

บทที่ 4

วิจารณ์และสรุปผล

มะละกอกเป็นพืชที่ปลูกได้ทั่วทุกภาคของประเทศไทย ในบางฤดูกาลผลผลิตที่ได้มีมากกว่าความต้องการของตลาด ซึ่งส่งผลกระทบต่อเกษตรกรมีรายได้น้อยลงและบางครั้งก็ขาดทุน ดังนั้นจึงได้ทำการทดลองแยกเฮมิเซลลูโลสและวิเคราะห์น้ำตาลองค์ประกอบในเปลือกและเนื้อมะละกอ ทั้งนี้เพื่อเพิ่มมูลค่าให้กับมะละกอ เพราะเฮมิเซลลูโลสเป็นพอลิเมอร์ที่มีประโยชน์ต่อการผลิตเจลที่อุ้มน้ำ (hydrogel) และพอลิเมอร์ชีวภาพประจุบวก (cationic biopolymer) อีกทั้งน้ำตาลองค์ประกอบของเฮมิเซลลูโลสนั้นอาจจะเป็น โมโนแซ็กคาไรด์ที่สามารถใช้เป็นสารให้ความหวานที่ให้พลังงานต่ำและมีราคาถูกกว่ากลูโคสและซูโครส

4.1 ปริมาณคาร์โบไฮเดรตและสารต่างๆในเปลือกและเนื้อมะละกอ

เนื่องจากเปลือกและเนื้อมะละกอไม่สามารถเก็บไว้ได้เกินกว่า 1-3 วัน ดังนั้นเพื่อให้ได้ตัวอย่างเปลือกและเนื้อมะละกอที่เริ่มต้นเหมือนกัน จึงได้อบวัตถุดิบทั้งสองให้แห้งและเก็บไว้ใช้ได้นานขึ้น เปลือกและเนื้อมะละกอที่อบที่ 55°C จนแห้งทำให้มีน้ำหนักลดลงเหลือ 8.84% และ 8.58% ของน้ำหนักก่อนอบ ตามลำดับ

ในเปลือกและเนื้อมะละกอแห้ง มีปริมาณโปรตีนเท่ากับ 11.2 และ 4.55% โดยน้ำหนักแห้งตามลำดับ ซึ่งแสดงว่าเปลือกมีโปรตีนมากกว่าเนื้อมะละกอ 6.65% ส่วนปริมาณคาร์โบไฮเดรตในเปลือกและเนื้อมะละกอแห้งสามารถคำนวณได้โดยหักลบปริมาณสารชีวโมเลกุลอื่นๆ (โปรตีน ลิพิด และจีเอ็ม) ออกจากน้ำหนักแห้งของเปลือกและเนื้อมะละกอ ได้ผลดังแสดงในตาราง 4.1 ซึ่งแสดงให้เห็นว่า เปลือกและเนื้อมะละกามีปริมาณคาร์โบไฮเดรตทั้งหมดที่ใกล้เคียงกันมาก

ปริมาณจีเอ็ม ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม และโลหะหนักบางชนิด ในเปลือกและเนื้อมะละกอได้แสดงไว้ในตาราง 4.1 เช่นกัน ปริมาณจีเอ็มจากการเผาเนื้อและเปลือกมะละกอที่ 600°C พบว่า ในเนื้อมะละกามีปริมาณเกลืออนินทรีย์มากกว่าในเปลือกมะละกอ เมื่อหาปริมาณฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมด้วยวิธีทาง spectrophotometry พบว่าในเปลือกมะละกามีปริมาณฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมมากกว่าในเนื้อมะละกอ 7.95 และ 5.46 เท่า ตามลำดับ และจากการหาปริมาณโลหะและธาตุบางชนิด ได้แก่ Cd, Cu, Pb, Zn, Mg และ Mn โดยการไฮโดรไลสเปลือก

