

ผลของมอลต์ธัญพืชเมืองหนาวที่ปลูกในประเทศไทยต่อสมบัติทางเคมี กายภาพ และประสาทสัมผัสของคราฟต์เบียร์

Effect of Thai-Grown Temperate Cereal Malts on Physicochemical and Sensorial Properties of Craft Beer

ภัทรธีรา อินพลับ¹⁾ สิปปวิชญ์ ปัญญาตุ้ย¹⁾ จารุวี อันเชตา¹⁾ ธีระพล เสนนพันธุ์²⁾
Phattarateera Inplub¹⁾ Sippawit Punyatuy¹⁾ Jaruvee Ancheta¹⁾ Theeraphol Senphan²⁾

Abstract

The contemporary craft beer industry increasingly seeks local adjuncts to establish unique product identities and enhance agricultural value. However, empirical data regarding the application of temperate cereals cultivated in Thailand as alternative brewing ingredients remains limited. Therefore, this study aimed to evaluate the physicochemical and sensory properties of beer brewed from Thai-grown temperate cereals malted, including barley line FNBL#140, oat line SMGOTC21099 and wheat variety RDW1 (Samoeng 72). Three brewing formulations were investigated: Formula 1 (barley mixed with oats), Formula 2 (barley mixed with wheat), and Formula 3 (barley mixed with both oats and wheat). The results indicated that the grain composition significantly influenced the physicochemical characteristics of the beer ($p \leq 0.05$). Specifically, Formula 1 exhibited the highest lightness value (L^*) and received the highest color preference score from untrained panelists. Formula 2 demonstrated the highest yellowness value (b^*) and turbidity, whereas Formula 3 yielded the highest viscosity and total soluble solids. Conversely, variations in grain combinations did not significantly impact the protein content, ash content, alcohol by volume (ABV, ranging from 7.50% to 7.53%), or overall sensory acceptability. These findings substantiate the potential of Thai temperate cereals as viable alternative brewing ingredients, offering a practical approach to modulating beer characteristics, consumer acceptability, and generating value-added agricultural products.

Keywords: barley, wheat, oat, malt, craft beer, physicochemical properties, sensorial property, upper northern Thailand

บทคัดย่อ

ปัจจุบันอุตสาหกรรมคราฟต์เบียร์มีความต้องการวัตถุดิบท้องถิ่นเพื่อสร้างเอกลักษณ์เฉพาะตัวและเพิ่มมูลค่าให้กับผลิตภัณฑ์ การนำธัญพืชเมืองหนาวที่ปลูกในประเทศไทยมาประยุกต์ใช้เป็นวัตถุดิบทางเลือกยังต้องการข้อมูลเชิงลึกด้านคุณภาพและการยอมรับของผู้บริโภค งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาลักษณะทางกายภาพและคุณภาพของเบียร์ที่ผลิตจากมอลต์ธัญพืชเมืองหนาวที่ปลูกในภาคเหนือตอนบนของไทย ได้แก่ ข้าวบาร์เลย์สายพันธุ์ FNBL#140

Received: March 30, 2026/ Revised: June 12, 2026/ Accepted: June 12, 2026

* corresponding author E-mail: phattarateera.i@rice.mail.go.th

¹⁾ ศูนย์วิจัยข้าวสะเมิง อ.สะเมิง จ.เชียงใหม่ 50250 โทร. 0-5337-8094

Samoeng Rice Research Center, Samoeng, Chiang Mai 50250 Tel. 0-5337-8094

²⁾ สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ อ.สันทราย

จ.เชียงใหม่ 50290 โทร 0-5387-5030

Program in Food Science and Technology, Faculty of Engineering and Agro-industry, Maejo University, San Sai,

Chiang Mai, 50290 Tel. 0-5387-5030

ข้าวโอ๊ตสายพันธุ์ SMOGOTC21099 และข้าวสาลีพันธุ์ กขส1 (ละเมิง 72) ประกอบด้วยสูตรที่ 1 ข้าวบาร์เลย์ผสมข้าวโอ๊ต สูตรที่ 2 ข้าวบาร์เลย์ผสมข้าวสาลี และสูตรที่ 3 ข้าวบาร์เลย์ผสมข้าวโอ๊ตและข้าวสาลี ผลการศึกษาพบว่า ธัญพืชเมืองหนาวทั้งสามสายพันธุ์/พันธุ์ส่งผลต่อลักษณะทางกายภาพและเคมีอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยคุณภาพของเบียร์ที่ผลิตจากมอลต์สูตรที่ 1 มีค่าความสว่าง (L^*) และได้รับคะแนนความชอบด้านสีมากที่สุดจากผู้ทดสอบชิมที่ไม่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 35 คน สูตรที่ 2 มีค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) และความขุ่นมากที่สุด ขณะที่สูตรที่ 3 มีค่าความหนืดและปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำทั้งหมดมากที่สุด อย่างไรก็ตาม การปรับเปลี่ยนชนิดและสัดส่วนของธัญพืชไม่ส่งผลกระทบต่อปริมาณโปรตีน เถ้า และปริมาณแอลกอฮอล์ ซึ่งมีค่าเฉลี่ยระหว่างร้อยละ 7.50 ถึง 7.53 รวมถึงคะแนนความชอบโดยรวมทางประสาทสัมผัสที่อยู่ในระดับใกล้เคียงกัน ผลการศึกษานี้ชี้ให้เห็นถึงศักยภาพของธัญพืชเมืองหนาวที่ปลูกในภาคเหนือตอนบนของประเทศไทย มีแนวโน้มนำมาประยุกต์ใช้เป็นวัตถุดิบทางเลือกเพื่อผลิตเบียร์ที่มีคุณภาพและได้รับการยอมรับทางประสาทสัมผัสจากผู้บริโภค อันเป็นแนวทางในการพัฒนาผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มที่มีเอกลักษณ์และสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับผลผลิตทางการเกษตรของไทยได้อย่างเป็นรูปธรรม

คำสำคัญ: ข้าวบาร์เลย์ ข้าวสาลี ข้าวโอ๊ต มอลต์ คราฟต์เบียร์ สมบัติทางเคมีและกายภาพ ประเมินทางประสาทสัมผัส ภาคเหนือตอนบนของประเทศไทย

บทนำ

การขับเคลื่อนนโยบายส่งเสริมการเพาะปลูกธัญพืชเมืองหนาวในพื้นที่ภาคเหนือตอนบน เพื่อใช้เป็นพืชหลังฤดูทำนา นอกจากจะมีส่วนช่วยในการตัดวงจรการระบาดของโรคและแมลงศัตรูในนาข้าวแล้ว ยังเป็นการสร้างรายได้เสริมให้แก่เกษตรกร และยกระดับผลผลิตทางการเกษตรดังกล่าวสู่การเป็นนวัตกรรมส่วนผสม (innovative ingredients) (กองนโยบายเทคโนโลยีเพื่อการเกษตรและเกษตรกรรมยั่งยืน, 2567) ซึ่งมีความสอดคล้องกับเป้าหมายทางยุทธศาสตร์ของสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (สกสว.) ที่มุ่งผลักดันงานวิจัยด้านการเกษตรให้เกิดการนำไปใช้ประโยชน์เชิงพาณิชย์อย่างเป็นรูปธรรม

อุตสาหกรรมคราฟต์เบียร์ (craft beer) ในประเทศไทยมีอัตราการเติบโตอย่างต่อเนื่อง สอดคล้องกับพลวัตความต้องการของผู้บริโภคที่มุ่งเน้นผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มซึ่งมีอัตลักษณ์เฉพาะตัว ทั้งในด้านรสชาติ กลิ่นรส (flavor profile) และสัมผัสในปาก (mouthfeel) ที่แตกต่างจากเบียร์กระแสหลัก (mainstream beer) ในท้องตลาด อย่างไรก็ตาม การจัดหาวัตถุดิบหลักสำหรับการผลิตมอลต์และเบียร์ อาทิ ข้าวบาร์เลย์และข้าวสาลี ยังคงต้องพึ่งพาการนำเข้าจากต่างประเทศเป็นสำคัญ ซึ่งไม่เพียงแต่ส่งผลกระทบต่อต้นทุนการผลิตสูงขึ้น แต่ยังทำให้ผลิตภัณฑ์ขาดเอกลักษณ์ที่สะท้อนถึงการใช่วัตถุดิบท้องถิ่น (local ingredients)

เบียร์ เป็นเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ชนิดหนึ่งที่ผ่านมากระบวนการหมักจากผลิตภัณฑ์จากธัญพืช ประกอบด้วยองค์ประกอบหลักในการหมัก 4 องค์ประกอบ คือ 1) น้ำ: คุณสมบัติของน้ำที่ใช้มีผลต่อรสชาติของเบียร์ 2) มอลต์: เมล็ดธัญพืชที่งอกแล้ว โดยปกติใช้เมล็ดข้าวบาร์เลย์ (barley) เนื่องจากมีปริมาณเอนไซม์อะไมเลส (amylase enzyme) มากทำให้กระบวนการแตกตัวของแป้งเป็นน้ำตาลเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว นอกเหนือจากมอลต์จากข้าวบาร์เลย์แล้ว เมล็ดธัญพืชอื่นๆ เช่น ข้าวสาลี (wheat) ข้าว (rice) ข้าวโพด (maize) ข้าวโอ๊ต (oat) ข้าวไรย์ (rye) เป็นต้น ซึ่งมีคุณสมบัติเหมาะที่จะผลิตมอลต์ได้ และ 4) ยีสต์ ใช้ในกระบวนการหมักเพื่อย่อยสลายน้ำตาลที่สกัดจากเมล็ดธัญพืช ให้เป็นแอลกอฮอล์ และคาร์บอนไดออกไซด์ และยังมีส่วนผสมอื่นๆ เรียกว่า แอดจังท์ (adjunct) หรือ ส่วนผสมข้างเคียง ซึ่งเป็นส่วนผสมที่นอกเหนือจากส่วนผสมหลัก

