บทที่ 4
ผลการวิจัย

4.1 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเปลือกทุเรียน

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีตามวิธีของ AOAC (2012) ได้แก่ ปริมาณความชื้น โปรตีน ไขมัน เถ้า ไฟเบอร์ และคาร์โบไฮเดรตโดยรวม พบปริมาณความชื้น เถ้า โปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต และ ไฟเบอร์ เท่ากับ 8.31, 3.36, 5.01, 5.31, 77.00 และ 1.01 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 องค์ประกอบทางเคมีของเปลือกทุเรียน

องค์ประกอบทางเคมี (เปอร์เซ็นต์)					
ความชื้น	เถ้า	โปรตีน	ไขมัน	คาร์โบไฮเดรต	ไฟเบอร์
8.31	3.36	5.01	5.31	77.00	1.01

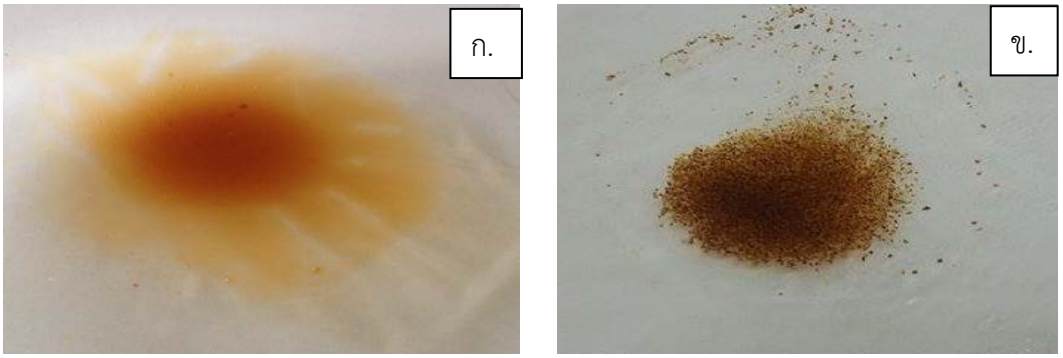
4.2. ผลการสกัดโพลีแซคคาไรด์จากเปลือกทุเรียน

จากการสกัดโพลีแซคคาไรด์เปลือกทุเรียน ปริมาณ 100 กรัม จะได้โพลีแซคคาไรด์ 3 กรัม โดยลักษณะของโพลีแซคคาไรด์ที่ได้นั้นเป็นของแข็งสีน้ำตาล ดังภาพที่ 4.1 ละลายในน้ำได้เป็นเจล แต่ไม่ละลายในเอทานอล แสดงดังตารางที่ 4.2 และภาพที่ 4.2

ภาพที่ 4.1 ลักษณะของโพลีแซคคาไรด์ที่สกัดได้จากเปลือกทุเรียน

ตารางที่ 4.2 ลักษณะของโพลีแซคคาไรด์ที่สกัดได้จากเปลือกทุเรียน

คุณสมบัติของโพลีแซคคาไรด์เปลือกทุเรียน	
ลักษณะ	เป็นของแข็ง สีน้ำตาล ละลายในน้ำได้เป็นเจล ไม่ละลายในเอทานอล



ภาพที่ 4.2 ลักษณะของโพลีแซคคาไรด์ที่ละลายในตัวทำละลาย ก) น้ำ และ ข) เอทานอล

4.3 ผลการผลิตเซลล์ตรึงยีสต์ *S. cerevisiae* BCC 6127 โดยใช้โพลีแซคคาไรด์เปลือกทุเรียนเป็นวัสดุตรึง

4.3.1 ลักษณะของเซลล์ตรึงที่ได้

เมื่อหยดโพลีแซคคาไรด์ลงในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ ไม่เกิดเป็นเม็ดเจล ดังนั้นจึงไม่สามารถนำโพลีแซคคาไรด์มาใช้เป็นวัสดุตรึงรูปได้ จากการศึกษาข้อมูลต่างๆ ผู้วิจัยจึงสนใจที่จะนำโซเดียมอัลจิเนตมาผลิตเซลล์ตรึง โดยใช้ผสมกับโพลีแซคคาไรด์ เพื่อลดต้นทุน โดยทำการหาสัดส่วนที่เหมาะสมสำหรับการจับตัวให้เป็นเม็ดเจล โดยใช้โพลีแซคคาไรด์ความเข้มข้นต่างๆ ผสมกับโซเดียมอัลจิเนตในอัตราส่วนดังนี้ 100 : 0, 90 : 10, 80 : 20, 70 : 30 และ 60 : 40 พบว่าอัตราส่วนดังกล่าวไม่สามารถนำมาผลิตเซลล์ตรึงได้เนื่องจากได้เป็นของเหลวไม่จับตัวเป็นเม็ด ที่อัตราส่วน 50 : 50 จับตัวเป็นเม็ดเจลแต่ยังไม่ค่อยแข็งแรง และที่อัตราส่วน 40 : 60 ได้เป็นเม็ดเจลที่แข็งแรง แสดงดังตารางที่ 4.3 ผู้วิจัยจึงเลือกใช้อัตราส่วน 40 : 60 ไปใช้ในการหมักไวน์ต่อไป

ตารางที่ 4.3 ผลการเปรียบเทียบอัตราส่วนของโพลีแซคคาไรด์ : โซเดียมอัลจิเนต

โพลีแซคคาไรด์ (เปอร์เซ็นต์)	โซเดียมอัลจิเนต (เปอร์เซ็นต์)	ลักษณะของเซลล์ตรึงที่ได้
100	0	ของเหลว
90	10	ของเหลว
80	20	ของเหลว
70	30	ของเหลว
60	40	ของเหลว
50	50	จับตัวเป็นเม็ด แต่ไม่แข็งแรง
40	60	จับตัวเป็นเม็ด แข็งแรง

4.3 ผลการผลิตเซลล์ตรึงยีสต์ *S. cerevisiae* BCC 6127 โดยใช้อัตราส่วนของโพลีแซคคาไรด์ : โซเดียมอัลจิเนต เท่ากับ 40 : 60 เป็นวัสดุตรึง

4.3.1 ลักษณะของเซลล์ตรึงที่ได้

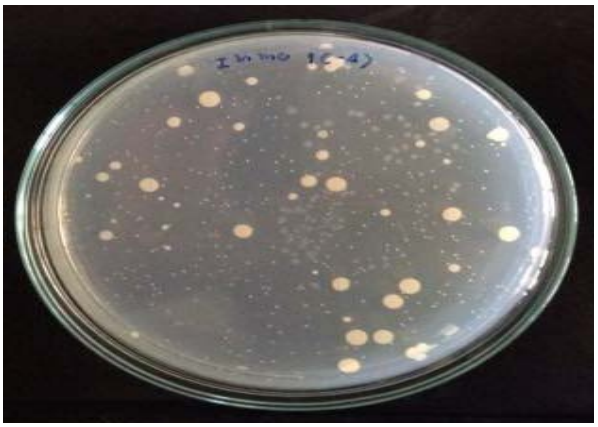
เซลล์ตรึงที่ได้จากการใช้อัตราส่วนของโพลีแซคคาไรด์ : โซเดียมอัลจิเนต เท่ากับ 40 : 60 เป็นวัสดุตรึง มีลักษณะเป็นเม็ดกลมใส เส้นผ่าศูนย์กลาง ประมาณ 5 มิลลิเมตร ดังแสดงในภาพที่ 4.3

ภาพที่ 4.3 เม็ดเจลที่ใช้อัตราส่วนของโพลีแซคคาไรด์ : โซเดียมอัลจิเนต เท่ากับ 40 : 60 เป็นวัสดุตรึง

4.3.2 ปริมาณเซลล์ภายในเม็ดเจล

สำหรับเซลล์ตรึงที่ใช้อัตราส่วนของโพลีแซคคาไรด์ : โซเดียมอัลจิเนต เท่ากับ 40 : 60 เป็นวัสดุตรึงนั้นนำมานับเซลล์โดยการทำ Total plate count (TPC) โดยนำเม็ดเจลมาล้างด้วยน้ำเกลือความเข้มข้น 0.85 เปอร์เซ็นต์ จากนั้นนำมาละลายในสารละลายโซเดียมซิเตรตความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ รอจนกระทั่งเจลละลายหมดแล้วจึงนำมาเจือจางที่ค่าการเจือจางที่ 10^{-1}, 10^{-2}, 10^{-3}, 10^{-4}

และ 10^{-5} จากนั้นทำการ pour plate ในอาหารเลี้ยงเชื้อ YM บ่มที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 วัน นับจำนวนโคโลนีและนำมาคำนวนปริมาณเซลล์ ลักษณะของโคโลนีที่พบที่ระดับความเจือจางต่าง ๆ แสดงดังภาพที่ 4.4 ผลการนับจำนวนโคโลนีและปริมาณโคโลนีที่คำนวณได้ มีปริมาณเซลล์เท่ากับ 10.2×10^{6} CFU/ml



ภาพที่ 4.4 แสดงปริมาณโคโลนีของเซลล์ตรึงก่อนการหมักที่อัตราการเจืองจาง 10^{-4}

4.4 ผลการเตรียมเซลล์ยีสต์อิสระ *S. cerevisiae* BCC 6127

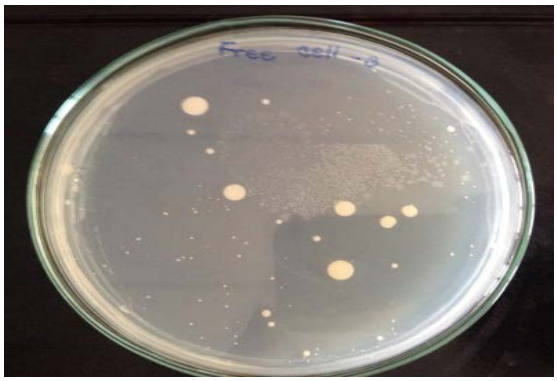
4.4.1 ผลการเตรียมกล้าเชื้อเซลล์อิสระ

กล้าเชื้อยีสต์ที่ได้จากเชื้อ *S. cerevisiae* BCC 6127 นั้น หลังจากเขี่ยเชื้อจำนวน 2 ลูปใส่ในน้ำกระเจี๊ยบที่เตรียมไว้สำหรับทำกล้าเชื้อแล้วนำไปบ่มที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เขย่าที่ความเร็ว 150 รอบ/นาที เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จะเกิดฟองขึ้นเล็กน้อยและมีกลิ่นของแอลกอฮอล์อ่อนๆ แสดงดังภาพที่ 4.5 จากนั้นนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสง (OD) ที่ 720 นาโนเมตร ให้มีค่าเท่ากับ 0.1 (1-5 x 10^{6} เซลล์ต่อมิลลิลิตร)

ภาพที่ 4.5 แสดงกล้าเชื้อเซลล์อิสระหลังจากบ่มที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เขย่าที่ความเร็ว 150 รอบ/นาที เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

4.4.2 ปริมาณเซลล์อิสระ

จากการนำกล้าเชื้อเซลล์อิสระไปวัดค่าการดูดกลืนแสง (OD) ที่ 720 นาโนเมตร ให้มีค่าเท่ากับ 0.1 (1-5 x 10^6 เซลล์ต่อมิลลิลิตร) แล้วนำมานับปริมาณเซลล์โดยการทำ Total plate count (TPC) ที่ค่าการเจือจางที่ 10^{-1}, 10^{-2}, 10^{-3}, 10^{-4} และ 10^{-5} ตามลำดับ จากนั้นทำการ pour plate ในอาหารเลี้ยงเชื้อ YM บ่มที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 วัน นับจำนวนโคโลนีและนำมาคำนวณปริมาณเซลล์ ลักษณะของโคโลนีที่พบที่ระดับความเจือจางต่าง ๆ แสดงดังภาพที่ 4.6 ผลการนับจำนวนโคโลนีและปริมาณโคโลนีที่คำนวณได้ มีปริมาณเซลล์เท่ากับ 12.3 x 10^6 CFU/ml



ภาพที่ 4.6 แสดงปริมาณโคโลนีของเซลล์อิสระที่อัตราการเจืองจาง 10^{-3}

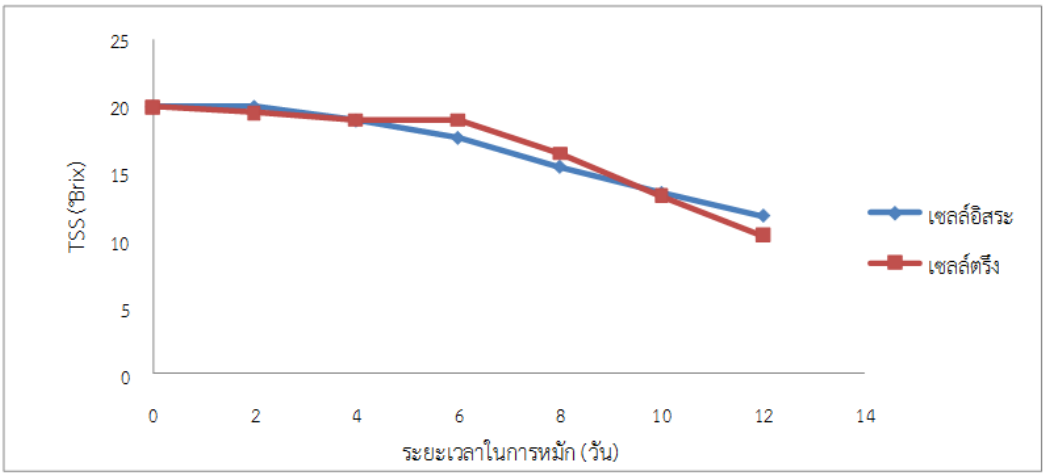
4.5 ผลของการหมักไวน์กระเจี๊ยบโดยใช้เชื้อยีสต์ *S. cerevisiae* BCC 6127 ที่หมักโดยใช้โพลีแซคคาไรด์จากเปลือกทุเรียนผสมโซเดียมอัลจิเนตเป็นวัสดุตรึง และหมักโดยใช้เซลล์ยีสต์อิสระ

4.5.1 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด

ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดของไวน์กระเจี๊ยบที่หมักโดยใช้โพลีแซคคาไรด์จากเปลือกทุเรียนและโซเดียมอัลจิเนตเป็นวัสดุตรึง และไวน์กระเจี๊ยบที่หมักโดยใช้เซลล์อิสระ มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดเริ่มต้นที่ 20.00 องศาบริกซ์ หลังจากการหมัก พบว่า ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดมีปริมาณลดลงเรื่อยๆ ตามระยะเวลาของการหมัก โดยปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดของไวน์ที่ใช้โพลีแซคคาไรด์จากเปลือกทุเรียนและโซเดียมอัลจิเนตเป็นวัสดุตรึงเป็นวัสดุตรึง มีการลดลงมากกว่าไวน์ที่หมักด้วยเซลล์อิสระ โดยในวันที่ 12 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดในไวน์ที่หมักโดยใช้เซลล์ตรึง และเซลล์อิสระลดลงเหลือเท่ากับ 10.33 และ 11.83 องศา-บริกซ์ ตามลำดับ แสดงตารางที่ 4.4 แสดงดังภาพที่ 4.7

ตารางที่ 4.4 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดของการหมักไวน์กระเจี๊ยบโดยใช้เซลล์ตรึงที่มีโพลีแซคคาไรด์และโซเดียมอัลจิเนตเป็นวัสดุตรึง และเซลล์อิสระ

ระยะเวลาของการหมัก	ของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (องศาบริกซ์)	
	เซลล์ตรึง	เซลล์อิสระ
0	20.00^{a}	20.00^{a}
2	19.50^{ab}	20.00^{a}
4	19.00^{b}	18.97^{b}
6	19.00^{b}	17.67^{c}
8	16.50^{d}	15.50^{e}
10	13.33^{f}	13.53^{f}
12	10.33^{h}	11.83^{g}



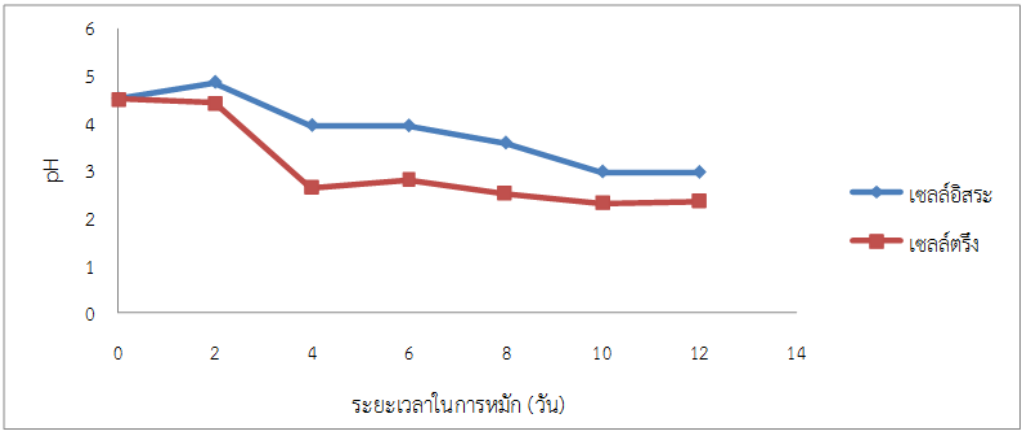
ภาพที่ 4.7 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดของการหมักไวน์กระเจี๊ยบที่ใช้เซลล์ตรึงและเซลล์อิสระ

4.5.2 พีเอช

ค่าพีเอชของไวน์กระเจี๊ยบที่หมักโดยใช้เซลล์ตรึง และไวน์กระเจี๊ยบที่หมักโดยใช้เซลล์อิสระมีค่าเริ่มต้นที่ 4.5 โดยหลังจากการหมักระยะเวลา 12 วัน ค่าพีเอชจะค่อยๆ ลดลงจนกระทั่งถึงวันที่ 10 ของการหมัก ค่าพีเอชในไวน์ที่หมักโดยใช้เซลล์ตรึงและเซลล์อิสระ ในวันที่ 10 ของการหมักเท่ากับ 2.29 และ 2.96 ตามลำดับ และในวันที่ 12 ของการหมักค่าพีเอชจะเพิ่มขึ้นเล็กน้อย เท่ากับ 2.35 และ 2.95 ตามลำดับ ซึ่งไม่แตกต่างจากวันที่ 10 ของการหมักอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) จากผลการศึกษาค่าพีเอชของไวน์ที่ใช้เซลล์ตรึงในการหมักมีแนวโน้มลดลงมากกว่าการใช้เซลล์อิสระในการหมัก แสดงดังตารางที่ 4.5 และภาพที่ 4.8

ตารางที่ 4.5 ค่าพีเอช ของการหมักไวน์กระเจี๊ยบโดยใช้เซลล์ตรึงที่และเซลล์อิสระ

ระยะเวลาของการหมัก	พีเอช	
	เซลล์ตรึงที่ใช้โซเดียมอัลจิเนตเป็นวัสดุตรึง	เซลล์อิสระ
0	4.50^{b}	4.50^{b}
2	4.40^{c}	4.85^{a}
4	2.63^{e}	3.94^{d}
6	2.80^{g}	3.93^{d}
8	2.49^{h}	3.57^{e}
10	2.29^{i}	2.96^{f}
12	2.35^{i}	2.95^{f}



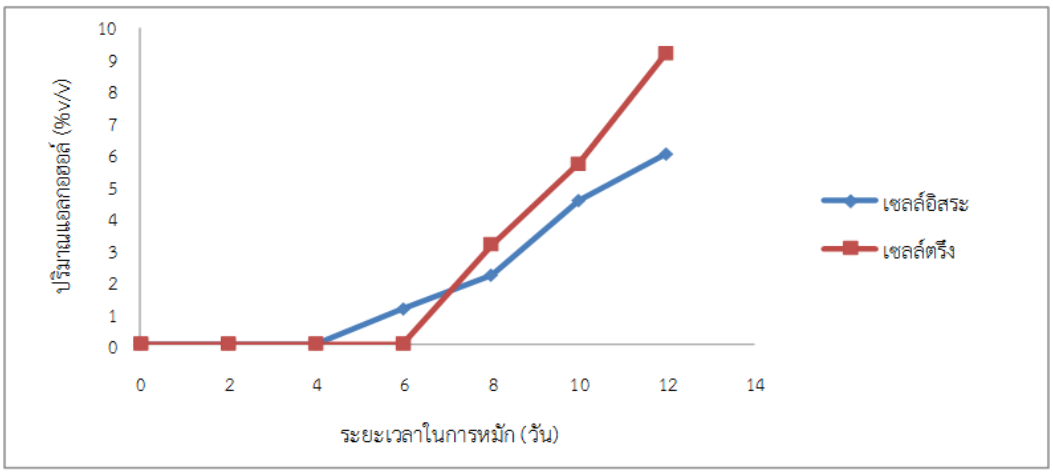
ภาพที่ 4.8 กราฟเปรียบเทียบค่า pH ของการหมักไวน์กระเจี๊ยบโดยใช้เซลล์ตรึงและเซลล์อิสระ