ตาราง 4.1 ปริมาณคาร์โบไฮเดรตและสารต่างๆ ในเปลือกและเนื้อมะละกอแห้ง 100 กรัม

สารต่างๆ	มะละกอแห้ง	
	เปลือก	เนื้อ
โปรตีน (%)	11.2	4.55
ลิปิด (%)	2.45	0.52
ชี้เถ้า (%)	8.89	6.60
คาร์โบไฮเดรต (%)	77.46	88.73
ฟอสฟอรัส (มก)	700	87.5
โพแทสเซียม (มก)	4,425	812
แคลเซียม (มก)	3.71	8.59
ทองแดง (มก)	12.63	8.11
ตะกั่ว (มก)	0	0
สังกะสี (มก)	9.59	15.19
แมกนีเซียม (มก)	64.21	74.26
แมงกานีส (มก)	25.62	22.74

และเนื้อมะละกอด้วยกรดไนตริกเข้มข้นร่วมกับการใช้คลื่นไมโครเวฟ ซึ่งเป็นวิธีที่ได้ปริมาณโลหะหนักออกมามากกว่าการไฮโดรไลส์ด้วยกรดไนตริกเพียงอย่างเดียว (Laing *et al.*, 2003) และนำไปวิเคราะห์ด้วย Atomic absorption spectroscopy พบว่า ในเปลือกมีปริมาณ Cu และ Mn มากกว่าในเนื้อมะละกอ แต่ในเนื้อมะละกามีปริมาณ Cd, Mg และ Zn มากกว่าในเปลือก แต่ไม่พบ Pb ทั้งในเปลือกและเนื้อมะละกอ

4.2 เสมิเซลลูโลสที่ได้จากเปลือกและเนื้อมะละกอ

เปลือกและเนื้อมะละกอแห้งที่กำจัดสารต่างๆ เช่นแป้ง โปรตีนบางชนิด และคลอโรฟิลล์บางส่วน ที่ละลายได้ในตัวทำละลายที่มีอุณหภูมิร้อนด้วยการต้มในเอทานอลที่ 70°C ทำให้เหลือกากที่เรียกว่า Alcohol-Insoluble Solid (AIS) ของเนื้อมะละกอน้อยกว่าของเปลือกมะละกอ ทั้งนี้ คาดว่าในเนื้อมะละกามีส่วนประกอบที่ไม่ละลายน้ำของผนังเซลล์ซึ่งได้แก่ เซลลูโลส เพกติน และ เสมิเซลลูโลส น้อยกว่าในเปลือกมะละกอ เช่นเดียวกับที่พบในกรณีของ AIS ในเนื้อและเปลือกของผลมะตูมญี่ปุ่น (Thomas and Thibault, 2002)

