การใช้วิธีทำให้เข้มข้นในการผลิตไวน์หม่อน (*Morus alba* L.)

นางสาวพงศ์กมล พงศ์สยาม

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีทางอาหาร ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2547

ISBN 974-17-6762-5

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

APPLICATION OF CONCENTRATION METHODS IN MULBERRY (*Morus alba L.*) WINE MAKING

Miss. Pongkamol Pongsayarm

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the degree of Master of Science in Food Technology
Department of Food Technology
Faculty of Science
Chulalongkorn University
Academic Year 2004

ISBN 974-17-6762-5

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การใช้วิธีทำให้เข้มข้นในการผลิตไวน์หม่อน (*Morus alba* L.)
โดย	นางสาวพงศ์กมล พงศ์สยาม
สาขาวิชา	เทคโนโลยีทางอาหาร
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์ ดร.ชิดพงศ์ ประดิษฐสุวรรณ
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. รมณี สงวนดีกุล

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิทยาศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร. เปี่ยมศักดิ์ เมนะเศวต)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สุทธิศักดิ์ สุขในศิลป์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(อาจารย์ ดร.ชิดพงศ์ ประดิษฐสุวรรณ)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. รมณี สงวนดีกุล)

..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร.จิรารัตน์ ทัตติยกุล)

..... กรรมการ
(อาจารย์ ภัทราภรณ์ ศรีสมรรถการ)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พงศ์กมล พงศ์สยาม : การใช้วิธีทำให้เข้มข้นในการผลิตไวน์หม่อน (*Morus alba* L.) (APPLICATION OF CONCENTRATION METHODS IN MULBERRY (*Morus alba* L.) WINE MAKING) อ. ที่ปรึกษา : อ.ดร. ชิดพงศ์ ประดิษฐสุวรรณ อ.ที่ปรึกษาร่วม : ผศ.ดร. รมณี สงวนดีกุล 97 หน้า. ISBN 974-17-6762-5.

งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตของไวน์หม่อนโดยใช้น้ำตาลที่มีอยู่ในผลไม้ (โดยไม่เติมน้ำตาล) พร้อมทั้งศึกษาองค์ประกอบทางกายภาพและเคมีของไวน์ที่ได้ ในขั้นแรกได้ทำการศึกษาหาสภาวะที่ดีที่สุดในการทำเข้มข้นแบบจำลองเอทานอล-น้ำโดยการแช่เยือกแข็งแบบผลึกเดี่ยว แปรความเข้มข้นเริ่มต้น 3 ระดับ คือ 5 , 7.5 และ 10 % v/v อัตราเร็วการเกิดผลึกน้ำแข็ง (u) 3 ระดับ คือ 0.5 , 1 และ 2 cm/hr ความเร็วรอบใบกวน (Nr) 3 ระดับ คือ 300 , 800 และ 1200 rpm พบว่าที่ทุกความเข้มข้นอัตราเร็วการเกิดผลึกน้ำแข็ง และความเร็วรอบใบกวนจะมีอิทธิพลร่วมต่อค่าสัมประสิทธิการแยก (effective partition constant : K) โดยการเพิ่มความเร็วรอบใบกวนและลด อัตราเร็วการเกิดผลึกน้ำแข็งจะส่งผลให้ค่า K ต่ำลง โดยสภาวะที่ให้ค่า K ต่ำที่สุดที่ความเข้มข้น 5%v/v คือ u = 0.5 cm/hr Nr = 1200 rpm ซึ่งให้ค่า K = 0.23 แต่ไม่แตกต่างกับสภาวะที่ u = 1 cm/hr Nr = 1200 rpm อย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) ที่มีค่า K = 0.25 ส่วนที่ความเข้มข้น 7.5 และ 10 %v/v คือ u = 0.5 cm/hr Nr = 1200 rpm ที่มีค่า K = 0.23 และ 0.35 ตามลำดับ จากนั้นเลือกสภาวะที่เหมาะสมได้จากการทดลองข้างต้น คือ ที่ความเข้มข้นน้อยกว่า 7.5 % v/v เลือก u = 1 cm/hr Nr = 1200 rpm ส่วนที่ความเข้มข้นมากกว่า 7.5 % v/v เลือก u = 0.5 cm/hr Nr = 1200 rpm มาใช้ในการทำเข้มข้นไวน์หม่อนที่ผลิตโดยไม่เติมน้ำตาล พบว่าสามารถเพิ่มความเข้มข้นของเอทานอลในไวน์ทั้ง 2 ชนิดจาก 5.5 %v เป็น 11.2 -11.4 %v/v ซึ่งมีความเข้มข้นไม่แตกต่างกับไวน์หม่อนทางการค้าอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) และความเข้มข้นขององค์ประกอบต่าง ๆ ได้แก่ ของแข็งที่ละลายได้ แอนโทไซยานิน น้ำตาลรีดิวซ์ สารประกอบฟีนอล กรดทั้งหมด กรดระเหย เมทานอล เอสเทอร์ และอะเซทาลดีไฮด์สูงขึ้นเช่นกันโดยเมทานอลที่ได้มีความเข้มข้นสูงกว่า 941 mg/lซึ่งสูงกว่าค่าที่สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกำหนด (420 mg/l) ดังนั้นการทำเข้มข้นไวน์หม่อนที่หมักโดยไม่เติมน้ำตาลไม่สามารถนำมาใช้ในการผลิตไวน์หม่อนได้ จึงศึกษาการผลิตไวน์จากน้ำหม่อนที่ผ่านกระบวนทำเข้มข้นโดยการระเหยแบบสุญญากาศ และการแช่เยือกแข็งแบบผลึกแขวนลอยจนได้ปริมาณของแข็งที่ละลายได้เป็น 20 $^{\circ}$ Brix พบว่าไวน์หม่อน 2 ชนิดที่ได้มีความเข้มข้นเมทานอล 101 และ 180 mg/l ตามลำดับ ซึ่งไม่เกินค่าที่สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกำหนด ส่วนความเข้มข้นขององค์ประกอบอื่น ๆ ได้แก่ เอทานอล 11.0, 10.4 %v/v ของแข็งที่ละลายได้ 9 และ 8 $^{\circ}$ Brix น้ำตาลรีดิวซ์ 0.32 และ0.1 g/100ml กรดทั้งหมด 0.48 และ 0.56 g/100ml กรดระเหย 0.22 และ 0.46 g/100ml สารประกอบฟีนอล 5497 และ 3295 mg/l แอนโทไซยานิน 747 และ 299 mg/l เอสเทอร์ 316 และ 308 mg/l อะเซทาลดีไฮด์ 60 และ 40 mg/l ตามลำดับ

ภาควิชา……เทคโนโลยีทางอาหาร…… ลายมือชื่อนิสิต.....

สาขาวิชา……เทคโนโลยีทางอาหาร…… ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา…….

ปีการศึกษา…..2547…… …….. ลายมือชื่ออาจารย์ทีปรึกษาร่วม.....

4572643023 : MAJOR FOOD TECHNOLOGY
KEY WORD: MULBERRY WINE / SINGLE ICE CRYSTAL FREEZE CONCENTRATION / SUSPENSION FREEZE CONCENTRATION / VACUUM EVAPORATION

PONGKAMOL PONGSAYARM : APPLICATION OF CONCENTRATION METHODS IN MULBERRY (*Morus alba* L.) WINE MAKING. THESIS ADVISOR : CHIDPONG PRADISTSUWANNA, Ph.D THESIS COADVISOR : ASST.PROF. ROMANEE SANGUANDEEKUL, Ph.D. 97 pp. ISBN 974-17-6762-5.

This research was aimed to study the possibility of producing mulberry wine by using only the sugar in the fruit (no condition sugar added) and also to study the physical and chemical properties of the wine. Firstly, the optimum condition of the single ice crystal freeze concentration of ethanol-water model was determined, the ice crystal growth rate (u) and the stirring rate (Nr) for each initial ethanol concentration (5, 7.5 and 10%v/v) were investigated by calculating the effective partition constant (K value) of each experiment. The U and Nr used were 0.5, 1 and 2 cm/h, and 300, 800 and 1200 rpm respectively. Increasing of stirring rate and decreasing of ice crystal growth rate lowered the K value. The lowest K value for the initial ethanol concentration of 5%v/v was 0.23 at u =0.5 cm/hr and Nr=1200 rpm. However, there was nosignificant difference ($p > 0.05$) compared to that of the condition u=1 cm/hr and Nr=1200 rpm which showed the K value of 0.25. For the initial ethanol concentrations of 7.5 and 10%v/v, u=0.5 cm/hr Nr=1200 rpm gave the lowest K values of 0.23 and 0.35 respectively ($p < 0.05$). Two optimum conditions (u=1 cm/hr, Nr=1200 rpm for ethanol concentration < 7.5 %v/v and u=0.5 cm/hr, Nr=1200 rpm for ethanol concentration > 7.5 %v/v) were applied in the single ice crystal freeze concentration for the no sugar added mulberry wine. The result showed that the ethanol concentration of the wine increased from 5.5%v/v to 11.2-11.4 %v/v, which insignificantly different ($p > 0.05$) from commercial mulberry wine. The concentrations of other components in the wine such as total soluble solid (TSS), anthocyanin, reducing sugar, phenolic compound, total acid, volatile acid, methanol, ester and acetaldehyde were also increased. However, the concentration of methanol was as high as 941 mg/l which were higher than stated in Thai Industrial Standard Institute (TISI) standard value for wine (420 mg/l). So, the mulberry wine could not be produced by concentrating the wine fermented from no sugar added mulberry juice. So, the mulberry juice was concentrated first and then fermented. The vacuum evaporation method and the suspension freeze concentration method were applied in concentrating the juice to obtain the TSS of 20 °Brix. The results showed that the mulberry wine contained 101 and 180 mg/l of methanol. The concentrations of other components were 11.0 and 10.4%v/v of ethanol, 9 and 8°Brix of TSS, 0.32 and 0.1 g/100ml of reducing sugar, 0.48 and 0.56 g/100ml of total acid, and 0.22 and 0.46 g/100ml of volatile acid.

Department ……..Food Technology…… Student's signature.....
Field of study …….Food Technology…… Advisor's signature.....
Academic year …….2004……. Co-advisor's signature……

กิตติกรรมประกาศ

ขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ ดร. ชิดพงศ์ ประดิษฐสุวรรณ ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์.ดร. รมณี สงวนดีกุลที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่กรุณาให้คำปรึกษา คำแนะนำ และความช่วยเหลืออันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการทำงานวิจัยนี้

ขอกราบขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์. สุทธิศักดิ์ สุขในศิลป์ ประธานกรรมการสอบ และอาจารย์.ดร. จิรารัตน์ ทัตติยกุล ที่ร่วมเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ พร้อมทั้งกรุณาชี้แนะแนวทางในการปรับปรุงวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้มีความสมบูรณ์ตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

งานวิจัยนี้จะไม่สามารถสำเร็จลุล่วงได้ ถ้าไม่ได้รับความอนุเคราะห์จากอาจารย์ ภัทราภรณ์ ศรีสมรรถการ ที่ให้ความรู้ และสละเวลาเป็นธุระในการจัดหาวัตถุดิบ และการหมักไวน์ตลอดงานวิจัย และร่วมเป็นกรรมการสอบ

ขอขอบคุณสถาบันฝึกอบรมและวิจัยการเกษตรลำปาง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ที่ให้ความอนุเคราะห์ผลหม่อนที่ใช้ในงานวิจัย และให้โอกาสแก่ข้าพเจ้าในการเรียนรู้กระบวนการผลิตไวน์

ขอขอบคุณเพื่อน ๆ ปริญญาโททุกคนที่ให้ความช่วยเหลือ ให้คำแนะนำ และให้กำลังใจกันมาตลอดงานวิจัย

ท้ายสุดผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ที่สนับสนุนในด้านการเงิน คำแนะนำ และให้กำลังใจผู้วิจัยเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย……ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ……จ

กิตติกรรมประกาศ……ฉ

สารบัญ……ช

สารบัญตาราง……ญ

สารบัญรูป……ฐ

บทที่

1 บทนำ……1

2 วารสารปริทัศน์

2.1หม่อน……2

2.2 ไวน์……3

2.2.1 ประเภทของไวน์……4

2.2.2 ขั้นตอนการผลิตไวน์……5

2.2.3 ส่วนประอบสำคัญที่พบในไวน์……11

2.3 การทำให้เข้มข้น……14

2.3.1 การทำให้เข้มข้นโดยใช้แผ่นเมมเบรน……14

2.3.2 การทำให้เข้มข้นโดยการระเหย……15

2.3.3 การทำให้เข้มข้นโดยการแช่เยือกแข็ง……16

3 การทดลอง

วัตถุดิบในการผลิตไวน์หม่อน……26

สารเคมี……26

ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงานวิจัย……28

3.1 การทำเข้มข้นไวน์หม่อนที่หมักโดยไม่เติมน้ำตาล……28

3.1.1 ศึกษาสมบัติทางกายภาพและองค์ประกอบทางเคมีของน้ำหม่อน……28

3.1.2 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีระหว่างการหมักไวน์หม่อน 100 % ที่ผ่านการหมักแบบไม่เติมน้ำตาล……29

3.1.3 ศึกษาสมบัติทางกายภาพ และองค์ประกอบทางเคมีของไวน์หม่อน 100% ที่ผ่านการหมักแบบไม่เติมน้ำตาล……30

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หน้า

3.1.4 ศึกษาหาสภาวะที่ดีที่สุดในการทำเข้มข้นโดยวิธีการแช่เยือกแข็งแบบผลึกเดี่ยวของแบบจำลองเอทานอล.....31
3.1.5 นำสภาวะที่ดีที่สุดที่ได้จากข้อ 3.1.4 มาทำเข้มข้นไวน์หม่อน 100% ที่ผ่านการหมักแบบไม่เติมน้ำตาล.....34
3.1.6 ศึกษาสมบัติทางกายภาพและองค์ประกอบทางเคมีของไวน์หม่อนเข้มข้นที่ได้จากการแช่เยือกแข็งแบบผลึกเดี่ยว และไวน์หม่อนควบคุม.....35
3.1.7 ศึกษาสมบัติทางกายภาพและองค์ประกอบทางเคมีของไวน์หม่อนเข้มข้นที่ได้จากการแช่เยือกแข็งแบบผลึกเดี่ยวและผลึกแขวนลอย..... .. 35
3.2 การทำเข้มข้นน้ำหม่อนก่อนนำไปหมักเป็นไวน์หม่อน.....35
3.2.1 ศึกษาสมบัติทางกายภาพและองค์ประกอบทางเคมีของน้ำหม่อนเข้มข้น.....35
3.2.2 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีระหว่างการหมักของไวน์หม่อนที่หมักจากน้ำหม่อนเข้มข้น.....36
3.2.3 ศึกษาสมบัติทางกายภาพและองค์ประกอบทางเคมีของไวน์หม่อนที่หมักจากน้ำหม่อนเข้มข้นและไวน์หม่อนควบคุมที่สภาวะก่อนบ่มและหลังบ่ม.....36
3.2.4 ศึกษาคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของไวน์หม่อนที่หมักจากน้ำหม่อนเข้มข้น และไวน์หม่อนควบคุมที่สภาวะหลังบ่ม.....37
4 ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง
4.1 การทำเข้มข้นไวน์หม่อนที่หมักโดยไม่เติมน้ำตาล.....38
4.1.1 สมบัติทางกายภาพและองค์ประกอบทางเคมีของน้ำหม่อน.....38
4.1.2 การเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีระหว่างการหมักไวน์หม่อน 100 % ที่ผ่านการหมักแบบไม่เติมน้ำตาล.....39
4.1.3 สมบัติทางกายภาพ และองค์ประกอบทางเคมีของไวน์หม่อน 100% ที่ผ่านการหมักแบบไม่เติมน้ำตาล.....42
4.1.4 สภาวะที่ดีที่สุดในการทำเข้มข้นโดยวิธีการแช่เยือกแข็งแบบผลึกเดี่ยวของแบบจำลองเอทานอล.....48
4.1.5 การสูญเสียองค์ประกอบของไวน์หม่อน 100% ที่ผ่านการแช่เยือกแข็งแบบผลึกเดี่ยว.....53

หน้า

4.1.6 สมบัติทางกายภาพและองค์ประกอบทางเคมีของไวน์หม่อน
เข้มข้นที่ได้จากการแช่เยือกแข็งแบบผลึกเดี่ยว และไวน์หม่อนควบคุม.....54
4.1.7 ศึกษาสมบัติทางกายภาพและองค์ประกอบทางเคมีของไวน์หม่อน
เข้มข้นที่ได้จากการแช่เยือกแข็งแบบผลึกเดี่ยวและผลึกแขวนลอย..... .56
4.2 การทำเข้มข้นน้ำหม่อนก่อนนำไปหมักเป็นไวน์หม่อน.....56
4.2.1 สมบัติทางกายภาพและองค์ประกอบทางเคมีของน้ำหม่อนเข้มข้น.....59
4.2.2 การเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีระหว่างการหมักของ
ไวน์หม่อนที่หมักจากน้ำหม่อนเข้มข้น.....60
4.2.3 สมบัติทางกายภาพและองค์ประกอบทางเคมีของไวน์หม่อน
ที่หมักจากน้ำหม่อนเข้มข้นและไวน์หม่อนควบคุมที่
สภาวะก่อนบ่มและหลังบ่ม.....63
4.2.4 คุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของไวน์หม่อนที่หมักจากน้ำหม่อน
เข้มข้น และไวน์หม่อนควบคุมที่สภาวะหลังบ่ม.....75
5 สรุปผลการทดลอง.....78
รายการอ้างอิง.....80
ภาคผนวก.....87
ภาคผนวก ก.....88
ภาคผนวก ข.....96
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....97

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2.1 องค์ประกอบต่าง ๆ ในผลหม่อนโดยคิดจากส่วนที่รับประทานได้ 100 กรัม 3

2.2 ปริมาณโปแตสเซียมซอร์เบทที่ใช้ในไวน์ก่อนการบรรจุ.....11

3.1 อุณหภูมิของ cooling bath ที่สภาวะต่าง ๆ.....33

3.2 ค่า Reynold number ที่ความเร็วรอบใบกวนต่าง ๆ 34

4.1 สมบัติทางกายภาพ และองค์ประกอบทางเคมีต่าง ๆ ของน้ำหม่อน..... 38

4.2 สมบัติทางกายภาพของไวน์หม่อน 100% หมักทั้งเนื้อหม่อน ตลอดระยะการหมัก และหมักทั้งเนื้อหม่อนเพียง 3 วัน.....43

4.3 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ของไวน์หม่อนหมักทั้งเนื้อหม่อน ตลอดระยะการหมัก หมักทั้งเนื้อหม่อนเพียง 3 วันและไวน์หม่อนควบคุม.....43

4.4 องค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ ปริมาณเอทานอล และเมทานอลของไวน์หม่อนหมักทั้งเนื้อหม่อนตลอดระยะการหมัก หมักทั้งเนื้อหม่อนเพียง 3 วันที่ผ่านการทำเข้มข้นโดยการแช่เยือกแข็งแบบผลึกเดี่ยว และไวน์หม่อนควบคุม..... 44

4.5 องค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ ปริมาณกรดทั้งหมด กรดระเหย และ pH ของไวน์หม่อนหมักทั้งเนื้อหม่อนตลอดระยะการหมัก หมักทั้งเนื้อหม่อนเพียง 3 วัน และไวน์หม่อนควบคุม..... 46

4.6 องค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ ปริมาณสารประกอบฟีนอล และแอนโทไซยานินของไวน์หม่อนหมักทั้งเนื้อหม่อนตลอดระยะการหมัก และหมักทั้งเนื้อหม่อนเพียง 3 วัน..47

4.7 องค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ ปริมาณอะเซทาลดีไฮด์ และเอสเทอร์ของไวน์หม่อนหมักทั้งเนื้อหม่อนตลอดระยะการหมัก และหมักทั้งเนื้อหม่อนเพียง 3 วัน..... 47

4.8 ค่าสัมประสิทธิ์การแยก (K) ที่ความเข้มข้นเอทานอล 5%v/v.....48

4.9 ค่าสัมประสิทธิ์การแยก (K) ที่ความเข้มข้นเอทานอล 7.5%v/v..... 49

4.10 ค่าสัมประสิทธิ์การแยก (K) ที่ความเข้มข้นเอทานอล 10%v/v..... 49

4.11 องค์ประกอบทางเคมีที่เหลืออยู่ของไวน์หม่อน 100% หมักทั้งเนื้อผลหม่อนตลอดระยะการหมักและหมักทั้งเนื้อผลหม่อนเพียง 3 วันหลังผ่านการทำเข้มข้นโดยการแช่เยือกแข็งแบบผลึกเดี่ยว.....54

4.12 สมบัติทางกายภาพของไวน์หม่อนหมักทั้งเนื้อหม่อนตลอดระยะการหมัก หมักทั้งเนื้อหม่อนเพียง 3 วันที่ผ่านการทำเข้มข้นโดยการแช่เยือกแข็งแบบผลึกเดี่ยว และไวน์หม่อนควบคุม..... 55

ตารางที่ หน้า

4.13 องค์ประกอบทางเคมีของไวน์หม่อนหมักทั้งเนื้อหม่อนตลอดระยะการหมัก หมักทั้งเนื้อหม่อนเพียง 3 วันที่ผ่านการทำเข้มข้นโดยการแช่เยือกแข็งแบบผลึกเดี่ยว และไวน์หม่อนควบคุม..... 56
4.14 สมบัติทางกายภาพของไวน์หม่อนเข้มข้นโดยการแช่เยือกแข็ง แบบผลึกเดี่ยวและผลึกแขวนลอย..... 57
4.15 องค์ประกอบทางเคมีของไวน์หม่อนเข้มข้นโดยการแช่เยือกแข็ง แบบผลึกเดี่ยวและผลึกแขวนลอย..... 58
4.16 สมบัติทางกายภาพของน้ำหม่อน น้ำหม่อนเข้มข้นโดยการระเหยแบบ สุญญากาศ และการแช่เยือกแข็งแบบผลึกแขวนลอย..... 59
4.17 องค์ประกอบทางเคมีของน้ำหม่อน น้ำหม่อนเข้มข้นโดยการระเหยแบบ สุญญากาศ และการแช่เยือกแข็งแบบผลึกแขวนลอย..... 60
4.18 ค่าสี L* ของไวน์หม่อนที่หมักจากน้ำหม่อนเข้มข้นโดยการระเหยแบบสุญญากาศ และการแช่เยือกแข็งแบบผลึกแขวนลอย ไวน์หม่อนควบคุมก่อนบ่มและหลังบ่ม..... 64
4.19 ค่าสี a* ของไวน์หม่อนที่หมักจากน้ำหม่อนเข้มข้นโดยการระเหยแบบสุญญากาศ และการแช่เยือกแข็งแบบผลึกแขวนลอย ไวน์หม่อนควบคุมก่อนบ่มและหลังบ่ม..... 64
4.20 ค่าสี b* ของไวน์หม่อนที่หมักจากน้ำหม่อนเข้มข้นโดยการระเหยแบบสุญญากาศ และการแช่เยือกแข็งแบบผลึกแขวนลอย ไวน์หม่อนควบคุมก่อนบ่มและหลังบ่ม..... 65
4.21 ความใสของไวน์หม่อนที่หมักจากน้ำหม่อนเข้มข้นโดยการระเหยแบบสุญญากาศ และการแช่เยือกแข็งแบบผลึกแขวนลอย ไวน์หม่อนควบคุมก่อนบ่มและหลังบ่ม 66
4.22 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ ของไวน์หม่อนที่หมักจากน้ำหม่อนเข้มข้นโดยการ ระเหยแบบสุญญากาศ และการแช่เยือกแข็งแบบผลึกแขวนลอย ไวน์หม่อน ควบคุมก่อนบ่มและหลังบ่ม..... 66
4.23 ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ ของไวน์หม่อนที่หมักจากน้ำหม่อนเข้มข้นโดยการระเหย แบบสุญญากาศ และการแช่เยือกแข็งแบบผลึกแขวนลอย ไวน์หม่อนควบคุม ก่อนบ่มและหลังบ่ม..... 67
4.24 ค่า pH ของไวน์หม่อนที่หมักจากน้ำหม่อนเข้มข้นโดยการระเหยแบบสุญญากาศ และการแช่เยือกแข็งแบบผลึกแขวนลอย ไวน์หม่อนควบคุมก่อนบ่มและหลังบ่ม..... 68

ตารางที่ หน้า

4.25 ปริมาณเอทานอลของไวน์หม่อนที่หมักจากน้ำหม่อนเข้มข้นโดยการระเหยแบบสุญญากาศและการแช่เยือกแข็งแบบผลึกแขวนลอย ไวน์หม่อนควบคุมก่อนบ่มและหลังบ่ม……..69

4.26 ปริมาณเมทานอลของไวน์หม่อนที่หมักจากน้ำหม่อนเข้มข้นโดยการระเหยแบบสุญญากาศและการแช่เยือกแข็งแบบผลึกแขวนลอย ไวน์หม่อนควบคุมก่อนบ่มและหลังบ่ม……..70

4.27 ปริมาณกรดทั้งหมดของไวน์หม่อนที่หมักจากน้ำหม่อนเข้มข้นโดยการระเหยแบบสุญญากาศและการแช่เยือกแข็งแบบผลึกแขวนลอย ไวน์หม่อนควบคุมก่อนบ่มและหลังบ่ม……..70

4.28 ปริมาณกรดระเหยของไวน์หม่อนที่หมักจากน้ำหม่อนเข้มข้นโดยการระเหยแบบสุญญากาศและการแช่เยือกแข็งแบบผลึกแขวนลอย ไวน์หม่อนควบคุมก่อนบ่มและหลังบ่ม…… 72

4.29 ปริมาณสารประกอบฟีนอลของไวน์หม่อนที่หมักจากน้ำหม่อนเข้มข้นโดยการระเหยแบบสุญญากาศและการแช่เยือกแข็งแบบผลึกแขวนลอย ไวน์หม่อนควบคุมก่อนบ่มและหลังบ่ม……73

4.30 ปริมาณแอนโทไซยานินของไวน์หม่อนที่หมักจากน้ำหม่อนเข้มข้นโดยการระเหยแบบสุญญากาศและการแช่เยือกแข็งแบบผลึกแขวนลอย ไวน์หม่อนควบคุมก่อนบ่มและหลังบ่ม……73

4.31 ปริมาณอะเซทาลดีไฮด์ของไวน์หม่อนที่หมักจากน้ำหม่อนเข้มข้นโดยการระเหยแบบสุญญากาศและการแช่เยือกแข็งแบบผลึกแขวนลอย ไวน์หม่อนควบคุมก่อนบ่มและหลังบ่ม……74

4.32 ปริมาณเอสเทอร์ของไวน์หม่อนที่หมักจากน้ำหม่อนเข้มข้นโดยการระเหยแบบสุญญากาศและการแช่เยือกแข็งแบบผลึกแขวนลอย ไวน์หม่อนควบคุมก่อนบ่มและหลังบ่ม……75

4.33 คะแนนด้านสี ความใสกลิ่นผลไม้ กลิ่นน้ำส้มสายชู รสเปรี้ยว รสหวาน รสฝาด และบอดี้ของไวน์หม่อนที่หมักจากน้ำหม่อนเข้มข้นโดยการระเหยแบบสุญญากาศและการแช่เยือกแข็งแบบผลึกแขวนลอย ไวน์หม่อนควบคุมหลังบ่ม……77

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	ผลหม่อนพันธุ์คอกหมู	2
2.2	กระบวนการสร้างแอลกอฮอล์ของยีสต์	8
2.3	ขั้นตอนในกระบวนการทำให้เข้มข้นโดยการแช่เยือกแข็งแบบผลึกแขวนลอย	18
2.4	อิทธิพลของการทำให้เย็นยิ่งยวดต่ออัตราการเกิดนิวคลีเอชั่นและการเติบโตของผลึกระหว่างการแช่เยือกแข็ง	19
2.5	ส่วนประกอบของเครื่องทำให้เข้มข้นโดยการแช่เยือกแข็งแบบผลึกเดี่ยว	24
3.1	ส่วนประกอบของเครื่องทำให้เข้มข้นโดยการแช่เยือกแข็งแบบผลึกเดี่ยว	32
4.1	การเปลี่ยนแปลงของปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในระหว่างการหมักไวน์หม่อนที่สภาวะในการหมักต่างกัน	40
4.2	การเปลี่ยนแปลงของปริมาณแอลกอฮอล์ในระหว่างการหมักไวน์หม่อนที่สภาวะในการหมักต่าง ๆ	40
4.3	การเปลี่ยนแปลงของปริมาณกรดทั้งหมดในระหว่างการหมักไวน์หม่อนที่สภาวะในการหมักต่าง ๆ	41
4.4	อิทธิพลของความเร็วรอบใบกวน และอัตราเร็วการเกิดน้ำแข็งที่มีต่อค่าสัมประสิทธิ์การแยก (K) ที่สารละลายเอทานอลเข้มข้น 5 %v/v	51
4.5	อิทธิพลของความเร็วรอบใบกวน และอัตราเร็วการเกิดน้ำแข็งที่มีต่อค่าสัมประสิทธิ์การแยก (K) ที่สารละลายเอทานอลเข้มข้น 7.5 %v/v	51
4.6	อิทธิพลของความเร็วรอบใบกวน และอัตราเร็วการเกิดน้ำแข็งที่มีต่อค่าสัมประสิทธิ์การแยก (K) ที่สารละลายเอทานอลเข้มข้น 10 %v/v	52
4.7	การเปลี่ยนแปลงของปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในระหว่างการหมักไวน์หม่อนที่สภาวะในการหมักต่างกัน	47
4.8	การเปลี่ยนแปลงของปริมาณแอลกอฮอล์ในระหว่างการหมักไวน์หม่อนที่สภาวะในการหมักต่างกัน	62
4.9	การเปลี่ยนแปลงของปริมาณกรดทั้งหมด (ในรูปกรดซิตริก) ในระหว่างการหมักไวน์หม่อน	62

บทที่ 1

บทนำ

ปัจจุบันการนำเข้าและบริโภคไวน์ต่างประเทศเพิ่มขึ้นเป็นเหตุหนึ่งที่ทำให้ประเทศไทยเสียดุลการค้าทั้งที่ประเทศไทยมีผลไม้มากมายหลายชนิดที่สามารถนำมาแปรรูปเพิ่มมูลค่าผลผลิตทางการเกษตรโดยการทำเป็นไวน์ได้ ผลหม่อนเป็นผลไม้ชนิดหนึ่งที่มีศักยภาพในการผลิตไวน์ เนื่องจากมีสีแดงเข้ม มีกลิ่น รสชาติดี และคุณภาพที่ดีเป็นที่ยอมรับในระดับหนึ่ง (วิโรจน์ แก้วเรือง และคณะ, 2535) โดยผลไม้ที่นำมาหมักเป็นไวน์ควรเป็นผลไม้ที่สุกจัดมีการเปลี่ยนแปลงภายในผลอย่างเต็มที่มีความสมดุลของรสเปรี้ยว รสหวาน และรสฝาด ทำให้ในขั้นตอนการผลิตไวน์ต้องการปรุงแต่งน้ำผลไม้ซึ่งจะต้องคำนึงถึงรสชาติและกลิ่นรสเดิมของผลไม้ด้วยเนื่องจากอาจทำให้เสียกลิ่นรสเดิมของผลไม้ ในผลไม้ที่มีรสเปรี้ยวจัดอาจเจือจางน้ำเพื่อลดความเป็นกรดทำให้ต้องเติมสารอาหารของยีสต์ เช่น สารไนโตรเจน เกลือฟอสเฟต วิตามิน และเกลือแร่ นอกจากนี้หากผลไม้มีปริมาณกรดต่ำจะเติมกรดเพิ่มลงไปโดยคำนึงถึงชนิดของกรดที่มีอยู่มากในผลไม้ชนิดนั้น ในผลไม้ที่มีน้ำตาลต่ำจะต้องปรับปริมาณน้ำตาลเพื่อให้ได้ปริมาณแอลกอฮอล์สูงเพียงพอ แต่การเติมน้ำตาลจำนวนมากลงไปในน้ำผลไม้จะมีผลเสียต่อคุณภาพของไวน์โดยจะทำให้ไวน์มีบอดี้ลดลง ขาดดุลยภาพของรสชาติ และขาดรสชาติของผลไม้ที่แท้จริง นอกจากนี้ในบางประเทศ เช่น ฝรั่งเศส โปรตุเกส และสหรัฐอเมริกาในรัฐแคลิฟอเนียร์ไม่อนุญาตให้เติมน้ำตาลในน้ำผลไม้ที่จะใช้หมักไวน์เพื่อเพิ่มระดับแอลกอฮอล์อีกด้วย (ชัยรัตน์ โมไนยพงศ์, 2546) ดังนั้นจึงมีแนวคิดที่จะนำกระบวนการทำให้เข้มข้นโดยการแช่เยือกแข็งซึ่งเป็นกระบวนการที่สามารถป้องกันการเกิดปฏิกิริยาทางเคมีและชีวเคมี เช่น การเปลี่ยนแปลงสี การเกิดปฏิกริยาสีน้ำตาลจากเอนไซม์ (enzymatic browning) และทำให้เกิดการสูญเสียกลิ่นรสน้อยมาก (Deshpande, Bolin and Salunkhe, 1982) และการระเหยแบบสุญญากาศซึ่งเป็นกระบวนการที่มีความสามารถในการทำเข้มข้นสูง และสามารถกำจัดกลิ่นรสที่ไม่ต้องการออกได้ มาประยุกต์ใช้ในกระบวนการผลิตไวน์เพื่อให้ได้ไวน์คุณภาพดี รสกลมกล่อม มีรสชาติผลไม้ที่แท้จริง และมีคุณภาพทัดเทียมกับไวน์จากต่างประเทศ งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตไวน์โดยใช้น้ำตาลที่มีอยู่ในผลไม้ พร้อมทั้งศึกษาองค์ประกอบทางกายภาพและเคมีของไวน์ที่ได้ เพื่อเป็นข้อมูลในการพัฒนาคุณภาพไวน์ให้เทียบเท่าไวน์จากต่างประเทศ ช่วยลดการนำเข้าไวน์ เพิ่มมูลค่าและการใช้ประโยชน์จากผลหม่อน

บทที่ 2

วารสารปริทัศน์

2.1 หม่อน

หม่อนเป็นไม้พุ่มในวงศ์ Moraceae มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Morus spp.* ชื่อสามัญว่า Mulberry (Doymaz, 2004) เจริญเติบโตได้ทั้งในเขตอบอุ่นจนถึงเขตร้อน สามารถแบ่งหม่อนเป็นกลุ่มใหญ่ ๆ ได้ 2 ประเภท คือ (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2532)

1. หม่อนที่ปลูกเพื่อเลี้ยงไหม (White Mulbery, *M. alba*) เช่น หม่อนไผ่ หม่อนคุณไพ หม่อนชนิดนี้จะมีผลเป็นช่อเล็ก เมื่อสุกแล้วมีสีแดง รสเปรี้ยว ไม่นิยมนำผลมารับประทาน แต่มีใบโต และใบมาก

2. หม่อนที่ปลูกเพื่อรับประทานผล (Black Mulbery, *M. nigra*) เช่นหม่อนจีน และหม่อนคอกหมู หม่อนชนิดนี้จะมีผลเป็นช่อ เมื่อผลสุกจะมีสีดำ รสเปรี้ยวอมหวาน

รูปที่ 2.1 ผลหม่อนพันธุ์คอกหมู

การรับประทานผลหม่อนสดจะได้รับคุณค่าทางอาหาร ดังแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบต่าง ๆ ในผลหม่อนโดยคิดจากส่วนที่รับประทานได้ 100 กรัม (เกศิณี ระมิงค์วงศ์, 2528)

องค์ประกอบทางเคมี	ปริมาณ
พลังงาน (แคลอรี่)	53.0
น้ำ (กรัม)	84.0
โปรตีน (กรัม)	1.7
ไขมัน (กรัม)	0.4
คาร์โบไฮเดรต (มิลลิกรัม)	12.2
แคลเซียม (มิลลิกรัม)	30.0
ฟอสฟอรัส (มิลลิกรัม)	32.0
เหล็ก (มิลลิกรัม)	3.7
Vitamin A (มิลลิกรัม)	17.0
Vitamin B_1 (มิลลิกรัม)	0.03
Vitamin B_2 (มิลลิกรัม)	0.06
Vitamin C (มิลลิกรัม)	5.0
Niacin (มิลลิกรัม)	0.2

2.2 ไวน์ (wine)

ไวน์เป็นเครื่องดื่มที่มีแรงแอลกอฮอล์ที่เกิดจากการหมักผลไม้ น้ำผลไม้ หรือผลผลิตการเกษตรบางชนิด เช่น ข้าว น้ำผึ้ง แป้ง เป็นต้น ด้วยเชื้อยีสต์ที่คัดเลือกแล้วมีการควบคุมการหมักและการผลิตอย่างเหมาะสมทั้งนี้อาจเติมแอลกอฮอล์หรือสุราชนิดอื่นเพื่อให้มีแรงแอลกอฮอล์มากขึ้นและอาจปรุงแต่งสี กลิ่น รสเพิ่มเติมด้วยก็ได้ (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2545) ไวน์ที่ผลิตจากผลไม้อื่นที่ไม่ใช่องุ่นจะเรียกว่าไวน์ผลไม้ หรือเรียกชื่อผลไม้นั้น ๆ ตามด้วย เช่น ไวน์สับปะรด ไวน์สตรอเบอรี่ ไวน์หม่อนเป็นต้น การผลิตไวน์เป็นศิลปะทางวิทยาศาสตร์ซึ่งรวมเอาหลักการทางเคมีและชีวเคมีเพื่อศึกษาองค์ประกอบทางอินทรีย์รวมทั้งอนินทรีย์ โดยเฉพาะเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการเปลี่ยนน้ำตาลเป็นแอลกอฮอล์ กระบวนการเปลี่ยนแปลงสาร

ประกอบอินทรีย์ไปเป็นสารให้กลิ่นรสและรสชาติ (ประดิษฐ์ ครุวัณณา, 2545) ไวน์แตกต่างจากเหล้าหรือเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ชนิดอื่น ๆ ตรงไวน์ทำจากน้ำผลไม้ มีปริมาณแอลกอฮอล์ต่ำ รสเปรี้ยว รสหวานหรือไม่หวานก็ได้ มีกลิ่นหอมจากผลไม้ชนิดนั้น ๆ กลิ่นหอมที่เกิดจากปฏิกริยาทางเคมี (สมสุข ตังเจริญ และอรวินท์ เลาหรัชตนันท์, 2536) และมีคุณประโยชน์ของน้ำผลไม้ เช่น วิตามิน เกลือแร่ และแร่ธาตุต่าง ๆ

2.2.1 ประเภทของไวน์

การแบ่งไวน์สามารถจำแนกได้หลายแบบ เช่น ตามความนิยมทั่วไป สี ความหวาน แอลกอฮอล์ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

1. <u>การแบ่งไวน์ตามความความนิยมทั่วไป</u> สามารถแบ่งได้ 3 ประเภท คือ

- table wine เป็นไวน์ไม่มีฟองที่มีแอลกอฮอล์ 9-14% โดยปริมาตร ได้จากการหมักตามธรรมชาติ ไม่มีการเติมสิ่งใดลงไป
- sparkling wine เป็นไวน์ที่มีแอลกอฮอล์ 9-14% โดยปริมาตร มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ละลายในไวน์เนื่องจากผ่านการหมักซ้ำ (refermentation) จากการหมักภายในขวดในระหว่างการเก็บส่งผลให้เกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เก็บไว้ในขวด (Vine et al, 1997) เมื่อเปิดและรินใส่แก้วจึงเกิดฟองก๊าซและเกิดความซ่าเมื่อดื่ม เช่น แชมเปญ (champagne)
- fortified wine เป็นไวน์ที่มีดีกรีแอลกอฮอล์สูง 16-23% โดยปริมาตร ที่สามารถเก็บได้นานกว่า table wine และ sparkling wine โดยการเติมแอลกอฮอล์ที่ได้จากการกลั่น เหล้าองุ่นลงไปแบ่งได้ 2 ชนิด คือ

1. apperitif หรือ appertizer wine เป็นไวน์ที่เติมกลิ่นรสและสารสกัดสมุนไพรก่อนการบรรจุขวด เป็นไวน์เรียกน้ำย่อยเพื่อการเจริญอาหาร เช่น Vermouth
2. dessert wine เป็นไวน์ที่ไม่มีการเติมกลิ่นรสและสารสกัดสมุนไพร มีลักษณะต่างจากไวน์ธรรมดาคือ มีรสหวาน กลิ่นรส และแอลกอฮอล์มากกว่าไวน์ชนิดอื่น

2. <u>การแบ่งไวน์ตามสี</u> ได้ 3 ประเภท คือ

- ไวน์แดง (red wine) ทำจากองุ่นดำหมักทั้งเปลือกและเนื้อ มีสีแดงอ่อน ๆ จนถึงสีแดงเข้ม ขึ้นกับประเภทองุ่นที่นำมาทำ มีลักษณะเด่น คือ มีรสชาติ ความฝาด กลิ่น ความเข้มข้น และความหวานมากกว่าไวน์ชนิดอื่น

- ไวน์ขาว (white wine) เป็นไวน์ที่ทำจากองุ่นเขียวหรือองุ่นชนิดใดก็ได้ โดยนำเฉพาะน้ำมาหมักเป็นไวน์ มีสีเหลืองอ่อนจนถึงสีน้ำตาล มีลักษณะเฉพาะ คือ รสชาติอ่อน และกลิ่นน้อย

- ไวน์โรเซ่ (rose wine หรือ pink wine) ทำจากองุ่นดำหรือองุ่นแดงที่หมักทั้งเปลือกเช่นเดียวกับไวน์แดง แต่ใช้ระยะเวลาสั้นกว่าแล้วรีบกรองเอาเปลือกออกหรือได้จากไวน์ขาวผสมไวน์แดง มีสีชมพูชีด ๆ จนเกือบแดง

2.2.2 ขั้นตอนในการผลิตไวน์

1. <u>การเตรียมน้ำผลไม้สำหรับการหมักไวน์</u>

ผลไม้ที่มีความสมดุลของรสเปรี้ยว รสหวาน และรสฝาดจะสามารถทำไวน์ให้มีรสกลมกล่อมได้ง่าย ผลไม้ที่นำมาทำไวน์ควรเป็นผลไม้ที่สุกงอม มีการเปลี่ยนแปลงภายในผลอย่างเต็มที่ เนื่องจากจะทำให้ไวน์มีรสดีและมีกลิ่นหอมของผลไม้ ขั้นตอนการเตรียมน้ำผลไม้เริ่มจากนำผลไม้มาปอกเปลือก ล้างน้ำให้สะอาด และคั้นน้ำ โดยในการคั้นต้องระวังไม่ให้เมล็ดแตก เนื่องจากในเมล็ดจะมีสารแทนนินสูงทำให้มีรสขมจัด และไม่ควรให้น้ำผลไม้สัมผัสกับอากาศนานเกินไปเพื่อไม่ให้เกิดการเติมออกซิเจนในน้ำผลไม้ เนื่องจากจะทำให้น้ำผลไม้มีสีคล้ำจากการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาล โดยอาจเติมสารเคมี เช่น โปแตสเซียมเมตาไบซัลไฟท์หรือซัลเฟอร์ไดออกไซด์เพื่อไม่ให้เกิดการเติมออกซิเจน จากนั้นจะนำน้ำผลไม้ที่คั้นเสร็จแล้วมาปรุงแต่ง รสหวาน รสเปรี้ยว และรสฝาดสมดุลกัน ซึ่งจะต้องคำนึงถึงรสชาติและกลิ่นรสเดิมของผลไม้ด้วย เนื่องจากอาจทำให้เสียกลิ่นรสเดิมของผลไม้ไปจึงควรปรุงแต่งกลิ่นรสเพียงอ่อน ๆ เพื่อเสริมกลิ่นรสผลไม้ที่ขาดไปและรักษากลิ่นรสเดิมไว้ จุดประสงค์ของการปรุงแต่งน้ำผลไม้มี 2 ประการคือ

1. 1 การปรุงแต่งเพื่อให้ยีสต์ได้สารอาหารเพียงพอ

น้ำองุ่นมีสารอาหารที่เพียงพอสำหรับการเจริญเติบโตของยีสต์อยู่แล้ว แต่ในผลไม้ที่มีรสเปรี้ยวจัดต้องเจือจางลดความเป็นกรดจึงทำให้สารอาหารสำหรับยีสต์ไม่เพียงพอต่อการเจริญเติบโตทำให้การหมักแอลกอฮอล์หยุดชะงัก โดยสารอาหารสำหรับยีสต์ที่อาจต้องเติมมีดังนี้

- สารไนโตรเจน นิยมเติมในรูปของเกลือแอมโมเนียมซัลเฟต (ammonium sulphate) ในปริมาณ 0.05 – 0.1% นอกจากนี้อาจเติมในรูปของเกลือแอมโมเนียมฟอสเฟต (ammonium phosphate) หรือยูเรีย (urea) ก็ได้

- เกลือฟอตเฟต ในกระบวนการหมักแอลกอฮอล์ของยีสต์ต้องการเกลือฟอสเฟต เนื่องจากเมื่อเริ่มทำการหมักน้ำตาลยีสต์จะสร้างสารเอสเทอร์ซึ่งมีฟอสเฟตเป็นองค์ประกอบ โดยปกติเกลือฟอสเฟตจะมีอยู่ในน้ำผลไม้เพียงพอแล้วแต่หากไม่พอเพียงจะทำให้ยีสต์หยุดการหมักซึ่งสามารถทำให้กระบวนการหมักดำเนินต่อไปได้โดยการเติมเกลือแอมโมเนียมฟอสเฟตในปริมาณ 0.5 กรัมต่อไวน์ 1 แกลลอน แล้วเขย่าอย่างแรง เมื่อทิ้งไว้สักระยะยีสต์จะทำการหมักต่อไปได้ตามปกติ โดยในเกลือแอมโมเนียมฟอสเฟตจะมีทั้งสารไนโตรเจนและฟอสเฟตอยู่ด้วย ดังนั้นหากไม่แน่ใจว่าน้ำผลไม้ที่ใช้ทำไวน์ขาดฟอสเฟตหรือไม่อาจเติมเกลือแอมโมเนียมฟอสเฟตโดยไม่ต้องเติมเกลือแอมโมเนียมซัลเฟต

- วิตามินและเกลือแร่ ยีสต์มีความต้องการวิตามินและเกลือแร่ในปริมาณน้อยแต่มีความสำคัญเนื่องจากจะช่วยกระตุ้นการเจริญเติบโตและเร่งให้การหมักของยีสต์ดีขึ้น โดยส่วนใหญ่ปริมาณวิตามินและเกลือแร่ที่มีในน้ำผลไม้จะเพียงพอสำหรับการหมักอยู่แล้ว ซึ่งวิตามิน B_1 เป็นวิตามินที่มีความสำคัญ วิตามินเกลือแร่มีอยู่มากในรูปยีสต์สกัด (yeast extract) แต่มีราคาแพง หากจำเป็นต้องเติมวิตามินและเกลือแร่อาจเติมในรูปของน้ำผลไม้เข้มข้นที่มีอาหารของยีสต์สูง เช่น น้ำองุ่น น้ำสับปะรด แต่การเลือกเติมควรคำนึงถึงเรื่องกลิ่นรสด้วยเนื่องจากอาจกลบกลิ่นรสของผลไม้เดิม

1.2 การปรุงแต่งเพื่อให้ไวน์มีรสชาติกลมกล่อม ได้แก่

- การปรับปริมาณน้ำตาล เป็นสิ่งจำเป็นสำหรับการทำไวน์จากผลไม้เนื่องจากน้ำผลไม้ส่วนใหญ่จะมีความเข้มข้นของน้ำตาลไม่สูงพอที่จะนำมาหมักไวน์ได้ และบางครั้งในการหมักไวน์จากผลไม้ที่มีรสเปรี้ยวจัดต้องมีการเจือจางน้ำเพื่อให้มีปริมาณกรดลดลงเหลือประมาณ 0.5-0.7% ทำให้ความเข้มข้นของน้ำตาลในน้ำผลไม้น้อยมากจึงต้องเติมน้ำตาลลงไปเพื่อเพิ่มความเข้มข้นให้เหมาะสมสำหรับการหมักไวน์ โดยความเข้มข้นที่เหมาะสมที่ใช้ในการหมักไวน์คือ 20-24 ^{o}Brix (สันติ วงศ์สุวรรณ, 2532) แต่การเติมน้ำตาลจำนวนมากลงในน้ำผลไม้จะมีผลเสียต่อคุณภาพของไวน์ คือ จะทำให้บอดี้ของไวน์ลดลงและขาดดุลยภาพของรสชาติ นอกจากนี้ยังพบว่าในฝรั่งเศส โปรตุเกส และสหรัฐอเมริกาในรัฐแคลิฟอร์เนียไม่อนุญาตให้เติมน้ำและน้ำตาลลงไปในน้ำผลไม้ที่ใช้หมักไวน์เพื่อเพิ่มระดับแอลกอฮอล์ (ชัยรัตน์ โมไนยพงศ์, 2546)

- การปรับปริมาณความเป็นกรด ผลไม้แต่ละชนิดจะมีชนิดและปริมาณกรดแตกต่างกัน เช่น องุ่นมีกรดทาร์ทาริก ส้มและมะนาวมีกรดซิตริก มะยมมีกรดมาลิก โดยปริมาณกรดที่เหมาะสมสำหรับการหมักไวน์องุ่นในต่างประเทศจะอยู่ระหว่าง 0.5-0.7% (ในรูปกรดทาร์ทาริก) โดยขึ้นอยู่กับชนิดของไวน์ที่จะทำ ซึ่งปริมาณกรดจะเป็นตัวกำหนดความเป็นกรดและระดับ pH ของน้ำผลไม้ด้วย ระดับ pH ที่เหมาะสมสำหรับการหมักไวน์จะอยู่ในช่วง 3.3-4.0 ในกรณีที่น้ำผลไม้มีความเป็นกรดสูงเกินไปจะสามารถลดปริมาณกรดได้ด้วยการเจือจางด้วยน้ำหรือ

เติมแคลเซียมคาร์บอร์เนตเพื่อเร่งให้เกิดการตกตะกอนของสารแคลเซียมทาร์เทรตหรือเติมแคลเซียมคาร์บอร์เนมาเลต เพื่อทำให้แคลเซียมทาร์เทรตมาเลตตกตะกอนทำให้ปริมาณกรดในน้ำองุ่นลดลง (ชัยรัตน์ โมไนยพงศ์, 2546) ซึ่งการใช้สารเคมีจะสามารถลดปริมาณของกรดทาร์ทาริกเท่านั้น ปริมาณกรดเริ่มต้นที่เหมาะสมสำหรับไวน์ผลไม้ในประเทศไทยคือประมาณ 0.3% (ในรูปกรดทาร์ทาริก) หากไวน์อ่อนรสเปรี้ยวสามารถแก้ไขได้โดยการเติมกรดลงไปตามต้องการได้ทันที แต่คนไทยส่วนใหญ่ไม่ชอบไวน์ที่มีรสเปรี้ยวนำ ดังนั้นจึงไม่ควรปรับปริมาณกรดในช่วงเริ่มต้นสูง เนื่องจากหากไวน์มีรสเปรี้ยวเกินไปจะแก้ไขได้ยาก

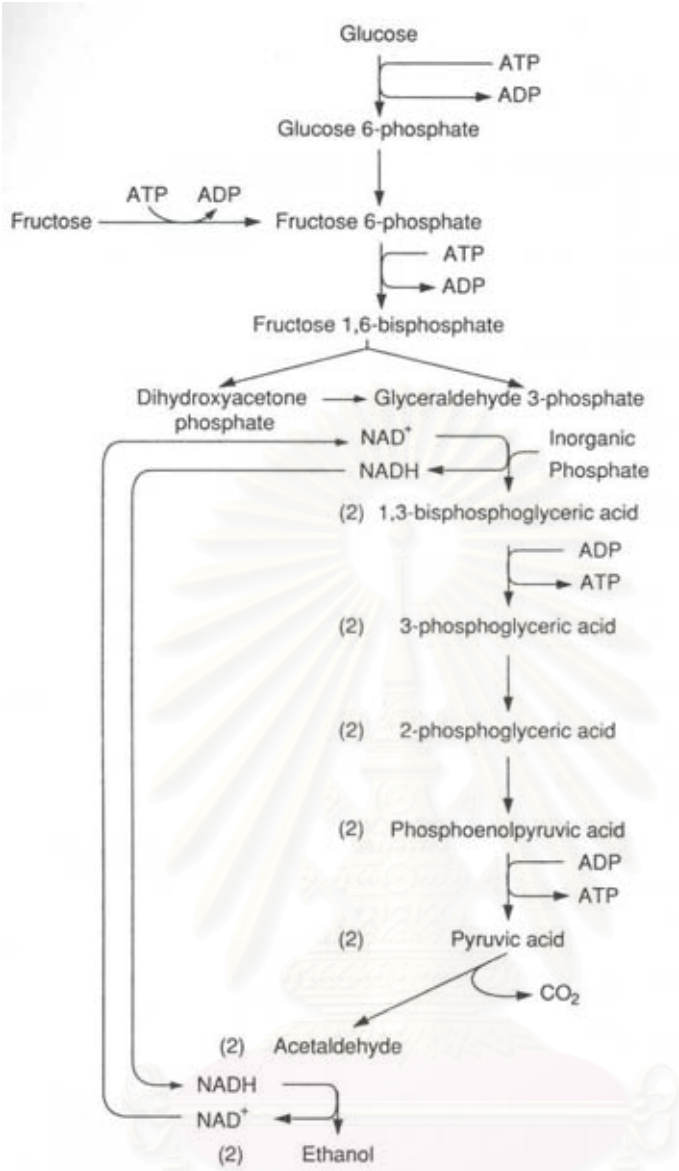
2. <u>การฆ่าเชื้อจุลินทรีย์</u> แบ่งออกเป็น 2 วิธีได้แก่

2.1 ความร้อน วิธีนี้อาจทำให้เกิดการสูญเสียกลิ่นรสของผลไม้ทำให้มีคุณภาพด้อยกว่าการใช้สารเคมี ในการฆ่าเชื้อด้วยความร้อนควรใช้อุณหภูมิต่ำระยะเวลาสั้น นิยมใช้อุณหภูมิ 70°C นาน 15 นาที แล้วทำให้เย็นทันที

2.2 สารเคมี นิยมใช้สารประกอบซัลเฟอร์หรือเกลือซัลไฟท์ เช่น โซเดียมหรือโพแทสเซียมเมตาไบซัลไฟท์ ซึ่งสารนี้เมื่ออยู่ในรูปสารละลายจะมีสภาพเป็นกรดซัลฟุริก (H_2SO_3) และเปลี่ยนเป็นซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ซึ่งแตกตัวออกเป็นซัลไฟท์ โดยจะอยู่ในรูป free HSO_3^- และ bound HSO_3^- ซึ่งจะแตกตัวเต็มที่ที่ pH 3.5 โดย free HSO_3^- จะมีฤทธิ์ทำลายจุลินทรีย์ นอกจากนี้สารประกอบซัลไฟท์ยังสามารถป้องกันการเกิดออกซิเดชั่นทำให้สามารถป้องกันการเกิดปฏิกริยาสีน้ำตาลและการสูญเสียวิตามินซี สารประกอบนี้จะช่วยให้เกิดสารกลีเซอรอลซึ่งช่วยปรับปรุงคุณภาพประสาทสัมผัสในด้านบอดี้ของไวน์อีกด้วย (ปราโมทย์ ธรรมรัตน์, 2532)

3. <u>การหมัก</u> (fermentation)

การหมักไวน์จะเติมเชื้อยีสต์ลงในน้ำผลไม้ที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้ว โดยหากฆ่าเชื้อโดยใช้ความร้อนควรรอจนน้ำผลไม้เย็น แต่หากใช้สารประกอบซัลเฟอร์หรือเกลือซัลไฟท์ควรทิ้งไว้ 24 ชม.แล้วจึงเติมเชื้อยีสต์ เชื้อยีสต์ที่ใช้ในการหมักไวน์ทางการค้าจะสามารถเจริญได้ดีในสภาวะกรดสูง ทนก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ มีความสามารถในการเปลี่ยนน้ำตาลเป็นแอลกอฮอล์สูง และให้กลิ่นรสที่ดีซึ่งมีหลายสายพันธุ์ ได้แก่ *S. cerevisiae* , *S. cerevisiae* var. *burgundy* *S. cerevisiae* var. *montrachet*, *S. bayanus*, *S. capensis* และ *S. chevalieri* (Vine, 1991) ในช่วงแรกของกระบวนการหมัก ระบบจะยังมีออกซิเจนที่เชื้อยีสต์จะใช้ในการเจริญเติบโตเพิ่มจำนวน หลังจากนั้นเมื่อออกซิเจนหมดยีสต์ก็จะเริ่มเปลี่ยนน้ำตาลที่มีอยู่ในน้ำผลไม้ 2 ชนิด คือ กลูโคสและฟรุกโตสให้เป็นเอทานอลโดยผ่าน Embden – Meyerhof – Parnas pathway ดังรูปที่ 2.2 (Jackson, 1994)



รูปที่ 2.2 กระบวนการสร้างแอลกอฮอล์ของยีสต์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

แต่หากช่วงที่ผลิตเอทานอลยีสต์ได้รับออกซิเจนยีสต์จะสร้างคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำแทน ดังสมการ

$$C_6H_{12}O_6 \xrightarrow{\text{enzyme จากยีสต์}} 6CO_2 + H_2O + 673\ \text{Kcal}$$

นอกจากจะมีการสร้างเอทานอลแล้ว ในกระบวนการหมักยังทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสารอื่น ๆ เช่น เกิดการสกัดสี และแทนนินโดยเอทานอล (Bravery, 1970 ; Jackson, 1994) เกิด

กรดซิตริก (citric acid) กรดซัคซินิค (succinic acid) และกรดมาลิก (malic acid) จากกรดไพรูวิก (pyruvic acid) ที่เข้าสู่กระบวนการ Kreb's cycle (Rankine, 1989)

4. <u>การแยกกากออก</u> (Racking)

เมื่อกระบวนการหมักสิ้นสุดลงจะทำการแยกส่วนใสออกเพื่อป้องกันการเกิดกลิ่นและรสชาติที่ไม่ดีที่เกิดจากเชื้อยีสต์ที่ตายแล้ว และเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการหมักอีกครั้ง

5. <u>การทำให้ใส</u>

ไวน์ที่ดีควรมีความใส ความขุ่นของไวน์มีสาเหตุจากการแขวนลอยของชิ้นส่วนขนาดเล็กของผลไม้ แทนนิน เซลล์ยีสต์ที่ตายแล้ว ตะกอนขนาดเล็กของสารพวกโปรตีนที่เกิดจากผลไม้และเชื้อจุลินทรีย์ เพคติน แป้ง ผลึกของโพแทสเซียมทาร์เทรทที่เกิดจากกรดทาร์ทาริกในน้ำผลไม้ และไอออนของโลหะที่ปนเปื้อน (โพแทสเซียม, เหล็ก, ทองแดง และแคลเซียม) การทำให้ใสมีวิธีต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

- เอนไซม์ เช่น การเติมเอนไซม์ pectinase ลงไปในน้ำหมักเพื่อไปย่อยโมเลกุลของเพคตินที่เป็นโซ่ยาวให้มีสายสั้นลงทำให้สามารถละลายน้ำได้ (ช่อขวัญ วงษ์สุวรรณ, 2547) เพคตินเป็นสารประกอบที่พบมากที่ผิวผลไม้ซึ่งเป็นสาเหตุหลักที่ทำให้เกิดความขุ่น เนื่องจากเพคตินมีโครงสร้างเป็นร่างแหและเป็นพวกชอบน้ำมาก (highly hydrophilic colloid) มีประจุลบเมื่ออยู่ในน้ำจะเกิดการพองตัวและแขวนลอยจึงสามารถป้องกันการตกตะกอนของพวกอนุภาคต่าง ๆ ที่กระจายอยู่ในไวน์ (Kirk and Othmer, 1965) ดังนั้นจึงต้องมีการควบคุมปริมาณเพคตินในขั้นตอนการเตรียมน้ำผลไม้ แต่การเติมเอนไซม์ pectinase อาจทำให้กระบวนการหมักมีการสร้างเมทานอลได้สูงกว่าการไม่ใช้เอนไซม์ (โชคชัย วนภู, นันทกร บุญเกิด และ ลำไพร ดิษฐวิบูลย์, 2546) สำหรับไวน์บางชนิดที่ขุ่นเนื่องจากมีแป้งมาก เช่น ไวน์มะม่วง ไวน์กล้วย สามารถกำจัดความขุ่นของแป้งได้โดยการเติมเอนไซม์ amylase
- ไข่ขาว นิยมใช้เพื่อตกตะกอนแทนนินซึ่งเป็นสารให้รสฝาด โดยไข่ขาวจะทำปฏิกริยากับแทนนินเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนจับเอาตะกอนต่าง ๆ ตกลงมา ดังนั้นการตกตะกอนได้ดีจะต้องมีปริมาณแทนนินมากพอ
- ความเย็น การแช่ไวน์ที่อุณหภูมิ 4–20 °C นาน 2-3 วัน จะทำให้อนุภาคของสารแขวนลอยที่จับตัวกันเองเกิดเป็นอนุภาคที่มีขนาดใหญ่และหนักเหมาะสำหรับการตกตะกอนเกลือโพแทสเซียมทาร์เทรทและแป้ง
- เบนโทไนท์ (Bentonite) เป็นสารช่วยตกตะกอนที่ดี และปลอดภัย มีอนุภาคเป็นอะลูมิเนียมซิลิเขต มีประจุไฟฟ้าลบ จึงสามารถตกตะกอนสารที่มีประจุบวก เช่น โปรตีน

- ไอซิงกลาส (ising glass) เป็นสารที่ทำจากกระเพาะปลา มีราคาแพง ใช้ในการกำจัดสารพวกฟีนอล และแทนนิน ข้อดีของสารนี้คือใช้ปริมาณน้อยแต่ให้ประสิทธิภาพในการทำให้ไวน์ใสสูงมาก นิยมใช้ร่วมกับเบนโทไนท์โดยจะใส่เบนโทไนท์ก่อน
- เจลาติน (gelatin) เป็นสารที่สกัดจากหนังสัตว์และกระดูก มีประจุไฟฟ้าบวกใช้ในการจับแทนนิน
- น้ำนมและเคซีน (casein) เป็นสารช่วยตกตะกอนได้ดีมาก เมื่อใส่ลงในไวน์จะเกิดการรวมตัวกันเป็นก้อนเกิดเป็นตะกอนและกำจัดกลิ่นแปลกปลอมต่าง ๆ ได้ดี
- PVPP (polyvinyl-polypyrolidone) เป็นสารสังเคราะห์ใช้กำจัดสารพวกฟีนอลและสีสาร PVPP นี้ สามารถยับยั้งปฏิกริยาของเอนไซม์ polyphenyloxidase ทำให้สามารถป้องกันปฏิกริยาการเกิดสีน้ำตาล และรสแปลกปลอม (off flavor) ในไวน์ได้
- ถ่านกัมมันต์ (activated carbon) ใช้สำหรับไวน์ที่มีกลิ่นผิดปกติมาก ๆ ช่วยลดความเข้มของสี และกำจัดกลิ่นแปลกปลอมที่เกิดจากก๊าซไข่เน่า (H_2S) หรือเมอร์แคบแทน (mercaptan) แต่หากใช้มากเกินไปจะทำให้เกิดการดูดซับกลิ่นหอมและสารประกอบที่ทำให้เกิดรสชาติในไวน์ได้

6. <u>การทำให้เสถียร</u>

หลังจากการหมักสิ้นสุดไวน์ที่ได้จะเป็นไวน์ใหม่มีเซลล์ยีสต์และแบคทีเรียปนเปื้อน ผลึกเกลือโพแทสเซียมทาร์เทรท (potassium tartrate crystal) ที่เกิดจากกรดทาร์ทาริกทำปฏิกริยากับอิออนของโพแทสเซียม (โชคชัย วนภู, นันทกร บุญเกิด และลำไพร ดิษฐวิบูลย์, 2546) การแก้ปัญหาไวน์ไม่คงที่ที่เกิดจากจุลินทรีย์จะใช้ความร้อนโดยน้ำไปแช่ในอ่างน้ำที่มีอุณหภูมิ 46-50°C นาน 2 วันหรือกรองแยกเซลล์จุลินทรีย์ออกโดยใช้กระดาษกรอง กระดาษกรองขนาด 2-0.5 ไมครอนจะสามารถกรองเซลล์ยีสต์ได้ และขนาด 0.45 ไมครอนก็จะสามารถกรองแบคทีเรียและยีสต์ออกได้หมด ส่วนการแก้ปัญหาไวน์ไม่คงที่ที่เกิดจากผลึกเกลือโพแทสเซียมทาร์เทรท คือนำไวน์ไปแช่เย็นที่อุณหภูมิ 0-4°C นานอย่างน้อย 4 วันแล้วจึงแยกตะกอนออก (ช่อขวัญ วงษ์สุวรรณ, 2547)

7. <u>การบ่ม</u>

การบ่มเป็นขั้นตอนที่สำคัญในการทำให้ได้ไวน์คุณภาพดี รสกลมกล่อม เกิดการพัฒนากลิ่นที่สมบูรณ์ และกลิ่นหอมเสริม (bouquet) ซึ่งเกิดจากการผสมกันระหว่างแอลกอฮอล์ กรดและแทนนิน (โชคชัย วนภู, นันทกร บุญเกิด และลำไพร ดิษฐวิบูลย์, 2546) ในไวน์องุ่นนิยมบ่มในถังไม้โอ๊คเนื่องจากจะทำให้ได้กลิ่นรสของไม้ด้วย แต่ในไวน์ผลไม้ไม่จำเป็นต้องบ่มในถังไม้โอ๊คเนื่องจากต้องการแต่กลิ่นของผลไม้และความสดของไวน์ ในระหว่างการบ่มจะเกิดปฏิกริยาที่สำคัญ คือ oxidation, polymerization, esterification และ hydrolysis โดยจะเกิดการออกซิไดซ์

ของสารประกอบฟีนอลได้ สารประกอบ peroxide จากนั้นจะทำให้เกิดการตกตะกอนของสารประกอบ peroxide (Amerine, Berg and Cruess, 1960) ส่วนแอลกอฮอล์จะเกิดออกซิเดชั่นเป็นอัลดีไฮด์และเปลี่ยนเป็นกรด นอกจากนี้กรดบางตัวจะรวมตัวกับแอลกอฮอล์ทำให้เกิดสารประกอบเอสเทอร์ ภาชนะที่ใช้ในการบ่มไวน์ควรมีคุณสมบัติยอมให้อากาศผ่านเข้าออกได้บ้าง เช่น ไม้โอ๊ค แต่หากบ่มไวน์ในแก้วหรือถังสเตนเลสซึ่งอากาศไม่สามารถผ่านเข้าออกได้ควรทำการเปลี่ยนถ่ายไวน์ทุกเดือนเพื่อให้ไวน์ได้สัมผัสกับอากาศบ้าง (ช่อขวัญ วงษ์สุวรรณ, 2547)

8. <u>การบรรจุขวด</u>

ก่อนการบรรจุขวดจะนำไวน์มาทำการฆ่าเชื้อโดยการใช้ความร้อนที่อุณหภูมิ 60-70°C หรือเติมสารเคมี เช่น โปแตสเซียมเมตาไบซัลไฟท์ 200-250 ppm เพื่อป้องกันการออกซิเดชั่นของไวน์ และการปนเปื้อนของแบคทีเรียและจุลินทรีย์อื่น ๆ อีก หรืออาจใช้โปแตสเซียมซอร์เบทซึ่งปริมาณที่ใช้ขึ้นกับปริมาณแอลกอออล์ที่มีในไวน์ ดังแสดงในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ปริมาณโปแตสเซียมซอร์เบทที่ใช้ในไวน์ก่อนการบรรจุ

ปริมาณแอลกอฮอล์ในไวน์ (%v/v)	ปริมาณโปแตสเซียมซอร์เบท (mg/l)
9	220
10	200
11	170
12	135
13	95
14	50

ที่มา : Vine (1991)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.2.3 ส่วนประกอบสำคัญที่พบในไวน์

1. <u>เอทานอล</u> (ethanol)

เอทานอลเป็นสิ่งที่สำคัญในไวน์ซึ่งจะเกิดขึ้นระหว่างกระบวนการหมัก เป็นตัวทำละลายที่ดีสำหรับสารให้กลิ่นทั้งหลาย สารสี แทนนิน และกลิ่นรสที่ระเหยได้ มีค่า threshold ในการให้กลิ่น 0.004-0.0052 g/100 ml (Amerine, Berg and Cruess, 1960) นอกจากนี้ยังให้คุณลักษณะทางประสาทสัมผัสช่วยเพิ่มรสหวาน รสขม และลดรสฝาดที่เกิดจากแทนนิน (Jackson, 1994)

2. เมทานอล (methanol)

เมทานอลเป็นสารพิษที่ต้องควบคุมในไวน์ เนื่องจากเป็นสารที่เป็นอันตรายต่อมนุษย์ โดยหากรับประทาน 340 mg/kg ของน้ำหนักตัวอาจทำให้ตาบอดหรือเสียชีวิตได้ (Turgut, 2004) เมทานอลในไวน์เกิดจากการสลายของเพคตินโดยเอนไซม์ pectinesterase ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่มีอยู่ที่ผิวของผลไม้ หรือเอนไซม์ pectiolytic ที่เติมลงไปในกระบวนการผลิตไวน์ (Zoecklien et al., 1995) เอนไซม์เพคตินทางการค้าส่วนใหญ่จะผลิตจากการสังเคราะห์ของรา (*Apergillus niger*) ซึ่งเป็นเอนไซม์ผสม โดยมีเอนไซม์ที่สำคัญคือ polygalacturonase และ pectinlyase ซึ่งจะทำหน้าที่ในการตัดโพลิเมอร์สายยาวโดยการสุ่ม และเอนไซม์ pectinmethyesterase จะทำปฏิกริยา hydrolysis หมู่ methoxy (OCH_3) ทำให้เกิดเมทานอล ซึ่งปริมาณเมทานอลในไวน์ขึ้นกับปริมาณเพคตินที่ผิวองุ่น การสับองุ่นเป็นชิ้น อุณหภูมิในการหมัก และกระบวนการเติมเอนไซม์ pectiolytic (Lao et al., 1996) ในไวน์แดงจะมีปริมาณเมทานอลสูงกว่าไวน์ชมพู และไวน์ขาว เนื่องจากในเปลือกผลไม้มีเพคติน และเอนไซม์ pectinesterase อยู่สูง (Brow and Ough, 1981) นอกจากนี้ปริมาณเมทานอลยังขึ้นกับ degree of methylation อีกด้วย หาก degree of methylation ในเพคตินต่ำจะส่งผลให้ปริมาณเมทานอลต่ำ (Amerine, Berg and Cruess, 1960) เมทานอลไม่มีผลต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัสโดยตรง

3. แอลกอฮอล์มวลโมเลกุลสูง (higher alcohol)

แอลกอออล์มวลโมเลกุลสูง คือแอลกอฮอล์ที่มีคาร์บอนมากกว่า 2 ตัว เป็น by product ที่ได้จากกระบวนการหมักของยีสต์หรือเกิดจากปฏิกริยา deamination หมู่ amine ของกรดอะมิโน มีหลายชนิด ได้แก่ 1-propanol, 2-methy-1-propanol (isobuthy alcohol), 2-methy-1-buthanol และ 3-methyl-1-butanol (isoamyl alcohol) (Jackson, 1994) โดยสารประกอบของ 3-methyl-1-butanol และ 2-methyl-1-buthanol จะให้กลิ่นคล้ายน้ำมัน ซึ่งเป็นกลิ่นที่ไม่ต้องการ แต่มีความสำคัญเนื่องจากเป็นตัวทำละลายสารที่ให้กลิ่นและสารระเหย โดยทั่วไปจะพบ 0.14-0.41 g/l (Amerine, Berg and Cruess, 1960) แอลกอฮอล์มวลโมเลกุลสูงมีความสำคัญต่อการพัฒนากลิ่นหอมที่ซับซ้อน (bouquet) ในการบ่มจากการทำปฏิกิริยากับกรดอินทรีย์

4. กรด (Acid)

กรดในไวน์แบ่งออกเป็น 2 ชนิด ได้แก่ กรดระเหย (volatile acid) และกรดคงตัว (fixed acid) เรียกรวมกันว่ากรดทั้งหมด (total acid)

4.1 กรดระเหย เป็นกรดที่สามารถระเหยได้ด้วยไอน้ำ ได้แก่ กรดอะซิติก (acetic acid) กรดฟอร์มิก (formic acid) กรดบิวทิวริก (butyric acid) และกรดโพรไพโอนิก (propyonic acid) กรดระเหยเป็นกรดที่ทำให้เกิดกลิ่น เช่น กรดอะซิติกจะให้กลิ่นน้ำส้มสายชู กรดโพรไพโอนิกให้กลิ่นน้ำมัน กรดบิวทิวริกให้กลิ่นเนยหืน (Fleet, 2003) โดยส่วนใหญ่ กรด

ระเหยในไวน์จะใช้เป็นตัวบ่งชี้ถึงการเสื่อมเสียจากการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ในกระบวนการผลิต ซึ่งปริมาณกรดของไวน์จะแสดงในรูปของกรดอะซิติก ไวน์หลังผ่านการหมักควรมีปริมาณกรดอะซิติกไม่เกิน 300 mg/l (Brian, 2000 ; Jakcson, 1994)

4.2 กรดคงตัว เป็นกรดที่ไม่ระเหยด้วยไอน้ำ ได้แก่ กรดทาร์ทาริก (tartaric acid) กรดมาลิก (malic acid) กรดซิตริก (citric acid) ซึ่งส่วนใหญ่จะพบในน้ำผลไม้ ส่วนกรดคงตัวที่เกิดขึ้นระหว่างการหมัก ได้แก่ กรดแลกติก (lactic acid) กรดซัคซินิก (succunic acid) กรดไพรูวิก (pyruvic acid) ซึ่งปริมาณกรดคงตัวมีความสำคัญต่อคุณภาพของไวน์ คือ ช่วยยับยั้งการเจริญ เติบโตของจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อน ป้องกันการเกิด oxidation ของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ให้กลิ่นเปรี้ยว และมีผลต่อสีของไวน์ (Rankine, 1989)

5. <u>สารประกอบฟีนอล</u> (Phenolic compound)

สารประกอบฟีนอลมีหลายชนิด ได้แก่ รงควัตถุ แทนนิน flavonoid เช่น catechin anthocyanin flavonol และ non flavonoid สารประกอบฟีนอลที่สกัดได้จากผลไม้และไวน์จะแสดงรวมในรูป gallic acid สารประกอบฟีนอลเป็นสารตั้งต้นของการเกิดสีน้ำตาล เนื่องจากออกซิเจนในไวน์ มีผลต่อสีและคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสจะให้รสขม (bitter) และรสฝาด (astringent) มีรายงานพบว่าเมื่อความเข้มข้นของ catechin เพิ่มขึ้นจะทำให้ความขม และความฝาดเพิ่มขึ้น (Robichard and Noble, 1990) นอกจากนี้ยังพบว่าเมื่อ degree of polymerization เพิ่มขึ้นจะทำให้ความขมและความฝาดเพิ่มขึ้น Negal และ Wulf (1979) พบว่าไวน์ที่หมักทั้งเปลือกจะมีสารสีแอนโทไซยานิน polymeric phenol และแทนนินสูงกว่าไวน์ที่หมักจากน้ำผลไม้ซึ่งปริมาณแอนโทไซยานินจะเพิ่มขึ้นสูงสุดเมื่อผ่านกระบวนการหมัก 3 วัน แอนโทไซยานินเป็นรงควัตถุที่สำคัญในไวน์แดงที่มีการเปลี่ยนแปลงสีตามสภาวะความเป็นกรดด่างโดยในสภาวะกรด-สีแดง ด่าง-สีน้ำเงิน กลาง-สีม่วง (Harborn, 1967 ; Ikan, 1976)

6. <u>น้ำตาล</u>

กลูโคสและฟรุกโตสเป็นน้ำตาลที่มีความสำคัญต่อกระบวนการหมักไวน์ เป็นแหล่งคาร์บอนที่สำคัญที่ยีสต์ใช้ในการผลิตแอลกอฮอล์ ปริมาณน้ำตาลที่เหลือจากกระบวนการหมักในไวน์ประกอบด้วย น้ำตาลเพนโทส ได้แก่ arabinose rhamnose และ xylose ซึ่งเป็นน้ำตาลที่ไม่ถูกใช้ในกระบวนการหมัก ส่วนกลูโคสและฟรุกโตสจะเหลือเล็กน้อย คือ ประมาณ 0.1-0.2 g/l (Jackson, 1994) ปริมาณน้ำตาลในระหว่างการบ่มจะเพิ่มขึ้นเล็กน้อยจากการย่อยสลายของ glucoside

7. อะเซทาลดีไฮด์ (acetaldehyde)

ในระหว่างการหมักจะมีอะเซทาลดีไฮด์เกิดขึ้นเล็กน้อยและจะเพิ่มสูงขึ้นในระหว่างการบ่ม ปริมาณอัลดีไฮด์จะเพิ่มขึ้นเนื่องจากการเกิดออกซิเดชั่นของแอลกอฮอล์หรือมีฟิลม์ยีสต์ปนเปื้อน เช่น *S. fermentati* (Ough and Amerine, 1958) อะเซทาลดีไอด์มีความสำคัญทางด้านประสาทสัมผัสเล็กน้อย เพราะอัลดีไอด์เป็นสารประกอบที่มีกลิ่น (Amerine, Berg and Cruess, 1960)

8. เอสเทอร์ (ester)

เป็นกลุ่มสารประกอบที่เกิดจากเอนไซม์ภายในเซลล์ของยีสต์หรือแบคทีเรีย โดยที่เอนไซม์ esterase ในไวน์ใหม่ที่หมักเสร็จใหม่จะเกิดปฏิกริยา esterification และ transesterification อย่างช้า ๆ หลังการสูญเสียเอนไซม์สารประกอบสำคัญที่พบในไวน์คือ เอทิลอะซีเตท (ethy acetate) ในไวน์ทั่วไปจะพบสารนี้ 200-400 mg/l (ในรูปเอทิลอะซีเตท) ซึ่งถ้ามีเอสเทอร์ในปริมาณต่ำกว่า 200 mg/l จะให้กลิ่นที่ดี แต่ถ้ามีปริมาณมากเกินไปจะให้กลิ่นไม่ดีกับไวน์ (Bartowaky and Henscchke, 2004)

2.3 การทำให้เข้มข้น (concentration)

การทำให้เข้มข้นเป็นหน่วยปฏิบัติการที่สำคัญในอุตสาหกรรมอาหาร มีจุดประสงค์ในการทำให้เข้มข้นคือ ลดต้นทุนในการขนส่ง การบรรจุ และการเก็บรักษา เพิ่มความเข้มข้นของส่วนประกอบที่มีในอาหารเหลว ทำให้อาหารเหลวเข้มข้นขึ้นก่อนการทำแห้ง และยืดอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์ การทำให้เข้มข้นมีหลายวิธีแบ่งเป็นประเภทตามวิธีการกำจัดน้ำออกเป็น 2 ประเภท คือ กระบวนการซึ่งไม่มีการเปลี่ยนแปลงสถานะได้แก่ การทำให้เข้มข้นโดยการใช้เมมเบรน (membrane concentration) กระบวนการซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงสถานะได้แก่ การระเหย (evaporation) การทำให้เข้มข้นโดยการแช่เยือกแข็ง (freeze concentration)

2.3.1 การทำให้เข้มข้นโดยใช้แผ่นเมมเบรน (membrane concentration)

เป็นกระบวนการแยกน้ำออกโดยอาศัยการซึมผ่านแผ่นเมมเบรนสามารถแยกน้ำออกโดยไม่ใช้ความร้อน และไม่มีการเปลี่ยนแปลงสถานะ มี 3 วิธี คือ

1. ออสโมซิส (osmosis) เป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นเมื่อมีสารละลาย 2 ชนิด ความเข้มข้นต่างกันแต่มีตัวทำละลาย (solvent) เหมือนกัน โดยน้ำจะถูกแยกออกโดยซึมผ่านแผ่นเมมเบรนที่เป็น semipermeable membrane จากสารละลายที่มีความเข้มข้นต่ำไปยังสารละลาย

ที่มีความเข้มข้นสูงกว่าโดยความเข้มข้นของ osmotic agent ต้องมากพอที่จะทำให้ความดันออสโมติกของสารละลายสูงกว่าความดันออสโมติกของน้ำผลไม้เข้มข้น

2. รีเวอสออสโมซิส (reverse osmosis) เป็นกระบวนการที่มีการไหลตรงข้ามกับออสโมซิสโดยน้ำจะไหลจากสารละลายที่มีความเข้มข้นสูงไปยังด้านที่มีความเข้มข้นต่ำกว่า (สมบัติ ขอทวีวัฒนา, 2535) โดยใช้แรงดันที่มากกว่าความดันออสโมซิส แรงดันจะทำให้น้ำถูกกำจัดออกจากน้ำผลไม้ มีรายงานพบว่ามีการใช้วิธีรีเวอสออสโมซิสในการ preconcentration น้ำแอปเปิ้ล (Chou et al., 1991) น้ำสับปะรด (Bowden and Isaacs, 1989) และน้ำองุ่น (Braddock and Marcy, 1985)

3. อุลตราฟิวเตรชั่น (ultrafiltration) เป็นกระบวนการขับเคลื่อนโดยใช้ความดันซึ่งตัวทำละลายและโมเลกุลของตัวถูกละลายขนาดเล็กจะเคลื่อนผ่านแผ่นเมมเบรนและสะสมไว้ที่ permeate โมเลกุลของตัวถูกละลายขนาดใหญ่กว่าจะไม่ผ่านเมมเบรนและเก็บสะสมอยู่ในสารละลายเข้มข้น ขนาด molecular weight cut off ของเมมเบรนในอุลตราฟิวเตรชั่นจะมีขนาดใหญ่กว่ารีเวอสออสโมซิส

ข้อดี เป็นกระบวนการที่ง่ายต่อการจัดการ และประหยัดพลังงานเนื่องจากสามารถกำจัดน้ำออกโดยไม่มีการเปลี่ยนสถานะ โดยจะใช้พลังงานน้อยกว่า 46.52-69.77 kJ/kg ของน้ำที่ถูกกำจัด (Robe, 1983) เป็นวิธีที่มีการสูญเสียกลิ่น (aroma) กลิ่นรส (flavor) ของผลไม้น้อย Matsuura Baxter และ Sourirajah (1974) พบว่าการทำให้น้ำผลไม้เข้มข้นโดยการใช้เมมเบรนจะสามารถรักษากลิ่นรสของผลไม้ไว้ได้มาก

ข้อเสีย อุปกรณ์มีราคาแพง มีปัญหาของการอุดตันของเมมเบรน มีความสามารถในการทำให้เข้มข้นค่อนข้างต่ำโดยให้ความเข้มข้นสูงสุดได้ประมาณ 28° Brix เท่านั้น (Ramteke et al., 1993) และถ้าเลือกขนาด molecular weight cut off ของเมมเบรนไม่เหมาะสมจะทำให้สารให้กลิ่นรสไหลผ่านแผ่นเมมเบรนไปได้ (Karel, 1975)

2.3.2 การทำเข้มข้นโดยการระเหย (evaporation)

เป็นกระบวนการกำจัดน้ำออกโดยการทำให้น้ำกลายเป็นไอซึ่งน้ำที่กำจัดออกไปต้องเป็นส่วนของน้ำอิสระ (free water) จึงไม่ทำให้เกิดการสูญเสียสารประกอบอื่นที่ละลายน้ำได้ (soluble solid) เป็นกระบวนการที่ใช้อย่างกว้างขวางในอุตสาหกรรมอาหาร (วิไล รุ้งสาดทอง, 2545)

ข้อดี ราคาถูก มีความสามารถในการทำให้เข้มข้นสูง และกำจัดกลิ่นรสที่ไม่ต้องการได้

ข้อเสีย เมื่อความเข้มข้นเพิ่มขึ้นเป็น 4 เท่าหรือมากกว่า การสูญเสียกลิ่นรสที่ระเหยได้ (volatile compound) จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับปริมาณไอน้ำที่กำจัดออกไป (Karel, 1975) ทำ

ให้มีผลกระทบต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์โดยความร้อนจะทำให้เกิดกลิ่นผิดปกติ (off flavor) ที่เป็น nonvolatile ซึ่งสามารถตรวจพบได้โดยการทดสอบทางประสาทสัมผัส (Braddock and Marcy, 1987) เพื่อปรับปรุงกลิ่นรสของผลิตภัณฑ์ไว้บางส่วน จึงมีการเติมผลิตภัณฑ์ของเหลวเริ่มต้นบางส่วนลงไปภายหลังหรือเติมสารให้กลิ่นรสที่ระเหยได้ที่เข้มข้นซึ่งได้จากการกลั่นลงในผลิตภัณฑ์ขั้นสุดท้าย แต่อย่างไรก็ตามความร้อนจากกระบวนการกลั่นจะทำลาย (breakdown) โครงสร้างทางเคมีซึ่งเป็นปัญหาทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของกลิ่นรสที่ระเหยได้ การสูญเสียวิตามิน และคุณค่าทางอาหารอื่น ๆ ทำให้ถึงแม้ว่าจะเติมสารให้กลิ่นรสที่ระเหยได้เข้มข้นลงไปในน้ำผลไม้เข้มข้นแต่กลิ่นรสที่ได้ก็ยังด้อยกว่ากลิ่นรสเริ่มต้น

2.3.3 **การทำให้เข้มข้นโดยการแช่เยือกแข็ง** (freeze concentration)

เป็นกระบวนการทำให้อาหารเหลวมีอุณหภูมิต่ำลงถึงจุดเยือกแข็ง (freezing point) จนน้ำในอาหารเหลวเปลี่ยนสถานะเป็นน้ำแข็งแล้วจึงทำการแยกน้ำแข็งออก ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์เข้มข้น (Karel, 1975 ; Van pelt, 1975) ซึ่งการทำให้เข้มข้นโดยการแช่เยือกแข็งจะแบ่งตามลักษณะผลึกน้ำแข็งที่เกิดขึ้นเป็น 2 วิธี คือ แบบผลึกแขวนลอย (suspension freeze concentration) และผลึกเดี่ยว (single ice freeze concentration หรือ progressive freeze concentration)

2.3.3.1 **การทำให้เข้มข้นโดยการแช่เยือกแข็งแบบผลึกแขวนลอย**

1. <u>ขั้นตอนในกระบวนการแช่เยือกแข็งแบบผลึกแขวนลอย</u>

ในกระบวนการทำให้เข้มข้นโดยการแช่เยือกแข็งแบบผลึกแขวนลอยจะประกอบไปด้วย 3 ขั้นตอนที่สำคัญคือ การก่อนิวเคลียสผลึก การขยายขนาดผลึก และการแยกน้ำแข็งออกจากอาหารเหลว (Fellow, 2000)

1. *การก่อนิวเคลียสผลึก* เป็นปรากฏการณ์ที่โมเลกุลของน้ำมารวมตัวกันอย่างมีระเบียบจนเป็นเกิดอนุภาคเล็ก ๆ ขึ้น ในช่วงแรกของการก่อนิวเคลียสผลึกจะเกิดขึ้นเป็นครั้งคราวแล้วจะสลายตัวไปซึ่งขนาดของอนุภาคในช่วงนี้เรียกว่าขนาดวิกฤต (critical size) จนเมื่อสภาวะเหมาะสมคือระดับอุณหภูมิของน้ำหรือสารละลายนั้นลดต่ำลงจนถึงจุดความเย็นยิ่งยวด (supercooling) ซึ่งจะอยู่ในระดับที่ต่ำกว่าจุดเยือกแข็ง โดยจะเรียกนิวเคลียสที่เกิดขึ้นว่านิวคลีไอ (nuclei) ซึ่งจะเป็นจุดศูนย์กลางของผลึกต่อไป การก่อนิวเคลียสผลึกจะเกิดได้ 2 แบบคือ

homogeneous nucleation จะเกิดในน้ำบริสุทธิ์เท่านั้น อีกแบบหนึ่งคือ heterogeneous nucleation จะเกิดในการแช่เยือกแข็งโดยทั่วไปซึ่งจะเกิดขึ้นเมื่อโมเลกุลของน้ำเรียงตัวกันเป็นอนุภาคเล็ก ๆ และเกิดสภาวะที่เหมาะสมขึ้นที่ผิวหน้าอนุภาคนั้น โดยมีสารอื่นที่ปนเปื้อนอยู่มาฉาบบนผิวหนังหรือเกิดขึ้นบนผิวหน้าภาชนะบรรจุหรืออาจเกิดจากอนุภาคที่ผสมอยู่ด้วยก็ได้

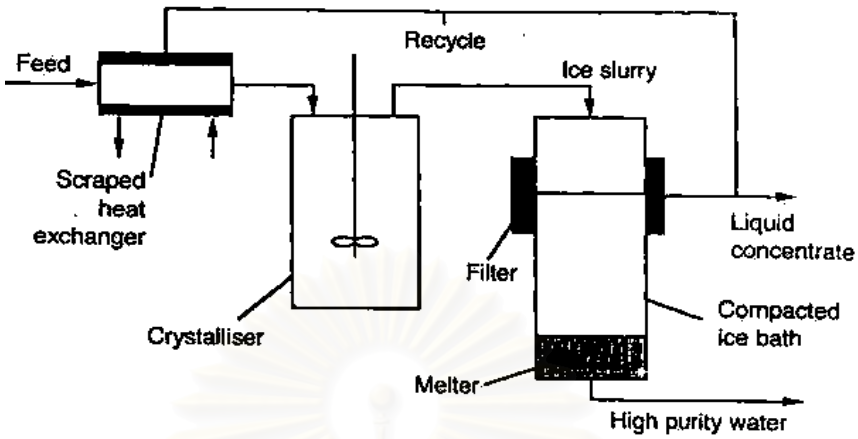
2. *การขยายขนาดของผลึกน้ำแข็ง* เป็นปรากฏการณ์ต่อเนื่องจากการก่อนิวเคลียสผลึกโดยจะเกิดที่อุณหภูมิใกล้กับจุดหลอมเหลวโดยโมเลกุลของน้ำจะเคลื่อนตัวเข้ามาเกาะอยู่กับนิวเคลียสผลึกที่ก่อตัวแล้วมากกว่าที่จะก่อนิวเคลียสผลึกขึ้นใหม่ เพราะโมเลกุลของน้ำในสภาวะที่เป็นของเหลวมีขนาดเล็กจะเคลื่อนที่ได้ในอัตราเร็วสูงและจะหยุดลงเมื่อกระทบผิวหน้าของนิวเคลียสผลึก จากปรากฏการณ์ดังกล่าวจึงทำให้อัตราการขยายขนาดผลึกสูงกว่าอัตราการก่อนิวเคลียสผลึก

Shirai และคณะ (1987) พบว่าการเติบโตของผลึกจะประกอบด้วย 2 ปรากฏการณ์คือ เริ่มแรกขนาดผลึกน้ำแข็งจะเพิ่มขึ้นจากความร้อนและความต้านทานในการถ่ายโอนมวลสารหลังจากนั้นผลึกน้ำแข็งจะเกิดการรวมตัวกันทำให้ผลึกน้ำแข็งมีขนาดใหญ่ขึ้นเรียก agglomeration mechanism จากการแช่เยือกแข็งสารละลายน้ำตาลแลกโทสเข้มข้น 10 % เมื่อเวลาในการทดลองเพิ่มขึ้นที่ initial subcooling (ΔTb°) 0.15°C หลังจากการล่อผลึก (seeding) ผลึกจะมีรูปเป็นแผ่นบาง ๆ จนกระทั่งถึงจุด ๆ หนึ่งผลึกน้ำแข็งจะละลายจากผลึกหนึ่งไปรวมกับอีกผลึกหนึ่ง เมื่อเวลาผ่านไป 2 ชั่วโมงผลึกจะมีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 2 มิลลิเมตรมีลักษณะเป็นแผ่นบาง ๆ

3. *การแยกน้ำแข็งออกจากอาหารเหลวเข้มข้น*

ผลึกน้ำแข็งจากเครื่องตกผลึกจะถูกส่งไปแยกน้ำแข็งออกจากอาหารเหลวเข้มข้นมีหลายวิธี ได้แก่ การบีบอัด (filter presses) การหมุนเหวี่ยง (centrifuge) และ wash column

ขั้นตอนในกระบวนการทำให้เข้มข้นโดยการแช่เยือกแข็งในอุตสาหกรรม (รูปที่ 2.3) จะประกอบด้วยเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบมีใบมีดขูดผิว (scraped heat exchanger) เพื่อทำให้เกิดสารแขวนลอยของนิวเคลียสผลึก โดยอาหารเหลวจะไหลผ่านช่องว่างวงแหวนระหว่างผิวที่ทำให้เย็นทรงกระบอกกับตัวหมุน (rotor) ในแนวแกนซึ่งหมุนรอบตัวเองมีบริเวณที่ทำให้เกิดการก่อตัวเป็นผลึกน้ำแข็ง เรียกว่า nucleation zone อยู่ใกล้ผนังและบริเวณที่ทำให้ผลึกน้ำแข็งเติบโตขึ้น เรียกว่า growth zone ใบพัดที่ติดอยู่กับตัวหมุนจะปัดต้านกับผิวทำความเย็นแล้วทำหน้าที่กวาดผลิตภัณฑ์ที่เย็นออกจากผิวที่เย็นอย่างต่อเนื่อง หลังจากนั้นจะส่งนิวเคลียสผลึกที่ได้ไปยังถังตกผลึก (crystallizer) เพื่อบ่มให้ผลึกน้ำแข็งขยายขนาดจนมีขนาดใหญ่เพียงพอแล้วจึงทำการแยกผลึกน้ำแข็งออกทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีความเข้มข้นสูงขึ้น



รูปที่ 2.3 ขั้นตอนในกระบวนการทำให้เข้มข้นโดยการแช่เยือกแข็งแบบผลึกแขวนลอย

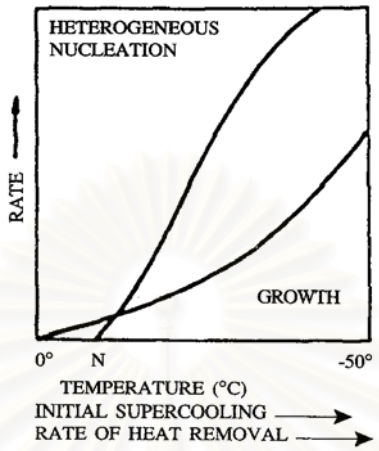
2. <u>ปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการทำให้เข้มข้นโดยแช่เยือกแข็งแบบผลึกแขวนลอย</u>

1. *ขนาดผลึกน้ำแข็ง*

การควบคุมการขยายขนาดของผลึกน้ำแข็งเป็นขั้นตอนที่สำคัญที่สุดในการทำให้เข้มข้นโดยการแช่เยือกแข็งเนื่องจากมีผลต่อขั้นตอนการแยกผลึกน้ำแข็งออกจากของเหลวซึ่งขนาดของผลึกน้ำแข็งที่มีขนาดใหญ่จะทำให้สามารถแยกน้ำแข็งออกจากอาหารเหลวได้ง่ายและลดการสูญเสียปริมาณอาหารเหลวที่เกาะติดไปกับผลึกน้ำแข็งได้ ขนาดของผลึกน้ำแข็งจะขึ้นกับ

- อัตราการถ่ายโอนความร้อน ในการแช่เยือกแข็งแบบไม่มีการล่อผลึกอัตราการก่อนิวเคลียสผลึกจะขึ้นกับระดับการทำให้เย็นยิ่งยวดดังนั้นอัตราการถ่ายโอนความร้อนจึงมีผลต่อขนาดผลึกด้วย ถ้าอัตราการกำจัดความร้อนช้าจะทำให้อุณหภูมิของผลิตภัณฑ์อยู่ระหว่าง 0°C กับจุด N ให้เกิดนิวคลีไอจำนวนน้อยแต่มีอัตราการขยายขนาดของผลึกสูง ดังนั้นจึงทำให้ได้ผลึกขนาดใหญ่จำนวนน้อยประกอบกับเกิดความร้อนจากการเกิดผลึกปล่อยออกมาด้วยจึงยิ่งทำให้อุณหภูมิคงที่อยู่ใกล้ ๆ กับจุดสมดุลของแข็ง-ของเหลวจนนิวเคลียสผลึกจะไม่มีโอกาสเกิดขึ้นซึ่งผลึกขนาดใหญ่จะทำให้สามารถแยกออกจากของเหลวได้อย่างสมบูรณ์ ทำให้ลดการสูญเสียของอาหารเหลวที่เกาะติดไปกับผลึกน้ำแข็ง (Thijssen, 1970) เนื่องจากเกิดการแพร่ของตัวถูกละลายที่ผิวหน้าน้ำแข็งแต่ถ้าความร้อนถูกกำจัดออกไปอย่างรวดเร็วโดยทำให้อุณหภูมิของผลิตภัณฑ์ลดลงไปต่ำกว่าอุณหภูมิที่จุด N อย่างรวดเร็วจะเกิดนิวคลีไอจำนวนมากและมีการ

ขยายขนาดที่จำกัดสำหรับแต่ละผลึก ทำให้เกิดการกักติดของตัวถูกละลายจากการเคลื่อนที่ของผิวหน้าน้ำแข็งอย่างรวดเร็วจึงไม่สามารถแยกน้ำแข็งออกจากสารละลายที่มีความหนืดได้อย่างสมบูรณ์ (รูปที่ 2.4)



รูปที่ 2.4 อิทธิพลของการทำให้เย็นยิ่งยวดต่ออัตราการเกิดนิวคลีเอชั่นและการเติบโตของผลึกระหว่างการแช่เยือกแข็ง

ส่วนในการแช่เยือกแข็งแบบมีการล่อผลึก 10 กรัม เมื่อทำการแช่แข็งสารละลาย skim milk เข้มข้น 10.5% แปรอุณหภูมิของสารให้ความเย็น 3 ระดับคือ –1.0, –1.5 และ –2.0°C พบว่าที่อุณหภูมิ –1.0°C จะมีอัตราการกำจัดความร้อนต่ำที่สุดส่งผลให้อัตราการขยายขนาดของผลึกต่ำที่สุดจึงทำให้ได้ผลึกน้ำแข็งที่มีขนาดเล็กที่สุดด้วย

- จำนวน seed ที่ใช้ในการล่อผลึก Hartel และ Espinel (1993) ทำการแช่เยือกแข็งสารละลาย skim milk เข้มข้น 10.5% ที่มีการล่อผลึกซึ่งได้จากการแช่เยือกแข็งสารละลายแลกโทสเข้มข้น 20% แปรระดับการล่อผลึกที่ 3 ระดับคือ 5, 10, 20 กรัม โดยใช้อุณหภูมิในการให้ความเย็นคงที่ที่ –1.5 °C พบว่าที่การล่อผลึกระดับต่ำที่สุดคือ 5 กรัม จะมีอัตราการขยายขนาดของผลึกในช่วงเริ่มต้นสูงที่สุด รองลงมาคือที่ระดับ 10 กรัมและ 20 กรัมตามลำดับ โดยอัตราการขยายขนาดของผลึกเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในระยะแรกเป็น 5 μm/min และจะลดต่ำลงเหลือ 1 μm/min เมื่อความร้อนในระบบเข้าใกล้สมดุล (thermal equilibrium) ในระหว่างการแช่เยือกแข็งพื้นที่ผิวของผลึกจะเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาผ่านไป และพบว่าที่การล่อผลึกที่ระดับต่ำจะทำให้ได้ผลึกที่มีขนาดใหญ่กว่าที่ระดับสูง สรุปได้ว่าจำนวน seed ที่ใช้ในการล่อผลึกที่ระดับต่ำจะส่งผลให้มีอัตราการขยายขนาดของผลึกสูงจึงทำให้ได้ผลึกน้ำแข็งที่มีขนาดใหญ่

- อัตราการกวน อัตราการกวนจะมีผลต่ออัตราการขยายขนาดของผลึกน้ำแข็ง เนื่องจากประสิทธิภาพของการส่งผ่านความร้อนจะลดลงเมื่อความหนืดและความเข้มข้นเพิ่มสูงขึ้น ดังนั้นการเพิ่มอัตราการกวนจึงทำให้อัตราการกำจัดความร้อนสูงซึ่งจะส่งผลเด่นชัดในอาหารเหลวที่มีความข้นหนืดสูง แต่อย่างไรก็ตามพบว่าเมื่ออัตราการกวนเพิ่มขึ้นจาก 500 เป็น 1000 rpm อัตราการกวนไม่มีผลต่อการขยายขนาดของผลึกอย่างมีนัยสำคัญ แต่อัตราการกวนที่เพิ่มขึ้นจะทำให้อัตราการเกิดโฟมเพิ่มขึ้นทำให้ประสิทธิภาพในการแยกน้ำแข็งออกจากอาหารเหลวเข้มข้นต่ำ

- ระยะเวลาในการแช่เยือกแข็ง เมื่อระยะเวลาในการทำให้เกิดผลึกนานขึ้นจะทำให้ผลึกเกิดการรวมตัวกันเองจึงได้ผลึกน้ำแข็งขนาดใหญ่ มีรายงานพบว่าที่ภายใต้สภาวะเดียวกัน (ΔTb° คงที่) เมื่อทำการแช่เยือกแข็งสารละลายแลกโทสเข้มข้น 10 % ที่มีอัตราการป้อนสารละลายเริ่มต้นที่ 160 ml/min เมื่อเวลาผ่านไป 2 ชั่วโมง ผลึกน้ำแข็งจะมีขนาดใหญ่ขึ้นจากการรวมตัวกันของผลึก ซึ่งปริมาณน้ำแข็งที่ได้จะเท่ากับที่อัตราการป้อนสารละลายเริ่มต้นที่ 550 ml/min เมื่อเวลาผ่านไป 30 นาที แต่ที่อัตราการป้อนที่ 550 ml/min จะยังไม่พบผลึกน้ำแข็งขนาดใหญ่ แสดงให้เห็นว่าผลึกน้ำแข็งขนาดใหญ่ไม่ได้เกิดการรวมตัวกัน เนื่องจากความเข้มข้นของผลึกน้ำแข็งที่เพิ่มขึ้นแต่เกิดจากระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น

- ชนิดของสารละลาย สารละลายต่างชนิดกันที่เวลาเท่ากันจะมีขนาดผลึกต่างกันจากการทดลองเปรียบเทียบการแช่เยือกแข็งสารละลายแลกโทสและกลูโคสเข้มข้น 15% โดยใช้สภาวะในการทดลองเดียวกันในการแช่เยือกแข็งนาน 2 ชั่วโมง สารละลายกลูโคสจะให้ผลึกน้ำแข็งที่มีขนาดเล็กกว่าแลกโทสเนื่องจากผลึกไม่เกิดการรวมตัวกัน โดยผลึกน้ำแข็งที่เกิดจากสารละลายแลกโทสเข้มข้น 15% จะมีขนาดใหญ่เท่ากับสารละลายแลกโทสเข้มข้น 10 %

- ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลาย ในสารละลายที่มีความเข้มข้นเริ่มต้นสูงจะทำให้ผลึกน้ำแข็งมีขนาดเล็ก Shirai และคณะ (1987) พบว่าผลึกน้ำแข็งสารละลายกลูโคสเข้มข้น 20% จะมีขนาดผลึกน้ำแข็งเล็กกว่าที่สารละลายกลูโคสเข้มข้น 10% ที่สภาวะเดียวกัน เนื่องจากผลึกไม่เกิดการรวมตัวกันซึ่งการที่ผลึกจะรวมตัวกันได้นั้นผลึกที่เกิดขึ้นในช่วงเริ่มต้นจะต้องมีขนาดใหญ่ในระดับหนึ่งแต่ที่ความเข้มข้นสูงในช่วงเริ่มต้นจะเกิดผลึกขนาดเล็กทำให้ผลึกไม่เกิดการรวมตัวกัน

2. *รูปร่างของผลึกน้ำแข็ง*

รูปร่างของผลึกน้ำแข็งจะขึ้นกับอัตราการขยายขนาดของผลึกในการแช่เยือกแข็ง ในช่วงเริ่มต้นจะมีอัตราการขยายขนาดของผลึกเป็น 6 μm/min แต่หลังจากนั้น 3 ชั่วโมงจะเป็น

3 μm/min การเติบโตของผลึกจะเป็นรูปร่างเป็นทรงกลม แต่ถ้าอัตราการขยายขนาดสูงกว่านี้ จะทำให้ผลึกมีรูปร่างกลมแบนที่มีพื้นที่ผิวขรุขระซึ่งจะทำให้มีอาหารเหลวเข้มข้นเกาะติดไปด้วย

3. วิธีที่ใช้ในการแยกน้ำแข็งออกจากอาหารเหลว

- การบีบอัด (filter press) ไม่มีการสูญเสียกลิ่น (aroma) เกิดขึ้น เนื่องจากเป็นระบบปิดอย่างสมบูรณ์ การสูญเสียของแข็งที่ละลายได้ (soluble solid) แปรผันตามความเข้มข้นของอาหารเหลวแต่เป็นปฏิภาคกับขนาดของผลึกน้ำแข็ง ปริมาณของเหลวที่ได้จากการบีบอัดจะอยู่ระหว่าง 0.03-0.1 kg/kg ของน้ำแข็งที่ถูกบีบอัด
- การหมุนเหวี่ยง (centrifuge) การสูญเสียอาหารเหลวเข้มข้นแปรผันตามปริมาณตัวถูกละลายและความหนืด (viscosity) ของอาหารเหลว (Bomben et al., 1973) สามารถลดการสูญเสียของ soluble solid ลงได้โดยการล้างชั้นผลึกน้ำแข็งที่ได้จากการหมุนเหวี่ยงแล้วนำน้ำล้างส่งกลับไปยังเครื่องตกผลึก
- wash column วิธีนี้เป็นวิธีการแยกที่ดีที่สุด เพราะเป็นระบบปิด ไม่มี head space จึงไม่มีการสูญเสียกลิ่น การสูญเสียของแข็งที่ละลายได้ที่ติดไปกับน้ำแข็งจะน้อยกว่า 0.01% (Thijssen, 1970)

3. <u>การเปลี่ยนแปลงของผลิตภัณฑ์จากการทำให้เข้มข้นโดยการแช่เยือกแข็งแบบผลึกแขวนลอย</u>

1. *ปริมาณวิตามิน*

อาหารเหลวที่ผ่านการทำให้เข้มข้นโดยการแช่เยือกแข็งจะมีโดยปริมาณวิตามินซีจะลดลงเล็กน้อยและมีการสูญเสียปริมาณวิตามินน้อยกว่าการทำให้เข้มข้นโดยวิธีอื่น เนื่องจากการใช้อุณหภูมิที่ต่ำกว่าจุดเยือกแข็งทำให้ไม่เกิดการสลายตัวของวิตามิน จากการเปรียบเทียบทำน้ำสับปะรดเข้มข้นที่มีปริมาณเนื้อผลไม้ต่ำโดยใช้วิธีการระเหยและแช่แข็งพบว่า การระเหยจะมีการสูญเสียปริมาณวิตามินซีสูงกว่าการทำให้เข้มข้นโดยการแช่แข็งถึง 20% (Braddock and Marcy, 1985) Braddock และ Marcy (1987) พบว่าการทำให้น้ำส้มเข้มข้นโดยการพ่นไอน้ำร้อนพบว่ามีการสูญเสียวิตามินซี 38.6% แต่การทำให้เข้มข้นโดยการแช่เยือกแข็งจะมีการสูญเสียเพียง 5.3% และมีรายงานซึ่งให้ผลการทดลองสอดคล้องกันพบว่าการทำน้ำแบลคเคอเรน (black current) เข้มข้นโดยใช้กระบวนการทำให้เข้มข้นโดยการแช่เยือกแข็งและการระเหยแบบสุญญากาศ (vacuum evaporation) พบว่าการทำให้เข้มข้นโดยการแช่เยือกแข็งสามารถรักษาปริมาณกรดแอสคอบิก (ascorbic acid) ได้มากกว่าการระเหยแบบสุญญากาศ

2. *ปริมาณกลิ่นที่ระเหยได้*

การทำให้เข้มข้นโดยการแช่แข็งจะมีการสูญเสียปริมาณกลิ่นที่ระเหยได้เล็กน้อย ในการทำน้ำแบลคเคอเรนเข้มข้นซึ่งใช้กระบวนการทำให้เข้มข้นโดยการแช่เยือกแข็งและการระเหยแบบสุญญากาศพบว่า การทำให้เข้มข้นโดยการแช่เยือกแข็งสามารถรักษาปริมาณสารประกอบที่ให้กลิ่น (aroma compound) ได้มากกว่าการระเหยแบบสุญญากาศ Deshpande Bolin และ Salunkhe (1982) ทำการวิเคราะห์โดยใช้ gas chromatography เพื่อศึกษาการสูญเสียกลิ่นที่ระเหยได้จากแอปเปิ้ล เชอรี่ พีช ที่นำมาทำเป็นน้ำผลไม้เข้มข้นโดยวิธีแตกต่างกันพบว่าการทำให้เข้มข้นโดยการแช่แข็งจะทำให้เกิดการสูญเสียกลิ่นรสที่ระเหยได้ในปริมาณต่ำที่สุด (เพียง 39%ในน้ำแอปเปิ้ล และ31% ในน้ำเชอรี่) เมื่อเปรียบเทียบกับการทำให้เข้มข้นโดยการ diffusion membrane, osmosis, reverse osmosis และ foam mat drying powder เมื่อทำการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้วยวิธี Triangle test panel โดยนำน้ำผลไม้เข้มข้นมาคืนรูปพบว่าน้ำผลไม้เข้มข้นทุกวิธีจะมีการสูญเสียกลิ่นที่ระเหยได้ไปบ้าง แต่มีเพียงน้ำแอปเปิ้ล และน้ำพีชเข้มข้นที่ได้จากวิธี osmosis และน้ำผลไม้ทุกชนิดที่เตรียมโดยวิธี foam mat drying powder ที่ผู้ทดสอบสามารถตรวจพบความแตกต่างของกลิ่นรสที่เปลี่ยนแปลงไปได้อย่างมีนัยสำคัญ

การสูญเสียกลิ่นรสจากการทำให้เข้มข้นโดยการแช่เยือกแข็งสามารถอธิบายได้จากการทดลองของ Flink และ Karel (1970) ศึกษาพบว่าการแข็งตัวของสารละลายคาร์โบไฮเดรตในกระบวนการแช่เยือกแข็งจะทำให้เกิด microregion ซึ่งเป็นบริเวณที่มีสารละลายคาร์โบไฮเดรตและสารให้กลิ่นรสเข้มข้น เมื่อความชื้นภายใน microregion ลดลงเนื่องจากการแช่เยือกแข็งโมเลกุลของคาร์โบไฮเดรตจะรวมตัวกันด้วยพันธะไฮโดรเจนทำให้เกิดโครงสร้างที่ซับซ้อนซึ่งควบคุมการซึมผ่านของน้ำและสารประกอบอินทรีย์ (organic compound) ซึ่งขึ้นกับปริมาณความชื้นใน microregion ถ้าความชื้นลดลงจะทำให้สูญเสียสารประกอบอินทรีย์ง่าย ซึ่งเมื่อความชื้นลดลงจนกระทั่งถึงจุดวิกฤตก็จะไม่เกิดการสูญเสียสารประกอบอินทรีย์แต่จะยังคงมีการสูญเสียน้ำต่อไป ในการศึกษาการแช่เยือกแข็งสารละลาย n-butanol และ 2-propanol ที่มีความแตกต่างระหว่างความสามารถในการซึมผ่านเนื่องจากการใช้อัตราเร็วในการแช่แข็งแตกต่างกันพบว่าการแช่แข็งด้วยอัตราเร็วต่ำจะมีผลให้มีปริมาณของ n-butanol และ 2-propanol ที่เหลืออยู่มากกว่าการแช่เยือกแข็งด้วยอัตราเร็วสูง เนื่องจากการแช่เยือกแข็งด้วยอัตราเร็วต่ำความเข้มข้นของตัวถูกละลายใน microregion จะสูงกว่าการการแช่เยือกแข็งด้วยอัตราเร็วสูงโดยความเข้มข้นของตัวถูกละลายของ microregion ที่สูงขึ้นจะส่งผลให้การแพร่ของสารให้กลิ่นรสผ่าน microregion ลดลง จึงมีปริมาณ n-butanol และ 2-propanol สูงขึ้น

ในการวิเคราะห์ทางประสาทสัมผัสของน้ำสับปะรดเข้มข้นโดยวิธีแช่เยือกแข็งและระเหยที่ผ่านการคืนรูปเปรียบเทียบกับน้ำสับปะรดสดพบว่า น้ำสับปะรดสดได้รับการจัดอันดับว่ามีกลิ่นรสของผลไม้สดสูงที่สุด รองลงมาคือน้ำสับปะรดเข้มข้นด้วยการแช่เยือกแข็งและการระเหยตามลำดับ น้ำสับปะรดที่ผ่านการทำให้เข้มข้นโดยวิธีระเหยมีกลิ่นรสที่เกิดจากการแปรรูปสูงที่สุด รองลงมาคือน้ำสับปะรดเข้มข้นด้วยการแช่เยือกแข็งและน้ำสับปะรดสดตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าผู้ทำการทดสอบสามารถตรวจพบกลิ่นผิดปกติที่เป็น nonvolatile ได้

3. *ปริมาณของแข็งที่ละลายได้* (soluble solids)

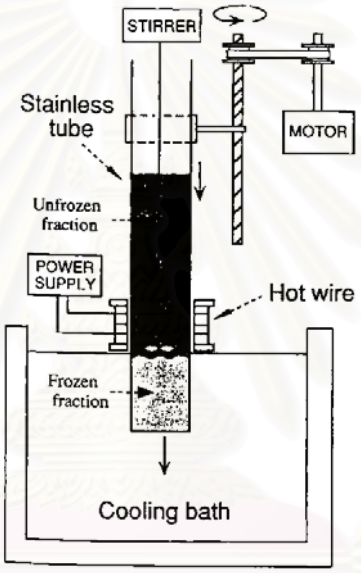
ในขั้นตอนการแยกน้ำแข็งออกจะมีการสูญเสียของแข็งที่ละลายได้สูงซึ่งส่วนใหญ่จะมีการสูญเสีย 20% ของปริมาณของแข็งที่ละลายได้ เริ่มต้น (Muller, 1967) แต่ได้มีการพัฒนาปรับปรุงกรรมวิธีและเครื่องมือทำให้สามารถลดการสูญเสียลงจนเหลือโดยอาจต่ำกว่า 1 % (Thijssen, 1970) โดยจะทำการล้างผลึกน้ำแข็งก่อนทิ้งแล้วนำน้ำล้างส่งกลับมายังเครื่องตกผลึกเพื่อลดการสูญเสียปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ที่ติดไปกับผลึกน้ำแข็ง ซึ่งจากการทดลองล้างผลึกน้ำแข็งที่ได้จากสารละลายแลกโทสเข้มข้น 10 % ที่ใช้เวลาการแช่เยือกแข็งนาน 2 ชั่วโมง ถ้าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้เกาะติดภายในผลึกน้ำแข็งความเข้มข้นของแลกโทสควรจะคงที่เมื่อเวลาการล้างเพิ่มขึ้นก็ตามแต่จากการทดลองพบว่า ความเข้มข้นของแลกโทสในน้ำแข็งจะลดลงอย่างรวดเร็วในการล้างผลึกครั้งแรกแต่จะลดลงเล็กน้อยในการล้างผลึกครั้งที่ 2 และ 3 แสดงให้เห็นว่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้จะเกาะติดไปกับน้ำแข็งเฉพาะบริเวณผิวผลึกเท่านั้น โดยความสามารถในการล้างผลึกน้ำแข็งขึ้นกับความหนืด (viscosity) ของอาหารเหลวเข้มข้นและขนาดของผลึกน้ำแข็งที่ป้อนเข้าสู่ wash column ซึ่งความหนืดจะขึ้นกับปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ในอาหารเหลว นอกจากนี้ยังพบว่าความหนืดจะแปรผันตามปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ในอาหารเหลว ดังนั้นปริมาณของแข็งที่ละลายได้จึงมีผลต่อความสามารถในการกำจัดน้ำออกของ wash column ซึ่งพบว่าเมื่อปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ในอาหารเหลวเพิ่มขึ้นจะทำให้ความสามารถการกำจัดน้ำออกลดลง

2.3.3.2 การทำให้เข้มข้นโดยการแช่เยือกแข็งแบบผลึกเดี่ยว

การทำให้เข้มข้นโดยการแช่เยือกแข็งแบบผลึกแขวนลอยมีขั้นตอนในการแยกน้ำแข็งออกจากอาหารเหลวเข้มข้นที่ยุ่งยากและทำให้เกิดการสูญเสียอาหารเหลวเข้มข้นที่เกาะติดไปผลึกน้ำแข็ง ดังนั้นจึงมีการพัฒนามาเป็นการทำให้เข้มข้นโดยการแช่เยือกแข็งแบบผลึกเดี่ยว

1. <u>ขั้นตอนในการทำเข้มข้นโดยการแช่เยือกแข็งแบบผลึกเดี่ยว</u>

เครื่องมือที่ใช้ในการทำเข้มข้นโดยการแช่ยือกแข็งแบบผลึกเดี่ยวจะประกอบด้วยกระบอกใส่ตัวอย่างอาหารเหลว (cylindrical sample vessel) ทำด้วยสเตนเลสมีใบพัดอยู่ภายในเพื่อกวนอาหารเหลวบริเวณที่น้ำแข็งกับอาหารเหลวสัมผัสกัน ซึ่งจะจุ่มกระบอกลงใน cooling bath มี driving force เพื่อเคลื่อนกระบอกลง cooling bath ด้วยอัตราเร็วคงที่เพื่อควบคุมอัตราการเกิดผลึกน้ำแข็งในสารทำความเย็น โดยระดับการจุ่มเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ตามความหนาของผลึกน้ำแข็ง (รูปที่ 2.5) ทำให้เกิดน้ำแข็งเพียงหนึ่งผลึกจึงสามารถแยกผลึกน้ำแข็งออกจากอาหารเหลวได้ง่าย



รูปที่ 2.5 ส่วนประกอบของเครื่องทำให้เข้มข้นโดยการแช่เยือกแข็งแบบผลึกเดี่ยว

ในการทำให้เข้มข้นโดยการแช่เยือกแข็งแบบผลึกเดี่ยวจะทำให้เกิดการเกาะติดของตัวถูกละลายในน้ำแข็งน้อยมาก Miyawaki, Liu และ Nakamura (1998) ทำให้สารละลายกลูโคส 5% เข้มข้นด้วยการแช่เยือกแข็งแบบผลึกเดี่ยวโดยมีอัตราการเติบโตของผลึกน้ำแข็ง 0.5 cm/h และอัตราการกวน 1400 rpm พบว่าความเข้มข้นของกลูโคสในน้ำแข็งน้อยกว่าในส่วนที่เป็นสารละลายมากและมีการเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อผลึกน้ำแข็งมีความหนาขึ้น

2. <u>ปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการทำให้เข้มข้นโดยการแช่เยือกแข็งแบบผลึกเดี่ยว</u>

ประสิทธิภาพในการทำให้เข้มข้นจะแสดงโดย effective partition constant (K) เป็นค่าที่แสดงถึงอัตราส่วนระหว่างความเข้มข้นของตัวถูกละลายในน้ำแข็ง (C_S) และตัวถูกละลายในสารละลายเข้มข้น (C_L) ซึ่งจะขึ้นกับ

1. *อัตราเร็วของการเกิดผลึกน้ำแข็ง*

การลดอัตราเร็วของการขยายขนาดของผลึกน้ำแข็งจะทำให้ effective partition constant มีค่าต่ำลงแสดงว่ามีกลูโคสเกาะติดไปกับผลึกน้ำแข็งในปริมาณต่ำลงซึ่งส่งผลให้ประสิทธิภาพของการทำให้เข้มข้นสูงทำให้สามารถสรุปได้ว่าอัตราการขยายขนาดของผลึกน้ำแข็งต่ำจะทำให้ประสิทธิภาพในการทำให้เข้มข้นสูง

2. *อัตราการถ่ายโอนมวลบริเวณผิวหน้าน้ำแข็ง*

การเพิ่มอัตราการถ่ายโอนมวลโดยการเพิ่มอัตราการกวนทำให้ effective partition constant มีค่าต่ำลงแสดงว่ากลูโคสเกาะติดไปกับผลึกน้ำแข็งในปริมาณลดลงจึงส่งผลให้ประสิทธิภาพของการทำให้เข้มข้นสูง แสดงให้เห็นว่าการถ่ายโอนมวลบริเวณที่น้ำแข็งและสารละลายกลูโคสเข้มข้นสัมผัสกันสูงจะส่งผลให้ประสิทธิภาพของการทำให้เข้มข้นโดยการแช่เยือกแข็งแบบผลึกเดี่ยวสูง

3. *ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลาย*

การเปลี่ยนแปลงของอัตราส่วนความเข้นข้นของตัวถูกละลายในน้ำแข็งต่อความเข้นข้นของตัวถูกละลายเริ่มต้นในระหว่างการทำให้เข้มข้นโดยการแช่แข็งแบบผลึกเดี่ยวในสารละลายกลูโคสเริ่มต้น 0.1, 1 และ 10% พบว่า effective partition constant เพิ่มขึ้น เมื่อความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายสูงขึ้นแสดงให้เห็นว่าประสิทธิภาพของการทำให้เข้มข้นจะต่ำลงเมื่อความเข้มข้นของสารละลายเริ่มต้นสูงขึ้น

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

การทดลอง

วัตถุดิบในการผลิตไวน์หม่อน

1. ผลหม่อน (*Morus alba L.*) ได้รับความอนุเคราะห์จากสถาบันวิจัย และฝึกอบรมการเกษตรลำปาง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ผลหม่อนที่ใช้ในการศึกษาคือ พันธุ์คอกหมู ผลสุกที่ผ่านการแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ -25 °C ก่อนใช้นำมาละลายน้ำแข็งที่อุณหภูมิห้อง (32 °C)
2. เชื้อยีสต์ *Saccharomyces bayanus* ผงผลิตโดย Lallemand Austratia PTY.Ltd.
3. เอนไซม์ pectinase มีชื่อทางการค้าว่า Pextinex Ultra SP-L ผลิตโดย Novo Nordisk Ferment Ltd. ประเทศสวิสเซอร์แลนด์ ผลิตจากเชื้อรา *Apergillus niger*
4. diammonium hydrogen phoaphate A.R. grade
5. citric acid Food grade
6. potassium metabisulfite Food grade
7. potassium sorbate Food grade
8. ascorbic acid Food grade

สารเคมี

1. สารเคมีที่ใช้เป็นแบบจำลองเอทานอล
   - ethanol A.R. grade
2. สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์น้ำตาลรีดิวซ์
   - sulfuric acid A.R. grade
   - potassium sodium tartrate A.R. grade
   - asenomolybdate reagent A.R. grade
   - disodium hydrogen phosphate A.R. grade
   - sodium hydroxide A.R. grade
   - sodium thiosulfate A.R. grade
   - disodium hydrogen sulphate A.R. grade
   - copper II sulphate A.R. grade
   - glucose A.R. grade

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3. สารเคมีที่ใช้วิเคราะห์สารประกอบฟีนอล

- Folin-Ciocalteu reagent A.R. grade
- sodium carbonate A.R. grade
- gallic acid A.R. grade

4. สารเคมีที่ใช้วิเคราะห์ปริมาณแอนโทไซยานิน

- potassium chloride A.R. grade
- hydrochloric acid A.R. grade
- sodium acetate A.R. grade

5. สารเคมีที่ใช้วิเคราะห์ปริมาณเอทานอล และเมทานอล

- ethanol A.R. grade
- methanol A.R. grade
- deionized water

4. สารเคมีที่ใช้วิเคราะห์ปริมาณกรดทั้งหมดและกรดระเหย

- sodium hydroxide A.R. grade
- phenolphthalein A.R. grade
- hydrogen peroxide A.R. grade

5. สารเคมีที่ใช้วิเคราะห์ปริมาณอะเซทาลดีไฮด์

- boric acid A.R. grade
- starch soluble A.R. grade
- iodine A.R. grade
- potassium iodide A.R. grade
- trisodium phosphate A.R. grade
- hydrochloric acid A.R. grade
- potassium metabisulfite A.R. grade
- disodium ethylenediamine tetraacetic acid A.R. grade
- sodium hydroxide A.R. grade

6. สารเคมีที่ใช้วิเคราะห์ปริมาณเอสเทอร์ (ในรูปเอทิลอะซีเตท)

- sodium hydroxide A.R. grade
- sulfuric acid A.R. grade

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

อุปกรณ์ที่ใช้ในการเตรียมและวิเคราะห์คุณภาพผลหม่อน และไวน์หม่อน

1. vortex mixer (Scientifie Industries, G 560E)
2. เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง (Shimadzu uv-visible recording spectophotometer UV-240)
3. pH meter (Schott, CG 840)
4. Hand refractometer 0-32°Brix (Atago, 2111-W03)
5. เครื่องวัดสี minolta CR-300 serie chorma meters
6. ชุดเครื่องกลั่นระเหย (Pyrex, USA)
7. gas chromatography (Shimadzu, 14A)
8. Ebulliometer
9. vinometer
10. ชุดเครื่องกลั่นแบบรีฟลักซ์ (reflux distillater, Gerhardt)
11. เครื่องหมุนเหวี่ยงความเร็วสูงแบบควบคุมอุณหภูมิ (Themo ICE, ICE Multi RF)
12. เครื่องชั่งน้ำหนักทศนิยม 4 ตำแหน่ง (Mettler-Toledo, AB204)
13. ห้องเย็นควบคุมอุณหภูมิ 5±2°C
14. ห้องเย็นควบคุมอุณหภูมิ 25±2°C
15. ถังพลาสติกใสขนาด 20 ลิตร
16. ถังพลาสติกใสขนาด 5 ลิตร

ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 การทำเข้มข้นไวน์หม่อนที่หมักโดยไม่เติมน้ำตาล

3.1.1 ศึกษาสมบัติทางกายภาพและองค์ประกอบทางเคมีของน้ำหม่อน

ผลหม่อนที่ใช้ในการศึกษาเป็นผลหม่อนสุกพันธุ์คอกหมู ผลสีแดงอมม่วง มีอายุเก็บเกี่ยวหลังจากออกดอกนาน 40-45 วัน คัดแยกส่วนก้านออก เก็บรวบรวมโดยการแช่แข็งที่อุณหภูมิ -25°C นำมาละลายน้ำแข็งที่อุณหภูมิ 32°C แล้วนำมาคั้นน้ำในระหว่างนี้เติมกรดแอสคอร์บิก (ascorbic acid) 100 mg/kg เพื่อป้องกันการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาล วิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและองค์ประกอบเคมี ได้แก่

- ค่าสี L* a* และ b* โดยเครื่องวัดสีระบบ CIE
- ความใส (% transmittance) (Endo,01965)
- ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ โดยใช้ hand refractometer
- ค่า pH โดย pH meter
- ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ (Nelson, 1994)
- ปริมาณกรดทั้งหมด (ในรูปกรดซิตริก) (ลักขณา รุจนไกรกานต์ และนิธิยา รัตนาปนนท์, 2533)
- ปริมาณแอนโทไซยานิน (Fuleki and Francis, 1968)
- ปริมาณสารประกอบฟีนอล (ในรูป gallic acid) (Zoecklien et al., 1995)

3.1.2 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบระหว่างการหมักไวน์หม่อน 100%ที่ผ่านการหมักแบบไม่เติมน้ำตาลโดยหมักทั้งเนื้อผลหม่อนตลอดระยะการหมักและหมักทั้งเนื้อผลหม่อนเพียง 3 วัน และไวน์หม่อนควบคุม

การทดลองนี้เริ่มจากการนำผลหม่อนแช่แข็งที่อุณหภูมิ -25°C นำมาละลายน้ำแข็งที่อุณหภูมิ 32°C มาคั้นน้ำ โดยในระหว่างนี้เติมกรดแอสคอร์บิก 100 mg/kg โดยในการเตรียมน้ำหมักของไวน์หม่อนควบคุมจะนำน้ำหม่อนที่ได้มาเติมน้ำ 2.5 เท่า เติมน้ำตาลทรายให้น้ำหม่อนมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ 20 °Brix แต่การเตรียมน้ำหมักของไวน์หม่อน 100% จะนำน้ำหม่อนที่คั้นได้มาหมักโดยไม่เติมน้ำและน้ำตาล นำน้ำหมักไวน์หม่อนควบคุมและไวน์หม่อน 100% ที่เตรียมไว้มาเติมกรดแอสคอร์บิก 50 mg/kg เติมเอนไซม์ pectinase 0.11g/l เติมโปแตสเซียมเมตาไบซัลไฟต์ 150 mg/kg แล้วตั้งทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง จากนั้นจึงเติมเชื้อยีสต์บริสุทธิ์ *S. bayanus* 100 mg/kg หมักที่อุณหภูมิ 25±2°C ทำการหมักจนไวน์มีปริมาณแอลกอฮอล์คงที่โดยไวน์หม่อนควบคุมจะใช้เวลาหมักนาน 21 วัน แต่สำหรับไวน์หม่อน 100% จะใช้เวลาหมัก 12 วัน แล้วนำไวน์ที่ได้ไปบ่มที่อุณหภูมิ 5°C นาน 2 เดือน หลังจากกระบวนการหมักสิ้นสุดทำการแยกส่วนใสออก แล้วเติมโปแตสเซียมเมตาไบซัลไฟต์ 150 mg/kg ซึ่งในการหมักไวน์หม่อน 100% จะแบ่งออกเป็น 2 วิธี คือ

1. หมักทั้งเนื้อผลหม่อนตลอดระยะเวลาการหมัก
2. หมักทั้งเนื้อผลหม่อนเพียง 3 วัน แล้วแยกออก

โดยในระหว่างกระบวนการหมักจะศึกษาการเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบทางเคมีของไวน์หม่อนในระหว่างกระบวนการหมักดังนี้

- ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ โดยใช้ hand refractometer
- ปริมาณแอลกอฮอล์ โดยใช้ vinometer (Amerine and Ough, 1974)
- ปริมาณกรดทั้งหมด (ในรูปกรดซิตริก) (ลักขณา รุจนไกรกานต์ และนิธิยา รัตนาปนนท์, 2533)

3.1.3 ศึกษาทางสมบัติกายภาพและองค์ประกอบเคมีของไวน์หม่อน 100% ที่ผ่านการหมักแบบไม่เติมน้ำตาลโดยหมักทั้งเนื้อผลหม่อนตลอดระยะการหมักและหมักทั้งเนื้อผลหม่อนเพียง 3 วัน

นำไวน์หม่อนที่ผ่านการหมักแบบไม่เติมน้ำตาลโดยหมักทั้งเนื้อผลหม่อนตลอดระยะการหมัก และหมักทั้งเนื้อผลหม่อนเพียง 3 วันแล้วแยกกากออกจากข้อ 3.1.2 มาศึกษาสมบัติทางกายภาพและองค์ประกอบทางเคมีดังนี้

- ค่าสี L* a* และ b* โดยเครื่องวัดสีระบบ CIE
- ความใส (% transmittance) (Endo, 1965)
- ปริมาณของแข็งที่ละลายได้โดยใช้ Hand refractometer
- ค่า pH โดยใช้ pH meter
- ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์(Nelson, 1994)
- ปริมาณกรดทั้งหมด (คิดในรูปกรดซิตริก) โดยการไตเตรทกับ NaOH 0.1 N (ลักขณา รุจนไกรกานต์ และนิธิยา รัตนาปนนท์ 2533)
- ปริมาณกรดระเหย (คิดในรูปกรดอะซิติก) โดยวิธีกลั่นและไตเตรทกับ NaOH 0.01 N (ลักขณา รุจนไกรกานต์ และนิธิยา รัตนาปนนท์ 2533)
- ปริมาณเอทานอลโดยใช้ gas chromatography (GC) (Lee, Acree and Butts, 1975)
- ปริมาณเมทานอลโดยใช้ gas chromatography (GC) (Lee, Acree and Butts, 1975)
- ปริมาณสารประกอบฟีนอล (ในรูป gallic acid) (Zoecklien et al., 1995)
- ปริมาณแอนโทไซยานิน (Fuleki and Francis, 1968)
- ปริมาณเอสเทอร์ (ในรูปเอทิลอะซีเตท) (A.O.A.C., 1995)
- ปริมาณอะเซทาลดีไฮด์ (A.O.A.C., 1995; Zoecklien et al., 1995)

วางแผนการทดลองแบบ Complete Randomized Design (CRD) ทดลอง 3 ซ้ำ วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป Statistical Package for the Social Science (SPSS) เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยใช้ Duncan' s new multiple range test (Cochran and Cox, 1992)

3.1.4 ศึกษาหาสภาวะที่ดีที่สุดในการทำเข้มข้นโดยวิธีการแช่เยือกแข็งแบบผลึกเดี่ยวของแบบจำลองเอทานอล

ในการแช่เยือกแข็งแบบผลึกเดี่ยวมีหลายปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการทำเข้มข้น ได้แก่ ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลาย ความเร็วรอบใบกวน และอัตราเร็วในการเกิดผลึกน้ำแข็ง ดังนั้นจึงจำเป็นต้องเตรียมแบบจำลองเอธานอลเพื่อศึกษาหาสภาวะที่ดีที่สุดเพื่อนำมาประยุกต์ใช้ในการทำเข้มข้นไวน์หม่อนที่หมักโดยไม่เติมน้ำตาล โดยวิธีการเตรียมแบบจำลองเอทานอล คือ นำเอทานอลเข้มข้น 100% มาเจือจางด้วยน้ำกลั่นจนได้ความเข้มข้นที่ต้องการแล้วนำไปเป็นตัวแทนตัวอย่าง ซึ่งการทดลองนี้จะใช้เครื่องทำให้เข้มข้นโดยการแช่เยือกแข็งแบบผลึกเดี่ยวแบบเดียวกับ Miyawaki, Liu และ Nakamura (1998) ซึ่งประกอบไปด้วยส่วนต่าง ๆ ดังนี้

1. sample vessel สำหรับบรรจุสารละลายตัวอย่าง ทำด้วย acrylic ทรงกระบอกหนา 0.3 cm มีเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 4.9 cm สูง 19.25 cm ด้านล่างเป็นแผ่น stainless เพื่อให้เกิดการถ่ายโอนความร้อนเพียงด้านเดียว
2. cooling bath (thermo haake c41P) ซึ่งภายในบรรจุสารหล่อเย็น (ethylene glycol : น้ำ ประมาณ 1 : 2 โดยปริมาตร) ซึ่งควบคุมให้มีอุณหภูมิต่ำกว่าจุดเยือกแข็งของสารตัวอย่าง เพื่อให้เกิดการถ่ายโอนความร้อนออกจาก sample vessel
3. motor สำหรับปรับให้ sample vessel จุ่มในสารละลายตัวอย่าง
4. stirrer ซึ่งด้านปลายมีใบกวนที่เส้นผ่านศูนย์กลาง 3 เซนติเมตรติดอยู่ โดยสามารถปรับความเร็วรอบใบกวนได้

การทดลองจะเริ่มจากเตรียม cooling bath ให้สารหล่อเย็นมีอุณหภูมิที่ทำให้อัตราการเกิดผลึกน้ำแข็งใกล้เคียงกับอัตราการจุ่ม sample vessel (โดยการตั้งอุณหภูมิของ cooling bath ต้องอาศัยข้อมูลจาก preliminary lab เนื่องจากมีหลายปัจจัยที่มีผลต่อการถ่ายโอนความร้อน ได้แก่ ความเข้มข้นของสารละลาย ปริมาตรของสารละลาย ความเร็วรอบใบกวน และอุณหภูมิของสภาวะแวดล้อม ซึ่งจาก preliminary lab ได้อุณหภูมิ cooling bath ที่ใช้ในสภาวะต่าง ๆ ดังแสดงในตารางที่ 3.1 จากนั้นนำน้ำกลั่น 3 ml เทลงใน sample vessel เมื่อน้ำแข็งตัวจะเกิดเป็นชั้น ice lining ที่ด้านล่างของ sample vessel แล้วเทสารละลายเอทานอลปริมาตร 150 ml ที่มีอุณหภูมิ 0°C ลงไป

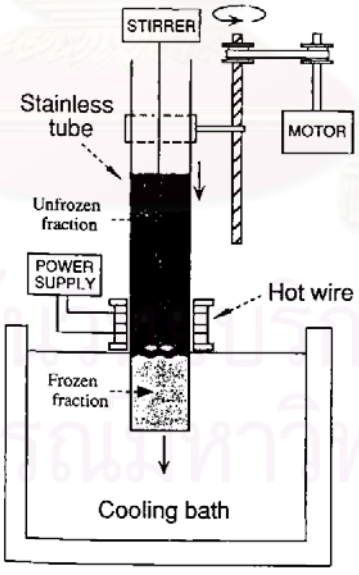
พร้อมกับปรับความเร็วรอบใบกวน (Nr) อัตราการจุ่ม sample vessel จากนั้นน้ำแข็งจะสะสมเพิ่มขึ้นจากชั้น ice lining ทำให้สารละลายเข้มข้นขึ้นเรื่อย ๆ ในการทดลองศึกษาสภาวะของความเข้มข้นของเอทานอล (C_O) ที่ 5 7.5 และ10 %V โดยจะ แปรปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพของการทำเข้มข้นดังนี้

- อัตราการขยายขนาดของผลึก (u) 3 ระดับ คือ 0.5 1 2 cm/hr
- อัตราเร็วรอบใบกวน (Nr) 3 ระดับ คือ 300 800 1200 rpm

นำส่วนน้ำแข็งและสารละลายเอทานอลเข้มข้นมาวิเคราะห์หาประสิทธิภาพในการทำเข้มข้นดังนี้

- วัดปริมาณแอลกอฮอล์โดยใช้ Ebulliometer (Zoecklien et al.,1995)
- วิเคราะห์ประสิทธิภาพการแยกโดยใช้ค่า Effective partition constant (K) ซึ่งคำนวณจากอัตราส่วนของความเข้มข้นของตัวถูกละลายในน้ำแข็ง และความเข้มข้นของตัวถูกละลายในสารละลายเข้มข้น (Miyawaki, Liu and Nakamura, 1998)

วางแผนการทดลองแบบ Asymmetric Factorial Design ขนาด 2X3 ทดลอง 3 ซ้ำ วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป SPSS เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยใช้ Duncan' s new multiple range test (Cochran and Cox, 1992)



รูปที่ 3.1 ส่วนประกอบของเครื่องทำให้เข้มข้นโดยการแช่เยือกแข็งแบบผลึกเดี่ยว

ตารางที่ 3.1 อุณหภูมิของ cooling bath ที่สภาวะต่าง ๆ

ความเข้มข้นเอทานอล(C_O : %v/v)	อัตราเร็วในการเกิดผลึกน้ำแข็ง (u : cm/hr)	ความเร็วรอบใบกวน (Nr : rpm)	อุณหภูมิ cooling bath($^\circ$ C)
5	0.5	300	-12
		800	-12
		1200	-13
	1	300	-17
		800	-17
		1200	-19
	2	300	-21
		800	-21
		1200	-22
7.5	0.5	300	-16
		800	-16
		1200	-18
	1	300	-20
		800	-20
		1200	-22
	2	300	-24
		800	-24
		1200	-25
10	0.5	300	-16
		800	-17
		1200	-19
	1	300	-22
		800	-22
		1200	-23
	2	300	-26
		800	-26
		1200	-28

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ซึ่งความเร็วรอบใบกวนของเทียบเท่ากับค่า Reynolds number ดังแสดงในตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 ค่า Reynolds number ที่ความเร็วรอบใบกวนต่าง ๆ

Nr (rpm)	Reynolds number
300	83953
800	223875
1200	335812

โดยค่า Stirrer Reynolds number ในตารางคำนวณได้จากสมการต่อไปนี้ (Geankoplis, 1993)

$$\mathrm{Re} = Da^2 Nr\rho / \mu$$

ในที่นี้ *Da* คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของใบกวน (m)

Nr คือ ความเร็วรอบใบกวน (rev/s)

ρ คือ ความหนาแน่นของของเหลว (kg/m^3)

μ คือ ค่าสัมประสิทธิ์ความหนืดของของเหลว (Pa.s)

3.1.5 **นำสภาวะที่ดีที่สุดที่ได้จากข้อ** 3.1.4 **มาทำเข้มข้นไวน์หม่อน** 100 %**ที่ผ่านการหมักแบบไม่เติมน้ำตาลโดยหมักทั้งเนื้อผลหม่อนตลอดระยะการหมักและหมักทั้งเนื้อผลหม่อนเพียง** 3 **วัน**

นำไวน์หม่อนที่ผ่านการหมักทั้งเนื้อผลหม่อนตลอดระยะการหมักและหมักทั้งเนื้อผลหม่อนเพียง 3 วันที่ได้จากข้อ 3.1.2 มาทำเข้มข้นโดยการแช่เยือกแข็งแบบผลึกเดี่ยว โดยใช้สภาวะที่ให้ประสิทธิภาพในการทำให้เข้มข้นสูงที่สุดที่ได้จากการทดลองข้อ 3.1.4 คือสภาวะที่อัตราเร็วการเกิดผลึกน้ำแข็ง 1 cm/hr ความเร็วรอบใบกวน 1200 rpmนาน 2 ชั่วโมง 30 นาที จากนั้นจะลดอัตราเร็วการเกิดผลึกน้ำแข็งเป็น 0.5 cm/hr ความเร็วรอบใบกวน 1200 rpm นาน 5 ชั่วโมง ซึ่งระยะเวลาที่ใช้ได้จากการคำนวณจากแบบจำลองเอทานอล นำไวน์หม่อนเข้มข้นที่ได้มาวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและองค์ประกอบทางเคมีเช่นเดียวกับข้อ 3.1.3

3.1.6 ศึกษาสมบัติทางกายภาพและองค์ประกอบเคมีของไวน์หม่อนเข้มข้นที่ได้จากการแช่เยือกแข็งแบบผลึกเดี่ยว และไวน์หม่อนควบคุม

นำไวน์หม่อนเข้มข้นโดยการแช่เยือกแข็งแบบผลึกเดี่ยวที่หมักทั้งเนื้อผลหม่อนตลอดระยะการหมัก และหมักทั้งเนื้อเพียง 3 วันที่ได้จากข้อ 3.1.2 และไวน์หม่อนควบคุมมาวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและองค์ประกอบเคมีเช่นเดียวกับข้อ 3.1.3

วางแผนการทดลองแบบ Complete Randomized Design (CRD) ทดลอง 3 ซ้ำ วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป SPSS เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยใช้ Duncan' s new multiple range test (Cochran and Cox, 1992)

3.1.7 ศึกษาสมบัติทางกายภาพและองค์ประกอบเคมีของไวน์หม่อนเข้มข้นที่ได้จากการแช่เยือกแข็งแบบผลึกเดี่ยวและผลึกแขวนลอย

นำไวน์หม่อน 100% หมักทั้งเนื้อตลอดระยะการหมักที่ได้จากข้อ 3.1.2 มาทำเข้มข้นโดยการแช่เยือกแข็งแบบผลึกแขวนลอย และการแช่เยือกแข็งแบบผลึกเดี่ยว (ใช้สภาวะเดียวกับข้อ 3.1.4) จนไวน์หม่อนที่มีความเข้มข้นแอลกอฮอล์ประมาณ 11-12%v/v จากนั้นนำไวน์หม่อนเข้มข้นที่ได้มาวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและองค์ประกอบเคมีเช่นเดียวกับข้อ 3.1.3

วางแผนการทดลองแบบ Complete Randomized Design (CRD) ทดลอง 3 ซ้ำวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป SPSS เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยใช้ Duncan' s new multiple range test (Cochran and Cox, 1992)

3.2 การทำเข้มข้นน้ำหม่อนก่อนนำไปหมักเป็นไวน์หม่อน

3.2.1 ศึกษาสมบัติทางกายภาพและองค์ประกอบเคมีของน้ำหม่อนเข้มข้น

นำผลหม่อนแช่แข็งที่อุณหภูมิ -25°C นำมาละลายน้ำแข็งที่อุณหภูมิ 32°C คั้นน้ำโดยในระหว่างนี้จะเติมผสมกรดแอสคอร์บิก (ascorbic acid) 100 mg/kg และโปแตสเซียมเมตาไบซัลไฟต์ 100 mg/kg จากนั้นนำมาผ่านกระบวนการทำเข้มข้น 2 วิธี ได้แก่

1. การทำเข้มข้นโดยการระเหยแบบสุญญากาศ นำน้ำหม่อนปริมาตร 850 ml ใส่ลงในขวดก้นกลมซึ่งจุ่มใน water bath อุณหภูมิ 50 °C เปิด pump เพื่อให้ระบบเป็นสุญญากาศ ทำการระเหยจนน้ำหม่อนมีเข้มข้น 20 °Brix

2. การทำให้เข้มข้นโดยการแช่เยือกแข็งแบบผลึกแขวนลอย นำน้ำหม่อนปริมาตร 1500 ml ใส่ลงในเครื่องแช่เยือกแข็งทำการแยกผลึกน้ำแข็งออกจนน้ำหม่อนเข้มข้น 20 °Brix แล้วนำน้ำหม่อนเข้มข้นที่ได้จากการระเหยแบบสุญญากาศ และการแช่เยือกแข็งแบบผลึกแขวนลอย และน้ำหม่อนคั้นสดมาวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและองค์ประกอบเคมีเช่นเดียวกับข้อ 3.1.1

วางแผนการทดลองแบบ Complete Randomized Design (CRD) ทดลอง 3 ซ้ำ วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป SPSS เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยใช้ Duncan' s new multiple range test (Cochran and Cox, 1992)

3.2.2 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบทางเคมีระหว่างการหมักไวน์หม่อนที่หมักจากน้ำหม่อนเข้มข้นโดยการระเหยแบบสุญญากาศ และการแช่เยือกแข็งแบบผลึกแขวนลอย และไวน์หม่อนควบคุม

นำน้ำหม่อนเข้มข้นที่ได้จากการทำให้เข้มข้นโดยการระเหยแบบสุญญากาศ และการแช่เยือกแข็งแบบผลึกแขวนลอยในข้อ 3.2.1 มาเติมกรดแอสคอร์บิก 50 mg/kg เติมเอนไซม์ pectinase 0.11 g/l และเติมโปแตสเซียมเมตาไปซัลไฟต์ 150 mg/kg ตั้งทิ้งไว้ 24 ชม. แล้วจึงเติมเชื้อยีสต์บริสุทธิ์ *S. bayanus* 100 mg/kg หมักที่อุณหภูมิ 25°C ทำการหมักจนไวน์มีปริมาณแอลกอออล์คงที่ โดยไวน์หม่อนที่หมักจากน้ำหม่อนเข้มข้นโดยการแช่เยือกแข็งแบบผลึกเดี่ยวจะใช้เวลาหมักนาน 18 วัน ส่วนไวน์หม่อนที่หมักจากน้ำหม่อนเข้มข้นโดยการแช่เยือกแข็งจะหมักนาน 12 วัน หลังจากกระบวนการหมักสิ้นสุดทำการแยกส่วนใสออก แล้วเติมโปแตสเซียมเมตาไบซัลไฟต์ 150 mg/kg โดยในระหว่างกระบวนการหมักจะทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบทางเคมีของไวน์หม่อนในระหว่างกระบวนการหมักเช่นเดียวกับข้อ 3.1.2

3.2.3 ศึกษาสมบัติทางกายภาพและองค์ประกอบเคมีของไวน์หม่อนที่หมักจากน้ำหม่อนเข้มข้นโดยการระเหยแบบสุญญากาศ และการแช่เยือกแข็งแบบผลึกแขวนลอย และไวน์หม่อนควบคุมก่อนบ่ม และหลังบ่ม

หลังจากสิ้นสุดกระบวนการหมักตามข้อ 3.2.2 นำหมักไวน์หม่อนที่หมักจากน้ำหม่อนเข้มข้นด้วยวิธีการระเหยแบบสุญญากาศ และการแช่เยือกแข็งแบบผลึกแขวนลอย และไวน์หม่อนควบคุมมาบ่มที่อุณหภูมิ 4°C นาน 4 เดือน จากนั้นนำไวน์หม่อนทั้ง 3 ชนิดทั้งที่สภาวะก่อนบ่มและหลังบ่มมาวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและองค์ประกอบเคมีเช่นเดียวกับข้อ 3.1.3

วางแผนการทดลองแบบ Complete Randomized Design (CRD) ทดลอง 3 ซ้ำ วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป SPSS เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยใช้ Duncan' s new multiple range test (Cochran and Cox, 1992)

3.2.4 ศึกษาคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของไวน์หม่อนที่หมักจากน้ำหม่อนเข้มข้นจากโดยการระเหยแบบสุญญากาศ และการแช่เยือกแข็งแบบผลึกแขวนลอย และไวน์หม่อนควบคุมหลังบ่ม

นำหมักไวน์หม่อนที่หมักจากน้ำหม่อนเข้มข้นโดยการระเหยแบบสุญญากาศ และการแช่เยือกแข็งแบบผลึกแขวนลอย และไวน์หม่อนควบคุมที่ผ่านการบ่มอุณหภูมิ 4°C นาน 4 เดือน มาวิเคราะห์คุณลักษณะทางประสาทสัมผัสทางด้านสี ความใส กลิ่นผลไม้ กลิ่นน้ำส้มสายชู รสเปรี้ยว รสหวาน รสฝาด และบอดี้ โดยใช้แบบทดสอบชนิด qualitative descriptive analysis with scaling คะแนน 0-10 โดยให้คะแนน 0 หมายถึงน้อย และคะแนน 10 หมายถึงมาก ใช้ผู้ทดสอบที่ไม่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 30 คน

วางแผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block Design (RCBD) ทดลอง 2 ซ้ำ วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป SPSS เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยใช้ Duncan' s new multiple range test (Cochran and Cox, 1992)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4
ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 การทำเข้มข้นไวน์หม่อนที่หมักโดยไม่เติมน้ำตาล

4.1.1. สมบัติทางกายภาพและองค์ประกอบทางเคมีของน้ำหม่อน

น้ำหม่อนได้จากการคั้นผลหม่อน (*Morus alba* L.) พันธุ์คอกหมู ผลสุกสีแดงอมม่วง มีอายุเก็บเกี่ยวหลังออกดอกนาน 40-45 วันมีองค์ประกอบดังแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 สมบัติทางกายภาพและองค์ประกอบทางเคมีของน้ำหม่อน

สมบัติทางกายภาพ และองค์ประกอบทางเคมี	ปริมาณ
ค่าสี L*	0.13±0.00
ค่าสี a*	0.49±0.01
ค่าสี b*	0.01±0.02
ความใส (% transmittance)	3.14±0.01
Total soluble solid (° Brix)	15.00±0.00
pH	4.42±0.02
reducing sugar (% as glucose)	13.35±0.02
total acid (% as citric acid)	0.42±0.03
anthocyanin (mg/l)	441.24±0.13
phenolic compound (mg/l)	2733.50±96.20

จากการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ (ตารางที่ 4.1) พบว่าน้ำหม่อนมีค่าสี L* a* b* และความใส เท่ากับ 0.13 0.49 0.01 และ 3.14 ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าน้ำหม่อนมีสีแดงอมม่วงเข้ม และค่อนข้างขุ่น มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ 15 ° Brix ซึ่งต่ำกว่าค่ามาตรฐานที่ใช้ในการผลิตไวน์องุ่น (20-22°Brix) (สามารถ พรหมศิริ, 2543) ค่าปริมาณของแข็งโดยทั่วไปแล้วสามารถใช้แสดงถึงปริมาณน้ำตาลที่มีอยู่โดยประมาณในผลไม้ เนื่องจากปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำที่วัดได้ในน้ำผลไม้จะเป็นน้ำตาลร้อยละ 90 (Amerine and Ough,1974) และจากการวัดปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์โดยวิธี Nelson (1994) พบว่าน้ำตาลรีดิวซ์ของน้ำหม่อนมีอยู่ปริมาณร้อยละ

13.35 คิดเป็นร้อยละ 89 ของปริมาณของแข็งที่ละลายได้ เนื่องจากน้ำตาลเป็นองค์ประกอบหลักที่สำคัญในวัตถุดิบเพื่อใช้ในการผลิตไวน์ให้ได้ปริมาณแอลกอฮอล์ที่สูงเพียงพอ (12-15%v/v) ดังนั้นจะเห็นได้ว่าในการผลิตไวน์จากน้ำหม่อนจำเป็นต้องปรับปริมาณน้ำตาลในปริมาณที่ค่อนข้างมาก

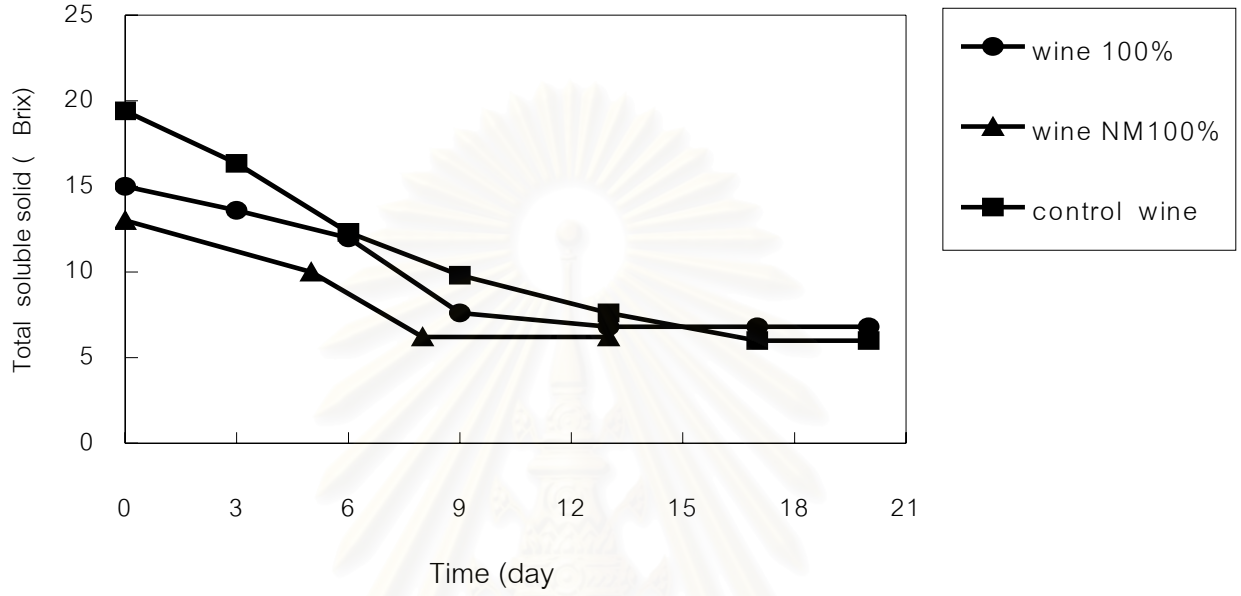
นอกจากนี้ปริมาณกรดในน้ำหม่อนมีอยู่ร้อยละ 0.42 ซึ่งต่ำกว่าน้ำองุ่นเล็กน้อย โดยน้ำองุ่นมีปริมาณกรดอยู่ระหว่างร้อยละ 0.46-0.75 (Zoecklein et al., 1995) กรดส่วนใหญ่ที่พบในน้ำหม่อนคือ กรดซิตริก (Will, Lim and Greenfield, 1987) น้ำหม่อนมีปริมาณสารประกอบฟีนอล 2733.50 mg/l โดยสารประกอบนี้ ได้แก่ flavonoid รงควัตถุ และแทนนิน ซึ่งจะแสดงในรูปกรดแกลลิค ส่วนปริมาณแอนโทไซยานินที่พบในน้ำหม่อนคือ 441.24 mg/l ต่ำกว่าปริมาณแอนโทไซยานินที่พบในองุ่นซึ่งเท่ากับ 650-980 mg/l แอนโทไซยานินที่พบในผลหม่อนเป็นชนิด cyanidin 3-glucoside, cyanidin 3,5-diglucoside และ delphinidin 3-glucoside (Harborne and Mabry, 1975) ซึ่งชนิดและปริมาณที่พบจะขึ้นกับสายพันธุ์การเพาะปลูก และอายุ (Boyles and Wrostad, 1993) ผลหม่อนจัดอยู่ในกลุ่ม purple mulberries (*Morus alba* L.) มีแอนโทไซยานินชนิด cyanidin 3-glucoside (ศิริพร แก้วแดง, 2540 : Markakis, 1982)

4.1.2 การเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีระหว่างการหมักไวน์หม่อน 100% ที่ผ่านการหมักแบบไม่เติมน้ำตาลโดยหมักทั้งเนื้อผลหม่อนตลอดระยะการหมัก และหมักทั้งเนื้อผลหม่อนเพียง 3 วัน และไวน์หม่อนควบคุม

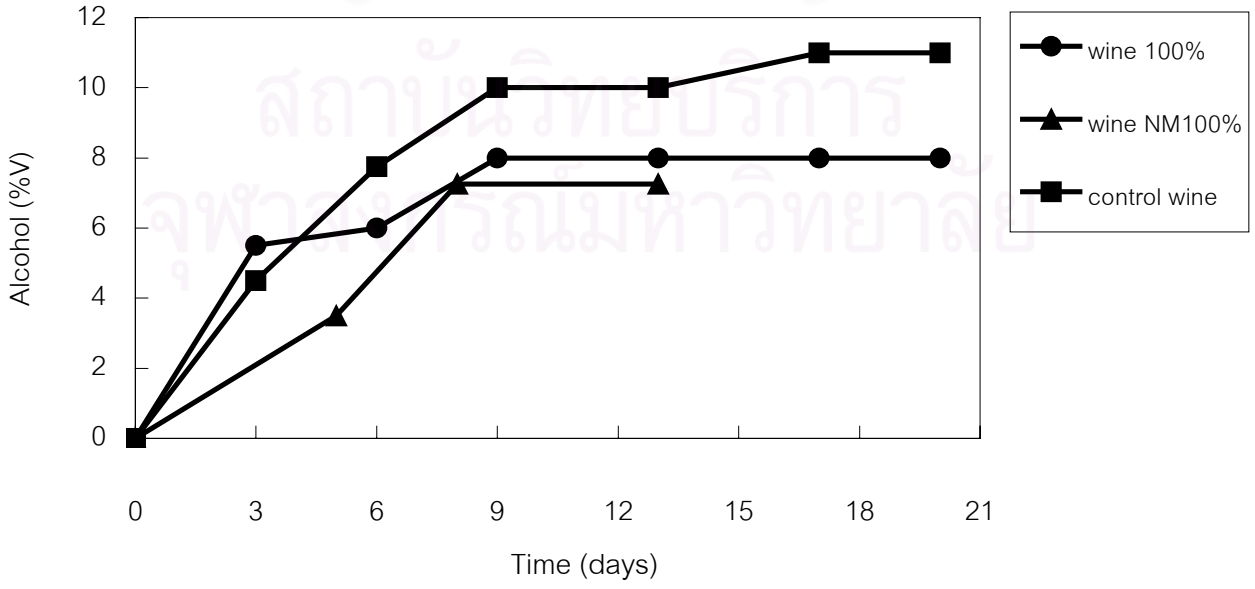
ในระหว่างการหมักไวน์หม่อนจะทำการสุ่มตัวอย่างมาวิเคราะห์ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ แอลกอฮอล์ และกรดทั้งหมด (ในรูปกรดซิตริก) ที่เปลี่ยนแปลงระหว่างการหมักดังแสดงในรูปที่ 4.1-4.3 โดย wine 100% คือ ไวน์หม่อน 100% ที่หมักทั้งเนื้อผลหม่อนตลอดระยะการหมัก wine NM 100% คือ ไวน์หม่อน 100%ที่หมักทั้งเนื้อผลหม่อนเพียง 3 วัน และไวน์หม่อนควบคุม จากการทดลองพบว่าในช่วง 9 วันแรกของการหมักปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในทุกการทดลอง (treatment) จะลดอย่างรวดเร็ว ในทางกลับกันปริมาณแอลกอฮอล์จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเนื่องจากในช่วงดังกล่าวน้ำหมักมีสารอาหารอุดมสมบูรณ์ และสภาวะแวดล้อมที่เหมาะสมสำหรับยีสต์ในการใช้น้ำตาลเพื่อเปลี่ยนเป็นแอลกอฮอล์ ซึ่งจาก Embden – Meyerhof – Parnas pathway น้ำตาล 1 โมเลกุลจะถูกใช้ไปทำให้ได้แอลกอฮอล์ 2 โมเลกุล คาร์บอนไดออกไซด์ 2 โมเลกุล และพลังงานดังสมการ

$$C_6H_{12}O_6 \xrightarrow{\text{enzyme จากยีสต์}} 2C_2H_5OH + 2CO_2 + \text{energy}$$

ซึ่งคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นจะทำให้สภาวะในน้ำหมักเป็นกรดมากขึ้น ประกอบกับสารอาหารต่าง ๆ ในน้ำหมักลดลง ทำให้ความสามารถในการผลิตแอลกอฮอล์ของยีสต์ลดลง ดังนั้นปริมาณของแข็งที่ละลายได้จึงลดลงอย่างช้า ๆ และปริมาณแอลกอฮอล์จะเพิ่มขึ้นอย่างช้า ๆ จากนั้นปริมาณทั้งสองค่าจะคงที่ในที่สุด

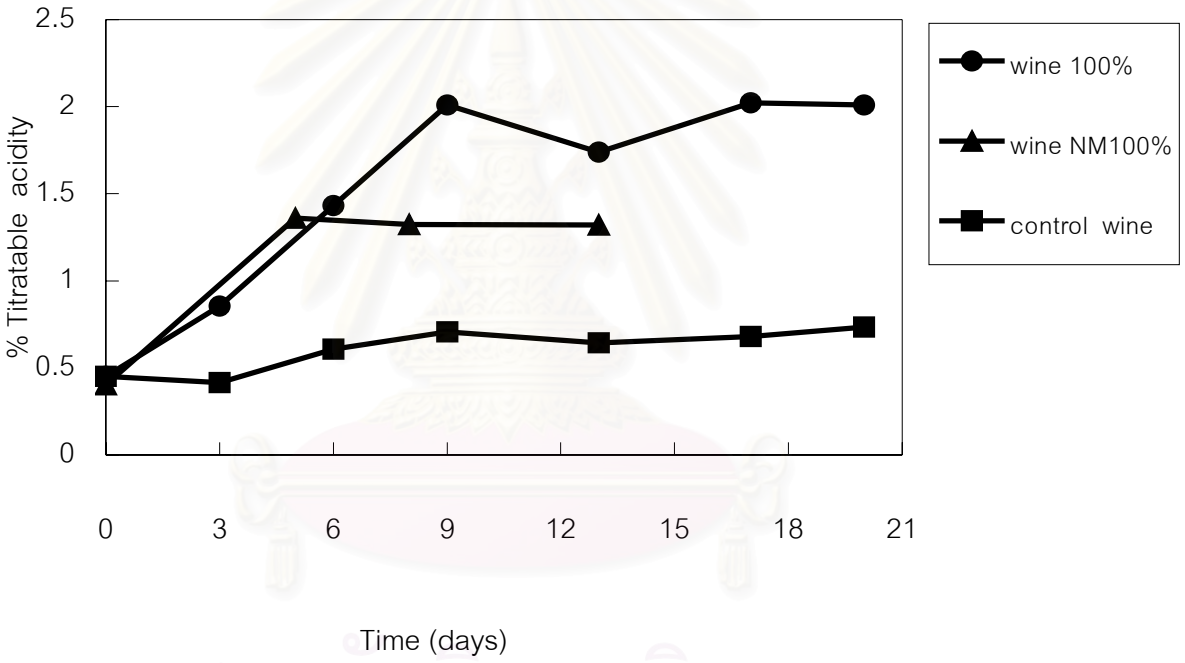


รูปที่ 4.1 การเปลี่ยนแปลงของปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในระหว่างการหมักไวน์หม่อนที่สภาวะในการหมักต่างกัน



รูปที่ 4.2 การเปลี่ยนแปลงของปริมาณแอลกอฮอล์ในระหว่างการหมักไวน์หม่อนที่สภาวะในการหมักต่าง ๆ

การเปลี่ยนแปลงของปริมาณกรดทั้งหมด (ในรูปกรดซิตริก) ในระหว่างการหมักของไวน์หม่อน(รูปที่ 4.3) พบว่าปริมาณกรดจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วง 9 วันแรกของการหมักที่ทุกการทดลองจากนั้นจะช้าลงจนกระทั่งคงที่ในที่สุด เนื่องมาจากในการเปลี่ยนน้ำตาลเป็นแอลกอฮอล์ของยีสต์นั้นจะมีการผลิตก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ด้วย ซึ่งส่วนหนึ่งสามารถละลายน้ำทำให้เกิดกรดคาร์บอนิก (Kunkee and Amerine, 1970) จึงทำให้ค่าปริมาณกรดทั้งหมดสูงขึ้น นอกจากนี้ในกระบวนการหมักไวน์ยังเกิดจากการสร้างกรดอินทรีย์ต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นภายใน Kreb' s cycle ของเชื้อยีสต์ เช่น กรดซัคซินิก (succinic acid) กรดมาลิก (malic acid) กรดซิตริก (citric acid) และ α - ketoglutaric acid (Amerine and Singleton, 1972)



รูปที่ 4.3 การเปลี่ยนแปลงของปริมาณกรดทั้งหมดในระหว่างการหมักไวน์หม่อนที่สภาวะในการหมักต่าง ๆ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.1.3 สมบัติทางกายภาพและองค์ประกอบทางเคมีของไวน์หม่อน 100% ที่ผ่านการหมักแบบไม่เติมน้ำตาลโดยหมักทั้งเนื้อผลหม่อนตลอดระยะการหมัก และหมักทั้งเนื้อผลหม่อนเพียง 3 วัน

จากการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ (ตารางที่ 4.2) พบว่าไวน์หม่อน 100% ที่ผ่านการหมักแบบไม่เติมน้ำตาลโดยหมักทั้งเนื้อหม่อนตลอดระยะการหมัก และหมักทั้งเนื้อหม่อนเพียง 3 วันแล้วแยกกากออกมีสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ค่าสี L* a* และ b* และความใสแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยพบว่าไวน์หม่อน 100% หมักทั้งเนื้อหม่อนตลอดระยะการหมักมีค่าสี L* ต่ำกว่าไวน์หม่อนที่หมักทั้งเนื้อหม่อนเพียง 3 วัน ในกระบวนการหมักจะมีการสกัดสารประกอบฟีนอลเป็นสารที่พบมากในเปลือกผลไม้ซึ่งประกอบด้วยสารพวก flavanoid tannin และรงควัตถุ (Mayen, Merida and Medina. 1995) โดยการเปลี่ยนแปลงของสารประกอบนี้จะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าสี L* ซึ่งเป็นค่าสีที่แสดงความสว่างของสีที่มีค่าจาก 0 คือสีดำ ถึง 100 คือสีขาวในไวน์ ระยะเวลาในการหมักทั้งเปลือกที่มากขึ้นส่งผลให้ไวน์มีปริมาณสารประกอบฟีนอลสูงขึ้น ดังนั้นไวน์หม่อนที่หมักทั้งเนื้อผลหม่อนจึงมีค่าความสว่างของสีต่ำกว่าไวน์หม่อนที่หมักทั้งเปลือกเพียง 3 วัน

จากการทดลองพบว่าไวน์หม่อนที่หมักทั้งเนื้อผลหม่อน และหมักทั้งเนื้อผลหม่อนเพียง 3 วันมีค่าสี a* เท่ากับ 1.74 และ 5.63 ตามลำดับแสดงให้เห็นว่าไวน์หม่อน 100 % มีสีแดงเข้ม เนื่องจากไวน์หม่อนมี anthocyanin เป็นรงควัตถุที่สำคัญ โดยจะเปลี่ยนแปลงตามสภาวะความเป็นกรดด่าง ซึ่งที่สภาวะเป็นกลางจะให้สีม่วง สภาวะกรดจะให้สีแดง และสภาวะด่างจะให้สีน้ำเงิน (Ikan, 1976)

ค่าสี b* ซึ่งเป็นค่าที่บ่งบอกความเป็นสีเหลือง (b*+) และน้ำเงิน (b*-) พบว่าไวน์หม่อน 100 % ที่หมักทั้งเนื้อผลหม่อน และหมักทั้งเนื้อผลหม่อนเพียง 3 วัน มีค่าสี b* เท่ากับ 0.08 และ 0.29 ตามลำดับแสดงให้เห็นว่าไวน์หม่อนมีสีคล้ำ เนื่องจากสารประกอบฟีนอลเกิดปฏิกริยาสีน้ำตาลในไวน์ จึงทำให้ไวน์หม่อน 100% ทั้งที่หมักทั้งเนื้อผลหม่อน และหมักทั้งเนื้อเพียง 3 วันมีค่าสี b* ค่อนข้างต่ำ

เมื่อพิจารณาด้านความใสพบว่าไวน์หม่อน 100 % ที่หมักทั้งเนื้อหม่อนเพียง 3 วัน ใสกว่าไวน์หม่อน 100% ทั้งเนื้อหม่อนตลอดระยะการหมักอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เนื่องจากเพคตินเป็นสารประกอบที่พบมากที่ผิวผลไม้และเป็นสารประกอบที่มีบทบาทสำคัญต่อความใส โดยเพคตินมีโครงสร้างเป็นร่างแหและเป็นพวกชอบน้ำมาก (highly hydrophilic colloid) มีประจุลบเมื่ออยู่ในน้ำจะเกิดการพองตัวและแขวนลอย จึงสามารถป้องกันการตกตะกอนของพวกอนุภาคต่าง ๆ ที่กระจายอยู่ในไวน์ (Kirk and Othmer, 1965) ซึ่งระยะเวลาในการหมักทั้งเปลือกนานขึ้น

จะส่งผลให้มีการสกัดเพคตินและองค์ประกอบต่าง ๆ ออกมาได้มากขึ้นทำให้ไวน์หม่อนที่ผ่านการหมักตลอดระยะเวลาการหมักจึงมีความใสน้อยกว่าการหมักทั้งเปลือกเพียง 3 วัน

ตารางที่ 4.2 สมบัติทางกายภาพของไวน์หม่อน 100% หมักทั้งเนื้อหม่อนตลอดระยะการหมักและหมักทั้งเนื้อหม่อนเพียง 3 วัน

ชนิด	ค่าสี L*	ค่าสี a*	ค่าสี b*	ความใส (% T)
wine100%	$0.18^{b}\pm0.01$	$1.74^{b}\pm0.02$	$0.08^{b}\pm0.01$	$3.17^{b}\pm0.03$
wine NM100 %	$0.28^{a}\pm0.02$	$5.63^{a}\pm0.03$	$0.29^{a}\pm0.02$	$6.21^{a}\pm0.01$

a, b ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในแถวตั้งเดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

จากผลการวิเคราะห์ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ และน้ำตาลรีดิวซ์ (ตารางที่ 4.3) พบว่าไวน์หม่อน 100% หมักทั้งเนื้อหม่อนตลอดระยะการหมัก และหมักทั้งเนื้อหม่อนเพียง 3 วัน มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) แต่มีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ไวน์หม่อน 100% หมักทั้งเนื้อหม่อนตลอดระยะการหมัก และหมักทั้งเนื้อหม่อนเพียง 3 วันมีค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้เท่ากันคือ 6 °Brix เป็นค่าที่ค่อนข้างสูงเมื่อเทียบกับค่าปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่วัดได้ Amerine และ Ough (1974) และ Zoecklein และคณะ (1995) กล่าวว่าปริมาณของแอลกอฮอล์ที่เกิดขึ้นจากกระบวนการหมักโดยเชื้อยีสต์จะมีผลต่อการหักเหของแสง ดังนั้นค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ที่วัดโดย hand refractometer ในรูปองศาบริกซ์จึงไม่สามารถใช้แทนค่าปริมาณน้ำตาลโดยประมาณของไวน์ได้ดังเช่นที่ใช้แทนปริมาณน้ำตาลของน้ำผลไม้ที่เป็นวัตถุดิบในการผลิตไวน์

ตารางที่ 4.3 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ และน้ำตาลรีดิวซ์ของไวน์หม่อนหมักทั้งเนื้อหม่อนตลอดระยะการหมัก และหมักทั้งเนื้อหม่อนเพียง 3 วัน

ชนิด	Total soluble solids ^{ns} (°Brix)	reducing sugars (g/100 ml as glucose)
wine100%	6.00 ± 0.00	$0.48^{a}\pm0.01$
wine NM100 %	6.00 ± 0.00	$0.42^{b}\pm0.08$

a, b ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในแถวตั้งเดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ns ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

จากการวิเคราะห์ปริมาณเอทานอล และเมทานอลของไวน์หม่อนควบคุม (ตารางที่ 4.4) พบว่าไวน์หม่อน 100% ที่หมักทั้งเนื้อหม่อนตลอดระยะการหมัก และหมักทั้งเนื้อหม่อนเพียง 3 วันมีปริมาณเอทานอลไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) แต่มีปริมาณเมทานอลแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยไวน์หม่อน 100% ที่หมักทั้งเนื้อหม่อนตลอดระยะการหมักและหมักทั้งเนื้อหม่อนเพียง 3 วัน มีปริมาณเอทานอลร้อยละ 5.55 และ 5.51 โดยปริมาตร ซึ่งค่อนข้างต่ำ เนื่องจากการหมักไวน์หม่อน 100% ทั้ง 2 ชนิดเป็นการนำน้ำหม่อนที่ผ่านการคั้นแล้วมาหมักโดยใช้น้ำตาลที่อยู่ในน้ำผลไม้เท่านั้นไม่มีการเติมน้ำตาล ทำให้มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในน้ำหมักเพียง 15 $^{\circ}$Brix ส่งผลให้ยีสต์สร้างเอทานอลได้น้อย

ส่วนปริมาณเมทานอลพบว่า ไวน์หม่อน 100% ที่ผ่านการหมักทั้งเนื้อผลหม่อนตลอดระยะการหมักมีปริมาณเมทานอลสูงกว่าไวน์หม่อน 100% ที่หมักทั้งเนื้อผลหม่อนเพียง 3 วัน ซึ่งให้ผลการทดลองเช่นเดียวกับการทดลองของ Falque และ Fernandez (1996) ซึ่งพบว่าเมื่อเพิ่มระยะเวลาในการหมักทั้งเปลือกของไวน์ Treixadura มากขึ้นจะส่งผลให้ไวน์มีปริมาณเมทานอลสูงขึ้น เมทานอลเกิดจากการทำปฏิกริยาไฮโดรไลซิสหมู่ methoxy (OCH_3) ในเพคตินโดยเอนไซม์ pectinesterase ซึ่งในเปลือกและเนื้อผลไม้จะมีเพคตินและเอนไซม์ pectinesterase นอกจากนี้เอนไซม์ pectinesterase ยังมีอยู่ในเอนไซม์ pectiolytic ที่เติมลงไปในกระบวนการผลิตไวน์อีกด้วย ซึ่งการเพิ่มเวลาในการหมักทั้งเปลือกจะเป็นการเพิ่มเวลาสัมผัสระหว่างเพคตินและเอนไซม์ pectinesterase ดังนั้นการเพิ่มระยะเวลาในการหมักทั้งเปลือกจึงส่งผลให้ไวน์มีปริมาณเมทานอลเพิ่มสูงขึ้นด้วย

ตารางที่ 4.4 องค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ ปริมาณเอทานอล และเมทานอลของไวน์หม่อนหมักทั้งเนื้อหม่อนตลอดระยะการหมัก และหมักทั้งเนื้อหม่อนเพียง 3 วันที่ผ่านการทำเข้มข้นโดยการแช่เยือกแข็งแบบผลึกเดี่ยว

ชนิด	ethanol ^{ns} (%v/v)	methanol (mg/l)
wine100%	5.55±0.03	579.45 ^{a}±6.23
wine NM100 %	5.51±0.15	485.64 ^{b}±7.46

a, b ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในแถวตั้งเดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ns ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

จากการวิเคราะห์ปริมาณกรดทั้งหมด กรดระเหย และ pH (ตารางที่ 4.5) พบว่าไวน์หม่อนหมักทั้งเนื้อหม่อนตลอดระยะการหมัก และหมักทั้งเนื้อหม่อนเพียง 3 วัน มีปริมาณกรดทั้งหมด กรดระเหย และ pH แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยไวน์หม่อน 100% ที่หมักทั้งเนื้อผลหม่อนเพียง 3 วัน มีปริมาณกรดทั้งหมด และกรดระเหยต่ำกว่าไวน์หม่อน 100% ที่หมักทั้งเนื้อผลหม่อนตลอดระยะการหมัก ซึ่งปริมาณกรดทั้งหมดจะแสดงในรูปกรดซิตริก เนื่องจากเป็นกรดที่พบมากในผลหม่อน (Will, Lim and Greenfield, 1987) ในการเจริญเติบโตของยีสต์จะมีการสร้างกรดต่าง ๆ ออกมาเป็นจำนวนมาก เช่น กรดซัคซินิก กรดซิตริก และกรดมาลิก (Rankine, 1989) ซึ่งกรดที่เกิดขึ้นนี้จะมีอิทธิพลต่อไวน์คือ ให้รสเปรี้ยว และช่วยยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์บางชนิดโดยเฉพาะการเจริญของจุลินทรีย์พวก acetic acid bacteria ที่สร้างกรดระเหย (Amerine and Ough, 1974) และเป็นจุลินทรีย์ที่บ่งชี้ถึงการเสื่อมเสียของไวน์ ส่วนกรดระเหยเป็นกรดที่สามารถระเหยได้ด้วยไอน้ำ ส่วนใหญ่คือ กรดอะซิติกจะเกิดขึ้นในกระบวนการหมักเพียงเล็กน้อยปกติจะไม่เกิน 0.03 g/ 100 ml โดย US Federal กำหนดว่าในไวน์แดงควรมีค่าของกรดระเหยไม่เกิน 0.14 g/100 ml (Amerine, Berg and Cruess, 1960) แต่จากการทดลองพบว่าไวน์หม่อน 100 % มีปริมาณกรดระเหยสูงกว่าค่าที่ US Federal กำหนดเนื่องจากในขั้นตอนการเตรียมน้ำหมักการเติมโปแตสเซียมเมตาไบซัลไฟต์เพื่อฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนในน้ำหม่อนใช้ความเข้มข้นเท่ากับที่ใช้ในไวน์หม่อนควบคุม แต่ไวน์หม่อน 100% ไม่มีการเจือจางน้ำหมักด้วยน้ำ 2.5 เท่า เหมือนไวน์หม่อนควบคุม ดังนั้นความเข้มข้นของจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนในน้ำหมักไวน์หม่อน 100% จึงมากกว่าความเข้มข้นของจุลินทรีย์ทีปนเปื้อนในน้ำหมักไวน์หม่อนควบคุม และในน้ำหมักไวน์หม่อน 100% มีความเข้มข้นของสารอาหารต่าง ๆ สูงทำให้จุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนเจริญเติบโตได้ดี

เมื่อพิจารณาค่า pH ซึ่งเป็นค่าที่แสดงความแรงในการแตกตัวให้ไฮโดรเจนอิออนในสารละลาย โดยกรดแต่ละชนิดจะมีการแตกตัวให้ไฮโดรเจนอิออนไม่เหมือนกัน พบว่า pH ของไวน์หม่อนที่หมักทั้งเนื้อผลหม่อนตลอดระยะการหมัก และหมักทั้งเนื้อผลหม่อนเพียง 3 วัน ไม่แตกต่างกันมากนักเนื่องจากกรดส่วนใหญ่กรดซัคซินิก กรดซิตริก และกรดมาลิก (Rankine, 1989) เป็นกรดอ่อนมีค่าการแตกตัวต่ำ และกรดมาลิกมีความเป็นบัฟเฟอร์ที่ดีในช่วง pH 3-4 (Amerine, Berg and Cruess, 1960) ทำให้ไวน์หม่อนที่ได้มีค่า pH ไม่เปลี่ยนแปลงไปจากน้ำหม่อนเริ่มต้นมากนัก (pH = 4.42)

ตารางที่ 4.5 องค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ ปริมาณกรดทั้งหมด กรดระเหย และpH ของ ไวน์หม่อนหมักทั้งเนื้อหม่อนตลอดระยะการหมัก และหมักทั้งเนื้อหม่อนเพียง 3 วัน

ชนิด	total acid (g/100 ml as citric acid)	volatile acid (g/100 ml as acetic acid)	pH
wine 100%	$1.25^{a} \pm 0.01$	$0.45^{a} \pm 0.03$	$3.87^{b} \pm 0.05$
wine NM100 %	$0.86^{b} \pm 0.03$	$0.27^{b} \pm 0.02$	$4.14^{a} \pm 0.03$

a, b ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในแถวตั้งเดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

จากการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอล และแอนโทไซยานิน (ตารางที่ 4.6) พบว่าไวน์หม่อน 100% หมักทั้งเนื้อหม่อนตลอดระยะการหมัก และหมักทั้งเนื้อหม่อนเพียง 3 วัน มีปริมาณสารประกอบฟีนอลไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) แต่ปริมาณแอนโทไซยานินแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยไวน์หม่อน 100% ที่หมักทั้งเนื้อผลหม่อนตลอดระยะการหมักมีปริมาณสารประกอบฟีนอลและแอนโทไซยานินสูงกว่าไวน์หม่อน 100% ที่หมักทั้งเนื้อผลหม่อนเพียง 3 วันเล็กน้อย ซึ่งให้ผลเช่นเดียวกับการทดลองของ Nagel และ Wulf (1979)ที่พบว่าความเข้มข้นของแอนโทไซยานินไวน์ Merlot และ Carernet Sauvignon จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วง 3 วันแรกของการหมักจากนั้นจะเพิ่มขึ้นน้อยมาก สารประกอบฟีนอลและแอนโทไซยานินเป็นสารที่พบมากที่เปลือกหรือผิวผลไม้เป็นส่วนใหญ่จึงทำให้การหมักไวน์ทั้งเนื้อผลหม่อนตลอดระยะการหมักจึงสกัดองค์ประกอบนี้ออกมาได้มากกว่าการหมักทั้งเนื้อผลหม่อนเพียง 3 วัน ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของ Sim และ Bates (1994) ที่ศึกษาผลของการหมักไวน์แดงจากองุ่นแดงพันธุ์ Noble muscadine ทั้งเปลือกเป็นระยะเวลาต่าง ๆ กันพบว่าไวน์จะมีปริมาณสารประกอบฟีนอลสูงขึ้น เมื่อระยะเวลาการหมักไวน์จากองุ่นทั้งเปลือกนานขึ้นพบว่าการหมักไวน์องุ่นทั้งเปลือกยังทำให้ปริมาณแอนโทไซยานิน และแทนนินเพิ่มขึ้นอีกด้วย (Aue et al., 1996) โดยแทนนินจะส่งผลให้แอนโทไซยานินในไวน์มีความคงตัวไม่เปลี่ยนแปลงง่าย (Singleton and Trousdale, 1992)

ตารางที่ 4.6 องค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ ปริมาณสารประกอบฟีนอล และแอนโทไซยานิน ของไวน์หม่อนหมักทั้งเนื้อหม่อนตลอดระยะการหมัก และหมักทั้งเนื้อหม่อนเพียง 3 วัน

ชนิด	phenolic compounds[ns] (mg/l)	anthocyanin (mg/l)
wine100%	2595.25±60.23	884.96[a]±16.25
wine NM100 %	2377.54±51.36	822.12[b]±18.56

a, b ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในแถวตั้งเดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)
ns ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

จากการวิเคราะห์ปริมาณอะเซทาลดีไฮด์ และเอสเทอร์ (ตารางที่ 4.7) พบว่าไวน์หม่อน 100% หมักทั้งเนื้อหม่อนตลอดระยะการหมัก และไวน์หม่อน 100% หมักทั้งเนื้อหม่อนเพียง 3 วัน มีปริมาณเอสเทอร์ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) แต่มีปริมาณอะเซทาลดีไฮด์ (ในรูปเอทิลอะซีเตท) แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยไวน์หม่อน 100% ที่หมักทั้งเนื้อผลหม่อนตลอดระยะการหมักจะมีปริมาณอะเซทาลดีไฮด์สูงกว่าไวน์หม่อน 100% ที่หมักทั้งเนื้อผลหม่อนเพียง 3 วัน เนื่องจากการหมักทั้งผลยังทำให้มีการสกัดสารประกอบฟีนอลออกมามากด้วย ซึ่งสารประกอบฟีนอลอาจเกิด couple oxidation ได้เป็นเปอร์ออกไซด์ ทำให้เกิดการออกซิไดซ์แอลกอฮอล์ไปเป็นอะเซทาลดีไฮด์ได้ (Zoecklein et al., 1995) ดังนั้นการหมักทั้งเนื้อผลหม่อนตลอดระยะการหมักจึงมีปริมาณอะเซทาลดีไฮด์สูงกว่าการหมักทั้งเนื้อผลหม่อนเพียง 3 วันแล้วแยกกากออก

ตารางที่ 4.7 องค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ ปริมาณอะเซทาลดีไฮด์ และเอสเทอร์ของไวน์หม่อนหมักทั้งเนื้อหม่อนตลอดระยะการหมัก และหมักทั้งเนื้อหม่อนเพียง 3 วัน

ชนิด	acetaldehyde (mg/l)	ester[ns] (mg/l as ethyl acetate)
wine100%	42.52[a]±8.56	369.60±5.96
wine NM100 %	38.72[b]±7.12	380.35±7.46

a, b ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในแถวตั้งเดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ns ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

4.1.4 สภาวะที่ดีที่สุดในการทำเข้มข้นโดยวิธีการแช่เยือกแข็งแบบผลึกเดี่ยวของแบบจำลองเอทานอล-น้ำ

ประสิทธิภาพการทำให้เข้มข้นโดยการแช่เยือกแข็งแบบผลึกเดี่ยวขึ้นอยู่กับปัจจัยที่สำคัญ ได้แก่ ความเข้มข้นของสารละลาย อัตราเร็วการเกิดน้ำแข็ง อัตราการถ่ายโอนมวลที่บริเวณผิวหน้าผลึกน้ำแข็ง ซึ่งสามารถประเมินประสิทธิภาพการทำเข้มข้นได้จากค่าสัมประสิทธิ์การแยก (effective partition constant : K) ซึ่งเป็นค่าอัตราส่วนของความเข้มข้นของตัวถูกละลายในน้ำแข็งต่อความเข้มข้นของตัวถูกละลายในสารละลายเข้มข้น (Miyawaki, Liu and Nakamura, 1998) โดยถ้าค่าสัมประสิทธิ์การแยกต่ำแสดงว่ามีประสิทธิภาพการทำให้เข้มข้นสูง จากการทดลองโดยใช้แบบจำลองเอทานอล-น้ำที่มีการแปรปัจจัย ได้แก่ อัตราการเกิดน้ำแข็ง และความเร็วรอบใบกวนที่ดีต่อความเข้มข้นเอทานอลต่างๆ ได้ค่าสัมประสิทธิ์การแยกดังแสดงในตารางที่ 4.8-4.10

ตารางที่ 4.8 ค่าสัมประสิทธิ์การแยก (K) ที่ความเข้มข้นเอทานอล 5 %v/v

ความเข้มข้นเอทานอล (C_O : %v/v)	อัตราเร็วการเกิดน้ำแข็ง (u : cm/hr)	ความเร็วรอบใบกวน (Nr : rpm)	ค่าสัมประสิทธิ์การแยก (K)
5	0.5	300	$0.29^{e} \pm 0.01$
		800	$0.25^{g} \pm 0.00$
		1200	$0.23^{g} \pm 0.00$
5	1	300	$0.50^{b} \pm 0.01$
		800	$0.27^{f} \pm 0.00$
		1200	$0.25^{g} \pm 0.00$
5	2	300	$0.54^{a} \pm 0.00$
		800	$0.35^{e} \pm 0.02$
		1200	$0.31^{d} \pm 0.00$

a, b,... ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในแถวตั้งเดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.9 ค่าสัมประสิทธิ์การแยก (K) ที่ความเข้มข้นเอทานอล 7.5 %v/v

ความเข้มข้นเอทานอล (C_O : %v/v)	อัตราเร็วการเกิดน้ำแข็ง (u : cm/hr)	ความเร็วรอบใบกวน (Nr : rpm)	ค่าสัมประสิทธิ์การแยก (K)
7.5	0.5	300	$0.40^{d} \pm 0.01$
		800	$0.31^{f} \pm 0.00$
		1200	$0.23^{g} \pm 0.00$
7.5	1	300	$0.49^{c} \pm 0.01$
		800	$0.35^{e} \pm 0.02$
		1200	$0.32^{f} \pm 0.00$
7.5	2	300	$0.61^{a} \pm 0.02$
		800	$0.54^{b} \pm 0.02$
		1200	$0.48^{c} \pm 0.00$

a, b,...ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในแถวตั้งเดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.10 ค่าสัมประสิทธิ์การแยก (K) ที่ความเข้มข้นเอทานอล 10 %v/v

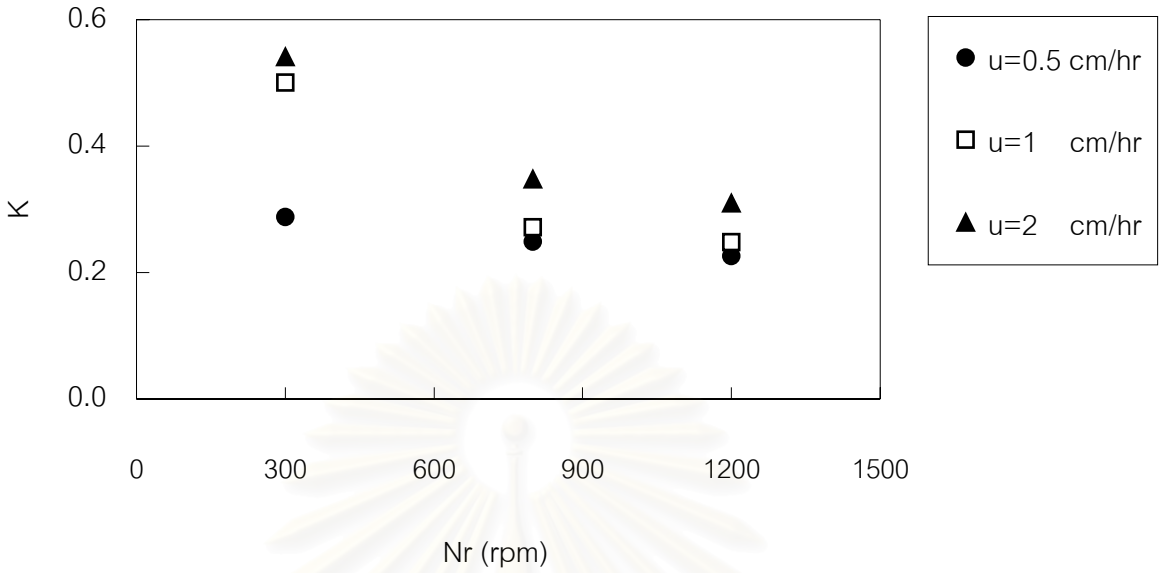
ความเข้มข้นเอทานอล (C_O : %v/v)	อัตราเร็วการเกิดน้ำแข็ง (u : cm/hr)	ความเร็วรอบใบกวน (Nr : rpm)	ค่าสัมประสิทธิ์การแยก (K)
10	0.5	300	$0.45^{d} \pm 0.00$
		800	$0.34^{f} \pm 0.01$
		1200	$0.35^{f} \pm 0.01$
10	1	300	$0.56^{b} \pm 0.01$
		800	$0.38^{e} \pm 0.00$
		1200	$0.37^{e} \pm 0.02$
10	2	300	$0.65^{a} \pm 0.00$
		800	$0.47^{c} \pm 0.01$
		1200	$0.48^{c} \pm 0.01$

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

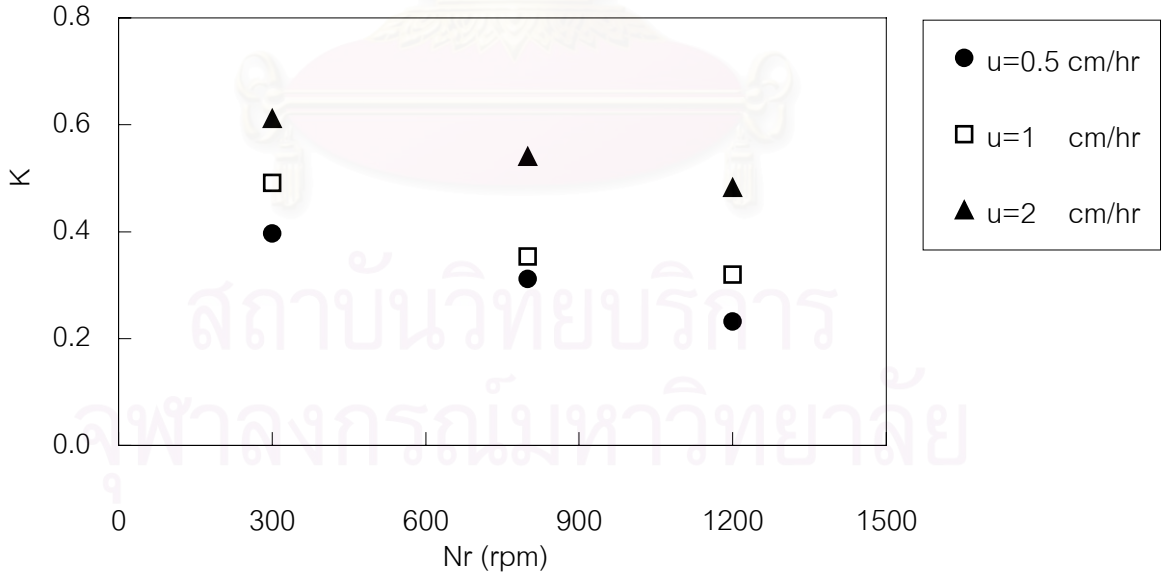
a, b,… ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในแถวตั้งเดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

จากผลการทดลองโดยวิเคราะห์ข้อมูลแบบ Asymmetric factorial CRD (2X3) (ตารางที่ 4.8-4.10) พบว่าอัตราเร็วของการเกิดผลึกน้ำแข็ง และความเร็วรอบใบกวนจะส่งผลร่วมกันต่อค่าสัมประสิทธิ์การแยก (K) อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ที่ทุกความเข้มข้น โดยสภาวะที่ให้ค่าสัมประสิทธิ์การแยกต่ำที่สุดคือ อัตราเร็วการเกิดผลึกน้ำแข็งต่ำ และความเร็วรอบใบกวนสูง โดยค่าสัมประสิทธิ์การแยกมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่ออัตราเร็วการเกิดผลึกน้ำแข็งสูงขึ้น และความเร็วรอบใบกวนต่ำลง

จากการทดลองพบว่าการเพิ่มความเร็วรอบใบกวน และการลดอัตราเร็วการเกิดผลึกน้ำแข็งที่ทุกความเข้มข้นส่งผลให้ค่าสัมประสิทธิ์การแยกมีแนวโน้มลดลง (รูปที่ 4.4-4.6) ซึ่งให้ผลเช่นเดียวกับการแช่เยือกแข็งแบบผลึกเดี่ยวของสารละลายกลูโคส 5 % พบว่าความเร็วรอบใบกวนและอัตราเร็วการเกิดผลึกน้ำแข็งน้ำแข็งมีอิทธิพลร่วมกัน โดยการเพิ่มความเร็วรอบใบกวน และการเพิ่มอัตราเร็วการเกิดผลึกน้ำแข็งน้ำแข็งส่งผลให้ค่าสัมประสิทธิ์การแยกต่ำลงแสดงว่ามีกลูโคสเกาะติดไปกับผลึกน้ำแข็งในปริมาณต่ำลงซึ่งส่งผลให้มีประสิทธิภาพของการทำให้เข้มข้นสูง (Miyawaki, Liu and Nakamura, 1998) จากการทดลองพบว่าที่ความเข้มข้นของเอทานอลต่ำที่สุดคือ 5%v/v ถึงแม้ว่าจะเพิ่มอัตราเร็วการเกิดผลึกน้ำแข็งจาก 0.5 cm/hr เป็น 1 cm/hr ที่ความเร็วรอบใบกวน 1200 rpm พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การแยกของสองสภาวะนี้ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) เนื่องมาจากความเร็วรอบใบกวนที่สูงประกอบกับปริมาณตัวถูกละลายที่ต่ำจึงได้ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนมวลสูงเพียงพอที่จะทำให้ตัวถูกละลายสามารถถ่ายโอนมวลจากผิวหน้าผลึกสู่สารละลายเข้มข้นได้เร็วโดยไม่ได้รับผลกระทบจากอัตราเร็วการเคลื่อนที่ของผิวหน้าผลึกการเกิดผลึกน้ำแข็งที่เพิ่มขึ้นในช่วงดังกล่าวจึงไม่ทำให้ปริมาณตัวถูกละลายเกาะติดไปกับผลึกน้ำแข็งสูงขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่าที่ความเข้มข้นของเอทานอลเป็น 5%v/v อัตราเร็วการเกิดผลึกน้ำแข็ง 0.5 cm/hr แม้ว่าจะลดความเร็วรอบใบกวนจาก 1200 เป็น 800 rpm ให้ค่าสัมประสิทธิ์การแยกไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) เนื่องมาจากค่าความเข้มข้นของตัวถูกละลายที่ต่ำจะให้ค่า diffusivity ที่สูงประกอบกับอัตราการขยายขนาดของผลึกที่ช้าทำให้ตัวถูกละลายสามารถเกิดสามารถถ่ายโอนมวลได้เพียงพอที่จะไม่ทำให้ปริมาณตัวถูกละลายที่ติดไปกับผลึกน้ำแข็งเปลี่ยนแปลงไปตามความเร็วรอบใบกวนที่ลดลง ส่วนที่ความเข้มข้นเอทานอล 10 %v/v ที่อัตราการขยายขนาดของผลึก 0.5 cm/hr แม้ว่าจะเพิ่มความเร็วรอบใบกวนจาก 800 เป็น 1200 rpm ก็ให้ค่าสัมประสิทธิ์การแยกไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากที่ความเข้มข้นเอทานอลสูงจะปริมาณตัวถูกละลายมาก ทำให้แม้จะเพิ่มความเร็วรอบของใบกวนก็ไม่สามารถทำให้เกิดอัตราการถ่ายโอนมวลบริเวณผิวหน้าผลึกสูงเพียงพอที่จะลดการเกาะติดของตัวถูกละลายในน้ำแข็งลงได้

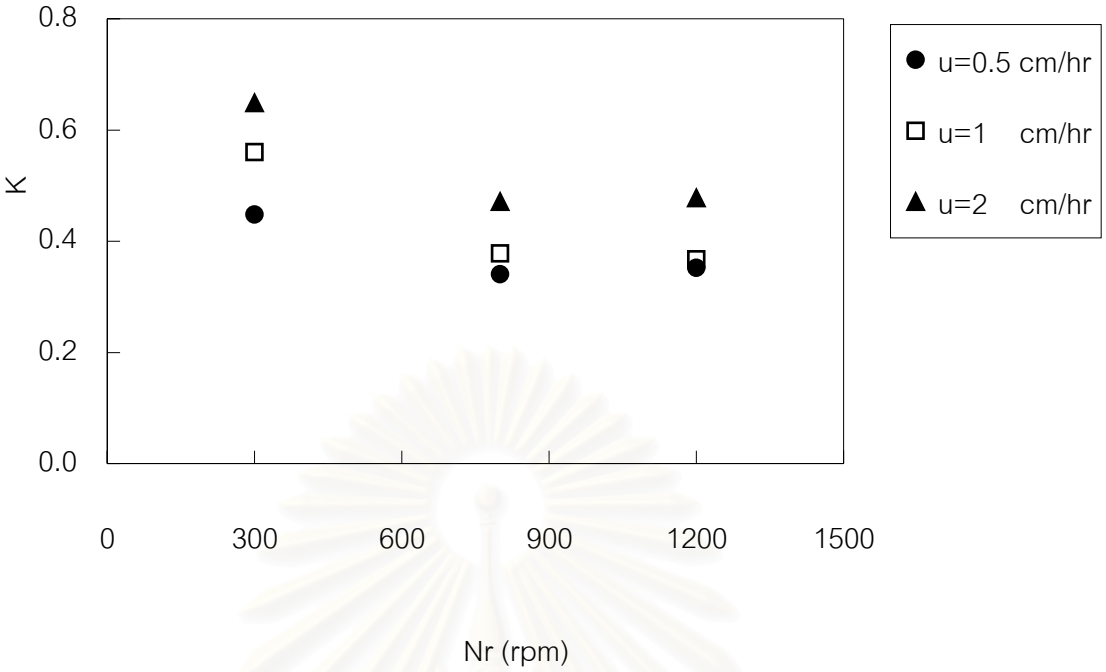


รูปที่ 4.4 อิทธิพลของความเร็วรอบใบกวน และอัตราเร็วการเกิดน้ำแข็งที่มีต่อค่าสัมประสิทธิ์การแยก (K) ที่สารละลายเอทานอลเข้มข้น 5 %v/v



รูปที่ 4.5 อิทธิพลของความเร็วรอบใบกวน และอัตราเร็วการเกิดน้ำแข็งที่มีต่อค่าสัมประสิทธิ์การแยก (K) ที่สารละลายเอทานอลเข้มข้น 7.5 %v/v

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.6 อิทธิพลของความเร็วรอบใบกวน และอัตราเร็วการเกิดน้ำแข็งที่มีต่อค่าสัมประสิทธิ์การแยก (K) ที่สารละลายเอทานอลเข้มข้น 10 %v/v

เมื่อพิจารณาอิทธิพลของความเร็วรอบใบกวนที่มีต่อค่าสัมประสิทธิ์การแยก (K) ที่อัตราเร็วการเกิดน้ำแข็งคงที่ (รูปที่ 4.4-4.6) พบว่าการเพิ่มความเร็วรอบใบกวนส่งผลให้ค่าสัมประสิทธิ์-การแยกมีแนวโน้มลดลงที่ทุกความเข้มข้นเอทานอล ซึ่งให้ผลเช่นเดียวกับการแช่เยือกแข็งแบบผลึกเดี่ยวของสารละลายกลูโคส 5 % เมื่อแปรความเร็วรอบใบกวน 4 ระดับ คือ 100 300 800 1400 rpm พบว่าการเพิ่มความเร็วรอบใบกวนทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การแยกมีแนวโน้มลดลง เนื่องจากการเพิ่มความเร็วรอบใบกวนทำให้อัตราการถ่ายโอนมวลสูงขึ้นทำให้ปริมาณกลูโคสเกาะติดไปกับผลึกน้ำแข็งในปริมาณลดลงจึงส่งผลให้ประสิทธิภาพการทำเข้มข้นสูง (Miyawaki et al., 2004)

จากผลการทดลองดังที่กล่าวข้างต้นแสดงให้เห็นว่าสภาวะที่เหมาะสม ณ ความเข้มข้นของเอทานอล 5 %v/v คือ อัตราเร็วการเกิดผลึกน้ำแข็ง 1 cm/hr ความเร็วรอบใบกวน 1200 rpm และที่ความเข้มข้นเอทานอล 7.5 และ 10 %v/v คือ อัตราเร็วการเกิดผลึกน้ำแข็ง 0.5 cm/hr ความเร็วรอบใบกวน 1200 rpm

4.1.5 การสูญเสียองค์ประกอบของไวน์หม่อน 100% ที่ผ่านการทำเข้มข้นโดยการแช่เยือกแข็งแบบผลึกเดี่ยว

การทดลองทำไวน์หม่อนเข้มข้นโดยการแช่เยือกแข็งแบบผลึกเดี่ยวนี้จะใช้สภาวะที่เหมาะสมจากข้อ 4.2.1 คือ ใช้อัตราเร็วการเกิดผลึกน้ำแข็ง 1 cm/hr ความเร็วรอบใบกวน 1200 rpm นาน 2 ชั่วโมง 30 นาที จากนั้นจะลดอัตราเร็วการเกิดผลึกน้ำแข็งเป็น 0.5 cm/hr ความเร็วรอบใบกวน 1200 rpm นาน 5 ชั่วโมง ซึ่งระยะเวลาที่ใช้ได้จากการคำนวณจากแบบจำลองเอทานอล-น้ำซึ่งจากการคำนวณจะได้ไวน์หม่อนเข้มข้นที่มีความเข้มข้นของเอทานอลเท่ากับ 12.5 %v/v แต่จากทดลองพบว่าไวน์หม่อนเข้มข้นมีความเข้มข้นต่ำกว่า คือเท่ากับ 11 %v/v อาจเนื่องมาจากสภาวะในการทำเข้มข้นโดยการแช่เยือกแข็งแบบผลึกเดี่ยวไม่เป็นระบบปิดประกอบกับใช้ระยะเวลานานทำให้เกิดการสูญเสียแอลกอฮอล์จากการระเหยไปบางส่วน

จากผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีที่เหลืออยู่ในระบบของการทำไวน์หม่อนเข้มข้นโดยการแช่เยือกแข็ง (ตารางที่ 4.11) โดยให้ conc. wine คือ ไวน์หม่อนเข้มข้นที่ได้หมักทั้งเนื้อผลหม่อนตลอดระยะการหมัก conc. wine NM คือ ไวน์หม่อนเข้มข้นที่ได้จากการหมักทั้งเนื้อผลหม่อนเพียง 3 วันแล้วแยกกากพบว่ามีการสูญเสียองค์ประกอบทางเคมีต่าง ๆ ค่อนข้างต่ำ อาจเนื่องมาจากการทำเข้มข้นโดยการแช่เยือกแข็งแบบผลึกเดี่ยวเป็นกระบวนการแยกน้ำออกที่อุณหภูมิต่ำมาก ดังนั้นจึงสามารถลดการเกิดปฏิกริยาทางชีวเคมี และทำให้เกิดการสูญเสียองค์ประกอบต่าง ๆ ต่ำ แต่มีการสูญเสียเอสเทอร์ค่อนข้างสูงเนื่องจากสภาวะในการทดลองไม่เป็นระบบปิดประกอบกับมีการกวนด้วยใบกวนที่ความเร็วสูงทำให้เอสเทอร์ซึ่งเป็นสารประกอบที่ระเหยได้ง่ายสูญเสียไป นอกจากนี้ยังพบว่าการทำเข้มข้นโดยการแช่เยือกแข็งแบบผลึกเดี่ยวจะมีเอทานอล น้ำตาลรีดิวซ์ และสารประกอบฟีนอลอยู่ในสารละลายเข้มข้นประมาณ 60%

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.11 องค์ประกอบทางเคมีที่เหลืออยู่ของไวน์หม่อน 100% หมักทั้งเนื้อผลหม่อนตลอดระยะการหมัก และหมักทั้งเนื้อผลหม่อนเพียง 3 วันหลังผ่านการทำเข้มข้นโดยการแช่เยือกแข็งแบบผลึกเดี่ยว

องค์ประกอบทางเคมี	% recovery of total system		% recovery of concentration	
	conc. wine	conc. wine NM	conc. wine	conc. wine NM
reducing sugars (% as glucose)	99.15	99.79	68.08	65.97
total acid (%as citric acid)	87.55	94.19	53.86	54.26
volatile acid (%as acetic acid)	96.09	98.32	43.28	40.56
anthocyanin (mg/L)	96.36	98.92	65.24	62.54
phenolic compounds(mg/L)	98.31	95.29	65.15	58.26
ester (mg/L as ethyl acetate)	54.08	66.89	27.82	25.36
acetaldehyde (mg/L)	83.38	84.54	55.95	52.78
ethanol (% v)	98.54	98.15	61.86	62.59
methanol (mg/L)	79.78	84.53	54.26	55.80

4.1.6 สมบัติทางกายภาพและองค์ประกอบทางเคมีของไวน์หม่อนเข้มข้นที่ได้จากการแช่เยือกแข็งแบบผลึกเดี่ยว และไวน์หม่อนควบคุม

ผลการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ และองค์ประกอบทางเคมีของไวน์หม่อน
เข้มข้นโดยการแช่เยือกแข็งแบบผลึกเดี่ยวหมักทั้งเนื้อหม่อนตลอดระยะการหมัก หมักทั้งเนื้อหม่อนเพียง 3 วัน และไวน์หม่อนควบคุม ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.12-4.13

จากการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ ของไวน์หม่อนทั้ง 3 ชนิด (ตารางที่ 4.12) พบว่าไวน์หม่อนทั้ง 3 ชนิดมีสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ค่าสี L* a* และ b* และความใสแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยพบว่าไวน์หม่อนควบคุมมีค่าสี L* a* และ b* และความใสสูงที่สุดเนื่องจากการผลิตไวน์หม่อนเข้มข้นไม่มีขั้นตอนการเจือจางน้ำหม่อนด้วยน้ำเหมือนไวน์หม่อนควบคุมประกอบกับการผ่านการทำเข้มข้นโดยการแช่เยือกแข็งแบบผลึกเดี่ยวซึ่งเป็นกระบวนการ

แยกน้ำออกทำให้ไวน์หม่อนเข้มข้นมีองค์ประกอบต่าง ๆ สูงกว่าไวน์หม่อนควบคุมมากซึ่งรวมถึงสารประกอบฟีนอลซึ่งเป็นสารพวก flavanoid tannin และรงควัตถุ ที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าสีทำให้ไวน์หม่อนเข้มข้นมีสีคล้ำมากกว่า และใสน้อยกว่าไวน์หม่อนควบคุม

ตารางที่ 4.12 สมบัติทางกายภาพของไวน์หม่อนหมักทั้งเนื้อหม่อนตลอดระยะการหมัก และหมักทั้งเนื้อหม่อนเพียง 3 วันที่ผ่านการทำเข้มข้นโดยการแช่เยือกแข็งแบบผลึกเดี่ยว และไวน์หม่อนควบคุม

ชนิด	ค่าสี L*	ค่าสี a*	ค่าสี b*	ความใส (% T)
conc. wine	$0.12^{b}\pm0.01$	$0.17^{c}\pm0.02$	$-0.02^{b}\pm0.01$	$0.05^{b}\pm0.03$
conc. wine NM	$0.12^{b}\pm0.02$	$0.22^{b}\pm0.03$	$-0.01^{b}\pm0.02$	$0.04^{b}\pm0.01$
control wine	$13.32^{a}\pm0.00$	$59.47^{a}\pm0.01$	$22.56^{a}\pm0.03$	$35.54^{a}\pm0.37$

a, b,… ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในแถวตั้งเดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของไวน์หม่อนเข้มข้นที่ได้จากการหมักทั้งเนื้อผลหม่อนตลอดระยะการหมัก และหมักทั้งเนื้อผลหม่อนเพียง 3 วัน และไวน์หม่อนควบคุม (ตารางที่ 4.13) พบว่าไวน์หม่อนเข้มข้นทั้ง 2 ชนิดมีปริมาณองค์ประกอบทางเคมีสูงกว่าไวน์หม่อนควบคุม เนื่องจากการทำเข้มข้นโดยการแช่เยือกแข็งแบบผลึกเดี่ยวนอกจากจะทำให้ความเข้มข้นของเอทานอลเพิ่มสูงขึ้นแล้วยังทำให้ปริมาณองค์ประกอบอื่น ๆ ได้แก่ ของแข็งที่ละลายได้ เมทานอล กรดทั้งหมด กรดระเหย สารประกอบฟีนอล แอนโทไซยานิน เอสเทอร์ และอะเซทาลดีไฮด์ที่มีอยู่ในไวน์สูงขึ้นด้วย นอกจากนี้ยังพบว่าไวน์หม่อนเข้มข้นทั้ง 2 ชนิดมีปริมาณเมทานอลสูงเกินกว่าค่าที่สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกำหนด (420 mg/l) เนื่องจากเมทานอลเป็นสารพิษที่ต้องควบคุมในไวน์ (Cabaroglu, 2004 ; Turgut, 2004) ดังนั้นวิธีการทำเข้มข้นหลังการหมักนี้จึงไม่เหมาะที่จะใช้ในการผลิตไวน์หม่อน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.13 องค์ประกอบทางเคมีของไวน์หม่อนหมักทั้งเนื้อหม่อนตลอดระยะการหมัก และหมักทั้งเนื้อหม่อนเพียง 3 วันที่ผ่านการทำเข้มข้นโดยการแช่เยือกแข็งแบบผลึกเดี่ยวและไวน์หม่อนควบคุม

องค์ประกอบทางเคมี	conc. wine	conc. wine NM	control wine
total soluble solids (° Brix)	14.00 [a] ±0.00	14.00 [a] ±0.00	6.00 [b] ±0.00
reducing sugars (%)	0.98 [a] ±0.01	0.99 [a] ±0.08	0.42 [b] ±0.10
ethanol [ns] (%v/v)	11.23 ±0.03	11.37 ±0.15	11.27±0.13
methanol (mg/L)	950.94 [a] ±8.68	940.76 [b] ±5.45	116.84 [c] ±9.12
pH	3.97 [b] ±0.05	4.14 [a] ±0.03	3.56 [c] ±0.01
total acid (%)	2.02 [a] ±0.01	1.89 [b] ±0.03	0.43 [c] ±0.02
volatile acid (%)	0.87 [a] ±0.03	0.83 [a] ±0.02	0.03 [b] ± 0.02
phenolic compounds(mg/L)	8982.79 [a] ±120.23	7582.09 [b] ±213.36	628.30 [c] ±150.46
anthocyanin (mg/L)	2526.79 [a] ±16.25	2056.18 [a] ±18.56	154.60 [b] ±4.26
ester (mg/L)	91.52 [a] ±8.56	84.48 [b] ±7.12	29.92 [c] ±4.56
acetaldehyde (mg/L)	308.52 [a] ±5.96	268.46 [b] ±7.46	105.53 [c] ±6.75

a, b ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในแถวตั้งเดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ns ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

4.1.7 สมบัติทางกายภาพและองค์ประกอบทางเคมีของไวน์หม่อนเข้มข้นที่ได้จากการแช่เยือกแข็งแบบผลึกเดี่ยวและผลึกแขวนลอย

การทดลองนี้เริ่มจากการนำไวน์หม่อน 100 % ที่หมักทั้งเนื้อผลหม่อนตลอดการหมักมาผ่านกระบวนการทำเข้มข้นโดยการแช่เยือกแข็งแบบผลึกเดี่ยว และผลึกแขวนลอยจนกระทั่งได้ไวน์หม่อนเข้มข้นที่มีความเข้มข้นของแอลกอฮอล์ประมาณ 11%v/v นำไวน์หม่อนเข้มข้นที่ได้ทั้ง 2 ชนิดมาวิเคราะห์หาสมบัติทางกายภาพและองค์ประกอบทางเคมีได้ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.14-4.15 โดยให้ conc. wine PFC คือ ไวน์หม่อนเข้มข้นโดยการแช่เยือกแข็งแบบผลึกเดี่ยว conc. wine SFC คือ ไวน์หม่อนเข้มข้นที่ผ่านการทำเข้มข้นโดยการแช่เยือกแข็งแบบผลึกแขวนลอย

จากผลการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ (ตารางที่ 4.14) พบว่าไวน์หม่อนเข้มข้นโดยการแช่เยือกแข็งแบบผลึกเดี่ยวและผลึกแขวนลอย มีค่าสี L* และ b* ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) แต่มีค่าสี a* และความใสแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ไวน์หม่อนเข้มข้นโดยการแช่เยือกแข็งทั้งแบบผลึกเดี่ยว และผลึกแขวนลอยมีค่าสี L* ต่ำมากเนื่องจากการหมักไวน์หม่อน 100% ไม่มีขั้นตอนการเจือจางน้ำทำให้มีสารประกอบต่าง ๆ เช่น สารประกอบฟีนอล แอนโทไซยานิน แทนนิน เพคตินถูกสกัดออกมามาก เมื่อนำไวน์หม่อน 100 % มาผ่านการทำเข้มข้นยิ่งทำให้องค์ประกอบต่าง ๆ สูงขึ้นส่งผลให้ไวน์มีค่าความสว่างต่ำมาก

ส่วนค่าสี a* และความใสพบว่าไวน์หม่อนเข้มข้นโดยการแช่เยือกแข็งแบบผลึกแขวนลอยมีค่าสี a* และความใสสูงกว่าการแช่เยือกแข็งแบบผลึกเดี่ยว เนื่องจากการแช่เยือกแข็งแบบผลึกแขวนลอยจะมีการสูญเสียตัวถูกละลาย และองค์ประกอบต่าง ๆ ในไวน์ เช่น สารประกอบฟีนอล แอนโทไซยานิน และเพคตินมากกว่าการแช่เยือกแข็งแบบผลึกเดี่ยว ดังนั้นไวน์หม่อนเข้มข้นที่ได้จากการแช่เยือกแข็งแบบผลึกแขวนลอยจึงมีสีอ่อนกว่าไวน์หม่อนเข้มข้นที่ได้จากการแช่เยือกแข็งแบบผลึกเดี่ยวจึงทำให้มีค่าความเป็นสีแดง และความใสของไวน์หม่อนเข้มข้นโดยการแช่เยือกแข็งแบบผลึกแขวนลอยสูงกว่าไวน์หม่อนเข้มข้นจากการแช่เยือกแข็งแบบผลึกเดี่ยว

เมื่อพิจารณาค่าสี b* พบว่าไวน์หม่อนเข้มข้นโดยการแช่เยือกแข็งแบบผลึกเดี่ยวมีค่าสี b* เป็นลบเล็กน้อยแสดงให้เห็นว่าไวน์มีสีแดงน้ำตาล อาจเนื่องมาจากการแช่เยือกแข็งแบบผลึกเดี่ยวมีการสูญเสียตัวถูกละลายและของแข็งที่แขวนลอยอยู่ไปกับน้ำแข็งน้อย(Miyawaki, Liu and Nakamura, 1998) ทำให้องค์ประกอบต่าง ๆ เช่น สารประกอบฟีนอลซึ่งเป็นสารตั้งต้นในการเกิดปฏิกริยาสีน้ำตาลทำให้ไวน์มีความเข้มข้นสูงมาก ทำให้ไวน์หม่อนเข้มข้นมีสีคล้ำ

ตารางที่ 4.14 สมบัติทางกายภาพของไวน์หม่อนเข้มข้นโดยการแช่เยือกแข็งแบบผลึกเดี่ยวและผลึกแขวนลอย

ชนิด	ค่าสี L* ^{ns}	ค่าสี a*	ค่าสี b* ^{ns}	ความใส (%T)
conc. wine PFC	0.12 ±0.00	0.17 ^{b} ±0.01	-0.02 ±0.02	0.05 ^{b} ±0.01
conc. wine SFC	0.11 ±0.00	0.46 ^{a} ±0.00	0.00 ±0.00	0.35 ^{a} ±0.00

a, b ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในแถวตั้งเดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)
ns ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของไวน์เข้มข้นโดยการแช่เยือกแข็งแบบผลึกเดี่ยวและผลึกแขวนลอย (ตารางที่ 4.15) พบว่าไวน์หม่อนเข้มข้น 2 ชนิดนี้มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้

เอทานอล กรดระเหย (ในรูปกรดอะซิติก) ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) สาเหตุที่ปริมาณเอทานอลมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) เนื่องจากเป็นตัวแปรควบคุมในการทดลองนี้ นอกจากนี้เมื่อพิจารณาถึงองค์ประกอบทางเคมีชนิดอื่น ๆ เช่น ปริมาณกรดทั้งหมด เมทานอล สารประกอบฟีนอล แอนโทไซยานิน เอสเทอร์ และอะเซทาลดีไฮด์ พบว่าไวน์หม่อนเข้มข้นโดยการแช่เยือกแข็งแบบผลึกแขวนลอยมีองค์ประกอบทางเคมีต่ำกว่าไวน์หม่อนเข้มข้นโดยการแช่เยือกแข็งแบบผลึกเดี่ยว เนื่องจากการทำเข้มข้นโดยการแช่เยือกแข็งแบบผลึกเดี่ยวการทำให้น้ำแข็งก่อตัวขยายขนาดอย่างช้า ๆ เพียงทิศทางเดียวทำให้ได้น้ำแข็งเพียงหนึ่งผลึกประกอบกับมีการถ่ายโอนมวลสารบริเวณผิวหน้าผลึกโดยการกวนทำให้ได้ผลึกน้ำแข็งมีตัวถูกละลายกักติดไปน้อยมากทำให้สามารถแยกผลึกน้ำแข็งออกจากสารละลายเข้มข้นได้ง่ายและมีการสูญเสียการกักติดของตัวถูกละลายไปกับน้ำแข็งต่ำ (Miyawaki, Liu and Nakamura,1998) แตกต่างจากการแช่เยือกแข็งแบบผลึกแขวนลอยที่มีผลึกน้ำแข็งขนาดเล็กจำนวนมาก ทำให้เกิดการเกาะติดบริเวณผิวผลึกของตัวถูกละลายปริมาณมาก (Muller, 1967) เมื่อทำการแยกน้ำแข็งออกจึงมีการสูญเสียตัวถูกละลายสูงกว่าการแช่เยือกแข็งแบบผลึกแขวนลอย

ตารางที่ 4.15 องค์ประกอบทางเคมีของไวน์หม่อนเข้มข้นโดยการแช่เยือกแข็งแบบผลึกเดี่ยวและผลึกแขวนลอย

องค์ประกอบทางเคมี	conc. wine PFC	conc. wine SFC
total soluble solids ^{ns} ($^{\circ}$ Brix)	14.00 ±0.00	14.00 ±0.00
pH	3.97 ^{a} ±0.02	3.90 ^{b} ±0.00
reducing sugars (% as glucose)	0.98 ^{a} ±0.02	0.73 ^{b} ±0.08
ethanol ^{ns} (%v/v)	11.23 ±0.03	11.25±0.16
methanol (mg/L)	950.94 ^{a} ±8.68	905.87 ^{b} ±4.30
total acid (%as citric acid)	2.02 ^{a} ±0.03	1.38 ^{b} ± 0.00
volatile acid ^{ns} (% as acetic acid)	0.87 ±0.13	0.75 ±0.00
phenolic compounds (mg/L)	8982.79 ^{a} ±96.20	7417.19 ^{b} ±220.98
anthocyanin (mg/L)	2526.29 ^{a} ±0.13	1592.99 ^{b} ±1.30
ester (as mg/L ethyl acetate)	308.52 ^{b} ±4.48	413.69 ^{a} ±0.12
acetaldehyde (mg/L)	91.52 ^{a} ±2.86	80.63 ^{b} ±5.23

a, b ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในแถวนอนเดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ns ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

4.2 การทำไวน์หม่อนที่หมักจากน้ำหม่อนเข้มข้น

4.2.1 สมบัติทางกายภาพและองค์ประกอบทางเคมีของน้ำหม่อนเข้มข้น และน้ำหม่อน

การทดลองเริ่มจากการนำน้ำหม่อนมาผ่านการทำเข้มข้นด้วยการระเหยแบบสุญญากาศและการแช่เยือกแข็งแบบผลึกแขวนลอยจนน้ำหม่อนเข้มข้นมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ 20°Brix จากนั้นนำไปวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ และองค์ประกอบทางเคมีได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.16-4.17 โดยให้น้ำหม่อนเข้มข้น VEV คือ น้ำหม่อนเข้มข้นโดยการระเหยแบบสุญญากาศ และน้ำหม่อนเข้มข้น SFC คือ น้ำหม่อนเข้มข้นโดยการแช่เยือกแข็งแบบผลึกแขวนลอย

จากผลการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของน้ำหม่อน และน้ำหม่อนเข้มข้นโดยการระเหยแบบสุญญากาศ และการแช่เยือกแข็งแบบผลึกแขวนลอย (ตารางที่ 4.16) พบว่าน้ำหม่อนเข้มข้นทั้ง 2 ชนิดมีสมบัติทางกายภาพแตกต่างจากน้ำหม่อนอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยน้ำหม่อนมีค่าสี L* a* b* และความใสสูงที่สุด เนื่องมาจากน้ำหม่อนปริมาณองค์ประกอบต่าง ๆ เช่น สารประกอบฟีนอล แอนโทไซยานิน และเพคตินต่ำกว่าน้ำหม่อนเข้มข้นทำให้น้ำหม่อนมีสีสว่างกว่า และใสกว่าน้ำหม่อนเข้มข้นจึงส่งผลให้น้ำหม่อนมีค่าสี L* a* b* และความใสสูง

ตารางที่ 4.16 สมบัติทางกายภาพ ของน้ำหม่อน น้ำหม่อนเข้มข้นโดยการระเหยแบบสุญญากาศและการแช่เยือกแข็งแบบผลึกแขวนลอย

ชนิด	ค่าสี L*	ค่าสี a*	ค่าสี b*	ความใส (% T)
น้ำหม่อน	$0.13^{a} \pm 0.00$	$0.49^{a} \pm 0.01$	$0.01^{a} \pm 0.02$	$3.14^{a} \pm 0.01$
น้ำหม่อนเข้มข้น VEV	$0.10^{b} \pm 0.00$	$0.02^{c} \pm 0.00$	$-0.02^{b} \pm 0.00$	$0.02^{c} \pm 0.00$
น้ำหม่อนเข้มข้น SFC	$0.11^{b} \pm 0.00$	$0.11^{b} \pm 0.00$	$-0.01^{b} \pm 0.00$	$1.34^{b} \pm 0.00$

a, b ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในแถวตั้งเดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของของน้ำหม่อน และน้ำหม่อนเข้มข้นโดยการระเหยแบบสุญญากาศ และการแช่เยือกแข็งแบบผลึกแขวนลอย (ตารางที่ 4.17) พบว่าน้ำหม่อนทั้ง 3 ชนิดมีองค์ประกอบทางเคมีแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยน้ำหม่อนจะมีองค์ประกอบทางเคมีจะต่ำที่สุด นอกจากนี้ยังพบว่าปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ กรดทั้งหมดของ

น้ำหม่อนเข้มข้นจากการระเหยแบบสุญญากาศ และการแช่เยือกแข็งแบบผลึกแขวนลอย ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) แต่ปริมาณสารประกอบฟีนอล และแอนโทไซยานินของน้ำหม่อนเข้มข้นด้วยการระเหยแบบสุญญากาศจะสูงกว่าการแช่เยือกแข็งแบบผลึกแขวนลอย เนื่องจากการระเหยแบบสุญญากาศเป็นวิธีที่กำจัดน้ำออกโดยการทำให้น้ำกลายเป็นไอ ซึ่งน้ำที่กำจัดออกไปต้องเป็นเฉพาะส่วนน้ำอิสระ (free water) ที่มีอยู่ในของเหลวเท่านั้นจึงไม่ทำให้เกิดการสูญเสียสารประกอบที่ละลายน้ำได้ (Thijssen, 1970) แต่การแช่เยือกแข็งแบบผลึกแขวนลอยจะมีการสูญเสียของแข็งที่ละลายได้ติดไปกับน้ำแข็งจำนวนมาก (Muller, 1967) ทำให้องค์ประกอบต่าง ๆ ของน้ำหม่อนที่ได้จากการระเหยแบบสุญญากาศสูงกว่าน้ำหม่อนที่ได้จากการแช่เยือกแข็งแบบผลึกแขวนลอย

ตารางที่ 4.17 องค์ประกอบทางเคมีของน้ำหม่อน น้ำหม่อนเข้มข้นจากการระเหยแบบสุญญากาศและการแช่เยือกแข็งแบบผลึกแขวนลอย

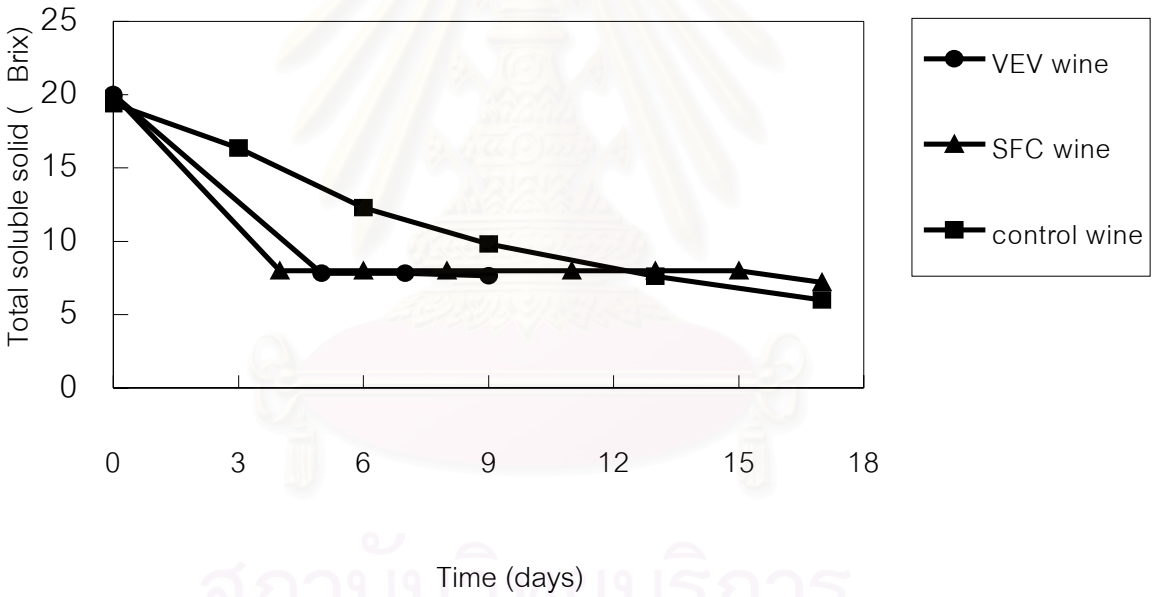
องค์ประกอบทางเคมี	น้ำหม่อน	น้ำหม่อน VEV	น้ำหม่อน SFC
Total soluble solids (° Brix)	11.00 ^{b}±0.00	20.00 ^{a}±0.00	20.00 ^{a}±0.00
pH	4.42 ^{a}±0.02	4.45 ^{b}±0.005	4.42 ^{a} ±0.00
reducing sugars (% as glucose)	10.35 ^{b}±0.02	18.27 ^{a}±0.00	18.19 ^{a}±0.08
total acid (%as citric acid)	0.42 ^{b}±0.03	0.54 ^{a}±0.00	0.61 ^{a} ±0.00
anthocyanin (mg/L)	441.24 ^{c}±0.13	1346.87 ^{a}±41.16	567.08 ^{b}±1.30
phenolic compound(mg/L)	2733.5 ^{c}±96.20	7775.06 ^{a}±0.00	4684.16 ^{b}±75.98

a, b,… ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในแถวนอนเดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

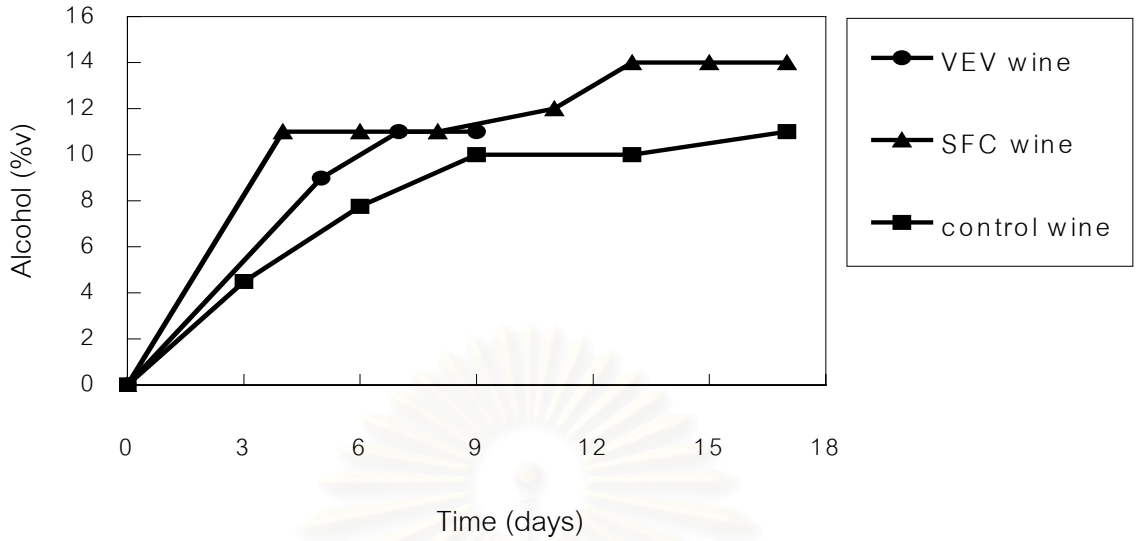
4.2.2 การเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบทางเคมีระหว่างการหมักไวน์หม่อนที่หมักจากน้ำหม่อนเข้มข้นโดยการระเหยแบบสุญญากาศ และการแช่เยือกแข็งแบบผลึกแขวนลอย และไวน์หม่อนควบคุม

สุ่มตัวอย่างมาวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงระหว่างการหมักไวน์หม่อนได้แก่ ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด แอลกอฮอล์ และกรดทั้งหมด (ในรูปกรดซิตริก) ดังแสดงในรูปที่ 4.7-4.9 โดย VEV wine คือ ไวน์หม่อนที่หมักจากน้ำหม่อนเข้มข้นโดยการระเหยแบบสุญญากาศ SFC wine คือ ไวน์หม่อนที่หมักจากน้ำหม่อนเข้มข้นโดยการแช่เยือกแข็งแบบผลึกแขวนลอย และ control wine คือ ไวน์หม่อนควบคุม จากการทดลองพบว่าการลดลงของปริมาณของแข็งที่

ละลายได้สัมพันธ์กับปริมาณแอลกอฮอล์ที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากยีสต์ใช้น้ำตาลเพื่อเปลี่ยนเป็นแอลกอฮอล์ โดยปริมาณของแข็งที่ละลายได้ของไวน์หม่อนที่หมักจากน้ำหม่อนเข้มข้นทั้ง 2 วิธีจะลดลงอย่างรวดเร็วในช่วง 5 วันแรกของการหมัก (รูปที่ 4.7) จากการทดลองพบว่าการผลิตแอลกอฮอล์ของไวน์หม่อนที่หมักจากน้ำหม่อนเข้มข้นทั้ง 2 วิธีเร็วกว่าไวน์หม่อนควบคุม (รูปที่ 4.8) เนื่องจากในน้ำหมักของไวน์หม่อนที่ผลิตจากน้ำหม่อนเข้มข้นเป็นน้ำตาลจากผลไม้แท้ ๆ ไม่มีการเติมน้ำตาลลงไปเหมือนไวน์หม่อนควบคุม และมีประกอบกับมีสารอาหารอุดมสมบูรณ์ทำให้เกิดสภาวะแวดล้อมที่เหมาะสมในการเจริญเติบโตของยีสต์จึงสามารถสร้างแอลกอฮอล์ได้อย่างรวดเร็ว

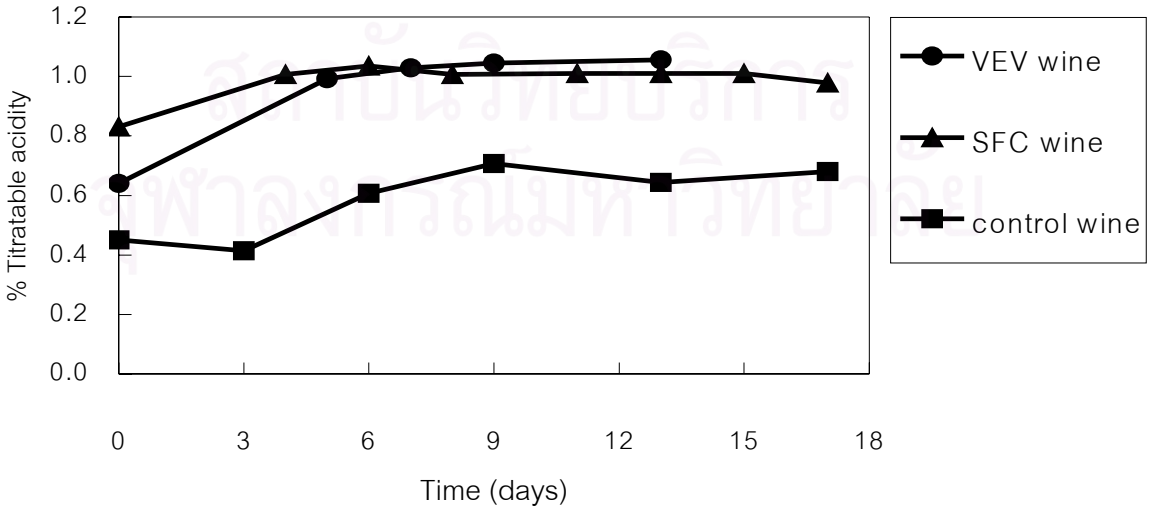


รูปที่ 4.7 การเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในระหว่างการหมักไวน์หม่อนที่สภาวะในการหมักต่างกัน



รูปที่ 4.8 การเปลี่ยนแปลงปริมาณแอลกอฮอล์ในระหว่างการหมักไวน์หม่อนที่สภาวะในการหมักต่างกัน

การเปลี่ยนแปลงของปริมาณกรดทั้งหมด (ในรูปกรดซิตริก) ในระหว่างการหมักของไวน์หม่อนที่หมักจากน้ำหม่อนเข้มข้นจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วง 5 วันแรกของการหมัก (รูปที่ 4.9) จากนั้นจะช้าลงจนกระทั่งคงที่ในที่สุด เนื่องมาจากในการเปลี่ยนน้ำตาลเป็นแอลกอฮอล์ของยีสต์นั้นจะมีการผลิตก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ด้วย ซึ่งส่วนหนึ่งสามารถละลายน้ำให้กรดคาร์บอนิก (Kunkee and Amerine, 1970) นอกจากนี้ยังเกิดจากการสร้างกรดอินทรีย์ต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นภายใน Kreb' s cycle ของเชื้อยีสต์



รูปที่ 4.9 การเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดทั้งหมด (ในรูปกรดซิตริก) ในระหว่างการหมักไวน์หม่อน

4.2.3 สมบัติทางกายภาพ และองค์ประกอบทางเคมีของไวน์หม่อนที่หมักจากน้ำหม่อนเข้มข้นโดยการระเหยแบบสุญญากาศ และการแช่เยือกแข็งแบบผลึกแขวนลอย และไวน์หม่อนควบคุมก่อนบ่มและหลังบ่ม

สุ่มตัวอย่างไวน์หม่อนที่สิ้นสุดกระบวนการหมักและไวน์หม่อนที่บ่มที่อุณหภูมิ 4±2° C เป็นเวลา 4 เดือน มาวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ค่าสี L* a* b* และความใส องค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ น้ำตาลรีดิวซ์ pH เอทานอล เมทานอล กรดทั้งหมด กรดระเหย สารประกอบฟีนอล แอนโทไซยานิน อะเซทาลดีไฮด์ และเอสเทอร์ ดังแสดงในตารางที่ 4.18-4.30 โดยไวน์หม่อน VEV คือไวน์หม่อนที่หมักจากน้ำหม่อนเข้มข้นโดยการระเหยแบบสุญญากาศ ไวน์หม่อน SFC คือไวน์หม่อนที่หมักจากน้ำหม่อนเข้มข้นโดยการแช่เยือกแข็งแบบผลึกเดี่ยว ไวน์หม่อนควบคุม คือไวน์หม่อนที่หมักขายโดยทั่วไป

จากการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ คือ ค่าสี L* a* และ b* (ตารางที่ 4.18-4.20) พบว่าที่สภาวะก่อนบ่มและหลังบ่มไวน์หม่อนทั้ง 3 ชนิดมีค่าสี L* a* และ b* แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยไวน์หม่อนที่หมักจากน้ำหม่อนเข้มข้นด้วยการระเหยแบบสุญญากาศมีค่าสี L* a* และ b* ต่ำที่สุด รองลงมาคือ ไวน์หม่อนที่หมักจากน้ำหม่อนเข้มข้นด้วยการแช่เยือกแข็งแบบผลึกแขวนลอย และไวน์หม่อนควบคุมตามลำดับ เนื่องจากน้ำหม่อนเข้มข้นด้วยการระเหยแบบสุญญากาศทำให้องค์ประกอบต่าง ๆ ที่มีในน้ำหมักเพิ่มสูงขึ้น ทำให้เมื่อนำน้ำหม่อนเข้มข้นจากการระเหยมาหมักจึงได้ไวน์ที่มีสีคล้ำ ดังนั้นค่าสี L* a* และ b* จึงมีค่าต่ำที่สุด เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงหลังการบ่มพบว่า ไวน์หม่อนทั้ง 3 ชนิดมีค่าสี L* และ b* เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) แต่มีค่าสี a* ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ในระหว่างบ่มสารประกอบฟีนอลจะเกิดปฏิกริยาสีน้ำตาลทำให้ไวน์หม่อนมีสีคล้ำขึ้น (Lee and Jaworski,1988) เนื่องจากการเกิดปฏิกริยาสีน้ำตาลซึ่งมีสาเหตุมาจากการ condensation ระหว่างสารประกอบฟีนอลโดยการออกซิเดชั่นของ *o* – diphenol และ *p* – diphenol จะทำให้เกิดการ condensation ได้โพลิเมอร์สีน้ำตาลซึ่งมีความคงตัวมากกว่าเมื่ออยู่ในรูป monomer หรืออาจเกิดจากการรวมตัวกันของแอนโทไซยานินกับแทนนินทำให้เกิดโพลิเมอร์ของแอนโทไซยานินและแทนนิน (Jackson, 2000) นอกจากนี้ยังอาจเกิดจากปฏิกริยาสีน้ำตาลจากการ oxidation ของสารประกอบฟีนอลเป็น quinone แบบ nonenzymatic โดยมีทองแดงและเหล็กเป็นตัวเร่งปฏิกริยา (catalyse) หรือเกิดจากปฏิกริยาสีน้ำตาลแบบ enzymatic โดยมี polyphenol oxidase เป็นตัวเร่งปฏิกริยา (Singleton,1987)

ตารางที่ 4.18 ค่าสี L* ของไวน์หม่อนที่หมักจากน้ำหม่อนเข้มข้นโดยการระเหยแบบสุญญากาศและการแช่เยือกแข็งแบบผลึกแขวนลอย ไวน์หม่อนควบคุมก่อนบ่มและหลังบ่ม

ชนิด	ค่าสี L*	
	ก่อนบ่ม	หลังบ่ม
ไวน์หม่อน VEV ^{NS}	0.17 ^{c} ±0.02	0.16 ^{b} ±0.01
ไวน์หม่อน SFC ^{NS}	0.21 ^{b} ±0.01	0.16 ^{b} ±0.01
ไวน์หม่อนควบคุม	13.32 ^{Aa} ±0.13	11.76 ^{Ba} ±0.17

A, B ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในแถวนอนเดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

NS ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

a, b,... ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในแถวตั้งเดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.19 ค่าสี a* ของไวน์หม่อนที่หมักจากน้ำหม่อนเข้มข้นโดยการระเหยแบบสุญญากาศและการแช่เยือกแข็งแบบผลึกแขวนลอย ไวน์หม่อนควบคุมก่อนบ่มและหลังบ่ม

ชนิด	ค่าสี a*	
	ก่อนบ่ม	หลังบ่ม
ไวน์หม่อน VEV	1.73 ^{Ac} ±0.01	0.76 ^{Bc} ±0.01
ไวน์หม่อน SFC	2.12 ^{Ab} ±0.00	1.44 ^{Bb} ±0.09
ไวน์หม่อนควบคุม ^{NS}	59.47 ^{a} ±0.15	56.95 ^{a} ±0.35

A, B ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในแถวนอนเดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

NS ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

a, b,... ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในแถวตั้งเดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.20 ค่าสี b* ของไวน์หม่อนที่หมักจากน้ำหม่อนเข้มข้นโดยการระเหยแบบสุญญากาศและการแช่เยือกแข็งแบบผลึกแขวนลอย ไวน์หม่อนควบคุมก่อนบ่มและหลังบ่ม

ชนิด	ค่าสี b*	
	ก่อนบ่ม	หลังบ่ม
ไวน์หม่อน VEV	$0.05^{Bb} \pm 0.01$	$0.09^{Ab} \pm 0.02$
ไวน์หม่อน SFC	$0.06^{Bb} \pm 0.07$	$0.12^{Ab} \pm 0.00$
ไวน์หม่อนควบคุม	$19.88^{Ba} \pm 0.30$	$22.56^{Aa} \pm 0.03$

A, B ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในแถวนอนเดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)
a, b,... ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในแถวตั้งเดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

จากการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพด้านความใส (ตารางที่ 4.21) พบว่าทั้งที่สภาวะก่อนบ่มและหลังบ่มไวน์หม่อนควบคุมจะมีความใสสูงกว่าไวน์หม่อนที่หมักจากน้ำหม่อนเข้มข้นทั้ง 2 ชนิดอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เนื่องจากไวน์หม่อนที่หมักจากน้ำหม่อนเข้มข้นทั้ง 2 ชนิดจะผ่านขั้นตอนการกำจัดน้ำออกทำให้ความเข้มข้นของเพคตินและสารแขวนลอยอื่น ๆ สูงขึ้น ซึ่งเพคตินเป็นสารประกอบที่พบมากที่ผิวผลไม้และเป็นสารประกอบที่มีบทบาทสำคัญต่อความใส โดยเพคตินมีโครงสร้างเป็นร่างแหและเป็นพวกชอบน้ำมาก (highly hydrophilic colloid) มีประจุลบเมื่ออยู่ในน้ำจะเกิดการพองตัวและแขวนลอยจึงสามารถป้องกันการตกตะกอนของพวกอนุภาคต่าง ๆ ที่กระจายอยู่ในไวน์ (Kirk and Othmer, 1965) ซึ่งความเข้มข้นของเพคตินและสารประกอบอื่น ๆ ที่สูงขึ้นนี้จะส่งผลให้ไวน์หม่อนที่ผลิตจากน้ำหม่อนเข้มข้นทั้ง 2 ชนิดมีความใสต่ำมาก แต่การบ่มไวน์จะทำให้ไวน์หม่อนทั้ง 3 ชนิดมีความใสเพิ่มขึ้น เนื่องจากสารประกอบต่าง ๆ ที่ทำให้ไวน์ขุ่นจะมีความสามารถในการละลายลดลงที่อุณหภูมิต่ำจึงทำให้สารประกอบเหล่านี้ตกตะกอนเมื่อบ่มไวน์ประกอบกับเอนไซม์ pectinase ที่มีอยู่ในเนื้อผลไม้และที่เติมลงไปจะช่วยย่อยสลายทำให้เพคตินที่มีสายยาวที่แขวนลอยอยู่มีสายสั้นลงและละลายน้ำได้ดีขึ้น (Cruess, Quacchia, and Kenneth, 1955)

ตารางที่ 4.21 ความใสของไวน์หม่อนที่หมักจากน้ำหม่อนเข้มข้นจากโดยระเหยแบบสุญญากาศและการแช่เยือกแข็งแบบผลึกแขวนลอย ไวน์หม่อนควบคุมก่อนบ่มและหลังบ่ม

ชนิด	ความใส (% T)	
	ก่อนบ่ม	หลังบ่ม
ไวน์หม่อน VEV	$0.12^{Bb} \pm 0.01$	$0.42^{Ac} \pm 0.02$
ไวน์หม่อน SFC	$0.29^{Bb} \pm 0.00$	$0.68^{Ab} \pm 0.00$
ไวน์หม่อนควบคุม	$35.54^{Ba} \pm 0.37$	$50.18^{Aa} \pm 0.03$

A, B ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในแถวนอนเดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)
a, b,... ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในแถวตั้งเดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

จากการวิเคราะห์ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (ตารางที่ 4.22) พบว่าทั้งสภาวะก่อนบ่มและหลังบ่มไวน์หม่อนทั้ง 3 ชนิดมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.5$) โดยไวน์หม่อนที่หมักจากน้ำหม่อนเข้มข้นโดยการระเหยแบบสุญญากาศมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้สูงที่สุด นอกจากนี้ยังพบว่าหลังการบ่มไวน์หม่อนทั้ง 3 ชนิดมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เนื่องจากค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้เป็นค่าของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดในไวน์ ซึ่งจะรวมถึงปริมาณกรดทั้งหมด และสารสีด้วย ซึ่งในระหว่างการบ่มปริมาณกรดทั้งหมด และแอนโทไซยานินลดลงจึงส่งผลให้ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ลดลงด้วย

ตารางที่ 4.22 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ของไวน์หม่อนที่หมักจากน้ำหม่อนเข้มข้นโดยการระเหยแบบสุญญากาศ และการแช่เยือกแข็งแบบผลึกแขวนลอย ไวน์หม่อนควบคุมก่อนบ่มและหลังบ่ม

ชนิด	Total soluble solids ^{ns}(°Brix)	
	ก่อนบ่ม	หลังบ่ม
ไวน์หม่อน VEV	$9.00^{Aa} \pm 0.00$	$8.80^{Ba} \pm 0.02$
ไวน์หม่อน SFC	$8.00^{Ab} \pm 0.00$	$7.70^{Bb} \pm 0.00$
ไวน์หม่อนควบคุม	$6.00^{Ac} \pm 0.00$	$5.60^{Bc} \pm 0.03$

A, B ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในแถวนอนเดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)
a, b,... ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในแถวตั้งเดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

จากการวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ (ตารางที่ 4.23) พบว่าทั้งที่สภาวะก่อนบ่มและหลังบ่มไวน์หม่อนที่หมักจากน้ำหม่อนเข้มข้นโดยการแช่เยือกแข็งแบบผลึกแขวนลอยมีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ต่ำที่สุด รองลงมาคือ ไวน์หม่อนที่หมักจากน้ำหม่อนเข้มข้นจากการระเหยแบบสุญญากาศ และไวน์หม่อนควบคุมตามลำดับ เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงหลังบ่มพบว่าไวน์หม่อนทั้ง 3 ชนิดมีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เนื่องจากน้ำตาลกลูโคส และฟรุกโตสอาจทำปฏิกริยากับองค์ประกอบอื่น เช่น ไบซัลไฟท์ หรืออาจเกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้าง (Jackson, 2000)

ตารางที่ 4.23 ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ ของไวน์หม่อนที่หมักจากน้ำหม่อนเข้มข้นโดยการระเหยแบบสุญญากาศ และการแช่เยือกแข็งแบบผลึกแขวนลอย ไวน์หม่อนควบคุม ก่อนบ่มและหลังบ่ม

ชนิด	reducing sugar (g/ 100 ml as glucose)	
	ก่อนบ่ม	หลังบ่ม
ไวน์หม่อน VEV	$0.32^{Ab} \pm 0.02$	$0.21^{Bb} \pm 0.01$
ไวน์หม่อน SFC	$0.10^{Ac} \pm 0.00$	$0.08^{Bc} \pm 0.00$
ไวน์หม่อนควบคุม	$0.42^{Aa} \pm 0.10$	$0.32^{Ba} \pm 0.03$

A, B ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในแถวนอนเดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)
a, b,... ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในแถวตั้งเดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

จากการวิเคราะห์ค่า pH (ตารางที่ 4.24) พบว่าทั้งสภาวะก่อนบ่ม และหลังบ่มไวน์หม่อนทั้ง 3 ชนิดมีค่า pH แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยไวน์หม่อนควบคุมมี pH ต่ำที่สุด รองลงมาคือไวน์หม่อนที่หมักจากน้ำหม่อนเข้มข้นโดยการระเหยแบบสุญญากาศและการแช่เยือกแข็งแบบผลึกแขวนลอยตามลำดับ เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงหลังการบ่มพบว่าไวน์หม่อนทั้ง 3 ชนิดมีค่า pH สูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เนื่องจากในระหว่างบ่มไวน์มีปริมาณกรดทั้งหมดลดลง ซึ่งการเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดจะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลง pH ด้วย ดังนั้นจึงทำให้ไวน์หม่อนหลังบ่มมีค่า pH เพิ่มขึ้นเล็กน้อย

ตารางที่ 4.24 ค่า pH ของไวน์หม่อนที่หมักจากน้ำหม่อนเข้มข้นจากโดยระเหยแบบสุญญากาศและการแช่เยือกแข็งแบบผลึกแขวนลอย ไวน์หม่อนควบคุมก่อนบ่มและหลังบ่ม

ชนิด	pH	
	ก่อนบ่ม	หลังบ่ม
ไวน์หม่อน VEV	$4.58^{Bb} \pm 0.02$	$4.63^{Ab} \pm 0.01$
ไวน์หม่อน SFC	$4.67^{Ba} \pm 0.01$	$4.75^{Aa} \pm 0.02$
ไวน์หม่อนควบคุม	$3.56^{Bc} \pm 0.01$	$3.60^{Ac} \pm 0.02$

A, B ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในแถวนอนเดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

a, b,... ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในแถวตั้งเดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

จากการวิเคราะห์ปริมาณเอทานอล (ตารางที่ 4.25) พบว่าทั้งสภาวะก่อนบ่มและหลังไวน์หม่อนทั้ง 3 ชนิดมีปริมาณเอทานอลแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยไวน์หม่อนควบคุมมีปริมาณเอทานอลสูงที่สุด รองลงมา คือ ไวน์หม่อนที่หมักจากน้ำหม่อนเข้มข้นโดยการแช่เยือกแข็งแบบผลึกแขวนลอย และการระเหยแบบสุญญากาศ เนื่องจากขั้นตอนการเตรียมน้ำหมักไวน์หม่อนควบคุมมีการเจือจางน้ำหม่อนด้วยน้ำ 2.5 เท่า ทำให้ของแข็งอื่นที่มิใช่น้ำตาลเจือจางลงไปด้วย ดังนั้นเมื่อมีการปรับบริกซ์ให้เท่ากับ 20°Brix ด้วยน้ำตาลฟรุกโตสทำให้ค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ที่วัดได้ใกล้เคียงกับปริมาณน้ำตาลที่มีอยู่ ซึ่งแตกต่างจากไวน์หม่อนที่ผลิตจากน้ำหม่อนเข้มข้นที่ขั้นตอนการเตรียมน้ำหมักจะกำจัดน้ำออกจนวัดปริมาณของแข็งที่ละลายได้ 20°Brix ทำให้ค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ที่วัดได้อาจสูงกว่าปริมาณน้ำตาลที่มีอยู่จริง ดังนั้นปริมาณน้ำตาลเริ่มต้นของน้ำหมักไวน์หม่อนควบคุมจึงสูงกว่าไวน์หม่อนเข้มข้นทั้ง 2 ชนิดจึงส่งผลให้ไวน์หม่อนควบคุมมีปริมาณเอทานอลสูงกว่าไวน์หม่อนที่หมักจากน้ำหม่อนเข้มข้น เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของไวน์หม่อนหลังบ่มพบว่าไวน์หม่อนทั้ง 3 ชนิดมีปริมาณหลังบ่มมีปริมาณเอทานอลก่อนบ่ม และหลังบ่มไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.25 ปริมาณเอทานอลของไวน์หม่อนที่หมักจากน้ำหม่อนเข้มข้นโดยการระเหยแบบสุญญากาศและการแช่เยือกแข็งแบบผลึกแขวนลอย ไวน์หม่อนควบคุมก่อนบ่มและหลังบ่ม

ชนิด	ethanol (%v/v)	
	ก่อนบ่ม	หลังบ่ม
ไวน์หม่อน VEV [NS]	10.42 [c] ±0.13	10.46 [c] ±0.23
ไวน์หม่อน SFC [NS]	11.03 [b] ±0.25	11.01 [b] ±0.16
ไวน์หม่อนควบคุม [NS]	11.27 [a] ±0.13	11.19 [a] ±0.25

NS ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

a, b,… ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในแถวตั้งเดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

จากการวิเคราะห์ปริมาณเมทานอล (ตารางที่ 4.26) พบว่าทั้งสภาวะก่อนบ่มและหลังไวน์หม่อนทั้ง 3 ชนิดมีปริมาณเมทานอลแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยไวน์หม่อนที่หมักจากน้ำหม่อนเข้มข้นโดยการแช่เยือกแข็งแบบผลึกแขวนลอยมีปริมาณเมทานอลสูงที่สุด รองลงมา คือ ไวน์หม่อนควบคุม ไวน์หม่อนที่หมักจากน้ำหม่อนเข้มข้นโดยการระเหยแบบสุญญากาศตามลำดับ เนื่องจากน้ำหม่อนเข้มข้นที่ผ่านการระเหยแบบสุญญากาศจะกำจัดน้ำออกโดยใช้ความร้อนซึ่งอาจทำให้เพคตินที่มีอยู่ในน้ำหม่อนเกิดการเจล (ชัยรัตน์ โมไนยพงศ์, 2546) ดังนั้นจึงทำให้เอนไซม์ pectinesterase ที่มีอยู่ในเนื้อผลไม้ และที่เติมลงไปทำปฏิกริยา hydrolysis ตรงหมู่ methoxy (OCH_3) ของเพคตินได้ยาก เนื่องจากตามทฤษฎี lock and key analog กล่าวว่าในการทำปฏิกริยาของเอนไซม์กับสับสเตรทนั้น เอนไซม์จะทำปฏิกริยาบริเวณเร่งที่สอดคล้องกับส่วนของสับสเตรทในด้านขนาด รูปร่าง และธรรมชาติทางเคมี ทำให้เกิดโครงสร้างเชิงซ้อนของเอนไซม์และสับสเตรท (ปราณี อ่านเปรื่อง, 2543) ดังนั้นเมื่อเพคตินในน้ำหม่อนเกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างเป็นเจล อาจทำให้บริเวณเร่งที่เอนไซม์จะเข้าทำปฏิกริยาเกิดการเปลี่ยนแปลง ทำให้สภาวะไม่เหมาะสมที่เอนไซม์ pectinesterase ที่มีอยู่ในเนื้อผลไม้และที่เติมลงไปจะเข้าทำปฏิกริยาจึงส่งผลให้ปริมาณเมทานอลของไวน์หม่อนที่หมักจากน้ำหม่อนเข้มข้นโดยการระเหยแบบสุญญากาศต่ำที่สุด นอกจากนี้ยังพบว่าหลังการบ่มไวน์หม่อนมีปริมาณเมทานอลลดลงอาจเนื่องมาจากเมทานอลระเหยระหว่างการบ่ม ไวน์แดงควรมีปริมาณเมทานอลอยู่ในช่วง 120-250 mg/L (Zoecklein et al., 1995) ซึ่งจากการทดลองพบว่าไวน์หม่อนทั้ง 3 ชนิดมีปริมาณเมทานอลไม่เกินปริมาณที่กำหนด

ตารางที่ 4.26 ปริมาณเมทานอลของไวน์หม่อนที่หมักจากน้ำหม่อนเข้มข้นโดยการระเหยแบบสุญญากาศและการแช่เยือกแข็งแบบผลึกแขวนลอย ไวน์หม่อนควบคุมก่อนบ่มและหลังบ่ม

ชนิด	methanol (mg/L)	
	ก่อนบ่ม	หลังบ่ม
ไวน์หม่อน VEV	$69.29^{Ac} \pm 8.68$	$38.36^{Bc} \pm 8.68$
ไวน์หม่อน SFC	$180.53^{Aa} \pm 0.00$	$130.64^{Ba} \pm 0.00$
ไวน์หม่อนควบคุม	$116.84^{Ab} \pm 9.12$	$98.08^{Bb} \pm 9.12$

A, B ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในแถวนอนเดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

a, b,... ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในแถวตั้งเดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

จากการวิเคราะห์ปริมาณกรดทั้งหมด (ตารางที่ 4.27) พบว่าทั้งสภาวะก่อนบ่มและหลังบ่มไวน์หม่อนทั้ง 3 ชนิดมีกรดทั้งหมดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยไวน์หม่อนควบคุมมีปริมาณกรดทั้งหมดต่ำที่สุด รองลงมาคือ ไวน์หม่อนที่หมักจากน้ำหม่อนเข้มข้นโดยการระเหยแบบสุญญากาศ และไวน์หม่อนที่หมักจากน้ำหม่อนเข้มข้นโดยการแช่เยือกแข็งแบบผลึกแขวนลอยตามลำดับ เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของปริมาณกรดทั้งหมดหลังบ่มพบว่าไวน์หม่อนทั้ง 3 ชนิดมีปริมาณกรดทั้งหมดลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.27 ปริมาณกรดทั้งหมดของไวน์หม่อนที่หมักจากน้ำหม่อนเข้มข้นโดยการระเหยแบบสุญญากาศและการแช่เยือกแข็งแบบผลึกแขวนลอย ไวน์หม่อนควบคุมก่อนบ่มและหลังบ่ม

ชนิด	total acid (g/100ml as citric acid)	
	ก่อนบ่ม	หลังบ่ม
ไวน์หม่อน VEV	$0.48^{Ab} \pm 0.03$	$0.45^{Bb} \pm 0.03$
ไวน์หม่อน SFC	$0.56^{Aa} \pm 0.00$	$0.50^{Ba} \pm 0.00$
ไวน์หม่อนควบคุม	$0.43^{Ac} \pm 0.02$	$0.40^{Bc} \pm 0.02$

A, B ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในแถวนอนเดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

a, b,... ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในแถวตั้งเดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากการวิเคราะห์ปริมาณกรดระเหย (ตารางที่ 4.28) พบว่าทั้งสภาวะก่อนบ่มและหลังบ่มไวน์หม่อนทั้ง 3 ชนิดมีกรดระเหยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยไวน์หม่อนควบคุมมีปริมาณกรดระเหยต่ำที่สุด รองลงมาคือ ไวน์หม่อนที่หมักจากน้ำหม่อนเข้มข้นโดยการระเหยแบบสุญญากาศ และไวน์หม่อนที่หมักจากน้ำหม่อนเข้มข้นโดยการแช่เยือกแข็งแบบผลึกแขวนลอย ตามลำดับ กรดระเหยที่พบในไวน์ส่วนใหญ่จะเป็นกรดอะซิติก ซึ่งโดยทั่วไปจะพบประมาณ 0.12-0.14 g/ 100 ml ซึ่งกรดอะซิติกจะผลิตโดยยีสต์ในระหว่างกระบวนการหมัก และ lactic acid bacteria ในระหว่างกระบวนการหมักแบบ malolactic (Drysdale and Fleet,1989) หากมีปริมาณกรดระเหยมากจะเป็นการบ่งชี้ถึงการเสื่อมเสียของไวน์ US Federal กำหนดว่าในไวน์แดงควรมีปริมาณกรดระเหยไม่เกิน 0.14 g/ 100 ml (Amerine, Berg and Cruess,1960) แต่จากการทดลองพบว่าปริมาณกรดระเหยของไวน์หม่อนที่หมักจากน้ำหม่อนเข้มทั้ง 2 ชนิดมีปริมาณกรดระเหยสูงกว่าที่ US Federal อาจเนื่องมาจากในการทดลองจะเติมโปแตสเซียมเมตาไบซัลไฟต์ในน้ำหมักที่ความเข้มข้นเท่ากัน แต่ไวน์หม่อนที่หมักจากน้ำหม่อนเข้มข้นต้องผ่านกระบวนการทำให้เข้มข้นจึงเสี่ยงต่อการปนเปื้อนของเชื้อจุลินทรีย์มากกว่าไวน์หม่อนควบคุมที่เพียงแค่เจือจางน้ำหม่อนด้วยน้ำ 2.5 เท่าประกอบกับในไวน์หม่อน 100% มีปริมาณสารอาหารต่าง ๆ มากกว่าทำให้จุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนเจริญเติบโตได้ดี ทำให้เกิดการสร้างกรดที่เกิดจาก Kreb's cycle ทำให้ไวน์หม่อนที่หมักจากน้ำหม่อนเข้มข้นทั้ง 2 ชนิดมีปริมาณกรดทั้งหมด และกรดระเหยสูงกว่าไวน์หม่อนควบคุม และสูงกว่าที่ US Federal กำหนดด้วย นอกจากนี้ยังพบว่าปริมาณกรดระเหยหลังบ่มของไวน์หม่อนทั้ง 3 ชนิดเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เนื่องจากการเกิด couple oxidation ของสารประกอบฟีนอลในไวน์ ทำให้เกิดสาร peroxide ซึ่งจะเปลี่ยนแอลกอฮอล์เป็นอะเซทาลดีไฮด์และอาจเปลี่ยนเป็นกรดอะซิติกต่อไปได้ (Zoecklein et al., 1995)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.28 ปริมาณกรดระเหยของไวน์หม่อนที่หมักจากน้ำหม่อนเข้มข้นโดยการระเหยแบบสุญญากาศและการแช่เยือกแข็งแบบผลึกแขวนลอย ไวน์หม่อนควบคุมก่อนบ่มและหลังบ่ม

ชนิด	volatile acid (g/100ml as acetic acid)	
	ก่อนบ่ม	หลังบ่ม
ไวน์หม่อน VEV	$0.22^{Bb} \pm 0.13$	$0.27^{Ab} \pm 0.03$
ไวน์หม่อน SFC	$0.46^{Ba} \pm 0.01$	$0.48^{Aa} \pm 0.02$
ไวน์หม่อนควบคุม	$0.02^{Bc} \pm 0.02$	$0.03^{Ac} \pm 0.01$

A, B ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในแถวนอนเดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

a, b,... ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในแถวตั้งเดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

จากการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอล และแอนโทไซยานิน (ตารางที่ 4.29-4.30) พบว่าไวน์หม่อนที่หมักจากน้ำหม่อนเข้มข้นโดยการระเหยแบบสุญญากาศมีปริมาณสารประกอบฟีนอล และแอนโทไซยานินสูงที่สุด เนื่องจากการระเหยแบบสุญญากาศเป็นการกำจัดน้ำอิสระออกโดยการทำให้น้ำระเหยกลายเป็นไอจึงไม่ทำให้เกิดการสูญเสียของแข็งที่ละลายได้ (Karel, 1975) ประกอบกับใช้ความร้อนต่ำจึงไม่ทำให้สารประกอบฟีนอล และแอนโทไซยานินสลายไปทำให้มีปริมาณองค์ประกอบทั้ง 2 ชนิดสูงที่สุด ส่วนการแช่เยือกแข็งแบบผลึกแขวนลอยถึงแม้จะมีความสามารถในการทำให้สารละลายเข้มข้นขึ้น แต่มีการสูญเสียองค์ประกอบที่ละลายได้ไปกับน้ำแข็งจำนวนมาก (Muller, 1967) ดังนั้นไวน์หม่อนที่หมักจากน้ำหม่อนเข้มข้นโดยการแช่เยือกแข็งแบบผลึกแขวนลอยจึงมีปริมาณสารประกอบฟีนอล และแอนโทไซยานินต่ำกว่าไวน์หม่อนที่หมักจากน้ำหม่อนเข้มข้นโดยการแช่เยือกแข็งแบบผลึกแขวนลอยอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของปริมาณสารประกอบฟีนอล และแอนโทไซยานินหลังบ่มพบว่าปริมาณขององค์ประกอบทั้ง 2 ชนิดนี้ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เนื่องจากสารประกอบฟีนอลทำให้เกิดการตกตะกอนของแทนนินบางชนิดโดยโปรตีน เกิด oxidation polymerization การดูดซับสารประกอบฟีนอลโดยเซลล์ยีสต์แล้วตกตะกอน หรือการเกิด degradation ของสารประกอบฟีนอลทำให้สารประกอบฟีนอลลดลงระหว่างการบ่ม ส่วนสาเหตุที่ปริมาณแอนโทไซ-ยานินลดลงในระหว่างการบ่มอาจเนื่องมาจากรงควัตถุ cyanidin 3-glucoside ซึ่งพบมากในผลหม่อนเป็นรงควัตถุที่ไม่คงตัว (Sim and Morris, 1984) ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงไปเป็นรูปที่คงตัวกว่าจากการเปลี่ยนแปลงทางเคมีโดยการเกิด copolymerization ของแอนโทไซยานินกับสารประกอบฟีนอลหรือแทนนินบางชนิด ทำให้มี

แอนโทไซยานินในรูป condensed form มากกว่าในรูปอิสระ ซึ่งเมื่อเกิด condensation ถึงระดับหนึ่งแล้วจะทำให้สารมีโมเลกุลใหญ่ขึ้นจนตกตะกอน (Yokotusuka and Singleleton, 1995)

ตารางที่ 4.29 ปริมาณสารประกอบฟีนอลของไวน์หม่อนที่หมักจากน้ำหม่อนเข้มข้นโดยการระเหยแบบสุญญากาศและการแช่เยือกแข็งแบบผลึกแขวนลอย ไวน์หม่อนควบคุมก่อนบ่มและหลังบ่ม

ชนิด	phenolic compounds (mg/L)	
	ก่อนบ่ม	หลังบ่ม
ไวน์หม่อน VEV	$5497.15^{Aa} \pm 36.20$	$4682.52^{Ba} \pm 26.16$
ไวน์หม่อน SFC	$3294.96^{Ab} \pm 16.08$	$2879.63^{Bb} \pm 20.13$
ไวน์หม่อนควบคุม	$628.30^{Ac} \pm 10.46$	$548.91^{Bc} \pm 18.26$

A, B ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในแถวนอนเดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

a, b,... ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในแถวตั้งเดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.30 ปริมาณแอนโทไซยานินของไวน์หม่อนที่หมักจากน้ำหม่อนเข้มข้นโดยการระเหยแบบสุญญากาศและการแช่เยือกแข็งแบบผลึกแขวนลอย ไวน์หม่อนควบคุมก่อนบ่มและหลังบ่ม

ชนิด	anthocyanin (mg/L)	
	ก่อนบ่ม	หลังบ่ม
ไวน์หม่อน VEV	$747.83^{Aa} \pm 12.13$	$598.18^{Ba} \pm 9.13$
ไวน์หม่อน SFC	$298.68^{Ab} \pm 13.16$	$250.68^{Bb} \pm 14.16$
ไวน์หม่อนควบคุม	$154.60^{Ac} \pm 4.26$	$134.59^{Bc} \pm 8.26$

A, B ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในแถวนอนเดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

a, b,... ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในแถวตั้งเดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

จากการวิเคราะห์ปริมาณอะเซทาลดีไฮด์ (ตารางที่ 4.31) พบว่าทั้งสภาวะก่อนบ่มและหลังบ่มไวน์หม่อนทั้ง 3 ชนิดมีปริมาณอะเซทาลดีไฮด์แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.5$) โดยไวน์หม่อนที่หมักจากน้ำหม่อนเข้มข้นโดยการระเหยแบบสุญญากาศมีปริมาณอะเซทาลดีไฮด์สูงที่สุด รองลงมาคือ ไวน์หม่อนที่หมักจากน้ำหม่อนเข้มข้นโดยการแช่เยือกแข็งแบบผลึก

แขวนลอย และไวน์หม่อนควบคุมตามลำดับ ไวน์หม่อนที่หมักจากน้ำหม่อนเข้มข้นโดยการระเหยแบบสุญญากาศมีปริมาณสารประกอบฟีนอลสูงซึ่งสารประกอบฟีนอลนี้อาจเกิด couple oxidation เป็นเปอร์ออกไซด์ทำให้เกิดการออกซิไดซ์แอลกอฮอล์ไปเป็นอะเซทาลดีไฮด์ได้ (Zoecklein et al., 1995) ซึ่งในน้ำหมักเข้มข้นจากการระเหยแบบสุญญากาศจะมีปริมาณสารประกอบฟีนอลอยู่สูงที่สุด เนื่องจากการระเหยแบบสุญญากาศเป็นการกำจัดน้ำที่ไม่ทำให้เกิดการสูญเสียตัวถูกละลาย ทำให้ความเข้มข้นของสารประกอบฟีนอลสูงมาก ส่วนการแช่เยือกแข็งแบบผลึกแขวนลอยแม้จะเป็นทำเข้มข้นโดยการกำจัดน้ำออกเช่นกัน แต่จะมีการสูญเสียตัวถูกละลายจากการเกาะติดไปกับผลึกน้ำแข็งทำให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลต่ำกว่า ดังนั้นไวน์หม่อนที่หมักจากน้ำหม่อนเข้มข้นโดยการระเหยแบบสุญญากาศจึงมีปริมาณอะเซทาลดีไฮด์สูงที่สุด เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของปริมาณอะเซทาลดีไฮด์หลังบ่มพบว่าไวน์หม่อนทั้ง 3 ชนิดมีปริมาณอะเซทาลดีไฮด์สูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เนื่องจากในระหว่างบ่มสารประกอบฟีนอลเกิด couple oxidation ได้เป็นอะเซทาลดีไฮด์ (Zoecklein et al,. 1995)

ตารางที่ 4.31 ปริมาณอะเซทาลดีไฮด์ของไวน์หม่อนที่หมักจากน้ำหม่อนเข้มข้นโดยการระเหยแบบสุญญากาศและการแช่เยือกแข็งแบบผลึกแขวนลอย ไวน์หม่อนควบคุม ก่อนบ่มและหลังบ่ม

ชนิด	acetaldehyde (mg/L)	
	ก่อนบ่ม	หลังบ่ม
ไวน์หม่อน VEV	$60.72^{Ba} \pm 8.56$	$242.15^{Aa} \pm 6.23$
ไวน์หม่อน SFC	$40.48^{Bb} \pm 7.12$	$204.53^{Ab} \pm 4.86$
ไวน์หม่อนควบคุม	$29.92^{Bc} \pm 4.56$	$181.42^{Ac} \pm 5.83$

A, B ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในแถวนอนเดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

a, b,… ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในแถวตั้งเดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

จากการวิเคราะห์ปริมาณเอสเทอร์ (ตารางที่ 4.32) พบว่าทั้งที่สภาวะก่อนบ่มและหลังบ่มไวน์หม่อนที่หมักจากน้ำหม่อนเข้มข้นจากการระเหยแบบสุญญากาศ และการแช่เยือกแข็งแบบผลึกแขวนลอยมีปริมาณเอสเทอร์ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) และมีปริมาณเอสเทอร์สูงกว่าไวน์หม่อนควบคุม ในกระบวนการหมักจะเกิดเอสเทอร์จาก secondary metabolism ของยีสต์ในระหว่างการสร้างแอลกอฮอล์ (Etievant, 1991) การหมักไวน์ทั้งเปลือกจะทำให้เอนไซม์ pectinase ทั้งที่มีอยู่ในผลไม้ และที่เติมลงไปในน้ำหมักสกัดองค์ประกอบต่าง ๆ

ออกมามากอาจทำให้เกิดการดูดซับออกซิเจนในน้ำหมักทำให้ได้ higher alcohol มาก ซึ่งเป็นสารตั้งต้นที่จะเปลี่ยนเป็นเอสเทอร์ต่อไป

ตารางที่ 4.32 ปริมาณเอสเทอร์ของไวน์หม่อนที่หมักจากน้ำหม่อนเข้มข้นโดยการระเหยแบบสุญญากาศและการแช่เยือกแข็งแบบผลึกแขวนลอย ไวน์หม่อนควบคุม ก่อนบ่มและหลังบ่ม

ชนิด	ester (mg/L as ethyl acetate)	
	ก่อนบ่ม	หลังบ่ม
ไวน์หม่อน VEV	$316.89^{Ba} \pm 5.96$	$728.31^{Aa} \pm 13.78$
ไวน์หม่อน SFC	$308.45^{Ba} \pm 7.46$	$704.83^{Aa} \pm 10.58$
ไวน์หม่อนควบคุม	$32.16^{Bb} \pm 2.16$	$105.53^{Ab} \pm 4.26$

A, B ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในแถวนอนเดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

a, b,... ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในแถวตั้งเดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

4.2.4 คุณภาพทางประสาทสัมผัสของไวน์หม่อนที่หมักจากน้ำหม่อนเข้มข้นโดยการระเหยแบบสุญญากาศ และการแช่เยือกแข็งแบบผลึกแขวนลอย และไวน์หม่อนควบคุม

นำไวน์หม่อนที่บ่มที่อุณหภูมิ $4 \pm 2^{\circ}$ C เป็นเวลา 3 เดือนมาวิเคราะห์คุณภาพทางประสาทสัมผัส ได้แก่ สี ความใส กลิ่นผลไม้ กลิ่นน้ำส้มสายชู รสเปรี้ยว รสหวาน รสฝาด และบอดี้ โดยใช้แบบทดสอบชนิด Qualitative Descriptive Analysis with scaling คะแนน 0-10 โดยให้คะแนน 0 หมายถึงน้อย และคะแนน 10 หมายถึงมาก ใช้ผู้ทดสอบที่ไม่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 30 คน ทำการทดลอง 2 ซ้ำ

จากการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัส (ตารางที่ 4.33) พบว่า ไวน์หม่อนที่หมักจากน้ำหม่อนเข้มข้นโดยการระเหยแบบสุญญากาศและการแช่เยือกแข็งแบบผลึกแขวนลอย และไวน์หม่อนควบคุมมีรสหวาน รสเปรี้ยว และกลิ่นน้ำส้มสายชูไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) เนื่องจากไวน์หม่อนทั้ง 3 ชนิดมีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) จึงทำให้ไวน์หม่อนมีรสหวานไม่แตกต่างกัน เมื่อพิจารณาปริมาณกรดทั้งหมดพบว่าไวน์หม่อนทั้ง 3 ชนิดมีปริมาณกรดทั้งหมดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยปริมาณกรดทั้งหมดของไวน์หม่อนที่หมักจากน้ำหม่อนเข้มข้นโดยการแช่เยือกแข็งแบบผลึกแขวนลอยสูง

ที่สุด คือ 0.56% รองลงมาคือ ไวน์หม่อนที่หมักจากน้ำหม่อนเข้มข้นโดยการระเหยแบบสุญญากาศ และไวน์หม่อนควบคุม คือ 0.48 และ0.43% ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่าแตกต่างกันเพียงเล็กน้อยทำให้ผู้ทดสอบไม่สามารถตรวจพบความแตกต่างด้านรสเปรี้ยวได้

ส่วนกลิ่นน้ำส้มสายชูเป็นกลิ่นที่จุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนระหว่างขั้นตอนการเตรียมน้ำหม่อนสร้างขึ้น ซึ่งในการทดสอบทางประสาทสัมผัสของไวน์หม่อนทั้ง 3 ชนิดไม่พบกลิ่นน้ำส้มสายชูถึงแม้ว่าไวน์หม่อนจะมีปริมาณกรดระเหยสูงกว่าค่าที่ US Federal กำหนด อาจเนื่องมากจากค่ากรดระเหยที่ได้จากการวิเคราะห์เป็นค่าที่ได้จากการไตเตรทซึ่งไม่สามารถบอกได้ว่ามีปริมาณกรดอะซิติกเท่าไหร แสดงให้เห็นว่าอาจมีกรดระเหยชนิดอื่นทำให้ผู้ทดสอบไม่สามารถตรวจสอบความแตกต่างของกลิ่นน้ำส้มสายชูได้

นอกจากนี้ยังพบว่าไวน์หม่อนทั้ง 3 ชนิดมีลักษณะปรากฏ ได้แก่ สี และความใส ลักษณะกลิ่นรส ได้แก่ กลิ่นผลไม้ รสฝาด และบอดี้แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยผู้ทดสอบสามารถตรวจพบความแตกต่างในด้านสีระหว่างไวน์หม่อนที่หมักจากน้ำหม่อนเข้มข้นทั้ง 2 ชนิด และไวน์หม่อนควบคุมได้ โดยพบว่าไวน์หม่อนที่หมักจากน้ำหม่อนเข้มข้นทั้ง 2 ชนิดมีสีแดงน้ำตาล ส่วนไวน์หม่อนที่หมักจากน้ำหม่อนเข้มข้นมีสีแดงเข้ม แต่ไม่สามารถตรวจพบความแตกต่างระหว่างไวน์หม่อนที่หมักจากน้ำหม่อนเข้มข้นโดยการระเหยแบบสุญญากาศ และการแช่เยือกแข็งแบบผลึกแขวนลอยได้ ซึ่งให้ผลเช่นเดียวกับผลสมบัติทางกายภาพ ซึ่งพบว่าค่าสี L* a* และ b* ของไวน์หม่อนควบคุมสูงกว่าไวน์หม่อนที่หมักจากน้ำหม่อนเข้มข้นทั้ง 2 ชนิดอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าไวน์หม่อนควบคุมมีสีแดงสว่างกว่าไวน์หม่อนที่หมักจากน้ำหม่อนเข้มข้นทั้ง 2 ชนิด ด้านความใสพบว่าไวน์หม่อนควบคุมใสกว่าไวน์หม่อนที่หมักจากน้ำหม่อนเข้มข้นทั้ง 2 ชนิดอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยให้ผลเช่นเดียวกับผลสมบัติทางกายภาพ ที่พบว่าไวน์หม่อนควบคุมให้ค่าร้อยละของ %transmittance สูงกว่าไวน์หม่อนที่หมักจากน้ำหม่อนเข้มข้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ด้านรสฝาดพบว่าไวน์หม่อนควบคุมมีรสฝาดน้อยกว่าไวน์หม่อนที่หมักจากน้ำหม่อนเข้มข้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เนื่องจากในไวน์มีสารแทนนินที่ให้รสฝาดอยู่ (Zoecklien et al., 1995) ซึ่งในไวน์หม่อนที่หมักจากน้ำหม่อนเข้มข้นทั้ง 2 ชนิดต้องผ่านขั้นตอนการแยกน้ำออกซึ่งทำให้ความเข้มข้นของแทนนินเพิ่มสูงขึ้นด้วย แต่ในไวน์หม่อนควบคุมมีการเจือจางน้ำหม่อนด้วยน้ำ 2.5 เท่าทำให้ความเข้มข้นแทนนินต่ำ ดังนั้นไวน์หม่อนที่หมักจากน้ำหม่อนเข้มข้นจึงมีรสฝาดมากกว่าไวน์หม่อนควบคุม

ด้านบอดี้พบว่าไวน์หม่อนควบคุม และไวน์หม่อนที่หมักจากน้ำหม่อนเข้มข้นมีบอดี้ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เนื่องจากไวน์หม่อนควบคุมและไวน์หม่อนที่หมักจาก

น้ำหม่อนเข้มข้นมีความเข้มข้นแอลกอฮอล์ใกล้เคียงกันซึ่งแอลกอฮอล์เป็นสารชนิดหนึ่งที่ให้บอดี้ ทำให้ผู้ทดสอบสามารถตรวจพบไม่สามารถตรวจพบความแตกต่างด้านบอดี้ของไวน์ได้

ตารางที่ 4.33 คะแนนด้านสี ความใสกลิ่นผลไม้ กลิ่นน้ำส้มสายชู รสเปรี้ยว รสหวาน รสฝาด และบอดี้ของไวน์หม่อนที่หมักจากน้ำหม่อนเข้มข้นโดยการระเหยแบบสุญญากาศ และการแช่เยือกแข็งแบบผลึกแขวนลอย ไวน์หม่อนควบคุมหลังบ่ม

ลักษณะทางประสาทสัมผัส	ไวน์หม่อน VEV	ไวน์หม่อน SFC	ไวน์หม่อนควบคุม
สี	8.13 ^{a} ±0.52	7.73 ^{a} ±0.67	3.50 ^{b} ±0.73
ความใส	4.02 ^{b} ±0.77	4.46 ^{b} ±0.82	7.5 ^{a} ±0.60
กลิ่น			
- กลิ่นผลไม้	4.87 ^{c} ±0.82	4.93 ^{b} ±0.68	6.00 ^{a} ±0.89
- กลิ่นน้ำส้มสายชู ^{ns}	1.32 ±0.61	1.23 ±0.73	1.26 ±0.59
รส			
- รสเปรี้ยว ^{ns}	5.91 ±0.83	5.16 ±0.87	6.21 ±0.66
- รสหวาน ^{ns}	2.53 ±0.66	2.97 ±0.78	2.64 ±0.79
- รสฝาด	6.33 ^{a} ±0.94	6.15 ^{a} ±0.82	4.83 ^{b} ±0.88
บอดี้ ^{ns}	4.55 ±0.58	4.15 ±0.78	4.22 ±0.67

a, b,… ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันในแถวนอนเดียวกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ns ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

1. ไวน์หม่อนที่ได้จากการหมักโดยไม่เติมน้ำตาล ซึ่งมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ 12°Brix จะมีปริมาณเอทานอล 5.51-5.55 %v/v โดยที่สภาวะการหมักทั้งเนื้อผลหม่อนตลอดระยะการหมักจะมีปริมาณกรดระเหย และเมทานอลสูงกว่าการหมักทั้งเนื้อผลหม่อนเพียง 3 วัน แล้วแยกกากออกมาก

2. สภาวะการแช่เยือกแข็งแบบผลึกเดี่ยวที่เหมาะสมที่ใช้ในทำเข้มข้นไวน์หม่อนหลังการหมักคือ ที่ Co = 5 %v/v คือ u = 1 cm/hr Nr = 1200 rpm ส่วนที่ Co = 7.5 และ 10 %v/v คือ u = 0.5 cm/hr Nr = 1200 rpm

3. การทำเข้มข้นโดยการแช่เยือกแข็งแบบผลึกเดี่ยวสามารถทำให้ไวน์หม่อนมีปริมาณเอทานอลเพิ่มสูงขึ้นจาก 5.5%v/v เป็น 11.2-11.4%v/v และทำให้องค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ ของแข็งที่ละลายได้ แอนโทไซยานิน สารประกอบฟีนอล น้ำตาลรีดิวซ์ กรดทั้งหมด กรดระเหย เมทานอล เอสเทอร์ และอะเซทาลดีไฮด์สูงขึ้นเช่นกัน โดยไวน์หม่อนที่ผ่านการทำเข้มข้นหลังการหมักจะมีปริมาณเมทานอลของสูงกว่าปริมาณเมทานอลที่สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกำหนด

4. ไวน์หม่อนที่หมักจากน้ำหม่อนเข้มข้นโดยการระเหยแบบสุญญากาศ และการแช่เยือกแข็งแบบผลึกแขวนลอยมีองค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ กรดทั้งหมด กรดระเหย เอสเทอร์ สารประกอบฟีนอล และแอนโทไซยานินสูงกว่าไวน์หม่อนควบคุมมาก และมีปริมาณเมทานอลไม่เกินค่าที่มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกำหนด นอกจากนี้ยังพบว่าไวน์หม่อนที่ผ่านการทำเข้มข้นหลังการหมักมีลักษณะทางประสาทสัมผัสในด้านสี ความใส กลิ่นผลไม้ รสฝาด แตกต่างจากไวน์หม่อนควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.5$) แต่มีกลิ่นน้ำส้มสายชู รสหวาน รสเปรี้ยว ไม่แตกต่างจากไวน์หม่อนควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.5$)

ข้อเสนอแนะ

1. ควรวิเคราะห์ชนิดของกรดระเหยที่พบในไวน์หม่อนเข้มข้นหลังการหมัก และไวน์หม่อนเข้มข้นก่อนการหมักว่าเป็นกรดระเหยชนิดใดและมีปริมาณเท่าใด เพื่อที่จะได้ทราบถึงปริมาณกรดอะซิติกที่แท้จริงในไวน์หม่อน

2. ไวน์หม่อนที่ได้จากการหมักน้ำหม่อนเข้มข้นโดยการระเหยแบบสุญญากาศ และการแช่เยือกแข็งแบบผลึกแขวนลอยมีสารประกอบฟีนอลสูงมากซึ่งทำให้ไวน์หม่อนมีสีแดงคล้ำ มีรสฝาด มีองค์ประกอบต่าง ๆ ที่ทำให้ไวน์ขุ่น จึงควรศึกษาความเป็นไปได้ในการกรองไวน์ และหาวิธีที่เหมาะสมเพื่อกำจัดสารประกอบฟีนอล องค์ประกอบต่าง ๆ ที่เป็นสาเหตุให้ไวน์ขุ่นก่อนนำไปบ่ม และเพื่อทำให้ไวน์หม่อนที่ได้มีสีอ่อนลง และมีความใสเพิ่มขึ้น

3. ในการเลือกผลหม่อนที่จะนำมาหมักไวน์หม่อนโดยไม่เติมน้ำตาล ควรเลือกผลหม่อนที่สุกงอม เนื่องจากการหมักด้วยวิธีนี้จะไม่มีการปรับน้ำตาล และกรด ดังนั้นหากนำผลหม่อนที่ไม่สุกจัดมาหมักจะทำให้ไวน์ที่หมักได้มีรสเปรี้ยว

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

เกศิณี ระมิงวงศ์. 2528. ไม้ผลเมืองร้อน. กรุงเทพฯ : ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ชัยรัตน์ โมไนยพงศ์. 2546. ไวน์ ไวน์ ไวน์. กรุงเทพฯ : โปรลาย มีเดีย จำกัด

ช่อขวัญ วงษ์สุวรรณ. 2547. ไวน์ผลไม้. กรุงเทพ ฯ : ชมรมผู้ผลิตไวน์.

โชคชัย วนภู, นันทกร บุญเกิด และลำไพร ดิษฐวิบูลย์. 2546. คนทำไวน์. นครราชศรีมา : สมบูรณ์พริ้นติ้ง.

ประดิษฐ์ ครุวัณณา. 2545. ไวน์ : ศาสตร์และศิลป์. กรุงเทพ ฯ : สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ปราณี อ่านเปรื่อง. 2543. เอ็นไซม์ทางอาหาร. กรุงเทพ ฯ : ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ปราโมทย์ ธรรมรัตน์. 2532. หลักการเตรียมน้ำผลไม้หมักไวน์ให้มีรสอร่อย. อาหาร. 18(4): 33-47.

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, สำนักงาน. 2545. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมไวน์. กรุงเทพ ฯ : สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม.

ลักขณา รุจนะไกรกานต์ และนิธิยา รัตนาปนนท์. 2533. หลักการวิเคราะห์อาหาร. เชียงใหม่ : ภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

วิโรจน์ แก้วเรือง, กัลยาณี ตันติธรรม, ประทีป มีศิลป์, ณรงค์ รักษ์รัตนากร, แสงเงิน ไกรสิงห์, สถาพร วงศ์เจริญวนกิจ, สมบูรณ์ โกมลนาค, ประยูร หาสาง และพัจนา ชูพานิจ. 2536. การศึกษาคุณค่าทางอาหารของผลหม่อนและการนำมาใช้ประโยชน์. รายงานผลการค้นคว้าวิจัยประจำปี 2535. ศูนย์วิจัยหม่อนไหมอุดรธานี.

วิไล รุ้งสาดทอง. 2545. เทคโนโลยีการแปรรูปอาหาร. กรุงเทพฯ : เท็ก แอนเจอร์นัล พับลิเคชั่น จำกัด.

ศิริพร แก้วแดง. 2540. ปัจจัยที่มีผลในการหมักและการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีระหว่างการบ่มไวน์หม่อน. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ส่งเสริมการเกษตร, กรม. 2532. การปลูกหม่อนเลี้ยงไหม. เอกสารทางวิชาการที่ 42. ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย จำกัด. กรุงเทพฯ.

สมบัติ ขอทวีพัฒนา. 2535. การพัฒนากรรมวิธีการผลิตผลิตภัณฑ์อาหารเหลว. กรุงเทพฯ : ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์ คณะอุตสาหกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สมสุข ตังเจริญ และอรวินท์ เลาหรัชตนันท์. 2536. คู่มือบาร์เทนเดอร์. ดอกหญ้า. กรุงเทพฯ.

สันติ วงศ์สุวรรณ. 2532. การทำไวน์. กรุงเทพ ฯ : เอดิสัน เพรส โปรดักส์.

สามารถ พรหมศิริ. 2543. การทำไวน์. กรุงเทพ ฯ. โครงการหนังสือชุมชน.

ภาษาอังกฤษ

Amerine, M. A., Berg, H.W. and Cruess,. M.V. 1960. The Technology of Wine Making. California : The AVI Publishing .

Amerine, M. A., and Singleton, V. L. 1972. Wine : An Introduction for Americans. 6th ed. Berkeley : University of California Press.

Amerine, M. A and Ough, C.S. 1974. Wine and Must Analysis. New York : John Wiley & Sons.

A.O.A.C. 1995. Official Methods of Analysis. 15th ed. Washington D.C.: Association of Official Chemist.

Auw, J.M., Blanco, V., Okeefe, S.F., and Sims, C.A. 1996. Effect of processing on the phenolics and color of Cabernet Sauvignon, Chambourcin and Noble Wines and Juices. Am. J. Enol. Vitic. 47 : 279-285.

Bakker, J., and Thimberlake, C.E. 1986. The mechanism of color changes in aging port wine. Am. J. Enol. Vitic. 37 : 288-292.

Bartowaky, E.J., and Henschke, B.A. 2004. The “buttery” attribute of wine diacetyl desirability, spoilage and beyond. Int. J. of Food Micro. 96 : 235-252..

Bomben., J.R., Bruin., S., Thijssen H.A.C., and Merson, R.L. 1973. Aroma recovery and retention in concentration and drying of foods. Adv. Food Res. 20 : 101-111

Bowden, R.P. and Isaacs, A.R. 1989. Concentration of pineapple juice by reverse osmosis. Food Australia. 3 : 850-851.

Boyles, M.J., and Wrolstad, R.E. 1993. Anthocyanin composition of red rasberry juice: influences of Cultivar, processing, and Environmental factors. J. Food sci. 58(5): 1135-1141.

Braddock, R. J., and Marcy, J. E. 1985. Freeze concentration pineapple juice. J. Food sci. 50(1): 1636-1639.

Braddock, R. J., and Marcy, J. E. 1987. Quality of freeze concentrated orange juice. J. Food sci. 52(1): 159-162.

Bravery, H.E. 1970. The Complete Book of Home Winemaking. New York : Macmillan Publishing Co., Inc.

Brian, J.B. 2000. Microbiology of Fermented Foods. 5nd ed. New York : Chapman&Hall.

Brow, M.R., and Ough, C.S. 1981. A comparison of activity and effects of two commercial pectic enzyme preparations on white grape musts and wines. Am. J. Enol. Vitic. 32 : 272-276.

Cabaroglu, T. 2005. Methanol contents of Turkish Varietal wines and effect of processing. Food Control. 16 : 177-181.

Chou, F., Wiley, R.C., and Schlimme, D.V. 1991. Reverse osmosis of flavour retention in apple juice concentration. J. Food Sci. 56 : 481-487.

Cochran, W. G. and Cox, G. M. 1992. Experimental Design. New York : John Wiley &Sons.

Cruess, W.V., Quacchia, R., and Kenneth, E. 1955. Pectic enzymes in wine making. Food Technol. 9 :601-607.

Deshpande, S. S., Bolin, H. R. and Salunkhe, D. K. 1982. Freeze concentration of fruit juices. Food Techol. 36: 68-82.

Doymaz, I. 2004. Pretreatment effect on sun drying of mulberry fruits (*Morus alba L.*) J. Food Sci. 65 : 205-209.

Drysdale, G.S., and Fleet, G.H. 1988. Acetic acid bacteria in winemaking : A review. Am. J. Enol. Vitic. 39 : 143-152.

Endo, A. 1965. Pectic enzymes of molds. XII. Clarification of apple juice by joint action of purified pectolytic enzymes. Agr. Biol. Chem. (Tokyo). 29 : 129-136.

Etievant, P.X. 1991. Wine. In H. Maarse(ed.), Volatile Compound in Food and Beverage, pp. 483-546. USA : Marcel Dekker.

Falque, E., and Fernandez, Z.E. 1996. Effect of difference skin contact times on Treixadura wine composition. Am. J. Enol. Vitic. 47 : 309-312.

Fellow, D. J. 2000. Food Processing Technology Principle and Practice. England : Woodhead publishing.

Fleet, H.G. 2003. Yeast interactions and wine flavour. Int. J. Food micro. 86: 11-22.

Flink, J., and Karel, M. 1970. Effects of process variables on retention of volatiles in freeze drying. J. Food sci. 35: 444-447.

Fuleki, T., and Franscis, F.J. 1968. Quantitative methods for anthocyanins. Extraction and deternination of total anthocyanin in cranberries. J. Food Sci. 33 : 72-75.

Gdmez, E., Martinez, A., and Laenclas, J. 1995. Prevention of oxidative browning during wine storage. Food Res. Int. 28: 213-217.

Geankoplis, C.J. 1993. Transport Process and Unit Operations. New Jersey. Prentice-Hall.

Gump, B.H. 1993. Beer and Wine Production. Washington, DC. Academic Press.

Harborn, J.B. 1967. Comparative Biochemistry of the Flavonoids. London : Academic Press.

Hartel, R. W., and Espinel, J. 1993. Freeze concentration skim milk. J. Food Eng. 20: 101-120.

Ikan, R. 1976. Natural Products. 2nd ed. London : Academic Press.

Jackson, R.S. 1994. Principle wine (practice) Science. California : Academic Press.

Jackson, R.S. 2000. Wine Science. 2nd ed. California : Academic Press.

Karel, M. 1975. Concentration of food. In Karel, M., Fennema, O. R., Lund, B.S.(eds.), Principle of Food Science II. Physical Principles of Food Presevation, pp.265-304. New York : Marcel Dekker.

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

Kirk, T., and Othmer, S. 1965. Pectic enzymes. Encyclopedia of Chemical Technology. 8 : 198-201.

Kunkee, R.E., and Amerine, M.A. 1970. The Yeast Vol III. New York : Academic Press.

Lao, C., Lopez, T.E., Buxaderas, S. and TorrBoronat, M.C. 1996. Grape pectic enzyme treatment effect on white must and wines composition. J Food Sci. 61 : 553-556.

Lee, C.Y. Acree, T.E. and Butts, R.M. 1975. Determination of methyl alcohol in wine by gas chromatography. Analytical Chem. 47 : 747-748.

Lee, C.Y., and Jaworski, A.W. 1988. Phenolics and browning potential of white grapes grown in New York. Am. J. Enol. Vitic. 39 : 337-340.

Markakis, P. 1982. Stability of anthocyanin in food. In C.F. Timberlake, and P. Bridle (ed.), Anthocyanin as Food Colors. pp. 128. New York. Academic Press.

Matsuura, T., Baxter, A. G., and Sourirajah, S. 1974. Studies on reverse osmosis for concentration of fruit juices. J Food Sci. 39: 704-711.

Mayen, M., Merida, J., and Medina, M. 1995. Flavonoid and non-flavonoid compounds during fermentation and post-fermentation steading of must from Cabernet Sauvignon and Tempranillo graps. Am. J. Enol. Vitic. 46 : 225-261.

Miyawaki, O., Liu L. and Nakamura, K. 1998. Effective partition constant of solute between ice and liquid phase in progressive freeze concentration. J. Food Sci. 63(5): 756-758.

Miyawaki, O., Liu, L., Shirai, Y., Sakashita, S. and Kagitani, K. 2004. Tubular ice system for scale-up of progressive freeze-concentration. J. Food Sci. 65 : 101-107.

Moutounet, M., and Carbonneau, A. 2004. Anthocyanin composition of Tannat grapes from the south region of Uruguay. Analytica Chimica Acta. 513 : 197-202.

Muller, J. G. 1967. Freeze concentration of food liquids : Theory practice and economic. Food Technol. 21(1): 49-61.

Nagel, C.W., and Wulf, L.W. 1979. Changes in the anthocyanins, flavonoids and hydroxycinnamic acid esters during fermentation and aging of Merlot and Cabernet sauvignon. Am. J. Enol. Vitic. 30 : 111-116.

Negurerla, A.I., Echavarri, J.F., and Perez, M.M. 1995. A study of correlation between enological colorimetric indexs and CIE colorimetric parameters in red wines. Am. J. Enol. Vitic. 46 : 353-356.

Nelson, N. 1994. Determination of glucose. J. Biol. Chem. 153 : 375-380.

Ough, C.S., and Amerine, M.A. 1958. Studies on aldehyde production under pressure, oxygen and agitation. Am. J. Enol. Vitic. 9 : 111-112.

Ramey, D.D., Bertrand, A., Ough, C.S., Singleton, V.L., and Sanders, E. 1986. Effect of skin contact, temperature on Chardonnay must and wine composition. Am. J. Enol. Vitic. 37 : 99-106.

Ramos, K.A., Delgado, J.L. Bautista, E., Morales, A.L., and Dugue, C. 2002. Change in volatiles with the application of progreesive freeze-concentration to Andes berry (*Rubus glaucus* Benth). J. Food Eng. 61: 342-349.

Ramteke, R. S., Singh, N. I., Rekha, M. N. and Eipeson, W. E. 1993. Method for concentration of fruit juices: A critical evaluation. J. Food Sci Technol. 30(6): 391-402.

Rankine, B. 1989. Making Good Wine. Australia : Pan Macmillan Publisher.

Reed, G., and Nagodawithana, T.W. 1991. Yeast Technology. New York : Wesport Connection: AVI.

Robichard, J.L., and Noble, A.C. 1990. Astringency and bitterness of selected phenolics in wine. J. Sci. Food Agric. 53 : 343-353.

Robe, K. 1983. Hyperfiltration methods for preconcentration juice save evaporation energy. Food Processing. 44: 100-101.

Shirai, Y., Sugimoto, T., Hashimoto, M., Nakanishi, K.. and Matsuno, R. 1987. Mechanism of ice growth in batch crystallizer with an external cooler for freeze concentration. J. Food sci. 51(9): 2359-2366.

Sim, C.A., and Bates, R.P. 1994. Effect of skin fermentation time on the phenols, anthocyanins, ellagic acid sediment, and sensory characteristic of red *Vitis rotundifolia* wine. Am. J. Enol. Vitic. 36 : 181-184.

Sim, C., and Morris, J. 1984. The Effect of pH, sulfurdioxide storage time and temperature on the color and stability of red Muscadine grape wine. Am. J. Enol. Vitic. 35 : 9-35.

Singleton, V. 1987. Oxegen with Phenols and Related Reaction in Must Wine and Model System : Observations and Practical Implication. Am. J. Enol. Vitic. 38 : 69-77.

Singleton, V., and Trousdale, E.K. 1992. Anthocyanin-tannin interactions explaining differnces as shown by HPLC. Am. J. Enol. Vitic. 34 : 27-34.

Thijssen, H. A. 1970. Concentration processes for liquid foods containing volatile flavors and aroma. J. Food Technol. 5: 211-229.

Turgut, C. 2004. Methanol contents of Turkish varietal wines and effect of processing. Food Control. 16: 177-181.

Van pelt, W. H. 1975. Freeze concentration of vegetable juices. Freeze drying and advance. Freeze Drying and Advance Food Technology, pp.549-564. New York: Academic Press.

Vine, R.P. 1991. Commercial Wine Making. Wesport Connecticut : AVI.

Vine, R.P., Harkness, E.M., Browning, T. and Wagner, C. 1997. Wine Making from Grape Growing to Marketplace. New York: Chapman&Hall.

Will, F.B.H., Lim, J.S.K., and Greenfield, H. 1987. Composition of Australia foods. XI. Temperature fruits. Food Australia. 39(11) : 520-521.

Yokotusuka, K. and Singleton, V. 1995. Interactive precipitation between phenolic fractions and peptides in wine-like model solutions: turbidity, particle size, and residual content as influenced by pH, temperature and peptide concentration. Am. J. Enol. Vitic. 46 : 329-337.

Zoecklein, B. W., Fugelsang, K. C., Gump, B. H., and Nury, F.S. 1995. Wine Analysis and Production. New York: Chapman&Hall.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

วิธีวิเคราะห์ทางเคมีและกายภาพ

ก.1 การวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์

ตามวิธี Nelson (1994)

<u>อุปกรณ์</u>

spectrophotometer

<u>สารเคมี</u>

1. H_2SO_4 (sulfuric acid)
2. potassium sodium tartrate
3. anhydrous Na_2HPO_4
4. NaOH (sodium hydroxide)
5. anhydrous Na_2SO_4
6. ammonium molybdate
7. $Na_2HASO_4 . 7H_2O$
8. $Cu_2SO_4 . 5H_2O$

<u>วิธีทดลอง</u>

1. เตรียมสารละลาย alkaline copper reagent : ละลาย anhydrous Na_2HPO_4 14 กรัม และ potassium sodium tartrate 20 กรัม ในน้ำกลั่น 350 มิลลิลิตร เติม NaOH เข้มข้น 1 N 50 มิลลิลิตร $Cu_2SO_4 . 5H_2O$ เข้มข้น 10 % ปริมาตร 20 มิลลิลิตร และ anhydrous Na_2SO_4 50 กรัม ผสมให้เข้ากัน แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนสารละลายมีปริมาตรเป็น 500 มิลลิลิตร ทิ้งไว้ 1- 2 วันในขวดสีชา

2. เตรียมสารละลาย asenomolydate reagent : ละลาย ammonium molybdate 25 กรัมในน้ำกลั่น 400 มิลลิลิตร เติม Conc. H_2SO_4 21 มิลลิลิตร และสารละลาย $Na_2HASO_4 . 7H_2O$ (ได้จาก $Na_2HASO_4 . 7H_2O$ 3 กรัม ในน้ำกลั่น 12.5 มิลลิลิตร) ผสมให้เข้ากัน จากนั้นทิ้งไว้ 1-2 วันในขวดสีชา

3. เตรียมสารละลายมาตรฐานกลูโคสเข้มข้น 10-100 μg/ml ปิเปตต์สารละลายแต่ละความเข้มข้น 1 มิลลิลิตร จากนั้นเติมสารละลาย alkaline copper reagent 1 มิลลิลิตร นำไปต้มในน้ำเดือดนาน 10 นาที นำมาทำให้เย็น แล้วเติม asenomolydate reagent ที่เจือจางด้วย

สารละลาย H_2SO_4 เข้มข้น 1.5 N ในอัตราส่วน 1 : 2 ปริมาตร 1 มิลลิลิตร และเติมน้ำกลั่น 3 มิลลิลิตร แล้วนำไปวัดค่า absorbance ที่ 520 นาโนเมตร

4. ใช้น้ำกลั่นเป็น blank โดยผ่านขั้นตอนเช่นเดียวกับข้อ 3

5. นำค่าที่ได้ไปเขียนกราฟ standard curve

6. การวิเคราะห์ตัวอย่างไวน์ต้องทำการเจือจางเป็น 1 : 100 แล้วทำการวิเคราะห์เช่นเดียวกับข้อ 3

ก.2 การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิค (ในรูปแกลลิค)

ตามวิธี Zoecklein และคณะ (1995)

<u>อุปกรณ์</u>

spectrophotometer

<u>สารเคมี</u>

1. Folin-Ciocalteu reagent
2. sodium carbonate
3. gallic acid

<u>วิธีทดลอง</u>

1. ละลาย gallic acid 0.5000 กรัมในน้ำกลั่น ปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร
2. ปิเปตต์สารละลาย gallic acid 0, 1, 2 และ 5 มิลลิลิตรใส่ใน volumetric flask ขนาด 100 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น
3. ปิเปตต์แต่ละความเข้มข้นมา 1 มิลลิลิตร ใส่ใน volumetric flask เติมน้ำกลั่น 60 มิลลิลิตร และเติม Folin-Ciocalteu reagent 5 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน
4. เติมสารละลาย sodium carbonate ความเข้มข้น 20% ปริมาตร 15 มิลลิลิตร และปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น
5. ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิ 21 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง วัดค่า absorbance ที่ 765 นาโนเมตร
6. นำค่าที่ได้ไปเขียนกราฟ standard curve
7. เจือจางไวน์ด้วยน้ำกลั่นในอัตราส่วน 1 : 10 แล้วปิเปตต์ตัวอย่างไวน์มา 1 มิลลิลิตร ทำการวิเคราะห์เช่นเดียวกับข้อ 3-5

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ก.3 การวิเคราะห์ปริมาณแอนโทไซยานิน

ตามวิธี Fuleki และ Francis (1968)

<u>อุปกรณ์</u>

spectrophotometer

<u>สารเคมี</u>

1. KCl
2. sodium acetate
3. HCl

<u>วิธีทดลอง</u>

1. เตรียม pH 1.0 buffer : ผสมสารละลาย KCl เข้มข้น 0.2 N ปริมาตร 125 มิลลิลิตร และสารละลาย HCl เข้มข้น 0.2 N ปริมาตร 385 มิลลิลิตร เข้าด้วยกัน ปรับ pH เป็น 1.0 แล้วปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตรด้วยน้ำกลั่น
2. เตรียม pH 4.5 buffer : ผสมสารละลาย sodium acetate เข้มข้น 1 M ปริมาตร 100 มิลลิลิตร และสารละลาย HCl เข้มข้น 1 N ปริมาตร 240 มิลลิลิตร ให้เข้ากัน ปรับ pH เป็น 4.5 แล้วปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตรด้วยน้ำกลั่น
3. เจือจางสารละลายตัวอย่างด้วย สารละลาย pH 1.0 buffer และสารละลาย pH 4.5 bufferในอัตราส่วน 1: 10
4. เก็บสารละลายในที่มืดนาน 2 ชั่วโมง
5. วัดค่า absorbance ที่ 515 และ 700 นาโนเมตร โดยใช้น้ำกลั่นเป็น blank
6. คำนวณปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดจากสูตร

$$\text{แอนโทไซยานิน} = \frac{(A_1-A_2) \times MW \times DF \times 1000}{e \times l}$$

แอนโทไซยานินผลหม่อนเป็นชนิด cyanidin 3-glucoside :

e	=	29600
MW	=	445
l (pathlength)	=	1.0
DF	=	dilution factor
A_1	=	ค่า absorbance ของตัวอย่างที่ 515 nm – 700 nm ใน pH 1.0 buffer
A_2	=	ค่า absorbance ของตัวอย่างที่ 515 nm – 700 nm ใน pH 4.5 buffer

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ก.4 การวิเคราะห์ปริมาณเอทานอล และเมทานอล โดยใช้ gas chomatography (GC)

ตามวิธี Lee, Acree และ Butts (1975)

<u>อุปกรณ์</u>

gas chomatography(GC)

<u>สารเคมี</u>

1. ethanol
2. methanol

<u>วิธีทดลอง</u>

1. เตรียมสารละลายเอทานอลมาตรฐานเข้มข้น 2.5, 5, 7.5, 10, 12.5 และ 15 %V
2. เตรียมสารละลายเมทานอลมาตรฐานเข้มข้น 50, 100, 150, 200, 250, 300, 350 และ 400 ppm
3. นำไปฉีดเข้าเครื่อง gas chomatography ปริมาตร 1 μl โดยใช้สภาวะในการวิเคราะห์ดังนี้
   - column : Prorapak Q
   - detector : Flame ionize detector (FID)
   - carrier gas : hydrogen (flow rate 40 ml/min)
   - column temperature : 150 °C
   - injection temperature : 200 °C
   - detection temperature : 150 °C

<u>หมายเหตุ</u> : ส่งตัวอย่างวิเคราะห์ที่ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ก.5 การวิเคราะห์ปริมาณกรดทั้งหมด (ในรูปกรดซิตริก)

ตามวิธี ลักขณา รุจนะไกรกานต์ และนิธิยา รัตนาปนนท์ (2533)

<u>สารเคมี</u>

1. NaOH
2. phenolpthalein indicator

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิธีทดลอง

1. ปิเปตต์ไวน์จำนวน 1 มิลลิลิตร ใส่ลงในฟลาสก์ขนาด 125 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่น 15 มิลลิลิตร

2. หยด phenolpthalein indicator ประมาณ 2-3 หยด แล้วไตเตรทกับสารละลาย 0.1 N NaOH จนสารละลายเปลี่ยนเป็นสีชมพู คำนวณหาปริมาณกรดทั้งหมด (ทำ blank เหมือนตัวอย่าง)

$$\text{ปริมาณกรดทั้งหมด (tritrable acidity)} = \frac{(V_1-V_b)\ X\ (N\ )\ x\ 64\ X\ 100}{1000\ X\ V_2}$$

V_1 = ปริมาตรของ NaOH ที่ใช้ไตเตรทตัวอย่าง (มิลลิลิตร)

V_b = ปริมาตรของ NaOH ที่ใช้ไตเตรท blank (มิลลิลิตร)

V_2 = ปริมาตรของตัวอย่างไวน์ (มิลลิลิตร)

N = normality ของ NaOH

ก.6 การวิเคราะห์ปริมาณกรดระเหย (ในรูปกรดอะซิติก)

ตามวิธี ลักขณา รุจนะไกรกานต์ และนิธิยา รัตนาปนนท์ (2533)

สารเคมี

1. NaOH
2. phenolpthalein indicator

วิธีทดลอง

1. ต้มน้ำกลั่นให้เดือดนาน 10 นาที เพื่อไล่ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์
2. เตรียม flask ขนาด 250 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร หยดฟีนอล์ฟทาลีน 2-3 หยด เพื่อ neutralize สารละลาย นำไปไตเตรทกับสารละลาย NaOH เข้มข้น 0.01 N
3. ปิเปตต์ตัวอย่างไวน์ 10 มิลลิลิตรลงในเครื่องกลั่น 50 มิลลิลิตร เติมสารละลาย H_2O_2ความเข้มข้น 0.3% ปริมาตร 1 มิลลิลิตร ล้างด้วยน้ำกลั่นเล็กน้อย
4. กลั่นอย่างรวดเร็ว โดยปลายท่อของเครื่องกลั่นจุ่มอยู่ใต้ระดับของเหลว นำสารละลายที่กลั่นได้ (distillate) ไตเตรทกับสารละลาย NaOH เข้มข้น 0.01 N จนได้สีชมพูอ่อน
5. คำนวณกรดระเหย (ในรูปกรดอะซิติก)

$$\text{ปริมาณกรดอะซิติก (mg/100ml)} = \frac{(V_1\text{-}V_2)\ X\ (N\ NaOH)\ x\ 0.06\ X\ 100}{\text{ml. wine}}$$

V_1 = ปริมาตรของ 0.01 N NaOH ที่ใช้ไตเตรทตัวอย่าง (มิลลิลิตร)

V_2 = ปริมาตรของ 0.01 N NaOH ที่ใช้ไตเตรท blank (มิลลิลิตร)

N = normality ของ NaOH

ml = ปริมาณของไวน์ที่ใช้ในการวิเคราะห์

ก.7 การวิเคราะห์ปริมาณอะเซทาลดีไฮด์

ตามวิธี A.O.A.C. (1995) และ Zoecklein และคณะ (1995)

<u>อุปกรณ์</u>

ชุดกลั่น

<u>สารเคมี</u>

1. boric acid
2. starch indicator
3. iodine
4. potassium metabisulfite ($K_2S_2O_5$)
5. trisodium phosphate (Na_3PO_4 . $12H_2O$)
6. disodium ethylenediamine tetraacetic acid (EDTA)
7. HCl
8. NaOH

<u>วิธีทดลอง</u>

1. เตรียมสารละลาย sodium borate : ละลาย boric acid 100 กรัม และ sodium hydroxide 170 กรัม ในน้ำกลั่น แล้วปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตร

2. เตรียมสารละลาย A : ละลาย potassium metabisulfite 15 กรัม ใน conc. HCl 70 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตร ด้วยน้ำกลั่น

3. เตรียมสารละลาย B : ละลาย trisodium phosphate 200 กรัม และ disodium ethylenediamine tetraacetic acid 4 กรัม ในน้ำกลั่น แล้วปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตร

4. เตรียม solution C : เจือจาง conc. HCl 250 มิลลิลิตร เป็น 1 ลิตรด้วยน้ำกลั่น

5. เตรียม solution D : ละลาย boric acid 100 กรัม และ NaOH 170 กรัม ในน้ำกลั่น แล้วปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตร

6. นำตัวอย่างไวน์ 50 มิลลิลิตร ใส่ flask ขนาด 500 มิลลิลิตร และสารละลาย sodium borate 50 มิลลิลิตร และ antibumping bead ต่อ flask เข้ากับชุดกลั่น

7. เติมน้ำเดือด 300 มิลลิลิตร และสารละลาย A และ B อย่างละ 10 มิลลิลิตร ใน flask ขนาด 250 มิลลิลิตร เพื่อรองรับสารละลายที่กลั่นได้ โดยจับปลายท่อชุดกลั่นให้อยู่ใต้สารละลาย

8. กลั่นให้ได้สารละลาย 50 มิลลิลิตร ปิดจุกผสมให้เข้ากัน แล้วตั้งทิ้งไว้ 15 นาที

9. เติมสารละลาย C ปริมาตร 10 มิลลิลิตร และ starch solution เข้มข้น 0.2% ปริมาตร 10 มิลลิลิตร เขย่าให้สารละลายเข้ากัน และไตเตรททันทีกับสารละลาย iodine เข้มข้น 0.1 N เพื่อทำลาย bisulfite ที่มากเกินพอ จนได้จุดยุติสีฟ้าใส

10. เติมสารละลาย D ปริมาตร 10 มิลลิลิตร และไตเตรท bisulfite ที่ปลดปล่อยด้วยสารละลาย iodine เข้มข้น 0.02 N จนได้จุดยุติสีฟ้าใส

11. คำนวณปริมาณอะเซทาลดีไฮด์

$$\text{ปริมาณอะเซทาลดีไฮด์} = \frac{V_1 \times N \times 22 \times 1000}{V_2}$$

V_1 = ปริมาตรของ iodine เข้มข้น 0.02 N ที่ใช้ไตเตรทครั้งที่ 2 (มิลลิลิตร)

V_2 = ปริมาตรของตัวอย่างที่ใช้ (มิลลิลิตร)

N = normality ของ iodine ที่ใช้ไตเตรทครั้งที่ 2 (มิลลิลิตร)

ก.8 การวิเคราะห์ปริมาณเอสเทอร์ (ในรูปเอทิลอะซีเตท)

ตามวิธีของ A.O.A.C (1995)

<u>อุปกรณ์</u>

ชุดกลั่น reflux

<u>สารเคมี</u>

1. NaOH
2. H_2SO_4

<u>วิธีทดลอง</u>

1. นำไวน์ปริมาตร 200 มิลลิลิตรใส่ flask แล้วเติมน้ำกลั่น 35 มิลลิลิตร และ antibumping bead 3-5 เม็ด กลั่นช้า ๆ จนได้สารละลายที่กลั่นได้ 200 มิลลิลิตร

2. นำสารละลายที่กลั่นได้ใส่ flask เติมสารละลาย NaOH ให้มากเกินพอ (ประมาณ 35-40 มิลลิลิตร) กลั่น reflux นาน 2 ชั่วโมง ทิ้งไว้ให้เย็น

3. ไตเตรท NaOH ที่มากเกินพอด้วยสารละลาย H_2SO_4 เข้มข้น 0.1 N

4. คำนวณปริมาณเอสเทอร์ในรูปของเอทิลอะซีเตท

เอทิลอะซีเตท (กรัม/100 ลิตร) = $(V_{NaOH} \times N_{NaOH}) - (V_{HCl} \times N_{HCl}) \times 88 \times 10$

V_{NaOH} = ปริมาตรของ NaOH ที่ใช้

N_{NaOH} = ความเข้มข้นที่แน่นอนของ NaOH

V_{HCl} = ปริมาตรของ HCl ที่ใช้

N_{HCl} = ความเข้มข้นที่แน่นอนของ HCl

น้ำหนักโมเลกุลของเอสเทอร์คำนวณเป็นเอทิลอะซีเตท เท่ากับ 88

ก.9 การวิเคราะห์ความใส

ตามวิธีของ Endo (1965)

<u>อุปกรณ์</u>

spectrophotometer

<u>วิธีทดลอง</u>

1. นำตัวอย่างไวน์ไป centrifuge ที่ 3500 รอบต่อนาที (ประมาณ 9600 X g) นาน 25 นาที

2. นำ supernatant ของไวน์หลัง centrifuge ไปวัด % transmittance ที่ 660 นาโนเมตร โดยใช้น้ำกลั่นเป็น blank

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข

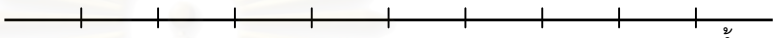
แบบทดสอบทางประสาทสัมผัสของไวน์หม่อน

ชื่อผู้ทดสอบ ..... **วันที่ทดสอบ** .....

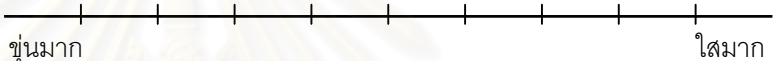
คำแนะนำ กรุณาทดสอบตัวอย่างที่เสนอจากซ้ายไปขวา แล้วขีดเส้นตั้งฉากกับเส้นของแต่ละปัจจัย ตรงบริเวณที่ตรงกับความรู้สึกของท่านมากที่สุด พร้อมระบุรหัสตัวอย่างเหนือเส้น

รหัสตัวอย่าง ....

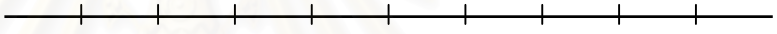
1. สี แดงอ่อน แดงน้ำตาล



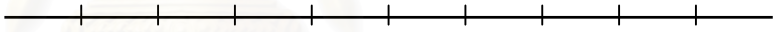
2. ความใส ขุ่นมาก ใสมาก



3. กลิ่นผลไม้ อ่อน แรง

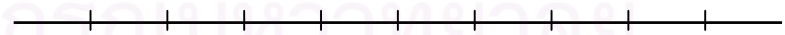


4. กลิ่นน้ำส้มสายชู ไม่มี มาก

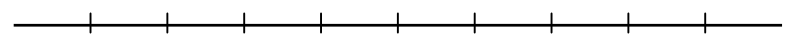


5. รสเปรี้ยว น้อย มาก

6. รสหวาน น้อย มาก



7. รสเฝื่อน น้อย มาก



8. บอดี้ น้อย มาก

ข้อเสนอแนะ

.....

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวพงศ์กมล พงศ์สยาม เกิดวันที่ 13 พฤษภาคม 2523 ที่จังหวัดกรุงเทพ สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาตร์ เมื่อในปี พ.ศ. 2543 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ที่จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อ พ.ศ. 2545

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย