ผลของชนิดของมอลต์และฮ็อพต่อปริมาณแอลกอฮอล์และฟีนอลในเบียร์

EFFECT OF DIFFERENT TYPES OF MALT AND HOP ON ETHANOL AND PHENOL COMPOUNDS IN BEER

เจษฎากร ปักโยธา
ชัชวัสส์ วิชิตนาค
ธนาคาร แก้วกูล
พฤหัส จาดบุญมา

โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา
วิทยาศาสตรบัณฑิตหลักสูตรจุลชีววิทยาอุตสาหกรรม
ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2559

ผลของชนิดของมอลต์และฮ็อพต่อปริมาณแอลกอฮอล์และฟีนอลในเบียร์

เจษฎากร ปักโยธา

ชัชวัสส์ วิชิตนาค

ธนาคาร แก้วกูล

พฤหัส จาดบุญมา

โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา

วิทยาศาสตรบัณฑิตหลักสูตรจุลชีววิทยาอุตสาหกรรม

ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2559

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

EFFECT OF DIFFERENT TYPES OF MALT AND HOP ON ETHANOL AND PHENOL COMPOUNDS IN BEER

JESSADAKON PAKYOTHA

CHATCHAWAT VICHITNAK

THANAKARN KEAWKOON

PARUHAS JASROONMA

A SPECIAL PROJECT SUMMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENT

FOR THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE

INDUSTRIAL OF MICROBIOLOGY

DEPARTMENT OF BIOLOGY FACULTY OF SCIENCE

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABUNG

ACADEMIC YEAR 2016

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงงานพิเศษ ผลของชนิดของมอลต์และฮ็อพต่อปริมาณแอลกอฮอล์และฟีนอลในเบียร์

Effect of different types of malt and hop on ethanol and phenol compound in beer

ชื่อนักศึกษา

นายเจษฎากร	ปักโยธา	56050971
นายชัชวัสส์	วิชิตนาค	56050977
นายธนาคาร	แก้วกูล	56051005
นายพฤหัส	จาดบุญมา	56051031

ปริญญา วิทยาศาสตรบัณฑิต (จุลชีววิทยาอุตสาหกรรม)

ภาควิชา ชีววิทยา

ปีการศึกษา 2559

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.มงคล เพ็ญสายใจ

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.) อนุมัติให้โครงงานพิเศษ ปริมาณเอทานอลและปริมาณฟีนอลจากการหมักเบียร์จากมอลต์และฮ็อพต่างชนิด นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตร์บัณฑิต จุลชีววิทยาอุตสาหกรรม ประจำปีการศึกษา 2559

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
ผศ.วีนา ชูโชติ ประธานกรรมการ	
รศ.ดร.นวลพรรณ ณ ระนอง กรรมการ	
ผศ.มงคล เพ็ญสายใจ กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทคัดย่อ

โครงงานพิเศษฉบับนี้เป็นการศึกษาการผลิตเบียร์แต่ละสูตรที่แตกต่างกัน ที่ใช้หมักแบบ ลาเกอร์เบียร์ โดยใช้ส่วนผสมแต่ละตัวอย่างที่แตกต่างกัน ใช้มอลต์และข้าวพื้นเมือง (ข้าวหอมมะลิจากจังหวัดศรีสะเกษกับข้าวไรซ์เบอร์รี่) รวมกัน 150 กรัมต่อลิตร และใส่ฮ็อพที่ 6 กรัม ปรับบริกซ์ความเข้มข้นของน้ำตาลไว้ที่ 8 บริกซ์ โดยทุกตัวอย่างทำการหมักแบบ bottom ที่อุณหภูมิควบคุมที่ 10 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 14 วัน และทำการเก็บผลตัวอย่างนำมาตรวจวิเคราะห์ทุกๆ 7 วัน โดยทำการวิเคราะห์ปริมาตรเอทานอลด้วยวิธี Gas Chromatography วิเคราะห์น้ำตาลที่ใช้ไปด้วยวิธี Somogyi-Nelson วิเคราะห์ปริมาตรฟีนอลด้วยวิธี Folin-Ciocalteu reagent วิเคราะห์จำนวนเซลล์ยีสต์ด้วย hemacytometer จากนั้นทำการเปรียบเทียบ ปริมาตรเอทานอล, เปรียบเทียบการใช้น้ำตาลของยีสต์, เปรียบเทียบปริมาตรฟีนอล ทดสอบการชิมด้วยวิธี 9 –point hedonic scale sensory เพื่อหาสูตรของเบียร์แต่ละสูตรที่มีสารต้านอนุมูลอิสระและแอลกอฮอล์ที่เหมาะสมดีที่สุด และยังเป็นการใช้ประโยชน์จากข้าวพื้นเมืองของภูมิประเทศ และได้ผลิตภัณฑ์ที่ดีต่อสุขภาพของผู้บริโภคที่ต้องการ

คำสำคัญ : ฟีนอล, *Saccharomyces cerevisiae* สายพันธุ์ M-84, Hop , Malt, ข้าว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Abstract

This speial project is the study the brewing of different recipes use fermentation Lager-style beer, Using a mix of each different samples using malt and rice native (Thai jasmine rice) combined 150 g/L and put the 6 grams of hops, adjust the concentration of sugar in 8 ^{o}brix . The sample were fermented by bottom fermentations at control 10 ℃ for 14 days. Harvest and analysis the sample every 7 day . analysis by the volumetric ethanol by Gas Chromatography. sugar analysis using standard methods with Somogyi-Nelson, analysis Folin-Ciocalteu-phenol reagent method, analysis of yeast cells using hemacytometer , compare the quantity of phenol. Sensory by hedonic scale point 9 – sensory methods. To find the sample of each beer with the best antioxidants and alcohol. And it also takes advantage of native rice of the terrain. And get the health benefits of the desired consumer

Keywords : phenol, *Saccharomyces cerevisiae* M-84, Hop , Malt, rice

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยเล่มนี้จัดทำโดยนักศึกษาชั้นปีการศึกษาปีที่ 4 โดยมี ผศ.มงคล เพ็ญสายใจ อาจารย์ที่ปรึกษาที่คอยแนะนำวิธีการแนวทางของงานศึกษาวิจัย คอยทุ่มเทชี้แนะข้อปรับปรุงและแนวทางแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ จึงขอขอบคุณ ผศ.มงคล เพ็ญสายใจ อาจารย์ที่ปรึกษางานวิจัย

ขอขอบคุณคณะอาจารย์ที่เป็นทั้งที่ปรึกษาและคณะกรรมการทุกท่าน ผศ.วีนา ชูโชติ และ รศ.ดร.นวลพรรณ ณ ระนอง

ขอบคุณคณะวิทยาศาสตร์ที่ให้สถานที่ห้องปฏิบัติการและอำนวยความสะดวกเรื่องอุปกรณ์ต่างๆที่ใช้ในงานวิจัยครั้งนี้

ขอบคุณสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้ความช่วยเหลือให้ทุนสนับสนุนงานวิจัยการทดลองและข้อมูลต่างๆในงานวิจัย

เจษฎากร ปักโยธา
ชัชวัสส์ วิชิตนาค
ธนาคาร แก้วกูล
พฤหัส จาดบุญมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	V
สารบัญรูปภาพ	VI
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาของงานวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	2
1.3 ขอบข่ายของงานวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 ความหมายของเบียร์และประเภทของเบียร์	3
2.2 วัตถุดิบที่ใช้ในการทำเบียร์	4
2.3 ปัจจัยที่สำคัญต่อยีสต์ในการหมักแอลกอฮอล์	16
2.4 ขั้นตอนการผลิตเบียร์	19
2.5 องค์ประกอบทางเคมีของเบียร์	25
2.6 สารที่ก่อให้เกิดกลิ่นรสในเบียร์	27
2.7 จุลินทรีย์ที่ทำให้เบียร์เสีย	29
2.8 ลักษณะทางพันธุศาสตร์ข้าว	30
2.9 การจำแนกชนิดข้าว	31
2.10 โครงสร้างของเมล็ดข้าว	32
2.11 องค์ประกอบทางเคมีของข้าว	33
2.12 คุณสมบัติทางกายภาพของข้าว	37
2.13 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	39

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย 40
3.1 ฮ็อพและมอลต์ที่ใช้ 40
3.2 เชื้อจุลินทรีย์ที่ใช้ในการทดลอง 40
3.3 สารเคมี 40
3.4 อุปกรณ์ 40
3.5 เครื่องมือ 41
3.6 วิธีการทดลอง 42
บทที่ 4 ผลการวิจัยและอภิปรายผล 49
4.1 ตารางแสดงอักษรย่อและส่วนผสมของตัวอย่างเบียร์ 49
4.2 การศึกษาหาน้ำตาลมีผลต่อปริมาณแอลกอฮอล์ 50
4.3 การศึกษาหาปริมาณฟีนอลในข้าวและฮ็อพ 54
4.4 ผลการทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัส 58
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ 60
5.1 สรุปผลการวิจัย 61
เอกสารอ้างอิง 63
ภาคผนวก 66
ภาคผนวก ก การเตรียมสารและการวิเคราะห์ 68
ภาคผนวก ข ข้อมูลผลการวิเคราะห์ 71
ภาคผนวก ค ภาพประกอบที่เกี่ยวข้องกับการทดลอง 79

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1 : องค์ประกอบทางเคมีของดอกฮ็อพ 11

ตารางที่ 2 : แสดงผลอนุมูลต่างๆ ในน้ำที่มีต่อการทำเบียร์ 13

ตารางที่ 3 : ปฏิกิริยาเอนไซม์ในขั้นตอน mashing 20

ตารางที่ 4 : การจำแนกประเภทเบียร์เยอรมัน 25

ตารางที่ 5 : องค์ประกอบของเบียร์ 26

ตารางที่ 6 : แสดงลักษณะทางสัณฐานวิทยาของ sub-species ทั้ง 3 31

ตารางที่ 7 : ปริมาณอะไมโลสและอะไมโลแพคตินของแป้งแต่ละชนิด 34

ตารางที่ 8 : ขั้นตอนการทำมอลต์ 42

ตารางที่ 9 : ตารางแสดงคะแนนความชอบทางด้านประสาทสัมผัสของเบียร์ทั้ง 5 ตัวอย่าง 57

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

หน้า

ภาพที่ 1 :	มอลต์	4
ภาพที่ 2 :	ข้าวไรซ์เบอร์รี่	7
ภาพที่ 3 :	ข้าวหอมนิล	8
ภาพที่ 4 :	ข้าวสินเหล็ก	9
ภาพที่ 5 :	ฮ็อพ	12
ภาพที่ 6 :	แสดงส่วนต่างๆ ของดอกฮ็อพ	10
ภาพที่ 7 :	*Saccharomyces cervisiae* สายพันธุ์ M-84	15
ภาพที่ 8 :	กรรมวิธีการผลิตเบียร์	22
ภาพที่ 9 :	องค์ประกอบของเมล็ดข้าว	31
ภาพที่ 10 :	กราฟ	45
ภาพที่ 11 :	ปริมาณความเข้มข้นของน้ำตาล (1A) (แสดงในรูป mg/l) (1A) และปริมาณของเปอร์เซ็นต์แอลกอฮอล์ (1B) ในกระบวนการหมักด้วยยีสต์สายพันธุ์ M-84 อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียสในวันที่ 0	58
ภาพที่ 12 :	ปริมาณความเข้มข้นของน้ำตาล (2A) (แสดงในรูป mg/l) (2A) ปริมาณของเปอร์เซ็นต์แอลกอฮอล์ (2B) ในกระบวนการหมักด้วยยีสต์สายพันธุ์ M-84 อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียสในวันที่ 7	59
ภาพที่ 13 :	ปริมาณความเข้มข้นของน้ำตาล (3A) (แสดงในรูป mg/l) (3A) ปริมาณของเปอร์เซ็นต์แอลกอฮอล์ (3B) ในกระบวนการหมักด้วยยีสต์สายพันธุ์ M-84 อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียสในวันที่ 14	60
ภาพที่ 14 :	ปริมาณฟีนอลโดยรวม (แสดงในรูป GAE (mg/L)) ของเบียร์แต่ละชนิดที่แตกต่างกัน	62

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 15 : ปริมาณฟีนอลโดยรวม (แสดงในรูป GAE (mg/L))โดยมี vh เป็นตัวควบคุม และเปรียบเทียบค่าปริมาณฟีนอลเมื่อมีการใส่ส่วนผสมคือข้าวที่แตกต่างกัน คือข้าว หอมมะลิจังหวัดศรีสะเกษ และข้าวไรซ์เบอร์รี่ 63

ภาพที่ 16 : การเปรียบเทียบค่าปริมาณฟีนอล (แสดงในรูป GAE (mg/L)) ของตัวอย่างเบียร์ที่ใส่ ฮ็อพแตกต่างกัน 2 ชนิดคือ Hallertau Hersbrucker hop (h) และ Columbus hop (c) 64

ภาพที่ 17 : การเปรียบเทียบค่าปริมาณฟีนอล (แสดงในรูป GAE (mg/L)) ของตัวอย่างเบียร์ที่ใส่ ,มอลต์แตกต่างกัน 2 ชนิดคือ มอลต์เวียนนา (v) และ มอลต์พิชเนอร์ (p) 65

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

เบียร์เป็นเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ ซึ่งได้จากการหมักธัญพืช เช่น ข้าวจ้าว ข้าวบาร์เลย์ โดยนำข้าวบาร์เลย์มาเพาะจนงอก จะได้ข้าวมอลต์ (malt) ซึ่งเป็นแหล่งของเอนไซม์แอลฟาอะไมเลส ข้าวเป็นอาหารหลักของชาวเอเชีย โดยเฉพาะในประเทศไทยที่มีการเพาะปลูกข้าวเป็นหลัก ซึ่งองค์ประกอบของข้าวจะประกอบไปด้วย คาร์โบไฮเดรต น้ำตาลและใยอาหารเป็นหลัก ซึ่งสามารถนำมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ที่จะเพิ่มมูลค่าให้แก่ข้าว ได้แก่ น้ำนมข้าว สาโท เบียร์ เป็นต้น (หนึ่ง และคณะ, 2553) ตามปกติเบียร์มีเปอร์เซ็นต์แอลกอฮอล์ราว 2-6% กลิ่น รสของเบียร์มาจากมอลต์และดอกฮ็อพที่ผ่านการสกัดด้วยความร้อนและเอนไซม์ เรียกว่าบริววิ่ง (Brewing) จากนั้นจึงเติมเชื้อยีสต์ลงไป ยีสต์ที่ใช้หมักเบียร์มี 2 ประเภท ทำให้ได้เบียร์จัดอยู่ในประเภทที่แตกต่างกัน ได้แก่ บอททอมยีสต์ (bottom yeasts) หมายถึง ยีสต์ที่จมลงก้นถังหลังจากการหมักสิ้นสุดลงแล้ว (Fumi *et al.*, 2011) *เช่น S.cereviceae , S.carlsbergences* และ *S.uvarum* จะได้เบียร์สีเหลืองอำพัน เรียกว่าลาเกอร์เบียร์ (lager beer) โดยการหมักลาเกอร์เบียร์จะใช้อุณหภูมิต่ำกว่า 15 องศาเซลเซียส (Fumi *et al.*, 2011)

ในปัจจุบันคนเริ่มให้ความสนใจเกี่ยวกับการดูแลสุขภาพมากขึ้น เช่น การทานผักและผลไม้ซึ่งจะมีปริมาณของสารต้านอนุมูลอิสระอยู่สูง โดยสารต้านอนุมูลอิสระมีหลากหลายชนิด เช่น ฟีนอล มีการศึกษาพบว่าสามารถช่วยลดอัตราการเกิดโรคหัวใจได้ลดลง 20-25% และใช้ประโยชน์จากส่วนนี้ไปเป็นองค์ประกอบในการผลิตยา ซึ่งปริมาณฟีนอลที่พบในเบียร์แต่ละชนิดที่แตกต่างกันจะขึ้นอยู่กับความแตกต่างของสายพันธุ์ของมอลต์และตอกฮ็อพซึ่งมีผลต่อปริมาณฟีนอลในกระบวนการผลิตเบียร์ (Fumi *et al.*, 2011) ดังนั้นการศึกษานี้ได้ทำการทดสอบปริมาณของสารต้านอนุมูลอิสระในลาเกอร์เบียร์ที่ทำจากวัตถุดิบที่ต่างชนิดกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อทำการศึกษาความแตกต่างของปริมาณเอทานอลในข้าวต่างสายพันธุ์
2. เพื่อทำการศึกษาหาปริมาณสารประกอบฟีนอลหลังกระบวนการหมักเบียร์ข้าวเพื่อหาปริมาณของสารต้านอนุมูลอิสระของข้าวมอลต์ต่างสายพันธุ์และฮ็อพต่างสายพันธุ์

1.3 ขอบข่ายของงานวิจัย

1. การผลิตเบียร์จากมอลต์โดยการเติมแอดจั้งและฮ็อพที่ต่างชนิดกัน
2. หาปริมาณเอทานอลโดยวิเคราะห์โดยใช้เครื่อง Gas chromatography
3. หาปริมาณฟีนอลโดยใช้วิธี Folin-Ciocalteu reagent
4. หาปริมาณน้ำตาลโดยใช้วิธีการ Somogyi-Nelson Method

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทำให้ทราบถึงกระบวนการและขั้นตอนการดำเนินงานในการผลิตเบียร์ขั้นต้น ในปัจจุบัน
2. ทำให้ทราบถึงปริมาณฟีนอลที่เกิดขึ้นหลังจากขั้นตอนการผลิตเบียร์ที่ส่งผลต่อสารต้านอนุมูลอิสระ
3. ทำให้ทราบถึงปริมาณเอทานอลหลังจากกระบวนการหมักเบียร์ส่งผลต่อรสชาติมากน้อยเพียงใด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ความหมายของเบียร์และประเภทของเบียร์

เบียร์เป็นเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ที่ดื่มได้ง่ายเนื่องจากมีปริมาณแอลกอฮอล์ต่ำเพียง 5-7 เปอร์เซ็นต์และไม่ต้องพิถีพิถันเรื่องแก้วเพราะสามารถดื่มจากขวดหรือกระป๋องได้โดยตรง และไม่ต้องยุ่งยากเรื่องกับแกล้มเหมือนกับการดื่มไวน์ อีกทั้งราคาก็ถูกกว่า และมีให้เลือกดื่มได้หลายประเภทและหลายยี่ห้อ ดังนั้นการที่เราจะเลือกดื่มเบียร์เราควรรู้จักชนิดของเบียร์ก่อน ชนิดของเบียร์ แบ่งตามลักษณะการผลิตได้ 2 ชนิดคือ

1. เบียร์ขวดหรือเบียร์กระป๋อง (Bottle Beer and Canned Beer) เบียร์ประเภทนี้ผลิตได้ในหลายประเทศ และแต่ละประเทศก็มีหลายยี่ห้อ คุณภาพแต่ละยี่ห้อก็แตกต่างออกไป เบียร์ขวดหรือเบียร์กระป๋อง สามารถแบ่งได้ 5 ชนิดได้แก่

1.1 เอลเบียร์ (Ale Beer) เป็นเบียร์ที่ใช้ Top yeast ในการหมัก และหมักที่อุณหภูมิสูงประมาณ 15-22 องศาเซลเซียส เบียร์มีสีดำอ่อนรสขมและมีกลิ่นของข้าวมอลต์

1.2 พอร์เตอร์เบียร์ (Porter Beer) เป็นเอลเบียร์สีน้ำตาลเข้ม มีฟองมาก รสชาติหวาน มีกลิ่นฮ็อพน้อยกว่าเอลเบียร์ ลักษณะสีจะคล้ายเบียร์ชนิดสเตาต์ แต่รสชาตินุ่มกว่า สเตาต์

1.3 สเตาต์เบียร์ (Stout Beer) เป็นเอลเบียร์ที่มีสีดำเข้ม มีฟองคล้ายครีม มีกลิ่นฉุนของข้าวมอลต์และดอกฮ็อพรุนแรง แต่มีรสหวานกว่าเอลเบียร์

1.4 ลาเกอร์เบียร์(Lager Beer) เป็นเบียร์ที่ใช้ Bottom yeast ในการหมัก และหมักที่อุณหภูมิ 8-15 องศาเซลเซียส ลักษณะสีของเบียร์ไม่เข้มและมีการอัดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เข้าไปในขั้นตอนก่อนการบรรจุเบียร์ชนิดนี้ผลิตในประเทศสหรัฐอเมริกา และเบียร์ยี่ห้อสิงห์ที่ผลิตในประเทศไทยก็จัดอยู่ในกลุ่ม Lager beer นี้ด้วย

1.5 บอคเบียร์ (Bock Beer) เป็นลาเกอร์เบียร์ที่ผลิตจากแบลคมอลต์ ลักษณะเบียร์สีดำมีรสชาติเข้มข้นและมีรสหวานกว่าเบียร์ทั้ง 4 ชนิดข้างต้น

2. เบียร์สด (Draft Beer) เป็นเบียร์ที่ไม่ผ่านกระบวนการฆ่าเชื้อ (Pasteurization) นิยมบรรจุถังเวลาจำหน่ายและนิยมใช้ในงานเลี้ยง ตามร้านอาหาร สวนอาหาร หรือจัดเป็นสวนเบียร์มากกว่าที่ใช้เครื่องดื่มทั่วๆไป ความแตกต่างของเบียร์สดกับเบียร์กระป๋องหรือเบียร์ขวดอยู่ที่รสชาติ โดยเบียร์สด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะมีความมัน ความสดของเบียร์มากกว่า เบียร์ชนิดต่างๆดังกล่าวข้างต้นสามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ Ale Beer กับ Lager Beer ซึ่งแตกต่างทั้ง Strain ของยีสต์และอุณหภูมิที่ใช้หมัก จึงทำให้เบียร์ทั้งสองประเภทนี้มีคุณภาพแตกต่างกัน แต่อย่างไรก็ตามกระบวนการในการผลิตเบียร์ทั้งสองประเภทคล้ายๆ กัน

2.2 วัตถุดิบที่ใช้ในการทำเบียร์ (Raw material)

1. มอลต์ (Malt)

รูปที่ 2.1 มอลต์

ได้จากต้นกล้าของข้าวบาร์เลย์ ข้าวบาร์เลย์ที่นิยมใช้มี 2 ประเภท คือ ชนิดแรกมีรวงละ 2 แถวกับชนิดที่สองมีรวงละ 6 แถว โดยข้าวบาร์เลย์รวงละ 2 แถว มีโปรตีนต่ำกว่า ในการผลิตเบียร์นั้นโปรตีนเป็นเรื่องสำคัญมากที่ต้องมีอยู่ในปริมาณที่พอเหมาที่ยีสต์จะใช้เป็นอาหารได้ถ้ามีมากเกินไปจะทำให้เบียร์ขุ่น

การผลิตมอลต์หรือต้นกล้าบาร์เลย์เป็นเรื่องที่สำคัญเพราะมอลต์เป็นแหล่งของเอนไซม์หลายชนิด โดยเฉพาะเอนไซม์ที่ใช้ย่อยคาร์โบไฮเดรตและโปรตีน ขั้นตอนโดยสังเขป คือ หลังจากทำความสะอาดข้าวบาร์เลย์จะแช่ข้าวทิ้งไว้ประมาณ 2 วัน เพื่อให้ข้าวบาร์เลย์ดูดน้ำเต็มที่ จากนั้นรินน้ำทิ้งแล้วนำข้าวบาร์เลย์ไปเพาะในห้องเพาะต้นกล้าที่ควบคุมอุณหภูมิ 16-24 °C ความชื้นประมาณ 45% เป็นเวลา 3-4 วัน หรือมากกว่านั้นในระยะนี้ข้าวบาร์เลย์จะงอกและคลายความร้อนออกมา จึงมีการกลับเพื่อระบายความร้อนและคาร์บอนไดออกไซด์ ต้นกล้าจึงเจริญสม่ำเสมอ

ในขณะที่ทำการเพาะต้นกล้า จะมีการเปลี่ยนแปลงเอนไซม์ภายในต้นกล้าโดย แอลฟา-อะไมเลส จะเกิดขึ้นกับเบต้า-อะไมเลส จะเพิ่มปริมาณมากขึ้น เอนไซม์ทั้งสองชนิดนี้จะเปลี่ยนคาร์โบไฮเดรตไปเป็นน้ำตาล โปรติเอสจะเกิดขึ้น เอนไซม์นี้จะย่อยโปรตีนให้เป็นสารที่ละลายน้ำได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกจากนี้ไซเตส (Cytase) ซึ่งย่อยเพนโตแซนกัม (pentosangum) กับไฟเตส (phytase) ซึ่งย่อยสารประกอบและปล่อยอนุภาคอิสระฟอสเฟตกับอิโนซิทอล (inositol) ที่ช่วยในการเจริญของยีสต์จะถูกสร้างขึ้น

เมื่อต้นกล้าบาร์เลย์งอกได้ตามที่ต้องการแล้วจะอบแห้ง (kiln) เพื่อยับยั้งการเจริญของต้นกล้าต่อไป แต่เอนไซม์ยังคงมีประสิทธิภาพอยู่เช่นเดิม กรรมวิธีการอบต้นกล้านี้เป็นขั้นตอนอย่างหนึ่งเพราะจะมีผลต่อสีและกลิ่นของมอลต์ที่จะได้ออกมา ถ้าต้องการสีน้ำตาลอ่อนจะอบต้นกล้าที่ 80 °C เมื่อต้องการสีน้ำตาลไหม้ เช่น munich malt , roast malt และ caramel malt จะอบที่ 105°C ความชื้นของมอลต์ภายหลังการอบแห้งแล้วควรเหลือประมาณ 3-4% จากนั้นบดหยาบๆ เพื่อนำไปใช้ต่อไป

องค์ประกอบของมอลต์เพื่อคิดต่อน้ำหนักแห้งจะเป็น 59 % , น้ำตาล 10 % , เซลลูโลส 5% โปรตีน 10 %, ไขมัน 2.5 % และเถ้า 2 %

1.1 มอลต์แอดจังท์ (Malt Adjuncts)

เป็นสารคาร์โบไฮเดรตอื่นๆ ที่เติมลงไปเพื่อเจือจางโปรตีนของมอลต์และในขณะเดียวกัน จะเพิ่มปริมาณน้ำตาลซึ่งส่วนที่จะถูกเปลี่ยนไปเป็นแอลกอฮอล์ สารดังกล่าวอาจเป็นน้ำตาล น้ำเชื่อม ธัญพืช (ทั้งดิบหรือสุกก็ได้) เช่น ข้าวโพด ข้าวฟ่าง ข้าว ข้าวสาลี ข้าวบาร์เลย์ อาจใช้พืชหัว เช่น มัน สำปะหลังและมันฝรั่งก็ได้ หรืออาจใช้ถั่วเหลืองแทนก็ได้

1.2 ข้าวไทย (Rices)

ข้าว เป็นพืชอาหารหลักของโลก ประชากรมากกว่าครึ่งหนึ่งของประชากรโลกบริโภคข้าวเป็นอาหารหลัก แต่ละปีทั่วโลกต้องการข้าวอย่างน้อย 617 ล้านตัน ข้าวดังกล่าวได้จากพื้นที่ปลูกข้าวซึ่งกระจายอยู่ในทุกทวีป (ยกเว้นแอนตาร์คติก) คิดเป็นพื้นที่ประมาณ 958 ล้านไร่ โดยมีที่ประมาณร้อยละ 90 มีการผลิตและบริโภคในทวีปเอเชีย

ประเทศไทยรู้จักปลูกข้าวและบริโภคข้าวเป็นอาหารหลักมาไม่ต่ำกว่า 5000 ปีมาแล้วการที่ข้าวเป็นอาหารหลักของคนไทยมาเป็นระยะเวลานานนี้ ได้ก่อให้เกิดประเพณีและวัฒนธรรมเกี่ยวกับข้าวที่หลากหลายจนกลายเป็นส่วนหนึ่งของวัฒนธรรมไทยต่อเนื่องมาจนถึงปัจจุบัน ในแต่ละปีประเทศไทยมีพื้นที่ปลูกข้าวประมาณ 58 ล้านไร่ ผลผลิตรวมทั่วประเทศประมาณ 30 ล้านตัน ข้าวเปลือก โดยมีส่วนใช้บริโภคภายในประเทศ 21 ล้านตัน และส่งออกประมาณ 9 ล้านตัน นับว่าเป็นประเทศที่ที่ส่งออกข้าวเป็นอันดับหนึ่งของโลกในปัจจุบัน ประเทศไทยได้ชื่อว่าเป็นประเทศส่งออกข้าวที่สำคัญประเทศหนึ่งของโลก ข้าวไทยมีคุณภาพดี เป็นที่ต้องการของตลาดผู้บริโภคทั้งในและ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต่างประเทศ โดยมีเอกลักษณ์ คือ เมล็ดยาว เนื้อขาวใส ไม่เป็นท้องไข่ เปลือกบาง ปลอกบาง เนื้อข้าวมีมัน เมล็ดงามได้ส่วนไม่บิดเบี้ยว และคุณภาพการสีดี (สถาบันวิจัย, 2541)