การศึกษาของโชคชัย (2558) ในการทดสอบทางประสาทสัมผัสของเบียร์ โดยใช้ข้าวเป็นส่วนประกอบหลักพบว่า เวลาในการงอกของข้าว ไม่มีผลเมื่อมีการใช้มอลต์บาร์เลย์ร้อยละ 50 ในทางกลับกันเวลาในการงอกของข้าวมีผลทางประสาทสัมผัส เมื่อมีการใช้ข้าวมอลต์มากกว่าหรือเท่ากับร้อยละ 70 และผู้ทำการทดสอบได้ตัดสินตัวอย่างเบียร์ที่มีส่วนผสมของมอลต์ข้าวร้อยละ 50 ว่าอยู่ในเกณฑ์ดี ในขณะที่ตัวอย่างเบียร์ที่มีส่วนผสมของมอลต์ข้าวร้อยละ 70 อยู่ในเกณฑ์ปกติ และสามารถดื่มได้

ธนวัฒน์ (2565) ทำการศึกษาโดยใช้ข้าวพันธุ์ กข6 สุพรรณบุรี 1 และข้าวสาลี มาผลิตเบียร์ พบว่า เบียร์จากข้าวมีความเข้มข้นของน้ำตาลมากกว่าเบียร์จากข้าวสาลี โดยเบียร์จากข้าว กข6 มีค่าสีมากที่สุด แต่ด้านรสชาติและความชอบโดยรวมใกล้เคียงกับเบียร์จากข้าวสาลี

อาคม และสุรัตน์ (2539) และ Kumar และคณะ (2013) ได้ศึกษาคุณภาพทางเคมีของมอลต์ตามเกณฑ์การทำมอลต์ว่าต้องมีค่าผลผลิตมอลต์ไม่น้อยกว่าร้อยละ 80 เวลาที่ใช้ในการเปลี่ยนเป็นน้ำตาล ไม่เกิน 15 นาที และปริมาณเบต้า-กลูแคนในน้ำเวิร์ท ไม่เกิน 220 ในขณะที่องค์ความรู้เชิงประจักษ์และข้อมูลทางวิชาการที่เกี่ยวข้องกับสมบัติทางเคมีและกายภาพ และการเปลี่ยนแปลงเชิงกลไกระหว่างกระบวนการผลิตเบียร์ ตลอดจนอิทธิพลที่มีต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์สุดท้ายยังคงมีจำเป็น ดังนั้น การบูรณาการงานวิจัยและพัฒนาพืชเศรษฐกิจทางเลือกของไทย โดยเฉพาะการปรับปรุงพันธุ์และการใช้ประโยชน์จากธัญพืชเมืองหนาว ตลอดจนข้าวสายพันธุ์ต่างๆ เพื่อประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมอาหารและเครื่องดื่ม จึงถือเป็นกลยุทธ์สำคัญในการสร้างมูลค่าเพิ่มทางการเกษตรอย่างยั่งยืน (Bamforth, 2017)

ด้วยเหตุนี้ งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาลักษณะและประเมินคุณภาพของเบียร์ที่ผลิตจากมอลต์ธัญพืชเมืองหนาวสายพันธุ์/พันธุ์ที่ปลูกในประเทศไทย ประกอบด้วย ข้าวบาร์เลย์สายพันธุ์ FNBS#140 ข้าวโอ๊ตสายพันธุ์ SMGOTC21099 และข้าวสาลีพันธุ์ กขส1 (สะเมิง 72) โดยมุ่งเน้นที่การประเมินศักยภาพเชิงเปรียบเทียบและการทำงานร่วมกัน (synergistic effect) ของมอลต์ธัญพืชทางเลือก (ข้าวโอ๊ตและข้าวสาลี) เมื่อใช้

เป็นส่วนผสมร่วมกับมอลต์ข้าวบาร์เลย์เป็นหลัก (base malt) ในสัดส่วนที่แตกต่างกัน เพื่อวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพ องค์ประกอบทางเคมี ปริมาณแอลกอฮอล์ และประเมินการยอมรับทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภค โดยข้อมูลเชิงประจักษ์ที่ได้จากการศึกษานี้ จะเป็นองค์ความรู้พื้นฐานที่สำคัญสำหรับอุตสาหกรรมคราฟต์เบียร์ของไทย ในการกำหนดแนวทางการเลือกใช้ธัญพืชเมืองหนาวที่ปลูกในประเทศไทย เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพและมีอัตลักษณ์เฉพาะถิ่น อีกทั้งยังเป็นการส่งเสริมความมั่นคงทางการเกษตรของประเทศอย่างยั่งยืน

อุปกรณ์และวิธีการ

1. การเพาะงอกมอลต์

กระบวนการเพาะงอกมอลต์ดัดแปลงจากวิธีของ Lamphun และคณะ (2025) โดยการนำข้าวบาร์เลย์สายพันธุ์ FNBS#140 ข้าวโอ๊ตสายพันธุ์ SMGOTC21099 และข้าวสาลีพันธุ์ กขส1 (สะเมิง 72) แต่ละชนิดจำนวน 500 กรัม ไปแช่ในน้ำบริสุทธิ์ ปริมาตร 500 มิลลิลิตร ทำการเพาะงอก ตามกระบวนการใน Table 1 จากนั้นทำการบดและเก็บตัวอย่างมอลต์ทั้งหมดไว้ที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส เพื่อใช้ในการศึกษาต่อไป

2. การผลิตเบียร์

กระบวนการผลิตเบียร์ดัดแปลงจาก Mastanjević และคณะ (2018) ดำเนินการเตรียมวัตถุดิบ จำนวน 3 สูตรดังนี้

สูตรที่ 1 ใช้ข้าวบาร์เลย์และข้าวโอ๊ต อัตราส่วน 50:50 โดยน้ำหนัก

สูตรที่ 2 ใช้ข้าวบาร์เลย์และข้าวสาลี อัตราส่วน

Table 1 Malt germination process

Day	Process details
1	Steeping in water for 5 hours at 14.5°C, followed by air resting for 19 hours at 14.5°C with 85% relative humidity
2	Steeping in water for 4 hours at 14.5°C, followed by air resting for 20 hours at 14.5°C with 85% relative humidity
3	Steeping in water again for 2 hours at 14.5°C with 85% relative humidity
3-6	Germination for 96 hours at 14.5°C with 85% relative humidity
7	Kilning at 50°C for 24 hours, followed by the removal of roots and shoots

50:50 โดยน้ำหนัก

สูตรที่ 3 ใช้ข้าวบาร์เลย์ ข้าวโอ๊ต และข้าวสาลี อัตราส่วน 50:25:25 โดยน้ำหนัก

นำวัตถุดิบเข้าสู่ขั้นตอนการสับคั่วตาล (mashing) โดยบรรจุลงในถังแช่ที่รองด้วยผ้าขาวบาง เติมน้ำร้อน ปริมาตร 11 ลิตร ที่อุณหภูมิ 74 องศาเซลเซียส เพื่อรักษา ระดับอุณหภูมิของส่วนผสมให้คงที่ระดับ 68 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที พร้อมทำการคนสม่ำเสมอทุก 10 นาที

เมื่อครบกำหนด ทำการกรองและบันทึกปริมาณ น้ำเวิร์ท (wort) ซึ่งเป็นของเหลวที่ได้จากกระบวนการสับคั่วตาลและประกอบด้วยน้ำตาลที่ยีสต์สามารถนำไปใช้ในการหมักได้ในขั้นตอนถัดไป ก่อนนำเข้าสู่ขั้นตอนการล้างกากมอลต์ด้วยการรินน้ำร้อนอุณหภูมิ 76 องศาเซลเซียส ปริมาตร 17 ลิตร (หรือปรับตามความเหมาะสม) ผ่านกากมอลต์ในถังแช่ ทำการกรองและบันทึกปริมาณ น้ำเวิร์ทรวม โดยควบคุมให้ไม่เกิน 23 ลิตร

นำน้ำเวิร์ทที่ได้ไปต้มให้เดือดเป็นเวลา 60 นาที โดยเริ่มจับเวลาเมื่อถึงจุดเดือด ในระหว่างการต้มทำการเติม ดอกฮอปส์สายพันธุ์ Galena ปริมาณ 14.17 กรัม (0.5 ออนซ์) ในนาทีที่ 0 และนาทีที่ 30 พร้อมทั้งเติมสารช่วย ตกตะกอน (Irish moss) ในนาทีที่ 45 เมื่อสิ้นสุดการต้ม ทำการกรองและละลายน้ำผึ้งในอัตราส่วน 10:1 (ปริมาตร/ ปริมาตร) เข้ากับน้ำเวิร์ทและลดอุณหภูมิอย่างรวดเร็ว

สำหรับกระบวนการหมัก เติรายีสต์ *Saccharomyces cerevisiae* สายพันธุ์ SafAle S-04 โดยกระตุ้นการทำงาน ในน้ำเวิร์ทปริมาตร 100 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิห้องนาน 15 นาที ก่อนเติมลงในถังหมัก ทำการปิดผนึกถังหมักด้วยจุกยางและชุดหลอดดักก๊าซ (airlock) แล้วนำไปหมักที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 2 สัปดาห์

นำถังหมักไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นาน 3 วัน แล้วกรองเบียร์ด้วยผ้าขาวบางและนำส่วนใสไป เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นาน 2 สัปดาห์ ก่อน นำตัวอย่างผลิตภัณฑ์เบียร์ที่ได้ไปวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพและเคมีในลำดับต่อไป

3. วิเคราะห์คุณลักษณะทางกายภาพ

3.1 ลักษณะปรากฏทางกายภาพ (physical appearance)

ลักษณะปรากฏทางกายภาพ ของผลิตภัณฑ์เบียร์ จากัญพืชเมืองหนาวที่ปลูกในประเทศไทย โดยการถ่ายรูป ด้วยกล้องถ่ายภาพดิจิทัล (X-A3, Fujifilm, Tokyo)

3.2 ค่าสี

วิเคราะห์ค่าสีของผลิตภัณฑ์เบียร์จากัญพืช เมืองหนาวทั้ง 3 สูตร ในระบบ CIE (L^* , a^* , b^* และ ΔE^*) โดยใช้เครื่องวัดสี Minolta Chroma Meter รุ่น CR-10 Plus (Konica Minolta, Osaka, Japan) ทำการวัดในระบบ CIE Lab ได้แก่ ค่า L^* แสดงระดับความสว่าง ค่า a^* แสดงความเข้มของสีแดง (+a) หรือสีเขียว (-a) ค่า b^* แสดงความเข้มของสีเหลือง (+b) หรือสีน้ำเงิน (-b) และวิเคราะห์ค่า ΔE^* (ความต่างของสี) โดยการคำนวณจากสมการที่ 1 ดังนี้

$$\Delta E^* = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \quad (1)$$

โดย ΔL^* , Δa^* และ Δb^* คือความต่างระหว่าง พารามิเตอร์สีของตัวอย่างและพารามิเตอร์สีของ standard ของค่าความเป็นสีขาว โดยค่า L^* เท่ากับ 93.59 ค่า a^* เท่ากับ -0.98 และ ค่า b^* เท่ากับ 0.35 กำหนดให้เป็น background

3.3 ค่าความขุ่น (turbidity)

การวิเคราะห์ค่าความขุ่นของผลิตภัณฑ์เบียร์จาก ัญพืชทั้ง 3 สูตร ดำเนินการโดยใช้ตัวอย่างเบียร์ที่ผ่าน กระบวนการไล้ก๊าซแล้ว (degassed beer) เพื่อป้องกัน ความคลาดเคลื่อนจากการกระเจิงแสง (light scattering) ของฟองก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่อาจส่งผลให้ค่าที่อ่าน ได้สูงเกินความเป็นจริง จากนั้นนำตัวอย่างไปตรวจวัดด้วย เครื่องวัดความขุ่นสำหรับห้องปฏิบัติการ (Laboratory Turbidimeter รุ่น 2100N, Cat. No. 47000-00) และ รายงานผลการวิเคราะห์ในหน่วย NTU (Nephelometric Turbidity Units)

3.4 ค่าความหนืด (viscosity)

การวิเคราะห์ค่าความหนืดของผลิตภัณฑ์เบียร์จาก ัญพืชทั้ง 3 สูตร ดำเนินการตามวิธีของ Shahnawaz และ Shiekh (2011) โดยใช้เครื่องวัดความหนืดแบบหมุน (DV2T Viscometer, AMETEK Brookfield, USA) ที่ติด ตั้งชุดอุปกรณ์สำหรับตัวอย่างปริมาณน้อย (small sample adapter) ร่วมกับหัววัด (spindle) เบอร์ 4 โดยตั้งค่า ความเร็วรอบในการทดสอบที่ 100 รอบต่อนาที เป็นระยะ

เวลา 2 นาที ภายใต้การควบคุมอุณหภูมิของตัวอย่างให้คงที่ระดับ 25 องศาเซลเซียส แล้วทำการบันทึกค่าความหนืดที่อ่านได้

3.5 ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)

การวิเคราะห์ค่าความเป็นกรด-ด่าง ของผลิตภัณฑ์เบียร์จากธัญพืชทั้ง 3 สูตร เริ่มจากการนำตัวอย่างไปผ่านกระบวนการไล่ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (degassing) จนหมดฟองก๊าซ เพื่อลดความคลาดเคลื่อนของค่า pH จากนั้นตวงตัวอย่างที่ผ่านการไล่ก๊าซแล้วปริมาตร 50 มิลลิลิตร ลงในบีกเกอร์ขนาด 100 มิลลิลิตร (AOAC, 2000) นำไปตรวจวัดค่าความเป็นกรด-ด่างด้วยเครื่องพีเอชมิเตอร์ (pH meter รุ่น FiveEasy Plus, METTLER TOLEDO) ที่อุณหภูมิห้อง

3.6 ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำทั้งหมด (total soluble solids, TSS)

การวิเคราะห์ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดของผลิตภัณฑ์เบียร์จากธัญพืชทั้ง 3 สูตร ดัดแปลงจากวิธีการของ Ordookhani และ Zare (2011) โดยใช้เครื่องรีแฟรกโตมิเตอร์แบบพกพา (hand refractometer) ในการตรวจวัดค่าการหักเหของแสงของตัวอย่างเบียร์ และรายงานผลการวิเคราะห์ในหน่วยของศาบริกซ์ (°Brix)

3.7 องค์ประกอบทางเคมี

การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีพื้นฐาน (proximate analysis) ของผลิตภัณฑ์เบียร์จากธัญพืชทั้ง 3 สูตร ได้แก่ ปริมาณความชื้น (moisture; AOAC method 925.45) โปรตีน (protein; AOAC method 920.87) ไขมัน (fat; AOAC method 920.39) และเถ้า (ash; AOAC method 920.153) ดำเนินการวิเคราะห์ตามวิธีมาตรฐานของ AOAC (2000)

สำหรับปริมาณคาร์โบไฮเดรตทั้งหมด (total carbohydrate) ประเมินโดยใช้วิธีการคำนวณแบบหักลบ (carbohydrate by difference) โดยนำ 100 ลบด้วยผลรวมร้อยละของน้ำหนัความชื้น โปรตีน ไขมัน และเถ้า แล้วรายงานผลองค์ประกอบทางเคมีแต่ละค่าในหน่วยของร้อยละ (%)

3.8 ปริมาณแอลกอฮอล์

การวิเคราะห์ปริมาณแอลกอฮอล์ของผลิตภัณฑ์เบียร์จากธัญพืชทั้ง 3 สูตร ดำเนินการโดยใช้เครื่องวัด

จุดเดือด (Ebulliometer; Dujardin-Salleron, Paris, France) ตามวิธีการของ Saelim และคณะ (2018) โดยอาศัยหลักการตรวจวัดความแตกต่างของจุดเดือดระหว่างตัวอย่างเบียร์เปรียบเทียบกับจุดเดือดอ้างอิงของน้ำกลั่น เพื่อนำมาคำนวณหาปริมาณแอลกอฮอล์และรายงานผลในหน่วยร้อยละโดยปริมาตร (% v/v)

3.9 การทดสอบทางประสาทสัมผัส

การประเมินความพึงพอใจทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์เบียร์จากธัญพืชทั้ง 3 สูตร ดำเนินการโดยใช้ผู้ทดสอบชิมที่ไม่ผ่านการฝึกฝนทั่วไป จำนวน 35 คน ช่วงอายุระหว่าง 18-45 ปี โดยรินตัวอย่างเบียร์แต่ละสูตร ปริมาตร 20 มิลลิลิตร ลงในถ้วยพลาสติกโพลีโพรพิลีน (polypropylene) ขนาด 30 มิลลิลิตร ให้แก่ผู้ทดสอบ ทั้งนี้ กำหนดให้ผู้ทดสอบล้างปากด้วยน้ำเปล่าทุกครั้งก่อนการชิมตัวอย่างถัดไป การทดสอบใช้แบบประเมินความชอบแบบ 9 ระดับ (9-point hedonic scale) โดยมีเกณฑ์การให้คะแนนตั้งแต่ 1 (ไม่ชอบมากที่สุด) ถึง 9 (ชอบมากที่สุด) เพื่อประเมินการยอมรับใน 5 คุณลักษณะ ได้แก่ ลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ และความชอบโดยรวม

3.10 วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

การทดลองวางแผนแบบสุ่มสมบูรณ์ (completely randomized design (CRD)) จำนวน 3 กรรมวิธี 9 ซ้ำ โดยนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์หาค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากนั้นวิเคราะห์ความแปรปรวน (analysis of variance; ANOVA) เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างกลุ่มตัวอย่าง และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยรายคู่ด้วยวิธี Duncan's multiple range test (DMRT) ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.05 ($p \leq 0.05$) โดยใช้โปรแกรม R version 3.1.3 (ซูศักดิ์, 2555)

ผลการทดลองและวิจารณ์

1. ลักษณะปรากฏทางกายภาพ

ผลการศึกษาพบว่า ผลิตภัณฑ์เบียร์จากธัญพืชทั้ง 3 สูตร มีลักษณะเป็นของเหลวใส ไม่พบตะกอนแขวนลอยหรือความขุ่น และมีเจดสีเหลืองทองถึงเหลืองอำพันอ่อน (Fig. 1) โดยไม่พบความแตกต่างของเจดสีและความใสระหว่างแต่ละสูตรอย่างชัดเจน ซึ่งเป็นผลจากการตกตะกอนของสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างโปรตีนและโพลีฟีนอล (protein-polyphenol complexes) ในชั้น



Fig. 1 Physical appearance of craft beers produced from different formulations of Thai temperate cereals

ตอนการต้มน้ำเวิร์ท (Bamforth, 2017) ผสานกับประสิทธิภาพของการต้มที่อุณหภูมิต่ำ และการกรองที่ช่วยให้ยีสต์และโปรตีนแขวนลอยตกตะกอนได้อย่างสมบูรณ์ ส่งผลให้น้ำเบียร์มีเสถียรภาพทางกายภาพที่ดี (Briggs *et al.*, 2004)

สำหรับเจดสีเหลืองทองของผลิตภัณฑ์นั้น เป็นผลมาจากปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่ไม่ใช่เอนไซม์ (non-enzymatic browning reaction) โดยเฉพาะปฏิกิริยาเมลลาร์ด (maillard reaction) ที่เกิดขึ้นระหว่างกรดอะมิโนและน้ำตาลรีดิวซ์ในกระบวนการผลิตมอลต์และการต้มน้ำเวิร์ท (Kunze, 2014)

2. ค่าสีของเบียร์

ลักษณะปรากฏทางกายภาพและสีของเบียร์เป็นปัจจัยแรกที่ส่งผลต่อการรับรู้และคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ในมุมมองของผู้บริโภค ซึ่งแสดงลักษณะปรากฏของผลิตภัณฑ์เบียร์จากธัญพืชทั้ง 3 สูตร พบว่า ผลิตภัณฑ์ทั้งหมดมีลักษณะเป็นของเหลวสีเหลืองทองที่แตกต่างกันออกไป เมื่อนำไปประเมินค่าสีทางสถิติในระบบ CIELAB

(L^* , a^* , b^* และ ΔE^*) พบว่า ชนิดและความหลากหลายของธัญพืชส่งผลกระทบต่อค่าสีของผลิตภัณฑ์อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) (Table 2)

เมื่อพิจารณาค่า L^* (ค่าความสว่าง) พบว่า ความสอดคล้องกันกับลักษณะปรากฏทางกายภาพดังแสดงใน Fig. 1 อย่างชัดเจน โดยเบียร์สูตรที่ 1 (ข้าวบาร์เลย์ผสมข้าวโอ๊ต) มีลักษณะโปร่งแสงและมีค่าความสว่าง (10.17) มากที่สุด รองลงมา คือ สูตรที่ 2 (ข้าวบาร์เลย์ผสมข้าวสาลี) (9.77) ในขณะที่สูตรที่ 3 (ข้าวบาร์เลย์ผสมข้าวโอ๊ตและข้าวสาลี) มีลักษณะปรากฏที่เข้มขึ้นและมีค่าความสว่าง 7.72 น้อยที่สุดอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) (Table 2) โดยการลดลงของความสว่างในสูตรที่มีความซับซ้อนของส่วนผสมมากขึ้นนี้อธิบายได้จากการเพิ่มขึ้นของสารตั้งต้นในปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่ไม่ใช่เอนไซม์ โดยเฉพาะปฏิกิริยาเมลลาร์ด (maillard reaction) การใช้ธัญพืช 3 ชนิดร่วมกัน ทำให้มีกรดอะมิโนอิสระและน้ำตาลรีดิวซ์ที่หลากหลาย ส่งเสริมการสร้างสารประกอบเมลานอยดิน (melanoidins) ในระหว่างขั้นตอนการต้มน้ำเวิร์ท ทำให้

Table 2 Color parameters of beer brewed from Thai temperate cereals under different formulations

Formulation	Color values			
	L*	a*	b*	ΔE^*
1 (Barley : Oat)	10.17±0.06 a	-0.49±0.04 b	5.32±0.11 c	82.24±0.26 b
2 (Barley : Wheat)	9.77±0.10 b	-0.81±0.03 a	6.72±0.07 a	82.33±0.18 b
3 (Barley : Oat : Wheat)	7.72±0.05 c	-0.52±0.08 b	5.63±0.12 b	83.64±0.13 a
CV (%)	2.54	3.12	2.88	1.45

Note: Data are expressed as mean ± standard deviation

Means in the same column followed by a common letter are not significantly different at 95% confidence level by DMRT

เบียร์มีสีเข้มขึ้น (Kunze, 2014) นอกจากนี้โปรตีนโมเลกุลใหญ่จากข้าวสาลีและข้าวโอ๊ตอาจทำปฏิกิริยากับสารประกอบโพลีฟีนอล (polyphenols) เกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่ลดทอนการส่องผ่านของแสง ส่งผลให้ค่าความสว่าง น้อยลง (Steiner *et al.*, 2011)

ค่าความเป็นสีแดง/เขียว (a*) ของทุกสูตรมีค่าติดลบ (-0.49 ถึง -0.81) บ่งชี้ถึงโทนสีเขียว ซึ่งมีค่าเข้าใกล้ศูนย์ จึงไม่แสดงความแตกต่างทางสายตาส่งอย่างเด่นชัด แต่เมื่อพิจารณาค่าความเป็นสีเหลือง/น้ำเงิน (b*) จะพบว่าเบียร์สูตรที่ 2 มีค่า b* มากที่สุด (6.72) และแตกต่างจากสูตรอื่นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) (Table 2) ซึ่งสอดคล้องกับลักษณะปรากฏทางกายภาพ (Fig. 1) ที่แสดงให้เห็นว่าเบียร์สูตรที่ 2 มีโทนสีเหลืองทองที่เด่นชัดและสว่างที่สุดเมื่อเทียบกับขวดอื่น ผลลัพธ์นี้เป็นเอกลักษณ์ของเบียร์ที่ผสมข้าวสาลีซึ่งเกิดจากการสกัดสารกลุ่มฟลาโวนอยด์และฟีนอลิกจากเปลือกข้าวสาลีระหว่างกระบวนการสกัด

น้ำตาล (Depraetere *et al.*, 2004)

สำหรับค่าความแตกต่างของสีโดยรวม (ΔE^*) พบว่า เบียร์สูตรที่ 3 มีค่า 83.64 มากที่สุด ซึ่งสะท้อนให้เห็นว่าเบียร์แต่ละสูตรที่ใช้อัตราส่วนและชนิดของธัญพืชที่ต่างกัน ส่งผลต่อลักษณะปรากฏทางกายภาพและคุณภาพด้านสีที่มีเอกลักษณ์เฉพาะตัวของเบียร์ (Table 2)

3. ค่าความขุ่น (turbidity)

ความขุ่น เป็นอีกลักษณะปรากฏทางกายภาพที่สำคัญต่อการประเมินคุณภาพเบียร์ โดยเฉพาะในกลุ่มเบียร์ที่ใช้ธัญพืชทางเลือก (adjuncts) ซึ่งผู้บริโภคมักกลุ่มอาจมีความคาดหวังต่อลักษณะความขุ่นที่แตกต่างกันไปตามสไตล์ของเครื่องดื่ม จากการวิเคราะห์หาค่าความขุ่นของเบียร์จากธัญพืชทั้ง 3 สูตร ด้วยหน่วย NTU พบว่า ชนิดของธัญพืชที่นำมาผสมส่งผลต่อค่าความขุ่นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยผลการทดลอง พบว่า เบียร์

Table 3 Turbidity values of beer brewed from Thai temperate cereals under different formulations

Formulation	Turbidity (NTU)
1 (Barley : Oat)	39.40±0.20 b
2 (Barley : Wheat)	42.60±0.70 a
3 (Barley : Oat : Wheat)	39.83±0.55 b
CV (%)	4.21

Note: Data are expressed as mean ± standard deviation

Means in the same column followed by a common letter are not significantly different at 95% confidence level by DMRT

สูตรที่ 2 มีค่าความขุ่น 42.60 NTU มากที่สุด และแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับสูตรที่ 1 และ 3 (Table 3) อธิบายได้จากองค์ประกอบทางเคมีของข้าวสาลี ซึ่งอุดมไปด้วยโปรตีนที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง เช่น ไกลอะดิน (gliadins) และกลูเตนิน (glutenins) ในระหว่างกระบวนการต้มและหมัก โปรตีนเหล่านี้จะทำปฏิกิริยากับสารประกอบโพลีฟีนอล (polyphenols) ที่สกัดได้จากมอลต์และฮอปส์ เกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนโปรตีน-โพลีฟีนอล ขนาดใหญ่ที่แขวนลอยอยู่ในระบบ ซึ่งเป็นสาเหตุหลักของการเกิดความขุ่นแบบคอลลอยด์ในเครื่องดื่ม (Steiner *et al.*, 2011) นอกจากนี้ ข้าวสาลียังมีคาร์โบไฮเดรตสายยาวในกลุ่มเพนโทซาน (pentosans) ที่มีส่วนช่วยคงสภาพความคงตัวของแขวนลอยและทำให้ความขุ่นมีความเสถียรมากขึ้น ซึ่งเป็นเอกลักษณ์ที่พบได้ทั่วไปในกลุ่มเบียร์ข้าวสาลี

