การสกัดเพคตินจากกะหล่ำปลี (*Brassica oleracea* L.var.*capitata* L.) ภูทับเบิก ตำบลวังบาล อำเภอหล่มเก่า จังหวัดเพชรบูรณ์

(Extract Pectin from Cabbage (*Brassica oleracea* L.var.*capitata* L.) of Phu Tub Berk Tumbol Wangban Amphoe Lom Kao Phetchabun Provice.)

โดย

นางสาวธนาวรรณ สุขเกษม

สาขาวิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ ประเภททั่วไป

ประจำปีงบประมาณ ๒๕๕๖

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ที่อุดหนุนในการทำวิจัยในครั้งนี้
ขอขอบพระคุณคุณพ่อคุณแม่ที่ให้กำลังใจในการทำวิจัย ขอขอบคุณเพื่อน ๆ และพี่ ๆ ที่ช่วยเหลือในระหว่างทำงานวิจัย และขอขอบคุณผู้ทดสอบชิมทุกท่านที่ให้ความร่วมมือเป็นอย่างดี

ข้าพเจ้าหวังว่าโครงงานฉบับนี้จะเป็นประโยชน์ต่อท่านผู้สนใจ และหากมีข้อผิดพลาดประการใด ข้าพเจ้าขออภัยไว้ ณ ที่นี้ด้วย

นางสาวธนาวรรณ สุขเกษม
มีนาคม ๒๕๕๗

ชื่อเรื่อง การสกัดเพคตินจากกะหล่ำปลี (*Brassica oleracea* L.var.*capitata* L.) ภูทับเบิก ตำบลวังบาล อำเภอหล่มเก่า จังหวัดเพชรบูรณ์

ผู้วิจัย ธนาวรรณ สุขเกษม

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อทำการศึกษา สภาวะการสกัดเพคตินจากกะหล่ำปลีจากภูทับเบิก โดยทำการสกัดเพคตินด้วยกรด 2 ชนิด ได้แก่ กรดไฮโดรคลอริก และกรดไนตริก ความเข้มข้น 1 นอร์มอล อุณหภูมิที่ใช้ในการสกัด 3 ระดับ คือ 80 90 และ 100 องศาเซลเซียส และเวลาที่ใช้ในการสกัด 3 ระยะ คือ 30 60 และ 100 องศาเซลเซียส พบว่าเพคตินที่สกัดด้วยกรดไฮโดรคลอริกที่อุณหภูมิ 90 เป็นเวลา 90 นาที พบว่าจะมีปริมาณน้ำหนักแห้งของเพคตินสูงที่สุด เท่ากับ 0.79 กรัมต่อกะหล่ำปลี 5 กรัม หรือประมาณร้อยละ 15.8 จากนั้นนำเพคตินที่สกัดได้ไปวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมี พบว่าสารสกัดเพคตินที่สกัดได้ดีที่สุด คือ เพคตินที่สกัดด้วยกรดไนตริก (HNO_3) เข้มข้น 1 นอร์มอล ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 90 นาที จะมีลักษณะเป็นของแข็งสีขาวขุ่น ละลายน้ำได้ดี และเกิดเจลได้เมื่อนำไปละลายน้ำ และจะมีปริมาณร้อยละผลผลิตที่ได้ , ร้อยละความชื้น , ปริมาณเมธอกซี , น้ำหนักสมมูล , เปอร์เซ็นต์ DE และมิลลิกรัมของกรดกาแลกทูโรนิก (%) มีค่าเท่ากับ 0.70±0.14 – 12.00±0.57 , 1.17±0.23 – 20.00±0.95 , 4.12±0.02 – 7.44±0.02 , 432.03±0.43 – 900.36±1.87 , 51.89±0.03 – 53.33±0.07 , 463.74±1.48 – 794.19±0.74 ตามลำดับ

จากปริมาณเมธอกซี (% methoxyl) หรือระดับเอสเทอร์ริฟิเคชั่น (% DE) สามารถนำมาใช้เป็นเกณฑ์ในการแบ่งเกรดของเพคติน เพคตินที่สกัดได้จากกะหล่ำปลีจัดเป็นแบบ High methoxyl pectih (HM) ชนิดเกิดเจลได้ช้ามาก (Extra slow set pectin) ซึ่งจะมีปริมาณเมธอกซีมากกว่าร้อยละ 7 ซึ่งสอดคล้องกับระดับของ DE ที่ต้องมี % DE มากกว่า 50 % นอกจากนี้ได้นำเพคตินที่สกัดได้ไปคำนวณหาต้นทุนในกระบวนการสกัดเพคตินพบว่าการสกัดเพคตินมีต้นทุนที่ค่อนข้างสูงส่งผลให้เพคตินที่สกัดได้มีราคาที่สูงกว่าเมื่อเทียบกับราคาเพคตินมาตรฐานซึ่งไม่คุ้มทุนในการผลิตเพคตินในระดับการค้า

คำสำคัญ **กะหล่ำปลี / เพคติน / กระบวนการสกัด**

Title Extract Pectin from Cabbage (*Brassica oleracea* L.var.*capitata* L.) of Phu Tub Berk Tumbol Wangban Amphoe Lom Kao Phetchabun Provice.

Author Tanawan Sukkasem

ABSTRACT

This research aims to study the performance of pectin extracted from cabbage of Phu Tun Berk. To used acid for extracted pectin 2 Type are hydrochloric acid and nitric acid concentration of 1 Normal , temperatures used in the extraction of 3 levels 80 , 90 and 100 ^{O}C and time to extract three stages 30 , 60 and 100 ° C showed that pectin extracted by nitric acid (HNO_3) at 90 ^{O}C for 90 minutes showed that the amount of the dry weight of pectin highest of 0.79 g cabbage 5 grams or percent 15.8 then pectin extracted to analyze the physical and chemical properties . Extracts Pectin is best extracted pectin extracted with nitric acid (HNO_3) 1 N at 90 ^{O}C for 90 minutes, a solid powder. Solublelity , sedimentation and gelation of extracted pectin acan from gel when applied to water-soluble. And chemical analysis yield (%) , moisture (%), Methoxy content (%) , Weight equivalence (mg) , DE (%) and galacturonic acid (%mg) were 0.70 ± 0.14 - 12.00 ± 0.57, 1.17 ±. 0.23 - 20.00 ± 0.95, 4.12 ± 0.02 - 7.44 ± 0.02, 432.03 ± 0.43 - 900.36 ± 1.87, 51.89 ± 0.03 - 53.33 ± 0.07, 463.74 ± 1.48 - 794.19 ± 0.74 , respectively.

Methoxy content (%) or degree of esterification (% DE) can be used as a basis for grading of pectin . Pectin extracted from cabbage is a High methoxyl pectih (HMP) type of gel is very slow (Extra slow set pectin) , containing the Methodist proxy more than 7 percent , as same as the level of DE required with DE more than 50 %, and In addition, the pectin extracted to calculate the cost of extraction of pectin was extracted pectin costs are relatively high, resulting pectin extract a higher price compared to the price page. pectin, which is not cost-effective to produce in commercial pectin

Keywords Cabbage (*Brassica oleracea* L.var.*capitata* L.) / Pectin / Extraction

สารบัญเรื่อง

		หน้าที่
กิตติกรรมประกาศ		ก
บทคัดย่อไทย		ข
บทคัดย่ออังกฤษ		ค
สารบัญเรื่อง		ง
สารบัญตาราง		ฉ
สารบัญภาพ		ช
บทที่ 1	**บทนำ**	
	ความสำคัญและที่มาของปัญหา	1
	วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
	สมมติฐานการวิจัย	2
	ขอบเขตของการวิจัย	3
	ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
	นิยามศัพท์เฉพาะ	4
บทที่ 2	**การทบทวนวรรณกรรม**	
	กะหล่ำปลี	5
	เพคติน	7
	กระบวนการสกัด	19
	งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	24
บทที่ 3	**วิธีการดำเนินการวิจัย**	
	สารเคมี และวัตถุดิบ	31
	วัสดุ และอุปกรณ์	31
	วิธีการทดลอง	32
	ระยะเวลา และสถานที่ทำการวิจัย	39
บทที่ 4	**ผลการวิจัยและวิจารณ์**	
	ผลการสกัด	40
	ผลการศึกษาวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ (Physical properites)	40
	ผลการศึกษาวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมี (Chemical properites)	43

สารบัญเรื่อง (ต่อ)

		หน้าที่
	ผลการศึกษาต้นทุนการสกัดเพคติน	58
บทที่ 5	**สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ**	
	การศึกษาวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ (Physical properites)	60
	การศึกษาวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมี (Chemical properites)	61
บรรณานุกรม		64
ภาคผนวก	ภาคผนวก ก วิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมี (Chemical Qualities)	68
	ภาคผนวก ข การคำนวณต้นทุนการผลิตเพคติน	73
	ภาคผนวก ค มคอ.3 รายวิชา การจัดการและการใช้ประโยชน์จากของเสียและวัสดุเหลือใช้	76
	ภาคผนวก ง ภาพประกอบการทำวิจัย	86
ประวัติผู้วิจัย		96

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้าที่
2.1	ปริมาณเพคตินในเนื้อเยื่อพืชบางชนิด	10
2.2	ความสัมพันธ์ระหว่าง Degree of esterification ปริมาณเมธอกซี และน้ำหนักสมมูลของความบริสุทธิ์ของกรดเพคตินิก	11
2.3	แสดงค่า Degree of methyl esterilfication (DM) ของเพคติน	12
3.1	ปัจจัยที่ใช้สกัดเพคตินในสภาวะต่าง ๆ	35
4.1	แสดงปริมาณน้ำหนักแห้งที่สกัดได้จากกะหล่ำปลีภูทับเบิกที่สภาวะต่าง ๆ	41
4.2	การเปรียบเทียบความสามารถในการละลาย ความสามารถในการตกตะกอน และลักษณะทางกายภาพของเพคตินจากกะหล่ำปลี	42
4.3	ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีของเพคตินที่สกัดจากกะหล่ำปลีด้วยกรดไฮโดรคลอริก (HCl) ที่สภาวะต่าง ๆ	44
4.4	ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีของเพคตินที่สกัดจากกะหล่ำปลีด้วยกรดไนตริก (HNO_3) ที่สภาวะต่าง ๆ	45
4.5	ปริมาณร้อยละผลผลิตที่สกัดได้ของเพคตินจากกะหล่ำปลีที่สภาวะต่าง ๆ	46
4.6	การวิเคราะห์ปริมาณความชื้นของเพคตินที่สกัดจากกะหล่ำปลีด้วยกรดทั้ง 2 ชนิด	48
4.7	ปริมาณ Methoxyl (%) ของเพคตินที่สกัดจากกะหล่ำปลีจากกรดไฮโดรคลอริกและกรดไนตริก	50
4.8	การวิเคราะห์ปริมาณ Equivalent weight (mg) ของเพคตินที่สกัดจากกะหล่ำปลี	52
4.9	การวิเคราะห์ปริมาณ Degree of esterification (%) ของเพคตินที่สกัดจากกะหล่ำปลี	54
4.10	การวิเคราะห์ปริมาณ galacturonic acid (%) ของเพคตินที่สกัดจากกะหล่ำปลี	56
4.11	ต้นทุนการสกัดเพคตินจากกะหล่ำปลี	58
4.12	เปรียบเทียบราคาเพคตินที่สกัดจากกะหล่ำปลีกับเพคตินสำเร็จรูปเชิงทางการค้า	59

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้าที่
1.1	กรอบแนวคิดของแผนงานวิจัย	2
2.1	กะหล่ำปลี	5
2.2	ชั้นของผนังเซลล์พืชและองค์ประกอบที่สำคัญในแต่ละชั้น	8
2.3	โครงสร้างโมเลกุลของเพคติน	9
2.4	ชนิดและสมบัติของเพคติน	13
3.1	กระบวนการสกัดเพคตินจากเศษกะหล่ำปลี	34
4.1	ปริมาณผลผลิตของเพคตินที่สกัดจากกะหล่ำปลีที่สภาวะต่าง ๆ	47
4.2	ปริมาณความชื้นของเพคตินที่สกัดจากกะหล่ำปลีด้วยกรดทั้ง 2 ชนิด	49
4.3	ปริมาณ Methoxyl (%) ของเพคตินที่สกัดจากกะหล่ำปลีจากกรดไฮโดรคลอริกและกรดไนตริก	51
4.4	ปริมาณ Equivalent weight (mg) ของเพคตินที่สกัดจากกะหล่ำปลี	53
4.5	ปริมาณ Degree of esterification (%) ของเพคตินที่สกัดจากกะหล่ำปลี	55
4.6	ปริมาณ galacturonic acid (%) ของเพคตินที่สกัดจากกะหล่ำปลี	57
1-ง	ตัวอย่างกะหล่ำปลี	86
2.ง	การเตรียมตัวอย่างกะหล่ำปลี	86
3-ง	ขั้นตอนการสกัดเพคติน	87
4.ง	ขั้นตอนการกรองสารสกัดเพคติน	87
5-ง	ขั้นตอนการตกตะกอนเพคตินกรดไฮโดรคลอริก	88
6.ง	ขั้นตอนการตกตะกอนเพคตินกรดไนตริก	88
7-ง	ตะกอนเพคตินที่สกัดได้ด้วยกรดไฮโดรคลอริก	89
8.ง	ตะกอนเพคตินที่สกัดได้ด้วยกรดไนตริก	89
9-ง	การเกิดเจลของเพคตินด้วยกรดไฮโดรคลอริก	90
10.ง	การเกิดเจลของเพคตินด้วยกรดไนตริก	90
11-ง	ลักษณะเจลเพคตินที่สกัดด้วยกรดไฮโดรคลอริก	91
12.ง	ลักษณะเจลเพคตินที่สกัดด้วยกรดไนตริก	91
13-ง	สารสกัดเพคตินที่สภาวะต่าง ๆ	92
14.ง	การกรองเพคตินที่สภาวะต่าง ๆ	92

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้าที่
15-ง	ลักษณะผงเพคตินที่สกัดด้วยกรดไฮโดรคลอริก	93
16-ง	ลักษณะผงเพคตินที่สกัดด้วยกรดไนตริก	93
17-ง	ผงเพคตินที่สกัดได้ที่สภาวะต่าง ๆ	94
18-ง	การ reflux ตัวอย่าง	94
19.ง	การตรวจวิเคราะห์คุณสมบัติของเพคติน	95
20-ง	ผู้ช่วยวิจัย	95

ฌ

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

กะหล่ำปลี (*Brassica oleracea* L.var.*capitata* L.) เป็นพืชผักเศรษฐกิจชนิดหนึ่งที่ปลูกได้ดีเฉพาะฤดูหนาวทางภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบน โดยเฉพาะนิยมปลูกเป็นปริมาณมากในพื้นที่ภูทับเบิก ตำบลวังตาล อำเภอหล่มเก่า จังหวัดเพชรบูรณ์ ซึ่งเป็นที่อยู่อาศัยของชนกลุ่มน้อยซึ่งเป็นชาวไทยภูเขาเผ่าม้ง และประกอบอาชีพทำการเกษตรแบบขั้นบันไดตามเชิงเขา คือ มีพื้นที่ในการเพาะปลูกกะหล่ำปลีเป็นจำนวนหลายพันไร่บนยอดเขาสูง ทำให้มีผลผลิตออกมาเป็นจำนวนมากจนได้รับการขนานนามว่า ดอยกะหล่ำปลีโลก นอกจากพื้นที่ดังกล่าวเป็นบริเวณยอดเขาที่สูงที่สุดที่มีการปลูกกะหล่ำปลีเป็นจำนวนมากแล้วยังได้รับการยอมรับในการเป็นแหล่งท่องเที่ยวที่ระดับความสูง 1,768 จากระดับน้ำทะเลปานกลาง ในอุณหภูมิที่หนาวเย็นจนกลายเป็น 1 ใน UNSEEN THAILAND กะหล่ำปลีเป็นผักที่มีอายุการเก็บเกี่ยวตั้งแต่ปลูกจนถึงวันเก็บเกี่ยวประมาณ 50 – 120 วัน และสามารถปลูกได้ดีในช่วงเดือนตุลาคม – มกราคม ซึ่งเป็นช่วงที่มีปริมาณผลผลิตออกมามาก ซึ่งมีผลทำให้ผลผลิตออกสู่ตลาดเป็นจำนวนมากจึงมีผลทำให้ราคาผลผลิตเกิดภาวะตกต่ำ

สารประกอบเพคติน (Pectin) เป็นโพลีแซคคาไรด์ที่มีน้ำหนักโมเกลกุลสูงที่ได้จากธรรมชาติ และมักพบว่าเป็นส่วนประกอบที่สำคัญในพืช ในระดับอุตสาหกรรมสกัดเพคตินจากผลไม้ชนิดต่าง ๆ เช่น เปลือกส้ม และกากแอปเปิ้ล อีกทั้งประเทศไทยยัง คงต้องมีการนำเอาเพคตินเข้ามาปีหนึ่ง ๆ มีมูลค่าหลายแสนบาทเพื่อนำมาใช้ในทางการแพทย์ และในทางอุตสาหกรรมการอาหาร โดยราคาเพคตินขึ้นกับแหล่งวัตถุดิบที่ผลิตและเกรดของเพคตินเอง เพคตินระดับ industrial grade ราคาประมาณ 3,800 บาท/กิโลกรัม (ข้อมูลนำเข้าและจัดจำหน่ายเพคติน) และระดับ lab & pharmaceutical grade ราคาตั้งแต่ 6,650 – 10,161 บาท/กิโลกรัม (ข้อมูลจาก Fluka ประเทศเยอรมัน) เนื่องจากประเทศไทยยังไม่สามารถผลิตเพคตินได้เอง ซึ่งมีอยู่ในวงจำกัดไม่เพียงพอต่อการนำไปใช้ ซึ่งแหล่งสำคัญของการผลิต เพคตินเป็นการค้า คือ ของเหลือทิ้งจากพืชตระกูลส้ม และแอปเปิ้ล แกนแอปเปิ้ล กากเมล็ดทานตะวัน กากมันฝรั่ง เปลือกถั่วเหลือง ซึ่งจัดเป็นแหล่งวัตถุดิบที่สำคัญของเพคติน

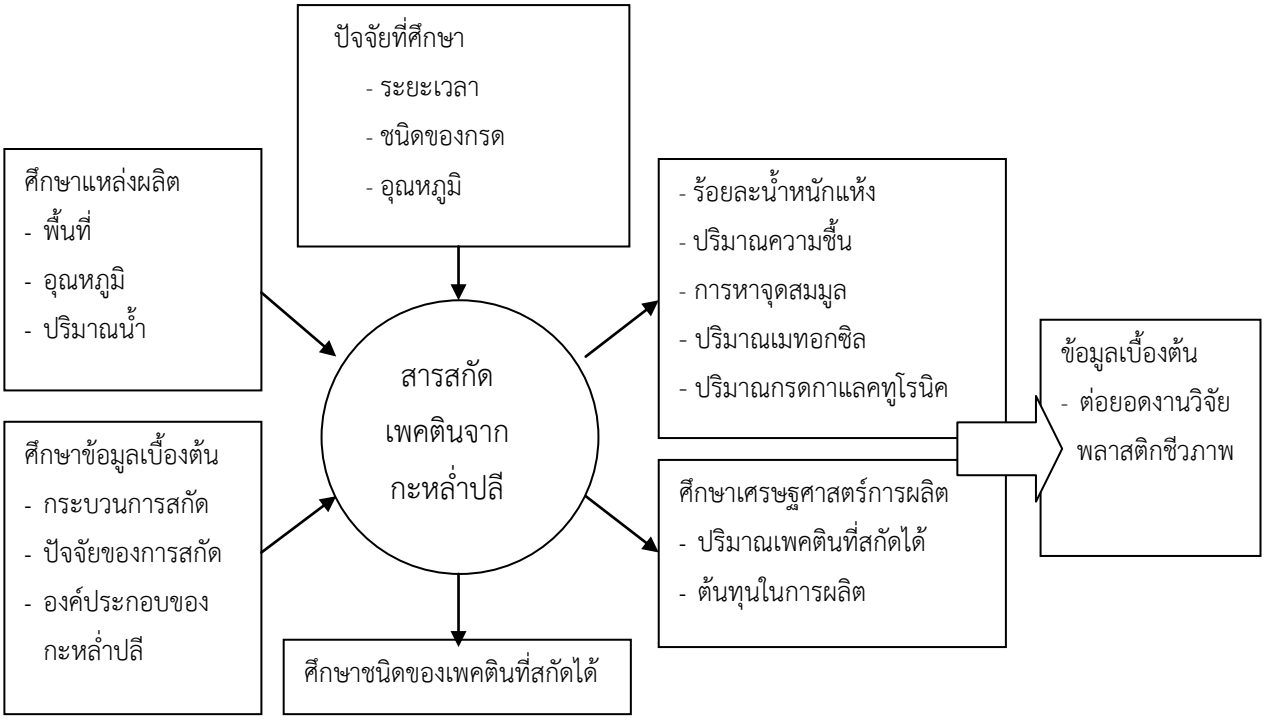
ดังนั้นนักวิจัยจึงได้เล็งเห็นถึงการเพิ่มประโยชน์ให้กับผลผลิต กะหล่ำปลีที่มีมากในตลาดโดยการเพิ่มมูลค่าให้กับวัตถุดิบทางการเกษตรในการแปรสภาพให้เป็นสารประกอบใน เชิงอุตสาหกรรม ที่มีประโยชน์มากขึ้น จึงทำการศึกษา องค์ประกอบของกะหล่ำปลีที่ภูทับเบิก และสาร สกัดเพคตินจากกะหล่ำปลี ในสภาวะที่เหมาะสม เพื่อช่วยสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับวัตถุดิบทางการเกษตรที่มีอยู่ในท้องถิ่น และเป็นต้นแบบในการนำไปศึกษาต่อในการผลิตสารประกอบในเชิงการค้าอื่น ๆ และนำมาต่อยอดงานวิจัยเพื่อนำสารสกัดเพคตินไปผลิตเป็นพลาสติกชีวภาพต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษากระบวนการสกัดเพคตินที่เหมาะสมจากกะหล่ำปลี
2. เพื่อศึกษาคุณลักษณะและคุณสมบัติของเพคตินที่สกัดได้
3. เพื่อศึกษาจุดคุ้มทุนในกระบวนการผลิตเพคตินจากผลผลิตทางการเกษตร
4. เพื่อเพิ่มมูลค่าให้กับผลผลิตทางการเกษตรให้มีมูลค่าสูงขึ้น

1.3 สมมติฐานการวิจัย

จากทฤษฎีและสมมติฐานดังกล่าวสามารถกำหนดเป็นกรอบแนวความคิดของโครงการวิจัยได้ดังนี้



ภาพที่ 1.1 กรอบแนวความคิดของแผนงานวิจัย

1.4 ขอบเขตของการวิจัย

1. ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ทำการศึกษาการสกัดเพคตินจากตัวอย่าง กะหล่ำปลีชนิดสีขาว ทีมีอายุการเก็บเกี่ยวแล้ว 120 วัน ที่ปลูกในพื้นที่ภูทับเบิก ตำบลวังตาล อำเภอหล่มเก่า จังหวัดเพชรบูรณ์ โดย เก็บตัวอย่างที่บริเวณแหล่งเพาะปลูกทำการศึกษาปัจจัยต่าง ๆ

2. ระยะเวลาที่ใช้ในการวิจัย คือ เดือนตุลาคม 2555 – เดือนกันยายน 2556

3. ตัวแปรที่ใช้ในการค้นคว้า ได้แก่

3.1 ตัวแปรต้น

- ชนิดของกรดในการสกัดเพคติน 2 ชนิด คือ กรดไฮโดรคลอริก (HCl) และกรดไนตริก (HNO_3)
- อุณหภูมิที่ใช้ในกระบวนการสกัดมี 3 ระดับ คือ 80 , 90 และ 100 องศาเซลเซียส
- ระยะเวลาในการสกัดมี 3 ระดับ คือ 30 , 60 และ 90 นาที

3.2 ตัวแปรตาม ได้แก่

3.2.1 คุณสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ น้ำหนักแห้ง (Dry weight) , ความสามารถในการละลาย ความสามารถในการตกตะกอน และลักษณะทางกายภาพของเพคตินที่สกัดได้

3.2.2 คุณสมบัติทางเคมี ได้แก่ ปริมาณความชื้น (Moisture) , การหาน้ำหนักสมมูล , ปริมาณเมทอกซี (Methoxy) , การหาความบริสุทธิ์ของเพคติน และแบ่งเกรดของเพคตินที่สกัดได้

3.2.3 การศึกษาเศรษฐศาสตร์การผลิต คือ การคำนวณหาจุดคุ้มทุนของกระบวนการผลิตเพคตินจากกะหล่ำปลี

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

จากการวิจัยประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ มีดังนี้

1. เผยแพร่งานวิจัยในวารสารที่เกี่ยวข้อง และทางเวปไซต์ของมหาวิทยาลัย
2. ได้กระบวนการผลิตเพคตินที่เหมาะสมเพื่อใช้พัฒนาการผลิตเพคตินจากวัตถุดิบทางการเกษตร
3. ช่วยเพิ่มมูลค่าให้กับผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรของท้องถิ่น
4. เป็นฐานข้อมูลเบื้องต้นเพื่อนำไปต่อยอดงานวิจัยเรื่องพลาสติกชีวภาพ
5. สามารถนำมาบูรณาการร่วมกับการเรียนการสอนในรายวิชา การจัดการและการใช้ประโยชน์จากของเสียและวัสดุเหลือใช้ต่อนักศึกษาหลักสูตรสาขาวิชาชีววิทยา

1.6 นิยามศัพท์เฉพาะ

1. กะหล่ำปลี (Cabbage) หมายถึง เป็นชื่อไม้ล้มลุก มีสัณฐานกลม ส่วนใหญ่มีสีเขียว หรืออาจจะมีสีขาวหรือม่วง หรือเรียกอีกอย่างว่า กะหล่ำใบ ในการทดลองได้มีการนำส่วนของใบกะหล่ำปลีที่มีการเพาะปลูกบริเวณพื้นที่ภูทับเบิก ตำบลวังบาล อำเภอหล่มสัก จังหวัดเพชรบูรณ์

2. เพคติน (Pectin) หมายถึง เป็นพอลิแซ็คคาไรด์ (Polysaccharide) ประเภท hetero - polysaccharide มีหน่วยย่อย คือ กรดกาแล็กทูโรนิก (D-galacturonic acid) และเมทธิลกาแล็ก ทูโรเนต และน้ำตาลหลายชนิด พบตามธรรมชาติในผนังเซลล์ของพืช และรอยต่อระหว่างผนังเซลล์ โดย รวมตัวอยู่กับเซลลูโลส เพคตินที่สกัดได้เป็นไฮโดรคอลลอยด์ (Hydrocolloid) ใช้ในอาหารเป็นวัตถุเจือปนอาหาร (Food additive)

3. กระบวนการสกัด (Extraction) หมายถึง เป็นเทคนิคในการแยกสารอินทรีย์ออกจากสารผสม โดยใช้ตัวทำละลายที่เหมาะสม ซึ่งจะต้องละลายสารอินทรีย์ที่ต้องการสกัดได้ดี ไม่รวมเป็นเนื้อเดียวกับสารละลายของของผสมและไม่ควรละลายสิ่งเจือปนหรือสารที่ไม่ต้องการ

4. กรดเพคติก (Pectic acid) หมายถึง เพคตินที่มีหมู่คาร์บอกซิลเป็นองค์ประกอบในโครงสร้างของกรดกาแลคทูโรนิกทั้งหมด

5. กรดเพคตินิก (Pectinic acid) หมายถึง เพคตินที่มีหมู่เมทอกซิลหรือไอออนบวกของโลหะ เช่น Ca^{2+} เป็นองค์ประกอบในโครงสร้างของกรดการแลคทูโรนิก

6. ไฮเมทอกซิลเพคติน (High Methoxyl Pectin) หมายถึง เพคตินที่มีปริมาณเมทอกซิลตั้งแต่ 8.16 % ขึนไป ซึ่งเกิดเจลได้เมื่อมีปริมาณน้ำตาล 60 – 65 % ที่ค่า pH ต่ำกว่า 3.6

7. โลว์เมทอกซิลเพคติน (Low Methoxyl Pectin) หมายถึง เพคตินที่มีปริมาณเมทอกซิล น้อยกว่า 8.16 % ขึนไป ซึ่งเกิดเจลได้ก็ต่อเมื่อมีไอออนของโลหะอยู่ เช่น แคลเซียมไอออน และแมกนีเซียมไอออน

8. ปริมาณเมทอกซิล (Methoxyl) หมายถึง ปริมาณการเกิดเอสเทอริไฟด์ที่หมู่คาร์บอกซิล (-COOH) โดยเกิดจากหมู่เมทิล ($-CH_3$) ในโครงสร้างของเพคติน โดยตำแหน่งของหมู่คาร์บอกซิลที่เกิดเอสเทอริไฟด์จะกลายเป็น $-COOCH_3$

บทที่ 2
เอกสารและรายงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการศึกษา เรื่อง การสกัดเพคตินจากกะหล่ำปลี (*Brassica oleracea* L.var.*capitata* L.) ภูทับเบิก ตำบลวังบาล อำเภอหล่มเก่า จังหวัดเพชรบูรณ์ ผู้วิจัยได้รวบรวมแนวคิด และหลักการต่าง ๆ จากเอกสารที่เกี่ยวข้องดังต่อไปนี้

2.1 กะหล่ำปลี

2.2 เพคติน

2.3 กระบวนการสกัด

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 กะหล่ำปลี (Cabbage)

2.1.1 ลักษณะทั่วไปของกะหล่ำปลี

กะหล่ำปลีเป็นพืชในวงศ์เดียวกับกะหล่ำดอก บล็อกโคลี่ และคะน้า พัฒนามาจากพันธุ์ป่าซึ่งมีกำเนิดในแถบทะเลเมดิเตอร์เรเนียน และทางตะวันตกเฉียงใต้ของทวีปยุโรป ใบกะหล่ำปลีเจริญซ้อนกันแน่นปกปิดยอดอ่อนจนเห็นเป็นก้อนกลม ๆ กะหล่ำปลีดอง เรียกว่า sauerkraut (สารานุกรมผลิตผลและผลิตภัณฑ์ฯ , 2546)

ภาพที่ 2.1 กะหล่ำปลี

ที่มา : สารานุกรมผลิตผลและผลิตภัณฑ์ฯ , 2546

ชื่อวิทยาศาสตร์ : *Brassica oleracea* L. var. *capitata* L.

ชื่อวงศ์ : BRASSICACEAE (CRUCIFERAE)

ชื่อสามัญ : Cabbage , Common Cabbage , White Cabbage , Red Cabbage

ชื่อพื้นเมือง : กะหล่ำปลี (ทั่วไป) , กะหล่ำใบ

ลักษณะทั่วไป : เป็นพืชล้มลุก ลำต้นสั้นมาก ไม่แตกกิ่ง ขนาดอวบขึ้นตอนบน ใบเดี่ยว เรียงเวียน ใบตอนล่างเป็นใบกระจุกแบบกุหลาบซ้อน 7 – 15 ใบ และไม่มีก้านใบ ใบตอนบนซ้อนอัดกันแน่น เป็นหัวรูปทรงกลมหรือรูปไข่กว้าง เรียงสลับซ้อนกันแน่นหลายชั้นเป็นก้อนกลมแป้นหรือกลมรี แผ่นใบหนา อวบ ใบเกลี้ยง ใบด้านในมีสีเขียวอ่อนถึงชั้นนอกสุดสีนวล ช่อดอกแบบช่อ ไม่มีใบประดับบนลำต้นหลัก มีอายุการเก็บเกี่ยวประมาณ 50 – 120 วัน ปลูกในช่วงเดือนตุลาคม – มกราคม กะหล่ำปลีชอบดินโปร่ง อุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโตประมาณ 22 – 25 องศาเซลเซียส มีสภาพความเป็นกรดเป็นด่างของดิน (pH) อยู่ในช่วง 6 – 6.5

2.1.2 ชนิดพันธุ์ของกะหล่ำปลี

กะหล่ำปลีที่ปลูกในประเทศไทยมีมากมายหลายพันธุ์ สามารถจัดกลุ่มได้ 3 กลุ่ม ได้แก่

(1) กะหล่ำปลีธรรมดา

ชื่อสามัญ Common Cabbage , White Cabbage ใบสีเขียว สีเขียวจนถึงสีเขียวอ่อน รูปร่างและขนาดของหัวแตกต่างกันไปตามพันธุ์ มีลักษณะหัวหลายแบบ ตั้งแต่แบบหัวกลม หัวแหลมเป็นรูปหัวใจ จนถึงแบนราบ เป็นพันธุ์ที่ทนร้อน อายุการเก็บเกี่ยวสั้นประมาณ 50 – 60 วัน เป็นกลุ่มที่นิยมปลูกและรับประทานมากที่สุด

(2) กะหล่ำปลีแดง

ชื่อสามัญ Red Cabbage ใบสีม่วงแดง เนื่องจากมีสาร anthocyanin มากเป็นพิเศษ มีลักษณะหัวค่อนข้างกลม ใบสีแดงทับทิม หนา ส่วนใหญ่มีอายุการเก็บเกี่ยวประมาณ 90 วัน ต้องการอากาศเย็น

(3) กะหล่ำปลีใบย่น

มีลักษณะผิวใบหยิกย่น และเป็นคลื่นมากต้องการอากาศหนาวเย็นในการปลูกเป็นพิเศษ

2.1.3 คุณค่าทางโภชนาการ

(1) กะหล่ำปลีมีคุณค่าทางสารอาหารค่อนข้างสูง มีสารเอสเมธิลเมโธโอนิน ซึ่งเป็นสารที่มีคุณสมบัติที่สามารถรักษาโรคกระเพาะอาหาร

(2) มีสารต้านมะเร็งโดยมีความสามารถในการหยุดยั้งการเจริญเติบโตของเซลล์มะเร็งลำไส้ได้

(3) กะหล่ำปลีใช้ประคบเต้านมลดปวดแก้นมคัดแม่หลังคลอด

2.1.4 การนำไปใช้ประโยชน์

(1) ช่วยลดความอ้วน กะหล่ำปลีมีกรดทาร์ทาริก ช่วยยับยั้งขัดขวางไม่ให้น้ำตาลและแป้งเปลี่ยนไปเป็นไขมันสะสมในร่างกายจึงช่วยลดคอเลสเตอรอลได้

(2) เสริมสร้าง ภูมิคุ้มกัน ในกะหล่ำปลีมีวิตามินซีสูงทำให้หวัดหายเร็ว ฟันและเหงือกแข็งแรง ช่วยป้องกันโรคเลือดออกตามไรฟัน ซึ่งการนึ่ง อบ หรือผัด จะช่วยคงคุณค่าสารอาหารในกะหล่ำไว้ได้ดีที่สุด

(3) บำรุงกระดูกและฟัน กะหล่ำปลีอุดมไปด้วยแคลเซียม และฟอสฟอรัส ซึ่งดีต่อร่างกายในการเสริมสร้างกระดูกในเด็กและคนชรา

(4) ลดความเสี่ยงจากมะเร็งลำไส้ การรับประทานกะหล่ำปลีในแบบสุกหรือแบบดิบก็ได้ประมาณ 2 ครั้งต่อสัปดาห์จะช่วยลดโอกาสการเป็นมะเร็งลำไส้ในผู้ชายลงถึงร้อยละ 66 และหากทานกะหล่ำปลีปรุงสุกวันละ 2 ช้อนโต๊ะ ก็จะช่วยป้องกันมะเร็งช่องท้องได้เช่นกัน

(5) ช่วยย่อยอาหารและล้างพิษ เนื่องจากในกะหล่ำปลีมีใยอาหารอยู่ในปริมาณที่พอเหมาะจึงช่วยย่อยอาหาร ลดระดับคอเลสเตอรอลในเลือด กระตุ้นการทำงานของลำไส้ใหญ่ทำให้ระบบขับถ่ายทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

(6) ทำให้นอนหลับสบาย สารซัลเฟอร์ในกะหล่ำปลีมีสรรพคุณช่วยระงับประสาททำให้รู้สึกผ่อนคลายความตึงเครียดจึงทำให้นอนหลับดีขึ้น วิธีรับประทานคือ การนำกะหล่ำปลีไปคั้นสด ๆ แล้วดื่ม

(7) รักษาแผลในกระเพาะอาหาร กะหล่ำปลีมีสารต้านการอักเสบของแผลในกระเพาะและลำไส้ตามธรรมชาติ ช่วยกระตุ้นเซลล์เยื่อบุกระเพาะและลำไส้ให้สร้างน้ำคัดหลั่งเคลือบผิวทางเดินอาหารจึงป้องกันไม่ให้เกิดแผลจากกรดในกระเพาะอาหารได้

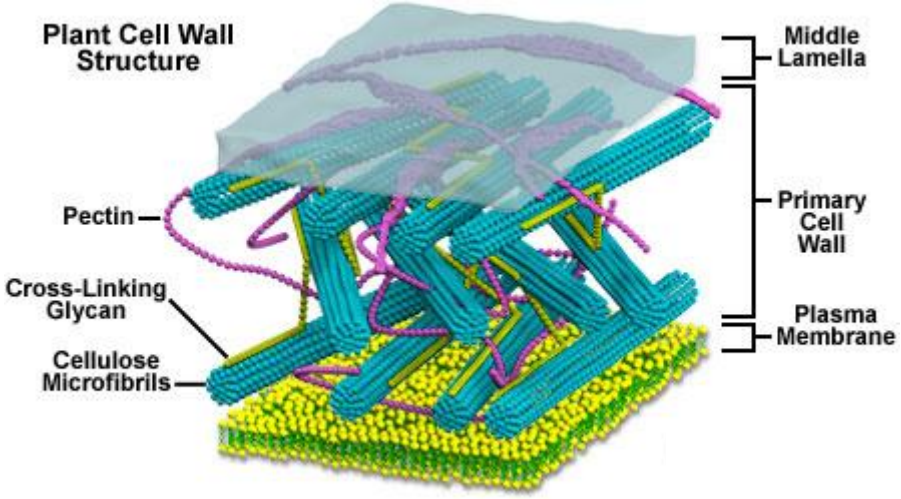
(8) บรรเทาอาการปวดตึงคัดเต้านม โดย นำกะหล่ำปลีมาประคบเต้านมโดยลอกกะหล่ำปลีออกเป็นใบแล้ว

(9) กะหล่ำปลีแดง มีเยื่อใยอาหารสูง อุดมไปด้วยคุณค่าสารอาหารหลายชนิด เช่น โปรตีน คาร์โบไฮเดรต โซเดียม วิตามินซี ช่วยป้องกันโรคเลือดออกตามไรฟัน

2.2 เพคติน (Pectin)

2.2.1 สารประกอบเพคติน

เพคตินเป็นสารประกอบพอลิเมอร์ของโพลีแซกคาไรด์ที่พบในพืชจากธรรมชาติ และเป็นสับสเตรทของเอนไซม์เพคติเนส เพคติน คือ Braconnot มาจากภาษากรีก แปลว่าตัวประสานหรือตัวทำให้แข็ง (congeal or solidity) ในทางการค้าจะสกัดเพคตินจากเปลือกผลไม้ตระกูลส้ม และกากแอปเปิ้ล การสกัดเพคตินทางการค้าเริ่มขึ้นในศตวรรษที่ 20 และพัฒนาเรื่อย ๆ จนถึงปัจจุบัน สารประกอบเพคตินทำหน้าที่เป็นโครงสร้างของเซลล์ และเป็นสารที่สำคัญในส่วน middle lamella ของ primary cell wall และเป็นส่วนประกอบที่สำคัญของเนื้อเยื่อพาเรนไคมา (Parenchyma tissue) โดยพบมากในเนื้อเยื่อที่มีการขยายขนาดของเซลล์ การสกัดเพคตินนั้นจะใช้วิธีการสกัดด้วยกรดแล้วตกตะกอนด้วยเอธิลหรือเมธิลแอลกอฮอล์ จากนั้นทำให้แห้ง บดให้เป็นผงโดยให้มีความชื้นต่ำกว่าร้อยละ 10 เก็บไว้ในถุงที่สามารถกันความชื้นได้ และควรเก็บรักษาไว้ที่เย็นและที่แห้งด้วย

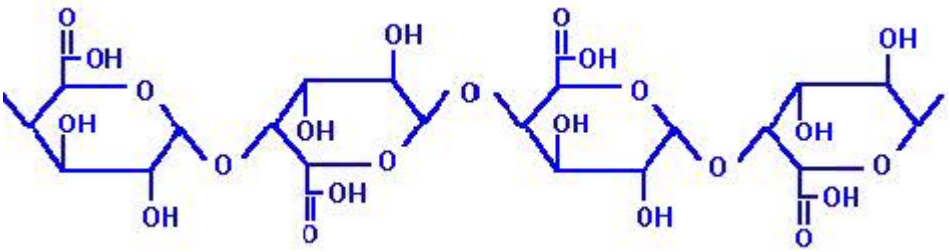


ภาพที่ 2.2 ชั้นของผนังเซลล์พืชและองค์ประกอบที่สำคัญในแต่ละชั้น
ที่มา : http://micro.magnet.fsu.edu/cells/plants/cellwall.html

สารประกอบเพคตินเป็นสารประกอบคาร์โบไฮเดรตเช่นเดียวกับแป้ง ไกลโคนเจนและเซลลูโลส จัดเป็น high molecular weight pectin acids มีคุณสมบัติพิเศษ คือ เมื่อละลายน้ำจะพองตัวเป็นเจลทำหน้าที่เป็นสารก่อสภาพเจล (gelling agar) สารเพิ่มความเข้มข้นของของเหลว (thickness) และสารให้ความคงตัว (stabilizer) จึงนำไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมอย่างกว้างขว้าง

2.2.2 โครงสร้างของเพคติน

เพคตินเป็นกลุ่มคาร์โบไฮเดรตที่มีโครงสร้างลักษณะเป็นคอลลอยด์ (Colloid) สารประกอบเพคตินในผลไม้จะอยู่ในรูปของแคลเซียมเพคเตต (Calcium Pectate) และโปรโตเพคติน (Protopectin) ซึ่งไม่ละลายน้ำ เมื่อผลไม้สุกจึงจะเปลี่ยนรูปเป็นเพคตินที่ละลายน้ำได้ เพคตินทางการค้ามีองค์ประกอบหลักเป็นสารโพลีเมอร์ของกรดกาแลคทูโรนิกเชื่อมต่อกันด้วยพันธะ α 1,4 ประมาณ 200 – 1000 หน่วย ส่วนใหญ่เพคตินจะถูกเอสเทอริไฟด์หรือแทนที่ด้วยหมู่เมธอกซิล โดยใช้สารเอธิลหรือเมธิลแอลกอฮอล์ในการเอสเอสเทอริไฟด์ นอกจากนั้นยังประกอบด้วยน้ำตาลอื่น ๆ ในโมเกลุล เช่น อะราบิโนส (arabinose) ไซโลส (xylose) และกลูโคส (glucose) แต่ในทางธรรมชาติเกิดจากการทำงานของเอนไซม์ที่มีอยู่ในเซลล์พืช หรือเอนไซม์จากเชื้อยีสต์และเชื้อรา สารประกอบเพคตินที่สกัดได้จากพืชเป็น heteropolysaccharide (ภาพที่ 2.3) ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงมากประมาณ 30,000 – 300,000 ดาลตัล (Rombounts and Pilnik, 1972) ประกอบไปด้วยน้ำตาลอะราบิโนส กาแลคโตส และกรดกาแลคทูโรนิค (ปริยา สุขเกษม 2549)



ภาพที่ 2.3 โครงสร้างโมเลกุลของเพคติน

ที่มา : http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/0430/pectin

ปริมาณการถูกเอสเทอริไฟด์ของหมู่กาแลคทูโรนิกในโมเลกุลของเพคตินนั้นเกิดขึ้นได้หลายระดับ ตัวอย่างเช่น เพคตินที่มีค่า DE 50% คือ เพคตินที่มีหมู่เมธิลในโมเลกุลของกาแลคทูโรนิคที่เป็นโครงสร้าง 50% ของจำนวนทั้งหมด นอกจากนี้ยังพบว่าแม้ว่าเพคตินที่มีค่า DE เท่ากันแต่อาจมีการจัดเรียงตัวแตกต่างกันได้ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับกรรมวิธีในการสกัด วิธี และเวลาในการเอสเทอริไฟด์ ชนิดของพืช และตำแหน่งของเซลล์ที่นำมาสกัดจะทำให้เพคตินที่ได้มีคุณสมบัติต่างกัน

สารประกอบเพคติน (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2545) เป็นกลุ่มของสารประกอบเชิงซ้อน สามารถแบ่งออกได้ ดังนี้

(1) โปรโตเพคติน เป็นสารประกอบเพคตินที่ไม่ละลายน้ำ และพบมาในผลไม้ดิบ ในโมเลกุลของโปรโตเพคตินมีหมู่เมทอกซิลอยู่ประมาณ 9 – 12 % หากเกิดปฏิกิริยาเอสเทอริฟิเคชั่นอย่างสมบูรณ์ จะมีหมู่เมทอกซิลอยู่ในโมเลกุลของโปรโตเพคตินประมาณ 16 % จัดว่ามี degree of methoxylation เป็น 100 % แต่จะไม่เกิดขึ้นในธรรมชาติระหว่างกระบวนการสุกของผลไม้โปรโตเพกตินจะถูกไฮโดรไลซ์ด้วยเอนไซม์หรืออาจใช้ด่างจะทำให้หมู่เมทิลถูกแยกออกไปบางส่วน ได้เป็นหมู่คาร์บอกซิลอิสระเรียกว่า กรดเพกตินิก (pectinic acid) เป็นสาระประกอบเพคตินที่ละลายได้ในน้ำ

(2) กรดเพคตินิก เป็นสารประกอบเพคตินหรือพอลิเมอร์ของกรดกาแล็กทูโรนิกที่มีหมู่เมทิลเอสเทอร์เหลืออยู่บางส่วน และเมื่อถูกไฮโดรไลซ์เอาหมู่เมทิลออกจนหมดจะได้เป็นกรดเพคติก (pectic acid)

(3) กรดเพกติก เป็นสารประกอบเพกติกหรือพอลิเมอร์ของกรดกาแล็กทูโรนิกที่ไม่มีหมู่เมทิลเอสเทอร์อยู่ในโมเลกุลเลย

ดังนั้นสารประกอบเพคตินหรือเพคติก จึงเป็นการเรียกชื่อรวม ๆ ของกรดเพกตินิกที่มีเปอร์เซ็นต์ของหมู่เมทอกซิล หรือ degree of methoxylation แตกต่างกัน ปริมาณของเพคตินในเนื้อเยื่อพืชบางชนิด แสดงในตารางที่ 2.1

เพตตินเป็น gelling agent ที่ดี สมบัติในการเกิดเจลของเพคตินขึ้นอยู่กับปัจจัย 2 อย่าง คือ ความยาวของสายพอลิเมอร์และ degree of methoxylation และจะเกิดเจลได้ในภาวะที่มีกรดและน้ำตาล

การเกิดเจลของเพคตินจะต้องมีสารช่วยดูดน้ำออกจากโมเลกุล (dehydrating agent) เช่น น้ำตาล จะช่วยลดการละลายของเพคตินให้น้อยลง และมีกรดในปริมาณที่เหมาะสม โดยไฮโดรเจนไอออน (H^+) จากกรดจะช่วยลดจำนวนประจุลบของหมู่คาร์บอกซิลให้น้อยลง ทำให้ลดการผลักกันระหว่างประจุลบที่หมู่คาร์บอกซิล ทำให้สายของเพคตินโมเลกุลเข้ามาใกล้กันได้และเกาะตัวกันเป็นตายข่าย เพคตินที่เกิดเจลดีที่สุด คือ เพคตินที่มีหมู่เมทอกซิลในโมเลกุลประมาณ 8 % คือ มี degree of methoxylation ประมาณ 50%

ตารางที่ 2.1 ปริมาณเพคตินในเนื้อเยื่อพืชบางชนิด

ชนิดของเพคติน	**เปอร์เซ็นต์เพคติน**
มันฝรั่ง	2.3
มะเขือเทศ	3.0
แอปเปิ้ล	5 – 7
แครอท	7 – 10
เทอร์นิพ	10
กากแอปเปิ้ลที่เหลือจากการคั้นน้ำ (apple pomace)	15 – 18
Sugar beet pulp	25 – 30
เปลือกส้ม (citrus albedo)	30 – 40
เลมอน	30 – 35
เกรพฟรุต	1.6 – 4.5

ที่มา : นิธิยา รัตนาปนนท์, 2545

ปัจจัยที่มีผลต่อความหนืดของสารละลายเพคติน คือ

(1) น้ำหนักโมเลกุลของเพคติน เพคตินที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงจะมีความหนืดสูง

(2) Degree of methoxylation เพคตินที่มีหมู่เมทอกซิลมาก เรียกว่า high – methoxyl pectin จะมี degree of methoxylation มากกว่า 50% ขึ้นไป ซึ่งจะให้สารละลายที่มีความหนืดสูง

(3) ความเข้มข้นของอิเล็กโทรไลต์ การเติมแคลเซียมไอออน (Ca^{2+}) หรืออะลูมิเนียมไอออน (Al^{3+}) จะทำให้มีความหนืดเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะกับเพคตินชนิด low methoxyl pectin

(4) พีเอช พีเอชที่ให้ความหนืดสูงสุดขึ้นอยู่กับกับ degree of methoxylation

การเกิดเจลของเพคตินจะได้เป็นเจลที่มีความคงตัวดี จึงนำมาใช้ประโยชน์ในการเติมลงไปในแยม เจลลี่ และมาร์มาเลด

การแบ่งเกรดของเพคตินอาจพิจารณาจากปริมาณน้ำตาลที่ใช้ในการทำให้เกิดเจลต่อ 1 ส่วน ของเพคติน เช่น high sugar pectin acid gel จะเกิดเจลที่มี pH 3.2 – 3.5 ใช้น้ำตาล 65 – 70 % และใช้เพคติน 0.2 – 1.5 %

High methoxy pectin ไม่สามารถเกิดเจลได้ถ้าไม่มีน้ำตาลในปริมาณสูง และความเป็นกรดไม่เหมาะสม ส่วน Low methoxy pectin ความสามารถในการเกิดเจลเป็นผลมาจากปัจจัยภายในและปัจจัยภายนอก อย่างไรก็ตาม Low methoxy pectin จะเกิดเจลได้ในสภาวะที่มีแคลเซียมโดยไม่มีน้ำตาล แต่ถ้าหากมีการเติมน้ำตาลใน Low methoxy pectin จะทำให้เพิ่ม gel strength ลดการเกิด syneresis และเพิ่มอุณหภูมิการเซตตัว ซึ่งสามารถแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ methoxy กับความบริสุทธิ์ของเพคตินได้ดังตารางที่ 2.2 แต่ low sugar gel หรือแคลเซียมเพคติเนตเจล ใช้ปริมาณน้ำตาลต่ำประมาณ 45 % เหมาะกับแยมหรือเจลลีที่ให้พลังงานต่ำ

ตารางที่ 2.2 ความสัมพันธ์ระหว่าง Degree of esterification ปริมาณเมทอกซี และน้ำหนักสมมูลของความบริสุทธ์ของกรดเพคตินิก

Degree of esterification (%)	Methoxy content (%)	Equivalent weight (%)
0	0.0	176
10	1.63	197
20	3.26	224
30	4.90	257
40	6.53	303
50	8.16	366
60	9.79	461
70	11.42	619
80	13.06	936
90	14.69	1886
100	16.32	-

ที่มา : พวงทอง ใจสันต์ และคณะ, 2541

2.2.3 ชนิดของเพคติน

การแบ่งเกรดเพคติน ตามระดับของเอสเทอริฟิเคชัน (degree of esterification) ได้ 2 ระดับ คือ

(1) เพคตินที่มีเมทอคซิลสูง (High methoxyl pectin,HM) เป็นสารเพคตินที่มีระดับของเมทธิลเอสเทอริฟิเคชั่น (Degree of methyl esterilfication, %DM) มากกว่า 50 % ในทางการค้าจะมีค่า %DM 55 – 65% จะเกิดเจลได้เมื่อมีของแข็งที่ละลายได้ (total soluble solid) มากกว่า 55 % (น้ำหนักต่อปริมาตร) ใช้กับอาหารที่มี pH ต่ำกว่า 3.5 (ประมาณ 2 – 3.5) ซึ่งเป็นสภาวะปกติที่ใช้ในแยมทั่วไป

เพคตินชนิดนี้ยังแบ่งย่อยออกเป็นอีก 6 ชนิด โดยใช้ระยะ เวลาที่ใช้ในการทำให้เกิดเจล (gel) เป็นเกณฑ์ในการแบ่ง ได้แก่

ก. เกิดเจลได้ช้ามาก (Extra slow set pectin) มีค่า DE 55 - 59%
ข. เกิดเจลได้ช้า (Slow set pectin) มีค่า DE 60 - 64%
ค. เกิดเจลเร็วปานกลาง (Medium rapid set pectin) มีค่า DE 65 - 69%
ง. เกิดเจลเร็ว (Rapid set pectin) มีค่า DE 72%
จ. เกิดเจลเร็วมาก (Extra rapid set pectin) มีค่า DE 76%
ฉ. เกิดเจลรวดเร็วมาก (Ultra rapid set pectin) มีค่า DE 82%

ซึ่งระยะเวลาการเกิดเจลจะแตกต่างกันที่ค่า Degree of Degree of methyl esterilfication (DM) การนำเพคตินมาใช้ประโยชน์จึงขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ ค่า pH ของอาหาร และชนิดของผลิตภัณฑ์อาหาร

ตารางที่ 2.3 แสดงค่า Degree of methyl esterilfication (DM) ของเพคติน

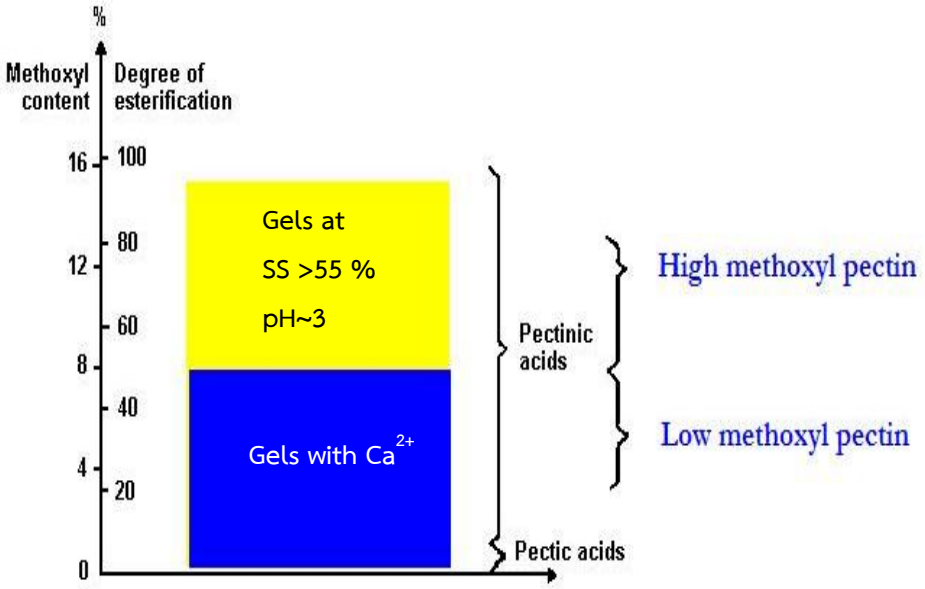
HM Pectin	Ultra Rapid Set	Rapid Set	Medium Set	Slow Set
DM (%)	74-77	71-74	66-69	58-65
Setting time (min)	1 - 3	3 - 7	15 - 25	30-120
pH	3.1 - 3.4	3.0 - 3.3	2.8 - 3.1	2.6 - 2.9
Application	Jams with whole fruits	'Classical Jams'	Acid jams and jellies	Acid to very acid and jellies

ที่มา : http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/0430/pectin

(2). เพคตินที่มีเมทอคซิลต่ำ (Low methoxyl pectin) เป็นสารเพคตินที่มีระดับของเมทธิลเอสเทอริ ฟิเคชั่นน้อยกว่า 50 % ในทางการค้าจะมีค่า DE อยู่ในช่วง 20 – 40% เพคตินชนิดนี้สามารถจะเกิดเจลได้ที่อุณหภูมิห้องโดยไม่ต้องมีของแข็งที่ละลายได้ (soluble solid) แต่ต้องมีไอออนของโลหะบางชนิดช่วยในการเกิดเจล เช่น แคลเซียมไอออน (Ca^{2+}) อยู่ประมาณ 3 % มีของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (toal soluble solid) ตั้งแต่ 10 - 80 % ที่ pH ช่วงกว้างตั้งแต่ 2.9 - 5.5 เจลที่ได้จะเป็นชนิด thermoreverible gel เนื้อสัมผัสของเจลจะมีความอ่อนนุ่มและยืดหยุ่นมากกว่าเจลที่ได้จากเพคตินที่มีเมทอคซิลสูง (HM) หรือ Agar

DM คือ อัตราส่วนของหมู่ methylated galacturonic acid ต่อหมู่ galacturonic acid ทั้งหมดที่มีอยู่ในโมเลกุลของเพคติน จึงทำให้แบ่งประเภทของเพคตินตามค่า DM ได้เป็น 2 ชนิด คือ ชนิด

Low methoxyl (LM) ซึ่งจะมีค่า DM น้อยกว่า 50 % และชนิด High methoxyl (HM) ซึ่งมีค่า DM มากกว่า 50 % (ดังภาพที่ 2.4) เพคตินที่สกัดได้จากธรรมชาติจะเป็นชนิด HM ที่มีค่า DM สูงถึง 75 %



ภาพที่ 2.4 ชนิดและสมบัติของเพคติน

ที่มา : http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/0430/pectin

นอกจากนี้ยังพบว่าเมื่อควบคุมอุณหภูมิในการเกิดเจลให้เหมาะสม สามารถจำแนกเพคตินได้ตามอัตราเร็วในการเกิดปฏิกิริยากับอนุมูลของ Ca^{2+} ออกเป็น 2 กลุ่ม ดังนี้

ก. กลุ่มที่เกิดเจลได้ช้า เนื่องจากความไวต่อแคลเซียมต่ำ (less calcium reactive) เพคตินกลุ่มนี้ได้จากการดีเอสเทอริไฟด์เพคตินที่สกัดได้จาก primary cell wall

ข. กลุ่มที่เกิดเจลได้เร็ว มีความไวต่อแคลเซียมสูง (more calcium reactive) โดยการดีเอสเทอริไฟด์ที่สกัดได้จากชั้น middle lamella หรือเพคตินที่มีโครงสร้างของกรดกาแลคทูโรนิกที่ต่อกันแบบบล็อก (blocks of galacturonic acid)

นอกจากการใช้เกณฑ์ % DE ในการแบ่งเกรดของเพคตินแล้ว ยังมีการใช้ปริมาณ methoxyl เป็นเกณฑ์ในการแบ่งชนิดของเพคตินได้ โดยแบ่งเพคตินออกได้เป็น 2 ชนิด

(1) ชนิดที่มีเมธอกซีสูง (High methoxy pectin) ซึ่งจะมีปริมาณเมธอกซีมากกว่าร้อยละ 7 ซึ่งสอดคล้องกับระดับของ DE ที่ต้องมี % DE มากกว่า 50 % เรียกว่า rapid set และไม่สามารถเกิดเจลได้ถ้าไม่มีน้ำตาลในปริมาณสูง จึงเหมาะสำหรับทำแยมและเยลลี่

(2) ชนิดที่มีเมธอกซีต่ำ (Low methoxy pectin) ซึ่งจะมีปริมาณเมธอกซีร้อยละ 3 - 7 ซึ่งสอดคล้องกับระดับของ DE ที่ต้องมี % DE น้อยกว่า 50 % เรียกว่า slow set ซึ่งจะเกิดเจลได้ต้องมีไอออนของโลหะ คือ แคลเซียมไอออน

2.2.4 ปัจจัยที่บ่งชี้คุณภาพของเพคติน

การหาปริมาณเพคตินที่มีอยู่ในพืชเพียงอย่างเดียวไม่เพียงพอที่จะบอกได้ว่าพืชชนิดนั้นสามารถที่จะนำมาใช้เพื่อเป็นแหล่งของเพคตินในระดับอุตสาหกรรมได้ ต้องวิเคราะห์คุณภาพของเพคตินที่สกัดได้ควบคู่กันไปด้วย (Thakur et al., 1997)

(1) ระดับการเกิดเอสเทอร์ (Degree of esterification , DE)

เป็นค่าร้อยละของกรดกาแลคทูโรนิกที่ถูกเอสเทอริด์โดยหมู่เมทิลต่อจำนวนกรดกาแลคทูโรนิกทั้งหมด เมื่อหมู่คาร์บอกซิลถูกเอสเทอริไฟด์โดยหมู่เมทิลจะเกิดหมู่เมทอกซิลในโครงสร้างของเพคติน ค่า DE จึงสัมพันธ์กับปริมาณเมทอกซิลที่มีอยู่ในเพคติน

ค่า DE ตั้งแต่ 50% ขึ้นไปหรือมีปริมาณเมทอกซิลตั้งแต่ 8.16% ขึ้นไปจัดเป็นเพคตินชนิด HMP ส่วนค่า DE ต่ำกว่า 50% หรือมีปริมาณเมทอกซิลต่ำกวา 8.16% จัดเป็นเพคตินชนิด LMP ซึ่งมีความสัมพันธ์ดังสมการของ Beda M. Yapo. (2008)

$$\text{Methoxyl contene (g/100g)} = \frac{(DE \times 31 \times (\text{anhydrogalacturonic acid content g/100g}))}{(176 \times 100)}$$

เพคตินชนิด LMP จะมีเนื้อสัมผัสที่อ่อนนุ่มกว่าจึงสามารถทำให้อาหารมีลักษณะเนื้อผิวที่ดีขึ้นใช้เติมลงในโยเกิร์ต นมรสช็อกโกแลต ส่วนเพคตินชนิด HMP จะมีความคงตัว ความหนืดสูง ทำให้เกิดรูปทรง จึงเติมในอาหารจำพวกแยม เยลลี่ ผลไม้กวน

(2) กาหา Galacturoniac acid

เพคตินที่สกัดได้จะมีความบริสุทธิ์ขึ้นอยู่กับปริมาณกรดกาแลคทูโรนิก ซึ่งหาได้จากการนำเพคตินไปทำปฏิกิริยากับกรดซัลฟิวริกเพื่อให้ไฮโดรเจนไอออน (H^+) เข้าแทนที่หมู่เมทิลกับไอออนของโลหะ ทำให้ได้กรดกาแลคทูโรนิกที่มีแต่หมู่คาร์บอกซิลเป็นองค์ประกอบทั้งหมด แล้วไปทำปฏิกิริยากับสารละลายคาร์บาซอลจะได้สารละลายสีม่วง จากนั้นนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงเพื่อหาปริมาณกรดกาแลคทูโรนิกในเพคติน

(3) ปริมาณน้ำหนักสมมูลย์ (Equivalent weight , Eq.Wt.)

ปริมาณน้ำหนักสมมูลย์ หมายถึง จำนวนกรัมของกรด polygalacturonic บริสุทธิ์ขึ้นอยู่กับระดับการเกิดเอสเทอร์ ซึ่งสัมพันธ์กับจำนวนกลุ่มของคาร์บอกซิลอิสระ 1 กรัมโมลที่สมมูลย์กับไฮดรอกซี่ 1 กรัมโมลหาได้โดยวิธีการไตเตรทด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ (Ranganna, 1977)

(4) ปริมาณเมทอกซิล (Methoxyl content , MeO.)

ปริมาณเมทอกซิล หมายถึง จำนวนของกลุ่มเมทอกซิลที่อยู่ในโมเลกุลของเพคติน ปริมาณเมทอกซิลนี้มีความหมายคล้ายกับระดับการเกิดเอสเทอร์ และเป็นตัวแปรสำคัญในการควบคุมเวลาในการเกิดเจลของเพคตินและความว่องไวในการตอบสนองต่อ polyvalent cation หาได้โดยการทำปฏิกิริยาส

ปอนนิฟิเคชั่น (saponification) ของเพคตินและทำการไตเตรทเพื่อหากลุ่มคาร์บอกซิลอิสระที่เกิดขึ้นด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

(5) ปริมาณหมู่อะซิติล (Acetyl content)

Ranganna (1977) รายงานว่าพืชบางชนิด เช่น หัวบีท และดอกทานตะวัน อาจมีกลุ่มอะซิทิล (acethyl group) ซึ่งมีผลทำให้ประสิทธิภาพในการเกิดเจลของเพคตินลดลง Kertesz (1951) พบว่ากลุ่มอะซิทิลส่วนมากอยู่ที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 2 หรือ 3 โดยมากาะแทนที่กลุ่มไฮดรอกซิล ปริมาณอะซิทิลในเพคตินที่ได้จากพืชชนิดต่าง ๆ ที่มีปริมาณมากน้อยแตกต่างกันไปซึ่งหาโดยการทำปฏิกิริยาสปอนนิฟิเคชั่นของเพคติน และนำมาทำปฏิกิริยากับแมกนีเซียมซัลเฟตและกรดซัลฟูริก หลังจากนั้นไตเตรทกลุ่มอะซิทิลอิสระที่เกิดขึ้นด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

(6) Anhydrouronic acid (A.U.A)

เป็นคำที่บอกความบริสุทธิ์ของเพคติน เนื่องจากองค์ประกอบสำคัญของเพคติน คือ esterified polygalacturonic acid นอกจากนี้โครงสร้างเพคตินอาจมีองค์ประกอบอื่น ๆ เช่น arabinose , galactose หรือน้ำตาลตัวอื่น ๆ อยู่ด้วย ดังนั้นถ้าเพคตินมีสารเหล่านี้อยู่มากจะมีปราณ anhydrouronic acid สามารถหาได้โดยวิธี deesterification เพคตินด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ แล้วนำมาทำปฏิกิริยากับ carbazol หรือทำปฏิกิริยากับ metahydroxydiphenyl หลังจากนั้นวัดความเข้มของสีที่เกิดขึ้นโดยวัดการดูดกลืนแสงเทียบกับกราฟมาตรฐาน

Kintner และ Van Buren. (1982). กล่าวว่า การวิเคราะห์หา anhydrouronic acid โดยใช้ carbazol จะให้ค่าที่สูงกว่าความเป็นจริง เนื่องจาก carbazol ไม่ทำปฏิกิริยาเฉพาะกับ uronic acid มากกว่า carbozol และไม่ทำปฏิกิริยากับคาร์โบไฮเดรตตัวอื่น

(7) เจลลี่เกรด (Jelly grade)

เป็นค่าที่บอกถึงความสามารถของเพคตินในการเกิดเจล ประเมินได้จากการนำเพคตินที่สกัดได้มาเตรียมเป็นเยลลี่ในภาวะมาตรฐานกำหนด โดยใช้เพคตินในปริมาณต่าง ๆ กันแล้วนำเยลลี่ดังกล่าวมาเปรียบเทียบความแข็งกับเยลลี่มาตรฐานที่เตรียมได้ในภาวะมาตรฐานกำหนดแล้วประเมินเป็นค่าเจลลี่เกรด

2.2.5 สมบัติทางเคมีของเพคติน

(1) การเกิดเจลของเพคตินที่มีหมู่เมธอกซิลสูง

ในการเกิดเจลของเพคตินได้จะต้องมีปริมาณน้ำตาล และกรดที่เหมาะสมเท่านั้น ทั้งนี้เนื่องจากสายเพคตินจะถูกดึงน้ำออก มีผลทำให้เพคตินมีประจุลบ จึงทำให้ลดแรงระหว่างสายโซ่ ความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสมในการเกิดเจลของเพคตินชนิดที่เกิดเจลได้ช้า และเร็วนั้น คือ 3.2 และ 3.4 ตามลำดับที่ความเป็นกรด-ด่างต่ำ ค่า gel strength จะเพิ่มมากขึ้น และอุณหภูมิในการเกิดเจลก็จะเพิ่มมากขึ้นด้วย (May, 1997)

สภาวะที่เหมาะสมในการเกิดเจลนั้นมีหลายปัจจัยที่ระดับความเข้มข้นของน้ำตาลสูง ๆ พบว่าความเป็นกรด – ด่างจะเพิ่มมากขึ้น โดยน้ำตาลจะมีผลต่ออัตราการเกิดเจล โดยพบว่าหากใช้กลูโคสไซรัปทดแทนน้ำตาลจะมีผลทำให้ gel strength ลดลง แต่ต้องใช้อุณหภูมิในการเกิดเจลเพิ่มมากขึ้น ในการใช้น้ำตาลฟรุกโตสทดแทนน้ำตาล จะมีผลต่อ gel strength น้อย แต่จะมีผลต่อการลดลงของอุณหภูมิในการเกิดเจล

(2) การเกิดเจลของเพคตินที่มีหมู่เมธอกซิลต่ำ

ในการเกิดเจลของเพคตินที่มีหมู่เมธอกซิลต่ำนั้นขึ้นอยู่กับหลาย ๆ ปัจจัย ได้แก่ ปริมาณ Ca^{2+} ความเป็นกรด – ด่าง ปริมาณน้ำตาล ปริมาณของเพคติน ซึ่งปัจจัยเหล่านี้จะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิในการเกิดเจล และค่า gel strength ที่ต้องการ ในการเตรียมเจลมาตรฐานต้องประกอบด้วยความเป็นกรด – ด่าง 3.0 ปริมาณน้ำตาล 30% โดยให้มีเพคติน 1% และสารประกอบแคลเซียม โดยเพคตินชนิดนี้จะไม่สามารถเกิดเจลได้หากมีปริมาณแคลเซียมไม่เพียงพอ แต่ถ้าหากเพิ่มปริมาณของแคลเซียม ค่า gel strength ก็จะเพิ่มขึ้นจนถึงจุดหนึ่งแล้วจะลดลง อุณหภูมิในการเกิดเจลก็จะเพิ่มขึ้นจากอุณหภูมิปกติ และจุดเดือดจะเพิ่มมากขึ้นตาม gel strength ที่เพิ่มขึ้น

การลดลงของค่า a_W เนื่องจากการละลายของน้ำตาลเพิ่มมากขึ้นจะสามารถเกิดเจลได้ง่าย แม้ว่าจะมี Ca^{2+} ต่ำ และเป็นเพคตินที่ไม่ไวต่อ Ca^{2+} หากต้องการใช้น้ำตาลเพิ่มขึ้นเป็น 60% ก็จะต้องใช้ Ca^{2+} เพิ่มมากขึ้นตามปริมาณของน้ำตาลที่เพิ่มมากขึ้น

(4) การละลาย

เพคตินเป็นสารที่ไม่ละลายในตัวทำละลายอินทรีย์ หรือของเหลวผสมระหว่างน้ำกับตัวทำละลายอินทรีย์ที่มีความเข้มข้นสูง ๆ แต่ละลายในน้ำ ไดเมทิลซัลฟอกไซด์ ฟอร์มาไมด์ และกลีเซอรอลอุ่น การละลายของเพคตินจะลดลงเมื่อ degree of polymerization เพิ่มขึ้น

(5) การกระจายตัวในน้ำ

เมื่อผสมเพคตินกับน้ำ เพคตินที่อยู่บริเวณรอบนอกจะดูดซับน้ำ เกิดการพองตัวข้นเหนียวคล้ายเจลหุ้มผงเพคตินแห้งบริเวณแกนกลางไว้ ทำให้เพคตินที่อยู่แกนกลางไม่เปียกน้ำ การทำให้เพคตินละลายเป็นสารละลายใสจะต้องปั่นผสมด้วยเครื่องปั่นผสมความเร็วสูง

(6) ประจุ

เนื่องจากโครงสร้างของเพคตินเป็นกรดโพลีคาร์บอกซิลิก ดังนั้นที่พีเอชเป็นกลางประจุของเพคตินจะมีประจุเป็นลบ ส่วนที่พีเอชเป็นกรดประจุจะเป็นศูนย์ การที่เพคตินมีประจุลบจึงทำให้เพคตินสามารถทำปฏิกิริยากับโพลีเมอร์ที่มีประจุบวก เช่น โปรตีนที่สภาวะพีเอชต่ำกว่า

2.2.6 สมบัติทางกายภาพของเพคติน

(1) สมบัติการละลายของเพคติน

เพคตินสามารถละลายในน้ำเย็น และทำให้เกิดความข้นหนืดได้เช่นเดียวกับกัมส์ชนิดอื่น ๆ แต่ผงเพคตินจับกันเป็นก้อนได้ง่าย มีผลทำให้ละลายได้ช้า และยาก เพคตินจะสามารถละลายได้ดีในน้ำอุ่นหรือน้ำที่มีอุณหภูมิมากกว่า 60 องศาเซลเซียส แล้วทำการผสมด้วยเครื่องผสมความเร็วจากต่ำไปหาสูงสุด ต้องระวังไม่ให้เพคตินจับกันเป็นก้อนเพราะจะทำให้ละลายได้ยาก อีกวิธีที่ละลายเพคตินได้ดีนั้นจะต้องผสมเพคตินกับน้ำตาลโดยอัตราส่วนเพคติน 1 ส่วนกับน้ำตาล 5 ส่วน หรือกับสารละลายอื่น ๆ เช่น สารละลายน้ำตาล ตวามเข้มข้น 65% หรือแอลกอฮอล์เพื่อทำให้เพคตินเปียก ถ้าไม่ได้ผสมด้วยเครื่องผสมความเร็วสูงให้ต้มประมาณ 1 นาที เพื่อให้มั่นใจได้ว่าเกิดการละลายได้หมด

(2) ความหนืดของเพคติน

ความเข้มข้นของเพคตินนั้นขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของเพคติน ปริมาณแคลเซียม ปริมาณความเป็นกรด – ด่าง ชนิดของเพคติน และขนาดของมวลโมเลกุล

ก. ความเข้มข้นของเพคติน สารละลายเพคตินเจือจางจะให้การไหลแบบนิวโตเนียน (Newtonian) ถ้าสารละลายเพคตินมีความเข้มข้นมากกว่า 1% สารละลายเพคตินจะมีคุณสมบัติเป็น Pseudoplastic solution

ข. ความเป็นกรด – ด่าง ถ้าเพิ่มความเป็นกรดด่าง พบว่าความหนืดของสารละลายเพคตินจะเพิ่มขึ้นด้วย ถ้าความเป็นกรดด่างลดลงเป็น 2.5 – 5.5 สารละลายเพคตินจะอยู่ในรูปของ Thixotropic solution สารละลายที่มีประจุ+ จะลดความหนืดของสารละลายเพคติน เพราะลดแรงดึงดูดระหว่างประจุ

ค. มวลโมเลกุล เพคตินที่มีมวลโมเลกุลสูงจะทำให้สารละลายมีความหนืดสูงขึ้นด้วย การหาน้ำหนักโมเลกุลของเพคตินสามารถทำนายได้โดยการหาค่า intrinsic viscosity ในทางตรงกันข้ามเมื่อเจือจางสารละลาย และไม่มีแคลเซียม สารละลายจะมีความหนืดลดลง การเตรียมสารละลายเพคตินให้มีลักษณะเนื้อสัมผัสแตกต่างกันนั้น สามารถทำได้โดยผสมเพคตินชนิดต่าง ๆ หรือผสมเพคตินให้มีความเข้มข้นแตกต่างกัน

ง. ปริมาณของ Ca^{2+} เพคตินที่มีหมู่เมธอกซิลไม่ต้องการแคลเซียมในการเกิดเจล แต่เพคตินที่มีหมู่เมธอกซิลต่ำต้องการแคลเซียมในการเกิดเจล แต่สามารถแบ่งเพคตินออกตามความไวต่อ Ca^{2+} ออกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่เกิดเจลได้ช้า เนื่องจากความไวต่อแคลเซียมต่ำ และกลุ่มที่เกิดเจลได้เร็ว มีความไวต่อแคลเซียมสูง กลุ่มหลังนี้หากเพิ่มปริมาณแคลเซียมความหนืดของสารละลายเพคตินก็จะสูงขึ้นด้วย

2.2.7 การนำไปใช้ประโยชน์

เพคตินนิยมนำมาใช้ในอาหารประเภทแยม เยลลี่ เบอร์เกอรรี่ เครื่องดื่ม และผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะเนื้อคล้ายเยลลี่ เช่น

(1) ทำให้เกิดเจล (gelling agent) เพคตินมีสมบัติพิเศษคือ เมื่อรวมตัวกับน้ำตาล และกรดในปริมาณที่เหมาะสม เกิดเป็นเจลที่อ่อนนุ่ม ทำให้นำมาใช้ ในผลิตภัณฑ์ แยม เยลลี่

(2) เป็นสารที่ทำให้ข้นหนืด (thickening agent)

(3) เป็น stabilizer ป้องกันการตกตะกอน (sedimentation) ของนมเปรี้ยว (acidified milk) โดยป้องกันการตกตะกอนโปรตีนเคซีน (casein)

(4) เป็นอิมัลซิไฟเออร์ (emulsifier) ทำให้อิมัลชัน (emulsion) คงตัว โดยลด แรงตึงผิวระหว่างเฟสของน้ำมันและน้ำ

(5) เป็น prebiotic เป็นอาหารของแบคทีเรียกลุ่ม probiotic ซึ่งเป็นประโยชน์แก่ร่างกาย เป็นส่วนผสมของ funcitonal food

(6) การเติมเพคตินชนิด LM จำนวนเล็กน้อยลงในโยเกิร์ตจะช่วยปรับปรุงลักษณะเนื้อสัมผัสของโยเกิร์ตให้ดีขึ้น

(7) สำหรับน้ำผลไม้เข้มข้นจะเติมเพคตินชนิด HM เพื่อช่วยเพิ่มความคงตัวให้กับอนุภาคของเนื้อผลไม้ ทำให้อนุภาคกระจายตัวแขวนลอยอยู่ได้โดยไม่ตกตะกอน

(8) ในน้ำผลไม้ผงสำเร็จรูปจะมีการเติมเพคตินชนิด HM ลงไปเพื่อให้เกิดความรู้สึกเหมือนน้ำผลไม้ธรรมชาติขณะดื่ม

(9) ในผลิตภัณฑ์ bakery เช่น jam ที่นำมาเติมใน tart จะให้ลักษณะผิวเรียบเป็นเงาหลังจากอบแล้ว และทนต่อการอบ

(10) ในทางการแพทย์ ได้ใช้เพคตินเป็นสารรักษาแผล (Wound dressing) ต่อมามีการใช้เพคตินทำเยลลีรักษาโรคท้องร่วงในเด็กและทารก และเพคตินยังทำหน้าที่เป็นเยื่อป้องกันไม่ให้น้ำตาลถูกดูดซึมเข้าสู่กระแสเลือดได้ง่าย เพคตินช่วยลดน้ำตาลในเลือดและป้องกันมิให้คอเลสเตอรอลความหนาแน่นต่ำตกค้างที่หลอดเลือดหัวใจจึงสามารถลดปริมาณคอเลสเตอรอลในเลือดได้

(11) ใช้เป็นสารแทนไขมันในอุตสาหกรรมหลายประเภท เช่น ขนมหวานแช่เยือกแข็ง น้ำปรุงซุป ครีมแต่งหน้าไอศกรีม ครีมแต่งหน้าเค้ก ครีมทาแซนวิส ซอส น้ำสลัด น้ำมายองเนส เค้ก คุกกี้ เนยแข็ง โยเกิร์ต เป็นต้น

2.3 กระบวนการสกัด (Extraction)

2.3.1 การสกัดด้วยตัวทำละลาย (Solven extraction)

การสกัดด้วยตัวทำละลายเป็นวิธีหนึ่งที่มีประโยชน์มากในการแยกสารและทำสารให้บริสุทธิ์ เช่น การสกัดแยกสารประกอบบางชนิดออกจากแหล่งที่เกิดในธรรมชาติ เช่น ใบไม้ ดอกไม้ การสกัดแยะสารผลิตภัณฑ์ออกจากของผสมหลังทำปฏิกิริยา หลักการของการสกัด คือ การใช้ตัวทำละลายที่เหมาะสมละลายสารที่ต้องการออกมาจากสารผสม สารสกัดพอจะแบ่งได้เป็น 3 วิธี ดังนี้

(1) Solid/Liquid Extraction

เป็นการใช้ตัวทำละลายที่เหมาะสมละลายสารที่ต้องการออกมาจากสารผสมซึ่งเป็นของแข็ง การสกัดแบบนี้มีหลักการไม่แตกต่างจากการหาตัวทำละลายเพื่อตกผลึกสาร

การสกัดวิธีนี้ทำได้โดยแช่ของแข็งที่ต้องการสกัดในตัวทาละลายที่ต้องการเป็นเวลานานโดยใช้ภาชนะที่เหมาะสม เครื่องมือสกัดแบบซ็อกเล็ต (Soxhlet extractor) เป็นอุปกรณ์ที่ออกแบบมาสำหรับสกัดสารให้ได้ประสิทธิภาพสูงสุด ซึ่งนิยมใช้ในกรณีที่สารที่จะสกัดละลายได้ไม่ดีนักในตัวทำละลายอินทรีย์ที่จะสกัด การสกัดทำโดยอาศัยหลักการการให้ตัวทำละลายระเหยกลายเป็นไอ จากนั้นกลั่นตัวเป็นของเหลวผ่านลงไปในสาร (ของแข็งหรือของเหลว) จากนั้นตัวทาละลายที่ได้สัมผัสกับสารจะไหลลงสู่ขวดรองรับตัวทำละลายที่พาสารลงมาในขวดนี้จะถูกระเหยกลับขึ้นไป (ทิ้งสารที่สกัดออกมาไว้ในขวดรองรับ) แล้วกลั่นตัวลงบนสารแบบซ้ำ ๆ ไปเรื่อยๆ การกระทำเช่นนี้จะทำให้ได้สารที่ต้องการสกัดในขวดรองรับในที่สุด

(2) Liquid/Liquid Extraction

เป็นการใช้ตัวทำละลายที่เหมาะสมละลายสารที่ต้องการออกมาจากสารผสมซึ่งเป็นของเหลว

ตัวทำละลายที่เหมาะสมในการสกัดควรมีสมบัติเช่นเดียวกับตัวทำละลายที่เลือกสาหรับตกผลึกสาร ตัวทำละลายที่ดีควรละลายสารที่ต้องการสกัดได้ดี มีจุดเดือดไม่สูงนักเพื่อที่จะกำจัดออกไปจากสารที่ต้องการได้ง่ายหลังการสกัด ต้องไม่ทำปฏิกิริยากับสารหรือกับตัวทำละลายอื่นที่จะใช้ร่วมกัน ไม่ควรติดไฟง่าย ไม่ควรมีพิษและราคาไม่แพง ตัวทำละลายที่นิยมใช้ในการสกัดสารในห้องปฏิบัติการ ได้แก่ diethyl ether, dichloromethane, ethyl acetate และ 1-butanol ในทางปฏิบัติมักจะนิยมสกัดสารอินทรีย์ซึ่งอาจละลายหรือแขวนลอยอยู่ในวัฏภาคน้ำ ด้วยตัวทำละลายอินทรีย์ที่ไม่รวมเป็นเนื้อเดียวกับน้ำ เมื่อตั้งทิ้งไว้จะเกิดการแยกชั้น สารทั้งหลายที่มีอยู่ในของผสมจะละลายอยู่ทั้งในชั้นตัวทำละลายอินทรีย์และชั้นน้ำมากน้อยตามความสามารถในการละลายของมันในตัวทำละลายแต่ละชนิด หลักเกณฑ์การละลายของสารโดยทั่วไป คือ สารที่แตกตัวเป็นไอออนได้หรือสารที่มีพันธะไฮโดรเจนกับน้ำได้จะอยู่ในชั้นน้ำมาก ในขณะที่สารที่ไม่มีขั้วจะอยู่ในชั้นตัวทำละลายอินทรีย์ (ส่วนใหญ่มีขั้วน้อย) โดยมีค่าคงที่ซึ่งเรียกว่า **สัมประสิทธิ์การแจกแจง (distribution coefficient) หรือสัมประสิทธิ์การแบ่งส่วน (partition coefficient)** ซึ่งมักใช้อักษรย่อว่า K เป็นค่าคงที่ซึ่งบ่งให้ทราบว่า สารที่สนใจละลายในตัวทำละลายแต่ละชั้นของตัวทำละลายคู่หนึ่ง ๆ มากน้อยเท่าไร ณ ภาวะสมดุล ที่อุณหภูมิคงที่

(3) Acid/Base Extraction

เป็นการใช้ปฏิกิริยากรดเบสเพื่อแยกสารอินทรีย์ที่มีสมบัติเป็นกรดแก่ กรดอ่อน กลาง และเบสออกจากกัน

การสกัดด้วยปฏิกิริยากรด /เบส นี้สามารถใช้แยกสารที่เป็นกรดแก่ กรดอ่อน กลาง และเบสออกจากกันได้ หลักการคือ สารเหล่านี้อยู่ในรูปที่ไม่แตกตัวจะละลายได้ดีในตัวทำละลายอินทรีย์ แต่เมื่อมันทำปฏิกิริยากับกรดหรือเบสที่เหมาะสมก็จะเกิดเป็นเกลือ ซึ่งอยู่ในรูปของไอออนจึงละลายน้ำได้ดี ทำให้สามารถแยกออกจากสารที่ไม่แตกตัวอื่นๆ ได้โดยง่าย ในที่นี้จะอธิบายโดยใช้ตัวอย่างของของผสมที่มีกรดเบนโซอิก (กรดแก่) ฟีนอล (กรดอ่อน) แนพทาลีน (เป็นกลาง) และอะนิลีน (เบสอ่อน) ผสมกันอยู่ เมื่อเริ่มต้นสารทั้งสี่ละลายอยู่ในอีเทอร์ เมื่อเติมสารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนต (เบสอ่อน) ลงไปในสารละลายมันจะทำปฏิกิริยาเฉพาะกับกรดแก่ ซึ่งในที่นี้คือ กรดเบนโซอิกได้ผลิตภัณฑ์เป็นโซเดียมเบนโซเอตซึ่งเป็นเกลือจึงละลายน้ำได้ดี ทำให้แยกจากชั้นอีเทอร์ไปสู่ชั้นน้ำได้ ชั้นน้ำที่สกัดได้นี้สามารถทำให้ได้กรดเบนโซอิกตกผลึกออกมาโดยทำให้เป็นกรด

2.3.2 กรรมวิธีการสกัดเพคตินจากผลไม้ตระกูลส้ม

ในการสกัดเพคตินสิ่งที่สำคัญ คือ ชนิดและความแก่อ่อนของผลไม้ ถ้าผลไม้สุกเกินไปไม่ควรใช้เพราะเพคตินสลายตัว เนื่องจากเพคตินถูกไฮโดรไลซีสด้วยเพคติเนสได้กรดเพคติคกับเมทานอล ซึ่งกรดเพคตินนั้นเป็นสารที่ไม่ละลายน้ำ

(1) การเตรียมวัตถุดิบ

ขั้นแรกต้องขจัดผิวส้มออกจากเปลือกส้ม จากนั้นนำเปลือกส้มไปปั่นในเครื่องปั่นผลไม้ เพื่อขจัดสารแปลกปลอม เช่น สี สารให้รสขม กรด น้ำตาล ตลอดจนสารอื่น ๆ ออกก่อน ซึ่งการขจัดสารต่าง ๆ เหล่านี้ทำได้ 2 วิธี คือ

ก. ล้างเปลือกส้มที่ผ่านการบดด้วยน้ำเย็น

ข. ล้างเปลือกส้มที่ผ่านการบดด้วยเอทิลแอลกอฮอล์

ถ้าหากใช้น้ำล้างเพคตินบางส่วนจะละลายไปกับน้ำ ถ้าคิดในแง่ของการผลิตทางการค้าแล้วเพคตินที่สูญเสียไปเป็นพวกที่มีคุณภาพต่ำ และสารเพคตินส่วนใหญ่ยังอยู่ในรูปโปรโตเพคตินซึ่งเป็นสารที่ไม่ละลายน้ำ การล้างเปลือกส้มควรเปลี่ยนน้ำล้างบ่อย ๆ พร้อมทั้งคนไปด้วยเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการล้าง การล้างเปลือกส้มนั้นมีความสำคัญมากเพราะเพคตินที่จะได้ออกมามีคุณภาพดีหรือไม่นั้นขึ้นอยู่กับการล้างเป็นสำคัญ ถ้าหากขจัดน้ำตาลในเปลือกส้มไม่หมดจะทำให้สารละลายเพคตินเข้มข้นที่ได้จากการสกัดเกิดลักษณะเจล หรือถ้าเป็นผงก็จะพบว่าผงเพคตินที่ได้ดูดความชื้นละจับตัวเป็นก้อน ดังนั้นการล้างที่ดีจึงไม่ควรให้มีของแข็งที่ละลายได้เหลืออยู่ในน้ำล้างครั้งสุดท้ายเลยเมื่อล้างกากส้มด้วยน้ำเสร็จแล้วจะนำมาต้มต่อในเอทิลแอลกอฮอล์เพื่อขจัดสารที่ละลายได้ในเอทิลแอลกอฮอล์ออก และควรต้มชิ้นผลไม้ในเอทิลแอลกอฮอล์ชนิด 95% และควบคุมอุณหภูมิไม่เกิน 70 องศาเซลเซียส เวลาที่ใช้ 12 – 18 นาที ความร้อนขนาดนี้จะ

ทำลายเพคตินเอนไซม์ และการลดเปลือกมะนาวในเครื่องปั่นโดยใช้แอลกอฮอล์ชนิด 95% ต้มจนเดือดทิ้งข้ามคืน พบว่าจะช่วยขจัดสารแปลกปลอมได้มาก เมื่อนำกากมะนาวนั้นมาสกัดเพคตินจะได้เพคตินออกมาปริมาณมาก ดังนั้นการต้มเปลือกมะนาวในแอลกอฮอล์ก่อนทำการสกัดเพราะจะได้ทำลายเพคตินเอนไซม์และลดปริมาณสารปนเปื้อนอื่น ๆ ด้วย

(2) การสกัดเพคตินโดยวิธีไฮโดรไลซีส

การสกัดเพคตินโดยวิธีนี้อาจใช้กรดแร่ เช่น กรดกำมะถัน (Sulfuric acid) กรดเกลือ (Hydrochloric acid) กรดซัลฟูรัส (Sulfurus acid) กรดฟอสฟอริก (Phosphoric acid) เป็นต้น หรืออาจใช้กรดอินทรีย์ เช่น กรดมาลิก (Malic acid) กรดซิตริก (Citric acid) กรดทาร์ทาริก (Tartaric acid) กรดแลกติก (Lactic acid) และกรดออกซาลิก (Oxalic acid) ส่วนกรดที่นิยมใช้ในการสกัดกันมาก คือ กรดเกลือ ซึ่งมีนักวิจัยได้ทำการเปรียบเทียบปริมาณและคุณภาพของเพคตินที่สกัดได้จากกากแอปเปิ้ลเมื่อใช้กรดเกลือเข้มข้น 0.1 0.02 0.01 และ 1.37 N พบว่าเพคตินที่ได้จากการใช้กรด 0.1 N (pH 1.2) กับกรดเกลือชนิด 1.37 N (pH 1.05) ให้ผลดีที่สุดในการสกัด เพคตินถ้าใช้กรดเกลือมากกว่า 0.033 N และอุณหภูมิไม่เกิน 100 องศาเซลเซียส หรือใช้เวลาต้มนานกว่า 3 ชั่วโมงจะทำให้เพคตินแตกตัวได้ สำหรับในอุตสาหกรรมใช้กรดเกลือเข้มข้น 0.0167 – 0.02 N ต้มสกัด 3 ครั้ง ที่อุณหภูมิ 97 – 100 องศาเซลเซียส ใช้เวลาต้มครั้งละ 30 นาที หลังจากต้มสกัดในแต่ละครั้งจะกรองผ่านตะแกรงที่มีขนาด 8 – 10 mesh เพื่อกรอกเอากากผลไม้ชิ้นโต ๆ ออกก่อน จากนั้นจึงกรองสารละลายซ้ำด้วยผ้าหรือตะแกรงที่มีรูขนาด 80 – 90 mesh และยังมีรายงานว่าการสกัดเพคตินถูกสกัดออกมาจากเซลล์พืชนั่นเอง การสกัดโดยมากจะใช้อุณหภูมิต่ำกว่า 100 องศาเซลเซียส สารละลายที่ได้นำมาเติมเอนไซม์ไดสเตติกเพื่อละลายพวกแป้งที่ปะปนมากับสารละลาย เพคตินปกติจะใช้เอนไซม์ 50 กรัมต่อสารละลายเพคติน 100 กิโลกรัม จากนั้นกรอกสารละลายผ่านผ้าหนา ๆ ขณะร้อน

(3) การทำสารละลายเพคตินให้เข้มข้นและการตกตะกอน

เมื่อได้สารละลายเพคตินแล้วนำมาฟอกสีและทำให้ใสก่อน เช่น การละลายเพคตินที่ได้จากแอปปิ้ลจะฟอกสีด้วยถ่านกัมมันต์ (activated carbon) 1% แล้วกรอง เมื่อสารละลายใสแล้วจึงนำมาเคี่ยวในหม้อสุญญากาศซึ่งอุณภูมิประมาณ 50 องศาเซลเซียส มีความดัน 26 – 28 นิ้วปรอท เคี่ยวจนเข้มข้นประมาณ 30 – 40 ^{O}Brix ซึ่งขายในรูปสารละลายเพคตินก็ได้แต่ต้องปรับให้ได้มาตรฐานก่อน จากนั้นทำการพาสเจอร์ไรซ์แล้วบรรจุลงขวดหรือกระป๋องที่ผ่านการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์และทำความสะอาดแล้ว ซึ่งวิธีนี้นิยมทำกัน และนิยมใส่โซเดียมเบนโซเอนทหรือซัลเฟอร์ไดออกไซด์ เพื่อให้เก็บไว้ได้นานขึ้น เพคตินที่สกัดได้นอกจากจะทำขายในรูปสารละลายแล้วยังทำออกขายในรูปผง โดยนำสารละลายเข้มข้นของเพคตินมาเข้าเครื่องฉีดพ่นฝอย (Spray drier) หรือตกตะกอนด้วยตัวทำละลาย หรือเกลือโลหะบางตัว

กรณีที่ใช้ตัวทำละลาย เช่น เอทิลแอลกอฮอล์ อะซีโตน หรือไอโซโพรพานอลนั้น พบว่าถ้าใช้อะซีโตนมักใช้ความเข้มข้นไม่เกิน 50% มิฉะนั้นเพคตินที่ได้ออกมาจะมีสารพวก non-uronide ปะปนมากับเพคติน เพคตินที่ได้จากการตกตะกอนด้วยอะซีโตนจะมีลักษะเป็น fibrous ล้างและทำความสะอาดได้

ง่าย ส่วนวิธีที่นิยมใช้กันมาก คือ ใช้เอทิลแอลกอฮอล์ซึ่งได้มีการทดลองตกตะกอนด้วยเอทิลแอลกอฮอล์ พบว่าจะมีเถ้าปนออกมาแต่เมื่อนำมาตกตะกอนด้วยเอทิลแอลกอฮอล์ที่มีกรดเกลืออยู่ด้วยจะช่วยลดปริมาณเถ้าได้ ผลจากการตรวจสอบเถ้า พบว่าแร่ธาตุที่ปนมาส่วนใหญ่ ได้แก่ แคลเซียม โพแทสเซียม แมกนีเซียม อลูมิเนียม เหล็ก โซเดียม และฟอสฟอรัส นอกจากนี้ยังมีการทดลองทำ dialysis เพคติน โดยใช้สารละลายกรดเกลือ 0.05 นอร์มอล และไดอะไลซีสซ้ำด้วยน้ำกลั่น พบว่าสามารถลดปริมาณเถ้าลงจาก 3 – 5 เหลือ 0.1% เท่านั้น ปัจจุบันพบว่าเพคตินที่ผ่านการตกตะกอนด้วยเอทิลแอลกอฮอล์ซ้ำหลาย ๆ ครั้ง จะมีเปอร์เซ็นต์ของ uronide มากขึ้น เช่น เมื่อทำการตกตะกอนด้วยเอทิลแอลกอฮอล์ 70% เป็นครั้งที่ 4 และเมื่อทดลองล้างตะกอนเพคตินด้วยเอทิลแอลกอฮอล์ความเข้มข้นระดับต่าง ๆ กัน ผลปรากฏว่าถ้าล้างด้วยเอทิลแอลกอฮอล์ชนิด 53% จะมีกรดกาแลคทูโรนิกเป็น 92.5% สำหรับการตกตะกอนเพคตินด้วยเกลือโลหะเหล่านี้จะได้กรดเพคตินกับ low methoxyl pectinic acid สำหรับเพคตินทีมี esterification เกินกว่า 48% มักจะไม่ตกตะกอนด้วยแคลเซียม ส่วนอลูมิเนียมไฮดรอกไซด์สามารถตกตะกอนเพคตินที่มี esterification 70 – 80% ได้แต่ถ้า pH 4.2 เพคตินที่มี esterification เกินกว่า 70% แล้วจะไม่ตกตะกอนโดยเกลืออะลูมิเนียม นอกจากนี้ยังพบว่าอลูมิเนียมคลอไรด์ อลูมิเนียมซัลเฟต และสารส้มมีประสิทธิภาพช่วยในการเกิดอลูมิเนียมเปคเตทเรียงจากมากไปน้อย กรณีที่ได้เกลือแคลเซียมหรืออลูมิเนียมติดมากับเพคตินสามารถล้างเอาเกลือโลหะออกได้ โดยใช้เอทิลแอลกอฮอล์ที่ผสมกรดเกลือล้าง แต่การขจัดโลหะพวกทองแดงและเหล็กทำได้ยากกว่า เปรียบเทียบกรรมวิธีการทำเพคตินให้บริสุทธิ์โดยการตกตะกอนเพคตินด้วยเอทิลแอลกอฮอล์ การไดอะไลซิสด้วยน้ำกลั่น การใช้ zeolite ซึ่งเป็น ion exchange พบว่าวิธีไดอะไลซิสสามารถขจัดสารอนินทรีย์ออกไปได้มากกว่าการตกตะกอนเพคตินด้วยเอทิลแอลกอฮอล์แต่สารอินทรีย์จะถูกขจัดโดยวิธีตกตะกอนด้วยเอทิลแอลกอฮอล์ได้มากกว่าใช้วิธีไดอะไลซิส แต่ถ้าใช้วิธีไดอะไลซีส และตกตะกอนเพคตินด้วยเอทิลแอลกอฮอล์จะสามารถลดปริมาณเถ้าลงได้มาก และพบว่าจะดียิ่งขึ้นเมื่อใช้ ion exchange เข้าร่วมด้วย

(4) การทำเพคตินผง

หลังจากได้ตะกอนเพคตินที่ผ่านการล้างมาแล้วจะนำมาอัดเป็นแผ่นบาง เพื่อขจัดสารละลายที่ติดออกมา จากนั้นนำไปอบในตู้อบภายใต้สุญญากาศซึ่งมีอุณหภูมิประมาณ 40 องศาเซลเซียส หรือจะอบในตู้ธรรมดาหรือจะใช้วิธีตากแดดให้แห้งก็ได้ เมื่อแห้งแล้วจึงนำมาบดเป็นผงและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 100 – 120 mesh เพคตินที่ผ่านการบดเป็นผงและร่อนจนได้ขนาดเดียวกันแล้ว จะมีการปรับให้ได้มาตรฐานก่อนออกจำหน่าย วิธีของ C.P.P.F Method จะแบ่งเกรดของเพคตินได้ตั้งแต่ 10 ถึง 220 เกรด (จิตโสภิญ กะสงค์, 2543)

2.4 สารละลายกรด (Acid Solution)

กรด (Acid) เป็นสารประกอบชนิดในทางเคมี โดยทั่วไปแล้ว หมายถึง สารชนิดใดก็ได้ที่สามารถละลายน้ำได้ และเกิดสารละลายที่มีค่า pH น้อยกว่า 7 ตัวอย่างของกรดที่พบบ่อย ได้แก่ กรดมะนาว กรด

น้ำส้มสายชู กรดกำมะถัน กรดแบ่งเป็น 2 ประเภท คือ กรดอนินทรีย์ (Inorganic acids) และกรดอินทรีย์ (Organic acids) สำหรับการทดลอบกรดสามารถทำได้โดยใช้กระดาษลิตมัส ถ้าเป็นแดงแสดงว่าเป็นกรด ในทางกลับกันเบส จะมีค่า pH มากกว่า 7 (กุลยา,มปป.)

กรดมาจากภาษาละตินว่า แอซิตัส (Acidus) แปลว่า เปรี้ยว นักวิทยาศาสตร์หลายคนได้ให้คำจำกัดความของกรดและเบสแตกต่างกันไป

(1) อาร์เรเนียส (Arrhenius Svante August) ได้ศึกษาสมบัติของกรดและเบส ให้นิยามกรดและเบสดังนี้

กรด คือ สารที่ละลายน้ำแล้วแตกตัวให้ไฮโดรเจนไอออน (H^+)

เบส คือ สารที่ละลายน้ำแล้วแตกตัวให้ไฮดรอกไซด์ไอออน (OH^-)

(2) บรอนสเตด เลารี (Bransted Lowry) ได้ศึกษาสมบัติของกรดและเบส และให้นิยามกรดและเบสดังนี้

กรด คือ สารที่ให้โปรตอน (H^+)

เบส คือ สารที่รับโปรตอน (OH^-)

2.4.1 สมบัติทั่วไปของกรด ได้แก่

(1) กรดมีรสเปรี้ยวและมีฤทธิ์ในการกัดกร่อน

(2) กรดเปลี่ยนสีกระดาษลิตมัสจากสีน้ำเงินเป็นแดง

(3) สารละลายกรดนำไฟฟ้าได้และมี pH < 7

(4) กรดทำปฏิกิริยากับโลหะให้ก๊าซไฮโดรเจน (ยกเว้นโลหะ Cu, Hg, Ag และ Au)

2.4.2 ประโยชน์ของกรด

กรดเป็นสารละลายที่มีประโยชน์ต่อสิ่งมีชีวิต สามารถแบ่งได้ 2 ประเภท ได้แก่ กรดอินทรีย์ (Organic acid) และกรดอนินทรีย์(Mineral acid)

กรดอินทรีย์ (Organic acid) คือ กรดที่ได้จากสิ่งมีชีวิตมักจะเป็นกรดอ่อน เช่น พืช และจุลินทรีย์ หรือจากการสังเคราะห์ สามารถรับประทานได้ ไม่เป็นอันตรายต่อร่างกาย เมื่อนำไปทดสอบกับเจนเซียนไวโอเลตจะไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง ได้แก่

(1) กรดแอซิติก (Acetic acid , CH_3COOH) หรือกรดน้ำส้มได้จากการหมักแป้งหรือน้ำตาลโดยใช้จุลินทรีย์ พบในการผลิตน้ำส้มสายชู

(2) กรดซิตริก (Citric acid) หรือกรดมะนาวเป็นกรดที่อยู่ในน้ำผลไม้ที่มีรสเปรี้ยว เช่น ส้ม มะนาว

(3) กรดอะมิโน (Amino acid) เป็นกรดที่ใช้สร้างสารประเภทโปรตีน พบมีอยู่ในเนื้อสัตว์ ผลไม้เปลือกแข็ง หรือในพืชตระกูลถั่ว

(4) กรดแอสคอร์บิก (Ascorbic acid) หรือวิตามินซีที่มีในผลไม้ที่มีรสเปรี้ยว ป้องกันโรคเลือดออกตามไรฟัน

กรดอนินทรีย์หรือกรดแร่ (Mineral acid) คือ กรดที่เกิดจากการสังเคราะห์จากแร่ธาตุ มีทั้งกรดแก่และกรดอ่อน ไม่สามารถรับประทานได้ มีฤทธิ์กัดกร่อนรุนแรง เปลี่ยนสีเจนเชียนไวโอเลตจากสีม่วงเป็นสีเขียว ได้แก่

(1) กรดเกลือหรือกรดไฮโดรคลอริก (Hydrochloric acid , HCl) เป็นกรดแก่ แต่พบในน้ำย่อยในกระเพาะอาหารด้วย

(2) กรดไนตริก (Nitric acid , HNO_3) เป็นสารเคมีที่ใช้ในห้องปฏิบัติการเมื่อถูกผิวหนังจะเป็นสีเหลือง ใช้ในการตรวจหาโปรตีนอัลบูมิน

(3) กรดบอริค (Boric acid , H_3BO_3) เป็นยาฆ่าเชื้อราและยาล้างตา

(4) กรดกำมะถันหรือกรดซัลฟิวริก (Sulphuric acid , H_2SO_4) ไม่มีสีและกลิ่น เป็นกรดแก่สามารถเกิดการกัดกร่อนได้ ใช้สำหรับกำจัดออกไซด์ของโลหะ เช่น สนิมเหล็ก และทำปฏิกิริยารุนแรงกับสารอินทรีย์เหลือเพียงถ่านเท่านั้น

ตัวอย่างสารที่เป็นกรด ได้แก่ น้ำมะนาว น้ำส้มสายชู น้ำอัดลม น้ำส้ม น้ำมะเขือเทศ น้ำกาแฟ น้ำฝน นมสด ปัสสาวะ น้ำย่อยในกระเพาะอาหาร กรดดินประสิว (HNO_3) กรดไฮโดรซัลฟิวริกหรือแก๊สไข่เน่า (H_2S) วิตามินซี ยาแอสไพริน น้ำยาล้างห้องน้ำ ครีมนวดผม ไวน์ เบียร์ เป็นต้น

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สุระ สุพแม. (2533). ศึกษาการสกัดเพคตินจากใบโคกเพื่อทำการเปรียบเทียบวิธีการสกัดกับชนิดของใบที่มีผลต่อปริมาณเพคตินที่ได้ และศึกษาคุณสมบัติของเพคติน พบว่า ปัจจัยที่ใช้ในการสกัดเพคตินที่เหมาะสมที่สุดอัตราส่วนใบบัวโคกต่อน้ำ 1 : 100 (กรัม : มิลลิลิตร) ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส และใช้ระยะเวลาในการสกัด 1.30 ชั่วโมง ที่ระดับ pH 1 และใช้สาร SHMP 1 % โดยสกัดจากใบโคกสดได้ปริมาณเพคตินที่มากกว่าใบแห้ง ส่วนวิธีการสกัดเพคตินที่ดีที่สุด คือ การสกัดเพคตินทั้งหมด 3 ครั้งจ ได้ปริมาณเพคตินมากกว่าวิธีการอื่น ๆ จากนั้นนำเพคตินที่สกัดได้ไปทำการศึกษาคุณสมบัติดังนี้ ความชื้น 7.886 % ปริมาณเถ้า 14.7225 % น้ำหนักสมมูล 1,000 ปริมาณเมทธอกซี 9.765 % และเมื่อนำเพคตินที่สกัดได้มาทำการแปรรูปเป็นแยมและเยลลี่จะแข็งตัวได้เร็วที่สุดที่อุณหภูมิประมาณ7.88 องศาเซลเซียส และpH 3 – 3.4

วาสนา อ่อนหวาน. (2534). ศึกษาจลนศาสตร์ในการสกัดเพคตินจากเปลือกเสาวรส พบว่าปัจจัยที่มีต่อการสกัดเพคติน ได้แก่ ความเข้มข้นของกรด อุณหภูมิในการสกัด อัตราส่วนของน้ำต่อเปลือกเสาวรส ขนาดอนุภาคและความเร็วรอบของใบกวนเพื่อนำมาศึกษาสภาวะที่เหมาะสมและจลนพลศาสตร์ของการสกัดเพคติน ซึ่งอัตราส่วนของน้ำต่อเปลือกเสาวรส 1 : 10 โดยน้ำหนักแห้ง ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส และความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริก 1.5 % สามารถแยกสกัดสารเพคตินได้ถึงร้อยละ 81 โดยน้ำหนักของเปลือกเสาวรส และกระบวนการสกัดเพคตินจากเปลือกเสาวรสในระบบของเหลว – ของแข็งสามารถใช้

แบบจำลองของการสกัดเพคตินในการอธิบายจลนศาสตร์ของการสกัดได้ว่า ไฮโดรเจนไอออน (H^+) จากสารละลายจะซึมผ่านเข้าไปในเปลือกผลไม้ แล้วจากนั้นก็ทำการไฮโดรไลท์โปรโตเพคตินและจะแพร่จากชั้นเนื้อผลไม้มายังผิวผ่านชั้นของเจลที่ถูกสร้างขึ้นในระหว่างกระบวนการสกัดมายังสารละลาย นอกจากการทดลองดังกล่าวแล้ว ปัจจัยที่มีผลทำให้ค่าอัตราการสกัดลดลงนั้นคือชั้นของเจล ดังนั้น การสกัดเพคตินจะถูกควบคุมด้วยการแพร่ภายนอกระบบของแข็ง เพื่อให้มีประสิทธิภาพในการสกัดสูงขึ้น และยังมีการปรับปรุงอุปกรณ์ในการสกัดเพื่อทำลายชั้นเจลในลักษณะพิเศษในการเพิ่มแรงเฉือนที่ความเร็วรอบต่ำ ๆ ได้

U. Kalapathy และ A. Proctor. (2001). เพคตินจากเปลือกถั่วเหลืองสามารถสกัดด้วยกรดไฮโดรคลอริก และตกตะกอนด้วยแอลกอฮอล์ ปัจจัยที่ใช้ในการสกัดที่มีผลต่อปริมาณและความบริสุทธิ์ของเพคตินขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของกรดและค่าความเป็นกรด – ด่างของสารละลายที่ใช้ในการตกตะกอน กรดแก่สามารถนำมาใช้สกัดเพคตินจากเปลือกถั่วเหลืองได้และค่าความเป็นกรด – ด่างของสารที่ใช้ในการตกตะกอนมีผลต่อปริมาณเพคตินอย่างมีนัยสำคัญ ปริมาณเพคตินที่สกัดได้สูงสุดมีค่าเท่ากับ 26 และ 28% เมื่อสกัดด้วยกรดที่มีความเข้มข้น 0.05 และ 0.1 N ตามลำดับ และค่าความเป็นกรด – ด่างของสารละลายที่ใช้ในการตกตะกอนมีค่าเท่ากับ 3.5 การสกัดเพคตินที่ใช้กรดที่มีความเข้มข้น 0.2 และ 0.3 N หรือตกตะกอนเพคตินที่ pH 2.0 จะทำให้ปริมาณเพคตินที่สกัดได้ลดลง กรดที่มีความเข้มข้นสูงหรือ pH ของสารละลายที่ตกตะกอนมีผลต่อความบริสุทธิ์หรือระดับเอสเทอริฟิเคชั่น (degree of esterification , DE) ของเพคตินที่สกัดได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ปริมาณกรดกาแลคทูโรนิกและระดับเอสเทอริฟิเคชั่นของเพคตินมีค่าตั้งแต่ 68 – 72 % และ 56 – 60 % ตามลำดับ

ขนิษฐา เลิกชัยภูมิ. (2545). ศึกษาการสกัดเพคตินจากส้มมะงั่วและการใช้ประโยชน์ในระบบอาหาร สารประกอบเพคตินเป็นสารธรรมชาติที่สกัดจากพืชสามารถนำมาใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมอาหาร เช่น ใช้เป็นสารที่ก่อให้เกิดเจล สารให้ความข้นหนืด เคลือบผักผลไม้ และนำไปใช้ในทางการแพทย์และเภสัชกรรม สารเพคตินจะได้มาจากการสกัดจากพืชซึ่งส่วนใหญ่ประเทศไทยจะนำเข้าจากต่างประเทศ ดังนั้นเพื่อเป็นการทดแทนการนำเข้าจึงต้องศึกษาชนิดพืชที่จะนำมาสกัดเพคตินที่มีศักยภาพ ในครั้งนี้จึงเลือกนำผลส้มมะงั่วมาทำการสกัดเพคติน เนื่องจากส้มมะงั่วเป็นพืชที่หาได้ง่ายในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ปริมาณผลผลิตมีมาก ส่วนของเปลือกด้านในหนาซึ่งเป็นบริเวณที่เพคตินสะสมอยู่มาก และผลผลิตมีราคาถูก ดังนั้นการนำส้มมะงั่วมาสกัดเพคตินจะเป็นการนำผลผลิตทางการเกษตรมาใช้ให้เกิดประโยชน์และคุ้มค่ามากขึ้น เพคตินที่มีอยู่ในเนื้อเยื่อพืชสามารถสกัดได้โดยกระบวนการไฮโดรไลซีสด้วยกรด โดยกรดจะสกัดเพคตินด้วยไฮโดรไลซ์เพคตินในรูปที่ไม่ละลายให้เป็นเพคตินในรูปที่ละลายได้ ดังนั้นชนิดและความเข้มข้นของกรดจึงเป็นปัจจัยหนึ่งในการสกัดเพคตินจากเนื้อเยื่อพืช การศึกษาในครั้งนี้จึงมุ่งเน้นศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการสกัดเพคตินจากต้นมะงั่วและนำเทคนิคการวางแผนทดลองมาหาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดเพคตินจากส้มมะงั่วเพื่อนำไปใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมอาหาร ขั้นตอนการศึกษาประกอบด้วย การคัดเลือกปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณและคุณภาพของเพคติน การศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมของปัจจัยต่อปริมาณและคุณภาพของเพคติน และการกำหนดแนวทางการใช้ประโยชน์จากเพคตินที่สกัดได้ การคัดเลือกปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณ

และคุณภาพของเพคตินที่สกัดได้ พบว่าปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อปริมาณและคุณภาพของเพคติน คือ pH อุณหภูมิ และเวลาในการสกัด ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่เกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาไฮโดรไลต์และการแพร่ของสาร

ณรงค์ ศิขิรัมย์ และเมธินี เห่วซึ่งเจริญ. (2546). ศึกษาการสกัดและสมบัติของเพคตินจากกากฝรั่งพันธุ์กลมสาลี พบว่าปริมาณเพคตินจะเพิ่มขึ้นตามอายุการเจริญเติบโตของฝรั่ง และจะมีปริมาณเพคตินมาก ที่สุดเมื่อฝรั่งแก่เต็มที่ คือ 150 วัน ซึ่งทำการศึกษาปริมาณเพคตินทั้ง 3 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ละลายได้ในน้ำ กลุ่มที่ละลายได้ในออกซาเลต และกลุ่มที่ละลายได้ในด่างนั้นก่อนทำการศึกษาการสกัดเพคตินจะต้องยับยั้งการทำงานของเอนไซม์เพคติเนสโดยวิธีการลวก และเพื่อเป็นการล้างสิ่งปนเปื้อนออกจากวัตถุดิบอีกทางหนึ่ง ส่วนอุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมที่นำมาศึกษา ได้แก่ อุณหภูมิที่ 80 องศาเซลเซียส นาน 10 นาที ซึ่งกระบวนการสกัดเพคตินที่เหมาะสมและได้ปริมาณเพคตินมากที่สุด คือ การใช้กรดไฮโดรคลอริกที่ระดับความเข้มข้น 0.05 นอร์มอล ในอัตราส่วนระหว่างปริมาณกรด : กากฝรั่ง คือ 5 : 1 ที่อุณหภูมิ 98 องศาเซลเซียส และทำการสกัด 2 ครั้ง ใช้เวลาในการสกัดเพียง 1 ชั่วโมง ปริมาณแอลกอฮอล์ที่ใช้ในการตกตะกอน คือ แอลกอฮอล์ : เพคติน เท่ากับ 1.5 : 1 (โดยปริมาตร) และเมื่อทำการศึกษาผลกระทบของอายุการเก็บรักษากากฝรั่งด้วยกระบวนการอบแห้ง จะพบว่าปริมาณเพคตินที่สกัดได้ทั้ง 6 เดือน ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$)

ลำดวน เหลือจาด และวัลภา สระทองอ้อย. (2547). ศึกษาการสกัดเพคตินจากมะตูมโดยวิธีไฮโดรไลซีสด้วยกรดไฮโดรคลอริก และตกตะกอนด้วยเอทานอล 95% พบลว่าได้ปริมาณเพคติน 3.01% โดยน้ำหนักสด เมื่อนำมาวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี พบว่าเพคตินที่สกัดได้มีความชื้น 10.94% เถ้า 8.50% เมทธอกซี 8.21% น้ำหนักสมมูล 5500 DE 65% และมิลลิกรัมของกรดกาแลคทูโรนิก 604.25 โดยเพคตินที่สกัดได้จัดเป็นเพคติน Hight methoxy pectin เป็นชนิด rapid set เมื่อนำเพคตินที่ได้มาทดลองผลิตแยมผิวมะนาว พบว่าแยมมีคุณภาพดี

ชวนิฎฐ์ สิทธิดิลกรัตน์. (2548). ศึกษาวิธีการสกัดเพคตินจากเปลือกและกากผลส้มเหลือทิ้ง โดยพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตเพคตินด้วยการหาสภาวะต่าง ๆ ที่เหมาะสมในการสกัด ได้แก่ อุณหภูมิ พีเอช ชนิดของกรด ปริมาณโซเดียมเฮกซะเมตาฟอสเฟต (SHMP) เวลาที่ใช้ในการสกัด และได้ทดลองปรับปรุงสีของเพคตินอีกด้วย พบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดเพคติน ได้แก่ อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส พีเอช 3.0 โดยใช้กรดไฮโดรคลอริค (HCl) และปริมาณโซเดียมเฮกซะเมตาฟอสเฟต (SHMP) 6% ของน้ำหนักเปลือกและกากผลส้ม เป็นเวลา 90 นาที จากนั้นตกตะกอนเพคตินด้วย 95% เอทานอล และล้างตะกอนเพคตินด้วย 95% เอทานอลสลับกับอะซีโตน 3 – 5 ครั้ง จะได้เพคตินที่ค่อนข้างบริสุทธิ์ และเมื่อตรวจสอบคุณสมบัติของเพคติน พบว่าเพคตินที่สกัดได้มีผลผลิต (yield) 18.48% ปริมาณความชื้น (moisture) 7.79%) ปริมาณเถ้า (ash) 5.42% ปริมาณกรดกาแลคทูโรนิค (galacturonic acid) 66.25% และปริมาณเมทอกซิล (methoxy) 4.12% ซึ่งใกล้เคียงกับเพคตินระดับ industrial grade และมีค่าต่าง ๆ ยกเว้นปริมาณเถ้า อยู่ในช่วงของมาตรฐานเพคตินตามที่ The Joint/WHO Expert Committee on Food Additive (JECFA) ได้กำหนด

ฉัตรชัย สังข์ผุด และคณะ. (2548). ศึกษาคุณสมบัติเฉพาะทางเคมีและกายภาพของเพคตินจากเนื้อเยื่อส่วนต่าง ๆ ของผลส้มโอที่สกัดด้วยกรดซิตริก 3 % ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เวลา 30 นาที เปรียบเทียบกับเพคตินทางการค้าเกรด 150 พบว่าคุณสมบัติด้านความบริสุทธิ์ในรูปกรดกาแลคทูโรนิค (47 – 57%) ความสามารถในการเกิดอิมัลชัน (88.89 – 90.61%) ความสามารถในการดูดซับน้ำมัน (118 – 127.87%) และเจลลี่เกรด (250 - 280) ของเพคตินที่สกัดจากเนื้อเยื่อส่วนต่าง ๆ ของผลส้มโอไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) โดยจะมีค่าสูงกว่าเพคตินจากส้มเกรด 150 ยกเว้นค่าความบริสุทธิ์แต่คุณสมบัติด้านความหนืด ความสามารถในการอุ้มน้ำ และปริมาณเมทธอกซิลมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p\leq0.05$) ขึ้นอยู่กับชนิดของเนื้อเยื่อจากผลส้มโอ ส้มโอทั้งเปลือกจะมีค่าความหนืดสูงสุดเท่ากับ 766 mPa.s (2%) และมีความสามารถในการอุ้มน้ำ (846%) สำหรับปริมาณเมทธอกซิล พบว่าเพคตินจากเนื้อเยื่อส่วนต่าง ๆ จากผลส้มโอมีค่าอยู่ช่วง 7.73 – 8.67 % ซึ่งจัดอยู่ในกลุ่มเมทธอกซิลปานกลาง

ธนิสรา ยศวิทย์ (2551). ศึกษากระบวนการสกัดเพคตินจากใบเครือหมาน้อยและการนำไปใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมอาหารเพื่อสุขภาพ พบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดเพคติน คือ สกัดเพคตินจากใบเครือหมาน้อยด้วยน้ำเปล่าที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส โดยใช้ปริมาณใบเครือหมาน้อยแห้ง 1 % และใบเครือหมาน้อยแช่แข็ง 0.25 % w/v โดยปริมาณเพคตินที่สกัดได้จากใบแห้งและใบแช่แข็งได้ 3.34 % และ 5.54 % โดยน้ำหนัก ตามลำดับ ค่า break viscosities ของเพคตินในใบแช่แข็ง 12,190 เซนติพอยส์ และในใบแห้ง 6,664.78 เซนติพอยส์ แล้วนำเอาเพคตินไปศึกษาคุณภาพขององเพคตินเจลต่อกรดอินทรีย์ 1 % โดยน้ำหนักต่อปริมาตร และนำไปประยุกต์ใช้ในมาร์มาเลด เจลลี่รสส้ม และนมเปรี้ยวพร้อมดื่มรสส้ม จากนั้นนำไปทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัสด้วย hedonic scale แบบ 9 จุด และวัดเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ (Texture analyzer, TA.XT plus®) ค่า break viscosities ของสารละลายเพคตินในกรดซิตริก กรดแลกติก กรดมาลิก และกรดทาร์ทาริก ได้แก่ 4,081.89 3,269 3,842.22 1และ 2,310.89 เซนติพอยส์ ตามลำดับ เพมื่อให้ความร้อนแก่เจลลี่รสส้มที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส pH 3.4 เป็นเวลา 2 ชั่วโมง พบว่าความแข็งแรงของเจลลดลง ส่วนการทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัสจากค่า hedonic scale แบบ 9 จุด มีค่าในระดับมากกว่า 6 ค่าการวัดเนื้อสัมผัสของมาร์มาเลด (16.6 g) และเจลลี่ (8.56 g) มีค่าต่ำกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเทียบกับมาร์มาเลดทางการค้า (48.48 – 64.08 g) และเจลลี่ทางการค้า (63.93 – 215.94 g) และพบว่าเพคตินที่สกัดได้ไม่สามารถป้องกันการแยกชั้นที่เกิดขึ้นในโยเกิร์ตพร้อมดื่มในการศึกษาครั้งนี้ได้

ปาริษา ทองสุข และคณะ. (2551). ศึกษากรรมวิธีการสกัดและการเพิ่มประสิทธิภาพการสกัดเพคตินจากเปลือกส้มโอระหว่างการใช้ 60% เอทานอล และ 1 M แคลเซียมคลอไรด์ และการเพิ่มประสิทธิภาพการสกัดระหว่างตู้อบลมร้อนและเตาไมโครเวฟ พบว่าอัตราการระเหยน้ำของเปลือกส้มโอ และผงเพคตินด้วยตู้อบ ลมร้อน เพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิและเวลาที่ ใช้ และการระเหย น้ำด้วย เตาไมโครเวฟเพิ่มขึ้นตาม กำลังของเครื่องและเวลา แต่ไมโครเวฟสามารถลดเวลาการสกัดทั้ง 2 วิธีได้ มากกว่าตู้อบลมร้อนอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) ซึ่งการ ระเหยน้ำของเปลือกส้มโอและผงเพคตินด้วย เตาอบไมโครเวฟที่ กำลัง 100 วัตต์ เวลา 20

นาที และกำลัง 30 วัตต์ เวลา 25 นาที ตามลำดับ เป็นสภาวะที่ดีที่สุด เวลาทั้งหมดในการสกัดด้วยเอทานอลและแคลเซียมคลอไรด์เป็น 5 และ 18 ชั่วโมง ตามลำดับ เพคตินที่สกัดจากทั้ง 2 วิธี มีความชื้นและค่าเยลลี่เกรดไม่แตกต่างกับเพคตินทางการค้า (p>0.05) แต่มีสีเข้มมากกว่า และละลายได้น้อยกว่า (p<0.05) แต่เกรดเพคตินที่สกัดด้วยเอทานอลมีค่าา Equivalent weight และ Methoxy Content ไม่แตกต่างกับเพคตินทางการค้า (p<0.05) จึงมีคุณภาพดีกว่าเพคตินจากแคลเซียมคลอไรด์ การสกัดเพคตินจาก เปลือกส้มโอด้วย 60% เอทานอล ร่วม กับไมโครเวฟ เป็นสภาวะที่ มีประสิทธิภาพมากที่สุด แต่ควรศึกษาการปรับปรุงสี การละลาย และคุณภาพการเกิดเจลของเพคตินในงานวิจัยต่อไป

กนกพร สังขรักษ์ และเจนจิราโตะแบ. (2552). ศึกษาเพคตินจากเศษผักกาดขาวและการประยุกต์ใช้ มีวัตถุประสงค์เพื่อประยุกต์ใช้วัสดุเศษเหลือทางการเกษตรมาผลิตเป็นชีวมวลที่มีราคาสูง โดย ทำการศึกษาถึงสภาวะที่เหมาะสมของการสกัดเพคตินจากเศษผักกาดขาวที่เหลือทิ้ง รวมทั้งการนำเพคตินที่สกัดได้ไปประยุกต์ใช้ในรูปแบบของฟิล์มที่ย่อยสลายได้ การศึกษาสภาวะที่เหมา ะสมต่อ การสกัดเพคตินจากเศษผักกาดขาว โดยศึกษาผลของความชื้น อุณหภูมิ พีเอช ชนิดและความเข้มข้นของกรดที่ใช้ในการสกัด ปริมาณโซเดียมเฮกซะเมตาฟอสเฟต และ เวลาต่อ ปริมาณเพคตินที่สกัดได้ พบว่า สภาวะที่เหมาะสมในการสกัดเพคตินและให้ปริมาณเพคตินสูงสุด คือ การใช้เศษผักกาดขาวสดสกัดกับกรดอะซิติกความเข้มข้น 1 โมลาร์ (พีเอช 3.0) อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ร่วมกับโซเดียมเฮกซะเมตาฟอสเฟต 8% (น้ำหนักต่อปริมาตร) เป็นเวลา 90 นาที จากสภาวะที่เหมาะสมนี้ได้ผลผลิตเพคติน 3.46±0.002 กรัม% เมื่อตรวจสอบคุณสมบัติของเพคตินที่ได้ พบว่าอยู่ในช่วง มาตรฐานเพคตินตามที่ The Joint/WHO Expert Committee on Food Additive (JECFA) ได้กำหนด เมื่อนำเพคตินที่ไดไปใช้เตรียมผ่นฟิล์มโดยนำไป ผสมกับแป้ง และกลีเซอรอล พบว่าฟิล์มที่ได้มีความสามารถในการทนแรงดึง (9 นิวตัน) และสามารถต้านการซึมผ่านของไอน้ำได้ดี เมื่อฟิล์มละลายอยู่ในน้ำฟิล์มก็สามารถละลายน้ำได้ รวมทั้งมีความหนาเพียง 0.06 มิลลิเมตร ซึ่งมีแนวโน้มที่จะสามารถนำฟิล์มดังกล่าวไปประยุกต์ใช้ทางการแพทย์ และอุตสาหกรรมได้ต่อไปในอนาคต

สมฤทัย จิตภักดีบดินทร์ และอมราวดี จางวาง. (2552). ศึกษาอิทธิพลของตัวแปรต่าง ๆ ที่มีผลต่อพฤติกรรมการสกัดเพคตินจากเปลือกด้านในของมะนาวซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้ง ด้วยเครื่องมือการสกัดที่ออกแบบขึ้นเอง ได้แก่ กรดที่ใช้ปรับ pH (กรดเกลือ , กรดซัลฟูริก หรือกรดฟอสฟอริส) pH (2 หรือ 3) และเวลาในการสกัด (30 หรือ 60 นาที) พบว่าสภาวะที่เหมาะสมต่อการสกัดเพคตินจากเปลือกมะนาว คือ ใช้กรดเกลือเข้มข้นร้อยละ 10 โดยน้ำหนักปรับให้สารละลายที่จะสกัดมี pH 2 และใช้เวลาในการสกัด 60 นาที จะได้สารสกัดเพคตินจากเปลือกด้านในของมะนาวคิดเป็นน้ำหนักแห้งร้อยละ 2.34 ± 0.05 ลักษณะภายนอกเป็นผงละเอียด ร่วน ดูดความชื้นได้ง่าย จะแตกต่างกันเพียงสีของผงละเอียด เมื่อละลายน้ำแล้วจะได้สารละลายใสสีเหลืองจนถึงสีน้ำตาลเข้ม มี pH อยู่ระหว่าง 3 – 4 และเมื่อเติมกรดหรือด่างจะเกิด gel หรือตะกอนวุ้นสีขาว สารสกัดเพคตินจากเปลือกในมะนาวทุกการสกัดจะเกิดเป็นตะกอนวุ้นในการทดสอบ Ferric Chlorise Test การทดสอบโพลีแซคคาไรด์ การทดสอบสารเพคติน และได้สารละลายสีน้ำตาลใสในการทดสอบ Seliwanoff’s test และ Iodine test ได้สารละลายลายสีน้ำเงินในการทดสอบ Fehling’s test

โดยมีค่า methoxy content ต่ำ คือ ร้อยละ 24.42 ± 4.08 และค่า Loss on drying ร้อยละ 5.62 ± 1.06 ของน้ำหนักสาร

พันธุ์เลิศ พรหมสาขา ณ สกลนคร อนุวัตร แจ้งขัด และกมลวรรณ แจ้งขัด. (2554). ทำการศึกษาและพัฒนากระบวนการและหาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดเพคตินจากใบเครือหมาน้อย ที่นำมาใช้ในการเปรียบเทียบ 3 ชนิด ได้แก่ ใบสด ใบที่อบแห้งโดยการตากแดดและใบที่อบแห้งโดยใช้ตู้อบลมร้อน และได้ทำการศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัด โดยปัจจัยที่ทำการศึกษามี 3 ปัจจัย ได้แก่ อุณหภูมิ (30 – 90 ^{0}C) เวลา (30 – 90 นาที) และ pH (2 - 8) จากการทดลองพบว่าการตากแดด และการใช้ตู้อบลมร้อนให้ผลผลิตเพคตินที่สกัดได้สูงไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ดังนั้นจึงเลือกกระบวนการอบแห้งโดยใช้ตู้อบลมร้อน เนื่องจากใช้เวลาสั้นในการเตรียมวัตถุดิบ ส่วนการหาสภาวะที่เหมาะสม พิจารณาจากปริมาณและคุณภาพของเพคตินที่สกัดได้ สภาวะที่ได้ คือ อุณหภูมิอยู่ในช่วง 68 – 75 องศาเซลเซียส และ pH อยู่ในช่วง 2.0 – 2.8 ที่เวลา 42 นาที ได้ผลผลิตเพคติน ปริมาณกรดกาแลกทูโรนิก (GalA) ปริมาณเมทอกซิล (MeO) และระดับการเกิดเอสเทอริฟิเคชั่น (DE) ร้อยละ 35.32 – 42.21 , 67.04 – 76.83 , 2.62 – 3.28 , 28.00 – 29.97 ตามลำดับ

สุธิดา ทองคำ และพูนศิริ ทิพย์เนตร. (2555). ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดเพคตินจากจาวตาลและสมบัติของเพคตินที่สกัดได้ จากการศึกษาพบว่าสามารถสกัดเพคตินได้มากที่สุดร้อยละ 14.25 โดยน้ำหนัก ที่ค่าพีเอช 2 อัตราส่วนระหว่างจาวตาลและน้ำ 1 : 3 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร เวลาที่ใช้ในการสกัด 40 นาที และที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส เมื่อนำเพคตินที่สกัดไปวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและทางเคมี พบว่ามีความชื้นและเถ้าร้อยละ 12.13 และ 1.31 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ น้ำหนักสมมูล 845.11 ปริมาณหมู่เมทอกซิลร้อยละ 1.74 ปริมาณกรดพอลิกาแลคทูโรนิคร้อยละ 10.87 และระดับการเกิดเอสเทอริฟิเคชั่นร้อยละ 27.90

ธานุวัฒน์ ลาภตันศุภผล และคณะ. (2556). ศึกษาเปรียบเทียบการสกัดเพคตินจากเปลือกผัก และผลไม้ 8 ชนิด โดยการใช้กรดไฮดรอคลอริกและน้ำกลั่นจากผลการวิจัยพบว่าเพคตินจากเปลือกมะนาวที่สกัดด้วยกรดไฮโดรคลอริกมีปริมาณเพคตินสูงที่สุด คือ 16.36 ± 1.43% และเพคตินจากเปลือกกล้วยที่สกัดด้วยกรดไฮโดรคลอริก มีปริมาณเพคตินต่ำที่สุด คือ 3.27 ± 0.19% จากการเปรียบเทียบปริมาณเมทอกซิล พบว่าเพคตินจากมะม่วงที่สกัดด้วยกรดไฮโดรคลอริกมีปริมาณเมทอกซิลสูงที่สุด คือ 14.43 ± 0.92% เพคตินจากเปลือกมะนาวที่สกัดด้วยกรดไฮโดรคลอริกมีปริมาณเมทอกซิลต่ำที่สุด คือ 11.38 ± 0.47% และมีปริมาณเมทอกซิลใกล้เคียงกับเพคตินทางการค้ามากที่สุด จากการเปรียบเทียบค่าความชื้น พบว่าเพคตินจากเปลือกกล้วยที่สกัดด้วยกรดไฮโดรคลอริกมีค่าความชื้นสูงที่สุด คือ 12.40 ± 0.40% เพคตินจากเปลือกมะกรูดที่สกัดด้วยน้ำกลั่นมีค่าความชื้นต่ำที่สุด คือ 2.93 ± 0.31% และมีค่าความชื้นใกล้เคียงกับเพคตินทางการค้ามากที่สุดส่วนสีมีความใกล้เคียงกับเพคตินทางการค้ามากที่สุดได้จากเพคตินที่สกัดจากเปลือกส้มโอด้วยน้ำกลั่น

พรประภา ชุนถนอม และคณะ. (2556). ศึกษาผลของวิธีการสกัดต่อคุณภาพของเพคตินจากใบหมาน้อยสำหรับผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพ คุณภาพของเพคตินจากใบหมาน้อยสด ใบหมาน้อยอบแห้ง และใบหมาน้อยแช่แข็งที่สกัดแบบหยาบและแบบตกตะกอนในแอลกอฮอล์หรือ dialyzed พบว่าเพคตินจากใบหมาน้อยอบแห้งที่ได้จากการสกัดแบบ dialyzed เหมาะสมมากที่สุด โดยมีค่าความสว่าง ความใส ความหนืด ปริมาณแคลเซียมและโซเดียมมากที่สุด แต่มีความเข้มของสีเหลืองน้อยที่สุด อย่างไรก็ตามพบเหล็กน้อยที่สุด และศึกษาคุณสมบัติทางวิสโคอิลาสติกทั้งค่าพลังงานสะสม (G') และพลังงานสูญเสีย (G'') พบว่าเพคตินจากใบหมาน้อยมีคุณสมบัติเป็นของเหลวที่มีความหนืดมากกว่าเป็นของแข็งที่มีความยืดหยุ่นหรือมีคุณสมบัติเป็นเจลที่เหมาะสมต่อการผลิตเครื่องดื่มเพื่อสุขภาพ

Xin Wang et al. (2014). ศึกษาการสกัดเพคตินจากกากแอปเปิ้ลและเปลือกส้มโดยใช้น้ำกึ่งวิกฤตผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการสกัดที่มีต่อคุณภาพของเพคติน พบว่าเพคตินจากเปลือกส้ม (CPP) จะให้ปริมาณเพคตินสูงที่สุด 21.95% และกากแอปเปิ้ล (APP) จะมีปริมาณเพคติน 16.68% และพบว่าเมื่อนำ CPP และ APP มาวิเคราะห์ FTIR ดังนั้นการวิเคราะห์ DSC คุณสมบัติของเพคตินที่ได้รับผลอิทธิพลจากอุณหภูมิที่ใช้ในการสกัด และคุณสมบัติการคายความร้อนของเพคตินที่มีอิทธิพลมาจากส่วนประกอบของวัตถุดิบเพียงอย่างเดียว สารละลายเพคตินมีแรงเฉือนที่มีแนวโน้มความเป็นพลาสติกเพิ่มขึ้นด้วยวิธีการวิเคราะห์สมบัติการไหล อย่างไรก็ตามทั้งกากแอปเปิ้ล และเปลือกส้มจะมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระโดยการวัดปริมาณด้วยวิธี DPPH เท่ากับ 60% และวิธี ABTS เท่ากับ 80% และมีฤทธิ์ที่สามารถยับยั้งการเกิดเซลล์มะเร็ง HT-29 ที่ลำไส้สูงที่สุดในเปลือกส้มละกากแอปเปิ้ลเท่ากับ 76.45% และ 45.23% ตามลำดับ

บทที่ 3
วิธีการดำเนินการวิจัย

3.1 สารเคมี และวัตถุดิบ

3.1.1 กะหล่ำปลี จากภูทับเบิก

3.1.2 โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide ; NaOH)

3.1.3 กรดกาแลกทูโรนิก (D-galacturonic acid)

3.1.4 กรดไฮโดรคลอริก (Hydrochloric acid ; HCl)

3.1.5 กรดไนตริก (Nitric acid ; HNO_3)

3.1.6 เอทานอล 95 % (95 % Ethanol)

3.1.7 ฟีนอล์ฟทาลีน (Phenolphthalene)

3.1.8 ฟีนอลเรด (Phenol red)

3.1.9 เมทิลเรด (Methyl red)

3.1.10 โซเดียมคลอไรด์ (Sodium chloride ; NaCl)

3.1.11 เพคติน เกรด 150 (Pectin grade 150)

3.1.12 น้ำกลั่น

3.2 วัสดุ และอุปกรณ์

3.2.1 ตู้อบลมร้อน (Hot air oven)

3.2.2 เครื่องชั่งแบบละเอียด 4 ตำแหน่ง

3.2.3 อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ (Water bath)

3.2.4 เครื่องวัดของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (Hand refractometer)

3.2.5 เครื่องวัดความเป็นกรด – ด่าง (pH meter)

3.2.6 เครื่องปั่น (Blender)

3.2.7 แผ่นความร้อน (Hot plate)

3.2.8 เครื่องระเหยแบบหมุน (Rotary vaccum)

3.2.9 เทอร์โมมิเตอร์ (Thermometer)

3.2.10 ถ้วยกระเบื้องระเหย (Crucible)

3.2.11 ขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร

3.2.12 ปิเปตขนาด 10 มิลลิลิตร พร้อมจุกยาง

3.2.13 บิวเรต พร้อมขาตั้ง

3.2.14 ขวดรูปชมพู่ขนาด 100 มิลลิลิตร

3.2.15 กระดาษกรอง whatman No. 1

3.2.16 ผ้าขาวบาง

3.3 วิธีการทดลอง

ในการทดลองสกัดเพคตินจากกะหล่ำปลีจากภูทับเบิก อำเภอหล่มเก่า จังหวัดเพชรบูรณ์ ในการศึกษาครั้งนี้จะดำเนินการวิจัยเป็น 6 ขั้นตอน คือ

ตอนที่ 1 การเตรียมตัวอย่าง

ตอนที่ 2 การสกัดเพคติน

ตอนที่ 3 การวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพของเพคติน

ตอนที่ 4 การวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีของเพคติน

ตอนที่ 5 การคำนวณต้นทุนการสกัดเพคติน

ตอนที่ 6 การวิเคราะห์ข้อมูล

ตอนที่ 1 การเตรียมตัวอย่าง

นำเศษผักกะหล่ำปลีสีเขียวที่เหลือทิ้งหลังกระบวนการเก็บเกี่ยวจากแปลงเพาะปลูกบริเวณภูทับเบิก ตำบลวังบาล อำเภอหล่มเก่า จังหวัดเพชรบูรณ์ถูกนำมาเป็นตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษาวิจัย เศษกะหล่ำปลีที่เก็บได้จะถูกนำมาล้างด้วยน้ำสะอาด 2 – 3 ครั้ง จากนั้นนำมาคัดเลือกเอาส่วนที่มีตำหนิออกไป และนำเศษกะหล่ำปลีมาหั่นเป็นชิ้นเล็ก ๆ เก็บไว้ในภาชนะที่ปิดสนิท หรือถุงพลาสติกที่ปิดปากถุงอย่างมิดชิด ชั่งน้ำหนักแล้วนำไปเก็บรักษาในตู้เย็นที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส จนกว่าจะนำไปใช้ในการทดลองต่อไป

มีการนำเศษกะหล่ำปลีจากขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างไปเติมเอทิลแอลกอฮอล์ 95 % โดยใช้อัตราส่วนระหว่างเศษกะหล่ำปลีต่อเอทิลแอลกอฮอล์ 95% เท่ากับ 1 : 2 โดยปริมาตร โดยตั้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 30 นาที กรองด้วยผ้าขาวบาง นำกากที่ได้ไปแช่ซ้ำอีกครั้งหนึ่ง แล้วเก็บกากที่ได้ไปทำการสกัดเพคตินต่อไป

ตอนที่ 2 การสกัดเพคติน

นำกากกะหล่ำปลีที่ได้จากการเตรียมตัวอย่างมาทำการสกัดเพคติน โดยแบ่งวิธีการสกัดเป็น 2 ขั้นตอน

1. ขั้นตอนการสกัด

1.1 นำกากกะหล่ำปลีที่ได้จากขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างใส่ลงในบีกเกอร์ เติมกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 1 นอร์มอล โดยกากกะหล่ำปลีต่อกรดไฮโดรคลอริก อัตราส่วน 1 : 2 โดยปริมาตร

1.2 แล้วนำไปตั้งบน hot plate ทำการสกัดเพคตินจากกะหล่ำปลีที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส (90 และ 100 องศาเซลเซียส) ใช้เวลาในการสกัด 30 นาที (60 และ 90 นาที)

1.3 จากนั้นนำสารละลายที่ได้มากรองด้วยกระดาษกรอง whatman no.1 ขณะยังร้อนอยู่ บีบเอาสารละลายออก เก็บสารละลายที่กรองได้ครั้งที่ 1

1.4 นำกากที่ได้จากการสกัดครั้งแรกมาทำการสกัดซ้ำเช่นเดียวกับครั้งแรกอีกครั้ง (ทำซ้ำข้อ1.1 – 1.3)

1.5 นำสารละลายที่กรองได้ทั้ง 2 ครั้ง มารวมกันแล้วคนให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ให้เย็น รอนำไปตกตะกอนต่อไป

1.6 ทำการสกัดเพคตินด้วยกรดไนตริก ตามขั้นตอนตั้งแต่ข้อ 1.1 – 1.5 ให้ครบทุกชุดการทดลอง

2. ขั้นตอนการตกตะกอน

2.1 นำสารละลายที่กรองได้จากขั้นตอนการสกัดเพคตินข้างต้นมาตกตะกอนด้วยเอทิลแอลกอฮอล์ 95% โดยสารละลายต่อเอทิลแอลกอฮอล์ อัตราส่วน 40 : 45 โดยปริมาตร

2.2 ใช้แท่งแก้วคนสารละลายให้ทั่วจะช่วยให้เกิดตะกอนของเพคติน แล้ววางตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 12 ชั่วโมง เพื่อให้ได้เพคตินที่ไม่มีสารละลายติดอยู่

2.3 กรองแยกเอาตะกอนของเพคตินด้วยผ้าขาวบาง บีบให้แน่นเพื่อไม่ให้เพคตินไม่มีสารละลายเหลืออยู่

2.4 ล้างตะกอนเพคตินด้วยเอทิลแอลกอฮอล์ 95% โดยเพคตินต่อเอทิลแอลกอฮอล์ ในอัตราส่วน 1 : 2 โดยปริมาตร ทำการล้างซ้ำอีก 2 – 3 ครั้ง จนหมดอนุมูลคลอไรด์

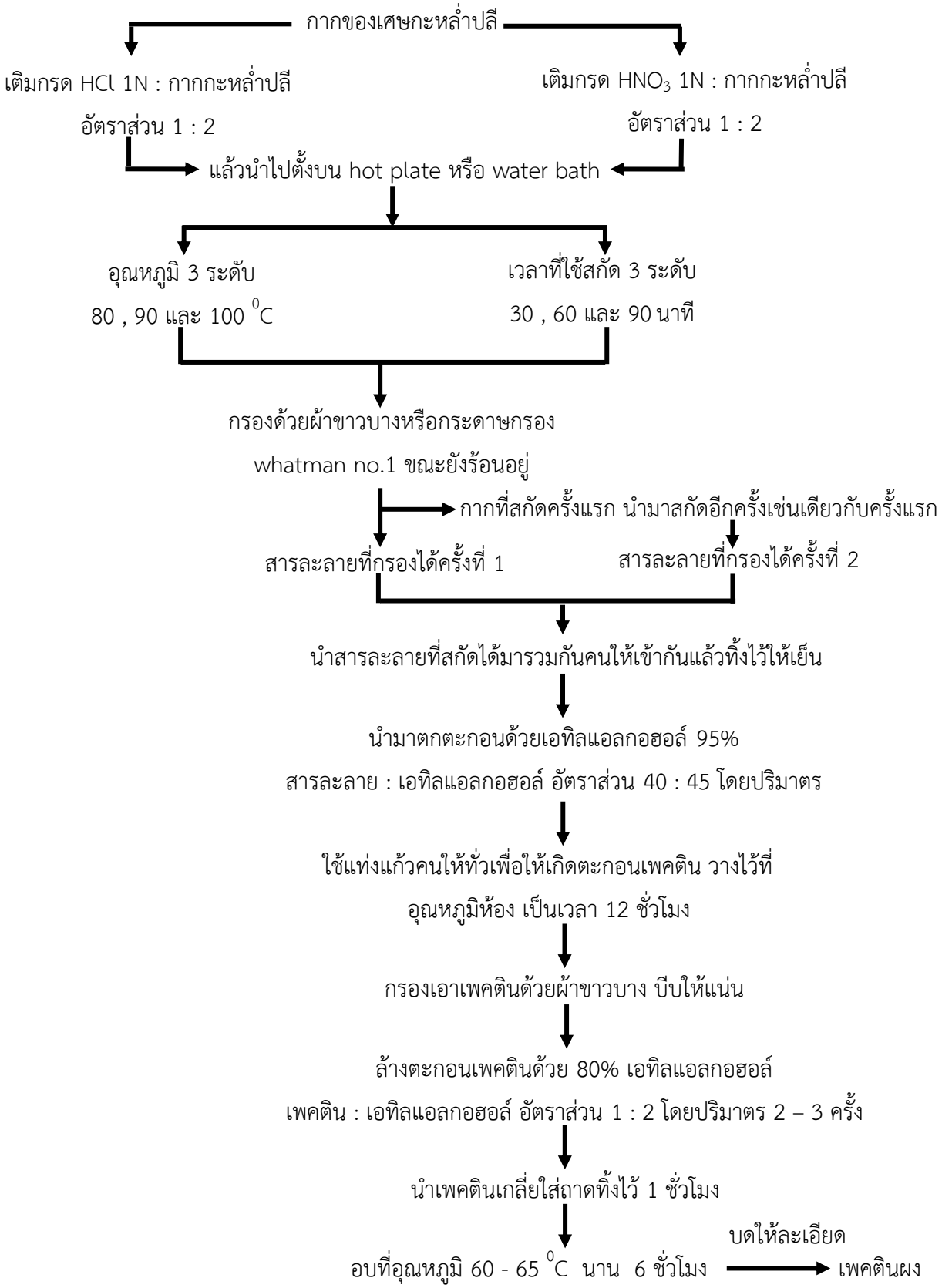
2.5 นำเพคตินที่สกัดได้เกลี่ยใส่ถาดวางทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 1 ชั่วโมง เพื่อให้เอทิลแอลกอฮอล์ระเหยออกไป

2.6 นำถาดเข้าตู้อบลมร้อน (Hot air oven) อบให้แห้งที่อุณหภูมิ 60 – 65 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 6 ชั่วโมง

2.7 เมื่ออบแห้งแล้ว นำมาบดด้วยโกร่งให้ละเอียด แล้วร่อนผ่านตะแกรงจะได้เพคตินผง

2.8 เก็บเพคติผงในภาชนะที่ปิดมิดชิด หรือถุงซิปล๊อค รอนำไปวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีและทางกายภาพต่อไป

2.9 นำเพคตินที่สกัดได้ในแต่ละชุดการทดลองมาเปรียบเทียบสมบัติกับเพคตินมาตรฐาน



ภาพที่ 3.1 กระบวนการสกัดเพคตินจากเศษกะหล่ำปลี

จากการวิจัยได้ทำการศึกษา สภาวะการสกัดเพคตินจากเศษกะหล่ำปลีที่เหมาะสม โดยการทำวิจัยการทดลองละ 3 ซ้ำ ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ปัจจัยที่ใช้สกัดเพคตินในสภาวะต่าง ๆ

Treatment	Acid (1N)	Temperature (^{0}C)	Time (Min)
1	HCl	80	30
2			60
3			90
4		90	30
5			60
6			90
7		100	30
8			60
9			90
1	HNO_3	80	30
2			60
3			90
4		90	30
5			60
6			90
7		100	30
8			60
9			90

ตอนที่ 3 การวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพของเพคติน

1. การหาปริมาณน้ำหนักแห้งของเพคติน

การหาปริมาณ น้ำหนักแห้งของ เพคตินเพื่อนำมาใช้เป็นข้อมูลในการคำนวณหาจุดคุ้มทุนของกระบวนการผลิตเพคตินในเชิงการค้าจากเศษกะหล่ำปลีที่เป็นวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร

1.1 นำสารสกัดเพคตินที่สกัดได้หลังจากตกตะกอนเอทิลแอลกอฮอล์แล้วไปเกลี่ยใส่ถาดวางทิ้งไว้ 1 ชั่วโมง เพื่อให้เอทิลแอลกอฮอล์ระเหยออกไป

1.2 นำถาดที่มีสารสกัดเพคตินเข้าตู้อบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง

1.3 แล้วนำมาบดในโกร่งให้ละเอียด แล้วนำไปร่อนผ่านตะแกรง เพื่อกำจัดสิ่งแปลกปลอม จะได้เพคตินผง

1.4 ชั่งน้ำหนักเพคตินผง แล้วเก็บในถุงที่มีซิปล๊อค ป้องกันความชื้น นำไปวิเคราะห์ในขั้นตอนต่อไป

2. ความสามารถในการละลาย

การวิเคราะห์ความสามารถในการละลายเพคตินเป็นการทดสอบเบื้องต้นว่าเพคตินที่สกัดได้มีความสามารถในการละลายน้ำ

2.1 ชั่งเพคตินที่สกัดได้ 1 กรัม ละลายในน้ำกลั่นปริมาตร 25 มิลลิลิตร

2.2 ใช้แท่งแก้วคนให้สารเพคตินละลายเป็นเนื้อเดียวกัน

2.3 สังเกตการละลาย

3. ความสามารถในการตกตะกอน

คุณสมบัติการตกตะกอนก็เป็นปัจจัยหนึ่งที่ใช้ทดสอบว่าสารที่สกัดได้ คือ เพคติน

3.1 นำสารละลายเพคตินเข้มข้น 1% w/v ใส่ในหลอดทดลองปริมาตร 2 มิลลิลิตร

3.2 เติม 95% เอทิลแอลกอฮอล์ ปริมาตร 3 มิลลิลิตร

3.3 สังเกตการตกตะกอน

4. ลักษณะทางกายภาพ

สังเกตลักษณะทางกายภาพของเพคตินที่สกัดได้ ทำได้โดยสังเกตสี ลักษณะเนื้อสัมผัส และลักษณะโดยรวมของผงเพคตินที่สกัดได้

ตอนที่ 4 การวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีของเพคติน

1. ปริมาณความชื้น

การหาปริมาณความชื้นของเพคตินที่สกัดได้มีผลต่อคุณภาพของเพคติน ถ้ามีความชื้นมากจะทำให้เพคตินที่สกัดได้มีคุณภาพลดลง ทำให้มีลักษณะจับตัวเป็นก้อน และก่อให้เกิดเชื้อราและเชื้อจุลินทรีย์ในผลิตภัณฑ์ได้

1.1 อบถ้วยครูซิเบิลในตู้อบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียสจนน้ำหนักคงที่

1.2 ชั่งน้ำหนักผงเพคติน 1.0 กรัม ใส่ลงในถ้วยครูซิเบิล

1.3 นำไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส จนกระทั่งน้ำหนักคงที่ นำออกจากตู้อบใส่เก็บในโถแก้วดูดความชื้นจนกระทั่งเย็นจนถึงอุณหภูมิห้อง นำไปชั่งน้ำหนักที่หายไป

1.4 คำนวณหาปริมาณความชื้น (%) (สูตรคำนวณแสดงดังภาคผนวก ก)

1.5 ทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง แล้วนำค่าที่ได้ซึ่งมีความแตกต่างกันไม่เกิน ± 3% นำมาหาค่าเฉลี่ยความชื้นในตัวอย่าง

2. การหาปริมาณน้ำหนักสมมูลของเพคติน (Equivalent weight)

การหาน้ำหนักโมเลกุลของเพคตินเป็นปัจจัยที่สำคัญในการควบคุมคุณภาพของเพคตินด้านความหนืด การเกิดเจล และคุณสมบัติของเส้นใย พบว่าเพคตินที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่จะมีความหนืดมากกว่าเพคตินที่มีโมเลกุลขนาดเล็ก

2.1 ชั่งผงเพคติน 0.5 กรัม ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร

2.2 ผสมน้ำกลั่น (DI) ลงในขวดรูปชมพู่ปริมาตร 100 มิลลิลิตร ใช้แท่งแก้วคนให้เพคตินละลาย

2.3 เติมโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) 1 กรัม หยดฟีนอลเรด จำนวน 6 หยด เป็นอินดิเคเตอร์ (Indicator)

2.4 จากนั้นนำสารละลายไปไตเตรทกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.1 นอร์มอล จนกระทั่งสารละลายถึงจุดยุติ

2.5 คำนวณหาน้ำหนักสมมูล (สูตรคำนวณแสดงดังภาคผนวก ก)

3. การหาปริมาณเมธอกซิล (Methoxyl content)

ปริมาณเมธอกซีสามารถนำมาใช้บ่งชี้ถึงคุณสมบัติในการเกิดเจลของเพคติน ซึ่งการเกิดเจลจะขึ้นอยู่กับระดับของการเอสเทอริฟิเคชั่นตามทฤษฎี เปอร์เซ็นต์สูงสุดของหมู่เมธอกซีจะมี 16% แต่พบจริงในธรรมชาติจะมีเพียง 14% เท่านั้น และเป็นค่าที่แสดงว่าประสิทธิภาพในการสกัดเพคตินที่ได้ออกมามีคุณภาพสูงด้วย

3.1 นำสารละลายที่ผ่านการหาน้ำหนักสมมูล มาเติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.25 นอร์มอล จำนวน 25 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน สารละลายจะเป็นสีม่วง

3.2 จากนั้นปิดปากขวดรูปชมพู่ แล้วตั้งทิ้งไว้ประมาณ 30 นาที

3.3 เติมสารละลายกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 0.25 นอร์มอล จำนวน 25 มิลลิลิตร เขย่าจนกระทั่งสารละลายเปลี่ยนสีจากสีม่วงเป็นสีเหลือง

3.4 นำสารละลายที่ได้ไปไทเทรตด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้น 0.1 นอร์มอล จนกระทั่งถึงจุดยุติ

3.5 คำนวณหาปริมาณเมธิกซี (%) (สูตรคำนวณแสดงดังภาคผนวก ก)

3.6 ทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง แล้วนำค่าที่ได้ซึ่งมีความแตกต่างกันไม่เกิน ± 3% นำมาหาค่าเฉลี่ยของปริมาณเมธิกซีในตัวอย่าง

4. การหาความบริสุทธิ์ของเพคติน (Purity of pectin)

การหาความบริสุทธิ์จะวิเคราะห์ในรูปกรดกาแลคทูโรนิก ในผักและผลไม้แต่ละชนิดจะมีระดับเอสเทอริฟิเคชั่น (Degree of esterification , DE) ต่างกัน โดยที่ระดับของเอสเทอริฟิเคชั่นมีผลต่อความหนืดของเพคติน เพคตินที่มีเอสเทอร์สูงจะมีความหนืดคงที่ไม่เปลี่ยนแปลงไปตามความเป็นกรด – ด่าง ระดับของเอสเทอริฟิเคชั่นของเพคตินยังมีผลต่อการเกิดเจลด้วย ถ้าเพคตินที่มีระดับของเอสเทอริฟิเคชั่นร้อยละ 60 – 70 จะเกิดเจลเร็ว และเกิดวุ้นที่อุณหภูมิสูง เรียกว่า rapid set เพคตินที่มีระดับของเอสเทอริฟิเคชั่นระหว่างร้อยละ 30 – 45 เรียกว่า slow set ซึ่งจะเกิดเจลได้ก็ต่อเมื่อต้องมีไอออนของโลหะด้วย เช่น แคลเซียมไอออน

4.1 ชั่งผงเพคตินมา 5 กรัม แล้วเติมสารละลายกรดไฮโดรคลอริก – เอทิลแอลกอฮอล์ (กรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น5 มิลลิลิตรและเอทิลแอลกอฮอล์60% จำนวน 100 มิลลิลิตร) กวนด้วยแท่งแก้ว10 นาที

4.2 กรองและล้างตะกอนจากข้อ 4.1 ด้วยกรดไฮโดรคลอริก-เอทิลแอลกอฮอล์ครั้งละ 15 มิลลิลิตร ทั้งหมด 6 ครั้ง

4.3 ล้างด้วยสารละลายเอทิลแอลกอฮอล์ 60% จนตะกอนไม่มีคลอไรด์ และล้างด้วยเอทิลแอลกอฮอล์อีก 20 มิลลิลิตร

4.4 อบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 2 ½ ชั่วโมง แล้วชั่งน้ำหนักแล้ง บันทึกผล

4.5 ชั่งเพคตินที่เตรียมแล้วจากข้อ 4.4 มา 1 ใน 10 ของน้ำหนักแห้ง เติมเอทิลแอลกอฮอล์ 2 มิลลิลิตร และเติมน้ำเดือดที่เย็นแล้ว 10 มิลลิลิตร เขย่าจนได้สารละลายที่เป็นเนื้อเดียวกัน ไทเทรตด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.1 นอร์มอล โดยใช้ฟีนอฟทาลีนเป็นอินดิเคเตอร์ จำนวน 5 หยด จดปริมาตรของด่างที่ใช้ = V_1 มิลลิลิตร (Initial titrate)

4.6 เติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.5 นอร์มอล จำนวน 20 มิลลิลิตร เขย่าอย่างแรงตั้งทิ้งไว้ 15 นาที เติมสารละลายกรดไฮโดรคลอริก 0.5 นอร์มอล จำนวน 20 มิลลิลิตร เขย่าจนไม่มีสีชมพู เติมสารละลายฟีนอลฟ์ทาลีน 3 หยด ไทเทรตด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 นอร์มอล จนได้สีชมพู จดปริมาตรของด่างที่ใช้ = V_2 มิลลิลิตร (Sponification titrate)

4.7 เทสารละลายจากข้อ 4.6 ลงในขวดกลั่นและเติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นร้อยละ 10 จำนวน 20 มิลลิลิตร นำไปกลั่น แล้วเก็บส่วนที่ได้ในขวดที่บรรจุน้ำกลั่นที่ปราศจากไอออน 150

มิลลิลิตร และกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.1 นอร์มอล จำนวน 20 มิลลิลิตร กลั่นจนได้ปริมาณเพิ่มอีก 80 – 120 มิลลิลิตร

4.8 นำส่วนที่กลั่นได้จากข้อ 4.7 มาไทเทรตด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 นอร์มอล โดยใช้เมทิลเรด (Methyl red) เป็นอินดิเคเตอร์ จดปริมาตรที่ได้ = S มิลลิลิตร

4.9 ทำ Blank โดยไทเทรตสารละลายกรดไฮโดรคลอริก 0.1 นอร์มอล จำนวน 20 มิลลิลิตร ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 นอร์มอล ใช้เมทิลเรดเป็นอินดิเคเตอร์ จดปริมาตรที่ได้ = B มิลลิลิตร

4.10 นำมาคำนวณหา Degree of amidiation , Degree of esterification , มิลลิกรัมของกรดกาแลคทูโรนิก และเปอร์เซ็นต์มิลลิกรัมของกรดกาแลคทูโรนิก (สูตรคำนวณแสดงดังภาคผนวก ก)

ตอนที่ 5 การคำนวณต้นทุนการสกัดเพคติน

จากการศึกษากระบวนการสกัดเพคตินจากเศษกะหล่ำปลีที่มีการเพาะปลูกที่ภูทับเบิก ตำบลวังบาล อำเภอหล่มเก่า จังหวัดเพชรบูรณ์ ได้นำเอาปริมาณเพคตินที่สกัดได้จากชุดการทดลองที่ดีที่สุดมาคำนวณต้นทุนที่ใช้ในการสกัดเป็นข้อมูลเบื้องต้นเพื่อใช้เป็นแนวทางสำหรับการศึกษาจุดคุ้มทุนในการผลิตเพคตินจากเศษกะหล่ำปลี (สูตรคำนวณแสดงดังภาคผนวก ข)

ตอนที่ 6 การวิเคราะห์ข้อมูล

นำข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ และทางเคมีมาทำการวิเคราะห์ผล การทดลองโดยใช้สถิติทดสอบเปรียบเทียบความแปรปรวนทางเดียว (One Way Anova) และความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan’s new multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($P < 0.05$)

3.4 ระยะเวลา และสถานที่ทำการวิจัย

3.4.1 ระยะเวลาในการทำวิจัย คือ 7 เดือน ตั้งแต่เดือนมีนาคม 2556 ถึงกันยายน 2556

3.4.2 สถานที่ทำการทดลองและเก็บข้อมูลสำหรับการทดลองนี้ คือ ห้องปฏิบัติการสาขาวิชาชีววิทยา อาคารสิรินธร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์

บทที่ 4
ผลการวิจัยและวิจารณ์

จากการศึกษา การสกัดเพคตินจากกะหล่ำปลี (*Brassica oleracea* L.var.*capitata* L.) จากภูทับเบิก ตำบลวังบาล อำเภอหล่มเก่า จังหวัดเพชรบูรณ์ โดยเปรียบเทียบปัจจัยที่ใช้ในการสกัดเพคตินทั้งหมด 3 ปัจจัย ได้แก่ สารละลายกรดที่ใช้ในการสกัด 2 ชนิด ได้แก่ กรดไฮโดรคลอริก (HCl) 1 นอร์มอล และกรดไนตริก (NHO_3) 1 นอร์มอล อุณหภูมิที่ใช้ในการสกัด 3 ระดับ ได้แก่ 80 , 90 และ 100 องศาเซลเซียส และเวลาที่ใช้ในการสกัดมี 3 ระยะเวลา ได้แก่ 30 , 60 และ 90 นาที โดยทำการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ และทางเคมีของเพคตินที่สกัดได้แต่ละชุดการทดลองเปรียบเทียบกัน

4.1 ผลการสกัด

จากการนำเอากะหล่ำปลีที่ปลูกมากในพื้นที่ภูทับเบิกเป็นตัวอย่างที่ใช้ในการสกัดเพคติน โดยนำมาหั่นเป็นชิ้นเล็ก ๆ จำนวน 500 กรัม สกัดโดยวิธีไฮโดรไลซีสด้วยกรดไฮโดรคลอริก และกรดไนตริก จะสามารถสกัดเพคตินได้ 158 และ 120 กรัม ตามลำดับ ถ้าคิดเป็นร้อยละจะได้เพียง 15.8 และ 12% โดยน้ำหนักสด ตามลำดับ เนื่องจากคุณสมบัติของกรดสามารถสลายพันธะไกลโคซิดิกได้สารเพคตินที่มีขนาดโมเลกุลที่เล็กลง แต่พบว่ากะหล่ำปลีที่นำมาใช้ในการทดลองจะสามารถสกัดเพตินได้ปริมาณที่น้อย อาจจะเป็นเพราะผักกะหล่ำปลีส่วนใหญ่มีน้ำเป็นองค์ประกอบค่อนข้างแยะ และใช้ความเข้มข้นของกรดที่ยังไม่เหมาะสม

4.2 ผลการศึกษาวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ (Physical Properties)

การวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพของ เพคตินที่สกัดได้จากปัจจัยต่าง ๆ นำมา ศึกษาคุณสบัติต่าง ๆ ดังนี้ ปริมาณน้ำหนักแห้งเพคติน ความสามารถในการละลาย ความสามารถในการตกตะกอน และลักษณะทางกายภาพ ได้ผลการทดลองดังนี้

4.2.1 การหาปริมาณน้ำหนักแห้งเพคติน

การหาปริมาณน้ำหนักของเพคตินจากการสกัดด้วยกรดไฮโดรคลอกริก และกรดไนตริกที่อุณหภูมิ 80 90 และ 100 องศาเซลเซียส และใช้เวลาในการสกัด 30 60 และ 90 นาทีตามลำดับ ปรากฏว่าเมื่อสิ้นสุดกระบวนการตกตะกอนเพคติน จากนั้นเกลี่ยใส่ถาดเข้าตู้อบที่ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง แล้วนำมาบดให้ละเอียด ร่อนผ่านตะแกรง จะได้เพคตินผง ซึ่งพบว่าปริมาณเพคตินที่สกัดได้จะมีปริมาณแตกต่างกัน แสดงดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 แสดงปริมาณน้ำหนักแห้งที่สกัดได้จากกะหล่ำปลีภูทับเบิกที่สภาวะต่าง ๆ

กรด (1N)	อุณหภูมิ (^{0}C)	เวลา (M)	ปริมาณเพคติน (กรัม)			
			ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย
HCl	80	30	0.30	0.26	0.28	0.28±0.03^{f}
		60	0.29	0.33	0.31	0.31±0.01^{f}
		90	0.51	0.56	0.10	0.54±0.04^{c}
	90	30	0.12	0.11	0.43	0.12±0.08^{g}
		60	0.54	0.58	0.22	0.56±0.01^{bc}
		90	0.81	0.77	0.79	0.79±0.01^{a}
	100	30	0.02	0.04	0.03	0.03±0.01^{h}
		60	0.02	0.06	0.01	0.04±0.01^{h}
		90	0.10	0.08	0.09	0.09±0.04^{gh}
HNO_3	80	30	0.38	0.36	0.37	0.37±0.01^{e}
		60	0.48	0.42	0.42	0.45±0.01^{d}
		90	0.48	0.56	0.43	0.52±0.03^{c}
	90	30	0.33	0.33	0.33	0.33±0.00^{ef}
		60	0.51	0.54	1.02	0.53±0.11^{c}
		90	0.58	0.62	0.90	0.60±0.06^{b}
	100	30	0.04	0.08	0.06	0.06±0.01^{gh}
		60	0.05	0.03	0.04	0.04±0.01^{h}
		90	0.04	0.03	0.05	0.04±0.01^{h}

หมายเหตุ* $^{a-h}$ ตัวอักษรที่กำกับที่แตกต่างกันตามแนวตั้งเดียวกันแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

จากตารางที่ 4.1 พบว่าปริมาณน้ำหนักแห้งของเพคตินที่สกัดจากกะหล่ำปลีด้วยกรดไฮโดรคลอริก (HCl) ความเข้มข้น 1 นอร์มอล ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส และใช้เวลาในการสกัด 90 นาที จะมีปริมาณน้ำหนักแห้งของเพคตินมากที่สุด เท่ากับ 0.79 กรัมต่อกะหล่ำปลี 5 กรัม หรือประมาณร้อยละ 15.8 รองลงมาเพคตินที่สกัดจากกะหล่ำปลีด้วยกรดไนตริก (HNO_3) ความเข้มข้น 1 นอร์มอล ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส และใช้เวลาในการสกัด 90 นาที จะมีปริมาณน้ำหนักแห้งของเพคตินเท่ากับ 0.60 กรัม หรือประมาณร้อยละ 12 ซึ่งเพคตินที่สกัดด้วยกรดไฮโดรคลอริกจะให้ปริมาณน้ำหนักแห้งของเพคตินมากกว่าการสกัดด้วยกรดไนตริก และยิ่งอุณหภูมิยิ่งสูงและใช้เวลาในการสกัดที่นานขึ้น

จะช่วยในการสกัดเพคตินให้มีปริมาณที่สูงขึ้น ส่วนเพคตินที่สกัดด้วยกรดทั้ง 2 ชนิด คือ กรดไฮโดรคลอกริก (HCl) และกรดไนตริก (HNO_3) ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ทุกช่วงเวลาที่ใช้ในการสกัดจะมีปริมาณเพคตินน้อยมากหรือเทียบจะไม่สามารถสกัดได้ เนื่องจากอาจจะใช้ความร้อนและระยะเวลาในการสกัดที่นานเกินไป จึงมีผลทำให้ปริมาณเพคตินที่สกัดได้มีปริมาณน้อยอาจเป็นเพราะความผิดพลาดจากขั้นตอนการทดลอง

4.2.2 การศึกษาเปรียบเทียบความสามารถในการละลาย ความสามารถในการตกตะกอนและลักษณะทางกายภาพ

เมื่อทำการสกัดเพคตินจากกะหล่ำปลีที่สภาวะต่าง ๆ ได้มีการนำเพคตินมาศึกษาความสามารถในการละลาย ความสามารถในการตกตะกอนและคุณลักษณะทั่วไป ซึ่งเป็นคุณสมบัติเบื้องต้นของเพคตินที่สกัดได้เทียบกับเพคติน เกรด 150 ทางการค้า ดังแสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 การเปรียบเทียบ ความสามารถในการละลาย ความสามารถในการตกตะกอน และลักษณะทางกายภาพของเพคตินจากกะหล่ำปลี

สารสกัด	ลักษณะทางกายภาพ	การละลาย	การตกตะกอน
เพคติน ที่สกัดด้วย HCl	ของแข็งสีขาวขุ่น ออกเหลือง มีกลิ่นกรด	ละลายน้ำได้ปานกลาง ได้สารละลายหนืดเล็กน้อย	มีความสามารถในการเกิดเจลได้เล็กน้อย เจลมีลักษณะเหลืองขุ่น
เพคติน ที่สกัดด้วย HNO_3	ของแข็งสีขาวขุ่น มีกลิ่นกรดอ่อน	ละลายน้ำได้ดี ได้สารละลายค่อนข้างหนืด	ตกตะกอนได้ดีปานกลาง เกิดเจลทีมีลักษณะอ่อน สีใส
เพคติน ทางการค้า	ผงละเอียด ของแข็ง สีน้ำตาลอ่อน	ละลายน้ำได้ดี ได้สารละลายขาวใส มีความหนืดสูง	มีความสามารถในการตกตะกอนวุ้นได้ดี เกิดเจลแข็งใส

จากการศึกษาลักษณะทางกายภาพ ความสามารถในการละลาย และความสามารถในการตกตะกอนของเพคตินจากกะหล่ำปลีที่สกัดด้วยกรดโฮดรอคลอริก และกรดไนตริก เปรียบเทียบกับเพคตินทางการค้า เกรด 150 พบว่าเพคตินจากกะหล่ำปลีที่สกัดด้วยกรดไนตริกจะมีลักษณะทางกายภาพ และความสามารถในการละลาย และการตกตะกอนที่มีลักษณะใกล้เคียงกับเพคตินทางการค้ามากกว่าการสกัดด้วยกรดไฮโดรคลอริก เพคตินที่สกัดได้มีความสามารถในการละลายน้ำได้ดี เนื่องจากเพคตินเป็นสารที่มีขั้วจึงละลายน้ำได้ดี แต่ไม่สามารถละลายในเอทิลแอลกอฮอล์ซึ่งเป็นตัวทำละลายอินทรีย์ที่มีสภาพขั้วน้อยกว่าจึงเป็นผลทำให้เพคตินเกิดการตกตะกอนได้เมื่อนำไปละลายในเอทิลแอลกอฮอล์ (นิธิยา, 2545)

4.3 ผลการศึกษาวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมี (Chemical Properties)

จากการศึกษาเพคตินที่สกัดได้จากกะหล่ำปลีโดยศึกษาสภาวะต่าง ๆ ที่ใช้ในการสกัด ได้แก่ ชนิดของกรดที่ใช้ในการสกัด 2 ชนิด คือ กรดไฮโดรคลอริก (HCl) และกรดไนตริก (HNO_3) อุณหภูมิที่ใช้ในการสกัด 3 ระดับ คือ 80 90 และ 100 องศาเซลเซียส และระยะเวลาที่ใช้ในการสกัด 3 ระยะ คือ 30 60 และ 90 นาที เมื่อสิ้นสุดขั้นตอนการตกตะกอนแล้วอบแห้งแล้ว นำผงเพคตินที่สกัดได้มาทำการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมี พบว่าเพคตินจากกะหล่ำปลีที่สกัดด้วย HCl 1 N ปริมาณร้อยละผลผลิตที่ได้ 0.60±0.28 – 15.80±0.57 ปริมาณความชื้นร้อยละ 1.00±0.47 – 26.33±0.94 ปริมาณเมธอกซีร้อยละ 3.24±0.06 - 6.44±0.05 น้ำหนักสมมูล 808.19±1.51 – 1260.51±3.66 ปริมาณ DE ร้อยละ 51.65±0.12 - 59.14±0.09 และมิลลิกรัมของกรดกาแลกทูโรนิกร้อยละ 364.58±0.56 - 702.32±1.12 และเพคตินจากกะหล่ำปลีที่สกัดด้วย HNO_3 1 N จะมีปริมาณร้อยละผลผลิตที่ได้ , ร้อยละความชื้น , ปริมาณเมธอกซี , น้ำหนักสมมูล , เปอร์เซ็นต์ DE และมิลลิกรัมของกรดกาแลกทูโรนิก (%) มีค่าเท่ากับ 0.70±0.14 – 12.00±0.57 , 1.17±0.23 – 20.00±0.95 , 4.12±0.02 – 7.44±0.02 , 432.03±0.43 – 900.36±1.87 , 51.89±0.03 – 53.33±0.07 , 463.74±1.48 – 794.19±0.74 ตามลำดับ ซึ่งเพคตินที่สกัดได้ มีความแตกต่างกันนั้น ขึ้นอยู่กับชนิด และความเข้มข้นของกรดที่ใช้ในการสกัด และสภาวะที่ใช้ในการสกัด เช่น อุณหภูมิ เวลา รวมถึงลักษณะของวัตถุดิบที่นำมาสกัดเพคติน เช่น ความแก่ - อ่อน ชนิดพันธุ์ของผักและผลไม้ ดังแสดงในตารางที่ 4.3 และ 4.4

ตารางที่ 4.3 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีของเพคตินที่สกัดจากกะหล่ำปลีด้วยกรดไฮโดรคลอริก (HCl) ที่สภาวะต่าง ๆ

acid (1 N)	Temperature (^{0}C)	Time (M)	Yield (%g)	Moisture (%)	methoxy (%)	equivalent weight (mg)	DE (%)	galacturonic acid (%)
HCl	80	30	5.60±0.00^{f}	9.33±0.94^{f}	3.24±0.06^{f}	1065.35±2.62^{c}	52.35±0.21^{d}	364.58±0.56^{i}
		60	6.20±0.57^{f}	10.33±0.94^{f}	5.48±0.05^{cd}	1260.51±3.66^{a}	51.65±0.12^{f}	609.41±1.63^{df}
		90	10.80±0.71^{c}	20.67±1.18^{a}	6.17±1.03^{b}	1138.09±3.00^{b}	59.14±0.09^{a}	702.32±1.12^{b}
	90	30	2.40±0.14^{g}	3.83±0.23^{g}	3.52±0.07^{ef}	998.67±2.30^{e}	52.33±0.20^{d}	389.49±1.48^{h}
		60	11.20±0.57^{bc}	18.67±0.94^{bc}	5.62±0.07^{cd}	1014.89±2.38^{d}	52.34±0.13^{d}	615.62±1.48^{df}
		90	15.80±0.57^{a}	26.33±0.94^{a}	6.44±0.05^{b}	808.19±1.51^{g}	51.99±0.11^{e}	691.97±0.97^{bc}
	100	30	0.60±0.28^{h}	1.00±0.47^{h}	Ns	Ns	Ns	Ns
		60	0.80±0.57^{h}	1.33±0.94^{h}	Ns	Ns	Ns	Ns
		90	1.80±0.28^{gh}	3.00±0.47^{g}	Ns	Ns	Ns	Ns

หมายเหตุ* $^{a-h}$ ตัวอักษรที่กำกับที่แตกต่างกันตามแนวตั้งเดียวกันแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

^{ns} ตัวอักษรที่กำกับที่แตกต่างกันตามแนวตั้งเดียวกันแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$)

ตารางที่ 4.4 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีของเพคตินที่สกัดจากกะหล่ำปลีด้วยกรดไนตริก (HNO_3) ที่สภาวะต่าง ๆ

acid (1 N)	Temperature (^{0}C)	Time (M)	Yield (%g)	Moisture (%)	methoxy (%)	equivalent weight (mg)	DE (%)	galacturonic acid (%)
HNO_3	80	30	7.40±0.28^{e}	12.33±0.47^{e}	5.12±0.08^{d}	900.36±1.87^{f}	53.17±0.01^{b}	560.95±1.28^{f}
		60	9.00±0.85^{d}	15.00±1.41^{d}	5.52±0.01^{cd}	585.71±1.05^{h}	52.42±0.00^{d}	602.36±1.12^{df}
		90	10.40±1.13^{c}	17.33±1.89^{c}	5.67±0.12^{cd}	480.16±1.06^{k}	53.01±0.20^{c}	623.06±1.68^{cdf}
	90	30	6.60±0.00^{ef}	11.00±0.00^{ef}	4.12±0.02^{e}	581.85±0.78^{i}	53.33±0.07^{b}	463.74±1.48^{g}
		60	10.60±0.42^{c}	17.50±0.71^{c}	6.02±0.02^{b}	555.14±0.71^{j}	52.21±0.04^{d}	650.56±0.56^{bcd}
		90	12.00±0.57^{b}	20.00±0.95^{b}	7.44±0.02^{a}	432.03±0.43^{l}	51.89±0.03^{e}	794.19±0.74^{a}
	100	30	1.20±0.57^{gh}	2.00±0.95^{gh}	Ns	Ns	Ns	Ns
		60	0.80±0.28^{h}	1.33±0.47^{h}	Ns	Ns	ns	ns
		90	0.70±0.14^{h}	1.17±0.23^{h}	Ns	Ns	ns	ns

หมายเหตุ* $^{a-l}$ ตัวอักษรที่กำกับที่แตกต่างกันตามแนวตั้งเดียวกันแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

^{ns} ตัวอักษรที่กำกับที่แตกต่างกันตามแนวตั้งเดียวกันแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$)

4.3.1 ปริมาณร้อยละผลผลิตที่สกัดได้

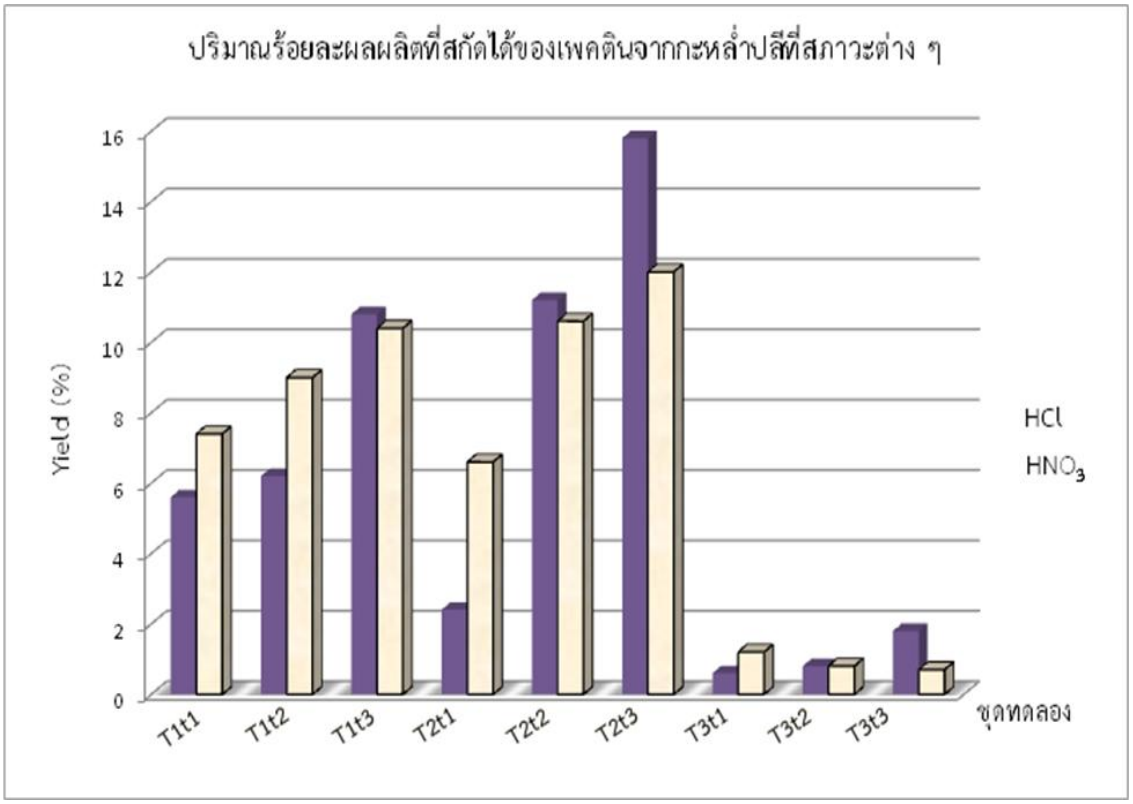
จากการสกัดเพคตินจากเศษกะหล่ำปลีที่เพาะปลูกบริเวณภูทับเบิก ตำบลวังบาล อำเภอหล่มเก่า จังหวัดเพชรบูรณ์ โดยวิธีการไฮโดรไลซิสด้วยกรด 2 ชนิด ได้แก่ กรดไฮโดรคลอริก 1 นอร์มอล และกรดไนตริก 1 นอร์มอล แล้วนำมาวิเคราะห์หาปริมาณร้อยละผลผลิตที่สกัดได้ ดังแสดงในตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ปริมาณร้อยละผลผลิตที่สกัดได้ของเพคตินจากกะหล่ำปลีที่สภาวะต่าง ๆ

		Yield (%)	
Temperature (^{0}C)	Time (M)	HCl (1N)	HNO_3 (1N)
80	30	5.60±0.00^{f}	7.40±0.28^{e}
	60	6.20±0.57^{f}	9.00±0.85^{d}
	90	10.80±0.71^{c}	10.40±1.13^{c}
90	30	2.40±0.14^{g}	6.60±0.00^{ef}
	60	11.20±0.57^{bc}	10.60±0.42^{c}
	90	15.80±0.57^{a}	12.00±0.57^{b}
100	30	0.60±0.28^{h}	1.20±0.57^{gh}
	60	0.80±0.57^{h}	0.80±0.28^{h}
	90	1.80±0.28^{gh}	0.70±0.14^{h}

หมายเหตุ* $^{a-h}$ ตัวอักษรที่กำกับที่แตกต่างกันตามแนวตั้งเดียวกันแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

จากตารางที่ 4.5 พบว่าเพคตินที่สกัดได้มีผลผลิตที่สกัดได้อยู่ระหว่าง 0.60±0.28 % ถึง 15.80±0.57 % เพคตินที่สกัดด้วยกรดไฮโดรคลอริกจะมีปริมาณผลผลิตที่สกัดได้สูงที่สุด เมื่อทำการสกัดที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส และใช้เวลาในการสกัดทั้งหมด 90 นาที มีปริมาณผลผลิตร้อยละ 15.80±0.57 ส่วนเพคตินที่สกัดด้วยกรดไนตริกจะมีปริมาณผลผลิตสูงสุดที่สภาวะเดียวกันกับกรดไฮโดรคลอริก มีปริมาณผลผลิตเท่ากับ 12.00±0.57 และพบว่าเมื่อมีการใช้อุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการสกัดเพิ่มขึ้นมีผลทำให้ปริมาณปริมาณผลผลิต เพิ่มขึ้นตามลำดับ แต่ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสพบว่าปริมาณผลผลิตมีเพียงเล็กน้อย เนื่องจากความร้อนและอุณหภูมิสูงส่งผลทำให้โครงสร้างของเพคตินถูกทำลายได้ แสดงดังภาพที่ 4.1



ภาพที่ 4.1 ปริมาณผลผลิตของเพคตินที่สกัดจากกะหล่ำปลีที่สภาวะต่าง ๆ

หมายเหตุ : T1t1 = อุณหภูมิที่ 80 องศาเซลเซียส 30 นาที , T1t2 = อุณหภูมิที่ 80 องศาเซลเซียส 60 นาที
T1t3 = อุณหภูมิที่ 80 องศาเซลเซียส 90 นาที , T2t1 = อุณหภูมิที่ 90 องศาเซลเซียส 30 นาที
T2t2 = อุณหภูมิที่ 90 องศาเซลเซียส 60 นาที , T2t3 = อุณหภูมิที่ 90 องศาเซลเซียส 90 นาที
T3t1 = อุณหภูมิที่ 100 องศาเซลเซียส30 นาที, T3t2 = อุณหภูมิที่ 100 องศาเซลเซียส60 นาที
T3t3 = อุณหภูมิที่ 100 องศาเซลเซียส 90 นาที

4.3.2 การหาปริมาณความชื้น

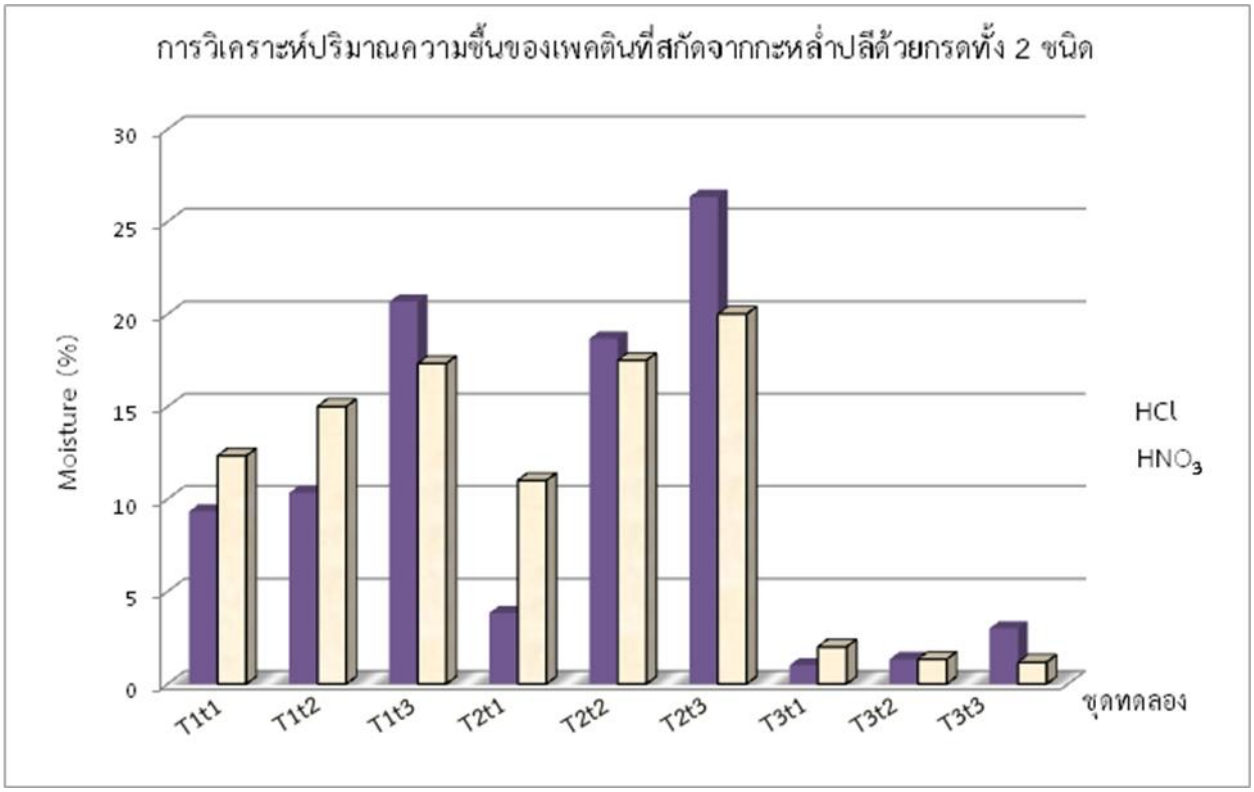
เพคตินที่สกัดจากเศษกะหล่ำปลีที่เพาะปลูกบริเวณภูทับเบิก ตำบลวังบาล อำเภอหล่มเก่า จังหวัดเพชรบูรณ์ โดยวิธีการไฮโดรไลซิสด้วยกรด 2 ชนิด ได้แก่ กรดไฮโดรคลอริก 1 นอร์มอล และกรดไนตริก 1 นอร์มอล แล้วนำมาวิเคราะห์ความชื้น ดังแสดงในตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 การวิเคราะห์ปริมาณความชื้นของเพคตินที่สกัดจากกะหล่ำปลีด้วยกรดทั้ง 2 ชนิด

		Moisture (%)	
Temperature (^{0}C)	Time (M)	HCl (1N)	HNO_3 (1N)
80	30	9.33±0.94^{f}	12.33±0.47^{e}
	60	10.33±0.94^{f}	15.00±1.41^{d}
	90	20.67±1.18^{a}	17.33±1.89^{c}
90	30	3.83±0.23^{g}	11.00±0.00^{ef}
	60	18.67±0.94^{bc}	17.50±0.71^{c}
	90	26.33±0.94^{a}	20.00±0.95^{b}
100	30	1.00±0.47^{h}	2.00±0.95^{gh}
	60	1.33±0.94^{h}	1.33±0.47^{h}
	90	3.00±0.47^{g}	1.17±0.23^{h}

หมายเหตุ* $^{a-h}$ ตัวอักษรที่กำกับที่แตกต่างกันตามแนวตั้งเดียวกันแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

จากตารางที่ 4.6 พบว่าเพคตินที่สกัดได้มีความชื้นอยู่ระหว่าง 1.00±0.47 ถึง 26.33±0.94 เพคตินที่สกัดด้วยกรดไฮโดรคลอริกมีความชื้นสูงที่สุด เมื่อทำการสกัดที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส และใช้เวลาในการสกัดทั้งหมด 90 วินาที มีความชื้นเท่ากับ 26.33±0.94 ส่วนเพคตินที่สกัดด้วยกรดไนตริกจะมีปริมาณความชื้นสูงสุดที่สภาวะเดียวกันกับกรดไฮโดรคลอริก มีความชื้นเท่ากับ 20.00±0.95 และพบว่าเมื่อมีการใช้อุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการสกัดเพิ่มขึ้นมีผลทำให้ปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้นตามลำดับ แสดงดังภาพที่ 4.2



ภาพที่ 4.2 ปริมาณความชื้นของเพคตินที่สกัดจากกะหล่ำปลีด้วยกรดทั้ง 2 ชนิด

หมายเหตุ : T1t1 = อุณหภูมิที่ 80 องศาเซลเซียส 30 นาที , T1t2 = อุณหภูมิที่ 80 องศาเซลเซียส 60 นาที
T1t3 = อุณหภูมิที่ 80 องศาเซลเซียส 90 นาที , T2t1 = อุณหภูมิที่ 90 องศาเซลเซียส 30 นาที
T2t2 = อุณหภูมิที่ 90 องศาเซลเซียส 60 นาที , T2t3 = อุณหภูมิที่ 90 องศาเซลเซียส 90 นาที
T3t1 = อุณหภูมิที่ 100 องศาเซลเซียส30 นาที, T3t2 = อุณหภูมิที่ 100 องศาเซลเซียส60 นาที
T3t3 = อุณหภูมิที่ 100 องศาเซลเซียส 90 นาที

4.3.3 การหาปริมาณ Methoxyl

การหาปริมาณ methoxyl จากเพคตินที่สกัดมาจากเศษกะหล่ำปลีที่สกัดด้วยกรด 2 ชนิด ได้แก่ กรดไฮโดรคลอริก และกรดไนตริก ซึ่งปริมาณ methoxyl สามารถนำมาใช้เป็นตัวบ่งชี้ถึงคุณสมบัติการเกิดเจล และเป็นค่าที่แสดงถึงประสิทธิภาพในการสกัดเพคตินที่มีคุณภาพสูง ดังแสดงในตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 ปริมาณ Methoxyl (%) ของเพคตินที่สกัดจากกะหล่ำปลีจากกรดไฮโดรคลอริกและกรดไนตริก

		Methoxyl (%)	
Temperature (^{0}C)	Time (M)	HCl (1N)	HNO_3 (1N)
80	30	3.24±0.06^{f}	5.12±0.08^{d}
	60	5.48±0.05^{cd}	5.52±0.01^{cd}
	90	6.17±1.03^{b}	5.67±0.12^{cd}
90	30	3.52±0.07^{ef}	4.12±0.02^{e}
	60	5.62±0.07^{cd}	6.02±0.02^{b}
	90	6.44±0.05^{b}	7.44±0.02^{a}
100	30	Ns	Ns
	60	Ns	Ns
	90	Ns	Ns

หมายเหตุ* $^{a-h}$ ตัวอักษรที่กำกับที่แตกต่างกันตามแนวตั้งเดียวกันแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

^{ns} ตัวอักษรที่กำกับที่แตกต่างกันตามแนวตั้งเดียวกันแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$)

จากตารางที่ 4.7 พบว่าการเพคตินที่สกัดด้วยกรดไนตริกจะมีปริมาณ methoxyl สูงที่สุด 7.44±0.02 % ที่สกัดด้วยอุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส และที่เวลา 90 นาที รองลงมา คือ เพคตินที่สกัดด้วยกรดไฮโดรคลอริกที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส 90 นาที จะมีปริมาณ methoxyl เท่ากับ 6.44±0.05 % ส่วนปริมาณ methoxyl ที่สกัดด้วยกรดทั้ง 2 ชนิด ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ไม่สามารถวิเคราะห์ได้ และพบว่าที่อุณหภูมิเดียวกันแต่ระยะเวลาในการสกัดต่างกันจะมีผลทำให้ปริมาณ methoxyl ที่ได้ต่างกัน โดยพบว่าเมื่อระยะเวลาในการสกัดเพิ่มขึ้นมีผลทำให้ปริมาณ methoxyl เพิ่มขึ้นตามลำดับ แสดงดังภาพที่ 4.3

ภาพที่ 4.3 ปริมาณ Methoxyl (%) ของเพคตินที่สกัดจากกะหล่ำปลีจากกรดไฮโดรคลอริกและกรดไนตริก

หมายเหตุ : T1t1 = อุณหภูมิที่ 80 องศาเซลเซียส 30 นาที , T1t2 = อุณหภูมิที่ 80 องศาเซลเซียส 60 นาที
T1t3 = อุณหภูมิที่ 80 องศาเซลเซียส 90 นาที , T2t1 = อุณหภูมิที่ 90 องศาเซลเซียส 30 นาที
T2t2 = อุณหภูมิที่ 90 องศาเซลเซียส 60 นาที , T2t3 = อุณหภูมิที่ 90 องศาเซลเซียส 90 นาที
T3t1 = อุณหภูมิที่ 100 องศาเซลเซียส30 นาที, T3t2 = อุณหภูมิที่ 100 องศาเซลเซียส60 นาที
T3t3 = อุณหภูมิที่ 100 องศาเซลเซียส 90 นาที

4.3.4 การหาปริมาณน้ำหนักสมมูล

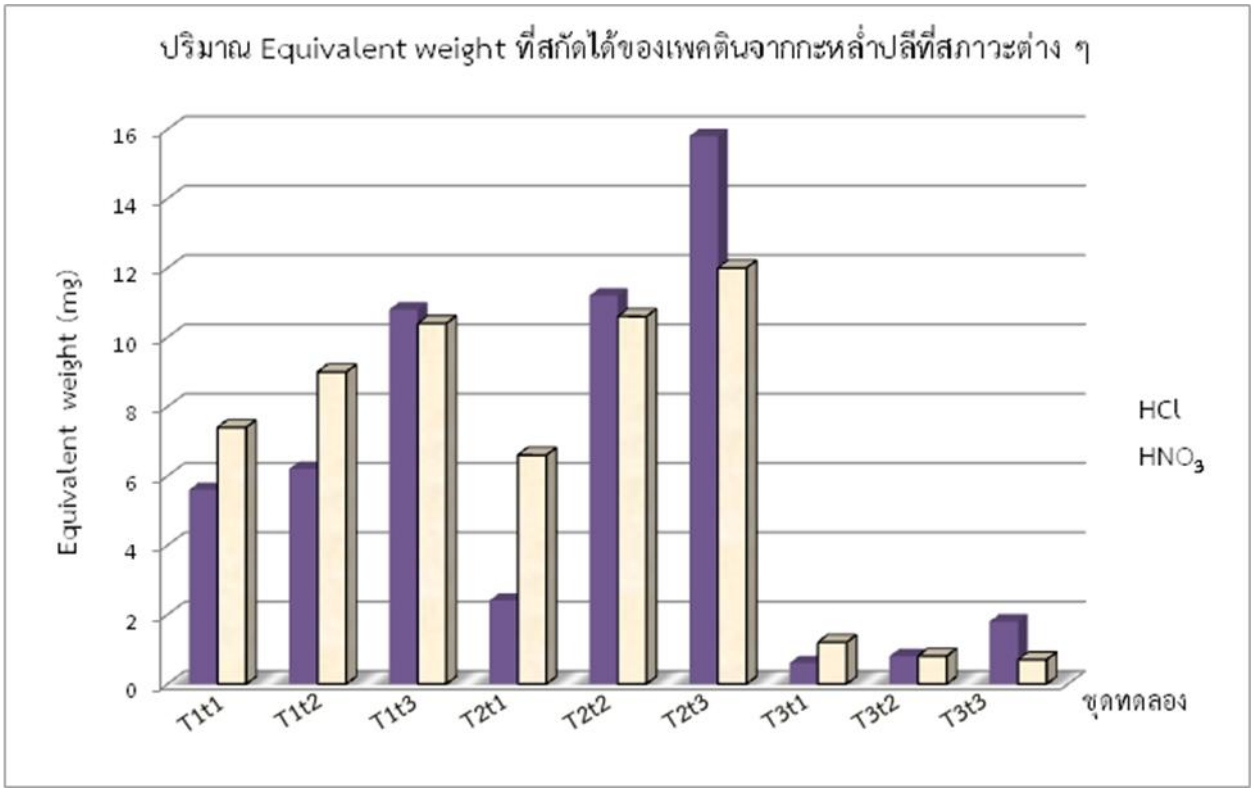
จากการสกัดเพคตินจากเศษกะหล่ำปลีที่สกัดด้วยกรด 2 ชนิด ได้แก่ กรดไฮโดรคลอริก 1 นอร์มอล และกรดไนตริก 1 นอร์มอล และที่อุณหภูมิ 3 ระดับ ได้แก่ 80 90 และ 100 องศาเซลเซียส และเวลาที่ใช้ในการสกัด 3 ระยะ ได้แก่ 30 60 และ 90 นาที นำมาวิเคราะห์หาปริมาณน้ำหนักสมมูล (Equequivalent weight) ดังแสดงในตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 การวิเคราะห์ปริมาณ Equivalent weight (mg) ของเพคตินที่สกัดจากกะหล่ำปลี

		equivalent weight (mg)	
Temperature (^{0}C)	Time (M)	HCl (1N)	HNO_3 (1N)
80	30	9.33±0.94^{f}	12.33±0.47^{e}
	60	10.33±0.94^{f}	15.00±1.41^{d}
	90	20.67±1.18^{a}	17.33±1.89^{c}
90	30	3.83±0.23^{g}	11.00±0.00^{ef}
	60	18.67±0.94^{bc}	17.50±0.71^{c}
	90	26.33±0.94^{a}	20.00±0.95^{b}
100	30	1.00±0.47^{h}	2.00±0.95^{gh}
	60	1.33±0.94^{h}	1.33±0.47^{h}
	90	3.00±0.47^{g}	1.17±0.23^{h}

หมายเหตุ* $^{a-h}$ ตัวอักษรที่กำกับที่แตกต่างกันตามแนวตั้งเดียวกันแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

จากตารางที่ 4.8 พบว่าเพคตินที่สกัดด้วยกรดไฮโดรคลอริก อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส และที่เวลา 90 นาที จะมีน้ำหนักสมมูลสูงที่สุด เท่ากับ 26.33±0.94 มิลลิลิกรัม เมื่อเทียบกับเพคตินที่สกัดด้วยกรดไนตริกที่อุณหภูมิและเวลาเดียวกันกับการสกัดด้วยกรดไฮโดรคลอริกก็พบว่ามีน้ำหนักสมมูลสูงที่สุดเช่นกัน ส่วนน้ำหนักสมมูลที่สกัดด้วยกรดทั้ง 2 ชนิดจะมีปริมาณน้อยที่สุดที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส และพบว่าที่อุณหภูมิเดียวกันแต่ระยะเวลาในการสกัดต่างกันจะมีผลทำให้น้ำหนักสมมูลที่ได้ต่างกันโดยพบว่าเมื่อระยะเวลาในการสกัดเพิ่มขึ้นมีผลทำให้น้ำหนักสมมูลเพิ่มขึ้นตามลำดับ แสดงดังภาพที่ 4.4



ภาพที่ 4.4 ปริมาณ Equivalent weight (mg) ของเพคตินที่สกัดจากกะหล่ำปลี

หมายเหตุ : T1t1 = อุณหภูมิที่ 80 องศาเซลเซียส 30 นาที , T1t2 = อุณหภูมิที่ 80 องศาเซลเซียส 60 นาที
T1t3 = อุณหภูมิที่ 80 องศาเซลเซียส 90 นาที , T2t1 = อุณหภูมิที่ 90 องศาเซลเซียส 30 นาที
T2t2 = อุณหภูมิที่ 90 องศาเซลเซียส 60 นาที , T2t3 = อุณหภูมิที่ 90 องศาเซลเซียส 90 นาที
T3t1 = อุณหภูมิที่ 100 องศาเซลเซียส30 นาที, T3t2 = อุณหภูมิที่ 100 องศาเซลเซียส60 นาที
T3t3 = อุณหภูมิที่ 100 องศาเซลเซียส 90 นาที

4.3.5 การหาปริมาณ Degree of esterification (%)

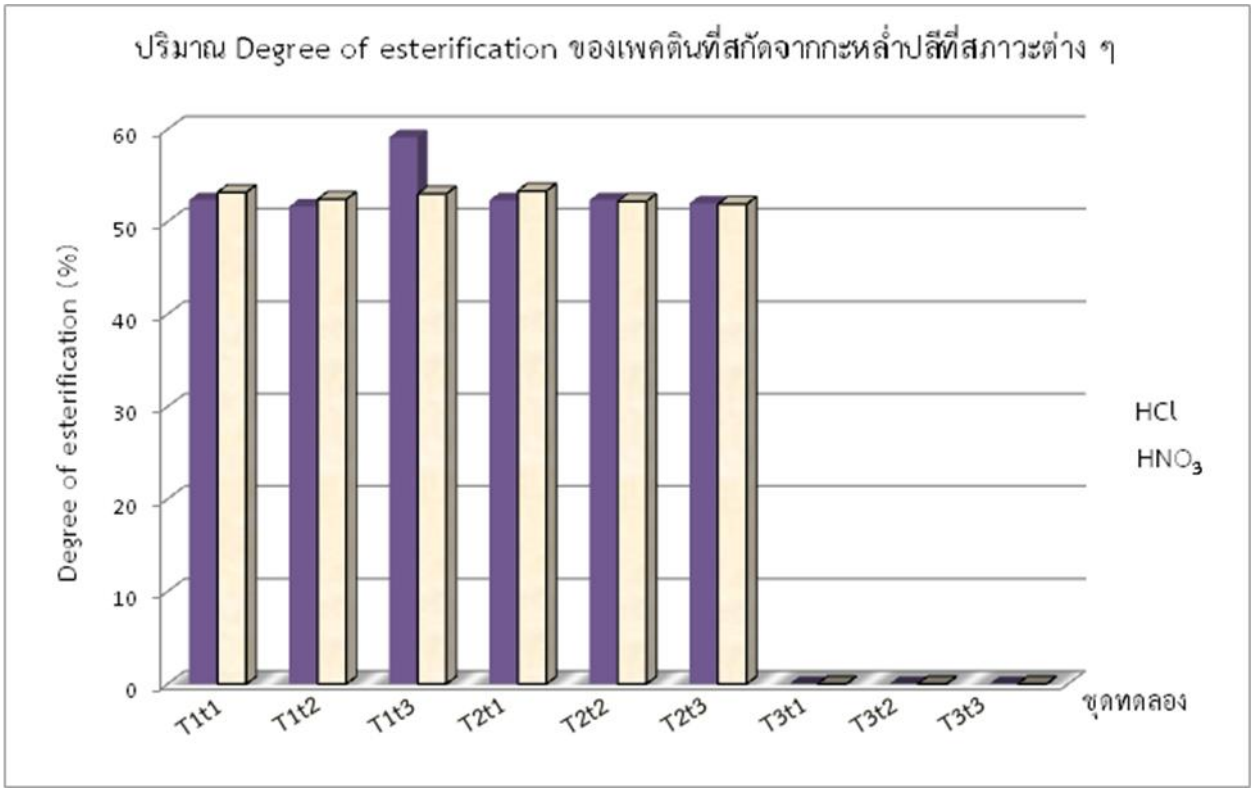
การหาระดับของ Degree of esterification (DE) ในเพคตินที่สกัดได้จากเศษกะหล่ำปลีมีผลต่อความหนืดของเพคติน นอกจากนี้ระดับของเอสเทอร์ยังมีผลต่อการเกิดเจลอีกด้วย จากการศึกษาครั้งนี้ศึกษาวิธีการสกัดเพคตินจากเศษกะหล่ำปลีด้วยกรด 2 ชนิด ได้แก่ กรดไฮโดรคลอริก และกรดไนตริก ที่อุณหภูมิ 3 ระดับ ได้แก่ 80 90 และ 100 องศาเซลเซียส และเวลาที่ใช้ในการสกัด 3 ระยะ ได้แก่ 30 60 และ 90 นาที นำมาวิเคราะห์หาปริมาณ Degree of esterification (DE) ดังแสดงในตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 การวิเคราะห์ปริมาณ Degree of esterification (%) ของเพคตินที่สกัดจากกะหล่ำปลี

		Degree of esterification (%)	
Temperature (^{0}C)	Time (M)	HCl (1N)	HNO_3 (1N)
80	30	52.35±0.21^{d}	53.17±0.01^{b}
	60	51.65±0.12^{f}	52.42±0.00^{d}
	90	59.14±0.09^{a}	53.01±0.20^{c}
90	30	52.33±0.20^{d}	53.33±0.07^{b}
	60	52.34±0.13^{d}	52.21±0.04^{d}
	90	51.99±0.11^{e}	51.89±0.03^{e}
100	30	Ns	Ns
	60	Ns	Ns
	90	Ns	Ns

หมายเหตุ* $^{a-f}$ ตัวอักษรที่กำกับที่แตกต่างกันตามแนวตั้งเดียวกันแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

จากตารางที่ 4.9 พบว่าปริมาณ Degree of esterification (DE) ที่สกัดจากเพคตินกะหล่ำปลีจะมีค่ามากกว่า 50 % ทุกชุดการทดลอง เพคตินที่สกัดด้วยกรดไฮโดรคลอริก อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส และที่เวลา 90 นาที จะมีปริมาณ DE สูงที่สุด เท่ากับ 59.14±0.09 % แต่เมื่อเทียบกับเพคตินที่สกัดด้วยกรดไนตริกที่อุณหภูมิและเวลาเดียวกัน จะมีปริมาณ DE เพียง 53.01±0.20 และจะมีค่ามากสุดเมื่อทำการสกัดที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที จะมีปริมาณ DE เท่ากับ 53.33±0.07 การสกัดเพคตินจากกะหล่ำปลีที่สกัดด้วยกรดทั้ง 2 ชนิดจะมีปริมาณ DE ใกล้เคียงกัน ส่วนปริมาณ DE ที่สกัดด้วยกรดทั้ง 2 ชนิดที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ไม่สามารถวิเคราะห์หาปริมาณ DE ได้ทุกชุดการทดลอง แสดงดังภาพที่ 4.5



ภาพที่ 4.5 ปริมาณ Degree of esterification ของเพคตินที่สกัดจากกะหล่ำปลีที่สภาวะต่าง ๆ

หมายเหตุ : T1t1 = อุณหภูมิที่ 80 องศาเซลเซียส 30 นาที , T1t2 = อุณหภูมิที่ 80 องศาเซลเซียส 60 นาที
T1t3 = อุณหภูมิที่ 80 องศาเซลเซียส 90 นาที , T2t1 = อุณหภูมิที่ 90 องศาเซลเซียส 30 นาที
T2t2 = อุณหภูมิที่ 90 องศาเซลเซียส 60 นาที , T2t3 = อุณหภูมิที่ 90 องศาเซลเซียส 90 นาที
T3t1 = อุณหภูมิที่ 100 องศาเซลเซียส30 นาที, T3t2 = อุณหภูมิที่ 100 องศาเซลเซียส60 นาที
T3t3 = อุณหภูมิที่ 100 องศาเซลเซียส 90 นาที

4.3.6 การหาความบริสุทธิ์ของเพคติน

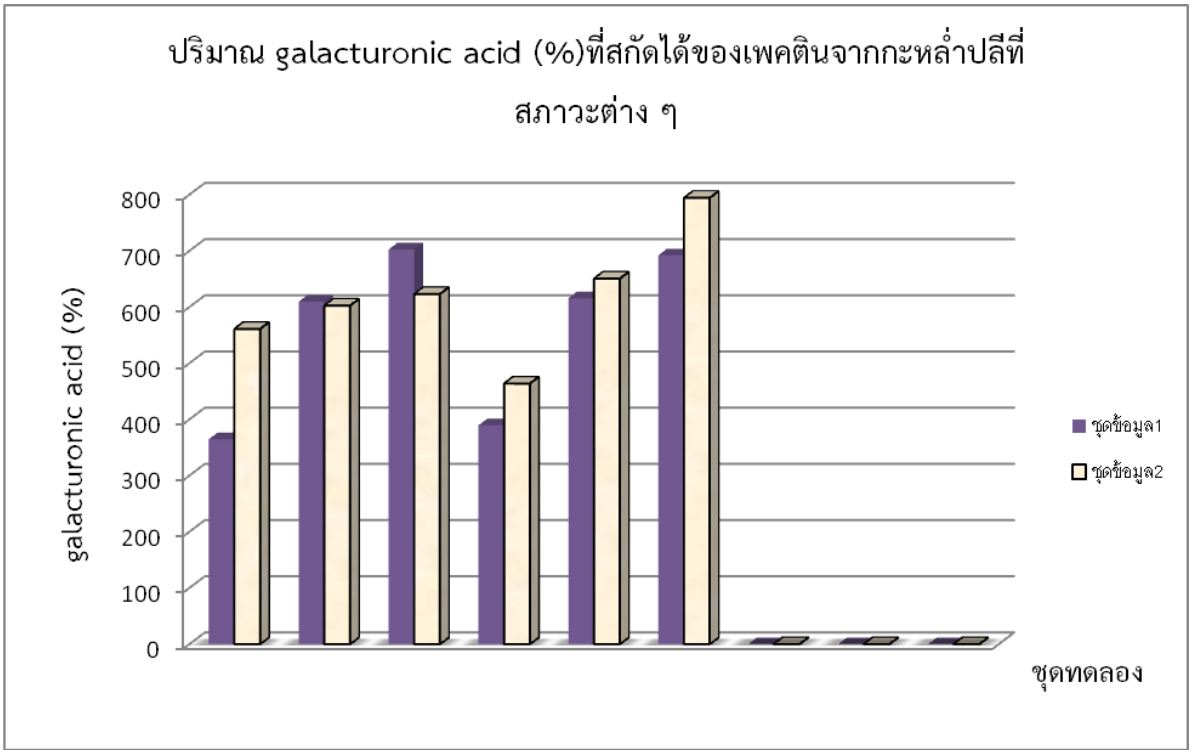
การหาความบริสุทธิ์ของเพคตินจะวิเคราะห์ในรูปของกรดการแลคทูโรนิก โดยเปรียบเทียบเพคตินจากกะหล่ำปลีที่สกัดด้วยกรดทั้ง 2 ชนิด อุณหภูมิ 3 ระดับ และเวลาในการสกัด 3 ระยะ นำมาไตเตรทกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ โดยใช้เมธิลเรดเป็นอินดิเคเตอร์ แล้วจึงนำมาคำนวณหาเปอร์เซ็นต์มิลลิกรัมของกรดกาแลคทูโรนิก ดังแสดงในตารางที่ 4.10

ตารางที่ 4.10 การวิเคราะห์ปริมาณ galacturonic acid (%) ของเพคตินที่สกัดจากกะหล่ำปลี

		galacturonic acid (%)	
Temperature (^{0}C)	Time (M)	HCl (1N)	HNO_3 (1N)
80	30	364.58±0.56^{i}	560.95±1.28^{f}
	60	609.41±1.63^{df}	602.36±1.12^{df}
	90	702.32±1.12^{b}	623.06±1.68^{cdf}
90	30	389.49±1.48^{h}	463.74±1.48^{g}
	60	615.62±1.48^{df}	650.56±0.56^{bcd}
	90	691.97±0.97^{bc}	794.19±0.74^{a}
100	30	Ns	Ns
	60	Ns	Ns
	90	Ns	Ns

หมายเหตุ* $^{a-f}$ ตัวอักษรที่กำกับที่แตกต่างกันตามแนวตั้งเดียวกันแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

จากตารางที่ 4.10 พบว่าปริมาณ galacturonic acid (%) ที่สกัดจากเพคตินกะหล่ำปลีด้วยกรดไนตริก อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส และที่เวลา 90 นาที จะมีปริมาณ galacturonic acid สูงที่สุด เท่ากับ 794.19±0.74 % แต่เมื่อเทียบกับเพคตินที่สกัดด้วยกรดไฮโดรคลอริกที่อุณหภูมิและเวลาเดียวกัน จะมีปริมาณ galacturonic acid เพียง 691.97±0.97 และจะมีค่ามากสุดเมื่อทำการสกัดที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 90 นาที จะมีปริมาณ galacturonic acid เท่ากับ 702.32±1.12 การสกัดเพคตินจากกะหล่ำปลีที่สกัดด้วยกรดทั้ง 2 ชนิดจะมีปริมาณ DE ใกล้เคียงกัน ส่วนปริมาณ DE ที่สกัดด้วยกรดทั้ง 2 ชนิดที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ไม่สามารถวิเคราะห์หาปริมาณ DE ได้ทุกชุดการทดลอง แสดงดังภาพที่ 4.6



ภาพที่ 4.6 ปริมาณ galacturonic acid (%) ของเพคตินที่สกัดจากกะหล่ำปลีที่สภาวะต่าง ๆ

หมายเหตุ : T1t1 = อุณหภูมิที่ 80 องศาเซลเซียส 30 นาที , T1t2 = อุณหภูมิที่ 80 องศาเซลเซียส 60 นาที
T1t3 = อุณหภูมิที่ 80 องศาเซลเซียส 90 นาที , T2t1 = อุณหภูมิที่ 90 องศาเซลเซียส 30 นาที
T2t2 = อุณหภูมิที่ 90 องศาเซลเซียส 60 นาที , T2t3 = อุณหภูมิที่ 90 องศาเซลเซียส 90 นาที
T3t1 = อุณหภูมิที่ 100 องศาเซลเซียส30 นาที, T3t2 = อุณหภูมิที่ 100 องศาเซลเซียส60 นาที
T3t3 = อุณหภูมิที่ 100 องศาเซลเซียส 90 นาที

4.3.7 การแบ่งเกรดของเพคติน

จากการวิเคราะห์ระดับของเอสเทอริฟิเคชั่น (Degree of esterification) ของเพคตินทีสกัดได้จากกะหล่ำปลี นำมาใช้ในการแบ่งเกรดของเพคติน ดังแสดงในตารางที่ 4.9 พบว่าเพคตินที่สกัดได้จะมีค่า Degree of esterification มากกว่า 50% ทุกชุดการทดลอง ซึ่งจัดเพคตินที่สกัดได้จากกะหล่ำปลีเป็นแบบ High methoxyl pectih (HM) ชนิดเกิดเจลได้ช้ามาก (Extra slow set pectin) ซึ่งมีค่า % DE ตั้งแต่ 50 – 59% และมีความบริสุทธิ์ของเพคตินค่อนข้างสูงโดยดูได้จากผลการวิเคราะห์หาปริมาณกรดกาแลคทูโรนิก ดังแสดงในตารางที่ 4.10

4.4 ผลการศึกษาต้นทุนการสกัดเพคติน

จากการสกัดเพคตินจากกะหล่ำปลีจากพื้นที่ภูทับเบิก ตำบลวังบาล อำเภอหล่มเก่า จังหวัดเพชรบูรณ์ ซึ่งเป็นพื้นที่ที่มีการเพาะปลูกกะหล่ำปลี พันธุ์สีเขียว มากเป็นที่สุดในจังหวัดเพชรบูรณ์ จึงมีกะหล่ำปลีที่ได้จากการเก็บเกี่ยวปริมาณมาก และมีของเหลือทิ้งจากการเก็บเกี่ยวกะหล่ำปลีเป็นเศษกะหล่ำปลีที่เป็นเปลือกนอกสุดจำนวนมาก เนื่องจากก่อนที่จะมีการจัดจำหน่ายจะมีขั้นตอนในการคัดเลือกและตัดแต่งเอาส่วนที่เป็นตำหนิออกโดยเฉพาะกาบใบกะหล่ำปลีที่อยู่นอกสุดออกเป็นจำนวนมาก ดังนั้นจึงมีการวิจัยเพื่อเพิ่มมูลค่าของเหลือทิ้งทางการเกษตรเป็นผลิตภัณฑ์เพคตินในเชิงการค้าซึ่งเป็นแนวทางหนึ่งในการลดการนำเข้าของเพคตินจากต่างประเทศอีกด้วย

ตารางที่ 4.11 ต้นทุนการสกัดเพคตินจากกะหล่ำปลี

ต้นทุนการสกัดเพคติน	**จำนวนเงิน (บาท/กะหล่ำปลี 1000 กรัม)**	
	กรดไฮโดรคลอริก	**กรดไนตริก**
กะหล่ำปลี	6	6
เอทิลแอลกอฮอล์	460	460
กรด	200	111
ค่าไฟ		
- Hot plate	2.27	2.27
- Water bath	5.12	5.12
- Hot air oven	176.03	176.03
รวม	**849.42**	**760.42**

หลังจากมีการสกัดเพคตินจากกะหล่ำปลีได้มีการนำมาศึกษาคำนวณหาต้นทุนการผลิตเพคติน พบว่าในการสกัดเพคตินได้ใช้ตัวอย่างกะหล่ำปลี 1000 กรัม ด้วยกรดไฮโดรคลอริก และกรดไนตริก จะสามารถสกัดเพคตินได้ 158 และ 120 กรัม ตามลำดับ โดยการคำนวณต้นทุนในการสกัดเพคตินคิดจากค่าวัตถุดิบ ค่าสารเคมีที่ใช้ในการสกัด และค่าไฟฟ้าจากอุปกรณ์ไฟฟ้า (แสดงรายละเอียดการคำนวณที่ภาคผนวก ข) ซึ่งจากการคำนวณต้นทุนการผลิตเพคตินด้วยกรดไฮโดรคลอริก และกรดไนตริก จะมีค่าเท่ากับ 849.42 และ 760.42 บาทต่อกะหล่ำปลี 1000 กรัม ดังตารางที่ 4.111

ตารางที่ 4.12 เปรียบเทียบราคาเพคตินที่สกัดจากกะหล่ำปลีกับเพคตินสำเร็จรูปเชิงทางการค้า

เพคติน	**ราคา (บาท/เพคติน 1 กิโลกรัม)**
เพคตินที่สกัดด้วยกรดไฮโดรคลอริก	5376.08
เพคตินที่สกัดด้วยกรดไนตริก	6336.83
เพคตินสำเร็จรูปเชิงการค้า เกรด 150	880.00

จากตารางที่ 4.12 แสดงการเปรียบเทียบราคาเพคตินที่สกัดจากกะหล่ำปลีที่สกัดด้วยกรดทั้ง 2 ชนิด เทียบกับเพคตินสำเร็จรูปในเชิงการค้า พบว่าเพคตินที่สกัดจากกะหล่ำปลีมีราคาสูงกว่าเพคตินสำเร็จรูปเชิงการค้า และเพคตินที่สกัดด้วยกรดไฮโดรคลอริกจะมีต้นทุนต่อหน่วยถูกกว่าการสกัดด้วยกรดไนตริก เนื่องจากในกระบวนการสกัดเพคตินจากกะหล่ำปลีมีต้นทุนการผลิตสูงมากทั้งนี้เป็นผลมาจากสารเคมีที่ใช้ในขั้นตอนการสกัดและตกตะกอนใช้ปริมาณเอทิลแอลกอฮอล์ปริมาณมาก และระยะเวลาในการสกัดและการอบแห้งใช้เวลานานจึงทำให้สิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าเป็นจำนวนมากอีกทั้งปริมาณเพคตินที่สกัดได้มีปริมาณน้อยจึงมีผลทำให้ต้นทุนการสกัดเพคตินมีราคาค่อนข้างสูงจึงไม่คุ้มทุนในการผลิต

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาสารสกัดเพคตินจากกะหล่ำปลี (*Brassica oleracea* L. var *capitata* L.) ภูทับเบิก ตำบลวังบาล อำเภอหล่มเก่า จังหวัดเพชรบูรณ์ ที่สกัดด้วยกรด 2 ชนิด ได้แก่ กรดไฮโดรคลอริก และกรดไนตริก ที่อุณหภูมิ 3 ระดับ ได้แก่ 80 90 และ 100 องศาเซลเซียส และระยะเวลาในการสกัดเพคตินมี 3 ระยะ คือ 30 60 และ 90 นาที โดยนำเพคตินที่สกัดได้มาทำการศึกษาวิเคราะห์คุณ สมบัติทางกายภาพ ทางเคมี และศึกษาต้นทุนการสกัดเพคตินเพื่อดูจุดคุ้มทุนในการผลิตเพคตินจากกะหล่ำปลี

5.1 การศึกษาวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ (Physical Properties)

จากการศึกษาปริมาณน้ำหนักแห้ง ความสามารถในการละลาย การตกตะกอน และลักษณะทั่วไปของเพคตินที่สกัดจากกะหล่ำปลีด้วยกรด 2 ชนิด ได้แก่ กรดไฮโดรคลอริก (HCl) และกรดไนตริก (HNO_3) พบว่ากรดไฮโดรคลอริกจะมีปริมาณน้ำหนักแห้งของเพคตินมากกว่าเพคตินที่สกัดด้วยกรดไนตริก ปริมาณน้ำหนักแห้งของเพคตินที่สกัดด้วยกรดทั้ง 2 ชนิดได้ปริมาณมากที่สุดต้องทำการสกัดในสภาวะที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 90 นาที ซึ่งจะมีปริมาณน้ำหนักแห้ง เท่ากับ 0.79 กรัมต่อกะหล่ำปลี 5 กรัม หรือประมาณร้อยละ 15.8 และ 0.60 กรัม หรือประมาณร้อยละ 12 ตามลำดับ และยิ่งอุณหภูมิยิ่งสูงและใช้เวลาในการสกัดที่นานขึ้นจะช่วยในการสกัดเพคตินให้มีปริมาณที่สูงขึ้นตามลำดับ

เพคตินที่สกัดได้นำมาเปรียบเทียบกับเพคตินสำเร็จรูปในเชิงการค้า เกรด 150 พบว่าเพคตินจากกะหล่ำปลีจะมีลักษณะเป็นของแข็งสีขาวขุ่น จนถึงสีเหลือง มีกลิ่นที่ค่อนข้างเป็นกรดเนื่องจากใช้กรดแก่ในการสกัด ส่วนความสามารถในการละลาย และความสามารถในการตกตะกอนของเพคตินมีลักษณะใกล้เคียงกับเพคตินทางการค้า เพคตินที่สกัดด้วยกรดไนตริกจะละลายน้ำได้ดี มีความหนืด และตกตะกอนได้ปานกลาง เกิดเจลที่มีลักษณะอ่อนสีใส มากกว่าเพคตินที่สกัดด้วยกรดไฮโดรคลอริก และพบว่าเมื่อใช้อุณหภูมิในการสกัดสูงขึ้นมีผลทำให้การเกิดเจลเพิ่มมากขึ้น ในการเกิดเจลจะต้องมีปริมาณกรดที่เหมาะสมเพราะสายเพคตินจะถูกดึงน้ำออก มีผลทำให้แรงระหว่างพันธะลดลง และอุณหภูมิในการเกิดเจลก็จะเพิ่มมากขึ้น (May, 1977) สารประกอบเพคตินเป็นสารประกอบคาร์โบไฮเดรตเช่นเดียวกับแป้ง ไกลโคเจน และเซลลูโลส มีคุณสมบัติพิเศษ คือ มีความสามารถในการละลายน้ำเนื่องจากเพคตินเป็นสารที่มีขั้วจึงละลายน้ำได้ดี แต่ไม่สามารถละลายในเอทิลแอลกอฮอล์ซึ่งเป็นตัวทำละลายอินทรีย์ที่มีสภาพขั้วน้อยกว่าจึงเป็นผลทำให้เพคตินเกิดการตกตะกอนได้เมื่อนำไปละลายในเอทิลแอลกอฮอล์ การละลายของเพคตินจะลดลงเมื่อมีค่า degree of esterification เพิ่มขึ้น และเมื่อเพคตินละลายน้ำจะพองตัวเป็นเจลทำหน้าที่เป็นสารก่อสภาพเจล (gelling agent) สารเพิ่มความเข้มข้นของของเหลว (thickness) และสารให้ความคงตัว (stabilizer) (นิธิยา, 2545)

5.2 การศึกษาวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมี (Chemical Properties)

จากการศึกษาเพคตินที่สกัดได้จากกะหล่ำปลีโดยศึกษาสภาวะต่าง ๆ ที่ใช้ในการสกัด ได้แก่ ชนิดของกรดที่ใช้ในการสกัด 2 ชนิด คือ กรดไฮโดรคลอริก (HCl) และกรดไนตริก (HNO_3) อุณหภูมิที่ใช้ในการสกัด 3 ระดับ คือ 80 90 และ 100 องศาเซลเซียส และระยะเวลาที่ใช้ในการสกัด 3 ระยะ คือ 30 60 และ 90 นาที เมื่อสิ้นสุดขั้นตอนการตกตะกอนแล้วอบแห้งแล้ว นำผงเพคตินที่สกัดได้มาทำการวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี พบว่าเพคตินจากกะหล่ำปลีที่สกัดด้วย HCl 1 N ปริมาณร้อยละผลผลิตที่ได้ 0.60±0.28 – 15.80±0.57 ปริมาณความชื้นร้อยละ 1.00±0.47 – 26.33±0.94 ปริมาณเมธอกซีร้อยละ 3.24±0.06 - 6.44±0.05 น้ำหนักสมมูล 808.19±1.51 – 1260.51±3.66 ปริมาณ DE ร้อยละ 51.65±0.12 - 59.14±0.09 และมิลลิกรัมของกรดกาแลกทูโรนิกร้อยละ 364.58±0.56 - 702.32±1.12 และเพคตินจากกะหล่ำปลีที่สกัดด้วย HNO_3 1 N จะมีปริมาณร้อยละผลผลิตที่ได้ , ร้อยละความชื้น , ปริมาณเมธอกซี , น้ำหนักสมมูล , เปอร์เซ็นต์ DE และมิลลิกรัมของกรดกาแลกทูโรนิก (%) มีค่าเท่ากับ 0.70±0.14 – 12.00±0.57 , 1.17±0.23 – 20.00±0.95 , 4.12±0.02 – 7.44±0.02 , 432.03±0.43 – 900.36±1.87 , 51.89±0.03 – 53.33±0.07 , 463.74±1.48 – 794.19±0.74 ตามลำดับ ซึ่งเพคตินที่สกัดได้ มีความแตกต่างกันนั้น ขึ้นอยู่กับชนิด และความเข้มข้นของกรดที่ใช้ในการสกัด และสภาวะที่ใช้ในการสกัด เช่น อุณหภูมิ เวลา รวมถึงลักษณะของวัตถุดิบที่นำมาสกัดเพคติน เช่น ความแก่ - อ่อน ชนิดพันธุ์ของผักและผลไม้

เพคตินที่สกัดจากกะหล่ำปลีจะมีร้อยละผลผลิตที่ได้ (yield) สูงที่สุดเมื่อทำการสกัดด้วยกรดไฮโดรคลอริก เมื่อทำการสกัดที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 90 นาที มีปริมาณผลผลิตร้อยละ 15.80±0.57 รองลงมา คือ เพคตินที่สกัดด้วยกรดไนตริกที่สภาวะเดียวกัน มีปริมาณผลผลิตเท่ากับ 12.00±0.57 และพบว่าเมื่อมีการใช้อุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการสกัดเพิ่มขึ้นมีผลทำให้ปริมาณผลผลิตเพิ่มขึ้นตามลำดับ แต่ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสพบว่าปริมาณผลผลิตมีเพียงเล็กน้อย เนื่องจากความร้อนและอุณหภูมิสูงส่งผลทำให้โครงสร้างของเพคตินถูกทำลายได้

ปริมาณความชื้นของ เพคตินที่สกัดได้มีความชื้นอยู่ระหว่าง 1.00±0.47 ถึง 26.33±0.94 เพคตินที่สกัดด้วยกรดไฮโดรคลอริกมีความชื้นสูงที่สุด เมื่อทำการสกัดที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส และใช้เวลาในการสกัดทั้งหมด 90 วินาที มีความชื้นเท่ากับ 26.33±0.94 ส่วนเพคตินที่สกัดด้วยกรดไนตริกจะมีปริมาณความชื้นสูงสุดที่สภาวะเดียวกันกับกรดไฮโดรคลอริก มีความชื้นเท่ากับ 20.00±0.95

สำหรับ ปริมาณ methoxyl ของเพคตินที่สกัดด้วยกรดไนตริกจะมีปริมาณสูงที่สุด ณ อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 90 นาที มีปริมาณ methoxyl 7.44±0.02 % ที่ รองลงมา คือ เพคตินที่สกัดด้วยกรดไฮโดรคลอริกที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส 90 นาที จะมีปริมาณ methoxyl เท่ากับ 6.44±0.05 % ส่วนปริมาณ methoxyl ที่สกัดด้วยกรดทั้ง 2 ชนิด ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ไม่สามารถวิเคราะห์ได้ และพบว่าที่อุณหภูมิเดียวกันแต่ระยะเวลาในการสกัดต่างกันจะมีผลทำให้ปริมาณ methoxyl ที่ได้ต่างกัน โดยพบว่าเมื่อระยะเวลาในการสกัดเพิ่มขึ้นมีผลทำให้ปริมาณ methoxyl เพิ่มขึ้นตามลำดับ

น้ำหนักสมมูลที่มีค่าสูงที่สุด คือ เพคตินที่สกัดด้วยกรดไฮโดรคลอริก และกรดไนตริก อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส และที่เวลา 90 นาที มีค่าเท่ากับ 26.33±0.94 และ 20.00±0.95 มิลลิลิกรัม ตามลำดับ เมื่อเทียบกับเพคตินที่สกัดด้วยกรดไนตริกที่อุณหภูมิและเวลาเดียวกันกับการสกัดด้วยกรดไฮโดรคลอริกก็พบว่ามีน้ำหนักสมมูลสูงที่สุดเช่นกัน พบว่าเมื่อระยะเวลาในการสกัดเพิ่มขึ้นมีผลทำให้น้ำหนักสมมูลเพิ่มขึ้นตามลำดับ ซึ่งมีความสัมพันธ์กับปริมาณของกรด polygalacturonic บริสุทธิ์ (Ranganna,1997)

ปริมาณ Degree of esterification (DE) ที่สกัดจากเพคตินกะหล่ำปลีด้วยกรดทั้ง 2 ชนิดจะมีค่ามากกว่า 50 % เพคตินที่สกัดด้วยกรดไฮโดรคลอริก อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 90 นาที จะมีปริมาณ % DE สูงที่สุด เท่ากับ 59.14±0.09 % แต่เมื่อเทียบกับเพคตินที่สกัดด้วยกรดไนตริกที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที จะมีค่ามากสุด เท่ากับ 53.33±0.07 การสกัดเพคตินจากกะหล่ำปลีที่สกัดด้วยกรดทั้ง 2 ชนิดจะมีปริมาณ DE ใกล้เคียงกัน ระดับเอสเทอริฟิเคชั่นเป็นปัจจัยที่บ่งชี้คุณภาพของเพคตินเช่นเดียวกับปริมาณเมธอกซี ค่า DE จึงสัมพันธ์กับปริมาณเมทอกซีที่มีอยู่ในเพคติน (Thakur et al.,1997) ค่า DE ตั้งแต่ 50% ขึ้นไปหรือมีปริมารเมธอกซีตั้งแต่ 7 % ขึ้นไปจัดเป็นเพคตินชนิด HMP ส่วนค่า DE ต่ำกว่า 50% หรือมีปริมาณเมธอกซีต่ำกว่า 7% จัดเป็นเพคตินชนิด LMP (Beda M. Yapoo,2008)

ส่วนปริมาณ galacturonic acid (%) ที่สกัดจากเพคตินกะหล่ำปลีด้วยกรดไนตริก อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส และที่เวลา 90 นาที จะมีปริมาณ galacturonic acid สูงที่สุด เท่ากับ 794.19±0.74 % แต่เมื่อเทียบกับเพคตินที่สกัดด้วยกรดไฮโดรคลอริกที่อุณหภูมิและเวลาเดียวกัน จะมีปริมาณ galacturonic acid เพียง 691.97±0.97 และจะมีค่ามากสุดเมื่อทำการสกัดที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 90 นาที จะมีปริมาณ galacturonic acid เท่ากับ 702.32±1.12 เพคตินที่สกัดได้จะมีความบริสุทธิ์มากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปริมาณกรดกาแลคทูโรนิก

จากการวิเคราะห์ปริมาณ methoxyl และระดับของเอสเทอริฟิเคชั่น (Degree of esterification) ของเพคตินทีสกัดได้จากกะหล่ำปลี นำมาใช้ในเป็นเกณฑ์ในการแบ่งเกรดของเพคติน ดังแสดงในตารางที่ 4.7 และ 4.9 พบว่าเพคตินที่สกัดได้จะมีปริมาณเมธอกซี มากกว่า 7% ซึ่งมีค่ามากที่สุด 7.44% และค่า Degree of esterification มากกว่า 50% ซึ่งสามารถจัดเพคตินที่สกัดได้จากกะหล่ำปลีเป็นแบบ High methoxyl pectih (HM) ชนิดเกิดเจลได้ช้ามาก (Extra slow set pectin) ซึ่งจะมีปริมาณเมธอกซีมากกว่าร้อยละ 7 ซึ่งสอดคล้องกับระดับของ DE ที่ต้องมี % DE มากกว่า 50 % เรียกว่า rapid set และไม่สามารถเกิดเจลได้ถ้าไม่มีน้ำตาลในปริมาณสูง จึงเหมาะสำหรับทำแยมและเยลลี่ ส่วนการบ่งบอกถึความ บริสุทธิ์ของเพคตินค่อนข้างสูงโดยดูได้จากผลการวิเคราะห์หาปริมาณกรดกาแลคทูโรนิก เนื่องจากโครงสร้างหลักของเพคตินซึ่งเป็นโพลีแซ็คคาไรด์จะมีส่วนประกอบหลักเป็นกรดกาแลคทูโรนิกเป็นหน่วยย่อย ๆ กล่าวคือ เพคตินที่นำมาสลายพันธะแล้วพบว่ามีปริมาณกรดกาแลคทูโรนิกในปริมาณที่สูงนั้นบ่งบอกว่าสารนั้นเป็นโครงสร้างของเพคติน อีกทึ้งปริมาณ และความบริสุทธิ์ของเพคตินที่สกัดได้จะขึ้น อยู่กับชนิดของผัก ความแก่อ่อน พันธุ์ของผลไม้อีกด้วย

5.3 การศึกษาต้นทุนการสกัดเพคติน

การคำนวณต้นทุนการสกัดเพคตินต่อหน่วยเพื่อเป็นการศึกษาจุดคุ้มทุนในการผลิต โดยการสกัดเพคตินจากกะหล่ำปลีในครั้งนี้ใช้ตัวอย่างกะหล่ำปลี 1000 กรัม สามารถผลิตเพคตินได้ 120 - 158 กรัม และเมื่อนำมาคำนวณหาต้นทุนในการสกัดเพคตินคิดจากค่าวัตถุดิบ ค่าสารเคมีที่ใช้ในการสกัด และค่าไฟฟ้าจากอุปกรณ์ไฟฟ้า จะมีค่าใช้จ่ายโดยเฉลี่ย 760.42 - 849.42 บาทต่อกะหล่ำปลี 1000 กรัม และเมื่อทำการเปรียบเทียบราคาเพคตินที่สกัดจากกะหล่ำปลีที่สกัดด้วยกรดทั้ง 2 ชนิด เทียบกับเพคตินสำเร็จรูปในเชิงการค้า เกรด 150 พบว่าเพคตินที่สกัดจากกะหล่ำปลีมีราคาสูงกว่าเพคตินสำเร็จรูปเชิงการค้า และเพคตินที่สกัดด้วยกรดไฮโดรคลอริกจะมีต้นทุนต่อหน่วยถูกกว่าการสกัดด้วยกรดไนตริก เนื่องจากในกระบวนการสกัดเพคตินจากกะหล่ำปลีมีต้นทุนการผลิตสูงมากทั้งนี้เป็นผลมาจากสารเคมีที่ใช้ในขั้นตอนการสกัดและตกตะกอนใช้ปริมาณเอทิลแอลกอฮอล์ปริมาณมาก และระยะเวลาในการสกัดและการอบแห้งใช้เวลานานจึงทำให้สิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าเป็นจำนวนมากอีกทั้งปริมาณเพคตินที่สกัดได้มีปริมาณน้อยจึงมีผลทำให้ต้นทุนการสกัดเพคตินมีราคาค่อนข้างสูงจึงไม่คุ้มทุนในการผลิต

5.4 ข้อเสนอแนะ

1. ควรปรับวิธีการสกัดเพคตินให้มีคุณภาพดีขึ้น เช่น ปรับอัตราส่วนเอทิลแอลกอฮอล์ให้มีอัตราส่วนที่น้อยลงเพื่อลดค่าใช้จ่ายในขั้นตอนการสกัดและการตกตะกอน

3. ควรศึกษาการประยุกต์ใช้เพคติน และการแปรสภาพเพคติน ให้มีหลากหลายวิธีเพื่อนำไปประยุกต์ในอุตสาหกรรมต่างๆ ได้

4. ควรศึกษาปริมาณเพคตินจากผักพื้นเมืองของประเทศไทย เพื่อให้เป็นข้อมูลในการใช้ประโยชน์จากทรัพยากรอย่างคุ้มค่า

5. ควรนำข้อมูลที่ได้ไปต่อยอดในการศึกษาการผลิตพลาสติกชีวภาพจากของเหลือทิ้งทางการเกษตรในท้องถิ่น

บรรณานุกรม

กนกพร สังขรักษ์ และเจนจิรา โตะแบ. (2552). *เพคตินจากเศษผักกาดขาวและการประยุกต์ใช้.* วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

กุลยา โอตากะ ทะยานรุ่ง เหลือสินทรัพย์ และพิทยา สีสด. (มปป). *เคมีเบื้องต้น.* ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง.

ขนิษฐา เลิกชัยภูมิ. (2545). *ปัจจัยที่มีผลต่อการสกัดเพคตินจากเนื้อเยื่อพืช.* มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

ขนิษฐา เลิกชัยภูมิ. (2545). *การสกัดเพคตินจากสัมมะงั่วและการใช้ประโยชน์ในระบบอาหาร.* วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. สาขาวิชาเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

จิตโสภิญ กะสงค์. (2543). *การสกัดเพคตินจากมะขามหวานในจังหวัดเพชรบูรณ์.* รายงานโครงการวิจัยวิทยาศาสตรบัณฑิต สถาบันราชภัฏเพชรบูรณ์.

ฉัตรชัย สังข์ผุด จีราภรณ์ สังข์ผุด และนพรัตน์ ผาสุข. (2548). *คุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของเพคตินผงที่สกัดจากผลส้มโอ.* วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

ชวนิฎฐ์ สิทธิดิลกรัตน์ พิลาณี ไวถนอมสัตย์ จิราพร เชื้อกูล และปริศนา สิริอาชา. (2548). *การผลิตเพคตินจากเปลือกและกากผลส้มเหลือทิ้ง.* สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตผลทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ณรงค์ ศิขิรัมย์ และเมธินี เห่วซึ่งเจริญ. (2546). *การสกัดและสมบัติของเพคตินจากกากฝรั่งพันธุ์กลมสาลี่* . โครงการวิจัย สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

ธนิสรา ยศวิทย์ (2008). *การศึกษากระบวนการสกัดเพคตินจากใบเครือหมาน้อยและการนำไปใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมอาหาร.* วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาการพัฒนาอาหารและโภชนาการ มหาวิทยาลัยมหิดล.

ธานุวัฒน์ ลาภตันศุภผล ปฏิมา ทองขวัญ และศิริลักษณ์ สรงพรมทิพย์. (2556). *การสกัดเพคตินจากเปลือกผัก และผลไม้.* วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร. 44(2)(พิเศษ). 433 – 436.

นิธิยา รัตนาปนนท์. (2545). *เคมีอาหาร.* ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

ปริยา สุขเกษม. (2549). *การสกัดและคุณสมบัติของเพคตินจากเปลือกเสาวรส* . โครงการวิจัยคณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ปาริษา ทองสุข ศิริพร เพชรมูล สุวิมล ประสม วีรยุทธ บุญไทย และปุณฑริกา รัตนตรัยวงศ์. (2551). *กรรมวิธีการสกัดและการเพิ่มประสิทธิภาพการสกัดเพคตินจากเปลือกส้มโอเพื่อประโยชน์เชิงพาณิชย์.* วารสารวิทยาศาสตร์การเกษตร. 39(3)(พิเศษ). 571 – 577.

พรประภา ชุนถนอม กรรณิการ์ สมบุญ สุดารัตน์ สกุลคู และอรนุช สีหามาลา. (2556). *ผลของวิธีการสกัดต่อคุณภาพของเพคตินจากใบหมาน้อยในเทือกเขาภูพาน.* วารสารแก่นเกษตร. 41 ฉบับพิเศษ1. 556 – 562.

พวงทอง ใจสันติ์ จิตรา กลิ่นหอม และอัจฉรา เทียมภักดี. (2541). *การทดสอบการใช้เพคตินที่สกัดได้จากเปลือกเสาวรสในการผลิตแยม.* คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

พันธุ์เลิศ พรหมสาขา ณ สกลนคร อนุวัตร แจ้งขัด และกมลวรรณ แจ้งขัด. (2554). *การพัฒนากระบวนการผลิตเพคตินจากใบเครือหมาน้อย.* การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 49. สาขาอุตสาหกรรมเกษตร กรุงเทพฯ.

พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิธิยา รัตนาปนนท์. *เพคติน.* ศูนย์เครือข่ายข้อมูลอาหารครบวงจร. สืบค้นเมื่อวันที่ 20 ธันวาคม พ.ศ. 2556. http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/0430/pectin

ราชบัณฑิตสถาน. (2538). *อนุกรมวิธานพืช อักษร ก*. กรุงเทพมหานคร. เพื่อนพิมพ์.

ลำดวน เหลือจาด และวัลภา สระทองอ้อย. (2547). *เพคตินจากมะตูม.* วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาเคมี มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์.

วาสนา อ่อนหวาน. (2534). *การศึกษาจลนศาสตร์ในการสกัดเพคตินจากเปลือกเสาวรส* . วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

ศศิวิมล แสวงผล เชฏฐ์ สาทรกิจ และหยา เจนจิตติกุล. (2546). *สารานุกรมผลิตผลและผลิตภัณฑ์จากพืชในซุปเปอร์มาร์เก็ต ฉบับคอมพิวเตอร์* . สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย และภาควิชาพฤกศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล.

สมฤทัย จิตภักดีบดินทร์ และอมราวดี จางวาง. (2552). *เพคตินจากเปลือกมะนาว.* การประชุมวิชาการและเสนอผลงานวิจัยมหาวิทยาลัยทักษิณ ครั้งที่ 19. สาขาเทคโนโลยีเภสัชกรรม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

สุธิดา ทองคำ และพูนศิริ ทิพย์เนตร. (2555). *การสกัดเพคตินจากจาวตาล.* วารสารวิทยาศาสตร์ แห่งมหาวิทยาลัยเพชรบุรี. 9(1). 3 – 11.

สุระ สุพแม. (2533). *การสกัดเพคตินจากใบบัวโคก (STEPHANIA ERECTA LOUR.)* .วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาชีววิทยามหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒวิทยาเขตมหาสารคาม.

องอาจ เด็ดดวง. (2553). *การเปรียบเทียบเพคตินสกัดจากฝรั่งสามชนิดกับเพคตินมาตรฐาน.* สารนิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเคมี มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.

Agarwal PC. And JS. Pruthit. (1998). *A Study of Factors Governing the Recovery and Quality of Pectin from Fresh Mandarin Orange Waste (Pell and Pomace)*. Indian Food Packer.

AOAC, Official Method of Analysis. (1995). 16th edition, the Association of Official Analytical Chemists, Washington, D.D.

Beda M. Yapo. (2008). *Pectin quantily composition and physicochemical behavior as influenced by the purification process.* Food Research International. 42 : 1197 - 1202.

Kertesz ZI. (1951). *The Pectic Substances*. New York. Interscience Publishers, Inc.

Kintner KP Van Buren PJ. (1982). *Carbohydrate Interference and its Correction in Pectin Analysis Using the m-Hydroxydiphenyl Method*. Journal of Food Science. 756 – 759.

Levigne S., M.C. Ralet and J.F. Thibault. (2001). *Characterisation of pectin extracted from fresh sugar beet under different condition using and experimental design. Carbohydrate Polymers*.

May, C. D. (1997). *Industrial pectins : source , production and application*. Carbohydrate Polymer. 12. 79 – 84.

Michael W. Davidson.(2547). Plant Cell Wall. สืบค้นเมื่อวันที่ 20 ธันวาคม 2556. http://micro.magnet.fsu.edu/cells/plants/cellwall.html.

Ranganna S. (1977). *Manual of Analysis of Fruit and Vegetable Product 2nd ed*. Newdelhi : Tata McGraw Hill Pulblishing Co.

TAPPI Test Metholds. (1998). TAPPI Press. Atlanta, Georgia, USA.

Thakur R. Singh K. Handa K. (1997). *Chemistry and Uses of Pectin.* Critical Review in Food Science and Nutrition. 37(1). 47 – 73.

Xin Wang Quanru Chen and Xin Lu. (2014). *Pectin extracted from apple pomace and citrus peel by subcritical*. Journal of Food Hydrocolloids. 38. 129 – 137.

U. Kalapathy, A. Proctor. (2001). *Effect of acid extraction and alcohol precipitation conditions on the yield and purity of soy hull pectin*. Journal of Food Chemistry. 73. 393 – 396.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

วิธีวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมี (Chemical Qualities)

1. ปริมาณความชื้น (Moisture content)

เครื่องมือ เครื่องชั่งละเอียด 4 ตำแหน่ง ยี่ห้อ Mettler – Toledo รุ่น PE 503 - S

1.1 อบถ้วยครูซิเบิลในตู้อบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียสจนน้ำหนักคงที่

1.2 ชั่งน้ำหนักผงเพคติน 3.0 กรัม ใส่ลงในถ้วยครูซิเบิล

1.3 นำไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส จนกระทั่งน้ำหนักคงที่ นำออกจากตู้อบใส่เก็บในโถแก้วดูดความชื้นจนกระทั่งเย็นจนถึงอุณหภูมิห้อง นำไปชั่งน้ำหนักที่หายไป

1.4 คำนวณหาปริมาณความชื้น (%) ตามสูตร ดังต่อไปนี้

สูตรคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ความชื้น (%)

$$\text{ความชื้น (\%)} = \frac{\text{น้ำหนักก่อนอบ - น้ำหนักหลังอบ}}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)}} \times 100$$

ทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง แล้วนำค่าที่ได้ซึ่งมีความแตกต่างกันไม่เกิน ± 3% นำมาหาค่าเฉลี่ยของความชื้นในตัวอย่าง

2. การหาปริมาณน้ำหนักสมมูลของเพคติน (Equivalent weight)

2.1 การเตรียมสารเคมี

<u>สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) 0.1 นอร์มอล</u>

ชั่งผงโซเดียมไฮดรอกไซด์ จำนวน 4 กรัม นำมาละลายในน้ำกลั่นแล้วปรับปริมาตรให้ครบ 1000 มิลลิลิตร ในขวดปรับปริมาตร

<u>สารละลายฟีนอลเรด (Phenolred) 0.1 % (w/v)</u>

ชั่งผงฟีนอล เรด จำนวน 0.02 กรัม นำมาละลายในน้ำกลั่นแล้วปรับปริมาตรให้ครบ 50 มิลลิลิตร ในขวดปรับปริมาตร

2.2 วิธีการทดลอง

เครื่องมือ ชุดไตเตรทกับ 0.1 N NaOH

2.2.1 ชั่งผงเพคติน 0.5 กรัม ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร

2.2.2 ผสมน้ำกลั่น (DI) ลงในขวดรูปชมพู่ปริมาตร 100 มิลลิลิตร ใช้แท่งแก้วคนให้เพคตินละลาย

2.2.3 เติมโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) 1 กรัม หยดฟีนอลเรด จำนวน 6 หยด เป็นอินดิเคเตอร์ (Indicator)

2.2.4 จากนั้นนำสารละลายไปไตเตรทกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.1 นอร์มอล จนกระทั่งสารละลายถึงจุดยุติ

2.5 คำนวณหาน้ำหนักสมมูล ตามสูตร ดังต่อไปนี้

สูตรคำนวณหาน้ำหนักสมมูล

$$\text{น้ำหนักสมมูล} = \frac{1000 \times S}{N\ V}$$

กำหนดให้ S = น้ำหนักผงเพคตินที่ใช้ (กรัม)

N = จำนวนนอร์มอลิตีของด่างที่ใช้ในการไตเตรท (นอร์มอล)

V = ปริมาตรของด่างที่ใช้ในการไตเตรท (มิลลิลิตร)

3. การหาปริมาณเมธอกซิล (Methoxyl content)

3.1 การเตรียมสารเคมี

สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) 0.25 นอร์มอล

ชั่งผงโซเดียมไฮดรอกไซด์ จำนวน 10 กรัม นำมาละลายในน้ำกลั่นแล้วปรับปริมาตรให้ครบ 1000 มิลลิลิตร ในขวดปรับปริมาตร

กรดไฮโดรคลอริก (HCl) 0.25 นอร์มอล

ปิเปตกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น จำนวน 20.73 มิลลิลิตร ใส่ในขวดปรับปริมาตร แล้วเติมน้ำกลั่นให้ครบ 1000 มิลลิลิตร

3.2 วิธีการทดลอง

เครื่องมือ ชุดไตเตรทกับ 0.1 N NaOH

3.2.1 นำสารละลายที่ผ่านการหาน้ำหนักสมมูล มาเติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.25 นอร์มอล จำนวน 25 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน สารละลายจะเป็นสีม่วง

3.2.2 จากนั้นปิดปากขวดรูปชมพู่ แล้วตั้งทิ้งไว้ประมาณ 30 นาที

3.2.3 เติมสารละลายกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 0.25 นอร์มอล จำนวน 25 มิลลิลิตร เขย่าจนกระทั่งสารละลายเปลี่ยนสีจากสีม่วงเป็นสีเหลือง

3.2.4 นำสารละลายที่ได้ไปไตเตรทด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้น 0.1 นอร์มอล จนกระทั่งถึงจุดยุติ

3.2.5 คำนวณหาปริมาณเมธิกซี (%) ตามสูตร ดังต่อไปนี้

สูตรคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ปริมาณเมธอกซี (%)

$$\text{ปริมาณเมธอกซี (\%)} = \frac{N\ V\ E}{1000\ S} \times 100$$

กำหนดให้ N = จำนวนนอร์มอลิตีของด่างที่ใช้ในการไตเตรท (นอร์มอล)

V = ปริมาตรของด่างที่ใช้ในการไตเตรท (มิลลิลิตร)

E = น้ำหนักสมมูลของเมธอกซี เป็นค่าคงที่ เท่ากับ 31

S = น้ำหนักผงเพคตินที่ใช้ (กรัม)

ทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง แล้วนำค่าที่ได้ซึ่งมีความแตกต่างกันไม่เกิน ± 3% นำมาหาค่าเฉลี่ยของความชื้นในตัวอย่าง

4. การหาความบริสุทธิ์ของเพคติน (Purity of pectin)

4.1 การเตรียมสารเคมี

<u>สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) 0.5 นอร์มอล</u>

ชั่งผงโซเดียมไฮดรอกไซด์ จำนวน 20 กรัม นำมาละลายในน้ำกลั่นแล้วปรับปริมาตรให้ครบ 1000 มิลลิลิตร ในขวดปรับปริมาตร

<u>กรดไฮโดรคลอริก (HCl) 0.5 นอร์มอล</u>

ปิเปตกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น จำนวน 20.73 มิลลิลิตร ใส่ในขวดปรับปริมาตร แล้วเติมน้ำกลั่นให้ครบ 500 มิลลิลิตร

<u>สารละลายเมทิลเรด (Methyl red) 0.1 % (w/v)</u>

ชั่งผงเมทิล เรด จำนวน 0.02 กรัม นำมาละลายในน้ำกลั่นแล้วปรับปริมาตรให้ครบ 50 มิลลิลิตร ในขวดปรับปริมาตร

4.2 วิธีการทดลอง

เครื่องมือ ชุดไตเตรท

4.2.1 ชั่งผงเพคตินมา 5 กรัม แล้วเติมสารละลายกรดไฮโดรคลอริก – เอทิลแอลกอฮอล์ (กรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 5 มิลลิลิตรและเอทิลแอลกอฮอล์ 60% จำนวน 100 มิลลิลิตร) กวนด้วยแท่งแก้วเป็นเวลา 10 นาที

4.2.2 กรองและล้างตะกอนจากข้อ 4.1 ด้วยกรดไฮโดรคลอริก-เอทิลแอลกอฮอล์ครั้งละ 15 มิลลิลิตร ทั้งหมด 6 ครั้ง

4.2.3 ล้างด้วยสารละลายเอทิลแอลกอฮอล์ 60% จนตะกอนไม่มีคลอไรด์ และล้างด้วยเอทิลแอลกอฮอล์อีก 20 มิลลิลิตร

4.2.4 อบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 2 ½ ชั่วโมง แล้วชั่งน้ำหนักแล้ง บันทึกผล

4.2.5 ชั่งเพคตินที่เตรียมแล้วจากข้อ 4.4 มา 1 ใน 10 ของน้ำหนักแห้ง เติมเอทิลแอลกอฮอล์ 2 มิลลิลิตร และเติมน้ำเดือดที่เย็นแล้ว 10 มิลลิลิตร เขย่าจนได้สารละลายที่เป็นเนื้อเดียวกัน ไตเตรทด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.1 นอร์มอล โดยใช้ฟีนอฟทาลีนเป็นอินดิเคเตอร์ จำนวน 5 หยด จดปริมาตรของด่างที่ใช้ = V_1 มิลลิลิตร (Initial titrate)

4.2.6 เติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.5 นอร์มอล จำนวน 20 มิลลิลิตร เขย่าอย่างแรงตั้งทิ้งไว้ 15 นาที เติมสารละลายกรดไฮโดรคลอริก 0.5 นอร์มอล จำนวน 20 มิลลิลิตร เขย่าจนไม่มีสีชมพู เติมสารละลายฟีนอลฟ์ทาลีน 3 หยด ไตเตรทด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 นอร์มอล จนได้สีชมพู จดปริมาตรของด่างที่ใช้ = V_2 มิลลิลิตร (Sponification titrate)

4.2.7 เทสารละลายจากข้อ 4.6 ลงในขวดกลั่นและเติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นร้อยละ 10 จำนวน 20 มิลลิลิตร นำไปกลั่น แล้วเก็บส่วนที่ได้ในขวดที่บรรจุน้ำกลั่นที่ปราศจากไอออน 150 มิลลิลิตร และกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.1 นอร์มอล จำนวน 20 มิลลิลิตร กลั่นจนได้ปริมาณเพิ่มอีก 80 – 120 มิลลิลิตร

4.2.8 นำส่วนที่กลั่นได้จากข้อ 4.7 มาไตเตรทด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 นอร์มอล โดยใช้เมทิลเรด (Methyl red) เป็นอินดิเคเตอร์ จดปริมาตรที่ได้ = S มิลลิลิตร

4.2.9 ทำ Blank โดยไตเตรทสารละลายกรดไฮโดรคลอริก 0.1 นอร์มอล จำนวน 20 มิลลิลิตร ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 นอร์มอล ใช้เมทิลเรดเป็นอินดิเคเตอร์ จดปริมาตรที่ได้ = B มิลลิลิตร

4.2.10 นำมาคำนวณหา Degree of amidiation , Degree of esterification , มิลลิกรัมของกรดกาแลคทูโรนิก และเปอร์เซ็นต์มิลลิกรัมของกรดกาแลคทูโรนิก ตามสูตร ดังต่อไปนี้

สูตรคำนวณหา Amide pectin

$$V_3 = B - S$$

สูตรคำนวณหา Degree of amidiation (as % total carboxyl group)

$$DA = \frac{100 \times V_3}{V_1 + V_2 + V_3}$$

สูตรคำนวณหา Degree of esterification (as % total carboxyl group)

$$DE = \frac{100 \times V_2}{V_1 + V_2 + V_3}$$

สูตรคำนวณหามิลลิกรัมของกรดกาแลคทูโรนิก

$$GA\ (mg) = 19.41\ (V_1 + V_2 + V_3)$$

สูตรคำนวณหาเปอร์เซ็นต์มิลลิกรัมของกรดกาแลคทูโรนิก

$$GA\ (\%) = \frac{\text{มิลลิกรัมของกรดกาแลคทูโรนิก}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างที่อบแห้งแล้ว}} \times 100$$

ภาคผนวก ข

การคำนวณต้นทุนการผลิตเพคติน

การคำนวณต้นทุนการสกัดเพคตินจากเศษกะหล่ำปลี 1000 กรัม ได้เพคติน 158 กรัม มีต้นทุนการผลิต ประกอบไปด้วย ค่าวัตถุดิบ ค่าสารเคมีที่ใช้ในการสกัด ได้แก่ กรดไฮโดรคลอริก และกรดไนตริก เอทิลแอลกอฮอล์ รวมถึงการคำนวณค่าไฟฟ้าของอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้ในการสกัด อาทิ เช่น Hot plate , water bath และ Hot air oven

1. เพคตินสกัด

จากการสกัดเพคตินจากกะหล่ำปลี 1000 กรัม ด้วยกรดไฮโดรคลอริก และกรดไนตริก จะสามารถสกัดเพคตินได้ 158 และ 120 กรัม ตามลำดับ ซึ่งจะมีต้นทุนการผลิตที่สกัดด้วยกรดไฮโดรคลอริก และกรดไนตริกทั้งหมด 849.42 และ 760.42 บาท ตามลำดับ

1.1 สกัดด้วยกรดไฮโดรคลอริก

เพคตินที่สกัดได้จากกะหล่ำปลี 158 กรัม ใช้ต้นทุน 849.42 บาท

ถ้าสกัดเพคติน 1000 กรัม ใช้ต้นทุน $\frac{1000 \times 849.42}{158}$

$= 5,376.08$ บาท

1.2 สกัดด้วยกรดไนตริก

เพคตินที่สกัดได้จากกะหล่ำปลี 120 กรัม ใช้ต้นทุน 760.42 บาท

ถ้าสกัดเพคติน 1000 กรัม ใช้ต้นทุน $\frac{1000 \times 760.42}{120}$

$= 6,336.83$ บาท

2. ค่าวัตถุดิบ ได้แก่ กะหล่ำปลี

กะหล่ำปลี ราคากิโลกรัมละ6 บาท มีปริมาณกะหล่ำปลีทั้งหมด1000 กรัม สามารถใช้ได้ทั้งผล

3. ค่าสารเคมีที่ใช้ในการสกัด

3.1 กรดไฮโดรคลอริก

ในขั้นตอนการสกัดเพคตินจะใช้ปริมาณกรด : ตัวอย่างกะหล่ำปลี อัตราส่วน 2 : 1 โดยปริมาตรจากการคำนวณตัวอย่างกะหล่ำปลี 1000 กรัม จึงต้องใช้ปริมาณกรด 2000 มิลลิลิตร

จากราคากรดไฮโดรคลอริก ปริมาตร 2000 มิลลิลิตร 200 บาท

ในการทดลองใช้กรดไฮโดรคลอริก ปริมาตร 2000 มิลลิลิตร $\frac{2000 \times 200}{2000}$

$= 200$

ดังนั้นต้นทุนค่ากรดไฮโดรคลอริกมีค่าเท่ากับ 200 บาท/กะหล่ำ 1000 กรัม

3.2 กรดไนตริก

ในขั้นตอนการสกัดเพคตินด้วยกรดไนตริกจะใช้อัตราส่วนเช่นเดียวกับกรดไฮโดรคลอริก

จากราคากรดไนตริก ปริมาตร 900 มิลลิลิตร 50 บาท

ในการทดลองใช้กรดไนตริก ปริมาตร 2000 มิลลิลิตร $\frac{2000 \times 50}{900}$

$= 111$

ดังนั้นต้นทุนค่ากรดไฮโดรคลอริกมีค่าเท่ากับ 111 บาท/กะหล่ำ 1000 กรัม

3.3 เอทิลแอลกอฮอล์

ในขั้นตอนการสกัดเพคตินจะใช้ปริมาณเอทิลแอลกอฮอล์ : ตัวอย่างกะหล่ำปลี อัตราส่วน 45 : 40 โดยปริมาตร จากการคำนวณตัวอย่างกะหล่ำปลี 1000 กรัม จึงต้องใช้ปริมาณอทิลแอลกอฮอล์ 1200 มิลลิลิตร

จากราคาอทิลแอลกอฮอล์ ปริมาตร 1800 มิลลิลิตร 690 บาท

ในการทดลองใช้อทิลแอลกอฮอล์ ปริมาตร 1200 มิลลิลิตร $\frac{1200 \times 690}{1800} = 460$

ดังนั้นต้นทุนค่ากรดไฮโดรคลอริกมีค่าเท่ากับ 460 บาท/กะหล่ำ 1000 กรัม

4. ค่าไฟฟ้าของอุปกรณ์ไฟฟ้า

การคำนวณค่าไฟฟ้าคำนวณได้จากสูตร

P (วัตต์) = IV

เมื่อ P คือ กำลังไฟฟ้ามีหน่วยเป็นวัตต์ (w)

I คือ ปริมาณกระแสไฟฟ้ามีหน่วยเป็นแอมแปร์ (A)

V คือ ความต่างศักย์ไฟฟ้ามีหน่วยเป็นโวลล์ (V)

หน่วย (ยูนิต) = กำลัง (กิโลวัตต์) x เวลาที่ใช้ (ชั่วโมง)

ค่าไฟฟ้า (บาท) = ยูนิต x ราคาต่อหน่วย

4.1 Hot plate

ในการสกัดเพคตินใช้ Hot plate ใช้เวลาในการสกัดประมาณ 1.0 ชั่วโมง ราคาค่าไฟฟ้าต่อหน่วย มีค่าเท่ากับ 3.4361 บาท ศักย์ไฟฟ้า 220 V กระแสไฟฟ้า 3 A

กำลังไฟฟ้า (w) = 3 x 220 = 660 V

หน่วย (Unit) = $\frac{660 \times 1.0}{1000}$ = 0.66 หน่วย

ค่าไฟฟ้า (บาท) = 0.66 x 3.4361 = 2.27 บาท

4.2 Water bath

ในการสกัดเพคตินใช้ Water bath ใช้เวลาในการสกัดประมาณ 1.30 ชั่วโมง ราคาค่าไฟฟ้าต่อหน่วย มีค่าเท่ากับ 3.4361 บาท ศักย์ไฟฟ้า 220 V กระแสไฟฟ้า 4.5 A

กำลังไฟฟ้า (w) = 4.5 x 220 = 990 V

หน่วย (Unit) = $\frac{990 \times 1.30}{1000}$ = 1.49 หน่วย

ค่าไฟฟ้า (บาท) = 1.49 x 3.4361 = 5.12 บาท

4.3 Hot air oven

ในการอบเพคตินใช้ Hot air oven ใช้เวลาในการอบประมาณ 6 ชั่วโมง ราคาค่าไฟฟ้าต่อหน่วย มีค่าเท่ากับ 3.4361 บาท ศักย์ไฟฟ้า 220 V กระแสไฟฟ้า 38.81 A

กำลังไฟฟ้า (w) = 38.81 x 220 = 8538.2 V

หน่วย (Unit) = $\frac{8538.2 \times 6}{1000}$ = 51.2292 หน่วย

ค่าไฟฟ้า (บาท) = 51.2292 x 3.4361 = 176.03 บาท

ภาคผนวก ค

มคอ.3 รายวิชา

การจัดการและการใช้ประโยชน์จากของเสียและวัสดุเหลือใช้

รายละเอียดของรายวิชา

ชื่อสถาบันอุดมศึกษา	มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์
วิทยาเขต/คณะ/ภาควิชา	ชีววิทยา

หมวดที่ 1 ข้อมูลโดยทั่วไป

1. **รหัสและชื่อรายวิชา**

   BIOL410 การจัดการและการใช้ประโยชน์จากของเสียและวัสดุเหลือใช้

   (Waste Management and By Product Utilization)

2. **จำนวนหน่วยกิต**

   3(2-3-6)

3. **หลักสูตรและประเภทของรายวิชา**

   วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาชีววิทยา และวิชาเฉพาะด้านเอกเลือก

4. **อาจารย์ผู้รับผิดชอบรายวิชาและอาจารย์ผู้สอน**

   อาจารย์ธนาวรรณ สุขเกษม และคณาจารย์ผู้สอนหลักสูตรสาขาชีววิทยา

5. **ภาคการศึกษา/ชั้นปีที่เรียน**

   ระดับปริญญาตรี

6. **รายวิชาที่ต้องเรียนมาก่อน (Pre-requisites) (ถ้ามี)**

   ไม่มี

7. **รายวิชาที่ต้องเรียนพร้อมกัน (Co-requisites) (ถ้ามี)**

   ไม่มี

8. **สถานที่เรียน**

   สาขาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์

9. **วันที่จัดทำรายละเอียดของรายวิชา หรือวันที่มีการปรับปรุงครั้งล่าสุด**

   วันที่ 7 ตุลาคม 2556

หมวดที่ 2 จุดมุ่งหมายและวัตถุประสงค์

1. จุดมุ่งหมายของรายวิชา

1. อธิบายความหมายและความสำคัญของของวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรได้
2. สามารถแยกประเภทของเสียและวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรได้
3. รู้และเข้าใจหลักการการจัดการและการใช้ประโยชน์จากของเสียและวัสดุเหลือใช้
4. อธิบายการกระบวนการนำไปใช้ประโยชน์ เช่น การผลิตเห็ด การผลิตแก๊สชีวภาพ การทำปุ๋ยชีวภาพได้
5. สามารถนำความรู้ที่ได้ไปสร้างสรรค์งานวิจัยหรือแก้ปัญหาที่เกี่ยวข้องได้

2. วัตถุประสงค์ในการพัฒนา/ปรับปรุงรายวิชา

เพื่อให้สอดคล้องกับสาระวิชาในกรอบมาตรฐานหลักสูตรกลุ่มวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์สอดคล้องกับอัตลักษณ์และลักษณะที่พึงประสงค์ของนักศึกษาตามมาตรฐานผลการเรียนรู้ของหมวด วิชาเฉพาะและเปิดโอกาสให้แต่ละหลักสูตรได้เลือกเรียนวิชาในกลุ่มวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์มากขึ้น

หมวดที่ 3 ลักษณะและการดำเนินการ

1. คำอธิบายรายวิชา

ศึกษาประเภทของเสียและวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร และลักษณะของวัสดุเหลือใช้ การจัดการและการใช้ประโยชน์จากของเสียและวัสดุเหลือใช้ด้วยวิธีต่าง ๆ การใช้จุลินทรีย์เพื่อเพิ่มคุณค่าทางอาหารแก่วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร การผลิตเห็ด การผลิตแก๊สชีวภาพ กระบวนการทำปุ๋ยชีวภาพ เซลล์โปรตีนสูงจากของเสียอุตสาหกรรม การเพิ่มราคาแก่ผลิตภัณฑ์ที่ ได้จากของเหลือทิ้งทางการเกษตร และแง่คิดทางเศรษฐศาสตร์

Study types of agricultural residues and their characteristics, management and utilization of waste and by product, Microbial treatment for improving the nutritive values, mushroom production, biogas production, composting, high protein cells from agro-industrial wastes, value added products from agricultural wastes, and economic considerations.

2. จำนวนชั่วโมงที่ใช้/ภาคการศึกษา

หน่วยกิต	ชั่วโมงต่อภาคการศึกษา			
	ทฤษฎี	ปฏิบัติ	ศึกษาด้วยตนเอง	สอนเสริม
3 (2-3-6)	2 x 15 = 30	3 x 15 = 45	6 x 15 = 90	-

3. จำนวนชั่วโมงต่อสัปดาห์ที่อาจารย์ให้คำปรึกษาและแนะนำทางวิชาการแก่นักศึกษาเป็นรายบุคคล

- อาจารย์ประจำรายวิชาประกาศเวลาให้คำปรึกษาที่หน้าห้องทำงาน
- อาจารย์จัดเวลาให้คำปรึกษาเป็นรายบุคคล/กลุ่มตามความต้องการ 1 ชั่วโมงต่อสัปดาห์

ตารางการให้คำปรึกษาและแนะนำทางวิชาการแก่นักศึกษาเป็นรายบุคคล				
วัน-เวลาให้คำปรึกษา	สถานที่	หมายเลขโทรศัพท์	E-mail	รวมจำนวนชั่วโมงต่อสัปดาห์ที่ให้คำปรึกษา
ทุกวันพุธ	สรินธร ห้อง 16408	056-717100 ต่อ 2709	Tan_awan@hotmail.com	1

หมวดที่ 4 การพัฒนาผลการเรียนรู้ของนักศึกษา

1. ทักษะด้านคุณธรรม จริยธรรม		
1.1 ผลการเรียนรู้	1.2 กลยุทธ์/วิธีการสอน	1.3 กลยุทธ์/วิธีการประเมินผล
1. [o] มีความซื่อสัตย์ สุจริต และประพฤติตนให้เป็นแบบอย่างที่ดีในสังคม	1. สอดแทรกเนื้อหาด้านคุณธรรม จริยธรรม ปลูกฝังเกี่ยวกับความซื่อสัตย์ต่อตนเองและผู้อื่น	1. สังเกตพฤติกรรมของนักศึกษาในการปฏิบัติในชั้นเรียน
2. [□] มีวินัย ตรงต่อเวลา และมีความรับผิดชอบทั้งต่อตนเอง วิชาชีพและสังคม	2. ให้ความสำคัญในวินัย เช่น การตรงต่อเวลา การแต่งกาย การมีวินัยในห้องเรียน	2. ขานชื่อหรือเซ็นชื่อการเข้าชั้นเรียน สังเกตพฤติกรรม การแต่งกาย และวินัย
3. [□]เคารพสิทธิและรับฟังความคิดเห็นของผู้อื่น มีความอื้ออาทรต่อผู้อื่นและสังคม	3.สอดแทรกการเคารพสิทธิและการรับฟังความคิดเห็นของผู้อื่น	3. สังเกตพฤติกรรมของนักศึกษาในการปฏิบัติ
4. [o] เคารพกฎระเบียบและข้อบังคับต่าง ๆ ขององค์กรและสังคม	4. สอดแทรกเรื่องการประพฤติตนที่เหมาะสม เช่น ไม่ส่งเสียงดัง ไม่รับประทานอาหารในห้องเรียน	4. สังเกตพฤติกรรมของนักศึกษาในการปฏิบัติ
5. [□] มีจรรยาบรรณทางวิชาการและวิชาชีพ	5. ปลูกฝังจิตสำนึก สอดแทรกคุณธรรมปฏิบัติตามจรรยาบรรณทางวิชาการ	5. สังเกตพฤติกรรมของนักศึกษาในการปฏิบัติ
2. ความรู้		
2.1 ผลการเรียนรู้	2.2 กลยุทธ์/วิธีการสอน	2.3 กลยุทธ์/วิธีการประเมินผล
1. [□]มีความเข้าใจแนวคิดหลักการทฤษฎีที่สำคัญของชีววิทยา และการนำไปประยุกต์ใช้ รวมทั้งติดตามความก้าวหน้าทางวิชาการอยู่เสมอ	1. ภาคทฤษฎี วิธีสอนโดยบรรยาย	1. การสอบข้อเขียน ข้อสอบย่อย สอบกลางภาค และสอบปลายภาคการศึกษา
2. [□]มีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับหลักการและทฤษฎีของเครื่องมือวิทยาศาสตร์	2. ภาคปฏิบัติ วิธีสอนโดยการสาธิตและการทดลอง	2. การสอบปฏิบัติ
3. [o]มีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับสิ่งมีชีวิต รวมทั้งกฎระเบียบข้อบังคับที่เกี่ยวข้อง	3. บรรยาย	3. สังเกตการปฏิบัติกิจกรรมต่าง ๆ ของรายวิชา เช่น การนำเสนอ รายงาน
3. ทักษะทางปัญญา		
3.1 ผลการเรียนรู้	3.2 กลยุทธ์/วิธีการสอน	3.3 กลยุทธ์/วิธีการประเมินผล
1. [o]มีทักษะในการจัดการประมวลความคิดอย่างเป็นระบบ	1. การฝึกปฏิบัติการทดลอง เพื่อฝึกทักษะการคิดอย่างเป็นระบบ	1. ประเมินผลการดำเนิน จากการรายงานผลการทดลอง และการแก้ปัญหา
2. [□]สามารถนำความรู้ ความเข้าใจเกี่ยวกับหลักการและทฤษฎีที่สำคัญทางชีววิทยามาใช้แก้ปัญหาทางวิทยาศาสตร์ได้อย่างเป็นระบบ	2. การฝึกปฏิบัติ และนำความรู้ที่ได้มาแก้ปัญหาโดยใช้กระบวนการทางวิทยาศาสตร์	2. ประเมินผลการดำเนิน จากการรายงานผลการทดลอง และการแก้ปัญหา
3. [□]มีทักษะในการทำปฏิบัติการด้วยวิธีมาตรฐานที่ทันสมัย	3. การศึกษาค้นคว้าโดยอิสระ เพื่อประกอบการเขียนรายงาน	3. ประเมินผลการดำเนิน จากการรายงานผลการทดลอง และการแก้ปัญหา
4. [o] มีสมรรถนะในการวางแผนการทำวิจัย	4. การศึกษาค้นคว้าโดยอิสระ เพื่อวาง	4. ประเมินผลการดำเนิน จากการรายงาน

ออกแบบปฏิบัติการต่าง ๆ	แผนการวิจัยอย่างเป็นระบบ	ผลการทดลอง และการแก้ปัญหา
4. ทักษะความสัมพันธ์ระหว่างบุคคล และความรับผิดชอบ		
4.1 ผลการเรียนรู้	4.2 กลยุทธ์/วิธีการสอน	4.3 กลยุทธ์/วิธีการประเมินผล
1. [o]สามารถสื่อสารกับบุคคลอื่นได้อย่างมีประสิทธิภาพ	1. มีกิจกรรมการทำงานเป็นกลุ่ม โดยหมุนเวียนการเป็นผู้นำ	1. ประเมินจากการสังเกตพฤติกรรมของนักศึกษาในชั้นเรียน
2. [o]สามารถทำงานร่วมกับผู้อื่นและเคารพในความแตกต่าง และการปฏิบัติต่อผู้อื่นอย่างเป็นกัลยาณมิตร	2. ปลูกฝังให้มีการรับผิดชอบต่อหน้าที่ที่ได้รับมอบหมายในงานกลุ่ม และสอดแทรกคุณธรรมของผู้ร่วมงานที่ดี	2. ประเมินจากการสังเกตพฤติกรรมของนักศึกษาในชั้นเรียน
3. [□]มีความรับผิดชอบในการทำงาน สามารถทำงานเป็นทีม และมีส่วนร่วมในการกิจกรรม การเรียน การแสวงหาความรู้	3. ฝึกการยอมรับความคิดเห็น การมีส่วนร่วมในการทำกิจกรรมกลุ่ม	3. ประเมินจากการสังเกตพฤติกรรมการระดมความคิด
5. ทักษะการวิเคราะห์เชิงตัวเลข การสื่อสาร และการใช้เทคโนโลยีสารสนเทศ		
5.1 ผลการเรียนรู้	5.2 กลยุทธ์/วิธีการสอน	5.3 กลยุทธ์/วิธีการประเมินผล
1 [o] สามารถนำเสนอผลงาน รายงาน มีทักษะการใช้เทคโนโลยีสารสนเทศได้อย่างมีประสิทธิภาพ	1. มอบหมายงานให้รายงานผลการทดลอง อธิบายรูปแบบในการเขียนและการนำเสนอ	1. ประเมินผลจากการนำเสนอรายงานหน้าชั้นเรียน และทักษะการค้นคว้าหาข้อมูลเขียนรายงาน
2. [□]มีทักษะและความรู้ความสามารถในการใช้ภาษาอังกฤษ หรือภาษาต่างประเทศอื่น และเทคโนโลยีสารสนเทศเพื่อการค้นคว้า ได้อย่างเหมาะสม	2. มอบหมายงานให้ฝึกค้นคว้า และอ่านบทความทางการวิจัยภาษาอังกฤษ	2. ประเมินผลจากรายงานผลการอ่านและการแปล พร้อมทั้งการนำเสนอหน้าชั้นเรียน
3. [□] สามารถใช้เทคโนโลยีสารสนเทศ ในการสืบค้น และเก็บรวบรวมข้อมูลได้อย่างมีประสิทธิภาพ และเหมาะสมกับสถานการณ์	3. มอบหมายงานให้ค้นคว้าองค์ความรู้จากแหล่งข้อมูลต่างๆ นำมาเขียนในรายงาน	3.ประเมินจากการรายงานผลการทดลองที่แสดงแหล่งข้อมูลที่ค้นคว้า

หมวดที่ 5 แผนการสอนและการประเมินผล

1. แผนการสอน (ท. =ทฤษฎี ,ป. = ปฏิบัติ)

สัปดาห์ที่	หัวข้อ/รายละเอียด	ชั่วโมงสอนต่อสัปดาห์		กิจกรรมการสอน	สื่อที่ใช้ในการสอน	ผู้สอน
		ท.	ป.			
1	**ปฐมนิเทศการเรียนรู้** (Pre-school) - แนะนำการเรียนและการประเมินผล - แนะนำแหล่งเรียนรู้และเอกสารการค้นคว้า - วิเคราะห์ความรู้พื้นฐานผู้เรียน - วิเคราะห์รูปแบบการเรียนรู้ผู้เรียน	2	3	- อธิบายประมวลการสอนรายวิชา - อธิบายแผนการเรียน วิธีการเรียน การให้คะแนน - กำหนดกิจกรรมการเรียน - Power Point	-Power point -คลิปวีดีโอ -app note ของ Ipad	อ.ธนาวรรณ
2	**บทที่ 1 ความหมายและความสำคัญของวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร** - ขอบเขต ความสำคัญ ความหมายและวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร - ลักษณะของวัสดุเหลือใช้	2	3	-บรรยาย -อภิปราย -ซักถาม ตอบคำถาม - แบบฝึกหัด และการบ้าน -มอบหมายงาน	-Power point -คลิปวีดีโอ -app note ของ Ipad -เอกสารประกอบการบรรยาย / หนังสือ	อ.ธนาวรรณ
3	**บทที่ 2 การจัดการของเสีย และของเหลือทิ้งทางการเกษตร** - ประเภทของเสียและของเหลือทิ้งทางการเกษตร – รูปแบบการจัดการของเสีย - การเพิ่มมูลค่าให้กับของเหลือทิ้งทางการเกษตร **บทปฏิบัติการที่ 1 การผลิตเพคติน**	2	3	-บรรยาย -อภิปราย -ซักถาม ตอบคำถาม -แบบฝึกหัด และการบ้าน -ฝึกปฏิบัติการ **-มอบหมายงาน**	-Power point -คลิปวีดีโอ -app note ของ Ipad -เอกสารประกอบการบรรยาย -หนังสือ	อ.ธนาวรรณ
4	**บทที่ 3 วัสดุเหลือใช้มวลชีวภาพ (Biomass Residues)** - องค์ประกอบที่สำคัญของมวลชีวภาพ - เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส ลิกนิน	2	3	-บรรยาย -อภิปราย -ซักถาม ตอบคำถาม - แบบฝึกหัด และการบ้าน **-สอบเก็บคะแนนครั้งที่ 1**	-Power point -คลิปวีดีโอ -app note ของ Ipad -เอกสารประกอบการบรรยาย / หนังสือ	อ.ธนาวรรณ
5	**บทที่ 4 กระบวนการเตรียมตัวอย่าง (pretreatment Process)** - การเตรียมตัวอย่างทางกายภาพ - การเตรียมตัวอย่างทางเคมี-ฟิสิกส์ - การเตรียมตัวอย่างทางเคมี	2	3	-บรรยาย -อภิปราย -ซักถาม ตอบคำถาม - แบบฝึกหัดและการบ้าน -มอบหมายงาน	-Power point -คลิปวีดีโอ -app note ของ Ipad -เอกสารประกอบการบรรยาย / หนังสือ	อ.ธนาวรรณ

สัปดาห์ที่	หัวข้อ/รายละเอียด	ชั่วโมงสอนต่อสัปดาห์		กิจกรรมการสอน	สื่อที่ใช้ในการสอน	ผู้สอน
		ท.	ป.			
6	**บทที่ 5 พลังงานจากวัสดุเหลือใช้** - ความหมายพลังงานทดแทนจากชีวมวล - กระบวนการผลิต และวิเคราะห์คุณภาพไบโอเอทานอล - การผลิตไบโอเอทานอลจากวัตถุดิบประเภทลิกโนเซลลูโลส แป้ง น้ำตาล **บทปฏิบัติการที่ 2 การผลิตไบโอเอทานอลจากวัตถุดิบประเภทลิกโนเซลลูโลส**	2	3	-บรรยาย -อภิปราย -ซักถาม ตอบคำถาม - แบบฝึกหัดและการบ้าน -ฝึกปฏิบัติการ -มอบหมายงาน	-Power point -คลิปวีดีโอ -app note ของ Ipad -เอกสารประกอบการบรรยาย / หนังสือ	อ.ธนาวรรณ
7	**บทที่ 6 การผลิตกรดแลกติก (Production of Lactic Acid)** - ประวัติการผลิตกรดแลกติก - ปัจจัยที่มีต่อการผลิตกรดแลกติกโดยกระบวนการหมัก - กระบวนการแยกและทำให้บริสุทธิ์ - การใช้ประโยชน์จากกรดแลกติก **บทปฏิบัติการที่ 3 การผลิตกรดแลกติก**	2	3	-บรรยาย -อภิปราย -ซักถาม ตอบคำถาม - แบบฝึกหัดและการบ้าน -ฝึกปฏิบัติการ -สอบเก็บคะแนนครั้งที่ 2	-Power point -คลิปวีดีโอ -app note ของ Ipad -เอกสารประกอบการบรรยาย / หนังสือ	อ.ธนาวรรณ
8	**บทที่ 7 การผลิตกรดฟูมาลิก (Production of Fumaric Acid)** - กระบวนการผลิตฟูมาลิกทางเคมีและทางชีวภาพ - ปัจจัยที่มีผลต่อการผลิตโดยกระบวนทางชีวภาพ - กระบวนการแยกและทำให้บริสุทธิ์ - การใช้ประโยชน์จากกรดฟูมาลิก	2	3	-บรรยาย -อภิปราย -ซักถาม ตอบคำถาม - แบบฝึกหัดและการบ้าน -มอบหมายงาน	-Power point -คลิปวีดีโอ -app note ของ Ipad -เอกสารประกอบการบรรยาย / หนังสือ	อ.ธนาวรรณ
9	**บทที่ 8 การใช้จุลินทรีย์เพื่อเพิ่มคุณค่าทางอาหารแก่วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร** - แนวทางในการใช้ประโยชน์ - งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการใช้ประโยชน์	2	3	-บรรยาย -อภิปราย -ซักถาม ตอบคำถาม -แบบฝึกหัดและการบ้าน -สอบเก็บคะแนนครั้งที่ 3	-Power point -คลิปวีดีโอ -app note ของ Ipad -เอกสารประกอบการบรรยาย / หนังสือ	อ.ธนาวรรณ

สัปดาห์ที่	หัวข้อ/รายละเอียด	ชั่วโมงสอนต่อสัปดาห์		กิจกรรมการสอน	สื่อที่ใช้ในการสอน	ผู้สอน
		ท.	ป.			
10	**บทที่ 9 การผลิตเห็ด** - ความหลากหลายของเห็ด - กระบวนการผลิตเห็ดจากวัสดุเหลือทิ้ง **บทปฏิบัติการที่ 4 การเห็ด**	2	3	-บรรยาย -อภิปราย -ซักถาม ตอบคำถาม - แบบฝึกหัดและการบ้าน -ฝึกปฏิบัติการ -มอบหมายงาน	-Power point -คลิปวีดีโอ -app note ของ Ipad -เอกสารประกอบการบรรยาย / หนังสือ	อ.ธนาวรรณ
11	**บทที่ 10 การผลิตแก๊สชีวภาพ** - กระบวนการผลิตแก๊สชีวภาพ - ความก้าวหน้าของการผลิตแก๊สชีวภาพ **บทปฏิบัติการที่ 5 การแก๊สมีเทน**	2	3	-บรรยาย -อภิปราย -ซักถาม ตอบคำถาม - แบบฝึกหัดและการบ้าน -ฝึกปฏิบัติการ -มอบหมายงาน	-Power point -คลิปวีดีโอ -app note ของ Ipad -เอกสารประกอบการบรรยาย / หนังสือ	อ.ธนาวรรณ
12	**บทที่ 11 การทำปุ๋ยชีวภาพ** - ความสำคัญของปุ๋ยชีวภาพ - ประเภท และกระบวนการทำปุ๋ยชีวภาพ - รูปแบบปุ๋ยชีวภาพ น้ำ และอัดเม็ด **บทปฏิบัติการที่ 6 การผลิตปุ๋ยชีวภาพ**	2	3	-บรรยาย -อภิปราย -ซักถาม ตอบคำถาม - แบบฝึกหัดและการบ้าน -ฝึกปฏิบัติการ -มอบหมายงาน	-Power point -คลิปวีดีโอ -app note ของ Ipad -เอกสารประกอบการบรรยาย / หนังสือ	อ.ธนาวรรณ
13	**บทที่ 12 การบำบัดน้ำเสีย** - พารามิเตอร์ และมาตรฐานที่ใช้แสดงคุณภาพน้ำทิ้ง - วิธีการบำบัดน้ำเสีย และขั้นตอนบำบัดน้ำเสีย การนำน้ำทิ้งกลับมาใช้ประโยชน์ บทปฏิบัติการที่ 7 การบำบัดน้ำเสีย	2	3	-บรรยาย -อภิปราย -ซักถาม ตอบคำถาม - แบบฝึกหัดและการบ้าน -ฝึกปฏิบัติการ -มอบหมายงาน	-Power point -คลิปวีดีโอ -app note ของ Ipad - เอกสารประกอบการบรรยาย / หนังสือ	อ.ธนาวรรณ
14	**การศึกษาดูงานนอกสถานที่**	2	3	- สังเกตการณ์มีส่วนร่วม - แบบประเมิน	- เอกสารประกอบการบรรยาย	อ.ธนาวรรณ
15	**นำเสนองานเกี่ยวกับการประยุกต์ใช้ประโยชน์จากของเหลือทิ้งในปัจจุบัน**	2	3	- การอภิปราย - การนำเสนอรายกลุ่ม/เดี่ยว	- paper งานวิจัยต่างประเทศ	อ.ธนาวรรณ
16	สอบปลายภาค					

2. แผนการประเมินผลการเรียนรู้					
กิจกรรมที่	**การเรียนรู้ด้าน**	**ผลการเรียนรู้**	**วิธีการประเมิน**	**สัปดาห์ที่ประเมิน**	**สัดส่วนของการประเมิน**
1	คุณธรรม จริยธรรม	1. [o] มีความซื่อสัตย์ สุจริต 2. [●] มีระเบียบวินัย ตรงต่อเวลา 3. [●] เคารพสิทธิ รับฟังความคิดเห็นผู้อื่น 4. [o] เคารพกฎระเบียบและข้อบังคับขององค์กร 5. [●]มีจรรยาบรรณทางวิชาการและวิชาชีพ	-สังเกตพฤติกรรมการปฏิบัติ -การตรงต่อเวลา -การขานชื่อหรือเซ็นชื่อ -การเข้าร่วมกิจกรรม	1-15	10%
2	ความรู้	1. [●] มีความรู้ ในหลักการ และทฤษฎีทางด้านชีววิทยา 2. [●] มีความรู้ความเข้าใจหลักการทฤษฎีเครื่องมือวิทยาศาสตร์ 3. [o] มีความรู้ความเข้าใจกฎระเบียบข้อบังคับที่เกี่ยวข้อง	- การสอบข้อเขียน - การสอบปฏิบัติ - การสอบข้อเขียน(สอบย่อย) - การรายงานผลการทดลอง	-6,7,10, 11,12,13 -3,7,9	70%
3	ทักษะทางปัญญา	1. [o] มีทักษะประมวลความคิดอย่างเป็นระบบ 2. [●] นำความรู้ความเข้าใจทางชีววิทยามาใช้แก้ปัญหาอย่างเป็นระบบ 3. [●] มีทักษะการปฏิบัติที่มีมาตรฐานทันสมัย 4. [o] มีสมรรถนะการวางแผนการทำวิจัย	ประเมินผลการดำเนินจากการฝึกปฏิบัติการทดลอง การรายงานผลการทดลอง และการแก้ปัญหา	2-14	10%
4	ทักษะความสัมพันธ์ระหว่างบุคคลและความรับผิดชอบ	1.[o]สามารถสื่อสารกับบุคคลอื่นอย่างมีประสิทธิภาพ 2.[o]ทำงานรวมกับผู้อื่น ปฏิบัติต่อผู้อื่นอย่างเป็นมิตร 3.[●]มีความรับผิดชอบ ทำงานเป็นทีม มีส่วนร่วมในกิจกรรมการเรียน แสวงหาความรู้	ประเมินจากการสังเกตพฤติกรรมของนักศึกษาในชั้นเรียน และการระดมความคิด ทำงานกลุ่ม	1-15	5%
5	ทักษะการวิเคราะห์เชิงตัวเลข การสื่อสาร และสารสนเทศ	1. [o] สามารถนำเสนอผลงาน รายงาน มีทักษะการใช้เทคโนโลยีสารสนเทศอย่างมีประสิทธิภาพ 2. [●] มีทักษะการใช้ภาษา และใช้เทคโนโลยีสารสนเทศได้อย่างเหมาะสม 3. [●] สามารถใช้เทคโนโลยีสารสนเทศสืบค้น เก็บรวบรวมข้อมูลได้เหมาะสมกับสถานการณ์อย่างมีประสิทธิภาพ	ประเมินผลจากทักษะการเขียนผลการทดลอง การอ่าน การแปลผล และการนำเสนอ สังเกตพฤติกรรม การค้นคว้า จากการรายงานผลการทดลอง	1-15	5%

หมวดที่ 6 ทรัพยากรประกอบการเรียนการสอน

1. ตำราและเอกสารหลัก

[1] สุขใจ ชูจันทร์ (2554). **การผลิตกรดอินทรีย์จากวัสดุเหลือใช้มวลชีวภาพ**. ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

[2] สมใจ ศิริโภค. (2537). **เทคโนโลยีการหมัก**. ศูนย์สื่อเสริม.กรุงเทพฯ.

[3] วราวุฒิ ครูส่ง และรุ่งนภา พงศ์สวัสดิ์มานิต. **เทคโนโลยีการหมักในอุตสาหกรรม.** ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. กรุงเทพฯ.

[4] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน. 2549. รายงานฉบับสมบูรณ์ การนำของเสียจากการผลิตเอทานอลมาใช้ประโยชน์เพื่อเพิ่มมูลค่า, 481 หน้า.

[5] Aiba, S.A. Humphy, E.H. and Millis, N.F. 1993. Biochemical Engineering 2 ^{ed}**.** London : Academic Press,Inc. Casida, L.E. 1968. Industrial Microbiology**. New York** :Join Wiley & Sons.

[6] >.Roehr.2001.The Biotechnology of Ethanol : Classical and Future Application. Wiley-VCH,New York. 232 p.

2. เอกสารและข้อมูลสำคัญ

[5] สาโรจน์ ศิริศันสนียกุล. (2547). **เทคโนโลยีชีวภาพทางอาหาร การหมัก และสิ่งแวดล้อม** . คณะอุตสาหกรรมการเกษตร. กรุงเทพฯ.

3. เอกสารและข้อมูลแนะนำ

เว็บไซต์ที่เกี่ยวกับหัวข้อในประมวลรายวิชา เช่น Wikipedia คำอธิบายศัพท์

หมวดที่ 7 การประเมินและปรับปรุงการดำเนินการของรายวิชา

1. กลยุทธ์การประเมินประสิทธิผลของรายวิชาโดยนักศึกษา

1.1 การสนทนากลุ่มระหว่างผู้สอนและผู้เรียน

1.2 การสังเกตการณ์จากพฤติกรรมของผู้เรียน

1.3 แบบประเมินผู้สอนและแบบประเมินรายวิชา

1.4 ขอเสนอแนะผ่านเว็บบอร์ดที่อาจารย์ผู้สอนได้จัดทำเป็นช่องทางการสื่อสารกับนักศึกษา

2. กลยุทธ์การประเมินการสอน

2.1 สังเกตการสอนของผู้ร่วมทีมการสอน

2.2 ผลการสอบเก็บคะแนน การสอบกลางภาค และการสอนปลายภาค

2.3 การทวนสอบผลประเมินการเรียนรู้

2.4 การตอบสนองและการมีส่วนร่วมในการทำกิจกรรม

3. การปรับปรุงการสอน

หลังจากผลการประเมินการสอนในข้อ 2 จึงมีการปรับปรุงการสอนโดยการจัดกิจกรรมในการระดมสมองและหาข้อมูลเพิ่มเติมในการปรับปรุงการสอน ดังนี้

3.1 การศึกษานอกสถานที่จริงเป็นการเพิ่มประสบการณ์การเรียนรู้

3.2 การวิจัยในและนอกชั้นเรียน

3.3 ใช้สื่อการสอนที่มีความหลากหลาย

4. การทวนสอบมาตรฐานผลสัมฤทธิ์ของนักศึกษาในรายวิชา

ในระหว่างกระบวนการสอนรายวิชา มีการทวนสอบผลสัมฤทธิ์ในรายหัวข้อ ตามที่คาดหวังจากการเรียนรู้ในวิชา ได้จากการสอบถามนักศึกษา หรือการสุ่มตรวจผลงานของนักศึกษา รวมถึงพิจารณาจากผลการทดสอบย่อย และหลังการออกผลการเรียนรายวิชามีการทวนสอบผลสัมฤทธิ์โดยรวมในวิชาได้ ดังนี้

4.1 การทวนสอบการให้คะแนนจากการสุ่มตรวจผลงานของนักศึกษาโดยอาจารย์อื่น หรือผู้ทรงคุณวุฒิ ที่ไม่ใช่อาจารย์ประจำหลักสูตร

4.2 ทวนสอบจากการประเมินพฤติกรรมของผู้เรียน (ลักษณะนิสัย ได้แก่ การเข้าเรียน และการสังเกตพฤติกรรม) โดยอาจารย์ผู้รับผิดชอบรายวิชา

4.3 มีการตั้งคณะกรรมการในสาขาวิชาตรวจสอบผลการประเมินการเรียนรู้ของนักศึกษา โดยตรวจสอบข้อสอบ รายงานวิธีการให้คะแนนสอบและการให้คะแนนพฤติกรรม รวมถึงประเมินผลการเรียน

5. การดำเนินการทบทวนและการวางแผนปรับปรุงประสิทธิผลของรายวิชา

จากผลการประเมิน และทวนสอบผลสัมฤทธิ์ประสิทธิผลรายวิชา ได้มีการวางแผนการปรับปรุงการสอน และรายละเอียดวิชาเพื่อให้เกิดคุณภาพมากขึ้น ดังนี้

5.1 ปรับปรุงรายวิชาทุก 3 ปีหรือตามข้อเสนอแนะและผลการทวนสอบมาตรฐานผลสัมฤทธิ์ตามข้อ4

5.2 เปลี่ยนหรือสลับอาจารย์ผู้สอน เพื่อให้นักศึกษามีมุมมองในเรื่องการประยุกต์ความรู้นี้กับปัญหาที่มาจากงานวิจัยของอาจารย์หรืออุตสาหกรรมต่าง ๆ

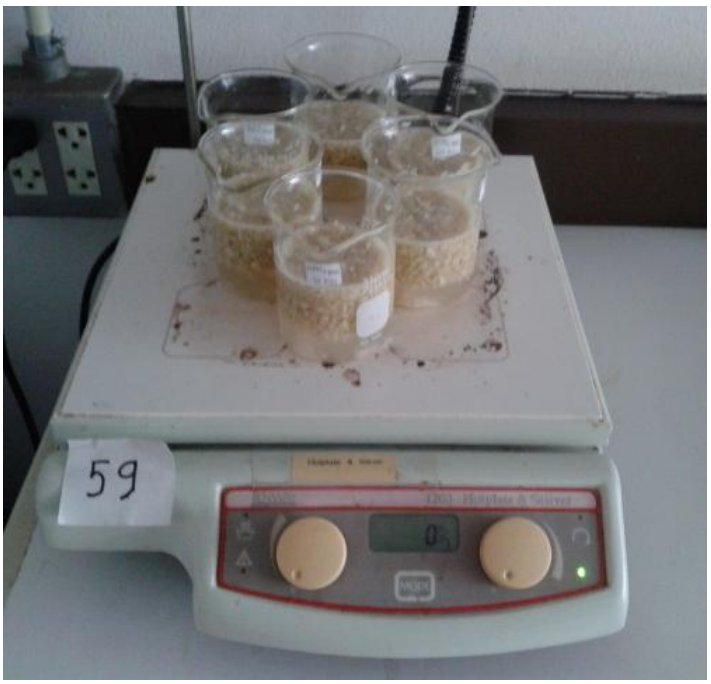
5.3 นำผลประเมินจากนักศึกษามาปรับปรุงแก้ไขในการสอน

ภาคผนวก ง

ภาพประกอบการทำวิจัย

ภาพที่ 1-ง ตัวอย่างกะหล่ำปลี

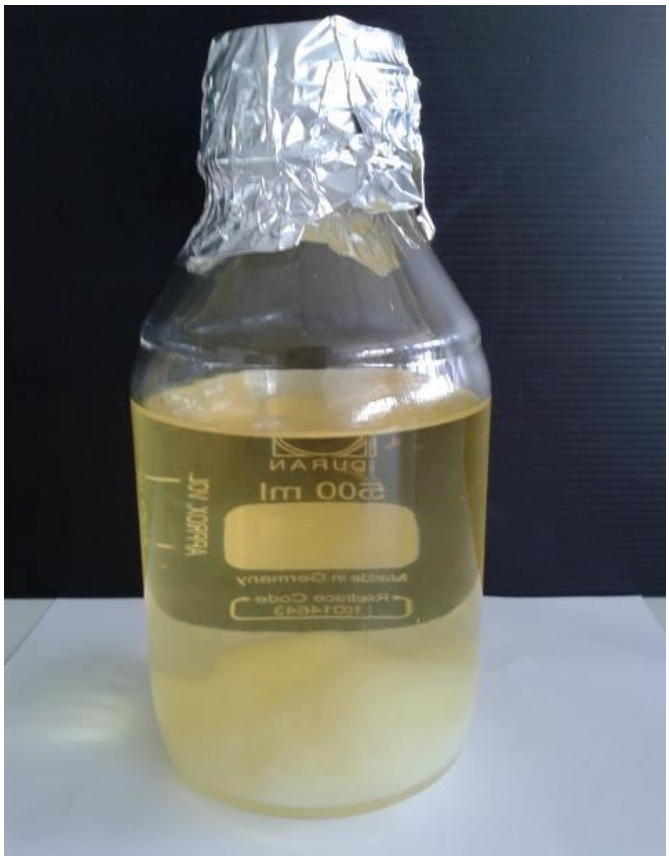
ภาพที่ 2-ง การเตรียมตัวอย่างกะหล่ำปลี



ภาพที่ 3-ง ขั้นตอนการสกัดเพคติน

ภาพที่ 4-ง ขั้นตอนการกรองสารสกัดเพคติน

ภาพที่ 5-ง ขั้นตอนการตกตะกอนเพคตินกรดไฮโดรคลอริก



ภาพที่ 6-ง ขั้นตอนการตกตะกอนเพคตินกรดไนตริก

ภาพที่ 7-ง ตะกอนเพคตินที่สกัดได้ด้วยกรดไฮโดรคลอริก

ภาพที่ 8-ง ตะกอนเพคตินที่สกัดได้ด้วยกรดไนตริก

ภาพที่ 9-ง การเกิดเจลของเพคตินด้วยกรดไฮโดรคลอริก

ภาพที่ 10-ง การเกิดเจลของเพคตินด้วยกรดไนตริก

ภาพที่ 11-ง ลักษณะเจลเพคตินที่สกัดด้วยกรดไฮโดรคลอริก

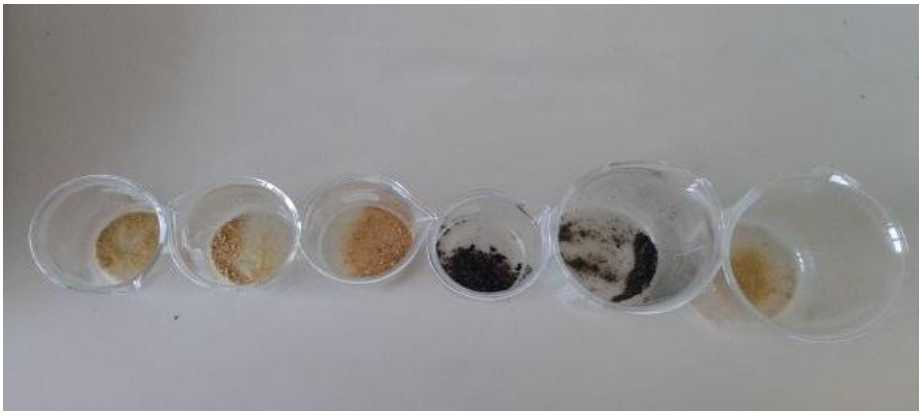
ภาพที่ 12-ง ลักษณะเจลเพคตินที่สกัดด้วยกรดไนตริก

ภาพที่ 13-ง สารสกัดเพคตินที่สภาวะต่าง ๆ

ภาพที่ 14-ง การกรองเพคตินที่สภาวะต่าง ๆ

ภาพที่ 15-ง ลักษณะผงเพคตินที่สกัดด้วยกรดไฮโดรคลอริก

ภาพที่ 16-ง ลักษณะผงเพคตินที่สกัดด้วยกรดไนตริก



ภาพที่ 17-ง ผงเพคตินที่สกัดได้ที่สภาวะต่าง ๆ

ภาพที่ 18-ง การ reflux ตัวอย่าง

ภาพที่ 19-ง การตรวจวิเคราะห์คุณสมบัติของเพคติน

ภาพที่ 20-ง ผู้ช่วยวิจัย

ประวัตินักวิจัย

1. ชื่อ-นามสกุล (ภาษาไทย) นางสาวธนาวรรณ สุขเกษม

ชื่อ-นามสกุล (ภาษาอังกฤษ) Miss Tanawan Sukkasem

2. หมายเลขบัตรประจำตัวประชาชน 5-6707-00001-44-7

3. ตำแหน่งปัจจุบัน อาจารย์

4. หน่วยงานและสถานที่อยู่ที่ติดต่อได้สะดวก สาขาวิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ อ.เมือง จ. เพชรบูรณ์ 76000 โทรศัพท์ 056-7171 00 ต่อ 2709 E-mail : tan_awan@hotmail.com

5. ประวัติการศึกษา กศ.บ. (ธุรกิจการเกษตร) บช.บ. (บัญชี) วท.บ. (เทคโนโลยีชีวภาพทางอุตสาหกรรมเกษตร) วทม. (อุตสาหกรรมเกษตร)

6. สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ จุลอุตสาหกรรม จุลชีววิทยาทางอาหาร และเทคโนโลยีชีวภาพ อาหารและโภชนาการสุขภาพ

7. ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัย

- วิทยานิพนธ์ เรื่อง “การศึกษาวิธีการยืดอายุการเก็บรักษาส้มโอตัดแต่งโดยใช้ฟิล์มห่อหุ้มและ สารเคลือบผิว”

- โครงงานวิจัย เรื่อง “การศึกษาสูตรอาหารที่เหมาะสมต่อกระบวนการผลิตเอนไซม์ Xylanase โดยใช้วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร”

- ทุนวิจัยเพื่อพัฒนา เรื่อง ข้าวหอมมะลิเสริมสมุนไพรไทยพื้นบ้านภายในท้องถิ่น

- ทุนวิจัยภายในสถาบัน เรื่อง รูปแบบการบริหารจัดการงานวิจัย

- ทุนวิจัยภายในมหาวิทยาลัย ปี 2553 เรื่อง การพัฒนาผลิตภัณฑ์ข้าวแตนเคลือบสาหร่ายสไปรูลิน่าเพื่อสุขภาพ

- ทุนวิจัย วช. ปี 2553 เรื่อง การศึกษาระบบนิเวศบริเวณสวนรุกขชาติผาเมืองเพื่อใช้เป็นฐานข้อมูลในการรักษาระบบนิเวศให้สมดุล เหมาะสมกับการใช้เป็นแหล่งศึกษาความหลากหลายของชีวภาพในชุมชน

- ทุนวิจัยในชั้นเรียน เรื่อง ความพึงพอใจของนักศึกษาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหารในระดับชั้นปีที่ 3 ที่มีต่อรูปแบบการจัดกิจกรรมการเรียนการสอนที่เน้นผู้เรียนเป็นสำคัญในรายวิชา วิศวกรรมอาหาร 1

- ทุนวิจัย สกอ. ปี 2556 เรื่อง การศึกษาความหลากชนิดของเห็ดป่าในชุมชนพัฒนวรพงษ์ จังหวัดเพชรบูรณ์ ภายใต้โครงการวิจัย การศึกษาความหลากชนิดของเห็ดในป่าชุมชนพัฒนวรพงษ์ จังหวัดเพชรบูรณ์ และแนวทางการนำมาใช้ประโยชน์