อย่างไรก็ตาม เนื่องจากปัจจุบันวิถีชีวิตการทำนาของเกษตรกรได้เปลี่ยนแปลงไป มีการปลูกข้าวพันธุ์ผสมที่ให้ผลผลิตสูงและปลูกได้ตลอดปี การปรับเปลี่ยนพื้นที่เขตชลประทานเพื่อเพิ่มผลผลิตหรือใช้ประโยชน์ด้านอื่น รวมทั้งการนำเทคโนโลยีสมัยใหม่เข้ามาใช้ในการผลิตข้าว ทำให้ข้าวพันธุ์พื้นเมืองที่มีลักษณะดีด้านต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นคุณภาพความต้านทานต่อโรคและแมลงศัตรูข้าวหรือความทนทานต่อสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม สูญหายหรือลดลงไป ซึ่งเป็นเป็นเรื่องที่น่าห่วงใย และควรที่คนไทยควรตระหนักถึงคุณค่าและความสำคัญของพันธุ์ข้าว

ข้าว เป็นพืชตระกูลหญ้า จัดอยู่ในวงศ์ Poaceae หรือ Gramineae เป็นพืชใบเลี้ยงเดี่ยว ในสกุล *Oryza* มีระบบรากเป็นแบบรากฝอย ลำต้นมีรูปร่างเป็นทรงกระบอก ภายในกลวงประกอบด้วยลักษณะที่เป็นข้อและปล้อง มีตาอยู่ตามข้อ โดยปกติตาที่อยู่ตามข้อส่วนล่างบริเวณใต้ผิวดินหรือเหนือดินเล็กน้อยจะสามารถพัฒนาเป็นต้นใหม่ได้ ข้าวต้นหนึ่งๆ แตกหน่อได้ 5-15 หน่อ ใบข้าวมีลักษณะเรียวยาวเหมือนใบหญ้า มีกาบใบห่อหุ้มตาและลำต้นไว้ กาบใบและแผ่นใบเชื่อมต่อกันด้วยข้อต่อใบ ด้านบนของข้อต่อใบมีแผ่นบางๆ รูปสามเหลี่ยมปลายแหลม เรียกว่า ลิ้นใบ และด้านนอกของข้อต่อใบมีส่วนที่ยื่นออกมาคล้ายหางกระรอก เรียกว่า หูใบ ซึ่งเป็นลักษณะของข้าวที่แตกต่างจากพืชตระกูลหญ้าอื่นๆ ดอกของข้าวมีลักษณะเป็นช่อเกิดตรงส่วนปลายยอดสุดของลำต้นประกอบด้วย ดอกย่อย (spikelet) เป็นจำนวนมาก แต่ละดอกหลังจากผสมเกสรแล้วจะพัฒนาเป็นเมล็ดข้าว ซึ่งช่อดอกนี้ก็จะกลายเป็นรวงข้าว เมล็ดข้าวจะสุกแก่และเก็บเกี่ยวได้ภายในระยะเวลา 25-30 วัน หลังจากผสมเกสร เปลือกหุ้มเมล็ดข้าวมีสีแตกต่างกันตามพันธุ์ ตั้งแต่สีเหลืองอ่อนจนถึงสีเหลืองเข้ม สีฟาง ม่วงเข้ม หรือดำ ถ้าแกะเปลือกหุ้มเมล็ดออกจะได้เมล็ดข้าวที่เรียกว่า ข้าวกล้อง

พันธุ์ข้าวที่ใช้ปลูกในแต่ละพื้นที่นั้นมีวิวัฒนาการที่แตกต่างกันกันตลอดระยะเวลายาวนาน การใช้พันธุ์ข้าวของเกษตรกรจะเป็นไปตามสภาพภูมิศาสตร์ วัฒนธรรม วิถีชีวิต เศรษฐกิจ และสังคมพื้นที่นั้นๆ พันธุ์ข้าวที่นิยมนำมากินเพื่อบำรุงสุขภาพเพราะมีคุณค่าโภชนาการสูง ได้แก่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2.1 ข้าวไรซ์เบอร์รี่

รูปที่ 2.2 ข้าวไรซ์เบอร์รี่

ข้าวไรซ์เบอร์รี่เป็นข้าวที่ได้รับการคัดเลือกและพัฒนาจากข้าวเจ้าหอมนิล มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (พันธุ์พ่อ) กับข้าวขาวดอกมะลิ 105 สถาบันวิจัยข้าว (พันธุ์แม่) ลักษณะประจำพันธุ์ความสูงประมาณ 106 เซนติเมตร อายุการเก็บเกี่ยวประมาณ 130 วัน เมล็ดเรียวยาว สีม่วงดำ ข้าวไรซ์เบอร์รี่มีแร่ธาตุเหล็กและสารต้านอนุมูลอิสระสูง มีใยอาหารที่อยู่ในลำข้าวสูงจึงช่วยชะลอการดูดซึมน้ำตาล ทำให้ระดับน้ำตาลในเลือดขึ้นช้ากว่าการบริโภคข้าวกล้องและข้าวขาวขัดสีทั่วไป จึงเหมาะกับผู้ป่วยเบาหวาน มีสรรพคุณช่วยลดระดับไขมันและคอเลสเตอรอล ช่วยทำให้ระบบขับถ่ายทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น นักวิจัยจากมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์และมหาวิทยาลัยมหิดลได้ร่วมกันศึกษาผลของการรับประทานข้าวไรซ์เบอร์รี่ในผู้ป่วยเบาหวาน พบว่าสามารถช่วยคุมระดับน้ำตาลในเลือดได้ดีขึ้น เนื่องจากข้าวไรซ์เบอร์รี่มีดัชนีน้ำตาลต่ำกว่าข้าวขาวขัดสีพันธุ์เดียวกัน การกินอาหารที่มีค่าดัชนีน้ำตาลต่ำจะช่วยให้เซลล์ร่างกายใช้อินซูลินได้มีประสิทธิภาพมากขึ้น ดังนั้นเซลล์จะรับน้ำตาลในเลือดไปใช้พลังงานได้มากขึ้นทำให้ระดับน้ำตาลในเลือดลดต่ำลง ข้าวไรซ์เบอร์รี่จึงจัดเป็นทางเลือกใหม่เพื่อสุขภาพที่ดีในระยะยาว สำหรับผู้ป่วยโรงเบาหวานและผู้ที่ต้องการควบคุมน้ำหนัก นอกจากนี้น้ำมันรำข้าวไรซ์เบอร์รี่ยังมีสมบัติต้านอนุมูลอิสระที่ดี เหมาะสำหรับใช้ทำผลิตภัณฑ์อาหารเชิงบำบัด เช่น ผลิตภัณฑ์เสริมอาหารไฮเบอร์รี่ เป็นการสกัดจากรำข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่วิจัยและพัฒนาโดยศูนย์วิทยาสตร์ข้าว มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ร่วมกับสถาบันวิจัยโภชนาการ และคณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล ซึ่งผลิตภัณฑ์เสริมอาหารไฮเบอร์รี่มีคุณสมบัติช่วยชะลอการเพิ่มระดับน้ำตาลในเลือด ลดระดับคอเลสเตอรอล และยังมีโปรตีน ไขมันไม่อิ่มตัว ใยอาหาร วิตามินบี1 สารต้านอนุมูลอิสระชนิดต่างๆ ที่ช่วยลดโอกาสการเกิดมะเร็งลำไส้ มะเร็งเม็ดเลือดขาว และมะเร็งเต้านม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2.2 ข้าวหอมนิล

รูปที่ 2.3 ข้าวหอมนิล

ที่มา : http://www.greenshopcafe.com (18 เมษายน 2559)

ข้าวหอมนิล เป็นข้าวเจ้าสีดำ เมล็ดใส ที่ได้จากการคัดพันธุ์กลายของข้าวเหนี่ยวดำต้นเตี้ยจากจีน ลำต้นของข้าวหอมนิลสูงประมาณ 60-75 เซนติเมตร ใบและลำต้นมีสีเขียวปนม่วง ส่วนเมล็ดข้าวนั้นมีสีม่วงจนเกือบดำ ลักษณะเมล็ดเรียวยาว รสหวาน เนื้อนุ่มเหนียว เมื่อหุงสุกจะมีสีม่วงอ่อน ข้าวหอมนิลมีโภชนาการสูงเพราะประกอบด้วยโปรตีน แคลเซียม เหล็ก โพแทสเซียม สังกะสี และสารแอนตี้ออกซิเดชั่นสูง ในส่วนของเยื่อหุ้มเมล็ดที่เป็นสีม่วงเข้มประกอบไปด้วยสาร anthocyanin, proanthocyanidin, bioflavonoids และวิตามินอี ซึ่งเป็นสารต้านอนุมูลอิสระและสีผสมอาหารตามธรรมชาติ ในส่วนของรำและจมูกข้าว มีวิตามินอี วิตามินบี และกรดไขมันไม่อิ่มตัวสูง ในส่วนของรำมีน้ำมันรำข้าวเป็นองค์ประกอบซึ่งเป็นชนิด C18:1 และ C18:2 เหมือนกับน้ำมันที่ได้จากถั่วเหลืองและข้าวโพด นอกจากนี้ยังพบว่ามาสาร omega-3 และปริมาณเส้นใย digestible fiber สูงถึง 10% จากข้อมูลทางโภชนาการนับได้ว่าข้าวเจ้าหอมนิลเป็นข้าวที่มีศักยภาพในการนำมาแปรรูปทางอุตสาหกรรมอาหาร เช่น การผลิตผลิตภัณฑ์อาหารจากแป้งข้าวเจ้าหอมนิล รวมทั้งขนมขบเคี้ยวต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2.3 ข้าวสินเหล็ก

รูปที่ 2.4 ข้าวสินเหล็ก

ข้าวสินเหล็ก เป็นข้าวไทยที่ถูกพัฒนาพันธุ์ขึ้นมาใหม่ โดยมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ได้จากการผสมข้ามพันธุ์ระหว่างข้าวเจ้าหอมนิลกับข้าวขาวดอกมะลิ 105 เป็นข้าวสีขาวที่มีกลิ่นหอม รูปร่างเมล็ดเรียวยาว ไม่ไวต่อช่วงแสง มีค่าดัชนีต่ำถึงปานกลาง มีค่าอยู่ประมาณ 58 เกษตรกรสามารถปลูกได้ตลอดทั้งปี มีความต้านทานโรคไหม้ เมื่อนำมาทดลองบริโภคในกลุ่มผู้ป่วยเบาหวาน พบว่าการบริโภคข้าวกล้องสินเหล็ก ช่วยแก้ปัญหาเบาหวานได้ จากการวิจัยพบว่า ในกลุ่มผู้ป่วยโรคเบาหวานหากได้รับการบริโภคข้าวกล้องสินเหล็กแล้ว จะสามารถช่วยแก้ปัญหาเบาหวานได้ ทำให้สภาวะดื้อต่ออินซูลินลดลง และการทำงานของตับอ่อนดีขึ้นอย่างเห็นได้ชัด รวมทั้งทำให้ค่าเฉลี่ยของไตรกลีเซอไรด์ลดลงอีกด้วย และนอกจากนี้ข้าวสินเหล็กยังมีใยอาหารสูงมาก ร่างกายย่อยไม่ได้ ซึ่งเป็นข้อดีที่จะช่วยชะลอการดูดซึมน้ำตาลในระบบทางเดินอาหารจับกับน้ำดีและคอเลสเตอรอลในระบบทางเดินอาหารให้ขับออกจากร่างกาย เป็นการช่วยป้องกันอาการท้องผูก ริดสีดวงทวาร เหน็บชา มะเร็งเต้านม มะเร็งเม็ดเลือดขาว และมะเร็งลำไส้ ทั้งนี้ข้าวกล้องสินเหล็กยังมีธาตุเหล็ก สังกะสี วิตามินอี วิตามินบี 1 ใยอาหาร โฟเลต omega-3 gamma oryzanol และมีดัชนีน้ำตาลต่ำถึงปานกลางอีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ฮ็อพ (Hop)

รูปที่ 2.5 ฮ็อพ

วัตถุดิบจากพืชที่ทำเบียร์คือ ฮ็อพ คือ ฮ็อพให้รสชาติและกลิ่น มีรสขมจึงมีบทบาทสำคัญสำหรับการหมักเบียร์ ซึ่งในน้ำมันหอมระเหยของฮ็อพมีสารมากกว่า1000ชนิด ซึ่งสาร Terpene alcohols เป็นปัจจัยสำคัญในกลิ่นหอมของดอกฮ็อพ

มีชื่อวิทยาศาสตร์ ว่า *Humulus lupulus* ฮ็อพมีทั้งตัวผู้ตัวเมีย แต่ดอกฮ็อพที่นำมาใช้ในการทำเบียร์นั้นใช้ดอกตัวเมีย เนื่องจากยาง (resins) ลักษณะสีเหลืองอยู่มากโดยเฉพาะที่โคนกลีบดอก ยางนี้เองที่จะเป็นตัวให้กลิ่นรส โดยเฉพาะรสขมของเบียร์ ยางของดอกฮ็อพแบ่งออกได้ 3 พวก ได้แก่ แอลฟา, เบต้า และ แกมมา ซึ่งยางเหล่านี้มีสารประกอบทางเคมีอื่นๆ ที่สำคัญ เช่น humulone , lupulone และ cohumolone ส่วนน้ำมันหอมระเหยที่ให้กลิ่นของดอกฮ็อพ ได้แก่ myrene , linalool , geraniol และ humulone เป็นต้น ยังมีสารแทนนิน อีก 2 ชนิด คือ pyrogallot tannin และ catccho tannin ซึ่งแทนนินเหล่านี้จะช่วยตกตะกอนโปรตีนที่ไม่คงตัวระหว่างต้มเวิร์ต

กลิ่นและรสในเบียร์เกิดจากดอกฮ็อพเป็นสำคัญ ซึ่งเป็นตัวให้รสขมและกลิ่นหอม โดยใช้ดอกฮ็อพตัวเมียที่ทำการเก็บเกี่ยวในช่วงเดือนสิงหาคมถึงเดือนกันยายนมาตากให้แห้งให้ความชื้นลดลงเหลือร้อยละ 9-10 แล้วอัดให้เป็นก้อนสี่เหลี่ยม (balls) ขนาด 1 ลูกบาศก์เมตร หรือนำมาบดเป็นผงแล้วอัดเป็นเม็ดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 4.5-6 มิลลิเมตร ยาว 4-6 มิลลิเมตร เรียกว่า “Hop pellet” หรือนำดอกฮ็อพมาสกัดเอาสาร iso-α-acid ออกมาเรียกว่า “Hop extract” ซึ่งดอกฮ็อพตัวเมีย (cone) จะมีต่อม lupulim ในต่อมนี้มีสารที่สำคัญ ได้แก่ α-acid , β- acid และ essential oil แต่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในจำนวนนี้ตัวที่สำคัญคือ α-acid และจะถูก isomerization ในขั้นตอนการต้ม เป็น iso-α-acid ซึ่งจะให้ความขมในเบียร์ ประมาณร้อยละ 85-90 ส่วนความขมจาก β- acid มีเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ส่วนสารระเหยต่างๆ ในดอกฮ็อพจะสูญเสียไปในขั้นตอนการต้ม แต่อย่างไรก็ตามในอุตสาหกรรมเบียร์ จะหลีกเลี่ยงโดยการเติม Bitter hop ในช่วงแรกของการต้ม และเติม Aroma hop ในช่วงท้ายของการต้ม iso-α-acid ไม่เพียงแต่เป็นตัวให้รสขมเท่านั้นยังเป็นตัวทำปฏิกิริยากับโปรตีน ทำให้เกิดฟองเบียร์ได้อีกด้วย

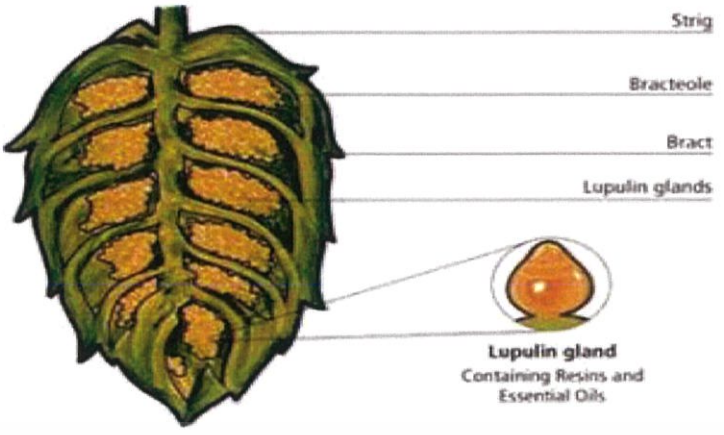
นอกจากนี้กลิ่นและรสของเบียร์ยังเกิดจากปฏิกิริยาเคมีในระหว่างกระบวนการหมักและการบ่ม กลิ่นที่สำคัญ เช่น เอสเทอร์ (Ester) ไดอะเซทติล (Diacetyl) อะซิโทอีน (Acetoin) และสารประกอบจำพวกซัลเฟอร์ ซึ่งเกิดจากเอสเทอร์ ที่อาจเกิดจากการทำปฏิกิริยาระหว่างอะซิติกและแอลกอฮอล์ หรืออาจเกิดจากการทำงานของ เอนไซม์คาตาเลส (Catalase) หรืออาจเกิดจากการทำงานของเอนไซม์เอนโดเอสเทอร์เรส (Endo-esterase) ภายในเซลล์แล้วขับออกสู่ภายนอก

ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบทางเคมีของดอกฮ็อพ

องค์ประกอบ	ร้อยละ
Water	10
Total resin	15
Essential oil	0.5
Tannins	4.0
Monosaccharides	2.0
Pectin	2.0
Amino acid	0.1
Proteins	15.0
Lipid and Wax	3.0
Ash	8.0
Cellulose, lignin	40.4
Total	100

ที่มา : (จันทนี, 2549)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 แสดงส่วนต่างๆ ของดอกฮ็อพ

ที่มา : http://byo.com/stories (7 มกราคม 2560)

3. น้ำ (water)

น้ำจัดเป็นองค์ประกอบหลักที่สำคัญของการผลิตเบียร์ โดยเป็นองค์ประกอบหลักกว่า 90% ของเบียร์ โดยคุณภาพของน้ำจะส่งผลให้คุณภาพ และวัตถุประสงค์ของการเลือกผลิตชนิดของเบียร์แตกต่าง กันออกไป ดังเช่น น้ำกระด้างที่มีปริมาณแคลเซียม และซัลเฟตสูง นิยมให้ผลผลิตเบียร์ประเภท Pale หรือ น้ำที่มีคาร์บอเนตสูง เหมาะสำหรับผลิตเบียร์ดำ หรือ Lager ส่วนแร่ธาตุอื่น ๆ ในน้ำที่มีผลต่อคุณภาพของ เบียร์ ได้แก่ แคลเซียมอิออน จะทำปฏิกิริยากับสารกลุ่มฟอสเฟต ทำให้เกิดเป็นตะกอน และการปลดปล่อยไฮโดรเจนอิออน ทำให้ค่า pH ต่ำลงส่งผลต่อประสิทธิภาพการทำงานของเอนไซม์ อะไมเลส, บีตาอะไมเลส และกลุ่มโปรติโอไลติก เอนไซม์แมกนิเซียมอิออน มีผลต่อกระบวนการเมตาโบลิซึมของยีสต์ที่ใช้ หมักโซเดียมอิออนมีผลต่อการส่งเสริมความหวานของเบียร์ (ณัฐพร, 2556)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 แสดงผลอนุมูลต่างๆ ในน้ำที่มีต่อการทำเบียร์

อนุมล	ผล
ไฮโดรเจน (H^+)	มีผลต่อความเป็นกรด-ด่างของน้ำ
ไฮดรอกไซด์ (OH^-)	
แคลเซียม (Ca^{2+})	มีความสำคัญต่อความกระด้างของน้ำ อนุมูลแคลเซียม จะทำให้ฟอสเฟตในเวิร์ตตกตะกอนทำให้ความเป็นกรด-ด่างลดลง อนุมูลแคลเซียมจะช่วยความคงตัวของเอนไซม์แอลฟาอะไมเลส เพิ่มเอลฟา-อะมิโนไนโตรเจน ช่วยตกตะกอนยีสต์และสารแขวนลอย ต่างๆ ช่วยตกตะกอนออกวาเลต (Oxalate) ลดการสกัดสีและสารให้ รสฝาด รวมทั้งสารประกอบพวกวิลิเกต
แมกนีเซียม (Mg^{2+})	มักจะมีไม่เกิน 30 มิลลิกรัม/ลิตร มีความสำคัญในแง่ของที่เป็นโคแฟค เตอร์ของเอนไซม์บางตัว เช่น ไพรูเวทดีคาร์บอกซิเลส (pyruvate Decarboxylate) ถ้าหากปริมาณของแคลเซียมไม่มากพอ เกลือ แมกนีเซียมจะก่อให้เกิดรสฝาด (astringent bitterness) แก่เบียร์
โซเดียม (Na^+)	ไม่ค่อยพบในปริมาณสูงๆ อนุมูลโซเดียมจะให้รสเปรี้ยวและเค็ม ถ้าอยู่
โพแทสเซียม (K^+)	ในรูปเกลือคลอไรด์จะดีกว่าอยู่รูปของซัลเฟต ถ้ามีเกลือ 75-100 ppm จะรับรสเค็มได้ ส่วนอนุมูลโปแตสเซียมจะให้รสเค็มเช่นกันแต่ ถ้ามีมากกว่า 10 มิลลิกรัม/ลิตร จะยับยั้งการทำงานของเอนไซม์บางตัว เหล็ก
(Fe^{2+} หรือ Fe^{3+})	มักพบในปริมาณมีต่ำมากจนถึง 30 มิลลิกรัม/ลิตร อยู่ในรูปไบ คาร์บอเนต อาจอยู่ในรูปสารประกอบเชิงซ้อนกับสารอินทรีย์ ทำให้ เกิดเมือกในท่อและทำให้ยีสต์อ่อนแอ แม้จะอยู่ในปริมาณต่ำเพียง 1 มิลลิกรัม/ลิตร ถ้ามีในปริมาณขนาดนี้จะทำให้เกิดการออกซิเดชั่นของ แทนนินในเบียร์แล้วเกิดขุ่น (haze) สามารถขจัดออกได้ง่ายในรูปของ เหล็กไฮดรอกไซม์ โดยพ่นอากาศแล้วตามด้วยการกรองทราย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

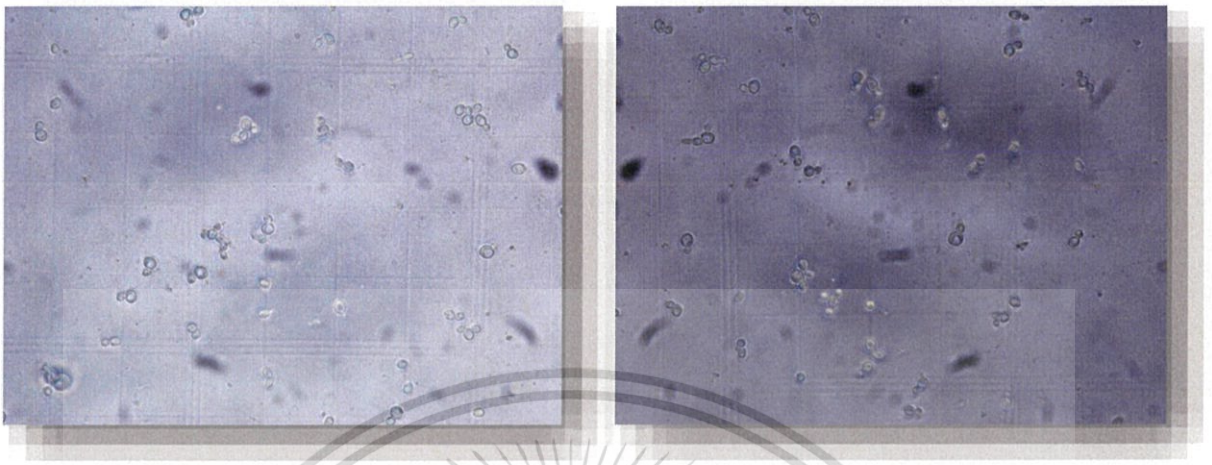
ตารางที่ 2.2 แสดงผลอนุมูลต่างๆ ในน้ำที่มีต่อการทำเบียร์

อนุมล	ผล
แมงกานีส (Mn^{2+})	มีอยู่ในมอล์ทต่ำมาก เป็นโคแฟคเตอร์ของเอนไซม์บางตัวของยีสต์ตา ต้องมีปริมาณต่ำกว่า 0.2 มก./ลิตร
ตะกั่ว (Pb^{2+})	มีแนวโน้มทำให้เกิดความขุ่น และยับยั้งการทำงานของเอนไซม์บางตัว
ดีบุก (Sn^{2+})	
ไททาเนียม (Ti^{2+})	
ทองแดง (Cu^{2+})	การพ่นอนุมูลทองแดงลงบนดอกฮ็อพเป็นแหล่งที่มีอนุมูลตัวนี้มี ผลทำให้ยีสต์ผ่าเหล่าและสะสมภายในเซลล์ ตลอดจนทำให้เบียร์ขุ่น
สังกะสี (Zn^{2+})	ในปริมาณสูงๆจะเป็นพิษต่อยีสต์และยับยั้งการทำงานของเอนไซม์บาง ชนิด แต่อยู่ในปริมาณ 0.1-0.2 มก./ลิตร จะกระตุ้นยีสต์ เติมลงไป ในเวิร์ทในรูปของสังกะสีคลอไรด์ ($ZnCl^{2}$)
ไบคาร์บอเนต(HCo^{3+})	สลายตัวเมื่อโดนความร้อน ถ้ามากจะทำให้ความเป็นกรด-ด่างสูง และ มีผลต่อกลิ่นรสของเบียร์ ไม่ควรมีเกิน 50 มก./ลิตร
ซัลเฟต(SO_4^{2-})	มีผลทำให้เบียร์มีรสขมยิ่งขึ้น เป็นแหล่งของซัลเฟอร์ไดออกไซด์กับ ไฮโดรเจนซัลไฟด์ในขณะทำการหมัก
คลอไรด์(Cl^{-})	ทำให้เกิดกลิ่นรสในปาก จำกัดขีดการตกตะกอนของยีสต์ ปรับปรุง การทำใสและความคงตัวของคอลลอยด์
ซิลิเกต(SiO^{3-})	มักรวมกับอนุมูลแคลเซียมหรือแมกนีเซียมเกิดตะกรัน ทำให้เบียร์ขุ่น

ที่มา: (จันทนี, 2549)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ยีสต์ (Yeast)



รูปที่ 2.7 *Saccharomyces cervisiae* สายพันธุ์ M-84

ยีสต์ที่ใช้ในการผลิตเบียร์ (Brewer's yeast)

ได้รวบรวมและอธิบายลักษณะที่สำคัญของยีสต์ที่ใช้ในการผลิตเบียร์ที่เรียกว่าบริวเวอร์ยีสต์ (Brewer's yeast) ไว้ดังต่อไปนี้

1. ใช้น้ำตาลได้หลายชนิด

2. ผลิตเอธานอลและทนต่อเอธานอล (Ethanol tolerance)

3. ให้กลิ่นหอม (Aroma)

4. ให้กลิ่นรสเฉพาะ (Flavor)

5. มีความสามารถในการตกตะกอน (Flocculation)

6. มีอัตราการหมักสูง

7. มีความคงตัวทางพันธุกรรม

ยีสต์ที่ใช้สำหรับการผลิตเบียร์ที่สำคัญมี 2 ชนิด

ตามความแตกต่างของการหมักคือ top-fermentation yeast และ bottom-fermentation yeast ซึ่งให้เป็นหลักจำแนกชนิดของเบียร์อย่างหนึ่งตามชนิดของ ยีสต์ Top-fermentation yeast

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คือ *Saccharomyces cerevisiae* การที่ตะกอนของยีสต์ ลอยอยู่ด้านบนของน้ำหมัก (Media) เนื่องจากขณะเกิดการหมักอยู่นั้น จะเกิดการหมักแบบรุนแรงโดย เกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์อย่างรวดเร็ว และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะไปดันเซลล์ของยีสต์ให้ ลอยขึ้นไปยังด้านบนของถังหมักโดยปกติการหมักโดย top yeast จะอยู่ที่อุณหภูมิประมาณ 14-23 องศาเซลเซียส การหมักจะเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ภายในเวลา 5-7 วันเมื่อหมักเสร็จจะถูกนำไปบ่ม ที่ 4-8 องศาเซลเซียส มีการใส่ดอกฮ็อพ มากและมีความเข้มข้นของแอลกอฮอล์ประมาณ ร้อยละ 6-7 Bottom-fermentation yeast คือ *Saccharomyces uvarum* ซึ่งแต่ก่อนจะใช้ *Saccharomyces carlbergenesis* แต่เนื่องจากว่ามันเป็นยีสต์ที่เกิดการกลายพันธุ์เป็นยีสต์ที่ไม่ตกตะกอนได้จึงนิยมใช้ยีสต์สายพันธุ์ *Saccharomyces uvarum* มากกว่าเพราะมีความคงตัวทางด้านสายพันธุ์มากกว่า โดยในขณะทำการหมักนั้นจะมีการกระจายตัวของเซลล์ยีสต์ทั่วไปในถังหมักแต่เมื่อการหมักสิ้นสุดลงเซลล์ยีสต์จะตกตะกอนลงมาสู่ด้านล่างของถังหมัก โดยการหมักของยีสต์ชนิดนี้ จะหมักสมบูรณ์ภายในระยะเวลา 8-14 วันที่อุณภูมิ 6-12 องศาเซลเซียสและจะถูกเก็บไว้ในอุณหภูมต่ำ ประมาณ 1 องศาเซลเซียส (แวววลี และคณะ 2547)

2.3 ปัจจัยที่สำคัญต่อยีสต์ในการหมักแอลกอฮอล์ (จันทนี, 2549)

การทำให้ยีสต์เจริญและหมักแอลกอฮอล์ให้ได้ดีที่สุด ปัจจัยที่สำคัญเกี่ยวกับการเจริญของยีสต์ คือ ธาตุอาหาร เกลือแร่ วิตามิน อุณหภูมิ พีเอช ความเข้มข้นของน้ำตาล และสารบางอย่างที่มีผลต่อการเจริญของยีสต์

2.3.1 ผลของธาตุอาหาร เกลือแร่ และ วิตามินต่อการหมัก

เมื่อพิจารณาถึงผลของธาตุอาหารแต่ละชนิดการเจริญของยีสต์ สามารถแยกออกเป็น ดังนี้

1. ไนโตรเจน ยีสต์มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบประมาณ 10% ของน้ำหนัก โดยทั่วไปยีสต์สามารถใช้ ammonium ion เป็นแหล่งไนโตรเจนได้ แต่ในยีสต์บางชนิดต้องการกรดอะมิโนที่เฉพาะเท่านั้น เพราะ กรดอะมิโนดังกล่าวช่วยควบคุมการทำงานของ glycolysis pathway อย่างไรก็ตามอันที่จริงในตัวยีสต์ประกอบด้วย purine, pyrimidines และ กรดอะมิโน ดังนั้น จึงน่าจะใช้ตัวยีสต์เองเป็นแหล่ง amino-nitrogen ในการนำน้ำกากส่าหรือ stillage กลับมาใช้ละลายกากน้ำตาล(ประมาณ10-30%)เรียกขบวนการนี้ว่า 'Slopping back' ซึ่งนอกจากจะได้ธาตุอาหารแล้ว ยังช่วยเพิ่ม buffering capacity และลดปริมาณน้ำที่ต้องการใช้ รวมทั้งเป็นการกำจัดน้ำกากส่าทิ้งไปในตัวด้วยหรือโดยการนำเอาเซลล์ยีสตที่ย่อยสลาย (lysed yeast cell) กลับมาใช้ใหม่ (recycle)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แหล่งไนโตรเจนที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมหมักแอลกอฮอล์ นิยมใช้เกลือแอมโมเนียมฟอสเฟต เป็นส่วนใหญ่

2. ฟอสฟอรัส โดยมากใช้รูปเกลือฟอสเฟต ในอัตราประมาณ 0.6 mM มีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของเซลล์ เพราะควบคุมการสังเคราะห์ไขมัน และคาร์โบไฮเดรต และรักษาสภาพของผนังเซลล์ดังนั้นฟอสเฟตจึงเป็น ionic factor ที่สำคัญที่สุดในการหาอัตราการหมัก (rate of fermentation)

3. ซัลเฟอร์ ยีสต์มีซัลเฟอร์เป็นองค์ประกอบประมาณ 0.4% ของน้ำหนักแห้งโดยอยู่ในเมไทโอนิน (methionine ,amino acid) แต่เนื่องจากเมไทโอนินมีราคาแพง ดังนั้นในอุตสาหกรรมจึงใช้เกลือแอมโมเนียมซัลเฟตแทน

4. แร่ธาตุต่างๆ (Trace element) แร่ธาตุมีความสำคัญต่อการเจริญและการหมักของยีสต์แบ่งออกได้ 3 พวก ได้แก่

4.1) macroelement ได้แก่ K,Mg,Ca,Zn,Fe,Mn,Cl ยีสต์ต้องการ 0.1-1mM และแร่ธาตุพวกนี้เข้าไปในเซลล์ยีสต์โดยอาศัย facilitated diffusion

4.2) micro ได้แก่ Co,B,Cd,Cr ยีสต์ต้องการในระดับ 0.1 100 μM

4.3) inhibitor ได้แก่ Ag,As,Bd,Hg,Ni,Os,Pd,Se ถ้ามีในระดับความเข้มข้นสูงกว่า 10-100μM จะมีผลยับยั้งการเจริญเติบโตและการหมักของยีสต์

2.3.2 ผลของอุณหภูมิ

สาเหตุที่อุณหภูมิในระหว่างการหมักเพิ่มขึ้นจากกิจกรรมของยีสต์ กล่าวคือในการหมักแอลกอฮอล์จากน้ำตาลกลูโคสจะเกิดความร้อน 149.5 แคลอรี่กรัมซูโครส หรือ กรณีน้ำตาลกลูโคสจะเกิดพลังงานความร้อนจากการหมัก 140.2 แคลอรี่ต่อกรัมซูโครส

อุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการหมัก โดยปกติอยู่ในช่วง 30-35°c และทนไปได้ถึง 37°c ถ้าสูงขึ้นไปถึง 40°c ส่วนใหญ่แล้วจะชงักการเจริญ แต่ในสภาพที่มีแอลกอฮอล์หรือเอนานอล ผลิตออกมาแล้วจะมีผลทำให้อุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญและการหมักเปลี่ยนแปลงไปทั้งนี้ขึ้นกับปริมาณเอทานอลเป็นสำคัญ รวมถึงสายพันธ์ของยีสต์ด้วย ดังนี้คือ

1. ในกรณีที่มีเอทานอล 4.6% จะทำให้อุณหภูมิที่เหมาะสมในการหมักของยีสต์ *Saccharomyces cervisiae* สายพันธุ์ M-84 ลดลงจาก 38°C เป็น 32°C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ใน *Saccharomyces cervisiae* สายพันธุ์หนึ่ง ถ้ามีเอทานอล 7.5% และ 9.5% จะทำให้การหมักหยุดที่ อุณหภูมิ 27° C และ 9°C ตามลำดับ
3. ใน rapid batch fermentation ที่ได้เอทานอล 9.5 % จะทำให้ยีสต์มีอัตราการรอดชีวิตลดลงอย่างมีนัยสำคัญที่อุณหภูมิสูงกว่า 20-25 °C
4. ในกรณีของ “sake” Yeast (highly ethanol toletant) ที่ความเข้มข้นเอทานอลระหว่าง 10% และ 19% อัตราการผลิตเอทานอลจะลดลงเมื่ออุณหภูมิสูง

2.3.3 ผลของพีเอชต่อการหมัก

ยีสต์และราชอบเจริญในสภาพที่เป็นกรดพอสมควร คือ ในระดับ 3.8-5.5 ดังนั้นในการหมักจึงนิยมปรับให้พีเอชในช่วง 4-4.5 ทั้งนี้นอกจากยีสต์จะเจริญได้ดีที่ระดับพีเอชดังกล่าวแล้วช่วยยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียส่วนใหญ่ได้ด้วย เพราะแบคทีเรียทั่วไปชอบเจริญในสภาพพีเอชเป็นกลาง แต่ก็มีแบคทีเรียบางชนิด โดยเฉพาะแบคทีเรียที่สร้างกรดแลคติกที่เจริญได้ดีในระดับพีเอชที่ยีสต์เจริญและจะสร้างกรดขึ้นมามากเกินไปจนยีสต์ทนไม่ได้ ปกติจะใช้กรดซัลฟิวริกในการปรับพีเอช การปรับพีเอชจะช่วยลดระยะเวลาการต้มให้ความร้อนแก่ถังหมักเพื่อฆ่าเชื้อเพราะความร้อนที่อุณหภูมิเท่ากันจะฆ่าแบคทีเรียในอาหารที่มีสภาพเป็นกรดได้มากกว่าในสภาพที่เป็นกลางโดยปกติจะต้มฆ่าเชื้อในถังเตรียมกล้าเชื้อปรับพีเอช ลงมาแล้วให้เป็น 4-4.5 ใช้อุณหภูมิ 65-70°C ประมาณ 15 นาที

การติดตามวัดค่าพีเอชในช่วงการหมักนับว่าจำเป็น บ่อยครั้งปัญหาที่เกิดขึ้นสามารถคะเนได้ โดยการสังเกตอุณหภูมิของถังหมักที่ขึ้นไปควบคู่กับการที่มีเอช

ลดลงรวดเร็วผิดปกติ โดยที่แอลกอฮอล์ไม่เพิ่มขึ้น สามารถแก้ปัญหาโดยการสูบถ่ายไปปนกับถังอื่นที่หมักได้ดีมีแอลกอฮอล์สูงกว่า 5% แล้ว และเติมกล้ายีสต์เพิ่มอีกทางหนึ่งด้วย

2.3.4 ผลของความเข้มข้นของน้ำตาล

สามารถทราบปริมาณแอลกอฮอล์ที่ควรจะหมักได้ เมื่อทราบความเข้มข้นของน้ำหมัก โดยปกติจะใช้ค่าเปอร์เซ็นต์น้ำตาลคูณด้วย 0.55

2.3.5 ผลของความเข้มข้นเอทานอล

ถ้าเอทานอลที่ได้มีความเข้มข้นสูงขึ้น อัตราการเจริญเติบโตของยีสต์จะลดลง ซึ่งจะทำให้อัตราการหมักลดลงไปด้วยทั้งนี้เนื่องจากเอทานอลไปมีผลต่อเอนไซม์ และสรีรวิทยา ในกรณีแรกเอทานอลจะมีผลต่อการทำงานของเอนไซม์แอลกอฮอล์ดีไฮโรจีเนส (Alcohol dehydrogenase)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และเฮกโซไคเนส (Hexokinase) ในกรณีหลังมีผลต่อเมมเบรนของเซลล์ยีสต์ กล่าวคืออาจมีการทำลาย หรือทำให้เมมเบรนเปลี่ยนแปลงไป

2.4 ขั้นตอนการผลิตเบียร์

ปกติมอลต์ประกอบด้วยสารที่ละลายน้ำได้ประมาณ 19% ที่เหลือเป็นส่วนประกอบที่ไม่ละลายน้ำในการผลิตเบียร์จำเป็นต้องสกัดมอลต์ให้ได้อย่างสมบูรณ์ในระยะเวลาสั้นและไม่สิ้นเปลืองค่าใช่จ่าย กรรมวิธีการผลิตเบียร์มีรายละเอียดดังนี้

2.4.1 การบดข้าวมอลต์ (milling) วิธีการบดมีสองแบบคือ การบดแห้งและการบดเปียกในการบดแห้งจะมีการเพิ่มความชื้นให้กับมอลต์ด้วยไอน้ำหรือน้ำเล็กน้อย ก่อนที่จะเริ่มทำการบด แต่ในการบดเปียกจะต้องแช่มอลต์ก่อนที่จะลด ซึ่งจะทำให้เปลือกเมล็ดยังคงเหลือติดอยู่เพื่อช่วยในการกรอง หลังจากนั้นขั้นตอนของการ mashing จึงเป็นเหตุผลที่ไม่ทำการบดมอลต์ให้เป็นแป้ง ถึงแม้ว่าจะช่วยทำให้การสกัดเกิดขึ้นได้ดีกว่าก็ตาม

2.4.2 การต้มข้าวมอลต์ (mashing) มีวัตถุประสงค์เพื่อสกัดสารละลายที่ละลายได้จากมอลต์ได้เป็นสารละลายสกัดที่เรียกว่า wort ปัจจัยที่ควบคุมขั้นตอน mashing คือ ระยะเวลาอุณหภูมิ และความเข้มข้นของมอลต์ มีปฏิกิริยาเอนไซม์ที่สำคัญ 4 ประการ เกิดขึ้นในระหว่างขั้นตอน mashing คือการย่อยสลายของบีต้ากลูแคน โปรตีน แป้ง และการเกิดน้ำตาลมอลโตส (ตารางที่ 2.3)

ปกติอุณหภูมิที่เหมาะต่อการทำงานของแอลฟาและบีต้าอะไมเลส คือ 10-15°C ซึ่งต่ำกว่าที่แสดงไว้ในตารางที่4 ในขั้นตอนของเจลลาทิไนเซชั่นอุณหภูมิเท่ากับ 60-70°C อุณหภูมิของ mashing ขึ้นอยู่กับชนิดของเบียร์การผลิตโดยทั่วไปใช้อุณหภูมิที่ 40-50 °C ส่วนการปรับ pH กระทำโดยดำเนินการในขั้นตอนของการเตรียมน้ำที่เหมาะสมหรือโดยการเติม Sour malt หรือ wort เปรี้ยวที่เกิดจากแบคทีเรีย กรดแลกติค เป็นต้น ในขั้นตอนของ mashing จะมีอุณหภูมิเป็นลำดับซึ่งจะช่วยประหยัดการสิ้นเปลืองพลังงานและทำให้เบียร์ที่ผลิตได้มีสีไม่เข้มแต่ก็มีแต่ข้อเสียคือ มีผลได้ของการสกัดต่ำ มีการสูญเสียสารให้ความเข้มสูง และทำให้เบียร์มีเสถียรภาพของคอลลอยด์ต่ำ สำหรับเวสเซลล์ทรงกลมที่ใช้ในขั้นตอน mashing ทำมาจากทองแดงหรือเหล็ก สแตนเลสที่มีพื้นที่ผิวให้ความร้อนและมีระบบการกวน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.3 ปฏิกิริยาเอนไซม์ในขั้นตอน mashing

ความเป็นกรด-ด่าง (pH)	อุณหภูมิ (°C)	ลักษณะของปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น	เอนไซม์ที่เกี่ยวข้อง
4.8-5.0	40-50	การย่อยสลายกัมม์	กลูคาเนส
4.5-4.7	50-60	การเกิดผลิตภัณฑ์จากการย่อยสลายโปรตีน	โปรตีโอไลติก
5.3	60-64	การเกิดมอลโตส	บีตาอะไมเลส
5.8	70-74	การย่อยสลายแป้ง	แอลฟาอะไมเลส

ที่มา : (จันทนี, 2549)

2.4.3 **การกรอง wort** (lautering) เป็นขั้นตอนการกรองเอากากของแข็งออกจาก wort ที่สกัดได้จากมอลต์ ซึ่งจะได้เป็นส่วนของ wort ใส โดยชั้นของกากเหลือทิ้งของมอลต์จะทำหน้าที่ช่วยในการกรอง ในด้านเทคนิคระบบการกรองที่ใช้อยู่มี 2 แบบ คือ

- lauter tun มีลักษณะเป็นเวสเซลทรงกระบอกที่มีก้นแบนหรือเอียงเล็กน้อย ถัดขึ้นมาจะเป็นส่วนของตะแกรงเพื่อรองรับชั้นกากของแข็ง ส่วนของ wort ใสที่ไหลผ่านจะถูกรวบรวมและส่งผ่านท่อไปสู่หม้อต้มเวิร์ตต่อไป ในระหว่างการกรองจะมีการคลายชั้นกากของแข็งให้หลวมด้วยใบมีดเป็นระยะ เมื่อสิ้นสุดการกรองเวิร์ตชุดแรก ก็จะมีการเติมน้ำร้อนเพื่อไล่เวิร์ตที่ตกค้างอยู่ในชั้นกรองของแข็ง

- mash filter เป็นเครื่องกรองชนิด Frame filter ที่ประกอบด้วยแผ่นกรองที่ทำด้วย พอลิโพรพิลีน หลังจากขั้นตอน mashing แล้วเวิร์ตที่ได้จะดูดผ่านเครื่องกรองด้วยความดันต่ำ จนกระทั่งเวิร์ตที่ต้องการกรองหมดไป จึงจะทำการชะล้างเวิร์ตที่ติดค้างอยู่ในเครื่องกรองด้วยน้ำร้อนอีกครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.4 **ต้มเวิร์ต** มีวัตถุประสงค์ดังนี้

1.เพื่อละลายและไอโซเมอไรซ์สารขม ระยะเวลาที่เหมาะสมของการต้มเวิร์ตพร้อมกับฮ็อพเพื่อการสกัดสารขมคือ 90 นาที และมีการเติมฮ็อพอีกส่วนหนึ่งในระหว่างการต้มหรือหลังจากการต้มเพื่อช่วยเพิ่มกลิ่นของฮ็อพในการผลิตเบียร์ pisner กำหนดให้มีกรดแอลฟาเท่ากับ 9-10 กรัม/เฮกซาลิตร ซึ่งจะคงเหลือสารขมอยู่ในเบียร์ที่ผลิตได้ประมาณ 30-35% เท่านั้น

2.ตกตะกอนโปรตีน ในขั้นตอน mashing และ sparking จะทำให้โปรตีนละลาย เช่น Albumin และ Globulin ถ้ามีปริมาณที่มากเกินกว่า 20 มก./ลิตร จะก่อให้เกิดปัญหาในระหว่างการกรองเบียร์ และจะทำให้สภาพคอลลอยด์ของเบียร์ลดต่ำลง

3. ขจัดกลิ่นไม่พึงประสงค์ ในระหว่างการต้มจะเกิดสารประกอบคาร์บอนิกที่ก่อให้เกิดกลิ่นที่ไม่ต้องการในเบียร์ เพราะฉะนั้นจึงจำเป็นต้องกำจัดน้ำมันระเหยของฮ็อพด้วยการระเหยออกไปในระหว่างการต้มประมาณ 5-10%

4. ทำให้เวิร์ตเข้มข้น ในการชะล้างกากมอลต์ด้วยน้ำจะทำให้เวิร์ตที่เตรียมไว้มีความเข้มข้นเจือจางลง จึงจำเป็นต้องต้มระเหยเพื่อทำให้เวิร์ตมีความเข้มข้นเพิ่มขึ้น แต่ปัจจุบันไม่ใช่เป็นวัตถุประสงค์หลัก เนื่องจากต้องสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายด้านพลังงานสูงจึงไม่เหมาะสมในเชิงเศรษฐศาสตร์

5. ทำให้เกิดสารรีดิวซิง และสารให้กลิ่น การต้มเป็นการเร่งปฏิกิริยาทางเคมีระหว่างน้ำตาลและกรดอะมิโน ทำให้เกิดสารประกอบออกซิเจน ไนโตรเจน และเฮโทโรไซลิกมากมาย ซึ่งเป็นองค์ประกอบสำคัญที่ใช้ในการกำหนดคุณสมบัติของสารให้กลิ่นในอาหารโดยทั่วไป

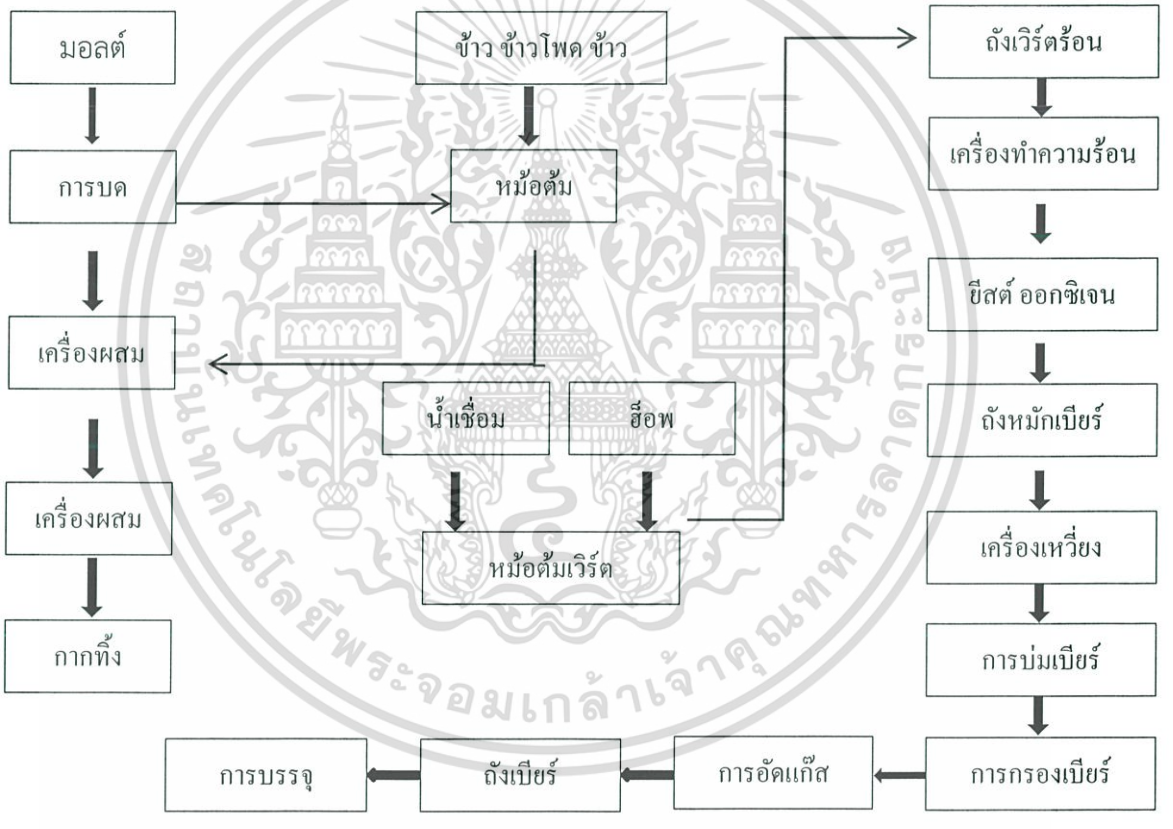
6. หยุดยั้งการทำงานของเอนไซม์ เพื่อไม่ให้เอนไซม์มอลต์ทำการย่อยสับสเตรทต่อไปอีก ยกเว้นในกรณีของการผลิตเบียร์ไดเอต ที่ยังคงมีการเติมสารสกัดมอลต์เพิ่มเติมในถังหมัก

7. ทำการฆ่าเชื้อในเวิร์ต การต้มเป็นการทำลายเชื้อจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนอยู่ในเวิร์ต เพื่อไม่ให้ไปขัดขวางการทำงานของยีสต์ในระหว่างการหมักเบียร์

2.4.5 **การทำให้เวิร์ตเย็นลง** ประกอบด้วยการแยกเอากากของฮ็อพออกจากเวิร์ตด้วยการกรองและการกำจัดความขุ่นจากสารประกอบโปรตีนแทนนินที่เกิดขึ้นในระหว่างการต้มเวิร์ตเพื่อทำให้เวิร์ตใสด้วยเครื่องเหวี่ยง หรือถังตกตะกอนจากนั้นจึงทำให้เวิร์ตเย็นลงด้วยระบบทำความเย็น การทำให้เวิร์ตเย็นตัวลงนี้จะก่อให้เกิดความขุ่นอีก เรียกว่า cold break จึงจำเป็นต้องขจัดออกไปด้วยการตกตะกอนหรือการกรองอีกครั้งหนึ่ง เย็นลงก่อนโดยนำไปแช่น้ำแข็ง หรือนำไปใส่อ่าง ultrasonic (Rong *et al.*, 2016)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.6 การหมักเบียร์ (fermentation) องค์ประกอบที่สำคัญคือยีสต์ ซึ่งยีสต์ที่ใช้ในการหมักเบียร์จัดอยู่ในจีนัส *Saccharomyces* แบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ Top yeast และ Bottom yeast ชนิดแรกจะลอยตัวขึ้นข้างบน และชนิดหลังจะจมตัวลงหลังจากสิ้นสุดการหมัก ปัจจุบันการหมักเบียร์ใช้ถังหมักแบบปิดทำให้คุณลักษณะดังกล่าวเปลี่ยนแปลงไปและไม่อาจนำมาใช้กำหนดประเภทของยีสต์ได้อย่างชัดเจนเช่นเดิม แต่จะอาศัยการวิเคราะห์ทางชีวเคมีเกี่ยวกับความสามารถของยีสต์ในการหมักน้ำตาล Raffinose เนื่องจาก Top yeast ไม่มีเอนไซม์ Meli-biase จึงสามารถใช้น้ำตาล Raffinose ได้เพียง 1/3 ส่วนเท่านั้น



รูปที่ 2.8 กรรมวิธีการผลิตเบียร์

ที่มา : (จันทนี, 2549)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกจากนี้ยังมีการแยกประเภทของยีสต์ออกได้เป็น Flocculating Yeast และ Powdery Yeast โดยดูจากการตะกอนของยีสต์หลังการหมักสิ้นสุด ชนิดแรกจะจับตัวกันเป็นกลุ่มตะกอน ชนิดที่สองจะตกตะกอนนอนก้นอย่างช้าๆ การผลิตเบียร์ด้วย Flocculating Yeast ให้คุณภาพของเบียร์ดี แต่เป็นการยากที่จะทำให้ยีสต์ตกตะกอนได้อย่างมีเอกภาพ จึงต้องมีการทำ Premature flocculation เพื่อป้องกันการเกิดการหมักอีกครั้งในภายหลังเช่นเวลาของเก็บพักเบียร์ เพราะยีสต์ที่ยังคงมีอยู่เป็นปริมาณมากในการเก็บพักเบียร์จะก่อให้เกิดปัญหาในการกรองและทำให้เบียร์มีรสชาติไม่ดีที่เรียกว่า Autolysis taste ในการหมักเบียร์จะต้องคำนึงถึงกระบวนการสร้างและสลายสารอาหารจากการทำงานของยีสต์ ซึ่งขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆดังต่อไปนี้

- **องค์ประกอบของเวิร์ต** ได้แก่ แอลฟา-อะมิโน ไนโตรเจน ออกซิเจน เกลือแร่ น้ำตาลที่หมักได้
- **ความเข้มข้นของยีสต์** ปกติใช้กล้ายีสต์เท่ากับ 15-20 x 10^6 เซลล์/มล. ของเวิร์ต (Rong *et al.*, 2016)
- **การให้อากาศอย่างเพียงพอ** เพื่อช่วยการเพิ่มปริมาณของเซลล์และเร่งการหมักให้เร็วขึ้น ปกติใช้ความเข้มข้นของออกซิเจนเท่ากับ 6-8 มก./ลิตร ปริมาณออกซิเจนเป็นปัจจัยควบคุมผลิตภัณฑ์เกิดขึ้นจากการหมัก
- **อุณหภูมิ** ควบคุมที่อุณหภูมิเท่ากับ 6-8°C หรือ 8-10°C เมื่อสิ้นสุดการหมักอุณหภูมิจะควบคุมไว้ที่ 4-6°C ปกติการหมักใช้เวลาประมาณ 7 วัน ซึ่งทำให้น้ำตาลและสารอาหารในเวิร์ตประมาณ 90 % ถูกใช้ไปในการหมัก ได้เป็นเบียร์สด (Young beer) ที่ถูกนำไปเก็บไว้ในถังพัก (Storage cellar) เพื่อให้เกิดการหมักช้าๆ โดยการควบคุมที่อุณหภูมิ -1°C ซึ่งเป็นวิธีการบ่มเบียร์ ในระยะเวลานาน 4-6 สัปดาห์ จะทำให้สารก่อความขุ่นตกตะกอนได้

นอกจากนี้ยังสามารถเลือกการหมักเบียร์ที่อุณหภูมิสูง 14-18°C ภายใต้สภาวะความดันของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ จะทำให้เบียร์มีปริมาณความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์สูง ซึ่งสามารถยับยั้งการเติบโตของยีสต์ เพราะฉะนั้นการหมักที่อุณหภูมิสูงขึ้นจะสามารถช่วยเร่งกระบวนการสร้างและสลายของยีสต์ได้และทำให้การหมักน้ำตาลเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์จึงไม่มีความจำเป็นต้องมีการบ่มเบียร์ในถังพักเหมือนกับการหมักที่อุณหภูมิต่ำ เพราะฉะนั้นการพักเบียร์ในถังบ่มจึงมีวัตถุประสงค์เพื่อการตกตะกอนทำให้เบียร์ใสเท่านั้น ซึ่งจะช่วยทำให้ใช้ระยะเวลาในถังพักเบียร์สั้นลดลงเหลือเพียง 7-14 วันเท่านั้น และหาเลือกการหมักเบียร์ด้วย Top yeast ซึ่งให้กลิ่นรสที่ดีจะต้องหมักที่อุณหภูมิสูงขึ้น ทำให้ระยะเวลาในการหมักสั้นลงเหลือ 1-3 วัน และใช้เวลาในการพักเบียร์เพียง 7-21 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

• **การกวน** ทำให้เกิดการผสมผสานระหว่างเวิร์ตและยีสต์เป็นเนื้อเดียวกัน ซึ่งจะช่วยส่งเสริมการเติบโตและการใช้สารอาหารของยีสต์

• **ความดัน** ซึ่งเกิดขึ้นเนื่องจากปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่ได้จากกระบวนการสร้างและสลายของยีสต์ มีผลกระทบเชิงลบต่อการเติบโตของยีสต์

การเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีระหว่างการหมักระยะแรกของยีสต์ จะมีสารประกอบเกิดขึ้นมากมาย อาทิ สารประกอบซัลเฟอร์ระเหย (เช่น ไฮโดรเจนซัลไฟด์ ไดเมทิลซัลไฟด์ ไดเอทิลซัลไฟด์ และเอทิลเมอร์แคบแทน) กรดไขมันโมเลกุลสั้น แอลดีไฮด์และแอลฟา แอซีโตแลกเทต ในระหว่างการสังเคราะห์กรดอะมิโนของยีสต์ก่อให้เกิดสารมัธยันตร์ (intermediates) ที่สำคัญได้แก่ แอลฟา-แอซีโตแลกเทต และแอลฟา-แอซีโตไฮดรอกซีบิวทิเรต ซึ่งเปลี่ยนไปเป็นไบเอซิทิล (biacetyl) และเพนแทนไดโอน (Pentanedione1) ตามลำดับ จากปฏิกิริยาดีคาร์บอกซเลชัน โดยเฉพาะไบเอซิทิลจะถูกเป็นตัวดัชนีบ่งถึงการบ่มเบียร์ (maturation) ที่เหมาะสม โดยมีระดับความเข้มข้นที่สามารถรับรู้ด้วยประสาทสัมผัสเท่ากับ 0.15-0.2 มก./ลิตร เพราะในระหว่างการบ่มเบียร์ในถังพักนั้นไบเอซิทิลที่เกิดขึ้นจากการหมักระยะแรกจะถูกรีดิวซ์ต่อไปโดยยีสต์