ในขณะที่เบียร์สูตรข้าวบาร์เลย์ผสมข้าวโอ๊ต (39.40 NTU) และสูตรข้าวบาร์เลย์ผสมข้าวโอ๊ต และข้าวสาลี (39.83 NTU) มีค่าความขุ่นน้อยกว่า แต่ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) (Table 3) แม้ว่าข้าวโอ๊ตจะมีปริมาณเบต้ากลูแคน (beta-glucans) สูง ซึ่งสามารถเพิ่มความหนืดและก่อให้เกิดความขุ่นได้เช่นกัน (Combes *et al.*, 2021) แต่จากผลการทดลองนี้ชี้ให้เห็นว่า กลไกการเกิดความขุ่นจากพันธะโปรตีนของข้าวสาลีส่งผลกระทบต่อความขุ่นมากที่สุด เมื่อนำธัญพืชทั้ง 3 ชนิด มาผสมกันในสูตรที่ 3 สัดส่วนของโปรตีนก่อความขุ่นจากข้าวสาลีจึงถูกเจือจางลง ทำให้ค่าความขุ่นรวมลดลงอยู่ในระดับที่ใกล้เคียงกับสูตรที่ใช้ข้าวโอ๊ตในสัดส่วนที่มากกว่า (Table 3)

4. ค่าความหนืด

ความหนืด เป็นสมบัติทางรีโอโลยี (rheological properties) ที่สำคัญต่อคุณภาพของเครื่องดื่มประเภทเบียร์ เนื่องจากมีความสัมพันธ์โดยตรงกับความรู้สึกขณะดื่ม (mouthfeel) การรับรู้ถึงความนุ่มนวลและเนื้อสัมผัส (body) ตลอดจนส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพในกระบวนการกรอง (filtration) และการแยกกากมอลต์ (lautering) จากการวิเคราะห์ค่าความหนืดของเบียร์ที่ผลิตจากธัญพืชทั้ง 3 สูตร พบว่า เบียร์แต่ละสูตรมีอิทธิพลต่อค่าความหนืดที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p\leq 0.05$)

ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า เบียร์สูตรข้าวบาร์เลย์ผสมข้าวโอ๊ตและข้าวสาลี มีค่าความหนืด 1.82 cP มากที่สุด แต่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) กับสูตรข้าวบาร์เลย์ผสมข้าวสาลี ที่มีค่าความหนืด 1.78 cP ในขณะที่เบียร์สูตรข้าวบาร์เลย์ผสมข้าวโอ๊ต มีค่าความหนืด 1.60 cP น้อยที่สุดอย่างมีนัยสำคัญ ($p\leq 0.05$) (Table 4) ซึ่งเกิดจากองค์ประกอบทางเคมีจำเพาะของข้าวสาลีที่มีปริมาณคาร์โบไฮเดรตโมเลกุลใหญ่ในกลุ่มโพลีแซ็กคาไรด์ที่ไม่ใช่แป้ง ชนิดอะราบินโนไซแลน (arabinoxylans) ในปริมาณที่สูงมาก รวมถึงมีโปรตีนที่มีโครงสร้างซับซ้อน สารประกอบเหล่านี้ทนทานต่อการย่อยสลายด้วยเอนไซม์ในระหว่างขั้นตอนการสกัดน้ำตาล และสามารถละลายออกมาแขวนลอยอยู่ในน้ำเวิร์ท ส่งผลให้โครงสร้างของเหลวมีความต้านทานต่อการไหลและมีความหนืดเพิ่มมากขึ้น (Briggs และคณะ, 2004)

ในขณะที่ข้าวโอ๊ตเป็นธัญพืชที่อุดมไปด้วยเบต้ากลูแคน ซึ่งเป็นสารที่สามารถเพิ่มความหนืดได้เช่นกัน แต่

Table 4 Viscosity values of beer brewed from Thai temperate cereals under different formulations

Formulation	Viscosity (cP)
1 (Barley : Oat)	1.60±0.03 b
2 (Barley : Wheat)	1.78±0.02 a
3 (Barley: Oat : Wheat)	1.82±0.06 a
CV (%)	3.67

Note: Data are expressed as mean ± standard deviation

Means in the same column followed by a common letter are not significantly different at 95% confidence level by DMRT

ผลการทดลองกลับพบว่า สูตรที่ใช้ข้าวโอ๊ตโดยไม่มีข้าวสาลีผสมมีค่าความหนืดน้อยที่สุด ข้อมูลนี้ชี้ให้เห็นว่า สมภาวะและอุณหภูมิที่ใช้ในกระบวนการสกัดน้ำตาลของงานวิจัยนี้ มีความเหมาะสมและเอื้อต่อการทำงานของเอนไซม์เบต้า-กลูคาเนส (beta-glucanase) ซึ่งสามารถย่อยสลายเบต้า-กลูแคนจากข้าวโอ๊ตให้กลายเป็นโอลิโกแซ็กคาไรด์สายสั้น (short-chain oligosaccharides) ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทำให้ความหนืดลดลง ในขณะที่เอนไซม์ไซลาลเนส (xylanase) ทำหน้าที่ย่อยอะราบิโนไซแลนจากข้าวสาลีอาจมีประสิทธิภาพการทำงานจำกัดในสภาวะเดียวกัน (Schnitzenbaumer *et al.*, 2012) ดังนั้น เมื่อมีการเติมข้าวสาลีสกลงไปในสูตรที่ใช้ธัญพืชทั้ง 3 ชนิด จึงเป็นการเพิ่มสัดส่วนของอะราบิโนไซแลน ส่งผลให้ความหนืดของผลิตภัณฑ์เพิ่มมากขึ้นอยู่ในระดับเดียวกับสูตรที่ใช้ข้าวสาลีในสัดส่วนที่มากกว่า โดยการวิเคราะห์ข้อมูลนี้มีนัยสำคัญต่อการพัฒนาผลิตภัณฑ์และการควบคุมกระบวนการผลิต รวมทั้งการประยุกต์ใช้ข้าวสาลีเป็นส่วนผสมจะช่วยเพิ่มความนุ่มนวลและเนื้อสัมผัส ซึ่งเป็นเอกลักษณ์ที่พึงประสงค์ในกลุ่มเบียร์ข้าวสาลีหรือคราฟต์เบียร์ได้

5. ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)

ค่าความเป็นกรด-ด่าง เป็นพารามิเตอร์ทางเคมีที่สำคัญอย่างยิ่งต่อคุณภาพของเบียร์ เนื่องจากมีอิทธิพลโดยตรงต่อความเสถียรทางจุลชีววิทยา ความคงตัวของคอลลอยด์ รวมไปถึงการรับรู้รสชาติ โดยเฉพาะความรู้สึกสดชื่นของเครื่องดื่ม

ผลการวิเคราะห์ค่า pH ของผลิตภัณฑ์เบียร์ที่ผลิต

จากธัญพืชเมืองหนาวทั้ง 3 สูตร พบว่า สูตรเบียร์จากธัญพืชเมืองหนาวที่ใช้ศึกษา ไม่ส่งผลต่อค่าความเป็นกรด-ด่างอย่างมีนัยสำคัญ อย่างไรก็ตาม ผลิตภัณฑ์เบียร์จากธัญพืชทั้ง 3 สูตร มีค่า pH อยู่ในช่วง 4.17 ถึง 4.33 จัดอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่เหมาะสมของเบียร์ทั่วไป (pH 4.0 ถึง 4.5) โดยผลการทดลองพบว่า เบียร์สูตรข้าวบาร์เลย์ผสมข้าวโอ๊ต มีค่า pH 4.33 มากที่สุด (มีความเป็นกรดน้อยที่สุด) รองลงมาคือ เบียร์สูตรข้าวบาร์เลย์ผสมข้าวสาลี มีค่า pH 4.30 ในขณะที่เบียร์สูตรข้าวบาร์เลย์ผสมข้าวโอ๊ตและข้าวสาลี มีค่า pH 4.17 น้อยที่สุด (มีความเป็นกรดมากที่สุด) (Table 5)

ทั้งนี้ความแตกต่างและการลดลงของค่า pH ในสูตรที่มีความซับซ้อนของวัตถุดิบมากกว่า อธิบายได้ด้วยกลไกทางชีวเคมีระหว่างกระบวนการหมัก และระบบต้านทานการเปลี่ยนแปลงกรด-ด่างของน้ำเวิร์ท ซึ่งการเพิ่มความหลากหลายของชนิดธัญพืชในสูตรที่ 3 ส่งผลให้ระบบมีปริมาณและชนิดของสารอาหารที่ส่งเสริมการเจริญเติบโตของยีสต์ที่หลากหลายมากขึ้น โดยเฉพาะกรดอะมิโนอิสระและเปปไทด์สายสั้น เมื่อยีสต์ (*Saccharomyces cerevisiae*) ดึงกรดอะมิโนและแร่ธาตุเหล่านี้ไปใช้ในกระบวนการเมแทบอลิซึมอย่างมีประสิทธิภาพ โดยยีสต์จะผลิตและปลดปล่อยกรดอินทรีย์หลายชนิดออกมาเป็นผลพลอยได้ เช่น กรดซัคซินิก (succinic acid) กรดแลคติก (lactic acid) กรดอะซิติก (acetic acid) เป็นต้น รวมไปถึงการปลดปล่อยไฮโดรเจนไอออน (H^+) เข้าสู่ระบบจากการดูดซึมแอมโมเนียมไอออน ส่งผลให้ค่า pH ของระบบลดน้อยลง (Boulton และ Quain, 2001) นอกจากนี้ ธัญพืช

