บทที่ 4
ผลการทดลองและวิจารณ์

4.1 การศึกษาหาปริมาณเอ็นไซม์เพคติเนสที่เหมาะสม

จากการศึกษาหาปริมาณเอ็นไซม์เพคติเนสที่เหมาะสมในไวน์สับปะรด และไวน์กระเจี๊ยบแดงโดยใช้ความเข้มข้นของเอ็นไซม์เพคติเนส 3 ระดับคือร้อยละ 0.001 0.002 และ 0.003 เติมลงในน้ำผลไม้และตั้งทิ้งไว้ 12 ชั่งโมงก่อนนำไปหมักต่อจนกระทั่งได้ไวน์ พบว่าเอ็นไซม์เพคติเนสมีผลต่อความขุ่น สีและค่า light transmission ของไวน์ทั้ง 2 ชนิดดังนี้

1. ความขุ่นของไวน์

1.1 ไวน์กระเจี๊ยบแดง พบว่าการใช้เอ็นไซม์เพคติเนสทำให้ไวน์มีความขุ่นมากกว่าไวน์ที่ไม่ได้ใช้เอ็นไซน์ (ตารางที่ 4.1) ซึ่งเป็นไปได้ว่าการต้มสกัดสีดอกกระเจี๊ยบแดงแห้งนั้นเพคตินที่ถูกสกัดออกมาในขณะต้มเป็นเพคตินโมเลกุลสั้นๆที่สามารถละลายน้ำได้ น้ำกระเจี๊ยบที่ได้จึงมีลักษณะเป็นสีแดงใส เมื่อนำไปหมักไวน์จะได้ไวน์ที่ใสในระดับหนึ่ง และเมื่อมีการเติมเอนไซม์คาดว่าเอนไซม์จะไปย่อยเพคตินในดอกกระเจี๊ยบที่ใส่ไปหมักพร้อมกับน้ำหมักด้วย รวมทั้งอาจมีการย่อยองค์ประกอบอื่นๆ เช่นเซลลูโลส นอกจากนี้เอนไซม์เพคติเนสที่ใช้เป็นเอนไซม์ในทางการค้าประกอบด้วยเอนไซม์ชนิดอื่นๆด้วย เช่น เซลลูเลส และไซเลส เป็นต้น (Kertesa, 1951) ได้เป็นเพคตินโมเลกุลยาวและสารซึ่งไม่สามารถละลายน้ำได้ จึงทำให้ไวน์มีความขุ่นมากกว่าการไม่ใช้เอนไซม์ ส่วนกรณีที่ปริมาณเอ็นไซม์ที่เพิ่มขึ้นทำให้ไวน์มีความใสมากขึ้น น่าจะเป็นเพราะที่ปริมาณเอนไซม์ ร้อยละ 0.001-0.02 เพียงพอที่จะย่อยเพคตินได้เป็นเพคตินโมเลกุลสายยาวที่ไม่สามารถละลายน้ำได้ จึงทำให้ไวน์มีความขุ่นมากขึ้น แต่เมื่อใช้เอ็นไซม์ในปริมาณที่มากขึ้นเป็นร้อยละ 0.003 คาดว่าปริมาณเอนไซม์ระดับนี้เพียงพอที่จะย่อยเพคตินให้เป็นโมเลกุลสั้นๆ ซึ่งสามารถละลายน้ำได้ จึงทำให้ไวน์มีความใสมากขึ้น โดยทั่วไปมีการใช้เอนไซม์เพคติเนสในการทำให้ไวน์ใส ในปริมาณร้อยละ 0.0025-0.005 (Morgalit, 1996)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

1.2 ไวน์สับปะรด การใช้เอ็นไซม์ให้ผลดีกว่าการไม่ใช้เอ็นไซม์ โดยที่ปริมาณการใช้ร้อยละ 0.003 ให้ค่าความขุ่นน้อยที่สุด (ตารางที่ 4.1) ซึ่งน่าจะเกิดจากการที่สับปะรดมีองค์ประกอบที่เป็นโพลีแซคคาไรด์ค่อนข้างมากซึ่งเหมาะสมสำหรับการย่อยด้วยเอ็นไซม์เพคติเนสที่เป็นเอ็นไซม์ผสม และสับปะรดเองก็มีเอ็นไซม์โปรติเอสอยู่แล้ว รวมทั้งการสับและบดเป็นชิ้นเล็กๆ จะช่วยให้เอนไซม์ทำงานได้ดีขึ้น ผลการย่อยจะได้สารโมเลกุลสั้นๆ ซึ่งจะละลายได้ในน้ำ และอาจมีการจับตัวกันของโปรตีนและแทนนินเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนตกตะกอนทำให้ไวน์ใส

ตารางที่ 4.1 ผลของเอ็นไซม์เพคติเนสต่อค่าความขุ่นของไวน์กระเจี๊ยบแดงและไวน์สับปะรด

ปริมาณเพคติเนส (%)	ค่าความขุ่น (NTU)	
	ไวน์กระเจี๊ยบแดง	ไวน์สับปะรด
0.000	$9.34^{a} \pm 0.60$	$22.47^{d} + 0.60$
0.001	$21.00^{d} \pm 1.29$	$10.48^{a} \pm 1.66$
0.002	$18.00^{c} \pm 0.58$	$13.33^{b} \pm 2.80$
0.003	$15.88^{b} \pm 0.42$	$8.76^{c} \pm 0.60$

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกัน แสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

2. สีของไวน์

2.1 ไวน์กระเจี๊ยบแดง จากตารางที่ 4.2 จะเห็นว่าการใช้เอ็นไซม์เพคติเนสมีผลต่อค่าสี (L*, a*, b*) ของไวน์กระเจี๊ยบแดง โดยที่การใช้เอ็นไซม์เพคติเนสในระดับร้อยละ 0.002 จะให้ค่าความสว่าง (L*) (brightness) มากกว่าที่ไม่ใช้เอนไซม์ แต่ที่ระดับร้อยละ 0.001 และ 0.003 ไม่แตกต่างจากชุดควบคุมและที่ระดับร้อยละ 0.002 และ 0.003 มีค่า L* ใกล้เคียงกัน ส่วนค่า a* และ b* ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) ดังนั้นการใช้เอ็นไซม์จึงมีผลต่อคุณภาพด้านสีของไวน์กระเจี๊ยบแดงเพียงเล็กน้อย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

2.2 ไวน์สับปะรด ซึ่งเป็นไวน์ขาวพบว่าการใช้เอ็นไซม์ในทุกระดับความเข้มข้นในไวน์สับปะรด พบว่ามีผลให้ค่าสีแตกต่างจากที่ไม่มีการเติม โดยที่ระดับร้อยละ 0.001 และ 0.003 ให้ค่าความสว่าง L* มากกว่าที่ระดับร้อยละ 0.002 และที่ไม่มีการเติม ซึ่งสอดคล้องกับค่าความขุ่นที่วัดได้ที่ระดับการใช้เอ็นไซม์ร้อยละ 0.003 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าทุกระดับ และเมื่อพิจารณาจากค่า a* พบว่ามีค่าติดลบซึ่งหมายถึงการมีสีเขียวผสมอยู่ โดยทั้งที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.001 และ 0.003 ให้ค่า a* มากกว่าที่ระดับร้อยละ 0.002 และที่ไม่มีการเติม นั่นคือมีสีแดงมากกว่าสีเขียว สำหรับค่า b* ซึ่งหมายถึงสีเหลืองพบว่าไม่มีความแตกต่างกันในทุกระดับการใช้เอ็นไซม์ แสดงว่าการใช้เอ็นไซม์เพคติเนสที่ระดับ ร้อยละ 0.003 ช่วยทำให้ไวน์มีความใสมากขึ้นและสอดคล้องกับค่าความสว่าง L* ที่มากกว่าการใช้ที่ระดับอื่น ๆ ด้วย

ตารางที่ 4.2 ผลของเอ็นไซม์เพคติเนสต่อค่าสี L*, a*, b* ของไวน์กระเจี๊ยบแดงและไวน์สับปะรด

ปริมาณเพคติเนส (%)	ค่าสี (L*, a*, b*)					
	ไวน์กระเจี๊ยบแดง			ไวน์สับปะรด		
	L*	a*	b*	L*	a*	b*
0.000	$23.73^{a} \pm 0.10$	3.59 ± 0.06	1.04 ± 0.06	$30.37^{a} \pm 0.55$	$-0.19^{c} \pm 0.02$	1.38 ± 0.23
0.001	$23.70^{a} \pm 0.13$	3.48 ± 0.27	1.06 ± 0.21	$31.58^{c} \pm 0.29$	$-0.10^{ab} \pm 0.01$	1.42 ± 0.07
0.002	$24.00^{b} \pm 0.15$	3.58 ± 0.30	1.07 ± 0.24	$31.17^{b} \pm 0.34$	$-0.11^{a} \pm 0.01$	1.43 ± 0.04
0.003	$23.93^{ab} \pm 0.18$	3.50 ± 0.32	0.93 ± 0.27	$31.79^{c} \pm 0.14$	$-0.08^{b} \pm 0.03$	1.34 ± 0.04

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกัน แสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

3. ค่า light transmission

3.1 ไวน์กระเจี๊ยบแดง จากตารางที่ 4.3 พบว่าค่า light transmission ไม่มีความแตกต่างกันในทุกระดับกับการไม่ใช้ เนื่องจากเป็นไวน์ที่มีสีและมีค่าสีแดง (a*) ไม่แตกต่างกันดังตารางที่ 4.3

3.2 ไวน์สับปะรด ไวน์สับปะรดเป็นไวน์ขาวมีความใสสว่าง ดังนั้นค่า light transmission จึงค่อนข้างสูงคือมากกว่าร้อยละ 90 และพบว่าที่ระดับเอ็นไซม์ร้อยละ 0.001 และ 0.002 ไม่ต่างจากการไม่ใช้เอนไซม์ ในขณะที่การใช้ในระดับร้อยละ 0.003 ให้ค่า light transmission มากที่สุดซึ่งเป็นระดับการใช้ที่ทำให้ค่าความขุ่นของไวน์สับปะรดน้อยและให้ค่าความสว่าง L* มากกว่าที่ระดับอื่น ๆ

ตารางที่ 4.3 ผลของเอนไซม์เพคติเนสต่อค่า light transmission ของไวน์แต่ละชนิด

ปริมาณเอ็นไซม์ (%)	ค่า light transmission (%)	
	ไวน์กระเจี๊ยบแดง	ไวน์สับปะรด
0.000	21.67 $\pm$ 0.06	92.00 [a] $\pm$ 0.06
0.001	22.29 $\pm$ 3.34	91.57 [a] $\pm$ 1.6
0.002	24.44 $\pm$ 3.96	90.08 [a] $\pm$ 2.74
0.003	20.16 $\pm$ 6.00	93.99 [b] $\pm$ 0.06

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกัน แสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

สรุปจากการทดลองใช้เอ็นไซม์เพคติเนสเพื่อให้ย่อยเพคตินในการทำไวน์กระเจี๊ยบแดงไม่มีผลทำให้ไวน์ใส แต่ให้ผลดีในการใช้กับสับปะรด ทำให้ไวน์ใสมากขึ้น โดยระดับที่เหมาะสมในการใช้คือ ร้อยละ 0.003

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

4.2 ชนิดและปริมาณสารช่วยตกตะกอนที่เหมาะสมในการตกตะกอนไวน์กระเจี๊ยบแดงและไวน์สับปะรด

4.2.1 การหาความเป็นไปได้ของสารช่วยตกตะกอน

จากการทดลองใช้สารช่วยตกตะกอน เบนโทไนท์ และ PVPP ในปริมาณ 3 ระดับ คือ ร้อยละ 0.05 0.10 และ 0.15 ในการตกตะกอนไวน์ทั้งสองชนิด ได้ผลการทดลองในไวน์แต่ละชนิดดังนี้

4.2.1.1 ไวน์กระเจี๊ยบแดง การใช้ PVPP ในไวน์กระเจี๊ยบแดงที่ระดับแตกต่างกัน พบว่ามีค่าความขุ่นอยู่ในช่วง 17.24-24.18 NTU (ตารางที่ 4.4) โดยที่ปริมาณการใช้ร้อยละ 0.05 ให้ค่าความขุ่นน้อยกว่าระดับอื่นๆ แต่เมื่อเปรียบเทียบกับเบนโทไนท์ พบว่า เบนโทไนท์มีผลลดความขุ่นของไวน์กระเจี๊ยบแดงมากกว่า PVPP โดยที่เมื่อใช้เบนโทไนท์ที่ความเข้มข้นสูงขึ้น ความขุ่นมีแนวโน้มลดลงอย่างมาก เช่นเมื่อใช้เบนโทไนท์ 0.15 กรัมต่อ 100 มิลลิลิตร ให้ค่าความขุ่นน้อยที่สุด คือ 4.44 NTU ดังนั้นเบนโทไนท์จึงเหมาะที่จะใช้เป็นสารช่วยตกตะกอนในไวน์กระเจี๊ยบแดง

ตารางที่ 4.4 ผลของ PVPP และเบนโทไนท์ต่อค่าความขุ่นของไวน์กระเจี๊ยบแดงและไวน์สับปะรด

สารช่วยตกตะกอน	ปริมาณ (%)	ค่าความขุ่นเฉลี่ย (NTU) ในไวน์แต่ละชนิด	
		ไวน์กระเจี๊ยบแดง	ไวน์สับปะรด
PVPP	0.05	24.18	14.92
	0.10	17.27	15.17
	0.15	17.24	16.30
เบนโทไนท์	0.05	17.02	5.39
	0.10	4.87	4.07
	0.15	4.44	4.22

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

4.2.1.2 ไวน์สับปะรด การใช้สารช่วยตกตะกอนในไวน์สับปะรดมีแนวโน้มเช่นเดียวกับในไวน์กระเจี๊ยบแดง (ตารางที่ 4.4) โดยที่เบนโทไนท์มีผลลดความขุ่นของไวน์ได้ดีกว่า PVPP อย่างชัดเจนที่ปริมาณการใช้เบนโทไนท์ร้อยละ 0.10 มีผลลดความขุ่นของไวน์สับปะรดได้ดีที่สุด (4.07 NTU) ดังนั้นจึงควรใช้เบนโทไนท์ในการช่วยตกตะกอนในไวน์สับปะรด

จากผลการทดลองดังกล่าว ประกอบกับเมื่อพิจารณาถึงราคาของสารทั้งสองซึ่งมีความแตกต่างกันมาก คือเบนโทไนท์ ราคากิโลกรัมละ 80-100 บาท ส่วน PVPP กิโลกรัมละ 1,345 บาท จึงเลือกใช้เบนโทไนท์ เป็นสารช่วยตกตะกอนในการทดลองหาปริมาณที่เหมาะสมในการใช้ต่อไป

4.2.2 ปริมาณของสารช่วยตกตะกอนที่เหมาะสมในการตกตะกอนไวน์กระเจี๊ยบแดงและไวน์สับปะรด

การใช้เบนโทไนท์ เป็นสารช่วยตกตะกอน มีผลต่อค่าความขุ่น ค่า light transmission และสีของไวน์ ทั้งสองชนิด ดังนี้

4.2.2.1 ไวน์กระเจี๊ยบแดง

1. ความขุ่นของไวน์ พบว่าที่ปริมาณการใช้เบนโทไนท์ที่ระดับ 0.10 และ 0.15 กรัมต่อ100 มิลลิลิตร มีผลให้ไวน์มีความใสใกล้เคียงกัน ไม่แตกต่างกันทางสถิติ โดยมีค่าความขุ่นอยู่ในช่วง 4.44-4.87 NTU (ตารางที่4.5)

2. ค่า light transmission พบว่าปริมาณการใช้เบนโทไนท์ที่ระดับร้อยละ 0.10 และ 0.15 มีผลให้ค่า light transmission ของไวน์กระเจี๊ยบแดงใกล้เคียงกัน ไม่แตกต่างกันทางสถิติ โดยมีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 28.05-28.42 (ตารางที่4.5)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.5 ผลของระดับเบนโทไนท์ต่อค่าความขุ่น ค่า light transmission และสีของไวน์กระเจี๊ยบแดง

ปริมาณเบนโทไนท์ (%)	ค่าความขุ่น (NTU)	light transmission (%)	ค่าสี		
			L*	a*	b*
0.05	17.02[b] ± 2.81	22.39[b] ± 1.52	20.66[a] ±0.10	2.16 ±0.20	0.81 ±0.11
0.10	4.87[a] ± 0.41	28.06[a] ± 0.20	20.63[a] ±0.14	2.30 ±0.10	0.86 ±0.07
0.15	4.44[a] ± 0.24	28.42[a] ± 0.23	20.35[b] ±0.11	2.42 ±0.08	0.93 ±0.07

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกัน แสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

3. สีของไวน์ ผลของเบนโทไนท์ต่อสีของไวน์กระเจี๊ยบแดง พบว่าปริมาณการใช้เบนโทไนท์ที่มากขึ้นไม่มีผลเพิ่มความสว่าง (L*)ของไวน์ โดยที่ระดับร้อยละ 0.05 ให้ค่าความสว่างมากที่สุด(ตารางที่ 4.5) แต่ไม่แตกต่างทางสถิติกับที่ระดับร้อยละ 0.10 ส่วนค่า a* และ b* ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ทุกระดับการใช้เบนโทไนท์ ดังนั้นการใช้เบนโทไนท์จึงมีผลต่อสีของไวน์กระเจี๊ยบแดงเพียงเล็กน้อย ผลการทดลองนี้สอดคล้องกับการใช้เบนโทไนท์ในไวน์แดงจากองุ่น ซึ่งพบว่าการใช้เบนโทไนท์ปริมาณ 0.002 กรัม ผสมกับเจลาติน 0.045 กรัม ต่อไวน์ 100มิลลิลิตร มีผลเพียงเล็กน้อยต่อสีของไวน์แดง โดยมีผลไปลดปริมาณแอนโทซัยยานิน (Pereira and Moretli, 1997)

4.2.2.2 ไวน์สับปะรด

1. ค่าความขุ่น เบนโทไนท์ที่ปริมาณแตกต่างกันมีผลต่อค่าความขุ่นของไวน์สับปะรดเล็กน้อย เช่นเดียวกับไวน์กระเจี๊ยบแดง โดยที่ปริมาณการใช้ที่ ระดับร้อยละ 0.10 และ 0.15 ให้ค่าความขุ่นเป็น 4.07 และ 4.22 NTU ตามลำดับ ซึ่งใกล้เคียงกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (ตารางที่4.6)

2. ค่า light transmission เบนโทไนท์มีผลต่อค่า light transmission ของไวน์สับปะรดเช่นเดียวกับไวน์กระเจี๊ยบแดง นั่นคือปริมาณการใช้เบนโทไนท์ที่สูงขึ้น ให้ค่า light transmission เพิ่มขึ้น โดยที่ปริมาณการใช้ที่ระดับร้อยละ 0.10 และ 0.15 จะให้ค่า light

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

transmission ใกล้เคียงกัน ไม่แตกต่างกันทางสถิติ โดยมีค่าเป็นร้อยละ 99.30 และ 99.44 ตามลำดับ (ตารางที่4.6)

3. สีของไวน์ พบว่าปริมาณการใช้เบนโทไนท์ที่แตกต่างกัน ทั้ง 3 ระดับ ไม่มีผลให้ค่า L* และ a* ของไวน์สับปะรดแตกต่างกัน แต่มีผลต่อค่า b* โดยปริมาณการใช้ที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ ค่า b* ลดลง นั่นคือ ไวน์มีสีเหลืองลดลง ซึ่งอาจเกิดจากเบนโทไนท์ทำให้สีลดลง (Margalit, 2004)

ตารางที่ 4.6 ผลของระดับเบนโทไนท์ต่อค่าความขุ่น ค่า light transmission และสีของไวน์สับปะรด

ปริมาณเบนโทไนท์ (%)	ค่าความขุ่น (NTU)	light transmission (%)	ค่าสี		
			L*	a*	b*
0.05	$5.39^{b} \pm 0.30$	$91.29^{b} \pm 0.44$	26.99±0.28	-0.30±0 .04	$0.90^{a} \pm 0.04$
0.10	$4.07^{a} \pm 0.51$	$93.30^{a} \pm 0.41$	26.86±0.16	-0.28±0 .04	$0.80^{b} \pm 0.07$
0.15	$4.22^{a} \pm 0.45$	$93.44^{a} \pm 0.22$	26.91±0.17	-0.26±0.18	$0.78^{b} \pm 0.04$

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกัน แสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

4.3 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการกรองด้วยเครื่องกรองแบบเยื่อแผ่นสังเคราะห์

นำไวน์สับปะรดที่ผลิตโดยใช้เอ็นไซม์เพคติเนสร้อยละ 0.003 และสารช่วยตกตะกอนเบนโทไนท์ที่ระดับร้อยละ 0.10 และไวน์กระเจี๊ยบแดงที่ผลิตโดยไม่ใช้เอ็นไซม์เพคติเนสและใช้สารช่วยตกตะกอนเบนโทไนท์ที่ระดับร้อยละ 0.10 ซึ่งผ่านการบ่มเป็นเวลา 1 เดือนมากรองด้วยเครื่องกรองแบบ filter press ขนาดรูพรุน 0.45 ไมครอน และเครื่องกรองแบบเยื่อแผ่นสังเคราะห์ขนาดรูพรุน 0.2 ไมครอน โดยใช้ความดันแตกต่างกันเพื่อหาความดันที่เหมาะสมในการกรองไวน์แต่ละชนิดได้ผลการทดลองดังนี้

1. ไวน์สับปะรด

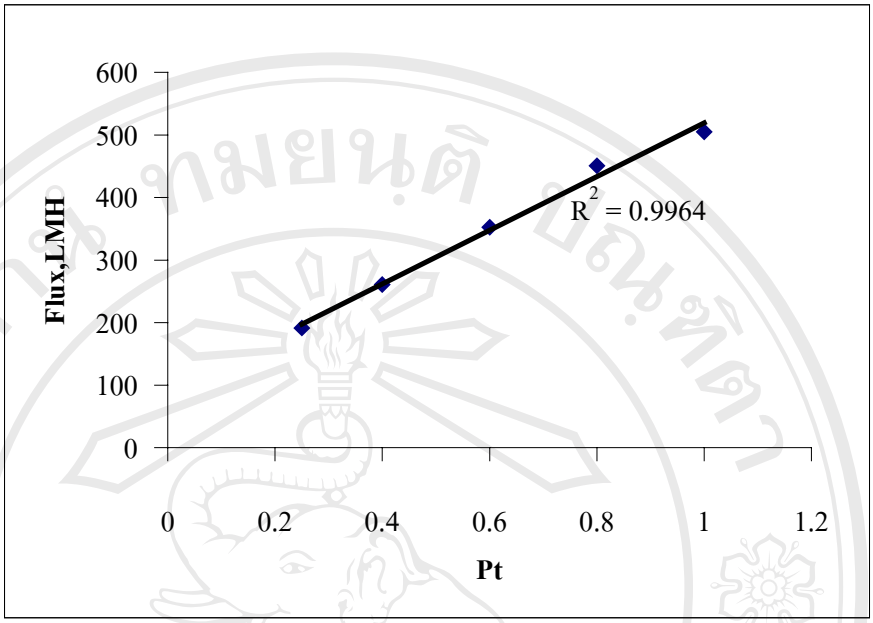
1.1 ผลการกรองไวน์สับปะรดที่ความดันคร่อมเยื่อแผ่น (Pt) แตกต่างกัน จากการกรองสับปะรดที่ความดันคร่อมเยื่อแผ่น (Pt)ที่ 0.25 , 0.4 , 0.6 , 0.8 และ 1.0 bar ติดต่อกันโดยในแต่ละความดันจะวัดอัตราการไหลของเพอมิเอท 4 ครั้งติดต่อกันแล้วหาค่าฟลักซ์เฉลี่ย (อัตราการไหลของเพอมิเอทต่อหน่วยพื้นที่มีหน่วยเป็นลิตรต่อชั่วโมง ต่อตารางเมตรหรือ LMH) ได้ผลดังแสดงในรูปที่ 4.1 ซึ่งจะได้ความสัมพันธ์ระหว่างฟลักซ์กับความดันเป็นเส้นตรง โดยค่าฟลักซ์เพิ่มขึ้นตามความดันที่เพิ่มขึ้นตามสมการ ดังนี้

$$y = 497.44x + 64.059$$

โดยมีค่า $R^2 = 0.9964$

จากการทดลองพบว่าการใช้ความดันที่สูงเกินไปจะทำให้เกิดการอุดตันอย่างรวดเร็ว การล้างทำความสะอาดได้ยาก แต่ถ้าใช้ความดันต่ำการอุดตันเกิดช้าและจะทำให้ใช้เวลาการกรองนาน ประกอบกับผลการทดลองหาความดันที่เหมาะสมในการกรองน้ำฝรั่งแบบใส โดยใช้กระบวนการกรองไมโครฟิลเตรชันของ พัชรินทร์(2546) ซึ่งใช้ชุดกรอง Satorius Model Slice Cassettes เช่นเดียวกัน พบว่าที่ความดัน 0.8 bar ให้ค่าฟลักซ์สูงสุดมากกว่าที่ความดัน 0.2, 0.4 และ 0.6 bar รวมทั้งข้อจำกัดของชุดกรองนี้ไม่สามารถกรองที่ความดันมากกว่า 0.8 bar ต่อเนื่องเป็นเวลานานได้ เนื่องจากท่อส่งไวน์จะแตกเพราะทนแรงดันไม่ได้ ดังนั้นในการทดลองต่อไปจะใช้ความดันที่ 0.8 bar เนื่องจากได้ฟลักซ์สูงและคาดว่าการอุดตันจะเกิดค่อนข้างช้า

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved



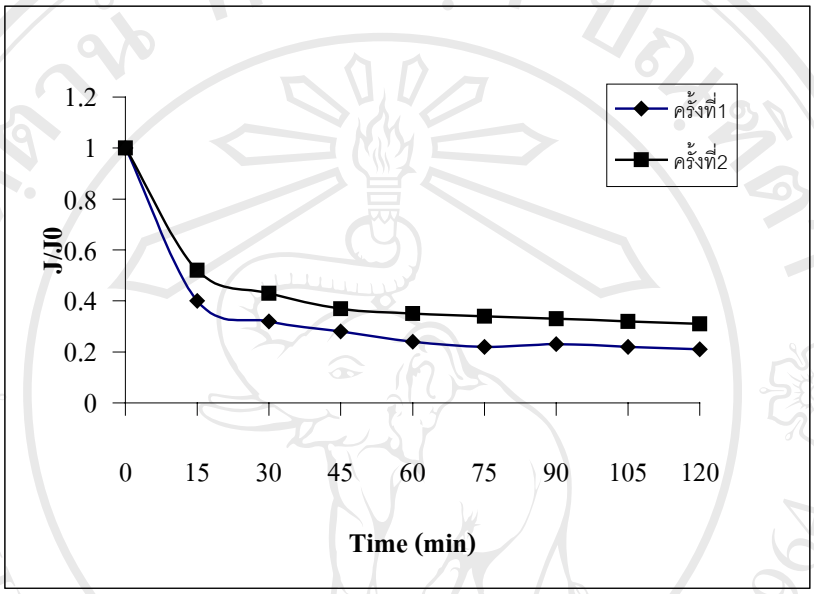
รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความดันและฟลักซ์ของไวน์สับปะรด

1.2 ผลการกรองไวน์สับปะรดที่ความดันคร่อมเยื่อแผ่น (Pt) คงที่ 0.8 bar

ในการทดลองควบคุมความดันคร่อมเยื่อแผ่นให้คงที่ (Pt) = 0.8 bar วัดอัตราการไหลของเพอมิเอททุกๆ 15 นาที ทำการกรองเป็นเวลา 2 ชั่วโมง ผลการทดลอง แสดงดังรูปที่ 4.2 พบว่าการไหลของเพอมิเอท (permeate) จะลดลงอย่างมากในช่วง 15 นาทีแรก ค่าฟลักซ์สัมพัทธ์ (J/Jo) ลดลงเหลือช่วง 0.40 – 0.50 การที่ค่าฟลักซ์ในช่วง 15 นาทีแรกมีการลดลงอย่างรวดเร็วค่อนข้างมาก เนื่องจากมีการสะสมของอนุภาคขนาดใหญ่บริเวณผิวหน้าเยื่อแผ่นสังเคราะห์ ทำให้มีความต้านทานในการกรองเพิ่มมากขึ้น และอาจเป็นไปได้ว่าอาจมีอนุภาคขนาดเล็กมากพวกโพลีแซคคาไรด์ โพลีฟีนอล ที่หลุดเข้าไปในรูแผ่นกรองเกิดการอุดตันภายใน (internal fouling) ทำให้ฟลักซ์ลดลงอย่างรวดเร็วในช่วงแรกๆ การที่ฟลักซ์ลดลงนั้นจะสัมพันธ์กับการเกาะยึดติด (aggregation) (Vernhet and Moutounet, 2002) ทำให้การไหลของเพอมิเอทลดลง หลังจากเวลาผ่านไป 60 นาที ความหนาของชั้นตะกอนบริเวณด้านหน้าผิวของเยื่อแผ่นสังเคราะห์ไม่ได้เพิ่มตามเวลาที่เพิ่มขึ้น จึงทำให้ค่าฟลักซ์สัมพัทธ์ลดลงช้าๆอย่างคงที่ อัตราการลดลงของฟลักซ์จะช้าลงและค่อนข้างคงที่ตั้งแต่ 60 นาทีจนกระทั่งสิ้นสุดการกรองโดยจะได้ค่าฟลักซ์เฉลี่ยเป็น 17,189 LMHในเวลา 2

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ชั่วโมง (หมายเหตุ การใช้ค่า J/Jo เนื่องจากฟลักซ์เริ่มต้นมีค่าไม่เท่ากันจึงใช้ในรูปสัมพัทธ์เพื่อความสะดวกในการเปรียบเทียบ)



รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างฟลักซ์สัมพัทธ์กับเวลาการกรองของไวน์สับปะรด

2. ไวน์กระเจี๊ยบแดง

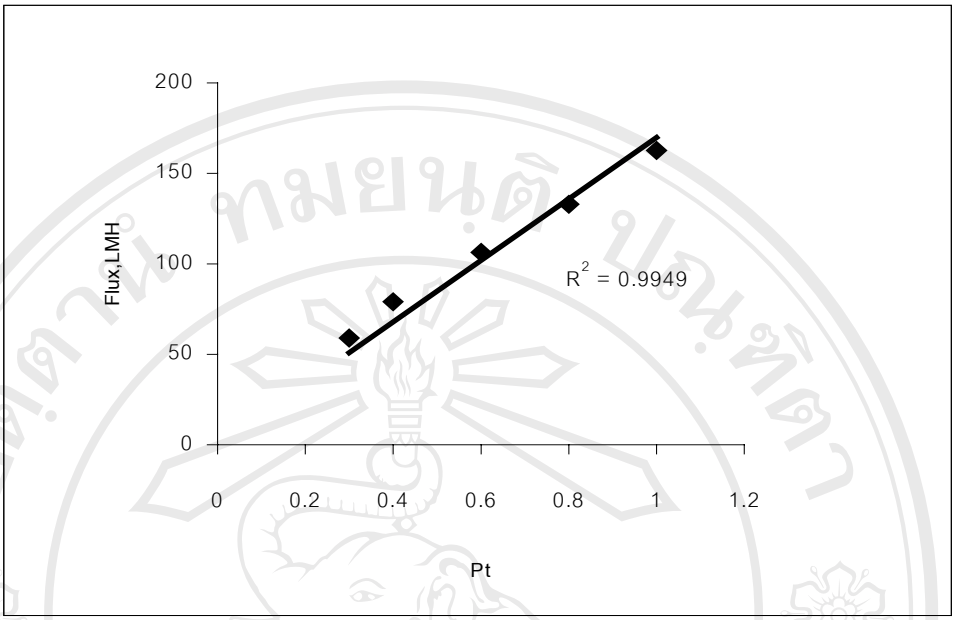
2.1 การทดลองกรองไวน์กระเจี๊ยบแดง (ไวน์แดง) ที่ความดัน 0.3 , 0.4 , 0.6 , 0.8 และ 1.0 bar เก็บข้อมูล 4 ซ้ำ หาค่าฟลักซ์เฉลี่ย ผลแสดงในรูปที่ 4.3 จะเห็นว่าแนวโน้มคล้ายกับไวน์สับปะรด คือความสัมพันธ์ระหว่างฟลักซ์กับความดันเป็นเส้นตรงดังสมการ

$$y = 114.49x + 25.974$$

โดยมีค่า $R^2 = 0.9949$

ในการทดลองเลือกความดัน 0.8 bar เหมือนกับไวน์สับปะรดกรองต่อเนื่องเป็นเวลา 2 ชั่วโมงติดต่อกัน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

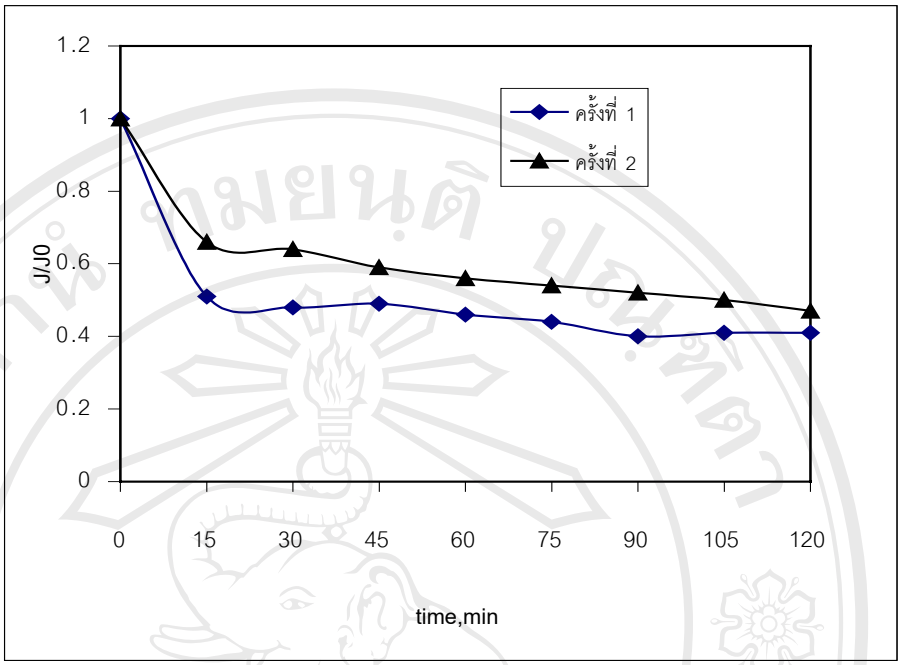


รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความดันและค่าฟลักซ์ของไวน์กระเจี๊ยบแดง

2.2 การกรองไวน์กระเจี๊ยบแดงที่ความดัน 0.8 bar

ทำการกรอง 2 ชั่วโมงต่อเนื่องโดยเก็บเพอมิเอททุก 15 นาที ทำการทดลอง 2 ซ้ำได้ผลดังแสดงในรูปที่ 4.4 จะเห็นว่าค่าฟลักซ์สัมพัทธ์ลดลงอย่างรวดเร็วในช่วง 15 นาทีแรก คือจะลดลงในช่วง 0.51-0.63 อัตราการลดลงของฟลักซ์สัมพัทธ์หลังจาก 15 นาทีผ่านไปจะมีลักษณะเดียวกันกับกรณีของไวน์สับปะรด กล่าวคือค่อนข้างจะคงที่เมื่อเวลาผ่านไป 60 นาที และเมื่อสิ้นสุดการกรองฟลักซ์ลดลงเหลือประมาณ 40-50 เปอร์เซ็นต์ และได้ฟลักซ์รวมเท่ากับ 9762.33 LMH ในเวลา 2 ชั่วโมง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved



รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างฟลักซ์สัมพัทธ์กับเวลาการกรองของไวน์กระเจี๊ยบแดง

4.4 คุณภาพของไวน์ก่อนและหลังการกรองด้วยเยื่อแผ่นสังเคราะห์

ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี กายภาพ และจุลินทรีย์เปรียบเทียบระหว่างไวน์กระเจี๊ยบแดงและไวน์สับปะรด สองชนิดก่อนและหลังการกรองมีดังนี้

1. คุณภาพทางเคมี

คุณภาพทางเคมีของไวน์ก่อน และหลังการกรองมีค่าใกล้เคียงกัน(ตารางที่4.9) ยกเว้นปริมาณ SO_2 ที่ลดลงหลังการกรองด้วยเยื่อแผ่นสังเคราะห์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งอาจเกิดจากซัลเฟอร์ไดออกไซด์จะอยู่ในรูปโมเลกุล (molecular, SO_2) bisulfite (HSO_3) และ sulfite anion (SO_3) (Margalit, 2004) ซึ่งโดยปกติโมเลกุลของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ไม่เสถียร การกรองด้วยเยื่อแผ่นสังเคราะห์มีการใช้ปั้มแรงดันสูงในการป้อนน้ำไวน์ ซึ่งจะทำให้ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ไม่เสถียรมากขึ้น จึงเกิดการสูญเสีย ทำให้มีปริมาณลดลง จากผลดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าการกรองด้วยเยื่อแผ่นสังเคราะห์มีผลน้อยมากต่อการเปลี่ยนแปลงทางเคมี

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ของไวน์ ซึ่งการกรองด้วยเยื่อแผ่นสังเคราะห์นี้ เป็นการกักอนุภาคขนาดใหญ่ไม่ใช่เป็นการกักอิออนหรือโมเลกุลขนาดเล็กๆ จึงไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของไวน์

2. คุณภาพทางกายภาพ

2.1 ความขุ่นของไวน์

2.1.1. ไวน์กระเจี๊ยบแดง ไวน์กระเจี๊ยบแดงที่ผ่านการกรองด้วยเยื่อแผ่นสังเคราะห์ให้ค่าความขุ่นน้อยกว่าไวน์ที่กรองด้วย filter press โดยแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) (ตารางที่ 4.9) ทั้งนี้ค่าความขุ่นของไวน์ที่กรองผ่าน filter press และเยื่อแผ่นสังเคราะห์ลดลงประมาณร้อยละ 97 และ 98 ตามลำดับ

2.1.2. ไวน์สับปะรด ไวน์สับปะรดที่ผ่านการตกตะกอน ก่อนนำมากรองมีค่าความขุ่นต่ำมากอยู่แล้ว เมื่อเทียบกับไวน์กระเจี๊ยบแดงเท่ากับ 1.98 และ 21.43 NTU ตามลำดับ เมื่อนำมา กรองด้วย filter press และเยื่อแผ่นสังเคราะห์ ให้ค่าความขุ่นไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) แต่แตกต่างทางสถิติจากไวน์ที่ไม่ผ่านการกรอง โดยมีค่าความขุ่นลดลงร้อยละ 66 และ 72 ตามลำดับ

2.2 ค่า light transmission

2.2.1 ไวน์กระเจี๊ยบแดง การกรองทั้ง 2 วิธีมีผลให้ค่า light transmission ของไวน์กระเจี๊ยบแดงเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 31.20 เป็น 33.60 และแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ซึ่งสอดคล้องกับค่าความขุ่นที่ลดลง

2.2.2 ไวน์สับปะรด พบว่าการกรองด้วย filter press และเยื่อแผ่นสังเคราะห์ให้ค่า light transmission ไม่แตกต่างกัน (ร้อยละ 99.33) และทำให้ได้ค่า light transmission สูงมากเช่นเดียวกัน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.8 ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี กายภาพ และจุลินทรีย์ของไวน์

	ไวน์กระเจี๊ยบแดง			ไวน์สับปะรด		
คุณภาพของไวน์	**หลังตกตะกอน**	**หลังกรอง filter press**	**หลังกรองเยื่อแผ่น**	**หลังตกตะกอน**	**หลังกรอง filter press**	**หลังกรองเยื่อแผ่น**
TSS(%)^{ns}	10.0±0.00	10.0±0.05	10.0±0.00	6.9±0.14	6.90±0.12	6.90±0.10
SO_2 (ppm)	87.9^{b} ±0.25	86.8^{b}±0.18	84.4^{a}±0.15	92.8^{b}±0.21	92.4^{b} ±0.15	89.8^{a}±0.12
Alcohol,%^{ns}	10.2±0.28	10.2±0.20	10.2±0.15	12.18±0.01	12.20±0.03	12.2±0.10
TA(g/l)^{ns}	3.13±0.03	3.11±0.28	3.12±0.05	4.87±0.05	4.90±0.10	4.89±0.08
VA(g/l)^{ns}	0.88±0.05	0.87±0.03	0.89±0.06	0.86±0.04	0.86±0.02	0.86±0.05
Red(g/l)^{ns}	18.7±0.14	18.6±0.14	18.4±0.05	1.9±0.14	1.89±0.03	1.86±0.25
pH^{ns}	2.96±0.10	2.96±0.15	2.97±0.18	3.61±0.01	3.61±0.01	3.60±0.02
Turbidity (NTU)	21.43^{c}±0.15	0.68^{b} ±0.03	0.50^{a}±0.01	1.98^{b} ±0.12	0.67^{a} ±0.12	0.56^{a}±0.04
Light transmission (%)	28.57^{a}±0.6	31.20^{b}±0.00	33.60^{c}±0.35	92.17^{a}±0.06	93.33^{b}±0.23	93.33^{b}±0.06
L*	24.41^{a}±0.01	24.62^{b}±0.01	24.8^{c} ±0.05	32.26^{a}±0.18	32.13^{a}±0.02	32.68^{b}±0.11
a*	5.04^{a} ±0.02	6.01^{b}±0.06	6.42^{c} ±0.01	-0.28^{a} ±0.15	-0.26^{b}±0.01	-0.21^{a} ±0.00
b*	1.95^{a} ±0.05	2.46^{b}±0.03	2.72^{c} ±0.01	2.55^{a}±0.05	2.44^{b}±0.01	2.26^{c} ±0.01
TPC(cfu/ml)	<250	<250	ไม่พบ	<250	<250	ไม่พบ
Yeast&Mold	<250	<250	ไม่พบ	<250	<250	ไม่พบ

^{ns} หมายถึง ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$)

ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกัน แสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

หมายเหตุ: TSS(%) = Total soluble solid

TA = Titrable acidity (as gl^{-1} citric acid)

VA = Volatile acidity (as gl^{-1} acetic acid)

Red = Reducing sugar (g/l)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

2.3 สีของไวน์

2.3.1 ไวน์กระเจี๊ยบแดง การกรองไวน์กระเจี๊ยบแดงด้วย filter press และเยื่อแผ่นสังเคราะห์ ให้ค่า L* , a* b* ของไวน์แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.005$) และแตกต่างจากไวน์ที่ยังไม่ผ่านการกรอง ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการกรองทั้งสองวิธีมีผลในการกักอนุภาคที่เกี่ยวกับสีของไวน์ โดยวิธีกรองด้วยเยื่อแผ่นสังเคราะห์มีผลมากกว่าการกรองด้วย filter press

2. 3.2 ไวน์สับปะรด การกรองด้วย filter press ให้ค่าความสว่าง (L*) ไม่แตกต่างจากไวน์หลังตกตะกอน ส่วนการกรองด้วยเยื่อแผ่นสังเคราะห์ทำให้ค่า L* และ a* เพิ่มขึ้นโดยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.005$) กับไวน์ที่กรองผ่าน filter press และไวน์หลังตกตะกอน ส่วนค่า b* การกรองทั้งสองวิธีให้ค่า b* แตกต่างกันและแตกต่างจากไวน์หลังตกตะกอน

3. คุณภาพทางจุลินทรีย์

จากการตรวจหาจุลินทรีย์ของไวน์กระเจี๊ยบแดงและไวน์สับปะรด ไวน์ที่กรองด้วย filter press ยังพบเชื้อจุลินทรีย์ เมื่อเทียบกับการกรองด้วยเยื่อแผ่นสังเคราะห์ ซึ่งไม่พบปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด รวมทั้งปริมาณยีสต์และรา แสดงว่าการกรองมีความสมบูรณ์ ทำให้ได้ไวน์ที่ปราศจากเชื้อจุลินทรีย์

เมื่อทำการทดลองบรรจุไวน์ทั้ง 2 ชนิดโดยใส่สารกันเสียโซเดียมเบนโซเอทปริมาณ 100 พีพีเอ็มและไม่ใส่เปรียบเทียบกัน โดยเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง 30 ± 2 องศาเซลเซียส ประมาณ 1 เดือน และนำมาตรวจหาจุลินทรีย์ปรากฏว่าไม่พบจุลินทรีย์ทั้งหมดในไวน์ที่ผ่านการกรองด้วยเยื่อแผ่นสังเคราะห์ (ตารางที่ 4.10) ส่วนการกรองด้วย filter press ตรวจพบจุลินทรีย์ทั้งในไวน์ที่ใส่และไม่ใส่สารกันเสียแต่มีจำนวนไม่เกิน 250 cfu/ml ซึ่งอาจเกิดจากปริมาณสารกันเสียที่ใช้ไม่พอที่จะยั้บยั้ง จากผลดังกล่าวสามารถยืนยันได้ว่าการกรองด้วยเยื่อแผ่นสังเคราะห์สามารถทำให้ไวน์ปลอดเชื้อได้จึงไม่จำเป็นต้องใช้สารกันเสียซึ่งจะมีผลให้มีความปลอดภัยในการบริโภคไวน์เพิ่มขึ้น

5. คุณภาพทางประสาทสัมผัส

ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสโดยการทดสอบความแตกต่างกันของตัวอย่างไวน์ที่ไม่ได้กรอง และที่ผ่านการกรองด้วย filter press เทียบกับการกรองด้วยเยื่อแผ่นสังเคราะห์ โดยใช้ผู้ทดสอบชิมทั้งหมด 17 คน พบว่าผู้ทดสอบชิมสามารถบอกถึงความแตกต่างของไวน์กระเจี๊ยบแดง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

ที่ไม่ได้กรองกับไวน์ที่ผ่านการกรองด้วย filter press โดยเฉพาะด้านความใสได้ถึง 16 ท่านจากจำนวน 17 ท่าน คิดเป็นร้อยละ 94.12 ส่วนไวน์สับปะรดผู้ทดสอบชิม 18 ท่าน ตอบถูกถึง 13 ท่าน คิดเป็นร้อยละ 72.22 ส่วนการทดสอบชิมเพื่อดูความแตกต่างระหว่างไวน์ตัวอย่างที่ผ่านการกรองด้วย Filter press เทียบกับการกรองด้วยเยื่อแผ่นสังเคราะห์ โดยใช้ผู้ทดสอบชิมจำนวน 40 ท่าน ทำการทดสอบแบบ Triangle test พบว่าสำหรับไวน์กระเจี๊ยบแดงผู้ทดสอบชิมจำนวนเพียง 14 ท่านที่แยกความแตกต่างของไวน์ได้ คิดเป็นร้อยละ35 ส่วนผู้ที่แยกไวน์ตัวอย่างไม่ได้มีจำนวน 26 ท่าน คิดเป็นร้อยละ 65 จึงถือว่าไวน์ที่นำมาทดสอบชิมไม่มีความแตกต่างกันที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p \geq 0.05$) ส่วนไวน์สับปะรดผู้ทดสอบชิมเพียง10 ท่าน คิดเป็นร้อยละ 25 ที่แยกความแตกต่างของไวน์ได้ ส่วน 30 ท่าน คิดเป็นร้อยละ75 ไม่สามารถแยกได้ ซึ่งถือว่าไวน์ที่นำมาทดสอบชิมไม่มีความแตกต่างกันที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p > 0.05$) อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาจากผลวิเคราะห์ในตารางที่ 4.9 และ 4.10 จะเห็นได้ว่าไวน์ที่กรองด้วยเยื่อแผ่นสังเคราะห์มีสมบัติต่างๆ ดีกว่าไวน์ที่กรองด้วย filter press ทุกประการ

ตารางที่ 4.9 ปริมาณจุลินทรีย์ในไวน์หลังการกรอง บรรจุ และเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 1 เดือน

ไวน์	วิธีการกรอง	ปริมาณเชื้อจุลินทรย์ทั้งหมด (cfu/ml)	ปริมาณยีสต์และรา (cfu/ml)
กระเจี๊ยบแดง	F-C	ไม่พบ	< 250
กระเจี๊ยบแดง	F+C	ไม่พบ	ไม่พบ
กระเจี๊ยบแดง	M-C	ไม่พบ	ไม่พบ
กระเจี๊ยบแดง	M+C	ไม่พบ	ไม่พบ
สับปะรด	F-C	< 250	ไม่พบ
สับปะรด	F+C	< 250	ไม่พบ
สับปะรด	M-C	ไม่พบ	ไม่พบ
สับปะรด	M+C	ไม่พบ	ไม่พบ

หมายเหตุ :

F-C = Filter press no sodium benzoate, F+C= Filterpress add sodium benzoate

M-C = Membrane no sodium benzoate, M+C= Membrane add sodium benzoate

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved