ผลของพันธุ์และระดับการขัดสีข้าวต่อการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีระหว่างการหมักไวน์ข้าว

นางสาวพรพิมล ควรรณสุ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพ
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2548
ISBN 974-14-1763-2
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

EFFECTS OF VARIETY AND POLISHING RATIO OF RICE ON CHANGING OF CHEMICAL COMPOSITION DURING RICE WINE FERMENTATION

Miss Pornpimon Kavansu

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Science Program in Biotechnology

Faculty of Science

Chulalongkorn University

Academic Year 2005

ISBN 974-53-2973-8

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ผลของพันธุ์และระดับการขัดสีข้าวต่อการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีระหว่างการหมักไวน์ข้าว
โดย	นางสาวพรพิมล ควรรณสุ
สาขาวิชา	เทคโนโลยีชีวภาพ
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รมณี สงวนดีกุล
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สุทธิศักดิ์ สุขในศิลป์
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชิดพงศ์ ประดิษฐสุวรรณ

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิทยาศาสตร์

(ศาสตราจารย์ ดร.เปี่ยมศักดิ์ เมนะเศวต)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร. พันธิพา จันทวัฒน์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. รมณี สงวนดีกุล)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สุทธิศักดิ์ สุขในศิลป์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชิดพงศ์ ประดิษฐสุวรรณ)

..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุพัฒน์ เจริญพรวัฒนา)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พรพิมล ควรรณสุ : ผลของพันธุ์และระดับการขัดสีข้าวต่อการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีระหว่างการหมักไวน์ข้าว (EFFECTS OF VARIETY AND POLISHING RATIO OF RICE ON CHANGING OF CHEMICAL COMPOSITION DURING RICE WINE FERMENTATION) อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร. รมณี สงวนดีกุล, อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม : ผศ. สุทธิศักดิ์ สุขในศิลป์, ผศ.ดร. ชิดพงศ์ ประดิษฐสุวรรณ. 109 หน้า. ISBN 974-14-1763-2.

ในการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของข้าวพันธุ์ลอย กข6 และ ขาวดอกมะลิ105 ที่ระดับการขัดสีที่ 0(ข้าวกล้องมีอัตราการขัดสี 100 %) 1(ข้าวที่มีอัตราการขัดสีข้าวระหว่าง 86-84%) และ 2(ข้าวที่มีอัตราการขัดสีข้าวระหว่าง 82-80%) พบว่า ปริมาณไขมันในข้าวพันธุ์ลอย กข6 และ ขาวดอกมะลิ105 ที่มีระดับการขัดสีที่ 0 เท่ากับ 2.39% 2.41% และ 2.55% ตามลำดับ ระดับการขัดสีที่ 1 เท่ากับ 0.49% 0.53% และ 0.44%ตามลำดับ และ ระดับการขัดสีที่ 2 เท่ากับ 0.25% 0.24% และ 0.2%ตามลำดับ ปริมาณโปรตีนในข้าวพันธุ์ลอย กข6 และ ขาวดอกมะลิ105 ที่มีระดับการขัดสีที่ 0 เท่ากับ 6.77% 6.6% และ 6.46% ตามลำดับ ระดับการขัดสีที่ 1 เท่ากับ 6.18% 5.64% และ 5.67%ตามลำดับ และ ระดับการขัดสีที่ 2 เท่ากับ 6.19% 5.67% และ 5.64%ตามลำดับ ปริมาณเถ้าในข้าวพันธุ์ลอย กข6 และ ขาวดอกมะลิ105 ที่มีระดับการขัดสีที่ 0 เท่ากับ 1.01% 0.78% และ 1.06% ตามลำดับ ระดับการขัดสีที่ 1 เท่ากับ 0.33% 0.27% และ 0.35%ตามลำดับ และ ระดับการขัดสีที่ 2 เท่ากับ 0.32% 0.28% และ 0.29%ตามลำดับ ข้าวพันธุ์ลอยที่ระดับการขัดสีที่ 0 1 และ 2 มีปริมาณแอมีโลสเท่ากับ 28.79 33.78 และ 34.76 ตามลำดับ ข้าวพันธุ์กข6 ที่ระดับการขัดสีที่ 0 1 และ 2 มีปริมาณแอมีโลสเท่ากับ 5.26 7.54 และ 7.36 ตามลำดับ ข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ที่ระดับการขัดสีที่ 0 1 และ 2 มีปริมาณแอมีโลสเท่ากับ 18.32 19.23 และ 20.34 ตามลำดับ เมื่อใช้ข้าวทั้ง 3 พันธุ์เป็นวัตถุดิบของไวน์ข้าวโดยหมักด้วย*Amylomyces rouxii* TISTR 3128 เป็นเวลา 5 วันแล้วหมักด้วย *Saccharomyces cerevisiae* TISTR 5049 ต่ออีก 14 วัน เก็บตัวอย่างทุก 2 วันมาวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี พบว่า ข้าวทุกพันธุ์ที่ระดับการขัดสีที่ 0 ให้อัตราการผลิตแอลกอฮอล์สูง โดยความเข้มข้นแอลกอฮอล์จะเข้าสู่ภาวะคงที่ใน 2 วันแรกซึ่งสอดคล้องกับความเข้มข้นของน้ำตาลรีดิวซ์ที่ลดลงในระยะเวลาเดียวกัน ส่วนข้าวทุกพันธุ์ที่ระดับการขัดสีที่ 1 และ 2 จะให้อัตราการผลิตแอลกอฮอล์ที่ต่ำกว่า ความเข้มข้นของน้ำตาลรีดิวซ์ลดลงตามระยะเวลาในการหมัก ไวน์ข้าวทั้งสามพันธุ์ที่ระดับการขัดสีที่ 0 1 และ 2 มีความเข้มข้นของแอลกอฮอล์อยู่ระหว่าง 8.2-12.6% ปริมาณฟูเซลออยล์และสารประกอบเอสเทอร์ที่วิเคราะห์ได้ไม่มีความสัมพันธ์กับระดับการขัดสีข้าว การทดสอบประสาทสัมผัส พบว่าผู้บริโภคชอบไวน์ข้าวที่หมักได้จากข้าวพันธุ์กข6 ที่ระดับการขัดสีที่ 1 และ 2 ในด้านกลิ่นมากกว่า และ ด้านการยอมรับโดยรวมสูงกว่าไวน์ข้าวที่หมักโดยใช้ข้าวพันธุ์ลอย และ ขาวดอกมะลิ105 ที่ระดับการขัดสีที่ 0 1 และ 2 และ ข้าวพันธุ์กข6 ที่ระดับการขัดสีที่ 0

สาขาวิชา.....เทคโนโลยีชีวภาพ..... ลายมือชื่อนิสิต.....

ปีการศึกษา.....2548..... ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

4572407223 : MAJOR BIOTECHNOLOGY

KEY WORD : ESTER COMPOUNDS/ FUSEL OIL/ RICE WINE

PORNPIMON KAVANSU : EFFECTS OF VARIETY AND POLISHING RATIO OF RICE ON CHANGING OF CHEMICAL COMPOSITION DURING RICE WINE FERMENTATION.

THESIS ADVISOR: ASIST. PROF. ROMANEE SANGUANDEEKOOL, Ph.D.

THESIS CO-ADVISOR: ASSIST. SUTTISAK SUKNISILP, ASIST. PROF. CHIDPHONG PRADITSUWAN, Ph.D., 109 pp. ISBN 974-14-1763-2

Chemical composition of polished rice variety, Loy, Goh-koh6 and Kaw-dok-mali105, at level 0 (rice brown, 100% polishing ratio), 1 (86-84% polishing ratio) and 2 (82-82% polishing ratio) were analyzed. The fat contents of the polished rice at level 0 were 2.39% , 2.41% and 2.55% respectively, level 1 were 0.49% 0.53% and 0.44% respectively and level 2 were 0.25% 0.24% and 0.2% respectively. The protein contents of the polished rice at level 0 were 6.77% 6.6% and 6.46% respectively, level 1 were 6.18% 5.64% and 5.67% respectively and level 2 were 6.19% 5.67% and 5.64% respectively. The ash contents of the polished rice at level 0 were 1.01% 0.78% and 1.06% respectively, level 1 were 0.33% 0.27% and 0.35% respectively and level 2 were 0.32% 0.28% and 0.29% respectively. The amylose contents in Loy variety with the polished rice at level 0, 1 and 2 were 28.79, 33.78 and 34.76 respectively, Goh-koh6 with the polished rice at level 0, 1 and 2 were 5.26, 7.54 and 7.36 respectively and Kaw-dok-mali105 with the polished rice at level 0, 1 and 2 were 18.32, 19.23 and 20.34 respectively. For rice wine preparation, the rice was steamed and mixed with mould starter (*Amylomyces rouxii* TISTR 3128) incubated 5 days at room temperature, yeast starter *(Saccharomyces cerevisiae* TISTR 5049) was added and fermented for 14 days. Chemical composition of rice wine was analyzed every 2 days. The polished rice at level 0 was the best substrate for alcohol production and the reducing sugar was used up in 2 day, while other 2 levels of polishing ratio, the rate of alcohol production was lower than the polished rice at level 0 and reducing sugar decreased during fermentation. Alcohol concentration of rice wines were 8.2-12.6%. The rice wines were filtered and analyzed for ester compounds and fusel oils. Sensory evaluation was also performed. It was found that the level of ester compounds and fusel oils were not correlated with the polishing ratio. Rice wine made from polished rice from Goh-koh6 at level 1 and 2 had over all acceptability and odor more than Loy polished rice at level 0, 1 and 2, Goh-koh6 polished rice at level 0 and Kaw-dok-mali105 in the polished rice at level 0, 1 and 2

Field of study.....Biotechnology.....Student's signature.....PORNPIMON KAVANSU.....

Academic year.....2005..... Advisor's signature.....Romanee Sanguandeekool.....

Co-advisor's signature.....Suttisak Suknisilp.....

Co-advisor's signature.....Chidphong Praditsuwan.....

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. รมณี สงวนดีกุล อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สุทธิศักดิ์ สุขในศิลป์ และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชิดพงศ์ ประดิษฐสุวรรณ อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม และ กรรมการผู้สอบวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาช่วยเหลือและให้คำแนะนำตลอดจนแก้ไขวิทยานิพนธ์ จนการวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอบขอบคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิชัย ลีลาวัชรมาศ หัวหน้าภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ที่ให้ความช่วยเหลือในการใช้เครื่องมือแก๊สโครมาโทกราฟฟี ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พรเทพ ถนนแก้ว และ รองศาสตราจารย์ ดร. พัฒนา เหล่าไพบูลย์ อาจารย์ประจำภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยขอนแก่น ที่ให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์

ขอบคุณครอบครัวของข้าพเจ้าที่เป็นกำลังใจ และสนับสนุนทุกสิ่งทุกอย่างที่ทำตลอดมา

ขอบคุณพี่ๆและเพื่อนๆที่คอยช่วยเหลือและให้คำปรึกษาในทุกๆเรื่องตลอดมา

หากมีสิ่งขาดตกบกพร่องประการใด ผู้เขียนขออภัยในความบกพร่องและความผิดพลาดนั้น ผู้เขียนหวังว่าวิทยานิพนธ์ฉบับนี้คงมีประโยชน์ไม่มากก็น้อย สำหรับผู้ที่สนใจในงานวิจัยนี้

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย……ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ……จ
กิตติกรรมประกาศ……ฉ
สารบัญ……ช
สารบัญตาราง……ฌ
สารบัญภาพ……ฎ
บทที่
1. บทนำ……1
2. วารสารปริทัศน์……3
2.1 นิยามของไวน์ข้าว……3
2.2 วัตถุดิบที่ใช้ในการหมักไวน์ข้าว……4
2.3 กระบวนการผลิตไวน์ข้าว……16
2.4 การเปลี่ยนแปลงทางเคมีและชีวเคมีในการหมักไวน์ข้าวโดยยีสต์และรา……18
2.5 สารประกอบที่ให้กลิ่นรสในเครื่องดื่มแอลกอฮอล์……20
3. อุปกรณ์และขั้นตอนการทดลอง……28
- วัตถุดิบ……28
- จุลินทรีย์……28
- เครื่องมือ……28
- วัสดุ- อุปกรณ์……29
- สารเคมี……29
- การวิเคราะห์ข้อมูล……30
- ขั้นตอนการทดลองและวิธีการดำเนินงานวิจัย……31
4. ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง……34
4.1 ผลของพันธุ์และระดับการขัดสีต่อองค์ประกอบทางเคมีของข้าว……34
4.2 ผลของพันธุ์และระดับการขัดสีต่อองค์ประกอบทางเคมีของไวน์ข้าว……42
4.3 ผลของพันธุ์และระดับการขัดสีต่อองค์ประกอบองค์ประกอบทางเคมี
สารประกอบเอสเทอร์ และ ฟูเซลออยล์ของไวน์ข้าว……53
4.4 ผลการประเมินคุณภาพไวข้าว……61
5. สรุปผลการทดลอง……65

บทที่ หน้า

รายการอ้างอิง.....67

ภาคผนวก.....73

ภาคผนวก ก วิธีวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของข้าว.....73

ภาคผนวก ข วิธีวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของไวน์ข้าว.....80

ภาคผนวก ค วิเคราะห์ปริมาณสารประกอบเอสเทอร์ ฟูเซลออยล์.....86

ภาคผนวก ง การเตรียมกล้าเชื้อ และ การหมักไวน์ข้าว.....91

ภาคผนวก จ รูปภาพ.....94

ภาคผนวก ฉ ตาราง ANOVA และ ตารางองค์ประกอบทางเคมีของไวน์ข้าว.....100

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....109

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2.1 ชื่อไวน์ข้าวและประเทศที่ผลิต……1

2.2 องค์ประกอบของข้าวเปลือก ข้าวกล้อง ข้าวสาร เปลือกข้าว รำข้าว คัภพะ และจมูกข้าว (ร้อยละของน้ำหนักแห้ง) ……..……..……..……..8

2.3 ปริมาณแอมีโลสของข้าวสาร และลักษณะของข้าวสุก ……..……..……..9

2.4 องค์ประกอบทางเคมีของข้าวญี่ปุ่นที่ระดับการขัดสีต่างๆกัน……...12

2.5 ปริมาณของสารประกอบเอสเทอร์ที่พบในสาเกชนิดต่างๆ……...……13

2.6 องค์ประกอบและปริมาณของสารประกอบเอสเทอร์และฟูเซลออยล์ที่พบในเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ชนิดต่างๆ ……21

2.7 กรดอะมิโนที่เป็นสารตั้งต้นในการเกิดฟูเซลออยล์ชนิดต่างๆ……..……..24

4.1 น้ำหนักของข้าวพันธุ์ของลอย, กข6 และขาวดอกมะลิ 105 ที่เหลือหลังจากผ่านการขัดสีที่ระดับที่0 (ข้าวกล้อง) 1 และ 2 ……..……..……..……...35

4.2 ปริมาณโปรตีนของข้าวพันธุ์ลอย, กข6 และ ขาวดอกมะลิ105 ที่ระดับการขัดสีที่ 0(ข้าวกล้อง) 1 และ2……...37

4.3 ปริมาณไขมันของข้าวพันธุ์ลอย, กข6 และขาวดอกมะลิ105 ที่ระดับการขัดสีที่ 0(ข้าวกล้อง) 1และ 2……..……38

4.4 ปริมาณเถ้าข้าวของพันธุ์ลอย, กข6 และขาวดอกมะลิ105 ที่ระดับการขัดสีที่ 0(ข้าวกล้อง) 1 และ 2……..……39

4.5 ปริมาณเส้นใยของข้าวพันธุ์ลอย, กข6 และขาวดอกมะลิ105ที่ระดับการขัดสีที่ 0(ข้าวกล้อง) 1 และ 2……..……...39

4.6 ปริมาณคาร์โบไฮเดรตของพันธุ์ลอย, กข6 และมะลิ105 ที่ระดับการขัดสีที่ 0(ข้าวกล้อง) 1 และ 2……..……40

4.7 ปริมาณแอมีโลสของข้าวพันธุ์ลอย, กข6 และ ขาวดอกมะลิ 105 ที่ระดับการขัดสีที่ 0(ข้าวกล้อง) 1 และ 2……..……41

4.8 องค์ประกอบทางเคมีของไวน์ข้าวที่มีขายในท้องตลาด……..……53

4.9 ปริมาณสารประกอบเอสเทอร์ และฟูเซลออยล์ที่มีในไวน์ข้าวที่ขายในท้องตลาด…..……54

4.10 สารระเหยได้ที่ระบุไม่ได้ (unknown) ที่มีในไวน์ข้าวที่มีขายในท้องตลาด……..……...55

4.11 องค์ประกอบทางเคมีของไวน์ข้าวที่หมักได้จากข้าวพันธุ์ลอย กข6 และ ขาวดอกมะลิ105 ที่ระดับการขัดสีที่ 0 1 และ 2 ……..……...……57

ตารางที่ หน้า

4.12 ปริมาณสารประกอบเอสเทอร์ และฟูเซลออยล์ ของไวน์ข้าวที่หมักโดยใช้ข้าว
พันธุ์ลอย, กข6 และ ขาวดอกมะลิ 105 ที่ระดับการขัดสีที่ 0(ข้าวกล้อง) 1และ 2.....59
4.13 สารระเหยได้ที่ระบุไม่ได้ (unknown) ที่มีในไวน์ข้าวที่หมักโดยใช้ข้าวพันธุ์ลอย, กข6 และ
ขาวดอกมะลิ 105 ที่ระดับการขัดสีที่ 0(ข้าวกล้อง) 1 และ 2.....60
4.14 ผลการประเมินความชอบด้านกลิ่นและการยอบรับของไวน์ข้าวที่ได้จากท้องตลาด
และไวน์ข้าวที่หมักได้จากข้าวพันธุ์ลอย กข6 และขาวดอกมะลิ105
ที่ระดับการขัดสีที่ 0, 1 และ 2.....62
4.15 ผลการประเมินความชอบของไวน์ข้าวด้านกลิ่นที่หมักโดยใช้ข้าวพันธุ์ลอย, กข6
และขาวดอกมะลิ105 ที่ระดับการขัดสีที่ 0(ข้าวกล้อง) 1และ 2.....63
4.16 ผลการประเมินการยอมรับของไวน์ข้าวที่หมักโดยใช้ข้าวพันธุ์ลอย, กข6
และขาวดอกมะลิ105 ที่ระดับการขัดสีที่ 0(ข้าวกล้อง) 1และ 2.....64

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

ภาพที่ หน้า

2.1 โครงสร้างของเมล็ดข้าว……..…5

2.2 แผนภูมิการผลิตลูกแป้งแบบภูมิปัญญาท้องถิ่น……..…14

2.3 กระบวนการผลิตไวน์ข้าวแบบเดิมจากภูมิปัญญาท้องถิ่น……...16

2.4 เอนไซม์ที่ใช้ในกระบวนการผลิตแอลกอฮอล์และกระบวนการไกลไคไลซีสในเซลล์ยีสต์…….20

2.5 การผลิตแอลกอฮอล์ฟูเซลออยล์ และ เอทิลอะซิเทต ระหว่างกระบานการหมัก…...……..22

2.6 กระบวนการสังเคราะห์ ฟูเซลออยล์……..……23

2.7 ไอโซเอมิลแอลกอฮอล์ที่สังเคราะห์ได้จากกรดอะมิโนลิวซีน โดย Ehrlich pathway……..25

2.8 ไอโซเอมิลแอลกอฮอล์การสังเคราะห์ จากเซลล์ยีสต์……..25

2.9 การเกิดสารประกอบเอสเทอร์โดยเอสเทอริฟิเคชันโดยเอนไซม์ระหว่างการหมัก...……27

4.1 การเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในระหว่างการหมักไวน์ข้าวของข้าวพันธุ์ลอย, กข 6 และ ขาวดอกมะลิ 105 ที่ระดับการสีต่างๆ ……...44

4.2 การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ (มิลลิกรัม/มิลลิลิตร) ในระหว่างการหมักไวน์ข้าวของข้าวพันธุ์ลอย, กข 6 และ ขาวดอกมะลิ 105 ที่ระดับการสีต่าง……...46

4.3 การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด – เบส ในระหว่างการหมักไวน์ข้าวของข้าวพันธุ์ลอย กข 6 และ ขาวดอกมะลิ 105 ที่ระดับการสีต่างๆ ……..……48

4.4 การเปลี่ยนแปลงปริมาณกรด ในระหว่างการหมักไวน์ข้าวของข้าวพันธุ์ลอย, กข 6 และ ขาวดอกมะลิ 105 ที่ระดับการสีต่างๆ ……..……50

4.5 การเปลี่ยนแปลงปริมาณแอลกอฮอล์ ในระหว่างการหมักไวน์ข้าวของข้าวพันธุ์ลอย กข 6 และ ขาวดอกมะลิ 105 ที่ระดับการสีต่างๆ ……..……52

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

ไวน์ข้าว หรือ คนไทยเรียกสาโท เป็นสุราแช่ที่มีแรงแอลกอฮอล์ไม่เกิน 15 ดีกรี ในการผลิตสาโททำได้โดยการหมักข้าวนึ่งด้วยลูกแป้งนาน 3-4 วันจากนั้นเติมน้ำลงไปแล้วหมักต่ออีก 7-14 วัน ในอดีตจะลักลอบผลิตเพราะถือเป็นเรื่องผิดกฎหมาย แต่ในปี พ.ศ. 2543 รัฐบาลไทยได้มีนโยบายเปิดเสรีการผลิตและจำหน่ายสุราขึ้น ผู้ประกอบการหลายรายจึงผลิตและจำหน่ายสาโท แต่ก็ต้องประสบปัญหาขาดทุนและปิดกิจการเนื่องจากรสชาติที่ผลิตได้ไม่เป็นที่ยอมรับ คุณภาพไม่สม่ำเสมอ ดังนั้นจึงควรมีการศึกษาและพัฒนาเพื่อปรับปรุงให้สาโทไทยมีคุณภาพและรสชาติเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค

ข้าวเป็นวัตถุดิบหลักในการผลิตสาโท การศึกษาเรื่องข้าวที่ใช้ในการผลิตสาโทนั้นมีน้อยมากแต่ในประเทศญี่ปุ่นได้มีการศึกษาเรื่องข้าว กระบวนการขัดสีข้าว ตลอดจนกระบวนการผลิตเพื่อพัฒนาคุณภาพของสาเก ซึ่งคุณสมบัติของข้าวที่ใช้นั้นควรมีดังนี้คือ เมื่อแช่น้ำ ควรมีอัตราการดูดซึมน้ำมากและเร็ว เมื่อนึ่งให้สุกแล้วข้าวควรมีลักษณะเมล็ดที่อ่อนนุ่มซึ่งเชื้อราเจริญได้ดี สามารถแทงเส้นเข้าไปในเมล็ดข้าวได้ง่าย และเอนไซม์ที่ผลิตจากเชื้อราทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Kodama, 1970) ข้าวที่มีคุณสมบัติเช่นนี้จึงเหมาะต่อการนำมาผลิตสาเกเมื่อเอนไซม์ที่เกิดจากเชื้อรายอยแป้งให้เป็นน้ำตาลได้อย่างมีประสิทธิภาพแล้วก็จะทำให้ยีสต์ใช้น้ำตาลและเกิดเป็นแอลกอฮอล์ ในขณะเดียวกันก็มีบางส่วนที่ถูกเปลี่ยนไปเป็นผลิตภัณฑ์อื่นๆ เช่น กลีเซอรอล เป็นต้น สารให้กลิ่นรส เช่น สารประกอบเอสเทอร์ ฟูเซลออยล์ กรดอินทรีย์ เป็นต้น นอกจากนั้นโปรตีน ไขมัน และแร่ธาตุ ซึ่งเป็นองค์ประกอบรองที่มีในข้าว ซึ่งองค์ประกอบเหล่านี้มีผลต่อการเกิดกลิ่นรสและคุณภาพ

ระดับการขัดสีของข้าวในการหมักสาเกก็มีการศึกษาด้วยเช่นกัน เนื่องจากการขัดสีข้าวจะทำให้ปริมาณโปรตีนในเมล็ดข้าวลดลง โดยเอนไซม์ที่ผลิตขึ้นจากเชื้อรา โปรตีนจะถูกย่อยให้เป็นกรดอะมิโนและเพปไทด์ ซึ่งกรดอะมิโนบางส่วนจะถูกยีสต์ดูดซึมและเปลี่ยนให้เป็นฟูเซลออยล์ทำให้สาเกมีกลิ่นรสที่ดีแต่ ถ้ามีในปริมาณมากเกินไปจะทำให้รสชาติของสาเกไม่ดี มีสีเข้ม และเร่งให้เกิดความเสื่อมเสียทางคุณภาพ

ในขั้นตอนการขัดสีข้าวจะลดปริมาณไขมันลงได้มากเนื่องจากไขมันส่วนใหญ่จะอยู่ที่ผิวนอกของข้าว ไขมันจะส่งผลต่อการเกิดกลิ่นหืนของสาเก ในระหว่างการเก็บบ่ม เนื่องจากสามารถเกิดการออกซิเดชันของกรดไขมันซึ่งส่งผลต่อกลิ่นรสของสาเก

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงจะศึกษาถึง ปริมาณแอมีโลส และระดับการขัดสีของข้าวที่มีผลต่อสารประกอบเอสเทอร์ และฟูเซลออยล์ที่มีในไวน์ข้าว เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานในการพัฒนาและปรับปรุงการผลิตสาโทของไทย โดยข้าวที่ใช้ในการหมักสาโท คือ พันธุ์กข6 (ข้าวเหนียว) พันธุ์มะลิ 105 (แอมีโลสต่ำ) และ พันธุ์ลอย (แอมีโลสสูง) โดยนำไปขัดสีที่ต่างกันสามระดับ ก่อนนำมาหมักไวน์ข้าวและนำไปหาสารประกอบเอสเทอร์และฟูเซลออยล์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 นิยามของไวน์ข้าว

ไวน์ข้าว หรือ สาโท จัดเป็นสุราแช่ตามความหมายในพระราชบัญญัติสุรา พ.ศ. 2492 มาตรา 4 โดยให้ความหมายว่า สุราแช่ หมายถึงสุราที่ไม่ได้กลั่น และให้หมายรวมถึงสุราแช่ที่ได้ผสมกับสุรากลั่นแล้ว แต่ยังมีแรงแอลกอฮอล์ไม่เกิน 15 ดีกรี

แรงแอลกอฮอล์ (Alcohol strength) หมายถึง ดีกรีหรือหน่วยวัดความเข้มข้นของแอลกอฮอล์ในสุรา คิดเป็นร้อยละโดยปริมาตร (มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน, 2546)

ไวน์ข้าวของแต่ละท้องถิ่นจะมีกรรมวิธีการผลิตที่แตกต่างกันออกไปและมีชื่อเรียกแตกต่างกันออกไปดังแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ชื่อไวน์ข้าวและประเทศที่ผลิต

ประเทศที่ผลิต	ชื่อเรียกไวน์ข้าว
ญี่ปุ่น	Sake,Amazake
ฟิลิปปินส์	Tapuy
อินเดีย	Shonti, Murcha
เกาหลี	Makkari
จีน	Shao-Shin-Chu
มาเลเซีย	Tapay
เวียดนาม	Baside
ไทย	กระแช่ น้ำขาว สาโท

ที่มา: Platt, 1978

ในการผลิตสาโททำได้โดยการหมักข้าวด้วยลูกแป้ง 3-4 วันจากนั้นเติมน้ำลงไปหมักต่ออีก 7-14 วัน ก็จะได้สาโท ในอดีตการผลิตสาโทถือเป็นเรื่องผิดกฎหมาย แต่ในปี พ.ศ. 2543 รัฐบาลได้มีนโยบายเปิดเสรีการผลิตและจำหน่ายสุราขึ้นจึงมีผู้ประกอบการหลายรายผลิตและจำหน่ายสาโทแต่ประสบปัญหาหลายประการโดยเฉพาะเรื่องรสชาติและคุณภาพที่ไม่สม่ำเสมอ

ในการผลิตเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ กลิ่นรสถือเป็นปัจจัยอย่างหนึ่งที่บ่งชี้ถึงคุณภาพของ

เครื่องดื่มแอลกอฮอล์ชนิดนั้น สำหรับการผลิตสาโทก็เช่นกัน สำหรับปัจจัยที่ส่งผลต่อกลิ่นรสของสาโท ได้แก่ ลูกแป้ง ในลูกแป้งมีจุลินทรีย์หลายชนิดทั้งยีสต์ รา และแบคทีเรีย ซึ่งมีทั้งที่จำเป็นและไม่จำเป็นต่อการหมัก ลูกแป้งที่ผลิตในแหล่งที่ต่างกันจะมีชนิดของจุลินทรีย์ที่ต่างกันด้วย ดังนั้นการคัดเลือกลูกแป้งจากแหล่งต่างกันก็จะให้กลิ่นและรสชาติที่แตกต่างกันออกไป สายพันธุ์ของข้าวที่ใช้ในการหมัก ข้าวแต่ละสายพันธุ์ก็มีคุณสมบัติที่แตกต่างกันออกไปเช่น ความเหนียวของข้าว กลิ่นหอมของข้าว องค์ประกอบทางเคมีต่างๆของข้าว กระบวนการผลิตสาโท เป็นต้น (กุณฑลี ไกรธรรมจิตกุล, 2547)

2.2 วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตไวน์ข้าว

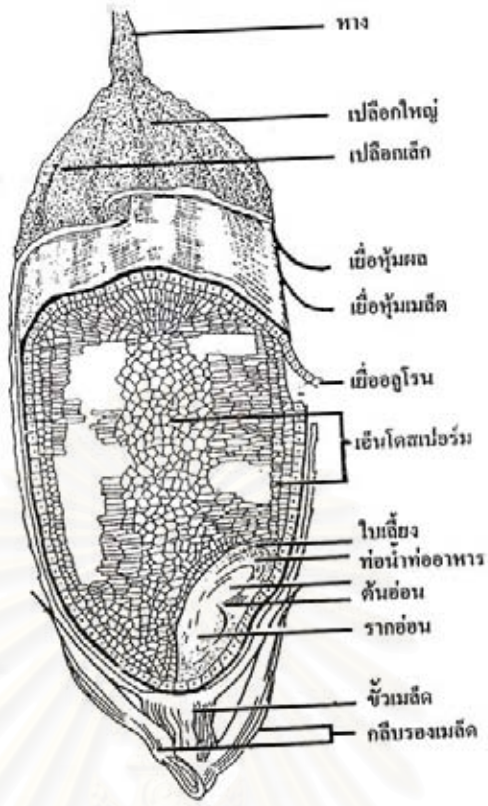
วัตถุดิบที่ใช้ก็เป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อกลิ่นรสของไวน์ข้าวหรือสาโท ในประเทศไทยยังมีการศึกษาน้อยและไม่ต่อเนื่อง แต่ในประเทศญี่ปุ่นนั้นมีชื่อเสียงในการผลิตไวน์ข้าว หรือที่เรารู้จักคือ สาเก ซึ่งได้รับการสนับสนุนการผลิต การศึกษาสายพันธุ์จุลินทรีย์ การคัดเลือกสายพันธุ์ข้าว ระดับการสีที่เหมาะสม ไปจนถึงกระบวนการผลิต เพื่อให้ได้สาเกที่มีรสชาติดีที่สุด

2.2.1 ข้าว

ข้าวเป็นวัตถุดิบหลักในการผลิตสาโท ข้าวที่ปลูกในประเทศไทยจัดอยู่ใน indica type มี 2 ชนิด คือ ข้าวเหนียว (glutinous rice หรือ waxy rice) และข้าวเจ้า (non-glutinous rice) เมล็ดมีลักษณะเรียว ยาว น้ำหนักของเมล็ดข้าวจะอยู่ระหว่าง 16.2 - 41.7 กรัมต่อ1000 เมล็ด (กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2545) ส่วนข้าวที่ปลูกในประเทศญี่ปุ่นจัดอยู่ในพวก japonica type เป็นข้าวจ้าวกึ่งข้าวเหนียว เมล็ดมีลักษณะป้อมสั้น ซึ่งในการผลิตสาเกใช้ข้าวพวกนี้เป็นวัตถุดิบ น้ำหนักเมล็ดอยู่ระหว่าง 20-30 กรัมต่อ1000 เมล็ด แต่ที่นิยมนำมาผลิตสาเกควรจะมีน้ำหนัก 25 กรัมต่อ1000 เมล็ดขึ้นไป (Yoshizawa, 1985)

โครงสร้างของเมล็ดข้าว

โครงสร้างของเมล็ดข้าว แบ่งออกเป็น 2 ส่วนหลักคือ ส่วนที่ห่อหุ้มเมล็ดข้าว หรือแกลบ (hull หรือ husk) และ ส่วนเนื้อผล (caryopsis grain) หรือ ข้าวกล้อง (brown rice) ซึ่งมีรายละเอียดแต่ละส่วนดังนี้ (Julaino, 1985; อรอนงค์ นัยวิกุล, 2547) (รูปที่ 2.1)



รูปที่ 2.1 โครงสร้างของเมล็ดข้าว

ที่มา: Juliano, 1985

1. **ส่วนที่ห่อหุ้มเมล็ดข้าว หรือแกลบ** ประกอบด้วยเปลือกใหญ่ (lemma) เปลือกเล็ก (palea) ขน หาง ขั้วเมล็ด (rachilla) และ กลีบรองเมล็ด (sterile lemma) ซึ่งเชื่อมต่อกับก้าน (pedical)

1.1 เปลือกใหญ่ เป็นเปลือกหุ้มเนื้อผลด้านท้อง ขนาดใหญ่อาจมีหางหรือไม่มีก็ได้ ลักษณะของเปลือกใหญ่จะมีรอยเส้นตามความยาวของเปลือกประมาณ 5 เส้น เปลือกใหญ่จะห่อหุ้มเปลือกเล็กไว้ทั้งสองด้านในลักษณะขบอยู่ข้างบนอย่างแน่นสนิท ประมาณ 2/3 ของเปลือกทั้งหมดตามแนวยาวของเมล็ด

1.2 เปลือกเล็กเป็นเปลือกหุ้มเนื้อผลด้านหลัง มีขนาดเล็กกว่าเปลือกใหญ่ประมาณ 1/3 ของเปลือกทั้งหมด จะขบอยู่ใต้เปลือกใหญ่ตามแนวยาว ทำให้เปลือกทั้งสองติดกันสนิท บนเส้นเปลือกเล็กจะมีรอยเส้นตามความยาวของเปลือกประมาณ 3 เส้น

รอยเส้นบนเปลือกใหญ่และเปลือกเล็ก อาจทำให้ข้าวกล้องเป็นรอยเส้นตามไปด้วย ในข้าวบางพันธุ์ถึงแม้จะมีกระบวนการขัดขาว (polishing) แล้วอาจมีรอยเส้นค้างอยู่บนข้าวสาร (milled rice) เรียกว่า ข้าวสาแหรก

1.3 ขน จะขึ้นบนเปลือกใหญ่และเปลือกเล็กเป็นส่วนใหญ่ อาจมีบางพันธุ์ที่ไม่มีขนแต่เป็นส่วนน้อย ขนนี้คือเซลล์ผิวนอก (epidermal cell) ที่เจริญกลายเป็นขน เพื่อทำหน้าที่ลดการระเหยของน้ำ ป้องกันอันตรายต่อเมล็ดจากภาวะภายนอก และเพื่อการกระจายพันธุ์ตามธรรมชาติโดยช่วยให้เมล็ดติดไปกับคน สัตว์ หรือสิ่งของต่างๆที่สัมผัสกับเมล็ด

1.4 หาง เป็นส่วนปลายของเมล็ดใหญ่ที่ยาวออกมาเกินตำแหน่งดอก (apiculus) ในบางพันธุ์อาจสั้นหรือยาว หรืออาจไม่มี ทำหน้าที่ในการกระจายคล้ายขน

1.5 ขั้วเมล็ด เป็นก้านสั้นอยู่ระหว่างกลีบรองเมล็ดกับเปลือกใหญ่ และยังติดอยู่กับเมล็ดข้าวเปลือก

ส่วนที่ห่อหุ้มเมล็ดข้าว หรือแกลบ มีน้ำหนักประมาณ 20 % ของน้ำหนักเมล็ดข้าว เมื่อนำมาวิเคราะห์ทางเคมี พบว่าแกลบมีเส้นใย 31-35 % เถ้า 13-29% โปรตีน 3% ไขมันไม่เกิน 1% และคาร์โบไฮเดรท 24-39% ซึ่งส่วนใหญ่เป็นพวกเซลูโลสและเฮมิเซลูโลส ทำให้มีสารอาหารต่ำ (Hoseney, 1994)

2. **ข้าวกล้อง หรือเนื้อผล** ประกอบด้วย

2.1 เปลือกหุ้มผล (pericarp) เป็นเยื่อชั้นนอก มีความหนาประมาณ 10 ไมครอน ห่อหุ้มผลอยู่ภายใน มีลักษณะเป็นเซลล์รูปแท่งห่อหุ้มอยู่รอบเมล็ด ตามความยาวของเมล็ด มีอยู่ด้วยกัน 6 ชั้น มีผนังเซลล์บางๆ อยู่ชั้นนอกสุด มีสารสีหรือรงควัตถุปนอยู่ ทำให้ข้าวกล้องมีสีต่างๆ เช่น น้ำตาลอ่อน น้ำตาลแก่ น้ำตาลม่วง เป็นต้น เปลือกหุ้มผลมีประมาณร้อยละ 5 ของเมล็ด องค์ประกอบทางเคมีของเปลือกหุ้มผล มีโปรตีน ไขมัน เฮมิเซลลูโลส เซลลูโลส และ แร่ธาตุต่างๆ

ในชั้นเยื่อหุ้มเมล็ดนี้ ประกอบด้วยเนื้อเยื่อ 3 ชั้น ได้แก่ เอกโซคาร์พ (exocarp), เมโซคาร์พ (mesocarp) และ เอนโดคาร์พ (endocarp)

2.2 เยื่อหุ้มเมล็ด (tegmen หรือ seed coat) อยู่ถัดจากเยื่อหุ้มผลเข้ามา ประกอบด้วยเซลล์ 2 ชั้น รูปยาว เรียงตามขวาง ความหนาประมาณ 5 ถึง 8 ไมครอนเซลล์ชั้นในมีสารให้สีต่างๆ นอกจากนี้เป็นชั้นที่อุดมไปด้วยไขมันจึงมีคุณสมบัติในการป้องกันน้ำไม่ให้เข้าสู่เนื้อเมล็ด (Hoseney, 1994)

2.3 ชั้นเยื่อโปร่งใส (nucellus หรือ hyaline layer) เป็นเซลล์ชั้นที่ติดกับเปลือกหุ้มเมล็ด มีลักษณะโปร่งใส และยังประกอบด้วยสารให้สี เช่นเดียวกับในชั้นเปลือกหุ้มเมล็ด

2.4 เยื่อชั้นแอลิวโรนหรือเยื่อหุ้มเนื้อเมล็ด (aleurone layer) เป็นเนื้อเยื่อถัดจากเยื่อหุ้มเมล็ด ประกอบด้วยเซลล์ 1- 7 ชั้น และเยื่อหุ้มด้านหลังของเมล็ดจะหนากว่าเยื่อหุ้มด้านท้อง ซึ่งความหนาจะแตกต่างกันไปตามพันธุ์ เช่นข้าวเมล็ดป้อม-สั้นจะมีเยื่อชั้นแอริวโลนหนากว่าข้าวเมล็ดยาว เป็นต้น เซลล์แอลิวโรนจะไม่เชื่อมติดกับคัพภะในส่วนของใบเลี้ยงด้านท้องของเมล็ดมาถึงจุดเชื่อมระหว่างใบเลี้ยงกับเยื่อหุ้มรากอ่อนซึ่งอยู่ข้างในเมล็ด จึงแบ่งลักษณะของเซลล์ชั้นนี้

ออกได้ 2 ลักษณะ ลักษณะแรก คือ ส่วนที่ห่อหุ้มรอบเนื้อของเมล็ดที่เป็นเซลล์รูปลูกบาศก์และมีไซโทพลาซึม (cytoplasm) อยู่หนาแน่น ในเซลล์ยังมีกลุ่มของโปรตีน (protein bodies) กลุ่มไขมัน (lipid body) และสารอื่นๆ เช่น มีนิวเคลียส (nucleus) ไมโครบอดี (microbodies) ไมโทคอนดรีย (mitochondria) เป็นต้น ลักษณะที่สอง คือ ส่วนเซลล์แอลิวโรนห่อหุ้มคัพภะบาง มีไซโทพลาซึมน้อย รูปร่างยาว มีกลุ่มของไขมัน และโปรตีนน้อย เซลล์ของชั้นแอลิวโรน เป็นชั้นที่มีความสำคัญเพราะอุดมด้วยองค์ประกอบทางเคมีหลายชนิด เช่น กรดไฟติก (สารประกอบฟอสเฟส) เกลือโพแทสเซียมและแมกนีเซียม รวมทั้งอุดมไปด้วยโปรตีนซึ่งสะสมและห่อหุ้มแอลิวโรนเอาไว้ นอกจากนี้ยังอุดมไปด้วยวิตามินต่างๆ เช่น วิตามินบี 1 (thiamin) บี 2 (riboflavin) บี 3 (niacin) ซึ่งพบมากในชั้นนี้มากกว่าชั้นอื่น

2.5 คัพภะ (germ หรือ embryo) เป็นส่วนที่เจริญเป็นต้นอ่อนของเมล็ด หรือจุดกำเนิดของต้นซึ่งอยู่ในฐานใกล้กับรอยต่อของเมล็ด และมีชั้นแอลิวโรนล้อมรอบอยู่ ภายในคัพภะแบ่งออกได้ 2 ส่วน คือ ส่วนสกูเทลลัม (scutellum) เป็นเกราะป้องกันอยู่ระหว่างเนื้อเมล็ดกับคัพภะ และส่วนของคัพภะ (embryonic axis) ซึ่งพร้อมที่จะเจริญเป็นต้นอ่อน ต้น และรากต่อไป ในส่วนนี้อุดมไปด้วยสารอาหาร แร่ธาตุและวิตามินเพื่อการเติบโต สารอาหารที่มีมากคือโปรตีน ไขมัน และวิตามิน

2.6 เนื้อเมล็ด (endosperm) เป็นส่วนที่มีมากที่สุดในเมล็ดข้าว (ประมาณ 80% ของน้ำหนักเมล็ดทั้งหมด) แบ่งเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่ติดกับชั้นแอลิวโรน (subaleurone layer) เป็นเซลล์ที่มีผนังบาง มีขนาดเล็กรูปลูกบาศก์ และส่วนที่อยู่ถัดไปเป็นเนื้อเมล็ด (starchy endosperm) ประกอบด้วยเซลล์รูปร่างยาวเป็นแนวรัศมีเข้าสู่จุดกลางเม็ด ซึ่งจะมีผนังเซลล์บางๆ ห่อหุ้มเนื้อเมล็ด ประกอบด้วย เซลลูโลส แพนโทเซน และ บีต้ากลูแคน(ß-glucane) ส่วนของเนื้อเมล็ดจะประกอบด้วยสตาร์ช ซึ่งรวมกลุ่มกันเกิดเป็นเมล็ดสตาร์ช (starch granules) และมีกลุ่มของโปรตีนแทรกอยู่ระหว่างเมล็ดสตาร์กระจายในเนื้อเมล็ด แต่ส่วนใหญ่จะพบในชั้นซับแอริวโลน

เนื้อเมล็ดเป็นส่วนที่ได้จากการขัดสีข้าว (milling fraction) โดยการขัดสีจะนำเมล็ดข้าวมากะเทาะเปลือกแข็งที่หุ้มเมล็ดออกได้เป็นข้าวกล้อง และนำข้าวกล้องมาขัดสีเอาส่วนต่างๆที่ไม่ใช่เนื้อเมล็ดออกได้เป็นข้าวสาร ผลพลอยได้ของกระบวนการนี้คือ แกลบ และ รำข้าว (bran and polish) องค์ประกอบทางเคมีของข้าวเปลือก ข้าวกล้อง ข้าวสารและส่วนต่างๆของข้าว แสดงในตารางที่ 2.2 ซึ่งในสัดส่วนของของน้ำหนักข้าวเปลือก 100 % จะมีส่วนที่เป็นแกลบ 20 % และข้าวกล้อง 80 % เมื่อเทียบให้ข้าวกล้องเป็น 100 % จะเป็นสัดส่วนของเยื่อหุ้มชั้นต่างๆ รวมประมาณ 6.5 % ส่วนของคัภพะ 3 % ซึ่งในส่วนนี้จะประกอบด้วยไขเลี้ยงมากที่สุด ประมาณ 1.18 – 1.4 % และส่วนเนื้อเมล็ดประมาณ 90.5 %

ตารางที่ 2.2 องค์ประกอบของข้าวเปลือก ข้าวกล้อง ข้าวสาร เปลือกข้าว รำข้าว คัภพะ และจมูกข้าว (ร้อยละของน้ำหนักแห้ง)

ส่วนประกอบ	ข้าวเปลือก	ข้าวกล้อง	ข้าวสาร	เปลือกข้าว	รำข้าว	คัภพะ	จมูกข้าว
โปรตีน(N*5.95)	6.7-8.3	8.3-9.6	7.3-8.3	2.3-3.2	13.2-17.2	17.7-23.9	13.0-14.0
ไขมัน	2.1-2.7	2.1-3.3	0.4-0.6	0.4-0.7	17.0-22.9	19.3-23.8	11.7-14.4
เส้นใย	8.4-8.6	0.7-1.2	0.3-0.6	40.1-53.4	9.5-13.2	2.8-4.1	2.7-3.7
เถ้า	3.4-6.0	1.2-1.8	0.4-0.9	15.3-24.4	9.2-11.5	6.8-10.1	6.1-8.5
แป้ง	62.1	77.2	90.2	1.8	16.1	2.4	48-55.4
เส้นใยอาหาร	19.1	4.5	2.7	77.3	27.6-33.3	0	0

ที่มา : Pomeranz and Ory, 1982

องค์ประกอบทางเคมีของข้าว

องค์ประกอบที่สำคัญที่พบในเมล็ดข้าวคือ สตาร์ช (starch) และส่วนที่ไม่ใช่สตาร์ช (non-starch constituents) ซึ่งได้แก่ โปรตีน ไขมัน เส้นใย วิตามิน และแร่ธาตุต่างๆ

1. **คาร์โบไฮเดรต** เป็นองค์ประกอบที่พบมาที่สุด มีประมาณ 70-80 % น้ำหนักแห้ง แบ่งเป็นเส้นใยซึ่งพบมากในแกลบ และ สตาร์ช (starch) ซึ่งอยู่ในรูปของเม็ดแป้ง (starch granule) ภายในเมล็ดแป้งจะประกอบด้วยแอมีโลส (amylose) เป็นพอลิเมอร์ของน้ำตาลกลูโคสที่ต่อกันเป็นสายตรงด้วยพันธะ α -1, 4 และแอมีโลแพคติน (amylopectin) เป็นพอลิเมอร์ของน้ำตาลกลูโคสเช่นกันนอกจากจะต่อกันเป็นสายตรงด้วยพันธะ α -1, 4 แล้วยังต่อกันด้วยพันธะ α -1, 6 ซึ่งทำเกิดโครงสร้างที่เป็นกิ่งก้านสาขา ซึ่งพอลิเมอร์ทั้งสองส่วนนี้จะเกาะเกี่ยวและเรียงตัวกันในลักษณะโครงผลึก (semi-crystalline structure) ในข้าวแต่ละชนิดจะมีแอมีโลสและแอมีโลแพคตินในปริมาณที่แตกต่างกันซึ่งส่งผลต่อลักษณะของข้าวสุก ดังในตารางที่2.3 (กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2545) โดยเราสามารถแบ่งข้าวออกเป็น 2 ชนิดคือ

1. ข้าวเหนียว (glutinous rice หรือ waxy rice) ประกอบด้วยแอมีโลแพคติน 95% และมีแอมีโลสน้อยมากจนแทบไม่มีเลย เมล็ดข้าวจะมีสีขาวขุ่น เมื่อนึ่งสุกแล้วจะได้ข้าวที่แน่นเหนียวและมีลักษณะใส ประชากรส่วนใหญ่ของภาคเหนือและตะวันออกเฉียงเหนือนิยมบริโภคข้าวเหนียวเป็นอาหารหลัก

2. ข้าวเจ้า (non-glutinous rice) มีแอมีโลสอยู่ประมาณ 7-35 %ที่เหลือเป็นแอมีโลแพคตินเมล็ดข้าวจะมีสีขาวใส เมื่อหุงหรือนึ่งสุกแล้วข้าวสุกจะมีสีขาวขุ่นและร่วนกว่าข้าว

เหนียว ข้าวเจ้าแต่ละพันธุ์เมื่อหุงเสร็จแล้วจะมีความนุ่มเหนียวแตกต่างกันตามปริมาณของแอมีโลสดังตารางที่ 2.3 ประชาชนส่วนใหญ่ในภาคกลางและภาคใต้ของประเทศไทยนิยมบริโภค

ตารางที่ 2.3 ปริมาณแอมีโลสของข้าวสาร และลักษณะของข้าวสุก

ประเภทของข้าว	ปริมาณแอมีโลส(%)	ลักษณะข้าวสุก
1.ข้าวเหนียว	0-2	เหนียวมาก
2.ข้าวเจ้า		
- ข้าวแอมีโลสต่ำ	10-19	เหนียวนุ่ม
- ข้าวแอมีโลสปานกลาง	20-25	ค่อนข้างร่วนไม่แข็ง
- ข้าวแอมีโลสสูง	26-34	ร่วนแข็ง

ที่มา : กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2545

การเลือกชนิดข้าวที่ใช้ในการผลิตสาโทนั้นยังไม่มีการศึกษาและค้นคว้าไว้อย่างชัดเจน แต่ในการผลิตสาเกซึ่งเป็นไวน์ข้าวของญี่ปุ่นได้กล่าวถึงคุณสมบัติของข้าวที่เหมาะจะนำมาผลิตสาเกมีคุณสมบัติดังนี้ (Kodama, 1970)

1. ค่า Unavailable polishing ratio หมายถึง ความแตกต่างระหว่างอัตราส่วนโดยน้ำหนักของข้าว 1000 เมล็ดหลังและก่อนการสีข้าว กับอัตราส่วนของน้ำหนักข้าวก่อนและหลังการสี ใช้ในการควบคุมคุณภาพการสีข้าวเนื่องจากอาจมีการสูญเสียข้าวไปจากการแตกหักระหว่างการสี ดังนั้นค่า Unavailable polishing ratio ควรมีต่ำ หรืออยู่ระหว่าง 0.5-7% เพื่อลดการสูญเสียวัตถุดิบขณะสีข้าว ซึ่งค่านี้ขึ้นอยู่กับคุณภาพข้าว อัตราการขัดสี เทคนิคในการขัดสี เป็นต้น

2. เมื่อนึ่งให้สุกแล้วข้าวที่ใช้เป็นวัตถุดิบควรมีเมล็ดที่นุ่ม ง่ายต่อการแทงเส้นใยของเชื้อราเข้าไปในเมล็ดข้าว

3. มีอัตราการดูดซึมน้ำมากและเร็วเมื่อแช่น้ำ ซึ่งข้าวที่มีคุณสมบัติเช่นนี้เมื่อนำไปนึ่งข้าวจะอ่อนนุ่ม ง่ายต่อการย่อยของเอนไซม์ในโคจิ

ดังนั้นข้าวที่ใช้การผลิตสาโทควรเป็นข้าวที่มีแอมีโลสต่ำ เพราะเมื่อนึ่งเสร็จแล้วข้าวจะมีลักษณะอ่อนนุ่ม ไม่แน่นทำให้เชื้อราเจริญได้ดี และการทำงานของเอนไซม์มีประสิทธิภาพเมื่อเอนไซม์ที่เกิดจากเชื้อรายย่อยแป้งให้เป็นน้ำตาลได้อย่างมีประสิทธิภาพแล้วก็จะทำให้ยีสต์ใช้น้ำตาลและเกิดเป็นแอลกอฮอล์ได้สูง ในขณะเดียวกันก็มีบางส่วนที่ถูกเปลี่ยนไปเป็นผลิตภัณฑ์อื่นๆ เช่น กลีเซอรอล สารให้กลิ่นรส เช่น สารประกอบเอสเทอร์ ฟูเซลออยล์ กรดอินทรีย์ เป็นต้น

ในปี พ.ศ. 2538 สุนันทา วงศ์ปิยชน ได้ศึกษาการใช้ประโยชน์จากข้าวสำหรับการผลิตไวน์ข้าวและวิสกี้ ได้ผลิตสาเกจากข้าวพันธุ์ต่างๆดังนี้ กข6 ขาวดอกมะลิ105 กข21 TCC7 TCC21

กข7 สุพรรณบุรี60 กข23 เหลืองประทิว123และกข19 หมักโดย *Aspergillus oryzae* 3232 และ *Saccharomyces cerevisiae* ที่อุณหภูมิ 15-18^{0} ซ เป็นเวลา 21 วัน พบว่า กข6 ซึ่งเป็นข้าวเหนียว และ ขาวดอกมะลิ105 กข21 TCC7 TCC21 ซึ่งเป็นข้าวแอมีโลสต่ำ ให้ปริมาณแอลกอฮอล์สูง เท่ากับ 19.42 19.21 19.11 18.51 และ 18.41% โดยปริมาตร รองลงมาคือ กข7 สุพรรณบุรี60 กข 23 ซึ่งเป็นข้าวแอมีโลสปานกลาง มีปริมาณแอลกอฮอล์เท่ากับ 17.71 17.71 และ 17.01% โดย ปริมาตร ส่วนเหลืองประทิว123 และกข19 ซึ่งเป็นข้าวแอมีโลสสูง ให้ปริมาณแอลกอฮอล์เท่ากับ 16.85 และ 16.15% โดยปริมาตร แต่ยังไม่มีการทดสอบประสาทสัมผัสของกลิ่นรส (สุนันทา วงศ์ปิยชน, 2538)

2. **โปรตีน** เป็นส่วนที่มีมากเป็นอันดับสองรองจากคาร์โบไฮเดรต มีประมาณร้อยละ 6.5-12 โดยน้ำหนักแห้ง โปรตีนในข้าวจะรวมกันเป็นกลุ่มแทรกอยู่ระหว่างเมล็ดข้าว (Juliano, 1972) พบมากในรำข้าวและบริเวณขอบของเมล็ดสตาร์ชหรือฝังอยู่ภายในเมล็ดสตาร์ช

ข้าวกล้องมีปริมาณโปรตีนอยู่ระหว่าง 7-9% และปริมาณโปรตีนก็จะลดลงอยู่ระหว่าง 7-5 % ตามระดับการสีข้าวที่เพิ่มขึ้นดังแสดงในตารางที่ 2.4 โปรตีนที่มีในเมล็ดข้าวจะมีผลต่อความนุ่มและการเกาะกันของเมล็ดข้าวหลังหุงต้ม ข้าวที่มีปริมาณโปรตีนสูงจะเกาะกันน้อยลง (Herry and Kettlewell, 1996) โปรตีนส่วนใหญ่ที่พบในข้าวจะประกอบไปด้วย แอลบูมิน 5%, กลูโบลิน 10%, กลูเทลิน >80% และ โพรลามิน < 5% ซึ่งปริมาณโปรตีนที่พบในข้าวนั้นก็ขึ้นกับพันธุ์ สภาพแวดล้อมที่ปลูก (Storck *et al*., 2005) และส่วนของแกลบและ คัพภะของข้าวจะมีปริมาณของแอลบูมิน และ กลูโบลิน มากกว่าที่มีในข้าวขาว

ในการหมักสาเก โปรตีนที่เป็นองค์ประกอบของข้าวเป็นสิ่งที่สำคัญอย่างหนึ่งในการหมัก เนื่องจากโปรตีนในข้าวจะถูกย่อยให้เป็น กรดอะมิโนและเปปไทด์ โดยเอนไซม์ที่ผลิตขึ้นจากเชื้อรา ซึ่งกรดอะมิโนบางส่วนจะถูกยีสต์ดูดซึม ทำให้สาเกมีรสชาติ แต่ถ้ามีในปริมาณมากเกินไปจะทำให้รสชาติของสาเกจะไม่ดี สีเข้มและเร่งให้เกิดความเสื่อมเสียทางคุณภาพ กรดอะมิโนที่เปลี่ยนเป็นสารฟูเซลออยล์ เช่น วาลีน (valine) ลิวซีน (leucine) และฟีนิลอะลานีน (phenylalanine) ซึ่งถูกดูดซึมและเปลี่ยนเป็นไอโซบิวทานอล (isobutanol) ไอโซเอมิลแอลกอฮอล์ (isoamyl alcohol) และ 2-ฟีนิลเอทิลแอลกอฮอล์ (2-phenylethyl alcohol) ตามลำดับ ซึ่งมีผลต่อรสชาติ และไอโซเอมิลแอลกอฮอล์ที่เกิดขึ้นจะทำปฏิกิริยากับ acetyl Co-enzyme A ได้เป็น ไอโซเอมิลอะซิเทต ซึ่งเป็นสารที่ให้กลิ่นรสที่สำคัญในสาเก (Rose, 1977)

3. **ไขมัน** เป็นองค์ประกอบที่พบในปริมาณน้อย ซึ่งจะพบไขมันในเมล็ดข้าวใน 2 ลักษณะคือ อยู่รวมกับโปรตีนแทรกในชั้นแอลิวโรน หรืออยู่บริเวณผิวหรือขอบของเม็ดสตาร์ช สำหรับไขมันในข้าวกล้องจะมีปริมาณประมาณ 2 % และในขั้นตอนการขัดสีข้าวจะลดปริมาณไขมันลงได้มากเนื่องจากไขมันส่วนใหญ่จะอยู่ที่ผิวนอกของข้าว ไขมันประกอบด้วยกรดไขมันและ

กลีเซอรไรด์ ได้แก่ กรดลิโนเลอิก กรดโอเลอิก และกรดปาล์มิติก เป็นองค์ประกอบหลัก การขัดสีทำให้กรดไขมันลดลง ซึ่งส่งผลต่อการเกิดกลิ่นหืนของสาเก เนื่องจากสามารถเกิดการออกกซิเดชันของกรดไขมันซึ่งส่งผลต่อกลิ่นรสของสาเก Yoshioka และ Hashimoto (1983) ได้ศึกษาผลกระทบของกรดไขมันต่อยีสต์และการเกิดสารประกอบเอสเทอร์พบว่าเมื่อมีกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวอยู่ในน้ำหมักจะส่งผลให้ยีสต์มีกรดไขมันในเซลล์เมมเบรนมากขึ้น ส่งผลรบกวนการซึมผ่านของสารพวกเอสเทอร์ออกนอกเซลล์ และยังไปยับยั้งกิจกรรมของแอลกอฮอล์อะซิทิวทรานเฟอเรสทำให้การเกิดสารประกอบพวกเอสเทอร์ถูกระงับไปด้วย (Yoshioka and Hashimoto, 1983)

Taniguchi และ คณะ (1987) ได้ศึกษาการผลิตสาเกโดยใช้ข้าวที่สกัดไขมันโดยวิธี supercritical carbondioxide พบว่าการสกัดไขมันด้วยวิธีนี้สามารถลดไขมันในข้าวได้ ที่เปอร์เซ็นต์การขัดสีที่ 90 80 และ 70 มีปริมาณไขมันก่อนการสกัดเท่ากับ 0.55 0.063 และ 0.039% เหลือ 0.12 0.024 และ 0.019 % ตามลำดับ และในข้าวที่ไม่ผ่านการขัดสีมีปริมาณไขมันก่อนสกัดเท่ากับ 2.91% เหลือ 2.24% ถือว่ายังคงมีปริมาณของไขมันมากจึงไม่นำไปผลิตสาเก และ เมื่อนำข้าวที่มีอัตราการขัดสีที่ 90 80 และ 70% ไปหมักเป็นสาเกพบว่า สามารถเพิ่มปริมาณของไอโซเอมิลอะซิเทต ซึ่งเป็นสารที่ให้กลิ่นรสของสาเกในอัตราการขัดสีที่ 80 และ 70% (Taniguchi, Kamihira and Kobayashi, 1987)

4. **แร่ธาตุ** ในข้าวจะมีสารพวกฟอสฟอรัส แคลเซียม เหล็ก และ แมกเนเซียมอยู่ประมาณ 1% และ จะอยู่ที่ผิวชั้นนอกของข้าว แต่จะหายไปบางส่วนระหว่างการขัดและแช่ข้าวในน้ำ แร่ธาตุพวกนี้แม้จะช่วยเร่งการเจริญของราและยีสต์ ยังช่วยส่งเสริมการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ปนเปื้อนตัวอื่นเช่นกัน

ในการผลิตสาเกนั้นได้ศึกษาถึงระดับการขัดสีข้าวที่เหมาะสม ในขณะที่การผลิตสาโทยังไม่มีการศึกษาเรื่องอัตราการสีข้าวที่จะใช้ในการหมัก ส่วนใหญ่ผู้ที่ผลิตจะนำข้าวที่ใช้ในการบริโภคมาใช้ในการหมักซึ่งจะมีองค์ประกอบของไขมัน โปรตีน และเถ้าที่สูงเมื่อเทียบกับการหมักสาเก และระดับการสีก็ทำได้ไม่สูงเท่ากับข้าวญี่ปุ่นเนื่องจากข้าวญี่ปุ่นมีลักษณะป้อมสั้นทำให้สามารถขัดสีข้าวได้ในระดับที่สูงโดยไม่ทำให้ข้าวหักเสียหายมาก ในขณะที่ข้าวไทยมีลักษณะเรียวเล็กเมื่อขัดสีข้าวในระดับที่สูงขึ้นขณะทำให้ข้าวหักเสียหาย สูญเสียวัตถุดิบในการผลิตที่สูงเกินไป (นฤมล เชี่ยวช่องชัย, ธนิดา ฉั่วเจริญ และ นันท์รังสี สงวนทรัพย์เจริญ, 2545)

ในขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบที่ใช้ในการหมักสาเกนั้น มีการขัดสีข้าวให้กลายเป็นข้าวสารก่อนหมักโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อกำจัดโปรตีน ไขมัน และแร่ธาตุ ที่มีในส่วนของเยื่อหุ้มเมล็ดออกซึ่งเป็นส่วนที่ไม่ต้องการเนื่องจากปริมาณของโปรตีน ไขมัน และแร่ธาตุ นั้นส่งผลต่อสี รสชาติ และยังสามารถที่จะเปลี่ยนไปเป็นสารประกอบบางอย่างที่อันตรายต่อร่ายกายอีกด้วย เช่น สารฟูเซลออยล์ ที่เกิดขึ้นจากโปรตีน วิตามิน และสารอาหารส่วนเกินในชั้นเยื่อหุ้มเมล็ดอาจจะ

ช่วย ส่งเสริมการเจริญของจุลินทรีย์ปนเปื้อนได้อีกด้วย (Ross, 1977) องค์ประกอบทางเคมีของข้าวที่ระดับการสีต่างๆ นั้น Yamada และคณะ (1935) ได้ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของข้าวญี่ปุ่นที่อัตราการขัดสี 0 90 80 และ 50% ดังแสดงในตารางที่ 2.4 พบว่าปริมาณไขมัน โปรตีน ความชื้น เถ้า มีปริมาณลดลงตามระดับการขัดสี แต่ปริมาณแป้งจะมีปริมาณเพิ่มขึ้น (Yamada *et al*., 1935)

ตารางที่ 2.4 องค์ประกอบทางเคมีของข้าวญี่ปุ่นที่อัตราการขัดสีต่างๆกัน

ชนิดของข้าว	อัตราการขัดสี(%)	องค์ประกอบทางเคมีของข้าว				
		ความชื้น(%)	โปรตีน(%)	ไขมัน(%)	เถ้า(%)	แป้ง(%)
ข้าวกล้อง	0	13.9	8.0	2.20	1.10	71
	90	13.6	7.4	0.67	0.40	75
ข้าวขาว	80	13.2	5.6	0.20	0.20	77
	50	13.1	5.5	0.08	0.17	80

ที่มา : Yamada *et al*., 1935

หมายเหตุ: อัตราการขัดสี (rate of polishing) หมายถึง เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักข้าสารต่อน้ำหนักข้าวกล้อง

ในการผลิตสาเกจะมีอัตราการขัดสีข้าวในระดับที่สูงถึง 50 % สำหรับสาเกที่มีคุณภาพดี แต่สาเกที่ผลิตทั่วไปส่วนใหญ่จะมีอัตราการขัดสีประมาณ 70-75% สาเกคุณภาพเยี่ยม(Ginjoshu) เป็นสาเกที่ผลิตจากข้าวที่มีอัตราการขัดสีที่ระดับ 40-50% มีปริมาณโปรตีนเพียงเล็กน้อย หมักที่อุณหภูมิ 13-18^{0} ซ นาน 25-30 วัน จึงทำให้ได้สาเกที่มีปริมาณสารประกอบเอสเทอร์สูงกว่าสาเกคุณภาพดี และ สาเกคุณภาพทั่วไป ดังแสดงในตารางที่ 2.5 ซึ่งสารเหล่านี้เป็นสารที่ให้กลิ่นรสแก่เครื่องดื่มแอลกอฮอล์นอกจากนั้นยังมีปริมาณของสารประกอบไนโตรเจน กรดอินทรีย์ และน้ำตาลน้อยส่งผลให้ได้สาเกที่มีกลิ่นรสที่พิเศษ

นฤมล เชี่ยวช่องชัย และคณะ (2545) ได้ศึกษาการเกิดกลิ่นรสของไวน์ข้าวโดย แปรผันเปอร์เซ็นต์การสีข้าวเหนียวพันธุ์ กข6 ที่มีอัตราการขัดสีที่แตกต่างกันออกไป 4 ระดับคือ 0 90 80 และ 71 % นำไปหมักโดยใช้ลูกแป้งเหล้าเป็นเวลาหมัก 6 วัน พบว่าที่อัตราการขัดสี 71 % ได้รับการยอมรับทาง ประสาทสัมผัสดีที่สุด (นฤมล เชี่ยวช่องชัย และคณะ, 2545)

ตารางที่ 2.5 ปริมาณของสารประกอบเอสเทอร์ที่พบในสาเกชนิดต่างๆ

สารประกอบเอสเทอร์(mg/l)	ชนิดของสาเก		
	สาเกคุณภาพเยี่ยม (Ginjoshu)	สาเกคุณภาพดี (Good sake)	สาเกทั่วไป (Ordinary sake)
เอทิลอะซิเทต	120	50	20-30
ไอโซบิวทิลอะซิเทต	1.0-1.5	0.5	0.2-0.5
เอทิลบิวทิเรต	2.0-5.0	1.5	0.5
ไอโซเอมิลอะซิเทต	10	5	2
เอทิลคาร์โพรเอต	10	3	2
เอทิลคาพริเลต	10	5	5
เอทิลคาเพรต	10	10	10
เอทิลพีลาร์โกเนท	5	-	3
เอทิลลอเรต	11	5	2
เอทิลแลคเทต	5	2	2
ฟีนิลเอทิลอะซิเทต	7	5	8

ที่มา : Ross, 1977

2.2.2 น้ำ

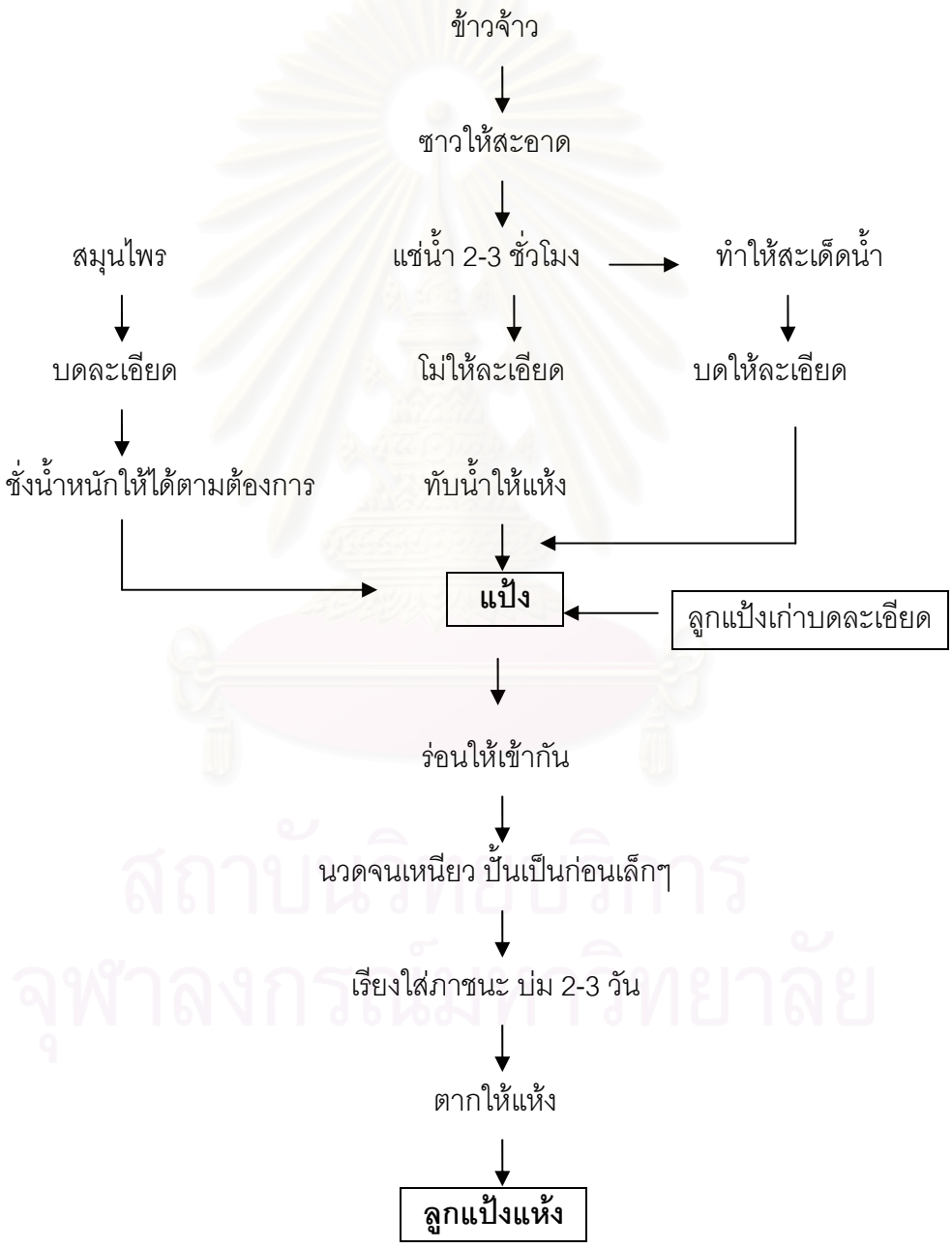
ในสาโทมีน้ำไม่ต่ำกว่า 80 เปอร์เซ็นต์ ในประเทศไทยยังไม่มีรายงานเกี่ยวกับคุณภาพน้ำที่เหมาะสมสำหรับการผลิตสาโทส่วนใหญ่จะใช้น้ำประปาต้มสุกหรือน้ำฝน แต่สำหรับการผลิตสาเกคุณภาพน้ำมีผลต่อคุณภาพของสาเกเป็นอย่างมาก น้ำที่ใช้จะต้องไม่มีสี ไม่มีกลิ่น ไม่มีรส เป็นกลางหรืออาจเป็นเบสอ่อนๆ มีปริมาณแร่ธาตุเล็กน้อย โดยเฉพาะธาตุเหล็กเพราะจะทำให้สาเกมีสีน้ำตาลและให้กลิ่นรสที่ไม่ดีปริมาณที่ยอมรับให้มีได้เท่ากับ 0.02 ppm และไม่มีจุลินทรีย์ที่เป็นอันตราย (Ross, 1977)

2.2.3 ลูกแป้ง

ลูกแป้งเป็นกล้าเชื้อผสมซึ่งประกอบด้วยจุลินทรีย์จำพวกรา แบคทีเรีย และยีสต์ เชื้อราสามารถสร้างเอนไซม์ย่อยแป้งให้กลายเป็นน้ำตาลจากนั้นเชื้อยีสต์ก็เปลี่ยนน้ำตาลให้กลายเป็นแอลกอฮอล์ (ปราโมทย์ ธรรมรัตน์, 2533; Kodama, 1970) โดยลูกแป้งสุราจัดเป็นเชื้อสุราอย่างหนึ่ง ตามพระราชบัญญัติสุรา พ.ศ. 2493 มาตรา 4 (สามิตตสาร, 2493) ซึ่งให้คำนิยามว่า เชื้อสุรา หมายถึง แป้งเชื้อสุรา แป้งหมักสุรา หรือแป้งเชื้อใดๆ หมักกับวัตถุหรือของเหลวอย่างอื่นๆ แล้ว

สามารถทำให้เกิดแอลกอฮอล์ที่ใช้ทำสุราได้

ในการผลิตลูกแป้งสุรา ดังแสดงในรูปที่ 2.2 เป็นขั้นตอนการผลิตลูกแป้งแบบภูมิปัญญาท้องถิ่น พบว่าตั้งแต่ขั้นตอนการเตรียมแป้ง สมุนไพรที่ใส่ ลูกแป้งเหล้าเก่าซึ่งอาจมีการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ที่ไม่ต้องการในการหมัก การปั้น การนวดแป้ง การตาก การบ่ม เกือบทุกขั้นตอนมีความเสี่ยงต่อการปนเปื้อนจากจุลินทรีย์ภายนอก ดังนั้นในขั้นตอนการผลิตลูกแป้งจะต้องใช้ความระมัดระวังและความชำนาญเป็นพิเศษ เพื่อไม่ให้เกิดการเจริญของเชื้อที่ไม่จำเป็นต่อการหมัก



ภาพที่ 2.2 แผนภูมิการผลิตลูกแป้งแบบภูมิปัญญาท้องถิ่น (นภา โล่ห์ทอง, 2534)

จุลินทรีย์ที่พบในลูกแป้งมีทั้งเชื้อรา ยีสต์ และแบคทีเรีย (สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย, 2547) ซึ่งกลุ่มของรายย่อยแป้งจะทำหน้าที่ในการย่อยแป้งให้เป็นน้ำตาลโดยเอนไซม์กลุ่มแอมีเลส ประกอบด้วย แอลฟาแอมีเลส บีตาแอมีเลส และ กลูโคแอมีเลส ย่อยโมเลกุลของแป้งให้กลายเป็น น้ำตาลกลูโคส น้ำตาลมอลโทส หรือน้ำตาลเดกซ์ทริน

ตัวอย่างสายพันธุ์ที่พบในลูกแป้ง

Amylomyces rouxii	มีเส้นใยสีขาวฟู
Rhizopus sp.	เส้นใยสีเทาดำ
Mucor sp.	เส้นใยสีเทาเหลือง
Aspergillus sp.	มีเส้นใยสีเหลืองเขียวบางชนิดสีดำ

สำหรับจุลินทรีย์อีกกลุ่มหนึ่งคือ ยีสต์ จะทำหน้าที่เปลี่ยนน้ำตาลให้กลายเป็นแอลกอฮอล์ ส่วนใหญ่จะพบ *Saccharomyces cerevisiae* และ *Endomycopsi*s sp. นอกจากนี้ยังมีจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนซึ่งเป็นที่ไม่ต้องการต่อกระบวนการหมัก ได้แก่ จุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดรสเปรี้ยว หรือเกิดน้ำส้มสายชู

กลุ่มจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนในลูกแป้ง

แบคทีเรีย	*Acetobacter* sp.	ผลิตกรดน้ำส้ม
	Gluconobacter sp.	ผลิตกรดน้ำส้ม
	Lactobacillus sp.	ผลิตกรดในน้ำนม
	Bacillus sp.	ย่อยโปรตีนให้กลิ่นเหม็นและขุ่น
รา	*Aspergillus flavus*	ก่อให้เกิดโรคมะเร็ง
	Fusarinum sp.	เกิดเส้นใยสีชมพูหรือส้มฟูฟองปนเปื้อนอย่างรวดเร็ว
ยีสต์	*Pichia* sp.	เกิดฝ้าขาวที่ผิว

ปัจจุบันยังไม่มีสูตรและกระบวนการผลิตที่แน่นอนทำให้คุณภาพของสาโทที่ได้ไม่คงที่ ส่วนการผลิตสาเกนั้นใช้เชื้อบริสุทธิ์ที่ผ่านการคัดเลือกแล้วในการหมัก โดยขั้นแรกจะมีการย่อยแป้งให้เป็นน้ำตาลใช้ *Aspergillus oryzae* จากนั้น *Saccharomyces sake* ในการเปลี่ยนน้ำตาลให้เป็นแอลกอฮอล์ ซึ่งเป็นข้อดีช่วยลดการปนเปื้อนเมื่อเทียบกับการใช้ลูกแป้งในการหมักสาโทของไทย ดังนั้นได้มีนักวิจัยหลายคนที่ได้ศึกษาเกี่ยวกับการแยกเชื้อจุลินทรีย์จากลูกแป้ง โดย มนตรี เชาว์สังเกตุ (2521) ได้ศึกษาการคัดเลือกสายพันธุ์ยีสต์และราเพื่อใช้ผลิตไวน์ข้าวจากลูกแป้งทั่วประเทศ พบว่าเชื้อราที่มีประสิทธิภาพในการย่อยแป้งได้ดี ปริมาณกรดต่ำ และให้กลิ่นรสที่ดีแก่สาโทได้แก่ *Rhizopus* MM-52 และ *Amylomyces rouxii* MM-136 ส่วนยีสต์ที่ทนปริมาณแอลกอฮอล์ที่ความเข้มข้นสูง และให้กลิ่นรสที่ดีคือ *Saccharomyces cerevisiae* MS-52 เมื่อนำมาหมักและทดสอบด้านประสาทสัมผัสเทียบกับการหมักกับลูกแป้งพบว่าไม่มีความแตกต่าง

(มนตรี เชาว์สังเกตุ, 2521) และ วรรัตน์ โชติวรรณพร (2539) ก็ได้ศึกษาเรื่องการผลิตไวน์ข้าวเหนียวดำโดยการหมักโดยเชื้อบริสุทธิ์ ซึ่งได้รวบรวมลูกแป้งจากทั่วประเทศเช่นกันและคัดแยกเชื้อราและยีสต์ พบว่าได้เชื้อรา LM18 ซึ่งเป็นลูกแป้งที่มาจากจังหวัดแพร่ ย่อยแป้งได้ดีที่สุด ส่วนเชื้อยีสต์ LY 17 หมักน้ำตาลได้ดีและทนต่อแอลกอฮอล์สูง (วรรัตน์ โชติวรรณพร, 2539) ข้อมูลเบื้องต้นนี้อาจจะนำไปสู่การพัฒนาการผลิตสาโทโดยใช้เชื้อบริสุทธิ์

2. 3 กระบวนการผลิตไวน์ข้าว

กระบวนการผลิตไวน์ข้าวมีขั้นตอนกระบวนการดังแสดงในรูปที่ 2.3 (สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย, 2547)

รูปที่ 2.3 กระบวนการผลิตไวน์ข้าวแบบเดิมจากภูมิปัญญาท้องถิ่น (สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย, 2547)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การผลิตไวน์ข้าวตามรูปที่ 2.3 เป็นแบบดั้งเดิมจากภูมิปัญญาท้องถิ่นพบว่ามีหลายขั้นตอนที่ความเสี่ยงต่อการปนเปื้อน อย่างเช่นขั้นตอนการแช่ข้าวถ้าแช่นานเกิดไปจะเป็นการเพาะเลี้ยงจุลินทรีย์ที่ไม่ต้องการ และข้าวมีกลิ่นไม่ดี การนึ่งข้าวอาจจะมีจุลินทรีย์ที่ฆ่าไม่หมด การล้างเมือกและผึ่งข้าวเป็นการเปิดโอกาสรับเชื้อปนเปื้อนจากอากาศโดยเฉพาะเชื้อน้ำส้ม ลูกแป้งเหล้าที่ใช้ก็มีจุลินทรีย์ปนเปื้อนจากลูกแป้งเดิม เป็นต้น สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทยจึงได้มีการพยายามปรับปรุงการผลิตสาโทโดยปรับเปลี่ยนกระบวนการผลิต เช่น การแช่ข้าวควรแช่นานไม่เกิด 6 ชั่วโมง ไม่ล้างและผึ่งข้าว แต่มีการเติมน้ำต้มสุกเพื่อให้ข้าวกระจายตัวง่ายต่อการคลุกสาโทและป้องกันการปนเปื้อน ลูกแป้งที่ใช้เป็นลูกแป้งที่ทำจากเชื้อราและเชื้อยีสต์ที่ผ่านการคัดเลือกแล้ว เป็นต้น

องค์ประกอบในไวน์ข้าว

มนตรี เชาว์สังเกตุ(2521) ได้วิเคราะห์ไวน์ข้าวในขณะที่ยังมีปฏิกิริยาการหมักบางแหล่งในประเทศ 11 ตัวอย่างพบว่ามีองค์ประกอบดังนี้

ค่าความเป็นกรด-เบส	3.40-4.70
ปริมาณกรด (%, กรดแลคติก)	0.29-0.93
กรดที่ระเหยได้ (%, กรดแอซีติก)	0.001-0.061
ค่าของแข็งที่ละลายได้ (^{0} Brix)	5.2-13.8
น้ำตาลรีดิวซ์ (%)	0.15-5.95
แอลกอฮอล์ (%)	3.0-11.0

ในการวิเคราะห์องค์ประกอบของไวน์ข้าวที่หมักโดยลูกแป้งจากแหล่งต่างๆ 5 ตัวอย่างและปล่อยให้เกิดการหมักอย่างสมบูรณ์ ปรากฏว่าได้สาโทที่มีองค์ประกอบดังนี้

ค่าความเป็นกรด-เบส	3.71-4.0
ปริมาณกรด (%, กรดแลคติก)	1.18-4.23
กรดที่ระเหยได้ (%, กรดแอซีติก)	0.026-2.43
ค่าของแข็งที่ละลายได้ (^{0} Brix)	7.8-15.6
น้ำตาลรีดิวซ์ (%)	0.0-7.3
แอลกอฮอล์ (%)	6.8-14.8

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.4 การเปลี่ยนแปลงทางเคมีและชีวเคมีในการหมักไวน์ข้าวโดยยีสต์และรา

2.4.1 การเปลี่ยนแปลงทางเคมีและชีวเคมีในการหมักไวน์ข้าวโดยราซึ่งจะทำหน้าที่ในการย่อยแป้งเป็นน้ำตาล

1.1 เจลาทิไนเซชัน เป็นขั้นตอนการทำให้ข้าวสุก เม็ดแป้งในข้าวเมื่อสัมผัสกับความร้อนชื้นทำให้โครงสร้างของแป้งขยายตัวและเกิดเจลาทิไนเซชัน ทำให้ข้าวสุกมีลักษณะนุ่มเหนียวเหมาะต่อการเจริญของจุลินทรีย์ต่อไป (Tester and Morrison, 1990)

1.2 Liquefaction และ Saccharification เป็นขั้นตอนเพื่อลดความหนืดของแป้งที่ gelatinizedแล้วและย่อยแป้งให้เป็นน้ำตาล โดยจุลินทรีย์ที่สร้างเอนไซม์ที่มีคุณสมบัติในการย่อยแป้งซึ่งได้แก่ *Amylomyces* sp, *Rhozopus* sp (Teramoto et al., 1990) จะย่อยแป้งให้เป็นน้ำตาลโดยใช้เอนไซม์อัลฟาแอมีเลส ได้ผลผลิตเป็นเดกซ์ทริน และมอลโทส สำหรับเบต้าแอมีเลส ย่อยแป้งแล้วได้ผลผลิตเป็น Limit dextrins และ มอลโทส สุดท้ายแอมีโลกลูซิเดส จะย่อยแป้งหรือ มอลโทส นั้นให้กลายเป็น กลูโคสต่อไป (Weiser, Mountney and Gould, 1978)

2.4.2 การเปลี่ยนแปลงทางเคมีและชีวเคมีในการหมักไวน์ข้าวโดยยีสต์ซึ่งทำให้เกิดกระบวนการหมักน้ำตาลแล้วได้แอลกอฮอล์

ขั้นตอนการเปลี่ยนน้ำตาลให้เป็นแอลกอฮอล์ในการหมักแสดงได้ดังนี้

1 กลูโคส ($C_6H_{12}O_6$) $\longrightarrow$ 2 แอลกอฮอล์ (CH_3CH_2OH) +2CO_2+ พลังงานประมาณ 56 Kcal

กระบวนการนี้เกิดจากยีสต์สายพันธุ์ *Saccharomyces* ที่มีความสามารถในการผลิตแอลกอฮอล์ โดย ซึ่ง 1 โมเลกุลของกลูโคส หรือ ฟรุกโทส จะได้แอลกอฮอล์ 2 โมเลกุล คาร์บอนไดออกไซด์ 2 โมเลกุล และ พลังงาน ซึ่งเป็นปฏิกิริยาพื้นฐานของการเปลี่ยนแปลงในเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ ตามทฤษฎีน้ำตาลกลูโคส 180 กรัม จะถูกเปลี่ยนเป็น 88 กรัมของคาร์บอนไดออกไซด์ และ 92 กรัมของแอลกอฮอล์ แต่ในทางปฏิบัติเมื่อมีการหมักเกิดขึ้น น้ำตาล 95% จะถูกเปลี่ยนเป็นแอลกอฮอล์และคาร์บอนไดออกไซด์ อีก 1% ใช้และเปลี่ยนเป็นสารประกอบภายในเซลล์ และอีก 4% จะถูกเปลี่ยนเป็นผลิตภัณฑ์พลอยได้ ในกระบวนการหมักแต่เปอร์เซ็นต์ในการใช้น้ำตาลของยีสต์จะแปรผันไปตามขนาดของกล้าเชื้อยีสต์ อุณหภูมิในการหมัก และ วัตถุดิบที่ยีสต์ใช้ในกระบวนการหมัก (Boulton *et al*., 1996)

