บทที่ 4

ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 องค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญของเนื้อทุเรียนบด

จากการทดลองข้อ 3.3.1 วิเคราะห์หาองค์ประกอบเคมีที่สำคัญของเนื้อทุเรียนสุกพันธุ์ชะนี ได้แก่ ความชื้น แป้ง เส้นใย และเพคติน ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 องค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญของเนื้อทุเรียนบด

องค์ประกอบทางเคมี	ร้อยละ
ความชื้น	65.7
แป้ง	14.8
เส้นใย	4.25
เพคติน	0.85

จากตารางที่ 4.1 จะเห็นว่าทุเรียนเป็นผลไม้ที่มีน้ำน้อย มีความชื้นอยู่ในปริมาณต่ำ สารโพลิแซคคาไรด์ที่พบในเนื้อทุเรียน เช่น แป้ง เส้นใย และเพคติน จะมีในปริมาณที่สูง จากผลการทดลองนี้จะเห็นได้ว่าสอดคล้องกับงานวิจัยของ Martin (1980) และ Stanton (1966) ที่พบว่าทุเรียนเป็นผลไม้ที่มีน้ำอยู่ประมาณร้อยละ 60 มีแป้งอยู่ประมาณร้อยละ 12 และ

มีคาร์โบไฮเดรตชนิดอื่นๆ เช่น เฮมิเซลลูโลส เซลลูโลส สารประกอบเพคติน และกัม อยู่ในปริมาณร้อยละ 12 เช่นกัน ซึ่งองค์ประกอบเหล่านี้มีปริมาณแตกต่างกันเล็กน้อย อาจเนื่องมาจากพันธุ์ของทุเรียน รวมทั้งแหล่งที่ปลูกและฤดูกาลผลิต เมื่อพิจารณาองค์ประกอบทางเคมีของผลไม้พวก pulpy fruit ชนิดอื่นๆ ได้แก่ กล้วยหอม มีปริมาณน้ำ แป้ง และเส้นใย อยู่ร้อยละ 75.2, 3.1 และ 2.8 ตามลำดับ ขนุนมีน้ำ แป้ง และเส้นใย ในปริมาณร้อยละ 75.4, 0.4 และ 3.0 ตามลำดับ ส่วนมะม่วงและมะละกอจะพบว่ามีน้ำอยู่ร้อยละ 82.8 และ 89.3 ตามลำดับ มะละกอไม่พบแป้งอยู่เลย แต่ในมะม่วงมีแป้งในปริมาณร้อยละ 0.5 (สมบูรณ์ ผู้พัฒน์, 2530) จากงานวิจัยของ Sreekantiah และคณะ (1971) พบว่าการสกัดน้ำผลไม้จากกล้วย มะม่วง มะละกอ และขนุน จะบีบคั้นน้ำออกมาได้ยากหรือไม่ได้เลย และจากการใช้เอนไซม์เพคติเนสเข้มข้นช่วยในการสกัด สามารถสกัดน้ำผลไม้ออกมาได้ร้อยละ 98, 92, 85 และ 78 โดยน้ำหนัก (เทียบกับน้ำหนักเนื้อผลไม้สด) ตามลำดับ Whitaker (1984) ได้รายงานว่าในเนื้อเยื่อพืชพบโพลิแซคคาไรด์ ได้แก่ แป้ง เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส สารประกอบเพคติน และลิกนิน สารประกอบเหล่านี้พบอยู่ในเซลล์พาเรนไคมาของเนื้อเยื่อผลไม้ โดยสารประกอบเพคตินจะพบในส่วนของ middle lamella และ primary cell wall ส่วนเซลลูโลสพบอยู่ในส่วนของ primary และ secondary cell wall โดยสารประกอบเพคตินบางส่วนที่อยู่ในเนื้อเยื่อผลไม้จะอยู่ในลักษณะที่จับกับเส้นใยของเซลลูโลส โดยเฉพาะสายข้างของเฮมิเซลลูโลสทำให้จับกับน้ำได้ดี เป็นผลทำให้ไม่สามารถสกัดน้ำผลไม้โดยวิธีทางกลออกมาได้ทั้งหมดหรือออกมาได้ยาก จึงจำเป็นต้องอาศัยเพคติเนสเข้าช่วย เพื่อเปลี่ยนสารประกอบเพคตินบางส่วนหรือทั้งหมด (Janda, 1983) Dupaigne และ Dalmic (1965) ก็ได้รายงานว่า การบีบคั้นหรือสกัดน้ำผลไม้จากผลไม้พวกไม้ผลเขตร้อนเช่นกล้วยซึ่งมีเนื้อมาก จะต้องใช้พลังงานในการสกัดน้ำผลไม้สูงมาก แต่เมื่อใช้เอนไซม์ช่วยในการสกัดจะทำให้การบีบคั้นทำได้ง่ายขึ้น และทำให้ผลผลิตน้ำผลไม้มีปริมาณมากขึ้นด้วย จากการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของผลไม้ และข้อดีของการใช้เอนไซม์ในการสกัดน้ำผลไม้ประเภท pulpy fruit จึงมีแนวโน้มที่จะนำมาใช้ในการสกัดหัวน้ำเชื้อทุเรียนเข้มข้นโดยอาศัยเอนไซม์ช่วยในการย่อยสลายสารโมเลกุลใหญ่ให้มีโมเลกุลเล็กลงและทำให้ของเหลวภายในเซลล์ออกสู่ภายนอกเซลล์ได้ โดยเอนไซม์จะไม่ทำลายส่วนของ

กลิ่นรสของผลไม้ซึ่งอยู่ในส่วนที่สกัด ดังนั้น ของเหลวที่ได้ออกมาจึงมีกลิ่นและรสธรรมชาติของผลไม้นั้น เอนไซม์ที่ใช้ในการสกัดน้ำผลไม้ทางการค้าส่วนใหญ่จะเป็นเอนไซม์ในกลุ่มเพคติเนส มีลักษณะเป็นเอนไซม์ผสม เช่น Rohament P ซึ่งมีเอนไซม์หลักคือ endopolygalacturonase และมีเอนไซม์ผสมของ cellulase, hemicellulase, β-glucanase, protease ในปริมาณสัดส่วนของเอนไซม์ต่างๆกัน (Sreenath และคณะ, 1984) ซึ่งเอนไซม์เพคติเนสที่ผลิตเป็นการค้าส่วนใหญ่จะผลิตเพื่อใช้กับผลไม้ที่มีแป้งและเส้นใยอยู่ในปริมาณที่ต่ำ ดังนั้น การใช้เอนไซม์เพคติเนสที่ผสมเซลลูเลสหรือเฮมิเซลลูเลสอยู่แล้ว เช่น Pectinex Ultra SP-L ของบริษัท Novo Industri A/S เมื่อใช้ในการสกัดน้ำผลไม้จากผลไม้ที่มีแป้งและเส้นใยในปริมาณต่ำ ก็สามารถสกัดน้ำผลไม้ได้เพิ่มมากขึ้น Sreekantiah และคณะ (1987) ได้ทำการทดลองใช้เพคติเนสและเซลลูเลสทางการค้า รวมทั้งเพคติเนสและเซลลูเลสที่สกัดจากเชื้อจุลินทรีย์ย่อยสลายเนื้อมะม่วงบด พบว่าเมื่อใช้เพคติเนสและเซลลูเลสทางการค้าจะสามารถลดความหนืดของเนื้อมะม่วงบดได้ร้อยละ 73-82 แต่เมื่อใช้เอนไซม์เพคติเนสและเซลลูเลสที่สกัดจากเชื้อจุลินทรีย์จะสามารถลดความหนืดของเนื้อมะม่วงบดได้เพียงร้อยละ 41 และ 64 ตามลำดับ ดังนั้น จะเห็นได้ว่าการใช้เอนไซม์ทางการค้าจะมีประสิทธิภาพดีกว่า เนื่องจากเป็นเอนไซม์ผสมหลายชนิด และสามารถย่อยสลายสับเสตรทที่มีโครงสร้างเชิงซ้อนได้ เช่น สารโพลิแซคคาไรด์ที่พบในเนื้อเยื่อผลไม้ จากองค์ประกอบที่สำคัญที่พบในทุเรียนนี้ จึงเลือกใช้เอนไซม์ในกลุ่มเพคติเนส เซลลูเลส และอะมัยเลส ในการย่อยสลายสารประกอบเพคติน เซลลูโลส และแป้ง ตามลำดับ เพื่อให้สกัดหัวน้ำเชื้อทุเรียนเข้มข้นออกมาได้ ถึงแม้ว่าเพคติเนสทางการค้าจะมีส่วนผสมของเอนไซม์ชนิดอื่นอยู่ด้วย แต่ก็ไม่เพียงพอที่จะสามารถสกัดเอาน้ำทุเรียนออกมาได้ ดังนั้นจึงต้องอาศัยเอนไซม์เซลลูเลสและอะมัยเลส เพื่อช่วยให้ประสิทธิภาพในการสกัดน้ำผลไม้ดีขึ้นกว่าการใช้เอนไซม์เพคติเนสเพียงชนิดเดียว

จากการทดลองเบื้องต้น ได้ทำการเลือกใช้เอนไซม์ทางการค้าในกลุ่มของเพคติเนส โดยใช้เอนไซม์ Pectinex Ultra SP-L ของบริษัท Novo Industri A/S และเอนไซม์ Rohapect TF, Rohapect D5L จากบริษัท Rohm GmbH Darmstadt ส่วนเอนไซม์ในกลุ่ม

ของอะมัยเลสได้ทำการเลือกเอนไซม์ AMG และ Ban 240 L จากบริษัท Novo Industri A/S และเอนไซม์ Rohalase M3 กับ VERON AP ของบริษัท Rohm GmbH Darmstadt ได้ผลดังแสดงในภาคผนวก ก.3 จากการคัดเลือกเอนไซม์ทางการค้าที่จะนำมาสกัดหัวน้ำเชื้อทุเรียนนี้ จะเห็นได้ว่าเอนไซม์ทางการค้าแต่ละชนิดจะมีประสิทธิภาพในการสกัดที่แตกต่างกัน เนื่องมาจากอัตราส่วนของส่วนผสมของเอนไซม์แต่ละชนิดในแต่ละบริษัทจะแตกต่างกัน ดังนั้น ในการสกัดหัวน้ำเชื้อทุเรียนเข้มข้นจึงเลือกใช้เอนไซม์ร่วมกันสามชนิด คือ เพคติเนส (Pectinex Ultra SP-L), เซลลูเลส (Celluclast 1.5 L) และอะมัยเลส (Rohalase M3) ซึ่งในการทดลองขั้นต่อไปจะทำการศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดหัวน้ำเชื้อทุเรียนเข้มข้น โดยจะศึกษาถึงปัจจัยที่มีผลต่อการสกัด ได้แก่ อุณหภูมิ ความเข้มข้น ของแต่ละเอนไซม์ และเวลาที่เหมาะสมในการสกัด ซึ่งจะพิจารณาหาสภาวะที่เหมาะสมที่จะให้ปริมาณผลผลิตของหัวน้ำเชื้อทุเรียนสูงที่สุด แต่สิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายน้อย

4.2 สภาวะที่เหมาะสมในการสกัดหัวน้ำเชื้อทุเรียนเข้มข้น

ทำการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการสกัดหัวน้ำเชื้อทุเรียนได้แก่ อุณหภูมิซึ่งเป็นปัจจัยที่สำคัญที่สุด ที่มีผลต่อแอคติวิตีของเอนไซม์ ต่อมาจะศึกษาถึงความเข้มข้นที่เหมาะสม เวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา โดยจะพิจารณาถึงปริมาณผลผลิตของหัวน้ำเชื้อทุเรียนที่ได้เป็นสำคัญ เพื่อให้ได้ปริมาณผลผลิตสูงที่สุดและสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายน้อยที่สุด

4.2.1 อุณหภูมิที่เหมาะสมในการสกัดหัวน้ำเชื้อทุเรียน

4.2.1.1 อุณหภูมิที่เหมาะสมของเพคติเนส เซลลูเลส และอะมัยเลส แต่ละชนิด

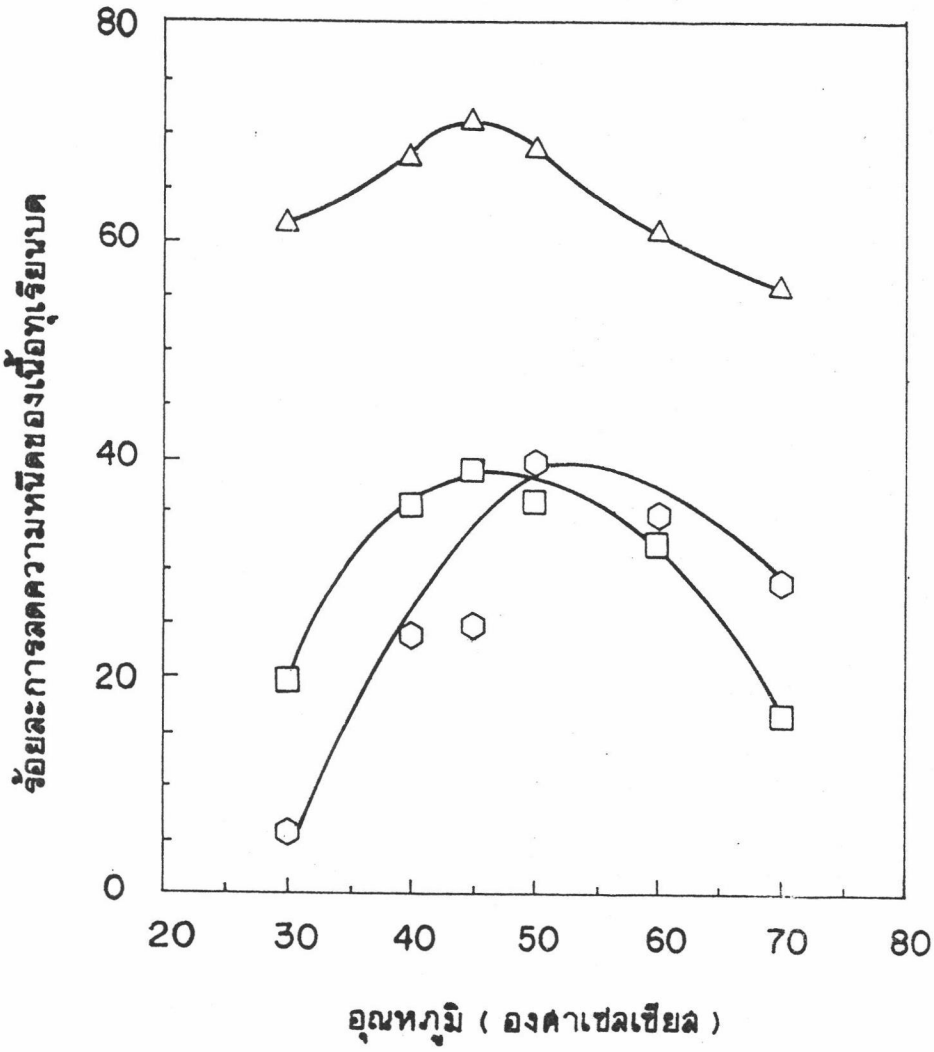
จากการทดลองข้อ 3.3.2.1.1 หาอุณหภูมิที่เหมาะสมของเพคติเนส เซลลูเลส และ

อะมัยเลส ในการสกัดหัวน้ำเชื้อทุเรียน โดยแปรอุณหภูมิในการบ่ม 6 ระดับ คือ 30, 40, 45, 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส ใช้ความเข้มข้นของเอนไซม์แต่ละชนิดร้อยละ 2 โดยปริมาตร/น้ำหนักเนื้อทุเรียนบด ใช้เวลาในการทำปฏิกิริยา 3 ชั่วโมง ติดตามค่าร้อยละของการลดความหนืดของเนื้อทุเรียนบดให้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.2 และรูปที่ 4.1

ตารางที่ 4.2 ค่าร้อยละของการลดความหนืดของเนื้อทุเรียนบด เมื่อใช้เพคติเนส เซลลูเลส และอะมัยเลส ชนิดเดียวที่อุณหภูมิต่างๆกัน

อุณหภูมิ (°C)	ค่าร้อยละของการลดความหนืด ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (% viscosity reduction)		
	เพคติเนส	เซลลูเลส	อะมัยเลส
30	62.06 ± 1.26^{c}	5.75 ± 1.56^{d}	19.81 ± 1.36^{c}
40	68.24 ± 1.44^{b}	23.86 ± 0.74^{c}	35.84 ± 1.79^{b}
45	71.67 ± 0.59^{a}	24.33 ± 1.13^{c}	39.17 ± 0.57^{a}
50	68.85 ± 1.35^{b}	40.02 ± 1.01^{a}	35.98 ± 0.71^{b}
60	61.02 ± 0.43^{c}	34.62 ± 0.57^{ab}	32.22 ± 1.19^{b}
70	55.89 ± 0.31^{d}	28.80 ± 1.24^{bc}	16.59 ± 1.19^{c}

a,b,c,d ตัวเลขที่มีตัวอักษรกำกับต่างกันที่ระดับความเข้มข้นของเอนไซม์เดียวกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)



รูปที่ 4.1 ค่าร้อยละของการลดความหนืดของเนื้อทุเรียนบดที่สกัดโดยใช้เพคติเนส (△—△) เซลลูเลส (⬡—⬡) และอะมัยเลส (□—□) ที่อุณหภูมิต่างๆ

ในการทดลองนี้ ได้ศึกษาปัจจัยของอุณหภูมิเป็นปัจจัยแรก เนื่องจากอุณหภูมิเป็นปัจจัยที่สำคัญที่สุดที่มีผลทำให้แอคติวิตีของเอนไซม์สูงหรือต่ำ ดังนั้น ในการหาอุณหภูมิที่เหมาะสมจะพิจารณาถึงอุณหภูมิที่เหมาะสมของแต่ละเอนไซม์ ที่ให้ค่าร้อยละของการลดความหนืดของเนื้อทุเรียนบดที่สูงที่สุด จากตารางที่ 4.2 และรูปที่ 4.1 พบว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมของเพคติเนสคือที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส จะมีค่าร้อยละของการลดความหนืดของเนื้อทุเรียนบดที่สูงสุดเท่ากับร้อยละ 71.67 ซึ่งมีค่าแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อเทียบกับที่อุณหภูมิอื่นๆ การสกัดเนื้อทุเรียนบดโดยการใช้เซลลูเลสเข้มข้นร้อยละ 2 โดยปริมาตร/น้ำหนักเนื้อทุเรียนบด ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส จะให้ค่าร้อยละของการลดความหนืดของเนื้อทุเรียนบดสูงที่สุด เท่ากับร้อยละ 40.02 ซึ่งมีค่าไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) กับที่

อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ดังนั้นจะถือว่าที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมของเซลลูเลส ส่วนอะมัยเลสจะพบว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมในการสกัดหัวน้ำเชื้อทุเรียนเข้มข้นคือที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส ซึ่งจะมีค่าร้อยละของการลดความหนืดของเนื้อทุเรียนบดสูงสุดเป็นร้อยละ 39.17 ซึ่งมีค่าแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อเทียบกับที่อุณหภูมิอื่นๆ จากผลการทดลองในขั้นตอนนี้จะนำไปใช้ในการทดลองข้อ 3.3.2.3.2 ซึ่งจะต้องใช้ในการทดลองหาระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาย่อยสลายเนื้อทุเรียนบดที่เหมาะสมในการใช้เอนไซม์เพคติเนส เซลลูเลส และอะมัยเลส ร่วมกันสามชนิดภายใต้ภาวะปฏิกิริยาตามลำดับต่อไป

จากตารางที่ 4.2 และรูปที่ 4.1 จะเห็นได้ว่า อุณหภูมิจะมีอิทธิพลต่อแอคติวิตีของเอนไซม์ (Stauffer, 1989) คืออุณหภูมิจะไปมีผลทำให้เพิ่มอัตราเร็วในการเกิดปฏิกิริยา เนื่องจากการเพิ่มอุณหภูมิเป็นการเพิ่มพลังงานจลน์ให้กับโมเลกุลของเอนไซม์ ทำให้สัดส่วนของโมเลกุลเอนไซม์ที่มีพลังงานเท่ากับพลังงานกระตุ้นของปฏิกิริยาที่สารเชิงซ้อนระหว่างเอนไซม์กับสับเสตรทจะเปลี่ยนเป็นผลิตภัณฑ์เพิ่มมากขึ้น ซึ่งจะทำให้อัตราเร็วของปฏิกิริยาเพิ่มมากขึ้น เมื่อเพิ่มอุณหภูมิถึงจุดหนึ่งจะเป็นการเพิ่มอัตราการยับยั้งแอคติวิตีของเอนไซม์ เนื่องจากเอนไซม์เป็นโปรตีนจะเสียสภาพของโปรตีน (protein denaturation) ไปด้วยความร้อนสูง จากข้อมูลของ Novo (1985) รายงานว่า เอนไซม์ Pectinex Ultra SP-L จะสามารถทำงานได้ในช่วงอุณหภูมิ 8-55 องศาเซลเซียส ที่อุณหภูมิสูงกว่า 55 องศาเซลเซียส พบว่าเอนไซม์บางส่วนถูกยับยั้งการทำงาน ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองนี้ คืออุณหภูมิที่เหมาะสมจะอยู่ในช่วง 45 องศาเซลเซียส ส่วนเอนไซม์ Celluclast 1.5 L (Novo, 1989) อุณหภูมิที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 50-60 องศาเซลเซียส จากการทดลอง อุณหภูมิที่เหมาะสมของเซลลูเลสที่ใช้ในการสกัดเนื้อทุเรียนบดคือที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส จากรายงานของ Rohm (1988) พบว่า Rohalase M3 จะมีอุณหภูมิที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 45-55 องศาเซลเซียส จากการทดลองอุณหภูมิที่เหมาะสมที่ใช้ในการสกัดหัวน้ำเชื้อทุเรียนเข้มข้น คือที่ 45 องศาเซลเซียส อุณหภูมิที่เหมาะสมของแต่ละเอนไซม์นี้ จะนำไปใช้เป็นสภาวะในการสกัดหัวน้ำเชื้อทุเรียนเข้มข้น เนื่องจากที่อุณหภูมินี้เป็นอุณหภูมิที่ต่ำที่สุด ที่ให้ค่าร้อยละของการลดความหนืดของเนื้อทุเรียนบดสูงที่สุด

โดยเสียค่าใช้จ่ายและเปลืองพลังงานน้อย จึงน่าที่จะสามารถพัฒนาการผลิตหัวน้ำเชื้อทุเรียนเข้มข้นไปสู่ระดับอุตสาหกรรมได้

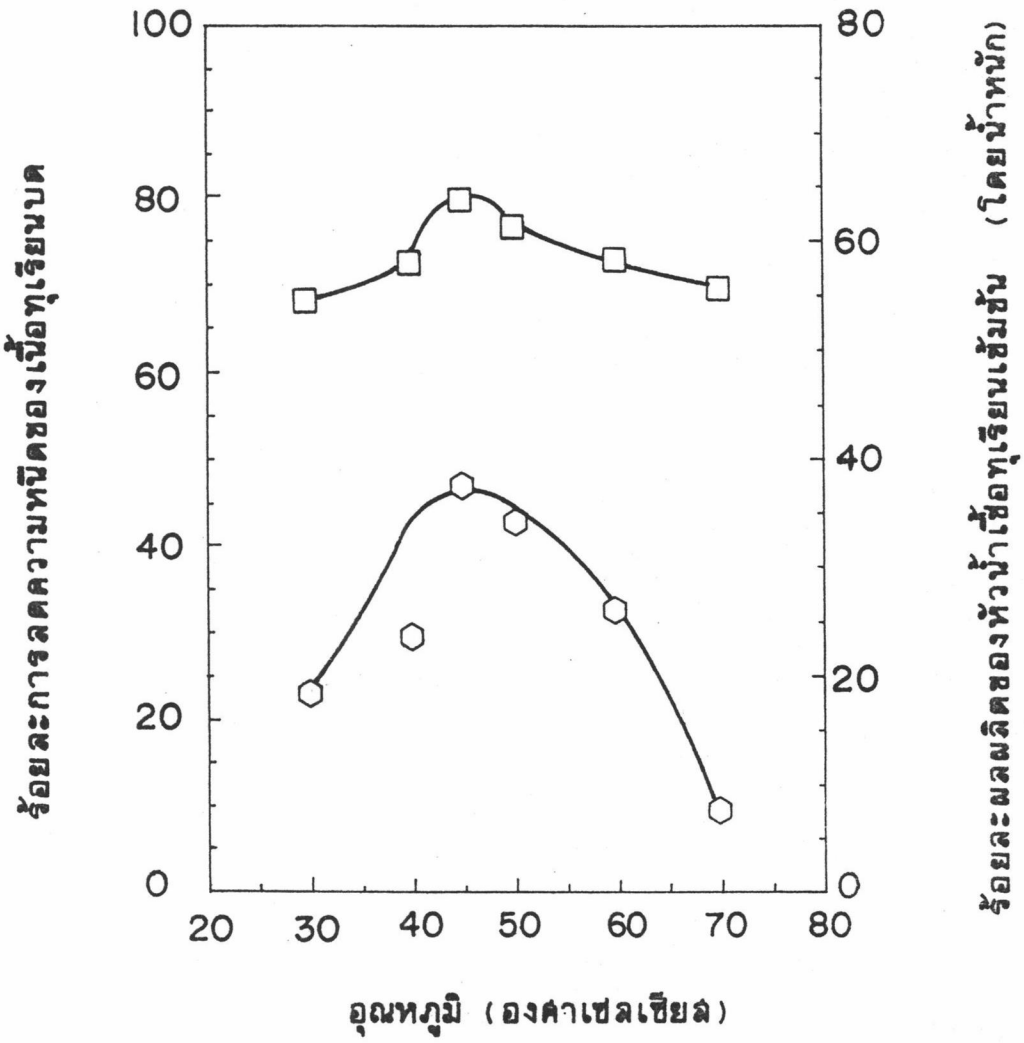
4.2.1.2 อุณหภูมิที่เหมาะสมของการใช้เอนไซม์ร่วมกันของเพคติเนส เซลลูเลส และอะมัยเลส ภายใต้ภาวะปฏิกิริยาแบบต่อเนื่อง

จากการทดลองในข้อ 3.3.2.1.2 หาอุณหภูมิที่เหมาะสมของเพคติเนส เซลลูเลส และอะมัยเลส ในการสกัดหัวน้ำเชื้อทุเรียนโดยการใช้เอนไซม์ร่วมกันสามชนิด ภายใต้ภาวะปฏิกิริยาแบบต่อเนื่อง โดยแปรอุณหภูมิในการบ่ม 6 ระดับคือ 30, 40, 45, 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส ใช้ความเข้มข้นของเอนไซม์แต่ละชนิดร้อยละ 0.5 โดยปริมาตร/น้ำหนักเนื้อทุเรียนบด ใช้เวลาในการทำปฏิกิริยา 3 ชั่วโมง ติดตามค่าร้อยละของการลดความหนืดของเนื้อทุเรียนบด และค่าร้อยละผลผลิตของหัวน้ำเชื้อทุเรียนเข้มข้น ให้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.3 และรูปที่ 4.2

ตารางที่ 4.3 ค่าร้อยละของการลดความหนืดของเนื้อทุเรียนบดและค่าร้อยละของผลผลิตหัวน้ำเชื้อทุเรียน เมื่อใช้เพคติเนส เซลลูเลส และอะมัยเลส ร่วมกันภายใต้ภาวะปฏิกิริยาแบบต่อเนื่อง บ่มที่อุณหภูมิต่างๆ

อุณหภูมิ (°C)	ค่าร้อยละของการลดความหนืด ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (% viscosity reduction)	ค่าร้อยละของผลผลิตหัวน้ำเชื้อทุเรียน ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (% yield)
30	68.23 ± 0.32^{c}	18.57 ± 1.36^{c}
40	72.45 ± 0.75^{bc}	23.94 ± 0.69^{bc}
45	79.97 ± 1.58^{a}	38.01 ± 0.98^{a}
50	76.79 ± 0.82^{a}	34.22 ± 2.77^{a}
60	72.96 ± 0.35^{b}	26.29 ± 1.76^{b}
70	69.71 ± 1.10^{bc}	7.51 ± 0.13^{d}

a,b,c,d ตัวเลขที่มีตัวอักษรกำกับต่างกันที่ระดับความเข้มข้นของเอนไซม์เดียวกัน แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)



รูปที่ 4.2 ค่าร้อยละของการลดความหนืด (□—□) และค่าร้อยละของผลผลิตหัวน้ำเชื้อทุเรียน (⬡—⬡) เมื่อสกัดหัวน้ำเชื้อทุเรียนเข้มข้นภายใต้ภาวะปฏิกิริยาแบบต่อเนื่อง บ่มที่อุณหภูมิต่างๆ

จากตารางที่ 4.3 และรูปที่ 4.2 จะเห็นว่าที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส จะมีค่าร้อยละของการลดความหนืด และค่าร้อยละของผลผลิตสูงที่สุดคือร้อยละ 79.97 และร้อยละ 38.01 ตามลำดับ ซึ่งมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) กับที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ซึ่งถือว่าอุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส เป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมในการสกัดหัวน้ำเชื้อทุเรียน โดยการใช้เอนไซม์ร่วมกันสามชนิดภายใต้ภาวะปฏิกิริยาแบบต่อเนื่องในการทดลองขั้นต่อไป ในการสกัดหัวน้ำเชื้อทุเรียนเข้มข้นโดยการใช้เอนไซม์ร่วมกันสามชนิดภายใต้ภาวะ

ปฏิกิริยาแบบต่อเนื่อง อุณหภูมิที่เหมาะสมที่ใช้ในการสกัดจะอยู่ที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส เนื่องจากที่อุณหภูมินี้เป็นอุณหภูมิที่ต่ำที่สุด ที่ให้ค่าร้อยละของการลดความหนืดของเนื้อทุเรียนบด และค่าร้อยละผลผลิตของหัวน้ำเชื้อทุเรียนเข้มข้นสูงที่สุด โดยสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายและพลังงานน้อย จึงเหมาะที่จะเลือกใช้อุณหภูมินี้เป็นภาวะในการสกัดหัวน้ำเชื้อทุเรียนเข้มข้นในระดับอุตสาหกรรมได้ แต่ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส จะเป็นอุณหภูมิที่ให้ค่าร้อยละของการลดความหนืดและค่าร้อยละของผลผลิตหัวน้ำเชื้อทุเรียนน้อยกว่าที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียสเล็กน้อย แต่ต้องเสียค่าใช้จ่ายและเปลืองพลังงานมากขึ้น

เมื่อได้อุณหภูมิที่เหมาะสมที่ให้แอคติวิตีของเอนไซม์สูงที่สุด ซึ่งจะให้ปริมาณผลผลิตของหัวน้ำเชื้อทุเรียนสูงที่สุด และลดความหนืดของเนื้อทุเรียนบดมากที่สุด จะนำไปใช้ในการหาความเข้มข้นและระยะเวลาที่เหมาะสมที่ใช้ในการสกัดหัวน้ำเชื้อทุเรียนเข้มข้น ซึ่งเป็นปัจจัยรองลงมา

4.2.2 ผลของความเข้มข้นของการใช้เอนไซม์ร่วมกันของเพคติเนส เซลลูเลส และอะมัยเลส ที่เหมาะสมภายใต้ภาวะปฏิกิริยาแบบต่อเนื่อง

จากการทดลองข้อ 3.3.2.2 หาความเข้มข้นของเพคติเนส เซลลูเลส และอะมัยเลสที่เหมาะสม โดยแปรความเข้มข้นของเพคติเนส เซลลูเลส และอะมัยเลส อย่างละ 3 ระดับ คือร้อยละ 0.5, 1.0 และ 1.5 โดยปริมาตร/น้ำหนักเนื้อทุเรียนบด บ่มที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ภายใต้ภาวะปฏิกิริยาแบบต่อเนื่อง ติดตามค่าร้อยละของการลดความหนืดของเนื้อทุเรียนบด (% viscosity reduction) และค่าร้อยละของผลผลิตหัวน้ำเชื้อทุเรียน (% yield) ให้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.4 หลักเกณฑ์ในการพิจารณาหาความเข้มข้นที่เหมาะสม จะพิจารณาจากปริมาณผลผลิตของหัวน้ำเชื้อทุเรียนเข้มข้นที่ได้จากการสกัด โดยจะเลือกใช้ที่ระดับความเข้มข้นที่ต่ำที่สุดที่จะทำให้ได้ปริมาณผลผลิตของหัวน้ำเชื้อทุเรียนเข้มข้นสูงที่สุด

ตารางที่ 4.4 ค่าร้อยละของผลผลิตหัวน้ำเชื้อทุเรียนเข้มข้น เมื่อใช้ความเข้มข้นของเพคติเนส เซลลูเลส และอะมัยเลส ที่ระดับต่างๆ บ่มที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 3 ชั่วโมง ภายใต้ภาวะปฏิกิริยาแบบต่อเนื่อง

ความเข้มข้นของเพคติเนส (% V/W)	ความเข้มข้นของเซลลูเลส (% V/W)	ค่าร้อยละของผลผลิตหัวน้ำเชื้อทุเรียนเข้มข้น (% yield)		
		ความเข้มข้นของอะมัยเลส (% V/W)		
		0.5	1.0	1.5
0.5	0.5	40.03^{d}	31.66	27.50
	1.0	29.32	36.72	41.50^{cd}
	1.5	39.49	39.63	35.46
1.0	0.5	40.42^{d}	43.62^{bc}	39.05
	1.0	28.59	33.34	38.26
	1.5	39.26	41.64^{cd}	44.97^{b}
1.5	0.5	45.76^{ab}	35.60	40.59^{d}
	1.0	48.26^{a}	52.14^{a}	38.35
	1.5	35.03	35.83	39.45

a,b,c,d ตัวเลขที่มีตัวอักษรกำกับต่างกันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เนื่องจากมีตัวอักษรกำกับตัวเลขที่ต่างกันมาก จึงขอแสดงตัวอักษรกำกับตัวเลขค่าเฉลี่ยเพียงบางค่า

ข้อมูลจากตารางที่ 4.4 เมื่อนำมาวิเคราะห์ความแปรปรวนให้ผลดังตารางที่ 4.5 พบว่าปัจจัยร่วมมีผลต่อค่าร้อยละของผลผลิตหัวน้ำเชื้อทุเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ดังนั้น การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยร้อยละของผลผลิตหัวน้ำเชื้อทุเรียนเข้มข้นโดยวิธี Duncan's new multiple range test จึงพิจารณาทั้ง 3 ปัจจัยร่วมกัน ดังแสดงในตารางที่ 4.4

หลักเกณฑ์ในการพิจารณาคัดเลือกระดับความเข้มข้นของเอนไซม์ที่เหมาะสม จะพิจารณาจากค่าเฉลี่ยร้อยละของผลผลิตหัวน้ำเชื้อทุเรียนเข้มข้นที่มีค่าเกินร้อยละ 40 ขึ้นไป ดังนั้น ในการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยร้อยละของผลผลิตหัวน้ำเชื้อทุเรียนเข้มข้นโดยวิธี Duncan's new multiple rang test จึงกำกับตัวอักษรเฉพาะค่าที่มากกว่าร้อยละ 40 ขึ้นไป จะเห็นได้ว่าความเข้มข้นของเพคติเนส เซลลูเลส และอะมัยเลส ที่ระดับร้อยละ 0.5, 0.5, 0.5; 1.0, 0.5, 0.5; 1.5, 0.5, 1.5; 0.5, 1.0, 1.5 และ 1.0, 1.5, 1.0 มีค่าเฉลี่ยร้อยละของผลผลิตของหัวน้ำเชื้อทุเรียน 40.03, 40.42, 40.59, 41.50 และ 41.64 ตามลำดับ ซึ่งมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ดังนั้นในการเลือกระดับความเข้มข้นจะเลือกที่ระดับความเข้มข้นที่ใช้ปริมาณเอนไซม์ต่ำที่สุด ที่ทำให้ได้ปริมาณผลผลิตของหัวน้ำเชื้อทุเรียนเข้มข้นสูงที่สุด นั่นก็คือที่ระดับความเข้มข้นของเพคติเนส เซลลูเลส และอะมัยเลส ร้อยละ 0.5, 0.5 และ 0.5 โดยปริมาตร/น้ำหนักของเนื้อทุเรียนบด ตามลำดับ ที่ความเข้มข้นของเพคติเนส เซลลูเลส และอะมัยเลส ร้อยละ 1.0, 0.5, 1.0; 1.0, 1.5, 1.5 และ 1.5, 0.5, 0.5 มีค่าร้อยละของผลผลิตของหัวน้ำเชื้อทุเรียน 43.62, 44.97 และ 45.76 ตามลำดับ ซึ่งมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ดังนั้นในการเลือกระดับความเข้มข้นจะเลือกที่ระดับความเข้มข้นที่ใช้ปริมาณเอนไซม์ต่ำที่สุด นั่นก็คือที่ระดับความเข้มข้นของเพคติเนส เซลลูเลส และอะมัยเลส ร้อยละ 1.0, 0.5 และ 1.0 โดยปริมาตร/น้ำหนักทุเรียนบด ตามลำดับ และที่ระดับความเข้มข้นของเพคติเนส เซลลูเลส และอะมัยเลส เป็นร้อยละ 1.5, 1.0, 0.5 และ 1.5, 1.0, 1.0 จะมีค่าร้อยละของผลผลิตของหัวน้ำเชื้อทุเรียนสูงที่สุดคือ 48.26 กับ 52.14 ตามลำดับ ซึ่งทั้งสองค่านี้ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ดังนั้น ในการเลือกระดับความเข้มข้นที่เหมาะสมในช่วง

นี้ จะเลือกที่ระดับความเข้มข้นของเพคติเนสร้อยละ 1.5 ความเข้มข้นของเซลลูเลสร้อยละ 1.0 และความเข้มข้นของอะมัยเลสร้อยละ 0.5 โดยปริมาตร/น้ำหนักเนื้อทุเรียนบด ซึ่งจะได้ความเข้มข้นของเอนไซม์ที่เหมาะสม ที่ให้ค่าร้อยละของการลดความหนืดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติออกมา 3 ระดับ ซึ่งจะนำไปใช้ทำการทดลองขั้นต่อไป

ตารางที่ 4.5 การวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าร้อยละของผลผลิตหัวน้ำเชื้อทุเรียนเมื่อใช้ความเข้มข้นของเพคติเนส เซลลูเลส และอะมัยเลส ที่ระดับต่างๆ และบ่มที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 3 ชั่วโมง ภายใต้ภาวะปฏิกิริยาแบบต่อเนื่อง

ปัจจัย	df	SS.	MS.	ค่า F
ความเข้มข้นของเพคติเนส (A)	2	413.43	206.71	71.27*
ความเข้มข้นของเซลลูเลส (B)	2	7.31	3.66	1.26
ความเข้มข้นของอะมัยเลส (C)	2	4.69	2.34	0.81
A TIME B	4	917.06	229.26	79.04*
A TIME C	4	168.41	42.10	14.52*
B TIME C	4	356.64	89.16	30.74*
A * B * C	8	687.98	86.00	29.65*
ERROR	54	156.62	2.90	

* แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.6 ค่าร้อยละของการลดความหนืดของเนื้อทุเรียนบด เมื่อใช้ความเข้มข้นของเพคติเนส เซลลูเลส และอะมัยเลส ที่ระดับต่างๆ บ่มที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 3 ชั่วโมง ภายใต้ภาวะปฏิกิริยาแบบต่อเนื่อง

ความเข้มข้นของเพคติเนส (% V/W)	ความเข้มข้นของเซลลูเลส (% V/W)	ค่าร้อยละของการลดความหนืด (%viscosity reduction)		
		ความเข้มข้นของอะมัยเลส (% V/W)		
		0.5	1.0	1.5
0.5	0.5	70.87	69.58	69.40
	1.0	70.61	68.39	69.89
	1.5	71.33	71.08	69.07
1.0	0.5	70.07	67.53	68.55
	1.0	73.29	71.53	70.86
	1.5	67.13	67.51	67.76
1.5	0.5	73.09	71.47	72.61
	1.0	69.05	67.42	69.51
	1.5	75.29	75.00	75.35

ตารางที่ 4.7 การวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าร้อยละของการลดความหนืดของเนื้อทุเรียนบดเมื่อใช้ความเข้มข้นของเพคติเนส เซลลูเลส และอะมัยเลส ที่ระดับต่างๆ และบ่มที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 3 ชั่วโมง

ปัจจัย	df	SS.	MS.	ค่า F
ความเข้มข้นของเพคติเนส (A)	2	109.34	54.67	33.57*
ความเข้มข้นของเซลลูเลส (B)	2	14.22	7.11	4.36*
ความเข้มข้นของอะมัยเลส (C)	2	21.94	10.97	6.74*
A TIME B	4	277.56	69.39	42.61*
A TIME C	4	6.84	1.71	1.05
B TIME C	4	10.41	2.60	1.60
A * B * C	8	12.91	1.61	0.99
ERROR	54	87.94	1.63	

* แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ข้อมูลจากตารางที่ 4.6 เมื่อวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลให้ผลดังตารางที่ 4.7 พบว่าทั้งระดับความเข้มข้นของเพคติเนส เซลลูเลส และอะมัยเลส รวมทั้งการใช้เอนไซม์ร่วมกัน 2 ชนิด ระหว่างเพคติเนสและเซลลูเลส (ปัจจัยร่วม AB) ต่างก็มีผลต่อค่าร้อยละของการลดความหนืดของเนื้อทุเรียนบดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยที่ปัจจัยร่วม (AC, BC และ ABC) ไม่มีผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

เนื่องจากปัจจัยร่วม (AC, BC และ ABC) ไม่มีผลต่อค่าร้อยละของการลดความหนืดของเนื้อทุเรียนบดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ดังนั้นการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยร้อยละของการลดความหนืดโดยวิธีของ Duncan's new multiple range test จึงแยกพิจารณาทีละปัจจัย ดังแสดงไว้ในตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยร้อยละของการลดความหนืดของเนื้อทุเรียนบด เมื่อใช้ความเข้มข้นของเพคติเนส เซลลูเลส และอะมัยเลส ที่ระดับต่างๆ บ่มที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 3 ชั่วโมง

ปัจจัย		ค่าเฉลี่ยร้อยละของการลดความหนืดของเนื้อทุเรียนบด
ความเข้มข้นของเพคติเนส(% V/W)	ความเข้มข้นของเซลลูเลส(% V/W)	
0.5	0.5	69.95 ± 0.80^{cd}
	1.0	69.63 ± 1.34^{cd}
	1.5	70.49 ± 1.24^{c}
1.0	0.5	68.72 ± 1.28^{de}
	1.0	71.89 ± 1.26^{b}
	1.5	67.47 ± 0.32^{e}
1.5	0.5	72.39 ± 0.83^{b}
	1.0	68.66 ± 1.10^{de}
	1.5	75.21 ± 0.19^{a}

a,b,c,d,e ตัวเลขในแต่ละปัจจัยที่มีอักษรกำกับต่างกันแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

จากตารางที่ 4.8 จะเห็นว่าระดับความเข้มข้นของเพคติเนสร้อยละ 1.5 และความเข้มข้นของเซลลูเลสร้อยละ 1.5 จะให้ค่าเฉลี่ยร้อยละของการลดความหนืดสูงที่สุดคือร้อยละ 75.21 จากตารางที่ 4.7 จะเห็นได้ว่าเพคติเนสและเซลลูเลสมีผลต่อค่าร้อยละของการลดความหนืดของเนื้อทุเรียนบดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เนื่องมาจากโครงสร้างของเนื้อเยื่อของผลไม้จะมีโพลิแซคคาไรด์เป็นองค์ประกอบอยู่หลายชนิด เช่น แป้ง เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และเพคติน เป็นต้น (Wucherpfennig and Schopplein, 1991) ซึ่งสารประกอบเพคตินมักจะรวมกับเซลลูโลสที่บริเวณผนังเซลล์ชั้นนอก (primary cell wall) และสารประกอบเพคตินจะพบมากบริเวณผนังเซลล์ที่อยู่ชิดติดกัน (middle lamella) ซึ่งจะขัดขวางการสกัดน้ำผลไม้ทำให้การสกัดเป็นไปได้ยาก เมื่อเติมเอนไซม์เพคติเนสและเซลลูเลส จะทำให้สายโมเลกุลของเพคตินและเซลลูเลสที่ยาวถูกตัดให้สั้นลง และทำให้เพคตินและเฮมิเซลลูโลสแยกตัวออกจากกัน มีผลทำให้เนื้อเยื่อผลไม้อ่อนตัวลง ดังนั้นการเติมเพคติเนสและเซลลูเลสจะมีผลเสริมกันทำให้ความหนืดของเนื้อทุเรียนบดลดลงด้วย Noach (1986) ได้ทดลองให้เห็นเนื่องจากโครงสร้างของผนังเซลล์ที่มีลักษณะบดบังเซลล์โดยสารประกอบเพคติน การทำลายการบดบังของสารประกอบเพคตินโดยใช้เพคติเนสจะทำให้การย่อยสลายของเฮมิเซลลูโลสและเซลลูโลสเพิ่มมากขึ้น ดังนั้นการเติมเพคติเนสและเซลลูเลส จะมีผลเสริมกันทำให้เนื้อเยื่อของผลไม้อ่อนตัวลง และให้ความหนืดของเนื้อทุเรียนบดลดลง Kilara (1982) พบว่าการใช้เพคติเนสร้อยละ 0.01 และเซลลูเลสร้อยละ 0.1 ร่วมกันที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส จะสามารถช่วยลดความหนืดในเนื้อแอปเปิ้ลได้มากกว่าการใช้เอนไซม์เซลลูเลส และเพคติเนสเพียงชนิดเดียว ซึ่งการใช้เอนไซม์ร่วมกันนี้จะสามารถลดความหนืดของผลไม้พวกแอปเปิ้ล แอปปริคอต หรือ แครอท ได้มากกว่าร้อยละ 80 Gous, Van Wyk และ McGill (1987) ได้ใช้ Pectinex Ultra SP-L ร่วมกับ Ceroflo 200 L ลดความหนืดของเนื้อกล้วยได้ถึงร้อยละ 72.4 Sreekantiah และคณะ (1987) ได้ทดลองใช้เซลลูเลสร่วมกับเพคติเนส มาใช้ในการลดความหนืดของเนื้อมะม่วงบด พบว่า สามารถลดความหนืดของเนื้อมะม่วงบดได้ร้อยละ 73-82 Dziezak (1991) พบว่า การใช้เอนไซม์ร่วมกันสามชนิดคือ เพคติเนส เซลลูเลส และเฮมิเซลลูเลส จะมีผลทำให้น้ำผลไม้มีความหนืดลดลงเช่นเดียวกัน ซึ่งจะทำให้น้ำผลไม้นั้นสามารถ

กรองได้ง่ายขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่าเพคติเนสเป็นเอนไซม์ที่สำคัญในการลดความหนืดของเนื้อทุเรียนบดและในการเพิ่มผลผลิตหัวน้ำเชื้อทุเรียน เนื่องจากเอนไซม์เพคติเนสทางการค้ามักจะมีเอนไซม์ในกลุ่มอะมัยเลสและเซลลูเลสผสมอยู่แล้ว (Rombouts and Pilnik, 1978) จึงมีผลทำให้เพคติเนสเป็นเอนไซม์ที่สำคัญที่ทำให้ความหนืดของเนื้อทุเรียนบดลดลง มากกว่าการใช้เอนไซม์เซลลูเลสหรืออะมัยเลสเพียงชนิดเดียว เมื่อความเข้มข้นของเพคติเนสเพิ่มสูงขึ้น จะย่อยสลายสายโมเลกุลเพคตินได้มากขึ้น เพิ่มการละลายของเพคติน เมื่อเพคตินละลายน้ำได้มากขึ้นจะทำให้ความหนืดลดลง

จากตารางที่ 4.5 จะเห็นได้ว่าการใช้เอนไซม์ทั้งเพคติเนส เซลลูเลส และอะมัยเลส ทั้งสามชนิดจะมีผลต่อค่าร้อยละของผลผลิตของหัวน้ำเชื้อทุเรียนเข้มข้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ นั่นคือ เพคติเนสและเซลลูเลสจะทำให้เนื้อเยื่อผลไม้อ่อนตัวลง และทำลายโครงสร้างของผนังเซลล์ของเนื้อเยื่อผลไม้ ทำให้น้ำผลไม้ที่อยู่ภายในเซลล์ออกสู่ภายนอกเซลล์ได้ ซึ่งจะปลดปล่อยองค์ประกอบที่สำคัญเช่นสารให้กลิ่นรสออกมาด้วย (Cliff, Dever and Gayton, 1991) รวมทั้งการเติมอะมัยเลสจะช่วยย่อยสลายโมเลกุลแป้งที่อยู่ภายในเซลล์และมีปริมาณสูงในเนื้อทุเรียน มีผลทำให้ปริมาณผลผลิตของของเหลวเพิ่มมากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Cheetam (1985) ซึ่งพบว่าการใช้เพคติเนส เซลลูเลส และเฮมิเซลลูเลส เดี่ยวๆหรือการใช้ร่วมกัน เป็นเอนไซม์ย่อยสลายเนื้อเยื่อผลไม้ทำให้เนื้อผลไม้นิ่มและใช้สกัดน้ำผลไม้ โดยเอนไซม์จะไปย่อยสลายโครงสร้างของโพลิแซคคาไรด์ในเนื้อเยื่อผลไม้ที่บดบังการสกัดน้ำผลไม้ มีผลทำให้ปริมาณผลผลิตน้ำผลไม้เพิ่มมากขึ้น Sreekantiah และคณะ (1987) พบว่า เมื่อใช้เพคติเนสร่วมกับเซลลูเลสจะสามารถสกัดน้ำมะม่วงออกมาได้ ซึ่งถ้าไม่ใช้เอนไซม์ช่วยในการสกัดจะไม่สามารถสกัดน้ำมะม่วงออกจากเนื้อมะม่วงได้เลย จากงานวิจัยทางด้านการสกัดน้ำผลไม้โดยการใช้เอนไซม์ ส่วนใหญ่จะไม่มีการใช้อะมัยเลสช่วยในการสกัดน้ำผลไม้ เนื่องจากในผลไม้ชนิดต่างๆจะมีแป้งอยู่ในปริมาณน้อยมากหรือไม่มีเลยเมื่อเทียบกับในทุเรียน (สมบูรณ์ ผู้พัฒน์, 2530) การใช้เพคติเนสและเซลลูเลสร่วมกันก็เพียงพอที่จะทำให้ปริมาณน้ำผลไม้ที่ได้เพิ่มมากขึ้น จึงไม่จำเป็นจะต้องใช้อะมัยเลสช่วยในการสกัด ดังเช่นจากงานวิจัยของ อรุณี

เพียรทวีรัชต์ และปราณี อ่านเปรื่อง (2536) รวมทั้ง Viquez และคณะ (1981) พบว่า อะมัยเลสจะไม่มีผลต่อการสกัดน้ำกล้วยหอม เนื่องจากแป้งที่พบในกล้วยหอมสุกจะมีปริมาณต่ำ

จากการทดลองการสกัดหัวน้ำเชื้อทุเรียนเข้มข้น ต้องอาศัยการใช้เอนไซม์ร่วมกัน 3 ชนิด โดยจะต้องมีเพคติเนสในอัตราส่วนของความเข้มข้นสูงกว่าเซลลูเลสและอะมัยเลส ซึ่งจะช่วยเพิ่มปริมาณผลผลิตของหัวน้ำเชื้อทุเรียนเข้มข้นให้สูงขึ้น ซึ่งถ้าจะให้ได้ปริมาณผลผลิตสูงๆจะต้องใช้เพคติเนส เซลลูเลส และอะมัยเลส ความเข้มข้นร้อยละ 1.5, 1.0 และ 0.5 โดยปริมาตรต่อน้ำหนักเนื้อทุเรียนบดตามลำดับ จากความเข้มข้นที่เหมาะสมในการผลิตหัวน้ำเชื้อทุเรียนเข้มข้น จะนำไปใช้หาระยะเวลาที่เหมาะสมในการทำปฏิกิริยาย่อยสลายเนื้อทุเรียนบด ซึ่งมีจุดประสงค์เพื่อเพิ่มปริมาณผลผลิตของหัวน้ำเชื้อให้สูงขึ้น โดยเลือกระยะเวลาที่น้อยที่สุดที่จะทำให้ได้ปริมาณผลผลิตของหัวน้ำเชื้อทุเรียนเข้มข้นคงที่และมีปริมาณสูง

4.2.3 ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาย่อยสลายเนื้อทุเรียนบดที่เหมาะสม

4.2.3.1 ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาย่อยสลายเนื้อทุเรียนบดที่เหมาะสม โดยการใช้เอนไซม์ร่วมกันสามชนิด ภายใต้ภาวะปฏิกิริยาแบบต่อเนื่อง

จากการทดลองข้อ 3.3.2.3.1 หาระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาย่อยสลายเนื้อทุเรียนบดที่เหมาะสม โดยการใช้เอนไซม์ร่วมกันภายใต้ภาวะปฏิกิริยาแบบต่อเนื่อง (simultaneous reaction) โดยแบ่งระยะเวลาในการบ่ม 7 ระดับคือ 1, 2, 3, 4, 5, 6 และ 7 ชั่วโมง โดยใช้ความเข้มข้นของเพคติเนส เซลลูเลส และอะมัยเลส ที่เหมาะสมจากข้อ 4.1.2 สูตรที่ 1 คือร้อยละ 0.5, 0.5, 0.5 โดยปริมาตร/น้ำหนักเนื้อทุเรียนบด สูตรที่ 2 คือร้อยละ 1.0, 0.5, 1.0 โดยปริมาตร/น้ำหนักเนื้อทุเรียนบด สูตรที่ 3 คือร้อยละ 1.5, 1.0, 0.5 โดยปริมาตร/น้ำหนักเนื้อทุเรียนบด บ่มที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส ติดตามค่าร้อยละของการลดความหนืดของเนื้อทุเรียนบด (%viscosity reduction) และค่าร้อยละของผลผลิตหัวน้ำเชื้อ

ทุเรียน (%yield) ให้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 ค่าร้อยละของการลดความหนืดของเนื้อทุเรียนบด และค่าร้อยละของผลผลิตหัวน้ำเชื้อทุเรียนเมื่อใช้ความเข้มข้นของเพคติเนส เซลลูเลส และอะมัยเลส ร่วมกันที่ระดับต่างๆและบ่มที่ระยะเวลาต่างๆกัน ภายใต้ภาวะปฏิกิริยาแบบต่อเนื่อง

ความเข้มข้นของเพคติเนส (% V/W)	ความเข้มข้นของเซลลูเลส (% V/W)	ความเข้มข้นของอะมัยเลส (% V/W)	ระยะเวลาในการบ่ม (ชั่วโมง)	ค่าร้อยละของการลดความหนืด (% viscosity reduction)	ค่าร้อยละของผลผลิตหัวน้ำเชื้อ (% yield)
0.5	0.5	0.5	1	63.03^{c}	26.23^{b}
			2	65.70^{c}	32.19^{ab}
			3	66.27^{bc}	33.04^{ab}
			4	70.79^{ab}	33.37^{a}
			5	70.30^{ab}	35.51^{a}
			6	74.48^{a}	37.02^{a}
			7	74.18^{a}	39.62^{a}
1.0	0.5	1.0	1	65.90^{d}	29.60^{c}
			2	68.71^{cd}	33.59^{bc}
			3	71.05^{bc}	34.30^{abc}
			4	71.36^{bc}	37.09^{abc}
			5	71.72^{bc}	38.99^{ab}

ความเข้มข้นของเพคติเนส (% V/W)	ความเข้มข้นของเซลลูเลส (% V/W)	ความเข้มข้นของอะมัยเลส (% V/W)	ระยะเวลาในการบ่ม (ชั่วโมง)	ค่าร้อยละของการลดความหนืด (% viscosity reduction)	ค่าร้อยละของผลผลิตหัวน้ำเชื้อ (% yield)
1.0	0.5	1.0	6	74.90^{b}	39.07^{ab}
			7	79.25^{a}	42.58^{a}
1.5	1.0	0.5	1	65.64^{e}	30.53^{c}
			2	67.51^{de}	34.52^{bc}
			3	71.84^{cd}	34.69^{bc}
			4	74.41^{bc}	35.64^{bc}
			5	74.34^{bc}	40.45^{ab}
			6	77.86^{ab}	40.82^{ab}
			7	80.94^{a}	44.01^{a}

จากตารางที่ 4.9 ระยะเวลาที่เหมาะสมในการสกัดหัวน้ำเชื้อทุเรียนที่ได้จากการสกัดโดยใช้เอนไซม์เพคติเนส เซลลูเลส และอะมัยเลส ร่วมกันสามชนิด ภายใต้ภาวะปฏิกิริยาแบบต่อเนื่อง บ่มที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส พบว่าเอนไซม์ที่ระดับความเข้มข้นของเพคติเนสร้อยละ 0.5 เซลลูเลสร้อยละ 0.5 และอะมัยเลสร้อยละ 0.5 (โดยปริมาตร/น้ำหนักเนื้อทุเรียนบด) มีค่าร้อยละของการลดความหนืดคงที่ และไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ที่ระยะเวลาการบ่มในชั่วโมงที่ 1-3 และชั่วโมงที่ 4-7 เมื่อพิจารณาค่าร้อยละของผลผลิตหัวน้ำเชื้อทุเรียนจะมีค่าคงที่ และมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

($p > 0.05$) ที่ระยะเวลาตั้งแต่ชั่วโมง 2-7 ดังนั้น ระยะเวลาที่เหมาะสมในการสกัดหัวน้ำเชื้อทุเรียนที่ระดับความเข้มข้นในสูตรที่ 1 นี้ คือที่ระยะเวลาการบ่ม 2 ชั่วโมง ซึ่งจะให้ค่าร้อยละของการลดความหนืด และค่าร้อยละของผลผลิตหัวน้ำเชื้อทุเรียนเป็นร้อยละ 65.70 และ 32.19 ตามลำดับ เมื่อใช้ความเข้มข้นของเอนไซม์สูตรที่ 2 คือที่ระดับความเข้มข้นของเพคติเนส เซลลูเลส และอะมัยเลส เป็นร้อยละ 1.0, 0.5 และ 1.0 (โดยปริมาตร/น้ำหนักเนื้อทุเรียนบด) ตามลำดับ พบว่า ที่ระยะเวลาการทำปฏิกิริยาย่อยสลายเป็นเวลา 3-7 ชั่วโมง ค่าร้อยละของผลผลิตหัวน้ำเชื้อทุเรียนมีค่าคงที่ และไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) และค่าร้อยละของการลดความหนืดของเนื้อทุเรียนบดก็เริ่มคงที่ ตั้งแต่ชั่วโมงที่ 3-6 ดังนั้นระยะเวลาที่เหมาะสมของการทำปฏิกิริยาการย่อยสลายของการใช้ความเข้มข้นของเอนไซม์ในสูตรที่ 2 นี้คือที่ระยะเวลาการบ่ม 3 ชั่วโมง ซึ่งจะมีค่าร้อยละของการลดความหนืดและค่าร้อยละของผลผลิตหัวน้ำเชื้อเป็นร้อยละ 71.05 และ 34.30 ตามลำดับ และในการใช้ความเข้มข้นของเพคติเนส เซลลูเลส และอะมัยเลส ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 1.5, 1.0 และ 0.5 โดยปริมาตร/น้ำหนักเนื้อทุเรียนบด (สูตรที่ 3) ระยะเวลาการบ่มที่เหมาะสมที่จะทำให้ปริมาณผลผลิตหัวน้ำเชื้อสูงที่สุดคือที่เวลา 5 ชั่วโมง ซึ่งจะให้ค่าร้อยละผลผลิตของหัวน้ำเชื้อทุเรียนและค่าร้อยละของการลดความหนืดของเนื้อทุเรียนบดเป็นร้อยละ 40.45 และ 74.34 ตามลำดับ ซึ่งที่เวลาในการบ่ม 5-7 ชั่วโมง จะมีค่าร้อยละของผลผลิตหัวน้ำเชื้อทุเรียนไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

เมื่อใช้ระดับความเข้มข้นของเอนไซม์เพคติเนส เซลลูเลส และอะมัยเลส เพิ่มสูงขึ้น ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาย่อยสลายเนื้อทุเรียนบดจะเพิ่มมากขึ้น อาจเนื่องมาจากที่ความเข้มข้นของเอนไซม์ต่ำๆ เอนไซม์ไม่เพียงพอต่อสับเสตรท ดังนั้นผลผลิตที่ได้จะต่ำและคงที่ในระยะเวลาอันสั้น แต่เมื่อใช้ความเข้มข้นของเอนไซม์สูงขึ้น เอนไซม์จะจับกับสับสเตรทได้มากขึ้น จึงมีผลทำให้การย่อยสลายเนื้อทุเรียนบดมากขึ้น ทำให้ปริมาณผลผลิตหัวน้ำเชื้อเพิ่มมากขึ้นด้วย เมื่อเอนไซม์มีปริมาณมากขึ้น ระยะเวลาที่เอนไซม์ย่อยสลายสับสเตรทอย่างสมบูรณ์จึงมากขึ้นด้วย เมื่อถึงระยะเวลาหนึ่งปฏิกิริยาการย่อยสลายคงที่ ซึ่งแสดงว่าเอนไซม์จับกับสับสเตรทได้อย่าง

เกือบสมบูรณ์ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Githaiti และ Karuri (1991) ซึ่งรายงานว่า เมื่อใช้เพคติเนสทางการค้าสกัดน้ำมะม่วง โดยใช้เอนไซม์ความเข้มข้น 200 ppm พบว่า จะทำให้น้ำมะม่วงที่สกัดได้มีปริมาณเพิ่มมากขึ้นและมีความหนืดลดลง มีความชุ่นที่เสถียรโดยที่เมื่อระยะเวลาในการสกัดเพิ่มมากขึ้นปริมาณผลผลิตน้ำมะม่วงค่อยๆเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากเอนไซม์เพคติเนสจะไปย่อยสลายเพคตินในเนื้อมะม่วงบด ทำให้สายโมเลกุลเพคตินแตกตัวและละลายน้ำได้ มีผลทำให้เนื้อเยื่อผลไม้แตกตัวและปลดปล่อยสารที่อยู่ภายในเซลล์ออกสู่ภายนอกเซลล์ มีผลทำให้น้ำผลไม้ที่สกัดได้เพิ่มมากขึ้น (Rombouts และ Pilnik, 1979) และในช่วงแรกของการสกัดน้ำมะม่วงโดยการใช้เพคติเนสทางการค้า จะเห็นว่าความหนืดของเนื้อมะม่วงบดจะค่อยๆลดลง เนื่องจากช่วงแรกเพคตินในเนื้อเยื่อผลไม้เริ่มละลายน้ำได้ อัตราการย่อยสลายเพคตินโดยเอนไซม์ยังมีน้อย แต่เมื่อเอนไซม์ย่อยสลายเพคตินได้มากขึ้น ทำให้ความหนืดค่อยๆลดลง (Baumann, 1979) เมื่อพิจารณาปริมาณร้อยละของผลผลิตหัวน้ำเชื้อทุเรียนที่ได้เริ่มคงที่ เมื่อย่อยสลายเนื้อทุเรียนบดไปได้ระยะเวลาหนึ่ง อาจเป็นไปได้ว่าที่ระยะเวลานี้เป็นระยะที่เกิดการทำให้เนื้อผลไม้เหลว (liquefaction) ที่เกือบสมบูรณ์ ซึ่งเป็นผลมาจากของเหลวภายในเซลล์ถูกปลดปล่อยออกมาหมดพร้อมกันกับที่โพลิแซคคาไรด์ทุกชนิด รวมทั้งสารประกอบเพคตินในผนังเซลล์พืช หลังจากถูกย่อยสลายแล้วจะละลายลงสู่ส่วนที่เป็นของเหลวที่เซลล์ปล่อยออกมา ดังนั้น แม้ว่าจะเพิ่มระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาต่อไปอีก ก็ไม่มีผลเพิ่มปริมาณของเหลวจากเนื้อทุเรียนบดแต่อย่างใด

4.2.3.2 <u>ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาย่อยสลายเนื้อทุเรียนบดที่เหมาะสมโดยการใช้เอนไซม์ร่วมกันสามชนิดภายใต้ภาวะปฏิกิริยาตามลำดับ</u>

ในการทดลองนี้จะเป็นการยืดระยะเวลาในการสกัดหัวน้ำเชื้อทุเรียนเพื่อให้ได้ปริมาณผลผลิตเพิ่มขึ้น โดยการปล่อยให้เอนไซม์แต่ละชนิดทำงานได้อย่างเต็มที่ และทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิที่เหมาะสมของเอนไซม์แต่ละตัว โดยไม่มีการบดบังของสับเสตรทชนิดอื่น

จากการทดลองข้อ 3.3.2.3.2 หาระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาย่อยสลายเนื้อทุเรียนบดที่เหมาะสม โดยการใช้เอนไซม์ร่วมกันสามชนิดภายใต้ภาวะปฏิกิริยาตามลำดับ (sequential reaction) โดยเริ่มจากการย่อยสลายเนื้อทุเรียนบดด้วยเพคติเนส เซลลูเลส และอะมัยเลส ตามลำดับ ใช้ความเข้มข้นของเพคติเนส เซลลูเลส และอะมัยเลส ของเอนไซม์แต่ละชนิดร้อยละ 0.5 โดยปริมาตร/น้ำหนักเนื้อทุเรียนบด บ่มที่อุณหภูมิที่เหมาะสมของแต่ละเอนไซม์ โดยเพคติเนสจะบ่มที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส เซลลูเลสบ่มที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส และอะมัยเลสบ่มที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส แปรระยะเวลาในการบ่มของแต่ละเอนไซม์ต่างๆกันคือ 1, 2, 3, 4 และ 5 ชั่วโมง ติดตามค่าร้อยละของการลดความหนืดของเนื้อทุเรียนบดและค่าร้อยละของผลผลิตหัวน้ำเชื้อทุเรียนเข้มข้น ให้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.10, 4.11 และรูปที่ 4.3, 4.4

ตารางที่ 4.10 ค่าร้อยละของการลดความหนืดของเนื้อทุเรียนบด เมื่อใช้เพคติเนส เซลลูเลส และอะมัยเลส ร่วมกันภายใต้ภาวะปฏิกิริยาตามลำดับ และบ่มที่ระยะเวลาต่างๆกัน

ความเข้มข้นของเพคติเนส (% V/W)	ระยะเวลาในการบ่มเพคติเนส (ชั่วโมง)	ความเข้มข้นของเซลลูเลส (% V/W)	ระยะเวลาในการบ่มเซลลูเลส (ชั่วโมง)	ความเข้มข้นของอะมัยเลส (% V/W)	ระยะเวลาในการบ่มอะมัยเลส (ชั่วโมง)	ค่าร้อยละของการลดความหนืด (% viscosity reduction)
0.5	1	0	-	0	-	46.86[b]
	2		-		-	52.88[a]
	3		-		-	56.71[a]
	4		-		-	57.77[a]
	5		-		-	57.20[a]

ความเข้มข้นของเพคติเนส (% V/W)	ระยะเวลาในการบ่มเพคติเนส (ชั่วโมง)	ความเข้มข้นของเซลลูเลส (% V/W)	ระยะเวลาในการบ่มเซลลูเลส (ชั่วโมง)	ความเข้มข้นของอะมัยเลส (% V/W)	ระยะเวลาในการบ่มอะมัยเลส (ชั่วโมง)	ค่าร้อยละของการลดความหนืด (% viscosity reduction)
0.5	2	0.5	1	0	-	62.60[ns]
	2		2		-	62.78[ns]
	2		3		-	62.06[ns]
	2		4		-	62.33[ns]
	2		5		-	63.25[ns]
0.5	2	0.5	1	0.5	1	65.27[b]
	2		1		2	70.76[a]
	2		1		3	70.88[a]
	2		1		4	71.91[a]
	2		1		5	70.93[a]

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

ns ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

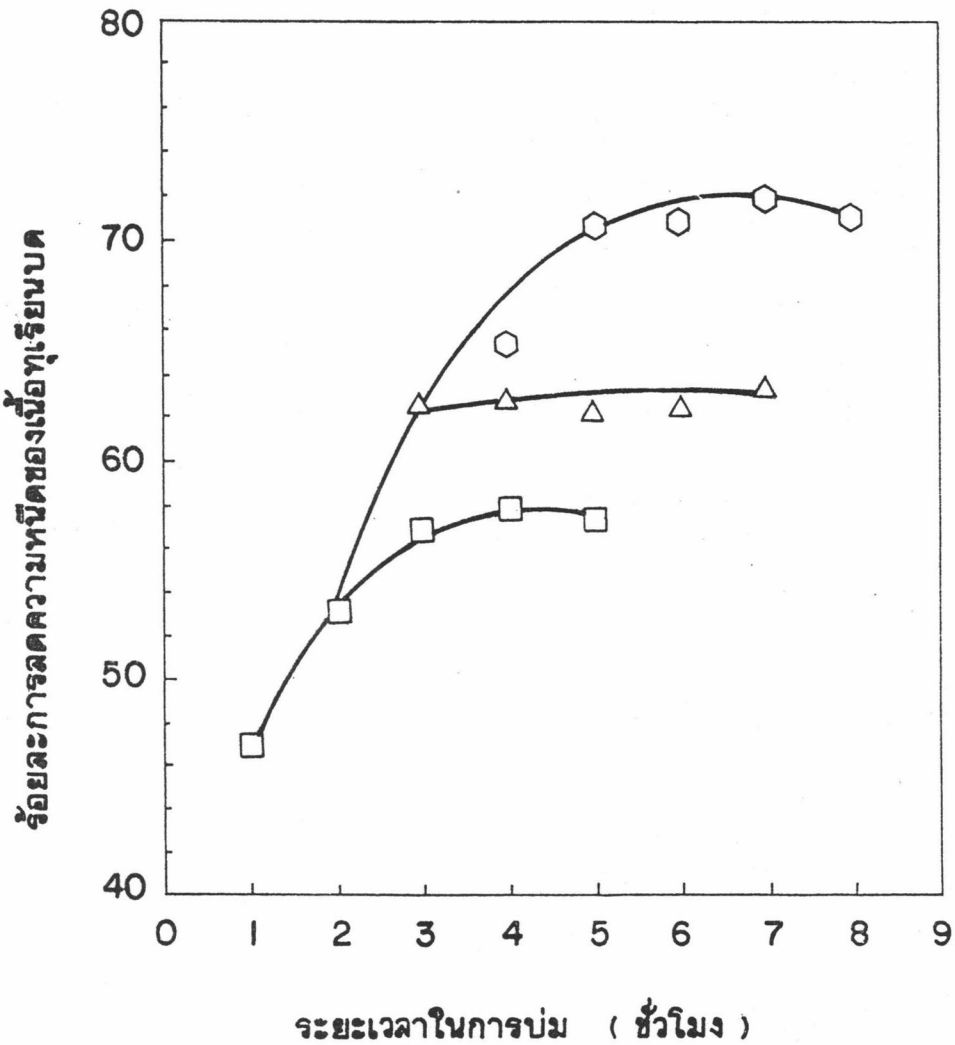
ตารางที่ 4.11 ค่าร้อยละของผลผลิตหัวน้ำเชื้อทุเรียน เมื่อใช้เพคติเนส เซลลูเลส และอะมัยเลส ร่วมกันภายใต้ภาวะปฏิกิริยาตามลำดับ และบ่มที่ระยะเวลาต่างๆกัน

ความเข้มข้นของเพคติเนส (% V/W)	ระยะเวลาในการบ่มเพคติเนส (ชั่วโมง)	ความเข้มข้นของเซลลูเลส (% V/W)	ระยะเวลาในการบ่มเซลลูเลส (ชั่วโมง)	ความเข้มข้นของอะมัยเลส (% V/W)	ระยะเวลาในการบ่มอะมัยเลส (ชั่วโมง)	ค่าร้อยละของผลผลิตหัวน้ำเชื้อทุเรียน (% yield)
0.5	1	0	-	0	-	0.00^{ns}
	2		-		-	0.00^{ns}
	3		-		-	0.00^{ns}
	4		-		-	0.00^{ns}
	5		-		-	0.00^{ns}
0.5	2	0.5	1	0	-	25.02^{ns}
	2		2		-	25.49^{ns}
	2		3		-	26.18^{ns}
	2		4		-	27.70^{ns}
	2		5		-	27.15^{ns}

ความเข้มข้นของเพคติเนส (% V/W)	ระยะเวลาในการบ่มเพคติเนส (ชั่วโมง)	ความเข้มข้นของเซลลูเลส (% V/W)	ระยะเวลาในการบ่มเซลลูเลส (ชั่วโมง)	ความเข้มข้นของอะมัยเลส (% V/W)	ระยะเวลาในการบ่มอะมัยเลส (ชั่วโมง)	ค่าร้อยละของผลผลิตหัวน้ำเชื้อทุเรียน (% yield)
0.5	2	0.5	1	0.5	1	36.70^{c}
	2		2		2	39.55^{b}
	2		3		3	44.49^{a}
	2		4		4	44.97^{a}
	2		5		5	44.85^{a}

a,b,c ตัวเลขที่มีตัวอักษรกำกับต่างกันที่ระดับความเข้มข้นของเอนไซม์เดียวกันแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ns ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

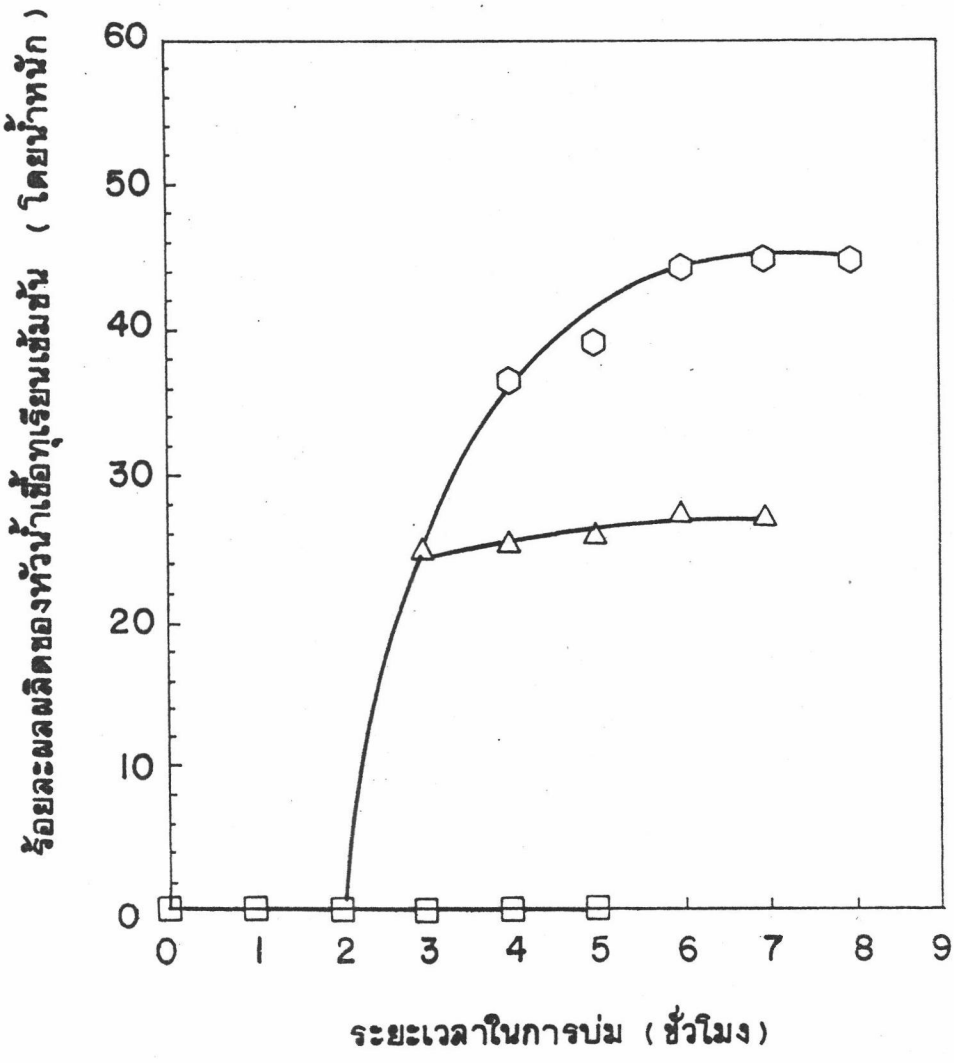


รูปที่ 4.3 ค่าร้อยละของการลดความหนืดของเนื้อทุเรียนบดเมื่อสกัดโดยการใช้เอนไซม์ภายใต้ภาวะปฏิกิริยาตามลำดับ

□—□ เติมเพคติเนสชนิดเดียว

△—△ เติมเพคติเนสร่วมกับเซลลูเลส

⬡—⬡ เติมเพคติเนส เซลลูเสส และอะมัยเลส ร่วมกันสามชนิด



รูปที่ 4.4 ค่าร้อยละของผลผลิตหัวน้ำเชื้อทุเรียนเข้มข้นเมื่อสกัดโดยการใช้เอนไซม์ภายใต้ภาวะปฏิกิริยาตามลำดับ

□—□ เติมเพคติเนสเพียงชนิดเดียว

△—△ เติมเพคติเนสร่วมกับเซลลูเลส

⬡—⬡ เติมเพคติเนส เซลลูเลส และอะมัยเลส ร่วมกันสามชนิด

จากตารางที่ 4.10, 4.11 และรูปที่ 4.3, 4.4 จะเห็นได้ว่าการเติมเพคติเนส และบ่มที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส ค่าร้อยละของการลดความหนืดจะเริ่มคงที่หลังจากระยะเวลาการทำปฏิกิริยาย่อยสลายเนื้อทุเรียนบดไปแล้ว 2 ชั่วโมง นั่นคือค่าร้อยละของการลดความหนืดของเนื้อทุเรียนบดไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ดังนั้นในการเติมเซลลูเลสจะเติมหลังจากการเติมเพคติเนสแล้วบ่มที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 2 ชั่วโมง แล้วจึงเติมเซลลูเลสและบ่มที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1-5 ชั่วโมง พบว่าระยะเวลาทำปฏิกิริยาตั้งแต่ชั่วโมงแรกจนถึงชั่วโมงที่ 5 ค่าร้อยละของการลดความหนืดของเนื้อทุเรียนบดและร้อยละของผลผลิตหัวน้ำเชื้อทุเรียนจะคงที่ และมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ดังนั้นในการเติมอะมัยเลสจะเติมหลังจากบ่มเพคติเนสที่ 45 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง แล้วจึงเติมเซลลูเลสระยะเวลา 1 ชั่วโมง แล้วจึงเติมอะมัยเลสบ่มที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลาต่างๆกัน พบว่าค่าร้อยละของการลดความหนืด และค่าร้อยละของผลผลิตของหัวน้ำเชื้อทุเรียนเข้มข้นเริ่มคงที่หลังจากระยะเวลาการทำปฏิกิริยาไปแล้ว 2 และ 3 ชั่วโมง ตามลำดับ กล่าวคือ ค่าร้อยละของการลดความหนืดของเนื้อทุเรียนบด และค่าร้อยละของผลผลิตหัวน้ำเชื้อทุเรียนไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) ดังนั้นเวลาที่เหมาะสมในการสกัดเนื้อทุเรียนบด ภายใต้ภาวะปฏิกิริยาตามลำดับ (sequential reaction) จะทำการสกัดเนื้อทุเรียนบดโดยการใช้เพคติเนสบ่มที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง แล้วจึงเติมเซลลูเลสบ่มที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นเติมอะมัยเลสบ่มที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง แต่เพื่อให้ได้ปริมาณผลผลิตของหัวน้ำเชื้อทุเรียน เพิ่มมากขึ้นจะต้องบ่มอะมัยเลสเป็นระยะเวลา 3 ชั่วโมง จึงจะได้ค่าร้อยละของการลดความหนืดของเนื้อทุเรียนบด และค่าร้อยละของผลผลิตหัวน้ำเชื้อทุเรียนเป็นร้อยละ 70.88 และร้อยละ 44.49 ตามลำดับ

จากการทดลองของ Noach (1986) ซึ่งได้ศึกษาผลของสารประกอบเพคตินต่อการทำงานของเซลลูเลสและเฮมิเซลลูเลส ในการย่อยสลายเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสตามลำดับ โดยได้แสดงให้เห็นถึงโครงสร้างของผนังเซลล์ ที่มีลักษณะของการบดบังเซลลูโลสโดยสาร

ประกอบเพคติน การทำลายการบดบังของสารประกอบเพคตินโดยใช้เพคติเนส จะทำให้การย่อยสลายของเฮมิเซลลูโลสและเซลลูโลสเพิ่มมากขึ้น ซึ่งการใช้เพคติเนสและเซลลูเลสร่วมกันจะให้ผลเสริมกันมากกว่ากรณีใช้เอนไซม์แต่ละชนิดตามลำพัง เช่นเดียวกับงานวิจัยมากมายที่สนับสนุนถึงผลเสริมของการใช้เอนไซม์ร่วมกัน (Voragen และคณะ, 1980; Kilara, 1982; Sreenath และคณะ, 1984; Massiot และคณะ, 1989; อรุณี เพียรทวีรัชต์ และปราณี อ่านเปรื่อง, 2536; etc.) ดังนั้น จากการทดลองสกัดหัวน้ำเชื้อทุเรียนโดยการใช้เอนไซม์ภายใต้ภาวะปฏิกิริยาตามลำดับ (sequential reaction) จึงใช้เพคติเนส เพื่อไปย่อยสลายสารประกอบเพคตินที่อยู่ในส่วนระหว่างผนังเซลล์พืชที่อยู่ชิดติดกัน (middle lamella) และผนังเซลล์ชั้นแรก (primary cell wall) และเมื่อเพคติเนสย่อยสลายสารประกอบเพคตินอย่างสมบูรณ์ ก็เติมเซลลูเลสลงไปเพื่อย่อยสลายเซลลูโลสที่อยู่ในส่วนผนังเซลล์ชั้นแรกและผนังเซลล์ชั้นที่สอง (secondary cell wall) ซึ่งจากการย่อยสลายสารประกอบเพคตินด้วยเพคติเนส ทำให้การย่อยสลายเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลส โดยเซลลูเลสและเฮมิเซลลูโลสตามลำดับเป็นไปได้ง่ายขึ้น เนื่องจากไม่มีการขัดขวางปฏิกิริยาย่อยสลายเซลลูโลสโดยสารประกอบเพคติน จากการย่อยแป้งที่อยู่ภายในเซลล์ของเนื้อเยื่อผลไม้โดยอะมัยเลส มีผลทำให้ปริมาณผลผลิตของของเหลวเพิ่มขึ้น

ดังนั้นจากการสกัดหัวน้ำเชื้อทุเรียนเข้มข้นโดยการใช้เอนไซม์ร่วมกันสามชนิด คือ เพคติเนส เซลลูเลส และอะมัยเลส ภายใต้ภาวะปฏิกิริยาตามลำดับนี้ จะมีผลทำให้ปริมาณผลผลิตของหัวน้ำเชื้อเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากการที่เอนไซม์แต่ละชนิดสามารถเข้าทำปฏิกิริยากับสับเตรทได้อย่างเต็มที่ โดยไม่มีการขัดขวางและบดบังการเข้าทำปฏิกิริยาย่อยสลายโดยสับเตรทชนิดอื่น และเอนไซม์แต่ละชนิดได้ทำปฏิกิริยาย่อยสลายเนื้อทุเรียนบดที่อุณหภูมิที่เหมาะสมของแต่ละเอนไซม์ จึงทำให้ปริมาณผลผลิตของหัวน้ำเชื้อทุเรียนเข้มข้นเพิ่มสูงขึ้นมากกว่าการสกัดภายใต้ปฏิกิริยาแบบต่อเนื่อง

จากการที่ค่าร้อยละของการลดความหนืดของเนื้อทุเรียนบดเริ่มคงที่เมื่อย่อยสลายเนื้อทุเรียนบดเป็นระยะเวลาหนึ่ง ซึ่งอาจเป็นไปได้ว่าเอนไซม์จับกับสับสเตรทได้อย่างเกือบสมบูรณ์ ซึ่งเป็นผลมาจากผนังเซลล์ถูกทำลายด้วยเอนไซม์ มีผลทำให้เนื้อเยื่อของผลไม้อ่อนตัวลงทำให้ความหนืดของเนื้อผลไม้ลดลง และของเหลวภายในเซลล์ถูกปลดปล่อยออกมาหมดพร้อมกันกับที่สารโพลิแซคคาไรด์ทุกชนิด รวมทั้งสารประกอบเพคตินในผนังเซลล์พืชและสารที่ให้กลิ่นรสที่อยู่ภายในเซลล์ หลังจากถูกย่อยสลายแล้วจะละลายลงสู่ส่วนที่เป็นของเหลวที่เซลล์ปล่อยออกมา (Rombout และ Pilnik, 1979) ดังนั้น ในการเติมเอนไซม์แต่ละชนิดลงไปแล้วยืดระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา จะทำให้เอนไซม์นั้นจับกับสับสเตรทได้อย่างสมบูรณ์ ซึ่งจะมีผลทำให้ปริมาณของหัวน้ำเชื้อทุเรียนเพิ่มมากขึ้น เมื่อปฏิกิริยาการย่อยสลายเริ่มคงที่ แม้ว่าจะเพิ่มระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาต่อไปอีก ก็ไม่มีผลเพิ่มปริมาณของเหลวจากเนื้อทุเรียนแต่อย่างใด

จากการทดลองนี้พบว่า การสกัดหัวน้ำเชื้อทุเรียนเข้มข้นโดยใช้เพคติเนสเพียงชนิดเดียวจะไม่สามารถสกัดน้ำทุเรียนออกมาได้เลย ทั้งนี้เนื่องจากองค์ประกอบเคมีของเนื้อทุเรียนที่มีแป้งและเส้นใยอยู่ในปริมาณที่สูง การที่จะใช้เอนไซม์เพคติเนสเพียงชนิดเดียวจึงไม่สามารถที่จะสกัดน้ำทุเรียนออกมาได้ เนื่องจากมีการบดบังของสารโพลิแซคคาไรด์อื่นๆ ได้แก่ เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และแป้ง ดังที่ได้กล่าวมาข้างต้นแล้ว ซึ่งจากการทดลองนี้ได้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Sreenath และ Santhanum (1992) ที่ศึกษาการเพิ่มผลผลิตของน้ำผลไม้ชนิดต่างๆ ได้แก่ แคนตาลูป แตงโม ขนุน มะละกอ และมะขาม โดยใช้เพคติเนส (Pectinex Ultra SP-L) หรือเซลลูเลส (Celluclast 1.5 L) ซึ่งผลิตโดยบริษัท Novo Industri A/S พบว่า เอนไซม์แต่ละชนิดสามารถเพิ่มผลผลิตของน้ำมะละกอ แคนตาลูป และแตงโม ได้เพียงเล็กน้อยคือประมาณร้อยละ 6-10 ในขณะที่จะเพิ่มผลผลิตของน้ำมะขามได้ร้อยละ 10-15 สำหรับขนุนพบว่าไม่สามารถสกัดน้ำออกมาได้เลย แม้ว่าความหนืดของเนื้อผลไม้จะลดลง ดังนั้นความสามารถของเพคติเนสหรือเซลลูเลสในการย่อยสลายเนื้อเยื่อผลไม้จึงขึ้นกับพันธุ์ของผลไม้ธรรมชาติของเนื้อผลไม้ องค์ประกอบทางเคมี และระดับความสุกของเนื้อผลไม้นั้นๆ และเมื่อใช้เพคติเนส เซลลูเลส และการใช้เอนไซม์เพคติเนสและเซลลูเลสร่วมกัน จะสามารถสกัดน้ำองุ่น

ได้ร้อยละ 33.7, 24.0 และ 41.2 ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่าการใช้เอนไซม์สองชนิดร่วมกันจะทำให้เนื้อเยื่อผลไม้นิ่ม และย่อยสลายสารโมเลกุลใหญ่ที่เป็นองค์ประกอบของผนังเซลล์เช่น เซลลูโลสและเพคติน ทำให้สารภายในเซลล์ออกมา ทำให้ปริมาณน้ำผลไม้เพิ่มขึ้นกว่าการใช้เอนไซม์เพียงชนิดเดียว (Pilnik และ Voragen, 1989) เมื่อพิจารณาองค์ประกอบทางเคมีของขนุน (สมบูรณ์ ผู้พัฒน์, 2530) จะเห็นว่าขนุนจะมีแป้งอยู่ในปริมาณร้อยละ 0.4 และมีปริมาณเส้นใยร้อยละ 3.0 จากการทดลองของ Sreenath และ Santhanum (1992) พบว่าเมื่อใช้ Pectinex Ultra SP-L หรือ Celluclast 1.5 L ความเข้มข้นร้อยละ 0.048 บ่มที่อุณหภูมิ 27-30 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 30 นาที จะไม่สามารถสกัดน้ำผลไม้ออกมาได้เลย แต่ภายหลังการสกัดเนื้อขนุนโดยใช้เพคติเนส จะพบว่าความหนืดของเนื้อขนุนจะลดลงอย่างมาก เมื่อเทียบกับทุเรียนจะพบแป้งและเส้นใยอยู่ในปริมาณร้อยละ 14.8 และ 4.25 ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่าการใช้เอนไซม์เพคติเนสเพียงชนิดเดียว ไม่สามารถที่จะสกัดเอาน้ำผลไม้ออกมาได้เลย เพียงแต่จะทำให้ความหนืดของเนื้อทุเรียนบดลดลง

ในการสกัดหัวน้ำเชื้อทุเรียนเข้มข้นโดยการใช้เอนไซม์ร่วมกันสามชนิด ภายใต้ภาวะปฏิกิริยาตามลำดับ โดยเริ่มจากการใช้เพคติเนสย่อยสลายเพคตินก่อน จึงใช้เซลลูเลสย่อยสลายเซลลูโลส ตามด้วยการใช้อะมัยเลสย่อยสลายโมเลกุลแป้ง จากสภาวะที่เหมาะสมจะเห็นว่าสามารถลดความหนืดของเนื้อทุเรียนบดได้ร้อยละ 70.88 และได้ผลผลิตหัวน้ำเชื้อทุเรียนเข้มข้นร้อยละ 44.49 ซึ่งจะได้ปริมาณผลผลิตหัวน้ำเชื้อทุเรียนเข้มข้นเพิ่มสูงขึ้นมากกว่าการสกัดภายใต้ปฏิกิริยาแบบต่อเนื่อง ผลการทดลองนี้จะต่างไปจากรายงานการวิจัยของ Sreenath และคณะ (1984) ซึ่งได้ทดลองนำเซลลูเลส (Cellulase BC) และ Rohament P ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่ทำให้ผักและผลไม้นิ่ม พบว่าการใช้เอนไซม์ร่วมกันภายใต้ภาวะปฏิกิริยาแบบต่อเนื่องจะให้ผลที่มีประสิทธิภาพดีกว่าการใช้ปฏิกิริยาแบบตามลำดับ โดยเมื่อนำ Rohament P ร่วมกับ Cellulase BC ความเข้มข้นของแต่ละเอนไซม์ 5 มิลลิกรัม บ่มที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เวลา 30 นาที พบว่าสามารถย่อยสลายโมเลกุลของแครอทได้ร้อยละ 100 ส่วนเมื่อใช้ Rohament P บ่มที่อุณหภูมิที่เหมาะสมที่ 45 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 หรือ 15 นาที จากนั้นเติม

Cellulase BC ซึ่งบ่มที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 25 หรือ 15 นาที จะได้อัตราการย่อยสลายร้อยละ 23 และ 49 ส่วนเมื่อทำการย่อยสลายแครอทโดยการเติม Cellulase BC เป็นเวลา 5 หรือ 15 นาที และเติม Rohament P เป็นเวลา 25 หรือ 15 นาที จะได้อัตราการย่อยสลายร้อยละ 62 และ 49 ซึ่งจะเห็นได้ว่าการใช้ Cellulase BC อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที ตามด้วย Rohament P ที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 25 นาที จะมีประสิทธิภาพดีที่สุด และจะดีกว่าการเติม Rohament P แล้วตามด้วย Cellulase BC เนื่องจากแครอทมีเส้นใยอยู่ในปริมาณสูง ดังนั้นเมื่อใช้เซลลูเลสย่อยสลายเป็นระยะเวลาหนึ่งจะทำให้ได้อัตราการย่อยสลายสูงขึ้น ดังนั้นลำดับของการทำปฏิกิริยาของเอนไซม์ที่ให้ประสิทธิภาพที่ดีจะแตกต่างจากลำดับการทำปฏิกิริยาของเอนไซม์ในการสกัดเนื้อทุเรียนบด เนื่องจากในเนื้อเยื่อผลไม้เอนไซม์เพคติเนสจะมีผลต่อการลดความหนืดของเนื้อผลไม้มากที่สุด อีกทั้งจากการพิจารณาโครงสร้างทางเคมีของผลไม้จะพบเพคตินในส่วน middle lamella และ primary cell wall ดังนั้น จึงต้องอาศัยเพคติเนสย่อยสลายก่อน และจากการทดลองนี้พบว่า การย่อยสลายภายใต้ภาวะปฏิกิริยาแบบต่อเนื่องจะให้ประสิทธิภาพที่ดีกว่าภาวะปฏิกิริยาแบบตามลำดับ ซึ่งให้ผลต่างจากการสกัดหัวน้ำเชื้อทุเรียน เนื่องจากในการสกัดหัวน้ำเชื้อทุเรียนภายใต้ภาวะปฏิกิริยาแบบตามลำดับ เป็นการยืดระยะเวลาในการย่อยสลายสับสเตรทโดยเอนไซม์แต่ละชนิด โดยเอนไซม์แต่ละชนิดสามารถทำงานได้อย่างเต็มที่ แต่ในการทดลองของ Sreenath และคณะ (1984) จะใช้เวลาในการทำปฏิกิริยาของเอนไซม์แต่ละชนิดในช่วงระยะเวลาจำกัด จึงทำให้ผลที่ได้ต่างกัน

4.3 สมบัติทางกายภาพของหัวน้ำเชื้อทุเรียนเข้มข้นที่สกัดโดยใช้เอนไซม์

จากการทดลองข้อ 3.3.3 หาสมบัติทางกายภาพของหัวน้ำเชื้อทุเรียนเข้มข้นชนิดต่างๆที่สกัดโดยใช้เอนไซม์ภายใต้ภาวะปฏิกิริยาแบบต่อเนื่องและแบบตามลำดับ ให้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.12

ตารางที่ 4.12 สมบัติทางกายภาพของหัวน้ำเชื้อทุเรียนเข้มข้นที่สกัดโดยการใช้เอนไซม์

ชนิดของหัวน้ำเชื้อทุเรียนเข้มข้น	ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด (°Brix)	pH	ปริมาณกรดซิตริก (กรัมต่อ 100 มิลลิลิตรของตัวอย่าง)	ระดับความเข้มของสี		
				เหลือง	แดง	ร้อยละของความสว่าง
A	37.4	6.82	0.33	4.8	1.4	60
B	37.5	6.80	0.26	5.0	2.3	60
C	37.0	6.83	0.27	5.0	2.1	60
D	37.0	6.84	0.30	5.0	2.2	60

A หัวน้ำเชื้อทุเรียนที่สกัดโดยใช้ความเข้มข้นของเพคติเนสร้อยละ 0.5 เซลลูเลสร้อยละ 0.5 อะมัยเลสร้อยละ 0.5 โดยปริมาตร/น้ำหนักเนื้อทุเรียนบด ภายใต้ภาวะปฏิกิริยาแบบต่อเนื่อง

B หัวน้ำเชื้อทุเรียนที่สกัดโดยใช้ความเข้มข้นของเพคติเนสร้อยละ 1.0 เซลลูเลสร้อยละ 0.5 อะมัยเลสร้อยละ 1.0 โดยปริมาตร/น้ำหนักเนื้อทุเรียนบด ภายใต้ภาวะปฏิกิริยาแบบต่อเนื่อง

C หัวน้ำเชื้อทุเรียนที่สกัดโดยใช้ความเข้มข้นของเพคติเนสร้อยละ 1.5 เซลลูเลสร้อยละ 1.0 อะมัยเลสร้อยละ 0.5 โดยปริมาตร/น้ำหนักเนื้อทุเรียนบด ภายใต้ภาวะปฏิกิริยาแบบต่อเนื่อง

D หัวน้ำเชื้อทุเรียนที่สกัดโดยใช้ความเข้มข้นของเพคติเนสร้อยละ 0.5 บ่มที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง เซลลูเลสร้อยละ 0.5 บ่มที่ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง และอะมัยเลสร้อยละ 0.5 บ่มที่ 45 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง

สมบัติทางกายภาพของหัวน้ำเชื้อทุเรียนเข้มข้นที่สกัดโดยเอนไซม์ ได้ผลดังตารางที่ 4.12 จะมีปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้อยู่ในปริมาณสูงประมาณ 37 °Brix ซึ่งมีผลทำให้อายุการเก็บของหัวน้ำเชื้อทุเรียนเข้มข้นสามารถเก็บได้นานโดยไม่มีการปนเปื้อนจากเชื้อจุลินทรีย์ หัวน้ำเชื้อทุเรียนเข้มข้นที่สกัดได้จะมี pH เป็นกลาง ปริมาณกรดต่ำ มีสีเหลือง และมีกลิ่นของทุเรียนธรรมชาติ ลักษณะของหัวน้ำเชื้อทุเรียนเข้มข้นที่สกัดโดยใช้เอนไซม์ภายใต้ภาวะปฏิกิริยาแบบต่อเนื่องและแบบตามลำดับ แสดงดังรูปที่ 4.5 และ 4.6 ตามลำดับ

หัวน้ำเชื้อทุเรียนเข้มข้นที่สกัดโดยการใช้เอนไซม์จะยังคงมีกลิ่นของทุเรียนสดอยู่ ซึ่งมีความเป็นไปได้ว่าการใช้เอนไซม์ช่วยในการสกัดน้ำผลไม้ นอกจากจะช่วยทำให้ปริมาณน้ำผลไม้ที่สกัดได้เพิ่มมากขึ้นแล้ว ยังคงรักษากลิ่นรสธรรมชาติของผลไม้นั้นไว้ได้ โดยเอนไซม์จะมีความจำเพาะต่อสับสเตรทสูง ดังนั้นจึงไม่มีผลต่อสารให้กลิ่นรสของผลไม้เมื่อเอนไซม์เข้าย่อยสลายสารโมเลกุลใหญ่ที่เป็นโครงสร้างของเนื้อเยื่อผลไม้ ที่คอยขัดขวางการสกัดน้ำผลไม้ให้มีโมเลกุลเล็กลง และปลดปล่อยน้ำผลไม้ที่อยู่ภายในเซลล์ออกสู่ภายนอกเซลล์ได้ รวมทั้งสารให้กลิ่นรสด้วย (Novo, Enzyme Information) ซึ่งจะสอดคล้องกับการทดลองของ Sreekantiah และคณะ (1968) ที่พบว่าน้ำผลไม้ที่ผ่านการสกัดโดยใช้เอนไซม์จะยังคงมีกลิ่นธรรมชาติของผลไม้นั้น Hudgson, Chan, Cavaletto และ Perera (1990) ได้ใช้ Pectinex Ultra SP-L ความเข้มข้นร้อยละ 0.2 โดยน้ำหนัก บ่มที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง จะได้น้ำฝรั่งมีสี กลิ่น และรสชาติ เหมือนกับน้ำฝรั่งที่ไม่ได้ผ่านการสกัดด้วยเอนไซม์ และจากการทดลองอื่นๆอีกมากมายที่สนับสนุน ได้แก่ การทดลองของ อรุณี เพียรทวีรัชต์ และปราณี อ่านเปรื่อง (2536),Dupaigne และ Dalnic (1965), Rombouts และ Pilnik (1978) และ Joshi และคณะ (1990) เป็นต้น

รูปที่ 4.5 หัวน้ำเชื้อทุเรียนที่สกัดโดยใช้เอนไซม์ภายใต้ภาวะปฏิกิริยาแบบต่อเนื่อง

(ก) หัวน้ำเชื้อทุเรียนที่สกัดโดยใช้ความเข้มข้นของเพคติเนสร้อยละ 0.5 เซลลูเลสร้อยละ 0.5 อะมัยเลสร้อยละ 0.5 โดยปริมาตร/น้ำหนักเนื้อทุเรียนบด

(ข) หัวน้ำเชื้อทุเรียนที่สกัดโดยใช้ความเข้มข้นของเพคติเนสร้อยละ 1.0 เซลลูเลสร้อยละ 0.5 อะมัยเลสร้อยละ 1.0 โดยปริมาตร/น้ำหนักเนื้อทุเรียนบด

(ค) หัวน้ำเชื้อทุเรียนที่สกัดโดยใช้ความเข้มข้นของเพคติเนสร้อยละ 1.5 เซลลูเลสร้อยละ 1.0 อะมัยเลสร้อยละ 0.5 โดยปริมาตร/น้ำหนักเนื้อทุเรียนบด

รูปที่ 4.6 หัวน้ำเชื้อทุเรียนที่สกัดโดยใช้เอนไซม์ภายใต้ภาวะปฏิกิริยาตามลำดับ ที่สภาวะความเข้มข้นของเพคติเนสร้อยละ 0.5 บ่มที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง เซลลูเลสร้อยละ 0.5 บ่มที่ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง และอะมัยเลสร้อยละ 0.5 บ่มที่ 45 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง

4.4 อายุการเก็บของหัวน้ำเชื้อทุเรียนเข้มข้น

จากการทดสอบข้อ 3.3.4 หาอายุการเก็บของหัวน้ำเชื้อทุเรียนเข้มข้นชนิดต่างๆ ที่เก็บที่อุณหภูมิห้องและอุณหภูมิห้องเย็น เก็บตัวอย่างทุกๆ 1 เดือน . เป็นระยะเวลา 4 เดือน

ตรวจวิเคราะห์หาสมบัติทางกายภาพตามข้อ 3.3.3 และจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดกับจำนวนเชื้อรา และยีสต์ ได้ผลตามตารางที่ 4.13, 4.14, 4.15 และ 4.16

ตารางที่ 4.13 จำนวนจุลินทรีย์ที่พบในหัวน้ำเชื้อทุเรียนเข้มข้น เก็บที่อุณหภูมิห้องเย็นที่ระยะเวลาการเก็บต่างๆกัน

ชนิดของหัวน้ำเชื้อทุเรียนเข้มข้น	ระยะเวลาการเก็บ (เดือน)	จำนวนจุลินทรีย์ (โคโลนี/1 มิลลิลิตร)	
		จุลินทรีย์ทั้งหมด	เชื้อราและยีสต์
A	0	< 10	< 10
	1	< 10	< 10
	2	< 30	< 30
	3	< 30	< 30
	4	< 30	< 30
B	0	< 10	< 10
	1	< 10	< 10
	2	< 30	< 30
	3	< 30	< 30
	4	< 30	< 30

ชนิดของหัวน้ำเชื้อทุเรียนเข้มข้น	ระยะเวลาการเก็บ (เดือน)	จำนวนจุลินทรีย์ (โคโลนี/1 มิลลิลิตร)	
		จุลินทรีย์ทั้งหมด	เชื้อราและยีสต์
C	0	< 10	< 10
	1	< 10	< 10
	2	< 30	< 30
	3	< 30	< 30
	4	< 30	< 30
D	0	< 10	< 10
	1	< 10	< 10
	2	< 30	< 30
	3	< 30	< 30
	4	< 30	< 30

A หัวน้ำเชื้อทุเรียนที่สกัดโดยใช้ความเข้มข้นของเพคติเนสร้อยละ 0.5 เซลลูเลสร้อยละ 0.5 อะมัยเลสร้อยละ 0.5 โดยปริมาตร/น้ำหนักเนื้อทุเรียนบด ภายใต้ภาวะปฏิกิริยาแบบต่อเนื่อง

B หัวน้ำเชื้อทุเรียนที่สกัดโดยใช้ความเข้มข้นของเพคติเนสร้อยละ 1.0 เซลลูเลสร้อยละ 0.5 อะมัยเลสร้อยละ 1.0 โดยปริมาตร/น้ำหนักเนื้อทุเรียนบด ภายใต้ภาวะปฏิกิริยาแบบต่อเนื่อง

C หัวน้ำเชื้อทุเรียนที่สกัดโดยใช้ความเข้มข้นของเพคติเนสร้อยละ 1.5 เซลลูเลสร้อยละ 1.0 อะมัยเลสร้อยละ 0.5 โดยปริมาตร/น้ำหนักเนื้อทุเรียนบด ภายใต้ภาวะปฏิกิริยาแบบต่อเนื่อง

D หัวน้ำเชื้อทุเรียนที่สกัดโดยใช้ความเข้มข้นของเพคติเนสร้อยละ 0.5 บ่มที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง เซลลูเลสร้อยละ 0.5 บ่มที่ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง และอะมัยเลสร้อยละ 0.5 บ่มที่ 45 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง

ตารางที่ 4.14 จำนวนจุลินทรีย์ที่พบในหัวน้ำเชื้อทุเรียนเข้มข้น เก็บที่อุณหภูมิห้องที่ระยะเวลาการเก็บต่างๆกัน

ชนิดของหัวน้ำเชื้อทุเรียนเข้มข้น	ระยะเวลาการเก็บ (เดือน)	จำนวนจุลินทรีย์ (โคโลนี/1 มิลลิลิตร)	
		จุลินทรีย์ทั้งหมด	เชื้อราและยีสต์
A	0	< 10	< 10
	1	2.45×10^{6}	4.0×10^{5}
B	0	< 10	< 10
	1	2.23×10^{5}	4.47×10^{4}
C	0	< 10	< 10
	1	1.04×10^{5}	2.80×10^{4}
D	0	< 10	< 10
	1	4.88×10^{5}	3.86×10^{3}

A หัวน้ำเชื้อทุเรียนที่สกัดโดยใช้ความเข้มข้นของเพคติเนสร้อยละ 0.5 เซลลูเลสร้อยละ 0.5 อะมัยเลสร้อยละ 0.5 โดยปริมาตร/น้ำหนักเนื้อทุเรียนบด ภายใต้ภาวะปฏิกิริยาแบบต่อเนื่อง

B หัวน้ำเชื้อทุเรียนที่สกัดโดยใช้ความเข้มข้นของเพคติเนสร้อยละ 1.0 เซลลูเลสร้อยละ 0.5 อะมัยเลสร้อยละ 1.0 โดยปริมาตร/น้ำหนักเนื้อทุเรียนบด ภายใต้ภาวะปฏิกิริยาแบบต่อเนื่อง

C หัวน้ำเชื้อทุเรียนที่สกัดโดยใช้ความเข้มข้นของเพคติเนสร้อยละ 1.5 เซลลูเลสร้อยละ 1.0 อะมัยเลสร้อยละ 0.5 โดยปริมาตร/น้ำหนักเนื้อทุเรียนบด ภายใต้ภาวะปฏิกิริยาแบบต่อเนื่อง

D หัวน้ำเชื้อทุเรียนที่สกัดโดยใช้ความเข้มข้นของเพคติเนสร้อยละ 0.5 บ่มที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง เซลลูเลสร้อยละ 0.5 บ่มที่ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง และอะมัยเลสร้อยละ 0.5 บ่มที่ 45 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง

ตารางที่ 4.15 สมบัติทางกายภาพของหัวน้ำเชื้อทุเรียนเข้มข้น เก็บที่อุณหภูมิห้องเย็นที่ระยะเวลาการเก็บต่างๆกัน

ชนิดของหัวน้ำเชื้อทุเรียนเข้มข้น	ระยะเวลาการเก็บ (เดือน)	ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด (°Brix)	pH	ปริมาณกรดซิตริก (กรัมต่อ 100 มิลลิลิตรของตัวอย่าง)	ระดับความเข้มของสี		
					เหลือง	แดง	ร้อยละของความสว่าง
A	0	37.4	6.82	0.33	4.8	1.4	60
	1	37.4	6.80	0.24	4.9	1.8	50
	2	37.0	6.70	0.24	6.6	2.2	30
	3	36.8	6.69	0.23	7.0	2.3	30
	4	36.8	6.65	0.23	7.5	2.5	30

ชนิดของหัวน้ำเชื้อทุเรียนเข้มข้น	ระยะเวลาการเก็บ (เดือน)	ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด (°Brix)	pH	ปริมาณกรดซิตริก (กรัมต่อ 100 มิลลิลิตรของตัวอย่าง)	ระดับความเข้มของสี		
					เหลือง	แดง	ร้อยละของความสว่าง
B	0	37.5	6.80	0.26	5.0	2.3	60
	1	37.0	6.65	0.23	5.1	2.4	50
	2	36.5	6.57	0.22	5.9	2.6	30
	3	36.4	6.50	0.22	7.1	2.9	30
	4	36.0	6.48	0.22	7.9	3.1	30
C	0	37.0	6.83	0.27	5.0	2.1	60
	1	37.0	6.68	0.26	5.1	2.3	50
	2	36.8	6.57	0.25	5.9	2.7	30
	3	36.7	6.51	0.25	7.2	3.0	30
	4	36.4	6.49	0.24	8.0	3.2	30
D	0	37.0	6.84	0.29	5.0	2.2	60
	1	37.0	6.78	0.30	5.1	2.3	50
	2	36.9	6.65	0.28	5.9	2.9	30
	3	36.5	6.62	0.27	7.1	3.1	30
	4	36.4	6.59	0.27	8.0	3.1	30

A หัวน้ำเชื้อทุเรียนที่สกัดโดยใช้ความเข้มข้นของเพคติเนสร้อยละ 0.5 เซลลูเลสร้อยละ 0.5 และมัยเลสร้อยละ 0.5 โดยปริมาตร/น้ำหนักเนื้อทุเรียนบด ภายใต้ภาวะปฏิกิริยาแบบต่อเนื่อง

B หัวน้ำเชื้อทุเรียนที่สกัดโดยใช้ความเข้มข้นของเพคติเนสร้อยละ 1.0 เซลลูเลสร้อยละ 0.5 อะมัยเลสร้อยละ 1.0 โดยปริมาตร/น้ำหนักเนื้อทุเรียนบด ภายใต้ภาวะปฏิกิริยาแบบต่อเนื่อง

C หัวน้ำเชื้อทุเรียนที่สกัดโดยใช้ความเข้มข้นของเพคติเนสร้อยละ 1.5 เซลลูเลสร้อยละ 1.0 อะมัยเลสร้อยละ 0.5 โดยปริมาตร/น้ำหนักเนื้อทุเรียนบด ภายใต้ภาวะปฏิกิริยาแบบต่อเนื่อง

D หัวน้ำเชื้อทุเรียนที่สกัดโดยใช้ความเข้มข้นของเพคติเนสร้อยละ 0.5 บ่มที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง เซลลูเลสร้อยละ 0.5 บ่มที่ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง และอะมัยเลสร้อยละ 0.5 บ่มที่ 45 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง

ตารางที่ 4.16 สมบัติทางกายภาพของหัวน้ำเชื้อทุเรียนเข้มข้นเก็บที่อุณหภูมิห้อง ที่ระยะเวลาการเก็บต่างๆกัน

ชนิดของหัวน้ำเชื้อทุเรียน	ระยะเวลาการเก็บ (เดือน)	ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด (°Brix)	pH	ปริมาณกรดซิตริก (กรัมต่อ 100 มิลลิลิตรของตัวอย่าง)	ระดับความเข้มของสี		
					เหลือง	แดง	ร้อยละของความสว่าง
A	0	37.4	6.82	0.33	4.8	1.4	60
	1	28.6	4.47	0.56	8.1	3.1	40
B	0	37.5	6.80	0.26	5.0	2.3	60
	1	28.6	4.47	0.91	8.3	3.1	40
C	0	37.0	6.83	0.27	5.0	2.1	60
	1	28.6	6.33	0.33	8.8	3.6	40

ชนิดของหัวน้ำเชื้อทุเรียน	ระยะเวลาการเก็บ (เดือน)	ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด (°Brix)	pH	ปริมาณกรดซิตริก (กรัมต่อ 100 มิลลิลิตรของตัวอย่าง)	ระดับความเข้มของสี		
					เหลือง	แดง	ร้อยละของความสว่าง
D	0	37.0	6.84	0.30	5.0	2.2	60
	1	28.6	4.45	0.90	8.9	3.5	40

A หัวน้ำเชื้อทุเรียนที่สกัดโดยใช้ความเข้มข้นของเพคติเนสร้อยละ 0.5 เซลลูเลสร้อยละ 0.5 อะมัยเลสร้อยละ 0.5 โดยปริมาตร/น้ำหนักเนื้อทุเรียนบด ภายใต้ภาวะปฏิกิริยาแบบต่อเนื่อง

B หัวน้ำเชื้อทุเรียนที่สกัดโดยใช้ความเข้มข้นของเพคติเนสร้อยละ 1.0 เซลลูเลสร้อยละ 0.5 อะมัยเลสร้อยละ 1.0 โดยปริมาตร/น้ำหนักเนื้อทุเรียนบด ภายใต้ภาวะปฏิกิริยาแบบต่อเนื่อง

C หัวน้ำเชื้อทุเรียนที่สกัดโดยใช้ความเข้มข้นของเพคติเนสร้อยละ 1.5 เซลลูเลสร้อยละ 1.0 อะมัยเลสร้อยละ 0.5 โดยปริมาตร/น้ำหนักเนื้อทุเรียนบด ภายใต้ภาวะปฏิกิริยาแบบต่อเนื่อง

D หัวน้ำเชื้อทุเรียนที่สกัดโดยใช้ความเข้มข้นของเพคติเนสร้อยละ 0.5 บ่มที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง เซลลูเลสร้อยละ 0.5 บ่มที่ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง และอะมัยเลสร้อยละ 0.5 บ่มที่ 45 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง

จากตารางที่ 4.14 และ 4.16 จะเห็นได้ว่าหัวน้ำเชื้อทุเรียนเข้มข้นไม่สามารถเก็บรักษาหรือตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องได้เลย เพราะจะเสื่อมสภาพเนื่องจากจุลินทรีย์อย่างรวดเร็ว ภายในระยะเวลา 1 เดือน หัวน้ำเชื้อทุเรียนเข้มข้นชนิดต่างๆจะมีจำนวนจุลินทรีย์ที่พบทั้งหมด เชื้อรา และยีสต์ เพิ่มสูงขึ้นมาก สีเข้มขึ้นอย่างเห็นเด่นชัด ปริมาณกรดซิตริกสูงขึ้น และ pH ต่ำลง หัวน้ำเชื้อทุเรียนเข้มข้นที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องนี้จะมีกลิ่นเหม็น ไม่มีกลิ่นของทุเรียนเหลืออยู่ แต่จะมีกลิ่นหมักดองขึ้นมาแทน ส่วนหัวน้ำเชื้อทุเรียนเข้มข้นที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องเย็นนั้น จะมีจำนวนจุลินทรีย์ที่พบทั้งหมด เชื้อรา และยีสต์ อยู่ในปริมาณต่ำ โดยในช่วง 1 เดือนแรก จะ

ตรวจไม่พบจุลินทรีย์ในหัวน้ำเชื้อทุเรียนเข้มข้น เมื่ออายุการเก็บ 2-3 เดือนจะตรวจพบจุลินทรีย์ประมาณ 1-2 โคโลนี ส่วนเดือนที่ 4 จะตรวจพบจุลินทรีย์ประมาณ 6-7 โคโลนี ต่อหัวน้ำเชื้อทุเรียน 1 มิลลิลิตร ซึ่งเชื้อส่วนใหญ่จะเป็นเชื้อราและยีสต์ เมื่อตรวจวัดลักษณะทางกายภาพของหัวน้ำเชื้อทุเรียนเข้มข้นชนิดต่างๆ จะเห็นว่าเมื่ออายุการเก็บ 3-4 เดือน สีของผลิตภัณฑ์จะเข้มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด แต่ปริมาณกรดซิตริก และ pH รวมทั้งปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้จะไม่ค่อยเปลี่ยนแปลงเมื่ออายุการเก็บเพิ่มมากขึ้น ดังแสดงในตารางที่ 4.13 และ 4.15 อีกทั้งจากการทดสอบเบื้องต้นทางประสาทสัมผัสจะเห็นว่ากลิ่นของทุเรียนสดปกติลดลงเล็กน้อย แต่สีของหัวน้ำเชื้อทุเรียนเข้มข้นจะเข้มขึ้น ซึ่งสีของผลิตภัณฑ์ที่เข้มขึ้นนี้อาจเนื่องมาจากพวกน้ำตาลริดิวส์โดยเกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่ไม่ได้อาศัยเอนไซม์ (Braverman, 1963) ดังนั้นถ้าดูจากสีที่เปลี่ยนแปลงไป หัวน้ำเชื้อทุเรียนเข้มข้นจะสามารถเก็บที่อุณหภูมิห้องเย็นได้เป็นเวลาไม่เกิน 3 เดือน

จากผลการทดลองจะเห็นว่า เมื่อเก็บหัวน้ำเชื้อทุเรียนเข้มข้นไว้ที่อุณหภูมิห้อง จะมีจุลินทรีย์ปนเปื้อนอย่างรวดเร็วและมีสีเข้มขึ้น ซึ่งเหมือนกับในการเสื่อมเสียของโมลาส (molasses) หรือไซรับที่ตั้งทิ้งไว้เป็นระยะเวลานาน ที่ผิวหน้าของไซรับจะมีราขึ้น มีกรดสูงขึ้น และการเสียของไซรับจะเกิดจากราและยีสต์ (Frazier และ Westhoff, 1988)

รูปที่ 4.7 ลักษณะของหัวน้ำเชื้อทุเรียนเข้มข้น

(ก) หัวน้ำเชื้อทุเรียนเข้มข้นที่สกัดได้ใหม่ๆ

(ข) หัวน้ำเชื้อทุเรียนที่เก็บที่อุณหภูมิห้องเย็นเป็นระยะเวลา 4 เดือน

4.5 <u>เปรียบเทียบสมบัติทางประสาทสัมผัสระหว่างหัวน้ำเชื้อทุเรียนเข้มข้นที่สกัดได้ โดยการใช้เอนไซม์กับหัวน้ำเชื้อทุเรียนสังเคราะห์</u>

จากการทดสอบสมบัติทางประสาทสัมผัสหัวน้ำเชื้อทุเรียนที่สกัดโดยเอนไซม์ และหัวน้ำเชื้อทุเรียนสังเคราะห์ ในการทดลองข้อ 3.3.5 โดยใส่ปรุงแต่งในผลิตภัณฑ์ไอศกรีม นม และโดนัทราดไอซิ่ง พิจารณาสมบัติดังนี้คือ กลิ่น รสชาติ และการยอมรับรวม เปรียบเทียบสมบัติดังกล่าวของหัวน้ำเชื้อทุเรียนที่ได้ทั้ง 2 กรณี โดยใช้ผู้ทดสอบจำนวน 20 คน ได้ผลดังแสดงไว้ในตารางที่ 4.17, 4.18 และ 4.19

ตารางที่ 4.17 คะแนนเฉลี่ยของการทดสอบทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ไอศกรีมกลิ่นทุเรียน เปรียบเทียบระหว่างผลิตภัณฑ์ที่ผสมหัวน้ำเชื้อทุเรียน ที่สกัดจากเอนไซม์ความเข้มข้นต่างๆกัน และผลิตภัณฑ์ที่ใส่หัวน้ำเชื้อทุเรียนสังเคราะห์

ชนิดของหัวน้ำเชื้อทุเรียน	คะแนนเฉลี่ยของผลิตภัณฑ์ซึ่งผสมหัวน้ำเชื้อทุเรียนชนิดต่างๆ ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน		
	กลิ่น	รสชาติ	การยอมรับรวม
A	11.27 ± 2.81^{ns}	10.04 ± 2.90^{c}	8.66 ± 4.13^{b}
B	12.73 ± 1.98^{ns}	11.95 ± 2.03^{a}	10.68 ± 2.70^{a}
C	12.18 ± 2.17^{ns}	10.36 ± 2.42^{bc}	9.50 ± 3.42^{ab}
D	11.11 ± 2.01^{ns}	10.15 ± 2.10^{bc}	8.61 ± 3.15^{b}
E	12.23 ± 2.22^{ns}	11.45 ± 2.24^{ab}	10.18 ± 3.74^{ab}

A หัวน้ำเชื้อทุเรียนที่สกัดโดยใช้ความเข้มข้นของเพคติเนสร้อยละ 0.5 เซลลูเลสร้อยละ 0.5 อะมัยเลสร้อยละ 0.5 โดยปริมาตร/น้ำหนักเนื้อทุเรียน ภายใต้ภาวะปฏิกิริยาแบบต่อเนื่อง

B หัวน้ำเชื้อทุเรียนที่สกัดโดยใช้ความเข้มข้นของเพคติเนสร้อยละ 1.0 เซลลูเลสร้อยละ 0.5 อะมัยเลสร้อยละ 1.0 โดยปริมาตร/น้ำหนักเนื้อทุเรียน ภายใต้ภาวะปฏิกิริยาแบบต่อเนื่อง

C หัวน้ำเชื้อทุเรียนที่สกัดโดยใช้ความเข้มข้นของเพคติเนสร้อยละ 1.5 เซลลูเลสร้อยละ 1.0 อะมัยเลสร้อยละ 1.5 โดยปริมาตร/น้ำหนักเนื้อทุเรียน ภายใต้ภาวะปฏิกิริยาแบบต่อเนื่อง

D หัวน้ำเชื้อทุเรียนที่สกัดโดยใช้ความเข้มข้นของเพคติเนสร้อยละ 0.5 บ่มที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง เซลลูเลสร้อยละ 0.5 บ่มที่ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง และอะมัยเลสร้อยละ 0.5 บ่มที่ 45 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง

E หัวน้ำเชื้อทุเรียนสังเคราะห์

a,b,c ตัวเลขที่มีตัวอักษรกำกับต่างกันในแถวตั้งเดียวกันแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ns ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

จากตารางที่ 4.17 จะเห็นได้ว่าผลิตภัณฑ์ไอศกรีมกลิ่นทุเรียนมีคะแนนเฉลี่ยด้านกลิ่นของหัวน้ำเชื้อชนิดต่างๆไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ปรุงแต่งรสด้วยหัวน้ำเชื้อทุเรียนสูตร A และ D จะมีกลิ่นแปลกปลอมเช่นกลิ่นของเอนไซม์เล็กน้อย แต่มีกลิ่นของทุเรียนสดปกติอยู่ ส่วนคะแนนเฉลี่ยทางด้านรสชาติและการยอมรับรวมของหัวน้ำเชื้อสูตร B และหัวน้ำเชื้อทุเรียนสังเคราะห์จะไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) จะมีรสแปลกปลอมเช่นรสขมเล็กน้อย แต่มีรสของทุเรียนสดปกติอยู่ ส่วนคะแนนการยอมรับรวมจะอยู่ในเกณฑ์ยอมรับมาก โดยหัวน้ำเชื้อทุเรียนสูตร B จะได้คะแนนการยอมรับสูงกว่า

ตารางที่ 4.18 คะแนนเฉลี่ยของการทดสอบทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์นมกลิ่นทุเรียนเปรียบเทียบระหว่างผลิตภัณฑ์ที่ผสมหัวน้ำเชื้อทุเรียนที่สกัดจากเอนไซม์ความเข้มข้นต่างๆกัน และผลิตภัณฑ์ที่ใส่หัวน้ำเชื้อทุเรียนสังเคราะห์

ชนิดของหัวน้ำเชื้อทุเรียน	คะแนนเฉลี่ยของผลิตภัณฑ์ซึ่งผสมหัวน้ำเชื้อทุเรียนชนิดต่างๆ ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน		
	กลิ่น	รสชาติ	การยอมรับรวม
A	10.95 ± 3.35^{b}	12.20 ± 2.55^{ab}	11.20 ± 2.86^{ns}
B	10.40 ± 2.46^{b}	11.95 ± 2.56^{ab}	11.00 ± 2.41^{ns}
C	9.75 ± 3.32^{b}	10.95 ± 2.44^{b}	9.60 ± 2.72^{ns}
D	10.35 ± 2.18^{b}	10.88 ± 1.49^{b}	10.01 ± 2.25^{ns}
E	12.80 ± 1.82^{a}	12.70 ± 1.49^{a}	10.80 ± 2.35^{ns}

A หัวน้ำเชื้อทุเรียนที่สกัดโดยใช้ความเข้มข้นของเพคติเนสร้อยละ 0.5 เซลลูเลสร้อยละ 0.5 อะมัยเลสร้อยละ 0.5 โดยปริมาตร/น้ำหนักเนื้อทุเรียน ภายใต้ภาวะปฏิกิริยาแบบต่อเนื่อง

B หัวน้ำเชื้อทุเรียนที่สกัดโดยใช้ความเข้มข้นของเพคติเนสร้อยละ 1.0 เซลลูเลสร้อยละ 0.5 อะมัยเลสร้อยละ 1.0 โดยปริมาตร/น้ำหนักเนื้อทุเรียน ภายใต้ภาวะปฏิกิริยาแบบต่อเนื่อง

C หัวน้ำเชื้อทุเรียนที่สกัดโดยใช้ความเข้มข้นของเพคติเนสร้อยละ 1.5 เซลลูเลสร้อยละ 1.0 อะมัยเลสร้อยละ 0.5 โดยปริมาตร/น้ำหนักเนื้อทุเรียน ภายใต้ภาวะปฏิกิริยาแบบต่อเนื่อง

D หัวน้ำเชื้อทุเรียนที่สกัดโดยใช้ความเข้มข้นของเพคติเนสร้อยละ 0.5 บ่มที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง เซลลูเลสร้อยละ 0.5 บ่มที่ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง และอะมัยเลสร้อยละ 0.5 บ่มที่ 45 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง

E หัวน้ำเชื้อทุเรียนสังเคราะห์

a,b,c ตัวเลขที่มีตัวอักษรกำกับต่างกันในแถวตั้งเดียวกันแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ns ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

จากตารางที่ 4.18 เมื่อปรุงแต่งกลิ่นรสหัวน้ำเชื้อทุเรียนเข้มข้นชนิดต่างๆในผลิตภัณฑ์นมกลิ่นทุเรียน พบว่า ผลิตภัณฑ์ที่ปรุงแต่งกลิ่นรสด้วยหัวน้ำเชื้อทุเรียนสังเคราะห์จะมีกลิ่นแปลกปลอมเล็กน้อย มีกลิ่นทุเรียนสดปกติ ดีกว่าการใช้หัวน้ำเชื้อสูตรอื่น อาจเนื่องมาจากในผลิตภัณฑ์นม ผู้ทดสอบบางท่านจะเคยชินกับกลิ่นสังเคราะห์ เช่น กลิ่นนมรสสตอร์เบอรี่ จึงให้คะแนนของกลิ่นสังเคราะห์สูงกว่ากลิ่นจากสูตรอื่น และกลิ่นของหัวน้ำเชื้อทุเรียนสูตร A, B, C และ D มีกลิ่นทุเรียนน้อยแต่ก็ยังคงให้กลิ่นของทุเรียนสดปกติอยู่ ส่วนคะแนนด้านรสชาติและการยอมรับรวมจะเห็นว่านมที่ใส่หัวน้ำเชื้อทุเรียนเข้มข้นที่สกัดจากเอนไซม์สูตร A จะมีคะแนนการยอมรับสูงกว่าหัวน้ำเชื้อทุเรียนสังเคราะห์ แต่มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) และคะแนนการยอมรับรวมอยู่ในเกณฑ์ยอมรับมาก

ตารางที่ 4.19 คะแนนเฉลี่ยของการทดสอบทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์โดนัทราดไอซิ่งกลิ่นทุเรียน เปรียบเทียบระหว่างผลิตภัณฑ์ที่ผสมหัวน้ำเชื้อทุเรียนที่สกัดจากเอนไซม์ความเข้มข้นต่างๆกัน และผลิตภัณฑ์ที่ใส่หัวน้ำเชื้อทุเรียนสังเคราะห์

ชนิดของหัวน้ำเชื้อทุเรียน	คะแนนเฉลี่ยของผลิตภัณฑ์ซึ่งผสมหัวน้ำเชื้อทุเรียนชนิดต่างๆ ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน		
	กลิ่น	รสชาติ	การยอมรับรวม
A	12.60 ± 1.60^{a}	12.75 ± 1.48^{ab}	11.35 ± 2.45^{ab}
B	12.60 ± 1.96^{a}	13.00 ± 1.45^{a}	11.95 ± 1.57^{a}
C	11.97 ± 2.17^{ab}	12.17 ± 1.95^{ab}	11.12 ± 2.65^{ab}
D	11.91 ± 2.07^{ab}	12.13 ± 2.10^{ab}	11.10 ± 2.13^{ab}
E	10.85 ± 3.64^{b}	11.55 ± 3.28^{b}	10.35 ± 3.60^{b}

A หัวน้ำเชื้อทุเรียนที่สกัดโดยใช้ความเข้มข้นของเพคติเนสร้อยละ 0.5 เซลลูเลสร้อยละ 0.5 อะมัยเลสร้อยละ 0.5 โดยปริมาตร/น้ำหนักเนื้อทุเรียน ภายใต้ภาวะปฏิกิริยาแบบต่อเนื่อง

B หัวน้ำเชื้อทุเรียนที่สกัดโดยใช้ความเข้มข้นของเพคติเนสร้อยละ 1.0 เซลลูเลสร้อยละ 0.5 อะมัยเลสร้อยละ 1.0 โดยปริมาตร/น้ำหนักเนื้อทุเรียน ภายใต้ภาวะปฏิกิริยาแบบต่อเนื่อง

C หัวน้ำเชื้อทุเรียนที่สกัดโดยใช้ความเข้มข้นของเพคติเนสร้อยละ 1.5 เซลลูเลสร้อยละ 1.0 อะมัยเลสร้อยละ 0.5 โดยปริมาตร/น้ำหนักเนื้อทุเรียน ภายใต้ภาวะปฏิกิริยาแบบต่อเนื่อง

D หัวน้ำเชื้อทุเรียนที่สกัดโดยใช้ความเข้มข้นของเพคติเนสร้อยละ 0.5 บ่มที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง เซลลูเลสร้อยละ 0.5 บ่มที่ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง และอะมัยเลสร้อยละ 0.5 บ่มที่ 45 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง

E หัวน้ำเชื้อทุเรียนสังเคราะห์

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

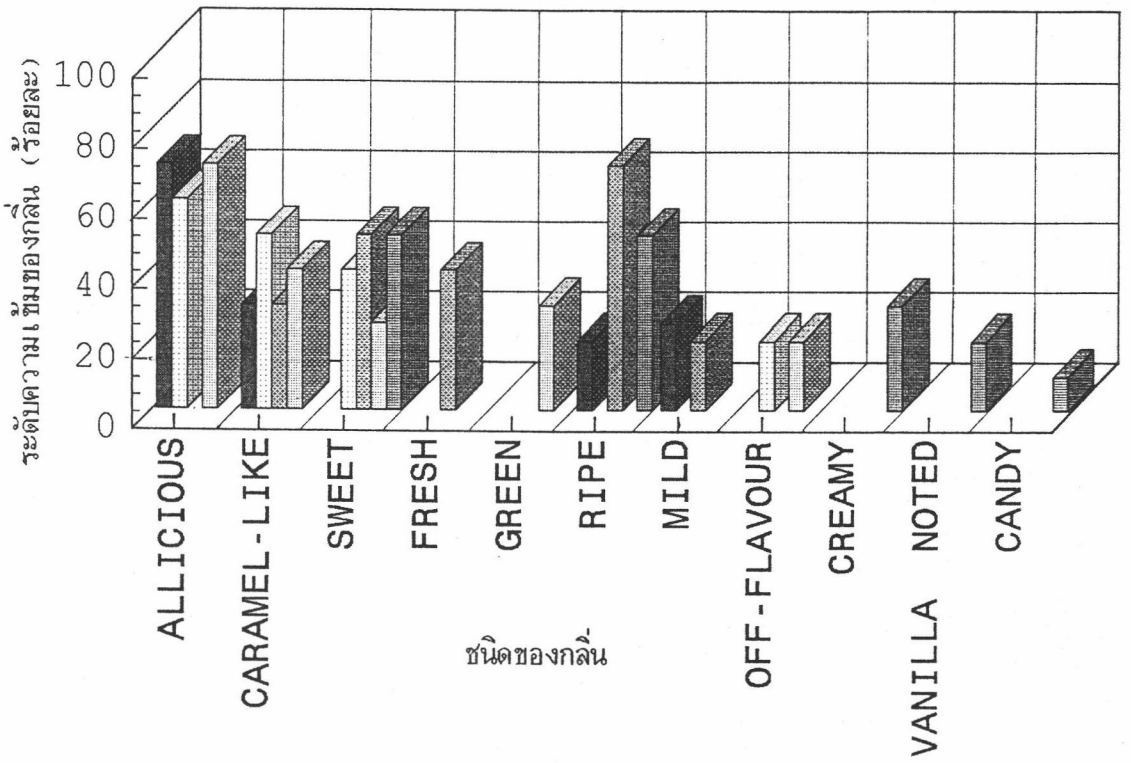
จากตารางที่ 4.19 เมื่อปรุงแต่งกลิ่นรสหัวน้ำเชื้อทุเรียนเข้มข้นชนิดต่างๆ ในผลิตภัณฑ์โดนัทราดไอซิ่งโดยใส่กลิ่นลงในส่วนของไอซิ่ง พบว่า ผลิตภัณฑ์ที่ปรุงแต่งกลิ่นรสด้วยหัวน้ำเชื้อทุเรียนเข้มข้นที่สกัดจากเอนไซม์ทั้ง 4 สูตร จะมีคะแนนกลิ่น รส และการยอมรับรวมแตกต่างจากหัวน้ำเชื้อทุเรียนสังเคราะห์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ซึ่งคะแนนของหัวน้ำเชื้อทุเรียนที่สกัดจากเอนไซม์จะสูงกว่าเมื่อใช้กลิ่นสังเคราะห์ ผลิตภัณฑ์ที่ปรุงแต่งกลิ่นรสด้วยหัวน้ำเชื้อสูตร B จะมีกลิ่นแปลกปลอมเล็กน้อย แต่ยังมีกลิ่นของทุเรียนสดปกติอยู่ มีรสชาติของทุเรียนสดปกติ และคะแนนการยอมรับรวมอยู่ในเกณฑ์ยอมรับมาก และจะเห็นได้ว่าในการใช้หัวน้ำเชื้อทุเรียนเข้มข้นที่สกัดจากเอนไซม์ปรุงแต่งกลิ่นรสในผลิตภัณฑ์อาหารซึ่งผ่านการให้ความร้อนจะยังคงมีกลิ่นและรสของทุเรียนอยู่ แสดงให้เห็นว่ากลิ่นของหัวน้ำเชื้อทุเรียนเข้มข้นไม่ถูกทำลายด้วยความร้อน

ดังนั้น การนำหัวน้ำเชื้อทุเรียนเข้มข้นที่สกัดโดยการใช้เอนไซม์มาปรุงแต่งกลิ่นรสในผลิตภัณฑ์อาหาร จะทำให้ผลิตภัณฑ์นั้นมีกลิ่นรสของทุเรียนสดปกติมากกว่าการใช้หัวน้ำเชื้อทุเรียนสังเคราะห์ และยังมีคะแนนการยอมรับผลิตภัณฑ์อยู่ในเกณฑ์ยอมรับมาก จึงน่าที่จะนำหัวน้ำเชื้อทุเรียนเข้มข้นที่สกัดโดยใช้เอนไซม์นี้มาปรุงแต่งกลิ่นรสในผลิตภัณฑ์อาหารต่างๆ เพื่อให้มีผลิตภัณฑ์แปลกใหม่ที่มีกลิ่นรสเฉพาะของทุเรียนสด การนำหัวน้ำเชื้อทุเรียนเข้มข้นมาใช้เป็นสารปรุงแต่งกลิ่นรสในผลิตภัณฑ์อาหารพวกไอศกรีม นม และไอซิ่งราดโดนัท เป็นเพียงแนวทางหนึ่งในการนำไปใช้ประโยชน์ในผลิตภัณฑ์อาหาร ซึ่งน่าจะเป็นทางเลือกหนึ่งที่จะนำไปสู่อุตสาหกรรมที่มีศักยภาพต่อไปในอนาคต และจะเห็นได้ว่าการใช้เอนไซม์ในการสกัดหัวน้ำเชื้อทุเรียนจะทำให้ได้น้ำทุเรียนออกมาที่ยังคงมีกลิ่นเฉพาะของทุเรียนสดปกติอยู่ ซึ่งนับว่าเป็นข้อมูลเพิ่มขึ้นจากฐานข้อมูลเดิมซึ่งสกัดจากผลไม้ประเภทต่างๆ (อรุณี เพียรทวีรัชต์ และปราณี อ่านเปรื่อง, 2536; Dupaigne and Dalmic, 1965; Rombouts and Pilnik, 1978; Joshi et al., 1991)

4.6 การแจกแจงชนิดและระดับความเข้มของกลิ่นทางประสาทสัมผัส (flavor profile) ของหัวน้ำเชื้อทุเรียนเข้มข้นชนิดต่างๆ

จากการศึกษาสารประกอบที่ให้กลิ่นเฉพาะของทุเรียน (Moser et al., 1980) พบว่า ในทุเรียนสุกจะพบสารประกอบที่ทำให้เกิดกลิ่นเฉพาะของทุเรียนที่สำคัญ ได้แก่ H_2S, diethyl disulfides, diethyl trisulfides อีกทั้งยังตรวจพบสารที่ให้กลิ่นผลไม้ (fruit odour) พวก ethyl acetate, 1,1-diethoxy ethane และ ethyl-2 methyl butanoate ซึ่งสารเหล่านี้ต้องทำการตรวจวัดโดยใช้เครื่อง GC-MS และ ^1H NMR งานวิจัยนี้จึงมีข้อจำกัดในการตรวจวัดสารประกอบที่ให้กลิ่นในทุเรียน เนื่องจากปัญหาเรื่องของคอลัมน์ที่จะใช้กับเครื่อง GC-MS รวมทั้งสารมาตรฐานพวก H_2S, diethyl disulfides, diethyl trisulfides, ethyl acetate, 1,1-diethoxy ethane, ethyl-2 methyl butanoate ซึ่งมีราคาแพง รวมทั้งจากการศึกษาของ Moser และคณะ จะทราบเฉพาะสารประกอบที่ทำให้เกิดกลิ่นเท่านั้น แต่ไม่ทราบปริมาณของสารที่แน่นอน ดังนั้น ในการศึกษาเรื่องกลิ่นของทุเรียนจึงต้องใช้ค่าใช้จ่ายที่สูงมาก จึงต้องอาศัยการทดสอบทางประสาทสัมผัสโดยการดมกลิ่นโดยใช้ผู้ชำนาญการแทน ในการจำแนกกลิ่นที่พบในหัวน้ำเชื้อทุเรียนแทน

จากการทดลองข้อ 3.3.6 ทำการทดสอบทางประสาทสัมผัสโดยการดมกลิ่น (direct smell) ผู้ทดสอบที่ชำนาญการทางด้านกลิ่นได้จำแนกชนิดและระดับความเข้มของกลิ่น ของหัวน้ำเชื้อทุเรียนเข้มข้นชนิดต่างๆ ดังแสดงดังรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.8 การแจกแจงชนิดและระดับความเข้มของกลิ่นทางประสาทสัมผัส

หัวน้ำเชื้อทุเรียนที่สกัดโดยใช้ความเข้มข้นของเพคติเนสร้อยละ 0.5 เซลลูเลสร้อยละ 0.5 อะมัยเลสร้อยละ 0.5 โดยปริมาตร/น้ำหนักเนื้อทุเรียน ภายใต้ภาวะปฏิกิริยาแบบต่อเนื่อง

หัวน้ำเชื้อทุเรียนที่สกัดโดยใช้ความเข้มข้นของเพคติเนสร้อยละ 1.0 เซลลูเลสร้อยละ 0.5 อะมัยเลสร้อยละ 1.0 โดยปริมาตร/น้ำหนักเนื้อทุเรียน ภายใต้ภาวะปฏิกิริยาแบบต่อเนื่อง

หัวน้ำเชื้อทุเรียนที่สกัดโดยใช้ความเข้มข้นของเพคติเนสร้อยละ 1.5 เซลลูเลสร้อยละ 1.0 อะมัยเลสร้อยละ 0.5 โดยปริมาตร/น้ำหนักเนื้อทุเรียน ภายใต้ภาวะปฏิกิริยาแบบต่อเนื่อง

หัวน้ำเชื้อทุเรียนที่สกัดโดยใช้ความเข้มข้นของเพคติเนสร้อยละ 0.5 บ่มที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง เซลลูเลสร้อยละ 0.5 บ่มที่ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง และอะมัยเลสร้อยละ 0.5 บ่มที่ 45 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง

หัวน้ำเชื้อทุเรียนสังเคราะห์

จากรูปที่ 4.8 จะเห็นได้ว่า หัวน้ำเชื้อทุเรียนที่สกัดโดยใช้เอนไซม์ จะมีกลิ่น Allicious หรือ Garlic like ซึ่งเป็นกลิ่นของสารประกอบพวกซัลเฟอร์ ซึ่งเป็นกลิ่นที่พบในทุเรียนสุก และจะมีกลิ่นของ caramel-like ซึ่งเป็นกลิ่นของน้ำตาลไหม้ มีกลิ่นที่ให้ความหวาน (sweet) และกลิ่นทุเรียนสุก (ripe) ในปริมาณต่างๆกัน หัวน้ำเชื้อทุเรียนเข้มข้นในสูตรที่ 3 ที่สกัดโดยใช้ความเข้มข้นของเพคติเนสร้อยละ 1.5 เซลลูเลสร้อยละ 1.0 อะมัยเลสร้อยละ 1.5 โดยปริมาตร/น้ำหนักเนื้อทุเรียนบด ภายใต้ภาวะปฏิกิริยาแบบต่อเนื่อง จะให้กลิ่นของผลไม้สุกมากกว่าหัวน้ำเชื้อสูตรอื่นๆ และมีกลิ่นของผลไม้สด ซึ่งจะให้กลิ่นเหมือนกับกลิ่นทุเรียนสดมากกว่าหัวน้ำเชื้อในสูตรอื่นๆ ส่วนหัวน้ำเชื้อที่ผ่านการสกัดโดยการใช้เอนไซม์ภายใต้ภาวะปฏิกิริยาตามลำดับ จะมีกลิ่นของ Allicious หรือกลิ่นพวกสารกำมะถันอยู่ในปริมาณที่สูง จะมีกลิ่นของผลไม้ดิบ (green) กลิ่นจะไม่ดีเท่ากับหัวน้ำเชื้อทุเรียนที่ผ่านการสกัดภายใต้ภาวะปฏิกิริยาแบบต่อเนื่อง ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Cliff และคณะ (1991) ที่พบว่า ในการสกัดน้ำแอปเปิ้ลโดยการใช้เอนไซม์ บ่มที่อุณหภูมิสูงเป็นระยะเวลานานเพื่อสกัดน้ำผลไม้ออกจากเซลล์ จะมีผลทำให้กลิ่นของผลไม้หายไป เนื่องจากใช้เวลาในการทำปฏิกิริยานานมากกว่าการสกัดภายใต้ภาวะปฏิกิริยาแบบต่อเนื่อง ส่วนหัวน้ำเชื้อทุเรียนเข้มข้นที่สกัดโดยใช้ความเข้มข้นของเพคติ-เนสร้อยละ 1.0 เซลลูเลสร้อยละ 0.5 อะมัยเลสร้อยละ 1.0 โดยปริมาตร/น้ำหนักเนื้อทุเรียนบด ภายใต้ภาวะปฏิกิริยาแบบต่อเนื่อง จะมีกลิ่นของ off-flavor ซึ่งน่าจะเป็นกลิ่นของเอนไซม์ หัวน้ำเชื้อทุเรียนเข้มข้นที่สกัดโดยใช้เอนไซม์ภายใต้ภาวะปฏิกิริยาแบบตามลำดับก็พบว่ามีกลิ่น off-flavor อยู่เช่นกัน ส่วนหัวน้ำเชื้อทุเรียนสังเคราะห์จะพบว่า มีกลิ่นที่แตกต่างไปจากกลิ่นของหัวน้ำเชื้อทุเรียนที่สกัดโดยใช้เอนไซม์ โดยหัวน้ำเชื้อทุเรียนสังเคราะห์จะมีกลิ่นของผลไม้สุก มีกลิ่นที่ให้ความหวานอยู่ปริมาณร้อยละ 50 และมีกลิ่น creamy อยู่ประมาณร้อยละ 30 ซึ่งกลิ่น creamy เป็นกลิ่นที่ทำให้กลิ่นทุเรียนติดลิ้นเวลากลืนผลิตภัณฑ์อาหารที่ปรุงแต่งกลิ่นรสทุเรียน แต่กลิ่นทุเรียนสังเคราะห์นี้จะไม่ให้กลิ่นที่เป็นความสดของผลไม้ (fresh) หัวน้ำเชื้อทุเรียนเข้มข้นที่สกัดโดยการใช้เอนไซม์จะมีกลิ่นของ mild fruity และกลิ่นของ caramel-like flavor อยู่ด้วย เช่นเดียวกับการทดสอบของ Joshi และคณะ (1991) ที่พบว่า น้ำผลไม้พวก พีช พลัม แอปปริคอต ที่สกัดโดยการใช้เอนไซม์จะมีกลิ่นและรสชาติของ

mild fruity มากกว่า caramel-like flavor และมีกลิ่นที่ไม่แตกต่างจากกลิ่นของน้ำผลไม้ที่ไม่ได้ผ่านการสกัดโดยการใช้เอนไซม์ ซึ่งให้ผลเช่นเดียวกับการสกัดน้ำผลไม้จากลูกพรุน (Salunkhe และ Bolin, 1972)