Table 5 pH values of beer brewed from Thai temperate cereals under different formulations

Formulation	pH
1 (Barley : Oat)	4.33±0.1 a
2 (Barley : Wheat)	4.30±0.1 a
3 (Barley : Oat : Wheat)	4.17±0.1 a
CV (%)	1.15

Note: Data are expressed as mean ± standard deviation

Means in the same column followed by a common letter are not significantly different at 95% confidence level by DMRT

Table 6 Total soluble solids (TSS) of beer brewed from Thai temperate cereals under different formulations

Formulation	Total soluble solids (°Brix)
1 (Barley : Oat)	3.83±0.06 b
2 (Barley : Wheat)	3.90±0.10 b
3 (Barley : Oat : Wheat)	4.27±0.12 a
CV (%)	3.94

Note: Data are expressed as mean ± standard deviation

Means in the same column followed by a common letter are not significantly different at 95% confidence level by DMRT

เมืองหนาวแต่ละชนิดยังมีสารประกอบฟอสเฟต (phosphates) และกรดอะมิโนที่เป็นตัวกำหนดความจุบัฟเฟอร์ที่แตกต่างกัน การใช้ธัญพืชเมืองหนาวทางเลือกผสมกันถึง 3 ชนิด อาจทำให้มีการปรับเปลี่ยนโครงสร้างความจุบัฟเฟอร์รวมของน้ำเวิร์ทให้ต้านทานต่อไฮโดรเจนไอออนได้น้อยลง ทำให้กรดอินทรีย์ที่ยีสต์สร้างขึ้นสามารถดึงค่า pH ของผลิตภัณฑ์สุดท้ายให้ลดน้อยลงได้อย่างชัดเจนเมื่อเปรียบเทียบกับสูตรที่ใช้ธัญพืชเพียง 2 ชนิด (Kunze, 2014)

6. ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำทั้งหมด (total soluble solids; TSS)

ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำทั้งหมด ของเบียร์ทั้ง 3 สูตร พบว่า ชนิดและความซับซ้อนของธัญพืชเมืองหนาวที่ใช้เป็นส่วนผสมส่งผลต่อค่า TSS อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า เบียร์สูตรที่ใช้ธัญพืชผสมทั้ง 3 ชนิด (ข้าวบาร์เลย์ผสมข้าวโอ๊ตและข้าวสาลี) มีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำทั้งหมดมากที่สุด 4.27 °Brix ซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเปรียบเทียบกับสูตรที่ใช้ธัญพืชเมืองหนาวเพียง 2 ชนิด ในขณะที่เบียร์สูตรข้าวบาร์เลย์ผสมข้าวโอ๊ต มีค่า TSS 3.83 °Brix และสูตรข้าวบาร์เลย์ผสมข้าวสาลี มีค่า TSS 3.90 °Brix และไม่มี ความแตกต่างทางสถิติ (Table 6)

เบียร์สูตรผสมธัญพืชเมืองหนาวทั้ง 3 ชนิด มีปริมาณของแข็งละลายน้ำคงเหลือมากที่สุด อธิบายได้จากความซับซ้อนของโครงสร้างคาร์โบไฮเดรตในระบบที่เพิ่มขึ้น การผสมทั้งข้าวโอ๊ตและข้าวสาลีสองในน้ำเวิร์ท เป็นการเพิ่มปริมาณของโพลีแซ็กคาไรด์ที่ไม่ใช่แป้ง โดยเฉพาะเบต้า-

กลูแคนจากข้าวโอ๊ต และอะราบิโนไซแลนจากข้าวสาลี รวมไปถึงโปรตีนโมเลกุลใหญ่ซึ่งสารประกอบที่มีโครงสร้างซับซ้อนเหล่านี้มักไม่ถูกย่อยสลายอย่างสมบูรณ์ด้วยเอนไซม์กลุ่มอะไมเลสหรือโปรตีเอสในระหว่างขั้นตอนการสกัดน้ำตาล เมื่อเข้าสู่กระบวนการหมัก ยีสต์จะเลือกใช้เฉพาะน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวและโมเลกุลคู่ (เช่น กลูโคส มอลโตส เป็นต้น) เป็นหลัก ทำให้สารประกอบโมเลกุลใหญ่ และน้ำตาลสายยาวที่ไม่สามารถหมักได้ ยังเหลืออยู่ในผลิตภัณฑ์สุดท้ายในปริมาณที่มากกว่า (Bamforth, 2017) ผลลัพธ์นี้มีความสอดคล้องกับ ค่าความหนืด โดยปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำที่มากขึ้นในสูตรที่ 3 มีส่วนโดยตรงที่ทำให้โครงสร้างของเหลวมีความต้านทานการไหลและความหนืดเพิ่มขึ้น ข้อมูลนี้อาจเป็นประโยชน์ต่ออุตสาหกรรมการผลิตคราฟต์เบียร์ หากผู้ผลิตต้องการพัฒนาผลิตภัณฑ์เบียร์ที่มีเนื้อสัมผัสนุ่มขึ้น และมีรสชาติหวานติดปลายลิ้นเล็กน้อย

7. องค์ประกอบทางเคมี

องค์ประกอบทางเคมีของเบียร์ทั้ง 3 สูตร ได้แก่ ปริมาณความชื้น โปรตีน เถ้า ไขมัน และคาร์โบไฮเดรต พบว่าการปรับเปลี่ยนชนิดและสัดส่วนของธัญพืชเมืองหนาวทดแทน ส่งผลต่อปริมาณความชื้น ไขมัน และคาร์โบไฮเดรตอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) แต่ไม่ส่งผลต่อปริมาณโปรตีน และเถ้าอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) เมื่อพิจารณาปริมาณคาร์โบไฮเดรต พบว่า เบียร์สูตรที่ 3 มีปริมาณคาร์โบไฮเดรตร้อยละ 1.93 มากที่สุดและแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ กับสูตรที่ 2 (ร้อยละ 1.76) และสูตรที่ 1 (ร้อยละ 1.62) ตามลำดับ (Table 7)

Table 7 Chemical composition of beer brewed from Thai temperate cereals under different formulations

Formulation	Chemical composition (%)				
	Moisture	Protein	Ash	Fat	Carbohydrate
1 (Barley : Oat)	97.87±0.01 a	0.44±0.03 a	0.05±0.01 a	0.03±0.01 b	1.62±0.05 c
2 (Barley : Wheat)	97.71±0.01 b	0.43±0.03 a	0.06±0.01 a	0.05±0.01 a	1.76±0.04 b
3 (Barley : Oat : Wheat)	97.54±0.04 c	0.44±0.01 a	0.05±0.00 a	0.04±0.01 ab	1.93±0.03 a
CV (%)	0.85	5.42	4.19	6.73	4.28

Note: Data are expressed as mean ± standard deviation

Means in the same column followed by a common letter are not significantly different at 95% confidence level by DMRT

ปริมาณคาร์โบไฮเดรตที่เพิ่มขึ้นในสูตรที่ 3 มีความซับซ้อนของวัตถุดิบ สอดคล้องกับค่าความหนืด และปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำทั้งหมด เนื่องจากการที่ธัญพืชเมืองหนาวผสม (ข้าวโอ๊ตและข้าวสาลี) ให้สารประกอบกลุ่มโพลีแซ็กคาไรด์ที่ไม่ใช่แป้ง เช่น เบต้า-กลูแคน และอะราบิโนไซแลน รวมถึงเด็กซ์ทรินซึ่งเป็นน้ำตาลสายยาวที่ยีสต์ไม่สามารถย่อยสลายและนำไปหมักเป็นแอลกอฮอล์ได้ สารเหล่านี้จึงยังเหลือเป็นสารสกัดคงค้างในผลิตภัณฑ์สุดท้าย (Bamforth, 2017)

ปริมาณความชื้น แปรผกผันกับปริมาณของแข็งรวมเมื่อเบียร์สูตรที่ 3 มีปริมาณคาร์โบไฮเดรตคงเหลือมากที่สุด จึงส่งผลให้มีสัดส่วนของปริมาณความชื้นร้อยละ 97.54 น้อยที่สุดและแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ในขณะที่สูตรที่ 1 ซึ่งยีสต์สามารถหมักน้ำตาลได้หมด มีปริมาณความชื้นร้อยละ 97.87 มากที่สุด (Table 7)

ปริมาณโปรตีน พบว่า ไม่มีความแตกต่างกันทาง

สถิติในทุกสูตร โดยมีค่าอยู่ระหว่างร้อยละ 0.43 ถึง 0.44 แม้ว่าข้าวสาลีจะมีโปรตีนเริ่มต้นมากกว่าข้าวบาร์เลย์ แต่ในกระบวนการผลิตเบียร์โปรตีนส่วนใหญ่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงจะเกิดการตกตะกอนด้วยความร้อนระหว่างการต้ม้ำเวิร์ทและตกตะกอนด้วยความเย็นก่อนการหมัก รวมถึงกรดอะมิโนอิสระส่วนหนึ่งถูกยีสต์นำไปใช้ในการเจริญเติบโต ทำให้โปรตีนที่หลงเหลือในผลิตภัณฑ์สุดท้ายมีปริมาณน้อยและใกล้เคียงกัน (Steiner *et al.*, 2011) ในทำนองเดียวกัน ปริมาณเถ้ามีค่าร้อยละ 0.05 ถึง 0.06 ซึ่งไม่แตกต่างกันทางสถิติ เนื่องจากแร่ธาตุส่วนใหญ่ถูกกำหนดโดยคุณภาพของน้ำที่ใช้เป็นวัตถุดิบหลักในการผลิต (Table 7)