การแยกเฮมิเซลลูโลสจากเปลือกและเนื้อมะละกอ (รูป 3.5) ทำได้โดยการสกัด AIS ด้วยสารละลาย 1 และ 4 M KOH ทั้งนี้เนื่องจากสารละลายเบสจะช่วยสลายพันธะเอสเทอร์ที่เชื่อมระหว่างเฮมิเซลลูโลสกับลิกนินและเซลลูโลส และทำให้เฮมิเซลลูโลส (ในรูปของเกลือ) ถูกสกัดออกมาในสารละลายนั้นๆ (Sun *et al.*, 2004) การปรับพีเอชสารละลายสิ่งสกัดให้เป็นกลางนั้นทำให้เฮมิเซลลูโลสเปลี่ยนรูปแบบของเกลือ ($-\text{COO}^-\text{K}^+$) ให้อยู่ในรูปแบบของกรด ($-\text{COOH}$) การทำไฮโดรไลซิสของสารละลายสิ่งสกัดดังกล่าวนี้ให้เป็นกลางจะช่วยกำจัดไอออนต่างๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง K^+ ซึ่งจะช่วยให้ได้สารละลายของเฮมิเซลลูโลสที่ปราศจากไอออนต่างๆ และทำให้ได้เฮมิเซลลูโลสที่บริสุทธิ์หลังจากการระเหิดน้ำออกโดยไลโอไฟไลเซชัน ปริมาณเฮมิเซลลูโลสทั้งหมดที่สกัดได้จากเปลือก [$\text{HC1(ป)} + \text{HC4(ป)}$] และเนื้อมะละกอ [$\text{HC1(น)} + \text{HC4(น)}$] มีค่าใกล้เคียงกันคือ 17.27% และ 16.72% (ตาราง 4.2) โดยเฮมิเซลลูโลสจากเปลือกมีปริมาณมากกว่าจากเนื้อมะละกอเพียง 0.55 % เฮมิเซลลูโลสจากเปลือกมะละกอส่วนใหญ่ (11.8%) มาจากการสกัดด้วย 1 M KOH [HC1(ป)] ในขณะที่เฮมิเซลลูโลสจากเนื้อมะละกอส่วนใหญ่ (10.11%) ได้จากการสกัดด้วย 4 M KOH [HC4(น)] ดังนั้นการสกัดแบบเพิ่มความเข้มข้น 2 ขั้นตอนต่อเนื่องกันทำให้ได้ปริมาณเฮมิเซลลูโลสทั้งหมดมากกว่าการสกัดด้วย 1 หรือ 4 M KOH เพียงอย่างเดียว เหมือนดังกรณีการแยกเฮมิเซลลูโลสด้วย 1 และ 4 M KOH จากมะตูมญี่ปุ่นพันธุ์ RG822 ในส่วนของเปลือกได้เฮมิเซลลูโลส 3.8 และ 3.6% ตามลำดับ และในส่วนของเนื้อมีปริมาณ 5.3 และ 4.1% ตามลำดับ (Thomas and Thibault, 2002) ในขณะที่ Vollendorf และ Marlett (1993) หาปริมาณเฮมิเซลลูโลสจากเนื้อมะละกอสดโดยสกัดไขมันออกด้วยปิโตรเลียมอีเทอร์แล้วทำให้แห้ง นำกากเนื้อมะละกอที่ได้ใส่ในสารละลายโซเดียม อะซิเตต บัฟเฟอร์ จากนั้นสลายแป้งในเนื้อมะละกอออกด้วยเอนไซม์ α -amylase และ amyloglucosidase แล้วตกตะกอนกลุ่มเส้นใยที่ละลายน้ำด้วย 80% เอทานอล ส่วนเส้นใยที่ไม่ละลายน้ำแยกได้ด้วยการเซนตริฟิวจ์ (centrifugation) วิเคราะห์หาชนิดและปริมาณน้ำตาลองค์ประกอบด้วย GC นำปริมาณน้ำตาล กาแล็กโทส ไซโลส แมนโนส และอะราบินอส ในเส้นใยที่ไม่ละลายน้ำมาคำนวณหาปริมาณเฮมิเซลลูโลสได้ 5.3 % โดยน้ำหนัก แต่ปริมาณกลูโคสบางส่วนของเฮมิเซลลูโลสถูกนำไปคำนวณรวมกับส่วนของเซลลูโลสจึงอาจทำให้ปริมาณเฮมิเซลลูโลสที่หาโดยวิธีดังกล่าวนี้ต่ำกว่าปริมาณที่มีอยู่จริงในเนื้อมะละกอ

ในการเตรียม AIS จากเปลือกและเนื้อมะละกอ เนื่องจากส่วนที่ละลายในเอทานอลร้อน เช่น แป้ง โอลิโกแซ็กคาไรด์ในเซลล์ โปรตีนบางชนิด และรงควัตถุบางส่วนถูกสกัดออกไปทำให้เหลือปริมาณของ AIS ในเปลือกและเนื้อมะละกอเท่ากับ 58.60 และ 37.37% โดยน้ำหนัก ตามลำดับ และเมื่อสกัดเฮมิเซลลูโลสจากเปลือกและเนื้อมะละกอด้วย 1 และ 4 M KOH ผลปรากฏว่า ปริมาณผลรวมของเฮมิเซลลูโลสและกากที่เหลือของเปลือก [$\text{HC1(ป)} + \text{HC4(ป)} + \text{กาก(ป)}$] (50.32%) มีค่ามากกว่าของเนื้อมะละกอ [$\text{HC1(น)} + \text{HC4(น)} + \text{กาก(น)}$] (36.74%) ซึ่งสอดคล้องกับ

ตาราง 4.2 ร้อยละผลผลิต ความชื้น น้ำเถ้า และระดับความขาวของเฮมิเซลลูโลสจากเปลือกและเนื้อมะละกอ

เฮมิเซลลูโลส	ผลผลิต (%)	ความชื้น (%)	น้ำเถ้า (%)	ระดับความขาว (%)
เปลือก HC1(ป)	11.80	11.27	8.44	89.88
HC4(ป)	5.47	12.86	4.54	63.71
รวม	<u>17.27</u>			
HC1(ปพ)	1.04	11.33	-	81.08
HC4(ปพ)	1.40	11.93	-	88.54
รวม	<u>2.44</u>			
เนื้อ HC1(น)	6.61	12.87	5.27	77.98
HC4(น)	10.11	8.67	6.79	80.38
รวม	<u>16.72</u>			
HC1(นพ)	1.18	12.74	-	-
HC4(นพ)	1.24	14.54	-	-
รวม	<u>2.42</u>			

* - = ไม่ได้ทำการทดลอง

ปริมาณ AIS ของเปลือกและเนื้อมะละกอ

เนื่องจากเฮมิเซลลูโลสจากเปลือกมะละกอมีสีของคลอโรฟิลล์โดยเฉพาะอย่างยิ่งเฮมิเซลลูโลสที่ได้จากการสกัดด้วย 4 M KOH [HC49(ป)] ซึ่งมีระดับความขาวเพียง 63.71% ดังนั้นจึงทดลองฟอกสี AIS ของเปลือกมะละกอด้วยสารละลายโซเดียมคลอไรท์ พีเอช 4.2 ที่ 75°C AIS ของเปลือกที่ฟอกสีแล้วได้ทดลองแยกเพกตินออกโดยการสกัดด้วย 0.5 M HCl ก่อนนำไปสกัดเฮมิเซลลูโลสด้วย KOH ตามวิธีเดิม ซึ่งได้เฮมิเซลลูโลส [HC1(ปพ) และ HC4(ปพ)] ที่มีความเข้มข้นระดับสีที่เมื่อเทียบกับเฮมิเซลลูโลสจากเปลือก [HC1(ป) และ HC4(ป)] และเนื้อ [HC1(น) และ HC4(น)] ที่ไม่ฟอกสี แสดงว่าการฟอกสีทำให้เฮมิเซลลูโลสจากเปลือก HC4(ปพ) มีความขาวเพิ่มขึ้น 24.83% ส่วน HC1(ปพ) มีความขาวน้อยลง 8.80% อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาจากระดับสีอื่นๆ ประกอบ ดังตาราง 3.14 พบว่า การฟอกสีทำให้ระดับสีเขียวของเฮมิเซลลูโลสจากเปลือก [HC1(ปพ)] ลดลง แต่มีระดับสีเหลืองมากขึ้น ซึ่งมีผลกระทบต่อความขาว ดังนั้นจึงส่งผลให้เฮมิเซลลูโลสจากเปลือกที่ฟอกสีมีความขาวลดลง ทั้งนี้จากการสังเกตด้วยสายตาปรากฏว่า เฮมิเซลลูโลส HC1(ปพ) มีระดับสีเขียวลดลงแต่มีสีเหลืองเพิ่มขึ้นแทน

สำหรับเฮมิเซลลูโลสจากเนื้อมะละกอเมื่อมองด้วยสายตาจะเห็นว่ามียีสโดยรวมค่อนข้างขาวอยู่แล้วจึงไม่ได้ทำการฟอกสี และเมื่อเปรียบเทียบสีของเฮมิเซลลูโลสจากเปลือกที่ฟอกสีกับจากเนื้อที่ไม่ฟอกสี [HC1(น) และ HC4(น)] พบว่า เฮมิเซลลูโลสจากเปลือกที่ฟอกสีมีความขาวมากกว่าเฮมิเซลลูโลสจากเนื้อมะละกอ ดังรูป 3.6

เฮมิเซลลูโลสจากเปลือกที่ผ่านการสกัดเพกติน [HC1(ปป)+HC4(ปป)] และเนื้อมะละกอที่สกัดเพกตินออกแล้ว [HC1(นพ)+HC4(นพ)] มีปริมาณเท่ากับ 2.44% และ 2.42% ตามลำดับ นั่นคือเฮมิเซลลูโลสทั้งจากเปลือกและเนื้อมะละกอที่ผ่านการสกัดเพกตินมีปริมาณลดลง 85.87 และ 85.53% ของปริมาณเฮมิเซลลูโลสทั้งหมดจากเปลือกและเนื้อมะละกอ ตามลำดับ จากปริมาณกากที่เหลือจากการสกัดเฮมิเซลลูโลสซึ่งคาดว่าจะเป็นส่วนหนึ่งของเซลลูโลส พบว่า กากจากเปลือกและเนื้อมะละกอที่ผ่านการสกัดเพกตินมีปริมาณน้อยกว่ากากที่ไม่ผ่านการสกัดเพกติน 49.34 และ 29.0% ตามลำดับ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากสารละลายกรดที่สกัดเพกตินมีผลทำให้เฮมิเซลลูโลสบางส่วนในผนังเซลล์ถูกทำลายดังที่กล่าวไว้ในการศึกษาการสกัดเพกตินและเฮมิเซลลูโลสจากผลมะตูมญี่ปุ่น (Thomas and Thibault, 2002)

การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันจาก FT-IR สเปกตรัมของเฮมิเซลลูโลสที่ได้จากเปลือกและเนื้อมะละกอด้วย KOH ที่ความเข้มข้น 1 และ 4 M พบว่า สเปกตรัมของเฮมิเซลลูโลสจากเปลือกและเนื้อมะละกอทุกตัวอย่างปรากฏสัญญาณในช่วง 3600-2800, 1670-1630, 1470-1220, 1170, 1050-1040 และ 920-900 cm^{-1} แต่สเปกตรัมของเฮมิเซลลูโลสจากเปลือกและเนื้อที่สกัดด้วย 4 M KOH [HC4(ปป), HC4(นพ), HC4(น) HC4(นพ)] ไม่ปรากฏสัญญาณช่วง 1770-1700 cm^{-1} ซึ่งเป็นสัญญาณที่แสดงถึงหมู่คาร์บอนิลของพันธะเอสเทอร์ของหมู่อะซิติกและเอสเทอร์ของกรดยูโรนิกในสายเฮมิเซลลูโลสดังที่พบในสเปกตรัมของเฮมิเซลลูโลสจากฟางข้าวสาลีที่สกัดด้วย 0.5 M KOH (Sun and Tomkinson, 2002) แสดงว่า การสกัดเฮมิเซลลูโลสจากเปลือกและเนื้อมะละกอด้วยสารละลายเบสเข้มข้น (4 M KOH) ทำให้เกิดการตัดพันธะเอสเทอร์ของหมู่อะซิติกและเอสเทอร์ของกรดยูโรนิกในเฮมิเซลลูโลสดังกล่าว ดังเช่นที่พบในกรณีที่สกัดเฮมิเซลลูโลสจากขนอ้อยด้วย 0.5 M NaOH (Sun *et al.*, 2004) นอกจากนี้ยังพบสัญญาณของลิกนินในช่วง 1570-1540 cm^{-1} ใน HC1(ปป) HC4(ปป) HC1(น) และ HC(นพ) แต่ไม่ปรากฏสัญญาณดังกล่าวใน HC1(นพ) และ HC4(นพ) ซึ่งผ่านการฟอกสีด้วยโซเดียมคลอไรท์ แสดงให้เห็นว่าโซเดียมคลอไรท์ช่วยกำจัดลิกนินในเปลือกมะละกอเช่นเดียวกับการใช้โซเดียมคลอไรท์ซึ่งช่วยฟอกสี เฮมิเซลลูโลสจากไม้โตไวประเภท poplar ทำให้ลิกนินถูกกำจัดออกไปด้วย (Sun *et al.*, 2001)

เนื่องจากโครงสร้างของเฮมิเซลลูโลสซึ่งประกอบด้วยน้ำตาลหลายชนิด ส่งผลทำให้เฮมิเซลลูโลสมีความชอบ (affinity) ที่จะจับกับโมเลกุลของน้ำได้ง่าย นั่นคือ ทำให้เฮมิเซลลูโลสดูดซับน้ำได้ง่าย (Dreher, 1999) ผลการทดสอบแสดงว่าเฮมิเซลลูโลสจากเปลือกและเนื้อมะละกอมี

ความชื้น 8-15% (ตาราง 4.2) ดังปรากฏสัญญาณที่ $1670-1630\text{ cm}^{-1}$ ใน FT-IR สเปกตรัมซึ่งแสดงถึงโมเลกุลของน้ำที่ดูดซับในเฮมิเซลลูโลสจากเปลือกและเนื้อมะละกอทุกตัวอย่าง ซึ่งมีสัญญาณที่คล้ายคลึงกับสัญญาณของสเปกตรัมของเฮมิเซลลูโลสจากฟางข้าวที่ 1646 cm^{-1} (Sun *et al.*, 2004) และจากกากชานอ้อยที่ 1640 cm^{-1} (Sun *et al.*, 2000)

