ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

1. การวิเคราะห์ชนิดและปริมาณกรดอินทรีย์ และ polysaccharide ในเนื้อมะขาม

การวิจัยได้นำมะขามตัวอย่าง คือ *Tamarindus indica* L. สายพันธุ์ปลูก ได้แก่ มะขามเปรี้ยวยักษ์ (TI-PY/P) มะขามหวานศรีชมพู (TI-SP/P) สีทองหนัก (TI-STN/P) สีทองเบา (TI-STB/P) จากจังหวัดเพชรบูรณ์ และมะขามเปรี้ยว (TI-P/K) มะขามศรีชมพู (TI-SP/K) สีทองหนัก (TI-STN/K) จากจังหวัดนครราชสีมา (โคราช) มาศึกษาวิจัย ได้ผลการวิจัยดังต่อไปนี้

1.1 การวิเคราะห์ชนิดและปริมาณกรดอินทรีย์ในเนื้อมะขาม

การวิเคราะห์หาชนิดและปริมาณของกรดอินทรีย์ (organic acid) ที่เป็นองค์ประกอบของมะขามโดยเทคนิค High Performance Liquid Chromatography (HPLC) โดยใช้เครื่อง HPLC instrument (class VP, system controller, Shimadzu, Japan) ใช้ column C18 Hypersil Gold 250x4.6 mm และ UV-Vis Detector SPD-10 Avvp โดยใช้ condition ที่พัฒนาจากงานวิจัยของ Zhanguo (2002) และ Khanthapok (2007) ดังต่อไปนี้

HPLC parameter	Optimized condition
Column	C18 column (5µm, 250x4.6 mm)
Mobile phase	0.5% $(NH_4)H_2PO_4$ (w/v), pH 2.6
Flow rate	1 ml/min
Time	25 min
Detector	UV-detector at 210 nm
Temperature	25 °C
Internal Standard	Gallic acid

จากการวิเคราะห์หปริมาณและองค์ประกอบของกรดอินทรีย์ของน้ำสกัดเนื้อมะขามชนิดเปรี้ยวและชนิดหวาน ต่างสายพันธุ์ ที่เก็บรวบรวมจากจังหวัดนครราชสีมา (โคราช) ดังแสดงไว้ใน

ตารางที่ 1 และตัวอย่างมะขามเปรี้ยวและหวานต่างสายพันธุ์จากจังหวัดเพชรบูรณ์ ดังแสดงไว้ในตารางที่ 2 ด้วยเทคนิค HPLC พบว่าประกอบด้วยกรดอินทรีย์ 6 ชนิด ได้แก่ กรด Oxalic (OA) กรด tartaric (TA) กรด L-Malic (MA) กรด citric (CA) กรด fumaric (FA) และกรด succinic (SA) และพบว่ากรด Tartaric เป็นองค์ประกอบหลักที่พบมากที่สุด ทั้งในมะขามชนิดเปรี้ยวและชนิดหวาน ซึ่งมะขามชนิดเปรี้ยวจะมีปริมาณของกรด Tartaric สูงมากกว่ามะขามชนิดหวาน 4-8 เท่า (ตารางที่ 1 และ 2) ในขณะที่กรดอินทรีย์ชนิดอื่นๆ พบในปริมาณแตกต่างกัน ทั้งในชนิดเปรี้ยวและหวาน ปริมาณกรดอินทรีย์ที่พบมากถัดมาคือ กรด malic ส่วนที่พบจำนวนน้อย คือ กรด fumaric การวิเคราะห์เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการแยกกรดอินทรีย์แต่ละชนิดและการยืนยันความถูกต้องของวิธีวิเคราะห์ ได้แก่ specificity, linearity, sensitivity ตลอดจน accuracy และ precision ดังแสดงไว้ใน ภาคผนวกที่ 1

ลักษณะเด่นของมะขาม คือ เนื้อมะขามมีกรดอินทรีย์สูง โดยเนื้อมะขามชนิดเปรี้ยวมีปริมาณกรดทาร์ทาริกสูงถึง 12.20-23.80 % ซึ่งสูงกว่าพืชชนิดอื่นๆที่มีการศึกษาไว้ (Ulrich, 1970) นอกจากกรดทาร์ทาริกแล้วยังมีกรดอินทรีย์ชนิดอื่นๆ ที่พบในมะขาม คือ กรดออกซาลิก กรดแอสคอบิก ซักซินิก ซิตริก และควินิก (Lewis, Neelakantan, 1964; Anon, 1976) โดยกรดแอสคอบิกที่พบในมะขามจะมีปริมาณน้อยมาก ประมาณ 2-20 มิลลิกรัม/100 กรัม (Lefevre, 1971) สำหรับการทดลองนี้กรดอินทรีย์ที่พบในเนื้อมะขาม คือ กรดออกซาลิก ทาร์ทาริก มาลิก ซิตริก และซักซินิก แต่ไม่พบกรดแอสคอบิกตามข้อมูลที่มีการรายงานไว้แล้ว มีนักวิจัยแต่ละกลุ่มได้รายงานปริมาณของกรดทาร์ทาริกในเนื้อมะขามที่มีค่าแตกต่างกันไป ได้แก่ Hasan และ Ijaz (1972) พบว่าในเนื้อมะขามเปรี้ยวในประเทศปากีสถานมีปริมาณกรดทาร์ทาริกประมาณ 8.40-12.40% ปริมาณกรดทาร์ทาริกของมะขามในประเทศไทยพบมี 2.50-11.30% โดยมะขามชนิดหวานมีปริมาณกรดทาร์ทาริกน้อยกว่ามะขามชนิดเปรี้ยว คือ มีค่าต่ำกว่า 2.00-3.20% (Feungchan *et al.*, 1996) ขณะที่การรายงานของชูศักดิ์ สัจจพงษ์และคณะ (2542) พบว่ามะขามชนิดเปรี้ยวมีปริมาณกรดทาร์ทาริกปะมาณ 12.00-17.00%

เมื่อนำข้อมูลของคณะผู้วิจัยต่างๆ ที่มีรายงานไว้แล้วมาเปรียบเทียบข้อมูลที่ได้จากการทดลองในครั้งนี้พบว่ามะขามชนิดเปรี้ยว "เปรี้ยวยักษ์" (จ.เพชรบูรณ์) "เปรี้ยว" (จ.นครราชสีมา) มีปริมาณของกรดทาร์ทาริกใกล้เคียงกับค่าที่ชูศักดิ์ สัจจพงษ์และคณะ (2542) ได้รายงานไว้ มะขามชนิดหวาน "ขันตี" (จ.เพชรบูรณ์) "ศรีชมภู" (จ.นครราชสีมา) มีปริมาณกรดทาร์ทาริกใกล้เคียงกับค่าที่

ตารางที่ 1 ปริมาณกรดอินทรีในเนื้อมะขามสดของมะขามไทยสายพันธุ์ต่างๆ จากจังหวัดนครราชสีมา (โคราช)

T.indica Cultivars	Organic acids, mean (SD)					
	mg/100g					
	OA	TA	SA	FA	L-MA	CA
มะขามเปรี้ยว	92.667	8993.523	160.850	0.421	575.997	52.208
TI-P/K	(0.445)	(57.778)	(4.338)	(0.002)	(1.799)	(0.703)
ศรีชมพู	119.009	2402.317	205.433	1.130	1141.025	80.994
TI-SP/K	(1.042)	(1.992)	(7.613)	(0.017)	(1.619)	(1.077)
สีทองหนัก	163.231	1607.168	235.369	3.218	1696.244	79.362
TI-STN/K	(3.428)	(34.288)	(9.136)	(0.068)	(22.277)	(3.791)

ตารางที่ 2 ปริมาณกรดอินทรีย์ในเนื้อมะขามสดของมะขามไทยสายพันธุ์ต่างๆ จากจังหวัดเพชรบูรณ์

T.indica Cultivars	Organic acids, mean (SD)					
	mg/100g					
	OA	TA	SA	FA	L-MA	CA
เปรี้ยวยักษ์	95.781	17301.310	-	1.337	615.938	231.000
TI-PY/P	(2.854)	(281.46)		(0.019)	(18.668)	(23.71)
ศรีชมพู	127.518	2173.550	17.895	0.919	1340.118	60.917
TI-SP/P	(8.565)	(87.365)	(3.111)	(0.024)	(76.407)	(1.009)
สีทองหนัก	163.773	2309.131	204.422	4.430	1786.720	238.996
TI-STN/P	(2.856)	(52.674)	(8.259)	(0.175)	(2.022)	(4.044)
ขันตี	100.854	2785.641	217.191	2.215	971.124	87.261
TI-K/P	(0.825)	(0.219)	(2.093)	(0.057)	(4.027)	(0.517)
สีทองเบา	192.424	2245.743	275.483	4.180	2457.860	280.148
TI-STB/P	(0.128)	(47.406)	(8.695)	(0.062)	(7.148)	(6.500)

Feungchan และคณะ (1996) ได้รายงานไว้ ส่วนมะขามชนิดหวาน "สีทองหนัก" มีปริมาณ กรดทาร์ทาริกน้อยที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับมะขามพันธุ์ปลูกอื่นและเปรียบเทียบค่าที่ได้รายงานไว้แล้ว

เนื้อมะขามและน้ำสกัดเนื้อมะขาม มีการนำมาใช้บำบัดอาการท้องผูกนานมาแล้ว กรดอินทรีย์ในเนื้อมะขามอาจเป็นสารออกฤทธิ์สำคัญช่วยการระบาย โดยการไปเพิ่มการบีบตัวของลำไส้ จึงน่าสนใจศึกษาความสัมพันธ์ของปริมาณกรดอินทรีย์ในเนื้อมะขามและฤทธิ์การระบายของมะขามทั้งสายพันธุ์เปรี้ยวและพันธุ์หวานที่ปลูกในประเทศไทย โดยเฉพาะที่จังหวัดเพชรบูรณ์และจังหวัดนครราชสีมาที่ปลูกกันมาก และนำมาทำการศึกษาในการวิจัยครั้งนี้ โดยการศึกษาในสัตว์ทดลองหนูขาว (rat) ซึ่งจะศึกษาฤทธิ์การระบายของน้ำสกัดจากเนื้อมะขามต่างสายพันธุ์ และจากผลิตภัณฑ์ที่เตรียมจาก น้ำสกัดเนื้อมะขาม เตรียมเป็นผลิตภัณฑ์ในรูปของผงแห้ง นำมาทดสอบฤทธิ์การระบายเปรียบเทียบกับน้ำสกัดของเนื้อมะขาม

1.2 <u>การสกัดและการวิเคราะห์ polysaccharide ในเนื้อมะขาม (pulp)</u>

โดยเลือกตัวอย่างมะขามชนิดเปรี้ยวยักษ์จากจังหวัดเพชรบูรณ์ที่มีปลูกมากและราคาถูก และมะขามเปรี้ยวและมะขามหวานจากจังหวัดนครราชสีมานำมาศึกษา

1.2.1 <u>เปอร์เซ็นต์ yield ของพอลิแซ็กคาไรด์จากเนื้อมะขาม</u>

ลักษณะพอลิแซ็กคาไรด์จากเนื้อมะขาม และเปอร์เซ็นต์ yield ที่สกัดได้จากมะขามชนิดเปรี้ยว "เปรี้ยวยักษ์" (จ.เพชรบูรณ์) "เปรี้ยว" (จ.นครราชสีมา) และชนิดหวาน "ศรีชมภู" และ "สีทองหนัก" (จ.นครราชสีมา) แสดงตารางที่ 3 ตามลำดับ

เปอร์เซ็นต์ yield ของการสกัดพอลิแซ็กคาไรด์เนื้อมะขามสายพันธุ์ปลูกศรีชมภู (จ.นครราชสีมา) มีเปอร์เซ็นต์ yield ของการสกัดสูงที่สุดและมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติจากสายพันธุ์ปลูกสีทองหนัก (จ.นครราชสีมา) และ มะขามเปรี้ยวยักษ์ (จ.เพชรบูรณ์) เปอร์เซ็นต์ yield ของพอลิแซ็กคาไรด์ในเนื้อมะขามเปรี้ยว (จ.นครราชสีมา) สูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเทียบกับเนื้อมะขามเปรี้ยวยักษ์(จ.เพชรบูรณ์) ซึ่งเปอร์เซ็นต์ yield ของการสกัดพอลิแซ็กคาไรด์ของพืชขึ้นอยู่กับกรรมวิธีในการสกัด วิธีสกัด สารเคมีที่ใช้ ชนิดของพืช และตำแหน่งของเซลล์พืชที่นำมาสกัด สิ่งเหล่านี้ล้วนทำให้ได้พอลิแซ็กคาไรด์มีสมบัติต่างกันอีกด้วย

1.2.2 <u>การวิเคราะห์องค์ประกอบพอลิแซ็กคาไรด์ของเนื้อมะขาม</u>

<u>การวิเคราะห์โดย FT-IR ของพอลิแซ็กคาไรด์ของเนื้อมะขาม</u>

สเปคตรัมอินฟาเรดของพอลิแซ็กคาไรด์เนื้อมะขามที่วิเคราะห์โดย Fourier Transform Infrared Spectrometry (FT-IR) ทดลองโดยนำพอลิแซ็กคาไรด์เนื้อมะขามมาบดผสมรวมกับโพแทสเซียมโบรไมด์แล้วอัดให้เป็นแผ่น เส้นกราฟสเปคตรัมของพอลิแซ็กคาไรด์เนื้อมะขามชนิดเปรี้ยว ได้แก่ มะขามเปรี้ยวยักษ์ (จ.เพชรบูรณ์) มะขามเปรี้ยว (จ.นครราชสีมา) และชนิด

ตารางที่ 3 ลักษณะที่เห็นด้วยสายตาและปริมาณที่สกัดได้ของพอลิแซ็กคาไรด์จากเนื้อมะขามที่แยกได้จากเนื้อมะขามจังหวัดเพชรบูรณ์ (P) และ นครราชสีมา (โคราช, K)

T.indica Cultivars	Appearance of polysaccharide isolated	Aqueous dispersion of polysaccharide	% yield of polysaccharide (mean (SD))
Type sour			
"Priao-yak" (TI-PY/P)	grayish white powder	grayish white opaque	1.74[c] (0.03)
"Priao" (TI-P/K)	light brown powder	brown opaque	2.44[ab] (0.16)
Type sweet			
"Srichomphu" (TI-SP/K)	brown powder	brown opaque	2.75[a] (0.20)
"Sithong-nak" (TI-STH/K)	brown powder	brown opaque	1.98[bc] (0.30)

a,b,c show significant difference between cultivar at $P<0.05$

หวาน ได้แก่ ศรีชมภูและสีทองหนัก (จ.นครราชสีมา) ถูกนำมาเปรียบเทียบกับสเปคตรัมของสารมาตรฐานเพคติน แสดงในรูปที่ 1

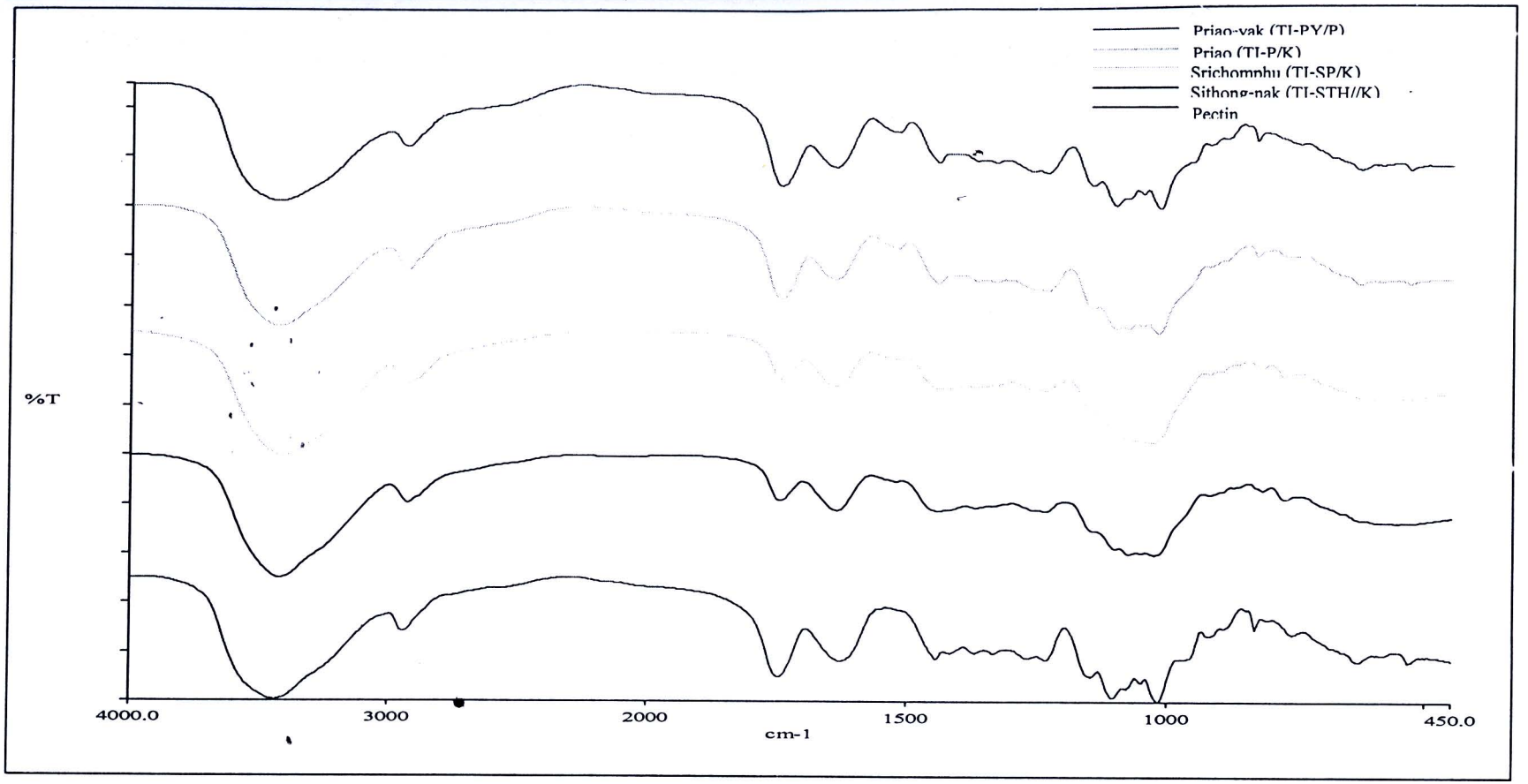
จากรูปที่ 1 สเปคตรัมอินฟาเรดของมะขามชนิดเปรี้ยว "เปรี้ยวยักษ์" (จ.เพชรบูรณ์) "เปรี้ยว" (จ.นครราชสีมา) และชนิดหวาน "ศรีชมภู" และ "สีทองหนัก" (จ.นครราชสีมา) มีลักษณะคล้ายกันกับสเปคตรัมอินฟาเรดของเพคติน จากผลการทดลองนี้แสดงให้เห็นว่าพอลิแซ็กคาไรด์ของเนื้อมะขามแต่ละสายพันธุ์ปลูกมีส่วนประกอบของเพคติน (pectic polysaccharides) ผลการทดลองนี้สอดคล้องกับการศึกษาของ Kulkarni (1997) ซึ่งพบว่าเนื้อมะขามประกอบไปด้วยเพคติน กรดทาร์ทาริก และโพแทสเซียมไบทาร์เทรต

จากรูปที่ 2-6 แสดงสเปคตรัมอินฟาเรดของเพคตินใน citrus fruit เปรียบเทียบกับ polysaccharide จากเนื้อมะขามชนิดเปรี้ยว "เปรี้ยวยักษ์" (จ.เพชรบูรณ์) "เปรี้ยว" (จ.นครราชสีมา) และชนิดหวาน "ศรีชมภู" และ "สีทองหนัก" (จ.นครราชสีมา) ตามลำดับ

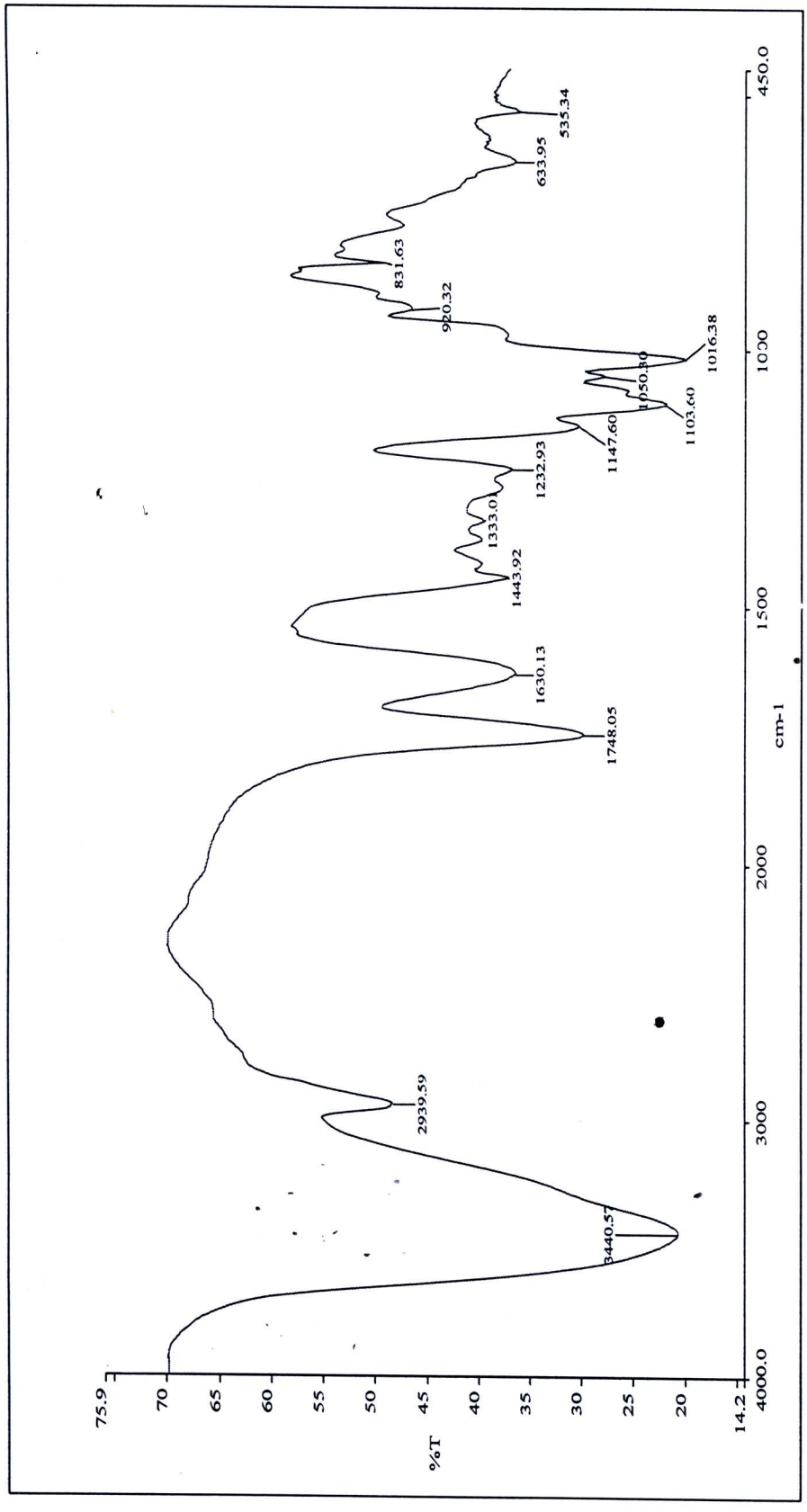
การวิเคราะห์น้ำตาลพวก uronic acids ด้วยเทคนิค HPLC-RID

ภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการใช้เทคนิค HPLC เพื่อการวิเคราะห์น้ำตาลพวก uronic acids มีสภาวะดังต่อไปนี้

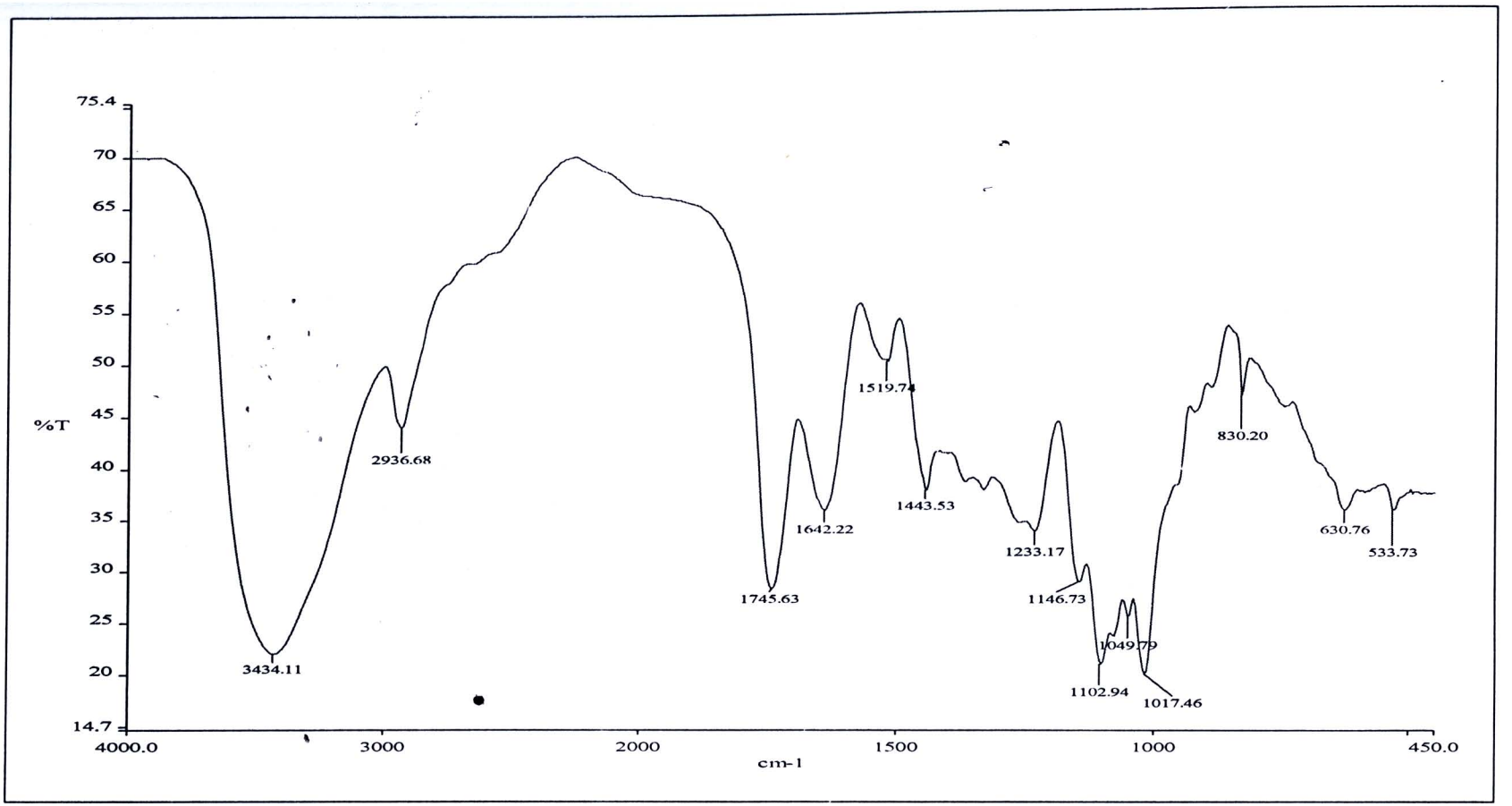
HPLC parameters	Optimized condition
Column	Amino column (Carbohydrate-NH_2, 250x4.6 mm.)
Mobile phase	NaH_2PO_4, pH=4.6
Flow rate	1.50 mL/min
Time	25 min
Detector	Refractive Index Detector (RID)
Temperature	35 °C



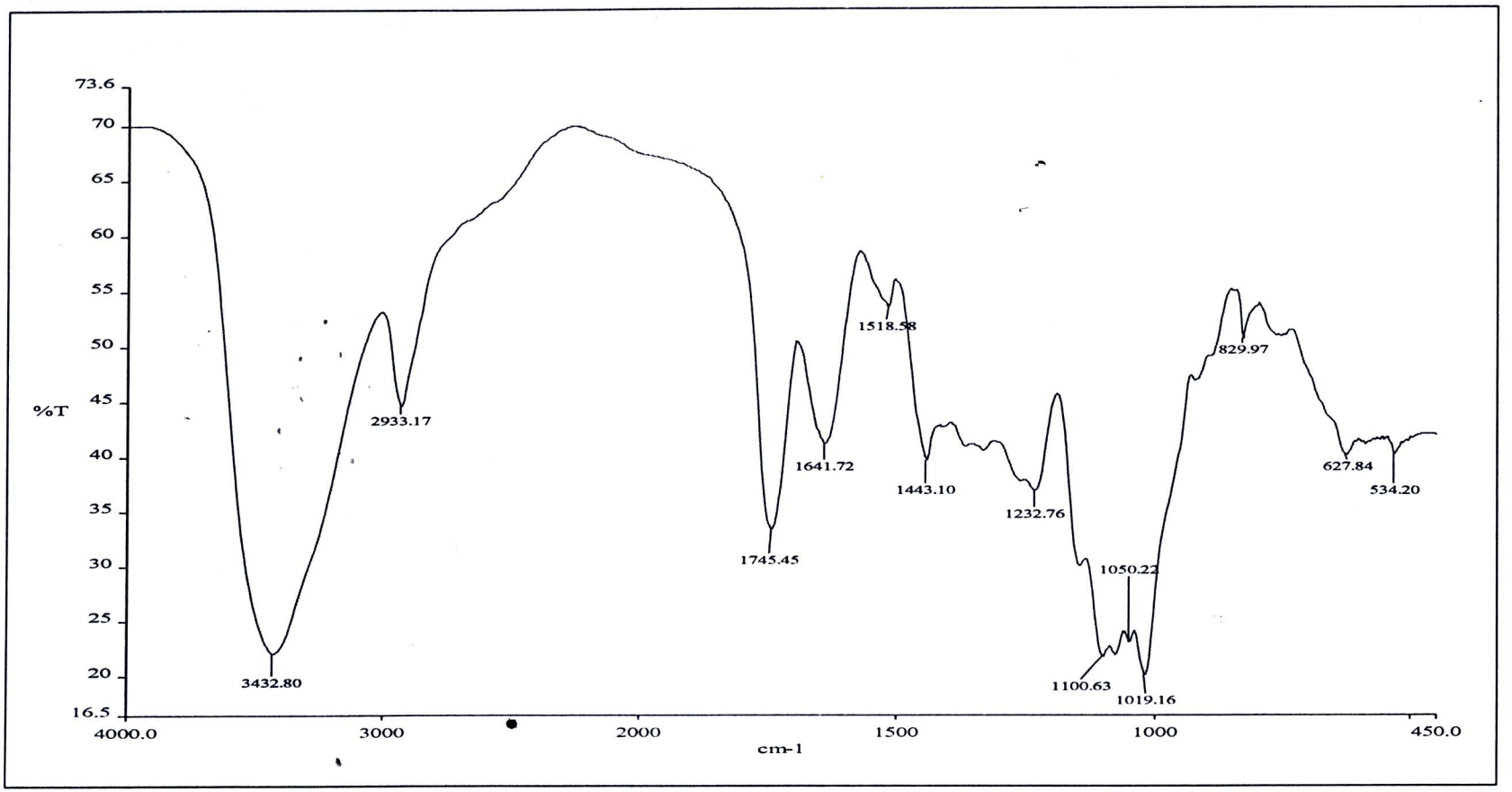
รูปที่ 1 Fourier transform infrared spectraของ tamarind pulp polysaccharide จากเนื้อมะขามพันธุ์ปลูกชนิดต่างๆ จากเส้นบนสุดแสดง spectrum ของมะขาม "เปรี้ยวยักษ์" จากเพชรบูรณ์ (P), "เปรี้ยว", "ศรีชมภู" และ "สีทองหนัก" จากนครราชสีมา (โคราช,K) เปรียบเทียบกับเพคตินจากผลส้ม (citrus fruits) ของเส้นล่างสุด



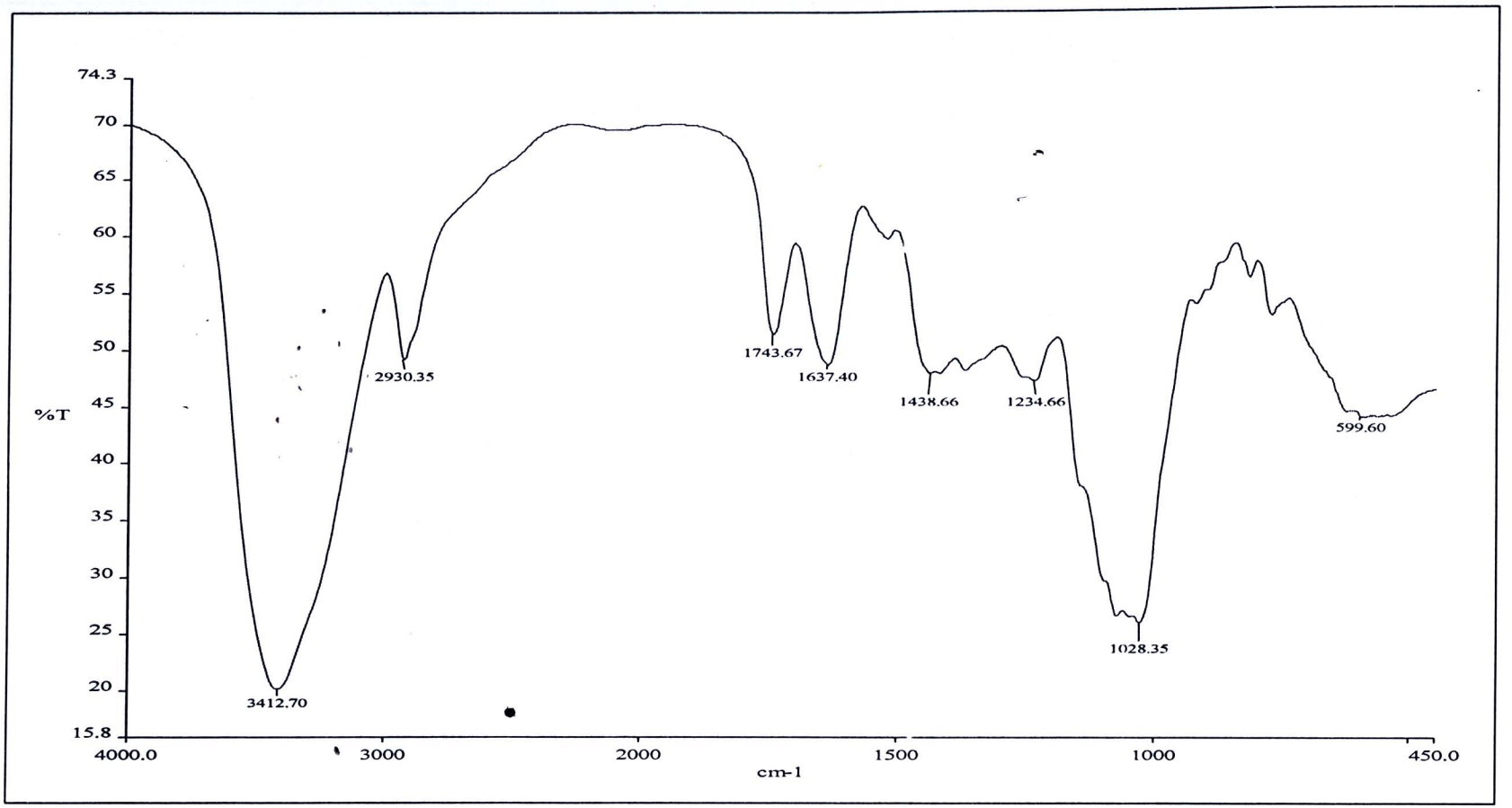
รูปที่ 2 Fourier transform infrared spectrum ของ เพคตินจากผลส้ม (citrus fruits)



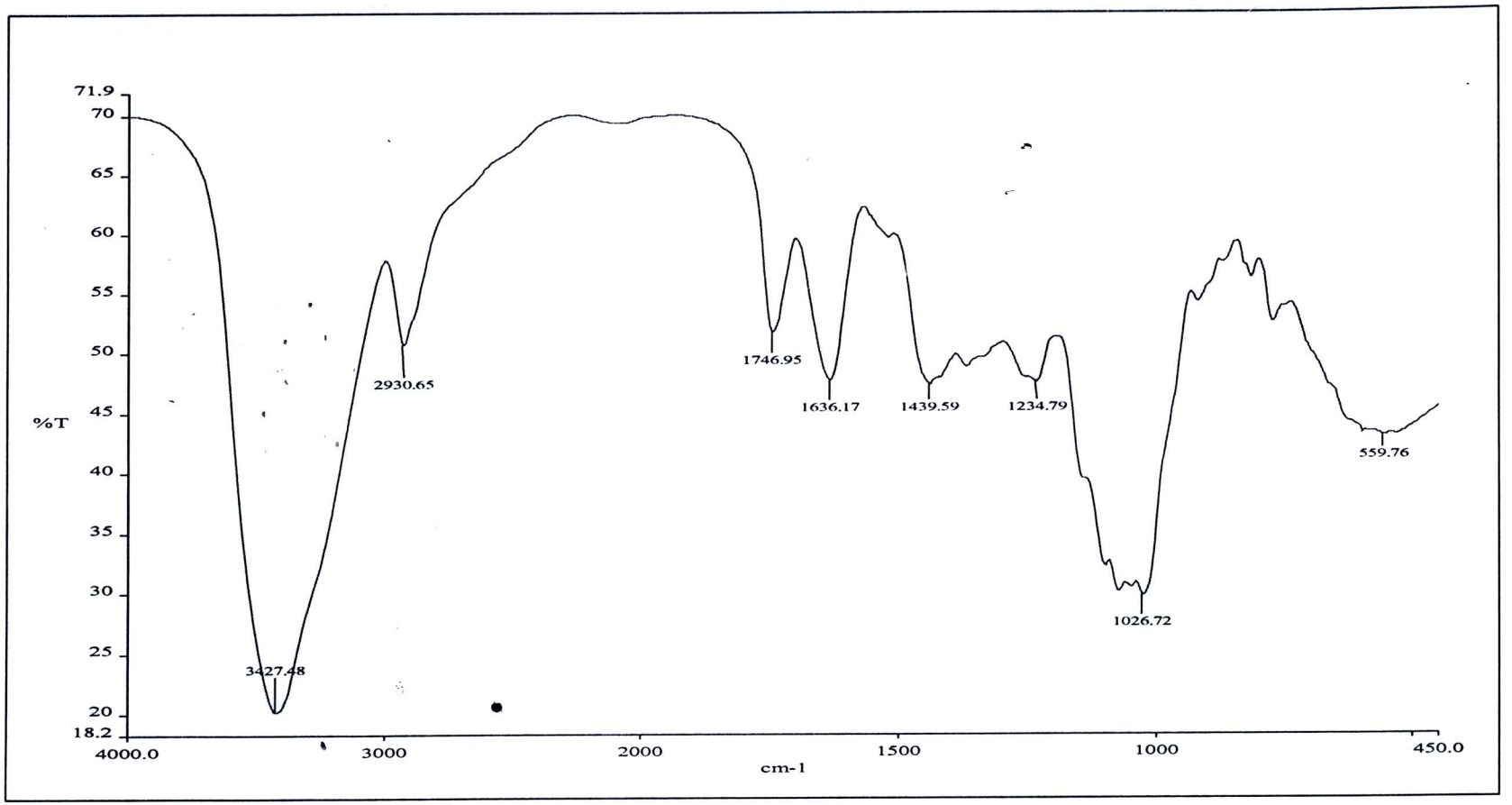
รูปที่ 3 Fourier transform infrared spectrum ของ tamarind pulp polysaccharide จากเนื้อมะขามพันธุ์ปลูก "เปรี้ยวยักษ์" (TI-PY/P) จากจังหวัดเพชรบูรณ์ (P)



รูปที่ 4 Fourier transform infrared spectrum ของ tamarind pulp polysaccharide จากเนื้อมะขามพันธุ์ปลูก "เปรี้ยว" (TI-P/K) จากจังหวัดนครราชสีมา (โคราช,K)



รูปที่ 5 Fourier transform infrared spectrum ของ tamarind pulp polysaccharide จากเนื้อมะขามพันธุ์ปลูก "ศรีชมภู" (TI-SP/K) จากจังหวัดนครราชสีมา (โคราช,K)



รูปที่ 6 Fourier transform infrared spectrum ของ tamarind pulp polysaccharide จากเนื้อมะขามพันธุ์ปลูก "สีทองหนัก" (TI-STH/K) จากจังหวัดนครราชสีมา (โคราช,K)

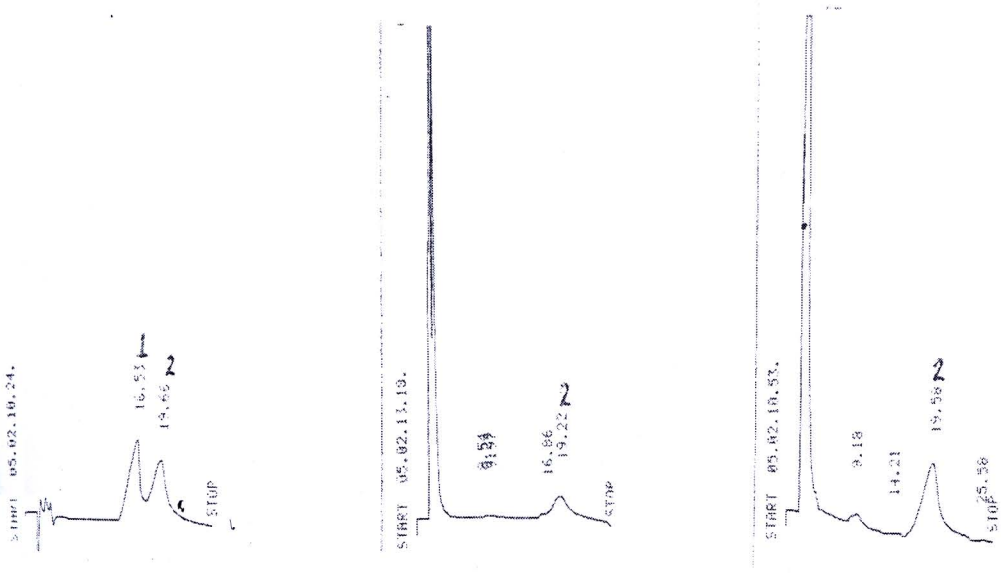
สารละลายพอลิแซ็กคาไรด์เนื้อมะขามหลังการย่อยด้วยกรด จะได้สารละลายของน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว จากนั้นนำมาวิเคราะห์หาน้ำตาล uronic acids ด้วยเทคนิค HPLC โครมาโทแกรมของสารละลายมาตรฐานและโครมาโทแกรมของสารละลายจากการย่อยสลายพอลิแซ็กคาไรด์เนื้อมะขามด้วยกรดซัลฟูริกของมะขามชนิดเปรี้ยวพันธุ์ปลูก มะขามเปรี้ยวยักษ์ (จ.เพชรบูรณ์) มะขามเปรี้ยว (จ.นครราชสีมา) และชนิดหวานพันธุ์ปลูก ศรีชมภูและสีทองหนัก (จ.นครราชสีมา) ดังแสดงในรูปที่ 7 และ 8 ตามลำดับ สารละลายจากการย่อยสลายพอลิแซ็กคาไรด์เนื้อมะขามของมะขามชนิดเปรี้ยว "เปรี้ยวยักษ์" (จ.เพชรบูรณ์) "เปรี้ยว" (จ.นครราชสีมา) พบมี 1 พีคที่มี retention time ใกล้เคียงกับ standard น้ำตาลกาแลกทูโรนิก ขณะที่สารละลายจากการย่อยสลายพอลิแซ็กคาไรด์เนื้อมะขามของมะขามชนิดหวาน "ศรีชมภู" และ "สีทองหนัก" (จ.นครราชสีมา) พบมี 2 พีค ซึ่งพีคที่ 1 ไม่สามารถสรุปได้ว่าเป็นพีคของน้ำตาลกลูคูโรนิก แต่พีคที่ 2 เป็นพีคที่มี retention time ใกล้เคียงกับ standard น้ำตาลกาแลกทูโรนิก อาจสรุปได้ว่าพอลิแซ็กคาไรด์จากเนื้อมะขามมีส่วนประกอบของน้ำตาลกาแลกทูโรนิก

<u>การวิเคราะห์องค์ประกอบ neutral sugars ด้วยเทคนิค HPLC-ELSD</u>

ภาวะที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการวิเคราะห์องค์ประกอบน้ำตาลด้วยเทคนิค HPLC-ELSD มีสภาวะดังนี้

HPLC parameters	Optimized condition
Column	Amino column (250x4.6 mm.)
Mobile phase	90% acetonitrile in water
Flow rate	1.90 mL/min
Time	12 min
Detector	Evaporative Laser Scattering detector (ELSD)
Temperature	80°C

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย



(A) (B) (C)

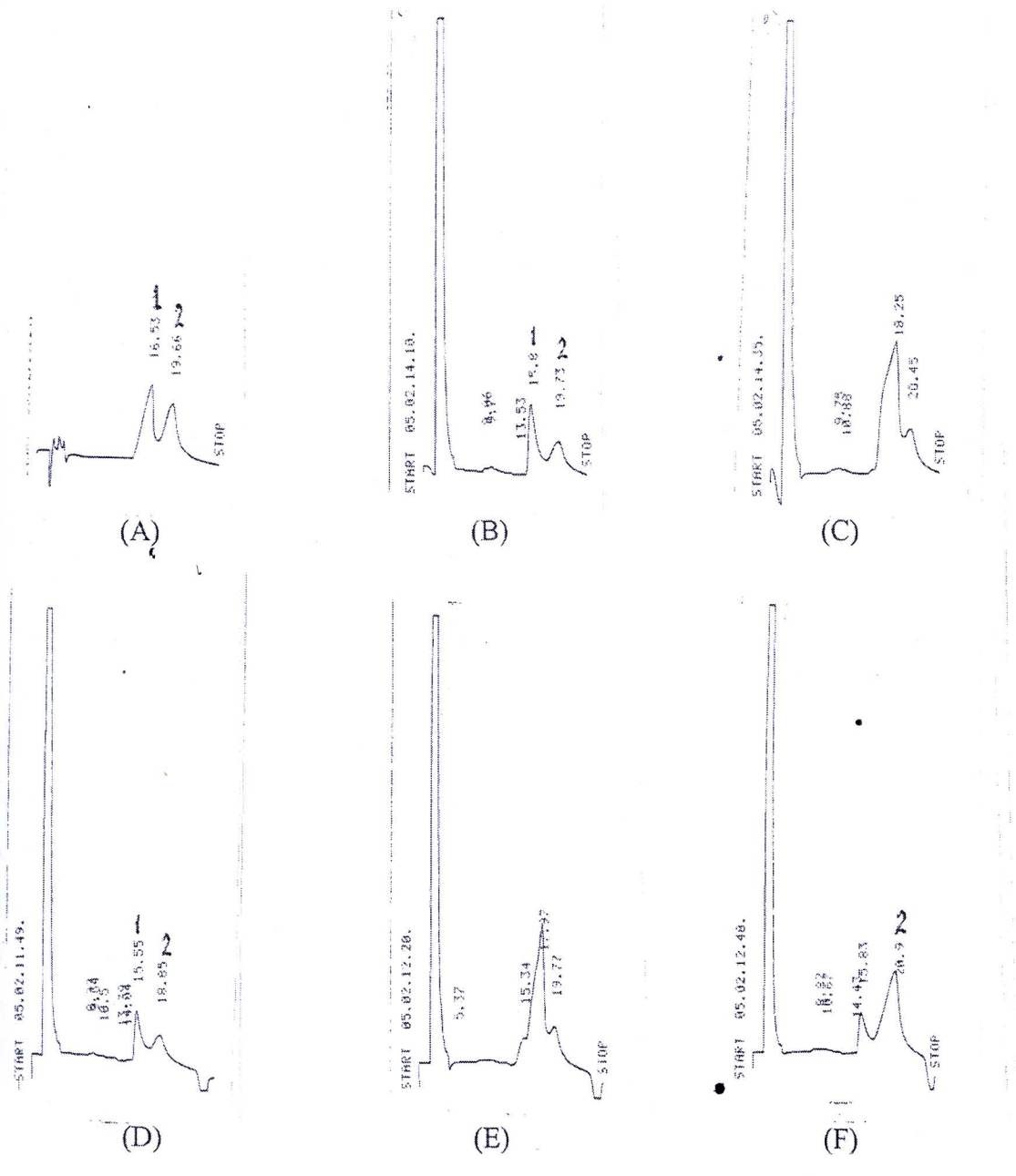
รูปที่ 7 Chromatograms ของ uronic acids standard และ สารละลายจากการย่อยสลายของพอลิแซ็กคาไรด์จากเนื้อมะขามชนิดเปรี้ยวต่างพันธุ์ปลูก

(A) glucuronic acid และ galacturonic acid standard

(B) "เปรี้ยวยักษ์" (TI-PY/P)

(C) "เปรี้ยว" (TI-P/K)

Peaks: 1 = glucuronic acid (Glc A) 2 = galacturonic acid (Gal A)



รูปที่ 8 Chromatograms ของ uronic acids standard และ สารละลายจากการย่อยสลายของพอลิแซ็กคาไรด์จากเนื้อมะขามหวานต่างสายพันธุ์ปลูก

(A) glucuronic acid และ galacturonic acid standard

(B) "ศรีชมภู" (TI-SP/K)

(C) "ศรีชมภู" (TI-SP/K) spiked ด้วย Glc A

(D) "สีทองหนัก" (TI-STH/K)

(E) "สีทองหนัก" (TI-STH/K) spiked ด้วย Glc A

(F) "สีทองหนัก" (TI-STH/K) spiked ด้วย Gal A

Peaks: 1 = glucuronic acid (Glc A) 2 = galacturonic acid (Gal A)

แสดงภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการใช้เทคนิค HPLC-ELSD เพื่อการวิเคราะห์องค์ประกอบน้ำตาล จากรูปที่ 9 แสดงโครมาโทแกรมของสารละลายมาตรฐานผสมของน้ำตาลชนิดต่างๆ รูปที่ 9 (A) ประกอบด้วยน้ำตาลแรมโนส, ไซโลส, อราบิโนส, ฟรุตโตส และกลูโคส ความเข้มข้น 5 กรัม/ลิตร มี retention time ที่ 3.316, 3.983, 4.700, 5.850 และ 7.183 นาทีตามลำดับ ส่วนรูปที่ 9 (B) ประกอบด้วยน้ำตาลแรมโนส, ไซโลส, อราบิโนส, ฟรุตโตส กลูโคสและกาแลกโทส ความเข้มข้น 5 กรัม/ลิตร มี retention time ที่ 3.316, 4.000, 4.750, 5.900 7.283 และ 7.966 นาทีตามลำดับ

การวิเคราะห์องค์ประกอบน้ำตาลของพอลิแซ็กคาไรด์เนื้อมะขาม

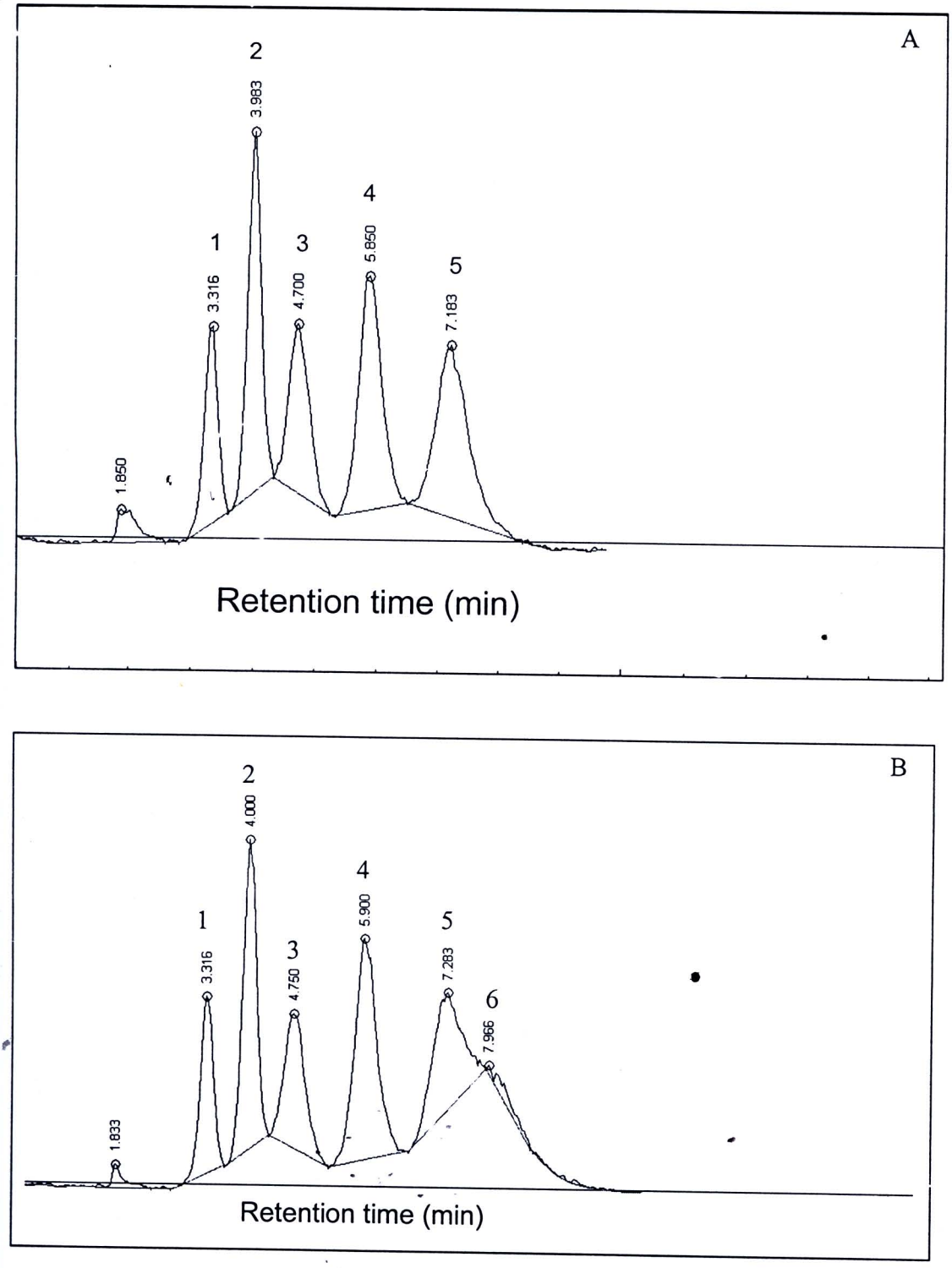
โครมาโทแกรมของสารละลายจากการย่อยสลายพอลิแซ็กคาไรด์เนื้อมะขามด้วยกรดซัลฟูริกของมะขามชนิดเปรี้ยว "เปรี้ยวยักษ์" (จ.เพชรบูรณ์) "เปรี้ยว" (จ.นครราชสีมา) และชนิดหวาน "ศรีชมภู" และ "สีทองหนัก" (จ.นครราชสีมา) ดังแสดงในรูปที่ 10-13 ตามลำดับ โดยนำมาเปรียบเทียบกับโครมาโทแกรมของสารละลายมาตรฐานน้ำตาลผสม จากรูปที่ 10-13 และตารางที่ 4 แสดงให้เห็นว่าสารละลายจากการย่อยสลายพอลิแซ็กคาไรด์เนื้อมะขามของมะขามเปรี้ยวยักษ์ (จ.เพชรบูรณ์) พบมี 5 พีคที่มี retention time ใกล้เคียงกับ standard น้ำตาลแรมโนส, ไซโลส, อราบิโนส, กลูโคส/กาแลกโทส ขณะที่ของมะขามเปรี้ยว (จ.นครราชสีมา) มี 6 พีคที่มี retention time ใกล้เคียงกับ standard น้ำตาลแรมโนส, ไซโลส, อราบิโนส, ฟรุตโตส กลูโคสและกาแลกโทส นอกเหนือจากนั้น สารละลายจากการย่อยสลายพอลิแซ็กคาไรด์เนื้อมะขามของมะขามชนิดหวาน ศรีชมภูและสีทองหนัก (จ.นครราชสีมา) มี 6 พีคที่มี retention time ใกล้เคียงกับ standard น้ำตาลแรมโนส, ไซโลส, อราบิโนส, ฟรุตโตส กลูโคสและกาแลกโทส

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบ uronic acids และ neutral sugars ในสารละลายหลังการย่อยพอลิแซ็กคาไรด์ด้วยกรดของมะขามชนิดเปรี้ยวและชนิดหวาน ซึ่งประกอบด้วยพีคที่มี retention time ใกล้เคียงกับ standard น้ำตาลกรดกาแลกทูโรนิก แอซิด และพีคของน้ำตาล neutral sugars เช่นน้ำตาลแรมโนส, ไซโลส, อราบิโนส, ฟรุตโตส กลูโคสและกาแลกโทส ดังนั้นพอลิแซ็กคาไรด์ที่สกัดได้จากเนื้อมะขามที่มีพันธุ์ปลูกต่างกันและปลูกที่สถานที่ต่างกัน ต่างก็ประกอบไปด้วยพอลิแซ็กคาไรด์พวกเพคติน (pectic polysaccharides)

2. <u>การสกัดและการวิเคราะห์ polysaccharide ของเนื้อในเมล็ด (Kernel) มะขาม</u>

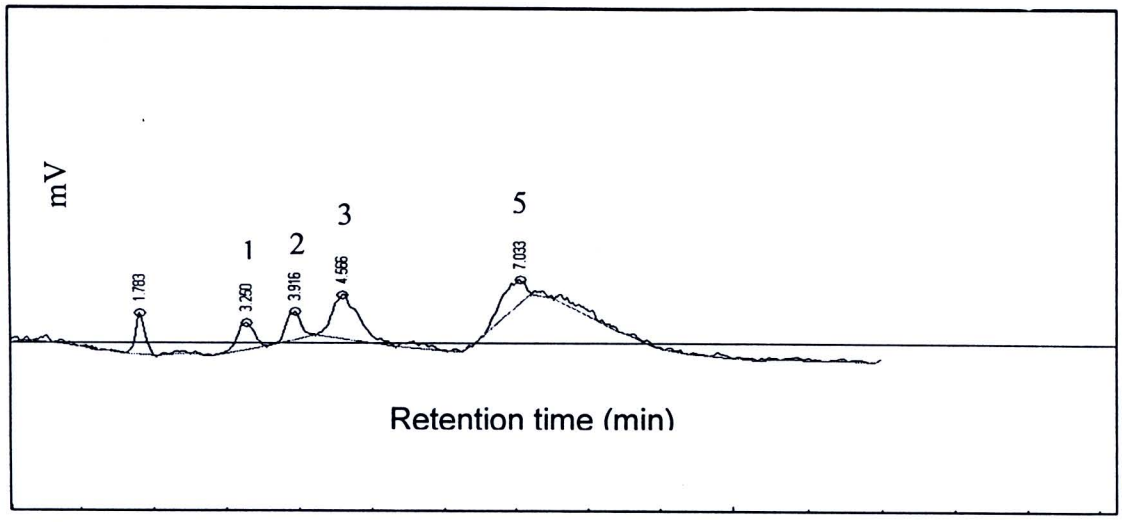
2.1 <u>วิธีการสกัดและเปอร์เซ็นต์ yield ของ Tamarind Seed Polysaccharides (TSP)</u>

สกัด TSP โดยการต้มน้ำร้อนกับผงที่บดละเอียดของเนื้อในเมล็ดมะขาม สารสกัดที่ได้มีสีขุ่น มีความหนืด นำมาหมุนเหวี่ยงที่ 6,800 xg เป็นเวลา 30 นาที นำส่วนน้ำใสที่ได้ไประเหยน้ำออก จนได้น้ำสกัดเข้มข้นและนำมาตกตะกอน TSP ด้วย 1.5 เท่าของเอทิลแอลกอฮอล์ กรองตะกอนที่ได้ผ่านผ้าไนลอนเก็บตะกอน TSP และอบให้แห้ง



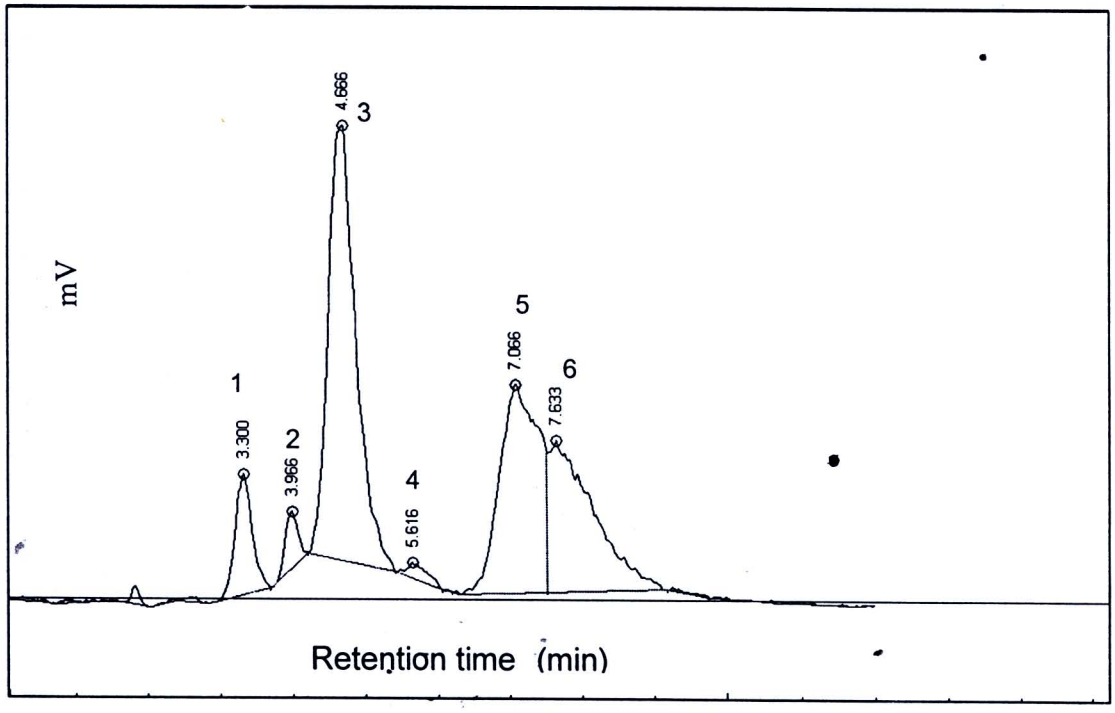
รูปที่ 9 Chromatogram ของ 0.5% น้ำตาลมาตรฐานผสม 5 ชนิด (A) และ 6 ชนิด (B).

Peak: 1=rhamnose, 2=xylose, 3=arabinose, 4=fructose, 5=glucose, 6=galactose



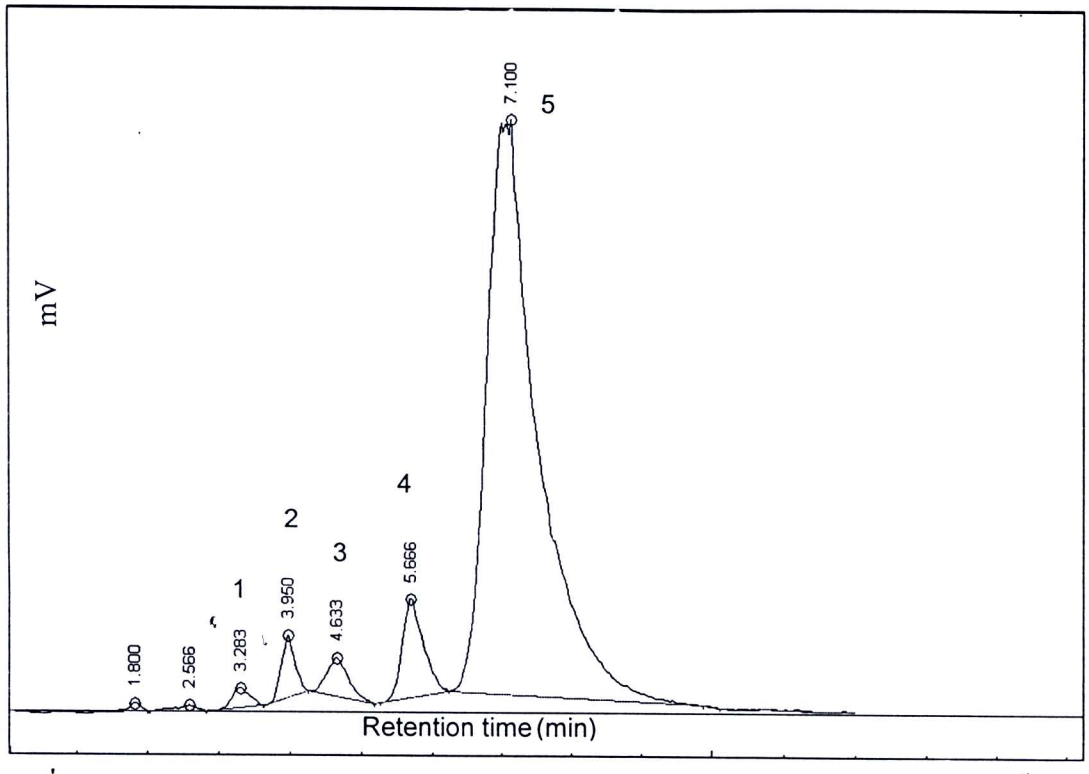
รูปที่ 10 Chromatogram ของสารละลายจากการย่อยสลายของ 7.5% พอลิแซ็กคาไรด์จากเนื้อมะขามชนิดเปรี้ยว *T.indica* "เปรี้ยวยักษ์" (TI-PY/P) จากจังหวัดเพชรบูรณ์ (P)

Peaks: 1=rhamnose, 2=xylose, 3=arabinose, 5=glucose

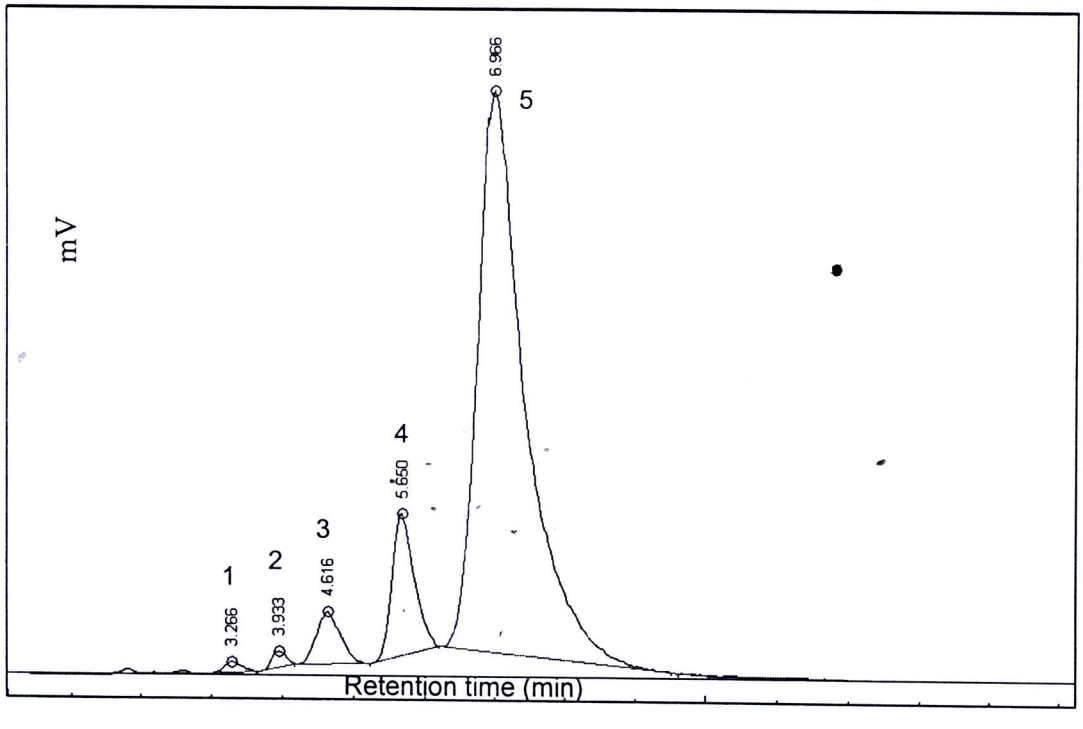


รูปที่ 11 Chromatogram ของสารละลายจากการย่อยสลายของ 7.5% พอลิแซ็กคาไรด์จากเนื้อมะขามชนิดเปรี้ยว *T.indica* "เปรี้ยว" (TI-P/K) จากจังหวัดนครราชสีมา (โคราช,K)

Peaks: 1=rhamnose, 2=xylose, 3=arabinose, 5=glucose, 6=galactose



รูปที่ 12 Chromatogram ของสารละลายจากการย่อยสลายของ 7.5% พอลิแซ็กคาไรด์จากเนื้อมะขามชนิดหวาน *T.indica* "ศรีชมภู" (TI-SP/K) จากจังหวัดนครราชสีมา (โคราช,K) Peaks: 1=rhamnose, 2=xylose, 3=arabinose, 4=fructose, 5=glucose/galactose



รูปที่ 13 Chromatogram ของสารละลายจากการย่อยสลายของ 7.5% พอลิแซ็กคาไรด์จากเนื้อมะขามชนิดหวาน *T.indica* "สีทองหนัก" (TI-STH/K) จากจังหวัดนครราชสีมา (โคราช ,K) Peaks: 1=rhamnose, 2=xylose, 3=arabinose, 4=fructose, 5=glucose/galactose

ตารางที่ 4 องค์ประกอบน้ำตาลของพอลิแซ็กคาไรด์จากเนื้อมะขามจากจังหวัดเพชรบูรณ์ (P) และนครราชสีมา (โคราช, K)

T.indica Cultivars	Type of sugars (retention time, min)
Type "sour"	
Priao-yak (TI-PY/P)	rhamnose (3.250) ,xylose (3.916) ,arabinose (4.566), glucose (7.033), galactose(7.333)
Priao (TI-P/K)	rhamnose (3.300) ,xylose (3.966) ,arabinose (4.666), fructose (5.616) ,glucose (7.066), galactose(7.633)
Type "sweet"	
Srichomphu (TI-SP/K)	rhamnose (3.283) ,xylose (3.950) ,arabinose (4.633), fructose (5.666) ,glucose (7.100)
Sithong-nak (TI-STH/K)	rhamnose (3.266) ,xylose (3.933) ,arabinose (4.616), fructose (5.650) ,glucose (6.966)

ลักษณะที่เห็นด้วยสายตาของ TSP และ เปอร์เซ็นต์ yield ของการสกัดมะขามชนิดเปรี้ยว "เปรี้ยวยักษ์" (จ.เพชรบูรณ์) "เปรี้ยว" (จ.นครราชสีมา) และชนิดหวาน "ขันตี" (จ.เพชรบูรณ์) "ศรีชมภู" และ "สีทองหนัก" (จ.นครราชสีมา) แสดงตารางที่ 5

เปอร์เซ็นต์ yield ของการสกัด TSP ของมะขามพันธุ์ปลูกขันตี (จ.เพชรบูรณ์) มีเปอร์เซ็นต์ yield การสกัดสูงที่สุด และมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญกับมะขามเปรี้ยวยักษ์ (จ.เพชรบูรณ์)มะขามเปรี้ยว (จ.นครราชสีมา) และสีทองหนัก (จ.นครราชสีมา) มะขามชนิดเปรี้ยวมีเปอร์เซ็นต์ yield ของการสกัด TSP น้อยกว่ามะขามชนิดหวาน ในการทดลองนี้ได้เปอร์เซ็นต์ yield ของการสกัด TSP ประมาณ 48-61% ซึ่งมีค่าสูงกว่าที่เคยรายงานไว้ของ Suttananta (1986) ที่สกัดด้วยวิธีเดียวกัน

สารละลาย TSP ของมะขามพันธุ์ปลูกทุกชนิด เมื่อนำมาละลายน้ำ ได้สารละลายมีขาวขุ่นและมีความหนืดแสดงดังตารางที่ 5

2.2 <u>การวิเคร่าะห์องค์ประกอบน้ำตาลของ TSP จากเนื้อในเมล็ดมะขาม</u>

ภาวะที่เหมาะสมของการวิเคราะห์องค์ประกอบน้ำตาลด้วยเทคนิค HPLC-ELSD ใช้วิธีการเดียวกันกับการวิเคราะห์ polysaccharide ในเนื้อมะขาม

<u>การวิเคราะห์องค์ประกอบน้ำตาลของ TSP</u>

โครมาโทแกรมของสารละลายหลังการย่อยสลาย TSP ด้วยกรดซัลฟูริกของมะขามชนิดเปรี้ยว "เปรี้ยวยักษ์" (จ.เพชรบูรณ์) "เปรี้ยว" (จ.นครราชสีมา) และชนิดหวาน "ขันตี" (จ.เพชรบูรณ์) "ศรีชมภู" และ "สีทองหนัก" (จ.นครราชสีมา) แสดงในรูปที่ 14-18 เปรียบเทียบกับโครมาโทแกรมของสารละลายผสมของน้ำตาลมาตรฐาน จากรูปที่ 14-18 และตารางที่ 6 พบว่าสารละลายหลังการย่อยสลาย TSP ของมะขามชนิดเปรี้ยวและชนิดหวาน พบมี 2 พีคที่มี retention time ใกล้เคียงกับน้ำตาลมาตรฐานไซโลส และกลูโคส จากผลการทดลองนี้แสดงให้เห็นว่า TSP ของมะขามชนิดเปรี้ยวและชนิดหวาน ประกอบด้วยน้ำตาลไซโลสและกลูโคส

การศึกษาพอลิแซ็กคาไรด์ของเนื้อในเมล็ดมะขาม (TSP) พบว่าเป็นพอลิแซ็กคาไรด์ชนิดไซโลกลูแคน (Xyloglucan) ที่มีน้ำตาลไซโลส กลูโคส และกาแลกโทสเป็นองค์ประกอบ ในการทดลองนี้พบว่าสารละลายหลังการย่อยสลาย TSP ของมะขามชนิดเปรี้ยวและชนิดหวานประกอบด้วยน้ำตาลไซโลสและกลูโคส มีรายงานของนักวิจัยแต่ละกลุ่มได้รายงานอัตราส่วนของน้ำตาลไซโลส กลูโคส และกาแลกโทสที่เป็นองค์ประกอบของ TSP แตกต่างกันไป ได้แก่ Iain และ Edward (1984) ศึกษาองค์ประกอบของ TSP ด้วยวิธี X-ray diffraction พบว่า TSP มีน้ำตาลกลูโคส: ไซโลส: กาแลกโทส ในอัตราส่วน 4:3:1 ขณะที่ Mary และคณะ (1991) ได้รายงานองค์ประกอบ TSP ด้วยวิธี small angle X-ray diffraction พบว่ามีน้ำตาลกลูโคส: ไซโลส: กาแลกโทส ในอัตราส่วน 1:2.25:2.8 นอกเหนือจากนั้น Savur (1959) ทำการย่อย TSP ด้วยกรด พบว่า TSP ประกอบด้วยน้ำตาลกลูโคส: ไซโลส: กาแลกโทส: อราบิโนส ในอัตราส่วน 8:2:4:1 แต่ในขณะที่

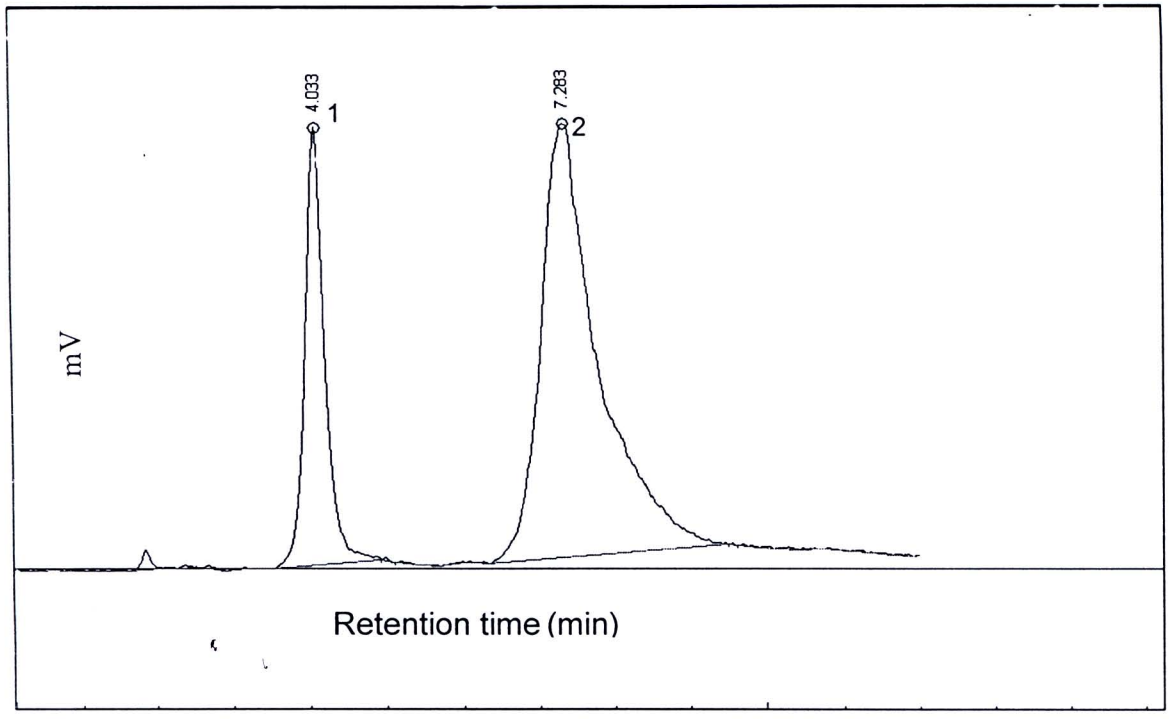
ตารางที่ 5 ลักษณะ ความหนืด และปริมาณสารสกัดของ Tamarind Seed Polysaccharide (TSP) จาก tamarind kernel powder จากจังหวัดเพชรบูรณ์ (P) และนครราชสีมา (โคราช, K)

TSP of *T.indica* Cultivars	Appearance of TSP powder	Viscosity of 2% TSP in water, cps (At shear rate 2840 1/s)	% yield of TSP (mean (SD))
Type sour			
"Priao-yak" (TI-PY/P)	creamy white powder	35.36	48.34[c] (0.89)
"Priao" (TI-P/K)	creamy white powder	106.12	48.43[c] (2.98)
Type sweet			
"Khantee" (TI-K/P)	creamy white powder	73.08	60.25[a] (0.50)
"Srichomphu" (TI-SP/K)	creamy white powder	45.07	58.09[ab] (1.37)
"Sithong-nak" (TI-STH/K)	creamy white powder	70.62	55.34[b] (1.85)

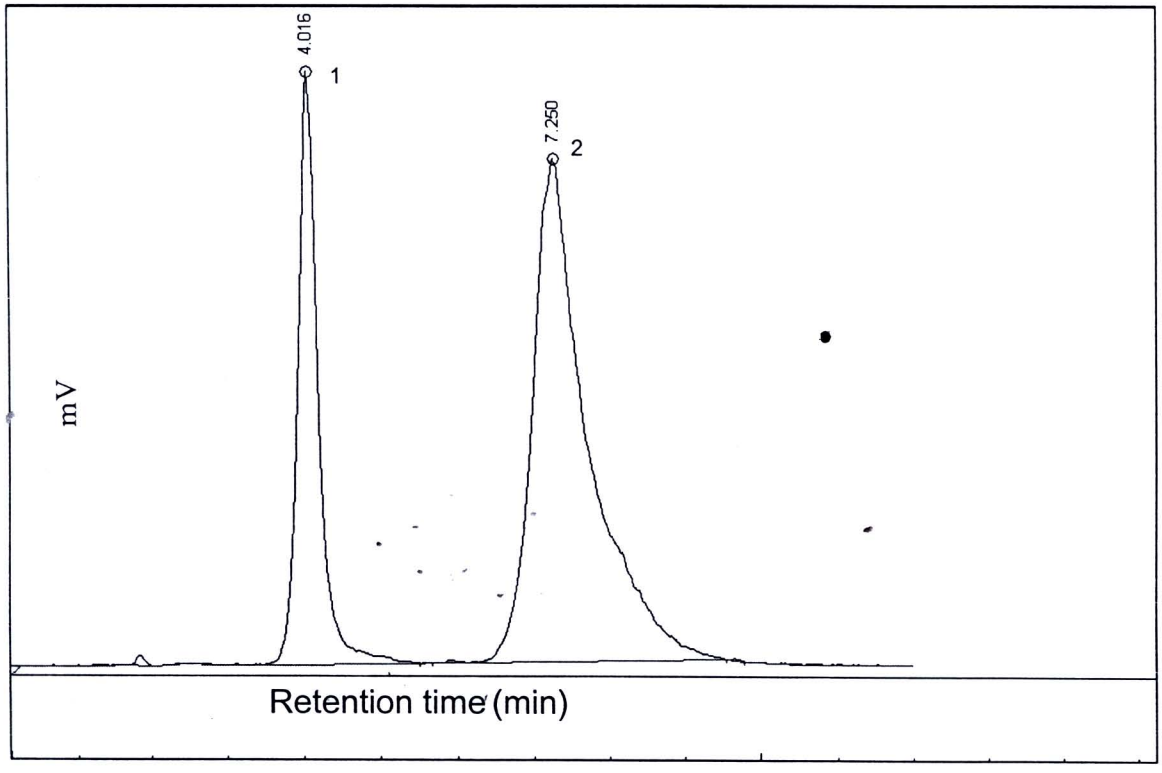
a,b,c show significant difference between cultivar at $P<0.05$

ตารางที่ 6 องค์ประกอบน้ำตาลของ Tamarind Seed Polysaccharide (TSP) จาก tamarind kernel powder จากจังหวัดเพชรบูรณ์ (P) และ นครราชสีมา (โคราช, K)

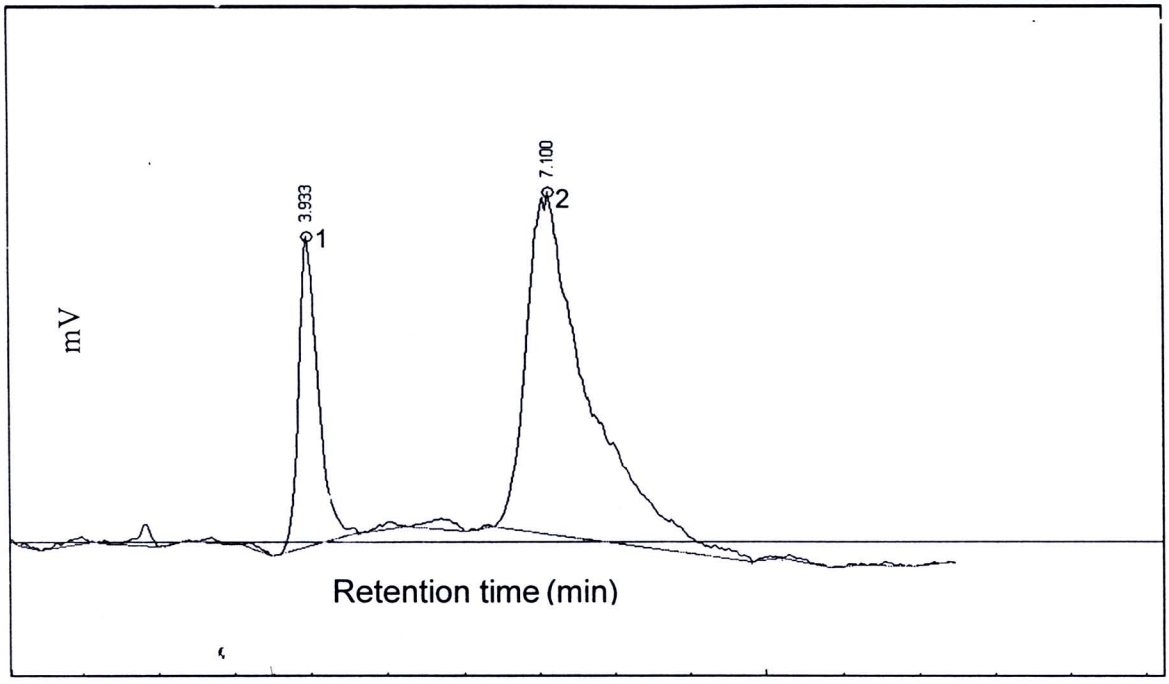
TSP of *T.indica* Cultivars	Type of sugars (retention time, min)
Type sour	
"Priao-yak" (TI-PY/P)	xylose (4.033) , glucose (7.283)
"Priao" (TI-P/K)	xylose (4.033) , glucose (7.250)
Type sweet	
"Khantee" (TI-K/P)	xylose (3.933) , glucose (7.100)
"Srichomphu" (TI-SP/K)	xylose (4.000) , glucose (7.183)
"Sithong-nak" (TI-STH/K)	xylose (4.100) , glucose (7.383)



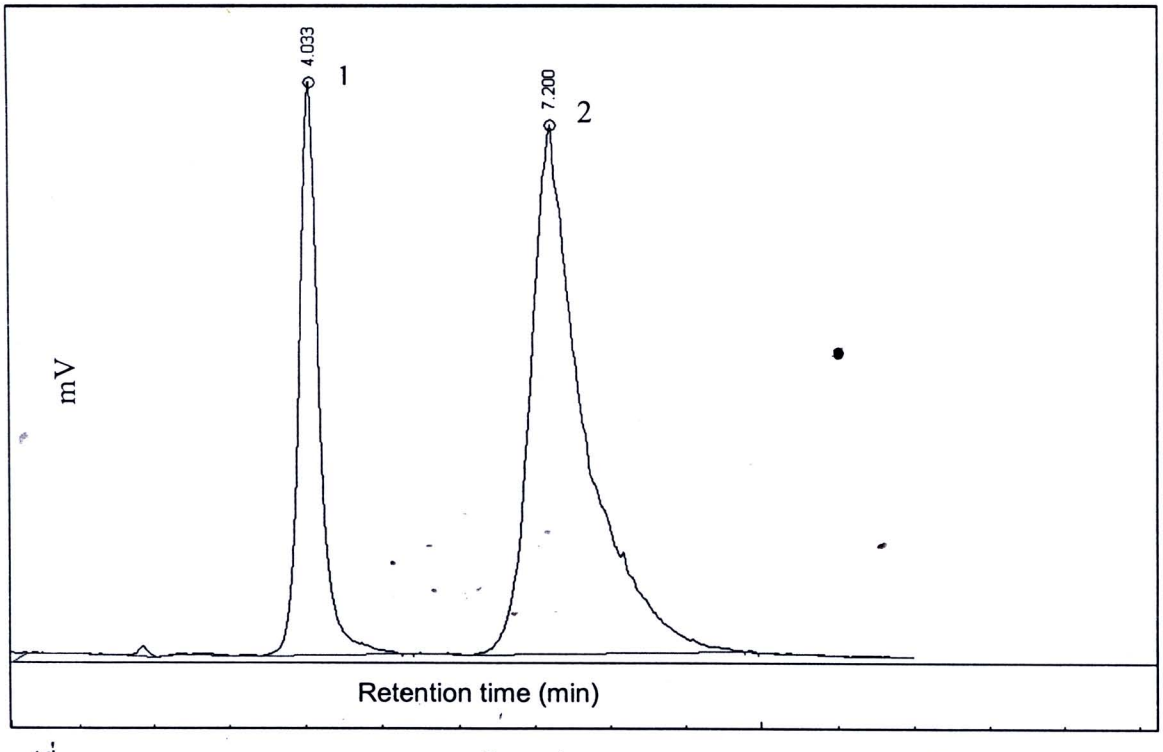
รูปที่ 14 Chromatogram ของสารละลายหลังการย่อยสลาย 0.5% TSP ของมะขามชนิดเปรี้ยว *T.indica* "เปรี้ยวยักษ์" (TI-PY/P) จากจังหวัดเพชรบูรณ์ (P) Peaks: 1=xylose, 2=glucose



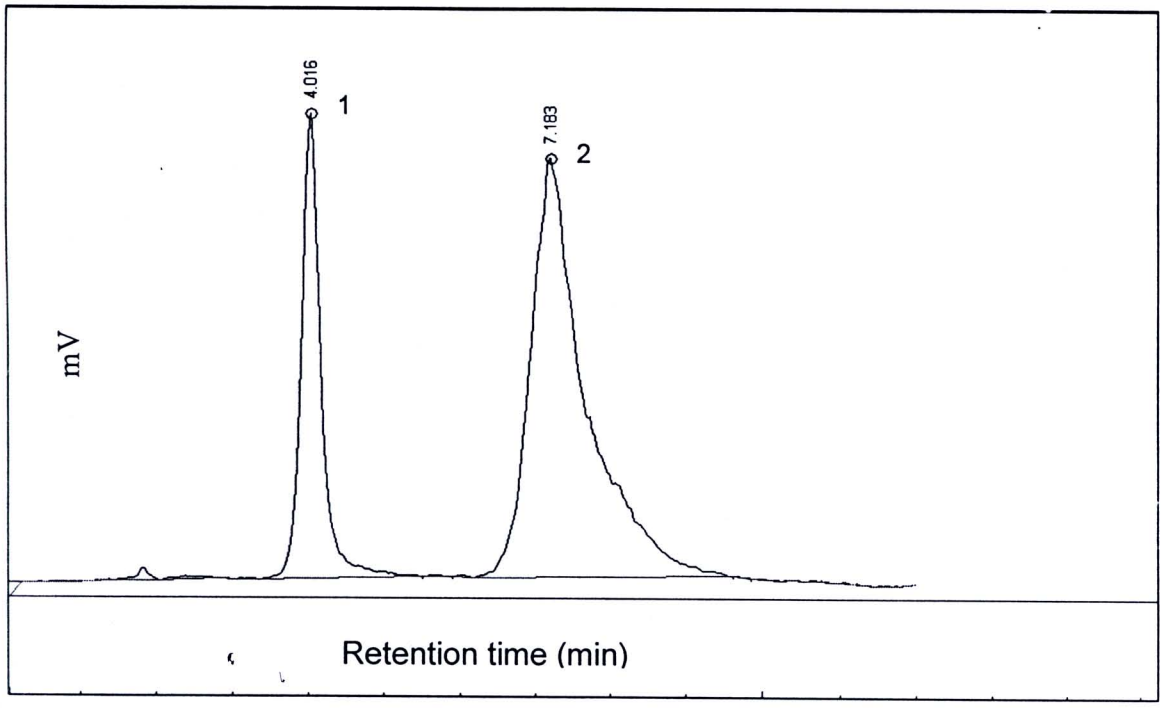
รูปที่ 15 Chromatogram ของสารละลายหลังการย่อยสลาย 0.5% TSP ของมะขามชนิดเปรี้ยว *T.indica* "เปรี้ยว" (TI-P/K) จากจังหวัดนครราชสีมา (โคราช,K) Peaks: 1=xylose, 2=glucose



รูปที่ 16 Chromatogram ของสารละลายหลังการย่อยสลาย 0.5% TSP ของมะขามชนิดหวาน *T.indica* "ขันตี" (TI-K/P) จากจังหวัดเพชรบูรณ์ (P) Peaks: 1=xylose, 2=glucose



รูปที่ 17 Chromatogram ของสารละลายหลังการย่อยสลาย 0.5% TSP ของมะขามชนิดหวาน *T.indica* "ศรีชมภู" (TI-SP/K) จากจังหวัดนครราชสีมา (โคราช,K) Peaks: 1=xylose, 2=glucose



รูปที่ 18 Chromatogram ของสารละลายหลังการย่อยสลาย 0.5% TSP ของมะขามชนิดหวาน *T.indica* "สีทองหนัก" (TI-STH/K) จากจังหวัดนครราชสีมา (โคราช,K)

Peaks: 1=xylose, 2=glucose

Macros (1992) ทำการศึกษาด้วยวิธีเดียวกัน พบว่า TSP ประกอบด้วยน้ำตาลกลูโคส: ไซโลส: กาแลกโทส ในอัตราส่วน 4:3.0-3.1:1.4 ซึ่งสอดคล้องกับผลของ Iain และ Edward (1984)

เมื่อนำข้อมูลของคณะผู้วิจัยต่างๆ ที่มีการรายงานไว้เปรียบเทียบกับข้อมูลที่ได้จากการทดลองนี้พบว่า TSP ของมะขามชนิดเปรี้ยวและชนิดหวาน ประกอบด้วยน้ำตาลไซโลสและกลูโคส อาจจะพบกาแลกโทสเล็กน้อย สังเกตได้จากพีคของน้ำตาลกลูโคส มี tailing ซึ่งคอลัมน์ที่ใช้และวิธีการที่ใช้นี้ ไม่สามารถแยกน้ำตาลกลูโคสและกาแลกโทสออกจากกันได้อย่างชัดเจน เพราะสูตรโครงสร้างของน้ำตาลทั้ง 2 ชนิดนี้คล้ายกันมาก อย่างไรก็ตามผลการทดลองนี้ก็สอดคล้องกับรายงานวิจัยหลายคณะก่อนหน้านี้ว่าพอลิแซ็กคาไรด์ของเนื้อในเมล็ดมะขาม (TSP) เป็นพอลิแซ็กคาไรด์ชนิดไซโลกลูแคน (Xyloglucan)

<u>สมบัติการไหลและความหนืดของ TSP</u>

Flow curve ของ TSP ของมะขามชนิดเปรี้ยว "เปรี้ยวยักษ์" (จ.เพชรบูรณ์) "เปรี้ยว" (จ.นครราชสีมา) และชนิดหวาน "ขันตี" (จ.เพชรบูรณ์) "ศรีชมภู" และ "สีทองหนัก" (จ.นครราชสีมา) แสดงในรูปที่ 19 ที่ความเข้มข้นของ 2 เปอร์เซ็นต์ (w/v) TSP ของทั้งมะขามชนิดเปรี้ยวและชนิดหวาน พบว่ามีพฤติกรรมการไหลแบบ Pseudoplastic Flow ชนิด shear thinning

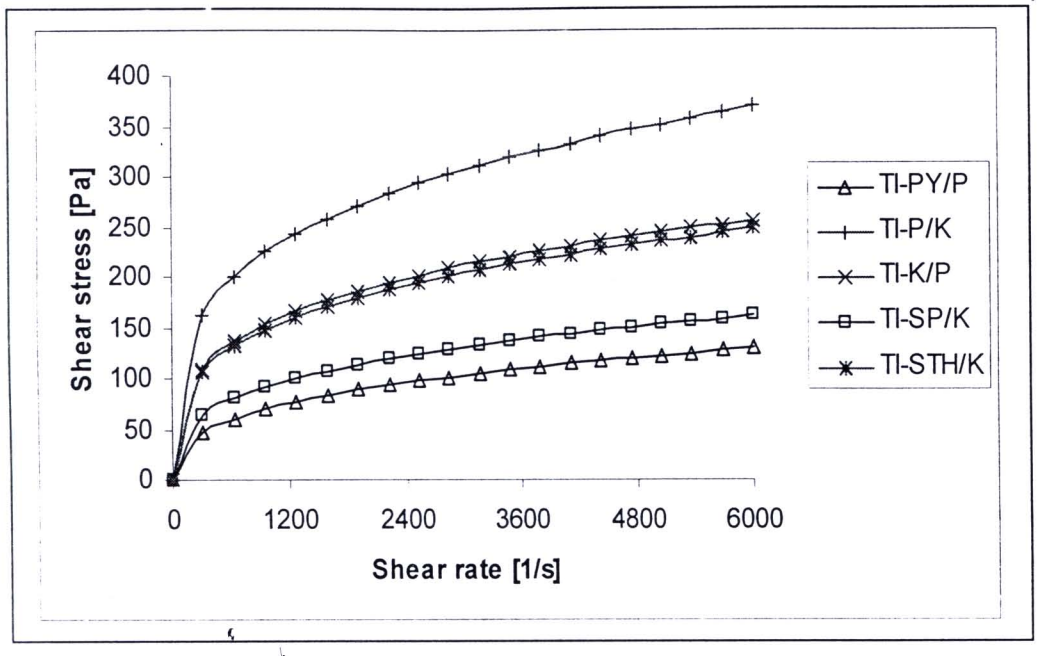
ความหนืดของสารละลาย 2 เปอร์เซ็นต์ (w/v) TSP ของมะขามชนิดเปรี้ยว "เปรี้ยวยักษ์" (จ.เพชรบูรณ์) "เปรี้ยว" (จ.นครราชสีมา) และชนิดหวาน "ขันตี" (จ.เพชรบูรณ์) "ศรีชมภู" และ "สีทองหนัก" (จ.นครราชสีมา) ที่ shear rate = 2840 1/s มีค่าความหนืดเท่ากับ 35.36, 106.12, 73.08, 45.07 และ 70.62 ตามลำดับ

3. <u>การเตรียมผงแห้งมะขามโดยเทคนิคการพ่นแห้ง (Spray drying technique)</u>

3.1 <u>ลักษณะทางกายภาพของผงมะขาม</u>

ทำการพัฒนาสูตรการเตรียมผงมะขามตามตารางที่ 7 และสูตรอื่นๆ แสดงใน ภาคผนวก 2 ลักษณะภายนอกของผงมะขาม และค่าความชื้นของผงมะขามแสดงในตารางที่ 8 ผลิตภัณฑ์ผงมะขามจากสูตรเตรียมผงมะขาม 3 สูตร ที่กระจายตัวได้ง่ายในน้ำร้อน ได้แก่ Product No.11, 12 และ 13 แสดงไว้ในรูปที่ 20

ผงมะขามสูตรที่ 11 ในสารละลาย 1 ลิตร ประกอบด้วยเนื้อมะขามเปรี้ยวยักษ์ และขันตี (จ.เพชรบูรณ์) อย่างละ 15 กรัม/ลิตร น้ำตาลฟรุกโตส 1.35 กรัม/ลิตร โซเดียมคลอไรด์ 0.45 กรัม/ลิตร มอลโตเดกซ์ตริน 25 กรัม/ลิตร และซิลิคอนไดออกไซด์ 0.3 กรัม/ลิตร นำไปพ่นแห้งในเครื่อง Spray dryer (Buchi B-290) ผงมะขามที่ได้มีความชื้น 9.76 เปอร์เซ็นต์ เป็นอนุภาคขนาดเล็กเกาะกันอยู่จำนวนมาก มีสีเหลือง ผงมะขามดูดความชื้นจับตัวกันเป็นก้อนแข็งได้อย่างรวดเร็ว



รูปที่ 19 Flow curve ของ 2% Tamarind Seed Polysaccharide (TSP) ของมะขามพันธุ์ปลูก "เปรี้ยวยักษ์" (TI-PY/P), "ขันตี" (TI-K/P) จากจังหวัดเพชรบูรณ์ และมะขามพันธุ์ปลูก "เปรี้ยว" (TI-P/K), "ศรีชมภู" (TI-SP/K), "สีทองหนัก" (TI-STH/K) จากจังหวัดนครราชสีมา (โคราช,K)

ตารางที่ 7 ส่วนประกอบของ ingredients ใน 1 ลิตร ของสารผสมน้ำมะขามก่อนการทำ spray-drying

Formula No.	Tamarind extracts* (g/L)	Fructose (g/L)	NaCl (g/L)	SiO_2 (g/L)	TSP (g/L)	Pectin (g/L)	Maltodextrin (g/L)
1	30	1.35	0.45	0.30	10	-	-
2	30	1.35	0.45	0.30	-	10	-
3	30	1.35	0.45	0.30	-	-	10
4	30	1.35	0.45	-	6	4	-
5	30	1.35	0.45	0.30	6	4	-
6	30	1.35	0.45	0.30	6	4	15
7	30	1.35	0.45	0.30	6	-	19
8	30	1.35	0.45	0.30	10	-	15
9	30	1.35	0.45	0.30	5	-	15
10	30	1.35	0.45	0.30	5	-	20
11	30	1.35	0.45	0.30	-	-	25
12	30	1.35	0.45	0.30	5	-	25
13	30	1.35	0.45	0.30	-	5	25

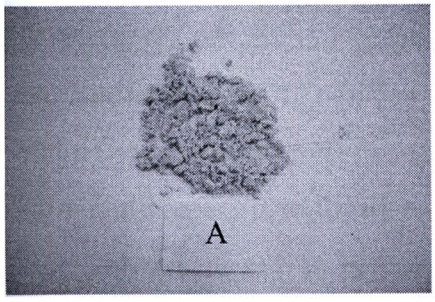
* Tamarind extract composed of TI-PY/P and TI-K/P each of 15 g/L

TSP (Formula No.6-10, 12) and pectin (Formula No.13) were autoclave at 121°C 30 minutes, pressure 1.02 Kgf/cm2 before mixed in tamarind mixture.

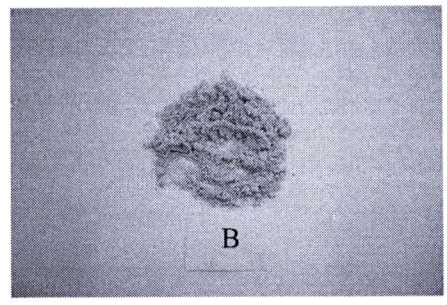
ตารางที่ 8 ลักษณะของผลิตภัณฑ์ผงมะขามหลังการทำ spray drying

Product No.	Appearance tamarind powder product after spray drying	% yield (SD)	%moisture Content (SD)	Dispersibility of 10% product in hot water (time in min)
1	Dry yellow powder, small particle, agglomerate, absorb moisture	24.2	8.75	difficult (50)
2	Dry yellow powder, small particle, easily agglomerate, absorb moisture rapidly	42.25	9.89	easy (15)
3	Wet yellow powder	35.35	ND	easy (10)
4	Dry yellow powder, small particle, agglomerate, absorb moisture	17.16	8.65	difficult (40)
5	Dry yellow powder, small particle, agglomerate, absorb moisture	27.06	8.58	difficult (30)
6	Dry yellow powder, easily agglomerate, absorb moisture rapidly	45.10	10.97	difficult (20)
7	Dry yellow powder, small particle, agglomerate, absorb moisture	25.64	8.73	difficult (20)
8	Dry yellow powder, small particle, absorb moisture	33.33	9.08	difficult (30)
9	Dry yellow powder, small particle, easily agglomerate, absorb moisture rapidly	21.08 (0.52)	9.76 (0.10)	difficult (25)
10	Dry yellow powder, small particle, easily agglomerate, absorb moisture	40.20 (0.57)	8.92 (0.04)	difficult (20)
11	Dry yellow powder, small particle, easily agglomerate, absorb moisture	46.17 (0.99)	9.76 (0.08)	easy (5)
12	Dry light yellow powder, fine particle	46.35 (1.58)	8.05 (0.02)	easy (10)
13	Dry light yellow powder, fine particle	47.62 (1.67)	8.30 (0.20)	easy (10)

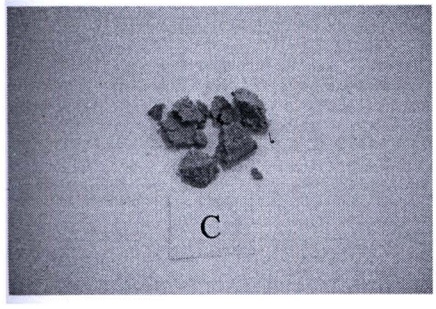
Product No.9-13 was done in triplicate, ND = not determined



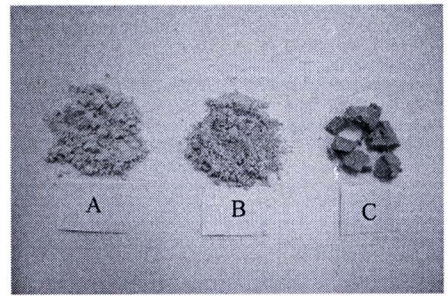
(a)



(b)



(c)



(d)

รูปที่ 20 ลักษณะที่เห็นด้วยสายตาของผลิตภัณฑ์ผงมะขามที่เตรียมโดย spray-drying technique

(a) Product No.12 (b) Product No.13 (c) Product No.11

(d) เปรียบเทียบผลิตภัณฑ์ผงมะขามจาก 3 สูตรที่ใช้เตรียมผงมะขาม

ผงมะขามสูตรที่ 12 ในสารละลาย 1 ลิตร ประกอบด้วยเนื้อมะขามเปรี้ยวยักษ์ และขันตี (จ.เพชรบูรณ์) อย่างละ 15 กรัม/ลิตร น้ำตาลฟรุกโตส 1.35 กรัม/ลิตร โซเดียมคลอไรด์ 0.45 กรัม/ลิตร มอลโตเดกซ์ตริน 25 กรัม/ลิตร TSP 5 กรัม/ลิตร และซิลิคอนไดออกไซด์ 0.3 กรัม/ลิตร นำไปพ่นแห้งในเครื่อง Spray dryer (Buchi B-290) ผงมะขามที่ได้มีความชื้น 8.05 เปอร์เซ็นต์ เป็นอนุภาคขนาดเล็กแห้งและละเอียด มีสีเหลืองนวล ละลายได้ดีในน้ำร้อน

ผงมะขามสูตรที่ 13 ในสารละลาย 1 ลิตร ประกอบด้วยเนื้อมะขามเปรี้ยวยักษ์ และขันตี (จ.เพชรบูรณ์) อย่างละ 15 กรัม/ลิตร น้ำตาลฟรุกโตส 1.35 กรัม/ลิตร โซเดียมคลอไรด์ 0.45 กรัม/ลิตร มอลโตเดกซ์ตริน 25 กรัม/ลิตร เพคติน 5 กรัม/ลิตร และซิลิคอนไดออกไซด์ 0.3 กรัม/ลิตร นำไปพ่นแห้งในเครื่อง Spray dryer (Buchi B-290) ผงมะขามที่ได้มีความชื้น 8.30 เปอร์เซ็นต์ เป็นอนุภาคขนาดเล็กแห้งและละเอียด มีสีเหลืองนวล ละลายได้ดีในน้ำร้อน

การวิจัยได้นำผลิตภัณฑ์ของสูตร 13 ไปทดสอบฤทธิ์การระบายในสัตว์ทดลองหนูขาว (rat) ดูฤทธิ์การระบายจากระยะทางการเคลื่อนที่ของผงถ่าน (charcoal) ในลำไส้หนูหลังการป้อนให้กินผลิตภัณฑ์ผงแห้งมะขาม

3.2 <u>การวิเคราะห์กรดอินทรีย์ในผงมะขาม</u>

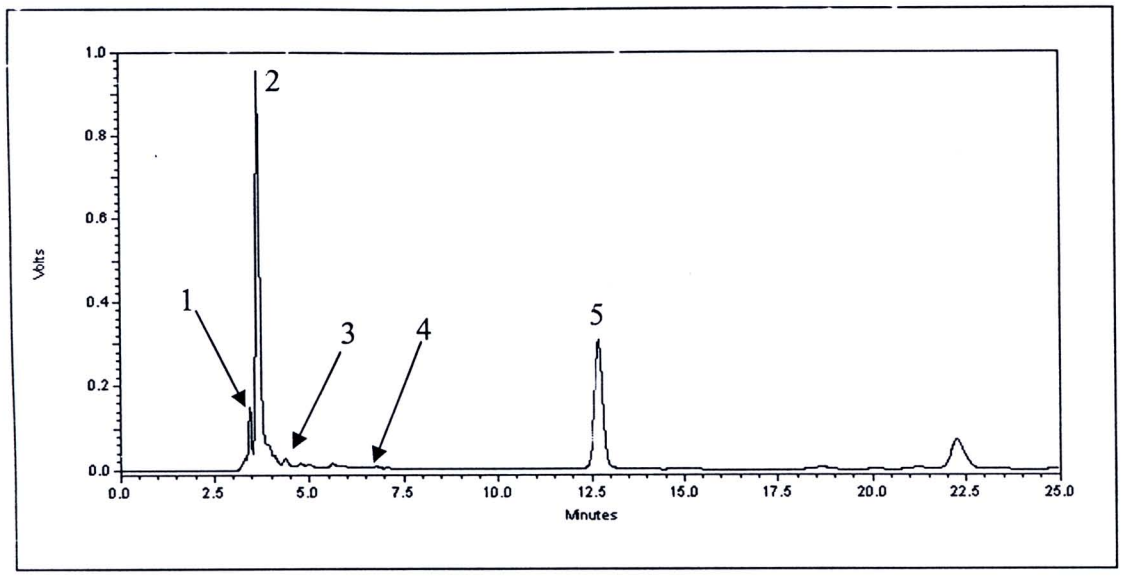
ตารางที่ 9 แสดงปริมาณกรดอินทรีย์ในผงมะขาม สูตรที่ 11,12,13 และรูปที่ 21-23 แสดงโครมาโทแกรมของการวิเคราะห์กรดอินทรีย์ในผงมะขาม สูตรที่ 11,12,13 ตามลำดับ

3.3 <u>Scanning electron microscopy</u>

ทำการถ่ายรูปเพื่อดูลักษณะอนุภาคภายนอกและขนาดอนุภาคของผงมะขามสูตรที่ 12 และ 13 ด้วยกล้อง scanning electron microscope ภาพจากกล้อง scanning electron microscope ของผงมะขามแสดงในรูปที่ 24 เนื่องจากสูตรที่ 11 จะดูดความชื้นเร็วมากจึงไม่สามารถทำการถ่ายรูปดูลักษณะภายนอกของอนุภาคได้

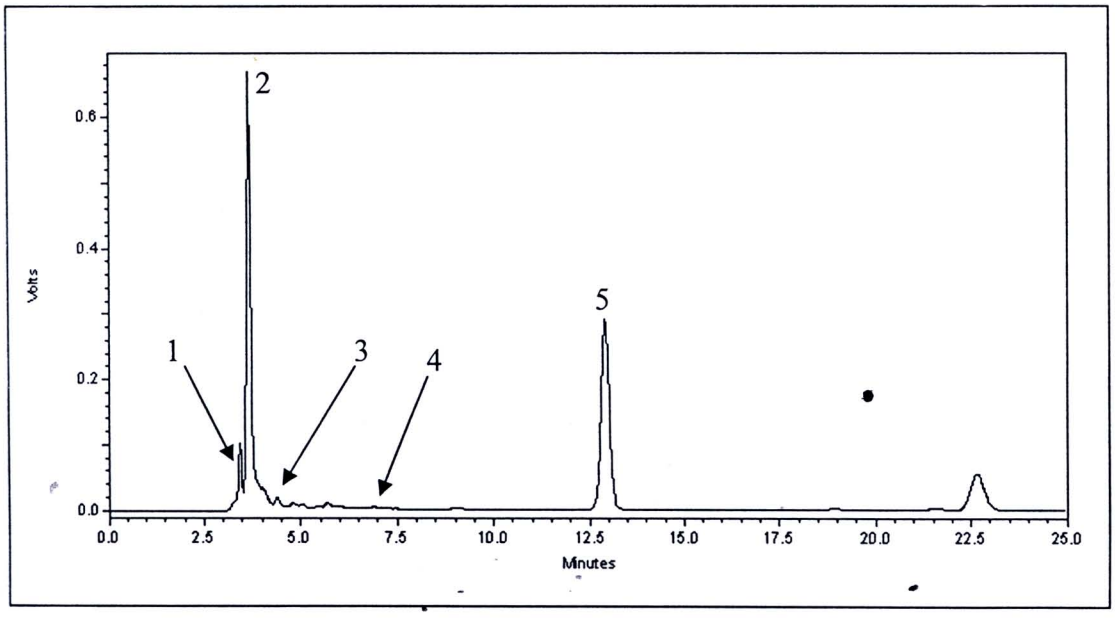
ตารางที่ 9 ส่วนประกอบกรดอินทรีย์ในผลิตภัณฑ์ผงมะขามที่เตรียมโดยวิธี spray drying

Product No.	Organic acids in tamarind powder (mg/100g)					
	mean (SD), N=3					
	OA	TA	SA	FA	L-MA	CA
11	288.75 (5.30)	15796.20 (100.32)	-	-	332.42 (4.15)	173.25 (8.49)
12	202.80 (0.65)	11931.65 (139.52)	-	-	225.25 (15.46)	162.42 (18.76)
13	311.40 (5.58)	9295.65 (3.75)	-	-	169.27 (5.64)	134.67 (1.73)



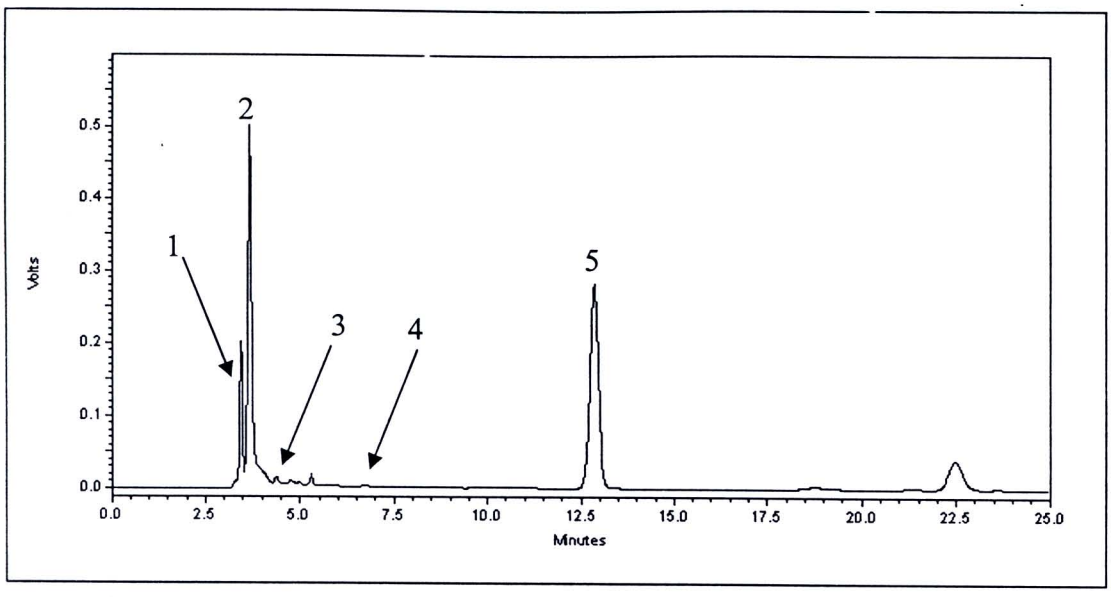
รูปที่ 21 Chromatogram ของกรดอินทรีย์ในผลิตภัณฑ์ผงมะขามสูตร No.11

Peaks: 1 Oxalic acid (OA), 2 Tartartic acid (TA), 3 L-malic acid (L-MA), 4 Citric acid (CA) and 5 Gallic acid (GA)



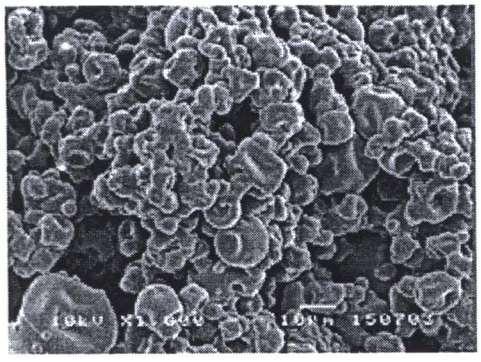
รูปที่ 22 Chromatogram ของกรดอินทรีย์ในผลิตภัณฑ์ผงมะขามสูตร No.12

Peaks: 1 Oxalic acid (OA), 2 Tartartic acid (TA), 3 L-malic acid (L-MA), 4 Citric acid (CA) and 5 Gallic acid (GA)

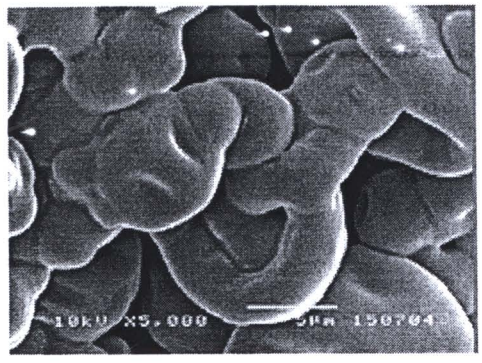


รูปที่ 23 Chromatogram ของกรดอินทรีย์ในผลิตภัณฑ์ผงมะขามสูตร No.13

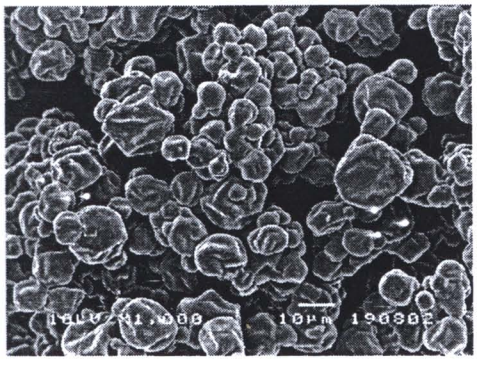
Peaks: 1 Oxalic acid (OA), 2 Tartartic acid (TA), 3 L-malic acid (L-MA), 4 Citric acid (CA) and 5 Gallic acid (GA)



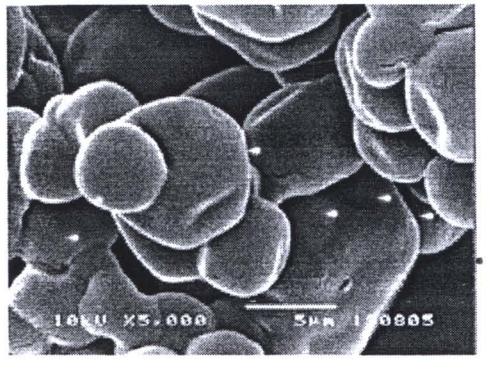
(A1)



(A2)



(B1)



(B2)

รูปที่ 24 Scanning electron micrographs ของผลิตภัณฑ์ผงมะขามเตรียมโดยวิธี spray-drying

(A1) Product No.12 (x1000) (A2) Product No.12 (x5000)

(B1) Product No.13 (x1000) (B2) Product No.13 (x5000)

4. การศึกษาฤทธิ์การระบายของน้ำมะขามและผลิตภัณฑ์ผงแห้งมะขาม

4.1 ผลของน้ำมะขามเปรียบเทียบกับ organic acid standard ต่อการเคลื่อนที่ของลำไส้เล็กในหนูขาว

ผลการทดลองในตารางที่ 10 แสดงให้เห็นว่าน้ำลูกพรุนในขนาดเป็น 10 เท่าของขนาดรับประทานในคน มีเปอร์เซ็นต์การเคลื่อนที่ของผงถ่านในลำไส้ของหนูขาวเท่ากับ 63.94±7.40 ซึ่งสูงกว่าเปอร์เซ็นต์การเคลื่อนที่ของผงถ่านในลำไส้ของหนูขาวในกลุ่มควบคุม (47.68±1.72) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p=0.000$) ในทำนองเดียวกัน มะขามเปรี้ยวยักษ์ และมะขามพันธุ์ขันตีในขนาด 2 มิลลิลิตร/น้ำหนักตัว 1 กิโลกรัม มีเปอร์เซ็นต์การเคลื่อนที่ของผงถ่านในลำไส้ของหนูขาวเท่ากับ 57.96±7.92 และ 58.19±9.48 ตามลำดับซึ่งสูงกว่าเปอร์เซ็นต์การเคลื่อนที่ของผงถ่านในลำไส้ของหนูขาวในกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p=0.016$ สำหรับมะขามเปรี้ยวยักษ์ และ $p=0.014$ สำหรับมะขามพันธุ์ขันตี) เช่นเดียวกัน ส่วนมะขามอีก 3 พันธุ์ คือมะขามพันธุ์ศรีชมภู มะขามพันธุ์สีทองเบา และมะขามพันธุ์สีทองหนักในขนาด 2 มิลลิลิตร/น้ำหนักตัว 1 กิโลกรัม รวมทั้งมะขามเปรี้ยวยักษ์ และมะขามพันธุ์ขันตีในขนาดสูงถึง8 และ 10 มิลลิลิตร/น้ำหนักตัว 1 กิโลกรัม มีเปอร์เซ็นต์การเคลื่อนที่ของผงถ่านในลำไส้ของหนูขาวไม่แตกต่างของกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ขนาดที่สูงมากของน้ำมะขามไม่ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของงถ่านในลำไส้ได้มากขึ้น

สำหรับผลของกรด 3 ชนิด ที่พบในมะขาม ต่อการเคลื่อนที่ของผงถ่านในลำไส้ของหนูขาว (ตารางที่ 10) พบว่ากรดทั้ง 3 ชนิด คือ Tartaric acid, Citric acid และ Malic acid ในขนาด 100 ml/kg มีเปอร์เซ็นต์การเคลื่อนที่ของผงถ่านในลำไส้ของหนูขาวเท่ากับ 62.56±13.77, 60.45±4.50 และ 57.03±5.01 ตามลำดับซึ่งสูงกว่าเปอร์เซ็นต์การเคลื่อนที่ของผงถ่านในลำไส้ของหนูขาวในกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p=0.001$ สำหรับ Tartaric acid, $p=0.003$ สำหรับ Citric acid และ $p=0.028$ สำหรับ Malic acid) ในขณะที่เปอร์เซ็นต์การเคลื่อนที่ของผงถ่านในลำไส้ของหนูขาวของกรดทั้ง 3 ชนิดในขนาด 10 mg/kg ไม่แตกต่างจากกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

จากการทดลองจะเห้นได้ว่า มะขามเปรี้ยวยักษ์ และมะขามพันธุ์ขันตีในขนาด 2 มิลลิลิตร/น้ำหนักตัว 1 กิโลกรัม มีผลเพิ่มการเคลื่อนไหวของลำไส้ได้ดีกว่าพันธุ์อื่น จึงได้นำมาทำการศึกษาต่อเพื่อหาความสัมพันธุ์ระหว่างความเข้มข้นของน้ำมะขามทั้ง 2 พันธุ์ เป็น 8 และ 10 มิลลิลิตร/น้ำหนักตัว 1 กิโลกรัม แต่พบว่าการเคลื่อนไหวของลำไส้หนูขาว ไม่แตกต่างจากกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ทั้งนี้อาจมีผลมาจากน้ำมะขามทั้ง 2 พันธุ์ มีลักษณะหนืดข้นมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งมะขามเปรี้ยวยักษ์ ดังนั้นการเพิ่มความเข้มข้นของมะขามทั้ง 2 พันธุ์ โดยการเพิ่มปริมาตรขึ้น อาจ

ตารางที่ 10 ผลของน้ำมะขามพันธุ์ต่างๆ และกรด 3 ชนิดหลักที่พบในน้ำมะขาม ต่อการเคลื่อนที่ของผงถ่านในลำไส้ของหนูขาว

กลุ่ม	เปอร์เซ็นต์การเคลื่อนที่	P value
Control (distilled water)	47.68±1.72	
น้ำลูกพรุน 10 เท่า ขนาดรับประทานในคน	63.94±7.40*	0.000
Tartaric acid 10 mg/ml	51.65±7.54	0.344
Tartaric acid 100 mg/ml	62.56±13.77*	0.001
Citric acid 10 mg/ml	51.11±9.58	0.413
Citric acid 10 mg/ml	60.45±4.50*	0.003
Malic acid 10 mg/ml	49.11±7.10	0.733
Malic acid 100 mg/ml	57.03±5.01*	0.028
มะขามเปรี้ยวยักษ์ (TI-PY/P) 2 มล/กก	57.96±7.92*	0.016
มะขามพันธุ์ขันตี (TI-K/P)2 มล/กก	58.19±9.48*	0.014
มะขามพันธุ์ศรีชมภู (TI-SP/P) 2 มล/กก	53.56±7.84	0.162
มะขามพันธุ์สีทองเบา (TI-STB/P) 2 มล/กก	47.26±7.88	0.919
มะขามพันธุ์สีทองหนัก (TI-STN/P) 2 มล/กก	49.12±2.15	0.731
มะขามเปรี้ยวยักษ์ 8 มล/กก	49.67±4.40	0.634
มะขามเปรี้ยวยักษ์ 10 มล/กก	53.12±5.30	0.195
มะขามขันตี 8 มล/กก	45.70±4.20	0.635
มะขามขันตี 10 มล/กก	54.91±6.92	0.086

Data = mean±SD

N=6, * significant difference from control; $p<0.05$

ทำให้การเคลื่อนที่ของน้ำมะขามออกจากกระเพาะอาหาร (gastric emptying time) เพื่อไปออกฤทธิ์ที่ลำไส้ เกิดขึ้นได้น้อยลง (จากการสังเกตพบว่ามีน้ำมะขามและผงถ่านคั่งอยู่ในกระเพาะอาหารของหนูขาวจนกระเพาะบวมใหญ่ขึ้นอย่างมาก

จะทำการศึกษาเพื่อพิสูจน์ว่ากรดทั้ง 3 ชนิดนี้ หรือสารอื่นๆที่อยู่ในมะขามเป็นสารที่ออกฤทธิ์เพิ่มการเคลื่อนที่ของลำไส้ โดยจะหาความสัมพันธ์ระหว่างสารละลายที่ประกอบด้วยกรดทั้ง 3 ชนิด ได้แก่ Tartaric Oxalic และ Malic acid ในความเข้มข้นที่วิเคราะห์พบจริงในมะขามแต่ละพันธุ์ ต่อผลการเคลื่อนที่ของผงถ่าน ในลำไส้เล็กของหนูขาว และทดสอบฤทธิ์ในการเพิ่มการเคลื่อนไหวของ isolated rat ilium ของหนูขาวควบคู่ไปด้วย

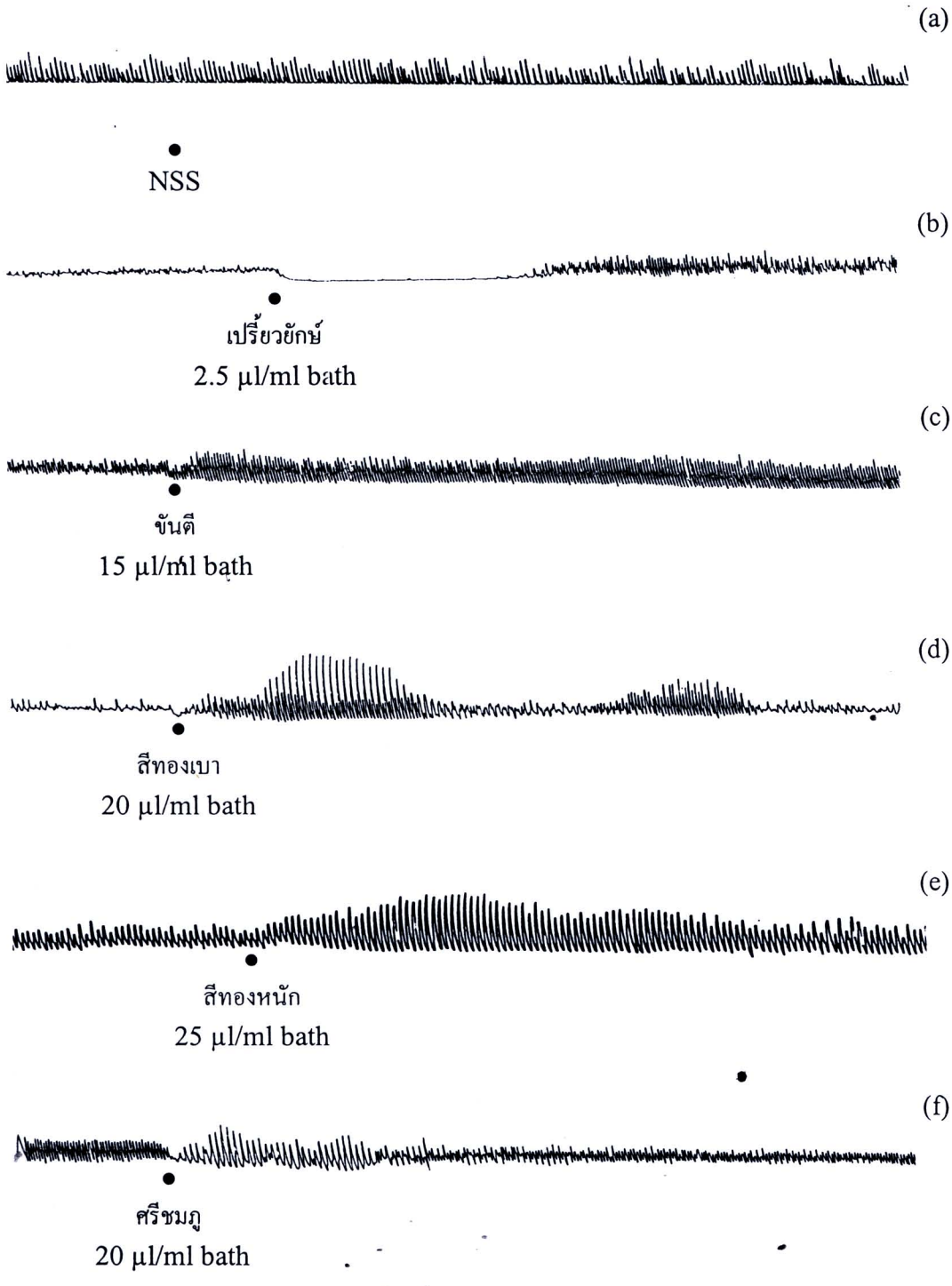
4.1.1 <u>ผลของน้ำมะขามต่อ isolated rat ilieum</u>

เมื่อหยดน้ำมะขามลงใน tissue chamber พบว่า isolated rat ileum มีการคลายตัวในระยะแรก ตามมาด้วยการหดตัวเพิ่มขึ้น และมี peristalsis เพิ่มขึ้นด้วย โดยปริมาตรของน้ำมะขามพันธุ์ต่างๆที่ทำให้เกิดการตอบสนองนั้นไม่เท่ากันและ ไม่พบความสัมพันธ์ระหว่างการตอบสนองกับปริมาตรของน้ำมะขาม ในขณะที่น้ำเกลือในปริมาตรเท่ากับปริมาตรน้ำมะขามที่ใช้ไม่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงใดๆ (รูปที่ 25)

จากผลการทดลองที่ได้ แสดงให้เห็นว่าน้ำมะขามมีผลเพิ่มการหดตัวของลำไส้และเพิ่ม peristalsis ใน isolated rat ileum ซึ่งฤทธิ์ดังกล่าวน่าจะเป็นประโยชน์ในการนำน้ำมะขามมาใช้เป็นยาระบายได้ดี

4.1.2 <u>การศึกษาส่วนผสมของกรดอินทรีย์ 3 ชนิด หลักที่พบในน้ำมะขามต่อการเคลื่อนที่ของผงถ่านในลำไส้ของหนูขาว</u>

จากการทดลองเพื่อทดสอบฤทธิ์ในการเพิ่มการเคลื่อนไหวของลำไส้ของหนูขาวของสารละลายที่ประกอบด้วยกรดทั้ง 3 ชนิดในความเข้มข้นที่พบจริงในมะขามแต่ละพันธุ์เทียบกับน้ำลูกพรุน แสดงผลในตารางที่ 11 พบว่าน้ำลูกพรุนในขนาดเป็น 10 เท่าของขนาดรับประทานในคนมีเปอร์เซ็นต์การเคลื่อนที่ของผงถ่านในลำไส้ของหนูขาวเท่ากับ 58.95±4.51 ซึ่งสูงกว่าเปอร์เซ็นต์การเคลื่อนที่ของผงถ่านในลำไส้ของหนูขาวในกลุ่มควบคุม (41.13±4.23) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p=0.001$) ในทำนองเดียวกัน กรดในปริมาณจากผลวิเคราะห์ครั้งที่ 2 ของมะขามเปรี้ยวยักษ์และขันตีในขนาด 2 มิลลิลิตร/น้ำหนักตัว 1 กิโลกรัม มีเปอร์เซ็นต์การเคลื่อนที่ของผงถ่านในลำไส้ของหนูขาวเท่ากับ 49.68±7.48 และ 51.57±4.98 ตามลำดับซึ่งสูงกว่าเปอร์เซ็นต์การเคลื่อนที่ของผงถ่านในลำไส้ของหนูขาวในกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p=0.012$ สำหรับมะขามเปรี้ยวยักษ์



รูปที่ 25 ผลของน้ำมะขามต่อ isolated rat ileum เปรียบเทียบกับ normal saline solution (NSS) ใน control (a), สายพันธุ์เปรี้ยวยักษ์ (b), มะขามหวานขันตี (c), สีทองเบา (d), สีทองหนัก (e), และศรีชมพู (f)

ตารางที่ 11 ผลของสารละลายที่ประกอบด้วยกรดทั้ง 3 ชนิดในความเข้มข้นที่พบจริงในมะขามแต่ละพันธุ์ ต่อการเคลื่อนที่ของผงถ่านในลำไส้ของหนูขาว

กลุ่ม	น้ำหนัก (กรัม)	เปอร์เซ็นต์ การเคลื่อนที่	P value
Control (distilled water)	294.67	41.13±4.23	
น้ำลูกพรุน 10 เท่า ขนาดรับประทานในคน	287.00	58.95±4.51*	0.000
ปริมาณกรดจากผลวิเคราะห์ 1 ของเปรี้ยวยักษ์ ชุด 1 2 ml/kg (OA+TA+MA=1.72+322.86+7.02 mg)	294.67	39.72±4.66	0.662
ปริมาณกรดจากผลวิเคราะห์ 2 ของมะขามเปรี้ยวยักษ์ชุด 2 2 ml/kg (OA+TA+MA=0.704+126.76+1.126 mg)	291.00	49.68±7.48*	0.012
ปริมาณกรดจากผลวิเคราะห์ 1 ของมะขามพันธุ์ขันตีชุด 1 2 ml/kg (OA+TA+MA=1.36+36.74+17.32 mg)	274.33	45.95±6.51	0.141
ปริมาณกรดจากผลวิเคราะห์ 2 ของมะขามพันธุ์ขันตีชุด 2 2 ml/kg (OA+TA+MA=0.734+20.248+7.072 mg)	308.67	51.57±4.98*	0.003

Data = mean ± SD

N=6, * significant difference from control; $p<0.05$

และ p=0.003 สำหรับมะขามพันธุ์ขันตี) ส่วนกรดในปริมาณจากผลวิเคราะห์ครั้งที่ 1 ของมะขามเปรี้ยวยักษ์และขันตี ไม่พบความแตกต่างจากกลุ่มควบคุม

จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่า กรดในปริมาณตามการวิเคราะห์ครั้งที่ 2 ของมะขามเปรี้ยวยักษ์และขันตีมีผลเพิ่มการเคลื่อนที่ของลำไส้ได้ดีกว่ากลุ่มควบคุม อย่างไรก็ตาม กรดในปริมาณจากผลวิเคราะห์ครั้งที่ 1 กลับไม่ทำให้เกิดการเคลื่อนไหวของลำไส้เปลี่ยนแปลง เมื่อพิจารณาถึงปริมาณของกรดทั้ง 3 ชนิดที่มีในน้ำมะขามพบว่า ปริมาณของ tartaric acid มีมากที่สุด รองลงมาคือ malic acid และ oxalic acid ตามลำดับ ซึ่งปริมาณของกรดทั้ง 3 ชนิดนี้ในผลวิเคราะห์ครั้งที่ 1 ซึ่งเตรียมให้มีความเข้มข้นมากกว่าในผลวิเคราะห์ครั้งที่ 2 จึงเห็นว่า หากใช้ปริมาณกรดเข้มข้นมากจากผลวิเคราะห์ครั้งที่ 1 จะไม่มีผลเพิ่มการเคลื่อนไหวของลำไส้มากขึ้น ดังนั้นปริมาณที่เหมาะสมของกรดทั้ง 3 ชนิด ที่มีผลเพิ่มการเคลื่อนไหวของลำไส้และควรใช้กรดปริมาณที่ต่ำกว่า เช่นในผลวิเคราะห์ครั้งที่ 2

4.1.3 <u>การทดสอบฤทธิ์การระบายของน้ำมะขามต่างสายพันธุ์ต่อการเคลื่อนที่ของผงถ่านในลำไส้หนูขาว</u>

ผลการทดลองในตารางที่ 12 แสดงให้เห็นว่าน้ำลูกพรุนในขนาดเป็น 10 เท่าของขนาดรับประทานในคน มีเปอร์เซ็นต์การเคลื่อนที่ของผงถ่านในลำไส้ของหนูขาวเท่ากับ 47.50±4.31 ซึ่งสูงกว่าเปอร์เซ็นต์การเคลื่อนที่ของผงถ่านในลำไส้ของหนูขาวในกลุ่มควบคุม (38.86±6.23) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p=0.005) แต่ไม่แตกต่างจากการให้น้ำมะขามโดยเปอร์เซ็นต์การเคลื่อนที่ของผงถ่านในลำไส้ของหนูขาวที่ได้รับน้ำมะขามพันธุ์ต่างๆ ที่ทำการทดสอบซ้ำใหม่ ในทำนองเดียวกันน้ำมะขามพันธุ์สีทองหนัก สีทองเบา ขันตี เปรี้ยวยักษ์ และศรีชมภู ในขนาด 2 มิลลิลิตร/น้ำหนักตัว 1 กิโลกรัม มีเปอร์เซ็นต์การเคลื่อนที่ของผงถ่านในลำไส้ของหนูขาวเท่ากับ 47.40±4.04, 45.24±2.38, 49.72±5.15, 49.43±4.81 และ 50.87±6.51 ตามลำดับซึ่งสูงกว่าเปอร์เซ็นต์การเคลื่อนที่ของผงถ่านในลำไส้ของหนูขาวในกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p=0.005 สำหรับพันธุ์สีทองหนัก, p=0.032 สำหรับพันธุ์สีทองเบา, p=0.001 สำหรับพันธุ์ขันตีและเปรี้ยวยักษ์ และ p=0.000 สำหรับพันธุ์ศรีชมภู)

4.2 <u>การทดสอบฤทธิ์การระบายของผลิตภัณฑ์ผงแห้งมะขาม ต่อการเคลื่อนที่ของผงถ่านในลำไส้เล็กหนูขาว</u>

ผลการทดลองในตารางที่ 13 แสดงให้เห็นว่าน้ำลูกพรุนในขนาดเป็น 10 เท่าของขนาดรับประทานในคน มีเปอร์เซ็นต์การเคลื่อนที่ของผงถ่านในลำไส้ของหนูขาวเท่ากับ 59.33±3.88 ซึ่ง

ตารางที่ 12 ผลการทดสอบซ้ำต่อการเคลื่อนที่ของผงถ่านในลำไส้ของหนูขาวของน้ำมะขามพันธุ์ต่างๆ

กลุ่ม	น้ำหนัก (กรัม)	เปอร์เซ็นต์การเคลื่อนที่	P value
Control (distilled water)	308.00	38.86±6.23	-
น้ำลูกพรุน 10 เท่า ขนาดรับประทานในคน	298.33	47.50±4.31*	0.005
มะขามพันธุ์สีทองหนัก 2 มล/กก	279.67	47.40±4.04	0.005
มะขามพันธุ์สีทองเบา 2 มล/กก	305.33	45.24±2.38*	0.032
มะขามพันธุ์ขันตี 2 มล/กก	305.67	49.72±5.15*	0.001
มะขามพันธุ์เปรี้ยวยักษ์ 2 มล/กก	312.67	49.43±4.81*	0.001
มะขามพันธุ์ศรีชมภู 2 มล/กก	252.00	50.87±6.51*	0.000

Data = mean ± SD

N=6, * significant difference from control; $p<0.05$

ตารางที่ 13 ผลของผลิตภัณฑ์ผงแห้งมะขามต่อการเคลื่อนที่ของผงถ่านในลำไส้ของหนูขาว

กลุ่ม	น้ำหนัก (กรัม)	เปอร์เซ็นต์การเคลื่อนที่	P value
Control (distilled water)	247.67±24.21	52.66±2.75	-
น้ำลูกพรุน 10 เท่า ขนาดรับประทานในคน	253.67±37.30	59.33±3.88*	0.000
ผลิตภัณฑ์เทียบเท่าน้ำมะขาม 8 มล/กก	230.67±12.75	75.48±2.36*	0.000
ผลิตภัณฑ์เทียบเท่าน้ำมะขาม 4 มล/กก	251.67±36.01	64.32±2.56*	0.000
ผลิตภัณฑ์เทียบเท่าน้ำมะขาม 2 มล/กก	253.00±26.22	57.25±2.08*	0.008

Data = mean ± SD

N=6, * significant difference from control; $p<0.05$

สูงกว่าเปอร์เซ็นต์การเคลื่อนที่ของผงถ่านในลำไส้ของหนูขาวในกลุ่มควบคุม (52.66±2.75) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p=0.000) และแตกต่างจากเปอร์เซ็นต์การเคลื่อนที่ของผงถ่านในลำไส้ของหนูขาวที่ได้รับผลิตภัณฑ์เทียบเท่ากับน้ำมะขาม 8 และ 4 มิลลิลิตร/น้ำหนักตัว 1 กิโลกรัม (p=0.000 และ 0.004 ตามลำดับ) สำหรับผลิตภัณฑ์เทียบเท่าน้ำมะขาม 8, 4 และ 2 มิลลิลิตร/น้ำหนักตัว 1 กิโลกรัม มีเปอร์เซ็นต์การเคลื่อนที่ของผงถ่านในลำไส้ของหนูขาวเท่ากับ 75.484.±2.36, 64.32±2.56 และ 57.25±2.08 ตามลำดับ ซึ่งสูงกว่าเปอร์เซ็นต์การเคลื่อนที่ของผงถ่านในลำไส้ของหนูขาวในกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ (p=0.000, 0.000 และ 0.008 ตามลำดับ) จากผลการทดลองแสดงว่าผลิตภัณฑ์น้ำมะขามที่เตรียมขึ้นเมื่อนำมาใช้ในขนาดที่เทียบเท่ากับน้ำมะขาม 4 และ 8 มล/น้ำหนักตัว 1 กก. มีผลช่วยเพิ่มการเคลื่อนที่ของลำไส้หนูได้ดีขึ้นแตกต่างจากกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ผลิตภัณฑ์ผงแห้งมะขามที่เตรียมโดยวิธี spray dried คือผลิตภัณฑ์ No 13 ซึ่งสามารถวิเคราะห์โดยวิธี HPLC พบว่ามีองค์ประกอบของกรด Tartaric Malic และ Citric เท่ากับ 9.3, 0.169 และ 0.135 g/100g ตามลำดับ การใช้ผลิตภัณฑ์ผงแห้งมะขามในน้ำ ขนาด 4 และ 8 มล/น้ำหนักตัว 1 กิโลกรัม มีผลทำให้ระยะทางการเคลื่อนที่ของผงถ่านไปได้ไกลกว่า เมื่อเทียบกับน้ำลูกพรุนซึ่งใช้เป็น positive control (ตารางที่ 13) จากผลการทดลอง แสดงให้เห็นว่าผลิตภัณฑ์ผงแห้งมะขามน่าจะมีศักยภาพนำมาใช้เป็นยาระบายได้ดี เช่นเดียวกันหรือดีกว่าน้ำลูกพรุน

ผลิตภัณฑ์งแห้งมะขามในขนาดที่สูง 8 มล/น้ำหนักตัว 1 กิโลกรัม มีผลทำให้ผงถ่านเคลื่อนที่ไปได้ไกลมากที่สุดถึง 75.48±0.97% ซึ่งต่างจากน้ำสกัดมะขามยิ่งขนาดสูงจะไม่ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ได้ดี (ตารางที่ 10) ดังนั้นผลิตภัณฑ์ผงแห้งมะขามจึงมีแนวโน้มที่ดี ที่สามารถนำมาพัฒนาใช้เป็นอาหารเพื่อสุขภาพได้ ในตารางที่ 14 แสดงผลของผลิตภัณฑ์ผงแห้งมะขามที่ให้ในขนาด 4.9689 กรัม/น้ำหนักตัว 1 กิโลกรัม จะมีผลทำให้มีเปอร์เซ็นต์การเคลื่อนที่ของลำไส้เล็กหนูขาว ถึง 75.48±0.97 ซึ่งดีกว่าน้ำลูกพรุนที่ให้ในขนาด 10 เท่า ซึ่งเป็น positive control พบทำให้มีเปอร์เซ็นต์การเคลื่อนที่ของผงถ่าน 59.33±1.58 ในขณะที่น้ำกลั่น ซึ่งเป็น control มีระยะทาง (เปอร์เซ็นต์) การเคลื่อนที่ของผงถ่านที่ 50.88±1.34 ซึ่งจากการทดลองนี้พบว่าการให้ในขนาดลดลงครึ่งหนึ่งหรือให้ 4 มก/น้ำหนักตัว 1 กิโลกรัม (เท่ากับขนาด 2.48 กรัม/น้ำหนักตัว 1 กิโลกรัม ก็จะให้ผลเปอร์เซ็นต์การเคลื่อนที่ของผงถ่านได้ไกลกว่า (64.32±2.56) กลุ่ม positive control แล้ว ดังนั้นการให้ผลิตภัณฑ์ผงแห้งมะขามขนาด 2.48 กรัม/น้ำหนักตัว 1 กิโลกรัม หรือน้อยกว่า ก็อาจจะเพียงพอ ทำให้เกิดการระบายท้องช่วยการขับถ่ายได้

ตารางที่ 14 แสดงผลของผลิตภัณฑ์ผงแห้งมะขามต่อการเคลื่อนที่ของผงถ่านในลำไส้ของหนูขาว

กลุ่ม	น้ำหนัก (กรัม)	เปอร์เซ็นต์การเคลื่อนที่	P value
Control (distilled water)	249.25	50.88±1.34	-
น้ำลูกพรุน 10 เท่า ขนาดรับประทานในคน	246.75	59.33±1.58*	0.000
ผลิตภัณฑ์ผงมะขาม 4.9689 g/kg	228.5	75.48±0.97*	0.000

Data = mean ± SD

N=6, * significant difference from control; $p<0.05$

Dose ที่ให้ 4.9689 g/kg เทียบเท่ากับน้ำมะขามขนาดสูงสุดที่เคยทำคือ 8 ml/kg

น้ำมะขาม 8 ml/kg คิดแล้วมีเนื้อผงแห้งมะขาม 2.4 กรัม จึงใช้ผลิตภัณฑ์น้ำหนัก 4.9689 กรัม

Volume 10 mg/ml

ถ้าหนูหนัก 200 g ได้ volume 2 ml

เตรียม 0.4969 g/ml

5. <u>การพัฒนาผลิตภัณฑ์ผงฟู่จากมะขาม</u>

ในการวิจัยนี้เลือกใช้มะขามเปรี้ยว TI-P/K จากจังหวัดนครราชสีมา (โคราช) เนื่องจากมีราคาถูกและมีความเปรี้ยวสูง จึงน่าจะมีกรดผลไม้ตามธรรมชาติมากเพียงพอในการเป็นส่วนประกอบสำคัญในการพัฒนาสูตรตำรับเครื่องดื่มมะขามผงฟู่และเยลลี่ โดยในการทดลองใช้ส่วนเนื้อของผลแก่ของมะขาม

ทำการประเมินคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของน้ำมะขามเข้มข้น โดยนำน้ำมะขามเข้มข้นมาประเมินคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพ ได้แก่ สี กลิ่น ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ความเป็นกรดด่าง ปริมาณกรดทาร์ทาริก แสดงผลในตารางที่ 15

การสกัดน้ำมะขามนิยมใช้น้ำเป็นตัวทำละลายเนื่องจากมีความปลอดภัยต่อการนำไปพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์อาหาร อีกทั้งกรดทาร์ทาริกที่มีในเนื้อมะขามซึ่งเป็นสารสำคัญในการออกฤทธิ์ช่วยให้ระบายสามารถละลายได้ดีในน้ำ (กรดทาร์ทาริก 1 กรัม ละลายได้ในน้ำธรรมดา 0.75 มิลลิลิตร ละลายได้ในน้ำร้อนอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส 0.50 มิลลิลิตร) (Marydele, 2001; Wade และ Weller, 1994) น้ำมะขามเข้มข้นที่สกัดได้มีลักษณะเป็นสารละลายสีน้ำตาลแดงเข้ม กลิ่นหอมมะขามเนื่องจากมีสารพวกน้ำมันหอมระเหยเป็นองค์ประกอบ โดย Lee, Swords และ Hunter (1975) ได้ศึกษาโดยใช้ gas chromatography และ mass spectroscopy พบว่าสารให้กลิ่นในเนื้อมะขามสุกมีประมาณ 61 ชนิด สารที่สำคัญได้แก่ 2-acetyl-furan ให้ลักษณะกลิ่นที่เรียกว่า balsamic-simmamic ความเป็นกรดด่างของน้ำมะขามเข้มข้นเท่ากับ 1.943 ทำให้มีรสเปรี้ยวจัด ปริมาณของแข็งที่ละลายทั้งหมดเท่ากับ 49.67 องศาบริกซ์ ซึ่งมากกว่าน้ำมะขามที่สกัดโดยสุกัญญา ธนพัฒนากุล และคณะ (2544) ที่มีปริมาณของแข็งที่ละลายทั้งหมดเท่ากับ 27 องศาบริกซ์ ทำให้น้ำมะขามเข้มข้นที่สกัดได้ในการทดลองนี้มีลักษณะเป็นสารละลายข้นหนืด วิเคราะห์ปริมาณกรดทาร์ทาริกในน้ำมะขามเข้มข้น 1 กรัม มีค่า 187.2 มิลลิกรัม สำหรับกรดทาร์ทาริกเป็นกรดที่ พบมากที่สุดในมะขามชนิดเปรี้ยว มีปริมาณ 12.20-23.80 %ของเนื้อมะขาม ซึ่งสูงกว่าพืชชนิดอื่นๆที่มีการศึกษาไว้ (Ulrich, 1970) มีนักวิจัยแต่ละกลุ่มได้รายงานปริมาณของกรดทาร์ทาริกในเนื้อมะขามที่มีค่าแตกต่างกันไป ได้แก่ Shri *et al.* (1976) พบว่าเนื้อมะขามมีปริมาณกรดทาร์ทาริก 8-18 % ของเนื้อมะขาม ส่วน Hasan และ Ijaz (1972) พบว่าในเนื้อมะขามเปรี้ยวในประเทศปากีสถานมีปริมาณกรดทาร์ทาริก 8.40-12.40% ของเนื้อมะขาม ในประเทศไทยพบว่ามะขามมีปริมาณกรดทาร์ทาริก 2.50-11.30 % ของเนื้อมะขาม โดยมะขามชนิดหวานมีปริมาณกรดทาร์ทาริกน้อยกว่ามะขามชนิดเปรี้ยว คือ มีค่าต่ำกว่าร้อยละ 2.00-3.20% (Feungchan, Yimsawat และ Kitpowsong, 1996) ขณะที่

ชูศักดิ์ สัจจพงษ์ (2542) พบว่ามะขามชนิดเปรี้ยวมีปริมาณกรดทาร์ทาริก 12.00-17.00 % ของเนื้อมะขาม

5.1 <u>การผลิตผงมะขาม โดยใช้เครื่องทำแห้งแบบพ่น (spray dryer)</u> ได้เตรียมผลิตภัณฑ์ผงมะขามและประเมินคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ได้ผลต่อไปนี้

5.1.1 การประเมินคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของผงมะขามที่ได้จากการทำแห้งแบบพ่นพบว่าผลิตภัณฑ์ของผงมะขามลักษณะทางกายภาพ ได้แก่ สี กลิ่น จากการสังเกตและดมกลิ่น ค่าสีของผงมะขาม ลักษณะผงมะขาม ค่าการละลายแสดงในรูปร้อยละของปริมาณของแข็งที่ไม่ละลาย (% insoluble solid) และเวลาในการละลาย และร้อยละของน้ำหนักของผงมะขามที่ผลิตได้ (%yield) แสดงผลในตารางที่ 16

5.1.2 การประเมินคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของผงมะขามที่มีลักษณะทางกายภาพที่ดีที่สุด ทำการคัดเลือกผงมะขามที่มีลักษณะทางกายภาพที่ดีที่สุด พบว่าผงมะขามที่ได้จากเตรียมโดยใช้น้ำมะขามเข้มข้นผสมมอลโตเด็กซ์ตรินร้อยละ 40 มีลักษณะผงที่ดีที่สุด มี % yield มากที่สุด จึงนำมาประเมินเพิ่มเติม ได้แก่ปริมาณความชื้น ความเป็นกรดด่าง (pH) ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (total soluble solid) และปริมาณกรดทาร์ทาริก แสดงผลในตารางที่ 17

5.1.3 การศึกษาความคงตัวของผงมะขามผงมะขามจากน้ำมะขามเข้มข้นผสมมอลโตเด็กซ์ตรินร้อยละ 40 เป็นสูตรที่เหมาะสมที่สุด เนื่องจากมีลักษณะผงที่ละเอียดร่วน ไม่เกาะกันเป็นก้อน ชื้นน้อย ได้น้ำหนักมะขามผงที่ผลิตได้มากที่สุด นำผงมะขามดังกล่าวมาศึกษาความคงตัว โดยประเมินคุณสมบัติทางกายภาพ เคมี และจุลชีววิทยา เมื่อเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องและ ที่อุณหภูมิ 2-8 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 วัน โดยผลการประเมินทางกายภาพและเคมี ได้แก่ สี กลิ่น ค่าสี ลักษณะผงมะขาม เวลาในการละลาย ค่าการละลาย ปริมาณความชื้น ความเป็นกรดด่าง ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด และปริมาณกรด ทาร์ทาริก แสดงผลในตารางที่ 18 และ 19 ส่วนผลการประเมินทางจุลชีววิทยาไม่พบยีสต์ รา *Escherichia coli* และ *Staphylococcus aureus* พบแบคทีเรียชนิดโคลิฟอร์มน้อยกว่า 2 MPN/g พบเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดชนิดมีโซไฟล์น้อยกว่า 10 cfu /g แสดงผลในตารางที่ 20 และ 21

ตารางที่ 15 คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีและของน้ำมะขามเข้มข้น

คุณสมบัติทางกายภาพและเคมี	ผลการทดลอง*
สี (จากการสังเกต)	สีน้ำตาลแดงเข้ม
กลิ่น	กลิ่นหอมมะขาม
ค่าสี	
L*	33.72 (0.02)
a *	+41.54 (0.04)
b *	+57.19 (0.03)
ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (°brix)	49.67 (0.58)
ความเป็นกรดด่าง (pH)	1.943 (0.039)
ปริมาณกรดทาร์ทาริก (มิลลิกรัม/1 กรัมน้ำมะขาม (ในน้ำมะขามเข้มข้น 1 กรัม)	187.2 (0.2)

* ค่าเฉลี่ยที่ได้จากการวิเคราะห์ซ้ำ 3 ครั้ง และค่าในวงเล็บแสดงค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตารางที่16 คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของผงมะขามที่ได้จากการทำแห้งแบบพ่น*

ร้อยละของมอลโตเด็กซ์ตริน	กลิ่น	สี	ค่าสี*			ลักษณะผงมะขาม	ร้อยละของปริมาณของแข็งที่ไม่ละลาย (% insoluble solid)	เวลาในการละลาย (วินาที)		ร้อยละผงมะขามที่ได้ (% Yield) (กรัม)
			L*	a*	b*			น้ำที่อุณหภูมิห้อง	น้ำที่อุณหภูมิ 80°C	
10	หอมกลิ่นมะขาม	สีน้ำตาลอ่อน	54.91 (0.02)	+9.01 (0.06)	+18.06 (0.18)	ผงขนาดใหญ่ เกาะกันเป็นก้อน ชื้นมาก ผงที่ได้เกาะติดผนังของเครื่องพ่น ต้องขูดออก	0.0998 (0.0282)	143 (11)	73 (11)	5.126 (0.101)
20	หอมกลิ่นมะขาม	สีน้ำตาลอ่อน	56.74 (0.40)	+8.18 (0.54)	+16.62 (1.62)	ผงขนาดใหญ่ เกาะกันเป็นก้อน ชื้นมาก ผงที่ได้เกาะติดผนังของเครื่องพ่น ต้องขูดออก	0.1999 (0.1130)	170 (7)	100 (7)	5.699 (0.214)
30	หอมกลิ่นมะขาม	สีน้ำตาลอ่อน	57.97 (0.04)	+8.87 (0.02)	+19.41 (0.04)	ผงขนาดใหญ่ปนขนาดเล็ก เกาะกันเป็นก้อนบางส่วน ชื้นมาก ผงที่ได้เกาะติดผนังของเครื่องพ่น ต้องขูดออก	0.2699 (0.0423)	168 (11)	105 (7)	11.550 (1.067)
40	หอมกลิ่นมะขาม	สีน้ำตาลอ่อน	77.32 (0.03)	+4.29 (0.01)	+16.10 (0.02)	ผงขนาดเล็ก ร่วนละเอียด ชื้นเล็กน้อย ผงที่ได้เกาะติดผนังของเครื่องพ่น ต้องขูดออก	1.1485 (0.1003)	138 (11)	80 (1)	29.369 (1.540)

*ค่าเฉลี่ยได้จากการวิเคราะห์ซ้ำ 3 ครั้ง และ ค่าในวงเล็บแสดงค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตารางที่ 17 ปริมาณความชื้น ความเป็นกรดด่าง ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดและปริมาณกรดทาร์ทาริกของผงมะขามที่ผสมมอลโตเด็กซ์ทรินร้อยละ 40

คุณสมบัติ	ผลการทดลอง*
ปริมาณความชื้น (ร้อยละ)	2.24(0.07)
ความเป็นกรดด่าง (pH)	2.627 (0.023)
ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (°brix)	2.8 (0.3)
ปริมาณกรดทาร์ทาริก (มิลลิกรัม) (ในผงมะขาม 1 กรัม)	160.6 (0.8)

*ค่าเฉลี่ยได้จากการวิเคราะห์ซ้ำ 3 ครั้ง และ ค่าในวงเล็บแสดงค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตารางที่ 18 ลักษณะทางกายภาพและเคมีของผงมะขาม เมื่อเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง ณ วันเริ่มต้น 7 15 และ 30 วัน *

เวลา	สีของผงมะขาม				ลักษณะผงมะขาม	กลิ่น	ความชื้น	pH	ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (° brix)	ร้อยละของปริมาณของแข็งที่ไม่ละลาย	ค่าการละลาย		ปริมาณกรดทาร์ทาริก ในผงมะขาม 1 กรัม (มิลลิกรัม)
	จากการสังเกต	ค่าสี									อุณหภูมิห้อง	น้ำ 80 องศาเซลเซียส	
		L*	a*	b*									
เริ่มต้น	สีน้ำตาลอ่อน	77.31 (1.68)	+4.29 (0.29)	+16.12 (0.47)	ผงขนาดเล็ก ร่วน ไม่เกาะเป็นก้อน	กลิ่นหอมมะขาม	2.24[a] (0.07)	2.627[a] (0.023)	2.8[a] (0.3)	1.1422[a] (0.0718)	138[a] (8)	83[a] (6)	160.6[a] (0.8)
วันที่ 7	สีน้ำตาล	72.70 (1.59)	+4.90 (0.25)	+15.66 (0.35)	ผงขนาดเล็ก เกาะเป็นก้อน	กลิ่นหอมมะขาม	3.14[b] (0.08)	2.633[a] (0.014)	2.7[a] (0.3)	1.2520[ab] (0.0654)	187[b] (8)	145[b] (9)	158.8[a] (0.6)
วันที่ 15	สีน้ำตาล	70.82 (0.09)	+5.73 (0.03)	+17.45 (0.04)	ผงขนาดเล็ก เกาะเป็นก้อน	กลิ่นหอมมะขาม	3.51[c] (0.07)	2.654[a] (0.037)	2.5[a] (0.5)	1.2683[ab] (0.0841)	192[b] (10)	158[b] (10)	157.8[b] (0.4)
วันที่ 30	สีน้ำตาล	68.17 (0.14)	+6.76 (0.01)	+16.72 (0.24)	ผงขนาดเล็ก เกาะเป็นก้อน	กลิ่นหอมมะขาม	3.69[d] (0.11)	2.663[a] (0.040)	2.7[a] (0.3)	1.3239[b] (0.0456)	212[c] (13)	157[b] (13)	155.9[c] (0.2)

*ค่าเฉลี่ยที่ได้จากการวิเคราะห์ซ้ำ 3 ครั้ง และค่าในวงเล็บคือค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

[abcd] เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยตามแนวตั้ง โดยอักษรที่ต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ตารางที่ 19 ลักษณะทางกายภาพและเคมีของผงมะขาม เมื่อเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 2-8 องศาเซลเซียส ณ วันเริ่มต้น 7 15 และ 30 วัน *

เวลา	สีของผงมะขาม				ลักษณะผงมะขาม	กลิ่น	ความชื้น	pH	ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (° brix)	ร้อยละของปริมาณของแข็งที่ไม่ละลาย	ค่าการละลาย		ปริมาณกรดทาร์ทาริก ในผงมะขาม 1 กรัม (มิลลิกรัม)
	จากการสังเกต	ค่าสี									อุณหภูมิห้อง	น้ำ 80 องศาเซลเซียส	
		L	a	b									
เริ่มต้น	สีน้ำตาลอ่อน	77.31 (1.68)	+4.29 (0.29)	+16.12 (0.47)	ผงขนาดเล็ก ร่วน ไม่เกาะเป็นก้อน	กลิ่นหอมมะขาม	2.24^{a} (0.07)	2.627^{a} (0.023)	2.8^{a} (0.3)	1.1422^{a} (0.0718)	138^{a} (8)	83^{a} (6)	160.6^{a} (0.8)
วันที่ 7	สีน้ำตาลอ่อน	73.78 (0.26)	+4.91 (0.03)	+16.37 (0.53)	ผงขนาดเล็ก ร่วน ไม่เกาะเป็นก้อน	กลิ่นหอมมะขาม	2.88^{b} (0.03)	2.635^{a} (0.016)	2.8^{a} (0.3)	1.1446^{a} (0.1644)	142^{a} (3)	82^{a} (3)	159.8^{a} (0.7)
วันที่ 15	สีน้ำตาลอ่อน	73.80 (0.55)	+4.64 (0.05)	+15.57 (0.17)	ผงขนาดเล็ก ร่วน ไม่เกาะเป็นก้อน	กลิ่นหอมมะขาม	3.11^{c} (0.05)	2.646^{a} (0.014)	2.7^{a} (0.3)	1.2447^{a} (0.0541)	147^{a} (8)	88^{ab} (6)	158.7^{ab} (1.1)
วันที่ 30	สีน้ำตาล	73.48 (1.66)	+5.26 (0.47)	+16.78 (0.69)	ผงขนาดเล็ก บางส่วนเกาะเป็นก้อน	กลิ่นหอมมะขาม	3.30^{d} (0.05)	2.645^{a} (0.023)	2.5^{a} (0.5)	1.2682^{a} (0.0791)	167^{b} (8)	97^{b} (8)	157.5^{ab} (1.0)

*ค่าเฉลี่ยที่ได้จากการวิเคราะห์ซ้ำ 3 ครั้ง และค่าในวงเล็บคือค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

^{abcd} เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยตามแนวตั้ง โดยอักษรที่ต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ตารางที่20 ผลการวิเคราะห์ด้านจุลชีววิทยาของผงมะขาม เมื่อเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องที่ระยะเวลาต่างๆ

การวิเคราะห์ทางจุลชีววิทยา	ระยะเวลาที่เก็บตัวอย่างไว้ ณ อุณหภูมิห้อง			
	เริ่มต้น	7 วัน	15 วัน	30 วัน
จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดชนิดมีโซไฟล์ (cfu /g)[1]	< 10	< 10	< 10	< 10
จำนวนยีสต์และรา (cfu /g)[1]	< 10	< 10	< 10	< 10
จำนวนโคลิฟอร์มทั้งหมด (MPN /g)[2]	< 2	< 2	< 2	< 2
จำนวน *E.coli*	ไม่พบเชื้อ	ไม่พบเชื้อ	ไม่พบเชื้อ	ไม่พบเชื้อ
จำนวน *S.aureus* (cfu /g)[1]	ไม่พบเชื้อ	ไม่พบเชื้อ	ไม่พบเชื้อ	ไม่พบเชื้อ

[1] cfu / g = colony forming unit ต่อผงมะขาม 1 กรัม

[2] MPN / g = Most Probable Number ต่อผงมะขาม 1 กรัม

ตารางที่ 21 ผลการวิเคราะห์ด้านจุลชีววิทยาของผงมะขาม เมื่อเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 2-8 องศาเซลเซียสที่ระยะเวลาต่างๆ

การวิเคราะห์ทางจุลชีววิทยา	ระยะเวลาที่เก็บตัวอย่างไว้ ณ อุณหภูมิ 2-8 องศาเซลเซียส			
	เริ่มต้น	7 วัน	15 วัน	30 วัน
จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดชนิดมีโซไฟล์ (cfu /g)[1]	< 10	< 10	< 10	< 10
จำนวนยีสต์และรา (cfu /g)[1]	< 10	< 10	< 10	< 10
จำนวนโคลิฟอร์มทั้งหมด (MPN /g)[2]	< 2	< 2	< 2	< 2
จำนวน *E.coli*	ไม่พบเชื้อ	ไม่พบเชื้อ	ไม่พบเชื้อ	ไม่พบเชื้อ
จำนวน *S.aureus* (cfu /g)[1]	ไม่พบเชื้อ	ไม่พบเชื้อ	ไม่พบเชื้อ	ไม่พบเชื้อ

[1] cfu / g = colony forming unit ต่อผงมะขาม 1 กรัม

[2] MPN / g = Most Probable Number ต่อผงมะขาม 1 กรัม

การทำผงมะขามโดยใช้เครื่องทำแห้งแบบพ่น เลือกใช้มอลโตเด็กซ์ทรินเป็นสารเพิ่มปริมาณ (drying aid) เนื่องจากหาซื้อได้ง่าย ราคาไม่แพง ลักษณะเป็นผงสีขาว ละลายน้ำได้ดี ให้สารละลายใส ไม่มีสี (Wade, 1994) ช่วยเพิ่มความคงตัวของสารให้กลิ่นรสระหว่างกระบวนการทำแห้ง และช่วยลดการดูดความชื้นของผลิตภัณฑ์แห้งที่ได้ (Juan และคณะ, 1987; Bangs และ Reineccius, 1981) ในการศึกษานี้ นำน้ำมะขามเข้มข้นที่สกัดได้มาเติมมอลโตเด็กซ์ทรินร้อยละ 10 20 30 และ 40 พบว่าผงมะขามที่ได้จากการเตรียมโดยเติมมอลโต เด็กซ์ทรินร้อยล 40 ได้ผงมะขามที่ลักษณะดีที่สุด ผงมีขนาดเล็ก ร่วนละเอียด สีน้ำตาลอ่อน หอมกลิ่นมะขาม ปริมาณความชื้นร้อยละ 2.24 เมื่อละลายน้ำมีความเป็นกรดด่าง 2.627 ค่าการละลายในรูปร้อยละของปริมาณของแข็งที่ไม่ละลายเท่ากับ 1.1485 เวลาในการละลายน้ำอุณหภูมิห้องและน้ำอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสเท่ากับ 138 และ 80 วินาที ตามลำดับ และน้ำหนักผงมะขามที่ผลิตได้มากที่สุดคือร้อยละ 29.369 ส่วนโทนสีของผงมะขามที่ได้จากการสังเกตด้วยตาเปล่าและการวัดค่าสีด้วยเครื่องวัดสี มีลักษณะเป็นสีน้ำตาลเช่นเดียวกับน้ำมะขามเข้มข้น เนื่องจากสารให้สีในน้ำมะขามเป็นกลุ่มแคโรทีนอยด์และคลอโรฟิลล์ เมื่อถูกความร้อนจะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันระหว่างการทำแห้งและจากปฏิกิริยาจากเอนไซม์ที่หลงเหลืออยู่ในมะขามทำให้เกิดสีน้ำตาล (ปวลี วงษ์มา, 2542) สีของผงมะขามที่เติมมอลโตเด็กซ์ทรินร้อยละ 40 จะมีสีโทนน้ำตาลอ่อนที่สุด เนื่องจากมีปริมาณน้ำมะขามน้อยแต่ปริมาณมอลโตเด็กซ์ทรินมากเมื่อเทียบกับสัดส่วนอื่นๆ

5.2 การพัฒนาเครื่องดื่มมะขามผงฟู่จากผงมะขามที่ได้จากการทำแห้งแบบพ่น

สัดส่วนที่เหมาะสมของสารก่อฟองฟู่ พบว่าเครื่องดื่มมะขามผงฟู่ทุกสูตรจะเติมผงมะขาม 3.75 กรัม น้ำตาลซูโครส 4.00 กรัม และเกลือ 0.13 กรัม เท่ากัน และแปรปริมาณสารก่อฟองฟู่เป็น 4 สูตร โดยมีอัตราส่วนของโซเดียมไบคาร์บอเนตต่อกรดซิตริกเท่ากับ 0.13:0.10 0.26:0.20 0.39:0.30 และ 0.52:0.40 ตามลำดับ เมื่อผสมเครื่องดื่มมะขามผงฟู่แบบ geometric dilution ได้ทั้งหมด 4 สูตร(ตารางที่ 22) บรรจุผงเครื่องดื่มลงในถุงลามิเนตและนำมาประเมินคุณสมบัติต่างๆ

5.2.1 คุณสมบัติทางกายภาพของเครื่องดื่มมะขามผงฟู่

ประเมินคุณสมบัติผงเครื่องดื่มแต่ละสูตรในด้านรสชาติ ลักษณะฟองที่เกิดขึ้น ปริมาณฟองที่เกิดขึ้นในช่วงแรกของการเกิดฟอง และเวลาในการเกิด/ยุบของฟอง แสดงผลในตาราง ที่ 22 จากผลการประเมินพบว่าเครื่องดื่มมะขามผงฟู่มีรสชาติ

ตารางที่ 22 รสชาติ ลักษณะฟอง ปริมาณฟองและระยะเวลาในการยุบตัวของฟองของเครื่องดื่มมะขามผงฟูสูตรที่ 1-4

สูตรที่[1]	รสชาติ[2]		ลักษณะฟอง	ปริมาณฟอง (มล)*	ระยะเวลาในการยุบตัวของฟอง (นาที:วินาที)
	ความเปรี้ยว	ความหวาน			
1	++	++	เนื้อฟองละเอียด สีน้ำตาลอ่อน ฟองฟูขึ้นทันทีเมื่อเทลงน้ำ ฟองค่อยๆ ยุบ	17(3)[a]	5:40 [a]
2	++	++	เนื้อฟองละเอียด สีน้ำตาลอ่อน ฟองฟูขึ้นทันทีเมื่อเทลงน้ำ ฟองค่อยๆ ยุบ	33(3)[b]	7:17 [b]
3	++	++	เนื้อฟองละเอียด สีน้ำตาลอ่อน ฟองฟูขึ้นทันทีเมื่อเทลงน้ำ แต่ฟองยุบช้า	42(3)[c]	12:35 [c]
4	++	++	เนื้อฟองละเอียด สีน้ำตาลอ่อน ฟองฟูขึ้นทันทีเมื่อเทลงน้ำ แต่ฟองยุบช้า	57(3)[d]	17:05 [d]

[1]สูตรที่ 1-4 มีปริมาณผงมะขาม 3.75 กรัม น้ำตาลซูโครส 4.00 กรัม และโซเดียมคลอไรด์ 0.13 กรัม เท่ากันทุกสูตร แตกต่างกันที่สัดส่วนของสารก่อฟองคือโซเดียมไบคาร์บอเนตต่อกรดซิตริก ดังนี้ 0.13:0.10 0.26:0.20 0.39:0.30 0.52:0.40 ตามลำดับ

[2] รสชาติ แสดงในรูป ความเปรี้ยว + = เปรี้ยวน้อย ++ = เปรี้ยวปานกลาง +++ = เปรี้ยวมาก

ความหวาน + = หวานน้อย ++ = หวานปานกลาง +++ = หวานมาก

*ค่าเฉลี่ยที่ได้จากการวิเคราะห์ซ้ำ 3 ครั้ง และค่าในวงเล็บแสดงส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

[abcd] เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยตามแนวตั้ง โดยอักษรที่ต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

เปรี้ยวหวาน เนื้อฟองละเอียด สีน้ำตาลอ่อน ฟองฟูขึ้นทันทีเมื่อเทผงเครื่องดื่มลงน้ำ ปริมาณฟอง 17-57 มิลลิลิตร ระยะเวลาในการยุบตัวของฟองอยู่ระหว่าง 5 นาที 40 วินาที ถึง 17 นาที 5 วินาที) โดยสูตรที่ 1 และ2 ฟองจะค่อยๆยุบ ในช่วง 5-7 นาที ส่วนสูตรที่ 3 และ 4 ฟองจะยุบช้า ในช่วง 12-17 นาที

5.2.2 <u>การพัฒนาสูตรเครื่องดื่มมะขามผงฟู่โดยปรับปรุงความหวานด้วยสารให้ความหวานชนิดต่างๆ</u>

เลือกสูตรเครื่องดื่มมะขามผงฟู่ที่ดีที่สุด จากข้อ 5.2.1 โดยจากผลการประเมินพบว่าเครื่องดื่มมะขามผงฟู่สูตรที่ 1 มีลักษณะดีที่สุดคือ รสชาติเปรี้ยวหวานตามลักษณะของน้ำมะขาม เนื้อฟองละเอียด ปริมาณฟองที่เกิดน้อยสุด และใช้ระยะเวลาในการเกิดฟองจนกระทั่งฟองยุบตัวลงน้อยที่สุด นำมาปรับปรุงความหวานโดยปรับเปลี่ยนชนิดและปริมาณของน้ำตาลต่างๆ ได้แก่ น้ำตาลซูโครส น้ำตาลฟรุกโตส และสารให้ความหวานสวิซซี่ ดังต่อไปนี้

1. ใช้น้ำตาลฟรุกโตสเป็นสารให้ความหวาน พัฒนาได้ 3 สูตรในตารางที่ 23 (สูตรที่ 5-7)
2. ใช้สารให้ความหวานตราสวิซซี่ พัฒนาได้ 3 สูตร ในตารางที่ 23 (สูตรที่ 8-10)
3. ใช้น้ำตาลซูโครสผสมสารให้ความหวานตราสวิซซี่ พัฒนาได้ 3 สูตรในตารางที่ 23 (สูตรที่ 11-13)

นำแต่ละสูตรเครื่องดื่มมาประเมินในด้านรสชาติ ลักษณะฟองที่เกิดขึ้น ปริมาณฟองที่เกิดขึ้นในช่วงแรกของการเกิดฟอง และเวลาในการยุบตัวของฟองเช่นเดียวกับข้อ 5.2.1 แสดงผลในตารางที่ 23

5.2.3 <u>คัดเลือกสูตรเครื่องดื่มมะขามผงฟู่ที่เป็นตัวแทนของสูตรเครื่องดื่มที่เตรียมจาก สารให้ความหวานแต่ละชนิด</u>

ตัวแทนของสูตรเครื่องดื่มมะขามผงฟู่ที่มีสารให้ความหวานเป็นน้ำตาลซูโครส 2 สูตร ได้แก่เครื่องดื่มสูตรที่ 1 และ 2 เนื่องจากทั้งสองสูตรใช้ระยะเวลาในการยุบตัวของฟอง และปริมาณฟองน้อยกว่าสูตรที่ 3 และ 4 โดยสูตรที่ 1 ใช้ระยะเวลาในการยุบตัวของฟองน้อยที่สุด 340 วินาที หรือ 5 นาที 40 วินาที ส่วนสูตรที่ 2 ใช้ระยะเวลาในการยุบตัวของฟองน้อยเป็นลำดับที่ 2 คือ 437 วินาที หรือ 7 นาที 17 วินาที ส่วนสูตรที่ 3 และ 4 ใช้ระยะเวลาในการยุบตัวของฟองมากกว่า 10 นาที ในด้านปริมาณฟองเลือกสูตรที่ 1 และ 2 เป็นตัวแทนของสูตรฟองน้อย

ตารางที่ 23 รสชาติ ลักษณะฟอง ปริมาณฟอง และระยะเวลาในการยุบตัวของฟองของเครื่องดื่มมะขามผงฟูสูตรที่ 5-13

สูตรที่	รสชาติ		ลักษณะฟอง	ปริมาณฟอง (มล)*	ระยะเวลาในการยุบตัวของฟอง (นาที:วินาที)
	ความเปรี้ยว	ความหวาน			
5	+++	+	เนื้อฟองละเอียด สีน้ำตาลอ่อน ฟองฟู่ขึ้นทันทีเมื่อเทลงน้ำ ฟองค่อยๆ ยุบ	16(1)[a]	5:40[a]
6	++	++	เนื้อฟองละเอียด สีน้ำตาลอ่อน ฟองฟู่ขึ้นทันทีเมื่อเทลงน้ำ ฟองค่อยๆ ยุบ	17(1)[a]	5:13[a]
7	++	+++	เนื้อฟองละเอียด สีน้ำตาลอ่อน ฟองฟู่ขึ้นทันทีเมื่อเทลงน้ำ ฟองค่อยๆ ยุบ	17(2)[a]	5:40[a]
8	+++	+	เนื้อฟองละเอียด สีน้ำตาลอ่อน ฟองฟู่ขึ้นทันทีเมื่อเทลงน้ำ ฟองค่อยๆ ยุบ	17(3)[a]	5:42[a]
9	++	++	เนื้อฟองละเอียด สีน้ำตาลอ่อน ฟองฟู่ขึ้นทันทีเมื่อเทลงน้ำ ฟองค่อยๆ ยุบ	17(1)[a]	5:07[a]
10	++	+++	เนื้อฟองละเอียด สีน้ำตาลอ่อน ฟองฟู่ขึ้นทันทีเมื่อเทลงน้ำ ฟองค่อยๆ ยุบ	18(3)[a]	5:47[a]
11	+++	+	เนื้อฟองละเอียด สีน้ำตาลอ่อน ฟองฟู่ขึ้นทันทีเมื่อเทลงน้ำ ฟองค่อยๆ ยุบ	17(3)[a]	5:23[a]
12	++	++	เนื้อฟองละเอียด สีน้ำตาลอ่อน ฟองฟู่ขึ้นทันทีเมื่อเทลงน้ำ ฟองค่อยๆ ยุบ	16(1)[a]	5:18[a]
13	++	+++	เนื้อฟองละเอียด สีน้ำตาลอ่อน ฟองฟู่ขึ้นทันทีเมื่อเทลงน้ำ ฟองค่อยๆ ยุบ	18(1)[a]	5:37[a]

[1]ทุกสูตรมีปริมาณผงมะขาม 3.75 กรัม โซเดียมไบคาร์บอเนต 0.13 กรัม กรดซิตริก 0.10 กรัม และโซเดียมคลอไรด์ 0.13 กรัม เท่ากันทุกสูตร แตกต่างกันที่สารให้ความหวาน โดยสูตรที่ 5-7 ใช้น้ำตาลฟรุกโตส สูตรที่ 8-10 ใช้ สารให้ความหวานตราสวิซซี่ สูตรที่ 11-13 ใช้น้ำตาลซูโครสผสมสารให้ความหวานตราสวิซซี่

[2] รสชาติ แสดงในรูป ความเปรี้ยว + = เปรี้ยวน้อย ++ = เปรี้ยวปานกลาง +++ = เปรี้ยวมาก

ความหวาน + = หวานน้อย ++ = หวานปานกลาง +++ = หวานมาก

*ค่าเฉลี่ยที่ได้จากการวิเคราะห์ซ้ำ 3 ครั้ง และค่าในวงเล็บแสดงส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

[abcd]เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยตามแนวตั้ง โดยอักษรที่ต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

และสูตรฟองมากตามลำดับ เพื่อใช้เปรียบเทียบความชอบว่าผู้ชิมชอบเครื่องดื่มแบบมีฟองมากหรือน้อยต่อไป ในด้านรสชาติและลักษณะฟองทั้งสูตรที่ 1-4 มีลักษณะไม่แตกต่างกันคือ เครื่องดื่มมีรสชาติเปรี้ยวหวาน และเนื้อฟองละเอียด สีน้ำตาลอ่อน ฟองฟู่ขึ้นทันทีเมื่อเทลงน้ำ

เลือกตัวแทนของสูตรเครื่องดื่มมะขามผงฟู่ที่มีสารให้ความหวานเป็นน้ำตาลฟรุกโตส 1 สูตร ได้แก่เครื่องดื่มสูตรที่ 6 เนื่องจากมีรสชาติดีกว่าคือสูตรที่ 5 ซึ่งมีรสชาติเปรี้ยวมากเกินไปและสูตรที่ 7 ซึ่งมีรสชาติหวานมากเกินไป ในส่วนลักษณะฟอง ปริมาณฟอง และเวลาในการเกิด/ยุบของฟอง ทั้งสูตรที่ 5-7 มีลักษณะไม่แตกต่างกันคือ เนื้อฟองละเอียด สีน้ำตาลอ่อน ฟองฟู่ขึ้นทันทีเมื่อเทลงน้ำ ปริมาณฟอง 16-17 มิลลิลิตร ระยะเวลาในการยุบตัวของฟองใกล้เคียงกัน

เลือกตัวแทนของสูตรเครื่องดื่มมะขามผงฟู่ที่มีสารให้ความหวานตราสวิซซี่ 1 สูตร ได้แก่เครื่องดื่มสูตรที่ 9 เนื่องจากมีรสชาติดีกว่าคือสูตรที่ 8 ซึ่งมีรสชาติเปรี้ยวมากเกินไปและสูตรที่ 10 ซึ่งมีรสชาติหวานมากเกินไป ในส่วนลักษณะฟอง ปริมาณฟอง และระยะเวลาในการยุบตัวของฟอง ทั้งสูตรที่ 8-10 มีลักษณะไม่แตกต่างกันคือ เนื้อฟองละเอียด สีน้ำตาลอ่อน ฟองฟู่ขึ้นทันทีเมื่อเทลงน้ำ ปริมาณฟอง 16-18 มิลลิลิตร ระยะเวลาในการยุบตัวของฟองใกล้เคียงกัน

เลือกตัวแทนของสูตรเครื่องดื่มมะขามผงฟู่ที่มีสารให้ความหวานเป็นน้ำตาลซูโครสผสมสารให้ความหวานตราสวิซซี่ 1 สูตร ได้แก่เครื่องดื่มสูตรที่ 12 เนื่องจากมีรสชาติดีกว่าคือสูตรที่ 11 ซึ่งมีรสชาติเปรี้ยวมากเกินไปและสูตรที่ 13 ซึ่งมีรสชาติหวานมากเกินไป ในลักษณะฟอง ปริมาณฟอง และระยะเวลาในการยุบตัวของฟอง ทั้งสูตรที่ 11-13 มีลักษณะไม่แตกต่างกันคือ เนื้อฟองละเอียด สีน้ำตาลอ่อนฟองฟู่ขึ้นทันทีเมื่อเทลงน้ำ ปริมาณฟอง 16-17 มิลลิลิตร เวลาในการเกิด/ยุบของฟองใกล้เคียงกัน

ทำการประเมินคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของสูตรเครื่องดื่มที่ถูกคัดเลือกได้ 5 สูตร โดยนำเครื่องดื่มมะขามผงฟู่ที่เป็นตัวแทนของสูตรเครื่องดื่มมะขามผงฟู่ที่มีสารให้ความหวานแต่ละชนิดรวมทั้งหมด 5 สูตร นำมาประเมินในด้านสีของผงเครื่องดื่ม สีของเครื่องดื่มเมื่อละลายน้ำ ลักษณะผงเครื่องดื่ม กลิ่น แสดงผลในตารางที่ 24 ความเป็นกรดด่าง ปริมาณความชื้น ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด แสดงผลในตารางที่ 25 และการละลายน้ำ แสดงผลในตารางที่ 26

ตารางที่ 24 สี ค่าสี ของผงเครื่องดื่มและเครื่องดื่มมะขามผงฟู่เมื่อละลายน้ำ ลักษณะผงเครื่องดื่ม และกลิ่นของเครื่องดื่มมะขามผงฟู่

สูตรที่[1]	ผงเครื่องดื่ม				เครื่องดื่มมะขามผงฟู่				ลักษณะผงเครื่องดื่ม	กลิ่นของเครื่องดื่ม
	สี	ค่าสี*			สี	ค่าสี				
		L*	a*	b*		L*	a*	b*		
1	สีน้ำตาลอ่อน	81.74 (0.27)	+2.78 (0.04)	+11.73 (0.03)	สีน้ำตาลใส	84.35 (0.01)	+1.04 (0.01)	+33.99 (0.01)	ผงละเอียด ร่วน ไม่เกาะตัวเป็นก้อน	กลิ่นหอมมะขาม
2	สีน้ำตาลอ่อน	83.18 (0.10)	+2.69 (0.02)	+11.65 (0.01)	สีน้ำตาลใส	78.43 (0.05)	+3.14 (0.03)	+38.05 (0.01)	ผงละเอียด ร่วน ไม่เกาะตัวเป็นก้อน	กลิ่นหอมมะขาม
6	สีน้ำตาลอ่อน	79.49 (0.09)	+2.68 (0.04)	+11.39 (0.03)	สีน้ำตาลใส	84.18 (0.03)	+1.10 (0.02)	+34.21 (0.05)	ผงละเอียด เกาะเป็นก้อนบางส่วน	กลิ่นหอมมะขาม
9	สีน้ำตาล	75.81 (0.03)	+4.69 (0.04)	+17.14 (0.03)	สีน้ำตาลใส	79.37 (0.02)	+2.29 (0.02)	+35.29 (0.01)	ผงขนาดใหญ่ เกาะกันเป็นก้อน ชื้นสูง	กลิ่นหอมมะขาม
12	สีน้ำตาลอ่อน	81.65 (0.04)	+2.85 (0.04)	+11.83 (0.04)	สีน้ำตาลใส	80.94 (0.06)	+2.14 (0.15)	+36.00 (0.01)	ผงละเอียด ร่วน ไม่เกาะตัวเป็นก้อน	กลิ่นหอมมะขาม

[1] สูตรที่ 1 และ 2 เป็นตัวแทนของเครื่องดื่มที่ใช้น้ำตาลซูโครส สูตรที่ 6 เป็นตัวแทนของเครื่องดื่มที่ใช้น้ำตาลฟรุกโตส สูตรที่ 9 เป็นตัวแทนของเครื่องดื่มที่ใช้สารให้ความหวานตราสวิซซี่ สูตรที่ 12 ตัวแทนของเครื่องดื่มที่ใช้น้ำตาลซูโครสผสมสารให้ความหวานสวิซซี่

*ค่าเฉลี่ยได้จากการวิเคราะห์ซ้ำ 3 ครั้ง และค่าในวงเล็บแสดงค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตารางที่ 25 ความเป็นกรด-ด่าง ปริมาณความชื้น และปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดของเครื่องดื่มมะขามผงฟู่

สูตรที่	ปริมาณความชื้น	ความเป็นกรดด่าง (pH)	ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (องศาบริกซ์)
1	2.69 (0.03)[a]	2.979 (0.005)[a]	17.3 (0.6)[a]
2	2.66 (0.06)[a]	3.189 (0.011)[b]	18.7 (0.6)[a]
6	2.90 (0.03)[b]	2.977 (0.006)[a]	9.0 (1.0)[b]
9	3.46 (0.05)[c]	2.979 (0.011)[a]	1.3 (0.6)[c]
12	2.74 (0.05)[a]	2.976 (0.010)[a]	12.7 (1.2)[d]

[1] สูตรที่ 1 และ 2 เป็นตัวแทนของเครื่องดื่มที่ใช้น้ำตาลซูโครส สูตรที่ 6 เป็นตัวแทนของเครื่องดื่มที่ใช้น้ำตาลฟรุกโตส สูตรที่ 9 เป็นตัวแทนของเครื่องดื่มที่ใช้สารให้ความหวานตราสวิซซี่ สูตรที่ 12 ตัวแทนของเครื่องดื่มที่ใช้น้ำตาลซูโครสผสมสารให้ความหวานสวิซซี่

ค่าเฉลี่ยที่ได้จากการวิเคราะห์ซ้ำ 3 ครั้ง ค่าในวงเล็บแสดงส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

[abcd] เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยตามแนวตั้ง โดยอักษรที่ต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ตารางที่ 26 ร้อยละของปริมาณของแข็งที่ไม่ละลาย (%insoluble solid และเวลาในการละลายของ เครื่องดื่มมะขามผงฟู่

สูตรที่	ร้อยละของปริมาณของแข็ง ที่ไม่ละลาย (% insoluble solid)	เวลาในการละลาย(วินาที)	
		น้ำที่อุณหภูมิห้อง	น้ำที่อุณหภูมิ 80°C
1	0.6987 (0.0190)[a]	170 (26)[a]	137 (13)[a]
2	0.8887 (0.0289)[b]	167 (8)[b]	129 (7)[a]
6	0.7627 (0.0247)[cd]	163 (10)[b]	168 (8)[b]
9	0.7990 (0.0191)[d]	197 (8)[c]	163 (13)[b]
12	0.7353 (0.0151)[ac]	175 (5)[b]	148 (3)[a]

[1] สูตรที่ 1 และ 2 เป็นตัวแทนของเครื่องดื่มที่ใช้น้ำตาลซูโครส สูตรที่ 6 เป็นตัวแทนของเครื่องดื่มที่ใช้น้ำตาลฟรุกโตส สูตรที่ 9 เป็นตัวแทนของเครื่องดื่มที่ใช้สารให้ความหวานตราสวิซซี่ สูตรที่ 12 ตัวแทนของเครื่องดื่มที่ใช้น้ำตาลซูโครสผสมสารให้ความหวานสวิซซี่

ค่าเฉลี่ยที่ได้จากการวิเคราะห์ซ้ำ 3 ครั้ง ค่าในวงเล็บแสดงส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

[abc] เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยตามแนวตั้ง โดยอักษรที่ต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

5.2.4 ความพึงพอใจต่อผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มมะขามผงฟู่

นำเครื่องดื่มมะขามผงฟู่ทั้ง 5 สูตร ซึ่งเป็นตัวแทนของเครื่องดื่มมะขามผงฟู่ที่เตรียมจากสารให้ความหวานแต่ละชนิด ได้แก่ น้ำตาลซูโครส (สูตรที่ 1 และ 2) น้ำตาลฟรุกโตส (สูตรที่ 6) สารให้ความหวานตราสวิซซี่ (สูตรที่ 9) และน้ำตาลซูโครสผสมสารให้ความหวานสวิซซี่ (สูตรที่12) มาประเมินความพึงพอใจใช้วิธีให้คะแนนความยอมรับของผลิตภัณฑ์ในด้านต่างๆ โดยผู้ประเมินกึ่งฝึกฝน 10 ราย ให้คะแนนความชอบต่อรสชาติของผลิตภัณฑ์ ตั้งแต่ 1- 5 โดยคะแนน 1 = ไม่ชอบมากที่สุด และคะแนน 5 = ชอบมากที่สุด ผลการประเมินแสดงในตารางที่ 27

1. สีและลักษณะที่ปรากฏให้เห็นภายนอกของผงเครื่องดื่ม

คะแนนความชอบต่อสีและลักษณะที่ปรากฏให้เห็นภายนอกของผงเครื่องดื่มสูตรที่เตรียมโดยใช้น้ำตาลซูโครสและสูตรที่เตรียมโดยใช้น้ำตาลซูโครสผสมสารให้ความหวานสวิซซี่มีค่ามากกว่าสูตรที่เตรียมจากน้ำตาลฟรุกโตส และสารให้ความหวานสวิซซี่อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

2. สีและลักษณะที่ปรากฏให้เห็นภายนอกของผงเครื่องดื่มเมื่อละลายน้ำ

คะแนนความชอบต่อสีและลักษณะที่ปรากฏให้เห็นภายนอกของเครื่องดื่มเมื่อละลายน้ำแล้วของสูตรที่เตรียมจากน้ำตาลซูโครส (สูตรที่ 2) ได้คะแนนมากที่สุด แต่ในทางสถิติพบว่ามีค่าไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

3. กลิ่นของเครื่องดื่ม

คะแนนความชอบต่อกลิ่นของเครื่องดื่มที่เตรียมจากน้ำตาลซูโครส (สูตรที่ 2) ได้รับคะแนนความชอบมากที่สุด แต่ในทางสถิติคะแนนไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 จากสูตรที่เตรียมจากน้ำตาลฟรุกโตส ส่วนสูตรที่เตรียมจากสารให้ความหวานสวิซซี่ได้รับคะแนนความชอบน้อยที่สุด

4. รสชาติของเครื่องดื่ม

คะแนนความชอบต่อรสชาติของเครื่องดื่มที่เตรียมจากน้ำตาลซูโครส (สูตรที่ 2) ได้รับคะแนนความชอบมากที่สุด แต่ในทางสถิติคะแนนไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 จากสูตรที่เตรียมจากน้ำตาลซูโครส (สูตรที่ 1) ซึ่งมีปริมาณฟองน้อยกว่าสูตรที่ 2 ส่วนสูตรที่เตรียมจากสารให้ความหวานสวิซซี่ได้รับคะแนนความชอบน้อยที่สุด

ตารางที่ 27 คะแนนเฉลี่ยความชอบในด้านต่างๆที่ผู้ชิมให้แก่เครื่องดื่มมะขามผงฟู่

ค่าเฉลี่ยของคะแนนความชอบ	สูตรเครื่องดื่ม				
	สูตรที่ 1	สูตรที่ 2	สูตรที่ 6	สูตรที่ 9	สูตรที่ 12
สีและลักษณะของผงเครื่องดื่ม	4.00 (1.16)[a]	3.80 (0.63)[a]	2.20 (1.03)[b]	1.40 (0.69)[b]	3.40 (1.35)[a]
สีและลักษณะของเครื่องดื่มที่ละลายน้ำ	3.60 (0.97)[a]	4.00 (0.94)[a]	3.50 (1.27)[a]	3.50 (1.27)[a]	3.20 (1.23)[a]
กลิ่นของเครื่องดื่ม	3.50 (0.71)[ab]	4.20 (0.92)[a]	3.50 (1.08)[ab]	2.30 (0.95)[c]	3.10 (1.29)[bc]
รสชาติของเครื่องดื่ม	3.80 (0.63)[ab]	4.30 (1.25)[a]	2.50 (1.27)[c]	2.20 (1.55)[c]	2.90 (1.45)[bc]
ลักษณะการเกิดฟอง	3.60 (1.17)[a]	3.60 (1.43)[a]	2.70 (0.95)[ab]	2.30 (1.16)[b]	2.80 (0.92)[ab]
ความชอบโดยรวม	3.60 (1.35)[ab]	4.30 (1.06)[a]	2.60 (0.84)[b]	1.50 (1.08)[c]	3.00 (1.16)[b]

*คะแนนความชอบจัดลำดับจาก 1-5 ตั้งแต่คะแนนไม่ชอบมากที่สุดถึงชอบมากที่สุด ค่าในวงเล็บแสดงค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

[abc]เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของคะแนนตามแนวนอน โดยอักษรที่ต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

5. ลักษณะการเกิดฟอง

คะแนนความชอบต่อลักษณะการเกิดฟองของเครื่องดื่มที่เตรียมจากน้ำตาลซูโครสทั้งสูตรที่ 1 (ฟองน้อย) และสูตรที่ 2 (ฟองมาก) ได้รับคะแนนความชอบเท่ากัน ซึ่งมากกว่าสูตรอื่นๆ ส่วนสูตรที่เตรียมจากสารให้ความหวาน สวิซซี่ได้รับคะแนนความชอบน้อยที่สุด

6. ความชอบโดยรวม

คะแนนความชอบโดยรวมของเครื่องดื่มที่เตรียมจากน้ำตาลซูโครสสูตรที่ 2 ได้รับคะแนนความชอบมากที่สุด แต่ในทางสถิติคะแนนความชอบไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 จากสูตรที่เตรียมจากน้ำตาลซูโครสสูตรที่ 1 ส่วนสูตรที่เตรียมจากสารให้ความหวานสวิซซี่ได้รับคะแนนความชอบน้อยที่สุด

5.2.5 <u>การศึกษาความคงตัวของเครื่องดื่มมะขามผงฟู่</u>

เลือกเครื่องดื่มมะขามผงฟู่ที่มีคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีที่ดีที่สุดโดยจากผลการประเมินพบว่าสูตรเครื่องดื่มมะขามผงฟู่สูตรที่ 1 และ 2 มีลักษณะผงร่วน ละเอียด ไม่เกาะเป็นก้อน กลิ่นหอมมะขาม โดยสูตรที่ 2 แม้จะมีค่าการละลายในรูปปริมาณของแข็งที่ไม่ละลายมากที่สุดแต่ระยะเวลาในการละลายน้อยที่สุด แต่จากการประเมินความพึงพอใจพบว่า เครื่องดื่มมะขามผงฟู่สูตรที่ 2 ได้รับความชอบมากที่สุด จึงคัดเลือกเครื่องดื่มมะขามผงฟู่สูตรที่ 2 เพื่อศึกษาความคงตัวของผลิตภัณฑ์เมื่อเก็บเครื่องดื่มมะขามผงฟู่ที่เก็บไว้อุณหภูมิห้องและที่อุณหภูมิ 2-8 องศาเซลเซียส ในช่วงเวลา 0 7 15 และ 30 วัน โดยประเมินคุณสมบัติทางกายภาพ เคมี ได้แก่ สีของผงเครื่องดื่ม ลักษณะของผงเครื่องดื่ม กลิ่น ปริมาณความชื้น ความเป็นกรดด่าง ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด และปริมาณกรดทาร์ทาริก แสดงผลในตารางที่ 28 และ 29 ส่วนผลการประเมินด้านจุลชีววิทยาไม่พบแบคทีเรียชนิดโคลิฟอร์ม *Escherichia coli* และ *Staphylococcus aureus* ส่วนเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดชนิดมีโซไฟล์ ยีสต์และรา มีน้อยกว่า 10 cfu/g ผลดังตารางที่ 30 และ 31

สำหรับการพัฒนาผลิตภัณฑ์ให้เป็นอาหารฟังก์ชัน สารสกัดจากพืชถูกนำมาใช้ประโยชน์ ในด้านการป้องกัน รักษา หรือส่งเสริมสุขภาพอย่างต่อเนื่องโดยเฉพาะการพัฒนาสูตรตำรับ รูปแบบต่างๆ ผลิตภัณฑ์ฟองฟู่เป็นผลิตภัณฑ์รูปแบบหนึ่งที่มีการพัฒนานำเอาสารสกัดจากพืชมาเตรียมเป็นส่วนประกอบ เพื่อปรับปรุงรสชาติให้น่ารับประทานมากขึ้น มีการละลายที่ดีขึ้น เหมาะกับผู้ที่ไม่สามารถกลืนหรือเคี้ยวได้ เนื่องจากผลิตภัณฑ์

ตารางที่ 28 ลักษณะทางกายภาพและเคมีของเครื่องดื่มมะขามผงฟู่สูตรที่ 2 เมื่อเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง ณ วันเริ่มต้น 7 15 และ 30 วัน *

เวลา	สีของผงเครื่องดื่ม				ลักษณะผง	กลิ่น	ความชื้น	pH	ปริมาณของ แข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (°brix)	ปริมาณกรดทาร์ทาริกในเครื่องดื่มผง 1 กรัม (มิลลิกรัม)
	จากการสังเกต	ค่าสี								
		L	a	b						
วันเริ่มต้น	สีน้ำตาลอ่อน	83.18 (0.10)	2.69 (0.02)	11.65 (0.01)	ผงละเอียดร่วนดี ไม่เกาะเป็นก้อน	กลิ่นหอมมะขาม	2.66[a] (0.06)	3.189[a] (0.011)	18.7[a] (0.6)	67.7[a] (0.1)
วันที่ 7	สีน้ำตาลอ่อน	80.92 (0.04)	3.49 (0.01)	12.15 (0.01)	ผงละเอียดร่วนดี ไม่เกาะเป็นก้อน	กลิ่นหอมมะขาม	2.82[b] (0.04)	3.211[b] (0.007)	18.8[a] (0.3)	67.4[b] (0.1)
วันที่ 15	สีน้ำตาล	77.86 (0.04)	3.95 (0.03)	13.12 (0.03)	ผงละเอียด บางส่วนเกาะเป็นก้อน	กลิ่นหอมมะขาม	2.96[c] (0.27)	3.213[b] (0.007)	18.5[a] (0.5)	67.5[ab] (0.2)
วันที่ 30	สีน้ำตาล	75.94 (0.02)	4.43 (0.04)	13.34 (0.01)	ผงละเอียด บางส่วนเกาะเป็นก้อน	กลิ่นหอมมะขาม	3.30[d] (0.05)	3.31[c] (0.012)	18.2[a] (0.3)	66.9[c] (0.1)

*ค่าเฉลี่ยที่ได้จากการวิเคราะห์ซ้ำ 3 ครั้ง และค่าในวงเล็บคือค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

[abcd] เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยตามแนวตั้ง โดยอักษรที่ต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ตารางที่ 29 ลักษณะทางกายภาพและเคมีของเครื่องดื่มมะขามผงฟู่สูตรที่ 2 เมื่อเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 2-8 องศาเซลเซียส ณ วันเริ่มต้น 7 15 และ 30 วัน

เวลา	สีของผงเครื่องดื่ม				ลักษณะผง	กลิ่น	ความชื้น	pH	ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (°brix)	ปริมาณกรดทาร์ทาริกในเครื่องดื่มผง 1 กรัม (มิลลิกรัม)
	จากการสังเกต	ค่าสี								
		L	a	b						
วันเริ่มต้น	สีน้ำตาลอ่อน	83.18 (0.10)	2.69 (0.02)	11.65 (0.01)	ผงละเอียดร่วนดี ไม่เกาะเป็นก้อน	กลิ่นหอมมะขาม	2.66[a] (0.06)	3.189[a] (0.011)	18.7[a] (0.6)	67.7[a] (0.1)
วันที่ 7	สีน้ำตาลอ่อน	82.45 (0.37)	2.88 (0.03)	12.55 (0.02)	ผงละเอียดร่วนดี ไม่เกาะเป็นก้อน	กลิ่นหอมมะขาม	2.74[a] (0.06)	3.155[b] (0.009)	18.7[a] (0.3)	67.3[b] (0.2)
วันที่ 15	สีน้ำตาลอ่อน	81.94 (0.10)	3.28 (0.03)	12.45 (0.02)	ผงละเอียดร่วนดี ไม่เกาะเป็นก้อน	กลิ่นหอมมะขาม	2.87[b] (0.07)	3.186[a] (0.009)	18.2[a] (0.3)	66.6[c] (0.2)
วันที่ 30	สีน้ำตาลอ่อน	80.73 (0.03)	3.31 (0.02)	12.26 (0.02)	ผงละเอียด บางส่วนเกาะเป็นก้อน	กลิ่นหอมมะขาม	3.09[c] (0.04)	3.203[a] (0.006)	18.3[a] (0.6)	66.9[bc] (0.3)

*ค่าเฉลี่ยที่ได้จากการวิเคราะห์ซ้ำ 3 ครั้ง และค่าในวงเล็บคือค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

[abc] เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยตามแนวตั้ง โดยอักษรที่ต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

a.

ตารางที่ 30 ผลการวิเคราะห์ด้านจุลชีววิทยาของเครื่องดื่มมะขามผงฟู่ เมื่อเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง ที่ระยะเวลาต่างๆ

การวิเคราะห์ทางจุลชีววิทยา	ระยะเวลาที่เก็บตัวอย่างไว้ ณ อุณหภูมิห้อง			
	เริ่มต้น	7 วัน	15 วัน	30 วัน
จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดชนิดมีโซไฟล์ (cfu /g)[1]	< 10	< 10	<10	<10
จำนวนยีสต์และรา (cfu /g)[1]	< 10	< 10	< 10	< 10
จำนวนโคลิฟอร์มทั้งหมด (MPN /g)[2]	< 2	< 2	< 2	< 2
จำนวน *E.coli*	ไม่พบเชื้อ	ไม่พบเชื้อ	ไม่พบเชื้อ	ไม่พบเชื้อ
จำนวน *S.aureus* (cfu /g)[1]	ไม่พบเชื้อ	ไม่พบเชื้อ	ไม่พบเชื้อ	ไม่พบเชื้อ

[1] cfu / g = colony forming unit ต่อเครื่องดื่มมะขามผงฟู่ 1 กรัม

[2] MPN / g = Most Probable Number ต่อเครื่องดื่มมะขามผงฟู่ 1 กรัม

ตารางที่ 31 ผลการวิเคราะห์ด้านจุลชีววิทยาของเครื่องดื่มมะขามผงฟู่ เมื่อเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 2-8 องศาเซลเซียส ที่ระยะเวลาต่างๆ

การวิเคราะห์ทางจุลชีววิทยา	ระยะเวลาที่เก็บตัวอย่างไว้ ณ อุณหภูมิ 2-8 องศาเซลเซียส			
	เริ่มต้น	7 วัน	15 วัน	30 วัน
จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดชนิดมีโซไฟล์ (cfu /g)[1]	< 10	< 10	< 10	< 10
จำนวนยีสต์และรา (cfu /g)[1]	< 10	< 10	< 10	< 10
จำนวนโคลิฟอร์มทั้งหมด (MPN /g)[2]	< 2	< 2	< 2	< 2
จำนวน *E.coli*	ไม่พบเชื้อ	ไม่พบเชื้อ	ไม่พบเชื้อ	ไม่พบเชื้อ
จำนวน *S.aureus* (cfu /g)[1]	ไม่พบเชื้อ	ไม่พบเชื้อ	ไม่พบเชื้อ	ไม่พบเชื้อ

[1] cfu / g = colony forming unit ต่อเครื่องดื่มมะขามผงฟู่ 1 กรัม

[2] MPN / g = Most Probable Number ต่อเครื่องดื่มมะขามผงฟู่ 1 กรัม

ฟองฟู่ต้องนำมาละลายน้ำก่อนรับประทาน หลักการของปฏิกิริยาฟองฟู่เกิดจากสารที่มีฤทธิ์เป็นกรดและสารกลุ่มไบคาร์บอเนตหรือคาร์บอเนตทำปฏิกิริยาคาร์บอเนชันในน้ำอย่างรวดเร็ว และมีการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกมา

ในการศึกษานี้ สูตรพื้นฐานของเครื่องดื่มมะขามผงฟู่เลือกใช้กรดซิตริกในรูป anhydrous เป็นสารให้กรด เนื่องจากมีการละลายน้ำดีมาก และเป็นที่นิยมใช้ในสูตรตำรับผลิตภัณฑ์ฟองฟู่ทั่วไป ใช้สารโซเดียมไบคาร์บอเนตเป็นแหล่งของคาร์บอนไดออกไซด์ เนื่องจากให้ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์มาก (52 %w/w CO_2) ละลายน้ำได้ดี ราคาถูก ความชื้นต่ำ (พรศักดิ์ ศรีอมรศักดิ์, 2547; Bertuzzi, 2005) อาจมีการนำสารในกลุ่มโปแตสเซียมไบคาร์บอเนตแทน การใช้โซเดียมไบคาร์บอเนตได้ แต่ไม่นิยมเนื่องจากหากในปฏิกิริยาคาร์บอเนชันมีปริมาณของ โปแตสเซียมไบคาร์บอเนตมากเกิน อาจไปทำปฏิกิริยากับกรดทาร์ทาริกในมะขามเกิดการตกตะกอนของเกลือโปแตสเซียมทาร์เทรตได้ (Macewan, 1953)โดยสัดส่วนของกรดซิตริกและโซเดียมไบคาร์บอเนตในแต่ละสูตรที่ใช้ในการทดลอง จะทำปฏิกิริยาพอดีกันเมื่อคำนวณตามน้ำหนักโมเลกุลของแต่ละสาร โดยกรดซิตริก 1 โมล (น้ำหนัก 192 กรัม) ทำปฏิกิริยาพอดีกับโซเดียมไบคาร์บอเนต 3 โมล (น้ำหนัก 252 กรัม) โดยทั่วไปอาจเติมกรดซิตริกให้เหลือจากการทำปฏิกิริยา เพื่อเพิ่มรสเปรี้ยวให้กับตำรับ แต่เนื่องจากผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มมะขามผงฟู่มีรสชาติที่เปรี้ยวจากผงมะขามอยู่แล้ว จึงไม่จำเป็นต้องเติมกรดให้เกินอีก (Bertuzzi, 2005) ในการวิจัยได้ปรับอัตราส่วนของสารก่อฟองฟู่เป็น 4 แบบ เพื่อดูลักษณะการเกิดฟองที่เพิ่มขึ้นตามปริมาณสารก่อฟองที่เพิ่มขึ้น โดยแต่ละแบบโซเดียมไบคาร์บอเนตจะทำปฏิกิริยาพอดีกับกรดซิตริก

โดยทั่วไปกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ผงฟู่มีหลายวิธี ได้แก่ การผสมโดยตรง การตอกเพื่อทำในรูปแบบเม็ด (direct compression) การเตรียมเป็นแกรนูล (wet or dry granulation) ได้ออกมาเป็นผงแห้ง หรือการเตรียมแกรนูลแบบพ่นแห้ง (พรศักดิ์ ศรีอมรศักดิ์, 2547; Bertuzzi, 2005; Macewan, 1953) สำหรับในการทดลองเลือกใช้วิธีการผสมแห้ง โดยผสมส่วนประกอบต่างๆ เข้าด้วยกันโดยใช้หลัก geometric dilution เนื่องจากลักษณะของผงมะขามที่ทำแห้งแบบพ่นที่ใช้เป็นส่วนประกอบสำคัญดูดความชื้น และการเตรียมตำรับผลิตภัณฑ์โดยวิธีการอื่นๆ ต้องใช้ระยะเวลานานร่วมกับการใช้ความร้อนในการอบแห้งซึ่งจะทำให้ผงมะขามละลายเยิ้มเหลว เหนียวเป็นก้อน ไม่สามารถทำเป็นผงแห้งได้

เครื่องดื่มมะขามผงฟู่ทั้ง 4 สูตร (สูตรที่ 1-4) มีลักษณะผงสีน้ำตาลร่วนละเอียด ไม่เกาะตัวเป็นก้อน เมื่อสังเกตลักษณะการเกิดฟองด้วยตาเปล่า จะเห็นว่าเกิดฟองฟู่ขึ้นทันทีเมื่อเทผงเครื่องดื่มลงน้ำ ฟองมีสีน้ำตาลอ่อน ขนาดเล็กละเอียด ปริมาณฟองมาก 17-57 มิลลิลิตรและฟองค่อยๆ ยุบตัวอย่างช้าๆ โดยระยะเวลาการยุบตัวของฟองนาน 5 นาที 40

วินาที ถึง 17 นาที 5 วินาที ซึ่งแปรตามสัดส่วนสารก่อฟองที่เพิ่มขึ้นในสูตรที่ 1-4 ตามลำดับ การศึกษาเบื้องต้น ได้มีการทดลองสังเกตลักษณะฟองที่เกิดขึ้น โดยเติมส่วนประกอบต่างๆ ยกเว้นผงมะขาม พบว่าฟองเครื่องดื่มมีขนาดเล็กและใหญ่ปนกัน ใช้เวลาการเกิดจนยุบของฟองประมาณ 40 วินาที ได้สารละลายใสไม่มีตะกอน แต่เมื่อมีการเติมผงมะขาม หรือทดลองเติมน้ำมะขามเข้มข้นแทนผงมะขาม ผลิตภัณฑ์ฟองฟู่จะมีฟองขนาดเล็กละเอียด ปริมาณฟองมาก และใช้เวลาตั้งแต่การเกิดจนยุบตัวของฟองนานเช่นเดียวกับผลการทดลองข้างต้น เนื่องจากปฏิกิริยาคาร์บอเนชันเกิดอย่างรุนแรงและรวดเร็ว ทำให้ผงเครื่องดื่มบางส่วนเปียกน้ำ (hydrating) อย่างรวดเร็ว เครื่องดื่มเกิดชั้นของสารละลายของน้ำมะขามเข้มข้นกั้นไว้ ขัดขวางการแพร่ของน้ำที่จะเข้ามาทำละลายผงเครื่องดื่มส่วนที่เหลือ ทำให้การแตกตัวและการละลายผงเครื่องดื่มใช้เวลานาน นอกจากนี้ปฏิกิริยาคาร์บอเนชันที่เกิดอย่างรุนแรงและรวดเร็ว ทำให้เกิดชั้นของฟองที่หนาผงเครื่องดื่มบางส่วนถูกกักไว้ในฟอง ทำให้การแตกตัวและการละลายผงเครื่องดื่มใช้เวลานาน นอกจากนี้สารสกัดจากพืชมักมีซาโปนิน (saponin) เป็นองค์ประกอบ ทำให้แนวโน้มการเกิดฟองมีปริมาณมากกว่าปกติ การแก้ปัญหาดังกล่าวอาจทำโดยการเคลือบสารสกัดจากพืชหรือสารที่มี ฤทธิ์เป็นกรด เพื่อให้กรดถูกปลดปล่อยออกมาจากสารเคลือบอย่างช้าๆ ป้องกันการเกิดปฏิกิริยา คาร์บอเนชันที่รุนแรง (Mercati, 2008) แต่การเคลือบต้องคำนึงถึงความสามารถในการละลายในตัวทำละลายของผลิตภัณฑ์ฟองฟู่ และระยะเวลาในการแพร่ของกรดเพื่อออกมาทำปฏิกิริยากับด่างในสารละลายเพื่อให้เกิดฟอง โดยต้องมีการทดสอบการละลายในภาวะเดียวกับที่ผู้บริโภคจะรับประทานผลิตภัณฑ์ฟองฟู่นั้น (Hansa, 2008) แต่ผลิตภัณฑ์ฟองฟู่บางประเภทต้องการให้ฟองเกิดขึ้นนานๆ เพื่อให้เพิ่มรสชาติและความน่าสนใจ ขณะรับประทาน เช่น ผลิตภัณฑ์ฟองฟู่ประเภทธัญพืช (cereal food) (Hansa, 2008)

การประเมินความพึงพอใจของเครื่องดื่มมะขามผงฟู่ที่ถูกคัดเลือกมา 5 สูตร ซึ่งเป็นตัวแทนของสูตรเครื่องดื่มที่มีสารให้ความหวานแต่ละชนิด ได้แก่ สูตรที่ 1 2 6 9 และ 12 โดย สูตรที่ 1 6 9 และ 12 มีปริมาณฟองไม่ต่างกันเนื่องจากมีสัดส่วนของสารก่อฟองเท่ากัน ส่วนสูตรที่ 2 มีสัดส่วนของสารก่อฟองมากกว่า ทำให้มีปริมาณฟองมากกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ผลการประเมินความพึงพอใจพบว่าคะแนนการยอมรับในลักษณะการเกิดฟองของสูตรที่ 1 และ 2 เท่ากัน ส่วนในหัวข้ออื่นๆ ได้แก่ สีผงเครื่องดื่ม กลิ่น รสชาติ และความชอบโดยรวมพบว่าสูตรที่ 2 ได้คะแนนการยอมรับมากที่สุด แสดงว่าผู้ทดสอบไม่สนใจว่ามีปริมาณฟองมากหรือน้อย แต่ดูองค์ประกอบโดยรวมของเครื่องดื่ม

ในด้านการศึกษาความคงตัวของเครื่องดื่มผงฟู่ ที่มีลักษณะดี และเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคมากที่สุด โดยเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องและอุณหภูมิ 2-8 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 วันพบว่าผงเครื่องดื่มมีค่าสี L* ลดลง ค่าสี a* และ b* เพิ่มขึ้น หมายถึงผงเครื่องดื่มมีสีน้ำตาล เข้มข้น โดยผงเครื่องดื่มที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องเริ่มเกาะตัวเป็นก้อนในวันที่ 15 ในขณะที่ผง เครื่องดื่มที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิ 2-8 องศาเซลเซียส เริ่มมีการเกาะตัวเป็นก้อนในวันที่ 30 โดยทั้ง 2 สภาวะผงมะขามมีแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของปริมาณความชื้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 เช่นเดียวกัน แต่ที่อุณหภูมิ 2-8 องศาเซลเซียส จะเพิ่มในอัตราที่น้อยกว่า ที่อุณหภูมิห้อง แสดงว่าการเก็บผงเครื่องดื่มไว้ในที่อุณหภูมิต่ำจะทำให้คงลักษณะทางกายภาพที่ดีของผงเครื่องดื่มได้ดีกว่าที่อุณหภูมิสูง

เมื่อนำผงเครื่องดื่มที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องและอุณหภูมิ 2-8 องศาเซลเซียสมาวิเคราะห์ทางจุลชีววิทยา ในวันเริ่มต้น วันที่ 7 วันที่ 15 และวันที่ 30 ไม่พบแบคทีเรียชนิดโคลิฟอร์ม *Escherichia coli* และ *Staphylococcus aureus* ส่วนยีสต์และรา พบน้อยกว่า 10 cfu/g ส่วนเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดชนิดมีโซไฟล์ (เชื้อจุลินทรีย์ที่เจริญเติบโตได้ดีที่อุณหภูมิ 30-40 องศาเซลเซียส) พบน้อยกว่า 10 cfu/g ซึ่งตามมาตรฐานของประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 214 พ.ศ. 2543 เรื่องเครื่องดื่มในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิท มิได้กำหนดปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดไว้ จึงใช้เกณฑ์อ้างอิงของมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนสำหรับมะขามผงสำเร็จรูปคือ มีได้ไม่เกิน $1x10^4$ โ คโลนีต่ออาหาร 1 กรัม (กระทรวงสาธารณสุข, 2543; กระทรวงอุตสาหกรรม, 2549) แสดงว่า ผงเครื่องดื่มดังกล่าว ทั้งที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องและอุณหภูมิ 2-8 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 วัน มีความปลอดภัยจากเชื้อจุลินทรีย์

6. <u>การพัฒนาเยลลี่จากผงมะขามที่ได้จากการพ่นแห้ง</u>

การทอสอบสัดส่วนที่เหมาะสมของ น้ำตาลซูโครส ผงมะขาม และเพกติน เพื่อพัฒนาสูตรตำรับเยลลี่ โดยศึกษาสัดส่วนที่เหมาะสมของ น้ำตาลซูโครสร้อยละ 35-45 ผงมะขามร้อยละ 3-9 และเพกตินร้อยละ 0.8-1.2 โดยน้ำหนัก วางแผนการทดลองแบบ symmetric factorial design ขนาด 3*3*3 จำนวนการทดลอง ทดลอง 2 ซ้ำ และเตรียมเยลลี่ตามขั้นตอนการเตรียมโดยใช้สัดส่วนต่างๆ ของน้ำตาลซูโครส ผงมะขาม และเพกติน ได้ทั้งหมด 27 สูตร บรรจุใส่ภาชนะ ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 3 ชั่วโมง ได้ผลจากการ ประเมินการเกิดเจลของเยลลี่ โดยสังเกตจากการแข็งตัวของเยลลี่ที่เตรียมได้ พบว่าเยลลี่ทั้งหมด 27 สูตร สามารถเกิดเจลได้ 13 สูตรได้แก่ สูตรที่ 7 8 10 13 14 16 17 19 20 22 23 25 และ 26 ดังผลในตารางที่ 32

ตารางที่ 32 ผลการเกิดเจลของเยลลี่จากสูตรตำรับต่างๆ

สูตรที่	ส่วนประกอบในสูตรเยลลี่			การเกิดเจล*
	ร้อยละของน้ำตาลซูโครส	ร้อยละของเพกติน	ร้อยละของผงมะขาม	
1	35	0.8	3	N
2	35	0.8	6	N
3	35	0.8	9	N
4	35	1.0	3	N
5	35	1.0	6	N
6	35	1.0	9	N
7	35	1.2	3	G
8	35	1.2	6	G
9	35	1.2	9	N
10	40	0.8	3	G
11	40	0.8	6	N
12	40	0.8	9	N
13	40	1.0	3	G
14	40	1.0	6	G
15	40	1.0	9	N
16	40	1.2	3	G
17	40	1.2	6	G
18	40	1.2	9	N
19	45	0.8	3	G
20	45	0.8	6	G
21	45	0.8	9	N
22	45	1.0	3	G
23	45	1.0	6	G
24	45	1.0	9	N
25	45	1.2	3	G
26	45	1.2	6	G
27	45	1.2	9	N

*การเกิดเจล : N = ไม่เกิดเจล G = เกิดเจล

6.1 <u>กุณสมบัติทางกายภาพและเคมีเฉพาะสูตรเยลลี่ที่เกิดเจล</u>

นำเยลลี่ทั้ง 13 สูตรมาประเมินคุณสมบัติทางกายภาพและเคมี ได้แก่ ลักษณะที่ปรากฏได้แก่ สี ความใส การไหวตัว ความคงตัว รอยตัดด้วยช้อน แสดงผลในตารางที่ 33 วัดความเป็นกรดด่าง ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด และความแข็งของเยลลี่ แสดงผลในตารางที่ 34

จากผลการประเมินพบว่าเยลลี่ส่วนใหญ่มีสีใสเป็นประกาย คงตัวดีที่อุณหภูมิห้อง รอยตัดเรียบ คงรูป ไม่เหนียวติดช้อน ความเป็นกรดด่างของสูตรเยลลี่ที่สามารถเกิดเจลได้อยู่ระหว่าง 2.253 – 2.883 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดของสูตรเยลลี่ที่สามารถเกิดเจลได้อยู่ระหว่าง 50.5 – 61.2 องศาบริกซ์ ความแข็งของสูตรเยลลี่ที่สามารถเกิดเจลได้อยู่ระหว่าง 1697.50 – 2308.97 กรัม โดยจะพบว่าเยลลี่สูตรที่ 10 เนื้อเยลลี่จะนิ่มที่สุดโดยมีความแข็งน้อยที่สุดคือ 1697.50 กรัม แต่เนื่องจากเนื้อเยลลี่จะมีลักษณะเป็นน้ำไหลเยิ้มบางส่วนเมื่อตั้งทิ้งไว้ ไม่คงตัว ไม่เหมาะสำหรับนำมาปรับปรุงต่อ จึงมาพิจารณาสูตรเยลลี่ที่มีความนิ่มรองลงมาได้แก่สูตรที่ 13 14 7 8 16 17 และ 19 เรียงลำดับความแข็งของ เยลลี่จากน้อยไปหามาก แต่ในทางสถิติพบว่าแต่ละสูตรมีความแข็งไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยสูตรที่ 13 มีความแข็งน้อยกว่าสูตรอื่นๆ แต่ใกล้เคียงกับความแข็งของสูตรที่ 14 แต่สูตรที่ 14 ใส่ผงมะขามร้อยละ 6 ซึ่งมากกว่าสูตรที่ 13 จึงพิจารณาเลือกสูตรที่ 14 เป็นต้นแบบในการปรับปรุงสูตรต่อไป เนื่องจากมีปริมาณผงมะขามในสูตรส่วนประกอบมากกว่า ทำให้ได้ปริมาณของกรดทาร์ทาริกในเยลลี่มากกว่า

6.2 <u>การพัฒนาสูตรเยลลี่โดยปรับปรุงความหวานด้วยน้ำตาลชนิดต่างๆ</u>

การเลือกสูตรเยลลี่ที่ดีที่สุด โดยผลการทดลองพบว่าเยลลี่สูตรที่ 14 เหมาะสมที่สุดในการเป็นเยลลี่ต้นแบบในการปรับปรุงความหวานต่อไป โดยสูตรเยลลี่ประกอบด้วยน้ำตาลซูโครสร้อยละ 40 เพคตินร้อยละ 1 และผงมะขามร้อยละ 6 เนื่องจากเยลลี่ที่ได้มีสีและลักษณะปรากฏที่ดี ได้แก่ เนื้อเยลลี่เป็นสีน้ำตาลเข้ม ใสเป็นประกาย คงตัวดีที่อุณหภูมิห้อง รอยตัดเรียบคงรูป ไม่เหนียวติดช้อน มีความแข็งน้อย และใส่ผงมะขามมาก จึงนำสูตรเยลลี่ดังกล่าวมาปรับปรุงความหวานโดยปรับสัดส่วนของน้ำตาลซูโครสและน้ำตาลฟรุกโตส เตรียมเยลลี่ได้ทั้งหมด 5 สูตร และนำมาประเมินการเกิดเจล พบว่าเยลลี่ทั้ง 5 สูตรได้แก่ สูตรที่ 28-32 สามารถเกิดเจลได้ที่อุณหภูมิห้อง เมื่อตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 3 ชั่วโมง ผลดังตารางที่ 35

ตารางที่ 33 ลักษณะที่ปรากฏ การไหวตัว และความคงตัว และรอยตัดของสูตรเยลลี่ที่เกิดเจล

สูตรที่[1]	สี	ความใส	การไหวตัว ความคงตัว	รอยตัดด้วยช้อน
7	สีน้ำตาลเข้ม	ใสเป็นประกาย	ไหวตัวน้อย คงตัวดีที่อุณหภูมิห้อง	รอยตัดเรียบ คงรูป ไม่เหนียวติดช้อน
8	สีน้ำตาลเข้ม	ใสเป็นประกาย	ไหวตัวน้อย คงตัวดีที่อุณหภูมิห้อง	รอยตัดเรียบ คงรูป ไม่เหนียวติดช้อน
10	สีน้ำตาลเข้ม	ใสเป็นประกาย	ไหวตัวดี ไม่คงตัวที่อุณหภูมิห้อง	รอยตัดเรียบ ไม่คงรูป เหนียวติดช้อนเล็กน้อย
13	สีน้ำตาลเข้ม	ใสเป็นประกาย	ไหวตัวน้อย คงตัวดีที่อุณหภูมิห้อง	รอยตัดเรียบ คงรูป ไม่เหนียวติดช้อน
14	สีน้ำตาลเข้ม	ใสเป็นประกาย	ไหวตัวน้อย คงตัวดีที่อุณหภูมิห้อง	รอยตัดเรียบ คงรูป ไม่เหนียวติดช้อน
16	สีน้ำตาลเข้ม	ใสเป็นประกาย	ไม่ไหวตัว คงตัวดีที่อุณหภูมิห้อง	รอยตัดเรียบ คงรูป ไม่เหนียวติดช้อน
17	สีน้ำตาลเข้ม	ใสเป็นประกาย	ไม่ไหวตัว คงตัวดีที่อุณหภูมิห้อง	รอยตัดเรียบ คงรูป ไม่เหนียวติดช้อน
19	สีน้ำตาลเข้ม	ใสเป็นประกาย	ไม่ไหวตัว คงตัวดีที่อุณหภูมิห้อง	รอยตัดเรียบ คงรูป ไม่เหนียวติดช้อน
20	สีน้ำตาลเข้ม	ใสเป็นประกาย	ไม่ไหวตัว คงตัวดีที่อุณหภูมิห้อง	รอยตัดเรียบ คงรูป ไม่เหนียวติดช้อน
22	สีน้ำตาลเข้ม	ใสเป็นประกาย	ไม่ไหวตัว คงตัวดีที่อุณหภูมิห้อง	รอยตัดเรียบ คงรูป ไม่เหนียวติดช้อน
23	สีน้ำตาลเข้ม	ใสเป็นประกาย	ไม่ไหวตัว คงตัวดีที่อุณหภูมิห้อง	รอยตัดเรียบ คงรูป ไม่เหนียวติดช้อน
25	สีน้ำตาลเข้ม	ใสเป็นประกาย	ไม่ไหวตัว คงตัวดีที่อุณหภูมิห้อง	รอยตัดเรียบ คงรูป ไม่เหนียวติดช้อน
26	สีน้ำตาลเข้ม	ใสเป็นประกาย	ไม่ไหวตัว คงตัวดีที่อุณหภูมิห้อง	รอยตัดเรียบ คงรูป ไม่เหนียวติดช้อน

[1]สูตรที่ 7-8 เตรียมจากน้ำตาลซูโครสร้อยละ 35 สูตรที่ 10-17 เตรียมจากน้ำตาลซูโครสร้อยละ 40 และ สูตรที่ 19-26 เตรียมจากน้ำตาลซูโครสร้อยละ 45

ตารางที่ 34 ความเป็นกรดด่าง ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด และความแข็งของสูตรเยลลี่ที่เกิดเจล

สูตรที่[1]	ความเป็นกรดด่าง* (pH)	ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด * (องศาบริกซ์)	ความแข็ง* (กรัมแรง)
7	2.883 (0.009)^{a}	50.2 (0.3)^{a}	2184.50 (6.79)^{ac}
8	2.395 (0.009)^{b}	50.7 (0.3)^{a}	2192.33 (6.72)^{ac}
10	2.818 (0.010)^{c}	54.2 (0.3)^{b}	1697.50(114.51)^{b}
13	2.798 (0.012)^{c}	54.5 (0.5)^{bc}	2156.50 (10.77)^{a}
14	2.354 (0.007)^{b}	55.0 (0.0)^{bc}	2164.43 (8.60)^{a}
16	2.703 (0.073)^{d}	54.7 (0.6)^{bc}	2193.27 (9.10)^{ac}
17	2.368 (0.006)^{b}	55.2 (0.3)^{c}	2207.97 (12.01)^{ac}
19	2.546 (0.010)^{e}	58.7 (0.6)^{d}	2217.73 (8.06)^{ac}
20	2.284 (0.017)^{fg}	60.0 (1.0)^{e}	2228.73 (2.91)^{cd}
22	2.588 (0.008)^{e}	60.2 (0.3)^{e}	2277.17 (9.70)^{dc}
23	2.303 (0.012)^{f}	60.8 (0.3)^{ef}	2290.90 (3.66)^{e}
25	2.487 (0.006)^{h}	60.2 (0.3)^{e}	2293.17 (5.76)^{e}
26	2.253 ± (0.056)^{g}	61.2 ± 0.8^{f}	2308.97 ± 11.62^{e}

[1]สูตรที่ 7-8 เตรียมจากน้ำตาลซูโครสร้อยละ 35 สูตรที่ 10-17 เตรียมจากน้ำตาลซูโครสร้อยละ 40 และ สูตรที่ 19-26 เตรียมจากน้ำตาลซูโครสร้อยละ 45

*ค่าเฉลี่ยที่ได้จากการวิเคราะห์ซ้ำ 3 ครั้ง และค่าในวงเล็บแสดงค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

[abcdefgh]เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยตามแนวตั้ง โดยอักษรที่ต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ตารางที่ 35 ผลการเกิดเจลของเยลลี่ที่ปรับปรุงความหวานโดยใช้น้ำตาลชนิดต่างๆ

สูตรที่	น้ำหนักของน้ำตาลซูโครส (กรัม)	น้ำหนักของน้ำตาลฟรุกโตส (กรัม)	การเกิดเจล*
28	-	20	G
29	-	24	G
30	-	28	G
31	10	15	G
32	20	10	G

*การเกิดเจล : N = ไม่เกิดเจล G = เกิดเจล

นำเยลลี่ทั้ง 5 สูตรมาประเมินคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีได้แก่ ลักษณะที่ปรากฏได้แก่ สี ความใส การไหวตัว ความคงตัว รอยตัดด้วยช้อน แสดงผลในตารางที่ 36 วัดความเป็นกรดด่าง ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด และความแข็งของเยลลี่ แสดงผลในตารางที่ 37

การคัดเลือกของสูตรเยลลี่ที่เตรียมจากสารให้ความหวานแต่ละชนิดพบว่าสูตรเยลลี่ 4 สูตร ที่เป็นตัวแทนของสูตรเยลลี่ที่เตรียมจากน้ำตาลแต่ละชนิดที่มีคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีที่ดีที่สุด ดังนี้

1. ตัวแทนของเยลลี่ที่ใช้น้ำตาลซูโครส 2 สูตร ได้แก่ สูตรที่ 8 และ 14

จากผลการทดลองตารางที่ 34 พบว่าเยลลี่สูตรที่ 10 13 14 7 และ 8 เป็นสูตรที่มีความแข็งน้อยกว่าสูตรอื่นๆ ได้แก่ 1697.50 2164.43 2184.50 และ 2192.33 กรัม เรียงตามลำดับจากน้อยไปมาก โดยสูตรที่ 10 แม้จะมีความแข็งน้อยที่สุด แต่เนื้อเยลลี่ไม่คงตัว มีน้ำไหลเยิ้มบางส่วนเมื่อตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง จึงไม่เลือกเป็นตัวแทน ส่วนสูตรที่ 7 และ 8 มีความแข็งใกล้เคียงกัน แต่สูตรที่ 8 ใส่ปริมาณของผงมะขามมากกว่าคือร้อยละ 6 จึงเลือกสูตรที่ 8 เป็นตัวแทน ส่วนสูตรที่ 13 และ 14 มีความแข็งใกล้เคียงกัน แต่สูตรที่ 14 ใส่ปริมาณของผงมะขามมากกว่าคือร้อยละ 6 จึงเลือกสูตรที่ 14 มาเป็นตัวแทนของเยลลี่ ที่เตรียมจากน้ำตาลซูโครส

2. ตัวแทนของเยลลี่ที่ใช้น้ำตาลฟรุกโตส 1 สูตร ได้แก่ เยลลี่สูตรที่ 30

จากผลการทดลองตารางที่ 37 พบว่าเยลลี่สูตรที่ 30 29 และ 28 เป็นสูตรที่มีความแข็ง 2275.30 2337.50 และ 2348.20 กรัม เรียงตามลำดับจากน้อยไปมาก ส่วนคุณสมบัติด้านอื่นๆ ได้แก่ เนื้อเยลลี่เป็น สีน้ำตาลใสเป็นประกายคงตัวดีที่อุณหภูมิห้อง รอยตัดด้วยช้อนเรียบ ไม่เหนียวติดช้อน ความเป็นกรดด่าง และปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดไม่ต่างกันในแต่ละสูตร จึงเลือกสูตรที่ 30 ซึ่งมีความแข็งน้อยที่สุดเป็นตัวแทนของ เยลลี่ที่เตรียมจากน้ำตาล ฟรุกโตส

3. ตัวแทนของเยลลี่ที่ใช้น้ำตาลซูโครสผสมน้ำตาลฟรุกโตส1สูตรได้แก่ เยลลี่สูตรที่ 31

จากผลการทดลองตารางที่ 37 พบว่าเยลลี่สูตรที่ 31 มีความแข็งและใกล้เคียงกับสูตรที่ 30 ซึ่งเป็นตัวแทนของเยลลี่ที่เตรียมจากน้ำตาลฟรุกโตส จึงเลือกสูตรที่ 31 เป็นตัวแทนของเยลลี่ที่เตรียมจากน้ำตาลซูโครสผสมน้ำตาลฟรุกโตส

ตารางที่ 36 ลักษณะที่ปรากฏ การไหวตัว ความคงตัว และรอยตัดของสูตรเยลลี่ที่ปรับปรุงความหวานโดยใช้น้ำตาลชนิดต่างๆ แล้วเกิดเจล

สูตรที่[1]	สี	ความใส	การไหวตัว ความคงตัว	รอยตัดด้วยช้อน
28	สีน้ำตาลแดงเข้ม	ใสเป็นประกาย	ไม่ไหวตัว คงตัวดีที่อุณหภูมิห้อง	รอยตัดเรียบ คงรูป ไม่เหนียวติดช้อน
29	สีน้ำตาลแดงเข้ม	ใสเป็นประกาย	ไม่ไหวตัว คงตัวดีที่อุณหภูมิห้อง	รอยตัดเรียบ คงรูป ไม่เหนียวติดช้อน
30	สีน้ำตาลแดงเข้ม	ใสเป็นประกาย	ไหวตัวน้อย คงตัวดีที่อุณหภูมิห้อง	รอยตัดเรียบ คงรูป ไม่เหนียวติดช้อน
31	สีน้ำตาลแดงเข้ม	ใสเป็นประกาย	ไหวตัวน้อย คงตัวดีที่อุณหภูมิห้อง	รอยตัดเรียบ คงรูป ไม่เหนียวติดช้อน
32	สีน้ำตาลแดงเข้ม	ใสเป็นประกาย	ไหวตัวน้อย คงตัวดีที่อุณหภูมิห้อง	รอยตัดเรียบ คงรูป ไม่เหนียวติดช้อน

[1]สูตรที่ 28-30 ใช้น้ำตาลฟรุกโตส สูตรที่ 31-32 ใช้น้ำตาลซูโครสผสมน้ำตาลฟรุกโตส เป็นสารให้ความหวาน

ตารางที่ 37 ความเป็นกรดด่าง ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด และความแข็งจากการวัดเยลลี่ที่ปรับปรุงความหวานโดยใช้น้ำตาลชนิดต่างๆ แล้วเกิดเจล

สูตรที่	ความเป็นกรดด่าง* (pH)	ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด* (°brix)	ความแข็ง* (กรัมแรง)
28	2.354 (0.009)[a]	55.2 (0.3)[a]	2348.20 (6.71)[a]
29	2.378 (0.007)[b]	55.5 (0.5)[a]	2337.50 (4.65)[a]
30	2.395 (0.006)[c]	55.0 (0.0)[a]	2275.30 (5.48)[b]
31	2.405 (0.006)[c]	55.3 (0.3)[a]	2273.67 (10.10)[b]
32	2.444 (0.007)[d]	55.0 (0.0)[a]	2239.23 (7.46)[c]

[1]สูตรที่ 28-30 ใช้น้ำตาลฟรุกโตส สูตรที่ 31-32 ใช้น้ำตาลซูโครสผสมน้ำตาลฟรุกโตส เป็นสารให้ความหวาน

*ค่าเฉลี่ยที่ได้จากการวิเคราะห์ซ้ำ 3 ครั้ง และค่าในวงเล็บแสดงค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

[abcd] เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยตามแนวตั้ง โดยอักษรที่ต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

6.3 คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของเยลลี่ที่ใช้น้ำตาลต่างๆ

ได้ผลคือ เมื่อนำสูตรเยลลี่ที่ได้รับการคัดเลือกจากข้อ 6.2 มาประเมินผลด้านรสชาติและกลิ่น วัดค่าสี แสดงผลในตารางที่ 38 และวิเคราะห์ปริมาณกรดทาร์ทาริก แสดงผลในตารางที่ 39

6.4 ประเมินความพึงพอใจต่อผลิตภัณฑ์เยลลี่

นำเยลลี่ทั้ง 4 สูตรซึ่งเป็นตัวแทนของเยลลี่ที่เตรียมจากน้ำตาลแต่ละชนิดได้แก่ น้ำตาลซูโครส (สูตรที่ 8 และ 14) น้ำตาลฟรุกโตส (สูตรที่ 30) และน้ำตาลซูโครสผสมน้ำตาลฟรุกโตส (สูตรที่ 31) มาประเมิน ความพึงพอใจใช้วิธีให้คะแนนความยอมรับของผลิตภัณฑ์ในด้านต่างๆ โดยผู้ประเมินกึ่งฝึกฝน 10 ราย ให้คะแนนความชอบต่อรสชาติของผลิตภัณฑ์ ตั้งแต่ 1- 5 โดยคะแนน 1 = ไม่ชอบมากที่สุด และคะแนน 5 = ชอบมากที่สุด ผลการประเมินแสดงในตารางที่ 40

1. สี ลักษณะที่ปรากฏให้เห็นภายนอก

คะแนนความชอบต่อสีและลักษณะที่ปรากฏให้เห็นภายนอกของเยลลี่ ที่เตรียมจากน้ำตาลฟรุกโตส มีค่าน้อยกว่าเยลลี่ที่เตรียมจากน้ำตาลซูโครส และน้ำตาลซูโครสผสมน้ำตาล ฟรุกโตส อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

2. กลิ่นของเยลลี่

คะแนนความชอบต่อกลิ่นของเยลลี่ที่เตรียมจากน้ำตาลซูโครส น้ำตาลฟรุกโตส และน้ำตาลซูโครสผสมน้ำตาลฟรุกโตส ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

3. รสชาติของเยลลี่

คะแนนความชอบต่อรสชาติของเยลลี่ที่เตรียมจากน้ำตาลซูโครส น้ำตาลฟรุกโตส และน้ำตาลซูโครสผสมน้ำตาลฟรุกโตส ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

4. เนื้อสัมผัสขณะรับประทาน

คะแนนความชอบต่อเนื้อสัมผัสของเยลลี่ที่เตรียมจากน้ำตาลซูโครสได้รับคะแนนความชอบมากที่สุด แต่ในทางสถิติคะแนนความชอบไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 จากสูตรเยลลี่ที่เตรียมจากน้ำตาลซูโครสผสมน้ำตาลฟรุกโตส

ตารางที่ 38 รสชาติ กลิ่น และสีโดยใช้เครื่องวัดสี Minolta Chromameter ของเยลลี่ 4 สูตร ที่เป็นตัวแทนเยลลี่ที่เตรียมจากน้ำตาลชนิดต่างๆ

สูตรที่	สารให้ความหวานที่ใช้	กลิ่น	รสชาติ	ค่าสี*		
				L	a	b
8	น้ำตาลซูโครส ร้อยละ 35	ไม่มีกลิ่นมะขาม	เปรี้ยวหวานจัด	37.76 (0.60)	8.16 (0.80)	13.97 (1.03)
14	น้ำตาลซูโครส ร้อยละ 40	ไม่มีกลิ่นมะขาม	เปรี้ยวหวานจัด	38.42 (0.04)	6.87 (0.13)	14.58 (0.27)
30	น้ำตาลฟรุกโตส	ไม่มีกลิ่นมะขาม	เปรี้ยวหวานจัด	39.74 (0.57)	10.65 (0.19)	12.95 (0.34)
31	น้ำตาลซูโครสผสมน้ำตาลฟรุกโตส	ไม่มีกลิ่นมะขาม	เปรี้ยวหวานจัด	37.07 (0.62)	7.78 (0.77)	13.31 (0.97)

*ค่าเฉลี่ยที่ได้จากการวิเคราะห์ซ้ำ 3 ครั้ง และค่าในวงเล็บแสดงค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตารางที่ 39 ปริมาณกรดทาร์ทาริกในเยลลี่มะขาม

สูตรที่	สารให้ความหวานที่ใช้	ปริมาณกรดทาร์ทาริกในเนื้อเยลลี่ 1 กรัม (มิลลิกรัม)	น้ำหนักเฉลี่ยของเยลลี่ในแต่ละการทดลอง (กรัม)	ปริมาณกรดทาร์ทาริกในเนื้อเยลลี่แต่ละสูตร (มิลลิกรัม)
8	น้ำตาลซูโครสร้อยละ 35	16.2 [a] (1.0)	56.4692[a] (0.0851)	914.8[a] (1.4)
14	น้ำตาลซูโครสร้อยละ 40	15.4 [a] (0.1)	55.9894[a] (0.1302)	863.4[b] (2.0)
30	น้ำตาลฟรุกโตส	21.6 [b] (1.0)	38.5496[b] (0.0755)	832.7[c] (1.6)
31	น้ำตาลซูโครสผสมน้ำตาลฟรุกโตส	19.3 [c] (0.1)	44.0512[c] (0.0543)	850.2[b] (1.0)

ค่าเฉลี่ยที่ได้จากการวิเคราะห์ซ้ำ 3 ครั้ง และค่าในวงเล็บแสดงค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

[abc] เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของคะแนนตามแนวนอน โดยอักษรที่ต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ตารางที่ 40 คะแนนเฉลี่ยความชอบในด้านต่างๆที่ผู้ชิมให้แก่เยลลี่

ความชอบ	ค่าเฉลี่ยของคะแนน			
	สูตร 8	สูตร 14	สูตร 30	สูตร 31
สีและลักษณะที่ปรากฏให้เห็นภายนอก	4.00 (1.16)[a]	4.00 (0.94)[a]	2.70 (1.06)[b]	3.90 (0.99)[a]
กลิ่นของเยลลี่	3.40 (0.97)[a]	3.40 (1.08)[a]	4.10 (0.99)[a]	3.90 (1.19)[a]
รสชาติของเยลลี่	4.00 (0.82)[a]	4.00 (0.67)[a]	3.10 (1.19)[a]	3.80 (1.14)[a]
เนื้อสัมผัสขณะรับประทาน	4.10 (0.99)[ac]	4.20 (1.03)[ac]	3.10 (1.29)[b]	3.60 (0.69)[bc]
รอยตัดเยลลี่ด้วยช้อน	3.90 (0.88)[a]	3.80 (0.92)[a]	3.30 (1.41)[a]	3.80 (0.79)[a]
ความชอบโดยรวม	3.70 (0.94)[a]	4.00 (0.82)[a]	2.40 (0.84)[b]	3.70 (1.16)[a]

*คะแนนความชอบจัดลำดับจาก 1-5 ตั้งแต่คะแนนไม่ชอบมากที่สุดถึงชอบมากที่สุด ค่าในวงเล็บแสดงค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

[abc] เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของคะแนนตามแนวนอน โดยอักษรที่ต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

5. รอยตัดเยลลี่ด้วยช้อน

คะแนนความชอบต่อรอยตัดของเยลลี่ที่เตรียมจากน้ำตาลซูโครส น้ำตาลฟรุกโตส และน้ำตาลซูโครสผสมน้ำตาลฟรุกโตสไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

6. ความชอบโดยรวม

คะแนนความชอบโดยรวมของเยลลี่เตรียมจากน้ำตาลซูโครสได้รับคะแนนความชอบมากที่สุด แต่ในทางสถิติคะแนนความชอบไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 จากสูตรเยลลี่ที่เตรียมจากน้ำตาลซูโครสผสมน้ำตาลฟรุกโตส ส่วนเยลลี่ที่เตรียมจากน้ำตาลฟรุกโตสได้รับคะแนนความชอบน้อยที่สุด ซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 จากสูตรเยลลี่ที่เตรียมจากน้ำตาลซูโครส และน้ำตาลซูโครสผสมน้ำตาลฟรุกโตส

การพัฒนาสูตรเยลลี่ที่ทำจากผลไม้ องค์ประกอบที่สำคัญคือกรด น้ำตาล น้ำและสารก่อเจล ซึ่งต้องมีสัดส่วนที่เหมาะสมจึงจะสามารถเกิดเจลได้ กรดที่ใช้ส่วนใหญ่จะเป็นกรดที่มีอยู่ในผลไม้นั้นๆ เช่น กรดซิตริก กรดทาร์ทาริก กรดมาลิค เป็นต้น น้ำตาลที่ใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์เยลลี่ตามประกาศสาธารณสุข ฉบับที่ 213 พ.ศ. 2543 เรื่อง แยม เยลลี่ และมาร์มาเลด ในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิท กำหนดห้ามมิให้ใช้สารให้ความหวานชนิดอื่นๆ แทนน้ำตาล (กระทรวงสาธารณสุข, 2543) ในการวิจัยนี้จึงเลือกใช้น้ำตาลซูโครส และน้ำตาลฟรุกโตส เป็นสารให้ความหวาน โดยส่วนใหญ่ใช้ความเข้มข้นของน้ำตาลตั้งแต่ 50 องศาบริกซ์ สารก่อเจลที่ใช้มีหลายชนิด เช่น เจลาติน อะการ์ คาราจีแนน และเพกติน เป็นต้น โดยแต่ละชนิดจะใช้ปริมาณและสภาวะการก่อเจลต่างกัน ในการวิจัยนี้เลือกใช้เพกตินเป็นสารก่อเจล เนื่องจากเพกตินเป็นองค์ประกอบที่มีอยู่ในมะขาม (Shri *et al.*, 1979) และมีคุณสมบัติช่วยระบาย โดยใช้เพกตินชนิดเมทอกซีสูง (HM) ระดับ Degree of esterification (DE) มากกว่าร้อยละ 70 สามารถเกิดเจลได้ต้องใช้น้ำตาลและกรดที่เหมาะสม (Acoata *et al.*, 2008; Royer *et al.*, 2006) ปริมาณเพกตินที่ใช้ตั้งแต่ 0.4 % ขึ้นไป (อุไรรัช บูรณะคงคาตรี , 2538; Nawawi และ Heikel, 1997) โดยใช้ระยะเวลาในการแข็งตัวของเจล 20-250 วินาที (Crandall and Wicker, 1986) แต่ในการทดลองนี้พบว่าสูตรเยลลี่ที่เตรียมจะใช้เวลาในการเกิดเจลมากว่า 10 นาที อาจเนื่องจากการพัฒนาเยลลี่นี้หวังผลเพื่อใช้เป็นอาหารฟังก์ชัน โดยเน้นการใส่ปริมาณผงมะขามให้ได้มากที่สุด เพื่อให้มีปริมาณกรดทาร์ทาริก มากเพียงพอต่อการช่วยระบาย โดยที่ผู้บริโภครับประทานเยลลี่น้อยที่สุด จึงทำให้สัดส่วนขององค์ประกอบในสูตรเยลลี่แตกต่างไปจากการทดลองที่ผ่านมา ทำให้ระยะเวลาที่ใช้ในการเกิดเจลแตกต่างกัน โดยผลการทดลองพบว่า สูตรเยลลี่ทั้งหมด 27 สูตร สามารถเกิดเจลได้ 13 สูตรได้แก่ สูตรที่ 7 8 10 13 14 16 17 19 20 22 23 25 และ 26 (ตารางที่ 32)

เพกตินชนิดเมทอกซีสูงสามารถทำให้เกิดเจลได้จากการละลายของเพกตินในน้ำ สร้างเป็นโครงร่างตาข่ายและพันธะระหว่างสายเพกตินซึ่งเกิดจากพันธะไฮโดรเจนและแรง Hydrophobic Interaction (HI) เมื่อความเข้มข้นของน้ำตาลและปริมาณกรดเพิ่มขึ้น (pH ต่ำลง) การละลายของเพกตินลดลงแต่พันธะระหว่างสายเพกตินเพิ่มขึ้น (Bemillier, 1986; Crandall และ W icker,1986) ดังนั้นที่ระดับความเข้มข้นของน้ำตาลหนึ่งๆ ซึ่งทำให้มีน้ำเหลือเพียงพอที่จะทำให้เพกตินละลายหมด จะพบว่าเจลเกิดได้ดีขึ้นและความแข็งแรงของเจลเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของน้ำตาลเพิ่มขึ้น เนื่องจากน้ำตาลละลายน้ำได้ดีกว่าเพกติน สมดุลระหว่างอิออนบวกของน้ำกับอิออนลบบนสายเพกตินถูกรบกวนโดยน้ำตาลซึ่งทำให้สายเพกตินถูกผลักเข้าใกล้กันมากขึ้น เป็นผลให้ เกิดแรง HI และพันธะไฮโดรเจนระหว่างสายเพกตินเพิ่มขึ้น หากความเข้มข้นน้ำตาลเพิ่มขึ้นจนกระทั่งความเข้มข้นของน้ำตาลสูงถึงระดับที่มีน้ำเหลือไม่เพียงพอต่อการละลายของเพกติน บางส่วน ที่ระดับนี้ปริมาณเพกตินที่ละลายจะลดลงหรือผงเพกตินเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของน้ำตาลสูงขึ้น ทำให้ความสามารถในการเกิดเจลและความแข็งแรงของเจลลดลง การที่ pH ลดลง (ปริมาณกรดเพิ่มขึ้น) เพกตินจะเกิดการแตกตัวน้อยลง เนื่องจากเมื่อเพกตินละลายในน้ำ หมู่ COOH บนสายจะแตกตัวให้ COO^- และ H^+ และเมื่ออยู่ในภาวะเป็นกรด กรดจะ ionize ให้ อิออนบวก (ไฮโดรเจนอิออน) ทำให้เพกตินเกิดการ ionize ลดลง ส่งผลให้เพกตินมีแรงผลักระหว่างสายน้อยลง ทำให้เพกตินเข้าใกล้กันและเกิดพันธะภายในโครงร่างแหมากขึ้น (Crandall และ Wicker, 1986) จากผลการทดลองพบว่าเยลลี่ที่ใส่ผงมะขามร้อยละ 6-9 และน้ำตาลซูโครส ร้อยละ 35-45 มีช่วงความเข้มข้นของน้ำตาลโดยดูจากค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด เท่ากับ 50-61 องศาบริกซ์ และช่วงที่ทำให้เกิดเจลที่ pH 2.253-2.883 ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของอุไรรัช บูรณะคงคาตรี(2538) ซึ่งทดสอบการเกิดเจลโดยใช้เพกตินชนิดเมทอกซี สูง สามารถเกิดเจลในช่วง pH 2.0-3.0 ในช่วงความเข้มข้นของน้ำตาลซูโครส 50-70 องศาบริกซ์ กรณีสูตรที่ใส่ผงมะขามร้อยละ 9 ซึ่งไม่สามารถเกิดจากแข็งตัวของเจลในทุกระดับปริมาณของน้ำตาลซูโครส และเพกติน อาจเนื่องจากความเข้มข้นของน้ำตาลไม่เพียงพอหรือค่า pH ต่ำมากเกินไป (ปริมาณกรดมาก) ทำให้การเกิด ionization ของเพกตินต่ำกว่าที่ภาวะ pH สูง จึงมีแรงผลักระหว่างสายเพกตินน้อยกว่า โอกาสที่เพกตินจะเข้ามาใกล้กันจนเกิดเป็นร่างแหเจลจึงมีน้อยกว่า เป็นผลให้ต้องการปริมาณน้ำตาลเพิ่มมากขึ้นเพื่อช่วยในการทำให้สายเพกตินเข้าใกล้กันมากขึ้นจนเกิดแรง HI ระหว่างสายเพกตินพอเพียงต่อการเกิดเจล สอดคล้องกับผลการทดลองของ Nelson และคณะ (1977) ที่รายงานว่าเพกตินชนิดเมทอกซีสูงที่มีค่า DE ตั้งแต่ 70 สามารถเกิดเจลโดยใช้น้ำตาลได้ เมื่อมี pH ในช่วง 3.0-3.4 ดังนั้นอาจมีการศึกษาเพิ่มเติมโดยเพิ่มความเข้มข้นของน้ำตาลที่ใช้ในสูตรเยลลี่ เพื่อศึกษาการเจลเมื่อ pH สูงมากๆ แต่ในกรณีการเพิ่มความเข้มข้นน้ำตาลมากขึ้นในระดับหนึ่ง พบว่าไม่เกิดเจลที่ทุกระดับ pH เนื่องจากน้ำส่วนใหญ่ที่มีอยู่ จะไปละลายน้ำตาล ทำให้มีน้ำไม่เพียงพอต่อการพองตัวและการละลายของเพกติ กล่าวคือเมื่อความเข้มข้นน้ำตาลสูงมากกว่า 70 องศาบริกซ์ จะทำให้ผงเพกตินส่วนใหญ่ไม่ละลาย

น้ำ ทำให้ไม่มีสายโซ่ของเพกตินในสารละลายน้ำตาลเพียงพอต่อการเกิดโครงร่างแห จึงไม่สามารถเกิดเจล

เมื่อพิจารณาในเรื่องความแข็งของเยลลี่โดยใช้เครื่องวัดเนื้อสัมผัส (Texture Analyzer) จากผลการทดลองพบว่าสูตรเยลลี่มีความแข็งในช่วง 2,156-2,348 กรัม สูตรที่มีปริมาณเพกตินคงที่ เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของน้ำตาล pH จะมีค่าต่ำลง ทำให้ความแข็งของเยลลี่จะเพิ่มขึ้น เนื่องจากที่ระดับ pH ต่ำ การ i onization เกิดขึ้นได้น้อยกว่าที่ระดับ pH สูง ทำให้แรงผลักระหว่างสายเพกตินน้อย โอกาสที่สายเพกตินเข้าใกล้กันจนเกิดเป็นโครงร่างตาข่ายเจลมีมากขึ้น ความแข็งของเยลลี่จึงลดลง ในทำนองเดียวกันกับที่ระดับความเข้มข้นของน้ำตาลคงที่ การเพิ่มปริมาณเพกตินทำให้ความแข็งเพิ่มขึ้น เนื่องจากมีปริมาณสารก่อเจลเพิ่มขึ้น ความแข็งแรงของเจลจึงเพิ่มขึ้น

เมื่อพิจารณาความแข็งของเยลลี่ในช่วง pH และความเข้มข้นน้ำตาลเดียวกัน จะเห็นว่า สูตรเยลลี่ที่ใช้น้ำตาลฟรุกโตสเป็นสารให้ความหวานจะมีความแข็งมากกว่าสูตรเยลลี่ที่ใช้น้ำตาลซูโครส เนื่องจากน้ำตาลฟรุ๊กโตสมีความหวานมากกว่าน้ำตาลซูโครส 2 เท่า จึงใช้ในปริมาณที่น้อยกว่า อีกทั้งน้ำตาลฟรุกโตสเป็นน้ำตาลโมเลกุลเชิงเดี่ยว ทำให้มวลโมเลกุลน้อยกว่า แต่ต้องเคี่ยวนานกว่า เพื่อให้ได้ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดเท่ากับ 55 องศาบริกซ์ซึ่งเท่ากับสูตรเยลลี่ต้นแบบที่ใช้น้ำตาลซูโครส ทำให้ปริมาณน้ำในองค์ประกอบเยลลี่น้อยลง จึงมีความแข็งเพิ่มขึ้น รวมทั้งน้ำตาลต่างชนิดกันจะมีผลต่อแรง HI ต่างกัน โดยขึ้นกับโครงสร้าง 3 มิติของน้ำตาลที่เข้าไปทำปฏิกิริยากับน้ำซึ่งล้อมรอบหมู่เมทธิล หากระยะห่างระหว่างหมู่ไฮดรอกซิลของน้ำและน้ำตาลมีค่าใกล้เคียง 4.36 องศา จะสามารถเหนี่ยวนำให้เกิดแรง HI ได้มาก (Oakenfull และSmith, 1984) ความแข็งของเจลจึงเพิ่มขึ้น

ในการปรับปรุงรสชาติของเยลลี่โดยใช้น้ำตาลฟรุกโตส พบว่าสามารถเกิดเจลได้ในช่วง pH 2.35-2.44 มีช่วงความเข้มข้นของน้ำตาลโดยดูจากค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดเท่ากับ 55-55.3 องศาบริกซ์ สอดคล้องกับผลการทดลองของอุไรรัช บูรณะคงคาศรี (2538) โดยเกิดเจลซึ่งใช้น้ำตาลฟรุกโตส ที่ช่วง pH 2.0-3.0 และความเข้มข้นของน้ำตาล 50-70 องศาบริกซ์

จะเห็นได้ว่าการเกิดเจลซึ่งใช้เพกตินเมทอกซีสูง มีช่วงความเข้มข้นของน้ำตาลและ pH ที่เหมาะสมในการเกิดเจลแตกต่างกัน หากต้องการผลิตภัณฑ์อาหารเจลที่มีรสชาติเปรี้ยวจัดหรือหวานจัดสามารถใช้น้ำตาลซูโครสและน้ำตาลฟรุกโตส ในการเตรียมเจลได้ เนื่องจากสามารถเกิดเจลได้ในช่วง pH ต่ำ (2.0-3.0) และช่วงความเข้มข้นของน้ำตาล 50-70 องศาบริกซ์

ในด้านการปรับปรุงความหวานของเยลลี่ แม้จะมีใช้น้ำตาลฟรุกโตสแทนน้ำตาลซูโครส เพื่อหวังผลในแง่การลดปริมาณแคลอรี่ของเยลลี่ แต่สูตรเยลลี่ที่ใช้น้ำตาลซูโครสได้รับความนิยมจากผู้ทดสอบมากกว่า แต่ในทางสถิติพบว่าคะแนนความชอบในทุกๆ ด้าน ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ระหว่างเยลลี่ที่ใช้น้ำตาลฟรุกโตส และเยลลี่ที่ใช้น้ำตาลซูโครส

จะเห็นได้ว่าสูตรอาหารฟังก์ชันในรูปแบบเครื่องดื่มมะขามผงฟู่และเยลลี่มะขามในการวิจัยเป็นการพัฒนาในด้านการปรับส่วนประกอบพื้นฐานของสูตรตำรับ ดังนั้นอาจมีการวิจัยเพิ่มเติมสำหรับเครื่องดื่มมะขามผงฟู่ อาจมีการเติมสารช่วยต่าง ๆ ในตำรับเพิ่มเติม เพื่อลดการดูดความชื้นหรือสามารถตอกเป็นเม็ดฟู่ ซึ่งเป็นอีกรูปแบบหนึ่งที่น่าสนใจและสร้างแรงดึงดูดต่อผู้บริโภค สำหรับผลิตภัณฑ์เยลลี่ อาจมีการปรับเปลี่ยนสารก่อเจลเป็นชนิดอื่นๆ เพื่อพัฒนา ลักษณะทางกายภาพของเยลลี่ให้ใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์ที่มีในท้องตลาดต่อไป นอกจากนี้การนำผลิตภัณฑ์ไปทดสอบผลด้านการช่วยระบายหรือประโยชน์ของมะขามด้านต่างๆ เพิ่มเติมในผู้บริโภคจริง จะช่วยให้ผลิตภัณฑ์ที่พัฒนาขึ้นนี้ใช้ประโยชน์ได้ตามวัตถุประสงค์ของการวิจัยต่อไป