2.4.3 ชีวเคมีการเกิดแอลกอฮอล์

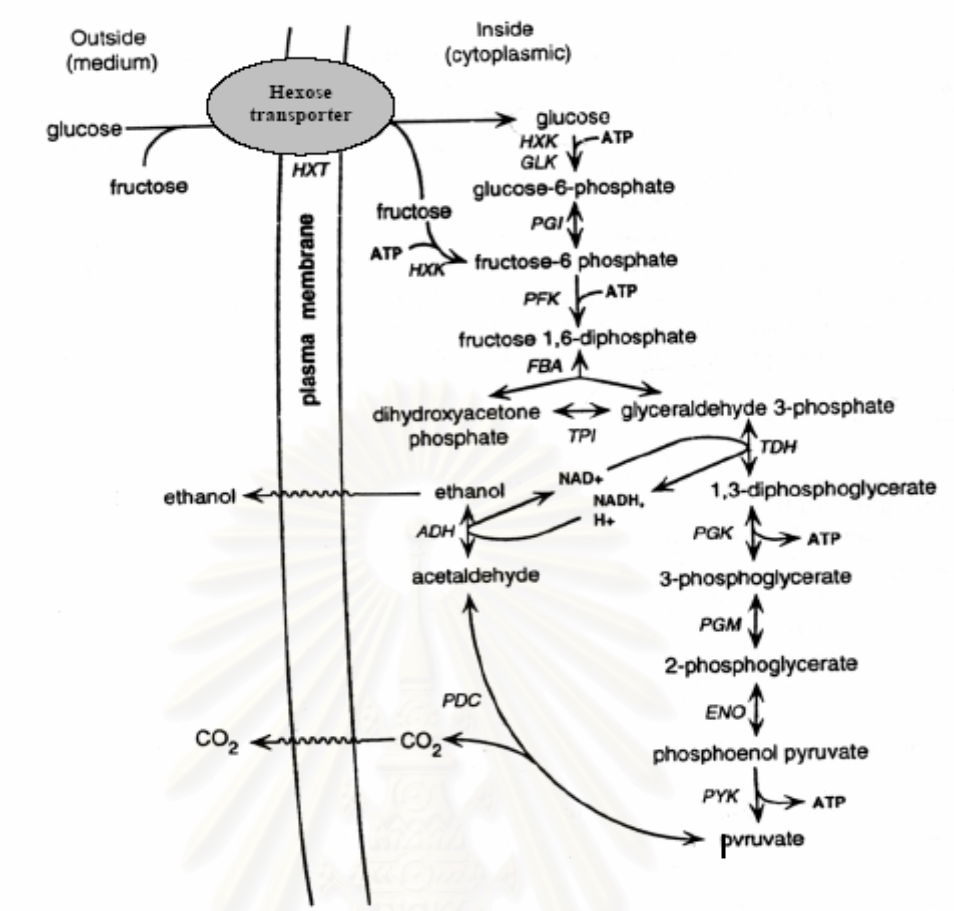
กระบวนการผลิตเอทานอลในเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ ส่วนใหญ่จะเป็นการเปลี่ยนแปลงโดยกระบวนการเมแทบอลิซึมของยีสต์ที่มีกลูโคสเป็นแหล่งคาร์บอนทั้งในภาวะที่มีอากาศและไม่มีอากาศ ขั้นตอนแรกคือ เมื่อยีสต์เจริญในอาหารที่มีน้ำตาล ยีสต์จะย่อยสลายน้ำตาลผ่านวิถีไกลโคลิซิส (glycolyic pathway) หรือ เอ็บเดน เมเยอร์ พาร์นัส (Embden-Meyerhof- Panas pathway, EMP) ดังรูปที่ 2.4 โดยจะเปลี่ยนน้ำตาลกลูโคส 1 โมเลกุลเป็นไพรูเวท 2 โมเลกุลได้พลังงานในรูป ATP 2 โมเลกุลและ $NADH2_2$ โมเลกุล การเปลี่ยนแปลงในขั้นตอนนี้เกิดขึ้นไม่ว่ายีสต์จะเจริญในภาวะที่มีหรือไม่มีออกซิเจน

ขั้นตอนต่อมาไพรูเวทจะถูกเปลี่ยนต่อไปให้ผลผลิตสุดท้ายต่างกันตามชนิดของยีสต์และภาวะแวดล้อมในระหว่างการหมักโดยจะแบ่งการเปลี่ยนแปลงเป็น 2 ประเภทคือ

2.1.1 Oxidative metabolism (aerobic respiration) ในภาวะที่มีออกซิเจน ยีสต์จะเปลี่ยนน้ำตาล เป็นไพรูเวท และเปลี่ยนต่อไปเป็น คาร์บอนไดออกไซด์ และน้ำผ่านกระบวนวัฏจักรเครป (Kreb's cycle) และ วิถีการหายใจ (oxidative respiration) ขั้นตอนนี้จะได้พลังงานในรูป ATP 36-38 โมเลกุล และยีสต์จะนำไปใช้ในการเจริญเติบโตและเพิ่มจำนวนเซลล์ให้มากขึ้น

2.1.2 Fermentation metabolism (anaerobic fermentation) ในกรณีที่มีน้ำตาลหรือภาวะที่ไม่มีออกซิเจน ไพรูเวทจะถูกเปลี่ยนเป็นแอลกอฮอล์ และคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งจะเรียกว่าเกิดภาวะการหมักโดยขั้นตอนนี้เซลล์ยีสต์จะเพิ่มขึ้นเล็กน้อยและมีการเปลี่ยนไพรูเวทให้กลายเป็นอะซิทัลดีไฮด์และถูกรีดิวซ์ต่อเป็นแอลกอฮอล์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.4 เอนไซม์ที่ใช้ในกระบวนการผลิตแอลกอฮอล์และกระบวนการไกลไคลิซิสในเซลล์ยีสต์ HXT (เฮกโซสทรานสพอร์เตอร์), HXK (เฮกโซไคเนส) GLK (กลูโคไคเนส), PGI (ฟอสฟอกลูโคไอโซเมอเรส), PFK (ฟอสฟอฟรุกโตไคเนส), FBA (แอลโดเลส), TPI (ไทรโอสฟอสเฟส ไอโซเมอเรส), PGM (ฟอสฟอกลีเซอเรท มูเทส), ENO (อีโนเลส), PYK (ไพรูเวทเนส), PDC (ไพรูเวทดีคาร์บอกซิเลส), ADH (แอลกอฮอล์ดีไฮโดรจิเนส)

ที่มา : Boulton *et al*., 1996

2.4 สารประกอบที่ให้กลิ่นรสในเครื่องดื่มแอลกอฮอล์

สารประกอบที่ให้กลิ่นรสในไวน์ข้าวนั้นมีความคล้ายคลึงกับที่พบในเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ชนิดอื่นๆ ซึ่งสารประกอบที่ให้กลิ่นรสนั้นเป็นผลิตภัณฑ์พลอยได้ (By product) ที่เกิดขึ้นในระหว่างการหมักโดยยีสต์ เช่น สารประกอบเอสเทอร์ ฟูเซลออยล์ (Fusel oil) แอลดีไฮด์ (aldehyde) เป็นต้น (Berry, Russell and Stewart,1987) ซึ่งพบในปริมาณเล็กน้อยเท่านั้นแต่ให้กลิ่นรสที่ดี และเกิดความซับซ้อนแก่เครื่องดื่มแอลกอฮอล์ชนิดนั้น สารประกอบที่ให้กลิ่นรสในเครื่องดื่มแอลกอฮอล์แต่ละประเภทจะมีปริมาณที่แตกต่างกันไปตามวัตถุดิบ สายพันธุ์จุลินทรีย์ และกระบวนการผลิต ตารางที่ 2.6 แสดงสารประกอบที่ให้กลิ่นรสในเครื่องดื่มแอลกอฮอล์

ประเภทต่างๆ ซึ่งจะพบว่ามีสารประกอบที่ให้กลิ่นรสในปริมาณที่แตกต่างกัน จากปัจจัยที่กล่าวมาแล้ว เช่นเดียวกับไวน์ผลิตโดยองุ่นซึ่งมีองค์ประกอบทางเคมีของน้ำองุ่นที่แตกต่างเมื่อเทียบกันวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตเบียร์ สาเกหรือไวน์ข้าว(สาโท)

ตารางที่ 2.6 องค์ประกอบและปริมาณของสารประกอบเอสเทอร์และฟูเซลออยล์ที่พบในเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ชนิดต่างๆ

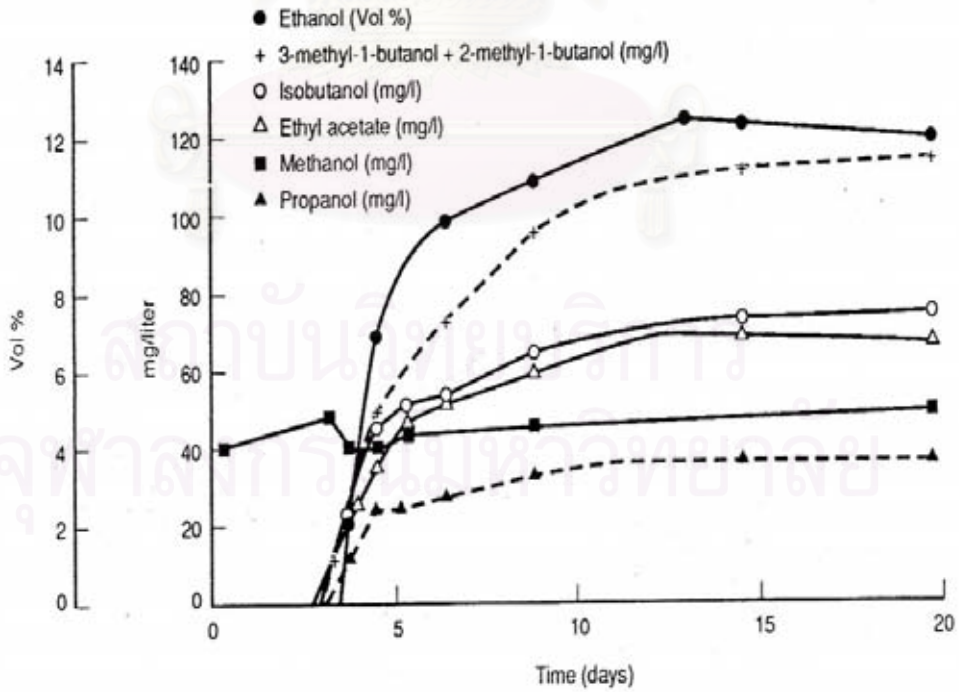
สารประกอบที่ให้กลิ่นรส	ชนิดของเครื่องดื่มแอลกอฮอล์			
	ไวน์*	เบียร์**	สาโท***	สาเก****
สารประกอบเอสเทอร์(mg/l)				
เอทิลอะซิเทต	33.5	8.2- 47.6	69.4	20-30
ไอโซบิวทิลอะซิเทต	0.02	0.03-0.25	1.6	0.2-0.5
เอทิลบิวทิเรท	0.13	0.09	1.6	0.5
ไอโซเอมิลอะซิเทต	2.2	0.23	1.3	2
เอทิลคาโพรเอท	0.71	-	-	2
เอทิลคาพริเลท	1.0	0.08-0.1	0.6	5
เอทิลคาเพรท	0.24	-	0.5	10
เอทิลพีลาโกเนท	-	ND	-	3
เอทิลลอเรท	-	ND	0.9	2
เอทิลแลคเทต	4.0	0.1	0.7	2
ฟีนิลเอทิลอะซิเทต	3.5	0.1-0.17	0.6	8
แอลดีไฮด์ (mg/l)				
อะซิทัลดีไฮด์	56.0	2.5-24.4	64.2	-
ฟูเซลออยล์ (mg/l)				
โพรพานอล	18.5	7.7-16.2	-	120
ไอโซบิวทานอล	13.0	200	65.6	64
แอคทีฟเอมิลแอลกอฮอล์	29.0	7-23	-	-
ไอโซเอมิล แอลกอฮอล์	114	27-122	99.6	170
2 –ฟีนิลเอทิลแอลกอออล์	-	5-7	23.6	75

ที่มา: * Delfini and Formica, 2001, ** Berry *et al*., 1987, *** Sirisantimethakom *et al*., 2005 และ **** Ross, 1977

2.5.1 Higher alcohol **หรือฟูเซลออยล์**

ฟูเซลออยล์ เป็นกลุ่มแอลกอฮอล์ที่มีคาร์บอนอะตอมมากกว่า 2 อะตอม ซึ่งมีความสำคัญเนื่องจากช่วยให้กลิ่นรสของเครื่องดื่มแอลกอฮอล์มีความซับซ้อน ฟูเซลออยล์ในเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ที่พบนั้นมีมากกว่า 40 ชนิด แต่มีเพียงบางตัวเท่านั้นมีความสำคัญต่อกลิ่นรส เช่น โพรพานอล ไอโซบิวทานอล (2- เมทิล -1-โพรพานอล) แอคทีฟเอมิลแอลกอฮอล์ (2 -เมทิล-1-บิวทานอล) ไอโซเอมิลแอลกอฮอล์ (3-เมทิล -1-บิวทานอล) แอโรมาติกแอลกอฮอล์เฮกซานอล และ 2 - ฟีนิลเอทิลแอลกอฮอล์ เป็นต้น ความเข้มข้นของฟูเซลออยล์ที่พบในเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ก็มีความสำคัญ ซึ่งพบว่าที่ความเข้มข้นน้อยกว่า 300 มิลลิกรัมต่อลิตร จะช่วยทำให้เครื่องดื่มแอลกอฮอล์ชนิดนั้นมีกลิ่นรสที่ซับซ้อน แต่ถ้ามากกว่า 300 มิลลิกรัมต่อลิตร จะทำให้เกิดกลิ่นรสที่ไม่ดี ฉุน และกลบกลิ่นรสที่ดีของสารตัวอื่น (Ribéreau-Gayon *et al*., 2000)

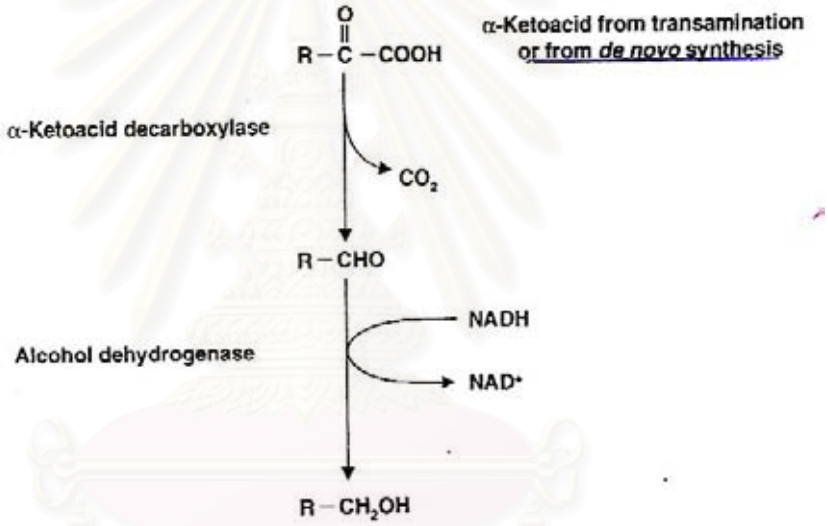
ตัวอย่างสารประกอบฟูเซลออยล์และเอทิลอะซิเทตที่เกิดขึ้นระหว่างการหมักแสดงใน รูปที่ 2.5 พบว่าการเกิดฟูเซลออยล์สัมพันธ์กับการเกิดแอลกอฮอล์ กล่าวคือเมื่อปริมาณแอลกอฮอล์สูงขึ้นปริมาณฟูเซลออยล์ก็สูงขึ้นด้วย แอลกอฮอล์ ฟูเซลออยล์ และ เอทิลอะซิเทตจะผลิตขึ้นในอัตราที่สูงในช่วงแรกของการหมัก จากนั้นอัตราการผลิตจะลดลง และค่อนข้างคงที่ในช่วงท้ายของการหมัก



รูปที่ 2.5 การผลิตแอลกอฮอล์ ฟูเซลออยล์ และ เอทิลอะซิเทต ระหว่างกระบานการหมัก
ที่มา : Rapp and Mandery, 1986

การสังเคราะห์ฟูเซลออยล์เกิดขึ้นจาก 2 กระบวนการ คือ การสลายกรดอะมิโน (Catabolic pathway) หรือ Ehrlich pathway และ การสังเคราะห์ (Anabolic pathway) จากเซลล์ยีสต์ซึ่งทั้งสองกระบวนการจะมี α – keto acid (C-skeleton) เป็นสารตั้งต้น (intermediated precursor) ในการสังเคราะห์ฟูเซลออยล์ และมีดีคาร์บอกซิเลส เร่งปฏิกิริยาทำให้ α – keto acid กลายเป็น สารประกอบแอลดีไฮด์ จากนั้นจะถูกรีดิวซ์ให้กลายเป็นกลุ่มของแอลกอฮอล์

α – keto acid ที่ได้จากกระบวนการสังเคราะห์จากเซลล์ยีสต์นั้นเกิดขึ้น จากขั้นตอนการสังเคราะห์กรดอะมิโนในเซลล์ โดยไพรูเวท หรือ อะซิทิล-โคเอนไซม์เอ (Acetyl-CoA) ถูกเปลี่ยนให้กลายเป็น α – keto acid ส่วน α – keto acid ที่ได้จากการสลายกรดอะมิโนนั้นได้จากการ deamination กรดอะมิโน ดังรูปที่ 2.6

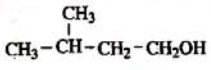
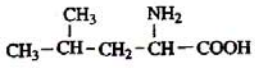
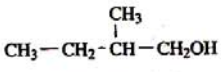
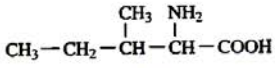
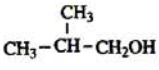
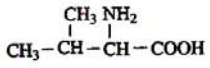
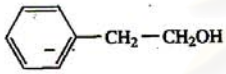
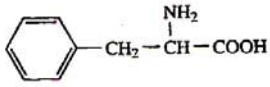
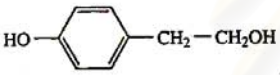
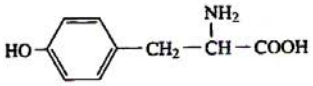
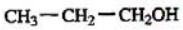
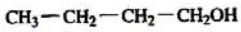
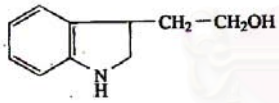
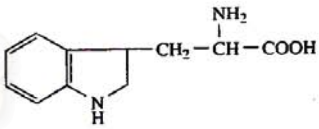
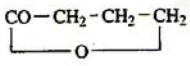
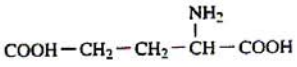
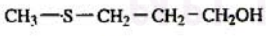
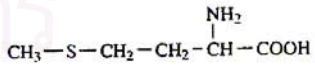


รูปที่ 2.6 กระบวนการสังเคราะห์ higher alcohol

ที่มา: Boulton and Quain, 2001

การสังเคราะห์ ฟูเซลออยล์ที่เกิดจาก Ehrlich pathway นั้นพบว่า ชนิดของกรดอะมิโนที่มีในการหมัก มีความจำเพาะต่อการเกิดฟูเซลออยล์ ดังแสดงในตารางที่ 2.7 แต่ก็มี บางชนิดเช่น โพรพานอล และ บิวทานอล เป็นต้น ที่ไม่ได้สร้างจากกรดอะมิโน แต่ เกิดจากการสังเคราะห์ขึ้นจากเซลล์ยีสต์

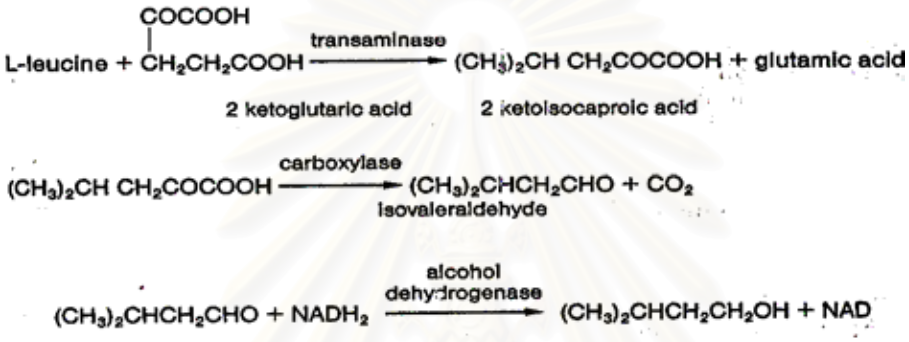
ตารางที่ 2.7 กรดอะมิโนที่เป็นสารตั้งต้นในการเกิดฟูเซลออยล์ชนิดต่างๆ

Higher alcohol	Concentration in wine ($mg.l^{-1}$)	Amino acid precursor
 *3-methyln-buta-1-ol or isoamyl alcohol*	80 - 300	 *Leucine*
 *2-methyl-butan-2-ol or active amyl alcohol*	30 - 100	 *Isoleucine*
 *2-methyl-propan-1-ol or isobutyl alcohol*	50 - 150	 *Valine*
 *Phenylethanol*	20 - 30	 *Phenylalanine*
 *Tyrosol*	10 - 50	 *Tyrosine*
 *Propan-1-ol*	1 - 10	?
 *Butan-1-ol*		?
 *Thyptophol*	0 - 1	 *Tryptophane*
 *γ-Butyrolatone*	0 - 5	 *Glutamic acid*
 *Methionol*	0 - 5	 *Methionine*

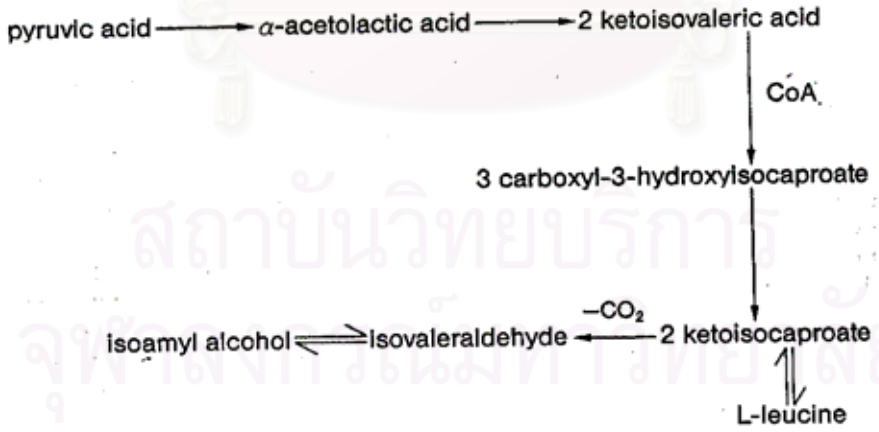
ที่มา : Ribéreau-Gayon *et al.*, 2000

การสังเคราะห์ ไอโซเอมิลแอลกอฮอล์ ซึ่งที่เกิดขึ้นจากกรดอะมิโนลิวซีน และการสังเคราะห์จากเซลล์ยีสต์ตามลำดับ แสดงในรูปที่ 2.7 และ 2.8 เป็นตัวอย่าง ทั้งสองกระบวนการจะมีสารที่เป็นสารตั้งต้นในการเกิด ไอโซเอมิลแอลกอฮอล์ คือ 2 - คีโตไอโซคาโพรเอท (Keto acid) โดย 2 - คีโตไอโซคาโพรเอท เกิดขึ้นในกระบวนการ deamination ของกรดอะมิโนลิวซีน และเกิดได้จาก กรดไพรูเวท

<u>ตัวอย่าง</u> ไอโซเอมิลแอลกอฮอล์ที่เกิดขึ้นจากกรดอะมิโนลิวซีน และการสังเคราะห์จากเซลล์ยีสต์



รูปที่ 2.7 ไอโซเอมิลแอลกอฮอล์ที่สังเคราะห์ได้จากกรดอะมิโนลิวซีน โดย Ehrlich pathway
ที่มา: Reed and Nagodawithana, 1991



รูปที่ 2.8 ไอโซเอมิลแอลกอฮอล์การสังเคราะห์ จากเซลล์ยีสต์
ที่มา: Reed and Nagodawithana, 1991

2.5.2 สารประกอบเอสเทอร์

เป็นสารประกอบที่เกิดขึ้นในกระบวนการหมัก ซึ่งให้กลิ่นที่ดีในเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ ตัวอย่างสารประกอบเอสเทอร์ที่พบได้แก่ เอทิลอะซิเทตให้กลิ่นผลไม้ เอทิลคาโพรเอทให้กลิ่นแอปเปิ้ล ไอโซเอมิลอะซิเทตให้กลิ่นกล้วยหอมและแอปเปิ้ล ไอโซบิวทิลอะซิเทตให้กลิ่นผลไม้ และ 2 ฟีนิลเอทิลอะซิเทตให้กลิ่นกุหลาบ น้ำผึ้งและแอปเปิ้ล เป็นต้น

การเกิดสารประกอบเอสเทอร์ในเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ เกิดได้จาก 2 กระบวนการคือ

1. ปฏิกิริยาเอสเทอริฟิเคชัน (esterification) ในระหว่างการเก็บบ่ม

ปฏิกิริยานี้เป็นการเกิดการเอสเทอริฟิเคชันระหว่าง แอลกอฮอล์ กับกรดอินทรีย์ ที่มีในเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ทำให้เกิดสารประกอบพวกเอสเทอร์ขึ้น กระบวนการนี้เกิดขึ้นอย่างช้าๆในระหว่างการหมักบ่ม (Ribéreau *et al*., 2000)

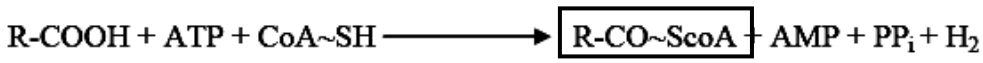
2. เอสเทอริฟิเคชันโดยเอนไซม์ระหว่างการหมัก

ปริมาณสารประกอบเอสเทอร์ที่เกิดขึ้นระหว่างการหมักจะมีมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับหลายปัจจัยเช่น สายพันธุ์ของยีสต์(Antonelli *et al*., 1999; Vianna and Ebeler, 2001) อุณหภูมิที่ใช้ในการหมัก ออกซิเจน และ กรดไขมันไม่อิ่มตัว (Killainand and Ough, 1979; Nykänen, 1986) สารประกอบเอสเทอร์ที่มีความสำคัญในเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ มี 2 กลุ่มคือ เอทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน (Fatty acid ethyl ester) กับ อะซิเทต เอสเทอร์ (acetate ester) ซึ่งสารประกอบพวกนี้ให้กลิ่นดอกไม้หรือผลไม้ซึ่งเป็นกลิ่นที่ดี และเป็นที่ยอมรับ ตัวอย่าง เอทิลเอสเทอร์ของกรดไขมันได้แก่ แอทิลบิวทาโนเอท เอทิลเฮกซาโนเอท เอทิลออกทาโนเอท ซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาระหว่างแอลกอฮอล์และสารประกอบที่ได้จากกระบวนการย่อยสลายหรือการสร้างกรดไขมันของเซลล์ยีสต์

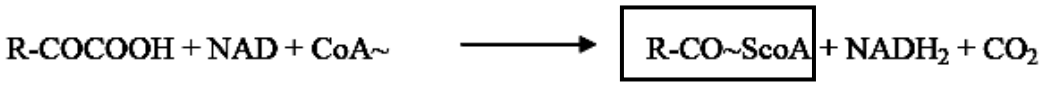
Acetyl-CoA เป็นสารที่เป็นกุญแจสำคัญในการสร้างสารประกอบเอสเทอร์ ระหว่างการหมัก Acetyl-CoA จะทำปฏิกิริยากับกรดไขมัน หรือ keto acid โดยเอนไซม์ Acyl Coenzyme A synthetase ได้เป็น Acyl- CoA ซึ่งเป็นสารตั้งต้นในการผลิตสารประกอบเอสเทอร์ จากนั้นเอนไซม์แอลกอฮอล์เอซิลทรานสฟอเรส จะเปลี่ยน Acyl- CoA ให้เป็น สารประกอบเอสเทอร์ กลไกการเกิดแสดงในรูปที่ 2.9

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

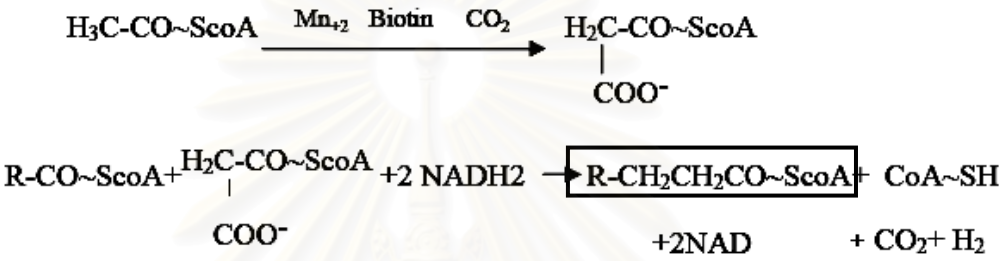
Acyl Coenzyme Aที่ได้จากกรดอินทรีย์



Acyl Coenzyme A ที่ได้จาก keto acid



Acyl Coenzyme A ที่ได้จากกระบวนการสังเคราะห์หรือสลายกรดไขมัน



การเกิดสารประกอบเอสเทอร์โดยมี Acyl Coenzyme A และ แอลกอฮอล์เป็นสารตั้งต้น

รูปที่ 2.9 การเกิดสารประกอบเอสเทอร์โดยเอสเทอริฟิเคชันโดยเอนไซม์ระหว่างการหมัก

ที่มา : อุลัยวรรณ์ อุสันสา, 2546

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

<u>วัตถุดิบ</u>

ข้าวพันธุ์ลอย กข6 และ ขาวดอกมะลิ105 จากจังหวัดนครพนม สีเป็นข้าวกล้องและข้าวขาวด้วย เครื่องสีข้าวยี่ห้อ Lersoner ชนิด Ls 130 N 12 ขนาด 7.5 แรงม้า หัวขัดเบอร์ 2 หมุนได้ 143 รอบต่อนาที ที่โรงสีขนาดเล็กของคุณตาตี กุลยะ อ.โพนสวรรค์ จ.นครพนม

<u>จุลินทรีย์</u>

Amylomyces rouxii TISTR 3128

Saccharomyces cerevisiae TISTR 5049

ซึ่งราและยีสต์ที่ใช้ในการวิจัยเป็นจุลินทรีย์สายพันธุ์บริสุทธิ์ ที่เก็บรวบรวมไว้ในศูนย์จุลินทรีย์ (MIRCEN) สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (TISTR)

<u>เครื่องมือ</u>

หม้อนึ่งฆ่าเชื้อแบบใช้ไอน้ำ (Autoclave)

ตู้เขี่ยเชื้อ(Laminar flow)

เครื่องชั่งโดยละเอียด 4 ตำแหน่ง ยี่ห้อ Mettler Toledo รุ่น AB204

เครื่องวัดการดูดกลืนแสง (Spectrophotometer)

เครื่องวัดการหักเหของแสง (Hand refractmeter)

ตู้อบลมร้อน (Hot air oven) ยี่ห้อ WTB Binder รุ่น E53

ชุดวิเคราะห์โปรตีน ยี่ห้อ BUCHI ประกอบด้วย digestion unitรุ่น K-424, distillation unit รุ่น B-324, scrubber รุ่น B-414

เตาเผา (Muffle furnace) ยี่ห้อ Fisher Scientific รุ่น Isotemp

เตาไฟฟ้า (Hot plate)

ชุดสกัดไขมัน

ทิมเบิล (Thimble)

เครื่องหาปริมาณแอลกอฮอล์ (Ebulliometer)

เครื่องวอร์เทกซ์ (Vortex mixture)

เครื่องปั่น (Blender)

กล้องจุลทรรศน์

เครื่องสีข้าวยี่ห้อ Lersoner ชนิด Ls 130 N 12 ขนาด 7.5 แรงม้า

<u>วัสดุ-อุปกรณ์</u>

ขวดโหลขนาด 5 ลิตร

ลูปเขี่ยเชื้อ

ขวดรูปชมพู่ ขนาด 250 มิลลิลิตร และ 500 มิลลิลิตร

ผ้าขาวบาง

หลอดทดลอง

คิวเวตต์ (Cuvett)

ปิเปต ขนาด1 มิลลิลิตร, 2 มิลลิลิตร, 3 มิลลิลิตร, 4 มิลลิลิตร และ 5 มิลลิลิตร

โถดูดความชื้น (Desiccators)

บีกเกอร์ 100 มิลลิลิตร, 200 มิลลิลิตร และ 500 มิลลิลิตร

ตะแกรงใส่หลอดทดลอง (Rack)

ลูกยาง

ตะเกียงแอลกอฮอล์

จานอาหารเลี้ยงเชื้อ

Haemacytometer

<u>สารเคมี</u>

1- เพนทานอล	บริษัท Fluka, Switzerland
2- ฟีนิลเอทิลแอลกอฮอล์	บริษัท Fluka, Switzerland
2- ฟีนิลเอทิลอะซิเทต	บริษัท Fluka, Switzerland
3, 5 – ไดไนโทรซาลิไซลิค แอซิด	บริษัท J.T.baker, U.S.A.
แอลกอฮอล์สัมบูรณ์	บริษัท Mallinckrodt,Maxico
กรดแอซิติก	บริษัท Scharlue Chemie S.A., Spain
กรดบอริก	บริษัท Merck, Germany
เอทิลอะซิเทต	บริษัท Fluka, Switzerland
เอทิลคาเพรท	บริษัท Fluka, Switzerland
เอทิลคาโพรเอท	บริษัท Fluka, Switzerland
เอทิลคาพริเอท	บริษัท Fluka, Switzerland
กรดไฮโดรคลอริก	บริษัท J.T.baker, U.S.A.
ไอโอดีน	บริษัท Carlo Erba, U.S.A.
ไอโซเอมิลอะซิเทต	บริษัท Fluka, Switzerland
ไอโซเอมิลแอลกอฮอล์	บริษัท Fluka, Switzerland

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ไอโซบิวทานอล	บริษัทFluka, Switzerland
เมทิลีน บลู	บริษัท Ajax Finechem, Australia
โพรพานอล	บริษัทFluka, Switzerland
ปิโทรเลียม อีเทอร์	บริษัท Ajax Finechem, Australia
ฟีนอลทาลีน	บริษัท Merck, Germany
ซิลีเนียม มิกซ์เซอร์	บริษัท Merck, Germany
โซเดียมไฮดรอกไซด์	บริษัท Ajax Finechem, Australia
โพแทสเซียมไอโอไดด์	บริษัท Asia Pacific Specialty Chemical, Australia
โพแทสเซียม โซเดียม ทาเทรต	บริษัท Ajax Finechem, Australia
โซเดียมคลอไรด์	บริษัท John & Well chemical, U.K.
แอมีโลสบริสุทธิ์จากมันฝรั่ง	บริษัท Fluka Biochemica, Switzerland
กรดซัลฟูริก	บริษัท J.T.baker, U.S.A.

<u>อุปกรณ์ที่ใช้ในการคำนวณและวิเคราะห์ข้อมูล</u>

คอมพิวเตอร์

โปรแกรมสำเร็จรูป Statistical Package for the social Sciences (SPSS) version 10 for window (SPSS Inc., USA)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ขั้นตอนการทดลองและวิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 การศึกษาผลของพันธุ์และระดับการขัดสีข้าวต่อองค์ประกอบทางเคมีของข้าว

3.1.1 การวิเคราะห์น้ำหนักของข้าวที่เหลือหลังจากผ่านการขัดสีที่ระดับต่างๆ

นำข้าวเปลือกพันธุ์ กข6, ขาวดอกมะลิ105 และ ลอย อย่างละ 6 กิโลกรัม มาเข้าเครื่องสีข้าวยี่ห้อ Lersoner ชนิด Ls 130 N 12 ขนาด 7.5 แรงม้า หัวขัดเบอร์ 2 หมุนได้143 รอบต่อนาที โดยแปรผันระดับการขัดสีดังนี้

- ระดับการขัดสีที่ 0 คือ ไม่ผ่านการขัด (ข้าวกล้อง, อัตราการขัดสี 100%) คือ ข้าวที่กะเทาะเปลือกออก
- ระดับการสีขัดที่ 1 คือ ข้าวที่ผ่านการขัดโดยปรับระดับลูกกลิ้งในการขัดข้าวไปที่ต่ำ (อัตราการขัดสีข้าวอยู่ระหว่าง 86-84%)
- ระดับการสีขัดที่ 2 คือ ข้าวที่ผ่านการขัดโดยปรับระดับลูกกลิ้งในการขัดข้าวไปที่สูง (อัตราการขัดสีข้าวอยู่ระหว่าง 82-80%)

วัดน้ำหนักข้าวแต่ละชนิดที่ได้หลังจากการขัดสีในระดับต่างๆ

การปรับระดับของลูกกลิ้งเป็นการขัดผิวข้าวในส่วนที่เป็นรำข้าวออก ซึ่งการปรับไปที่ระดับต่ำลูกกลิ้งในการขัดจะอยู่ห่างกัน การขัดสีข้าวจึงทำได้น้อยกว่า เมื่อปรับระดับลูกกลิ้งไปที่สูง เนื่องจากลูกกลิ้งที่ขัดสีข้าวจะแคบ ทำให้การขัดสีผิวนอกของข้าวทำได้มากขึ้น

3.1.2 การวิเคราะห์คุณภาพเมล็ดข้าวทางเคมี ดังนี้

3.1.2.1 ปริมาณโปรตีนของข้าวพันธุ์ลอย กข6 และ ขาวดอกมะลิ 105 ที่ระดับการสีต่างๆ ตามวิธี AOAC (1995) (ดูวิธีการตามภาคผนวก ก.1)

3.1.2.2 ปริมาณไขมันของข้าวพันธุ์ลอย กข6 และ ขาวดอกมะลิ105 ที่ระดับการสีต่างๆ ตามวิธี AOAC (1995) (ดูวิธีการตามภาคผนวก ก.2)

3.1.2.3 ปริมาณเถ้าของข้าวพันธุ์ลอย กข6 และ ขาวดอกมะลิ105 ที่ระดับการสีต่างๆ ตามวิธี AOAC (1995) (ดูวิธีการตามภาคผนวก ก.3)

3.1.2.4 ปริมาณเส้นใยของข้าวพันธุ์ลอย กข6 และ ขาวดอกมะลิ105 ที่ระดับการสีต่างๆ ตามวิธี AOAC (1995) (ดูวิธีการตามภาคผนวก ก.4)

3.1.2.5 ปริมาณคาร์โบไฮเดรตของข้าวพันธุ์ลอย กข6 และ ขาวดอกมะลิ105 ที่ระดับการสีต่างๆ ตามวิธี AOAC (1995) (ดูวิธีการตามภาคผนวก ก.5)

3.1.2.6 ปริมาณแอมีโลสของข้าวพันธุ์ลอย กข6 และ ขาวดอกมะลิ 105 ที่ระดับการขัดสีต่างๆ ตามวิธีของ Juliano (1971) (ดูวิธีการตามภาคผนวก ก.6)

วางแผนการทดลองแบบ Factorial Design จำนวน 3 ซ้ำ เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's new multiple range test มี 2 ปัจจัย คือ พันธุ์ข้าว และ ระดับการขัดสี ซึ่งแต่ละปัจจัยมี 3 ระดับ ดังนี้ พันธุ์ข้าวมี 3 พันธุ์คือ ลอย กข6 และ ขาวดอกมะลิ 105 ระดับการขัดสีมี 3 ระดับ คือ 0 1 และ 2

3.2 การศึกษาผลของพันธุ์และระดับการขัดสีข้าวต่อองค์ประกอบทางเคมีของไวน์ข้าว

นำกล้าเชื้อ *Amylomyces rouxii* TISTR 3128 (ดูวิธีการตามเตรียมภาคผนวก ง.3) จำนวน 10 กรัม ใส่ข้าวนึ่ง (ดูวิธีการเตรียมตามภาคผนวก ง.5.1) เติมน้ำต้มสุก 0.5 ลิตร คลุกเคล้าให้เข้ากัน ใส่ลงไปในถังหมักขนาด 5 ลิตร หมักนาน 5 วัน ที่อุณหภูมิห้อง แล้วเติมกล้าเชื้อ *Saccharomyces cerevisiae* TISTR 5049 (ดูวิธีการตามเตรียมภาคผนวก ง.4) ที่มีความเข้มข้นของจำนวนเซลล์ระหว่าง 10^5-10^6 เซลล์/มิลลิลิตร จำนวน 100 มิลลิลิตร และเติมน้ำต้มสุก 2 ลิตร หมักนาน 14 วัน ในระหว่างการหมักจะเก็บตัวอย่างทุก 2 วัน เพื่อนำมาวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี จำนวน 2 ซ้ำ และเก็บตัวอย่างวันที่ 14 ของการหมักมากรองแบบปลอดเชื้อโดยใช้กระดาษกรองขนาด 0.45 ไมครอน เก็บตัวอย่างไว้ที่ตู้แช่อุณหภูมิ -4 องศาเซลเซียสก่อนการนำมาวิเคราะห์สารประกอบ เอสเทอร์ ฟูเซลออยล์ และการประเมินคุณภาพของไวน์ข้าว

การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีดังนี้

3.2.1 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (total soluble solids)ระหว่างการหมัก (ดูวิธีการตามภาคผนวก ข.1)

3.2.2 ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ ระหว่างการหมัก (ดูวิธีการตามภาคผนวก ข.2)

3.2.3 ความเป็นกรด – เบส (pH) ระหว่างการหมัก (ดูวิธีการตามภาคผนวก ข.3)

3.2.4 ปริมาณกรด (Total acidity) ระหว่างการหมัก (ดูวิธีการตามภาคผนวก ข.4)

3.2.5 ปริมาณแอลกอฮอล์ ระหว่างการหมัก (ดูวิธีการตามภาคผนวก ข.5)

3.3 การศึกษาผลของพันธุ์และระดับการขัดสีข้าวต่อองค์ประกอบทางเคมี สารประกอบเอสเทอร์ และ ฟูเซลออยล์ของไวน์ข้าว

3.3.1 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี สารประกอบเอสเทอร์ และ ฟูเซลออยล์ ของไวน์ข้าวที่มีขายตามท้องตลาด

3.3.1.1 องค์ประกอบทางเคมี ของไวน์ข้าวที่มีขายตามท้องตลาด

3.3.1.2 สารประกอบเอสเทอร์ และ ฟูเซลออยล์ ของไวน์ข้าวที่มีขายตามท้องตลาด (Sirisantimethakom *et al.*, 2005) (ดูวิธีการตามภาคผนวก ค)

3.3.2 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี สารประกอบเอสเทอร์ และ ฟูเซลออยล์ ของไวน์ข้าวที่หมักโดยใช้ข้าวพันธุ์ลอย กข6 และขาวดอกมะลิ 105 ที่ระดับการขัดสีที่ 0 (ข้าวกล้อง) 1 และ 2

3.3.2.1 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของไวน์ข้าวที่หมักโดยใช้ข้าวพันธุ์ลอย กข6 และขาวดอกมะลิ 105 ที่ระดับการขัดสีที่ 0(ข้าวกล้อง) 1 และ 2

3.3.2.2 การวิเคราะห์ สารประกอบเอสเทอร์ และ ฟูเซลออยล์ ของ ไวน์ข้าวที่หมักโดยใช้ข้าวพันธุ์ลอย กข6 และขาวดอกมะลิ 105 ที่ระดับการขัดสีที่ 0 (ข้าวกล้อง) 1 และ 2 (Sirisantimethakom *et al*., 2005) (ดูวิธีการตามภาคผนวก ค)

3.4 การประเมินคุณภาพไวน์ข้าว

การทดสอบใช้วิธี Hedonic Test โดยผู้ทดสอบเป็นผู้คุ้นเคยกับผลิตภัณฑ์จำนวน 10 คน เป็นการทดสอบความชอบทางด้านกลิ่นและการยอมรับ มีเกณฑ์ในการระบุความชอบดังนี้

7 คือชอบมาก

6 คือ ชอบปานกลาง

5 คือ ชอบเล็กน้อย

4 คือ เฉยๆ

3 คือไม่ชอบเล็กน้อย

2 คือไม่ชอบปานกลาง

1 คือไม่ชอบมาก

วางแผนการทดลองแบบ Complete Randomized Design เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan’s new multiple range test

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 ผลของพันธุ์และระดับการขัดสีข้าวต่อองค์ประกอบทางเคมีของข้าว