การสกัดเฮมิเซลลูโลสด้วย KOH ทำให้ได้เฮมิเซลลูโลสในรูปของเกลือโพแทสเซียม ทั้งนี้เนื่องจากเฮมิเซลลูโลสมีกลุ่ม COOH ของกรดยูโรนิก ดังที่พบเกลือของกรดยูโรนิกในเฮมิเซลลูโลสจากกาก sugar beet ที่สกัดด้วย KOH และ NaOH (Sun and Hughes, 1998) ดังนั้นจึงพบจีไธ้าจากการเผาเฮมิเซลลูโลสจากเปลือกและเนื้อมะละกอซึ่งมีค่าใกล้เคียงกันในช่วง 4.5-8.5% และมีค่าใกล้เคียงกับปริมาณจีไธ้าของเส้นใยอาหาร (เฮมิเซลลูโลสและเซลลูโลส) ที่ผ่านการสกัดเพกตินออกจากเนื้อมะละกอสด (2-5.5%) (สงวนศรี, 2538-2540)

เนื่องจากเฮมิเซลลูโลสเป็นพอลิแซ็กคาไรด์ที่ประกอบด้วยน้ำตาลตั้งแต่ 2 ชนิดขึ้นไป จึงทำให้ชนิดและปริมาณน้ำตาลที่เป็นองค์ประกอบของเฮมิเซลลูโลสเป็นลักษณะเฉพาะของเฮมิเซลลูโลสแต่ละชนิดที่ได้จากแหล่งและวิธีการสกัดต่างๆ ผลการทดลองซึ่งได้ทำการไฮโดรไลส์เฮมิเซลลูโลสจากเปลือกและเนื้อมะละกอด้วย $1\text{ M H}_2\text{SO}_4$ ที่ 100°C และวิเคราะห์หาชนิดและปริมาณน้ำตาลองค์ประกอบด้วย HPLC โดยเทียบเวลาริเทนชันและพื้นที่ใต้พีคกับน้ำตาลมาตรฐานพบว่า เฮมิเซลลูโลสจากเปลือกและเนื้อมะละกามีกาแล็กโทสเป็นน้ำตาลองค์ประกอบหลักโดยมีปริมาณ 25.36 และ 23.84% โดยน้ำหนัก ตามลำดับ (ตาราง 4.3) ซึ่งได้ผลใกล้เคียงกับปริมาณของกาแล็กโทสของเส้นใยที่ไม่ละลายน้ำ (เฮมิเซลลูโลสและเพกติน) ในเนื้อมะละกอดิบ (13%) (Vollendorf and Marlett, 1993) น้ำตาลองค์ประกอบของเฮมิเซลลูโลสจากเปลือกที่มีปริมาณรองลงมาได้แก่ ไซโลส (5.34%) กลูโคส (9.88%) อะราบิโนส (2.31%) แรมโนส (0.66%) และกรดยูโรนิก (7.29%) ในขณะที่น้ำตาลองค์ประกอบแต่ละชนิดของเฮมิเซลลูโลสจากเนื้อมะละกอที่มีปริมาณรองลงมาคือ ไซโลส (20.0%) อะราบิโนส (14.32%) กลูโคส (12.3%) และกรดยูโรนิก (7.76%)

ปริมาณโดยรวมทั้งหมดของน้ำตาลองค์ประกอบและกรดยูโรนิกของเฮมิเซลลูโลสจากเปลือกและเนื้อมะละกออยู่ในช่วง 20-52% โดยน้ำหนัก ซึ่งครอบคลุมช่วงของน้ำตาลองค์ประกอบของเส้นใยอาหารในน้ำส้มคั้น (33-34% โดยน้ำหนัก) (Grigelmo and Martin, 1999) และมีปริมาณต่ำกว่าน้ำตาลองค์ประกอบของเฮมิเซลลูโลสจากเปลือกและเนื้อมะละกุนึ่งสุ (32-74 และ 43-77% โดยน้ำหนัก ตามลำดับ) (Thomas and Thibault, 2002) เนื่องจากเฮมิเซลลูโลสที่สกัดได้อาจเป็นส่วนประกอบอื่นๆ ของผนังเซลล์ที่ปนมา เช่น เฮมิเซลลูโลสจากชานอ้อยที่สกัดด้วย 0.5 M NaOH มี ลิกนิน (5.12%) พอลิฟีนอล (polyphenol) (3.12%) (Sun *et al.*, 2004) ในเส้นใยที่ไม่ละลายน้ำ

ตาราง 4.3 ร้อยละของน้ำตาลและกรดยูโรนิกซึ่งเป็นองค์ประกอบของเฮมิเซลลูโลสจากเปลือกและเนื้อมะละกอ

เฮมิเซลลูโลส	กาแล็กโทส	กลูโคส	ไซโลส	อะราบิโนส	แรมโนส	กรดยูโรนิก
เปลือก HC1(ป)	15.28	5.04	5.00	1.87	-	4.61
HC4(ป)	10.08	4.84	0.34	0.44	0.66	2.68
HC1(ปพ)	3.73	6.00	2.06	-	-	1.86
HC4(ปพ)	8.43	17.60	1.30	-	-	4.20
เนื้อ HC1(น)	9.34	2.00	9.00	4.86	-	3.46
HC4(น)	14.50	10.30	11.00	9.46	-	4.30
HC1(นพ)	4.14	9.19	1.19	-	-	4.22
HC4(นพ)	5.21	5.12	10.82	9.12	-	9.95

* - = ไม่พบ

(เฮมิเซลลูโลส เซลลูโลส เพกติน) ที่เหวี่ยงแยกได้หลังผ่านการย่อยโปรตีนออกด้วย protease จากกากสับมีโปรตีนบางชนิด (8-10%) ไขมัน (1.5-3%) เกลืออินทรีย์ และแร่ธาตุอื่นๆ (3%) เป็นองค์ประกอบ (Grigelmo and Martin, 1999) นอกจากนั้นคอลัมน์ที่ใช้คือ Zorbax carbohydrate ซึ่งมีประสิทธิภาพในการวิเคราะห์ชนิดของน้ำตาลได้ระดับหนึ่งและทำให้ไม่พบน้ำตาลองค์ประกอบบางส่วน ดังนั้นหากมีการทำวิจัยต่อไปอาจเลือกใช้คอลัมน์ชนิดอื่นที่มีประสิทธิภาพต่อการวิเคราะห์น้ำตาลองค์ประกอบแต่ละชนิดได้ดีขึ้น หรืออาจวิเคราะห์น้ำตาลองค์ประกอบด้วยเทคนิค GC แต่ต้องใช้ acetic anhydride ซึ่งเป็นสารต้องห้ามสำหรับการนำเข้ามาใช้ในประเทศไทยจึงอาจทำให้มีความยุ่งยากต่อการสั่งซื้อ

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณน้ำตาลองค์ประกอบของเฮมิเซลลูโลสแต่ละตัวอย่าง พบว่าเฮมิเซลลูโลสจากเปลือกมะละกอที่สกัดด้วย 1 M KOH มีปริมาณน้ำตาลกาแล็กโทส กลูโคส ไซโลส และอะราบิโนส มากกว่าเฮมิเซลลูโลสจากเปลือกที่สกัดด้วย 4 M KOH ซึ่งตรงกันข้ามกับเฮมิเซลลูโลสจากเนื้อมะละกอที่สกัดด้วย 4 M KOH จะมีปริมาณน้ำตาลองค์ประกอบดังกล่าว ทั้ง 4 ชนิดมากกว่าที่สกัดด้วย 1 M KOH และพบว่า เฮมิเซลลูโลสจากเปลือกและเนื้อที่สกัดเพกตินออกก่อนมีปริมาณกลูโคสสูงกว่าที่ไม่ผ่านการสกัดเพกติน แต่มีปริมาณกาแล็กโทสลดลง ในขณะที่การสกัดเพกตินทำให้เฮมิเซลลูโลสจากเปลือกมะละกอไม่มีอะราบิโนสและเฮมิเซลลูโลสจากเนื้อมะละกอมีอะราบิโนสเป็นองค์ประกอบน้อยลง ทั้งนี้อาจเกิดจากขั้นตอนการสกัดเพกตินออกด้วยสารละลายกรดที่ 80-85°C ที่ทำให้น้ำตาลอะราบิโนสถูกย่อยสลาย ดังที่พบเช่นเดียวกันในเฮมิเซลลูโลสจากกาก sugar beet ที่ผ่านการสกัดเพกตินออกก่อน (Sun and Hughes, 1998)

