะคงที่ในช่วงท้าย (Zainol, Abdul Hamid, Bakar, & Dek, 2009)

3) สูตรมะขามป้อม (KM)

การเปลี่ยนแปลงของสีของสูตรมะขามป้อม มีค่าน้อยในช่วงต้นของการหมัก เห็นได้จากค่า ΔE ในวันที่ 3 และ 5 มีค่าเท่ากับ 1.43 และ 1.30 ตามลำดับ แต่พบว่ามีค่าสูงขึ้นในวันที่ 7 ($\Delta E = 3.82$) ซึ่งสอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงของสารแทนนินและฟีนอลิกที่พบในมะขามป้อม ซึ่งอาจเกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างเคมีเมื่ออยู่ในสภาวะกรดจากการหมัก ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสีในช่วงปลายการหมัก (Kumari et al., 2024)

ดังนั้นจะเห็นได้ว่า ค่าความแตกต่างรวมของสี (ΔE) ที่สูงกว่า 3 ถือว่ามีความแตกต่างของสีที่สามารถสังเกตเห็นได้ด้วยตาเปล่า (Mokrzycki & Tatol, 2011) ทั้งนี้ สูตรกระชาย และสูตร

บัวบกมีการเปลี่ยนแปลงของสีในวันที่ 3 เดือนสุดท้าย ขณะที่สูตรมะขามป้อมมีการเปลี่ยนแปลงอย่างชัดเจนในช่วงท้าย การเปลี่ยนแปลงของพารามิเตอร์สีบ่งชี้ถึงปฏิสัมพันธ์ระหว่างโพลีฟีนอล กรดอินทรีย์ และการเผาผลาญของจุลินทรีย์ ซึ่งส่งผลต่อลักษณะทางกายภาพของสีที่สามารถมองเห็นได้จากตัวอย่างเครื่องดื่มหมักจากน้ำผึ้งผสมสมุนไพรไทย ดังแสดงไว้ในภาพประกอบ 5

ทั้งนี้ เมื่อครบระยะเวลา 7 วัน สำหรับกระบวนการหมักเครื่องดื่มผสมสมุนไพรในขั้นตอนแรก (F1) แล้ว จึงนำเฉพาะส่วนที่เป็นของเหลวใสจาก F1 มาหมักต่อกับผลไม้สดอัตราส่วนร้อยละ 10 (น้ำหนักต่อปริมาตร) เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง ส่งผลต่อลักษณะทางกายภาพของสีที่สามารถมองเห็นได้จากตัวอย่างเครื่องดื่มน้ำผึ้งผสมสมุนไพรไทยแต่ละสูตรดังแสดงไว้ในภาพประกอบ 6



ภาพประกอบ 6 แสดงลักษณะสีของตัวอย่างเครื่องดื่มสมุนไพรหมักกับน้ำผึ้งหลังการหมักในขั้น F2 เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง

โดยที่ KK แทนสูตรผสมกระชาย (*Boesenbergia rotunda*) KB แทนสูตรผสมบัวบก (*Centella asiatica*) และ KM แทนสูตรผสมมะขามป้อม (*Phyllanthus emblica*)

4.2.4 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (Total Phenolic Content)

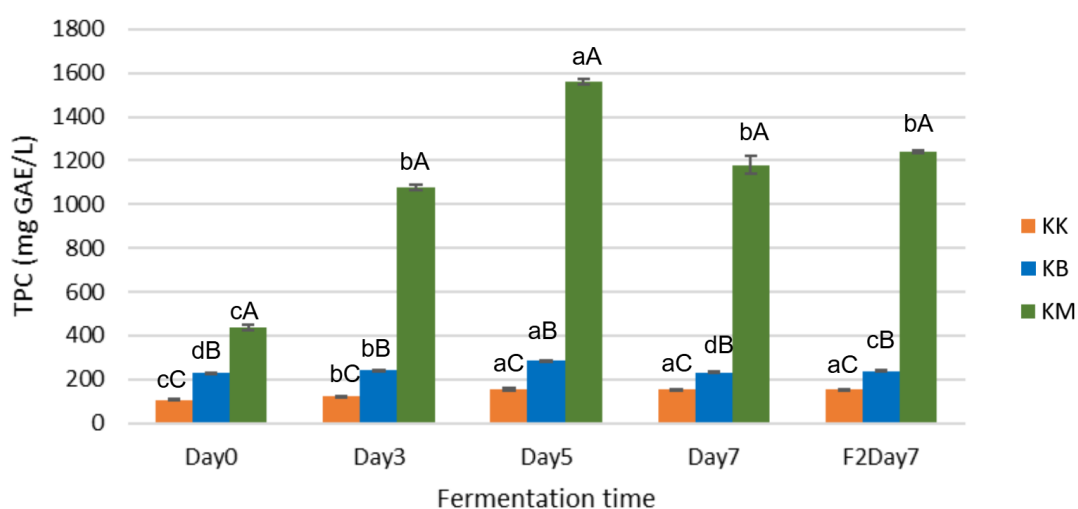
การวิเคราะห์คุณภาพของวัตถุดิบสำหรับการหมักเครื่องดื่ม ด้านปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดด้วยวิธี Folin-Ciocalteu assay แสดงดังตาราง 4

ตาราง 4 ผลการวิเคราะห์ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด (Total Phenolic Content) ในตัวอย่างวัตถุดิบ

ตัวอย่าง	ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด (มิลลิกรัม GAE ต่อลิตร)
น้ำผึ้งดิบ 10%(w/v) ในน้ำ	0.95 ± 0.01^d
ผงกระชาย 1%(w/v) ในน้ำ	5.39 ± 0.22^c
ผงบัวบก 1%(w/v) ในน้ำ	12.85 ± 0.31^b
ผงมะขามป้อม 1%(w/v) ในน้ำ	126.61 ± 1.60^a

หมายเหตุ: ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กที่ต่างกันแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ของแต่ละตัวอย่าง

พบว่าผงมะขามป้อมให้ค่าปริมาณฟีนอลิกสูงสุด คือ 126.61 ± 1.60 มิลลิกรัมกรดแกลลิกเทียบเท่า (GAE)/ลิตร รองลงมาคือ ผงบัวบก (12.85 ± 0.31 มิลลิกรัม GAE/ลิตร) และผงกระชาย (5.39 ± 0.22 มิลลิกรัม GAE/ลิตร) ตามลำดับ ขณะที่น้ำผึ้งดิบที่ใช้เป็นวัตถุดิบร่วมในสูตรมีค่าเพียง 0.95 ± 0.01 มิลลิกรัม GAE/ลิตร เท่านั้น ผลนี้สอดคล้องกับข้อมูลจาก Liu et al. (2008) ซึ่งระบุว่ามะขามป้อมมีปริมาณโพลีฟีนอลและวิตามินซีสูง โดยเฉพาะสารกลุ่มแทนนินและกรดแกลลิกที่มีความคงตัวสูงในสภาวะกรดของกระบวนการหมัก



ภาพประกอบ 7 กราฟแสดงปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด (Total phenolic content) ของเครื่องดื่มหมักสมุนไพรแต่ละสูตรที่เปลี่ยนแปลงตามระยะเวลาการหมัก

โดยที่ KK หมายถึงเครื่องต้มหมักสูตรผสมกระชาย KB หมายถึงเครื่องต้มหมักสูตรผสมบัวบก และKM หมายถึงเครื่องต้มหมักสูตรผสมมะขามป้อม ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กที่ต่างกันแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญในแต่ละวัน และตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์ใหญ่แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างสูตรในช่วงเวลาเดียวกัน ($p < 0.05$)

เมื่อพิจารณาผลการวิเคราะห์ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดของเครื่องต้มหมักผสมสมุนไพรไทย ทั้งสามสูตร ได้แก่ สูตรกระชาย (KK) สูตรบัวบก (KB) และสูตรมะขามป้อม (KM) ซึ่งเก็บตัวอย่างวิเคราะห์ในช่วงระยะเวลาการหมักที่แตกต่างกัน ได้แก่ วันที่ 0 3 5 7 และชั้น F2 พบความแตกต่างของปริมาณฟีนอลิกที่วิเคราะห์ได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยเฉพาะในสูตรมะขามป้อม ดังแสดงตามภาพประกอบ 7 ซึ่งสามารถอธิบายรายละเอียดของแต่ละสูตร ได้ดังนี้

สำหรับสูตรกระชาย (KK) ปริมาณฟีนอลิกมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องตลอดกระบวนการหมัก โดยมีค่าเฉลี่ย 107.07 ± 1.53 มิลลิกรัมกรดแกลลิกเทียบเท่าต่อลิตร ในวันที่ 0 และเพิ่มขึ้นจนกระทั่งถึงชั้น F2 ซึ่งให้ค่าฟีนอลิกสูงสุด เท่ากับ 156.86 ± 0.57 มิลลิกรัม GAE/ลิตร แสดงให้เห็นว่าสารประกอบฟีนอลิกในกระชายอาจถูกปลดปล่อยออกมาอย่างต่อเนื่องจากโครงสร้างของพืชในระหว่างการหมัก หรือเกิดจากการย่อยสลายของสารตั้งต้นโดยจุลินทรีย์ใน SCOBY ซึ่งสามารถเปลี่ยนโพลีฟีนอลที่ไม่ละลายน้ำให้เป็นรูปที่ดูดซึมได้ดีขึ้น

ในกรณีของสูตรบัวบก (KB) พบว่าปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดมีค่าสูงกว่าที่พบได้ในสูตรกระชาย ตั้งแต่เริ่มต้นกระบวนการหมัก โดยในวันที่ 0 มีค่าเท่ากับ 228.38 ± 2.29 มิลลิกรัม GAE/ลิตร และเพิ่มขึ้นถึงค่ามากที่สุดที่ 284.14 ± 0.97 มิลลิกรัม GAE/ลิตร ในวันที่ 5 อย่างไรก็ตาม เมื่อถึงวันที่ 7 ปริมาณฟีนอลิกลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) เหลือ 230.71 ± 2.99 มิลลิกรัม GAE/ลิตร และไม่มีการเพิ่มขึ้นในชั้น F2 ซึ่งแสดงถึงความไม่คงตัวของสารฟีนอลิกในบัวบกต่อสภาพแวดล้อมการหมัก เช่น ค่า pH ที่ลดลง หรือผลจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารประกอบฟีนอลิกที่ไวต่อสภาวะแวดล้อม

ในขณะที่สูตรมะขามป้อม (KM) มีค่าปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดสูงที่สุดในทุกช่วงของการหมัก โดยมีค่าเฉลี่ยตั้งแต่วันที่ 0 เท่ากับ 438.38 ± 10.64 มิลลิกรัม GAE/ลิตร เพิ่มขึ้นถึงค่าสูงสุดที่ 1558.59 ± 13.66 มิลลิกรัม GAE/ลิตร ในวันที่ 5 ก่อนจะลดลงในวันที่ 7 และชั้น F2 เหลือ 1178.79 ± 42.10 และ 1238.10 ± 5.95 มิลลิกรัม GAE/ลิตร ตามลำดับ แม้ปริมาณจะลดลงจากค่าสูงสุด แต่ยังคงสูงกว่าสูตรอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ในทุกระยะของการหมัก

จากผลการศึกษาปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดในเครื่องต้มหมักจากน้ำผึ้งผสมสมุนไพรไทยแต่ละสูตร แสดงให้เห็นว่า มะขามป้อมเป็นวัตถุดิบที่มีศักยภาพสูงในการเพิ่มปริมาณสารฟีนอลิกใน

เครื่องดื่มคอมบูชาอย่างชัดเจน อาจเนื่องมาจากองค์ประกอบทางเคมีที่มีสารกลุ่มแทนนิน กรด แกลลิก และวิตามินซีที่สามารถคงตัวและแสดงฤทธิ์ภายใต้สภาวะกรดจากการหมักได้ดี โดยเฉพาะในระยะ 3 ถึง 5 วันแรก ซึ่งเป็นช่วงที่กระบวนการย่อยสลายและเปลี่ยนแปลงสารเมตาบอไลต์ของสมุนไพร สอดคล้องกับข้อมูลจากงานวิจัยก่อนหน้านี้ของ Liu et al. (2008) ที่พบว่า มะขามป้อมเป็นแหล่งสารต้านอนุมูลอิสระที่สำคัญ และอธิบายเหตุผลเกี่ยวกับปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดของมะขามป้อมที่ไม่เปลี่ยนแปลงระหว่างกระบวนการหมัก เนื่องจากปริมาณสารโพลีฟีนอล และวิตามินซี ที่มีอยู่สูงที่ไม่เสื่อมสลายลงระหว่างการหมัก การเปลี่ยนแปลงที่สังเกตได้เหล่านี้จึงสามารถใช้เป็นเกณฑ์สำหรับการเลือกช่วงเวลาและวัตถุดิบที่เหมาะสมในการผลิตเครื่องดื่มฟังก์ชันที่มีสารฟีนอลิกสูง และช่วยเพิ่มคุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระของผลิตภัณฑ์ที่มีประสิทธิภาพ และส่งผลทางสุขภาพที่ดีต่อผู้บริโภค

4.2.5 ค่าการยับยั้งอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH และ ABTS

จากการวิเคราะห์ประสิทธิภาพในการยับยั้งอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH ของวัตถุดิบ ได้แก่ น้ำผึ้งดิบ ผงกระชาย ผงบัวบก และผงมะขามป้อม ได้ผลดังแสดงในตาราง 5

ตาราง 5 ผลการวิเคราะห์ค่าการยับยั้งอนุมูลอิสระ DPPH ในตัวอย่างวัตถุดิบ

ตัวอย่าง	ร้อยละการยับยั้งอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH
น้ำผึ้งดิบ 10%(w/v) ในน้ำ	82.41 ± 0.18 ^d
ผงกระชาย 1%(w/v) ในน้ำ	99.00 ± 0.04 ^b
ผงบัวบก 1%(w/v) ในน้ำ	97.62 ± 0.06 ^c
ผงมะขามป้อม 1%(w/v) ในน้ำ	99.77 ± 0.00 ^a

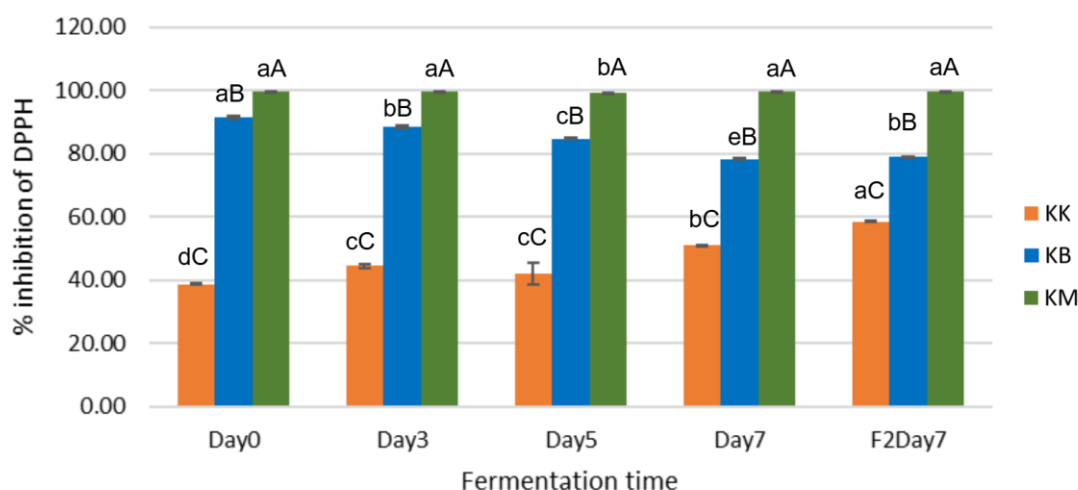
หมายเหตุ: ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กที่ต่างกันในคอลัมน์เดียวกันแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ของแต่ละตัวอย่าง

จะเห็นได้ว่า ผงมะขามป้อมละลายน้ำมีค่าร้อยละการยับยั้งอนุมูลอิสระสูงที่สุด โดย ผงมะขามป้อมความเข้มข้น 1% (w/v) แสดงการยับยั้งอนุมูลอิสระ DPPH (%inhibition of DPPH) เท่ากับ 99.77 ± 0.00 % รองลงมาคือ ผงกระชาย (99.00 ± 0.04 %) และผงบัวบก (97.62 %) ตามลำดับ ($p < 0.05$)

จากนั้นทำการศึกษาวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มหมักผสมสมุนไพรไทย ได้แก่ กระชาย (KK) ใบบัวบก (KB) และมะขามป้อม (KM) ในช่วงระยะเวลาการหมักที่แตกต่างกัน (วันที่ 0 3 5 7 และขั้น F2) โดยทำการทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี

DPPH และ ABTS radical scavenging assay ซึ่งเป็นวิธีที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในการประเมินศักยภาพของสารต้านอนุมูลอิสระในตัวอย่างที่สนใจ

ค่าการยับยั้งอนุมูลอิสระของเครื่องดื่มหมักผสมสมุนไพรในแต่ละสูตรที่วิเคราะห์โดยวิธี DPPH radical scavenging assay ตามข้อมูลปรากฏดังภาพประกอบ 8 ซึ่งทำการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยการทดสอบ ANOVA พบว่า มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ทั้งระหว่างสูตร และระยะเวลาการหมัก ทั้งนี้สามารถอธิบายเกี่ยวกับการยับยั้งอนุมูลอิสระ DPPH ของตัวอย่างเครื่องดื่มน้ำผึ้งคอมบูชาผสมสมุนไพรแต่ละสูตร ได้ดังนี้



ภาพประกอบ 8 กราฟแสดงผลร้อยละการยับยั้งอนุมูลอิสระ DPPH (inhibition of DPPH) ของเครื่องดื่มหมักสมุนไพรแต่ละสูตรตามระยะเวลาที่เปลี่ยนแปลง

โดยที่ KK หมายถึงเครื่องดื่มหมักสูตรผสมกระชาย KB หมายถึงเครื่องดื่มหมักสูตรผสมบัวบก และ KM หมายถึงเครื่องดื่มหมักสูตรผสมมะขามป้อม ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กที่ต่างกันแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญในแต่ละวัน และตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์ใหญ่แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างสูตรในช่วงเวลาเดียวกัน ($p < 0.05$)

สูตรกระชาย (KK) พบว่าค่าการยับยั้งอนุมูลอิสระเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจาก $38.69 \pm 0.30\%$ ในวันเริ่มต้นของการหมัก จนกระทั่งมีค่าการยับยั้งเป็น $58.57 \pm 0.23\%$ ในขั้น F2 โดยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญในทุกช่วงเวลา ($p < 0.05$) แสดงถึงการเกิดของสารต้านอนุมูลอิสระเพิ่มขึ้นในกระบวนการหมัก ซึ่งมีข้อมูลงานวิจัยก่อนหน้านี้ ที่กล่าวว่าอาจมาจากการสลาย

เซลล์พืชของกระชายและการสร้างสารออกฤทธิ์โดยจุลินทรีย์ใน SCOBY เช่น polyphenol metabolites ที่เกิดขึ้นในระหว่างการหมัก (Jayabalan et al., 2014)

สูตรบัวบก (KB) แสดงค่าการยับยั้งอนุมูลอิสระที่สูงสุดในวันเริ่มต้น ซึ่งมีค่าเท่ากับ $91.48 \pm 0.41\%$ และกลับมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญตลอดระยะเวลาในการหมัก โดยในชั้น F2 ที่เหลือเพียง $78.97 \pm 0.21\%$ ซึ่งแสดงถึงการเสื่อมสลายของสารออกฤทธิ์ เช่น triterpenoids และ asiaticoside ที่ไวต่อสภาพความเป็นกรด (Zainol et al., 2009)

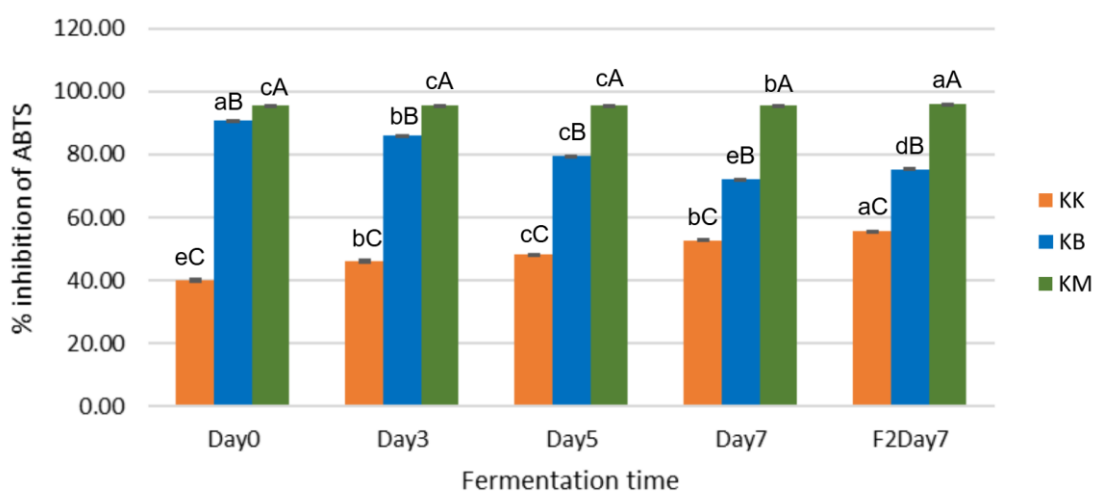
สูตรมะขามป้อม (KM) มีค่าการยับยั้งอนุมูลอิสระสูงมากที่สุดอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) เปรียบเทียบกับสูตรอื่น ตั้งแต่วันเริ่มต้นการหมัก ($99.58 \pm 0.01\%$) และแสดงแนวโน้มการยับยั้งอนุมูลอิสระคงที่ตลอดกระบวนการหมักจนถึงชั้น F2 ($99.59 \pm 0.02\%$) ยกเว้นในวันที่ 5 ที่พบการลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) มีค่าเท่ากับ $99.24 \pm 0.10\%$ แต่ยังคงพบว่ามีค่าสูงสุดเทียบกับสูตรอื่นอย่างมีนัยสำคัญในทุกช่วงเวลา ($p < 0.05$) แสดงถึงศักยภาพของสารต้านอนุมูลอิสระในมะขามป้อม เช่น emblicanin A emblicanin B กรดแกลลิก และวิตามินซี ที่มีความคงตัวในกระบวนการหมัก (Klawpiyapamornkun et al., 2023)

จากข้อมูลฤทธิ์ในการยับยั้งอนุมูลอิสระ DPPH ของเครื่องดื่มหมักสมุนไพร สะท้อนว่าสูตรมะขามป้อม มีศักยภาพในการต้านอนุมูลอิสระสูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในทุกช่วงเวลา รองลงมาคือ สูตรกระชาย ที่แสดงแนวโน้มดีขึ้นตามระยะเวลาหมัก ในขณะที่ สูตรบัวบก แม้จะมีค่าสูงในระยะต้น แต่ลดลงหลังจากช่วงวันที่ 5 ซึ่งแสดงถึงความไม่เสถียรของสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพในสมุนไพรชนิดนี้เมื่ออยู่ในกระบวนการหมัก

เพื่อตรวจสอบและยืนยันความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของตัวอย่างเครื่องดื่ม น้ำผึ้งคอมบูชาผสมสมุนไพรอย่างครอบคลุม การวิเคราะห์ในครั้งนี้ได้ใช้วิธี ABTS radical scavenging assay ควบคู่กับวิธี DPPH assay ซึ่งเป็นวิธีมาตรฐานที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในการประเมินศักยภาพของสารต้านอนุมูลอิสระจากธรรมชาติ ซึ่ง DPPH assay ใช้ตรวจวัดความสามารถในการให้อิเล็กตรอนของสารต้านอนุมูลอิสระที่ละลายได้ดีในสารละลายอินทรีย์ เช่น เมทานอลหรือเอทานอล ขณะที่ ABTS assay ใช้ตรวจวัดได้ทั้งสารละลายน้ำและอินทรีย์ มีความเหมาะสมสำหรับตัวอย่างที่มีองค์ประกอบของสารต้านอนุมูลอิสระที่หลากหลาย ซึ่งสามารถจับกับอนุมูล $ABTS^+$ ได้ทั้งแบบ hydrophilic และ lipophilic

ดังนั้น การใช้ ABTS assay ในการศึกษาวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อยืนยันผลการวิเคราะห์ที่ได้จาก DPPH assay และเพื่อให้เห็นความชัดเจนของการเปลี่ยนแปลงฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระในระบบที่มีความซับซ้อน เช่น เครื่องดื่มหมักจากสมุนไพร โดยเฉพาะในสูตรที่มีวัตถุดิบที่มี

สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพหลายชนิด เช่น ฟีนอลิก วิตามินซี หรือแทนนิน ซึ่งอาจมีผลแตกต่างกันในการตอบสนองต่อวิธีวิเคราะห์แต่ละแบบ (La Torre et al., 2024)



ภาพประกอบ 9 กราฟแสดงผลร้อยละการยับยั้งอนุมูลอิสระ ABTS (inhibition of ABTS) ของเครื่องต้มหมักสมุนไพรแต่ละสูตรตามระยะเวลาที่เปลี่ยนแปลง

โดยที่ KK หมายถึงเครื่องต้มหมักสูตรผสมกระชาย KB หมายถึงเครื่องต้มหมักสูตรผสมบัวบก และKM หมายถึงเครื่องต้มหมักสูตรผสมมะขามป้อม ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กที่ต่างกันแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญในแต่ละวัน และตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์ใหญ่แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างสูตรในระยะเวลาเดียวกัน ($p < 0.05$)

ค่าการยับยั้งอนุมูลอิสระของตัวอย่างเครื่องต้มหมักในแต่ละสูตรที่วิเคราะห์โดยวิธี ABTS assay และวิเคราะห์ผลการวัดด้วยสถิติ ANOVA พบว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ $p < 0.05$ ทั้งในด้านของสูตรสมุนไพร และระยะเวลาการหมัก โดยมีรายละเอียด ดังนี้

สูตรกระชาย (KK) แสดงแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องของค่าร้อยละการยับยั้งอนุมูลอิสระ ABTS จากวันแรก (0) ของการหมัก ($39.90 \pm 0.50\%$) จนถึงขั้น F2 ($55.45 \pm 0.29\%$) โดยเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในทุกช่วง ($p < 0.05$) สอดคล้องกับผล DPPH assay และแสดงถึงการเพิ่มขึ้นของสารที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระในระหว่างหมัก ซึ่งอาจมาจากกระบวนการย่อยสลายของสารพฤกษเคมีในกระชายโดย SCOBY ทำให้สารโพลีฟีนอลิกและฟลาโวนอยด์มีความพร้อมในการออกฤทธิ์เพิ่มขึ้น (Sudjaroen & Thongmuang, 2022)

สูตรบัวบก (KB) ให้ค่าการยับยั้งอนุมูลอิสระสูงสุดในจุดเริ่มต้นของการหมัก ($90.63 \pm 0.23\%$) และลดลงในช่วงต่อมา โดยมีค่าต่ำสุดในวันที่ 7 ($72.12 \pm 0.17\%$) สะท้อนถึงความไม่

เสถียรของสารต้านอนุมูลอิสระในบัวบกที่อาจสลายหรือเปลี่ยนรูปภายใต้ภาวะกรดและจุลินทรีย์ ในระหว่างการหมักต่อเนื่อง (Zainol et al., 2009) และแสดงค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญในช่วงปลายของการหมัก

สูตรมะขามป้อม (KM) แสดงศักยภาพการยับยั้งอนุมูลอิสระที่สูงที่สุดในทุกช่วงเวลา โดยมีค่าตั้งแต่ $95.52 \pm 0.05\%$ ในวันแรก (0) ของการหมัก จนถึง $95.85 \pm 0.05\%$ ในขั้น F2 โดยมีค่าไม่แตกต่างทางสถิติ ($p > 0.05$) แต่ยังคงแสดงค่าที่สูงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเปรียบเทียบกับสูตรอื่นในแต่ละช่วงเวลา ($p < 0.05$) ซึ่งอาจมาจากความเข้มข้นของวิตามินซี กรดแทนนิก และสารฟีนอลิกอื่น ๆ ที่มีความเสถียรต่อกระบวนการหมักและสามารถออกฤทธิ์อย่างมีประสิทธิภาพตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา (Kumari et al., 2024)

ในการวิเคราะห์การยับยั้งอนุมูลอิสระของเครื่องดื่มหมักผสมสมุนไพรไทยทั้ง 3 สูตร โดยทำการสุ่มเก็บตัวอย่างของเหลวในวันที่ 0 3 5 7 และขั้น F2 มาวิเคราะห์ พบว่า ตลอดกระบวนการหมัก สูตรมะขามป้อม (KM) มีค่าร้อยละการยับยั้งอนุมูลอิสระที่สูงที่สุด ($p < 0.05$) ทั้งจากวิธีการ DPPH (ภาพประกอบ 8) และ ABTS assay (ภาพประกอบ 9) โดยร้อยละการยับยั้งอนุมูลอิสระ DPPH และ ABTS ในวันที่ 7 เท่ากับ $99.59 \pm 0.02\%$ และ $95.85 \pm 0.05\%$ ตามลำดับ สะท้อนถึงประสิทธิภาพของสารต้านอนุมูลอิสระของสูตรมะขามป้อมที่มีฤทธิ์ในการยับยั้งสารอนุมูลอิสระที่ตลอดการหมัก ตรงกันข้ามกับสูตรบัวบก (KB) ที่มีค่าการต้านอนุมูลอิสระลดลงเมื่อหมักเกินวันที่ 7 โดยเฉพาะใน ABTS assay ซึ่งมีความไวต่อพฤติกรรมของสารออกฤทธิ์ในพืชมากกว่า

จากผลการทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของเครื่องดื่มสมุนไพรหมักผสมน้ำผึ้ง ด้วยวิธี DPPH และ ABTS พบว่าแนวโน้มของค่าการยับยั้งอนุมูลอิสระจากทั้งสองวิธีมีความสอดคล้องกันตลอดช่วงระยะเวลาการหมัก รวมถึงลำดับความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระระหว่างสูตรสมุนไพรที่ใช้ ทั้งนี้ สูตรมะขามป้อม (KM) แสดงค่าการยับยั้งสูงที่สุดในทุกช่วงเวลา ทั้งในวิธี DPPH และ ABTS แสดงให้เห็นถึงศักยภาพในการเป็นแหล่งของสารต้านอนุมูลอิสระที่มีความคงตัวสูง สำหรับสูตรบัวบก (KB) มีค่าการยับยั้งอยู่ในระดับปานกลางแม้จะมีแนวโน้มลดลงแต่ยังถือว่าอยู่ในระดับที่ดีรองลงมา และสูตรกระชาย (KK) มีค่าการยับยั้งต่ำที่สุด แม้จะมีการเพิ่มขึ้นเล็กน้อยในช่วงปลายของการหมักแต่ยังคงมีค่าต่ำกว่าสูตรอื่นอย่างมีนัยสำคัญ การที่แนวโน้มของค่าการยับยั้งอนุมูลอิสระจากวิธี DPPH และ ABTS สอดคล้องกันนั้นสามารถอธิบายได้จากกลไกพื้นฐานของทั้งสองวิธี ซึ่งเป็นการประเมินความสามารถในการบริจาคอิเล็กตรอนหรืออะตอมของไฮโดรเจนของสารต้านอนุมูลอิสระไปยังอนุมูลอิสระเป้าหมาย โดย DPPH เป็นอนุมูลอิสระที่มีลักษณะชอบไขมัน (lipophilic) ส่วน ABTS เป็นอนุมูลอิสระที่สามารถละลายน้ำได้ (hydrophilic)

ดังนั้นสารที่สามารถตอบสนองได้ดีต่อทั้งสองวิธีต้องเป็นสารที่มีคุณสมบัติออกฤทธิ์ทั้งในสภาวะที่เป็นน้ำและไขมัน ซึ่งสารฟีนอลิกในมะขามป้อม เช่น กรดแกลลิก เอลลาจิก และวิตามินซีธรรมชาติ มีลักษณะดังกล่าว จึงอาจเป็นสาเหตุที่สูตร KM แสดงฤทธิ์สูงและสม่ำเสมอในทั้งสองวิธี (Charoenteeraboon, Wongnoppavich, Soonthornchareonnon, Jaijoy, & Sireeratawong, 2010)

ผลการวิเคราะห์นี้จึงสนับสนุนว่ามะขามป้อมเป็นสมุนไพรที่มีศักยภาพสูงในการเสริมฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระให้แก่เครื่องดื่มสมุนไพรหมักผสมน้ำผึ้งดิบ และแนวโน้มของค่าการยับยั้งอนุมูลอิสระจากทั้ง DPPH และ ABTS ที่สอดคล้องกัน ยังช่วยเพิ่มความน่าเชื่อถือของผลการทดสอบ และบ่งชี้ถึงองค์ประกอบของสารออกฤทธิ์ที่สามารถทำงานได้ในระบบที่แตกต่างกัน

4.3 อภิปรายผล

จากการพัฒนาเครื่องดื่มสมุนไพรหมักผสมน้ำผึ้งดิบ โดยทำการหมักแบ่งออกเป็น 3 สูตร ได้แก่ สูตรกระชาย (KK) สูตรมะขามป้อม (KM) และสูตรบัวบก (KB) ร่วมกับการเปลี่ยนแปลงของคุณสมบัติทางเคมีและชีวภาพระหว่างกระบวนการหมักขั้น F1 และ F2 โดยสุ่มเก็บตัวอย่างเพื่อเก็บข้อมูลในวันที่ 0 3 5 7 และ F2 และเปรียบเทียบคุณสมบัติจากเครื่องดื่มหมักที่มีสูตรแตกต่างกัน ทั้งคุณลักษณะด้านสี pH ความเป็นกรด ปริมาณน้ำตาลละลายในน้ำ สารประกอบฟีนอลิก และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ นำมาอภิปรายผลแบ่งเป็นรายละเอียดด้านคุณลักษณะ ดังนี้

4.3.1 การเปลี่ยนแปลงของค่าทางเคมีพื้นฐาน

ค่าปริมาณของแข็งละลายได้ในน้ำ ที่วัดได้ในหน่วย °Brix ซึ่งมีบทบาทสำคัญต่อการหมักเครื่องดื่มในรูปแบบคอมบูชา เนื่องจากเป็นแหล่งพลังงานหลักของยีสต์และแบคทีเรียใน SCOBY ในการย่อยและเปลี่ยนเป็นกรดอินทรีย์ ปริมาณของแข็งที่วัดได้เท่ากับ 8.30 °Brix จากน้ำผึ้งดิบในน้ำความเข้มข้น 10% (w/v) แสดงถึงศักยภาพของน้ำผึ้งดิบที่สามารถใช้เป็นแหล่งคาร์บอนสำหรับจุลินทรีย์ในการหมักได้ ทั้งนี้ ปริมาณของแข็งละลายน้ำที่วัดได้จากตัวอย่างเครื่องดื่มหมักทั้ง 3 สูตรในวันเริ่มต้นที่มีค่าระหว่าง 10.80 – 11.10 °Brix มีความสอดคล้องกับปริมาณของแข็งละลายในน้ำที่วัดได้จากตัวอย่างวันเริ่มต้นของคอมบูชาแบบดั้งเดิมที่ใส่น้ำตาลต่างชนิดกันในอัตราส่วน 10% (w/v) ซึ่งมีค่าระหว่าง 7.80 – 10.07 °Brix จึงสรุปได้ว่าความเข้มข้นนี้เป็นค่าที่เพียงพอสำหรับการหมัก (Muhialdin, Meor Hussin, Sapawi, & Wen Yi, 2019) ในขณะเดียวกัน สารละลาย 1% (w/v) ของผงสมุนไพรทั้งสามชนิด ได้แก่ กระชาย บัวบก และมะขามป้อม ที่มีปริมาณของแข็งละลายน้ำวัดได้ต่ำกว่า 0.5 °Brix ซึ่งชี้ให้เห็นว่าส่วนผสมเหล่านี้ไม่ได้มีบทบาทเป็น

แหล่งพลังงานโดยตรง แต่มีคุณค่าทางชีวภาพในด้านอื่น เช่น สารต้านอนุมูลอิสระ (สารฟีนอลิก และฟลาโวนอยด์) หรือฤทธิ์ทางเภสัชวิทยา ซึ่งสามารถเสริมคุณสมบัติทางหน้าที่ (functional properties) ของผลิตภัณฑ์ได้ (Anantachoke et al., 2023)

และจะเห็นได้ว่าค่า Brix ที่ลดลงระหว่างกระบวนการหมักในทุกสูตร แสดงถึงการย่อยสลายน้ำตาลและสารอินทรีย์จากวัตถุดิบโดยจุลินทรีย์ใน SCOBY เพื่อนำไปใช้ในการผลิตกรดอินทรีย์ในระหว่างการหมัก กระบวนการนี้สัมพันธ์กับค่าความเป็นกรดจากวิธีการไทเทรต (titratable acidity) ที่เพิ่มขึ้น และค่า pH ที่ลดลง ซึ่งแสดงถึงความก้าวหน้าของการหมักและการเกิดกรดอินทรีย์ในผลิตภัณฑ์ (Jayabalan et al., 2014)

4.3.2 สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ

มะขามป้อมเป็นสูตรที่ให้ค่าฟีนอลิกทั้งหมด (Total Phenolic Content) สูงสุดตั้งแต่ช่วงเริ่มต้นและมีค่าคงที่ตลอดการหมัก ซึ่งสะท้อนถึงความสามารถของสารฟีนอลิกที่ละลายน้ำได้ดีในสมุนไพรชนิดนี้ โดยเฉพาะสารกลุ่มแทนนิน กรดแกลลิก และวิตามินซี (Klawpiyapamornkun et al., 2023) ที่สามารถละลายและคงตัวได้ดีในสภาวะที่มีกรด ในส่วนสูตรกระชายมีค่า DPPH และ ABTS เพิ่มขึ้นในระยะหลังของการหมัก สะท้อนถึงการปลดปล่อยหรือการเปลี่ยนรูปของสารฟลาโวนอยด์หรือโพลีฟีนอลบางชนิดโดยจุลินทรีย์ใน SCOBY ซึ่งจำเป็นต้องอาศัยเวลานานขึ้นจึงจะมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูงขึ้น (Sudjaroen & Thongmuang, 2022)

แต่กลับพบว่าสูตรบัวบกมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระลดลงเมื่อหมักนานขึ้น อาจเกิดจากการสลายตัวของสารไตรเทอร์พีนอยด์หรือคลอโรฟิลล์เมื่อสัมผัสกับออกซิเจน หรือเกิดจากการเปลี่ยนแปลงในโครงสร้างสารออกฤทธิ์บางชนิดภายใต้สภาวะกรดอ่อนและแสงในระหว่างหมักแบบเปิด (Zainol et al., 2009)

4.3.3 ลักษณะสีของผลิตภัณฑ์

ค่าพิกัดสีในระบบ CIE ($L^*a^*b^*$) ของผลิตภัณฑ์ทั้งหมดแสดงการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญ โดยเฉพาะการเปลี่ยนแปลงสีของสูตรบัวบก (KB) และสูตรกระชาย (KK) ในวันที่ 3 เมื่อเทียบกับวันเริ่มการหมัก (วันที่ 0) ที่พบค่า ΔE มากกว่า 5.0 จึงแสดงการเปลี่ยนแปลงของสีที่ชัดเจนที่สุด ซึ่งสามารถรับรู้ได้ด้วยสายตา ทั้งนี้ผลลัพธ์ดังกล่าวแสดงถึงการเสื่อมของเม็ดสีหรือการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของคลอโรฟิลล์ที่อาจเกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันระหว่างการหมัก (Zainol et al., 2009) สำหรับสูตรบัวบกในวันที่ 5 และสูตรมะขามป้อม (KM) เมื่อเทียบกับวันที่ 0 ของการหมักแต่ละสูตร พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงค่าพิกัดสีน้อยกว่า 5.0 โดยเฉพาะในสูตรมะขามป้อมที่ค่า

ความแตกต่างของสี (ΔE) อยู่ในระดับต่ำ แสดงถึงความคงตัวขององค์ประกอบสีที่ได้จากสารฟีนอลิกในช่วงระยะเวลา 7 วันของการหมัก

4.3.4 สรุปความสัมพันธ์ระหว่างสูตร วัตถุดิบ และการหมัก

องค์ประกอบของกลุ่มจุลินทรีย์และยีสต์ที่ทำงานร่วมกัน (SCOBY) และน้ำหมักตั้งต้น (starter broth) ถือเป็นวัตถุดิบสำคัญของกระบวนการผลิตคอมบูชา เนื่องจากส่งผลโดยตรงต่อกระบวนการหมัก คุณภาพทางจุลชีววิทยา สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ และรสชาติของผลิตภัณฑ์

สำหรับงานวิจัยฉบับนี้ ได้เลือกใช้อัตราส่วน SCOBY 4% (น้ำหนักต่อปริมาตร) และน้ำหมักตั้งต้น 6% (ปริมาตรต่อปริมาตร) ซึ่งอยู่ในช่วงที่มีความสอดคล้องกับงานวิจัยก่อนหน้านี้ (Neffe-Skocińska et al., 2017) และมีความเหมาะสมต่อกระบวนการหมักที่ใช้วัตถุดิบทางเลือก อย่างเช่น น้ำผึ้ง และสมุนไพรไทย ซึ่งมีลักษณะเฉพาะที่แตกต่างจากระบบชาหวานแบบดั้งเดิม จึงเหมาะที่จะนำไปศึกษาเพิ่มเติมทั้งในแง่คุณสมบัติทางเคมีและการยอมรับทางประสาทสัมผัส ซึ่งพบข้อมูลจากผลการทดลองว่า สมุนไพรแต่ละชนิดมีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าทางเคมี และชีวภาพของเครื่องดื่มหมักในรูปแบบเฉพาะตัว โดยเฉพาะสารที่ละลายน้ำหรือเปลี่ยนรูปได้ระหว่างการหมัก จึงสามารถกล่าวสรุปได้ว่า

สูตรมะขามป้อม (KM) มีศักยภาพสูงสุดในการให้สารต้านอนุมูลอิสระตั้งแต่เริ่มต้น และมีค่าคงที่ในระหว่างการหมัก ทำให้เป็นวัตถุดิบที่เหมาะสมสำหรับการพัฒนาผลิตภัณฑ์ที่ต้องการคุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระที่มีประสิทธิภาพสูง

สูตรกระชาย (KK) แสดงฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูงขึ้นตามระยะเวลาหมัก สะท้อนถึงศักยภาพของกระชายที่ดีเมื่อหมักในระยะเวลาที่เหมาะสม

สูตรบัวบก (KB) มีการเปลี่ยนแปลงของสีอย่างชัดเจน รวมถึงพบการลดลงของปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด และฤทธิ์ในการยับยั้งอนุมูลอิสระระหว่างการหมัก อาจมีข้อจำกัดด้านปริมาณที่ลดลงของสารออกฤทธิ์เมื่อหมักระยะยาว

ทั้งนี้ เมื่อพิจารณาผลการศึกษาคูณภาพทางเคมีกายภาพ ปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ รวมทั้งฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ในตัวอย่างเครื่องดื่มสมุนไพรหมักผสมน้ำผึ้งดิบทั้ง 3 สูตร แล้วพบว่า สูตรมะขามป้อม (KM) เป็นสูตรที่มีศักยภาพสูง เหมาะสำหรับนำไปพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มฟังก์ชันที่มาจากการหมักสมุนไพรที่ผสมคุณค่าจากน้ำผึ้งดิบของไทยต่อไป

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

การศึกษานี้ทำการพัฒนาด้านแบบเครื่องต้มหมักด้วย SCOBY ที่ใช้สมุนไพร ได้แก่ กระชาย บัวบก และมะขามป้อม และน้ำผึ้งดิบ เป็นวัตถุดิบ ผลการทดลองพบว่าเครื่องต้มหมักสูตรที่มีส่วนผสมของมะขามป้อม (KM) มีศักยภาพสูงสุดทั้งในด้านปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระ และความเป็นกรดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยที่ค่าความแตกต่างของสี (ΔE) ซึ่งอยู่ในระดับต่ำของสูตรมะขามป้อม แสดงถึงความคงตัวขององค์ประกอบสีที่ได้จากสารฟีนอลิกในช่วงระยะเวลาของการหมัก ดังนั้นมะขามป้อมจึงเป็นสมุนไพรไทยที่มีความเหมาะสมในการนำมาพัฒนาใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับการผลิตเครื่องต้มหมักโดยใช้ SCOBY

5.2 ข้อเสนอแนะ

กระบวนการพัฒนาเครื่องต้มสมุนไพรหมักผสมน้ำผึ้งดิบนี้ ได้มาซึ่งข้อมูลเกี่ยวกับกระบวนการหมัก ผลคุณภาพทางเคมี และประสิทธิภาพสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ หากต้องการครอบคลุมถึงกระบวนการผลิตระดับอุตสาหกรรมและเชิงพาณิชย์ ควรมีการศึกษาวิจัยเพิ่มเติมดังต่อไปนี้

5.3.1 การตรวจวิเคราะห์ด้านจุลินทรีย์ก่อโรค (pathogenic microorganism testing) ในตัวอย่างเครื่องต้มสมุนไพรผสมสมุนไพรไทยในสูตรที่ต้องการนำไปพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์

5.3.2 การวิเคราะห์ microbial profiling เพื่อเข้าใจพลวัตของจุลินทรีย์ระหว่างการหมัก

5.3.3 การทดสอบอายุการเก็บรักษาภายใต้สภาวะต่าง ๆ เพื่อประเมินความคงตัวของผลิตภัณฑ์

5.3.4 การประเมินทางประสาทสัมผัสกับกลุ่มผู้บริโภคเป้าหมาย เพื่อใช้ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์เชิงพาณิชย์

5.3.5 ผลิตภัณฑ์เครื่องต้มสมุนไพรหมัก อาจจะพบปริมาณแอลกอฮอล์ปริมาณเล็กน้อย บุคคลกลุ่มนี้จึงไม่ควรบริโภค ได้แก่ ผู้หญิงตั้งครรภ์ ผู้ที่อยู่ระหว่างให้นมบุตร เด็กที่อายุน้อยกว่า 4 ปี ผู้ที่มีภูมิคุ้มกันต่ำ และบุคคลที่มีข้อห้ามทางศาสนา

บรรณานุกรม

- Akazawa, H., Pattamapun, K., Kitdamrongtham, W., Akihisa, T., Manosroi, W., & Manosroi, J. (2015). Potent anti-proliferative effects against oral and cervical cancers of Thai medicinal plants selected from the Thai/Lanna medicinal plant recipe database "MANOSROI III". *Pharmaceutical biology*, 53, 1-7.
- Al-Waili, N. S., & Haq, A. (2004). Effect of honey on antibody production against thymus-dependent and thymus-independent antigens in primary and secondary immune responses. *J Med Food*, 7(4), 491-494.
- Anantachoke, N., Duangrat, R., Sutthiphatkul, T., Ochaikul, D., & Mangmool, S. (2023). Kombucha Beverages Produced from Fruits, Vegetables, and Plants: A Review on Their Pharmacological Activities and Health Benefits. *Foods*, 12(9).
- Batista, P., Penas, M., Pintado, M., & Oliveira-Silva, P. (2022). Kombucha: Perceptions and Future Prospects. *Foods*, 11, 1977.
- Bogdanov, S., Jurendic, T., Sieber, R., & Gallmann, P. (2008). Honey for Nutrition and Health: A Review. *Journal of the American College of Nutrition*, 27(6), 677-689.
- Brinkhaus, B., Lindner, M., Schuppan, D., & Hahn, E. G. (2000). Chemical, pharmacological and clinical profile of the East Asian medical plant *Centella asiatica*. *Phytomedicine*, 7(5), 427-448.
- Chakravorty, S., Bhattacharya, S., Chatzinotas, A., Chakraborty, W., Bhattacharya, D., & Gachhui, R. (2016). Kombucha tea fermentation: Microbial and biochemical dynamics. *International Journal of Food Microbiology*, 220, 63-72.
- Chaluvadi, S., Hotchkiss, A. T., Smith, B., McVaugh, B., White, A. K., Guron, G. K. P., . . . Yam, K. L. (2024). Key Kombucha Process Parameters for Optimal Bioactive Compounds and Flavor Quality. *Fermentation*, 10(12), 605.
- Charoenteeraboon, J., Wongnoppavich, A., Soonthornchareonnon, N., Jaijoy, K., & Sireeratawong, S. (2010). Antioxidant activities of the standardized water extract from fruit of *Phyllanthus emblica* Linn. *Songklanakarin Journal of Science and Technology*, 32, 599-604.

- Chauhan, K., & Rao, A. (2024). Clean-label alternatives for food preservation: An emerging trend. *Heliyon*, 10(16).
- Chong, A. Q., Chin, N. L., Talib, R. A., & Basha, R. K. (2024). Modelling pH Dynamics, SCOBY Biomass Formation, and Acetic Acid Production of Kombucha Fermentation Using Black, Green, and Oolong Teas. *Processes*, 12(7), 1301.
- de Vrese, M., & Schrezenmeir, J. (2008). Probiotics, prebiotics, and synbiotics. *Adv Biochem Eng Biotechnol*, 111, 1-66.
- Division of Herb Economy, D. o. T. T. a. A. M., Ministry of Public Health. (2023). *National Herbal Action Plan, 2nd Edition 2023-2027*: Department of Thai Traditional and Alternative Medicine, Ministry of Public Health.
- Donadi, J., & Kola, M. (2019). The antioxidant potential of *Centella asiatica*: A review. 7, 18-20.
- Ebrahimi Pure, A., & Pure, M. (2016). Antioxidant, Antibacterial and Color Analysis of Garlic Fermented in Kombucha and Red Grape Vinegar. *APPLIED FOOD BIOTECHNOLOGY*, 2016, 246-252.
- Euromonitor. (2024, November 14). Top global consumer trends 2025. https://go.euromonitor.com/white-paper-2025-global-consumer-trends.html?utm_source=google&utm_medium=cpc&utm_campaign=CT_24_11_14_WP_GCT_2025&gad_source=1&gclid=CjwKCAiA9IC6BhA3EiwAsbltOBf1IlglgDAkWrZglJxdbOgXdkMHRbmiJo1etPmOxI1A3012Lxkm0hoCrNUQAvD_BwE
- Gaggia, F., Baffoni, L., Galiano, M., Nielsen, D. S., Jakobsen, R. R., Castro-Mejía, J. L., . . . Di Gioia, D. (2018). Kombucha Beverage from Green, Black and Rooibos Teas: A Comparative Study Looking at Microbiology, Chemistry and Antioxidant Activity. *Nutrients*, 11(1).
- Gibson, G. R., Hutkins, R., Sanders, M. E., Prescott, S. L., Reimer, R. A., Salminen, S. J., . . . Reid, G. (2017). Expert consensus document: The International Scientific Association for Probiotics and Prebiotics (ISAPP) consensus statement on the definition and scope of prebiotics. *Nature Reviews Gastroenterology & Hepatology*, 14(8), 491-502.

- GrandViewResearch. (2024). Kombucha Market Size, Share & Trends Analysis Report By Product (Conventional, Hard), By Distribution Channel (On-trade, Off-trade), By Region, And Segment Forecasts, 2022 - 2030.
<https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/kombucha-market>
- Greenwalt, C. J., Steinkraus, K. H., & Ledford, R. A. (2000). Kombucha, the Fermented Tea: Microbiology, Composition, and Claimed Health Effects. *Journal of Food Protection*, 63(7), 976-981.
- Han, D., Yang, Y., Guo, Z., Dai, S., Jiang, M., Zhu, Y., . . . Yu, Y. (2024). A Review on the Interaction of Acetic Acid Bacteria and Microbes in Food Fermentation: A Microbial Ecology Perspective. *Foods*, 13(16), 2534.
- Jayabalan, R., Malbaša, R. V., Lončar, E. S., Vitas, J. S., & Sathishkumar, M. (2014). A Review on Kombucha Tea—Microbiology, Composition, Fermentation, Beneficial Effects, Toxicity, and Tea Fungus. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 13(4), 538-550.
- Klawpiyapamornkun, T., Uttarotai, T., Wangkarn, S., Sirisa-ard, P., Kiatkarun, S., Tragoolpua, Y., & Bovonsombut, S. (2023). Enhancing the Chemical Composition of Kombucha Fermentation by Adding Indian Gooseberry as a Substrate. *Fermentation*, 9(3).
- Kumar, R., Hajam, Y., Dhull, S., & Giri, A. (2024). *Honey in Food Science and Physiology*.
- Kumari, R., Sinha, N., Sharma, S., & Dhiman, K. (2024). Biochemical characterization and antioxidant potential of *Phyllanthus emblica* L. *International Journal of Advanced Biochemistry Research*, 8, 901-906.
- Kwakman, P. H., Te Velde, A. A., de Boer, L., Vandenbroucke-Grauls, C. M., & Zaat, S. A. (2011). Two major medicinal honeys have different mechanisms of bactericidal activity. *PLoS One*, 6(3), e17709.
- La Torre, C., Plastina, P., Cione, E., Bekatorou, A., Petsi, T., & Fazio, A. (2024). Improved Antioxidant Properties and Vitamin C and B12 Content from Enrichment of Kombucha with Jujube (*Ziziphus jujuba* Mill.) Powder. *Fermentation*, 10(6), 295.
- Liu, X., Zhao, M., Wang, J., Yang, B., & Jiang, Y. (2008). Antioxidant activity of methanolic

- extract of emblica fruit (*Phyllanthus emblica* L.) from six regions in China. *Journal of Food Composition and Analysis*, 21(3), 219-228.
- Marco, M. L., Heeney, D., Binda, S., Cifelli, C. J., Cotter, P. D., Foligné, B., . . . Hutkins, R. (2017). Health benefits of fermented foods: microbiota and beyond. *Curr Opin Biotechnol*, 44, 94-102.
- Marsh, A. J., O'Sullivan, O., Hill, C., Ross, R. P., & Cotter, P. D. (2014). Sequence-based analysis of the bacterial and fungal compositions of multiple kombucha (tea fungus) samples. *Food Microbiology*, 38, 171-178.
- Mayachiew, P., & Devahastin, S. (2008). Antimicrobial and antioxidant activities of Indian gooseberry and galangal extracts. *LWT - Food Science and Technology*, 41(7), 1153-1159.
- Minarti, Wati, M., & Fajriah, S. (2021). *Total Phenolic, Total Flavonoid Content, and α -Glucosidase Inhibitory Activity of Centella asiatica (L.) Urb.*
- Mintel. (2024, November 1). The Future of Global Functional Drinks Trends. <https://www.mintel.com/insights/food-and-drink/the-future-of-global-functional-drinks-trends/>
- Mokrzycki, W., & Tatol, M. (2011). Color difference Delta E - A survey. *Machine Graphics and Vision*, 20, 383-411.
- Muhialdin, B., Meor Hussin, A. S., Sapawi, C., & Wen Yi, V. (2019). Effects of sugar sources and fermentation time on the properties of tea fungus (kombucha) beverage. *International Food Research Journal*, 26, 481-487.
- Mukherjee, A., Gómez-Sala, B., O'Connor, E. M., Kenny, J. G., & Cotter, P. D. (2022). Global Regulatory Frameworks for Fermented Foods: A Review. *Frontiers in Nutrition*, Volume 9 - 2022.
- MUNDU, S. J., PURAN, P., & MEHTA, A. (2024). Estimation of total Phenolic, Flavonoid Content and Antioxidant Activity of Endophytic Fungi Associated with *Centella asiatica* (L.) Urb. *International Journal of Emerging Technologies and Innovative Research*, 11(1), 590-598.
- Mustar, S., & Ibrahim, N. (2022). A Sweeter Pill to Swallow: A Review of Honey Bees and

- Honey as a Source of Probiotic and Prebiotic Products. *Foods*, 11(14).
- Neffe-Skocińska, K., Sionek, B., Scibisz, I., & Koźdyn-Krajewska, D. (2017). Acid contents and the effect of fermentation condition of Kombucha tea beverages on physicochemical, microbiological and sensory properties. *CyTA - Journal of Food*, 15, 1-7.
- NielsenIQ. (2021). NielsenIQ releases new global health and wellness report.
<https://nielseniq.com/global/en/news-center/2021/nielseniq-releases-new-global-health-and-wellness-report/>
- Nummer, B. A. (2013). SPECIAL REPORT
 Kombucha Brewing Under the Food and Drug Administration Model Food Code: Risk Analysis and Processing Guidance. *Journal of Environmental Health*, 76(4), 8-11.
- Prananda, A. T., Dalimunthe, A., Harahap, U., Simanjuntak, Y., Peronika, E., Karosekali, N. E., . . . Nurkolis, F. (2023). *Phyllanthus emblica*: a comprehensive review of its phytochemical composition and pharmacological properties. *Front Pharmacol*, 14, 1288618.
- Raaf, A., Mulana, F., Syamsuddin, Y., Arpi, N., & Supardan, M. (2023). Effect of particle size on the phenolic and flavonoid contents of Amla (Indian gooseberry) extract. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1266, 012065.
- Rababah, T., Al-U'datt, M., Al-Mahasneh, M., Gammoh, S., Al-Qaisi, A., Ajouly, T. e., . . . Al Mortadi, N. (2020). Effect of storage of Halaweh tahinia on physicochemical and nutraceutical properties. *Annals of Agricultural Sciences*, 65(1), 92-97.
- Rashid, M. H.-O., Akter, M. M., Uddin, J., Islam, S., Rahman, M., Jahan, K., . . . Sadik, G. (2023). Antioxidant, cytotoxic, antibacterial and thrombolytic activities of *Centella asiatica* L.: possible role of phenolics and flavonoids. *Clinical Phytoscience*, 9(1), 1.
- Ridder, M. (2024a, April 15). Functional drinks in the United States - statistics & facts.
<https://www.statista.com/topics/11113/functional-drinks-in-the-united-states/#topicOverview>

- Ridder, M. (2024b, October 11). Interest in health drinks in the United States 2023, by benefit claim. <https://www.statista.com/statistics/1394396/interest-in-health-drinks-in-the-united-states-by-benefit/>
- Rithichai, P., Jirakiattikul, Y., Poljan, P., Youngvises, N., & Itharat, A. (2022). Growth, bioactive compound accumulation and antioxidant activity in rhizomes and storage roots of *Boesenbergia rotunda* (L.) Mansf. *Agriculture and Natural Resources*, 56(2), 299–306.
- Romsomsa, N., Pornsanthia, J., Rimlumduan, T., & Vechklang, K. (2021). The biological activities of Kombucha during Fermentation Process. *Health Science, Science and Technology Reviews*, 14(1), 76-87.
- Sharaf El-Din, M. G., Farrag, A. F. S., Wu, L., Huang, Y., & Wang, K. (2025). Health benefits of honey: A critical review on the homology of medicine and food in traditional and modern contexts. *Journal of Traditional Chinese Medical Sciences*, 12(2), 147-164.
- Sooksing, K., & Jirapakkul, W. (2011). *Effect of drying on flavonoid content and antioxidant capacity in fingerroots (Boesenbergia pandurata)*. Paper presented at the Proceedings of 49th Kasetsart University Annual Conference: Agro-Industry. การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 49, Bangkok (Thailand).
- Sudjaroen, Y., & Thongmuang, P. (2022). PHYTOCHEMICAL SCREENING AND BIOLOGICAL ACTIVITY OF FINGER-ROOT (BOESENBERGIA ROTUNDA L.) RHIZOME ON SKINCARE APPLICATION. *Journal of Pharmaceutical Negative Results*, 13(4), 1414-1418.
- Taheri, S., Teo, C. H., Heslop-Harrison, J. S., Schwarzacher, T., Tan, Y. S., Wee, W. Y., . . . Harikrishna, J. A. (2022). Genome Assembly and Analysis of the Flavonoid and Phenylpropanoid Biosynthetic Pathways in Fingerroot Ginger (*Boesenbergia rotunda*). *International Journal of Molecular Sciences*, 23(13).
- Tefon Öztürk, B. E., Eroğlu, B., Delik, E., Çiçek, M., & Çiçek, E. (2023). Comprehensive Evaluation of Three Important Herbs for Kombucha Fermentation. *Food Technol Biotechnol*, 61(1), 127-137.

- Teoh, A. L., Heard, G., & Cox, J. (2004). Yeast ecology of Kombucha fermentation. *International Journal of Food Microbiology*, 95(2), 119-126.
- Villarreal-Soto, S. A., Beaufort, S., Bouajila, J., Souchard, J.-P., & Taillandier, P. (2018). Understanding Kombucha Tea Fermentation: A Review. *Journal of Food Science*, 83(3), 580-588.
- Vitas, J., Vukmanović, S., Cakarevic, J., Popovic, L., & Malbaša, R. (2019). Kombucha fermentation of six medicinal herbs: Chemical profile and biological activity. *Chemical Industry and Chemical Engineering Quarterly*, 26, 34-34.
- Wachtel-Galor, S., & Benzie, I. F. F. (2011). *Herbal Medicine: An Introduction to Its History, Usage, Regulation, Current Trends, and Research Needs* Herbal Medicine: Biomolecular and Clinical Aspects. Boca Raton (FL): CRC Press/Taylor & Francis
- Copyright © 2011 by Taylor and Francis Group, LLC.
- Wang, Y., Wen, J., Liu, F., Peng, X., Xu, G., Zhang, M., & Huang, Z. (2025). Traditional usages, chemical metabolites, pharmacological activities, and pharmacokinetics of *Boesenbergia rotunda* (L.) Mansf.: a comprehensive review. *Front Pharmacol*, 16, 1527210.
- WHO. (2015). *Guideline: sugars intake for adults and children*. In W. H. Organization (Ed.).
- WHO. (2024). WHO Mortality Database: Digestive disease.
<https://platform.who.int/mortality/themes/theme-details/topics/topic-details/MDB/digestive-diseases>
- Zainol, K., Abdul Hamid, A., Bakar, F., & Dek, M. (2009). Effect of different drying methods on the degradation of selected flavonoids in *Centella asiatica*. 16, 531-537.
- Zhang, S., Cheng, M., Li, Z., Guan, S., Cai, B., Li, Q., & Rong, S. (2020). Composition and biological activity of rose and jujube kernel after fermentation with kombucha SCOBY. *Journal of Food Processing and Preservation*, 44(10), e14758.



ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
ตารางแสดงผลการวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีและสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพของ
ตัวอย่างผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มหมัก



ตาราง 6 ผลการวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง ในตัวอย่างเครื่องดื่มสมุนไพรหมักผสมน้ำผึ้งที่ทำการทดสอบแต่ละช่วงเวลาของขั้นตอนการหมัก

ระยะเวลาในการหมัก (วัน)	ความเป็นกรด-ด่าง (pH)		
	KK	KB	KM
0	3.38 ± 0.00^{aA}	3.37 ± 0.00^{aB}	2.90 ± 0.00^{aC}
3	3.16 ± 0.01^{bA}	3.14 ± 0.00^{bB}	2.84 ± 0.00^{bC}
5	3.10 ± 0.00^{cA}	3.05 ± 0.00^{cB}	2.83 ± 0.00^{cC}
7	3.08 ± 0.00^{dA}	2.85 ± 0.00^{dB}	2.78 ± 0.00^{dC}
F2	2.97 ± 0.01^{eA}	2.80 ± 0.01^{eB}	2.71 ± 0.01^{eC}

หมายเหตุ: KK หมายถึงเครื่องดื่มสมุนไพรหมักผสมน้ำผึ้งสูตรผสมกระชาย KB หมายถึงเครื่องดื่มสมุนไพรหมักผสมน้ำผึ้งสูตรผสมบัวบก และKM หมายถึงเครื่องดื่มสมุนไพรหมักผสมน้ำผึ้งสูตรผสมมะขามป้อม โดยที่ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กที่ต่างกันในคอลัมน์เดียวกันแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญในแต่ละวัน และตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์ใหญ่ในแต่ละแถวของตารางแสดงถึงความอย่างมีนัยสำคัญระหว่างสูตรในวันเดียวกัน ($p < 0.05$)

ตาราง 7 ผลการวิเคราะห์ความเป็นกรดจากวิธีการไทเทรต ในตัวอย่างเครื่องดื่มสมุนไพรหมักผสมน้ำผึ้งที่ทำการทดสอบแต่ละช่วงเวลาของขั้นตอนการหมัก

ระยะเวลาในการหมัก (วัน)	ความเป็นกรด (กรัมต่อลิตร)		
	KK	KB	KM
0	1.56 ± 0.06^{eB}	1.68 ± 0.06^{eB}	3.12 ± 0.06^{eA}
3	1.92 ± 0.06^{dC}	2.82 ± 0.06^{dB}	3.48 ± 0.06^{dA}
5	2.46 ± 0.06^{cC}	3.12 ± 0.06^{cB}	4.02 ± 0.06^{cA}
7	2.76 ± 0.06^{bC}	4.68 ± 0.06^{bB}	5.22 ± 0.06^{bA}
F2	3.08 ± 0.03^{aC}	4.92 ± 0.06^{aB}	5.50 ± 0.07^{aA}

หมายเหตุ: KK หมายถึงเครื่องดื่มสมุนไพรหมักผสมน้ำผึ้งสูตรผสมกระชาย KB หมายถึงเครื่องดื่มสมุนไพรหมักผสมน้ำผึ้งสูตรผสมบัวบก และKM หมายถึงเครื่องดื่มสมุนไพรหมักผสมน้ำผึ้งสูตรผสมมะขามป้อม โดยที่ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กที่ต่างกันในคอลัมน์เดียวกันแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญในแต่ละวัน และตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์ใหญ่ในแต่ละแถวของตารางแสดงถึงความอย่างมีนัยสำคัญระหว่างสูตรในวันเดียวกัน ($p < 0.05$)

ตาราง 8 ค่าปริมาณของแข็งที่ละลายในน้ำของเครื่องต้มสมุนไพรหมักผสมน้ำผึ้งที่วิเคราะห์ได้ระหว่างกระบวนการหมัก

ระยะเวลาในการหมัก (วัน)	ปริมาณของแข็งละลายในน้ำ (°Brix)		
	KK	KB	KM
0	10.80 ± 0.10 ^{aB}	11.10 ± 0.00 ^{aA}	10.90 ± 0.00 ^{aB}
3	10.10 ± 0.00 ^{bA}	10.20 ± 0.00 ^{bA}	9.70 ± 0.00 ^{bB}
5	9.80 ± 0.10 ^{cA}	9.80 ± 0.10 ^{cA}	9.20 ± 0.00 ^{cB}
7	9.00 ± 0.00 ^{dA}	9.10 ± 0.00 ^{dA}	8.70 ± 0.00 ^{dB}
F2	8.80 ± 0.10 ^{eB}	9.00 ± 0.10 ^{dA}	8.20 ± 0.00 ^{eC}

หมายเหตุ: KK หมายถึงเครื่องต้มสมุนไพรหมักผสมน้ำผึ้งสูตรผสมกระชาย KB หมายถึงเครื่องต้มสมุนไพรหมักผสมน้ำผึ้งสูตรผสมบัวบก และKM หมายถึงเครื่องต้มสมุนไพรหมักผสมน้ำผึ้งสูตรผสมมะขามป้อม โดยที่ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กที่ต่างกันในคอลัมน์เดียวกันแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญในแต่ละวัน และตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์ใหญ่ในแต่ละแถวของตารางแสดงถึงความอย่างมีนัยสำคัญระหว่างสูตรในวันเดียวกัน ($p < 0.05$)

ตาราง 9 ผลการวิเคราะห์ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด (Total Phenolic Content) ในเครื่องต้มสมุนไพรหมักผสมน้ำผึ้งแต่ละช่วงเวลากการหมัก

ระยะเวลาในการหมัก (วัน)	ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด (มิลลิกรัม GAE ต่อลิตร)		
	KK	KB	KM
0	107.07 ± 1.53 ^{cC}	228.38 ± 2.29 ^{dB}	438.38 ± 10.64 ^{aA}
3	124.75 ± 0.00 ^{bC}	242.73 ± 1.52 ^{bB}	1077.78 ± 12.25 ^{bA}
5	155.96 ± 6.66 ^{aC}	284.14 ± 0.97 ^{aB}	1558.59 ± 13.66 ^{aA}
7	153.64 ± 1.52 ^{aC}	230.71 ± 2.99 ^{dB}	1178.79 ± 42.1 ^{bA}
F2	156.86 ± 0.57 ^{aC}	238.29 ± 2.29 ^{cB}	1238.10 ± 5.95 ^{bA}

หมายเหตุ: KK หมายถึงเครื่องต้มสมุนไพรหมักผสมน้ำผึ้งสูตรผสมกระชาย KB หมายถึงเครื่องต้มสมุนไพรหมักผสมน้ำผึ้งสูตรผสมบัวบก และKM หมายถึงเครื่องต้มสมุนไพรหมักผสมน้ำผึ้งสูตรผสมมะขามป้อม โดยที่ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กที่ต่างกันในคอลัมน์เดียวกันแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญในแต่ละวัน และตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์ใหญ่ในแต่ละแถวของตารางแสดงถึงความอย่างมีนัยสำคัญระหว่างสูตรในวันเดียวกัน ($p < 0.05$)

ตาราง 10 ผลการวิเคราะห์ค่าการยับยั้งอนุมูลอิสระ DPPH ในตัวอย่างเครื่องดื่มสมุนไพรหมักผสมน้ำผึ้งแต่ละช่วงเวลาการหมัก

ระยะเวลาในการหมัก (วัน)	ร้อยละการยับยั้งอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH		
	KK	KB	KM
0	38.69 ± 0.30 ^{dC}	91.48 ± 0.41 ^{aB}	99.58 ± 0.01 ^{aA}
3	44.43 ± 0.65 ^{cC}	88.44 ± 0.41 ^{bB}	99.55 ± 0.02 ^{aA}
5	42.22 ± 3.47 ^{cC}	84.74 ± 0.30 ^{cB}	99.24 ± 0.10 ^{bA}
7	51.13 ± 0.14 ^{bC}	78.29 ± 0.12 ^{eB}	99.52 ± 0.01 ^{aA}
F2	58.57 ± 0.23 ^{aC}	78.97 ± 0.21 ^{dB}	99.59 ± 0.02 ^{aA}

หมายเหตุ: KK หมายถึงเครื่องดื่มสมุนไพรหมักผสมน้ำผึ้งสูตรผสมกระชาย KB หมายถึงเครื่องดื่มสมุนไพรหมักผสมน้ำผึ้งสูตรผสมบัวบก และKM หมายถึงเครื่องดื่มสมุนไพรหมักผสมน้ำผึ้งสูตรผสมมะขามป้อม โดยที่ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กที่ต่างกันในคอลัมน์เดียวกันแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญในแต่ละวัน และตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์ใหญ่ในแต่ละแถวของตารางแสดงถึงความอย่างมีนัยสำคัญระหว่างสูตรในวันเดียวกัน ($p < 0.05$)

ตาราง 11 ผลการวิเคราะห์ค่าการยับยั้งอนุมูลอิสระ ABTS ในตัวอย่างเครื่องดื่มสมุนไพรหมักผสมน้ำผึ้งแต่ละช่วงเวลาการหมัก

ระยะเวลาในการหมัก (วัน)	ร้อยละการยับยั้งอนุมูลอิสระด้วยวิธี ABTS		
	KK	KB	KM
0	39.90 ± 0.50 ^{eC}	90.63 ± 0.23 ^{aB}	95.52 ± 0.05 ^{cA}
3	46.14 ± 0.40 ^{dC}	85.85 ± 0.17 ^{bB}	95.53 ± 0.07 ^{cA}
5	48.08 ± 0.17 ^{cC}	79.51 ± 0.11 ^{cB}	95.62 ± 0.04 ^{bA}
7	52.82 ± 0.17 ^{bC}	72.12 ± 0.17 ^{eB}	95.66 ± 0.06 ^{bA}
F2	55.45 ± 0.29 ^{aC}	75.29 ± 0.25 ^{dB}	95.85 ± 0.05 ^{aA}

หมายเหตุ: KK หมายถึงเครื่องดื่มสมุนไพรหมักผสมน้ำผึ้งสูตรผสมกระชาย KB หมายถึงเครื่องดื่มสมุนไพรหมักผสมน้ำผึ้งสูตรผสมบัวบก และKM หมายถึงเครื่องดื่มสมุนไพรหมักผสมน้ำผึ้งสูตรผสมมะขามป้อม โดยที่ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กที่ต่างกันในคอลัมน์เดียวกันแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญในแต่ละวัน และตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์ใหญ่ในแต่ละแถวของตารางแสดงถึงความอย่างมีนัยสำคัญระหว่างสูตรในวันเดียวกัน ($p < 0.05$)

ประวัติผู้เขียน