8. ปริมาณแอลกอฮอล์

ปริมาณแอลกอฮอล์เป็นคุณลักษณะที่สำคัญประการหนึ่งของผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มแอลกอฮอล์ ซึ่งไม่เพียงแต่เป็นตัวกำหนดประเภทของเบียร์ แต่ยังมีผล

Table 8 Alcohol content of beer brewed from Thai temperate cereals under different formulations

Formulation	Alcohol content (% ABV)
1 (Barley : Oat)	7.50±0.10 a
2 (Barley : Wheat)	7.53±0.06 a
3 (Barley : Oat : Wheat)	7.53±0.15 a
CV (%)	2.10

Note: Data are expressed as mean ± standard deviation

Means in the same column followed by a common letter are not significantly different at 95% confidence level by DMRT

โดยตรงต่อความรู้สึกขณะดื่ม รสชาติโดยรวม รวมถึงการทำหน้าที่เป็นสารกันเสียตามธรรมชาติที่ช่วยยืดอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์

จากการวิเคราะห์ปริมาณแอลกอฮอล์ของเบียร์ที่ผ่านกระบวนการหมักสมบูรณ์แล้วทั้ง 3 สูตร พบว่าปริมาณแอลกอฮอล์มีค่าอยู่ระหว่างร้อยละ 7.50 ถึง 7.53 ซึ่งจัดอยู่ในระดับมาตรฐานของเบียร์ประเภทเพลเอล (pale ale) หรือวีตเบียร์ (wheat beer) ทั่วไป และที่น่าสนใจคือการปรับเปลี่ยนชนิดและสัดส่วนของธัญพืชเมืองหนาวทดแทน ไม่ส่งผลกระทบต่อปริมาณแอลกอฮอล์อย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) (Table 8)

ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า เบียร์สูตรข้าวบาร์เลย์ผสมข้าวโอ๊ต มีปริมาณแอลกอฮอล์ร้อยละ 7.50 ในขณะที่สูตรข้าวบาร์เลย์ผสมข้าวสาลี และสูตรที่ผสมธัญพืชทั้ง 3 ชนิด มีปริมาณแอลกอฮอล์เท่ากันที่ร้อยละ 7.53 (Table 8) อธิบายได้ด้วยหลักการทางชีวเคมีในขั้นตอนการเตรียมน้ำเวิร์ทและกระบวนการหมัก โดยปริมาณแอลกอฮอล์ (เอทานอล) ในเบียร์เกิดจากกระบวนการเมแทบอลิซึมของยีสต์สายพันธุ์ *Saccharomyces cerevisiae* ซึ่งจะทำการเปลี่ยนรูปน้ำตาลที่สามารถหมักได้ เช่น กลูโคส (glucose) มอลโตส (maltose) และมอลโทไตรโอส (maltotriose) ไปเป็นแอลกอฮอล์และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งการที่ปริมาณแอลกอฮอล์ในทุกกรรมวิธีมีค่าเท่ากัน แสดงให้เห็นว่ากระบวนการสกัดน้ำตาลมีเอนไซม์กลุ่มอะไมเลสที่มาจากมอลต์ข้าวบาร์เลย์เป็นหลัก มีประสิทธิภาพเพียงพอในการย่อยสลายโครงสร้างสตาร์ช (starch) จากทั้งข้าวโอ๊ตและข้าวสาลีให้

กลายเป็นน้ำตาลที่หมักได้ในปริมาณผลรวมที่ใกล้เคียงกันทั้งหมด (Boulton and Quain, 2001)

9. คุณลักษณะทางประสาทสัมผัส (Sensory evaluation)

การประเมินคุณลักษณะทางประสาทสัมผัส เป็นการวัดระดับความพึงพอใจและการยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์อาหารและเครื่องดื่ม จากการทดสอบทางประสาทสัมผัสของเบียร์ทั้ง 3 สูตร ด้วยวิธีให้คะแนนความชอบ (hedonic scale) ในด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ และความชอบโดยรวม พบว่า การปรับเปลี่ยนชนิดและสัดส่วนของธัญพืชเมืองหนาวส่งผลต่อคะแนนความชอบด้านสีอย่างมีนัยสำคัญ ($p\leq 0.05$) ในขณะที่ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในด้านลักษณะปรากฏ กลิ่น รสชาติ และความชอบโดยรวม ($p>0.05$) (Table 9)

ความชอบด้านลักษณะปรากฏและสี แม้ว่าผู้ทดสอบชิมจะให้คะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ (appearance) ไม่แตกต่างกันทางสถิติ (คะแนนอยู่ในช่วง 7.06 ถึง 7.29 คะแนน) แต่เมื่อประเมินด้านสี (color) กลับพบว่า สูตรที่ 1 ได้รับคะแนนความชอบด้านสีมากที่สุด (7.03 คะแนน) ซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญจากสูตรที่ 2 (6.49 คะแนน) และสูตรที่ 3 (6.29 คะแนน) ตามลำดับสอดคล้องกับผลค่าสี (Table 2) ซึ่งพบว่าสูตรที่ 1 มีความสว่าง (L^*) มากที่สุด โดยการที่ผู้บริโภคให้คะแนนความชอบด้านสีของสูตรที่ 1 มากที่สุด บ่งชี้ถึงพฤติกรรมและความคาดหวังของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์ประเภทนี้ว่าควรมีลักษณะสีที่สว่าง โปร่งใส และไม่ขุ่นทึบจนเกินไป

Table 9 Sensory characteristics of beer brewed from Thai temperate cereals under different formulations

Formulation	Appearance	Color	Aroma	Flavor	Overall acceptability
1 (Barley : Oat)	7.11±1.35 a	7.03±1.64 a	7.14±1.29 a	6.66±1.33 a	6.80±1.28 a
2 (Barley : Wheat)	7.06±1.39 a	6.49±1.34 b	7.20±1.35 a	6.83±1.07 a	7.00±1.19 a
3 (Barley : Oat : Wheat)	7.29±1.25 a	6.29±0.67 c	7.29±1.18 a	7.00±1.50 a	7.09±1.46 a
CV (%)	12.45	11.82	10.56	13.12	12.04

Note: Data are expressed as mean ± standard deviation

Means in the same column followed by a common letter are not significantly different at 95% confidence level by DMRT

ในขณะที่สูตรที่ 3 ซึ่งมีส่วนผสมของธัญพืชถึง 3 ชนิด มีการเกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล และมีความชื้นที่มากกว่า จึงได้รับคะแนนความชอบด้านสีลดลง สอดคล้องกับ กฤษนันท์ (2563) ธิดารัตน์ (2563) และธิตีพัทธ์ (2561) ได้รายงานไว้ว่า ตลาดคราฟต์เบียร์ในประเทศไทยส่วนใหญ่ ชอบลักษณะของเบียร์สีใส เบา บาง อาจเป็นเพราะความคุ้นเคยกับเบียร์กลุ่มลาเกอร์ที่มีจำหน่ายอยู่มากและยาวนาน

คุณลักษณะด้านกลิ่นและรสชาติ พบว่า คะแนนความชอบด้านกลิ่นอยู่ในช่วง 7.14 ถึง 7.29 คะแนน และด้านรสชาติอยู่ในช่วง 6.66 ถึง 7.00 คะแนน สอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ปริมาณแอลกอฮอล์ (Table 8) และปริมาณไขมัน (Table 7) ที่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ทำให้โปรไฟล์กลิ่นรสพื้นฐานของผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากกระบวนการหมักของยีสต์มีความใกล้เคียงกัน เมื่อพิจารณาคะแนนความชอบโดยรวม (overall) ซึ่งเป็นตัวแปรสำคัญที่สุดในการตัดสินใจซื้อ พบว่า เบียร์ทั้ง 3 สูตร ได้รับคะแนนเฉลี่ยอยู่ในช่วง 6.80 ถึง 7.09 คะแนน (Table 9)

อย่างไรก็ตาม ชนิดของธัญพืชที่แตกต่างกันไม่ส่งผลกระทบต่อปริมาณแอลกอฮอล์ ซึ่งมีค่าเฉลี่ยร้อยละ 7.50 ถึง 7.53 รวมไปถึงไม่ส่งผลกระทบต่อปริมาณโปรตีน เถ้า และคะแนนความพึงพอใจโดยรวมทางประสาทสัมผัส ข้อมูลนี้อาจเป็นประโยชน์ต่ออุตสาหกรรมคราฟต์เบียร์ในการเลือกประยุกต์ใช้ธัญพืชเมืองหนาวที่ปลูกภายในประเทศ เพื่อปรับแต่งรูปลักษณ์และเนื้อสัมผัสของเครื่องดื่มให้มีเอกลักษณ์ตรงตามความต้องการของตลาดเป้าหมาย ได้หลากหลายรูปแบบ รวมทั้งความเหมาะสมขึ้นอยู่กับ “สไตล์ของคราฟต์เบียร์” ที่ต้องการพัฒนาเพื่อตอบโจทย์ผู้บริโภคตามกลุ่มเป้าหมาย โดยจากงานวิจัยนี้ สามารถแบ่งจุดเด่นของแต่ละสูตรได้ ดังนี้

สูตรที่ 1 ใช้ข้าวบาร์เลย์เพาะงอกผสมกับข้าวโอ๊ตเพาะงอก มีความเหมาะสมสำหรับเบียร์ที่เน้นรูปลักษณ์สว่างใส ซึ่งสูตรนี้มีค่าความสว่าง (L^*) มากที่สุด และได้รับคะแนนความชอบด้านสีจากผู้ทดสอบชิมมากที่สุดอย่างมีนัยสำคัญ

สูตรที่ 2 ใช้ข้าวบาร์เลย์เพาะงอกผสมข้าวสาลีเพาะงอก มีความเหมาะสมสำหรับเบียร์สไตล์ wheat beer ซึ่งสูตรนี้มีเอกลักษณ์ความชุ่มมากที่สุด และมีโทนสีเหลือง

ทองที่เด่นชัด โดยเป็นลักษณะเฉพาะที่พึงประสงค์ของเบียร์กลุ่มนี้

สูตรที่ 3 ใช้ข้าวบาร์เลย์เพาะงอกผสมข้าวโอ๊ตเพาะงอกและข้าวสาลีเพาะงอก มีความเหมาะสมสำหรับเบียร์ที่ต้องการเนื้อสัมผัส (body) นุ่มนวล โดยการผสมธัญพืช 3 ชนิด ทำให้มีปริมาณคาร์โบไฮเดรตและของแข็งที่ละลายน้ำเหลืออยู่มากที่สุด ส่งผลให้เบียร์มีความหนืดสูง ให้ความรู้สึกนุ่มปากเวลาดื่มและอาจมีรสหวานติดปลายลิ้นเล็กน้อย นอกจากนี้ สูตรที่ 3 ยังได้คะแนนความชอบโดยรวมมากที่สุด 7.09 คะแนน แม้จะไม่แตกต่างทางสถิติกับสูตรที่ 1 และ 2

สรุปผลการทดลอง

การศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าธัญพืชเมืองหนาว ได้แก่ ข้าวบาร์เลย์ ข้าวโอ๊ต และข้าวสาลีที่ปลูกในภาคเหนือตอนบนของประเทศ มีศักยภาพเพียงพอที่จะนำมาเป็นวัตถุดิบทางเลือก เพื่อผลิตเบียร์ที่มีคุณภาพและได้รับการยอมรับจากผู้บริโภค การปรับเปลี่ยนชนิดและสัดส่วนของธัญพืชเมืองหนาว ส่งผลต่อคุณลักษณะทางกายภาพและเคมีของผลิตภัณฑ์อย่างมีนัยสำคัญ โดยสูตรข้าวบาร์เลย์เพาะงอกผสมข้าวโอ๊ตเพาะงอกมีความเหมาะสมหากต้องการผลิตภัณฑ์ที่มีสีสว่างใส ซึ่งได้รับคะแนนความชอบด้านสีมากที่สุด สูตรข้าวบาร์เลย์เพาะงอกผสมข้าวสาลีเพาะงอกแสดงลักษณะความชุ่มและโทนสีเหลืองทองที่เป็นเอกลักษณ์เด่นชัด ในขณะที่สูตรผสมธัญพืชทั้ง 3 ชนิด ส่งผลให้เบียร์มีความหนืดและมีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำทั้งหมดมากที่สุด ซึ่งช่วยเพิ่มความนุ่มนวลของเนื้อสัมผัส

เอกสารอ้างอิง

- กองนโยบายเทคโนโลยีเพื่อการเกษตรและเกษตรกรรมยั่งยืน. 2567. แผนแนวทางการส่งเสริมการปลูกข้าวสาลีและพืชเศรษฐกิจหลังนาอินทรีย์ ปรับเปลี่ยนพื้นที่นาปรังเป้าหมาย 2,000 ไร่. สำนักงานปลัดกระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.
- กฤษนันท์ พันธุ์ประภากิจ. 2563. การพัฒนาผลิตภัณฑ์คราฟต์เบียร์โดยเทคนิคการวิเคราะห์แบบคอนจอยท์. บริหารธุรกิจมหาบัณฑิต สาขาวิชาการตลาด, มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.
- ชูศักดิ์ จอมพุท. 2555. สถิติ : การวางแผนการทดลองและการ

- วิเคราะห์ข้อมูลในงานวิจัยด้านพืชด้วย “R”. พิมพ์ครั้งที่ 2 ฉบับปรับปรุง. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 335 หน้า.
- โชคชัย วนภู. 2558. การหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตเบียร์จากข้าวไทยเป็นส่วนประกอบหลักโดยวิธีพื้นที่ผิวตอบสนองและการประยุกต์ใช้ในการผลิตเบียร์ระดับกิ่งอุตสาหกรรม. รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์. สาขาเทคโนโลยีชีวภาพ สำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี. 87 หน้า.
- ธนวัฒน์ นุ่มกวน. 2565. การผลิตเบียร์จากข้าวสายพันธุ์ไทย. วิทยานิพนธ์ปริญญาตรี. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, กรุงเทพฯ. 66 หน้า.
- ธิดารัตน์ จักรสมภพ. 2563. แนวทางการพัฒนาและส่งเสริมการผลิต “คราฟต์เบียร์” แบบภูมิปัญญาท้องถิ่นของชุมชนเกาะเกร็ด จังหวัดนนทบุรี. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. สาขาวิชานิติเศรษฐศาสตร์, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.
- ธิตีพัทธ์ ทาปิงกาฬ. 2561. ปัจจัยที่มีผลต่อการตัดสินใจซื้อและบริโภคคราฟต์เบียร์ของผู้บริโภคในพื้นที่นิคมอุตสาหกรรม อมตะนคร จังหวัดชลบุรี. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. สาขาวิชาบริหารธุรกิจสำหรับผู้บริหาร วิทยาลัยพาณิชยศาสตร์, มหาวิทยาลัยบูรพา.
- อาคม กาญจนประโชติ และสุรัตน์ นักร้อง. 2539. คุณภาพมอลท์จากข้าวบาร์เลย์บางพันธุ์ที่ปลูกในภาคเหนือของประเทศไทย. หน้า 259-267. ใน: การประชุมวิชาการัญพืชเมืองหนาวแห่งชาติ ครั้งที่ 17. 16-18 มกราคม 2539. โรงแรมอัมรินทร์ลากูน, จ.พิษณุโลก.
- AOAC. 2000. Official Methods of Analysis of AOAC International. 17th ed. Association of Official Analytical Communities. Gaithersburg, MD, USA.
- Bamforth, C.W. 2017. Brewing Materials and Processes: A Practical Approach to Beer Excellence. Academic Press, UK.
- Boulton, C. and P. Quain. 2001. Brewing Yeast and Fermentation. Blackwell Science, Ltd., USA.
- Briggs, D.E., C.A. Boulton, P.A. Brookes and R. Stevens. 2004. Brewing Science and Practice. Woodhead Publishing Limited, Cambridge, England.
- Combes, F., M. Lelièvre-Desmas and T. Doco. 2021. Polysaccharides in colloidal haze formation in beer. Journal of the Institute of Brewing 127(4): 302-315.
- Depraetere, D., F. Delvaux, S. Coghe and F.R. Delvaux, 2004. Wheat variety and batch variability in the production of rpy beer. Journal of the Institute of Brewing 110(4): 312-319.
- Kumar, D., V. Kumar, R.P.S Verma, A.S. Kharub and I. Sharma. 2013. Quality parameter requirement and standards for malt barley. Agricultural Research Communication Centre 34(4): 313-317.
- Kunze, W. 2014. Technology Brewing and Malting. 5th ed. VLB Berlin, Germany.
- Lamphun, J.N., S. Tongdonyod, U.H. Dao, I. Krittayabunlue, S. Sirikantaramas, J. Wichaphon, and W. Klangpetch. 2025. High pressure processing for microbial inactivation and shelf-life extension of fructo-oligosaccharide-fortified malt beverages. Applied Food Research 6(1): 101628.
- Mastanjević, K., B. Šarkanj, R. Krska, M. Sulyok, B. Warth, K. Mastanjević, B. Šantek and V. Krstanović. 2018. From malt to wheat beer: A comprehensive multi-toxin screening, transfer assessment and its influence on basic fermentation parameters. Food Chemistry 15(254): 115-121.
- Ordookhani, K. and M. Zare. 2011. Effect of Pseudomonas, Azotobacter and arbuscular mycorrhiza fungi on lycopene, antioxidant activity and total soluble solid in tomato (*Lycopersicon esculentum* F1 Hybrid, Delba). Advances in Environmental Biology 5(6): 1290-1294.
- Saelim, K., S. Junmuen and K. Lueanprasert. 2018. Chemical change during mulberry wine fermentation and consumer's satisfaction. Agricultural Science Journal 49Suppl.(1): 612-616.
- Schnitzenbaumer, B., R. Kerpes, J. Titze, F. Jacob and E.K. Arendt. 2012. Impact of various levels of unmalted oats (*Avena sativa* L.) on the quality and processability of mashes, worts, and beers. Journal of the American Society of Brewing Chemists 70(3): 142-149.
- Shahnawaz, M. and S.A. Shiekh. 2011. Analysis of

viscosity of jamun fruit juice, squash and jam at different compositions to ensure the suitability of processing applications. *International Journal of Plant Physiology and Biochemistry* 3(5): 89-94.

Steiner, E., M. Gastl and T. Becker. 2011. Protein changes during malting and brewing with focus on haze and foam formation: A review. *European Food Research and Technology* 232: 191-204.