ผลการหาปริมาณกรดยูโรนิกซึ่งจัดเป็นน้ำตาลที่เป็นกรด (acidic sugar) ที่พบในเฮมิเซลลูโลสจากเปลือกและเนื้อมะละกอ พบว่า ไม่ว่าจะสกัดเพกตินออกจากเปลือกและเนื้อมะละกอก่อนหรือไม่ก็ตามเฮมิเซลลูโลสจากเปลือกและเนื้อมะละกอซึ่งสกัดด้วย 4 M KOH มีปริมาณกรดยูโรนิกมากกว่าเฮมิเซลลูโลสที่สกัดด้วย 1 M KOH ปริมาณกรดยูโรนิกของเฮมิเซลลูโลสจากเปลือกและเนื้อมะละกามีปริมาณใกล้เคียงกับกรดยูโรนิกในเฮมิเซลลูโลสจากเปลือกและเนื้อมะตูมญี่ปุ่นที่สกัดด้วย 1 และ 4 M KOH ซึ่งอยู่ในช่วง 2.5-3.5% (Thomas and Thibault, 2002)

ผลการหาชนิดและปริมาณน้ำตาลองค์ประกอบเฮมิเซลลูโลสจากเปลือกและเนื้อมะละกอทำให้สรุปได้ว่า ทั้งในเปลือกและเนื้อมะละกอประกอบด้วยเฮมิเซลลูโลสชนิด กาแล็กแทน เหมือนกัน เพราะมีน้ำตาลกาแล็กโทสเป็นองค์ประกอบมากกว่าน้ำตาลชนิดอื่นๆ โดยที่เฮมิเซลลูโลสจากเปลือกมะละกอมีกุลโคสและไซโลสเป็นองค์ประกอบรองลงมา ตามลำดับ ดังนั้นจึงทำให้เรียกชื่อว่า xyloglucuronogalactan ในขณะที่เฮมิเซลลูโลสจากเนื้อมะละกอซึ่งมีไซโลส อะราบินอส และกุลโคสเป็นองค์ประกอบในปริมาณรองลงมา ตามลำดับ จึงควรเรียกชื่อเฮมิเซลลูโลสนี้ว่า glucuronoarabinoxylgalactan

4.3 สรุปผล

เปลือกและเนื้อมะละกอแห้งประกอบด้วยคาร์โบไฮเดรต 83.43 และ 84.37% โดยน้ำหนัก โดยแบ่งเป็นส่วนประกอบของเฮมิเซลลูโลส 17.27% และ 16.72% โดยน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ การสกัดเพกตินออกจากเปลือกและเนื้อมะละกอก่อนทำให้ได้ผลผลิตเฮมิเซลลูโลสจากเปลือกและเนื้อมะละกอลดลงเหลือเพียง 2.44% และ 2.42% โดยน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ เฮมิเซลลูโลสที่ถูกสกัดด้วย 4 M KOH ทำให้เกิดการสลายพันธะเอสเทอร์ในโมเลกุล การฟอกสีเปลือกด้วยสารละลายโซเดียมคลอไรท์ ทำให้ได้เฮมิเซลลูโลสที่มีความขาวมากขึ้น เฮมิเซลลูโลสจากเปลือกและเนื้อมะละกอน้ำตาลกาแล็กโทสเป็นองค์ประกอบหลักและมีปริมาณที่ใกล้เคียงกัน (24-25%) น้ำตาลชนิดอื่นที่เป็นองค์ประกอบในเฮมิเซลลูโลสจากเปลือกได้แก่ กุลโคส (10%) ไซโลส (5%) อะราบินอส (2%) แรมโนส (น้อยกว่า 1%) และกรดยูโรนิก (7%) และเฮมิเซลลูโลสจากเนื้อมะละกอได้แก่ ไซโลส (20%) อะราบินอส (14%) กุลโคส (12%) และกรดยูโรนิก (8%)