4.6.3 ปริมาณแอลกอฮอล์

จากการหมักไวน์กระเจี๊ยบโดยใช้เซลล์ตรึงที่และเซลล์อิสระเป็นเวลา 12 วัน ปริมาณแอลกอฮอล์มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเรื่อยๆ ตามระยะเวลาของการหมัก การหมักโดยใช้เซลล์ตรึงจะมีปริมาณแอลกอฮอล์เพิ่มสูงกว่าการใช้เซลล์อิสระ ทั้ง 2 แบบ ปริมาณแอลกอฮอล์จะสูงที่สุดในวันที่ 12 ของการหมัก เท่ากับ 9.20 และ 6.00 เปอร์เซ็นต์ (ปริมาตร/ปริมาตร) ตามลำดับ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) แสดงดังตารางที่ 4.7 และภาพที่ 4.9

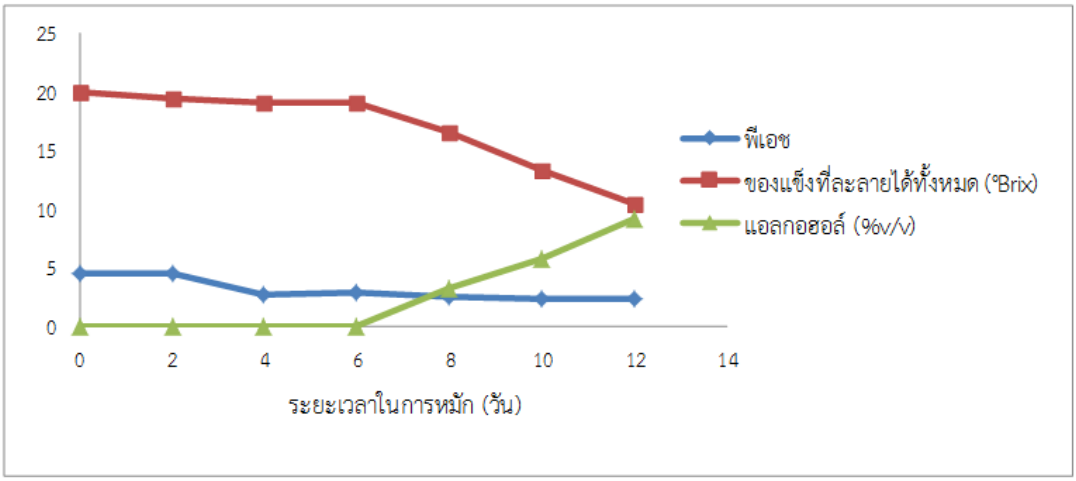
ตารางที่ 4.7 ปริมาณแอลกอฮอล์ของการหมักไวน์กระเจี๊ยบโดยใช้เซลล์ตรึงและเซลล์อิสระ

ระยะเวลาของการหมัก	แอลกอฮอล์ เปอร์เซ็นต์ (v/v)	
	เซลล์ตรึง	เซลล์อิสระ
0	0.00^{h}	0.00^{h}
2	0.00^{h}	0.00^{h}
4	0.00^{h}	0.00^{h}
6	0.00^{h}	1.10^{g}
8	3.15^{e}	2.17^{f}
10	5.70^{c}	4.53^{d}
12	9.20^{a}	6.00^{b}

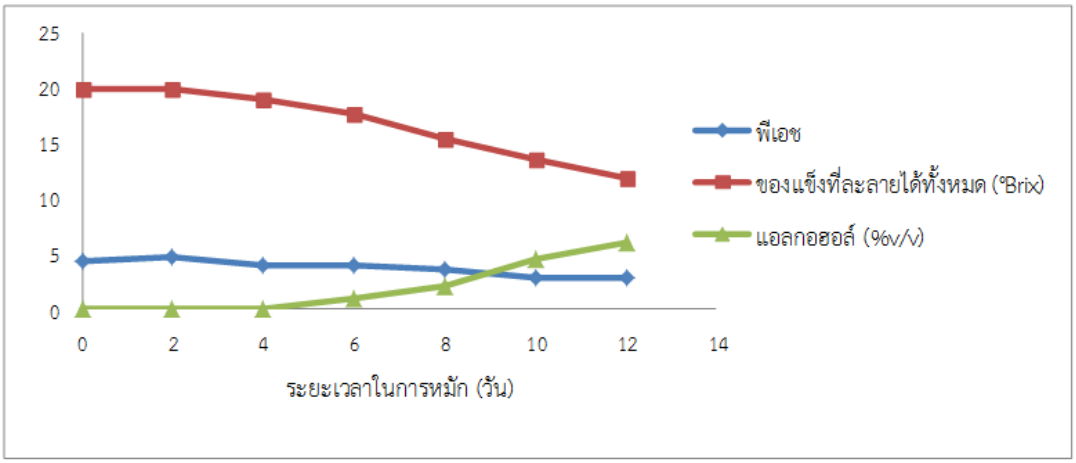


ภาพที่ 4.9 ปริมาณแอลกอฮอล์ของการหมักไวน์กระเจี๊ยบโดยใช้เซลล์เซลล์ตรึงและเซลล์อิสระ

จากการหมักไวน์กระเจี๊ยบทั้ง 2 แบบ คือ การหมักไวน์กระเจี๊ยบโดยใช้เซลล์ตรึงและเซลล์อิสระพบว่ามีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ค่าพีเอช และปริมาณแอลกอฮอล์เป็นไปในทิศทางเดียวกัน โดยปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดและค่าพีเอชจะลดลงตามระยะเวลาของการหมัก แต่ปริมาณแอลกอฮอล์จะเพิ่มสูงขึ้น แสดงดังภาพที่ 4.10 – 4.11



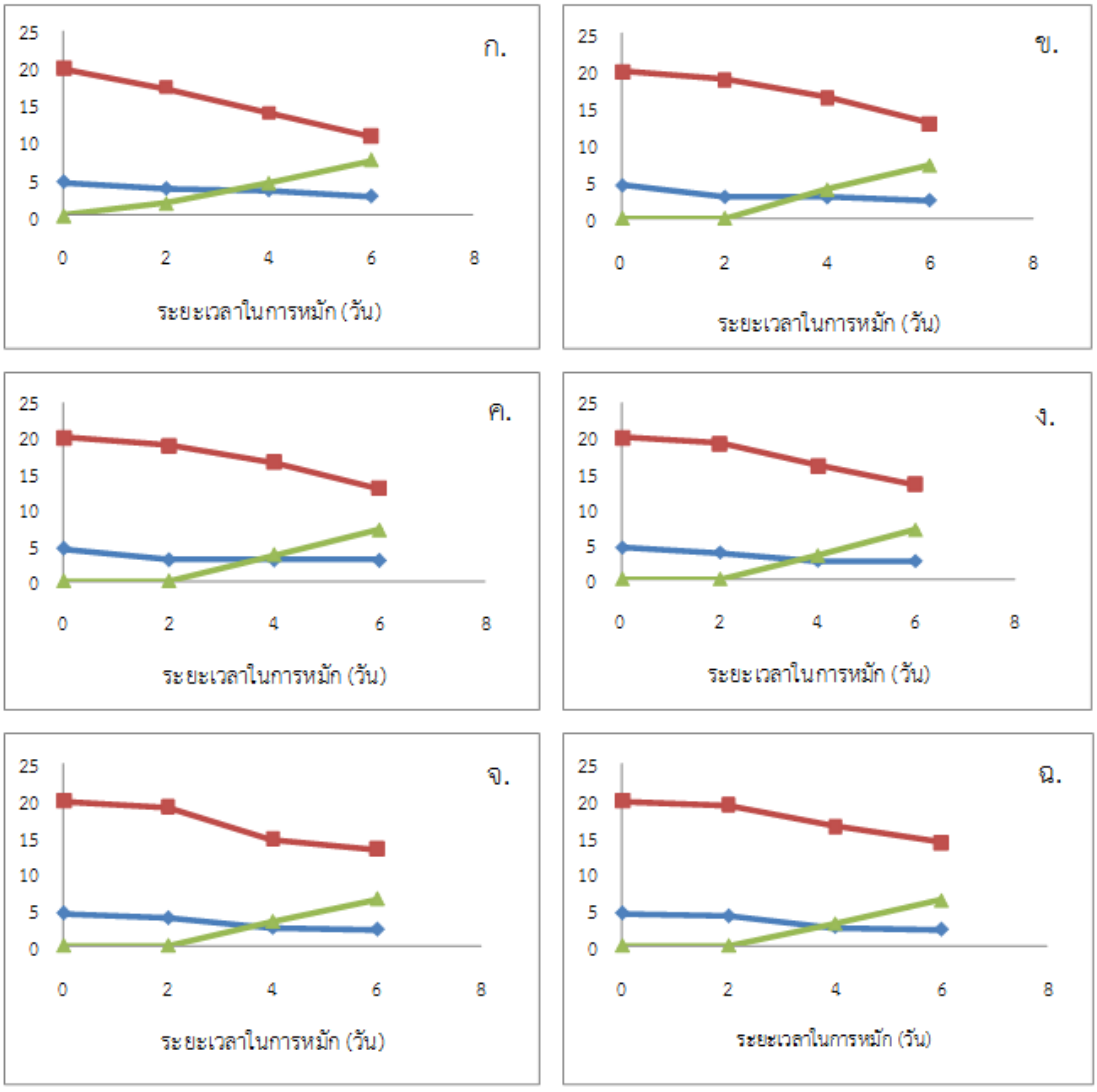
ภาพที่ 4.10 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ค่าพีเอช และปริมาณแอลกอฮอล์ของไวน์กระเจี๊ยบที่หมักโดยเซลล์ตรึง ระหว่างการหมักเป็นเวลา 12 วัน



ภาพที่ 4.11 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ค่าพีเอช และปริมาณแอลกอฮอล์ของไวน์กระเจี๊ยบที่หมักโดยเซลล์อิสระระหว่างการหมักเป็นเวลา 12 วัน

4.6 การหมักไวน์กระเจี๊ยบซ้ำโดยใช้โซเดียมอัลจิเนตเป็นวัสดุตรึง

จากการนำเซลล์ตรึงยีสต์ *S. cerevisiae* BCC 6127 ที่ใช้โพลีแซคคาไรด์จากเปลือกทุเรียนและโซเดียมอัลจิเนตเป็นวัสดุตรึงมาทำการหมักไวน์กระเจี๊ยบซ้ำ 6 ครั้ง ระยะเวลา 6 วัน เก็บตัวอย่างทุก 2 วัน จนกระทั่งปริมาณแอลกอฮอล์ประมาณ 7 เปอร์เซ็นต์ (ปริมาตรต่อปริมาตร) จึงเริ่มหมักใหม่ครั้งต่อไป มีแนวโน้มไปในทางเดียวกัน ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดและค่าพีเอช จะลดลง ส่วนปริมาณแอลกอฮอล์เพิ่มขึ้นตามระยะเวลาของการหมัก แสดงดังภาพที่ 4.12



ภาพที่ 4.12 ค่าพีเอช (—◆—) ของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (—■—) และปริมาณแอลกอออล์ ((—▲—) การหมักซ้ำครั้งที่ 1 (ก) การหมักซ้ำครั้งที่ 2 (ข) การหมักซ้ำครั้งที่ 3 (ค) การหมักซ้ำครั้งที่ 4 (ง) การหมักซ้ำครั้งที่ 5 (จ) และการหมักซ้ำครั้งที่ 6 (ฉ)

4.6.1 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด

ในการหมักไวน์กระเจี๊ยบซ้ำทั้ง 6 ครั้งพบว่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดเริ่มต้นที่ 20 และลดลงตามระยะเวลาของการหมัก โดยในการหมักครั้งที่ 1 ถึงครั้งที่ 6 มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดลดลงเหลือเท่ากับ 10.67, 12.83, 12.83, 13.33, 13.33 และ 14.23 ในวันที่ 6 ของการหมักตามลำดับ ซึ่งปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดลดลงสูงสุดในวันที่ 6 ของการหมักซ้ำครั้งที่ 1 มีค่าเท่ากับ 10.67 องศาบริกซ์ และปริมาณของแข็งที่ละลายได้มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อหมักซ้ำเพิ่มขึ้น แสดงดังตารางที่ 4.8 และภาพที่ 4.13

4.6.2 พีเอช

ในการหมักซ้ำทั้ง 6 ครั้ง มีค่าพีเอชเริ่มต้นที่ 4.5 หลังจากการหมักพบว่า พีเอชมีปริมาณลดลงโดยการการหมักซ้ำครั้งที่ 1 ถึงครั้งที่ 6 มีค่าพีเอชลดลงสูงสุดเท่ากับ 2.58, 2.43, 2.85, 2.50, 2.34 และ 2.34 ในวันที่ 6 ของการหมักตามลำดับ โดยในการหมักซ้ำครั้งที่ 5 และ 6 มีค่าพีเอชลดลงต่ำสุดเท่ากับ 2.34 ในวันที่ 6 ของการหมัก ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) แสดงดังตารางที่ 4.8 และภาพที่ 4.14

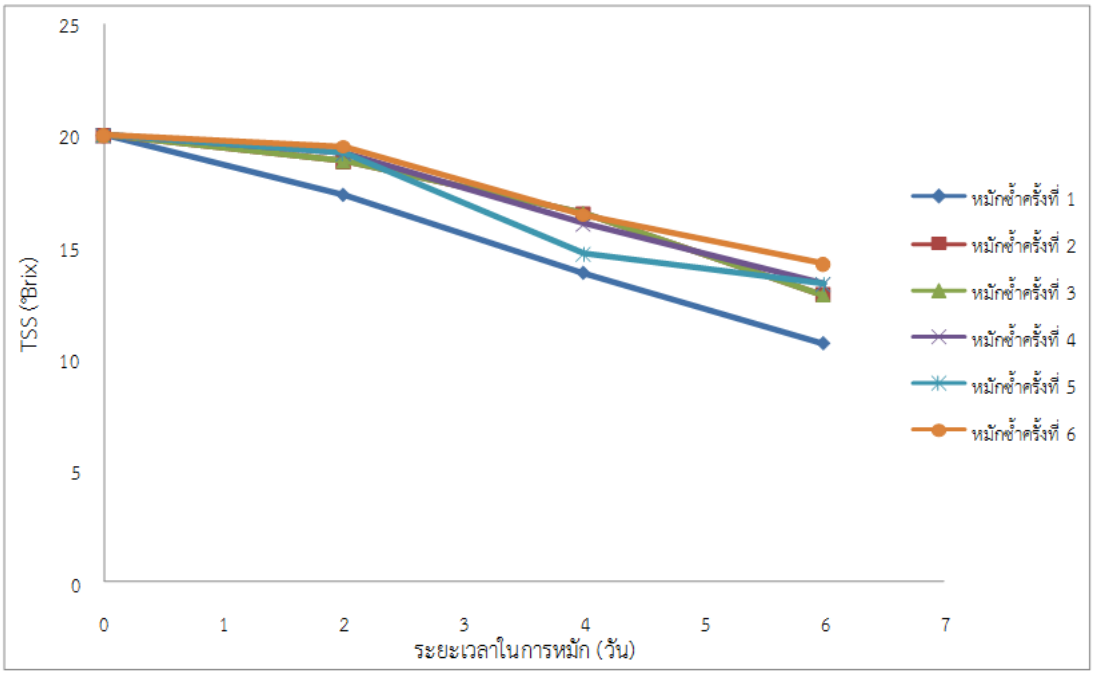
4.6.3 ปริมาณแอลกอฮอล์

ในการหมักซ้ำทั้ง 6 ครั้ง พบว่าปริมาณแอลกอฮอล์จะค่อย ๆ เพิ่มสูงขึ้นตามระยะเวลาการหมัก ในวันที่ 6 ของการหมักซ้ำครั้งที่ 1 ถึงครั้งที่ 6 มีปริมาณแอลกอฮอล์สูงสุดอยู่ที่ 7.48, 7.15, 7.10, 7.07, 6.43 และ 6.25 เปอร์เซ็นต์ (ปริมาตรต่อปริมาตร) โดยในการหมักซ้ำครั้งที่ 1 มีปริมาณแอลกอฮอล์สูงสุดคือ 7.48 เปอร์เซ็นต์ (ปริมาตรต่อปริมาตร) และลดลงมาเรื่อยๆในการหมักแต่ละครั้งตั้งแต่ครั้งที่ 2 ถึง ครั้งที่ 6 โดยมีปริมาณแอลกอฮอล์สูงสุดเท่ากับ 7.15, 7.10, 7.07, 6.43 และ 6.25 เปอร์เซ็นต์ (ปริมาตรต่อปริมาตร) ตามลำดับ แสดงดังตารางที่ 4.8 และภาพที่ 4.15

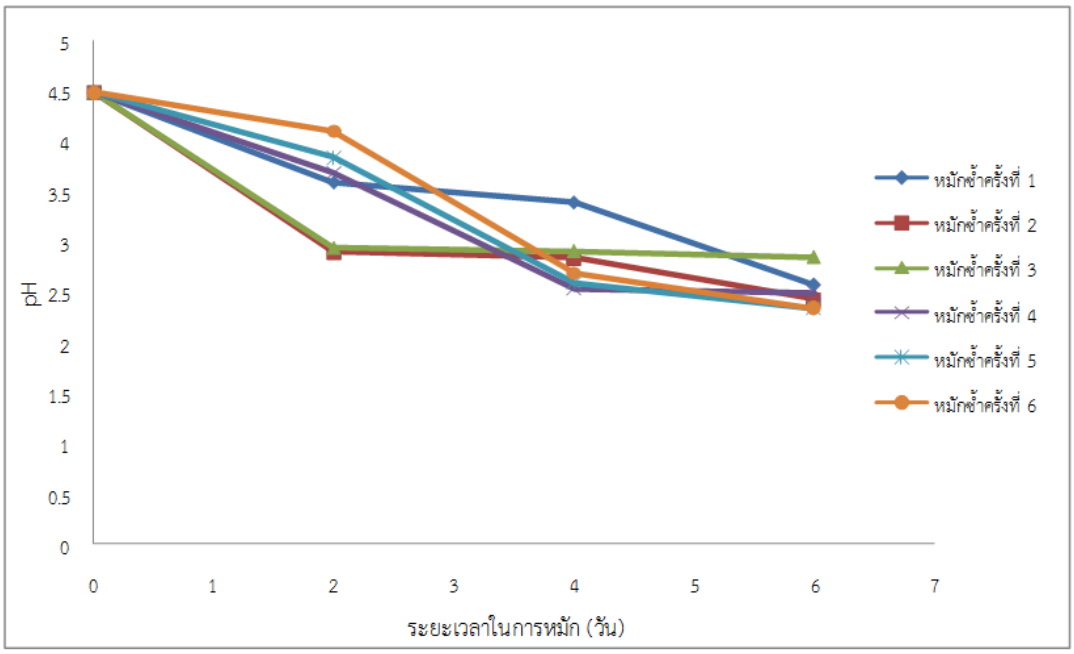
จากการเปรียบเทียบความแตกต่างของปริมาณแอลกอฮอล์ของไวน์กระเจี๊ยบ พบว่าในวันที่ 0 ของการหมักครั้งที่ 1 ถึงครั้งที่ 6 และวันที่ 2 ของการหมักซ้ำครั้งที่ 2 ถึงครั้งที่ 6 ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) ในวันที่ 4 ของการหมักซ้ำครั้งที่ 4 และ 5 ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) ในวันที่ 4 ของการหมักครั้งที่ 2 และ 3 ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) ในวันที่ 6 ของการหมักซ้ำครั้งที่ 5 และ 6 ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) และในวันที่ 6 ของการหมักซ้ำครั้งที่ 2, 3 และ 4 ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$) ซึ่งปริมาณแอลกอฮอล์สูงสุดอยู่ในวันที่ 6 ของการหมักซ้ำครั้งที่ 1 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 7.48 เปอร์เซ็นต์ (ปริมาตรต่อปริมาตร)

ตารางที่ 4.8 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด พีเอช และปริมาณแอลกอฮอล์ของการหมักไวน์กระเจี๊ยบซ้ำ ครั้งที่ 1 – ครั้งที่ 6

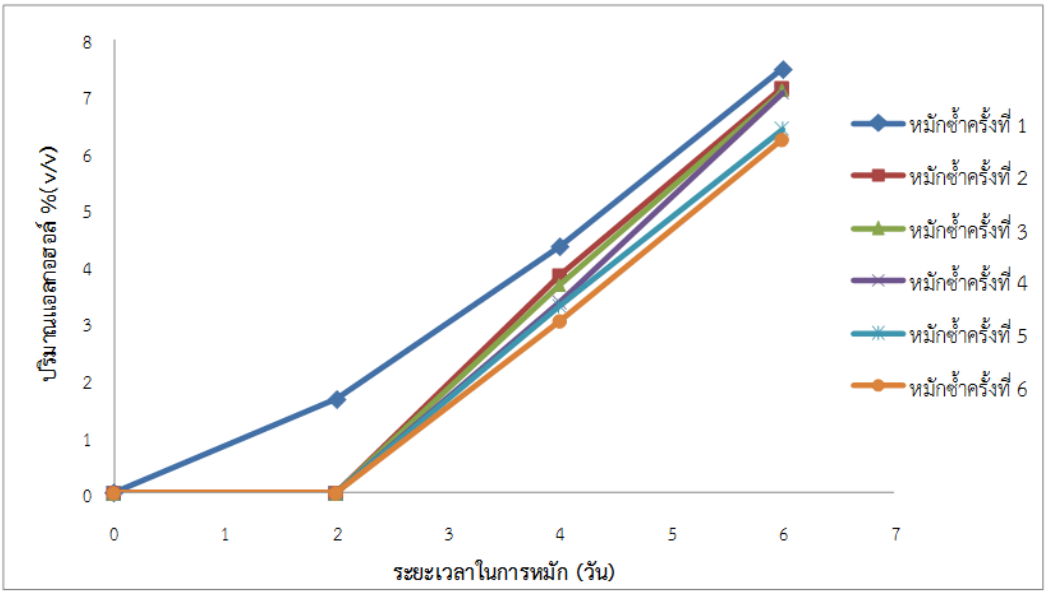
	วัน	ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ซ้ำที่ 3	ซ้ำที่ 4	ซ้ำที่ 5	ซ้ำที่ 6
TSS	0	20.00^{a}	20.00^{a}	20.00^{a}	20.00^{a}	20.00^{a}	20.00^{a}
	2	17.33^{b}	18.83^{a}	18.83^{a}	19.17^{a}	19.17^{a}	19.50^{a}
	4	13.83^{def}	16.50^{bc}	16.50^{bc}	16.00^{c}	14.67^{d}	16.43^{bc}
	6	10.67^{g}	12.83^{f}	12.83^{f}	13.33^{ef}	13.33^{ef}	14.23^{de}
pH	0	4.50^{a}	4.50^{a}	4.50^{a}	4.50^{a}	4.50^{a}	4.50^{a}
	2	3.60^{d}	2.90^{f}	2.94^{f}	3.78^{c}	3.85^{c}	4.11^{b}
	4	3.40^{e}	2.84^{fg}	2.91^{f}	2.54^{hi}	2.59^{hi}	2.69^{gh}
	6	2.58^{hi}	2.43^{ij}	2.85^{f}	2.50^{ij}	2.34^{j}	2.34^{j}
Alcohol	0	0.00^{i}	0.00^{i}	0.00^{i}	0.00^{i}	0.00^{i}	0.00^{i}
	2	1.65^{h}	0.00^{i}	0.00^{i}	0.00^{i}	0.00^{i}	0.00^{i}
	4	4.35^{d}	3.85^{e}	3.67^{e}	3.37^{f}	3.30^{f}	3.03^{g}
	6	7.48^{a}	7.15^{b}	7.10^{b}	7.07^{b}	6.43^{c}	6.25^{c}



ภาพที่ 4.13 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดของการหมักไวน์กระเจี๊ยบซ้ำครั้งที่ 1 ถึงครั้งที่ 6



ภาพที่ 4.14 แสดงค่าพีเอชของการหมักไวน์กระเจี๊ยบซ้ำครั้งที่ 1 ถึงครั้งที่ 6



ภาพที่ 4.15 แสดงปริมาณแอลกอฮอล์ของการหมักไวน์กระเจี๊ยบซ้ำครั้งที่ 1 ถึงครั้งที่ 6

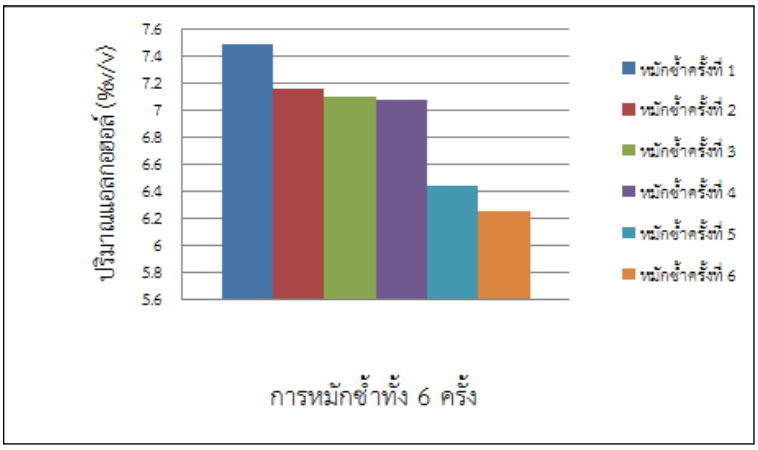
4.6.4 ปริมาณเซลล์หลังการหมักซ้ำทั้ง 6 ครั้ง

ในการหมักไวน์กระเจี๊ยบซ้ำจำนวน 6 ครั้ง พบว่าปริมาณแอลกอฮอล์สูงสุดอยู่ในการหมักซ้ำครั้งที่ 1 คือ 7.47 เปอร์เซ็นต์ปริมาตรต่อปริมาตร ซึ่งมีความสอดคล้องกับค่าของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดซึ่งยิ่งปริมาณแอลกอฮอล์สูงขึ้นจะมีค่าของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดต่ำลง โดยในการหมักซ้ำครั้งต่อ ๆ ไป ปริมาณแอลกอฮอล์มีแนวโน้มลดต่ำลงเนื่องจากปริมาณเซลล์ยีสต์มีการหลุดออกจากเม็ดเจลหรือเซลล์ยีสต์มีการตาย ทำให้ปริมาณแอลกอฮอล์สูงสุดมีค่าลดลง ทำการตรวจสอบปริมาณเซลล์ที่เหลืออยู่ในการหมักซ้ำทั้ง 6 ครั้ง โดยวิธี Total plate count (TPC) พบว่าปริมาณเซลล์หลังการหมักลดลงเท่ากับ 0.2×10^6 CFU/ml โดยลดลงจากก่อนการหมักคือ 10.2×10^6 CFU/ml

เมื่อทำการเปรียบเทียบปริมาณแอลกอฮอล์สูงสุดของการหมักซ้ำครั้งที่ 1 ถึงครั้งที่ 6 พบว่าปริมาณแอลกอฮอล์มีแนวโน้มลดต่ำลงเนื่องจากปริมาณเซลล์ยีสต์มีการหลุดออกจากเม็ดเจลหรือเซลล์ยีสต์มีการตาย ทำให้ปริมาณแอลกอฮอล์สูงสุดมีค่าลดลงจากครั้งแรกไปจนครั้งที่ 6 ของการหมักแสดงดังตารางที่ 4.9 และ ภาพที่ 4.16

ตารางที่ 4.9 ปริมาณแอลกอฮอล์สูงสุดของการหมักไวน์กระเจี๊ยบซ้ำ ครั้งที่ 1 – 6

จำนวนการหมักซ้ำ	ปริมาณแอลกอฮอล์สูงสุด เปอร์เซ็นต์ (v/v)
หมักซ้ำครั้งที่ 1	7.48
หมักซ้ำครั้งที่ 2	7.15
หมักซ้ำครั้งที่ 3	7.10
หมักซ้ำครั้งที่ 4	7.07
หมักซ้ำครั้งที่ 5	6.43
หมักซ้ำครั้งที่ 6	6.25



ภาพที่ 4.17 แสดงปริมาณแอลกอฮอล์สูงสุดของการหมักซ้ำครั้งที่ 1 ถึง 6 เป็นระยะเวลา 6 วัน

4.7 ลักษณะปรากปรากฏของไวน์กระเจี๊ยบที่หมักโดยเซลล์ตรึงที่ใช้โซเดียมอัลจิเนตเป็นวัสดุตรึงและเซลล์อิสระ

จากการศึกษาลักษณะที่ปรากฏของไวน์กระเจี๊ยบที่หมักโดยเซลล์ตรึงที่ และเซลล์อิสระ ด้านสี กลิ่น และรสชาติพบว่าการหมักมีผลต่อลักษณะที่ปรากฏที่แตกต่างกันในไวน์ทั้ง 2 ชนิด แสดงดังตารางที่ 4.10 และค่าการวัดสีตามระบบ CIE (L*, a*, b*) ด้วยเครื่องวัดสี (รุ่น WAV-006, FRU, China) พบว่า ค่าสีไม่มีความแตกต่างกัน ไวน์ที่หมักโดยใช้เซลล์ตรึงมีแนวโน้มด้านความใสสูงกว่าไวน์ที่ใช้เซลล์อิสระในการหมัก ส่วนไวน์ที่ใช้เซลล์อิสระมีแนวโน้มไปทางสีแดงมากกว่าไวน์ที่ใช้เซลล์ตรึง แสดงดังตารางที่ 4.11 ภาพลักษณะปรากฏด้านสีของไวน์กระเจี๊ยบที่หมักโดยเซลล์ตรึงและเซลล์อิสระหลังการหมักเป็นเวลา 12 วัน แสดงดังภาพที่ 4.18 และผลิตภัณฑ์ไวน์กระเจี๊ยบที่หมักโดยเซลล์ตรึงและเซลล์อิสระ แสดงดังภาพที่ 4.19

ตารางที่ 4.10 แสดงลักษณะปรากปรากฏของไวน์กระเจี๊ยบที่หมักโดยเซลล์ตรึงและเซลล์อิสระ

	เซลล์ตรึง		**เซลล์อิสระ**	
	ก่อนหมัก	**หลังหมัก**	**ก่อนหมัก**	**หลังหมัก**
สี	แดงเข้ม	แดงเข้มน้อยกว่าการใช้เซลล์อิสระ	แดงเข้ม	แดงเข้ม
กลิ่น	กลิ่นเปรี้ยวลักษณะเฉพาะของกระเจี๊ยบ	กลิ่นหอมเย็นๆ	กลิ่นเปรี้ยวลักษณะเฉพาะของกระเจี๊ยบ	กลิ่นเปรี้ยว
รสชาติ	เปรี้ยวอมหวาน	เปรี้ยว และมีรสขมของแอลกอฮอล์สูง	เปรี้ยวอมหวาน	เปรี้ยวอมขม

ตารางที่ 4.10 ค่าการวัดสีของไวน์กระเจี๊ยบที่หมักโดยเซลล์ตรึงและเซลล์อิสระ ด้วยเครื่องวัดสี (รุ่น WAV-006, FRU, China)

ไวน์กระเจี๊ยบ	**ค่าการวัดสีตามระบบ CIE (L*, a*, b*)**						
	L	a	b	△L	△a	△b	△Elab
เซลล์ตรึง	36.52	31.35	59.18	-2.30	5.19	51.72	51.98
เซลล์อิสระ	36.52	31.35	59.18	-2.16	6.45	65.36	65.71

เซลล์ตรึง	เซลล์อิสระ

ภาพที่ 4.18 ลักษณะปรากฏด้านสีของไวน์กระเจี๊ยบที่หมักโดยเซลล์ตรึงที่ใช้โซเดียมอัลจิเนตเป็นวัสดุตรึงและเซลล์อิสระ หลังการหมักเป็นเวลา 12 วัน

เซลล์ตรึง	เซลล์อิสระ

ภาพที่ 4.19 ไวน์กระเจี๊ยบที่หมักโดยเซลล์ตรึงและเซลล์อิสระ

4.5 ผลการประเมินคุณภาพด้านประสาทสัมผัสของไวน์ที่หมักโดยใช้เซลล์ตรึงและเซลล์อิสระ

จากการนำไวน์ที่ใช้เซลล์ตรึงและเซลล์อิสระในการหมักไปประเมินคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสโดยการให้คะแนนความชอบแบบ 5 point hedonic scale ใช้ผู้ทดสอบที่มีอายุตั้งแต่ 20 ปี จำนวน 100 คน ทำการทดสอบด้านสี กลิ่น รสชาติ ความใส และความชอบรวม พบว่าไวน์ที่ใช้เซลล์ตรึงในการหมักจะได้คะแนนการยอมรับสูงกว่าไวน์ที่ใช้เซลล์อิสระในการหมักในทุก ๆ ด้าน คะแนนความชอบอยู่ในระดับชอบ

ตารางที่ 4.24 ผลการประเมินคุณสมบัติทางด้านประสาทสัมผัสด้าน สี กลิ่น รสชาติ ความใส และความชอบโดยรวมของไวน์กระเจี๊ยบที่ใช้เซลล์ตรึงและเซลล์อิสระในการหมัก

ไวน์กระเจี๊ยบ	ลักษณะด้านประสาทสัมผัส				
	สี	กลิ่น	รสชาติ	ความใส	ความชอบรวม
เซลล์ตรึง	3.80 0.69	3.90 ± 0.74	4.09 ± 0.76	4.20 ± 0.73[b]	4.12 ± 0.75
เซลล์อิสระ	3.65 ±0.71	3.75 ± 0.68	3.88 ± 0.80	3.96 ± 0.83	3.96 ± 0.62

หมายเหตุ: ค่าในตารางเป็นค่าเฉลี่ย ± SD