2.4.7 **การกรองเบียร์** (filtration) หลังจากการบ่มและพักเบียร์แล้ว เบียร์ที่ได้จะถูกนำไปผ่านการกรองโดยอาศัยสารช่วยกรองที่เรียกว่า kieselguhr เพียงอย่างเดียว หรืออาจใช้ผสมร่วมกับเพอร์ไลต์ (perlite) และอาจจะมีการเพิ่มขั้นตอนของการกรองอีกครั้ง เพื่อขจัดจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนออกไป เรียกว่า sterilizing layers ปกติเบียร์สามารถเก็บรักษาไว้ได้นานประมาณ 6-8 สัปดาห์โดยไม่ขุ่น ถ้าหากต้องการให้เบียร์สามารถเก็บรักษาได้นานขึ้นโดยไม่ขุ่นจะต้องใช้สารดูดซับ เช่น เบนโทไนต์ ซิลิกาเจล เซโรเจล เพื่อใช้ดูดซับโปรตีน และสาร PVPP เพื่อดูดซับสารพอลิฟีนอล ซึ่งอนุญาตให้ใช้ได้ในเยอรมันนี แต่ก็ยังมีสารดูดซับที่อนุญาตให้ใช้ได้ในประเทศอื่นเพื่อการผลิตเบียร์ ได้แก่ เทนนิน และเอนไซม์ย่อยโปรตีนการผลิต เบียร์เพื่อเก็บรักษาไว้บริโภคเป็นเวลานานโดยไม่เสื่อมรสชาติยังคงเป็นปัญหาของผู้ประกอบการผลิตเบียร์อย่างไรก็ตามในขั้นตอนกากรองและการบรรจุเบียร์จะต้องหลีกเลี่ยงสภาวะการปนเปื้อนของออกซิเจนโดยเด็ดขาด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 องค์ประกอบทางเคมีของเบียร์

การจำแนกประเภทของเบียร์ในสหพันธ์สาธารณรัฐเยอรมันนีอาศัยเกณฑ์ความเข้มข้นของเวิร์ตเริ่มต้นโดยคิดในรูปของปริมาณสารสกัดในเวิร์ตที่ได้ (กรัม/100 กรัมของเวิร์ตที่ใช้ก่อนการหมัก) ซึ่งแบ่งออกได้เป็น 4 กลุ่มด้วยกัน ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 2.4 การจำแนกประเภทเบียร์เยอรมัน

เบียร์	เปอร์เซ็นต์เวิร์ต
เบียร์อ่อน (Einfachbiere)	2-5.5
เบียร์ธรรมดา (Schanbiere)	7-8
เบียร์เข้มข้น (Vollbiere)	11-14
เบียร์แรง (Starkbiere)	มากกว่า 16

ที่มา : (จันทนี, 2549)

การวิเคราะห์องค์ประกอบเคมีของเบียร์จะอาศัยปัจจัยจากความเข้มข้นของเวิร์ตที่ใช้ในการหมักเบียร์เป็นหลัก อาทิ เบียร์ที่ชนิดที่เรียกว่า Pilsner ซึ่งผลิตมาจากเวิร์ตที่มีความเข้มข้นเท่ากับ 11.9% เบียร์ชนิดนี้โดยเฉลี่ยแล้วจะมีองค์ประกอบทางเคมีดังแสดงในตาราง นอกจากเราสามารถจำแนกชนิดและประเภทของเบียร์ทั่วไปได้แล้ว ยังมีเบียร์ชนิดพิเศษอื่นๆ ที่มีการผลิตสำหรับบุคคลบางกลุ่ม ได้แก่

1.เบียร์ไดเอต จะมีองค์ประกอบของคาร์โบไฮเดรตที่เป็นแหล่งพลังงานอยู่เพียง 7.5 กรัม/ลิตร ซึ่งเป็นเบียร์ประเภทที่ได้จากการหมักสมบูรณ์โดยการเลือกใช้มอลต์ชนิดที่มีเอนไซม์สูงซึ่งเบียร์ไดเอตจะมีปริมาณของแอลกอฮอล์อยู่สูงกว่าเบียร์ทั่วไปประมาณ 25%

2.เบียร์ที่มีแอลกอฮอล์ต่ำหรือปลอดแอลกอฮอล์ ผลิตจากกระบวนการหมักที่ไม่สมบูรณ์ หรืออาศัยกระบวนการกลั่นเพื่อกำจัดแอลกอฮอล์ที่ได้จากการหมัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.5 องค์ประกอบของเบียร์

ส่วนประกอบ		ปริมาณ
เวิร์ต		11.9 กรัม/100 กรัม
สารสกัด		42.0 กรัม/ลิตร
แอลกอฮอล์		39.0 กรัม/ลิตร
คาร์โบไฮเดรต		29.0 กรัม/ลิตร
โปรตีน		5.1 กรัม/ลิตร
เกลือแร่		1.5 กรัม/ลิตร
กรดอินทรีย์		591มิลลิกรัม/ลิตร
กลีเซอรอล		1617 มิลลิกรัม/ลิตร
แอลกอฮอล์อื่นๆ		88 มิลลิกรัม/ลิตร
สารขม		34 มิลลิกรัม/ลิตร
พอลิฟีนอล		185 มิลลิกรัม/ลิตร
วิตามิน	- ไทอามีน	33 ไมโครกรัม/ลิตร
	- ไรโบฟลาบิน	410 ไมโครกรัม/ลิตร
	- พิริดอกซิน	650 ไมโครกรัม/ลิตร
	- กรดแพนโททีนิก	1632 ไมโครกรัม/ลิตร
	- ไนอาซีน	7875 ไมโครกรัม/ลิตร
	- ไบโอทิน	13 ไมโครกรัม/ลิตร
พลังงาน		1828 กิโลจูล/ลิตร

ที่มา : (จันทนี, 2549)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6. สารที่ก่อให้เกิดกลิ่นรสในเบียร์

2.6.1 By products ของยีสต์

รสชาติและกลิ่นของเบียร์เป็นสิ่งที่สลับซับซ้อนซึ่งได้มาจากสารประกอบหลายๆอย่าง ไม่เพียงแค่มอลต์ ฮ็อพ และน้ำ เท่านั้นที่มีบทบาทต่อรสชาติแต่ยังมีสารสังเคราะห์จากยีสต์ด้วย ซึ่งได้มาจาก Byproducts ในระหว่างการหมักและการบ่ม By products ของยีสต์ที่เด่นๆ คือ เอทานอล และคาร์บอนไดออกไซด์ แต่ยังมีอีกหลายอย่างเกี่ยวกับสารประกอบด้านกลิ่นรส เช่น Esters, diacetyl, aldehydes, sulfer volatiles, dimenthyl sulfide, fusel alcohols, organic acids, fatty acids และ nitrogen compounds

ยีสต์ในแต่ละ strains มีความแตกต่างกันอย่างชัดเจนใน Byproducts ยีสต์ strain ที่ไม่ฟูมักผลิตสารที่ระเหยได้มากกว่า strain ที่เป็นฟองฟู Lager yeasts จะผลิต fatty acids และ sulfur มากกว่า ale yeasts การกลายพันธุ์ของยีสต์ทำให้เกิด vicimal diketones อย่างชัดเจน

2.6.2 Esters

Ester เป็นสารประกอบที่สำคัญมากในการทำให้เกิดกลิ่นหอมของเบียร์ ได้แก่ ethyl acetate (กลิ่นกล้วย) , isobutyl acetate(กลิ่นผลไม้) ,phenyl ethyl acetate (กลิ่นน้ำผึ้งกุหลาบ), ethyl hexanoate (กลิ่นapple) และ ethyl octanoate (apple เปรี้ยว) ซึ่งทั้งหมดมีความสำคัญมากในกลิ่นของ lager beer (Rong *et al.*, 2016) เอสเทอร์พบใน ales beer มากกว่า lager beer kunze กล่าวว่า การผลิตเอสเทอร์เพิ่มขึ้น โดย

1) อุณหภูมิที่หมักสูง
2) การเติมอากาศที่จำกัดในเวิร์ต
3) การเพิ่มขีดจำกัดให้น้อยลง
4) การเพิ่มความเข้มข้นของเวิร์ตมากกว่า 13%

นอกจากนั้นชนิดของยีสต์ก็มีผลต่อปริมาณเอสเทอร์อีกด้วย ปริมาณเอสเทอร์เกือบทั้งหมดได้จากตอนเริ่มต้นในการหมัก และมีบางส่วนเกิดขึ้นในช่วงการบ่มอย่างไรก็ตามก็ตาม ปริมาณเอสเทอร์จะเพิ่มขึ้นเป็นทวีคูณในช่วงที่สองของการหมัก

2.6.3 Diacetyl

Diacetyl และ 2,3-Pentanedione ถูกจัดอยู่ในพวก Ketones มีความสำคัญในการเกิดกลิ่นรสในเบียร์ทั้ง Diacetyl และ 2,3-Pentanedione ถูกจัดออกมาในรูป vicinal diketone (VDK) ซึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นรสในขั้นแรกที่แตกต่างของ aged beer และ green beer ระหว่าง Diacetyl และ 2,3-Pentanedione Diacetyl น่าสังเกตมากกว่า เนื่องจากสามารถผลิตได้ในปริมาณที่มากกว่าและมีกลิ่นรสสูงกว่า 2,3-Pentanedione กลิ่นรสของ Diacetyl คล้ายๆกับกลิ่นมอลต์ที่ไหม้ แต่สามารถแยกความแตกต่างได้อย่างชัดเจน Diacetyl มักจะมีปริมาณไม่คงที่ในเบียร์ส่งผลให้เกิดกลิ่นรสที่ไม่ดี แต่กลิ่นรสของ caramel malt มักคงที่

2.6.4 Aldehydes

เกิดขึ้นในหลายขั้นตอนของกระบวนการผลิตเบียร์ และถูกผลิตโดยปฏิกิริยาออกซิเดชันระหว่างแอลกอฮอล์และสารไขมันปริมาณ Aldehydes ที่มีสูงสุดอยู่ในช่วงต้นของการหมักหลังจากนั้นค่อยลดลงเรื่อยๆ นอกจาก aldehydes ยังพบ ketone , benzaldehydes , trans-2-hexenal และ methyl-5-hepten-2-one สามารถเกิดขึ้นได้จากความแตกต่างที่ได้ทั้งในกระบวนการการหมักและไม่หมักได้ ซึ่ง benzaaldehyde และ benzene-acetaldehyde จะให้ลักษณะกลิ่นอัลมอนด์และหวาน และ β-ionone ก็คือหนึ่งในสารที่สำคัญที่ทำปฏิกิริยากับกลิ่นหอมและกลิ่นผลไม้ (Rong *et al*., 2016)

Aldehydes จะถูกเปลี่ยนไปเป็นเอทานอลในช่วงสุดท้ายของ Primary fermentation ถ้ามีออกซิเจนเกิดขึ้นในกระบวนการเอทานอลก็จะออกซิไดซ์ไปเป็น acetaldehydes kunze กล่าวว่าการผลิต acetaldehyde เพิ่มขึ้นเนื่องจาก 1.) การหมักที่รวดเร็ว2.) อุณหภูมิที่สูงขึ้นในระหว่างการหมัก 3.) การใช้ความดันในระหว่างการหมักเริ่มแรก4) อากาศใน wort ที่ต่ำและ5) การปนเปื้นของ wort โดยเฉพาะการปนเปื้อนของ *Zymomonas anaerobic* เช่นเดียวกับ diacetyl ยีสต์ที่มีอยู่ในขั้นการผลิต aldehyde เช่นเดียวกับ diacetyl ยีสต์ที่มีอยู่ในขั้นการบ่มผลิต aldehyde ได้ต่ำในผลิตภัณฑ์สุดท้าย การกำจัด aldehyde ได้รับการสนับสนุนจากการให้ความร้อนในขั้นตอนการบ่ม

2.6.5 Sulfur compound

Volatile sulfur compound เช่น hydrogen sulfide dimethyl sulfide , sulfur dioxide และ thiols ส่งผลต่อรสชาติเบียร์ เมื่อมีความเข้มข้นเพียงเล็กน้อยก็อาจจะยอมรับได้ แต่ถ้ามากเกินไปก็จะก่อให้เกิดกลิ่นรสที่ไม่ดี เช่น กลิ่นไข่เน่า

Sulfur compound ในเบียร์มาจาก 3 แหล่งหลัก คือ raw materials (มอลต์ และ Hop), การสันดาปยีสต์ และ Spoilage organisms โดยเฉพาะ *Zymomonas anaerobia, Enterobacter aerogenes* และ *Hafnia protea*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.6 Phenolic

ในสารประกอบ phenolic อื่นๆจะพบสารอื่นๆ เช่น 2-methoxy-4-vinylphenol ในตัวอย่าง ด้วยสารประกอบเหล่านี้มีความสำคัญและมีบทบาทกับรสชาติที่เป็นเอกลักษณ์มากในเบียร์ข้าวสาลีและก่อให้เกิดเบียร์ข้าวสาลีที่รสชาติคล้ายก้านพลู นอกจากนี้สารประกอบ ferulic acid เป็นผลิตภัณฑ์ได้จากการหมักเบียร์จากกระบวนการทำความร้อน (Rong *et al.*, 2016)

2.6.7 Terpenes

เป็นสารประกอบสำคัญที่ให้เบียร์มีกลิ่นรสคล้ายดอกไม้ ซึ่งประกอบไปด้วย linalool geraniol และ citronnellol

Geraniol ส่วนใหญ่ทำการเมตาบอลิซึม แต่กับสาร citronellol กับ geraniol จะสามารถสังเคราะห์เป็น acetate ester โดยใช้ lager ยีสต์เปลี่ยนแปลง และ Geranyl acetate ยังสามารถเปลี่ยนรูปเป็น citronellol acetate ได้ นอกจากนี้ ยังพบ Nerolidol (สารประกอบกลิ่นหอมที่ใช้ทดแทนความหอมของผลไม้) (Rong *et al.*, 2016)

2.7 จุลินทรีย์ที่ทำให้เบียร์เสีย

จุลินทรีย์ที่ทำให้เบียร์เสียที่สำคัญพบได้ในช่วงการผลิต 2 ช่วง คือ

1. Field microflora เป็นเชื้อจุลินทรีย์ที่พบปะปนมากับข้าวบาร์เลย์ในขณะปลูก ปริมาณที่พบจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับสภาพความชื้นในแปลง ถ้าในแปลงมีความชื้นสูงปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ที่พบก็จะมาก เชื้อที่พบบ่อยในแบคทีเรียพวก *Erwinia herbicola* , *Xanthomonas campestris, Pseudomonas* spp.,*Bacillus* spp.,*Steptomyces* spp. *Thermoactinomyces vulgaris* เชื้อยีสต์ที่พบบ่อยได้แก่ *Sporobomyces* spp.,*Rhodotorula* spp., เชื้อราที่พบบ่อยได้แก่ *Alteraria.,Cladosporium* spp.,

2. Postharvest microflora เป็นเชื้อจุลินทรีย์ที่พบหลังจากเก็บเกี่ยวข้าวบาร์เลย์แล้วโดยข้าวบาร์เลย์อยู่ในระหว่างการเก็บรักษาที่มีความชื้นต่ำกว่าร้อยละ 10 เชื้อจุลินทรีย์ที่พบได้แก่ *Aspergillus spp,.Penicllium* spp., และ *Fusarium* spp., ส่วนเชื้อจุลินทรีย์ที่พบในขั้นตอนการแช่ข้าวบาร์เลย์ (stepping)ได้แก่ *Cladosporium* spp.,*Fusarium* spp.,*Alternaria alternate.,Penicillium* spp.,*Rhizopus* spp., และในขั้นตอนการต้มน้ำเวริ์ตจะพบเชื้อแบคทีเรียพวก *Lactobacillus* spp.,*Erwinia herbicola.,Pseudomonas* spp., และ *Bacillus* spp.,เชื้อยีสต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่พบได้ได้แก่ *Sporobomyces* spp.,และ *Rhodotorula* spp., เชื้อราที่พบบ่อยได้แก่ *Aureobasidium pulluulans.,Geotrichum candidum.,Aspergillus* spp.,*Penicillium* spp., และ *Alternaria alternate.*

เชื้อจุลินทรีย์ที่ทำให้เบียร์เสียที่พบในแต่ละช่วงดังกล่าวข้างต้นสามารถแบ่งเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ จุลินทรีย์แกรมบวกและจุลินทรีย์แกรมลบ โดยจุลินทรีย์แกรมบวกที่พบบ่อยได้แก่ *Lactobacillus* spp.,*Pediococcus* spp. ซึ่งทั้งสองตัวสามารถผลิตกรดแลคติคได้โดยใช้แอลกอฮอล์เป็นอาหาร ส่วนจุลินทรีย์แกรมลบที่พบบ่อยได้แก่ *Acetobacter* spp. *กับ Gluconobacter* spp. ทั้งสองตัวสามารถผลิตกรดอะซิติคได้โดยใช้แอลกอฮอล์เป็นอาหาร *Zymomonas* spp. จะสร้าง Hydrogen sulphite (H_2S) และ Acetaldehyde ในเบียร์ *Pectinatus* spp. จะสร้างกรดอะซิติกและกรดโพรพิโอนิก *Megasphaera* spp. จะสร้างกลิ่นที่ไม่ต้องการ (Off-flavor) และทำให้เบียร์ขม

2.8 ลักษณะทางพันธุศาสตร์ข้าว

ข้าว เป็นพืชวงศ์หญ้า (Family Gramineac) นอกจากข้าวชนิด *O.sativa* ซึ่งปลูกกันโดยทั่วไปแล้ว ยังมีข้าว *O.glaberrima* ซึ่งปลูกกันในบางประเทศในทวีปแอฟริกา ในปัจจุบันเนื้อที่เพาะปลูกข้าวชนิดหลังนี้ลดลงน้อยทุกปี และชาวนาใช้ข้าวชนิด *O.sativa* ปลูกแทนมากขึ้นเรื่อยๆ

พืชพันธุ์ *Oryza* ประกอบด้วยพืชหลาย species แต่เท่าที่ยอมรับมีอยู่ 23 species ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 พวกใหญ่ๆ ได้แก่

1) ข้าวปลูก (cultivated rice) ประกอบด้วย *Oryza sativa* ซึ่งมีความสำคัญทางเศรษฐกิจมาก และ *Oryza glaberrima* ซึ่งเป็นข้าวที่มีการปลูกเฉพาะในแถบตะวันตกของทวีปแอฟริกาเท่านั้น ทั้งสอง species มีลักษณะที่แตกต่างกันคือ ช้อดอกของ *O.glaberrima* ไม่มีก้านแขนงที่สองมีลิ้นใบสั้น และไม่มีขนที่ lemma และ palea

2) ข้าวป่า (wide rice) มีลักษณะเป็นวัชพืช เมล็ดมีขนาดเล็ก ร่วงง่าย และมีหาง (awn) ในประเทศไทยพบอยู่ 5 species ได้แก่ *O.prenis , O.fatua ,O.officinalis , O.granulate* และ *O.ridleyi*

ข้าวปลูกพวก *O.Sativa* แบ่งออกได้เป็น 3 sub-species ได้แก่ indica , japonica และ javanica

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.6 แสดงลักษณะทางสัณฐานวิทยาของ sub-species ทั้ง 3 สรุปได้ดังนี้

ลักษณะ	*Indica*	*Japonica*	*javanica*
เมล็ด	ยาวค่อนข้างแบน	แคบสีเขียวแก่	กว้างสีเขียวอ่อน
การแตกกอ	มาก	สั้นกลม	กว้าง หนา
ต้น	สูง อ่อน	ปานกลาง	น้อย
หางของเมล็ด	สั้นมาก	เตี้ยแข็ง	สูง แข็ง
ขนของข้าวเปลือก	สั้น	สั้นมาก ยาว	สั้นมาก ยาว
การร่วงของเมล็ด	ง่าย	มากและยาว	ยาว

ที่มา : เรวัติ (2541)

2.9 การจำแนกชนิดข้าว

โดยทั่วไปจำแนกชนิดข้าวออกตามออกตามคุณสมบัติทางอาหารของแป้ง(starch) ซึ่งเป็นสารประกอบของคาร์โบไฮเดรตที่อยู่ในเมล็ดข้าวที่ทำให้ข้าวแต่ละชนิดมีลักษณะรสชาติและเนื้อสัมผัสปรากฏแตกต่างกันออกไปคือ

2.9.1ข้าวเจ้า (Nonwaxy Rice) ข้าวชนิดนี้มีองค์ประกอบของแป้งที่เรียกว่า อะไมโลส (amylose)ในปริมาณมาก ซึ่งทำให้ลักษณะของข้าวเจ้าเมื่อเป็นข้าวสาร เมล็ดข้าวจะเนื้อแข็ง และเมื่อผ่านการหุงต้มแล้วจะมีสีขาวขุ่นขึ้นหม้อ ร่วนไม่เกาะหรือมีตัวเกาะน้อย นิยมบริโภคในแถบภาคกลางและภาคใต้ของประเทศไทย

2.9.2 ข้าวเหนียว (Glutious Rice) พันธุ์ข้าวพวกนี้มีลักษณะ endosperm เป็นสีขาวขุ่น และมีความเลื่อมมัน เมื่อนำไปหุงจะเหนียว เมล็ดเกาะตัวกันดีมาก หากหุงในน้ำมากเมล็ดจะบานออกและยังมีความคงตัวดีเหมือนเดิม พันธุ์ข้าวพวกนี้แข็งในเมล็ด ส่วนใหญ่เป็น amylopectin ตั้งแต่ 92-100% และ amylase ตั้งแต่ 0-8% ของน้ำหนักของเมล็ด

เมล็ดข้าวเหนียวเมื่อไปนึ่ง จะมีความนุ่มของแต่ละพันธุ์ไม่เท่ากัน เนื่องจากพันธุ์ที่มีความนุ่มน้อยกว่าจะเป็นพันธุ์มีปริมาณแป้งชนิด amylase อยู่สูงกว่า พันธุ์ที่นุ่มเป็นส่วนใหญ่ นอกจากนี้อาจเป็นเพราะปริมาณโปรตีนในเมล็ด อายุการเก็บรักษา สภาพการเก็บรักษาอีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.10 โครงสร้างของเมล็ดข้าว

ในทางพฤกษศาสตร์ เมล็ดข้าวเป็นส่วนผลชนิดหนึ่งของพืช เรียกว่า คารีโอออพซีส (caryopsis) เนื่องจากส่วนที่เป็นเมล็ดเดี่ยว(single seed) ติดแน่นอยู่กับผนังรังไข่หรือเหยื่อหุ้มผล (pericarp)

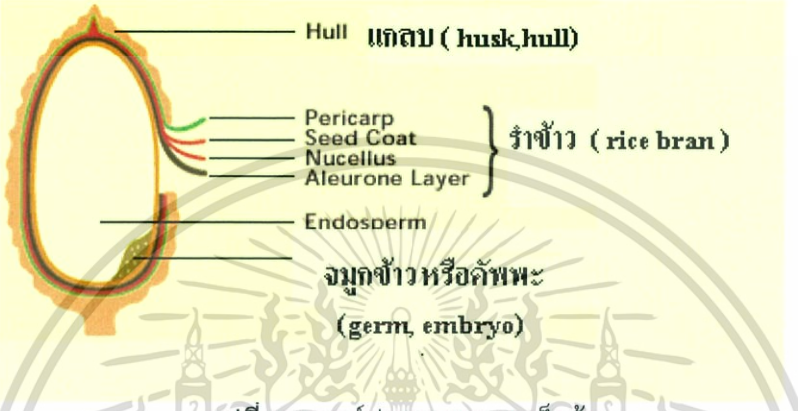
เมล็ดข้าวประกอบด้วย 2 ส่วนใหญ่ๆคือ

1. ส่วนประกอบภายนอก ส่วนที่ห่อหุ้มนอกสุดของเมล็ดทั่วไป เรียกว่า แกลบ (hull) หรือเปลือกดอกอันใหญ่ (lemma) ซึ่งเป็นเปลือกที่ร่องสาแหรก 5 ร่อง หุ้มด้านหลังเมล็ด และเปลือกดอกอันเล็ก (palca) ซึ่งเป็นเปลือกดอกที่มี 3 ร่องสาแหรก หุ้มด้านทองเมล็ด เปลือกทั้งสองหุ้มอย่างหลวมๆ และหลุดออกจากกันง่ายในระหว่างกระบวนการกะเทาะ แกลบประกอบขึ้นด้วยเซลลูโลส (cellulose) เป็นลักษณะเส้นใย (fibrous) ส่วนผิวปกคลุมด้วยขนแหลมแข็งรียกว่า ไตรโคม (trichomes) นอกจากนี้ยังมีขั้วเมล็ด (rachilla)และกลีบรองเมล็ด (sterile lemma) ซึ่งคือเปลือกเล็กๆ ที่ทำหน้าที่หุ้มทั้งขั้วเมล็ด เปลือกอันใหญ่และเปลือกอันเล็กไว้ตรงโคนเมล็ด
2. ส่วนประกอบภายใน เมื่อแกะเปลือกหรือแกลบออกจะเรียกว่า ข้าวกล้อง ประกอบด้วย
   2.1. **เยื่อหุ้มผล (pericarp)** ประกอบด้วยเนื้อเยื่อหุ้มผล 3 ชั้น คือเนื้อเยื่อชั้นนอกหรือเอพิคาร์พ (epicarp) เนื้อเยื่อชั้นกลางหรือมีโซคาร์พ (mesocarp) และเนื้อเยื่อชั้นในหรือเอนโดคาร์พ (endocarp) ส่วนผนังเซลล์ประกอบด้วยโปรตีน เฮมิเซลลูโลส (hemicellulose) และเซลลูโลส (cellulose) เยื่อหุ้มมีลักษณะเป็นเส้นใย (fibrous) มีความอ่อนนุ่ม เป็นส่วนที่ป้องกันการซึมผ่านของออกซิเจน คาร์บอนไดออกไซด์ หรือไอน้ำ ซึ่งขณะที่เยื่อหุ้มผลยังไม่ถูกทำลาย ช่วยป้องกันการเข้าทำลายเชื้อรา การทำปฏิกิริยาองค์ประกอบเอนโดสเปิร์ม หรือกระบวนการเสื่อมสภาพจากปฏิกิริยาของเอมไซม์
   2.2. **เยื่อหุ้มเมล็ด (seed coat)** อยู่ถัดจากเยื่อหุ้มผล ประกอบด้วยเนื้อเยื่อ 2 ชั้น เรียงเป็นแถว ประกอบด้วยไขมันและโปรตีน มีส่วนของแป้งอยู่เล็กน้อย
   2.3. **เยื่ออลูโรน (aleulone layer)** เป็นส่วนที่ห่อหุ้มเอนโดสเปิร์มและคัพพะ ประกอบด้วยเซลล์จำนวน 1-7 ชั้น ด้านหลังเมล็ดมีความหนามากกว่าด้านอื่น ความหนาของชั้นนี้แตกต่างกันตามพันธุ์ข้าว เยื่ออลูโรนมีโปรตีนที่หุ้มด้วยไขมันเป็นองค์ประกอบสสำคัญ ส่วนผนังเซลล์ประกอบด้วยสารพวกโปรตีน เฮมิเซลลูโลส (hemicellulose)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4. **คัพพะ (embryo)** อยู่ติดกลับส่วนเอนโดสเปิร์มทางเปลือกดอกอันใหญ่เป็นส่วนที่จะเจริญเป็นต้นกล้าต่อไป ประกอบด้วยต้นอ่อน รากอ่อน เยื่อหุ้มผลอ่อน เยื่อหุ้มรากอ่อน ท่อน้ำ ท่ออาหาร และใบเลี้ยงมีโปรตีนและไขมันเป็นองค์ประกอบในปริมาณสูง

2.5. ส่วนที่เป็นแป้งหรือเอนโดสเปิร์ม (starch endosperm) มีแป้งเป็นองค์ประกอบหลักประมาณร้อยละ 78-80 ความชื้นร้อยละ 14 โปรตีนร้อยละ 6-8 และมีไขมันปริมาณเล็กน้อย เซลล์เม็ดแป้งเป็นรูปหกเหลี่ยม



รูปที่ 2.8 องค์ประกอบของเมล็ดข้าว

ที่มา : http://www.foodnetworksolution.com/uploaded/rice_1.gif (10 มกราคม 2560)

2.11 องค์ประกอบทางเคมีของข้าว

เมล็ดข้าวประกอบด้วยองค์ประกอบหลักคือคาร์โบไฮเดตที่อยู่ในรูปของแป้ง (starch)นอกจากนี้ยังมีโปรตีน ไขมันแร่ธาตุนอกจากนี้ยังมีวิตามินในข้าวด้วยเช่นวิตามินบี1 องค์ประกอบในเมล็ดข้าวเหล่านี้มีส่วนเกี่ยวข้องกับคุณภาพของเมล็ด โดยเฉพาะอย่างยิ่งแป้งซึ่งมีองค์ประกอบเป็นอะไมโลสและอะไมโลแพคตินในสัดส่วนต่างๆกัน

2.11.1 คาร์โบไฮเดต (cabohydrate)

1) แป้ง แป้งเป็นคาร์โบไฮเดตที่ประกอบด้วยคาร์บอนไฮโดรเจนและออกซิเจนในอัตราส่วน 6:10:5 มีสูตรเคมีโดยทั่วไป คือ $C_6H_{10}O_5$ แป้งเป็นพอลิเมอร์ของกลูโคสประกอบด้วยโมเลกุลของ anhydroglucose unit เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ glucosidic ของคาร์บอนตำแหน่งที่1แป้งประกอบด้วยพอลิเมอร์ของกลูโคส 2 ชนิดคือ อะไมโลสซึ่งเป็นพอลิเมอร์เชิงเส้นและอะโลแพคตินเป็นพอลิเมอร์กิ่งก้านวางตัวในแนวรัศมี แป้งสามารถแบ่งเป็นองค์ประกอบย่อยได้ 2 ส่วน คือ

1. อะไมโลแพคติน (amylopectin) เป็นพอลิเมอร์ที่เกิดจากการรวมตัวของกลูโคสเป็นโมเลกุล มีการจัดเรียงโครงสร้างเป็นลักษณะกิ่งก้าน (branched frection) เชื่อมกันด้วยพันธะ α-1,4-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

glucosidic และส่วนที่เป็นพอลิเมอร์กลูโคสสายนั้นมีระดับของการเชื่อมเป็นสายยาว (degree of poly-merization;DP) อยู่ในช่วง10-60หน่วย

2. อะไมโลส (amylose)เป็นพอลิเมอร์ที่ประกอบด้วยกลูโคสประมาณ 2000 หน่วย มีการจัดโครงสร้างเป็นลักษณะแนวยาว(linear frection)เชื่อมต่อกันด้วยพันธะα-1,4-glucosidic ตำแหน่งของอะไมโลแพคตินภายในเม็ดแป้งขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ของแป้งอะไมโลสพบมากในส่วนที่เป็นผลึก (crytalline)อย่างไรก็ตามอะไมโลสบางส่วนกระจายอยู่ในอสัณฐาน (amorphous) ทั้งอะไมโลสและอะไมโลเพคตินอยู่รวมกันเป็นเม็ดแป้ง(starch granule)ซึ่งมีรูปทรงหลายเหลี่ยม (polygonal)มีขนาด 2 – 10 ไมครอน อยู่รวมกันเป็นกลุ่มแป้ง (starch compound)และมีกลุ่มโปรตีน(protein body)ขนาด 1-14. ไมครอนแทรกอยู่รอบกลุ่มแป้งกลุ่มโปรตีนนี้หนาแน่นตามบริเวณใกล้ผิวเมล็ดและค่อยๆลดน้อยลง เมื่อลึกเข้าไปในกึ่งกลางเมล็ดในเมล็ดข้าวสารมีโปรตีนอยู่ประมาณร้อยละ 6-14 ของน้ำหนักแป้งจากแหล่งที่ต่างกันมีอัตราส่วนของปริมาณอะไมโลสและอะไมโลแพคตินแตกต่างกันเป็นผลทำให้คุณสมบัติของแป้งแต่ละชนิดแตกต่างกันเช่นแป้งข้าวเหนียวมีส่วนประกอบของอะไมโลแพคตินเป็นส่วนใหญ่ โดยมีปริมาณอะไมโลสต่ำกว่าร้อยละ 2 ซึ่งเมื่อย้อมสีไอโอดีนจะเป็นสีน้ำตาลแดง ในขณะที่ข้าวเจ้าประกอบด้วยอะไมโลสมากกว่าร้อยละ 5 เมื่อย้อมสีไอโอดีนจะติดสีน้ำเงิน

ตารางที่ 2.7 ปริมาณอะไมโลสและอะไมโลแพคตินของแป้งแต่ละชนิด

ชนิดแป้ง	*ปริมาณอะไมโลส (ร้อยละ)*	*ปริมาณอะไมโลแพคติน (ร้อยละ)*
แป้งสาลี	23	77
แป้งข้าวเหนียว	-	100
แป้งข้าวเจ้า	17	83
แป้งมันสำปะหลัง	17	83
แป้งข้าวโพด	27	73
ข้าวฟ่าง	25	75

ที่มา : อริภา (2555)

2) พอลิแซ็กคาไรด์ที่ไม่ใช่แป้งพบในเปลือกหุ้มเมล็ดมากกว่าในเนื้อและคัพพะของเมล็ด เป็นพอลิแซ็กคาไรด์ที่วิเคราะห์ได้ในรูปเส้นใยอาหาร (dietary) ประกอบด้วยเฮมิเซลลูโลส เซลลูโลส สารประกอบเพกตินและลิกนินที่ยึดติดอยู่ในองค์ประกอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) น้ำตาลอิสระ น้ำตาลอิสระที่พบมากในส่วนของคัพพะและเนื้อเมล็ดของข้าว คือซูโครส นอกนั้นเป็น แรฟฟิโนส กลูโคส และฟรุตโตสน้ำตาลทั้งหมดมีประมาณ 8-25% ในรำมีประมาณ 6.5% และในข้าวสารมีประมาณ 0.52 % น้ำตาลที่ไม่ใช่น้ำตาลรีดิวซ์ (non reducing sugar) ที่สำคัญ คือ ซูโครส ส่วนน้ำตาลรีดิวซ์ที่พบมากคือ กลูโคสและฟรุตโตส นอกจากนั้นยังพบน้ำตาลเมลิโบโอส (melibose) กลูโคไดฟรุตโตส มอลโตไตรโอส และน้ำตาล มอลโตโอลิโกแซคคาไรด์อื่นๆอีกในเมล็ดข้าวที่กำลังงอก

2.11.2 โปรตีน (protein)

มีอยู่ปริมาณ 6-14% ของน้ำหนักข้าวสาร ปริมาณโปรตีนของข้าวสารคำนวณจาก kejeldahl nitrogen คูณด้วย factor 5.59 (โปรตีนในข้าว มีไนโตรเจนอยู่ 16.8%)โปรตีนในข้าวอยู่รวมกันเป็นกลุ่ม เรียกว่า protein body แทรกอยู่ระหว่าง starch compound มีขนาด 1-4 ไมครอน และจะมีความหนาแน่นตามบริเวณขอบมากกว่าส่วนตรงกลาง

โปรตีนอาจจะแบ่งตามคุณลักษณะการละลายของมันได้เป็น4ชนิด

ก.albumin – water salable protein

ข.globulin – salt solution protein

ค.prolamin – alcohol solution protein

ง.glutein – dituted acid or alkali soluble protein

ข้าวสารมี glutein อยู่ประมาณ 80 % ของโปรตีนทั้งหมด globulin 10 %, albumin 5% และ prolamin ไม่เกิน 5 % กรดอะมิโนที่เป็นองค์ประกอบของโปรตีนมีไลซีน(lysine) ประมาณ 4 กรัม/16.8 g N ซึ่งนับเป็นโปรตีนที่มีคุณภาพดีกว่าโปรตีนจากเมล็ดธัญพืชชนิดอื่น โปรตีนในเมล็ดข้าวทำให้การดูดซึมน้ำของเมล็ดช้าลง ความนุ่ม ความเหนียว และความเลื่อมมันลดลงด้วย

โปรตีนในเมล็ดข้าวจะมีความสัมพันธ์ในทางลบ ทั้งนี้เพราะสภาพแวดล้อมมีผลกระทบกระเทือนต่อปริมาณโปรตีนในเมล็ดมาก

2.11.3 ไขมัน (fat)

ไขมันในเมล็ดข้าวส่วนใหญ่อยู่ตามแถบบริเวณเยื่ออลูโรน และ คัพพะ ซึ่งถูกขัดออกมาเมื่อผ่านกระบวนการขัดสีข้าว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไขมันของข้าวปริมาณร้อยละ 80 อยู่ในส่วนที่เป็นรำและไขมันจากทุกส่วนของเมล็ดจะมีองค์ประกอบคล้ายคลึงกัน ไม่ว่าจะสกัดจากข้าวเหนียวหรือข้าวเจ้า กรดไขมัน ส่วนใหญ่เป็น oleic ,linoleic และ palmitic อัตราส่วนของ oleic และ linoleic เป็น 1:1

นอกจากนี้ในไขมันของข้าวสารมีสาร antioxidant อยู่คือ oryzanol และ tocophenols สารนี้จะช่วยระงับ ปฏิกิริยาเติมออกซิเจน(antioxidant) ทำให้ไขมันคงอยู่ได้นานโดยไม่หืน แต่อย่างไรก็ตาม แป้งข้าวเจ้าที่ดีควรมีปริมาณไขมันอยู่เพียงเล็กน้อย เนื่องจากถ้ามีปริมาณไขมันอยู่มากก็อาจเกิดปัญหาต่อคุณภาพ แป้งในแง่การเกิดหืน (rancidity) ได้เช่นกัน เมื่อนำไปทำผลิตภัณฑ์อาหาร อาหารที่ได้คุณภาพด้อยลงและแป้งเก็บไว้ได้นาน

2.11.4 ปริมาณเส้นใย (crude fiber)

ปริมาณเส้นใยในข้าวกล้อง ,ข้าวสาร,และข้าวนึ่ง เป็น 0.9,0.3,0.2 %ตามลำดับ จากการวิเคราะห์แต่ละส่วนของข้าว (โปรตีนสูง) ที่ขัดสีในห้องปฏิบัติการ และข้าวในท้องตลาด พบปริมาณเส้นใยตั้งแต่ 1.5-3 %

ปริมาณเส้นใยในแป้งมีบทบาทไม่มากนัก ทั้งนี้เนื่องจากไม่มีผลกระทบกระเทือนต่อคุณภาพแป้งที่ใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร

2.11.5 แร่ธาตุ (mineral)

แร่ธาตุต่างๆ ส่วนใหญ่อยู่ตามบริเวณผิวนอกของเมล็ดและจะแตกต่างกันไปตามความอุดมสมบูรณ์ของดินที่ปลูกจากรายงานค่าของเถ้าจากข้าวสาร 239 ตัวอย่าง มีค่าตั้งแต่ 0.26 ถึง 1.95% (dry basis) เฉลี่ย 0.69 , 0.64 และ 0.61% สำหรับข้าวเมล็ดยาว ปานกลางและสั้น ตามลำดับ

ในข้าวมีฟอสฟอรัส,แมกนีเซียม และโปแตสเซียมอยู่พอสมควรและมีธาตุแคลเซียม,คลอรีน,ซิลิคอน ,โซเดียม และธาตุเหล็กอยู่เล็กน้อยในข้าวกล้องและข้าวสารมีปริมาณเหล็กและแคลเซียมยังมีไม่เพียงพอกับความต้องการของร่างกาย ธาตุฟอสฟอรัสที่มีอยู่แล้วแม้ว่าจะมีปริมาณสูง แต่อยู่ในรูปที่ร่างกายนำไปใช้ได้ไม่หมดเพราะเป็น phytin phosphorus สูงถึง 55 %

ในการหาแร่ธาตุอาจจะใช้เถ้าเป็นตัวแทนในการเผาอาหารที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส สารอินทรีย์จะถูกเผาให้กลายเป็นแก๊ส ส่วนที่เหลือเรียกว่าเถ้า ซึ่งเป็นตัวแทนของอนินทรีย์สารแต่ไม่ได้เป็นตัวแทนของอนินทรีย์สารอย่างแท้จริงเนื่องจากมีแร่ธาตุบางอย่างมาจากอนินทรีย์สาร เช่น กำมะถันและฟอสฟอรัส ซึ่งเป็นส่วนประกอบของโปรตีน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในแป้งถ้ามีการปะปนของอนินทรีย์สารอื่นๆก็จะทำให้ปริมาณเถ้าสูงด้วยดังนั้นปริมาณเถ้าในแป้งจะบอกให้ทราบถึงคุณภาพแป้งว่ามีความบริสุทธิ์มากน้อยเพียงใดนอกจากนี้ปริมาณเถ้า ยังมีผลกระทบต่อประสาทสัมผัสของผู้บริโภคในแง่ลบความระคายต่อลิ้นเวลารับประทานทั้งยังมีผลต่อปริมาตรของผลิตภัณฑ์ขนมอีกด้วย

2.11.6 ปริมาณความชื้น (moisture content)

ข้าวควรมีความชื้นประมาณ 14 % ถ้าความชื้นน้อยกว่านี้ จะเป็นผลให้สามารถเก็บไว้ได้นานขึ้น ในแป้งยังมีผลต่อคุณภาพระหว่างเก็บเกี่ยวอีกด้วย การที่แป้งมีความชื้นสูงเป็นผลทำให้ starch granule ดูดซับ (absorb) น้ำเพิ่มขึ้น แป้งจะมีลักษณะเป็นก้อนไม่กระจายตัวอย่างสม่ำเสมอเมื่อนำไปตากแดดหรืออบด้วยความร้อนต่ำประมาณ 45-60 องศาเซลเซียส ก่อนนำมาร่อนให้แป้งกระจายตัว

2.12 คุณสมบัติทางกายภาพของข้าว

คุณสมบัติทางกายภาพ (grain weight) หมายถึงคุณสมบัติต่างๆของเมล็ดข้าวที่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่าหรือชั่ง ตวง วัดได้ คุณสมบัติทางกายภาพ ได้แก่

1.น้ำหนักเมล็ด (grain weight) ในบรรดาองค์ประกอบผลผลิต (yield compounent) น้ำหนักกเมล็ดเป็นลักษณะที่คงที่ที่สุดและถูกควบคุมโดยพันธุกรรมเป็นส่วนใหญ่น้ำหนักเมล็ดแปรปรวนไปตามขนาดและรูปร่างของเมล็ด สภาพแวดล้อม เช่น ความชื้น ชนิดของดิน การใส่ปุ๋ย ภูมิอากาศ สายพันธุ์ที่มีน้ำหนักเมล็ดมากมักจะให้ผลผลิตสูง

2. ขนาดและรูปร่างเมล็ด (grain dimension) ขนาดและรูปร่างของเมล็ดเป็นลักษณะหนึ่งที่ใช้ในการจำแนกพันธุ์ข้าว ได้แก่ ความยาว (length) ความกว้าง (width) ความหนา (thickness) และรูปร่างของเมล็ด (grain shape)

- ความยาวของเมล็ดหมายถึงระยะทางจากปลายยอดสุดถึงโคนเมล็ด

- ความกว้างของเมล็ดหมายถึงระยะทางส่วนที่กว้างที่สุดระหว่างเปลือกใหญ่ (lemma) ถึงเปลือกเล็ก (pelea)

- ความหนาของเมล็ดหมายถึง ระยะทางที่มากที่สุดระหว่างเปลือกใหญ่ด้านหนึ่งไป ยังอีกด้านหนึ่ง

ข้าวชนิดอินดิคามีรูปร่างเมล็ดที่ค่อนข้างยาว เมล็ดแบน ส่วนสายพันธุ์จากปอนิคามีลักษณะเมล็ดสั้นและกลม ส่วนข้าวพันธุ์จาวานิคา เมล็ดจะกว้างและหนาทั้งนี้ขนาดและรูปร่างเมล็ดถูกควบคุมโดยพันธุกรรมเป็นส่วนใหญ่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. สีเปลือกข้าว (hull color) สีของเมล็ดข้าวอ่อนแตกต่างจากข้าวแก่ เมล็ดอ่อนเปลือกจะมีสีขาว แต่เมื่อเมล็ดแก่จะมีสีเปลือกเข้มขึ้น เช่น สีเหลืองทอง น้ำตาลอ่อน น้ำตาลเข้ม ดำหรือม่วง ข้าวไทยส่วนใหญ่มี2สี คือ สีอ่อนหรือสีข้าวฟางมักเรียกว่าข้าวขาวส่วนสีเข้มหรือสีทองมักเรียกว่าข้าวเหลือง

4. สีของข้าวกล้อง (caryopsis color) สีของข้าวกล้องจะปรากฏที่เนื้อชั้นเยื่อหุ้มผล (pericarp) ส่วนที่เป็นแป้ง (endocarp) จะมีสีขาวทั้งหมดสีของข้าวกล้องมีตั้งแต่สีขาว แดง น้ำตาล น้ำตาลเทา และม่วงเกือบดำข้าวกล้องที่มีสีแดงละม่วง มีสารพวกเม็ดสีแอนโทไซยานิน (anthocyanin) ข้าวกล้องที่มีสีเข้มจะต้องใช้เวลาในการขัดสีนานและใช้แรงขัดสีสูงเพื่อทำให้ส่วนของรำที่มีสีเข้มหลุดออกทำให้ได้ปริมาณข้าวสารน้อยสีของข้าวกล้องในข้าวพันธุ์ไทย ได้แก่ ขาว น้ำตาล แดงและดำแต่ส่วนใหญ่มีสีขาว

5. ลักษณะท้องไข่ (chalkiness) คือจุดขาวขุ่นคล้ายชอล์กที่เกิดขึ้นในส่วนแป้งของเมล็ดข้าว ซึ่งเกิดจากการจับตัวหลวมๆของเม็ดแป้งกับโปรตีนในส่วนที่เป็นแป้งข้าวสาร และถูกควบคุมโดยกรรมพันธุ์และสิ่งแวดล้อมลักษณะท้องไข่เป็นลักษณะที่ไม่ต้องการในวงการข้าวเพราะทำให้ข้าวสารดูไม่สวยเกิดการหักเสียหายอย่างมากในระหว่างการขัดสีในบริเวณที่เป็นท้องไข่เนื่องจากเมล็ดแป้งจับกันหลวมๆนั่นเอง ข้าวไทยส่วนใหญ่เป็นท้องไข่น้อย ยกเว้นพันธุ์ข้าวขึ้นน้ำและมักเป็นชนิดที่เป็นท้องไข่ด้านเดียวกับคัพพะท้องไข่ในเมล็ดข้าวแบ่งออกเป็น 3 ลักษณะ

- ท้องไข่ที่เกิดตรงกลางจากเมล็ดข้าว เรียกว่า white center หรือ white core
- ท้องไข่ที่เกิดบริเวณด้านข้างหรือด้านท้องของเมล็ดด้านเดียวกันกับคัพพะเรียกว่า white belly
- ท้องไข่ที่เกิดขึ้นด้านตรงข้ามกับคัพพะเรียกว่า white back

6. ลักษณะความขุ่นใสของเมล็ดข้าว (grein translucency) เมล็ดข้าวเป็นที่ต้องการในวงการข้าว นักปรับปรุงพันธุ์พยายามปรับปรุงพันธุ์ใหม่ให้ข้าวมีลักษณะขาวใส ยกเว้นพันธุ์ข้าวเหนียวซึ่งมีเมล็ดข้าวสีข้าวขุ่นอยู่แล้ว

7. ความแข็งของเมล็ด เมล็ดข้าวที่มีปริมาณโปรตีนสูงจะมีความแข็งและมีความขาวใสมากกว่าเมล็ดที่มีปริมาณโปรตีนต่ำ อีกทั้งยังมีแนวโน้มที่จะขัดสียากกว่าและให้ปริมาณข้าวเต็มเมล็ดมากกว่าในข้าวที่มีโปรตีนต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.13 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยเรื่อง Fumi *et al.*,(2011) ได้รายงานว่า ฟีนอลนั้นเป็นสารต้านอนุมูลอิสระมีส่วนช่วยในการป้องกันโรคมะเร็ง โรคหัวใจ โรคภูมิแพ้และโรคที่เกี่ยวข้องกับอายุอื่นๆ ผลของปริมาณฟีนอลขึ้นอยู่กับความแตกต่างของธัญพืชในธรรมชาติ จากการศึกษาพบว่าสามารถช่วยลดอัตราการเกิดโรคหัวใจได้ลดลง 20-25 % และใช้ประโยชน์จากส่วนนี้ไปเป็นองค์ประกอบในการผลิตยา

หนึ่งและคณะ (2553) ได้นำเสนอ ข้าวเป็นอาหารหลักของชาวเอเชีย โดยเฉพาะในประเทศไทยที่มีการเพาะปลูกข้าวเป็นหลัก ซึ่งองค์ประกอบของข้าวจะประกอบไปด้วย คาร์โบไฮเดรต น้ำตาล และใยอาหารเป็นหลัก ซึ่งสามารถนำมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ที่จะเพิ่มมูลค่าให้แก่ข้าว ได้แก่ น้ำนมข้าว สาโท เบียร์ เป็นต้น

Srichokworakit *et al.*, (2015) พบว่าสารประกอบในธรรมชาติหลายชนิดแสดงให้เห็นว่ามีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและช่วยป้องกันความเสียหายของเนื้อเยื่อที่เกิดจากสารอนุมูลอิสระ และรำของข้าว Riceberry ได้รับการยืนยันว่ามีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระสูง ซึ่งประกอบด้วยสารแอนโธไซยานิน (cyanidin 3-glucoside และ peonidin-3-glucoside), β-carotene, γ-oryzanol และ vitamin E complex (tocopherols and tocotrienols)

Arjinajarn *et al.*, (2016) รายงานว่า ข้าวเป็นอาหารหลักของไทย เชื่อว่าจะให้ประโยชน์ต่อสุขภาพมากกว่าอาหารคาร์โบไฮเดรตพื้นฐานอื่น ๆ เนื่องจากมีสารอาหารหลายชนิดและสารต้านอนุมูลอิสระหลายชนิด ข้าวอุดมไปด้วยสารอาหารหลายอย่างเช่นคาร์โบไฮเดรตโปรตีนกรดไขมันบางชนิดและธาตุอาหารหลัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 ฮ็อพและมอลต์ที่ใช้

3.1.1 ฮ็อพอัดเม็ด สายพันธุ์ Columbus จาก www.hopshubbkk.com

3.1.2 ฮ็อพอัดเม็ด สายพันธุ์ Hallertau Hersbrucker จากwww.hopshubbkk.com

3.1.3 มอลต์กระสอบ สายพันธุ์ Vienna จาก www.bangkokbrew.com

3.1.4 มอลต์กระสอบ สายพันธุ์ Pilsener จาก www.bangkokbrew.com

3.1.5 ข้าวไรซ์เบอร์รี่

3.1.6 ข้าวหอมมะลิจากจังหวัดศรีสะเกษ

3.2 เชื้อจุลินทรีย์ที่ใช้ในการทดลอง

3.2.1 *Saccharomyces cerevisiae* สายพันธุ์ M-84

3.3 สารเคมี

3.3.1 อาหารเลี้ยงเชื้อ YM broth

3.3.2 สารละลาย Folin-Ciocalteu phenol reagent

3.3.3 กรดแกลลิค (Gallic acid)

3.3.4 สารละลายโซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3)

3.3.5 เมทานอล

3.4 อุปกรณ์

3.4.1 หลอดทดลอง

3.4.2 ที่ตั้งหลอดทดลอง (Rack for tube)

3.4.3 ปากคีบ (Forcept)

3.4.4 บีกเกอร์ (Beaker)

3.4.5 ช้อนตักสาร (Spatula)

3.4.6 แท่งแก้วคนสาร (Stirring rod)

3.4.7 จานเพาะเชื้อ (Petri dish)

3.4.8 ปิเปตแก้ว (Pipette)

3.4.9 ไมโครปิเปต (Micropipette) ขนาด 20 – 1000 ไมโครลิตร

3.4.10 ทิป (Tip) ขวดใส่อาหารเลี้ยงเชื้อ (Duran)

3.4.11 ตะเกียงแอลกอฮอล์ (Alcohol burner)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.12 เข็มเขี่ยเชื้อ (Needle)

3.4.13 เตาแก๊ส

3.4.14 หม้อ

3.4.15 ทัพพี

3.4.16 ผ้าขาวบาง

3.4.17 เครื่องบดมอลต์

3.4.18 กระบอกตวง (Cylinder)

3.5 เครื่องมือ

3.5.1 หม้อนึ่งฆ่าเชื้อความดันไอ (Autoclave) ; Harvey รุ่น Hydroclave MC 10

3.5.2 ตู้เขี่ยเชื้อ (Larminar air flow) ; ISSCO Lamimar air flow รุ่น BVT 123

3.5.3 ตู้อบลมร้อนอุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส (Hot air oven) ; รุ่น ED 53

3.5.4 เครื่องชั่งละเอียด 2 ตำแหน่ง ; Shimazu รุ่น Libror EB-4000H

3.5.5 เครื่องชั่งละเอียด 3 ตำแหน่ง ; Sartorius analytic รุ่น A200S

3.5.6 เครื่องเขย่าผสม (Vortex mixer) ;Vortex Genie 2 รุ่น G-560E

3.5.7 เครื่องเขย่าสารละลาย (Shakers)

3.5.8 สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Spectrophotometer)

3.5.9 อีบูลลิโอมิเตอร์ (Ebulliometer)

3.5.10 Gas Chromatograph (GC)

3.5.11 รีแฟ็กโตมิเตอร์ (Refractometer)

3.5.12 พีเอชมิเตอร์ (pH meter)

3.5.13 เทอร์โมมิเตอร์ (Thermometer)

3.5.14 กล้องจุลทรรศน์

3.5.15 ฮีมาไซโตมิเตอร์ (Hemacytometer)

3.5.16 ตู้เย็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6 วิธีการทดลอง

3.6.1 ขั้นตอนการผลิตมอลต์จากข้าว โดยดัดแปลงจากวิธีของ (โชคชัย, 2556)

ขั้นตอนการทำมอลต์จะทำการแช่เมล็ดข้าว สลับกับควบคุมในตู้ growth chamber ซึ่งสรุปอยู่ในรูปตารางที่ 3.1 อุณหภูมิที่ใช้ในการทำการงอกและความชื้นสัมพัทธ์ในตู้ growth chamber จะถูกควบคุมที่ 25 องศาเซลเซียส และ 90 % ตามลำดับ โดยจะใช้เวลาการเพาะข้าวเป็นเวลา 4 วัน โดยจะแบ่งเป็นการแช่ข้าวในน้ำกรอง เป็นระยะเวลา 8 ชั่วโมง และทำการควบคุมในตู้ growth chamber 16 ชั่วโมง หลังจากการเริ่มทำให้งอกนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 50^{o}C เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง

ตารางที่ 3.1 ขั้นตอนการทำมอลต์ (โชคชัย, 2556)

วันที่ 1	วันที่ 2	วันที่ 3	วันที่ 4
แช่น้ำ 8 ชั่วโมง	แช่น้ำ 8 ชั่วโมง	แช่น้ำ 8 ชั่วโมง	แช่น้ำ 8 ชั่วโมง
ผึ่ง 16 ชั่วโมง	ผึ่ง 16 ชั่วโมง	ผึ่ง 16 ชั่วโมง	ผึ่ง 16 ชั่วโมง

3.6.2 ขั้นตอนการเตรียมเชื้อยีสต์ (โดยดัดแปลงมาจากวิธีของ โชคชัย,2556)

3.6.2.1. การเตรียมอาหาร YM broth

Peptone 5 กรัม

Yeast extract 3 กรัม

Malt extract 3 กรัม

D - Glucose 100 กรัม

น้ำกลั่น 1,000 มิลลิลิตร

วิธีการเตรียมอาหาร YM broth

1. ชั่ง malt extract 3 กรัม, yeast extract 3 กรัม, Peptone 5 กรัม, D- glucose 10 กรัม , ละลายในน้ำกลั่น 1,000 มิลลิลิตร

2. คนจนส่วนผสมละลายจนหมดแบ่งใส่ขวดแก้วขวดละ 350 มิลลิลิตร ปิดจุก ฆ่าเชื้อในหม้อนึ่งความดันไอควบคุมอุณหภูมิที่ 121 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6.2.2 ขั้นตอนการใส่เชื้อยีสต์นำเชื้อแห้ง ¼ ช้อนชา ใส่ลงในอาหารเลี้ยงเชื้อ YM ปริมาณ 200 มิลลิลิตร นำมาเขย่าในเครื่องเขย่าที่ความเร็วรอบ 150 รอบต่อนาที บ่มที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 72 ชั่วโมง ความเข้มข้นของเซลล์จะถูกนับโดยใช้ฮีมาไซโตมิเตอร์ภายใต้กล้องจุลทรรศน์และทำการคำนวณปริมาณของหัวเชื้อโดยต้องการเชื้อเมื่อเริ่มต้นหมักที่ความเข้มข้น 1.2×10^{7} cell/ml ดัดแปลงจากวิธีของ (โชคชัย, 2556)

3.6.3.ขั้นตอนการผลิตเวิร์ท (โดยดัดแปลงมาจากวิธีของ โชคชัย, 2556)

3.6.3.1.การต้มมอลต์ (mashing) กระบวนการนี้เป็นกระบวนการที่สำคัญที่สุดในการผลิตน้ำเวิร์ท โดยนำมอลต์ที่ถูกบดแล้วจะนำมาผสมกับน้ำในอัตราส่วนที่เหมาะสมโดยนำมอลต์ปริมาณ 300 กรัม ผสมกับน้ำปริมาณ 2,000 มิลลิลิตร ต้มที่อุณหภูมิ 68 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง พร้อมกับการกวน วิธีดังกล่าวจะช่วยกระตุ้นกิจกรรมของเอนไซม์

3.6.3.2 การกรองเวิร์ท (lautering) ทำหน้าที่แยกน้ำเวิร์ทออกจากกากมอลต์ หรือที่เรียกว่า spent grain เพื่อให้ได้น้ำเวิร์ทที่มีความใส และเหมาะสมกับกระบวนการต่อไป โดยจะใช้ผ้าขาวบางในการกรอง

3.6.3.3 การต้มฆ่าเชื้อเวิร์ทและการเติมฮ็อพ (wort boiling and hopping) ขั้นตอนดังกล่าวจะทำการต้มน้ำเวิร์ทให้เดือดประมาณ 1 ชั่วโมง และเติมฮ็อพ (hops) 2 กรัมต่อลิตร วัตถุประสงค์ของกระบวนการดังกล่าวเพื่อ หยุดกิจกรรมของเอนไซม์ทั้งหมดในกระบวนการต้มมอลต์และฆ่าจุลินทรีย์เชื้อทั้งหมดที่มีในน้ำเวิร์ท ซึ่งได้แก่ แบคทีเรีย รา ยีสต์ ที่อาจก่อให้เกิดกลิ่น ไม่พึงประสงค์ในผลิตภัณฑ์เบียร์อีกทั้งเป็นการตกตะกอนโปรตีนที่ยังหลงเหลืออยู่ในน้ำเวิร์ทที่อาจก่อให้เกิดความขุ่นในเบียร์และเป็นการกระตุ้นให้เกิดการสร้างสารประกอบไดเมทิล ซัลไฟด์ (dimethyl sulfite, DMS) ซึ่ง สารดังกล่าวเป็นสารที่ทำให้เกิดกลิ่นรสเฉพาะตัวในเบียร์ โดยมีปริมาณที่ยอมรับได้ในช่วง 30-100 μg/L นอกจากนี้ยังพบว่าสกัดสารประกอบที่ให้ความขมออกจากฮ็อพทำให้ผลิตภัณฑ์เบียร์มีสีที่ดีขึ้น เมื่อต้มเสร็จก็นำฮ๊อพออก แล้วหม้อต้มไปลดอุณหภูมิลงโดยการแช่ลงในน้ำเย็นเพื่อนถ่ายโอนความร้อน

3.6.4.ขั้นตอนการหมักเบียร์

นำของเหลวที่ได้บรรจุลงในขวดสีชา 800 มิลลิลิตร ในขวด 1000 มิลลิลิตร ปิดฝาด้วยจุกดักอากาศ นำไปบ่มในตู้เย็นที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2 สัปดาห์ เก็บตัวอย่างเบียร์ปริมาตร 15 มิลลิลิตร ทุกๆ 7 วันและเก็บไว้ที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส แยกยีสต์ออกจากเบียร์โดยการหมุนเหวี่ยงโดยเครื่อง Centrifuge ที่ 5,000 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 10 นาทีที่ 4 องศาเซลเซียส (Espinosa-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Ramírez *et al.*, 2014) และนำตัวอย่างเบียร์ที่ได้มาวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ เคมี และวิเคราะห์ทางประสาทสัมผัสสัมผัส

3.6.5 ขั้นตอนการวิเคราะห์ปริมาณฟีนอลรวม (Total phenolic compounds) ด้วยวิธี Folin-Ciocalteu reagent โดยดัดแปลงจากวิธีของ (รวินิภา และ ศิริจันทร์, 2556)

โดยนำเบียร์ส่วนใสมา 2 มิลลิลิตร ใส่ หลอดทดลอง เติมสารละลาย Folin-Ciocalteu phenol reagent เข้มข้นร้อยละ 10 โดยปริมาตร ลงไป 5 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้ 3 นาที จากนั้น เติมสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) เข้มข้นร้อยละ 7.5 โดยมวลต่อปริมาตร ลงไป 2 มิลลิลิตร ปิดปากหลอดด้วย พาราฟิลม์ ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง นาน 1 ชั่วโมง นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 765 นาโนเมตร คำนวณค่าปริมาณ สารประกอบฟีนอลรวมทั้งหมดเทียบกับกราฟมาตรฐานกรดแกลลิค (Gallic acid) รายงานผลเป็นมิลลิกรัมต่อกรัมกรดแกลลิค (mg/g Gallic acid equivalent, GAE)

3.6.6 ขั้นตอนการตรวจน้ำตาลด้วยวิธีการ Nelson-Somogyi Method

การวิเคราะห์หาน้ำตาลรีดิวซ์(กลูโคส) โดยดัดแปลงมาจากวิธี (ศรีสุดา, 2554)

วัดปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ เช่น กลูโคส ไซโลส โดยทำปฏิกิริยากับสารละลายคอปเปอร์ เกิดสี โมลิบดินัมบลู (Molybdinum blue) ดังปฏิกิริยา

1. $2Cu_2+$ + reducing sugar → CuO_2
2. $CuO + H_2SO_4$ → $2Cu+$
3. $2Cu+ + MoO^{+4}$ → $2Cu^{2+}$ + molybdenum blue

3.6.6.1 การเตรียม Copper reagent เตรียมสารละลาย $Na_2HPO_4 . 12H_2O$ 71 กรัม และโซเดียมโปรแทสเซียมทาร์เทรต 40 กรัม ในน้ำกลั่น 700 มิลลิลิตร เติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 1.0 nomal จำนวน 100 มิลลิลิตร ตามด้วยสารละลาย $CuSO_4 . 5H_2O$ 10 เปอร์เซ็นต์ จำนวน 80 มิลลิลิตร คนให้เข้ากัน ทำให้ร้อนเติมโซเดียมซัลเฟต 180 กรัม ละลายให้เข้ากันแล้วเติมน้ำกลั่นให้มีปริมาตรสุดท้ายเท่ากับ 1 ลิตรเก็บในขวดสีน้ำตาล ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง ถ้ามีตะกอนควรกรองออกก่อนนำมาใช้

3.6.6.2 การเตรียม Nelson reagent เตรียมสารละลาย $(NH_4)_6Mo_7O_{24} . 4H_2O$ 50 กรัม ในน้ำกลั่น 900 มิลลิลิตร เติมกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 21 มิลลิลิตร คนให้เข้ากัน เติม $Na_2ASO_4 . 7H_2O$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6 กรัม ซึ่งละลายในน้ำ กลั่นลงไป คนให้เข้ากัน จากนั้นเก็บไว้ในขวดสีน้ำตาลที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วนำมากรองเอาตะกอนออกก่อนนำไปใช้

3.6.6.2. วิธีการวิเคราะห์ การเตรียมสารละลายมาตรฐานกลูโคส เตรียมสารละลายกลูโคส (Analytical grade glucose) โดยอบที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ประมาณ 2 ชั่วโมง ก่อนนำมาทำเป็นสารละลายความเข้มข้น 25, 50, 75 และ 100 ไมโครกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ด้วยน้ำกลั่น เก็บสารละลายแต่ละความเข้มข้นในหลอดทดสอบหลอดละ 1 มิลลิลิตร โดยใช้น้ำกลั่นเป็นตัวเปรียบเทียบ เติม copper reagent 1.0 มิลลิลิตร ต้มให้เดือดเป็นเวลา 10 นาที และทำให้เย็นทันทีโดยใช้น้ำเย็นจัด จากนั้นเติม Nelson reagent 1.0 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 15 นาที เติมน้ำกลั่น 5 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน นำไปวัดค่าความขุ่นด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ที่ความยาวคลื่น 520 นาโนเมตร เขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำตาลกลูโคสและค่าความขุ่น ได้เป็นกราฟมาตรฐานน้ำตาลกลูโคส

ค่า Absorbace ที่สอดคล้อง ที่ 0.1 ml ของการทดลอง = X mg ของน้ำตาล

ที่ปริมาตร 10 ml = X / 0.1 x 10 mg ของน้ำตาล

= % ของ reducing sugar

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6.7 การวิเคราะห์ปริมาณเอทานอลในน้ำหมักด้วยเทคนิค แก๊สโครมาโทกราฟี (สกานต์และ เชาว์, 2554)

standard

- ใช้สารละลายไอโซโพรพานอล (propan-2-ol) ความเข้มข้น 100 กรัมต่อลิตร (standard
- ใช้สารละลายมาตรฐานเอทานอล(ethanol 99.9%)ที่มีความเข้มข้น 5, 10, 15 และ 20 กรัมต่อลิตร

อุปกรณ์

- สำหรับการศึกษานี้ใช้เครื่อง Gas Chromatography รุ่น HP6890ของบริษัท Hewlett Packard
- Detector (FID)
- ใช้คอลัมน์ Capillary Column HP-1 (Methyl Siloxane) ความยาว 30 เมตร เส้นผ่านศูนย์กลาง 320 นาโนเมตร ความหนาของสารเคลือบภายในคอลัมน์ 0.25 นาโนเมตร
- ใช้ carrier เป็นก๊าซ Helium

3.6.7.1 วิธีการทำ Standard เทียบใช้สารละลายเอทานอล (ethanol 99.9%) เป็นสารละลายมาตรฐานเอทานอล ซึ่งเตรียมให้มีความเข้มข้น 5, 10, 15 และ 20 กรัมต่อลิตร และใช้สารละลายไอโซโพรพานอล (propan-2-ol) เป็นสารละลายมาตรฐานภายใน ซึ่งเตรียมให้มีความเข้มข้น 100 กรัมต่อลิตร จากนั้นนำสารละลายมาตรฐานภายใน 0.5 ไมโครลิตร ผสมกับสารละลายมาตรฐานเอทานอลที่เตรียมไว้ตามความเข้มข้นต่าง ๆ 0.5 ไมโครลิตร ในขวดvial ขนาด 10 มิลลิลิตร และนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Headspace และ Gas Chromatography ตามสภาวะที่กำหนดเพื่อหาอัตราส่วนของพื้นที่ใต้พีคจากสมการ

$$\text{อัตราส่วนของพื้นที่ใต้พีกของสารละลายมาตราฐาน} = \frac{\text{พื้นที่ใต้พีกของสารละลายมาตรฐานเอทานอล}}{\text{พื้นที่ใต้พีกของสารละลายมาตราฐานภายใน}}$$

3.6.7.2 วิธีการทำการวิเคราะห์ปริมาณเอทานอลจากตัวอย่างน้ำหมักนำตัวอย่างน้ำหมักที่เก็บได้กรองด้วยผ้าขาวบาง และหมุนเหวี่ยงเอาเซลล์ยีสต์ออกแล้ว 0.5 ไมโครลิตร ผสมกับสารละลายมาตรฐานภายใน (propan-2-ol) ความเข้มข้น 100 กรัมต่อลิตร 0.5 ไมโครลิตร ในขวดvial ขนาด 10 มิลลิลิตร จากนั้นนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Headspace และ Gas Chromatography ตามสภาวะที่กำหนดเพื่อหาอัตราส่วนของพื้นที่ใต้พีคจากสมการ

$$\text{อัตราส่วนของพื้นที่ใต้พีกของน้ำหนัก} - \frac{\text{พื้นที่ใต้พีกของสารละลาย เอทานอลในน้ำหมัก}}{\text{พื้นที่ใต้พีกของสารละลายมาตราฐานภายใน}}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สภาวะของเครื่อง Gas Chromatographyที่ใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณเอทานอลจากน้ำหมัก

Inlet

- Inlet mode : Split
- Inlet temperature : 150 °C
- Pressure : 5.10 psi
- Split ratio : 100 : 1
- Split flow : 99.9 ml/min
- Total flow : 103.6 ml/min
- Carrier gas : Helium gas

Colum

- Oven temperature : 40 °C (2 min), 1 °C /min ถึง 45 °C, 25 °C /min ถึง 80 °C
- Colum mode : Constant flow
- Initial flow : 1.0 ml/min
- Nominal initial pressure : 5.10 psi

Detector

- Detector temperature : 300 °C
- Hydrogen flow : 30.0 ml/min
- Air flow : 350.0 ml/min
- Make up gas : Nitrogen gas
- Make up flow : 35.0 ml/min

สภาวะของเครื่อง Headspaceที่ใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณเอทานอลจากน้ำหมัก

Zone temperature

- Vial temperature : 60 °C
- Loop temperature : 80 °C
- Transfer line temperature : 90 °C

Event times

- GC cycle time : 10 min
- Vial equilibration time : 10 min
- Pressurization time : 0.13 min

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Loop fill time : 0.15 min
- Loop equilibration time : 0.01 min
- Inject time : 0.20 min
- Vial parameter
- Shake : High
- Shake high : 3 min

3.6.9 การวิเคราะห์ทางสถิติ

การคัดเลือกเบียร์โดยทดสอบทางประสาทสัมผัสแบบ 9-point hedonic scale ทำการทดสอบสี กลิ่น รสชาติ ความรู้สึกภายในปาก และความชอบโดยรวม โดยใช้ผู้ทดสอบจำนวน 13 คน และวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดย ใช้โปรแกรม SPSS 16.0 for Windows Evaluation version ทำการทดสอบการให้คะแนน ความชอบในผลิตภัณฑ์ ตามคุณลักษณะของน้ำเบียร์ที่ได้จากการหมักในการทดลอง โดยทำการ เปรียบเทียบความชอบเบียร์ที่ได้จากการใช้ส่วมผสมแตกต่างกัน ในขั้นแรกทำการคัดเลือกผู้ที่ทำการ ทดสอบผลิตภัณฑ์ที่มีคุณสมบัติเหมาะสม ในที่นี้คือผู้ที่ทำการดื่มและนิยมในการดื่มเบียร์เป็นประจำ จำนวน 13 ท่าน (นักศึกษาสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง) และเชิญมาทำ การทดสอบความชอบน้ำเบียร์ที่ได้จากการทดลอง ซึ่งทำการทดสอบในห้องที่เหมาะสมต่อการ ทดสอบคือ ไม่มีเสียงรบกวนสมาธิ มีสภาพที่เหมาะสมทำให้ผู้ที่ทำการทดสอบมีความสบาย ซึ่งจะทำ ให้การให้คะแนนเป็นไปอย่างถูกต้อง หลังจากที่ได้ผู้ที่ทำการทดสอบที่มีคุณสมบัติที่เหมาะสมแล้ว ให้ ผู้ทำการทดสอบให้คะแนนความชอบตามคุณลักษณะ ของน้ำเบียร์ คือ ให้คะแนนความชอบระหว่าง ตัวอย่างที่ทำการควบคุม (เบียร์ vc, เบียร์ ph, เบียร์ vh, เบียร์ vsc, เบียร์ vrc) โดยให้คะแนนของ สี กลิ่น รสชาติ ความรู้สึกภายในปากและความชอบโดยรวม จากนั้นนำข้อมูลทั้งหมดมาหาความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะต่างๆ และทำการวิเคราะห์ความแปรปรวนโดยวิธี Analysis of variance (ANOVA) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($P \leq 0.05$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

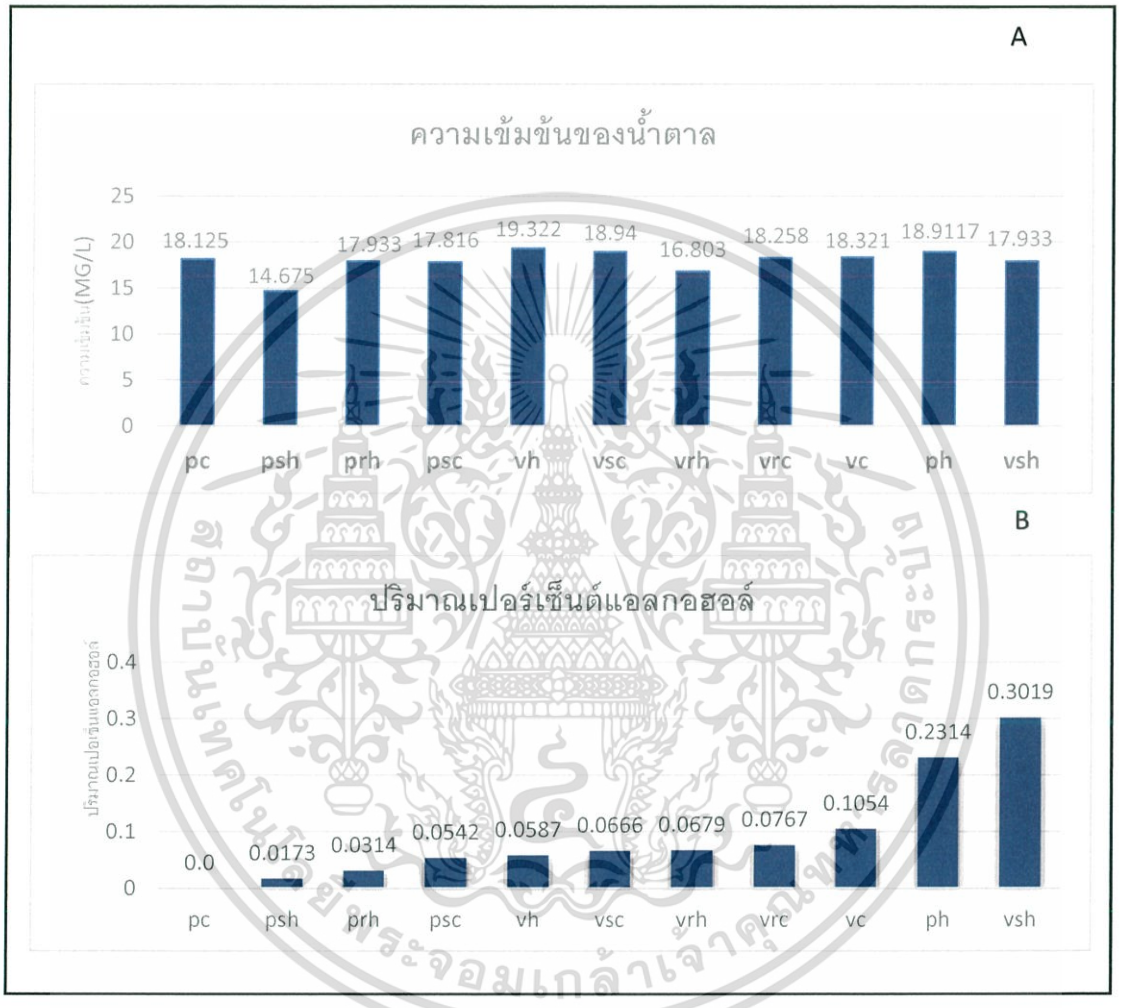
4.1 ตารางแสดงอักษรย่อและส่วนผสมของตัวอย่างเบียร์

ตัวย่อ	ชื่อเต็ม
vc	เวียนนามอลต์ , โคลัมบัสฮ็อพ
vh	เวียนนามอลต์ , ฮอล์เลอร์ทรัลฮ็อพ
vrc	เวียนนามอลต์ , ข้าวไรซ์เบอร์รี่ , โคลัมบัสฮ็อพ
vrh	เวียนนามอลต์ , ข้าวไรซ์เบอร์รี่ , ฮอล์เลอร์ทรัลฮ็อพ
vsc	เวียนนามอลต์ , ข้าวหอมมะลิศรีสะเกษ ,โคลัมบัสฮ็อพ
vsh	เวียนนามอลต์อ , ข้าวหอมมะลิศรีสะเกษ , ฮอล์เลอร์ทรัลฮ็อพ
pc	พิชเนอร์มอลต์ , โคลัมบัสฮ็อพ
ph	พิชเนอร์มอลต์ , ฮอล์เลอร์ทรัลฮ็อพ
prc	พิชเนอร์มอลต์ , ข้าวไรซ์เบอร์รี่ ,โคลัมบัสฮ็อพ
prh	พิชเนอร์มอลต์ , ข้าวไรซ์เบอร์รี่ , ฮอล์เลอร์ทรัลฮ็อพ
psc	พิชเนอร์มอลต์ , ข้าวหอมมะลิศรีสะเกษ , โคลัมบัสฮ็อพ
psh	พิชเนอร์มอลต์ , ข้าวหอมมะลิศรีสะเกษ , ฮอล์เลอร์ทรัลฮ็อพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การศึกษาหาน้ำตาลมีที่ผลต่อปริมาณแอลกอฮอล์

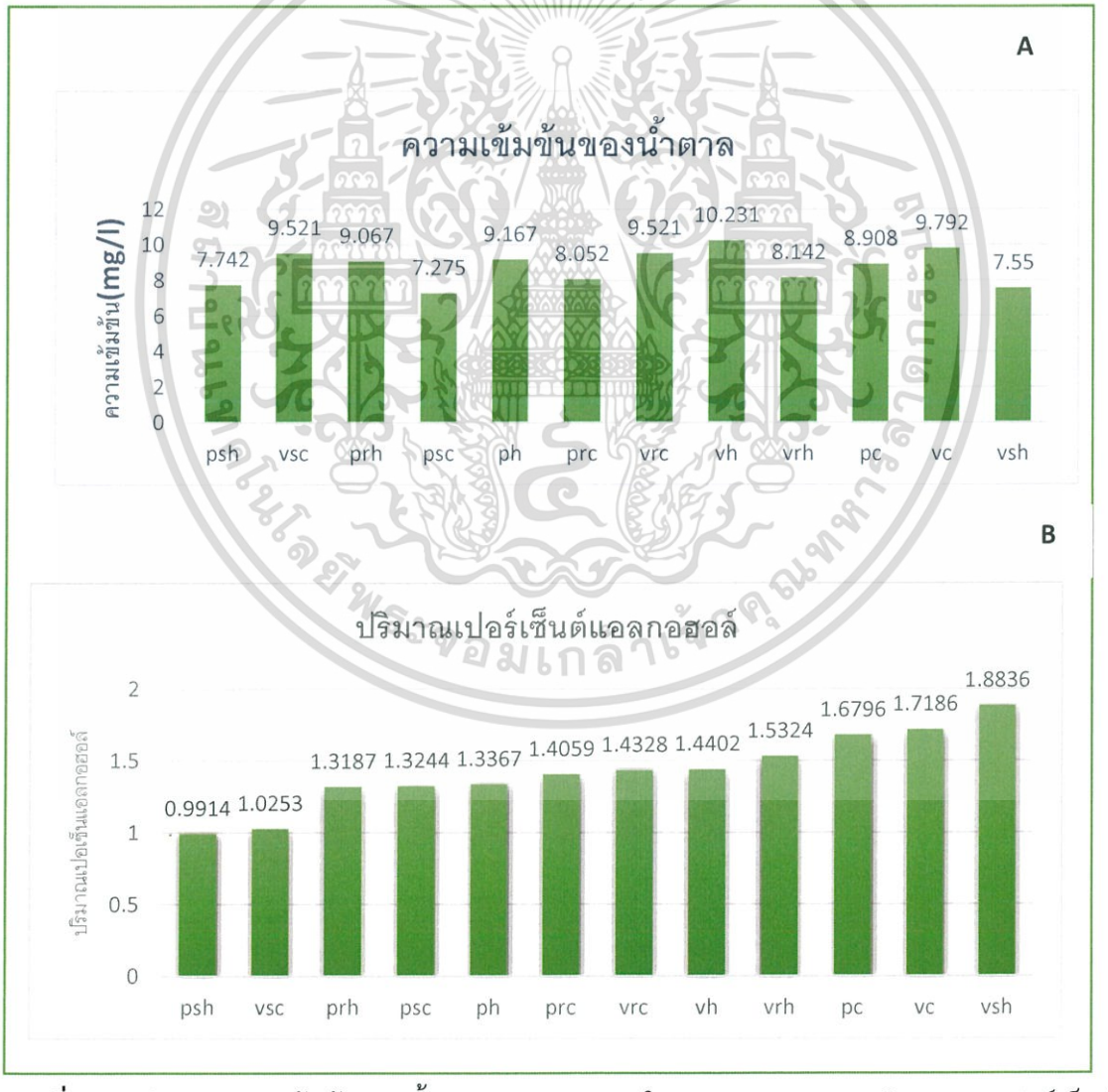
การศึกษาหาความเข้มข้นของน้ำตาลที่มีผลต่อปริมาณแอลกอฮอล์ ในการทดลองจะทำการวัดค่าความเข้มข้นของน้ำตาลด้วยวิธีการ Nelson-Somogyi Method และทำการวัดปริมาณแอลกอฮอล์โดยใช้เครื่อง Gas Chromatography โดยจะทำการวัดทั้งหมด 12 ตัวอย่าง เก็บตัวอย่างทั้งหมด 3 ช่วง คือ วันที่ 0 7 14 จะใช้ยีสต์สายพันธุ์ M-84 หมักที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส



รูปที่ 4.1 ปริมาณความเข้มข้นของน้ำตาล (1A) (แสดงในรูป mg/l) (1A) และปริมาณของเปอร์เซ็นต์แอลกอฮอล์ (1B) ในกระบวนการหมักด้วยยีสต์สายพันธุ์ M-84 อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียสในวันที่ 0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

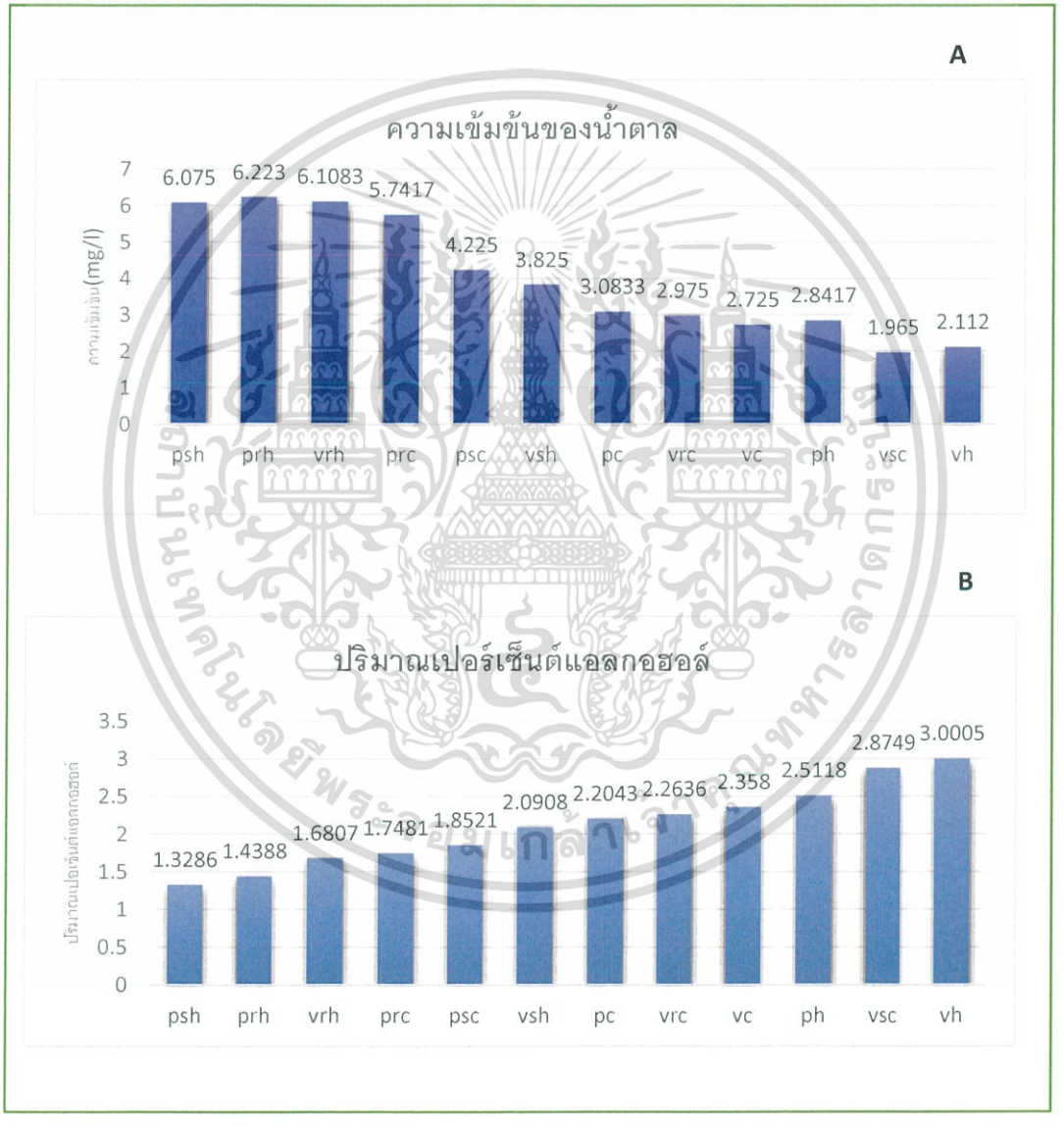
จากรูปที่ 4.1 จะแสดงถึงค่าความเข้มข้นของน้ำตาล (1A) และปริมาณแอลกอฮอล์ (1B) ในกระบวนการหมักด้วยยีสต์สายพันธุ์ M-84 อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส จะเห็นได้ว่าจากรูปที่ (1A) เบียร์ vh มีค่าความเข้มข้นของน้ำตาลในวันที่ 0 มากที่สุด คือ 19.322 mg/l ส่วน เบียร์ psh มีค่าความเข้มข้นของน้ำตาลในวันที่ 0 น้อยที่สุด คือ 14.675 mg/l และ จากรูปที่ (1B) จะเห็นได้ว่า เบียร์ vsh มีแอลกอฮอล์ในวันที่ 0 มากที่สุด คือ 0.3019 เปอร์เซ็น ส่วนเบียร์ pc มีแอลกอฮอล์ในวันที่ 0 น้อยที่สุด คือ 0 เปอร์เซ็นต์ในวันที่ 0 จากรูปที่ 4.1 พบว่ามีปริมาณน้ำตาลอยู่มากแต่ไม่มีแอลกอฮอล์เกิดขึ้นหรือเกิดขึ้นน้อยมากเป็นผลมาจากยีสต์ *Saccharomyces cerevisiae* สายพันธุ์ M-84 ซึ่งยังไม่มีการปรับสภาพในแหล่งอาหารชนิดใหม่จึงส่งผลให้ไม่มีแอลกอฮอล์เกิดขึ้นหรือเกิดขึ้นน้อยมากและในตัวอย่างที่มีแอลกอฮอล์เกิดขึ้นเป็นไปได้ว่ายีสต์ *Saccharomyces cerevisiae* สายพันธุ์ M-84 มีการสร้างแอลกอฮอล์อยู่ ในอาหารเลี้ยงเชื้อ เมื่อนำมาตรวจสอบในเครื่อง GC จึงพบว่ามีแอลกอฮอล์เกิดขึ้น



รูปที่ 4.2 ปริมาณความเข้มข้นของน้ำตาล (2A) (แสดงในรูป mg/l) (2A) ปริมาณของเปอร์เซ็นต์แอลกอฮอล์ (2B) ในกระบวนการหมักด้วยยีสต์สายพันธุ์ M-84 อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียสในวันที่ 7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.2 ค่าความเข้มข้นของน้ำตาล (2A) และค่าปริมาณเปอร์เซ็นต์แอลกอฮอล์ (2B) ในกระบวนการหมักด้วยยีสต์สายพันธุ์ M-84 อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียสในวันที่ 7 จะเห็นได้ว่ายีสต์มีการใช้น้ำตาลระหว่างการหมักทำให้มีปริมาณน้ำตาลที่ลดลง โดย vsh มีการใช้น้ำตาลจากวันที่ 0 ไปจนถึงวันที่ 7 มากที่สุดเป็นจำนวน 10.375 (mg/l) ทำให้มีปริมาณแอลกอฮอล์สูงที่สุด คือ 1.8836 เปอร์เซ็นต์ ส่วนตัวอย่างที่มีการใช้น้ำตาลน้อยที่สุดคือ psh ใช้น้ำตาลจากวันที่ 0 ไปจนถึงวันที่ 7 เพียง 6.933 (mg/l) ทำให้มีปริมาณแอลกอฮอล์น้อยที่สุด คือ 0.9914 เปอร์เซ็นต์



รูปที่ 4.3 ปริมาณความเข้มข้นของน้ำตาล (3A) (แสดงในรูป mg/l) (3A) ปริมาณของเปอร์เซ็นต์แอลกอฮอล์ (3B) ในกระบวนการหมักด้วยยีสต์สายพันธุ์ M-84 อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียสในวันที่ 14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

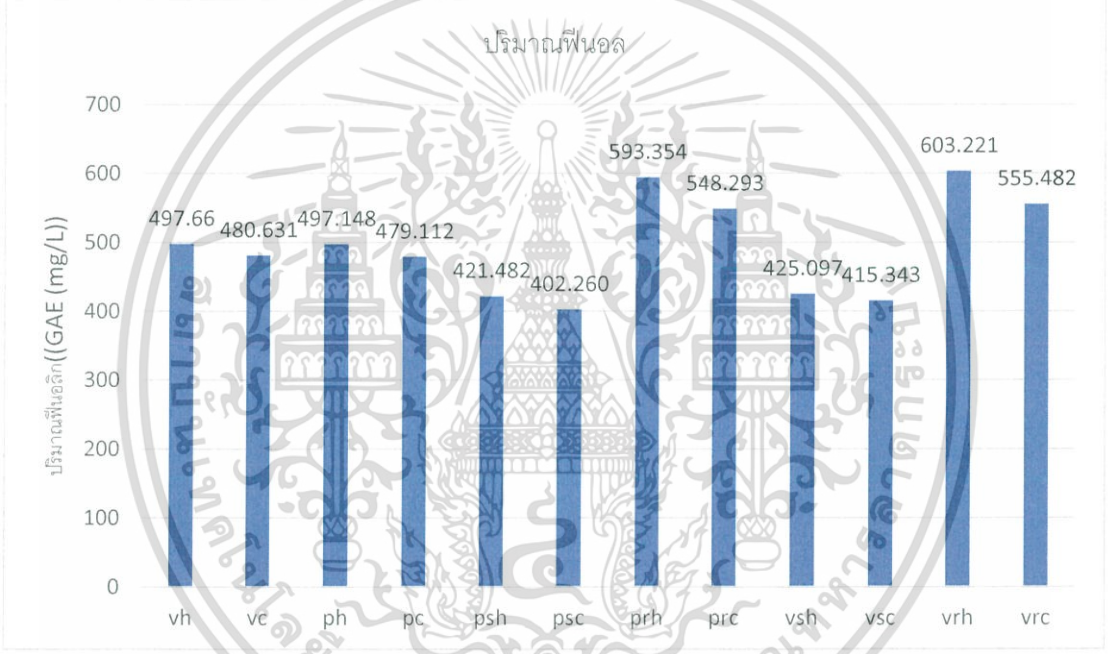
จากรูปที่ 4.3 ค่าความเข้มข้นของน้ำตาล (3A) และค่าปริมาณเปอร์เซ็นต์แอลกอฮอล์ (3B) ในกระบวนการหมักด้วยยีสต์สายพันธุ์ M-84 อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ในวันที่ 14 สิ้นสุดการหมัก ตัวอย่าง vh มีการใช้ปริมาณน้ำตาลมากที่สุดจากวันที่ 7 ถึง วันที่ 14 ถึง 8.119 (mg/l) ทำให้มีปริมาณแอลกอฮอล์มากที่สุดคือ 3.0005 เปอร์เซ็นต์และตัวอย่างที่มีการใช้น้ำตาลจากวันที่ 7 ถึง วันที่ 14 น้อยที่สุดคือ psh ใช้น้ำตาลเพียง 1.6667 (mg/l) ส่งผลให้มีปริมาณแอลกอฮอล์น้อยที่สุดเมื่อสิ้นสุดการหมัก คือ 1.3286 เปอร์เซ็นต์

จากผลการทดลองพบว่าตัวอย่าง vh มีปริมาณแอลกอฮอล์สูงที่สุดซึ่งดูได้จากกราฟที่ 4.1 จะเห็นได้ว่า ตัวอย่าง vh มีปริมาณน้ำตาลมากที่สุดเมื่อเทียบดูจากกราฟทั้งหมด 3 วัน 0 7 14 ซึ่งจะเห็นได้ว่าเบียร์vh มีการใช้ปริมาณน้ำตาลมากที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับหลักการที่ (ปฏิพล และคณะ, 2555) กล่าวว่ายีสต์จะเปลี่ยนน้ำตาลให้เป็นเอทานอล ซึ่งทำให้ความเข้มข้นของน้ำตาลทั้งหมดลดลงเรื่อยๆ เพราะน้ำตาลถูกเปลี่ยนเป็น เอทานอลโดยยีสต์ ซึ่งตรงกันข้ามกับปริมาณเอทานอลเพราะเมื่อเวลาในการหมักเพิ่มขึ้นปริมาณ เอทานอลก็เพิ่มมากขึ้น โดยที่น้ำตาลทำให้ยีสต์เจริญเติบโตและลดน้อยลงไปในที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 การศึกษาหาปริมาณฟีนอลในข้าวและฮ็อพ

ผลการศึกษาหาปริมาณฟีนอล ในเบียร์โดยทำการเปรียบเทียบ 3 ทรีทเมนต์ คือ เปรียบเทียบมอลต์ 2 ชนิดที่แตกต่างกัน คือ มอลต์เวียนนา และ มอลต์พิชเนอร์ เปรียบเทียบข้าว 2 ชนิดที่แตกต่างกันคือ ข้าวไรซ์เบอร์รี่ และข้าวหอมมะลิจากจังหวัดศรีสะเกษ และเปรียบเทียบจากฮ็อพ 2 ชนิดคือ Hallertau Hersbrucker hop และ Columbus hop โดยใช้อุณหภูมิในการหมัก 10 องศาเซลเซียส โดยใช้เชื้อยีสต์ *S. cerevisiae* สายพันธุ์ M 84 โดยจะทำการวัดปริมาณฟีนอลของเบียร์ในวัดสุดท้ายของการหมัก คือ วันที่ 14 เพื่อทำการวัดหาปริมาณฟีนอลทั้งหมดในเบียร์ทั้ง 12 ชนิดที่แตกต่างกัน โดยในการทดลองจะให้เบียร์ที่ไม่มีการใส่ส่วนผสมเข้าไปนั้นเป็นตัวควบคุมจะเห็นได้ ดังรูปที่ 4.4



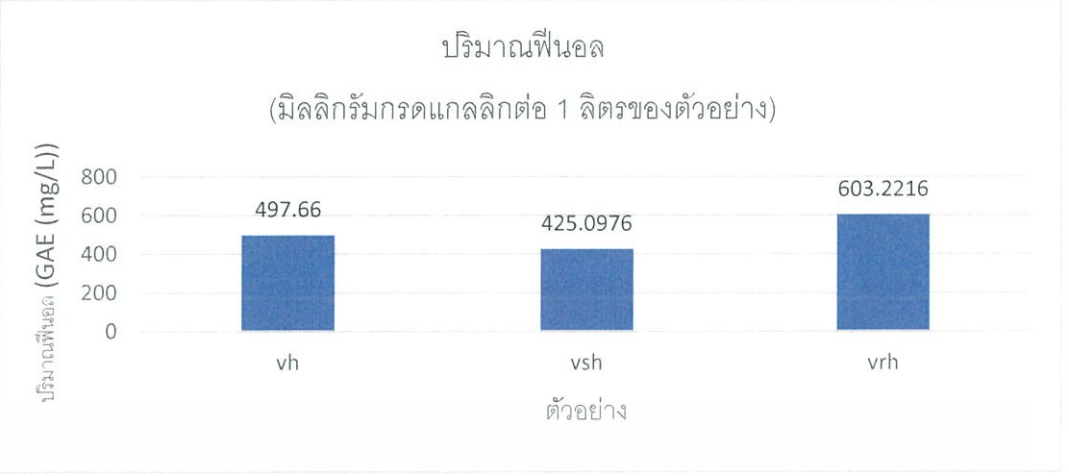
รูปที่ 4.4 ค่าปริมาณฟีนอลโดยรวม (แสดงในรูป GAE (mg/L)) ของเบียร์แต่ละชนิดที่แตกต่างกัน

v : เวียนนามอลต์ , p : พิชเนอร์มอลต์ , h : Hallertau Hersbrucker hop , c : Columbus hop

s : ข้าวหอมมะลิศรีสะเกษ, r : ข้าวโรซ์เบอร์รี่

จากรูป 4.4 กราฟแท่งแสดงให้เห็นถึงค่าความแตกต่างของปริมาณฟีนอลโดยรวมของเบียร์ทั้ง 12 ชนิดที่ส่วนผสมแตกต่างกัน โดยจากค่ารูปแสดงให้เห็นว่าเบียร์ส่วนผสม vrh มีค่าปริมาณฟีนอลมากที่สุดคือ 603.2216 GAE (mg/l) และเบียร์ส่วนผสม psc มีค่าปริมาณฟีนอลโดยรวมน้อยที่สุดคือ 402.2607 GAE (mg/l)

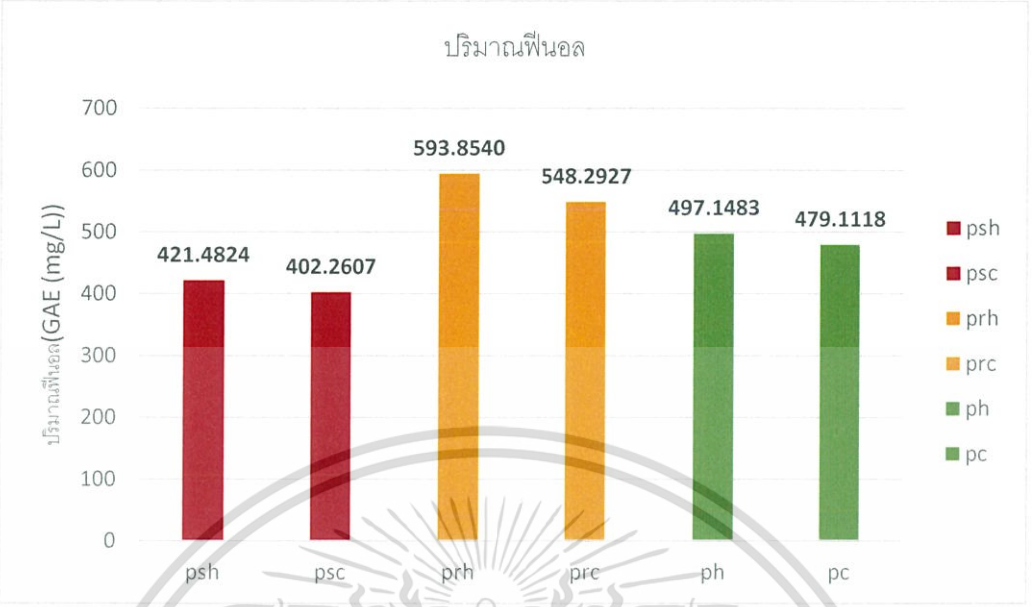
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 ปริมาณฟีนอลโดยรวม (แสดงในรูป GAE (mg/L) โดยมี vh เป็นตัวควบคุม และเปรียบเทียบค่าปริมาณฟีนอลเมื่อมีการใส่ส่วนผสมที่คือข้าวที่แตกต่างกัน คือข้าวหอมมะลิศรีสะเกษและข้าวไรซ์เบอร์รี่

จากรูปที่ 4.5 กราฟแท่งแสดงให้เห็นถึงปริมาณฟีนอลของเบียร์ที่แตกต่างกัน 3 ระดับ โดยที่มากสุดคือเบียร์ vrh มีปริมาณฟีนอลมากที่สุด 603.22 GAE (mg/l) รองลงมาคือเบียร์ vh มีปริมาณฟีนอล 497.66 GAE (mg/l) ส่วนเบียร์ที่มีปริมาณฟีนอลน้อยที่สุดคือ vsh มีปริมาณฟีนอลโดยรวมน้อยที่สุด 425.09 GAE (mg/l) ซึ่งในข้าวไรซ์เบอร์รี่มีการยืนยันว่ามีฤทธิ์ในการต้านสารอนุมูลอิสระสูง เป็นข้าวที่ได้จากการผสมข้ามสายพันธุ์จากข้าวหอมนิล ซึ่งเป็นที่รู้กันดีว่ามีคุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระสูงรวมถึงสารประกอบฟีนอล จากงานวิจัยของ ปวีณา และประภัสสร (2555) โดยทั่วไปแล้วเมล็ดข้าวที่มีสีจะมีสารต้านอนุมูลอิสระมากกว่าเมล็ดข้าวที่ไม่มีสี สารประกอบของฟีนอลิกที่มีบทบาทเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ ที่พบในผลิตภัณฑ์เบียร์นั้น จะพบมากในช่วงระยะของข้าวที่ถูกทำให้งอก (Sirichokworrakit *et al.*, 2015) ซึ่งทำให้ในตัวอย่างที่มีข้าวไรซ์เบอร์รี่ผสมอยู่ มีปริมาณฟีนอลมากกว่าตัวอย่างที่ไม่มีข้าวไรซ์เบอร์รี่ผสมอยู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

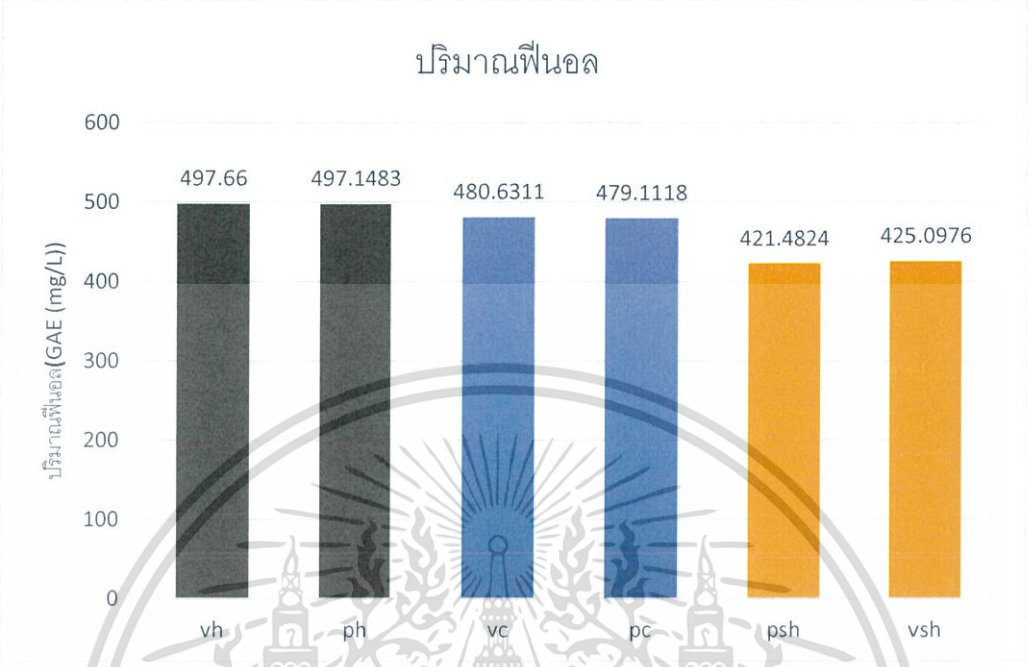


รูปที่ 4.6 แสดงถึงการเปรียบเทียบค่าปริมาณฟีนอล (แสดงในรูป GAE (mg/L)) ของตัวอย่างเบียร์ที่ใส่ ฮ็อพแตกต่างกัน 2 ชนิดคือ Hallertau Hersbrucker hop (h) และ Columbus hop (c)

จากรูปที่ 4.6 กราฟแท่งแสดงให้เห็นถึงปริมาณฟีนอลโดยรวมของเบียร์ที่มีการใส่ฮ็อพแตกต่างกัน โดยจะทำการเปรียบเทียบตัวอย่างทั้งหมด 3 คู่ คู่แรก (สีแดง) จะทำการเปรียบเทียบระหว่าง psh และ psc ซึ่งสองตัวอย่างนี้จะมีส่วนผสมเหมือนกัน แต่มีส่วนผสมของฮ็อพ แตกต่างกันผลปรากฏว่า psh (421.4824 GAE (mg/L) มากกว่า psc (402.2607 GAE (mg/L) คู่ที่สอง (สีเหลือง) จะทำการเปรียบเทียบระหว่าง prh และ prc ซึ่งสองตัวอย่างนี้จะมีส่วนผสมเหมือนกัน แต่มีส่วนผสมของฮ็อพแตกต่างกันผลปรากฏว่า prh (593.8540 GAE (mg/L) มากกว่า prc (548.2927 GAE (mg/L) คู่สุดท้าย (สีเขียว) จะทำการเปรียบเทียบระหว่าง ph และ pc ซึ่งสองตัวอย่างนี้ใช้มอลต์เหมือนกัน แต่มีส่วนผสมของฮ็อพแตกต่างกันผลปรากฏว่า ph (497.1483 GAE (mg/L) มากกว่า pc (479.1118 GAE (mg/L)โดยฮ็อพที่ใช้ในการทดลองมีความแตกต่างกันของแหล่งที่ใช้ในการเพาะปลูกโดยฮ็อพ Columbus เป็นฮ็อพที่มาจากประเทศเยอรมัน และฮ็อพ Hallertau Hersbruckerเป็นฮ็อพที่มากจากประเทศสหรัฐอเมริกา ซึ่งทำให้ผลของปริมาณฟีนอลที่ได้นั้นแตกต่างกันเพราะปริมาณฟีนอลขึ้นอยู่กับความแตกต่างของธัญพืชในธรรมชาติซึ่งเป็นเหตุให้พืชต่างชนิดกันได้ค่าปริมาณฟีนอลแตกต่างกัน (Fumi *et al.*, 2011) ฟีนอลในฮ็อพนั้นมีบทบาทในการต้านสารอนุมูลอิสระเพราะมีสารอนุมูลอิสระ, สารต่อต้านการกลายพันธุ์, สารต่อต้านมะเร็ง, สารต่อต้านจุลินทรีย์, สารต้านการอักเสบ และต้านการอักเสบนอกจากนั้นยังมีสามารถควบคุมความดันโลหิตและน้ำตาลใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เลือด ผลของปริมาณฟีนอลขึ้นอยู่กับการจัดเก็บฮ็อพและอุณหภูมิแต่ไม่มีผลกับฮ็อพอัดเม็ดที่ใช้ในการทดลอง



รูปที่ 4.7 แสดงถึงการเปรียบเทียบค่าปริมาณฟีนอล (แสดงในรูป GAE (mg/L)) ของตัวอย่างเบียร์ที่ใส่ , มอลต์แตกต่างกัน 2 ชนิดคือ มอลต์เวียนนา (v) และ มอลต์พิชเนอร์ (p)

จากรูปที่ 4.7 กราฟแท่งแสดงให้เห็นถึงปริมาณฟีนอลของมอลต์ที่แตกต่างกัน โดยจะยกตัวอย่างทำการเปรียบเทียบทั้งหมด 3 คู่ คู่แรก (สีดำ) จะทำการเปรียบเทียบระหว่าง vh และ ph ผลปรากฏว่า vh (497.66 GAE (mg/L)) มากกว่า ph (497.1483 GAE (mg/L)) คู่ที่สอง (สีฟ้า) จะทำการเปรียบเทียบระหว่าง vc และ pc ผลปรากฏว่า vc (480.6311 GAE (mg/L)) มากกว่า pc (479.1118 GAE (mg/L)) คู่สุดท้าย (สีส้ม) จะทำการเปรียบเทียบระหว่าง psh และ vsh ผลปรากฏว่า psh (421.484 GAE (mg/L)) น้อยกว่า vsh (425.0976 GAE (mg/L))

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 ผลการทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัส

นำตัวอย่างเบียร์สูตรที่คัดเลือกไว้แล้ว ไปทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัส โดยทำการประเมินความชอบในด้าน ลักษณะที่ปรากฏ กลิ่น รสชาติ ความรู้สึกในปาก ความชอบโดยรวม ของผู้บริโภค จำนวน 13 คน โดยใช้แบบทดสอบ ได้ดังผลตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ตารางแสดงคะแนนความชอบทางด้านประสาทสัมผัสของเบียร์ทั้ง 5 ตัวอย่าง

เบียร์	ลักษณะที่ปรากฏ	กลิ่น	รสชาติ	ความรู้สึกในปาก	ความชอบโดยรวม
vc	7.54	7.61	6.92	7	7.2
ph	6.69	7.15	6.76	6.69	6.77
vh	7.53	7.38	6.46	6.61	7.07
vsc	6.61	7.30	6.54	6.46	5.92
vrc	7.30	7.15	6.92	6.92	7

จากตารางคะแนนความชอบทางด้านประสาทสัมผัสของเบียร์ทั้ง 5 ตัวอย่าง การประเมินความชอบด้านลักษณะปรากฏพบว่า คะแนนของเบียร์ vc ได้คะแนน 7.54 เบียร์ ph ได้คะแนน 6.69 เบียร์ vh ได้คะแนน 7.53เบียร์ vsc ได้คะแนน 6.61 เบียร์ vrc ได้คะแนน 7.30 จะเห็นได้ว่าเบียร์ vc ได้รับคะแนนสูงสุด รองลงมาคือ vh และ vrc เมื่อเทียบ ตัวอย่างเบียร์ทั้ง 5 สูตรแล้วเบียร์ทั้งสามสูตรที่ได้กล่าวมามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

การประเมินความชอบด้านกลิ่นพบว่า คะแนนของเบียร์ vc ได้คะแนน 7.61 เบียร์ ph ได้คะแนน 7.15 เบียร์ vh ได้คะแนน 7.38 เบียร์ vsc ได้คะแนน 7.30 เบียร์ vrc ได้คะแนน 7.15 จะเห็นได้ว่าเบียร์ vc ได้รับคะแนนสูงสุด เมื่อ เทียบตัวอย่างเบียร์ทั้ง 5 สูตรแล้วไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

การประเมินความชอบด้านรสชาติพบว่า คะแนนของเบียร์ vc ได้คะแนน 6.92 เบียร์ ph ได้คะแนน 6.76 เบียร์ vh ได้คะแนน 6.46 เบียร์ vsc ได้คะแนน 6.54 เบียร์ vrc ได้คะแนน 6.92 จะเห็นได้ว่าเบียร์ vc และเบียร์ vrc ได้รับคะแนนสูงสุดเท่ากัน เมื่อ เทียบตัวอย่างเบียร์ทั้ง 5 สูตรแล้วไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การประเมินความชอบด้านความรู้สึกในปากพบว่า คะแนนของเบียร์ vc ได้คะแนน 7 เบียร์ ph ได้คะแนน 6.69 เบียร์ vh ได้คะแนน 6.61 เบียร์ vsc ได้คะแนน 6.46 เบียร์ vrc ได้คะแนน 6.92 จะเห็นได้ว่าเบียร์ vc และเบียร์ vrc ได้รับคะแนนสูงสุดเท่ากัน เมื่อ เทียบตัวอย่างเบียร์ทั้ง 5 สูตร แล้วไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P≤ 0.05)

การประเมินความชอบโดยรวมพบว่า คะแนนของเบียร์ vc ได้คะแนน 7.25 เบียร์ ph ได้คะแนน 6.77 เบียร์ vh ได้คะแนน 7.07 เบียร์ vsc ได้คะแนน 5.92 เบียร์ vrc ได้คะแนน7 จะเห็นได้ว่าเบียร์ vsc ได้รับคะแนนน้อยที่สุด เมื่อ เทียบตัวอย่างเบียร์ทั้ง 5 สูตรแล้วมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P≤ 0.05)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

ในผลของแอลกอฮอล์ที่ทำการเก็บตัวอย่างทุกวันที่ 0 , 7 และ 14 จากนั้นนำมาวิเคราะห์ผลด้วยวิธีการ Gas Chromatography (GC) ในวันที่ 0 พบว่า ในตัวอย่าง vsh จะมีปริมาณแอลกอฮอล์สูงสุดที่ 0.3 เปอร์เซ็นต์ และ vc มีปริมาณแอลกอฮอล์ต่ำสุดอยู่ที่ 0 เปอร์เซ็นต์ ต่อมาในวันที่ 7 พบว่า vsh จะมีปริมาณแอลกอฮอล์สูงสุดที่ 1.88 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณแอลกอฮอล์ต่ำสุดคือ psh อยู่ที่ 0.99 เปอร์เซ็นต์ และวันที่ 14 vh จะมีแอลกอฮอล์สูงสุดที่ 3.0 เปอร์เซ็นต์และต่ำสุดอยู่ที่ 1.32 เปอร์เซ็นต์ คือ psh ในปริมาณฟีนอลิกที่ทำการเก็บตัวอย่างในวันสุดท้ายวันที่ 14 ได้นำมาวิเคราะห์พบว่า ในตัวอย่าง vrh มีปริมาณฟีนอลสูงสุดที่ 603.2216 GAE (mg/L) และในตัวอย่างที่มีปริมาณฟีนอลต่ำสุด คือ psc มีปริมาณฟีนอลที่ 402.2607 GAE (mg/L)

สรุปว่าปริมาณแอลกอฮอล์ที่สูงสุดจะอยู่ในวันที่ 14 คือ vh เท่ากับ 3.0 เปอร์เซ็นต์ และปริมาณฟีนอลสูงสุดคือ vrh จะมีปริมาณฟีนอล 603.2216 GAE (mg/L)

ผลการทดสอบชนิดข้าว 2 ชนิด มอลต์ที่ใช้ข้าวหอมมะลิและข้าวไรซ์เบอร์รี่พบว่าข้าวไรซ์เบอร์รี่มีปริมาณฟีนอลสูงสุดรองลงมาคือมอลต์ที่ใช้ในการเปรียบเทียบและต่ำสุดคือข้าวหอมมะลิ

ผลการเปรียบเทียบของชนิดของดอกฮ็อพทั้ง 2 ชนิด ระหว่าง Hallertau Hersbrucker และ Columbus จะพบว่าในตัวอย่างที่มีฮ็อพ Hallertau Hersbrucker จะมีปริมาณฟีนอลสูงกว่าตัวอย่างที่มีฮ็อพ Columbus

ผลการเปรียบเทียบมอลต์หลักทั้ง 2 ชนิด ระหว่าง มอลต์เวียนนา และ มอลต์พิชเนอร์ พบว่ามอลต์ทั้งสองชนิดไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

การทดสอบความชอบทางประสาทสัมผัสด้วยวิธี 9-point hedonic scale ซึ่งทำการทดสอบลักษณะที่ปรากฏ กลิ่น รสชาติ ความรู้สึกในปาก และความชอบโดยรวม โดยใช้ผู้ทดสอบจำนวน 13 คนและวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดยใช้โปรแกรม SPSS 16.0 for Windows Evaluation version ในการประเมินความชอบด้านลักษณะที่ปรากฏ และความชอบโดยรวม พบว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ส่วนความรู้สึกในปาก รสชาติ และ กลิ่น พบว่าตัวอย่างเบียร์ทั้ง 5 สูตรแล้วไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อเสนอแนะ

1. ขั้นการการบดมอลล์ไม่ควรบดละเอียดจนเกินไปเพราะจะส่งผลทำให้น้ำเวิร์ทขุ่นยากต่อการกรอง
2. ในขั้นตอนการต้มควรมีการควบคุมอุณหภูมิให้คงที่
3. ขั้นตอนการหล่อเย็นควรมีอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับหล่อเย็นโดยเฉพาะเพื่อลดระยะเวลาในการรอให้น้ำเวิร์ทเย็นตัว
4. ขั้นตอนการเก็บตัวอย่างไม่ควรเปิดปิดขวดหลายครั้งเพราะเสี่ยงต่อการปนเปื้อนและแอลกอฮอล์ระเหยได้
5. ควรใช้ระยะเวลาในการหมักที่นานมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

จันทนี อุริยพงศ์สรรค์. 2549. “ผลของพันธุ์ข้าวต่อสารให้กลิ่นรสในเบียร์.” รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์. มหาวิทยาลัยขอนแก่น. หน้า 6-23.

โชคชัย วนภู. 2556. “การหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตเบียร์จากข้าวไทยเป็นส่วนประกอบหลักโดยวิธีพื้นที่ผิวตอบสนองและการประยุกต์ใช้ในการผลิตเบียร์ระดับกึ่งอุตสาหกรรม.” รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี. หน้า 11-42.

ณัฐพร จันทร์ฉาย. 2556. “สภาวะที่เหมาะสมต่อการผลิตเบียร์ด้วยข้าวโพดเพาะงอก.” รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์. มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เฉลิมพระเกียรติ.

ปฏิพล ชัยเทพ ไพรัช สาใจ และรัชฎาภรณ์ ปวงก่องตั้น. 2555. “การผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาลโดยใช้ยีสต์ทนร้อน.” รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา. หน้า 42.

ปวีณา รัตนเสนา และประภัสสร บุษหมั่น. 2555. “กิจกรรมต้านอนุมูลอิสระและปริมาณสารประกอบ ฟีนอลิกทั้งหมดในข้าวกล้อง ข้าวกล้องงอก และข้าวฮางงอกของข้าวไทยบางสายพันธุ์.” *วารสารการประชุมวิชาการข้าวแห่งชาติ ครั้งที่ 2*, หน้า 626.

รวินิภา ศรีมูล และศิริจันทร์ ตาใจ. 2556. “ปริมาณฟีนอลรวมและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระในน้ำผลไม้แปรรูปในจังหวัดจันทบุรี.” รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก วิทยาเขตจันทบุรี. หน้า 47.

เรวัต เลิศฤทัยโยธิน. 2541. “ข้าวโพด.” *วารสารพฤกษศาสตร์พืชเศรษฐกิจ ภาควิชาพืชไร่นา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์*. หน้า 12-19.

แววลี ประมูล, วิริญา บุญยืน, เกรียงไกร การรินทร์ และสุภาภรณ์ กันทะวงศ์. 2547. “การหมักแอลกอฮอล์.” รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. หน้า 4-5.

ศรีสุดา เคยอาษา. 2554. “การศึกษาคุณลักษณะของเอนไซม์ฟรุกโตซิลทรานสเฟอเรสจากแก่นตะวันเพื่อนำไปผลิตฟรุกโตโอลิโกแซคคาไรด์.” รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์. มหาวิทยาลัยศิลปากร. หน้า 62-64.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สกานต์ เหลืองเกรียงไกร และเชาว์ อินทร์ประสิทธิ์. 2554. “การวิเคราะห์ปริมาณเอทานอลในน้ำหมักด้วยเทคนิคเฮดสเปซ-แก๊สโครมาโทกราฟีโดยใช้สารมาตรฐานภายใน.” *วารสารการประชุมวิชาการ ครั้งที่ 8 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน.* หน้า 173-174.

สถาบันวิจัยข้าว. 2541. “วิวัฒนาการพันธุ์ข้าวไทย.” สถาบันวิจัยข้าว กรมวิชาการเกษตร. หน้า 168.

หนึ่ง เตียอำรุง, นันทกร บุญเกิด และโชคชัย วนภู. 2553. “รายงานการวิจัยการผลิตเบียร์จากข้าวไทย.” สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี. หน้า 5-10.

อริภา ลาภโคกสูง. 2555. “ผลของปริมาณอะมิโลสและโครงสร้างอะมิโลเพคตินในสตาร์ชข้าวพันธุ์ต่างๆ ต่อการเกิดแป้งทนต่อการย่อยเอนไซม์ชนิดที่ 3.” รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี. หน้า 36.

Ahring, B.K. Jensen, K. Nielsen, P. Bjerre A.B. and Schmidt, A.S. 1996. “Pretreatment of wheat straw and conversion of xylose and xylan to ethanol by thermophilic anaerobic bacteria.” *Bioresource Technology*. 58 : 107-113.

Arjinajarn, P. Pongchaidecha, A. Chueakula, N. Jaikumkao, K. Chatsudthipong, V. Mahatheeranont, S. Norkaew, O. Chattipakorn, N. and Lungkaphin, A. 2016. “Riceberry bran extract prevents renal dysfunction and impaired renal organic anion transporter 3 (Oat3) function by modulating the PKC/Nrf2 pathway in gentamicin-induced nephrotoxicity in rats.” *Phytomedicine*. 23 : 1753-1763.

De León-Medina, P.M. Elizondo-González, R. Damas-Buenrostro, L.C. Geertman, J. Broek, M.V. Galán-Wong, L.J. Ortiz-López, Rocío and Pereyra-Alférez, B. 2016. “Genome annotation of a *Saccharomyces* sp. lager brewer's yeast.” *Genomics Data*. 9 : 25-29.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Espinosa-Ramírez, J. Perez-Carrillo, E. and Serna-Saldívar, S.O. 2014. "Maltose and glucose utilization during fermentation of barley and sorghum lager beers as affected by β-amylase or amyloglucosidase addition." *Journal of Cereal Science*. 60 : 602-609.

Fumi, M.D. Galli, R. Lambri, M. Donadini, G. and De Faveri, D.M. 2011. "Effect of full-scale brewing process on polyphenols in Italian all-malt and maize adjunct lager beers." *Journal of Food Composition and Analysis*. 24 : 568-573.

Goufo, P. and Trindade, H. 2014. "Rice antioxidants: phenolic acids, flavonoids, anthocyanins, proanthocyanidins, tocopherols, tocotrienols, c-oryzanol, and phytic acid." *Food Science & Nutrition*. 2(2) : 75-104.

Pizarro, C. Perez-del-Notario, N. and Gonzalez-Saiz, J.M. 2010. "Optimisation of a simple and reliable method based on headspace solid-phase microextraction for the determination of volatile phenols in beer." *Journal of Chromatography A*. 1217 : 6013-6021.

Rong, L. Peng, L. Ho, Chi-Tang Yan, S. Meurens, M. Zhang, Z. Li, D. Wan, X. Bao, G. Gao, X. and Ling, T. 2016. "Brewing and volatiles analysis of three tea beers indicate a potential interaction between tea components and lager yeast." *Food Chemistry*. 197 : 161-167.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Sirichokworrakit, S. Phetkhut, J. and Khommoon, A. 2015. "Effect of partial substitution of wheat flour with riceberry flour on quality of noodles." *Procedia*. 197 : 1006-1012.

พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์. 2559. **คุณประโยชน์ของข้าวหอมนิล**. [Online]. Available : http://www.greenshopcafe.com/greennews819.html.

พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์. 2560. **องค์ประกอบของเมล็ดข้าว.** [Online]. Available : http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/1657/.

Maria Fuentes. 2559. **Hemocytometer protocol.** [Online]. Available : https://www.hemocytometer.org/hemocytometer-protocol/.

Steve Parkes. 2560. **Hop Chemistry: Homebrew Science.** [Online]. Available : http://byo.com/stories.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

การเตรียมสารและการวิเคราะห์

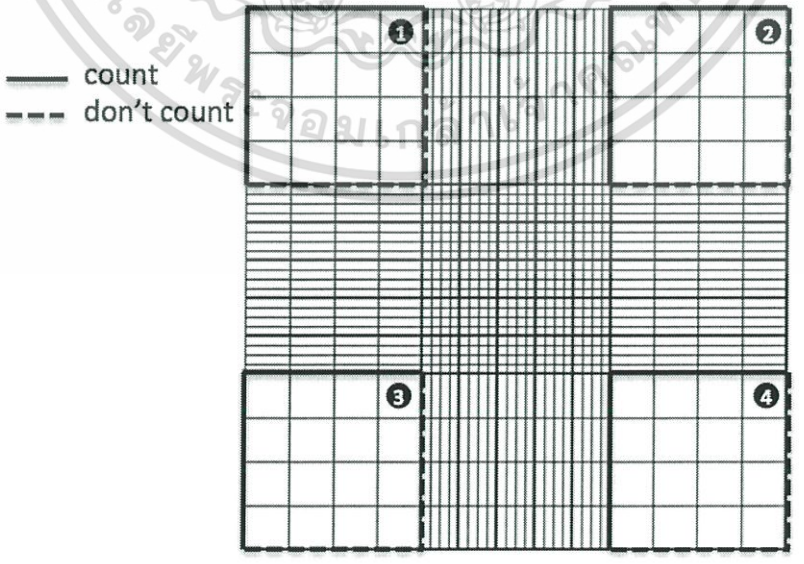
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวิเคราะห์ความหนาแน่นของเซลล์ยีสต์โดยใช้ hemacytometer

1. นำตัวอย่างมาหยดลงในแผ่นสไลด์
2. มองผ่านเลนส์กล้องจุลทรรศน์ที่ปรับกำลังขยาย 100x หรือ 100 เท่า เพื่อเจาะจงให้อยู่ในส่วนของ 25 ช่องเล็กเพราะกำลังขยายในระดับนี้จะทำให้ มองเห็นจำนวน 25 ช่องเกือบพอดี และมีส่วนเกินเพียงบนฮิโมซิโตมิเตอร์บริเวณเส้นตารางสีขาวคือเส้นแบ่งช่อง จุดสีดำเล็กๆ คือโคโลนี(colony) หรือกลุ่มของแพลงก์ตอน
3. นับจำนวนแพลงก์ตอน หรือเชื้อที่เพาะเลี้ยงจะนับด้วยการใช้สายตามองโดยจะดับจำนวนกลุ่มหรือจุดสีดำที่ซึ่งอยู่ในตำแหน่งสี่มุมและช่องตรงกลางโดยแต่ละช่องของตารางมีความกว้างและความยาว 0.2 มิลลิเมตรเท่ากันโดยจะมีช่องตาราง 2 แบบ ตารางช่องขนาดใหญ่ และ ตารางช่องขนาดเล็ก โดยจะคำนวนจำนวนเซลล์ต่อมิลลิลิตรจากสูตร ความกว้าง×ความยาว×ความลึก (10^4) เมื่อนับจากตารางช่องใหญ่ แต่เมื่อนับจากตารางช่องเล็กจะคำนวนจากสูตร ค่าเฉลี่ย *5* ช่อง× $\frac{1}{4}\times10^6$
4. การเลือกจะนับช่องตารางใหญ่หรือตารางเล็ก

การเลือกวัดช่องใหญ่จะให้ค่าที่แม่นยำกว่าการเลือกวัดที่ช่องเล็ก เนื่องจากช่องใหญ่มีพื้นมากกว่า หากเชื้อมีความหนาแน่นต่ำควรเลือกนับที่ช่องใหญ่หากเชื้อมีความหนาแน่นมากควรเลือกนับที่ช่องเล็กจะทำให้ประหยัดเวลามากกว่า

ภาพที่ ภาพช่อง hemacytometer



ที่มา: https://www.hemocytometer.org/hemocytometer-protocol/

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวัดค่าการดูดกลืนแสง (Absorbance)

วัดค่าโดยใช้เครื่อง Spectrophotometer

1. ถอดถุงคลุมเครื่องออก
2. เปิดสวิทซ์ไฟฟ้าเพื่ออุ่นเครื่องนาน 30 นาที
3. ปิดแสงจากภายในหรือภายนอกไม่ให้ตกกระทบตัวไวแสง โดยการปิดฝาครอบช่องใส่คิวเวทท์และปิดช่องแสงออก
4. เลือกความยาวคลื่นแสงที่ต้องการวัดโดยปรับปุ่มเลือกความยาวคลื่น
5. ปรับเครื่องเป็น 100%T หรือตั้งค่าการดูดกลืน ให้เป็นศูนย์ด้วยปุ่มปรับศูนย์ (ปุ่ม calibrate)
6. ใส่สารละลายอ้างอิง (reagent blank) ลงในช่องใส่คิวเวทท์ ปิดฝาช่องใส่คิวเวทท์
7. ปรับ 100%T หรือค่าการดูดกลืนให้เป็นศูนย์ด้วยปุ่มปรับศูนย์การปรับในขั้นตอนนี้ต้องกระทำทุกครั้งที่มีการเปลี่ยนความยาวคลื่นแสงที่ใช้วัด
8. ใส่สารตัวอย่างลงในช่องใส่คิวเวทท์ ปิดฝาช่องใส่คิวเวทท์
9. อ่านค่า %T หรือ absorbance
10. หลังเสร็จการใช้งาน ปิดสวิทซ์ไฟฟ้า ปล่อยให้เครื่องเย็นก่อนคลุมเครื่องด้วยถุงคลุมเครื่องมือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวัดปริมาณน้ำตาล (°Brix)

วัดค่าโดยใช้เครื่อง Refractometer

1. ส่องดูสเกลในเครื่องผ่านช่องมองของเครื่องให้อยู่ที่ค่า 0 องศาบริกซ์
2. ใช้แท่งแก้วจุ่มสารละลายตัวอย่างหยดลงบนปริซึมของเครื่อง Refractometer 2-3 หยด
3. ค่อยๆ ปิดแผ่นใสที่ให้แสง
4. สารละลายตัวอย่างต้องกระจายทั่วผิวปริซึม ระวังอย่าให้มีฟองอากาศอยู่ใต้แผ่นใส
5. ส่องดูสเกลในเครื่องผ่านช่องมองของเครื่อง
6. อ่านค่า องศาบริกซ์ ที่สเกลตรงรอยต่อระหว่างสีขาวและสีฟ้า
7. ล้างด้วยน้ำสะอาดและเช็ดด้วยกระดาษทิชชูให้แห้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

ข้อมูลผลการวิเคราะห์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริมาณแอลกอฮอล์วิเคราะห์โดย gas chromatography วันที่ 0

Descriptives

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
ph0	3	.313807	.0946831	.0546653	.078601	.549013	.2122	.3996
vsc0	3	.666000	.2724021	.1572714	-.010684	1.342684	.4945	.9801
prc0	3	.314367	.3091398	.1784819	-.453579	1.082312	.0000	.6180
prh0	3	.225933	.3913280	.2259333	-.746179	1.198046	.0000	.6778
vc0	3	.387333	.1484399	.0857018	.018588	.756078	.2566	.5487
vh0	3	.586667	.1298046	.0749427	.264214	.909119	.4575	.7171
psh0	3	.173233	.0393123	.0226969	.075576	.270890	.1345	.2131
psc0	3	.541733	.2751611	.1588644	-.141805	1.225271	.2496	.7960
pc0	3	.000000	.0000000	.0000000	.000000	.000000	.0000	.0000
vrh0	3	.679833	.5589448	.3227069	-.708662	2.068329	.2115	1.2986
vrc0	3	.767367	.6645656	.3836871	-.883506	2.418239	.0000	1.1540
vsh0	3	.406967	.1236532	.0713912	.099795	.714138	.3260	.5493
Total	36	.421937	.3465900	.0577650	.304667	.539206	.0000	1.2986

Test of Homogeneity of Variances

Alcohol

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
4.538	11	24	.001

ANOVA

Alcohol

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	1.770	11	.161	1.586	.166
Within Groups	2.435	24	.101		
Total	4.204	35			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริมาณแอลกอฮอล์วิเคราะห์โดย gas chromatography วันที่ 7

Descriptives

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
vsh7	3	18.835967	.3701946	.2137319	17.916352	19.755581	18.5288	19.2470
vsc7	3	10.252800	.0000000	.0000000	10.252800	10.252800	10.2528	10.2528
prc7	3	14.058767	.2405083	.1388576	13.461311	14.656223	13.7822	14.2189
prh7	3	13.187200	.3350799	.1934585	12.354815	14.019585	12.8124	13.4578
vc7	3	17.186133	1.7200030	.9930442	12.913409	21.458858	15.2359	18.4866
vh7	3	14.401667	1.2265453	.7081462	11.354759	17.448574	13.0974	15.5319
psh7	3	9.913900	.4627438	.2671652	8.764381	11.063419	9.3849	10.2436
psc7	3	13.243900	2.0608713	1.1898446	8.124412	18.363388	11.1930	15.3146
pc7	3	16.795500	1.0377688	.5991561	14.217539	19.373461	16.1125	17.9897
vrh7	3	15.323500	.2970018	.1714741	14.585707	16.061293	15.1123	15.6631
ph7	3	13.364500	.6937374	.4005295	11.641161	15.087839	12.7581	14.1210
psc7	3	14.328267	.1689163	.0975238	13.908655	14.747878	14.2287	14.5233
Total	36	14.241008	2.6563906	.4427318	13.342215	15.139802	9.3849	19.2470

Test of Homogeneity of Variances

Alcohol

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
3.051	11	24	.011

ANOVA

Alcohol

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	225.162	11	20.469	22.522	.000
Within Groups	21.813	24	.909		
Total	246.974	35			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริมาณแอลกอฮอล์วิเคราะห์โดย gas chromatography วันที่ 14

Descriptives

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
vsh14	3	20.907600	1.0102302	.5832567	18.398049	23.417151	20.0884	22.0364
vsc14	3	28.749667	3.1646195	1.8270939	20.888316	36.611017	25.4872	31.8064
prc14	3	17.481500	.1684698	.0972661	17.062998	17.900002	17.3103	17.6471
prh14	3	14.387967	.3435089	.1983250	13.534643	15.241290	14.1784	14.7844
vc14	3	23.580267	.2428530	.1402112	22.976986	24.183547	23.3416	23.8271
vh14	3	30.005033	1.9163316	1.1063946	25.244602	34.765465	28.7538	32.2112
psh14	3	13.286200	1.6879414	.9745334	9.093121	17.479279	11.7160	15.0713
psc14	3	18.520500	1.2553317	.7247661	15.402083	21.638917	17.2548	19.7652
pc14	3	22.042767	2.3329173	1.3469104	16.247479	27.838054	20.2843	24.6893
vrh14	3	16.807367	.6282323	.3627101	15.246751	18.367982	16.2248	17.4730
ph14	3	25.118267	.2449337	.1414125	24.509818	25.726716	24.9559	25.4000
psc14	3	22.635500	1.0423482	.6018000	20.046164	25.224836	21.4319	23.2373
Total	36	21.126886	5.2797635	.8799606	19.340471	22.913301	11.7160	32.2112

Test of Homogeneity of Variances

Alcohol

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
2.861	11	24	.015

ANOVA

Alcohol

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	923.013	11	83.910	38.254	.000
Within Groups	52.643	24	2.193		
Total	975.657	35			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวิเคราะห์หาปริมาณฟีนอลิก

Descriptives

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
vh	3	4.9580E2	8.093761	4.672935	475.69955	515.91158	486.917	502.750
vc	3	5.1719E2	16.251795	9.382978	476.82274	557.56613	498.583	528.583
ph	3	4.9413E2	5.672364	3.274941	480.04793	508.22980	487.750	498.583
pc	3	4.2108E2	7.949527	4.589661	401.33561	440.83105	413.583	429.417
psh	3	4.7552E2	4.589631	2.649825	464.12649	486.92904	470.250	478.583
psc	3	3.9608E2	2.204818	1.272952	390.60626	401.56040	393.583	397.750
prh	3	4.3997E2	10.419427	6.015659	414.08894	465.85553	429.417	450.250
prc	3	4.7302E2	5.548615	3.203494	459.24428	486.81132	469.417	479.417
vsh	3	4.3108E2	6.009220	3.469425	416.15560	446.01106	424.417	436.083
vsc	3	4.2163E2	6.683989	3.859003	405.03492	438.24282	415.250	428.583
vrh	3	5.7997E2	22.194455	1.2813E1	524.83815	635.10632	561.083	604.417
vrc	3	4.3108E2	8.207358	4.738520	410.69513	451.47154	421.917	437.750
Total	36	4.6471E2	50.896003	8.482667	447.49686	481.93832	393.583	604.417

Test of Homogeneity of Variances

phenol

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
2.554	11	24	.027

ANOVA

phenol

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	88202.071	11	8018.370	78.163	.000
Within Groups	2462.038	24	102.585		
Total	90664.109	35			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวิเคราะห์หาปริมาณน้ำตาลโดยวิธี Somogyi-Nelson วันที่0

Descriptives

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
ph	3	1.0751E2	2.3611825	1.3632E0	101.645631	113.376636	104.8000	109.1167
pc	3	1.2345E2	3.1775720	1.8345E0	115.558674	131.345726	119.7833	125.3233
vh	3	7.5261E1	5.9043319	3.4088E0	60.593927	89.928273	68.6000	79.8500
vc	3	1.3701E2	3.7551873	2.1680E0	127.686031	146.342836	132.8333	140.1000
psh	3	1.4334E2	3.0370821	1.7534E0	135.799936	150.888997	140.9167	146.7500
prc	3	1.8410E2	10.8043881	6.2379E0	157.265945	210.945121	173.4833	195.0833
prh	3	1.8013E2	4.1088320	2.3722E0	169.926396	190.340204	176.4833	184.5833
psc	3	1.8414E2	5.8386618	3.3709E0	169.640393	198.648473	178.1667	189.8333
vsh	3	1.5213E2	12.1106717	6.9920E0	122.054324	182.223476	138.4167	161.3333
vsc	3	1.2608E2	1.9824952	1.1445E0	121.158542	131.008124	123.8000	127.3667
vrh	3	1.0046E2	2.5500833	1.4722E0	94.126342	106.795858	98.8333	103.4000
vrc	3	9.3794E1	2.2583474	1.3038E0	88.184387	99.404479	92.4000	96.4000
Total	36	1.3395E2	35.7552175	5.9592E0	121.855872	146.051522	68.6000	195.0833

Test of Homogeneity of Variances

simogyi

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
2.457	11	24	.032

ANOVA

simogyi

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	43937.710	11	3994.337	118.712	.000
Within Groups	807.535	24	33.647		
Total	44745.245	35			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวิเคราะห์หาปริมาณน้ำตาลโดยวิธี Somogyi-Nelson วันที่7

Descriptives

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
ph	3	3.8500E1	1.5899179	.9179395	34.550425	42.449575	36.8333	40.0000
pc	3	5.8322E1	1.7073561	.9857425	54.080906	62.563521	56.3667	59.5167
vh	3	5.7444E1	1.1824317	.6826772	54.507124	60.381770	56.1667	58.5000
vc	3	6.1099E1	.1691431	.0976548	60.679815	61.520165	60.9167	61.2500
psh	3	7.5261E1	2.6636121	1.5378E0	68.644331	81.877889	72.2833	77.4167
prc	3	4.7577E1	11.9438085	6.8957E0	17.907715	77.247845	40.4500	61.3667
prh	3	9.1738E1	1.6179823	.9341425	87.719599	95.758181	90.6667	93.6000
psc	3	3.5400E1	2.9954132	1.7294E0	27.958981	42.841019	32.7500	38.6500
vsh	3	6.8000E1	2.1749225	1.2556E0	62.597193	73.402807	65.5833	69.8000
vsc	3	4.8433E1	.8166693	.4715042	46.404614	50.462052	47.8500	49.3667
vrh	3	7.0177E1	1.3138525	.7585531	66.913990	73.441570	68.8000	71.4167
vrc	3	4.4527E1	1.2509255	.7222222	41.420305	47.635248	43.2500	45.7500
Total	36	5.8040E1	16.2616453	2.7102E0	52.538128	63.542426	32.7500	93.6000

Test of Homogeneity of Variances

simogyi

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
9.097	11	24	.000

ANOVA

simogyi

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	8901.643	11	809.240	54.895	.000
Within Groups	353.795	24	14.741		
Total	9255.439	35			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวิเคราะห์หาปริมาณน้ำตาลโดยวิธี Somogyi-Nelson วันที่14

Descriptives

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
ph	3	2.6811E1	1.5953361	.9210677	22.848079	30.774148	25.4500	28.5667
pc	3	5.1383E1	1.9184073	1.1075E0	46.617745	56.148921	49.8000	53.5167
vh	3	5.1944E1	2.3041209	1.3302E0	46.220693	57.668200	49.9167	54.4500
vc	3	4.9877E1	2.1328521	1.2314E0	44.579468	55.176065	47.5833	51.8000
psh	3	6.0361E1	1.1344784	.6549914	57.542909	63.179311	59.0833	61.2500
prc	3	2.7361E1	.4194337	.2421602	26.319182	28.403044	26.9167	27.7500
prh	3	6.3349E1	1.2065792	.6966188	60.352658	66.347276	62.3333	64.6833
psc	3	2.4377E1	2.4679056	1.4248E0	18.247149	30.508384	22.2500	27.0833
vsh	3	5.6299E1	2.7435244	1.5839E0	49.484698	63.115282	53.2500	58.5667
vsc	3	2.9100E1	1.0001422	.5774324	26.615509	31.584491	28.0333	30.0167
vrh	3	4.1605E1	.4670638	.2696594	40.445302	42.765804	41.0833	41.9833
vrc	3	3.4505E1	1.0859363	.6269656	31.807941	37.203172	33.7500	35.7500
Total	36	4.3081E1	13.8379101	2.3063E0	38.399401	47.763552	22.2500	64.6833

Test of Homogeneity of Variances

simogyi

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
1.699	11	24	.134

ANOVA

Simogyi

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	6632.037	11	602.912	206.610	.000
Within Groups	70.035	24	2.918		
Total	6702.071	35			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

ภาพประกอบที่เกี่ยวข้องกับการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเพาะข้าว

ข้าวหอมมะลิจากจังหวัดศรีสะเกษ

ข้าวไรซ์เบอร์รี่

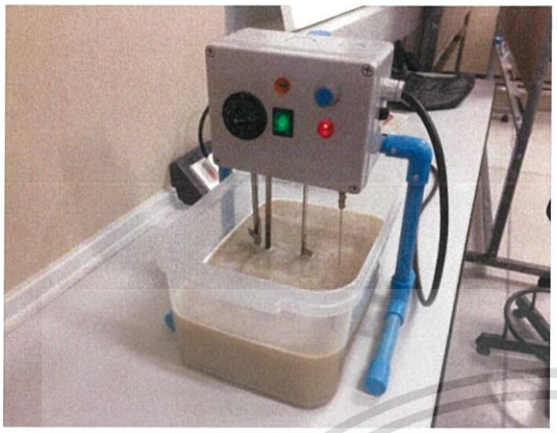
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องบดมอลต์

เครื่องต้มเบียร์

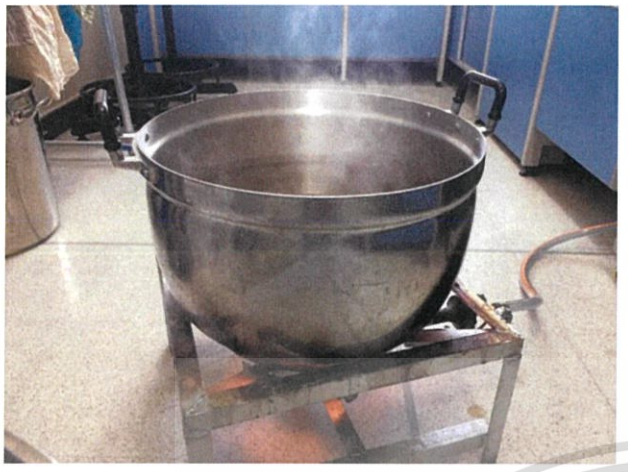
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

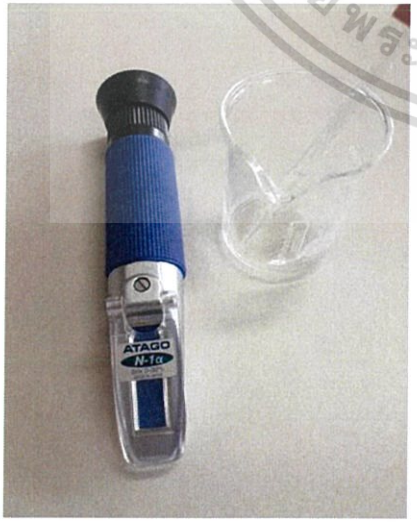
กระบวนการต้มเบียร์และการ cooling เบียร์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

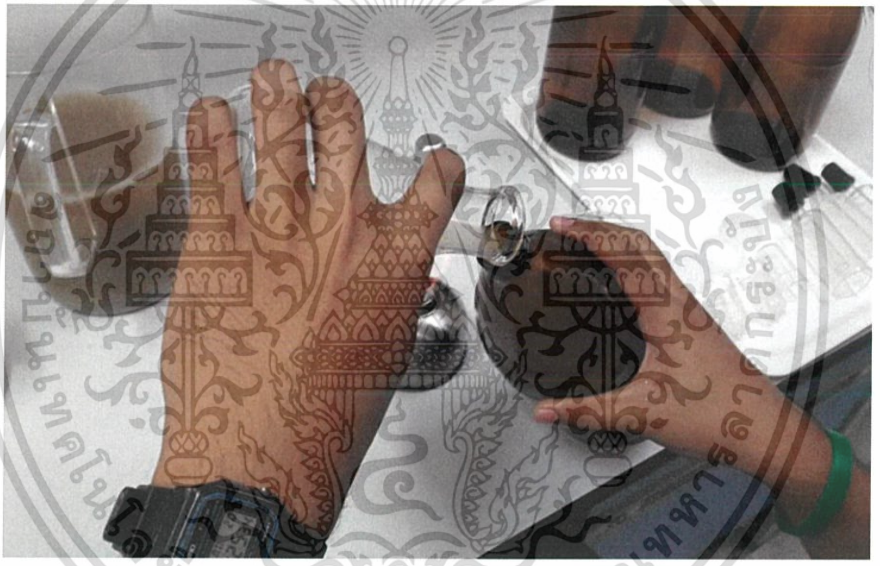
การต้มเบียร์ cooling อีกรอบ และการปรับ Brix





เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเติมเชื้อยีสต์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แช่ตู้เย็นปรับอุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้