4.1.1 ผลการวิเคราะห์น้ำหนักของข้าวหลังจากผ่านการขัดสีที่ระดับต่างๆ

ในงานวิจัยนี้ได้นำข้าวเปลือกพันธุ์ลอย กข6 และ ขาวดอกมะลิ 105 ซึ่งมีปริมาณแอมีโลสที่ต่างกัน 3 ระดับคือ พันธุ์ลอยมีปริมาณแอมีโลสสูง พันธุ์กข6 ซึ่งเป็นข้าวเหนียวมีปริมาณแอมีโลสต่ำมาก และ พันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 มีปริมาณแอมีโลสต่ำ อย่างละ 6 กิโลกรัม มาผ่านการขัดสีที่ระดับการขัดสีที่ 0 (ข้าวกล้อง) 1(ระดับการขัดสีในทางการค้า) และ 2 แล้วชั่งน้ำหนักของข้าวที่ได้หลังผ่านการขัดสี พบว่าข้าวพันธุ์ลอยที่ระดับการขัดสีที่ 0 1 และ 2 มีน้ำหนักของข้าวที่เหลือหลังผ่านการขัดสีเท่ากับ 4.78 4.00 และ 3.85 กิโลกรัม ซึ่งมีอัตราการขัดสีเท่ากับ 100 84 และ 80 ตามลำดับ ข้าวพันธุ์กข6 ที่ระดับการขัดสีที่ 0 1 และ 2 มีน้ำหนักของข้าวที่เหลือหลังผ่านการขัดสีเท่ากับ 4.54 3.92 และ 3.37 กิโลกรัม ซึ่งมีอัตราการขัดสีเท่ากับ 100 86 และ 82 ตามลำดับ และข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ที่ระดับการขัดสีที่ 0 1 และ 2 มีน้ำหนักข้าวที่เหลือหลังผ่านการขัดสีเท่ากับ 4.58 3.90 และ 3.70 กิโลกรัม ซึ่งมีอัตราการขัดสีเท่ากับ 100 85 และ 81 ตามลำดับ จากผลการวิเคราะห์น้ำหนักของข้าวหลังการขัดสีพบว่า ระดับการขัดสีมีอิทธิพลต่อน้ำหนักข้าวหลังการขัดสีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) กล่าวคือน้ำหนักข้าวที่เหลือหลังการขัดสีของข้าวพันธุ์ลอยที่ระดับการขัดสีที่ 0 สูง กว่าข้าวที่ระดับการขัดสีที่1 และ 2 เนื่องจากการขัดสีเป็นการขัดเอาส่วนรำข้าวออกไป ทำให้น้ำหนักของข้าวที่ได้หลังการขัดสีมีน้ำหนักลดลง ส่วนข้าวที่มีระดับการขัดสีที่ 1 และ 2 มีน้ำหนักข้าวที่เหลือหลังการขัดสีไม่แตกต่างกัน($P>0.05$) เช่นเดียวกันกับข้าวพันธุ์กข6 และ ขาวดอกมะลิ 105 ดังแสดงในตารางที่ 4.1

ข้าวทั้งสามพันธุ์ไม่มีอิทธิพลต่อน้ำหนักข้าวหลังการขัดสีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) พบว่า ที่ระดับการขัดสีที่ 0 ของข้าวทั้งสามพันธุ์มีน้ำหนักข้าวหลังการขัดสีไม่แตกต่างกัน เช่นเดียวกับที่ระดับการขัดสีที่ 1 และ 2 ซึ่งปัจจัยที่มีผลกระทบต่อคุณภาพการขัดสีมี 3 ปัจจัยหลักด้วยกัน คือ พันธุ์ข้าว การปฏิบัติก่อนหลังการเก็บเกี่ยว และ กระบวนการขัดสี (อรอนงค์ นัยวิกุล, 2547) แต่ปัจจัยที่ทำให้ข้าวทั้งสามพันธุ์ ในการทดลองครั้งนี้ไม่แตกต่างกันอาจเกิดจากพันธุ์ข้าวซึ่งมีคุณสมบัติทางกายภาพของข้าวทั้งสามพันธุ์ที่เรียวยาวเหมือนกัน และเนื่องจากการปฏิบัติก่อนหลังการเก็บเกี่ยวซึ่งหมายถึงความชื้นของข้าวก่อนการขัดสีอาจมีปริมาณไม่แตกต่างกัน ดังนั้นเมื่อผ่านการขัดสีปริมาณน้ำหนักข้าวที่เหลือจึงไม่แตกต่างกัน

ตารางที่ 4.1 น้ำหนักของข้าวพันธุ์ของลอย กข6 และขาวดอกมะลิ 105 หลังจากผ่านการขัดสีที่ระดับที่ 0(ข้าวกล้อง) 1 และ 2

พันธุ์ข้าว	น้ำหนักของข้าว(กิโลกรัม)		
	ระดับที่ 0	ระดับที่ 1	ระดับที่ 2
ลอย	4.78 ± 0.16 [a] (100)	4.00 ± 0.10 [b] (84)	3.85 ± 0.1 [bc] (80)
กข6	4.54 ± 0.32 [a] (100)	3.92 ± 0.01 [bc] (86)	3.37 ± 0.1 [bc] (82)
ขาวดอกมะลิ 105	4.58 ± 0.14 [a] (100)	3.90 ± 0.15 [bc] (85)	3.70 ± 0.05 [c] (81)

หมายเหตุ: a,b,...ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในสดมภ์หรือในแถวเดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

ตัวเลขในวงเล็บ หมายถึง อัตราการขัดสี=$\frac{\text{น้ำหนักข้าวที่ผ่านการขัดสี (กิโลกรัม)} \times 100}{\text{น้ำหนักของข้าวกล้อง(กิโลกรัม)}}$

4.1.2 ผลการวิเคราะห์คุณภาพเมล็ดข้าวทางเคมี

4.1.2.1 ผลการวิเคราะห์ปริมาณโปรตีนของข้าวพันธุ์ลอย กข6 และ ขาวดอกมะลิ 105 ที่ระดับการขัดสีต่างๆ

ข้าวพันธุ์ลอยที่ระดับการขัดสีที่ 0 1 และ 2 มีปริมาณโปรตีนเท่ากับ 6.77% 6.18% และ 6.19% ตามลำดับ ข้าวพันธุ์ กข6 ที่ระดับการขัดสีที่ 0 1 และ 2 มีปริมาณโปรตีนเท่ากับ 6.6 % 5.64% และ 5.67% ตามลำดับ และข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105ที่ระดับการขัดสีที่ 0 1 และ 2 มีปริมาณโปรตีน เท่ากับ 6.46% 5.67% และ 5.64% ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 4.2 จากผลการวิเคราะห์ปริมาณโปรตีนพบว่า ระดับการขัดสีข้าวมีอิทธิพลต่อปริมาณโปรตีนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) กล่าวคือปริมาณโปรตีนของข้าวทุกพันธุ์ที่ระดับการขัดสีที่ 0 สูง กว่าข้าวที่ระดับการขัดสีที่ 1 และ 2 ส่วนข้าวทุกพันธุ์ที่ระดับการขัดสีที่ 1 และ 2 มีปริมาณโปรตีนไม่แตกต่างกัน ($P > 0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 4.2 ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากข้าวที่ระดับการขัดสีที่ 0 เป็นข้าวกล้องซึ่งไม่ผ่านกระบวนการในการขัดสี ทำให้มีส่วนของชั้นแอลิวโรน เปลือกหุ้มผล เยื่อหุ้มเมล็ดอยู่ ซึ่งเป็นส่วนที่มีโปรตีนสูง (กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ กรมวิชาการเกษตร, 2545) กระบวนการขัดสีเป็นการขัดเพื่อกำจัดชั้นแอลิวโรน เปลือกหุ้มผล เยื่อหุ้มเมล็ด ออกทำให้ปริมาณโปรตีนที่เหลืออยู่มีปริมาณน้อยกว่าข้าวที่ระดับการขัดสีที่ 1 และ 2 ส่วนข้าวที่มีระดับการสีเบอร์ 1 และ 2 มีปริมาณที่ไม่แตกต่างกันนั้นเนื่องจากโปรตีนที่มีในข้าวนั้นนอกจากจะมีในชั้นแอลิวโรน เปลือกหุ้มผล เยื่อหุ้มเมล็ดแล้วยังอยู่ในรูปของกลุ่มโปรตีน (protein body) ที่กระจายแทรกตัวอยู่ระหว่างกลุ่มของแป้ง แม้เพิ่มระดับการขัดสีให้สูงขึ้น ปริมาณโปรตีนที่มีอยู่ก็เปลี่ยนแปลงไม่มากนัก (Juliano, 1972) ประกอบกับในขั้นตอนการขัดสีข้าวที่ระดับที่ 1 และ 2 น้ำหนักของข้าวที่เหลือหลังจากการขัดสี มีปริมาณไม่แตกต่างกัน ($P > 0.05$) จึงส่งผลให้ปริมาณโปรตีนที่วิเคราะห์

ได้ไม่แตกต่างกัน (P> 0.05) ด้วยเช่นกัน ในประเทศญี่ปุ่นก็ได้มีการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของข้าวที่ใช้ในการผลิตสาเกพบว่าข้าวกล้องและข้าวที่มีอัตราการสี 90% มีปริมาณโปรตีนเท่ากับ 8.0 % และ 7.4 % ส่วนข้าวมีอัตราการขัดสีเท่ากับ 80% และ50% มีปริมาณโปรตีนเหลือเท่ากับ 5.6% และ 5.5% จะเห็นได้ว่าที่อัตราการสีสองระดับนี้ มีปริมาณโปรตีนใกล้เคียงกันมาก (Kodama, 1970)

พันธุ์ข้าวมีอิทธิพลต่อปริมาณโปรตีนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) กล่าวคือ ที่ระดับการขัดสีที่ 0 ของข้าวพันธุ์ลอยมีปริมาณโปรตีนสูงกว่าข้าวพันธุ์ กข6 แต่มีปริมาณโปรตีนไม่แตกต่างกับข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 (P > 0.05) ส่วนที่ระดับการขัดสีที่ 1และ 2 พบว่าข้าวพันธุ์ลอยมีปริมาณโปรตีนสูงกว่าข้าวพันธุ์กข6 และขาวดอกมะลิ 105 จะเห็นได้ว่าเมื่อผ่านการขัดสีที่ระดับที่ 1 และ 2 ข้าวพันธุ์ลอยมีปริมาณโปรตีน ที่เหลือสูงกว่าข้าวพันธุ์กข6 และ ขาวดอกมะลิ 105 แสดงว่าที่ข้าวพันธุ์ลอยนี้มีกลุ่มของโปรตีนที่กระจายตัวอยู่ในเมล็ดแป้งสูงกว่าข้าวพันธุ์กข6 และ ขาวดอกมะลิ 105 และ ความแตกต่างของปริมาณโปรตีนที่เกิดขึ้น เนื่องจากความแตกต่างของพันธุ์ข้าว ซึ่งสุนันทา วงศ์ปิยชน (2538) ได้เคยศึกษาเรื่อง การใช้ประโยชน์จากข้าวสำหรับผลิตไวน์ข้าวและวิสกี้ โดยนำข้าว 10 พันธุ์ ได้แก่ กข6 ขาวดอกมะลิ 105 กข21 TCC7 TCC21 กข7 สุพรรณบุรี60 กข23 เหลืองประทิว123 และ กข19 มาหาองค์ประกอบทางเคมี ของข้าว พบว่ามีปริมาณโปรตีนเท่ากับ 6.62% 7.6% 8.02% 8.42% 8.18% 7.73% 7.28% 8.29% และ 5.61% ตามลำดับ (สุนันทา วงศ์ปิยชน, 2538) นอกจากความแตกต่างระหว่างพันธุ์ข้าวแล้ว การเพาะปลูก เช่น การให้น้ำ การใส่ปุ๋ย พื้นที่ในการเพาะปลูก เป็นต้น ก็ส่งผลต่อปริมาณของโปรตีนในข้าวด้วยเช่นกัน (Heineman *et al*., 2005) โดยการใส่ปุ๋ยในระยะต่างๆ เช่น ขณะที่ข้าวเจริญเติบโตมีผลต่อการสร้างโปรตีนในเมล็ดข้าว โดยเฉพาะในขณะที่ข้าวออกดอกจะเพิ่มปริมาณโปรตีนในเมล็ดข้าวได้ นอกจากนั้นระยะเวลาในการปลูกที่สั้น สภาพอากาศที่เมฆปกคลุมมากในขณะที่สร้างเมล็ด เช่น ฤดูฝน จะมีผลให้โปรตีนในเมล็ดข้าวสูงขึ้น ภาวะแวดล้อมที่ผิดปกติบางช่วง เช่น มีเกลือหรือเบสในดินสูง อุณหภูมิสูงหรือต่ำมาก เกิดโรคหรือแมลงทำลาย จะทำให้เมล็ดข้าวมีปริมาณโปรตีนสูงขึ้นได้ (Juliano, 1993)

ตารางที่ 4.2 ปริมาณโปรตีนของข้าวพันธุ์ลอย กข6 และ ขาวดอกมะลิ105 ที่ระดับการขัดสีที่ 0 (ข้าวกล้อง) 1 และ 2

พันธุ์ข้าว	ปริมาณโปรตีน(%)		
	ระดับที่ 0	ระดับที่ 1	ระดับที่ 2
ลอย	6.77 ± 0.16 [a]	6.18 ± 0.04 [c]	6.19 ± 0.06 [c]
กข6	6.60 ± 0.02 [b]	5.64 ± 0.14 [d]	5.67 ± 0.02 [d]
ขาวดอกมะลิ105	6.46 ± 0.04 [b]	5.67 ± 0.07 [d]	5.64 ± 0.16 [d]

หมายเหตุ: a,b,...ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในสดมภ์หรือในแถวเดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

4.1.2.2 ผลการวิเคราะห์ปริมาณไขมันของข้าวพันธุ์ลอย กข6 และ ขาวดอกมะลิ105 ที่ระดับการขัดสีต่างๆ

ข้าวพันธุ์ลอยที่ระดับการขัดสีที่ 0 1 และ 2 มีปริมาณไขมัน เท่ากับ 2.39% 0.49% และ 0.25% ตามลำดับ ข้าวพันธุ์กข6 ที่ระดับการขัดสีที่ 0 1 และ 2 มีปริมาณไขมันเท่ากับ 2.41% 0.53% และ 0.24% ตามลำดับ และข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ105 ที่ระดับการขัดสีที่ 0 1 และ 2 มีปริมาณไขมันเท่ากับ 2.55% 0.44% และ 0.20% ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 4.3 จากผลการวิเคราะห์ปริมาณไขมัน พบว่า ระดับการขัดสีข้าวมีอิทธิพลต่อปริมาณไขมันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) กล่าวคือเมื่อระดับการขัดสีข้าวเพิ่มขึ้น ปริมาณไขมันในข้าวจะมีค่าลดลงในข้าวทั้งสามพันธุ์ ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากองค์ประกอบของไขมันในข้าวก็มีลักษณะเช่นเดียวกันกับโปรตีน คืออยู่ในส่วนของเยื่อชั้นแอลิวโรน เปลือกหุ้มผล เยื่อหุ้มเมล็ด และแทรกอยู่ในองค์ประกอบของข้าวบ้างเล็กน้อย เมื่อมีการขัดสีปริมาณไขมันจึงลดลง (Luh, 1991)

ข้าวทั้งสามพันธุ์ไม่มีอิทธิพลต่อปริมาณไขมันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) กล่าวคือที่ระดับการขัดสีที่ 0 ของข้าวทั้งสามพันธุ์ ซึ่งพบว่าปริมาณไขมันไม่แตกต่างกันเช่นเดียวกับที่ระดับการขัดสีที่ 1 และ 2 ดังแสดงในตารางที่ 4.3 ซึ่งปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณไขมันในข้าวอาจจะเกี่ยวข้องกับพันธุ์ข้าว ซึ่งสุนันทา วงค์ปิยชน (2538) ได้วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของข้าวพันธุ์ต่างๆจำนวน 10 พันธุ์ ได้แก่ พันธุ์กข6 ขาวดอกมะลิ105 กข21 TCC7 TCC12 กข7 สุพรรณบุรี60 กข23 เหลืองประทิว123 และ กข19 พบว่ามีปริมาณไขมันเท่ากับ 3.78% 3.40% 3.36% 3.07% 2.93% 3.23% 2.81% 3.05% 3.85% 3.33 %ตามลำดับ (สุนันทา วงค์ปิยชน, 2538) และในงานวิจัยครั้งนี้ปริมาณไขมันของข้าวไม่มีความแตกต่างกัน เนื่องจากเป็นตัวอย่างข้าวเพียงสามพันธุ์เท่านั้น แต่ในงานวิจัยของ สุนันทา วงค์ปิยชน ได้วิเคราะห์ปริมาณไขมันของข้าว10 พันธุ์ซึ่งพบว่าปริมาณไขมันแตกต่างกันไปตามพันธุ์ข้าว

ตารางที่ 4.3 ปริมาณไขมันของข้าวพันธุ์ลอย กข6 และขาวดอกมะลิ105 ที่ระดับการขัดสีที่ 0 (ข้าวกล้อง) 1และ 2

พันธุ์ข้าว	ปริมาณไขมัน(%)		
	ระดับที่ 0	ระดับที่ 1	ระดับที่ 2
ลอย	2.39 ± 0.07 [a]	0.49 ± 1.45 [b]	0.25 ± 0.11 [c]
กข6	2.41 ± 0.09 [a]	0.53 ± 0.18 [b]	0.24 ± 0.02 [c]
ขาวดอกมะลิ105	2.55 ± 0.12 [a]	0.44 ± 0.10 [b]	0.20 ± 0.05 [c]

หมายเหตุ: a,b,...ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในสดมภ์และในแถวเดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

4.1.2.3 ผลการวิเคราะห์ปริมาณเถ้าของข้าวพันธุ์ลอย กข6 และ ขาวดอกมะลิ105 ที่ระดับการขัดสีต่างๆ

ข้าวพันธุ์ลอยที่ระดับการขัดสีที่ 0 1 และ 2 มีปริมาณเถ้าเท่ากับ 1.01% 0.33% และ 0.32% ตามลำดับ ข้าวพันธุ์กข6 ที่ระดับการขัดสีที่ 0 1 และ 2 มีปริมาณเถ้าเท่ากับ 0.78% 0.27% และ 0.28% ตามลำดับ และข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ105 ที่ระดับการขัดสีที่ 0 1 และ 2 มีปริมาณเถ้าเท่ากับ 1.06% 0.35% และ 0.29% ตามลำดับ จากผลการวิเคราะห์ปริมาณเถ้าพบว่า ระดับการขัดสีข้าวมีอิทธิพลต่อปริมาณเถ้าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) กล่าวคือ ข้าวที่ระดับการขัดสีที่ 0 มีปริมาณเถ้าสูง กว่า ข้าวที่มีระดับการขัดสีที่ 1 และ 2 ส่วนข้าวที่มีระดับการขัดสีที่ 1 และ 2 มีปริมาณเถ้าไม่แตกต่างกันในข้าวทั้งสามพันธุ์ ปริมาณที่แตกต่างกันของข้าวที่ระดับการขัดสีต่างกันนั้นเนื่องจากปริมาณเถ้าจะถูกกำจัดออกค่อนข้างมากในระหว่างการขัดสี เช่นเดียวกับไขมัน โปรตีน และ เส้นใย ทำให้เมื่อมีการขัดสีจะทำให้ปริมาณเถ้าลดลง ซึ่งปริมาณเถ้าแสดงถึงแร่ธาตุต่างๆที่เป็นองค์ประกอบของข้าวเช่น ฟอสเฟต โพแทสเซียม แมกนีเซียม เป็นต้น แร่ธาตุพวกนี้มีประโยชน์ต่อการเจริญเติบโตของราและยีสต์ (Berry *et al*., 1987)

พันธุ์ข้าวมีอิทธิพลต่อปริมาณเถ้าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) กล่าวคือ ในข้าวพันธุ์กข6 มีปริมาณเถ้าน้อยกว่าในข้าวพันธุ์ลอย และ ขาวดอกมะลิ105 ที่ระดับการขัดขัดสีที่ 0 ส่วนที่ระดับการขัดขัดสีที่ 1 และที่ระดับการขัดสีที่ 2 ไม่มีความแตกต่างกันของปริมาณเถ้าของข้าวทั้งสามพันธุ์ ดังแสดงในตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ปริมาณเถ้าข้าวของพันธุ์ลอย กข6 และขาวดอกมะลิ105 ที่ระดับการขัดสีที่ 0 (ข้าวกล้อง) 1 และ 2

พันธุ์ข้าว	ปริมาณเถ้า(%)		
	ระดับที่ 0	ระดับที่ 1	ระดับที่ 2
ลอย	1.01 ± 0.03 [a]	0.33 ± 0.06 [cd]	0.32 ± 0.00 [cde]
กข6	0.78 ± 0.02 [b]	0.27 ± 0.03 [e]	0.29 ± 0.02 [de]
ขาวดอกมะลิ105	1.06 ± 0.02 [a]	0.35 ± 0.03 [c]	0.30 ± 0.01 [cde]

หมายเหตุ: a,b,...ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในสดมภ์และในแถวเดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

4.1.2.4 ผลการวิเคราะห์ปริมาณเส้นใยของข้าวพันธุ์ลอย กข6 และ ขาวดอกมะลิ105 ที่ระดับการขัดสีต่างๆ

ข้าวพันธุ์ลอยที่ระดับการขัดสีที่ 0 1 และ 2 มีปริมาณเส้นใยเท่ากับ 1.17% 0.56% และ 0.48% ตามลำดับ ข้าวพันธุ์ กข6 ที่ระดับการขัดสีที่ 0 1 และ 2 มีปริมาณเส้นใยเท่ากับ 1.09% 0.54% และ 0.43% ตามลำดับ และข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ105 ที่ระดับการขัดสีที่ 0 1 และ 2 มีปริมาณเส้นใย เท่ากับ 1.16% 0.41% และ 0.30% ตามลำดับ จากปริมาณเส้นใยที่วิเคราะห์ได้พบว่า เมื่อระดับการขัดสีสูงขึ้น ปริมาณเส้นใยที่มีในข้าวก็ลดลง ดังแสดงในตารางที่ 4.5 เนื่องจากการขัดสีทำให้เยื่อชั้น แอลิวโรน หลุดออกไป ทำให้ปริมาณเส้นใยที่ได้ลดลง (Kodama, 1970)

ตารางที่ 4.5 ปริมาณเส้นใยของข้าวพันธุ์ลอย กข6 และขาวดอกมะลิ105 ที่ระดับการขัดสีที่ 0 (ข้าวกล้อง) 1 และ 2

พันธุ์ข้าว	ปริมาณเส้นใย(%)		
	ระดับที่ 0	ระดับที่ 1	ระดับที่ 2
ลอย	1.17 ± 0.62 [a]	0.56 ± 0.01 [abc]	0.48 ± 0.09 [bc]
กข6	1.09 ± 0.72 [ab]	0.54 ± 0.03 [abc]	0.43 ± 0.02 [c]
ขาวดอกมะลิ105	1.16 ± 0.40 [a]	0.41 ± 0.06 [c]	0.30 ± 0.13 [c]

หมายเหตุ: a,b,...ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในสดมภ์และในแถวเดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

4.1.2.5 ผลการวิเคราะห์ปริมาณคาร์โบไฮเดรตของข้าวพันธุ์ลอย กข6 และ ขาวดอกมะลิ105 ที่ระดับการขัดสีต่างๆ

ข้าวพันธุ์ลอยที่ระดับการขัดสีที่ 0 1 และ 2 มีปริมาณคาร์โบไฮเดรตเท่ากับ 85.65% 92.43% และ 92.75% ตามลำดับ ข้าวพันธุ์กข6 ที่ระดับการขัดสีที่ 0 1 และ 2 มีปริมาณคาร์โบไฮเดรตเท่ากับ 89.12% 93.02% และ 93.37% ตามลำดับ และข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ105 ที่ระดับการขัดสีที่ 0 1 และ 2 มีปริมาณคาร์โบไฮเดรต เท่ากับ 88.77% 93.13% และ 93.57% ตามลำดับ จากการวิเคราะห์ปริมาณคาร์โบไฮเดรต (%น้ำหนักแห้ง) พบว่าระดับการขัดสีข้าวมีอิทธิพลต่อปริมาณปริมาณคาร์โบไฮเดรตอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) พบว่า กล่าวคือ ปริมาณคาร์โบไฮเดรตของข้าวทุกพันธุ์ที่ระดับการขัดสีที่ 0 สูง กว่าข้าวที่ระดับการขัดสีที่1 และ 2 ส่วนข้าวที่มีระดับการขัดสีที่ 1 และ 2 มีปริมาณคาร์โบไฮเดรตไม่แตกต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 4.6 ซึ่งความแตกต่างของปริมาณคาร์โบไฮเดรตนั้น เนื่องจากคาร์โบไฮเดรตซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นแป้งที่มีในข้าวจะอยู่ในส่วนของเอนโดสเปิร์ม เมื่อมีการขัดสีปริมาณโปรตีน ไขมัน และเถ้าที่อยู่ในชั้นแอริวโลน จะถูกกำจัดออกไป ทำให้มีปริมาณคาร์โบไฮเดรตเพิ่มขึ้น

พันธุ์ข้าวไม่มีมีอิทธิพลต่อปริมาณคาร์โบไฮเดรตอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ที่ระดับการขัดสีที่ 0 1 และ 2 ดังแสดงในตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 ปริมาณคาร์โบไฮเดรตของพันธุ์ลอย กข6 และขวาดอกมะลิ105 ที่ระดับการขัดสีที่ 0 (ข้าวกล้อง) 1 และ 2

พันธุ์ข้าว	ปริมาณคาร์โบไฮเดรต(%น้ำหนักแห้ง)		
	ระดับที่ 0	ระดับที่ 1	ระดับที่ 2
ลอย	88.65 ± 0.60 ^{c}	92.43 ± 0.15 ^{b}	92.75 ± 0.15 ^{ab}
กข6	89.12 ± 1.10 ^{c}	93.02 ± 0.28 ^{ab}	93.37 ± 0.00 ^{a}
ขาวดอกมะลิ 105	88.77 ± 0.44 ^{c}	93.13 ± 0.14 ^{ab}	93.57 ± 0.01 ^{a}

หมายเหตุ: a,b,...ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในสดมภ์และในแถวเดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

4.1.2.6 ผลการวิเคราะห์ปริมาณแอมีโลสของข้าวพันธุ์ลอย, กข6 และ ขาวดอกมะลิ 105 ที่ระดับการขัดสีต่างๆ

ข้าวพันธุ์ลอยที่ระดับการขัดสีที่ 0 1 และ 2 มีปริมาณแอมีโลส เท่ากับ 28.79% 33.78% และ 34.76% ตามลำดับ ข้าวพันธุ์ กข6 ที่ระดับการขัดสีที่ 0 1 และ 2 มีปริมาณแอมีโลสเท่ากับ 5.26% 7.54% และ 7.36% ตามลำดับ และข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ที่ระดับการขัดสีที่ 0 1 และ 2 มีปริมาณแอมีโลสเท่ากับ 18.32% 19.23% และ 20.34% ตามลำดับ จากการวิเคราะห์

ปริมาณแอมีโลสพบว่าระดับการขัดสีข้าวมีอิทธิพลต่อปริมาณ แอมีโลสอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) กล่าวคือ ข้าวที่ระดับการขัดสีที่ 0 มีปริมาณแอมีโลสสูงกว่า ข้าวที่มีระดับการขัดสีที่ 1 และ 2 ส่วนข้าวที่มีระดับการขัดสีที่ 1 และ 2 นั้นมีปริมาณแอมีโลสไม่แตกต่างกัน ปริมาณแอมีโลสระหว่างข้าวขัดสีที่ 0 1 และ 2 ที่มีความแตกต่างกันนั้นเนื่องมาจากในข้าวที่มีระดับการขัดสีที่ 0 มีปริมาณไขมันสูงกว่าข้าวที่มีระดับการขัดสีที่ 1 และ 2 ซึ่งไขมันหรืออนุพันธ์ของกรดไขมันจะไปแย่งจับกับแป้ง (เกลียวของแอมีโลส) ทำปฏิกิริยาการเกิดสีของแป้งกับไอโอดีนจางลง (Luh, 1991; Juliano, 1971) ประกอบกับปริมาณคาร์โบไฮเดรต ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นแป้ง มีปริมาณน้อยลงเมื่อการขัดสีเพิ่มขึ้น ดังแสดงในตารางที่ 4.7 ทำให้ปริมาณแป้งที่ทำปฏิกิริยากับไอโอดีนน้อยลงด้วย

ส่วนข้าวแต่ละพันธุ์มีปริมาณแอมีโลสแตกต่างกัน ($P \leq 0.05$) ข้าวพันธุ์ลอยมีปริมาณแอมีโลสสูงที่สุด รองลงมาคือ กข6 และ ขาวดอกมะลิ 105 ตามลำดับ จากการแบ่งประเภทข้าวตามตารางที่ 1 พบว่าข้าวพันธุ์ลอยจัดเป็นข้าวแอมีโลสสูง ลักษณะข้าวสุกจะร่วนแข็ง ข้าวกข6 จัดเป็นข้าวเหนียว ลักษณะข้าวสุกจะเหนียวมาก ส่วนข้าวขาวดอกมะลิ105 จัดเป็นข้าวที่มีแอมีโลสต่ำลักษณะข้าวสุกจะเหนียวนุ่ม (กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ กรมวิชาการเกษตร, 2547)

จากการศึกษาของ สุนันทา วงศ์ปิยชน(2538) โดยศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของข้าว พบว่าข้าวพันธุ์กข6 และ ขาวดอกมะลิ 105 มีปริมาณแอมีโลสเท่ากับ 4.75 และ 15.28 ตามลำดับ และกรมวิชาการเกษตรศึกษาปริมาณแอมีโลสเช่นกันพบว่าข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ105 มีปริมาณแอมีโลสเท่ากับ 14.4 – 16.7 ซึ่งมีความแตกต่างกันตามพื้นที่การเพาะปลูก (กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ กรมวิชาการเกษตร, 2547) นอกจากนั้นบุญลักษณ์ วงศ์สุทธาชิน และคณะ (2538); Juliano และคณะ (1964) ได้ศึกษาปริมาณแอมีโลสในข้าว พบว่าปริมาณแอมีโลสที่พบในข้าวจะมีน้อยลงเมื่อปริมาณโปรตีนในข้าวมากขึ้น แต่ก็ยังไม่มีการยืนยันที่แน่นอน เนื่องจากความสัมพันธ์ของแอมีโลสและปริมาณโปรตีนในเมล็ดข้าวค่อนข้างซับซ้อน

ตารางที่ 4.7 ปริมาณแอมีโลสของข้าวพันธุ์ลอย, กข6 และ ขาวดอกมะลิ 105 ที่ระดับการขัดสีที่ 0 (ข้าวกล้อง) 1 และ 2

พันธุ์ข้าว	ปริมาณแอมีโลส(%)		
	ระดับที่ 0	ระดับที่ 1	ระดับที่ 2
ลอย	28.79 ± 1.11 ^{b}	33.78 ± 0.16 ^{a}	34.76±1.37 ^{a}
กข6	5.26 ± 0.27 ^{f}	7.54 ± 0.33 ^{e}	7.36 ± 0.23 ^{e}
ขาวดอกมะลิ 105	18.32 ± 0.75 ^{d}	19.23 ± 0.52 ^{cd}	20.34±0.46 ^{c}

หมายเหตุ: a,b,…ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในสดมภ์และในแถวเดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

4.2 ผลของพันธุ์และระดับการขัดสีข้าวต่อองค์ประกอบทางเคมีของไวน์ข้าว

ในการหมักไวน์ข้าวเริ่มจากการนำข้าวนึ่งมาหมักกับ *Amylomyces rouxii* TISTR 3128 ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 5 วัน *Amylomyces rouxii* TISTR 3128 เป็นราที่ มนตรี เชาว์สังเกตุ (2521) ได้คัดแยกจากลูกแป้งทั่วประเทศและศึกษาแล้วว่ามีคุณสมบัติในการย่อยแป้งสูง และผลิตกรดได้น้อยเหมาะต่อการนำมาผลิตไวน์ข้าว จากการทดลองพบว่าหลังจากการหมักเป็นเวลา 3 วัน ข้าวพันธุ์กข6 และมะลิ105 จะมีน้ำต้อยเกิดขึ้น น้ำต้อยเป็นของเหลวที่ได้จากการย่อยสลายข้าวของเอนไซม์แอลฟาแอมีเลส กลูโคแอมีเลส และโปรติเอส (สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ กองโครงการและประสานงานวิจัย, 2547) ส่วนข้าวพันธุ์ลอยไม่พบน้ำต้อยแม้จะหมักเป็นเวลา 5 วัน ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากปริมาณแอมีโลสที่มีในข้าวแต่ละชนิด ถ้าข้าวชนิดนั้นมีปริมาณแอมีโลสสูง ลักษณะข้าวนึ่งที่ได้จะร่วนแข็ง ราแทงเส้นใยเข้าไปได้ยาก (Kodama, 1970) ส่วนข้าวที่มีแอมีโลสต่ำลักษณะของข้าวนึ่งจะเหนียวนุ่ม ราเจริญได้ง่าย ซึ่งข้าวที่ใช้ในงานวิจัยนี้มีปริมาณแอมีโลสดังนี้ ข้าวพันธุ์ลอยที่ระดับการขัดสีที่ 0 1 และ 2 มีปริมาณแอมีโลส เท่ากับ 28.79% 33.78% และ 34.76% ตามลำดับ ข้าวพันธุ์ กข6 ที่ระดับการขัดสีที่ 0 1 และ 2 มีปริมาณแอมีโลสเท่ากับ 5.26% 7.54% และ 7.36% ตามลำดับ และข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ที่ระดับการขัดสีที่ 0, 1 และ 2 มีปริมาณแอมีโลสเท่ากับ 18.32% 19.23% และ 20.34% ตามลำดับ เมื่อหมักด้วยราแล้วหลังจากนั้นจึงเติมยีสต์หมักต่อ 14 วัน เก็บตัวอย่างทุกๆ 2 วัน เพื่อนำมาวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบทางเคมีของไวน์ข้าว

4.2.1 ผลการเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (total soluble solids) ระหว่างการหมัก

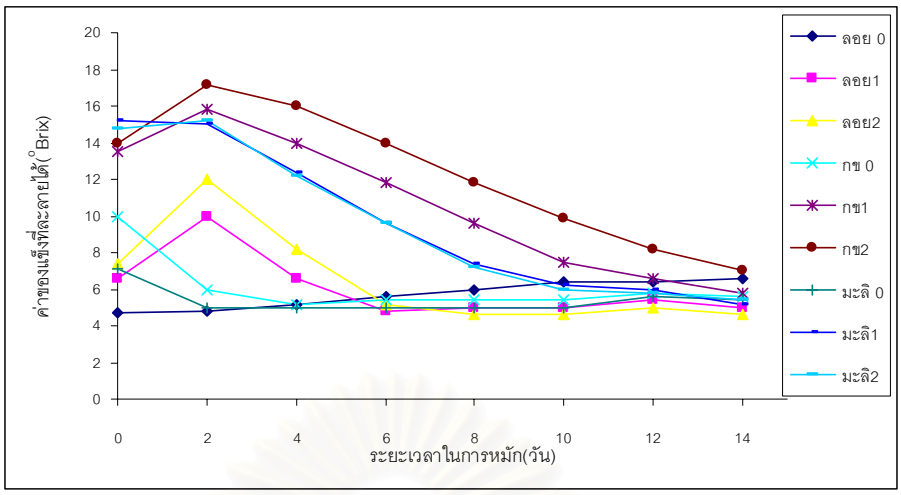
ปริมาณของแข็งของที่ละลายได้ หมายถึง น้ำตาล กรด และสารประกอบอื่นๆที่ละลายน้ำได้ด้วย (ไพบูลย์ ด่านวิรุทัย และพัฒนา เหล่าไพบูลย์, 2548) ซึ่งปริมาณของแข็งของที่ละลายได้เป็นการวัดปริมาณน้ำตาลโดยอาศัยหลักการหักเหของแสงโดยเทียบกับน้ำกลั่น จากการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในน้ำหมักระหว่างการหมักในไวน์ข้าวพบว่า ข้าวทุกพันธุ์ที่ระดับการขัดสีที่ 0 (ข้าวกล้อง) มีปริมาณของเข็งที่ละลายได้จะลดลงอย่างรวดเร็วในวันที่ 2 ของการหมักหลังจากนั้นจะค่อนข้างคงที่ตลอดระยะเวลาการหมัก ส่วนข้าวที่ระดับการขัดสีที่ 1 และ 2 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้จะเพิ่มขึ้นในวันที่ 2 หรือ 4 ของการหมัก หลังจากนั้นจะลดลงตามระยะเวลาของการหมักดังแสดงในรูปที่ 4.1

ข้าวที่ระดับการขัดสีที่ 1 และ 2 ก็จะมีปริมาณค่าของแข็งที่ละลายได้แตกต่างกัน ซึ่งจากการทดลองพบว่า พันธุ์ลอยมีค่าของแข็งที่ละลายได้ต่ำกว่าข้าวพันธุ์กข6 และ ขาวดอกมะลิ 105 เนื่องจากเป็นข้าวชนิดแอมีโลสสูง ลักษณะข้าวนึ่งที่ได้จะร่วนแข็ง ราแทงเส้นใยเข้าไปได้ยาก (Kodama, 1970) ทำให้ได้ค่าของแข็งที่ละลายได้น้อย ส่วนข้าวพันธุ์ กข6 มีค่าของแข็งที่ละลาย

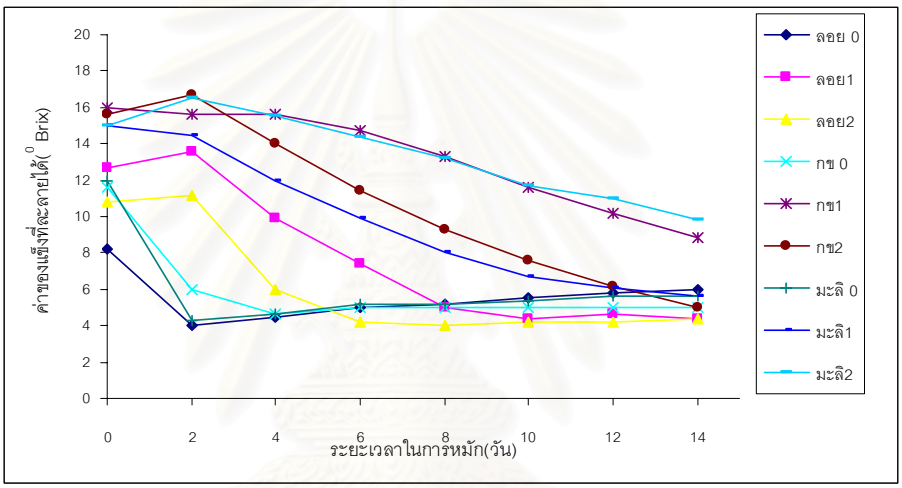
ได้สูง เนื่องจากข้าวพันธุ์กข6 เป็นข้าวเหนียวมีแอมีโลสต่ำมาก ลักษณะของข้าวนึ่งที่ได้จะเหนียวมาก และ ข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ105 มีค่าของแข็งที่ได้จากการละลายได้สูงเช่นเดียวกับข้าวพันธุ์กข6 เนื่องจากข้าวพันธุ์นี้เป็นข้าวแอมีโลสต่ำ ลักษณะของข้าวนึ่งที่ได้จะเหนียวนุ่ม ง่ายต่อการเจริญของราทำให้ได้ค่าของแข็งที่ละลายได้มีค่าสูง

ค่าของแข็งที่ละลายได้ของข้าวที่มีระดับการขัดสีที่ 0 ซึ่งเป็นข้าวกล้องมีค่าน้อยกว่าข้าวที่มีระดับการขัดสีที่ 1 และ 2 เนื่องโปรตีนที่ผิวนอกของข้าวกล้อง จะเป็นตัวขัดขวางการซึมของน้ำเข้าไปในเม็ดข้าว ทำให้ระยะเวลาในการหุงต้มเมล็ดข้าวนานขึ้น และข้าวสุกเหนียวน้อยลง (งามชื่น คงเสรี และคณะ, 2531) Bechtel และ Pomerage (1978) พบว่าปริมาณโปรตีนจะขัดขวางการพองตัวของเม็ดแป้ง โดยมีการศึกษาการพองตัวของเม็ดแป้งโดยกล้องจุลทรรศน์พบว่า ลักษณะลักษณะการขัดขวางการพองตัวของเม็ดแป้งเกิดจากโปรตีนที่ห่อหุ้มรอบเม็ดแป้ง ทำให้น้ำซึมผ่านเข้าสู่แป้งลดลง นอกจากนั้นยังจำกัดการพองตัวของเม็ดแป้ง ซึ่งการพองตัวมีผลต่อลักษณะของข้าวหุงสุก เมื่อพองตัวน้อยลักษณะของข้าวสุกจะแข็งกว่าข้าวที่พองตัวมาก ดังนั้นราจึงย่อยข้าวกล้องได้ยากกว่าข้าวขาว จึงทำให้ค่าของแข็งที่การละลายได้ของข้าวที่มีระดับการสีขัดสีที่ 0 น้อยกว่าที่ระดับการขัดสีที่ 1 และ 2

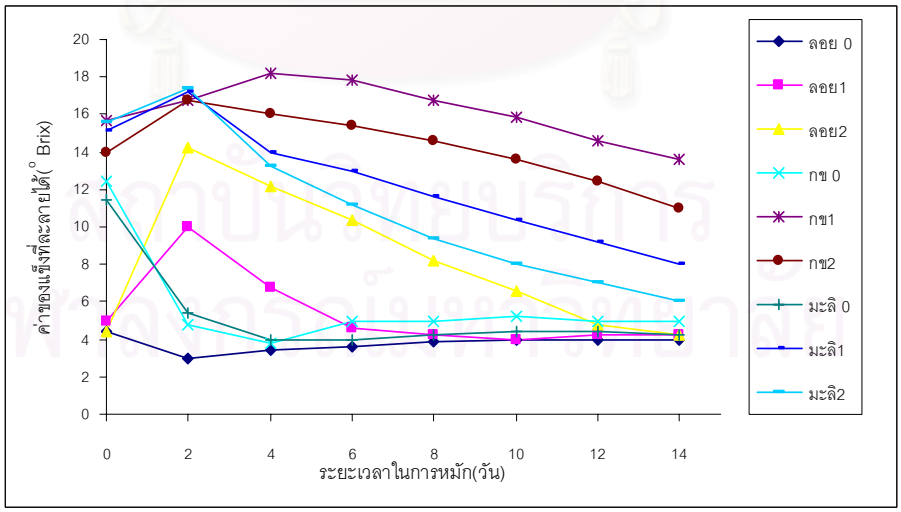
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



(a)



(b)



(c)

รูปที่ 4.1 การเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในระหว่างการหมักไวน์ข้าวของข้าวพันธุ์ลอย กข6 และ ขาวดอกมะลิ 105 ที่ระดับการสีต่างๆ

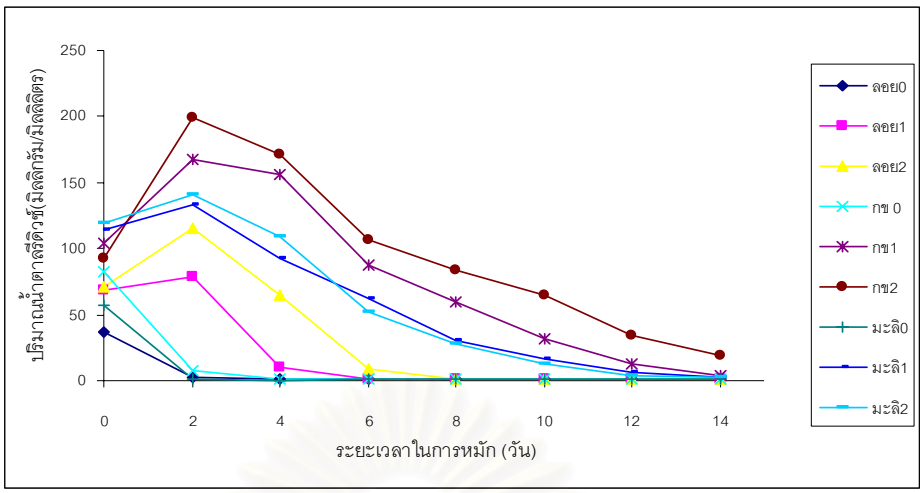
(a); การหมักครั้งที่ 1, (b); การหมักครั้งที่ 2 , (c); การหมักครั้งที่ 3

4.2.2 ผลการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ ระหว่างการหมัก

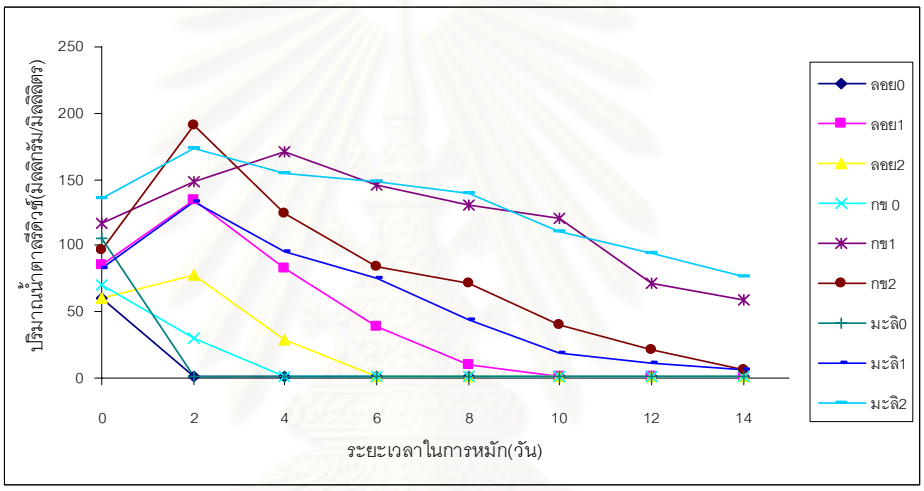
จากการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ ระหว่างการหมักพบว่า ในวันที่ 0 ของการหมัก ข้าวพันธุ์กข6 และ ขาวดอกมะลิ105 มีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์เริ่มต้นสูงกว่าข้าวพันธุ์ลอย เนื่องจากมีปริมาณแอมีโลสที่แตกต่างกัน โดยข้าวพันธุ์กข6 และ ขาวดอกมะลิ 105 มีปริมาณแอมีโลสต่ำ ส่วนข้าวพันธุ์ลอยมีปริมาณแอมีโลสสูง ข้าวทุกพันธุ์ที่ระดับการขัดสีที่ 0 ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์จะลดลงอย่างรวดเร็วใน 2 วันแรกของการหมักหลังจากนั้นจะคงที่ตลอดระยะเวลาในการหมัก ดังแสดงในรูปที่ 4.2 ซึ่งการหมักโดย ข้าวกล้องอัตราการหมักจะเร็วเนื่องจากในข้าวกล้องมีทั้งวิตามิน แร่ธาตุต่างๆ ที่เป็น cofactor ช่วยให้ยีสต์เจริญได้เร็ว

ข้าวพันธุ์ลอยที่ระดับการขัดสีที่ 1 และ 2 ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์จะเพิ่มขึ้นในวันที่ 2 ของการหมักจากนั้นจึงลดลงเรื่อยๆตามระยะเวลาการหมัก ข้าวพันธุ์กข6 และ ขาวดอกมะลิ 105 ที่ระดับการขัดสีที่ 1 และ 2 ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์จะเพิ่มขึ้นในวันที่ 2 ของการหมัก จากนั้นจึงลดลงเรื่อยๆ ตามระยะเวลาการหมักเช่นกัน ดังแสดงในรูปที่ 4.2 น้ำตาลรีดิวซ์ที่ได้จากการหมักโดยใช้ข้าวกล้องของข้าวทั้งสามพันธุ์พบว่าจะมีปริมาณต่ำกว่าข้าวที่ระดับการขัดสีที่ 1 และ 2 เนื่องจากปริมาณโปรตีนที่พบในข้าวกล้องจะสูงกว่า ซึ่งโปรตีนในส่วนผิวของข้าวกล้องจะไปขัดขวางการดูดซึมของน้ำ ทำให้ข้าวที่ได้หลังจากการนึ่งของข้าวกล้องจะแข็งและร่วนกว่าข้าวที่ผ่านการขัดสีในข้าวพันธุ์เดียวกัน Bechtel และ Pomerage (1978) พบว่าปริมาณโปรตีนจะขัดขวางการพองตัวของเม็ดแป้ง โดยมีการศึกษาการพองตัวของเม็ดแป้งโดยกล้องจุลทรรศน์พบว่า ลักษณะการขัดขวางการพองตัวของเม็ดแป้งเกิดจากโปรตีนที่ห่อหุ้มรอบเม็ดแป้ง ทำให้น้ำซึมผ่านเข้าสู่แป้งลดลง นอกจากนั้นยังจำกัดการพองตัวของเม็ดแป้ง ซึ่งการพองตัวมีผลต่อลักษณะของข้าวหุงสุก เมื่อพองตัวน้อยลักษณะของข้าวสุกจะแข็งกว่าข้าวที่พองตัวมาก

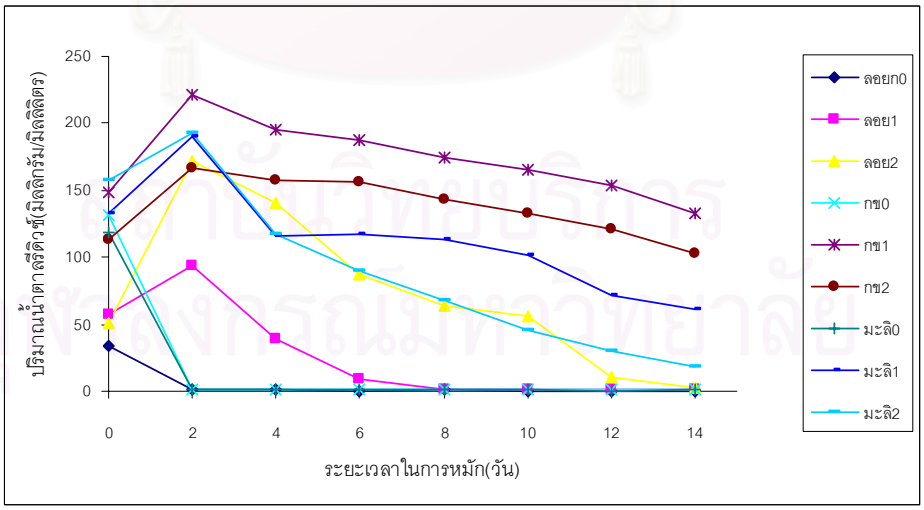
น้ำตาลรีดิวซ์ที่เกิดขึ้นในกระบวนการหมัก เกิดจาก *Amylomyces rouxii* TISTR 3128 ซึ่งผลิตเอนไซม์แอมีเลสสามารถย่อยแป้งที่มีในข้าวให้กลายเป็นน้ำตาลจากการทดลองพบว่าปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์เริ่มต้นในวันที่ 0 ของการหมักข้าวพันธุ์กข6 และ ขาวดอกมะลิ 105 มีปริมาณสูงกว่าข้าวพันธุ์ลอยแสดงว่า ราสามารถย่อยข้าวชนิดที่มีแอมีโลสต่ำได้ดีกว่าข้าวที่มีแอมีโลสสูง เนื่องจากข้าวแอมีโลสต่ำเมื่อผ่านการนึ่งแล้วจะได้ข้าวที่มีลักษณะอ่อนนุ่มราเจริญได้ง่ายกว่าข้าวที่มีแอมีโลสสูงซึ่งเป็นข้าวที่มีลักษณะที่ร่วนแข็งเมื่อผ่านการนึ่งแล้ว (Kodama, 1970) ซึ่งสอดคล้องกับ สุนันทา วงศ์ปิยชน (2538) หมักสาเกจากข้าวพันธุ์ต่างๆโดยหมักด้วยราที่อุณหภูมิ 15-18 องศาเซลเซียส 3 วัน พบว่าที่ข้าวแอมีโลสปานกลางและสูงคือ กข7 กข23 เหลืองประทิว123 และ กข19 มีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ต่ำมากคือ ระหว่าง 1.00 – 2.21 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร ข้าวที่มีปริมาณแอมีโลสต่ำคือ ขาวดอกมะลิ105 กข21 TCC7 และ TCC22 มีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์เท่ากับ 24.85 33.38 34.45 และ 131.25 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร ตามลำดับ และข้าวพันธุ์กข6 ซึ่งเป็นข้าวเหนียวที่มีปริมาณแอมีโลสต่ำมาก มีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่สูงที่สุดคือ 40.48 มิลลิกรัม /มิลลิลิตร



(a)



(b)



(c)

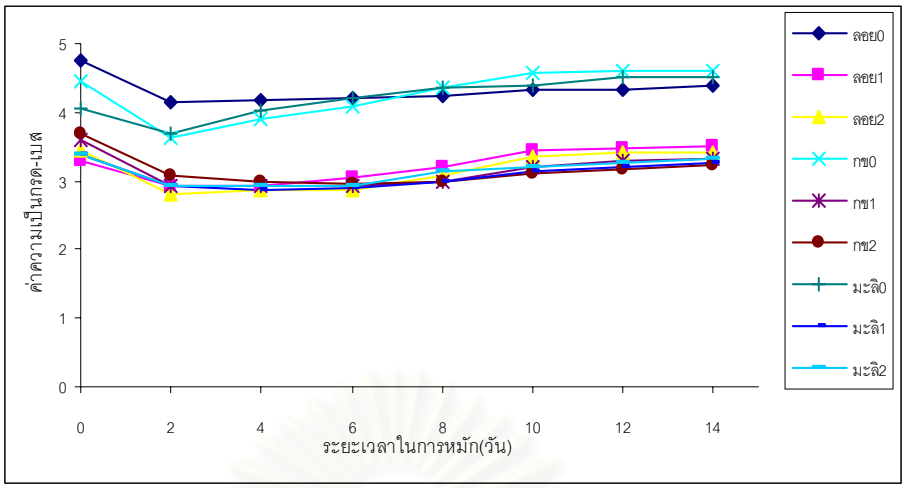
รูปที่ 4.2 การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ (มิลลิกรัม/มิลลิลิตร) ในระหว่างการหมักไวน์ข้าวของข้าวพันธุ์ลอย, กข6 และ ขาวดอกมะลิ 105 ที่ระดับการสีต่างๆ
(a); การหมักครั้งที่ 1, (b); การหมักครั้งที่ 2 , (c); การหมักครั้งที่ 3

4.2.3 ผลการเปลี่ยนแปลงความเป็นกรด – เบส (pH) ระหว่างการหมัก

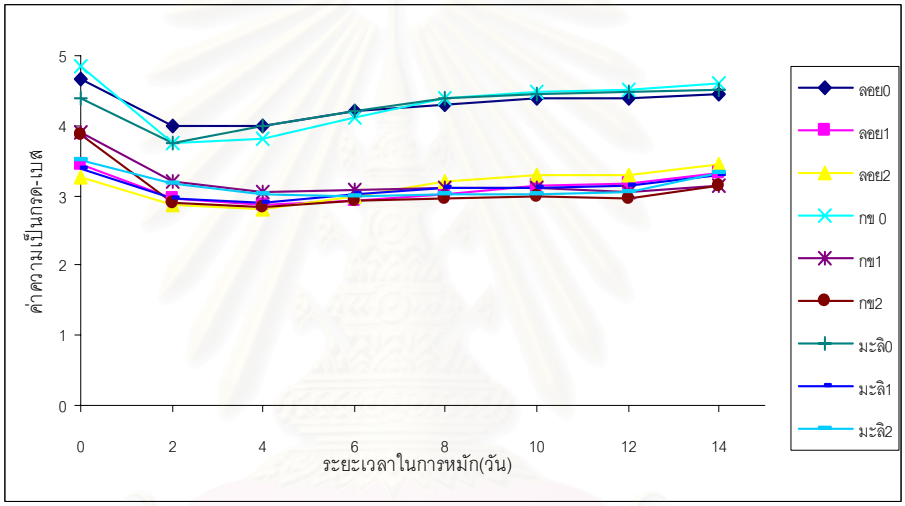
จากการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงความเป็นกรด – เบส ระหว่างการหมักในไวน์ข้าวพบว่าไวน์ข้าวกล้องของทุกพันธุ์ มีการเปลี่ยนแปลงของค่าความเป็นกรด-เบสค่อนข้างคงที่ อยู่ระหว่าง 3.62 - 4.76 ไวน์ข้าวของทุกพันธุ์ที่ระดับการขัดสีที่ 1 และ 2 นั้นจะพบว่าค่าความเป็นกรด-เบสที่ได้อยู่ระหว่าง 2.81- 3.68 การเปลี่ยนแปลงของไวน์ข้าวที่ได้ระหว่างการหมักของข้าวทุกพันธุ์และทุกระดับการสีมีลักษณะการเปลี่ยนแปลงคล้ายกัน คือจะลดลงเล็กน้อยในวันที่ 2 สองของการหมัก ดังแสดงในรูปที่ 4.3 เนื่องจากยีสต์สามารถสร้างกรดขึ้นในกระบวนการหมักได้จึงส่งผลทำให้ค่าความเป็นกรด-เบสที่วัดได้น้อยลง จากนั้นจะเพิ่มขึ้นเล็กน้อยในช่วงท้ายของการหมัก (Amerine and Ough, 1979)

ค่าความเป็นกรด-เบสของข้าวที่ระดับการขัดขัดสีที่ 0 (ข้าวกล้อง) มีค่าสูงกว่าข้าวที่ระดับการขัดขัดสีที่ 1 และ 2 อาจเนื่องจากในข้าวกล้องจะมีปริมาณโปรตีนสูงกว่าข้าวที่ระดับการขัดสีที่ 1 และ 2 เมื่อถูกเอนไซม์โปรติเอสที่ผลิตขึ้นจากรา ย่อยสลายจะได้กรดอะมิโนซึ่งมีความเป็น buffering capacity ทำให้ค่าความเป็นกรด-เบสที่สูงกว่า ข้าวที่ระดับการขัดสีเบอร์ 1 และ 2

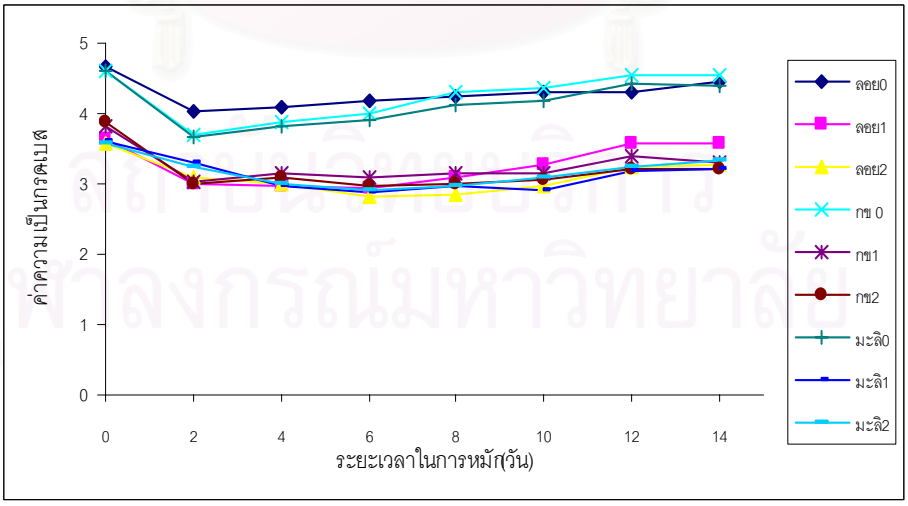
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



(a)



(b)



(c)

รูปที่ 4.3 การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด – เบส ในระหว่างการหมักไวน์ข้าวของข้าวพันธุ์ลอย, กข6 และ ขาวดอกมะลิ 105 ที่ระดับการสีต่างๆ

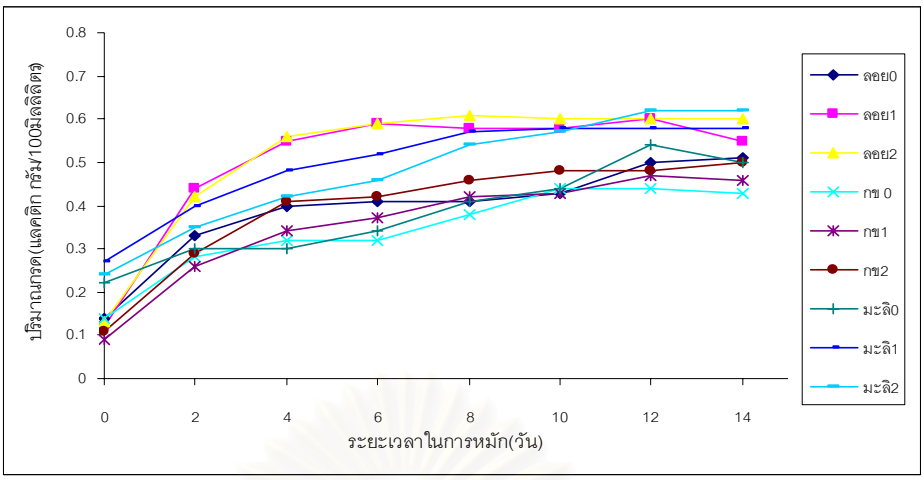
(a); การหมักครั้งที่ 1, (b); การหมักครั้งที่ 2 , (c); การหมักครั้งที่ 3

4.2.4 ผลการเปลี่ยนแปลงปริมาณกรด (Total acidity) ระหว่างการหมัก

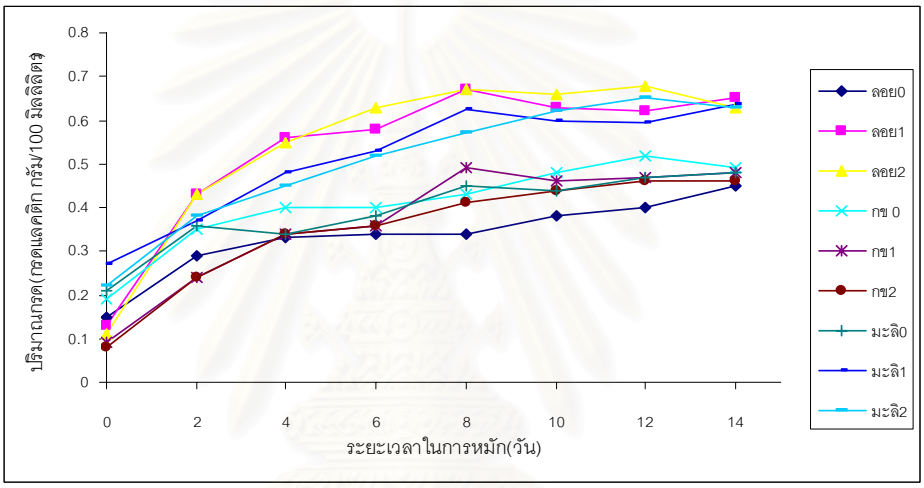
จากการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงปริมาณกรด ระหว่างการหมักในไวน์ข้าวพบว่า ในไวน์ข้าวทุกพันธุ์และทุกระดับการขัดสี มีปริมาณกรดสูงขึ้นตามระยะเวลาที่หมัก ซึ่งจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วใน 4 วันแรกของการหมัก โดยปริมาณกรดของข้าวพันธุ์ลอยที่ระดับการขัดสีที่ 0 มีค่าระหว่าง 0.14 – 0.51 %, ระดับการขัดสีที่ 1 มีค่าระหว่าง 0.11-0.67% ระดับการขัดสีที่ 2 มีค่าระหว่าง 0.11-0.68 % ส่วนข้าวพันธุ์ กข6 ที่ระดับการขัดสีที่ 0 มีปริมาณกรดอยู่ระหว่าง 0.13-0.56% ระดับการขัดสีที่ 1 มีค่าระหว่าง 0.07-0.49% ระดับการขัดสีที่ 2 มีค่าระหว่าง 0.07-0.52 % และสุดท้ายข้าวพันธุ์ ขาวดอกมะลิ 105 ที่ระดับการขัดสีที่ 0 มีปริมาณกรดอยู่ระหว่าง0.22-0.57% ระดับการขัดสีที่ 1 มีค่าระหว่าง 0.20- 0.64 % ระดับการขัดสีที่ 2 มีค่าระหว่าง 0.23-0.65 % ดังแสดงในรูปที่ 4.4 ความเป็นกรดที่เกิดขึ้นเนื่องจากในกระบวนการหมักนอกจากได้แอลกอฮอล์แล้วยังเกิดกรดอะซิติกและกรดแลคติก รวมทั้งกรดฟอร์มิก, กรดโพรพิโอนิก เป็นผลิตภัณฑ์พลอยได้ (By product) อีกด้วย (Amerine and Ough, 1979) นอกจากนั้นในขั้นตอนย่อยข้าวด้วย *Amylomyces rouxii* ยังสามารถผลิตกรดแลกติกในกระบวนการหมัก (Ellis *et al*., 1976) ได้อีกด้วยทำให้ สามารถวัดปริมาณกรดที่เกิดขึ้นได้ในวันที่ 0 ของการหมัก

ในมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมของสาโทไม่ได้กำหนดปริมาณกรดที่มีในไวน์ข้าว (มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน, 2546) แต่มีผู้ศึกษาไวน์ข้าวที่มีขายตามท้องตลาดจำนวน 5 ตัวอย่าง พบว่ามีปริมาณกรดเท่ากับ1.18-4.23 มิลลิกรัมต่อ100มิลลิลิตร ซึ่งปริมาณกรดที่ได้บอกได้ถึงรสชาติของไวน์ข้าวแต่ถ้ามีปริมาณมากเกินไปอาจจะเป็นตัวที่บ่งบอกถึงความเสื่อมเสียของไวน์ข้าวนั้นซึ่งอาจเกิดจากการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ที่สามารถผลิตกรดเช่น
จุลินทรีย์กลุ่มแอซิติกแอซิดแบคทีเรีย เป็นต้น

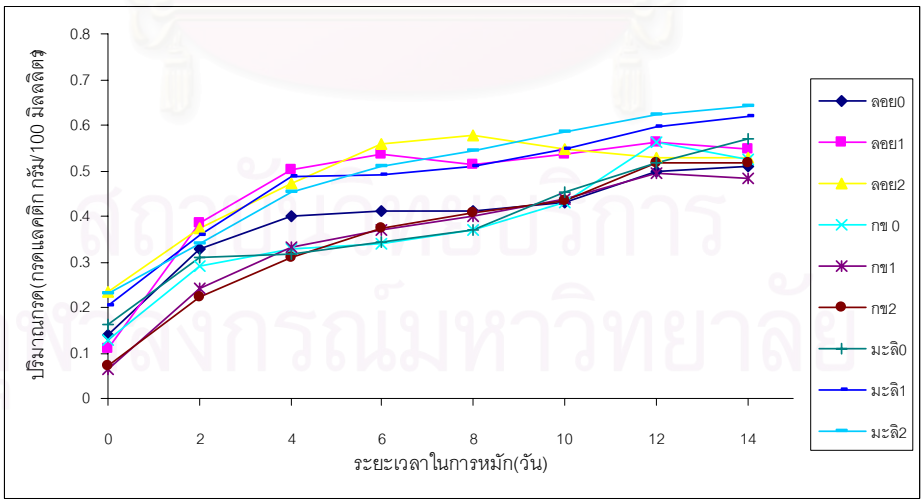
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



(a)



(b)



(c)

รูปที่ 4.4 การเปลี่ยนแปลงปริมาณกรด ในระหว่างการหมักไวน์ข้าวของข้าวพันธุ์ลอย, กข6 และขาวดอกมะลิ 105 ที่ระดับการสีต่างๆ

(a); การหมักครั้งที่ 1, (b); การหมักครั้งที่ 2 , (c); การหมักครั้งที่ 3

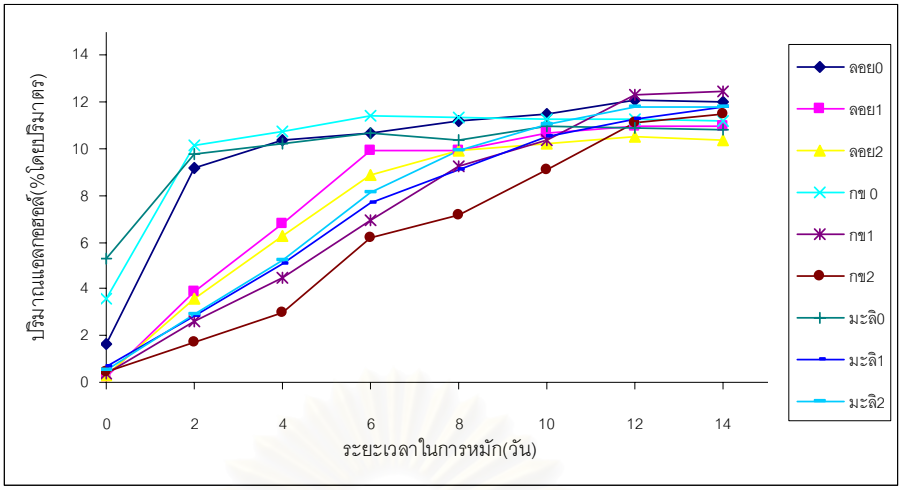
4.2.5 ผลการเปลี่ยนแปลงปริมาณแอลกอฮอล์ ระหว่างการหมัก

จากการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงปริมาณแอลกอฮอล์ระหว่างการหมักในไวน์ข้าว พบว่าไวน์ข้าวทุกพันธุ์และทุกระดับการสีมีปริมาณแอลกอฮอล์ที่วัดได้มีปริมาณสูงขึ้นตามระยะเวลาที่หมัก โดยข้าวที่ระดับการขัดสีที่ 0 ของข้าวทุกพันธุ์จะมีอัตราการเพิ่มของแอลกอฮอล์อย่างรวดเร็วใน 2 วันแรกของการหมัก ดังแสดงในรูปที่ 4.5 เนื่องจากข้าวมีปริมาณโปรตีน ไขมัน และสารอนินทรีย์ต่างๆ เช่น ฟอสฟอรัส แมกนีเซียม และโพแทสเซียม เป็นต้น ซึ่งช่วยเร่งการเจริญของรา และ ยีสต์ (Berry *et al*., 1987) หลังจากนั้นปริมาณแอลกอฮอล์ค่อนข้างคงที่ตลอดระยะเวลาการหมัก เนื่องจากปริมาณแอลกอฮอล์ที่เพิ่มสูงขึ้นไปยับยั้งการเจริญของยีสต์และปริมาณน้ำตาลที่ยีสต์จะใช้ในการเปลี่ยน เป็นแอลกอฮอล์ในกระบวนการหมักเกือบหมดแล้ว

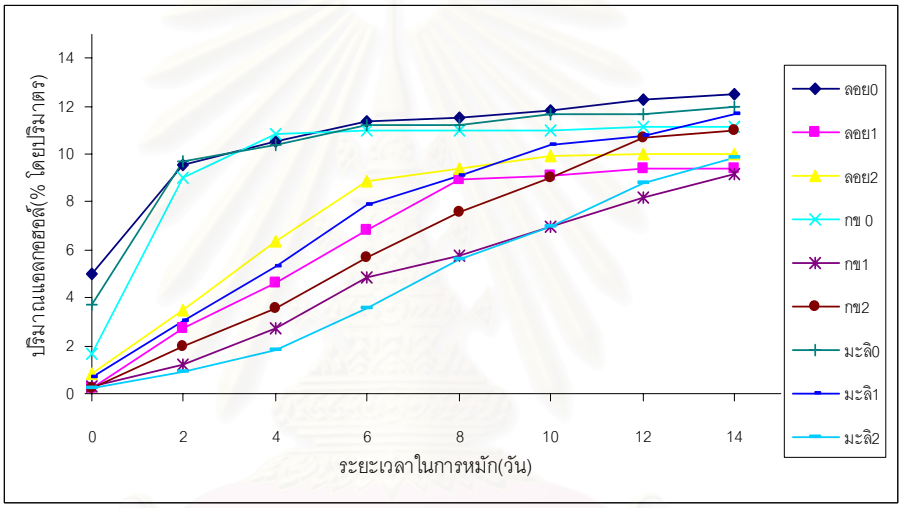
ไวน์ข้าวที่ได้จากการหมักโดยใช้ข้าวพันธุ์ลอย กข6 และ ขาวดอกมะลิ 105 ที่ระดับการขัดสีที่ 1 และ 2 พบว่าปริมาณแอลกอฮอล์จะสูงขึ้นตลอดระยะเวลาการหมัก โดยอัตราการหมักจะค่อนข้างเร็วในช่วงแรกของการหมัก จากนั้นจะลดลง ดังแสดงในรูปที่ 4.5

ในวันที่ 0 ของการหมัก พบว่าข้าวทุกพันธุ์ที่ระดับการขัดสีที่ 0 (ข้าวกล้อง) มีแอลกอฮอล์เกิดขึ้นระหว่าง 1.65 – 5.3 % ทั้งที่ยังไม่มีการเติมยีสต์ ในขณะที่วันที่ 0 ของข้าวทุกพันธุ์ที่ระดับการขัดสีที่ 1 และ 2 มีแอลกอฮอล์เกิดขึ้นระหว่าง 0.2 – 0.7 % ซึ่งเป็นปริมาณที่น้อยมากหรือแทบไม่มีเลย ปริมาณแอลกอฮอล์ที่เกิดขึ้นในไวน์ข้าวกล้องอาจเนื่องจากความสามารถของ *Amylomyces rouxii* TISTR 3128 ที่สามารถผลิตแอลกอฮอล์ได้เมื่อหมักโดยใช้ข้าวที่มีสารอาหาร เช่น โปรตีน ไขมัน เถ้า หรือ เส้นใย ที่มีสูงกว่าในข้าวที่มีการขัดสี

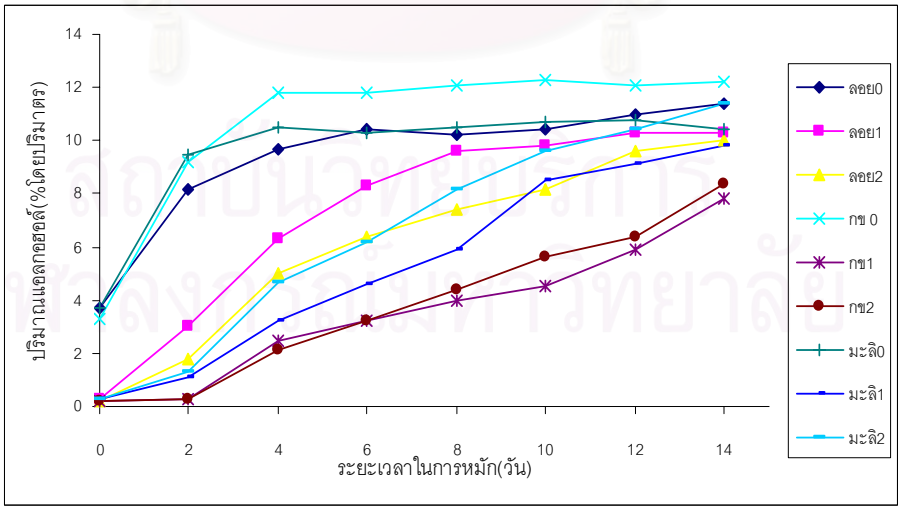
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



(a)



(b)



(c)

รูปที่ 4.5 การเปลี่ยนแปลงปริมาณแอลกอฮอล์ ในระหว่างการหมักไวน์ข้าวของข้าวพันธุ์ลอย, กข6 และ ขาวดอกมะลิ 105 ที่ระดับการสีต่างๆ (หมักครั้งที่ 3)

(a); การหมักครั้งที่ 1, (b); การหมักครั้งที่ 2 , (c); การหมักครั้งที่ 3

4.3 การศึกษาผลของระดับการขัดสีและปริมาณแอมีโลสต่อ องค์ประกอบทางเคมี สารประกอบเอสเทอร์ และ ฟูเซลออยล์ ของไวน์ข้าว

4.3.1 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี สารประกอบเอสเทอร์ และฟูเซลออยล์ ที่มีในไวน์ข้าวที่ขายในท้องตลาด

ไวน์ข้าว ที่นำมาวิเคราะห์เป็น ไวน์ข้าวซึ่งได้จาก งานหนึ่งตำบลหนึ่งผลิตภัณฑ์ที่ อิมแพค เมืองทองธานี ระหว่างวันที่ 12–18 เดือนธันวาคม 2547 จำนวน 8 ตัวอย่าง ได้แก่ “รามเกียรติ์” จ.ยโสธรซึ่งได้รางวัล Champion product 2002 OTOP “นาฝ้าย” จ.ชัยภูมิ “ขวัญโกศัย” กลุ่มเกษตรกรทำสวนท่าข้าม จ.แพร่ “สยาม” จ.นครราชสีมา “สิงห์บิน” จ.นครสวรรค์ “สักทอง” จ.แพร่ “ม้าขาว” จ.นครสวรรค์ และ “บ้านดา” จ.นครสวรรค์ นำมาวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมี สารประกอบเอสเทอร์และ ฟูเซลออยล์

4.3.1.1 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของไวน์ข้าวที่มีขายในท้องตลาด

จากผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ดังแสดงในตารางที่ 4.8 พบว่าตัวอย่างไวน์ข้าวมีค่าความเป็นกรด-เบสอยู่ระหว่าง 2.94 – 3.62 ปริมาณกรดที่ได้อยู่ระหว่างร้อยละ 0.39 – 1.36 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้อยู่ระหว่าง 10.0 - 16.6 ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์อยู่ระหว่าง 68.1 – 126.3 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร และปริมาณแอลกอฮอล์อยู่ระหว่าง 7.2 – 11.2 %โดยปริมาตร ซึ่งมนตรี เชาว์สังเกตุ (2521) ได้วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของไวน์ข้าว พบว่ามีค่าความเป็นกรด-เบสอยู่ระหว่าง 3.17 – 4.0 ปริมาณกรดที่ได้อยู่ระหว่างร้อยละ1.18 – 4.23 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้อยู่ระหว่าง 7.8 - 15.6 ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์อยู่ระหว่าง 0 – 77.3 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร และปริมาณแอลกอฮอล์อยู่ระหว่าง 6.8 – 14.8 %โดยปริมาตร (มนตรี เชาว์สังเกตุ, 2521) ซึ่งองค์ประกอบทางเคมีของไวน์ข้าวที่มีขายตามท้องตลาดและไวน์ข้าวที่มนตรี เชาว์สังเกตุ ได้ทำการวิเคราะห์นั้นจะมีค่าแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น กระบวนการผลิต ลูกแป้งที่ใช้ในการหมัก สมุนไพรที่ผสมในลูกแป้ง เป็นต้น

ตารางที่ 4.8 องค์ประกอบทางเคมีของไวน์ข้าวที่มีขายในท้องตลาด

องค์ประกอบทางเคมี	ไวน์ข้าวที่มีขายในท้องตลาด							
	นาฝ้าย	ขวัญโกศัย	สิงห์บิน	บ้านดา	สยาม	รามเกียรติ์	ม้าขาว	สักทอง
ค่าความเป็นกรด-เบส(pH)	3.33	3.21	3.13	3.43	2.94	3.21	3.62	3.39
ปริมาณกรด (%, lactic acid)	0.68	0.63	0.59	0.39	1.36	0.82	0.99	0.47
ปริมาณของแข็งที่ละลายได้($^{\circ}$Brix)	11.4	11.6	14.2	10.6	10.0	12.6	16.6	14.2
น้ำตาลรีดิวซ์(mg/ml)	77.9	78.9	93.9	72.5	68.1	86.2	126.3	98.8
ปริมาณแอลกอฮอล์ (%)	7.2	7.8	9.9	10.4	11.2	10.2	8.9	11.2

4.3.1.2 ผลการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบเอสเทอร์ และ ฟูเซลออยล์ ที่มีในไวน์ข้าวที่ขายในท้องตลาด

จากการวิเคราะห์ สารประกอบเอสเทอร์ และ ฟูเซลออยล์ โดยใช้แก๊สโครมาโทกราฟฟี พบว่าสารประกอบเอสเทอร์ที่ตรวจพบได้แก่ เอทิลอะซิเทต ซึ่งพบในตัวอย่างไวน์ข้าวที่มีขายในท้องตลาดทุกตัวอย่าง ไวน์ข้าวที่มีปริมาณสูงคือ ไวน์ข้าว"บ้านดา" และ "รามเกียรติ์" ซึ่งมีปริมาณเท่ากับ 300.4 และ 250 มิลลิกรัม/ลิตร เอทิลคาเพรท ตรวจพบได้ในตัวอย่างไวน์ข้าวบางตัวอย่างเท่านั้น ได้แก่ "นาฝ้าย" "สยาม" "รามเกียรติ์" "ม้าขาว" "สักทอง" สารประกอบเอสเทอร์ที่ตรวจพบในไวน์ข้าวนั้นมีความสำคัญต่อกลิ่น โดยเอทิลอะซิเทตให้กลิ่นผลไม้เมื่อมีในปริมาณที่เหมาะสม และ เอทิลคาเพรท ให้กลิ่นแอปเปิ้ล (Selli *et al*.,2004; Rocha *et al*.,2004; Peinado *et al*., 2004) ส่วนฟูเซลออยล์ ได้แก่ โพรพานอล ไอโซเอมิลแอลกอฮอล์ ไอโซบิวทานอล และ 2-ฟีนิลเอทิลแอลกอฮอล์ ที่ตรวจพบในตัวอย่างจะมีปริมาณที่แตกต่างกันออกไปปริมาณฟูเซลออยล์ทั้งหมดของไวน์ข้าวมีค่าระหว่าง133.5–373.3 มิลลิกรัม/ลิตร โดยไวน์ข้าว "รามเกียรติ์" มีค่าสูงที่สุด รองลงมาคือ "บ้านดา" ดังแสดงในตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 ปริมาณสารประกอบเอสเทอร์ และ ฟูเซลออยล์ ที่มีในไวน์ข้าวที่ขายในท้องตลาด

สารประกอบเอสเทอร์ และ ฟูเซลออยล์ (mg/l)	ไวน์ข้าวที่มีขายในท้องตลาด							
	ขวัญ นาฝ้าย	โกศัย	สิงห์บิน	บ้านดา	ราม สยาม	เกียรติ์	ม้าขาว	สัก ทอง
สารประกอบเอสเทอร์(mg/l)								
เอทิลอะซิเทต	42.4	36.7	11.2	300.4	40.9	250	48.0	22.6
2-ฟีนิลเอทิลแอลกอฮอล์	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
ไอโซเอมิลอะซิเทต	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
เอทิลคาเพรท	0.98	ND	ND	ND	<3.44	<3.44	1.2	2.5
เอทิลคาโพรเอท	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
เอทิลคาพริเลท	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
รวม	**43.38**	**36.7**	**11.2**	**300.4**	**40.9**	**250**	**49.2**	**25.1**
ฟูเซลออยล์(mg/l)								
โพรพานอล	14.1	28.0	24.0	97.4	17.9	17.5	19.2	47.6
ไอโซเอมิลแอลกอฮอล์	88.1	68.8	82.4	148.2	86.3	130	87.3	120
ไอโซบิวทานอล	48.0	27.2	54.1	78.1	47.1	49.9	49.6	47.1
2- ฟีนิลเอทิลแอลกอฮอล์	16.1	9.5	22.9	35.0	20.4	18.4	22.4	18.6
รวม	**166.1**	**133.5**	**183.4**	**358.7**	**171.7**	**373.3**	**178.5**	**233.3**

หมายเหตุ: ND ตรวจไม่พบในไวน์ข้าว

นอกเหนือจากสารประกอบเอสเทอร์ และฟูเซลออยล์ที่กล่าวมาแล้ว ยังมีสารที่ระเหยได้ในไวน์ข้าวซึ่งไม่สามารถระบุได้ (Unknown) ดังแสดงในตารางที่ 4.10 พบว่าในตัวอย่างไวน์ข้าวมี unknown ระหว่าง 5-17 ตัวโดย บ้านดามีมากที่สุด รองลงมาคือ รามเกียรติ์ สักทอง ขวัญโกศัย สยาม สิงห์บิน นาฝ้าย และม้าขาว ตามลำดับ ซึ่งจำนวนunknown ที่มีอาจจะบ่งบอกถึงกลิ่นรสที่ซับซ้อนที่มีในไวน์ข้าว

ตารางที่ 4.10 สารระเหยได้ที่ระบุไม่ได้ (unknown) ที่มีในไวน์ข้าวที่มีขายในท้องตลาด

ระยะเวลาที่สารอยู่ในระบบ (Retention Time)	อัตราส่วนของสารUnknown กับ internal standard ของไวน์ข้าวที่มีขายในท้องตลาด							
	นาฝ้าย	ขวัญโกศัย	สิงห์บิน	บ้านดา	สยาม	รามเกียรติ์	ม้าขาว	สักทอง
3.939	ND	ND	ND	0.05	ND	ND	ND	ND
4.032	ND	ND	ND	0.12	ND	ND	ND	ND
4.381	ND	ND	0.02	0.51	ND	ND	ND	0.05
4.445	0.08	0.09	ND	0.55	0.08	ND	ND	ND
4.577	ND	ND	ND	0.11	ND	0.4	ND	ND
6.678	ND	0.03	ND	2.07	0.05	ND	ND	ND
6.832	ND	ND	ND	0.38	ND	ND	ND	ND
7.27	0.04	0.08	0.07	0.34	1.19	0.04	ND	0.13
8.851	0.16	0.09	0.20	0.36	ND	0.16	ND	0.22
9.617	ND	ND	ND	0.51	ND	ND	ND	ND
10.372	ND	0.03	ND	ND	ND	0.03	0.02	0.07
13.493	ND	ND	ND	0.17	ND	0.02	ND	ND
14.167	0.35	0.24	0.65	ND	0.06	4.88	0.06	0.04
15.432	1.78	0.91	0.43	0.48	4.07	0.75	0.38	0.52
16.307	ND	ND	ND	0.59	1.20	ND	ND	0.02
18.744	1.04	1.33	0.32	0.84	0.06	4.95	0.76	0.71
22.255	0.21	0.1	0.49	10.0	ND	0.29	0.22	0.29
24.115	ND	ND	ND	0.53	0.03	ND	ND	ND
28.208	ND	ND	ND	ND	ND	0.05	ND	ND

หมายเหตุ: ND ตรวจไม่พบในไวน์ข้าว

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารประกอบเอสเทอร์และฟูเซลออยล์ที่พบในตัวอย่างไวน์ข้าวที่มีขายตามท้องตลาดนั้น มีปริมาณที่แตกต่างกันออกไป ซึ่งเกิดจากหลายปัจจัย เช่น กระบวนการหมัก ลูกแป้งที่ใช้ในการผลิต ซึ่งมีเชื้อจุลินทรีย์ที่แตกต่างกันและยังมีการผสมสมุนไพรเครื่องเทศลงไปซึ่งเป็นความลับของผู้ผลิต ผู้ผลิตบางรายใช้สมุนไพรในขั้นตอนการผลิตลูกแป้งมากกว่า 10 ชนิดด้วยกัน ทำให้องค์ประกอบของเอสเทอร์ และฟูเซลออยล์หลากหลาย เกิดความซับซ้อนของกลิ่นในไวน์ข้าว ข้าวซึ่งเป็นวัตถุดิบในการหมักผู้ผลิตบางรายผสมข้าวเจ้าหอมมะลิกับข้าวเหนียวเพื่อให้ได้กลิ่นที่ดีขึ้น

4.3.2 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี สารประกอบเอสเทอร์ และ ฟูเซลออยล์ ไวน์ข้าวที่หมักได้จากข้าวพันธุ์ลอย กข6 และ ขาวดอกมะลิ105 ที่ระดับการขัดสีที่ 0 1 และ 2

4.3.2.1 ผลการวิเคราะห์ องค์ประกอบทางเคมีของไวน์ข้าวที่หมักได้จากข้าวพันธุ์ลอย กข6 และขาวดอกมะลิ105 ที่ระดับการขัดสีที่ 0 1 และ 2

จากผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี พบว่าตัวอย่างไวน์ข้าวมีค่าความเป็นกรด-เบสอยู่ระหว่าง 3.20 – 4.62 ปริมาณกรดที่ได้อยู่ระหว่างร้อยละ 0.50 – 0.73 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้อยู่ระหว่าง 4.6-12.2 ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์อยู่ระหว่าง 0.77 – 12.2 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร และปริมาณแอลกอฮอล์อยู่ระหว่าง 8.2 – 12.6 %โดยปริมาตร มีองค์ประกอบทางเคมี ดังแสดงในตารางที่ 4.11 ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับองค์ประกอบทางเคมีของไวน์ข้าวที่มีขายในท้องตลาดพบว่ามีค่าความเป็นกรด-เบสที่ใกล้เคียงกัน ยกเว้นไวน์ที่ทำจากข้าวกล้อง แต่ปริมาณกรดที่มีมีค่าใกล้เคียงกัน แต่ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์มีค่าต่ำกว่ามาก ยกเว้นไวน์ข้าวที่หมักได้จากข้าวกข6 ที่ระดับการขัดสีที่ 1 และ 2 ส่วนองค์ประกอบทางเคมีของสาเกจะพบว่ามีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์เท่ากับ 0.042 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร (4.2 %) ซึ่งมีค่าต่ำกว่าไวน์ข้าวที่หมักด้วยข้าวพันธุ์กข6 ที่ระดับการขัดสี ที่ 0 พันธุ์ลอยและ ขาวดอกมะลิ105 ที่ระดับการขัดสีที่ 0 1 และ 2 ปริมาณกรดเท่ากับ 1.52 % และปริมาณแอลกอฮอล์เท่ากับ 15% ซึ่งสูงกว่าไวน์ข้าวที่หมักได้

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.11 องค์ประกอบทางเคมีของไวน์ข้าวที่หมักได้จากข้าวพันธุ์ลอย กข6 และ ขาวดอกมะลิ105 ที่ระดับการขัดสีที่ 0 1 และ 2

องค์ประกอบทางเคมี	ไวน์ข้าวหมักโดยใช้ข้าวพันธุ์ลอย กข6 และขาวดอกมะลิ105 ที่ระดับการขัดสีที่ 0(ข้าวกล้อง) 1 และ 2								
	ลอย ระดับที่0	ลอย ระดับที่1	ลอย ระดับที่2	กข6 ระดับที่0	กข6 ระดับที่1	กข6 ระดับที่2	มะลิ105 ระดับที่0	มะลิ105 ระดับที่1	มะลิ105 ระดับที่2
ค่าความเป็นกรด-เบส(pH)	4.52	3.56	3.38	4.64	3.26	3.20	4.40	3.20	3.41
ปริมาณกรด (%, lactic acid)	0.57	0.7	0.73	0.55	0.57	0.5	0.5	0.6	0.6
ปริมาณของแข็งที่ละลายได้(^{o}Brix)	5.8	4.8	4.6	5.0	12.2	10.2	4.8	7.6	6.0
น้ำตาลรีดิวซ์(mg/ml)	0.77	1.30	1.86	0.83	105.2	76.7	1.13	32.3	10.5
ปริมาณแอลกอฮอล์ (%)	12.6	10.7	10.7	12.4	8.2	9.0	10.7	10.2	12.4

4.3.2.2 ผลการวิเคราะห์สารประกอบเอสเทอร์และฟูเซลออยล์ของไวน์ข้าวที่หมักได้จากข้าวพันธุ์ลอย กข6 และ ขาวดอกมะลิ105 ที่ระดับการขัดสีที่ 0 1 และ 2

ผลการวิเคราะห์สารประกอบเอสเทอร์ ได้แก่ เอทิลอะซิเทตที่พบในข้าวพันธุ์ลอยที่ระดับการขัดสีที่ 0 1 และ 2 มีปริมาณเท่ากับ 17.4, 24.4 และ 17.5 ตามลำดับ ข้าวพันธุ์กข6 ที่ระดับการขัดสีที่ 0 1 และ 2 มีปริมาณเท่ากับ 39.1, 18.2 และ 16.8 ตามลำดับ และ ข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ที่ระดับการขัดสีที่ 0 1 และ 2 มีปริมาณเท่ากับ 37.7, 17.5 และ 22.3 ตามลำดับดังแสดงในตารางที่ 4.12 ปริมาณเอทิลอะซิเทตที่พบในไวน์ข้าวที่หมักโดยใช้ข้าวกล้องซึ่งมีไขมันสูงน่าจะมีปริมาณน้อยกว่าที่พบในไวน์ข้าวที่หมักโดยใช้ข้าวที่ผ่านการสีที่ระดับ 1 และ 2 เนื่องจากปริมาณของสารประกอบเอสเทอร์เกี่ยวข้องกับปริมาณไขมันที่มีในองค์ประกอบของวัตถุดิบ โดย Taniguchi และคณะ (1987) ได้ศึกษาการหมักสาเกโดยการกำจัดไขมันออกจากข้าวโดยวิธี supercritical CO_2 พบว่าปริมาณไอโซเอมิล แอลกอฮอล์ในข้าวที่ไม่ผ่านการกำจัดไขมันมีน้อยกว่าข้าวที่ผ่านการกำจัดไขมันออก (Taniguchi *et al.*, 1987) แสดงว่าไขมันมีผลต่อการเกิดสารประกอบเอสเทอร์ ซึ่ง Yoshioka และ Hashimoto (1981) ได้สรุปไว้ว่าถ้ามีกรดไขมันโดยเฉพาะกรดไขมันไม่อิ่มตัว ในองค์ประกอบของการหมักจะส่งผลต่อเซลล์เมมเบรนของยีสต์ทำให้กรดไขมันในเซลล์เมมเบรนมีมากขึ้นซึ่งไปยับยั้งการทำงานของเอนไซม์แอลกอฮอล์อะซิทิลทรานเฟอเรส ซึ่งเร่งการเกิดสารประกอบเอสเทอร์ และรบกวนการส่งผ่านสารประกอบเอสเทอร์ออกนอกเซลล์ (Yoshioka and Hashimoto, 1981) แต่ปริมาณสารประกอบเอสเทอร์ที่

พบในงานวิจัยนี้ไม่เป็นเช่นนั้น จากผลการทดลองพบว่าข้าวพันธุ์กข6 และขาวดอกมะลิ 105 ที่ระดับการขัดสีที่ 0 มีปริมาณ เอทิลอะซิเทต สูงกว่าข้าวที่ระดับการขัดสีที่ 1 และ 2 และข้าวพันธุ์ลอยที่ระดับการขัดสีที่ 1 มีปริมาณ เอทิลอะซิเทต สูงกว่าข้าวที่ระดับการขัดสีที่ 0 และ 2 อาจเนื่องจากปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดสารประกอบเอสเทอร์ในปัจจัยอื่น เช่น ปัจจัยเรื่องอุณหภูมิเป็นต้น ในงานวิจัยครั้งนี้ทำการหมักที่อุณหภูมิห้องซึ่งอยู่ระหว่าง 27-32 องศาเซลเซียส ทำให้สารประกอบเอสเทอร์มีปริมาณน้อยและบางตัวมีในมีปริมาณน้อยมากจนตรวจไม่พบเช่น 2-ฟีนิวเอทิลแอลกอฮอล์ ไอโซเอมิลอะซิเทต เอทิลคาเพรท เอทิลคาโพรเอท และ เอทิลคาพริเลท เนื่องอุณหภูมิในการหมักสูงทำให้เอนไซม์แอลกอฮอล์อะซิทิลทรานเฟอเรส ซึ่งทำหน้าที่ผลิตสารประกอบเอสเทอร์ถูกกดการทำงาน (Fukuda *et al*. 1998) และนอกจากนั้นยังไปเร่งการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซีสของสารประกอบเอสเทอร์อีกด้วยทำให้สารประกอบเอสเทอร์ลดลง อุลัยวรรณ์ อุสันสา (2546) ได้ศึกษาถึงผลของอุณหภูมิการหมักแอลกอฮอล์ต่อกลิ่นรสของไวน์แดง โดยหมักที่ 15 20 25 30 และ 35 องศาเซลเซียส พบว่าสารกลุ่มเอสเทอร์ ได้แก่ โพรพิลอะซิเทต เอทิลออกทาโนเอท ไอโซเอมิลอะซิเทต เฮคซิลอะซิเทต เอทิลเฮคซาโนเอท เอทิลเดคคาโนเอท และ ฟีนิลเอทิลอะซิเทต พบปริมาณสูงที่สุดเมื่อหมักที่อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส และพบน้อยที่สุดเมื่อหมักที่หมักที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส (อุลัยวรรณ์ อุสันสา, 2546) ประกอบกับในขั้นตอนการสกัดสารประกอบเอสเทอร์ใช้วิธีการกลั่นไอน้ำซึ่งใช้ความร้อนสูงอาจส่งผลทำให้สารประกอบเอสเทอร์บางส่วนหายไประหว่างการกลั่น

ผลการวิเคราะห์ฟูเซลออยล์ ได้แก่ โพรพานอล ซึ่งปริมาณที่พบอยู่ระหว่าง 45.5 - 104.5 มิลลิกรัม/ลิตร ไอโซเอมิลแอลกอฮอล์ มีปริมาณที่พบอยู่ระหว่าง 122.4 - 229.3 มิลลิกรัม/ลิตร ไอโซบิวทานอล มีปริมาณที่พบอยู่ระหว่าง 50.8 – 95.3 มิลลิกรัม/ลิตร และ 2- ฟีนิลเอทิลแอลกอฮอล์ มีปริมาณที่พบอยู่ระหว่าง 31.0 - 74.7 มิลลิกรัม/ลิตร และฟูเซลออยล์ทั้งหมดของไวน์ข้าวพันธุ์ลอยที่ระดับการขัดสีที่ 0 1 และ 2 มีปริมาณเท่ากับ 275.4 274 และ 432.8 ตามลำดับ ไวน์ข้าวพันธุ์กข6 ที่ระดับการขัดสีที่ 0 1 และ 2 มีปริมาณเท่ากับ 422.7 418.8 และ 301.8 ตามลำดับ ไวน์ข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ที่ระดับการขัดสีที่ 0 1 และ 2 มีปริมาณเท่ากับ 280.8 365.6 และ 416.8 ตามลำดับ ดังในตารางที่ 4.12 ปริมาณฟูเซลออยล์ทั้งหมดที่พบในไวน์ข้าวที่หมักโดยใช้ข้าวกล้องซึ่งมีโปรตีนสูงน่าจะมีปริมาณมากกว่าที่พบในไวน์ข้าวที่หมักโดยใช้ข้าวที่ผ่านการสีที่ระดับ 1 และ 2 แต่ในงานวิจัยที่ได้ศึกษาในครั้งนี้พบว่าปริมาณฟูเซลออยล์ในไวน์ข้าวที่เกิดขึ้นจากการหมักโดยใช้ข้าวแต่ละพันธุ์ที่ระดับการขัดสีต่างกันไม่มีความสัมพันธ์กัน อาจเนื่องจากปริมาณโปรตีนที่พบในวัตถุดิบมีค่าเท่ากับ 5.44 – 6.77% หรือ ประมาณ 21.8– 27.1 กรัมต่อลิตรของน้ำหมัก ซึ่งเป็นปริมาณไม่มากพอที่จะทำให้เกิดความแตกต่างระหว่างฟูเซลออยล์ที่เกิดจากข้าวกล้องและข้าวขาว Ueki และคณะ(1991) ได้ศึกษาการการหมักไวน์ข้าวโดยการเติมรำข้าวลงไปด้วย แล้ววิเคราะห์คุณภาพของไวน์ข้าวที่หมักได้ พบว่าการเติมรำข้าวลงไปในการหมัก

ในอัตราส่วนข้าว 21 กรัม และรำข้าว 10 กรัม ทำให้เกิดฟูเซลออยล์ (ไอโซบิวทิลแอลกอฮอล์ และไอโซเอมิลแอลกอฮอล์) ในปริมาณที่เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับการหมักโดยใช้ข้าวทั้งหมด (Ueki *et al*., 1991) แสดงว่าปริมาณกรดอะมิโนที่พบในวัตถุดิบจะต้องมีมากพอจึงจะเกิด ฟูเซลออยล์ จากกระบวนการ Ehrlich pathway (Reed and Peppler, 1973) นอกจากนั้น ฟูเซลออยล์ยังเกิดได้จากการสังเคราะห์ (Anabolic pathway) จากเซลล์ยีสต์ โดยยีสต์จะดูดซึมน้ำตาลแล้วผ่านกระบวนการเมทาบอลิซึม จากนั้นจะมีการสร้าง oxoacid เก็บไว้ที่ oxoacid pool เพื่อเป็นสารตั้งต้นในการสังเคราะห์ เช่น กรดอะมิโน แอลดีไฮด์ แอลกอฮอล์ และฟูเซลออย์ เป็นต้น (Lewis and Young, 1995) ซึ่ง Crowell และคณะ(1961) ได้สรุปการเกิดฟูเซลออยล์ ว่า 75 %ของฟูเซลออยล์ที่เกิดขึ้น เกิดจากกระบวนการใช้น้ำตาลซึ่งเกิดเป็นผลิตภัณฑ์พลอยได้ในการหมัก และอีก 25 % เกิดจากกระบวนการสังเคราะห์โดย Ehrlich pathway (Crowell *et al*., 1961) จึงทำให้ไม่พบความสัมพันธ์ระหว่างการขัดสีข้าวกับปริมาณฟูเซลออยล์ในงานวิจัยนี้

ตารางที่ 4.12 ปริมาณสารประกอบเอสเทอร์ และ ฟูเซลออยล์ ของไวน์ข้าวที่หมักโดยใช้ข้าวพันธุ์ลอย กข6 และ ขาวดอกมะลิ 105 ที่ระดับการขัดสีที่ 0(ข้าวกล้อง) 1 และ 2

สารประกอบเอสเทอร์และ ฟูเซลออยล์(mg/l)	ไวน์ข้าวหมักโดยใช้ข้าวพันธุ์ลอย กข6 และขาวดอกมะลิ105 ที่ระดับการขัดสีที่ 0(ข้าวกล้อง) 1 และ 2								
	ลอย ระดับที่0	ลอย ระดับที่1	ลอย ระดับที่2	กข6 ระดับที่0	กข6 ระดับที่1	กข6 ระดับที่2	มะลิ105 ระดับที่0	มะลิ105 ระดับที่1	มะลิ105 ระดับที่2
สารประกอบเอสเทอร์(mg/l)									
เอทิลอะซิเทต	17.4	24.4	17.5	39.1	18.2	16.8	37.7	17.5	22.3
2-ฟีนิลเอทิลอะซิเทต	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
ไอโซเอมิลอะซิเทต	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
เอทิลคาเพรท	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
เอทิลคาโพรเอท	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
เอทิลคาพริเลท	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
รวม	**17.4**	**24.4**	**17.5**	**39.1**	**18.2**	**16.8**	**37.7**	**17.5**	**22.3**
ฟูเซลออยล์(mg/l)									
โพรพานอล	45.5	71.1	103	62.8	55.2	64.5	42.3	89	104.5
ไอโซเอมิลแอลกอฮอล์	229.3	204.5	179.6	122.4	132.3	150.2	128.4	161.1	181.1
ไอโซบิวทานอล	73.2	86.8	95.3	58.6	50.8	56.1	72.7	71.6	76.8
2- ฟีนิลเอทิลแอลกอฮอล์	74.7	56.4	54.9	31.6	35.7	31.0	37.4	43.9	54.4
รวม	**422.7**	**418.8**	**432.8**	**275.4**	**274.0**	**301.8**	**280.8**	**365.6**	**416.8**

หมายเหตุ: ND ตรวจไม่พบในไวน์ข้าว

ในการศึกษาสารประกอบเอสเทอร์ และ ฟูเซลออยล์ โดยใช้แก๊สโครมาโทกราฟฟี มีสารประกอบอีกหลายตัวที่ยังไม่ทราบว่าเป็นสารชนิดใด จากตารางที่ 4.13 แสดง Unknown ที่พบในไวน์ข้าวที่ได้จากการหมักข้าวพันธุ์ลอย กข6 และขาวดอกมะลิ105 ที่ระดับการขัดสีต่างกัน พบว่ามีระหว่าง 3-5 ตัว ซึ่งมีน้อยกว่าไวน์ข้าวที่มีขายในท้องตลาดที่พบระหว่าง 5-17 ตัว (ตารางที่ 4.10) ความแตกต่างที่ได้อาจเนื่องจากกระบวนการผลิต วัตถุดิบโดยเฉพาะ ลูกแป้งที่ใช้ซึ่งมีเชื้อจุลินทรีย์ที่หลากหลายโดยมีผู้ศึกษาและคัดแยกเชื้อจุลินทรีย์จากลูกแป้งพบว่ามียีสต์ 51 ไอโซเลท และ รา 54 ไอโซเลท (Dung *et al*., 2005) ทำให้ได้กลิ่นรสที่ค่อนข้างซับซ้อนแก่ไวน์ข้าว งานวิจัยนี้ใช้เชื้อบริสุทธิ์ในการหมักจึงอาจทำให้กลิ่นรสที่ได้ไม่ซับซ้อนเท่ากับไวน์ข้าวที่มีขายตามท้องตลาด

ตารางที่ 4.13 สารระเหยได้ที่ระบุไม่ได้ (unknown) ที่มีในไวน์ข้าวที่หมักโดยใช้ข้าวพันธุ์ลอย กข6 และ ขาวดอกมะลิ 105 ที่ระดับการขัดสีที่ 0(ข้าวกล้อง) 1 และ 2

ระยะเวลาที่สารอยู่ในระบบ (Retention time)	อัตราส่วนของสารUnknown กับ internal standard ของไวน์จากข้าวที่หมักโดยใช้ข้าวพันธุ์ลอย กข6 และ ขาวดอกมะลิ 105 ที่ระดับการขัดสีที่ 0(ข้าวกล้อง) 1 และ 2								
	ลอย ระดับที่0	ลอย ระดับที่1	ลอย ระดับที่2	กข6 ระดับที่0	กข6 ระดับที่1	กข6 ระดับที่2	มะลิ105 ระดับที่0	มะลิ105 ระดับที่1	มะลิ105 ระดับที่2
10.372	0.24	0.10	0.08	0.06	0.05	0.08	0.06	0.09	0.12
13.493	ND	ND	ND	ND	0.03	0.03	ND	0.04	ND
15.432	ND	0.19	0.34	0.02	0.15	0.16	ND	0.38	0.28
16.307	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.24	ND
18.744	0.26	0.16	0.19	0.71	0.30	0.27	0.56	ND	0.25
22.255	0.34	ND	ND	0.51	ND	0.03	0.18	ND	0.06
24.115	0.17	ND	ND	0.20	ND	ND	0.05	ND	ND

หมายเหตุ: ND ตรวจไม่พบในไวน์ข้าว

4.4 ผลการประเมินคุณภาพไวน์ข้าว

4.4.1 ผลการประเมินคุณภาพของไวน์ข้าวที่มีขายตามท้องตลาดและไวน์ข้าวที่หมักได้จากข้าวพันธุ์ลอย กข6 และขาวดอกมะลิ105 ที่ระดับการขัดสีที่ 0, 1 และ 2

จากผลการประเมินคุณภาพของไวน์ข้าวด้านการยอมรับของผู้บริโภค พบว่า ไวน์ข้าวที่มีขายตามท้องตลาด ไวน์ข้าวพันธุ์กข6 ที่ระดับการขัดสีที่ 1 และ 2 ได้รับการยอมรับจากผู้บริโภคสูงกว่าไวน์ข้าวพันธุ์ลอย ขาวดอกมะลิ105 ที่ระดับการขัดสีที่ 0 1 และ 2 ไวน์ข้าวพันธุ์กข6 ที่ระดับการขัดสีที่ 0 แสดงดังตารางที่ 4.14 เมื่อพิจารณาองค์ประกอบทางเคมีพบว่าไวน์ข้าวที่ได้คะแนนสูง เป็นไวน์ข้าวที่มีค่าของแข็งที่ละลายได้และปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์สูง ผู้บริโภคได้ให้ความเห็นเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์ไวน์ข้าวที่หมักได้จากข้าวพันธุ์ลอย ขาวดอกมะลิ 105 ที่ระดับการขัดสีที่ 0 1 และ 2 ไวน์ข้าวพันธุ์กข6 ที่ระดับการขัดสีที่ 0 ซึ่งมีคะแนนการยอมรับของผู้บริโภคต่ำว่า มีรสจืด รับรสเฉพาะแอลกอฮอล์เพียงอย่างเดียว ไม่มีความสมดุลของรสชาติระหว่างกรด แอลกอฮอล์ และน้ำตาล นอกจากนั้นผู้บริโภคส่วนใหญ่จะคุ้นเคยกับรสชาติของไวน์ข้าวที่มีขายในท้อง ตลาดซึ่งมีรสหวาน

จากผลการประเมินคุณภาพของไวน์ข้าวด้านกลิ่น พบว่า ไวน์ข้าว"รามเกียรติ์" "บ้านดา" "สิงห์บิน" "ม้าขาว" "ขวัญโกศัย" "สักทอง" ไวน์ข้าวพันธุ์กข6 ที่ระดับการขัดสีที่ 1 และ 2 ได้คะแนนความชอบด้านกลิ่นสูงกว่า ไวน์ข้าว"สยาม" "นาฝ้าย" ไวน์ข้าวพันธุ์ลอย ขาวดอกมะลิ 105 ที่ระดับการขัดสีที่ 0 1 และ 2 ไวน์ข้าวพันธุ์กข6 ที่ระดับการขัดสีที่ 0

ไวน์ข้าว"รามเกียรติ์"ซึ่งเป็นไวน์ข้าวที่เป็น Champion product 2002 OTOP มีคะแนนการยอมรับของผู้บริโภคสูงที่สุดและด้านกลิ่นมีคะแนนในระดับสูง ไวน์ข้าวที่ได้จากการหมักโดยใช้ข้าวพันธุ์ กข6 ที่ระดับการขัดสีที่1 และ 2 มีคะแนนการยอมรับของผู้บริโภคและด้านกลิ่นสูงกว่าไวน์ข้าวที่หมักได้จากข้าวพันธุ์ลอย ขาวดอกมะลิ 105 ที่ระดับการขัดสีที่ 0 1 และ 2 ไวน์ข้าวพันธุ์กข6 ที่ระดับการขัดสีที่ 0

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.14 ผลการประเมินความชอบด้านกลิ่นและการยอบรับของไวน์ข้าวที่ได้จากท้องตลาด และไวน์ข้าวที่หมักได้จากข้าวพันธุ์ลอย กข6 และขาวดอกมะลิ105 ที่ระดับการขัดสีที่ 0 1 และ 2

ชนิดของไวน์ข้าว	คะแนนความชอบ	
	กลิ่น	การยอมรับ
รามเกียรติ์	5.4 ±1.65[a]	6.2 ±1.32[a]
บ้านดา	5.0 ±1.56[ab]	5.2 ±1.40[ab]
สิงห์บิน	5.5 ±1.90[a]	5.2 ±2.10[ab]
ม้าขาว	4.5 ±2.32[abc]	4.9 ±2.13[abc]
กข6 ที่ระดับการขัดสีที่1	4.4 ± 1.96 [abc]	4.7 ± 1.70 [abcd]
กข6 ที่ระดับการขัดสีที่2	4.4 ± 1.90[abc]	4.3 ± 2.06[bcde]
ขวัญโกศัย	4.0 ±1.41[abcd]	4.0 ±1.63[bcde]
สยาม	3.7 ±1.64[abcd]	3.8 ±1.48[bcde]
นาฝ้าย	3.3 ±1.89[bcd]	3.5 ±1.18[bc]
สักทอง	4.5 ±2.30[abc]	3.2 ±1.62[defg]
มะลิ105 ที่ระดับการขัดสีที่ 1	3.4 ± 1.71 [bcd]	2.9 ± 1.91 [efg]
มะลิ 105 ที่ระดับการขัดสีที่ 2	3.7± 1.83[abcd]	2.1± 1.10[fg]
ลอยที่ระดับการขัดสีที่ 0	3.2 ± 2.04 [bcd]	1.9 ± 1.28 [fg]
ลอย ที่ระดับการขัดสีที่ 1	2.4 ± 1.50 [d]	2.1 ± 1.10 [fg]
ลอยที่ระดับการขัดสีที่ 2	2.6 ± 1.90[cd]	1.8 ± 1.03[fg]
กข6 ที่ระดับการขัดสีที่0	3.8 ± 1.93 [abcd]	1.9 ± 1.52 [fg]
มะลิ 105 ที่ระดับการขัดสีที่ 0	3.0 ± 1.57 [bcd]	1.7 ± 1.06 [g]

หมายเหตุ: a, b,...ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในสดมภ์เดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.4.2 ผลการประเมินคุณภาพของไวน์ข้าวที่หมักโดยใช้ข้าวพันธุ์ลอย, กข6 และขาวดอกมะลิ105 ที่ระดับการขัดสีที่ 0(ข้าวกล้อง) 1และ 2

ผลการประเมินคุณภาพของไวน์ข้าวด้านกลิ่น แสดงในตารางที่ 4.15 พบว่าคะแนนความชอบด้านกลิ่นของข้าวพันธุ์ลอย และขาวดอกมะลิ 105 ที่ระดับการขัดสีที่ 0 1 และ 2 ไม่มีความแตกต่างกัน (P>0.05) แต่ข้าวพันธุ์กข6 ที่ระดับการขัดสีที่ 0 มีคะแนนความชอบน้อยกว่าที่ระดับการขัดสีที่1และ2 (P≤ 0.05) ส่วนที่ระดับการสีที่ 0 มีคะแนนความชอบด้านกลิ่นไม่ความแตกต่างกัน (P>0.05) และที่ระดับการขัดสีที่ 1 และ2 พบว่าข้าวพันธุ์กข6 มีคะแนนความชอบด้านกลิ่นมากกว่าข้าวพันธุ์ลอย (P≤ 0.05)

ตารางที่ 4.15 ผลการประเมินความชอบของไวน์ข้าวด้านกลิ่นที่หมักโดยใช้ข้าวพันธุ์ลอย, กข6 และขาวดอกมะลิ105 ที่ระดับการขัดสีที่ 0(ข้าวกล้อง) 1และ 2

พันธุ์ข้าว	คะแนนความชอบด้านกลิ่น		
	ระดับที่ 0	ระดับที่ 1	ระดับที่ 2
ลอย	3.2 ± 2.04 ^{ab}	2.4 ± 1.50 ^{b}	2.6 ± 1.90 ^{b}
กข6	3.8 ± 1.93 ^{b}	4.4 ± 1.96 ^{a}	4.4 ± 1.90 ^{a}
ขาวดอกมะลิ105	3.0 ± 1.57 ^{ab}	3.4 ± 1.71 ^{ab}	3.7± 1.83 ^{ab}

หมายเหตุ: a,b,...ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในสดมภ์และในแถวเดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P≤ 0.05)

ผลการประเมินคุณภาพของไวน์ข้าวด้านการยอมรับของผู้บริโภค แสดงในตารางที่ 4.16 พบว่าข้าวพันธุ์ลอยที่ระดับการขัดสีที่ 0 1 และ 2 ไม่มีความแตกต่าง (P>0.05) ข้าวพันธุ์กข6 ที่ระดับการขัดสีที่ 1 และ 2 มีคะแนนการยอมรับสูงกว่า ที่ระดับการขัดสีที่ 0 (P≤ 0.05) ข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ105 ที่ระดับการขัดสีที่ 1มีคะแนนการยอมรับสูงกว่า ที่ระดับการขัดสีที่ 0 และ 2 (P≤ 0.05) ระหว่างการขัดสีของไม่มีความแตกต่างระหว่างการขัดสีของ กข6 และ ขาวดอกมะลิ105 (P>0.05) ส่วนที่ระดับการสีที่ 0 มีคะแนนความชอบด้านการยอมรับของผู้บริโภคไม่ความแตกต่างกัน (P>0.05) และที่ระดับการขัดสีที่ 1 และ2 พบว่าข้าวพันธุ์กข6 มีคะแนนความชอบด้านกลิ่นมากกว่าข้าวพันธุ์ลอยและขาวดอกมะลิ105 (P≤ 0.05)

ตารางที่ 4.16 ผลการประเมินการยอมรับของไวน์ข้าวที่หมักโดยใช้ข้าวพันธุ์ลอย กข6 และขาวดอกมะลิ105 ที่ระดับการขัดสีที่ 0(ข้าวกล้อง) 1และ 2

พันธุ์ข้าว	คะแนนความชอบด้านการยอมรับ		
	ระดับที่ 0	ระดับที่ 1	ระดับที่ 2
ลอย	1.9 ± 1.28 [c]	2.1 ± 1.10 [c]	1.8 ± 1.03 [c]
กข6	1.9 ± 1.52 [c]	4.7 ± 1.70 [a]	4.3 ± 2.06 [a]
ขาวดอกมะลิ105	1.7 ± 1.06 [c]	2.9 ± 1.91 [b]	2.1± 1.10 [c]

หมายเหตุ: a,b,...ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในสดมภ์และในแถวเดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

ผลการประเมินคุณภาพด้านกลิ่นและการยอมรับของผู้บริโภค พบว่าไวน์ข้าวที่ได้จากการหมักโดยใช้ข้าวพันธุ์กข6 ที่ระดับการขัดสีที่ 1 และ 2 ได้รับการยอมรับสูงที่สุด อาจเนื่องจากองค์ประกอบทางเคมี ซึ่งพบว่ามีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์และค่าของแข็งของการละลายสูง ทำให้ได้คะแนนด้านกลิ่นและการยอมรับของผู้บริโภคสูง ผู้บริโภคได้ให้ความเห็นเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์ไวน์ข้าวที่หมักได้จากข้าวพันธุ์ลอย ขาวดอกมะลิ 105 ที่ระดับการขัดสีที่ 0 1 และ 2 ไวน์ข้าวพันธุ์กข6 ที่ระดับการขัดสีที่ 0 ซึ่งมีคะแนนการยอมรับของผู้บริโภคต่ำว่า มีรสจืด ได้รับรสเฉพาะแอลกอฮอล์เพียงอย่างเดียว ไม่มีความสมดุลของรสชาติระหว่างกรด แอลกอฮอล์ และ น้ำตาล นอกจากนั้นผู้บริโภคส่วนใหญ่ส่วนใหญ่จะคุ้นเคยกับรสชาติของไวน์ข้าวที่มีขายในท้องตลาดซึ่งมีรสหวาน

ในงานวิจัยนี้ประเมินคุณภาพของไวน์ข้าว โดยวิธี Hedonic test ซึ่งเป็นการวัดความชอบทางด้านกลิ่นและความชอบโดยรวมของผู้ทดสอบ 10 คน แต่ถ้าต้องการทราบความแตกต่างทางด้านกลิ่นและความชอบโดยรวมของตัวอย่างไวน์ข้าวที่หมักโดยใช้ข้าวต่างพันธุ์ต่างระดับการสี ควรใช้วิธี Scoring test และผู้ที่ทดสอบควรมีความชำนาญและต้องผ่านการฝึกฝนมาแล้วเป็นอย่างดี ในงานวิจัยของ Lee และคณะ (2006) ได้ศึกษาการพัฒนาการผลิตไวน์โดยใช้องุ่นสายพันธุ์ *Vitis labrusca* และมีการทดสอบทางด้านประสาทสัมผัสโดยใช้ผู้ทดสอบซึ่งเรียนด้านไวน์มาโดยตรง 9 คน และต้องผ่านการฝึกฝนโดยมีตัวอย่างของสารที่เป็นมาตรฐานของกลิ่นรสนั้นๆให้ทดสอบก่อน เช่น ความฝาดเฝื่อนมีสารมาตรฐานเป็น 1 กรัมของอลูมิเนียมซัลเฟตในน้ำกลั่น 1 ลิตร ความหวานมีสารมาตรฐานเป็น 2 กรัมของน้ำตาลซูโครส ในไวน์ 1 ลิตร ความเปรี้ยวมีสารมาตรฐานเป็น 2 กรัมของกรดซิตริก ในไวน์ 1 ลิตร กลิ่นยีสต์มีสารมาตรฐานเป็น 0.5 กรัมของยีสต์เลี้ยงในสารละลายน้ำตาล 100 มิลลิลิตร กลิ่นผลไม้มีสารมาตรฐานเป็น องุ่น 5 ผลผสมกับน้ำองุ่น 20 มิลลิลิตรและผสมกับน้ำลูกแพร์ 10 มิลลิลิตร ในไวน์ 100 มิลลิลิตร เป็นต้น (Lee *et al.*, 2006)

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

ในการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของข้าวพันธุ์ลอย กข6 และ ขาวดอกมะลิ105 ที่ระดับการขัดสีที่ 0 1 และ 2 ก่อนนำไปผลิตไวน์ข้าว พบว่ามีความแตกต่างกัน ($P \leq 0.05$) โดยปริมาณไขมัน มีแนวโน้มลดลงเมื่อระดับการขัดสีที่สูงขึ้น ปริมาณโปรตีน เถ้า และเส้นใย ในข้าวที่ระดับการขัดสีที่ 0 (ข้าวกล้อง) มีปริมาณสูงกว่าข้าวที่ระดับการขัดสีที่1 และ 2 ปริมาณคาร์โบไฮเดรตมีแนวโน้มจะสูงขึ้นเมื่อระดับการขัดสีที่เพิ่มขึ้น ส่วนปริมาณแอมีโลส จะแตกต่างกันตามพันธุ์ข้าว ข้าวพันธุ์ลอยเป็นข้าวแอมีโลสสูง ข้าวพันธุ์กข6 เป็นข้าวเหนียวแอมีโลสต่ำมาก และข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ105 เป็นข้าวแอมีโลสต่ำ นำข้าวทั้งสามพันธุ์มาเป็นวัตถุดิบในการผลิตไวน์ข้าวโดยใช้ *Amylomyces rouxii* TISTR 3128 และ *Saccharomyces cerevisiae* TISTR 5049 ในขั้นตอนแรกจะนำข้าวที่ได้มานึ่ง ลักษณะข้าวสุกของแต่ละพันธุ์จะมีความแตกต่างกัน ข้าวพันธุ์ลอยมีลักษณะร่วนแข็ง ข้าวกข6 มีลักษณะเหนียวนุ่ม และขาวดอกมะลิ105 มีลักษณะอ่อนนุ่ม ซึ่งส่งผลต่อการย่อยข้าวให้เป็นน้ำตาลโดยเชื้อรา พิจารณาจากค่าของแข็งของการละลาย($^{\circ}$Brix) และปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ พบว่าในวันที่ 0 ของการหมักเมื่อใช้ข้าวที่มีแอมีโลสต่ำจะมีปริมาณสูงกว่าข้าวแอมีโลสสูง ในขั้นตอนการย่อยข้าวให้เป็นน้ำตาลนั้นทำได้โดยการหมักข้าวนึ่งโดยราเป็นเวลา 5 วัน หลังจากนั้นเติมน้ำต้มสุก 2 ลิตร แล้วเติมยีสต์ที่ความเข้มข้น $10^{5} - 10^{6}$ เซลล์/มิลลิลิตร หมักต่ออีก 14 วัน ระหว่างนั้นวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี พบว่าปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ และค่าของแข็งของการละลายจะลดลงตามระยะเวลาในการหมัก ในขณะที่ปริมาณแอลกอฮอล์จะสูงขึ้นตามระยะเวลาในการหมัก ในข้าวทุกพันธุ์ที่ระดับการขัดสีที่ 0 (ข้าวกล้อง) มีการผลิตแอลกอฮอล์และการใช้น้ำตาลรีดิวซ์ในอัตราสูง คือเมื่อหมักแล้วใช้น้ำตาลหมดในวันที่ 2 ของการหมักและผลิตแอลกอฮอล์ได้อย่างรวดเร็ว ปริมาณกรดที่ได้ก็จะเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาในการหมัก ส่วนค่าความเป็นกรด-ด่างที่ได้จะลดลงใน 2 วันแรกจากนั้นจะค่อนข้างคงที่ ซึ่งค่าความเป็นกรด-ด่างในข้าวกล้องจะมีค่าสูงกว่าข้าวที่มีระดับการขัดสีที่ 1 และ 2 เมื่อการหมักสิ้นสุดในวันที่ 14 จึงเก็บตัวอย่างมาวิเคราะห์ปริมาณเอสเทอร์และฟูเซลออยล์ที่ได้ พบว่า ปริมาณฟูเซลออยล์ และสารประกอบเอสเทอร์ที่วิเคราะห์ ได้ไม่มีความสัมพันธ์กับระดับการขัดสีข้าว เมื่อนำมาทดสอบประสาทสัมผัสด้านกลิ่นและการยอมรับของผู้บริโภคพบว่า ไวน์ข้าวที่หมักจากข้าวพันธุ์ กข6 ที่ระดับการขัดสีที่ 1 และ 2 ได้รับคะแนนความชอบสูงที่สุดทั้งในด้านกลิ่น และ การยอมรับ

ในงานวิจัยนี้มีข้อเสนอแนะขางประการเกี่ยวกับการศึกษาเรื่องกลิ่นรสของเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ว่าต้องมีการควบคุมปัจจัยต่างๆ เป็นอย่างดี เช่น อุณหภูมิในการหมัก เชื้อยีสต์ ถังหมัก

เป็นต้น เนื่องจากการศึกษาเรื่องกลิ่นรสค่อนข้างจะละเอียดอ่อนและแปรผันไปตามปัจจัยต่างๆได้ง่าย ดังนั้นในการศึกษาต่อไป อุณหภูมิที่ใช้ในการหมักควรอยู่ระหว่าง 13 -15 องศาเซลเซียส เพราะมีผลโดยตรงต่อเซลล์ยีสต์ในการผลิตสารประกอบเอสเทอร์ ในขั้นตอนการทดสอบประสาทสัมผัสควรใช้ผู้ที่เชี่ยวชาญโดยเฉพาะเรื่องกลิ่นมาทดสอบเพื่อแยกแยะความแตกต่าง ในการศึกษาในครั้งนี้จะพบว่าผู้ทำการทดสอบจะมีแนวโน้มการให้คะแนนสูงในตัวอย่างที่มีปริมาณน้ำตาลสูง ประเด็นที่น่าสนใจอีกประการหนึ่งคือ ในการย่อยข้าวกล้องด้วยราในวันที่ 0 ของการหมัก จากผลการทดลองนี้ตรวจพบแอลกอฮอล์เกิดขึ้นในขั้นตอนนี้ซึ่งยังไม่มีการเติมยีสต์ ซึ่งอาจเกิดจากความแตกต่างขององค์ประกอบทางเคมีระหว่างข้าวกล้องกับข้าวขาว ทั้งนี้ยังเป็นเพียงสมติฐานเท่านั้น เนื่องจากข้อมูลเกี่ยวกับ *Amylomyces rouxii* TISTR 3128 มีอยู่น้อยมาก ดังนี้สำหรับการพัฒนาการผลิตแอลกอฮอล์โดยใช้ *Amylomyces rouxii* TISTR 3128 ร่วมกับยีสต์ต่อไปควรมีการศึกษาเพิ่มเติมเนื่องจากสามารถหมักแอลกอฮอล์ให้ได้ปริมาณสูงและรวดเร็ว

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

กรมวิชาการเกษตร.2545.คุณภาพข้าวและการทดสอบข้าวปนในข้าวหอมมะลิไทย. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพ: 3 น.

กองโครงการและประสานงานวิจัย สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ. 2547. เอกสารประกอบการสัมมนาเผยแพร่งานวิจัยเรื่อง"การพัฒนาคุณภาพไวน์จากผลิตผลทางการเกษตรเพื่อการส่งออก" ณ โรงแรมมิราเคิล แกรนด์ กรุงเทพ วันที่ 9 กันยายน 2547

กุณฑลี ไกรธรรมจิตกุล . 2547. การศึกษาปัจจัยของสายพันธุ์ข้าวที่มีผลต่อกลิ่นและรสที่ดีของสาโทซึ่งผลิตจากข้าวเหนียวดำเปรียบเทียบกับที่ผลิตจากข้าวเหนียวขาว.โครงการการเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์.ภาควิชาจุลชีววิทยา .คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิยาลัย กรุงเทพฯ.

งามชื่น คงเสรี, พูนศรี สว่างจิตร, สุนันทา วงศ์ปิยชน, อัญชลี คร้ามศรี และ ประนอม มงคลบรรณจง. 2531. ผลการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนต่อคุณสมบัติการหุงต้มและรับประทานของข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ105. ผลงานวิจัยปี2531. ศูนย์วิจัยข้าวปทุมธานี. สถาบันวิจัยข้าว.

งามชื่น คงเสรี.2539. คุณภาพข้าวสารและข้าวสุก. เอกสารประกอบการบรรยายและสัมมนาเรื่อง "ข้าวกับคน" ของสมาคมโรงสีข้าวไทย ณ โรงแรมรีเจ้นท์ ชะอำ เพชรบุรี วันที่ 24 สิงหาคม 2539: 233 น.

นฤมล เชี่ยวช่องชัย ธนิดา ฉั่วเจริญ และ นันท์รังสี สงวนทรัพย์เจริญ. 2545. ระดับการขัดสีเมล็ดข้าวเหนียวที่มีผลต่อกลิ่นรสของไวน์ข้าว. โครงการการเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์. ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร. คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิยาลัย กรุงเทพฯ .

นภา โล่ห์ทอง. 2535. กล้าเชื้อหมักและเทคโนโลยีการผลิต.กรุงเทพฯ. ฟันนี่พลับลิชชิ่ง.

บุญลักษณ์ วงศ์สุทธาชิน, ชอบ คณะฤกษ์, งามชื่น คงเสรี, เครือวัลย์ อัตตะวิริยะสุข และ อัมพวัน สิมะตรัย. 2517. อิทธิพลของปุ๋ยไนโตรเจน และอัตราต่างๆต่อคุณภาพเมล็ดข้าว. รายงานผลการทดลองและวิจัย กรมวิชาการเกษตร. ทะเบียนวิจัยเลขที่ กกข IX-1(5)

ปราโมทย์ ธรรมรัตน์ . 2533. การควบคุมขบวนการหมักส่าข้าวและส่าแดง. การสัมมนาควบคุมการหมักและวิเคราะห์เครื่องดื่มที่มีแอลกอฮอล์.กรมสรรพสามิตกระทรวงการคลัง กรุงเทพฯ.

พระราชบัญญัติสุรา. 2543. สามิตรสาร.61:1-10.

ไพบูลย์ ด่านวิรุทัย และ พัฒนา เหล่าไพบูลย์. 2548. การตรวจสอบและวิเคราะห์ไวน์ผลไม้. ไวน์ผลไม้และสาโทผลิตด้วยความมั่นใจได้อย่างไร. ขอนแก่น. โรงพิมพ์คลังนานาวิทยา: 159-162

มนตรี เชาว์สังเกตุ. 2521. การคัดเลือกสายพันธุ์ยีสต์และราเพื่อใช้ผลิตไวน์ข้าว. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ.

มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน .2546.กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม.กระทรวงอุตสาหกรรม

วรรัตน์ โชติวรรณพร. 2539. การผลิตไวน์ข้าวเหนียวดำโดยการหมักด้วยเชื้อบริสุทธิ์. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์การอาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ.

สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย. 2547. เอกสารประกอบการสัมมนาเรื่อง "การผลิตหัวเชื้อลูกแป้งสาโท" ณ ห้องประชุมชั้น 1 อาคารวิจัยและพัฒนา 1 เทคโนธานี คลองห้า จ.ปทุมธานี วันที่ 30 พฤษภาคม 2547.

สุนันทา วงศ์ปิยชน.2538. การใช้ประโยชน์จากข้าวสำหรับการผลิตไวน์ข้าวและวิสกี้. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ.

อรอนงค์ นัยวิกุล .2547. ข้าว วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. กรุงเทพฯ. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ .

อุลัยวรรณ์ อุสันสา. 2546. ผลของอุณหภูมิการหมักแอลกอฮอล์ต่อกลิ่นรสของไวน์แดง. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต. สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพ. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

Amerine, M.A. and Ough, C.S.1979. Wine and Must Analysis. John Wiley and sons., Inc.

Antonelli, A., Castellari, L., Zambonelli, C. and Carnacini, A. 1999. Yeast influence on volatile composition of wines. J. Agric. Food Chem. 47 (3): 1139-1144.

A.O.A.C. 1995. Official Method of Analysis.15th ed., Association of official analytical chemist, Washington, D.C.1298.

Bechtel, D.W. and Pomerage Y.1978. Ultrastructure of the natural ungerminated rice(*Oryza sativa*) caryopsis. The starchy endosperm. Am. J. Bot. 65: 684-690

Berry, D.R, Russell, I, Stewart, G.G, 1987. Yeast Biotechnology. London: Allen and Urwin.

Boulton, C. and Quain,D . 2001 . Brewing Yeast and Fermentation .London: Blackwell science

Boulton, B. R., Singleton, L. V., Bisson, F. L. and Kunkee, E. R. 1996 . Principles and Practices of Winemaking. New York: Chapman & Hall.

Crowell, E.A., Guymon, J.F. and Ingraham, J.L., 1961. Techniques for studying the mechanism of higher alcohol formation by yeasts. Am. J. Enol. Viticul. 12: 111-116.

Delfini, C. and Formica, J.V. 2001. Wine Microbiology Science and Technology. New York: Pekker

Dung, N.T.P., Rombouts, F.M., Nout, M.J.R. 2005. Development of defined mixed–culture fungal fermentation starter granulate for controlled production of rice wine. Innovation Food Science and Engineering Technologies.

Ellis, J.J., Rhodes, L.J. and Hesseltine, C.W. 1976. The genus Amylomyces. Mycologia. 68: 131-143.

Fukuda, K., Yamamoto, N., Kiyokawa, Y., Yanagiuchi, T., Wakai,Y., Kitamoto, K., Inoue, Y. and Kimura, A. 1998. Balance of activities of alcoholacetyltransferase and esterase in *Saccharomyces cerevisiae* is important for production of isoamyl acetate. Appl. Envir. Micro. 64: 4076-4078

Heineman, R.J.B., Fagundes, P.L., Pinto, E.A., Penteado, M.V.C. and Lanfer- Marquez, U.M. 2005. Comparative study of nutrient composition of commercial brown, parboiled and milled rice from Brazil. J. of Food Composition and Analysis. 18: 287 – 296.

Herry, R.J. and Kettlewell, P.S. 1996. Cereal Grain Quality. 1st edition. London. Chapman&Hall: 448.

Hoseney, R.C. 1994. Principles of Cereal Science and Technology. 2 nd ed., Minnesota: American association of cereal chemists Inc., USA.

Juliano, B.O.1985. Criteria and tests for rice grain qualities. In B.O. Juliano (ed.), Rice Technology and Technology, 2 nd ed., Minnesota: American association of cereal chemists Inc., USA.

Juliano, B.O.1979. The Chemical basis of grain quality. Proc. Workshop Chem. Aspects of Grain Quality. Intern.Rice Res. Ins., Los Banos, Laguna, Philippines: 69-90.

Juliano, B.O.1979. Amylose analysis in rice . A review in :Proc. Workshop Chem. Aspects of Rice Grain Quality: 254-260.

Juliano, B.O.1972. The rice caryopsis and its composition. In D.F.Houston (ed.). Rice Chemistry and Technology . American association of cereal chemists Inc., USA: 16-74.

Juliano, B.O.1971. A simplified assay for milled-rice amylose. Cereal Sci. Today. 16:334-340

Juliano, B.O.1993. Rice in Human Nutrition. FAO Food and Nutrition Series, No. 26. The International Research Institute (IRRI). Laguna. Food and Agricultural Organization of the United Nations (FAO). Rome.

Juliano, B.O., Cagampeng, G.B., Cruz, L.J. and Santiago, R.G. 1964. Some physiochemical properties of rice in Southeast Asia. Cereal Chem. 41: 275-289

Killian, E. and Ough, C. S. 1979. Fermentation esters - formation and retention as affected by fermentation temperature. Am. J. Enol. Vitic. 30: 301-305.

Kodama, K.1970. Sake yeast. In A.H. Rose and J.S. Harrison (eds.). The Yeast. Vol.3. London: Academic Press.

Lee, S.J., Lee, J.E., Kim, H.W., Kim, S.S. and Koh, K.H. 2006. Development of Korean red wines using *Vitis labrusca* varieties: instrumental and sensory characterization. Food Chemical . 94:385-393.

Lewis, M.J. and Young, T.W. 1995. Fermentation biochemistry. Brewing. London: Academic Press

Luh, B.S. 1991 . Properties of the rice. Rice Production . Vol.1. 2 nd ed. New York: An AVI Book

Miller, G.L.1959. Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugar. Analytical Chem, 31(3):426-428

Nykänen, L. 1986. Formation and occurrence of flavour compounds in wine and distilled alcoholic beverages. Am. J. Enol. Vitic. 37(1): 84-97.

Paltt, G.C.1987. Fermented Foods of the World. U.K: Butterworths

Peinado, R.A., Moreno, J., Bueno, J.E., Moreno, J.A. and Mauricio, J.C. 2004. Comparative study of aromatic compounds in two young white wines subjected to pre-fermentative cryomaceration. Food Chemical. 84, 585-590

Pomeranz, Y., and Ory, R.L. 1982. Rice processing and utilization. In I.A. Wolff (ed.), Handbook of Processing and Utilization in Agriculture. Vol.2 .FL: CRC Press.

Rapp, A. and Mandery,G. 1986. Wine aroma. Experientia. 42: 873-880.

Reed, G. and Nagodawithana, T.W. 1991. Yeast Technology. New York: Van Nostrand Reinhol Publishing

Reed, G. and Peppler, H.J., 1973. Yeast Technology. UK: The AVI Publishing company INC.

Ribéreau-Gayon, P., Dubourdieu, D., Donéche, B. and Lonvaud, A. 2000. Handbook of Enology .Vol. 1. Chicheter: John Wiley and sons., Inc.

Ribéreau-Gayon, P., Glories, Y., Maujean, A. and Dubourdieu, A. 2000. Handbook of Enology .Vol. 2. Chichester: John Wiley and sons., Inc.

Rocha, S.M., Rodrigues, F., Coutinho, P., Delgadillo, I. and Coimbra, M.A. 2004. Volatile composition of Baga red wine: Assessment of the identification of the would-be impact odourants. Anal. Chim. Acta. 513: 257-262.

Rose, A.H.1977. Economic Microbiology . Vol.1. London: Academic Press.

Selli, S., Cabaroglu, T. and Canbas, A. 2004. Volatile flavors components of orange juice obtained from the *cv*. Kozan of Turkey. J. Food Comp. Anal. 17: 789-796.

Sirisantimethakon, L., Laopaiboon, L., Thanonkea, P., Danviruthai, P., and Laopaiboon, P., 2005. Volatile, acid and glycerol components of sato. Proceeding of 1st international conference on fermentation for value added agricultural products. Khon Kean, Thailand: Fermentation for value added agricultural products (FerVAAP), Khon Kean University

C.R., Silva, L.P. and Fagundes, C.A.A. 2005. Categorizing rice cultivars based on differences in chemical composition. J. Food Composition and Analysis.18:333-341.

Taniguchi, M., Kamihira, M. and Kobayashi, T. 1987. Effect of treatment with supercritical carbondioxide on enzymatic activity .J. Agr. Biol. Chem. 51(2): 593-594.

Tester, S.H.and Morrison, W.A.1990. Swelling and gelatinization of cereal starchs. Effect of amylopectin, amylase, and lipids. J. of Cereal Chem. 67: 551-557.

Teramoto, Y., Saigusa, N.,Ueda, S. and Yakisawa, K.1990. Effect of cooking process on the characteristics of aromatic red rice wine. J. of the Institute of Brewing. 100(3):1482 - 1489.

Ueki, T., Teramoto, Y., Ohba, R., Ueda, S., and Yoshizawa, K. 1991. Application of aromatic red rice bran to rice wine brewing: studies on red rice wine brewing (part 2). J. Fermentation and Bioengineering. 72(1): 31-35

Vianna E. and Ebeler E. S. (2001). Monitoring ester formation in grape juice fermentations using solid - phase microextraction coupled with gas chromatography-mass spectrometry. J. Agric. Food Chem. 49: 589-595.

Weiser, S.H., Mountney, G.J. and Gould, W.A. 1978. Food Microbiology. The AVI Publishing : Connecticut.

Yamada, M., Katsume, H., Urano, T., Iwachita, N., and Shirai, M., 1935. Rep. Jap.Govt Inst. Brew. 122: 157-158.

Yoshizawa, K. 1985. Rice in brewing. In B.O.Juliano (ed.). Rice Chemistry and Technology. 2nd ed., American association of cereal chemists Inc., USA

Yoshioka, K. and Hashimoto, N., 1983. Cellular fatty acid and ester formation by brewers' yeast. Agr. Biol. Chem. 47(10): 2287-2294.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

วิธีวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของข้าว

ก.1 การวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน (ดัดแปลงจาก AOAC, 1995 section 32.2.03)

อุปกรณ์

1. ชุดวิเคราะห์โปรตีน (ยี่ห้อ BUCHI ประกอบด้วย digestion unit รุ่น K-424, distillation unit รุ่น B-324, scrubber รุ่น B-414)
2. เครื่องชั่งละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง(Mettler Toledo รุ่น AB204)

สารเคมี

1. กรดซัลฟูริกเข้มข้น (A.R. grade)
2. สารละลายมาตรฐานกรดไฮโดรคลอริค (A.R. grade) ความเข้มข้น 0.1 N
3. สารละลายกรดบอริก(A.R. grade) ความเข้มข้น 4%(w/v)
4. selenium reagent mixture (A.R. grade)
5. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์(A.R. grade) ความเข้มข้น 35%(w/v)
6. สารละลายอินดิเคเตอร์ เตรียมโดยผสมสารละลายเมทิลลีน บลู 0.2% ในแอลกอฮอล์ แล้วกรอง 25 มิลลิลิตรกับสารละลาย เมทิล เรด 0.2% ในแอลกอฮอล์ 50 มิลลิลิตร

วิธีวิเคราะห์

1. ชั่งตัวอย่างที่ทราบน้ำหนักที่แน่นอน ประมาณ 1-2 กรัม ลงในหลอดย่อยโปรตีน
2. เติม selenium reagent mixture ซึ่งใช้เป็นสารเร่งปฏิกิริยา (catalyst) ประมาณ 5 กรัม และเติมกรดซัลฟูริกเข้มข้น 20 มิลลิลิตร
3. นำตัวอย่างไปย่อยด้วยเครื่องBUCHI digestion unit โดยใช้ความร้อนเบอร์ 8 และปิดฝาด้านบนที่ต่อเข้ากับเครื่องดูดไอกรด(scrubber) ย่อยตัวอย่างจนส่วนผสมในหลอดย่อยกลายเป็นสีเขียวใส ทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง
4. นำฟลาสก์ขนาด 500 มิลลิลิตร ที่หยดสารละลายอินดิเตอร์ 2-3 หยด ต่อเข้ากับปลาย condenser ของเครื่องกลั่น (distillation unit)
5. นำตัวอย่างที่ผ่านการย่อยต่อเข้ากับเครื่องกลั่นเลือกโปรแกรมการกลั่นโดยตั้งโปรแกรมดังต่อไปนี้

NaOH	60 ml
Boric acid	50 ml
H_2O	50 ml

Time 5 min

6. ในระหว่างการกลั่นจะเกิดแอมโมเนียเกิดขึ้น แอมโมเนียที่เกิดขึ้นจะถูกจับไว้ด้วยสารละลายกรดบอริก จะได้สารละลายสีเขียวเมื่อกลั่นครบตามกำหนดเวลา
7. ล้างส่วนปลายของ condenser ด้วยน้ำกลั่นใส่ลงในฟลาสก์ที่รองรับสิ่งที่กลั่นได้
8. นำสารละลายที่กลั่นได้ในฟลาสก์ทั้งหมดมาไทเทรตด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริกมาตรฐาน ความเข้มข้น 0.1 N จนถึงจุดยุติ (end point) เป็นสีม่วง
9. ทำ blank โดยไม่ต้องใส่ตัวอย่าง โดยวิเคราะห์เช่นเดียวกับตัวอย่าง
10. คำนวณหาปริมาณโปรตีน

$$\text{ปริมาณโปรตีน (\%)} = \frac{(Va-Vb) \times N \times 1.4 \times CF}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง(กรัม)}}$$

เมื่อ Va คือ ปริมาตรของกรดไฮโดรคลอริคที่ใช้ไทเทรตตัวอย่าง (มิลลิลิตร)

Vb คือ ปริมาตรของกรดไฮโดรคลอริคที่ใช้ไทเทรตblank (มิลลิลิตร)

N คือ ความเข้มข้นของกรดไฮโดรครอริคที่ใช้ไทเทรต มีหน่วยเป็น Normal

CF คือ conversion factor สำหรับเปลี่ยนไนโตรเจนให้เป็นโปรตีน (ในการทดลองใช้ 5.95)

ก.2 การวิเคราะห์ปริมาณไขมัน (ดัดแปลงจาก AOAC, 1995 section 32.1.13)

<u>อุปกรณ์</u>

1. ชุดสกัดไขมันแบบ Soxhlet (ประกอบด้วย ขวดก้นกลม, soxhlet, เครื่องcooling และเครื่องให้ความร้อน ยี่ห้อ Gerhardt)
2. Thimble
3. ตู้อบลมร้อน(Hot air oven; WTB Binder รุ่น E53)
4. เครื่องชั่งละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง(Mettler Toledo รุ่น AB204)
5. โถดูดวามชื้น
6. เครื่องระเหย(Evaporation; EYELA ประกอบด้วย rotary vacuum evaporator รุ่น N-N series, digital water bath รุ่น BS-651, aspirator รุ่น A-35 และ cooling age รุ่น CA-1111)

<u>สารเคมี</u>

1. Petroleum ether b.p. 40-60 ^{O}C

วิธีวิเคราะห์

1. ชั่งตัวอย่างที่ทราบน้ำหนักแน่นอน ประมาณ 2-3 กรัม แล้วห่อด้วยกระดาษกรอง Whatman No.1 และใส่ห่อตัวอย่างใน thimble
2. นำ thimble ที่มีตัวอย่างใส่ในชุดสกัดไขมันแบบ soxhlet (ขวดก้นกลมหาน้ำหนักก่อนโดยการนำไปอบที่ตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 100-105 องสาเซลเซียส นาน 1 ชั่งโมงแล้วทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น จากนั้นชั่งน้ำหนักของขวดก้นกลม) แล้วเติมปิโตรเลียมอีเทอร์ลงไป 200 มิลลิลิตร
3. สกัดไขมันเป็นเวลานาน 3-5 ชั่วโมง
4. นำขวดก้นกลมที่ผ่านการสกัดไขมันแล้วไประเหยปิโตรเลียมอีเทอร์ออกโดยใช้เครื่องระเหย (ตั้งค่าของ ไว้ที่ 60 องศาเซลเซียส)
5. นำขวดก้นกลมที่ได้ไปอบที่อุณหภูมิ 100-105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่งโมง
6. ทิ้งให้เย็นในโถดูดวามชื้น ชั่งน้ำหนักขวดก้นกลมแล้วนำมาคำนวณหาปริมาณไขมัน

$$\text{ปริมาณไขมัน(\%)} = \frac{\text{น้ำหนักของไขมันที่สกัดได้ (กรัม)} \times 100}{\text{น้ำหนักแห้งของตัวอย่าง(กรัม)}}$$

ก.3 การวิเคราะห์ปริมาณเถ้า (ดัดแปลงจาก AOAC, 1995 section 32.1/05)

อุปกรณ์

1. เตาเผา (Muffle furnace, Carbolite รุ่น CWF 1200)
2. ครูซิเบิล(Crusible)
3. เตา(Hot plate)
4. เครื่องชั่งละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง(Mettler Toledo รุ่น AB204)
5. โถดูดความชื้น

วิธีวิเคราะห์

1. ชั่งตัวอย่างที่ทราบน้ำหนักที่แน่นอน 3-5 กรัม ใส่ในครูซิเบิลซึ่งทราบน้ำหนักที่แน่นอนแล้ว
2. นำตัวอย่างไปเผาโดยใช้เตา(hot plate) ในตู้ดูดวัน จนกระทั่งตัวอย่างหมดควัน
3. นำตัวอย่างไปเผาต่อในเตาเผา ที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส นาน 4 ชั่วโมงหรือจนกระทั่งได้เถ้าสีขาว
4. ทิ้งไว้ให้เย็นในตู้ดูดความชื้นเป็นเวลา 1 ชั่วโมง
5. ชั่งน้ำหนักเถ้าที่ได้และคำนวณหาปริมาณเถ้า

$$\text{ปริมาณเถ้า(\%)} = \frac{\text{น้ำหนักตัวอย่างหลังเผา (กรัม)} \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง(กรัม)}}$$

ก.4 การวิเคราะห์ปริมาณเส้นใย (ดัดแปลงจาก AOAC, 1995 SECTION 4.6.02)

<u>อุปกรณ์</u>

1. ครูซิเบิล
2. ตู้อบลมร้อน(Hot air oven, WTB Binder รุ่น E53)
3. เครื่องชั่งละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง(Mettler Toledo รุ่น AB204)
4. เตาเผา (Muffle furnace; Carbolite รุ่น CWF 1200)
5. โถดูดความชื้น
6. เครื่องปั้ม (Aspirator; EYELA รุ่น A-35)

<u>สารเคมี</u>

1. สารละลายกรดซัลฟูริก (A.R. grade) ความเข้มข้น 1.25% (v/v)
2. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (A.R. grade) ความเข้มข้น 1.25% (w/v)
3. เอทิลแอลกอฮอล์ 95%

<u>วิธีวิเคราะห์</u>

1. นำตัวอย่างที่ผ่านการสกัดไขมันแล้วใส่ในบีกเกอร์ขนาด 600 มิลลิลิตร
2. เติมสารละลายกรดซัลฟูริก ความเข้มข้น 1.25% ปริมาตร 200 มิลลิลิตร ลงในบีกเกอร์ ต้มเดือดนาน 30 นาที สังเกตไม่ให้ปริมาตรของสารละลายลดลง หากลดลงปรับปริมาตรโดยใช้น้ำร้อน
3. กรองตัวอย่างที่ถูกย่อยด้วย Buchner funnel ที่กรองด้วยกระดาษกรอง Whatman No.1 โดยใช้ความดันสุญญากาศ 25 มิลลิเมตรปรอท ล้างกากด้วยน้ำร้อนจนหมดฤทธิ์กรด
4. นำกากมาย่อยต่อด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 1.25% ปริมาตร 200 มิลลิลิตร ต้มนาน 30 นาที โดยควบคุมปริมาตรของสารละลายเช่นเดียวกันกับข้อ 2
5. กรองตัวอย่างที่ถูกย่อยด้วย Buchner funnel ที่รองด้วยกระดาษกรอง Whatman No.1 โดยใช้ความดันสุญญากาศ 25 มิลลิเมตรปรอท ล้างกากด้วยน้ำร้อนจนหมดฤทธิ์ด่าง
6. กรองผ่านกระดาษกรอง Whatman No. 42 ที่ทราบน้ำหนักแน่นอนแล้ว
7. ล้างกากที่ได้ด้วยเอทิลแอลกอฮอล์ 95% ปริมาตร 25 มิลลิลิตร 2 ครั้ง
8. นำกากที่ได้ไปอบที่อุณหภูมิ 100-105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่งโมงหรือจนน้ำหนักคงที่
9. ทิ้งให้เย็นที่โถดูดความชื้น ชั่งน้ำหนักจะได้น้ำหนักของตัวอย่างก่อนเผา
10. นำตัวอย่างใส่ในครูซิเบิลแล้วนำไปเผาโดยใช้ hot plate จนหมดควันแล้วจึงนำไปเผาที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส จนได้เถ้าสีขาว

11. ทิ้งไว้ในโถดูดความชื้นเป็นเวลา 1 ชั่งโมง และชั่งน้ำหนักจะได้น้ำหนักตัวอย่างหลังเผา นำมาคำนวณหาปริมาณเส้นใย

ปริมาณเส้นใย(%) = {น้ำหนักตัวอย่างก่อนเผา (กรัม) – น้ำหนักตัวอย่างก่อนเผา (กรัม)} / น้ำหนักตัวอย่างแห้งที่ใช้ในการหาไขมัน(กรัม)

ก.5 การคำนวณปริมาณคาร์โบไฮเดรต

วิธีการคำนวณ

ปริมาณคาร์โบไฮเดรต(%) = 100 – (% โปรตีน + %เถ้า + %เส้นใย + % ไขมัน)

ก.6 การวิเคราะห์ปริมาณแอมีโลส (Juliano, 1971)

อุปกรณ์

1. เครื่องวัดการดูดกลืนแสง(Spectrophotometer, spectronic รุ่น 20 Genesys)
2. เครื่องชั่งละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง(Mettler Toledo รุ่น AB204)
3. อ่างน้ำร้อน(Water bath)

สารเคมี

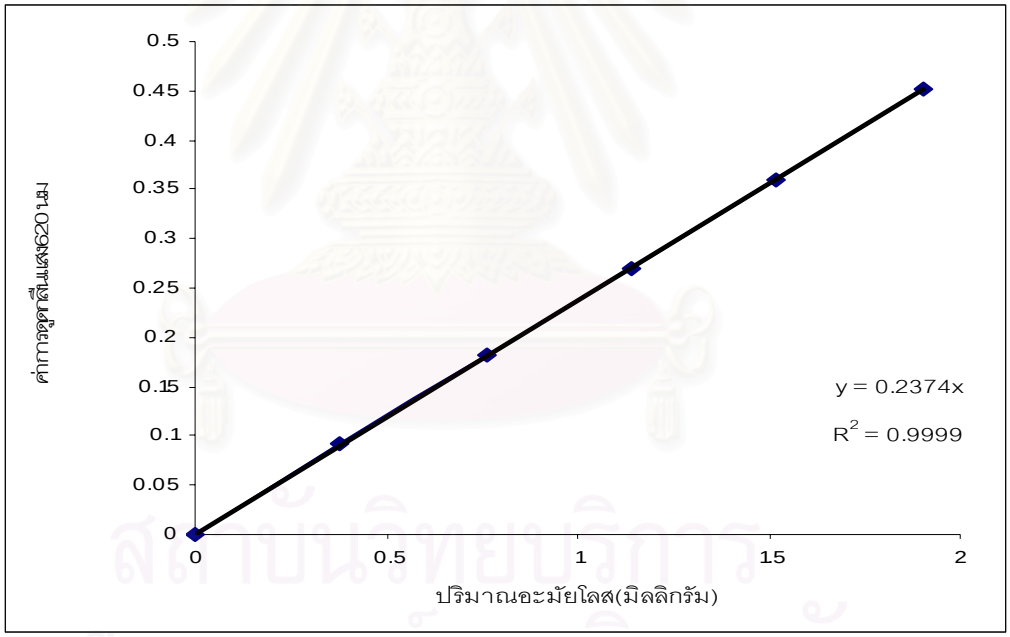
1. แอมีโลสบริสุทธิ์จากมันฝรั่ง
2. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 1 N
3. เอทิลแอลกอฮอล์ 95%
4. สารละลายกรดอะซิติก ความเข้มข้น 1 N
5. สารละลายไอโอดีน เตรียมโดยละลายไอโอดีน 0.2 กรัมและโปแตสเซียมไอโอไดด์ 2 กรัม ในน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร

วิธีวิเคราะห์

การสร้างกราฟมาตรฐาน

1. ชั่งแอมีโลสบริสุทธิ์จากมันฝรั่ง น้ำหนักแน่นอน 0.4 กรัม ใส่ในฟลาสก์ขนาด 50 มิลลิลิตร เติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 1 N ปริมาตร 9 มิลลิลิตร และเอทิลแอลกอฮอล์ 95% ปริมาตร 1 มิลลิลิตร เขย่าให้กัน
2. เตรียม blank โดยเติมสารสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 1 N ปริมาตร 9 มิลลิลิตร และเอทิลแอลกอฮอล์ 95% ปริมาตร 1 มิลลิลิตรใส่ในฟลาสก์ขนาด 50 มิลลิลิตรเขย่าให้เข้ากัน
3. ต้มสารละลายในข้อ 1 และ 2 ในอ่างน้ำเดือด 5-10 นาที ตั้งทิ้งไว้ให้เย็น
4. ชะสารละลายแอมีโลสลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร (ใช้น้ำกลั่นชะเอาสารละลายแอมีโลสออกมาให้มากที่สุด) ปรับปริมาตรให้เป็น 100 มิลลิลิตร โดยใช้น้ำกลั่นเขย่าให้เข้ากัน

5. ปิเปตสารละลายจากข้อ 4 ปริมาตร1, 2, 3, 4 และ 5 มิลลิลิตร ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร 5 ขวด
6. ปิเปตสารละลายกรดอะซิติกความเข้มข้น 1 N ปริมาตร 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 และ 1.0 มิลลิลิตร ลงในขวดวัดปริมาตรทั้ง 5 ใบ ตามลำดับ
7. เติมสารละลายไอโอดีน 2 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรให้เป็น 100 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่นเขย่าให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 20 นาที
8. ชะ blank ลงในขวดวัดปริมาตร ขนาด 100 มิลลิลิตร โดยใช้น้ำกลั่นเขย่าให้กันจากนั้นปิเปตสารละลายมา 5 มิลิลิตร ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลิลิตร เติมสารละลายกรดอะซิติก ความเข้มข้น 1 N ปริมาตร 1 มิลลิลิตร และสารละลายไอโอดีน 2 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรให้เป็น 100 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น เขย่าให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 20 นาที
9. วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 620 นาโนเมตร เปรียบเทียบกับ blank
10. สร้างกราฟมาตรฐานระหว่างการดูดกลืนแสงกับปริมาณแอมีโลสดังภาพที่ ก.1



รูปที่ ก.1 กราฟมาตรฐานที่ใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณแอมีโลส

การวิเคราะห์ปริมาณแอมีโลสในตัวอย่าง

1. ชั่งน้ำหนักที่แน่นอนของตัวอย่าง (ผ่านตะแกรง ขนาด 100 mesh) ประมาณ 100 มิลลิกรัม(0.1 กรัม) ใส่ในฟราสก์ ขนาด 50 มิลลิกรัม
2. เติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 1 N ปริมาตร 9 มิลลิลิตร และเอทิลแอลกอฮอล์ 95% ปริมาตร 1 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน

3. ต้มในอ่างน้ำเดือด 5-10 นาที
4. ชะน้ำแป้งใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร (ใช้น้ำกลั่นชะน้ำแป้งออกให้มากที่สุด) ปรับปริมาตรให้เป็น 100 มิลลิลิตรโดยใช้น้ำกลั่น เขย่าให้เข้ากัน
5. ปิเปตสารละลายในข้อ 4 มา 5 มิลลิลิตร ลงในขวดวัดปริมาตร 100 มิลลิลิตร แล้วเติมสารละลายกรดอะซิติก ความเข้มข้น 1 N ปริมาตร 1 มิลลิลิตร และสารละลายไอโอดีน 2 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรให้เป็น 100 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น เขย่าให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 20 นาที
6. วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 620 นาโนเมตร เปรียบเทียบกับ blank
7. จากค่าการดูดกลืนแสงที่ได้ นำไปอ่านค่าจากกราฟมาตรฐาน แล้วคำนวณหาปริมาณแอมีโลส

$$\text{ปริมาณแอมีโลส(\%)} = \frac{\text{ค่าที่อ่านได้จากกราฟมาตรฐาน} \times 100 \times 20}{\text{น้ำหนักแห้งของตัวอย่าง(กรัม)}}$$

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข

วิธีวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของไวน์ข้าว

ข.1 การวิเคราะห์ปริมาณของแข็งของที่ละลายได้ (Total soluble solid)

วิเคราะห์ปริมาณปริมาณของแข็งของที่ละลายได้โดยใช้ เครื่อง Hand refractometer

ข.2 การวิธีวิเคราะห์หาปริมาณน้ำตาลริดิวซ์โดย DNS- method (Miller, 1959)

อุปกรณ์

1. อ่างน้ำร้อน (Water bath)
2. เครื่องวัดการดูดกลืนแสง(Spectrophotometer, spectronic รุ่น Genesys)

สารเคมี

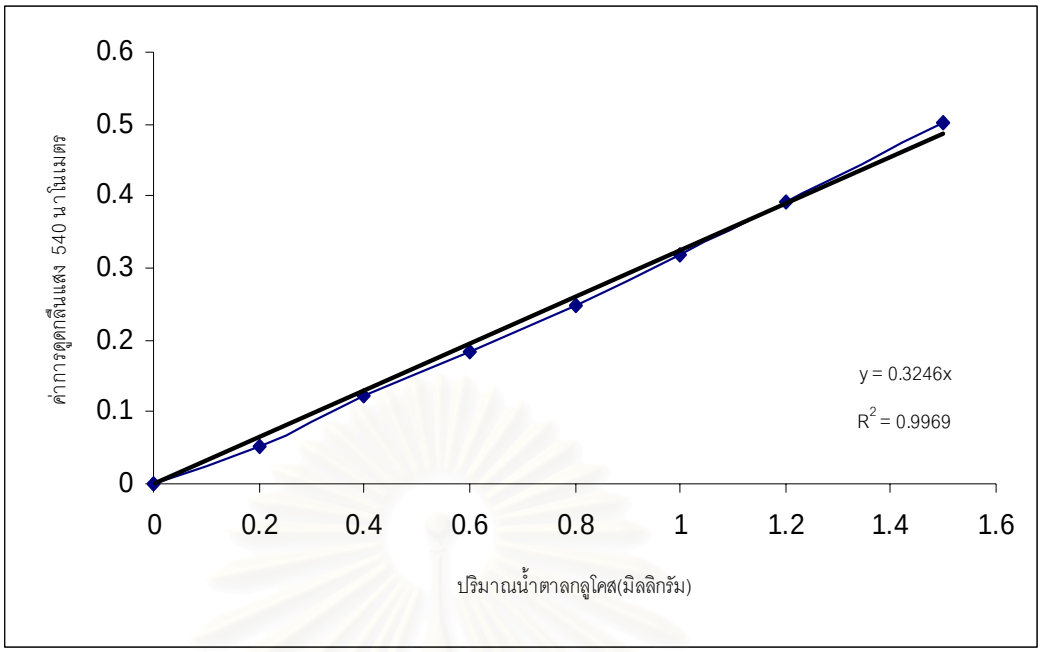
1. DNSA reagent

   โดยละลาย 3, 5 – ไดไนโทรซาลิไซลิก แอซิด จำนวน 20 กรัมในน้ำกลั่น 500 มิลลิลิตร ค่อยๆเติมสารละลายด่าง (โดยละลายโซเดียมไฮดรอกไซม์ 32 กรัม ในน้ำกลั่น 350 มิลลิลิตร) คนให้เข้ากันนำไปอังในอ่างน้ำร้อนจนสารละลายใส แล้วจึงเติม potassium sodium tratate ลงไปทีละน้อยจนครบ 600 กรัม จากนั้นเติมน้ำกลั่นลงไปในสารผสมทั้งหมดให้ครบ 2000 มิลลิลิตร ใส่ขวดมืด และเก็บไว้ในอุณหภูมิห้อง
2. สารละลายกลูโคสมาตรฐาน โดยเตรียมให้มีความเข้มข้นระหว่าง 0-1 มิลลิกรัม/ มิลลิลิตร

วิธีการวิเคราะห์

การสร้างกราฟมาตรฐาน

1. ดูดสารละลายกลูโคสความเข้มข้น 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 และ 1.0 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ใส่ในหลอดทดลองหลอดละ 1 มิลลิลิตร
2. เติมสารละลาย DNSA จำนวน 2 มิลลิลิตร
3. ต้มในน้ำเดือด 5 นาที
4. จากนั้นแช่น้ำแข็ง 5 นาที เติมน้ำกลั่น 20 มิลลิลิตร
5. สำหรับ blank ทำได้โดยดูดน้ำกลั่นจำนวน 1 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดทดลอง เติมสารละลาย DNSA จำนวน 2 มิลลิลิตร ต้มในน้ำเดือด 5 นาทีจากนั้นแช่น้ำแข็ง 5 นาที เติมน้ำกลั่น 20 มิลลิลิตร
6. เขย่าให้เข้ากัน นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความเข้มข้น 540 นาโนเมตร
7. สร้างกราฟมาตรฐานระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับความเข้มข้นของสารละลายกลูโคส (มิลลิกรัม/มิลลิลิตร)



รูปที่ ข.1 กราฟมาตรฐานที่ใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์

การวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์

1. ดูดสารละลายตัวอย่าง 1 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดทดลอง
2. เติมสารละลาย DNSA จำนวน 2 มิลลิลิตร
3. ต้มในน้ำเดือด 5 นาที
4. จากนั้นแช่น้ำแข็ง 5 นาที เติมน้ำกลั่น 20 มิลลิลิตร

เขย่าให้เข้ากัน นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความเข้มข้น 540 นาโนเมตร แล้วนำไปหาปริมาณน้ำตาลเทียบกับกราฟสารละลายมาตรฐานกลูโคส

ข.3 การวิเคราะห์ค่าความเป็นกรด – ด่าง

วิเคราะห์ค่าความเป็นกรด – ด่างโดยเครื่อง pH meter

ข.4 การวิเคราะห์ปริมาณกรดทั้งหมด (Total Titration Acidity) (Amerine and Ough, 1979)

<u>สารเคมี</u>

1. Phenolphthalein เตรียมโดยการผสม ethanol 95% จำนวน 60 มิลลิลิตร กับน้ำกลั่น 40 มิลลิลิตร แล้วใส่ phenolphthalein 1 กรัม

<u>วิธีการวิเคราะห์</u>

1. ดูดสารละลายตัวอย่าง 5 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่น 95 มิลลิลิตร
2. ไทเทรตกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 0.1 N โดยใช้ phenolphthalein เข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์ จำนวน 1 มิลลิลิตร จนได้สารละลายสีชมพูอ่อน

3. อ่านค่าปริมาณสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในการไทเทรต

$$\% \quad TA \text{ (g/ 100 ml. lactic acid)} = \frac{V \times N \times 90 \times 100}{1000 \times v}$$

V = ปริมาตรของงสารละลายโซเดียมไดรอกไซด์ใช้ไทเทรต (มิลลิลิตร)

N = ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นนอร์มัล (N)

v = ปริมาตรของสารตัวอย่างใช้ (มิลลิลิตร) = 5 มิลลิลิตร

90 = มวลโมเลกุลของกรดแลคติก

ข.5 การวิเคราะห์ปริมาณแอลกอฮอล์โดยใช้เครื่อง Ebulliometer

วิธีวิเคราะห์

1. หาจุดเดือดของน้ำ

   เติมน้ำกลั่นบริสุทธิ์ 25 มิลลิลิตร หรือใช้หลอดที่มากับเครื่องมือโดยตรงให้ถึงขีด “EAU” ใส่ลงในส่วน Boiling chamber เสียบเทอร์โมมิเตอร์ ให้ด้านล่างของเทอร์โมมิเตอร์อยู่เหนือน้ำใน boiling chamber ต่อส่วน reflux condenser โดยไม่ต้องเติมน้ำหล่อเย็น จุดตะเกียงแอลกอฮอล์ และวางในตำแหน่งล่างสุดของ boiling chamber ต้มจนกระทั้งน้ำเดือด สังเกตดูจะมีไอน้ำขึ้นจาก chamber ที่ว่าง อ่านอุณหภูมิของน้ำเดือดที่ปรอทขึ้นไปจนอยู่ในระดับที่คงที่ บันทึกค่าอุณหภูมิที่อ่านได้ แล้วดึงเทอร์โมมิเตอร์ออกแล้วเปิดก๊อกน้ำทิ้ง หมุนปรับแผ่นเทียบที่ใช้สำหรับเทียบหาเปอร์เซ็นต์แอลกอฮอล์ซึ่งแนบมากับเครื่อง โดยให้ลูกศรอยู่ตรงตำแหน่งที่อ่านค่าจุดเดือดของน้ำ ซึ่งจะมีค่าเปอร์เซ็นต์แอลกอฮอล์เท่ากับ 0 % ในการวิเคราะห์แต่ละวันควรทำเป็นช่วงๆอย่างน้อย 2-4 ครั้ง

2. หาจุดเดือดของตัวอย่าง

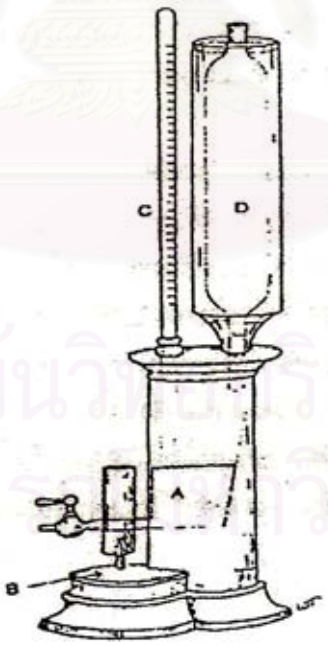
   ใส่ตัวอย่างที่จะวิเคราะห์ปริมาณพอควรลงใน Boiling chamber เพื่อกลั้ว boiling chamber จากนั้นเทตัวอย่างที่กลั้วทิ้ง จากนั้นตวงตัวอย่างที่จะวิเคราะห์จำนวน 50 มิลลิลิตร หรือวัดปริมาตรโดยใช้หลอดที่ให้มากับเครื่อง เติมตัวอย่างให้ถึงขีด “VIN” เทลงใน boiling chamber ต่อ reflux condenser เติมน้ำหล่อเย็นลงไปในส่วน condenser เสียบเทอร์โมมิเตอร์แล้วจุดไฟให้ความร้อนจนกระทั่งตัวอย่างเดือด อ่านอุณหภูมิของตัวอย่างที่ปรอทขึ้นไปอยู่ในระดับที่คงที่ จากนั้นอ่านค่าเปอร์เซ็นต์แอลกอฮอล์ที่ได้กับแผ่นเทียบที่แนบมากับเครื่อง

ตัวอย่างการเทียบหาเปอร์เซ็นต์แอลกอฮอล์เท่าไร

ถ้าอ่านจุดเดือดของน้ำได้เท่ากับ 99.98 ให้หมุนแผ่นเทียบจุดเดือด 99.8 ไปที่ค่าแอลกอฮอล์เท่ากับ 0

ถ้าอ่านค่าจุดเดือดของตัวอย่างได้เท่ากับ 94.5 เปอร์เซ็นต์แอลกอฮอล์ได้ 5.12

รูปที่ ข.2 แผ่นอ่านเปอร์เซ็นต์แอลกอฮอล์



รูปที่ ข.3 ลักษณะของเครื่องอีบูลิโอมิเตอร์ซึ่งมีส่วนประกอบที่สำคัญคือ A: boiling chamber, B: Alcohol lamp, C: Mercury thermometeter และ D: Condensor

ที่มา: ไพบูลย์ ด่านวิรุทับ และ พัฒนา เหล่าไพบูลย์, 2548

ข.6 การวิธีวิเคราะห์หาปริมาณน้ำตาลริดิวซ์โดย DNS- method (Miller, 1959)

<u>อุปกรณ์</u>

1. อ่างน้ำร้อน (Water bath)
2. เครื่องวัดการดูดกลืนแสง(Spectrophotometer, spectronic รุ่น Genesys)

<u>สารเคมี</u>

1. DNSA reagent

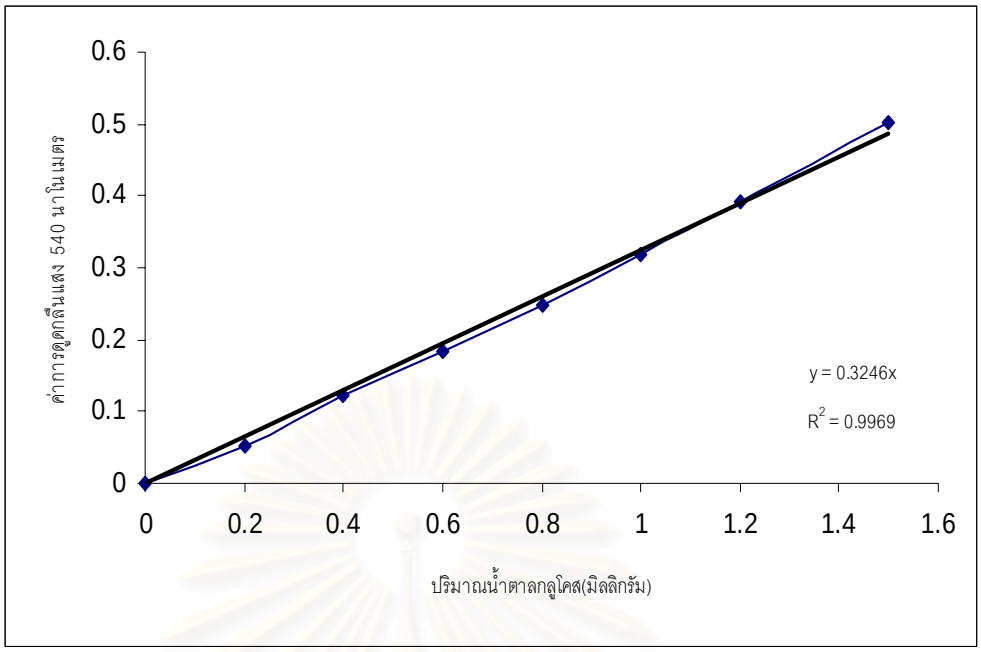
   โดยละลาย 3, 5 – ไดไนโทรซาลิไซลิก แอซิด จำนวน 20 กรัมในน้ำกลั่น 500 มิลลิลิตร ค่อยๆเติมสารละลายด่าง (โดยละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 32 กรัม ในน้ำกลั่น 350 มิลลิลิตร) คนให้เข้ากันนำไปอังในอ่างน้ำร้อนจนสารละลายใส แล้วจึงเติม โซเดียม โพเทสเซียม ทาเทรต ลงไปทีละน้อยจนครบ 600 กรัม จากนั้นเติมน้ำกลั่นลงไปในสารผสมทั้งหมดให้ครบ 2000 มิลลิลิตร ใส่ขวดมืด และเก็บไว้ในอุณหภูมิห้อง
2. สารละลายกลูโคสมาตรฐาน โดยเตรียมให้มีความเข้มข้นระหว่าง 0-1 มิลลิกรัม/ มิลลิลิตร

<u>วิธีการวิเคราะห์</u>

การสร้างกราฟมาตรฐาน

1. ดูดสารละลายกลูโคสความเข้มข้น 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 และ 1.0 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ใส่ในหลอดทดลองหลอดละ 1 มิลลิลิตร
2. เติมสารละลาย DNSA จำนวน 2 มิลลิลิตร
3. ต้มในน้ำเดือด 5 นาที
4. จากนั้นแช่น้ำแข็ง 5 นาที เติมน้ำกลั่น 20 มิลลิลิตร
5. สำหรับ blank ทำได้โดยดูดน้ำกลั่นจำนวน 1 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดทดลอง เติมสารละลาย DNSA จำนวน 2 มิลลิลิตร ต้มในน้ำเดือด 5 นาทีจากนั้นแช่น้ำแข็ง 5 นาที เติมน้ำกลั่น 20 มิลลิลิตร
6. เขย่าให้เข้ากัน นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความเข้มข้น 540 นาโนเมตร
7. สร้างกราฟมาตรฐานระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับความเข้มข้นของสารละลายกลูโคส (มิลลิกรัม/มิลลิลิตร)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ ข.4 กราฟมาตรฐานที่ใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์

การวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์

1. ดูดสารละลายตัวอย่าง 1 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดทดลอง
2. เติมสารละลาย DNSA จำนวน 2 มิลลิลิตร
3. ต้มในน้ำเดือด 5 นาที
4. จากนั้นแช่น้ำแข็ง 5 นาที เติมน้ำกลั่น 20 มิลลิลิตร
5. เขย่าให้เข้ากัน นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความเข้มข้น 540 นาโนเมตร แล้วนำไปหาปริมาณน้ำตาลเทียบกับกราฟสารละลายมาตรฐานกลูโคส

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ค
วิเคราะห์ปริมาณสารประกอบเอสเทอร์ และ ฟูเซลออย

ค.1 วิธีการกลั่นตัวอย่าง

อุปกรณ์

1. เครื่องกลั่นไอน้ำ

รูปที่ ค.1 เครื่องกลั่นไอน้ำ

วิธีการ

1. ใส่ตัวอย่างลงในขวดก้นกลมปริมาตร 100 มิลลิลิตร แล้วเติมน้ำกลั่น 30 มิลลิลิตร
2. กลั่นจนได้ของเหลวปริมาตรประมาณ 90 มิลลิลิตรแล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้เท่ากับ 100 มิลลิลิตร จากนั้นเก็บตัวอย่างที่กลั่นได้ในตู้แช่อุณหภูมิ – 20 องศาเซลเซียส

ค.2 การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบเอสเทอร์ และ ฟูเซลออย โดยใช้เครื่องแก๊สโครมาโทรกราฟฟี

อุปกรณ์

1. เครื่องแก๊สโครมาโทรกราฟฟี ประกอบด้วย GC-17Aยี่ห้อ Shimadzu, Flame ionization detector(FID) ยี่ห้อ Shimadzu, ZB-Wax capillary column ขนาด 30 เมตร x 0.25 มิลลิเมตร x 0.25 ไมโครเมตร ยี่ห้อ Phenomenex
2. ไซริง(Syringe) ขนาด 10 ไมโครลิตร

สารเคมี

1. สารละลายมาตรฐาน (Standard Mixtures) ประกอบด้วย เอทิลอะซิเทต โพรพานอล ไอโซบิวทานอล ไอโซเอมิลอะซิเทต ไอโซเอมิลแอลกอฮอล์ เอทิลคาโพรเอท

เอทิลคาพริเลท เอทิลคาเพรท 2-ฟีนิลเอทิลอะซิเทต และ 2- ฟีนิลเอทิลแอลกอฮอล์ การเตรียมสารละลายมาตรฐานโดยละลายสารมาตรฐานด้วย 80 % แอลกอฮอล์ จากนั้นเตรียมสารละลายมาตรฐานแต่ละตัวให้ได้ความเข้มข้น 3.44 6.88 13.75 27.50 55 110 และ 220 มิลลิกรัมต่อลิตร

2. 80 % แอลกอฮอล์ เป็นตัวทำละลาย
3. สารละลาย internal standard คือ 1-เพนทานอล ที่ความเข้มข้น800 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร

<u>วิธีการวิเคราะห์</u>

การสร้างกราฟมาตรฐาน

1. นำสารละลายมาตรฐานที่ความเข้มข้นต่างๆมาผสมกับ internal standard ที่อัตราส่วน 1:10 โดยปริมาตร
2. เขย่าให้เข้ากัน และฉีดตัวอย่าง 1 ไมโครลิตร วิเคราะห์ด้วยแก๊สโครมาโทรกราฟฟี ที่สภาวะดังนี้

ชนิดของ Column	Capillary column ชนิด ZB-Wax ขนาด 30 เมตร x 0.25 มิลลิเมตร x 0.25 ไมโครเมตร Packing material คือ PEG (polyethylene glycol)
ชนิดของ Detector	Flame Ionization (FID)
อุณหภูมิของ Column	เริ่มต้นที่ 55 องศาเซลเซียส 6 นาที เพิ่มอุณหภูมิเป็น 120 องศาเซลเซียส ในอัตรา 8 องศาเซลเซียสต่อนาที คงที่ไว้ 10 นาที แล้วเพิ่มเป็น 150 องศาเซลเซียสในอัตรา 10 องศาเซลเซียสต่อนาที คงที่ ไว้ 15 นาที
อุณหภูมิของ Injection	150 องศาเซลเซียส
อุณหภูมิของ Detector	150 องศาเซลเซียส
Carrier gas	He อัตราการไหล 2 มิลลิลิตรต่อนาที
ปริมาตรฉีด	1 ไมโครลิตร

3. หาอัตราส่วนของพื้นที่ใต้กราฟสารมาตรฐานกับพื้นที่ใต้กราฟ internal standard
4. สร้างกราฟมาตรฐานระหว่างอัตราส่วนของพื้นที่ใต้กราฟสารมาตรฐานและพื้นที่ใต้กราฟ internal standardกับความเข้มข้นของสารมาตรฐาน

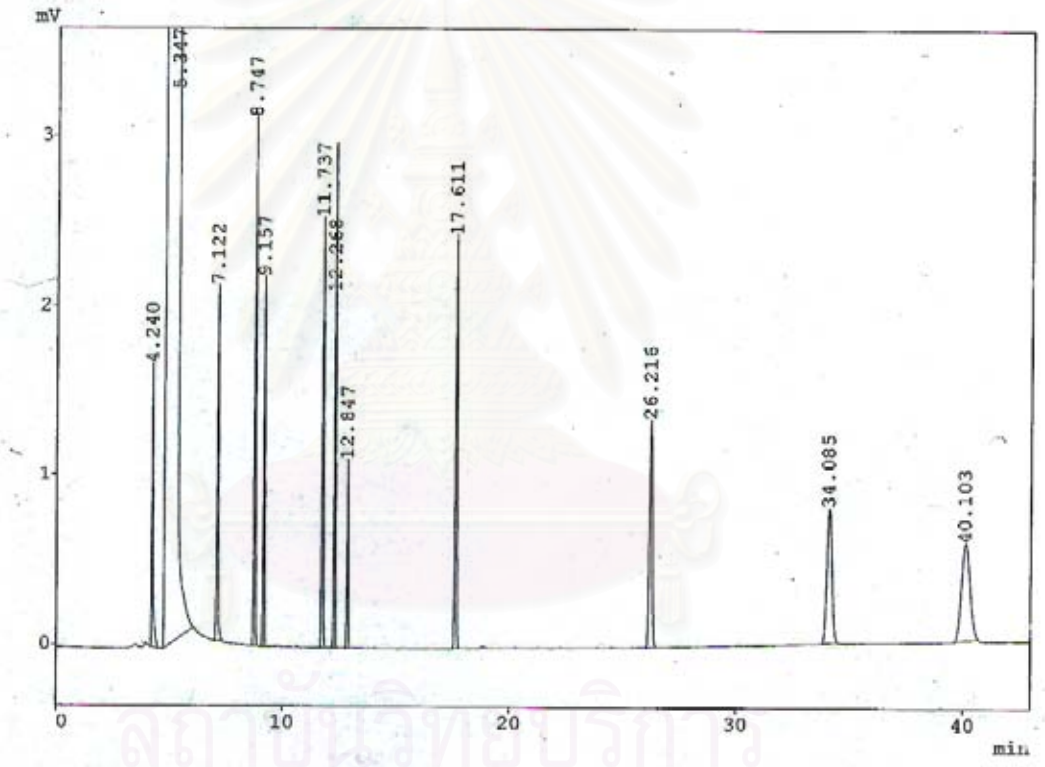
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การวิเคราะห์ปริมาณสารในตัวอย่างสาโท

1. นำสารตัวอย่างที่กลั่นได้มาผสมกับ internal standard ที่อัตราส่วน 1:10 โดยปริมาตร
2. เขย่าให้เข้ากัน และฉีดตัวอย่าง 1 ไมโครลิตร วิเคราะห์ด้วยแก๊สโครมาโทรกราฟฟี
3. คำนวณหาปริมาตร เอทิลอะซิเทต โพรพานอล ไอโซบิวทานอล ไอโซเอมิลอะซิเทต ไอโซเอมิลแอลกอฮอล์ เอทิลคาโพรเอท เอทิลคาพริเลท เอทิลคาเพรท 2-ฟีนิลเอทิลอะซิเทต และ 2- ฟีนิลเอทิลแอลกอฮอล์

ในตัวอย่างจากกราฟมาตรฐาน

ความเข้มข้นของสารมาตรฐานที่มีในตัวอย่าง= (พื้นที่ใต้กราฟของสารมาตรฐานที่มีในตัวอย่าง/พื้นที่ใต้กราฟของ internal standard) / ความชันกราฟของสารมาตรฐาน

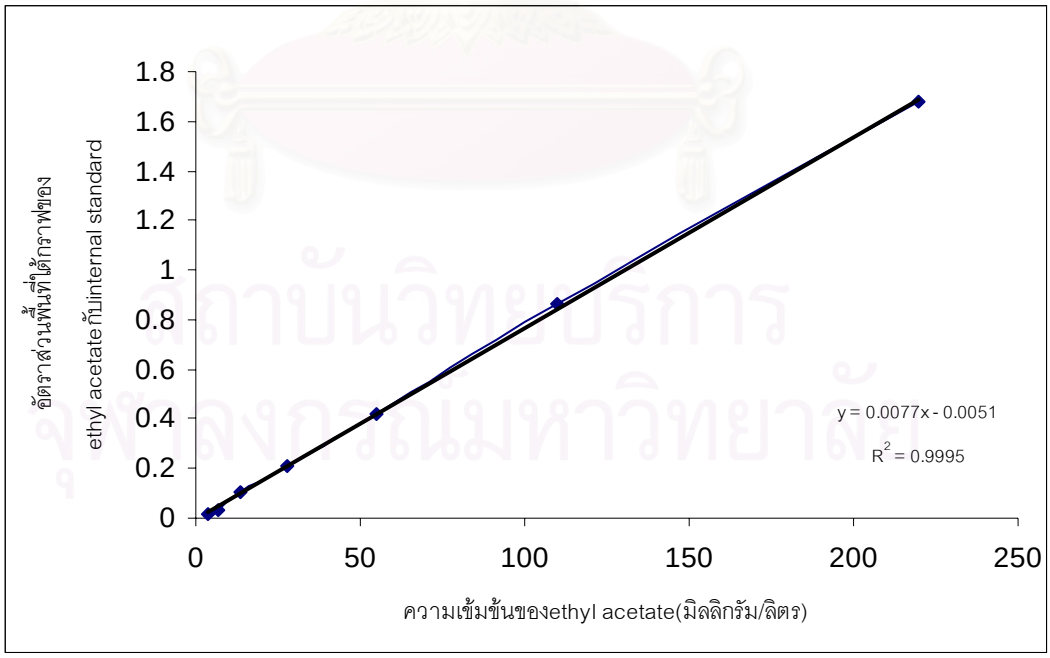


รูปที่ ค.1 โครมาโทแกรมของสารมาตรฐาน (4.240, เอทิลอะซิเทต; 7.122, โพรพานอล; 8.747, ไอโซบิวทานอล; 9.157, ไอโซเอมิลอะซิเทต; 11.737, ไอโซเอมิลแอลกอฮอล์; 12.268, เอทิลโพรเอท; 12.847, internal standard; 17.611, เอทิลคาพริเลท; 26.216, เอทิลคาเพรท; 34.085, 2-ฟีนิวเอทิลอะซิเทต และ 40.103, 2- ฟีนิลเอทิลแอลกอฮอล์)

<u>ตัวอย่าง</u> การหาความเข้มข้นของสารเอทิลอะซิเทต และ กราฟมาตรฐานที่ใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณสารเอทิลอะซิเทต

ตารางที่ ค.1 ความเข้มข้นของเอทิลอะซิเทต (มิลลิกรัม/ลิตร) พื้นที่ใต้กราฟของเอทิลอะซิเทตพื้นที่ใต้กราฟของinternal standard และ อัตราส่วนพื้นที่ใต้กราฟระหว่าง เอทิลอะซิเทต กับ internal standard

ความเข้มข้นของเอทิลอะซิเทต (มิลลิกรัม/ลิตร)	พื้นที่ใต้กราฟของเอทิลอะซิเทต (A1)	พื้นที่ใต้กราฟของ internal standard (A2)	A1/A2
220	6166	3677	1.676911
110	3257	3767	0.864614
55	1486	3513	0.423
27.5	809	3801	0.212839
13.75	408	4027	0.101316
6.88	126	3979	0.031666
3.44	70	4203	0.016655



รูปที่ ค.2 กราฟมาตรฐานระหว่างอัตราส่วนของพื้นที่ใต้กราฟสารมาตรฐาน เอทิลอะซิเทตและพื้นที่ใต้กราฟ internal standardกับความเข้มข้นของสารมาตรฐาน

ตัวอย่างการคำนวณ

สารตัวอย่างมีพื้นที่ใต้กราฟเท่ากับ 5700

พื้นที่ใต้กราฟของ internal standard เท่ากับ 3800

ความเข้มข้นของสารมาตรฐานที่มีในตัวอย่าง= (พื้นที่ใต้กราฟของสารมาตรฐานที่มีในตัวอย่าง/พื้นที่ใต้กราฟของ internal standard) / ความชันกราฟของสารมาตรฐาน

ดังนั้น ความเข้มข้นของสารมาตรฐานที่มีในตัวอย่าง= (5700/3800) + 0.0051 / 0.0077

= 197.47 มิลลิกรัม / ลิตร

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ง

การเตรียมกล้าเชื้อ และ การหมักไวน์ข้าว

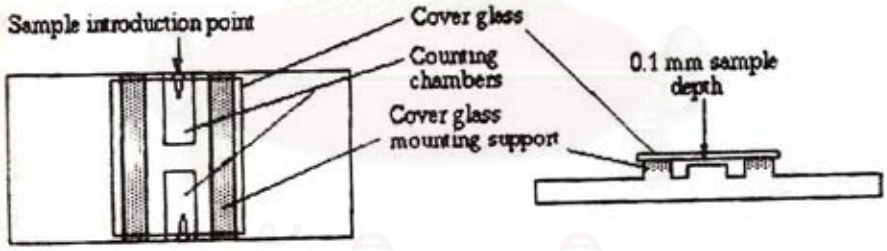
ง.1 การนับจำนวนจุลินทรีย์โดยอุปกรณ์นับเม็ดเลือด (Haemacytometer)

อุปกรณ์

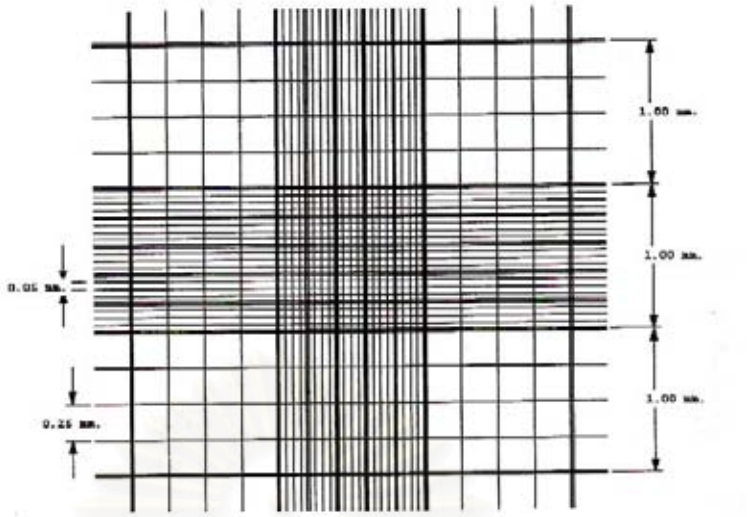
1. อุปกรณ์นับเม็ดเลือด
2. กล้องจุลทรรศน์
3. หลอดหยด

วิธีการ

1. นำกระจกปิดสไลด์ปิดทับบริเวณกลางของอุปกรณ์นับเม็ดเลือด
2. ใช้หลอดหยดดูดตัวอย่างแล้วแตะปลายหลอดตรงบริเวณที่มีช่องระหว่างสไลด์และกระจกปิดสไลด์ ให้ตัวอย่างซึมเข้าไปในบริเวณช่องใต้กระจกปิดสไลด์
3. ตรวจนับจำนวนเซลล์โดยใช้กล้องจุลทรรศน์ กำลังขยาย 400 เท่า ซึ่งจะเห็นเป็นตารางเล็กๆโดย 1 ช่องจะมีตารางเล็กๆภายในอีก 16 ช่องให้นับจำนวนจุลินทรีย์ 5 ช่องอาจนับในแนวทแยงมุมได้



รูปที่ ง.1 ลักษณะของอุปกรณ์นับเม็ดเลือด ทั้งด้านตรงและด้านข้างรวมทั้งการวางกระจกปิดสไลด์บน chamber



รูปที่ ง.2 ตัวอย่างช่องสี่เหลี่ยมภายในสไลด์บนอุปกรณ์นับเม็ดเลือด

ที่มา: ไพบูลย์ ด่านวิรุทัย และ พัฒนา เหล่าไพบูลย์, 2548

<u>วิธีการคำนวณ</u>

จำนวนช่องที่เห็นเมื่อนำอุปกรณ์นับเม็ดเลือดมาส่องดูภายใต้กล้องจุลทรรศน์จะมีทั้งหมด 25 ช่อง ใหญ่ และในแต่ละช่องใหญ่จะมีช่องเล็กอยู่ 16 ช่อง

ดังนั้น ปริมาตรใน 25 ช่องใหญ่ (400 ช่องเล็ก) = 0.1 mm^3

สมมุติค่าเฉลี่ยจำนวนจุลินทรีย์ใน 1 ช่องใหญ่ = X เซลล์ (X= 16Y)

สมมุติค่าเฉลี่ยจำนวนจุลินทรีย์ใน 1 ช่องเล็ก = Y เซลล์

ใน 0.1 mm^3มีจำนวนเซลล์ทั้งหมด Xx25 หรือ Yx16x25

ใน 1 mm^3 มีจำนวนเซลล์ทั้งหมด Xx 25x10 หรือ Yx25x16x10

ใน 1 ml มีจำนวนเซลล์ทั้งหมด Xx25x10x1000 หรือ

Yx16x25x10x1000

= 25 x 10^4 หรือ 4Yx10^6 เซลล์

ง.2 สูตรอาหารเลี้ยงเชื้อ

ง.2.1 Potato Dextrose Broth (PD- Broth)

Potato	200	กรัม
Glucose	20	กรัม
น้ำกลั่น	1	ลิตร

นึ่งฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ความดัน 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เป็นเวลา 30 นาที

ง.2.2 Yeast Extract Malt Extract Broth (YM- Broth)

Yeast Extract	3	กรัม
Malt Extract	3	กรัม
Peptone	5	กรัม
Glucose	10	กรัม
น้ำกลั่น	1	ลิตร

นึ่งฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ความดัน 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เป็นเวลา 30 นาที

ง.3 การเตรียมกล้าเชื้อรา *Amylomyces rouxii* TISTR 3128

นำเชื้อราที่ได้มาเลี้ยงในอาหารเลี้ยงเชื้อ PD-Broth เป็นเวลา 5 วัน ที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นนำเส้นใย (mycelium) ที่ได้ไปเลี้ยงในข้าวนึ่ง 150 กรัม เติมน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตรคลุกเคล้าให้เข้ากัน ที่ผ่านการฆ่าเชื้อในหม้อนึ่งความดันแล้ว เป็นเวลา 5 วัน ที่อุณหภูมิห้อง

ง.4 การเตรียมกล้าเชื้อยีสต์ *Saccharomyces cerevisiae* TISTR 5049

นำเชื้อยีสต์ที่ได้มาเลี้ยงในอาหารเลี้ยงเชื้อ YM-Broth เป็นเวลา 3 วัน ที่อุณหภูมิห้อง แยกเซลล์ยีสต์ออกจากอาหารเลี้ยงเชื้อ นำเซลล์ยีสต์ที่ได้ไปแขวนลอยในน้ำกลั่นที่มี 0.85% NaCl เจือจางให้ได้ความเข้มข้นของจำนวนเซลล์ระหว่าง 10^5 – 10^6 เซลล์/มิลลิลิตร โดยใช้อุปกรณ์ในการนับเม็ดเลือดในการนับจำนวนเซลล์

ง.5 การหมักไวน์ข้าว

ง.5.1 การเตรียมข้าวนึ่ง

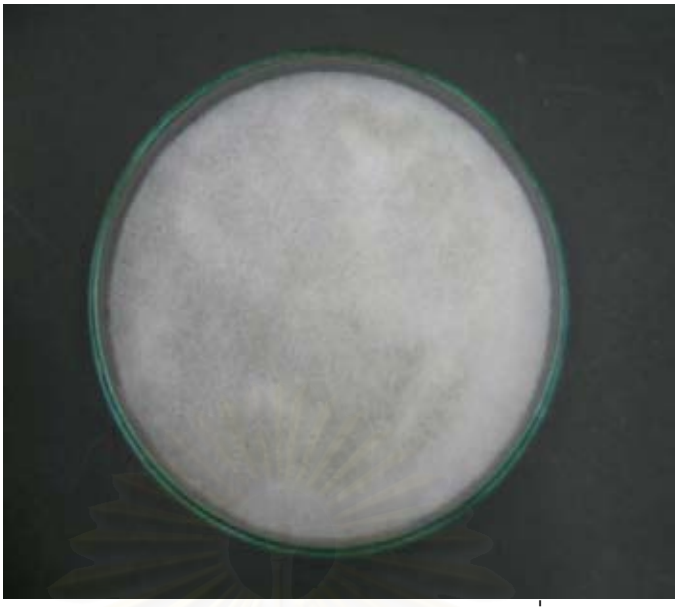
นำข้าว1 กิโลกรัมมาล้างน้ำ แล้วแช่ค้างคืนที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นเทน้ำที่แช่ข้าวทิ้ง ล้างข้าวอีก 2-3 ครั้ง ทิ้งให้สะเด็ดน้ำ นำไปนึ่งในหม้อนึ่งแบบรังถึง ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิ

ง.5.2 ขั้นตอนการหมัก

นำกล้าเชื้อราจำนวน 10 กรัม ใส่ข้าวที่นึ่งสุก แล้ว เติมน้ำต้มสุก 0.5 ลิตร จากนั้นคลุกเคล้าให้เข้ากัน ใส่ลงไปในถังหมัก หมักที่อุณหภูมิห้องนาน 5 วัน แล้วเติมกล้าเชื้อยีสต์ที่มีความเข้มข้นของเซลล์ระหว่าง 10^5 - 10^6 เซลล์/มิลลิลิตร จำนวน 100 มิลลิลิตร จากนั้นจึงเติมน้ำต้มสุก 2 ลิตร หมักนาน 14 วัน

ภาคผนวก จ

รูปที่ จ.1ลักษณะเมล็ดข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ105 พันธุ์ลอย และ พันธุ์กข6 ที่ระดับการขัดสีที่0 (ข้าวกล้อง) 1 และ 2



รูปที่ จ.2 ลักษณะของ*Amylomyces rouxii* TISTR 3128 ที่เจริญบนอาหารPDA

(a) (b)

รูปที่ จ.2 (a) เชื้อราเจริญในอาหารเลี้ยงเชื้อ PD-Broth (b) กล้าเชื้อรา เจริญในข้าวนึ่ง

รูปที่ จ.3 ลักษณะข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ105 พันธุ์ลอย และ พันธุ์กข6 ที่ระดับการขัดสีที่0 (ข้าวกล้อง) 1 และ 2 หลังผ่านการนึ่งและคลุกด้วยกล้าเชื้อรา

(a)

(b)

(c)

(d)

(e)

(f)

รูปที่ จ.4 ไวน์ข้าวหรือสาโทที่มีขายในท้องตลาด (a), สาโทบ้านดา; (b), สาโทสิงห์บิน; (c), สาโทรามเกียรติ์; (d), สาโทสยาม; (e), สาโทขวัญโกศัย; (f), สาโทนาฝ้าย

(g) (h)

รูปที่ จ.4 (ต่อ) ไวน์ข้าวหรือสาโทที่มีขายในท้องตลาด (g), สาโทม้าขาว; (h), สาโทสักทอง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ชื่อ-นามสกุล…….....**วัน/เดือนปี**.....
เบอร์โทรศัพท์.....

คำแนะนำ

กรุณาชิมตัวอย่างผลิตภัณฑ์สาโท และระบุความชอบของท่านต่อผลิตภัณฑ์ ตามลักษณะที่ปรากฏข้างล่างนี้ ท่านสามารถระบุระดับความชอบ ลงในช่องว่างที่ท่านคิดว่าตรงกับความรู้สึกท่านมากที่สุด

ชอบมาก	7	ไม่ชอบเล็กน้อย	3
ชอบปานกลาง	6	ไม่ชอบปานกลาง	2
ชอบเล็กน้อย	5	ไม่ชอบมาก	1
เฉยๆ	4		

ความชอบต่อกลิ่น	**ระดับความชอบ**	**ความชอบโดยรวม**	**ระดับความชอบ**
รหัส _____	_____	รหัส _____	_____
รหัส _____	_____	รหัส _____	_____
รหัส _____	_____	รหัส _____	_____
รหัส _____	_____	รหัส _____	_____
รหัส _____	_____	รหัส _____	_____
รหัส _____	_____	รหัส _____	_____
รหัส _____	_____	รหัส _____	_____
รหัส _____	_____	รหัส _____	_____
รหัส _____	_____	รหัส _____	_____
รหัส _____	_____	รหัส _____	_____
รหัส _____	_____	รหัส _____	_____

ก่อนการทดสอบกรุณาชะล้างรสที่อาจตกค้างในช่องปากของท่านด้วยน้ำเปล่าและขนมปัง

ขอขอบพระคุณ

รูปที่ จ.5 แบบทดสอบความชอบทางด้านกลิ่นและความชอบโดยรวมของสาโท

ภาคผนวก ฉ

ตาราง ANOVA และ ตารางองค์ประกอบทางเคมีของไวน์ข้าว

ตารางที่ ฉ1. ตาราง ANOVA น้ำหนักของข้าวพันธุ์ของลอย, กข6 และขาวดอกมะลิ 105 ที่เหลือหลังจากผ่านการขัดสีที่ระดับที่ 0(ข้าวกล้อง) 1 และ 2

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: polishing rate

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	4.043[a]	8	.505	22.767	.000
Intercept	456.128	1	456.128	20547.15	.000
VARITY	.138	2	6.877E-02	3.098	.070
POLISH	3.885	2	1.943	87.511	.000
VARITY * POLISH	2.037E-02	4	5.093E-03	.229	.918
Error	.400	18	2.220E-02		
Total	460.571	27			
Corrected Total	4.443	26			

a. R Squared = .910 (Adjusted R Squared = .870)

ตารางที่ ฉ2. ปริมาณโปรตีนของข้าวพันธุ์ลอย, กข6 และ ขาวดอกมะลิ105 ที่ระดับการขัดสีที่ 0(ข้าวกล้อง) 1 และ 2

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: protein

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	4.914[a]	8	.614	67.346	.000
Intercept	1001.342	1	1001.342	109776.2	.000
VARITY	1.166	2	.583	63.921	.000
POLISH	3.619	2	1.810	198.390	.000
VARITY * POLISH	.129	4	3.225E-02	3.536	.027
Error	.164	18	9.122E-03		
Total	1006.421	27			
Corrected Total	5.079	26			

a. R Squared = .968 (Adjusted R Squared = .953)

ตารางที่ ฉ3. ปริมาณไขมันของข้าวพันธุ์ลอย, กข6 และ ขาวดอกมะลิ105 ที่ระดับการขัดสีที่ 0(ข้าวกล้อง) 1 และ 2

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: fat

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	26.661[a]	8	3.333	279.966	.000
Intercept	30.214	1	30.214	2538.266	.000
VARITY	1.687E-03	2	8.435E-04	.071	.932
POLISH	26.597	2	13.299	1117.205	.000
VARITY * POLISH	6.165E-02	4	1.541E-02	1.295	.309
Error	.214	18	1.190E-02		
Total	57.089	27			
Corrected Total	26.875	26			

a. R Squared = .992 (Adjusted R Squared = .988)

ตารางที่ ฉ4. ปริมาณเถ้าของข้าวพันธุ์ลอย, กข6 และ ขาวดอกมะลิ105 ที่ระดับการขัดสีที่ 0(ข้าวกล้อง) 1 และ 2

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: ash

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	2.622[a]	8	.328	346.839	.000
Intercept	7.357	1	7.357	7786.652	.000
VARITY	8.094E-02	2	4.047E-02	42.834	.000
POLISH	2.475	2	1.237	1309.545	.000
VARITY * POLISH	6.609E-02	4	1.652E-02	17.488	.000
Error	1.701E-02	18	9.448E-04		
Total	9.995	27			
Corrected Total	2.639	26			

a. R Squared = .994 (Adjusted R Squared = .991)

ตารางที่ ฉ5. ปริมาณเส้นใยของข้าวพันธุ์ลอย, กข6 และ ขาวดอกมะลิ105 ที่ระดับการขัดสีที่ 0(ข้าวกล้อง) 1 และ 2

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: fiber

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	2.975[a]	8	.372	3.050	.024
Intercept	12.606	1	12.606	103.389	.000
VARITY	5.689E-02	2	2.844E-02	.233	.794
POLISH	2.871	2	1.435	11.773	.001
VARITY * POLISH	4.739E-02	4	1.185E-02	.097	.982
Error	2.195	18	.122		
Total	17.775	27			
Corrected Total	5.170	26			

a. R Squared = .575 (Adjusted R Squared = .387)

ตารางที่ ฉ6. ปริมาณคาร์โบไฮเดรตของข้าวพันธุ์ลอย, กข6 และ ขาวดอกมะลิ105 ที่ระดับการขัดสีที่ 0(ข้าวกล้อง) 1 และ 2

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: carbohydrate content

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	108.597[a]	8	13.575	63.820	.000
Intercept	226772.345	1	226772.345	1066142	.000
VARITY	1.831	2	.915	4.304	.030
POLISH	106.301	2	53.151	249.881	.000
VARITY * POLISH	.465	4	.116	.547	.704
Error	3.829	18	.213		
Total	226884.771	27			
Corrected Total	112.426	26			

a. R Squared = .966 (Adjusted R Squared = .951)

ตารางที่ ฉ7. ปริมาณแอมีโลสของข้าวพันธุ์ลอย, กข6 และ ขาวดอกมะลิ105 ที่ระดับการขัดสีที่ 0(ข้าวกล้อง) 1 และ 2

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: amylose

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	3055.586[a]	8	381.948	776.708	.000
Intercept	10253.157	1	10253.157	20850.23	.000
VARITY	2978.296	2	1489.148	3028.246	.000
POLISH	57.489	2	28.745	58.453	.000
VARITY * POLISH	19.801	4	4.950	10.066	.000
Error	8.852	18	.492		
Total	13317.595	27			
Corrected Total	3064.438	26			

a. R Squared = .997 (Adjusted R Squared = .996)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ฉ9. การเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในระหว่างการหมักไวน์ข้าวของข้าวพันธุ์ลอย, กข6 และ ขาวดอกมะลิ 105 ที่ระดับการขัดสีต่างๆ

พันธุ์ข้าว	ระดับการขัดสีที่	ค่าของแข็งของการละลาย(° Brix)																							
		การทดลองครั้งที่ 1								การทดลองครั้งที่ 2								การทดลองครั้งที่ 3							
		ระยะเวลาในการหมัก(วัน)								ระยะเวลาในการหมัก(วัน)								ระยะเวลาในการหมัก(วัน)							
		0	2	4	6	8	10	12	14	0	2	4	6	8	10	12	14	0	2	4	6	8	10	12	14
ลอย	0	4.7	4.8	5.2	5.6	6	6.4	6.4	6.6	8.2	4	4.5	5	5.8	5.5	5.8	6	4.4	3	3.4	3.6	3.9	4	4	4
	1	6.6	10	6.6	4.8	5	5	5.4	5	12.7	13.6	9.9	7.4	5	4.4	4.6	4.4	5	10	6.8	4.6	4.2	4	4.2	4.2
	2	7.4	12	8.2	5.2	4.6	4.6	5	4.6	10.8	11.2	6	4.2	4	4.2	4.2	4.4	4.4	14.2	12.2	10.4	8.2	6.6	4.8	4.2
กข6	0	10	6	5.2	5.4	5.4	5.4	5.8	5.6	11.6	6	4.6	5	5	5	5	5	12.4	4.8	3.8	5	5	5.2	5	5
	1	13.5	15.8	14	11.8	9.6	7.5	6.6	5.8	16	15.6	15.5	14.7	13.3	11.6	10.2	8.8	15.7	16.8	16	15.4	14.6	13.6	12.4	11
	2	16	17.2	16	14	11.8	9.9	8.2	7	15.6	16.7	11	11.4	9.3	7.6	6.2	5	14	16.8	16	15.4	14.6	13.6	12.4	11
มะลิ 105	0	7.1	15	12.2	9.6	7.4	6.2	6	6.2	12	4.3	4.6	5.2	5.2	5.4	5.6	5.6	11.4	5.4	4	4	4.2	4.4	4.4	4.2
	1	15.2	15	12.2	9.6	7.4	6.2	6	6.2	15	14.5	12	9.9	8	6.7	6.1	5.6	15.1	17.2	14	13	11.6	10.4	9.2	8
	2	14.8	15.2	12.2	9.6	7.2	6	5.8	5.4	15	16.5	15.5	14.4	13.2	11.7	11	9.8	15.6	17.4	13.2	11.2	9.4	8	7	6

ตารางที่ ฉ10. การเปลี่ยนแปลงค่าวามเป็นกรด-เบสในระหว่างการหมักไวน์ข้าวของข้าวพันธุ์ลอย, กข6 และ ขาวดอกมะลิ 105 ที่ระดับการขัดสีต่างๆ

พันธุ์ข้าว	ระดับการขัดสีที่	ค่าความเป็นกรด-เบส																							
		การทดลองครั้งที่ 1								การทดลองครั้งที่ 2								การทดลองครั้งที่ 3							
		ระยะเวลาในการหมัก(วัน)								ระยะเวลาในการหมัก(วัน)								ระยะเวลาในการหมัก(วัน)							
		0	2	4	6	8	10	12	14	0	2	4	6	8	10	12	14	0	2	4	6	8	10	12	14
ลอย	0	4.76	4.14	4.18	4.2	4.25	4.32	4.33	4.44	4.66	3.98	4.0	4.2	4.3	4.4	4.39	4.45	4.68	4.03	4.1	4.19	4.25	4.3	4.4	4.44
	1	3.3	2.92	2.93	3.06	3.21	3.46	3.46	3.54	3.43	2.96	2.86	2.94	3.0	3.14	3.18	3.33	3.65	3.01	2.97	2.94	3.09	3.27	3.57	3.57
	2	3.46	2.81	2.86	2.88	3.06	3.34	3.40	3.42	3.26	2.86	2.8	3.0	3.21	3.28	3.3	3.45	3.59	3.08	3.0	2.82	2.86	2.97	3.24	3.26
กข6	0	4.44	3.62	3.89	4.09	4.36	4.56	4.60	4.61	4.84	3.74	3.81	4.13	4.4	4.48	4.5	4.59	4.26	3.72	3.88	4.01	4.3	4.36	4.55	4.55
	1	3.60	2.92	2.93	2.92	3.0	3.2	3.28	3.33	3.9	3.21	3.04	3.09	3.12	3.09	3.04	3.15	3.82	3.02	3.15	3.1	3.14	3.16	3.38	3.21
	2	3.68	3.06	3.06	2.95	3.0	3.12	3.18	3.24	3.86	2.9	2.84	2.92	2.95	2.98	2.97	3.13	3.87	3.01	3.09	2.97	3.0	3.07	3.22	3.21
มะลิ 105	0	4.07	3.68	4.0	4.22	4.36	4.4	4.5	4.51	4.4	3.75	3.98	4.21	4.4	4.42	4.48	4.52	4.62	3.67	3.82	3.9	4.11	4.19	4.42	4.4
	1	3.39	2.92	2.88	2.89	3.0	3.14	3.2	3.26	3.37	2.95	2.9	3.01	3.11	3.12	3.15	3.24	3.62	3.31	2.96	2.89	2.87	2.92	3.19	3.22
	2	3.38	2.92	2.92	2.94	3.15	3.2	3.26	3.32	3.52	3.16	3.0	2.98	3.03	3.03	3.04	3.31	3.58	3.23	3.0	2.91	2.97	3.08	3.25	3.33

ตารางที่ ฉ11. การเปลี่ยนแปลงปริมาณกรด (แลคติก กรัม/ 100 มิลลิลิตร) ในระหว่างการหมักไวน์ข้าวของข้าวพันธุ์ลอย, กข6 และ ขาวดอกมะลิ 105 ที่ระดับการขัดสีต่างๆ

พันธุ์ข้าว	ระดับการขัดสีที่	ปริมาณกรด (แลคติก กรัม/ 100 มิลลิลิตร)																							
		การทดลองครั้งที่ 1								การทดลองครั้งที่ 2								การทดลองครั้งที่ 3							
		ระยะเวลาในการหมัก(วัน)								ระยะเวลาในการหมัก(วัน)								ระยะเวลาในการหมัก(วัน)							
		0	2	4	6	8	10	12	14	0	2	4	6	8	10	12	14	0	2	4	6	8	10	12	14
ลอย	0	0.14	0.33	0.40	0.41	0.41	0.43	0.5	0.51	0.15	0.29	0.33	0.34	0.34	0,38	0.40	0.45	0.14	0.33	0.40	0.41	0.41	0.43	0.50	0.51
	1	0.12	0.44	0.55	0.59	0.58	0.58	0.60	0.55	0.13	0.43	0.56	0.58	0.67	0.63	0.62	0.65	0.11	0.38	0.50	0.54	0.51	0.54	0.56	0.55
	2	0.13	0.41	0.56	0.59	0.61	0.60	0.60	0.60	0.11	0.43	0.55	0.63	0.67	0.66	0.68	0.63	0.23	0.37	0.47	0.56	0.58	0.55	0.53	0.53
กข6	0	0.14	0.28	0.32	0.32	0.38	0.44	0.44	0.43	0.19	0.35	0.40	0.40	0.43	0.48	0.52	0.49	0.13	0.29	0.33	0.34	0.37	0.43	0.56	0.53
	1	0.09	0.26	0.34	0.38	0.43	0.43	0.47	0.46	0.09	0.24	0.34	0.36	0.49	0.47	0.46	0.48	0.07	0.24	0.33	0.37	0.41	0.44	0.49	0.48
	2	0.11	0.29	0.41	0.42	0.46	0.48	0.48	0.5	0.08	0.24	0.34	0.36	0.41	0.44	0.46	0.46	0.07	0.22	0.31	0.37	0.41	0.43	0.52	0.52
มะลิ 105	0	0.22	0.30	0.30	0.34	0.41	0.44	0.54	0.5	0.21	0.36	0.34	0.38	0.45	0.44	0.47	0.48	0.16	0.31	0.32	0.34	0.37	0.45	0.52	0.57
	1	0.27	0.40	0.48	0.52	0.57	0.58	0.58	0.58	0.27	0.37	0.48	0.53	0.62	0.60	0.60	0.64	0.20	0.36	0.49	0.49	0.51	0.55	0.60	0.62
	2	0.24	0.35	0.42	0.46	0.54	0.57	0.62	0.62	0.22	0.38	0.45	0.52	0.57	0.62	0.65	0.63	0.23	0.34	0.45	0.51	0.54	0.58	0.62	0.64

ตารางที่ ฉ12. การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ (มิลลิกรัม/มิลลิลิตร) ในระหว่างการหมักไวน์ข้าวของข้าวพันธุ์ลอย, กข6 และ ขาวดอกมะลิ 105 ที่ระดับการขัดสีต่างๆ

พันธุ์ข้าว	ระดับการขัดสีที่	ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ (มิลลิกรัม/มิลลิลิตร)																							
		การทดลองครั้งที่ 1								การทดลองครั้งที่ 2								การทดลองครั้งที่ 3							
		ระยะเวลาในการหมัก(วัน)								ระยะเวลาในการหมัก(วัน)								ระยะเวลาในการหมัก(วัน)							
		0	2	4	6	8	10	12	14	0	2	4	6	8	10	12	14	0	2	4	6	8	10	12	14
ลอย	0	36.9	2.03	0.89	0.82	0.75	0.78	0.73	0.69	59.8	1.22	1.30	0.86	0.84	0.79	0.70	0.74	34.0	1.0	0.76	0.59	0.68	0.52	0.55	0.57
	1	69.8	78.6	9.8	1.52	1.04	1.08	0.82	0.90	85.6	135	83.2	39.0	10.7	1.72	1.35	1.33	57.1	94.0	39.4	9.5	1.12	1.77	1.12	1.14
	2	70.8	116	64.6	8.98	1.38	1.01	0.78	0.82	60.0	72.1	29.3	1.64	1.29	1.15	1.0	0.96	50.8	172	141	87.9	62.9	55.5	10.7	2.33
กข6	0	82.2	7.2	1.15	0.95	0.98	0.81	0.65	0.78	70.6	29.6	0.92	1.1	1.11	0.85	0.71	0.69	132	1.87	1.12	1.31	1.2	0.9	0.77	0.73
	1	104	168	156	87.2	60.0	31.2	12.5	3.72	117	149	171	146	131	120	71.9	58.8	148	221	196	188	175	165	153	133
	2	93.2	200	172	166	83.6	64.2	34.4	19.3	66.5	191	124	84.6	71.2	40.4	21.0	5.67	113	167	157	156	147	132	121	102
มะลิ 105	0	56.6	0.89	0.52	0.85	0.84	0.88	0.66	0.79	106	1.2	0.96	1.14	1.17	0.97	0.91	0.96	119	1.23	1.74	1.04	0.85	0.77	0.62	0.72
	1	114	133	123	62.2	30.3	17.1	6.55	3.12	83.2	114	95.0	75.1	43.8	18.9	11.8	6.47	132	192	115	117	113	102	71.5	61.3
	2	120	140	109	52.1	27.6	12.9	4.2	2.23	136	173	154	148	140	111	94.4	76.6	158	193	117	89.7	68.0	45.4	29.6	18.2

ตารางที่ ฉ13. การเปลี่ยนแปลงปริมาณแอลกอฮอล์ (%โดยปริมาตร) ในระหว่างการหมักไวน์ข้าวของข้าวพันธุ์ลอย, กข6 และ ขาวดอกมะลิ 105 ที่ระดับการสีขัดต่างๆ

พันธุ์ข้าว	ระดับการขัดสีที่	ปริมาณแอลกอฮอล์ (%โดยปริมาตร)																							
		การทดลองครั้งที่ 1								การทดลองครั้งที่ 2								การทดลองครั้งที่ 3							
		ระยะเวลาในการหมัก(วัน)								ระยะเวลาในการหมัก(วัน)								ระยะเวลาในการหมัก(วัน)							
		0	2	4	6	8	10	12	14	0	2	4	6	8	10	12	14	0	2	4	6	8	10	12	14
ลอย	0	1.65	9.2	10.4	10.7	11.2	11.5	12.1	12.0	5	9.6	10.5	11.4	11.5	11.8	12.2	12.5	3.7	8.2	9.7	10.4	10.2	10.4	11.0	11.4
	1	0.2	3.9	6.8	9.9	9.9	10.6	10.9	11.0	0.2	2.7	4.6	4.8	9.0	9.1	9.4	9.4	0.3	3.0	6.3	8.3	9.6	9.8	10.3	10.3
	2	0.3	3.6	6.3	8.9	9.9	10.2	10.5	10.4	0.5	3.5	6.4	8.9	9.4	10.0	10.0	10.0	0.2	1.8	5.0	6.4	7.4	8.2	9.6	10.0
กข6	0	3.6	10.2	10.8	11.4	11.4	11.2	11.3	11.2	1.7	9.0	10.8	11.0	11.0	11.0	11.1	11.1	3.3	9.2	11.8	11.8	12.1	12.3	12.1	12.2
	1	0.4	2.6	4.5	7.0	9.2	10.4	12.3	12.5	0.3	1.2	2.8	4.8	5.8	7.0	8.2	9.2	0.2	0.3	0.5	3.2	4.0	4.5	5.9	7.8
	2	0.4	1.8	3.0	6.2	7.2	9.1	11.1	11.5	0.2	2.0	3.6	5.7	7.6	9.1	10.7	11.0	0.2	0.3	2.1	3.2	4.4	5.6	6.8	8.4
มะลิ 105	0	5.3	9.8	10.2	10.6	10.4	11.0	10.9	10.8	3.8	9.7	10.4	11.2	11.2	11.6	11.7	12.0	3.7	9.5	10.5	10.5	10.5	107	10.8	10.4
	1	0.7	2.8	5.1	7.6	9.1	10.5	11.3	11.8	0.4	3.0	5.3	7.8	9.1	10.4	10.8	11.6	0.3	1.1	3.2	4.6	5.9	8.5	9.1	9.8
	2	0.6	2.9	5.2	8.2	9.9	11.1	11.8	11.8	0.2	0.9	1.8	3.6	5.6	7.0	8.8	9,8	0.3	1.3	4.7	6.2	8.2	9.6	10.4	11.4

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวพรพิมล ควรรณสุ เกิดวันที่ 3 มีนาคม พ.ศ. 2523 ที่จังหวัดนครพนม สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี วิทยาศาสตรบัณฑิต ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยขอนแก่น ในปีการศึกษา 2543 จากนั้นเข้าศึกษาต่อหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2545

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย