

ผลการทดลอง

การประเมินองค์ประกอบหลักในเนื้อและเมล็ดมะขาม รวมทั้งข้าวและรำข้าวไทย โดยรวบรวมจากตัวอย่างมะขามจำนวน 6 สายพันธุ์ปลูก (cultivars) จากจังหวัดเพชรบูรณ์และจังหวัดนครราชสีมา (โคราษ) และตัวอย่างสายพันธุ์ข้าวจำนวน 6 สายพันธุ์ (variety) รวบรวมจากศูนย์วิจัยข้าวปทุมธานี ได้ผลการทดลองดังต่อไปนี้

1. การวิเคราะห์องค์ประกอบสารอาหารในมะขาม ข้าวและรำข้าว

องค์ประกอบสารอาหารได้แก่ โปรตีน ลิปิด ไฟเบอร์ เถ้า คาร์โบไฮเดรต และความชื้น (น้ำ) ตลอดจนองค์ประกอบของสารเกลือแร่ ของเนื้อมะขามและเนื้อในเมล็ด (kernel) ของมะขาม แสดงไว้ในตารางที่ 1-5 องค์ประกอบสารอาหารในเนื้อมะขาม พบมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตสูง (60-80%) จากการวิเคราะห์โดยวิธีวัดปริมาณ %glucose และเช่นเดียวกัน พบมี reducing sugar ค่อนข้างสูง (28-56%) ในขณะที่องค์ประกอบอื่นๆ ได้แก่ ปริมาณโปรตีน (1.6-5.2%) ลิปิด (0.14-1.50%) ไฟเบอร์ (0.5-6%) เถ้า (1-7%) พบค่อนข้างน้อย ขณะที่มีความชื้นค่อนข้างสูง (13-28%) ผลการวิเคราะห์แสดงในตารางที่ 1 และ 3 ในเนื้อมะขามมีองค์ประกอบของสารเกลือแร่ต่างๆ ได้แก่ โพแทสเซียม แมกนีเซียม แคลเซียม ฟอสฟอรัส ค่อนข้างสูง มีโซเดียมปานกลาง ขณะที่แร่ธาตุอื่นๆที่พบน้อยได้แก่ เหล็ก ทองแดง สังกะสี แมงกานีส ดังแสดงไว้ในตารางที่ 2

การวิเคราะห์ปริมาณคาร์โบไฮเดรตในเนื้อมะขาม โดยการวิเคราะห์เทียบ %glucose แสดงผลไว้ในตารางที่ 3 พบมีปริมาณของน้ำตาลในเนื้อมะขามเปรี้ยวมีค่าต่ำกว่ามะขามหวานมาก ในมะขามเปรี้ยวมีปริมาณของ reducing sugar 28-31% ขณะที่ในมะขามชนิดหวานมีน้ำตาลสูงกว่า คือ ประมาณ 50-56% โดยเฉพาะพันธุ์สีชมพู และสีทองหนักจากเพชรบูรณ์ มีน้ำตาลสูงที่สุด

ในเมล็ดมะขามส่วนของเนื้อในของเมล็ด (kernel) พบมีสารอาหารจำพวก คาร์โบไฮเดรตสูงเช่นกัน (46-66%) มีโปรตีนค่อนข้างสูง (16-19%) มีความชื้น (8.7-9.6%) และลิปิด ปานกลาง (4-9%) มีปริมาณไฟเบอร์ (0.5-1.3%) และเถ้า (1.3-1.6%) ค่อนข้างน้อย ดังแสดงไว้ใน ตารางที่ 4 องค์ประกอบของเกลือแร่ในเมล็ดมะขาม (ในตารางที่ 5) พบมีต่ำกว่าในเนื้อมะขามมาก ได้แก่ โพแทสเซียม แมกนีเซียม แคลเซียม ฟอสฟอรัสและเหล็ก นอกจากนี้ยังพบ โซเดียม ทองแดง สังกะสี แมกนีเซียม และซิลิกอน น้อยมาก

ตารางที่ 1 ส่วนประกอบของสารอาหารในเนื้อมะขาม จังหวัดเพชรบูรณ์ และ จังหวัดนครราชสีมา
(โคราช) แสดงค่า means (SD)

Tamarind cultivars	Moisture (%)	Carbohydrate (%glucose)	Protein (%)	Lipid (%)	Crude Fiber (%)	Ash (%)
เปรี้ยวยักษ์ Prew Yak (TI-PY/P)	20.27 (1.39)	60.12 (0.00)	1.60 (0.02)	1.48 (0.30)	6.05 (0.05)	2.72 (0.05)
ขันดี Kanti (TI-K/P)	15.94 (0.03)	64.94 (0.00)	2.65 (0.03)	1.00 (0.07)	3.76 (0.03)	3.56 (0.13)
ศรีชมภู Sri Chompu (TI-SP/P)	13.23 (0.08)	75.08 (0.00)	2.98 (0.02)	1.26 (0.25)	3.06 (0.03)	3.67 (0.08)
สีทองเบา Sitong Bow (TI-STB/P)	15.16 (0.30)	80.24 (0.00)	2.89 (0.02)	0.58 (0.03)	4.15 (0.46)	3.72 (0.13)
สีทองหนัก Sitong Nak (TI-STN/P)	20.42 (0.77)	80.24 (0.00)	2.04 (0.02)	1.21 (0.79)	2.94 (0.07)	4.02 (0.03)
เปรี้ยว Prew (TI-P/K)	28.77 (0.37)	65.55 (0.00)	2.83 (0.03)	0.14 (0.00)	1.43 (0.01)	2.79 (0.08)
ศรีชมภู Sri Chompu (TI-SP/K)	19.84 (0.05)	79.92 (0.00)	5.18 (0.09)	0.14 (0.01)	0.53 (0.01)	7.05 (0.01)
สีทองหนัก Sitong Nak (TI-STN/K)	21.64 (0.12)	79.84 (0.00)	3.77 (0.01)	0.36 (0.01)	1.17 (0.11)	1.15 (0.27)

ตารางที่ 2 ปริมาณแร่ธาตุในเนื้อมะขาม จังหวัดเพชรบูรณ์ และจังหวัดนครราชสีมา (โคราช) แสดงค่า means (SD), ND = Not determined

Tamarind cultivars	Total minerals										
	Total weight mg/100g (SD)						ppm (SD)				
	K	Na	Mg	Ca	P	Cu	Fe	Mn	Zn	Si	Pb
เปรี้ยวยักษ์ Prew Yak (TI-PY/P)	958.02 (8.85)	17.52 (6.21)	40.22 (0.17)	64.63 (0.54)	90.20 (1.10)	0.263 (0.004)	0.312 (0.208)	0.019 (0.007)	0.030 (0.001)	0.022 (0.003)	none
จันทิ Kanti (TI-K/P)	1190.86 (63.88)	15.71 (8.66)	122.45 (17.66)	82.02 (5.58)	117.46 (1.19)	0.319 (0.018)	0.168 (0.059)	0.175 (0.001)	0.168 (0.004)	0.029 (0.009)	none
ศรีชมภู Sri Chompu (TI-SP/P)	1299.37 (12.10)	7.75 (1.62)	127.34 (3.20)	123.74 (3.40)	125.55 (0.98)	0.298 (0.031)	1.094 (1.114)	0.178 (0.023)	0.273 (0.043)	0.012 (0.003)	none
สีทองบา Sitong Bow (TI-STL/B)	1403.98 (42.19)	8.13 (0.23)	103.94 (1.69)	99.57 (0.42)	118.71 (0.57)	0.467 (0.039)	0.403 (0.103)	0.154 (0.012)	0.149 (0.004)	0.023 (0.005)	none
สีทองน้ก Sitong Nak (TI-STN/P)	1373.59 (10.51)	7.94 (3.79)	171.69 (4.43)	129.36 (2.84)	94.75 (1.14)	0.362 (0.025)	0.087 (0.112)	0.288 (0.001)	0.271 (0.017)	0.009 (0.007)	none
เปรี้ยว Prew (TI-P/K)	6.85 (0.04)	18.72 (0.05)	5.72 (0.02)	29.62 (0.05)	ND	0.248 (0.003)	6.165 (0.072)	0.113 (0.001)	11.80 (0.01)	ND	ND
ศรีชมภู Sri Chompu (TI-SP/K)	5.89 (0.01)	17.42 (0.05)	5.77 (0.01)	28.74 (0.22)	ND	0.761 (0.016)	4.417 (0.075)	0.139 (0.015)	12.70 (0.01)	ND	ND
สีทองน้ก Sitong Nak (TI-STN/K)	6.73 (0.02)	32.80 (0.13)	6.85 (0.02)	44.43 (0.08)	ND	1.935 (0.024)	5.120 (0.104)	0.194 (0.001)	14.10 (0.02)	ND	ND

ตารางที่ 3 ส่วนประกอบของสารอาหารในเนื้อมะขาม จากจังหวัดเพชรบูรณ์ (-P) และจังหวัด
นครราชสีมา (โคราช) (-K) แสดงค่า means (SD)

Tamarind cultivars	Carbohydrate (%glucose)	Reducing Sugar (%glucose)
เปรี้ยวยักษ์/P Prew Yak/P (TI-PY/P)	60.12 (0.00)	31.21 (0.57)
ขันตี/P Kanti/P (TI-K/P)	64.94 (0.00)	50.36 (1.15)
ศรีชมภู/P Sri Chompu/P (TI-SP/P)	75.08 (0.00)	55.77 (1.73)
สีทองเบา/P Sitong Bow/P (TI-STB/P)	80.24 (0.00)	53.01 (0.58)
สีทองหนัก/P Sitong Nak/P (TI-STN/P)	80.24 (0.00)	55.95 (2.90)
เปรี้ยว/K Prew/K (TI-P/K)	64.55 (0.00)	27.70 (2.89)
ศรีชมภู/K Sri Chompu/K (TI-SP/K)	79.92 (0.00)	55.72 (1.15)
สีทองหนัก/K Sitong Nak/K (TI-STN/K)	79.84 (0.00)	50.38 (0.58)

ตารางที่ 4 ส่วนประกอบของสารอาหารในเมล็ดมะขาม (kernel) จากจังหวัดเพชรบูรณ์ (-/P) และ
จังหวัดนครราชสีมา (โคราช) (-/K) แสดงค่า means (SD)

Tamarind cultivars	Moisture (%)	Carbohydrate (%glucose)	Protein (%)	Lipid (%)	Crude Fiber (%)	Ash (%)
เปรี้ยวยักษ์/P Prew Yak/P (TI-PY/P)	8.92 (0.21)	66.01 (3.57)	16.20 (0.04)	8.98 (0.07)	1.23 (0.06)	1.39 (0.03)
ขันตี/P Kanti/P (TI-K/P)	9.62 (0.12)	57.71 (1.08)	17.75 (0.05)	4.51 (0.05)	1.06 (0.06)	1.32 (0.00)
ศรีชมภู/P Sri Chompu/P (TI-SP/P)	9.26 (0.22)	61.03 (1.93)	17.16 (0.03)	5.04 (0.13)	1.11 (0.06)	1.33 (0.08)
สีทองเบา/P Sitong Bow/P (TI-STB/P)	9.44 (0.40)	60.46 (1.42)	19.70 (0.05)	4.18 (0.02)	0.49 (0.05)	1.57 (0.08)
สีทองหนัก/P Sitong Nak/P (TI-STN/P)	9.23 (0.16)	54.13 (1.54)	19.40 (0.04)	7.89 (0.05)	1.34 (0.05)	1.48 (0.17)
เปรี้ยว/K Prew/K (TI-P/K)	8.72 (0.13)	49.87 (1.90)	18.12 (0.04)	5.22 (0.03)	0.95 (0.00)	1.41 (0.03)
ศรีชมภู/K Sri Chompu/K (TI-SP/K)	8.97 (0.15)	54.29 (1.26)	16.11 (0.03)	5.35 (0.03)	1.14 (0.01)	1.48 (0.04)
สีทองหนัก/K Sitong Nak/K (TI-STN/K)	9.27 (0.11)	45.88 (0.73)	19.93 (0.05)	4.13 (0.10)	1.13 (0.06)	1.52 (0.01)

ตารางที่ 5 ปริมาณแร่ธาตุในเมล็ดมะขาม (kernel) จังหวัดเพชรบูรณ์ แสดงค่า means (SD)

Tamarind seed kernel	Total minerals										
	Total weight mg/100g (SD)						ppm (SD)				
	K	Mg	Ca	P	Fe	Na	Cu	Mn	Zn	Si	Pb
เปรี้ยวยักษ์ Prew Yak (TI-PY/P)	5.85 (0.03)	1.52 (0.01)	1.18 (0.01)	3.27 (0.05)	1.43 (0.02)	0.30 (0.02)	0.43 (0.01)	0.21 (0.00)	0.49 (0.01)	0.22 (0.01)	none
จันทิ Kanti (TI-K/P)	6.32 (0.03)	1.82 (0.04)	1.48 (0.02)	4.22 (0.08)	0.87 (0.01)	0.31 (0.04)	0.41 (0.01)	0.26 (0.01)	0.68 (0.01)	0.30 (0.01)	none
ศรีชมพู Sri Chompu (TI-SP/P)	7.54 (0.09)	2.21 (0.02)	2.35 (0.03)	4.67 (0.03)	1.48 (0.01)	0.24 (0.03)	0.40 (0.00)	0.41 (0.01)	0.61 (0.01)	0.22 (0.01)	none
สีทองเภา Sitong Bow (TI-STB/P)	8.40 (0.04)	2.48 (0.02)	2.02 (0.02)	5.48 (0.09)	0.76 (0.01)	0.39 (0.09)	0.42 (0.01)	0.31 (0.00)	0.72 (0.01)	0.32 (0.01)	none
สีทองหนัก Sitong Nak (TI-STN/P)	8.36 (0.06)	2.42 (0.01)	2.75 (0.03)	5.42 (0.07)	1.64 (0.02)	0.31 (0.06)	0.45 (0.01)	0.51 (0.01)	0.80 (0.02)	0.46 (0.01)	none

ผลของน้ำหนักของส่วนต่างๆ ของข้าวแต่ละสายพันธุ์ แสดงไว้ในตารางที่ 6 เมื่อนำข้าวมา สกัดได้ส่วนของข้าวสาร ปลายข้าวและรำข้าว ข้าวทุกสายพันธุ์จะให้ข้าวสาร 50-60% ยกเว้น ข้าว พันธุ์ปทุมธานี 1 ให้ข้าวสารค่อนข้างต่ำ คือได้เพียง 36% และให้ปลายข้าวสูงถึง 43% ขณะที่สาย พันธุ์อื่นๆ ให้ปลายข้าว 25-33% มีน้ำหนักรำข้าวของแต่ละส่วนไม่ต่างกัน มีประมาณ 14-21% (ตารางที่ 6) องค์ประกอบสารอาหารในข้าวและรำข้าว แสดงไว้ในตารางที่ 7-11 องค์ประกอบ สารอาหารในข้าวไทยในตารางที่ 7 พบว่าข้าวสารมีความชื้นประมาณ 10-17% โดยส่วนใหญ่จะชื้น ประมาณ 10% ส่วนพันธุ์ชัยนาท และสุพรรณบุรี 90 มีความชื้นค่อนข้างสูงกว่าพันธุ์อื่นๆ ข้าวมี ปริมาณคาร์โบไฮเดรตสูงถึง 73-82% มีปริมาณโปรตีน 6-8% มีไขมันและไฟเบอร์ต่ำ มีเถ้าประมาณ 1% ส่วนประกอบของแร่ธาตุในข้าว ดังแสดงในตารางที่ 8 พบมีแคลเซียม ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม โซเดียม แมกนีเซียม เหล็ก ซิลิกอน ในปริมาณสูงกว่า สังกะสี ทองแดง และ แมงกานีสในปริมาณต่ำ ในรำข้าวมีองค์ประกอบของสารอาหารต่างๆ ที่น่าสนใจดังแสดงไว้ใน ตารางที่ 9 รำข้าวมีความชื้น 9-10% มีคาร์โบไฮเดรต 39-45% มีปริมาณโปรตีนสูงกว่าข้าวสาร ในรำข้าวพบมี 10.6-11.9% และมีลิกนินสูงถึง 16.6-22.4% มีไฟเบอร์สูง 6-11% ปริมาณเถ้าสูง 7.8-11% ในตารางที่ 10 แสดงให้เห็นว่ารำข้าวมีเกลือต่างๆ สูงกว่าในข้าวสาร โดยเฉพาะโพแทสเซียม แมกนีเซียม และฟอสฟอรัส สารอาหารหลักในข้าว คือ คาร์โบไฮเดรต คือมีแบ่งเป็น องค์ประกอบหลัก เมื่อวิเคราะห์ปริมาณคาร์โบไฮเดรตโดยเทียบเป็น %glucose พบมีสูงกว่า 90-100% ส่วนในรำข้าวพบมี 66-88% (ตารางที่ 11)

2. การแยกและวิเคราะห์หาปริมาณของกรดอินทรีย์ในมะขามโดยเทคนิค HPLC

ปริมาณของกรดอินทรีย์ต่างๆ ได้แก่ tartaric acid oxalic acid malic acid citric acid และ fumaric acid แสดงไว้ในตารางที่ 12 พบว่ามะขามสายพันธุ์เปรี้ยว มีปริมาณของ tartaric acid สูงมาก ในปริมาณ 8-17% ส่วนสายพันธุ์หวานพบน้อยกว่า พบปริมาณ 2-3% ส่วนกรดอื่นๆ พบใน ปริมาณที่แตกต่างกัน ทั้งในสายพันธุ์เปรี้ยวและหวาน ความเป็นกรดและความเปรี้ยวในมะขาม อาจ วิเคราะห์ได้จากปริมาณของ tartaric acid สามารถแยกและวิเคราะห์ชนิดของกรดต่างๆ โดยเทคนิค HPLC ดังแสดงในรูป ภาพผนวก (ก) โดยเปรียบกับ standard peak ของกรดอินทรีย์ชนิดต่างๆ

ตารางที่ 6 น้ำหนักส่วนต่างๆ ของข้าว *Oryza sativa* แต่ละสายพันธุ์ (variety)

พันธุ์ข้าวไทย	น้ำหนักข้าว		น้ำหนักปลายข้าว		น้ำหนักรำข้าว	
	(kg)	%	(kg)	%	(kg)	%
ขาวดอกมะลิ 105	4.06	51.20	2.22	27.99	1.65	20.81
กข 6	3.13	53.97	1.47	25.34	1.20	20.69
ชัยนาท 1	4.70	60.18	1.99	25.48	1.12	14.34
ปทุมธานี 1	2.48	35.94	2.96	42.90	1.46	21.16
สุพรรณบุรี 1	3.85	52.31	2.48	33.70	1.03	13.99
สุพรรณบุรี 60	4.22	57.49	2.04	27.79	1.08	14.71
สุพรรณบุรี 90	4.16	55.17	2.07	27.45	1.31	17.37

ตารางที่ 7 ส่วนประกอบของสารอาหารในข้าวไทย 7 สายพันธุ์ แสดงค่า means (SD)

พันธุ์ข้าวไทย	Moisture (%)	Carbohydrate*	Protein (%)	Lipid (%)	Crude Fiber (%)	Ash (%)
ขาวดอกมะลิ 105	10.00 (0.20)	82.33 (0.20)	6.01 (0.00)	0.50 (0.01)	0.46 (0.02)	0.70 (0.06)
กข 6	10.95 (1.63)	79.25 (1.63)	6.93 (0.04)	1.20 (0.00)	0.50 (0.01)	1.17 (0.15)
ชัยนาท 1	16.82 (0.25)	73.01 (0.35)	8.18 (0.04)	0.38 (0.01)	0.44 (0.06)	1.17 (0.35)
ปทุมธานี 1	10.29 (0.34)	80.34 (0.34)	6.42 (0.08)	1.23 (0.00)	0.72 (0.04)	1.00 (0.00)
สุพรรณบุรี 1	10.38 (0.30)	81.15 (0.30)	6.28 (0.04)	0.72 (0.02)	0.46 (0.04)	1.03 (0.25)
สุพรรณบุรี 60	12.19 (0.47)	80.11 (0.47)	5.83 (0.08)	0.61 (0.04)	0.43 (0.00)	0.83 (0.06)
สุพรรณบุรี 90	14.55 (0.32)	75.98 (0.32)	7.23 (0.04)	0.67 (0.01)	0.54 (0.57)	1.03 (0.06)

* % Carbohydrate คำนวณจากปริมาณรวมของ moisture protein lipid fiber และ ash ลบจาก 100%

ตารางที่ 8 ปริมาณแร่ธาตุในข้าวไทย 7 สายพันธุ์ แสดงค่า means (SD)

พันธุ์ข้าวไทย	Total minerals (weight)										
	Total weight mg/g (SD)							ppm (SD) µg/g			
	K	Mg	Ca	P	Fe	Na	Si	Cu	Mn	Zn	Pb
ข้าวดอกมะลิ 105	0.78 (0.03)	0.51 (0.00)	1.43 (0.01)	1.23 (0.02)	0.14 (0.00)	0.77 (0.02)	0.28 (0.01)	20.50 (0.76)	6.20 (0.05)	31.00 (0.26)	<2.5
กข 6	0.78 (0.01)	0.55 (0.01)	1.55 (0.01)	0.91 (0.01)	0.08 (0.00)	0.98 (0.02)	0.29 (0.01)	13.80 (0.40)	12.85 (0.10)	42.00 (0.57)	<2.5
ชัยนาท 1	0.51 (0.02)	0.41 (0.00)	1.42 (0.01)	0.81 (0.01)	0.06 (0.00)	0.79 (0.01)	0.28 (0.01)	21.75 (0.37)	3.65 (0.02)	26.50 (0.42)	<2.5
ปทุมธานี 1	0.75 (0.03)	0.57 (0.01)	1.46 (0.01)	1.39 (0.01)	0.09 (0.00)	0.86 (0.00)	0.28 (0.00)	53.55 (0.42)	7.80 (0.02)	40.00 (0.49)	<2.5
สุพรรณบุรี 1	1.06 (0.03)	0.84 (0.01)	1.55 (0.02)	2.38 (0.03)	0.17 (0.00)	0.89 (0.02)	0.29 (0.00)	45.10 (0.96)	11.40 (0.05)	51.50 (0.60)	<2.5
สุพรรณบุรี 60	1.07 (0.01)	0.84 (0.01)	1.45 (0.01)	2.45 (0.04)	0.21 (0.00)	1.77 (0.01)	0.29 (0.01)	35.85 (0.58)	10.95 (0.15)	75.50 (1.27)	<2.5
สุพรรณบุรี 90	1.01 (0.03)	0.75 (0.01)	1.48 (0.02)	2.38 (0.02)	0.13 (0.00)	0.96 (0.02)	0.29 (0.00)	34.85 (0.61)	9.90 (0.10)	50.00 (0.28)	<2.5

ตารางที่ 9 ส่วนประกอบของสารอาหารในรำข้าวไทย 7 สายพันธุ์ แสดงค่า means (SD)

พันธุ์ข้าวไทย	Moisture (%)	Carbohydrate* (%)	Protein (%)	Lipid (%)	Crude Fiber (%)	Ash (%)
ขาวดอกมะลิ 105	9.89 (0.11)	43.76 (0.74)	10.92 (0.04)	20.76 (0.32)	6.41 (0.01)	8.26 (0.74)
กข 6	9.42 (0.01)	41.39 (0.35)	11.48 (0.00)	16.64 (0.00)	11.24 (0.24)	9.83 (0.35)
ชัยนาท 1	9.54 (0.13)	39.96 (0.35)	11.57 (0.04)	18.05 (0.04)	9.55 (0.24)	11.33 (0.35)
ปทุมธานี 1	8.84 (0.16)	38.57 (0.56)	11.42 (0.00)	22.43 (0.01)	10.24 (0.22)	8.50 (0.56)
สุพรรณบุรี 1	9.63 (0.23)	43.04 (0.28)	11.93 (0.04)	18.84 (0.02)	8.81 (0.28)	7.75 (0.05)
สุพรรณบุรี 60	9.91 (0.10)	45.47 (0.76)	10.62 (0.04)	16.58 (0.08)	7.89 (0.18)	9.53 (0.76)
สุพรรณบุรี 90	9.71 (0.14)	41.49 (0.62)	11.69 (0.04)	19.67 (0.01)	8.84 (0.29)	8.60 (0.62)

* % Carbohydrate คำนวณจากปริมาณรวมของ moisture protein lipid fiber และ ash ลบจาก 100%

ตารางที่ 10 ปริมาณแร่ธาตุในรำข้าวไทย 7 สายพันธุ์ แสดงค่า means (SD)

พันธุ์ข้าวไทย	Total minerals (weight)											ppm
	Total weight mg/g (SD)											
	K	Mg	Ca	P	Fe	Na	Cu	Mn	Zn	Si	Pb	
ขาวดอกมะลิ 105	16.80	9.4	1.63	20.10	0.64	0.97	0.02	0.07	0.06	0.28	<2.5	
	(0.29)	(0.10)	(0.01)	(0.29)	(0.01)	(0.03)	(0.00)	(0.00)	(0.00)	(0.00)		
กข 6	11.05	5.66	1.79	13.25	0.28	0.90	0.01	0.13	0.06	0.30	<2.5	
	(0.21)	(0.06)	(0.01)	(0.18)	(0.00)	(0.01)	(0.00)	(0.00)	(0.00)	(0.00)		
ชัยนาท 1	16.95	11.40	1.88	21.40	0.35	1.24	0.01	0.14	0.08	0.29	<2.5	
	(0.37)	(0.08)	(0.00)	(0.13)	(0.01)	(0.02)	(0.00)	(0.00)	(0.00)	(0.00)		
ปทุมธานี 1	16.25	9.50	1.85	18.50	0.42	0.91	0.02	0.06	0.08	0.28	<2.5	
	(0.35)	(0.10)	(0.03)	(0.41)	(0.01)	(0.02)	(0.00)	(0.00)	(0.00)	(0.00)		
สุพรรณบุรี 1	15.65	9.20	1.81	18.45	0.39	0.88	0.01	0.07	0.07	0.28	<2.5	
	(0.11)	(0.14)	(0.02)	(0.19)	(0.01)	(0.02)	(0.00)	(0.00)	(0.00)	(0.00)		
สุพรรณบุรี 60	17.80	10.50	1.66	20.60	0.72	1.28	0.02	0.07	0.06	0.29	<2.5	
	(0.28)	(0.13)	(0.02)	(0.23)	(0.02)	(0.02)	(0.00)	(0.00)	(0.00)	(0.00)		
สุพรรณบุรี 90	14.80	9.15	1.67	18.20	0.59	1.24	0.02	0.06	0.08	0.29	<2.5	
	(0.35)	(0.11)	(0.01)	(0.32)	(0.01)	(0.01)	(0.00)	(0.00)	(0.00)	(0.00)		

ตารางที่ 11 ปริมาณคาร์โบไฮเดรตในข้าวและรำข้าวจากการวิเคราะห์โดยวิธี Anthrone test แสดงค่า mean : (SD)

พันธุ์ข้าวไทย	ปริมาณ Carbohydrate (% glucose)	
	ข้าวสาร	รำข้าว
ขาวดอกมะลิ 105	103.00 (3.00)	84.68 (2.40)
กข 6	105.00 (11.00)	76.45 (4.85)
ชัยนาท 1	95.00 (2.00)	77.36 (0.00)
ปทุมธานี 1	103.00 (3.00)	72.58 (3.57)
สุพรรณบุรี 1	111.00 (6.00)	66.22 (1.40)
สุพรรณบุรี 60	97.00 (5.00)	88.70 (5.48)
สุพรรณบุรี 90	92.00 (11.00)	74.31 (1.30)

ตารางที่ 12 องค์ประกอบกรดอินทรีย์ในเนื้อมะขาม จากจังหวัดเพชรบูรณ์ (P) และจังหวัด
นครราชสีมา (โคราช, K) ด้วยวิธี HPLC

Tamarind cultivars	Organic acid, means (SD)					
	mg/100g					
	Oxalic acid	Tartaric acid	Succinic acid	Fumaric acid	L-malic acid	Citric acid
เปรี้ยวยักษ์ Prew Yak (TI-PY/P)	95.781 (2.854)	17,301.310 (281.46)	-	1.337 (0.019)	615.938 (18.668)	231.000 (23.71)
จันทิ Kanti (TI-K/P)	100.854 (0.825)	2,785.641 (0.219)	217.191 (2.093)	2.215 (0.057)	971.124 (4.027)	87.261 (0.517)
ศรีชมภู Sri Chompu (TI-SP/P)	127.518 (8.565)	2,173.550 (87.365)	17.895 (3.111)	0.919 (0.024)	1,340.118 (76.407)	60.917 (1.009)
สีทองเบา Sitong Bow (TI-STB/P)	192.424 (0.128)	2,245.743 (47.406)	275.483 (8.695)	4.180 (0.062)	2,457.860 (7.148)	280.148 (6.500)
สีทองหนัก Sitong Nak (TI-STN/P)	163.773 (2.856)	2,309.131 (52.674)	204.422 (8.259)	4.430 (0.175)	1,786.720 (2.022)	238.996 (4.044)
เปรี้ยว Prew (TI-P/K)	92.667 (0.445)	8,993.523 (57.778)	160.850 (4.338)	0.421 (0.002)	575.997 (1.799)	52.208 (0.703)
ศรีชมภู Sri Chompu (TI-SP/K)	119.009 (1.042)	2,402.317 (1.992)	205.433 (7.613)	1.130 (0.017)	1,141.025 (1.619)	80.994 (1.077)
สีทองหนัก Sitong Nak (TI-STN/K)	163.231 (3.428)	1,607.168 (34.288)	235.369 (9.136)	3.218 (0.068)	1,696.244 (22.277)	79.362 (3.791)

3. ผลการการประเมินคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของผงแป้งข้าว รำข้าวและแป้งเมล็ด มะขาม

3.1 ลักษณะวิทยา (Morphology)

3.1.1 แป้งข้าวที่เตรียมขึ้นและแป้งข้าวที่มีจำหน่าย

ลักษณะทางกายภาพเบื้องต้นของตัวอย่างแป้งข้าวทั้งเจ็ดสายพันธุ์มีลักษณะเป็นผงละเอียดสีขาวและไม่มีกลิ่น ส่วนแป้งข้าวเจ้าจากท้องตลาดทั้งสองตัวอย่างเป็นผงละเอียดสีขาวอมเหลือง มีกลิ่นของข้าวเล็กน้อย

ภาพถ่ายแป้งข้าวสายพันธุ์ต่างๆและแป้งข้าวที่มีจำหน่ายในท้องตลาดจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) ที่กำลังขยาย 1,000 และ 5,000 เท่าตามลำดับ และแรงดันไฟฟ้า 15 กิโลโวลต์ แสดงดังรูปที่ 1-3 จากภาพจะเห็นได้ว่าอนุภาคแป้งข้าวทั้งเจ็ดสายพันธุ์ที่ผ่านการแรงมาแล้วมีขนาดที่ใกล้เคียงกัน ประมาณ 2- 5 ไมครอน รูปร่างไม่สม่ำเสมอ มีลักษณะหลายเหลี่ยม เกาะกันเป็นกลุ่ม เนื่องจากมีขนาดเล็กมาก

3.1.2 รำข้าว

รำข้าวของข้าวทั้งเจ็ดสายพันธุ์มีลักษณะเป็นผงละเอียดสีน้ำตาลอ่อน มีกลิ่นเฉพาะของรำข้าว แต่มีความเข้มของสีของรำข้าวที่ต่างกัน โดยรำข้าวสายพันธุ์ข้าวหอมดอกมะลิ 105 และสุพรรณบุรี 1 มีสีน้ำตาลอมเหลือง และสายพันธุ์สุพรรณบุรี 1 ยังมีสีอ่อนกว่ารำข้าวอื่นๆสายพันธุ์ รำข้าวสายพันธุ์ปทุมธานี 1 มีสีน้ำตาลอมเขียว และรำข้าวอีกสี่สายพันธุ์คือสุพรรณบุรี 60 ชัยนาท 1 สุพรรณบุรี 90 และ กข 6 มีสีน้ำตาลอมแดง

ภาพถ่ายรำข้าวสายพันธุ์ต่างๆจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) ที่กำลังขยาย 75 และ 1,000 เท่าตามลำดับ และแรงดันไฟฟ้า 15 กิโลโวลต์ แสดงดังรูปที่ 4-6 จากภาพจะเห็นได้ว่ารำข้าวทั้งเจ็ดสายพันธุ์มีลักษณะรูปร่างคล้ายคลึงกัน โดยมีขนาดที่แตกต่างกันไปอยู่ในช่วงประมาณ 1-20 ไมครอน รำข้าวมีรูปร่างไม่สม่ำเสมอ จับกันเป็นก้อนหรือเป็นแผ่น ส่วนใหญ่มีลักษณะเป็นแผ่นที่มีผิวขรุขระ และที่กำลังขยาย 1,000 เท่าจะเห็นว่าผิวของอนุภาคใหญ่จะมีอนุภาคขนาดเล็กเกาะอยู่นอกจากนี้ยังมีอนุภาคบางส่วนที่เชื่อมกัน ซึ่งคาดว่าเชื่อมกันด้วยไขมันหุ้ม

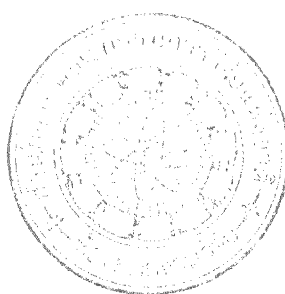
3.1.3 แป้งเมล็ดมะขาม

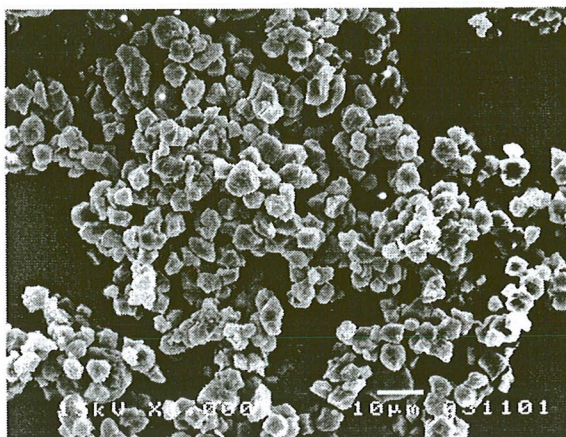
แป้งเมล็ดมะขามหรือเนื้อเมล็ดมะขามทั้งแปดสายพันธุ์เป็นผงละเอียดสีเหลืองอ่อน ไม่มีกลิ่น แต่มีความเข้มข้นของสีต่างกันคือ สายพันธุ์สีทองหนัก-เพชรบูรณ์และสีทองหนัก-โคราชมีสีเหลืองอ่อนที่สุด ถัดมาเป็นสายพันธุ์เปรี้ยวยักษ์-เพชรบูรณ์และศรีชมภู-โคราชมีสีเหลืองอ่อน สายพันธุ์ศรีชมภู-เพชรบูรณ์ จันดี-เพชรบูรณ์และเปรี้ยว-โคราชมีสีเหลืองอมแดง ส่วนสายพันธุ์สีทองเบา-เพชรบูรณ์มีสีเหลืองอมเขียว

ภาพถ่ายแป้งเมล็ดมะขามสายพันธุ์ต่างๆจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) ที่กำลังขยาย 1,000 และ 3,500 เท่าตามลำดับ และแรงดันไฟฟ้า 15 กิโลโวลต์ แสดงดังรูปที่ 7-9 จากภาพจะเห็นได้ว่าแป้งเมล็ดมะขามทั้งแปดสายพันธุ์มีลักษณะเป็นอนุภาคขนาดใหญ่ที่มีรูปร่างไม่สม่ำเสมอมีผิวขรุขระและมีอนุภาคขนาดเล็ก ที่มีขนาดประมาณ 3-5 ไมครอนเกาะบนอนุภาคขนาดใหญ่

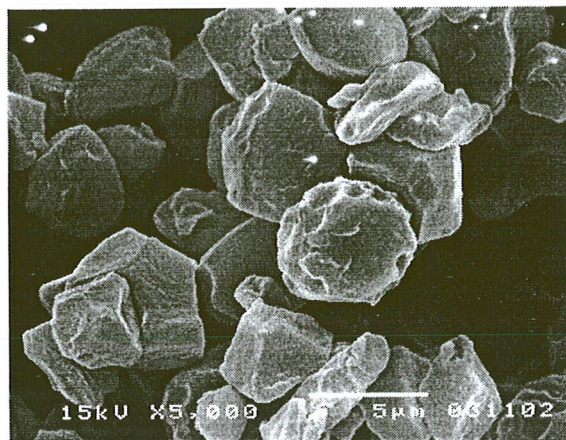
3.1.4 การเปรียบเทียบ

จากการสังเกตด้วยตาเปล่าสามารถแยกแยะความแตกต่างของตัวอย่างแป้งข้าว รำข้าวและแป้งเมล็ดมะขามได้จากลักษณะและสีที่แตกต่างกัน รำข้าวจะมีขนาดอนุภาคที่ใหญ่และหยาบที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับแป้งข้าวและแป้งเมล็ดมะขาม ซึ่งสอดคล้องกับผลที่ได้จากการส่องกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

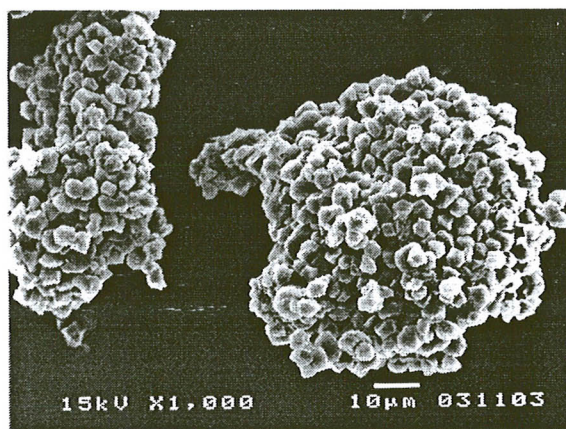




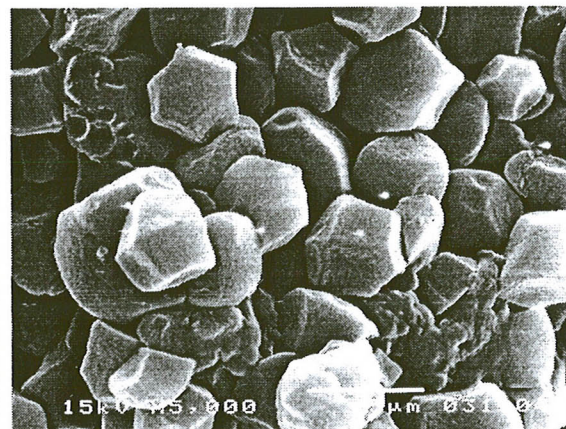
(a)



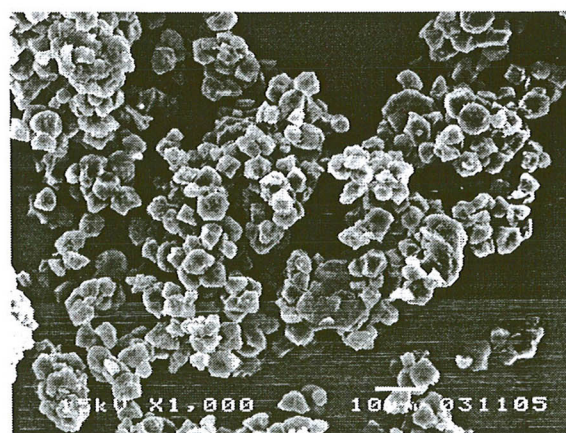
(b)



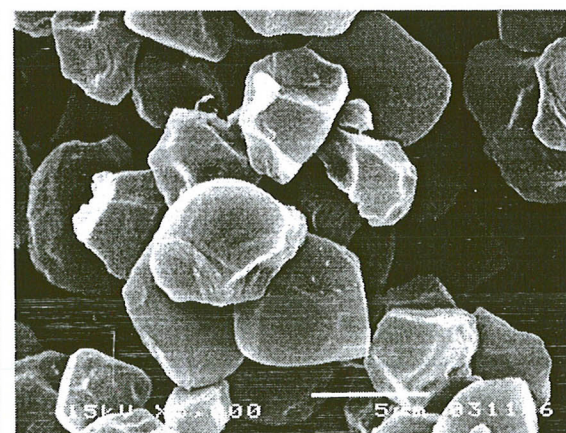
(c)



(d)

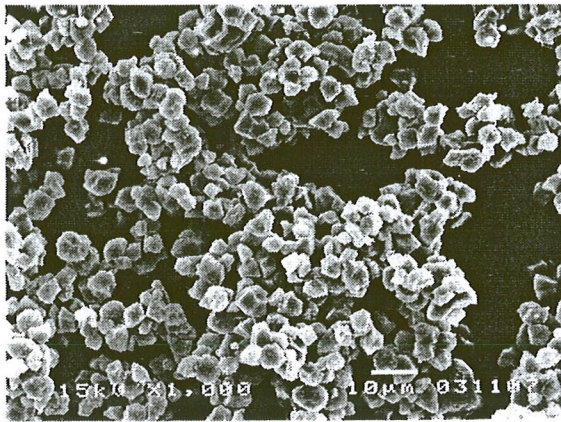


(e)

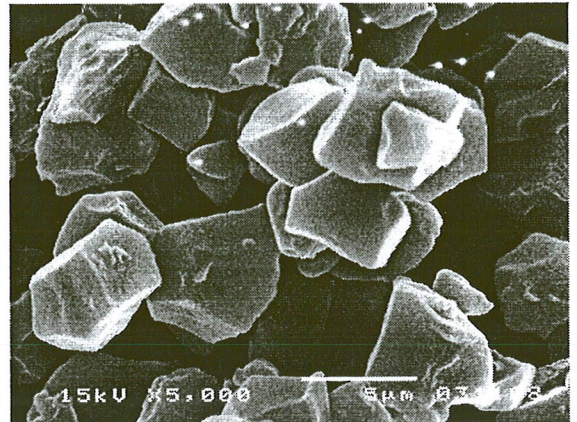


(f)

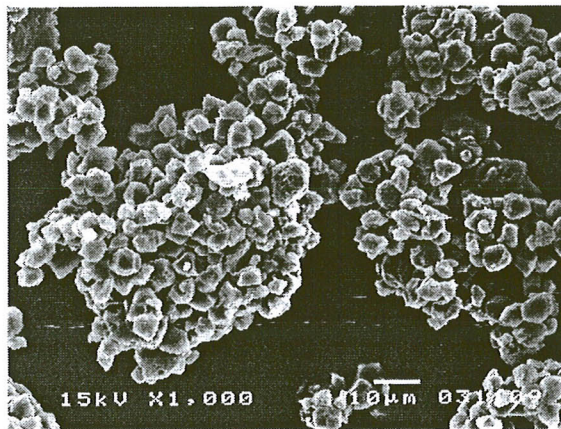
รูปที่ 1 SEM chromatogram ของแป้งข้าวสาลีพันธุ์ หอมดอกมะลิ105 (a,b), ปทุมธานี 1(c,d) และ สุพรรณบุรี60 (e,f) ที่กำลังขยาย 1,000 และ 5,000 เท่า ตามลำดับ



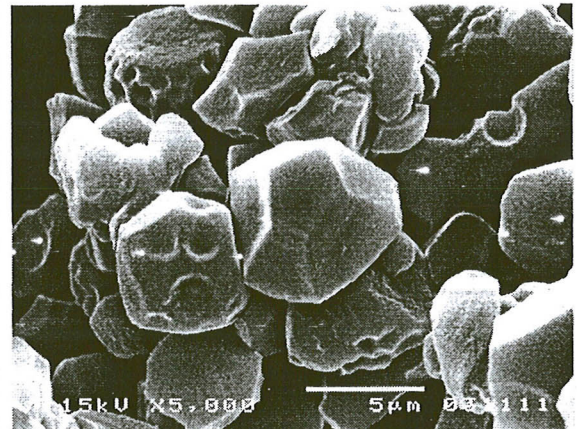
(a)



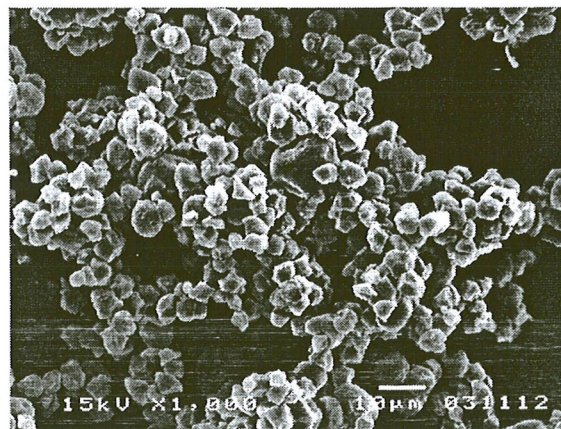
(b)



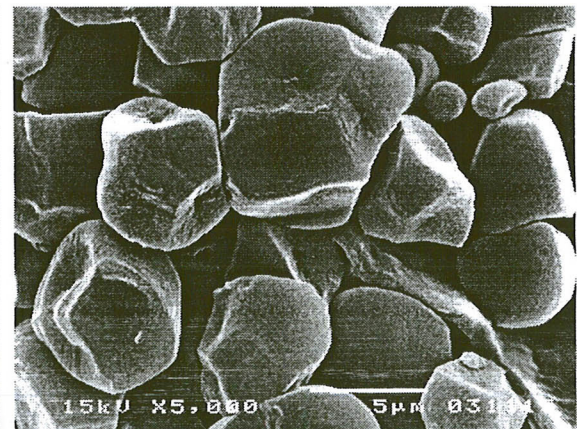
(c)



(d)

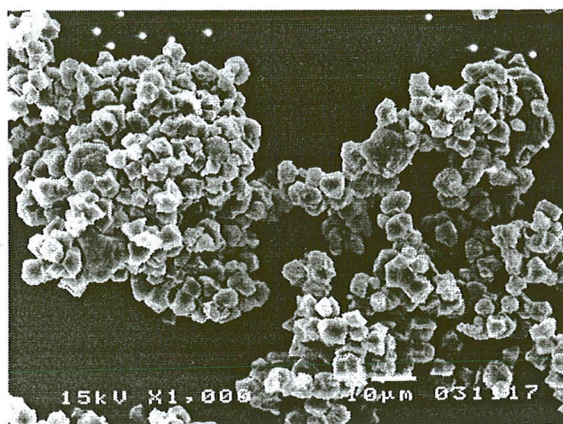


(e)

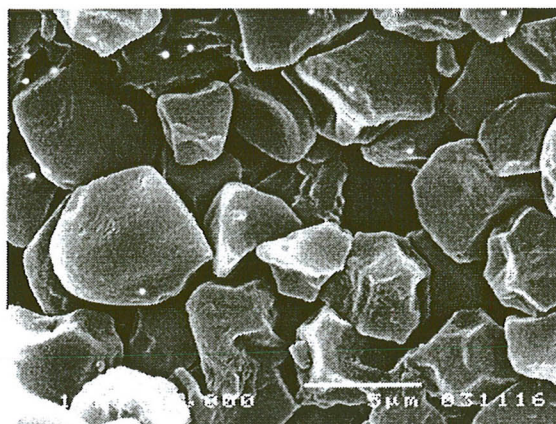


(f)

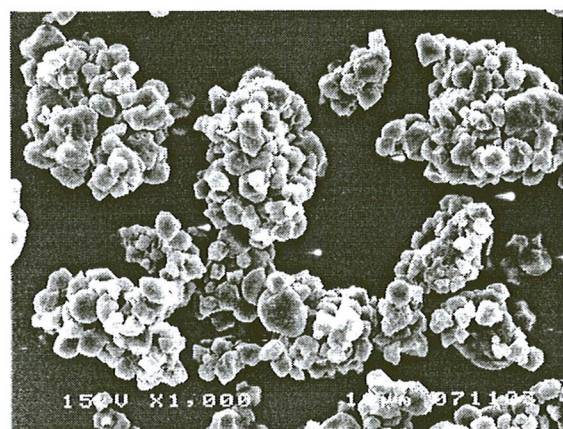
รูปที่ 2 SEM chromatogram ของแป้งข้าวสาลีพันธุ์ชัยนาท 1(a,b), สุปรรณบุรี 1 (c,d) และ สุปรรณบุรี 90 (e,f) ที่กำลังขยาย 1,000 และ 5,000 เท่า ตามลำดับ



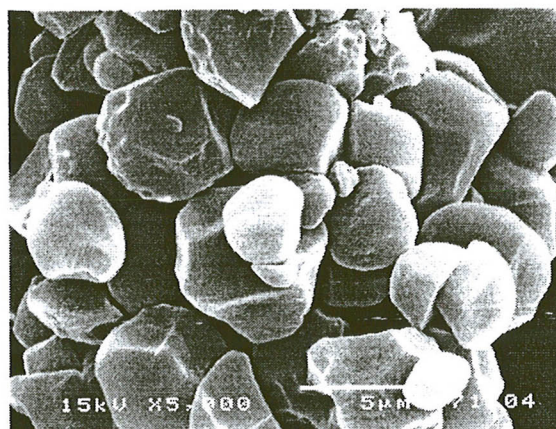
(a)



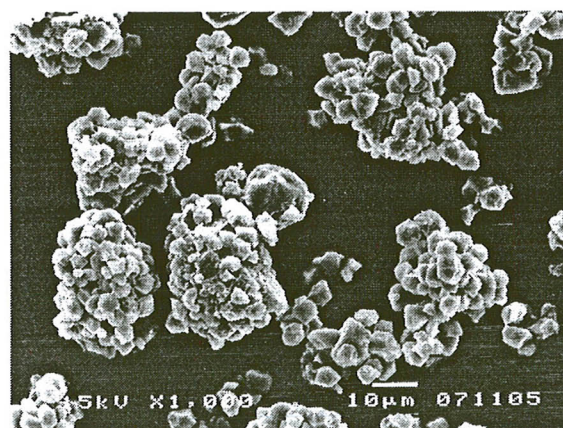
(b)



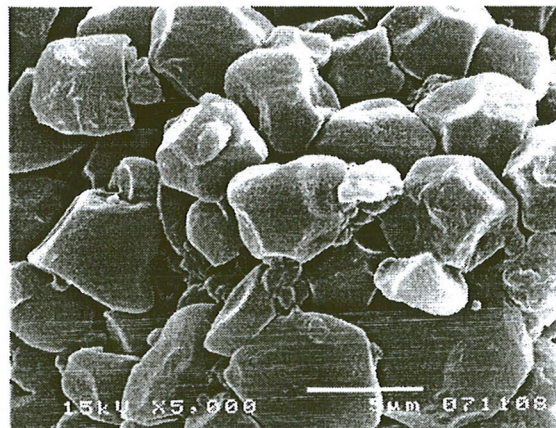
(c)



(d)

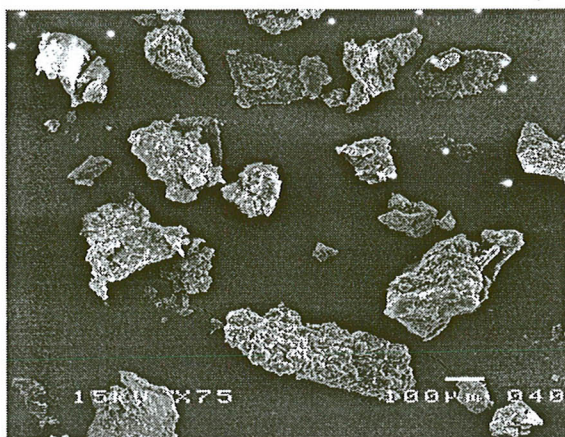


(e)

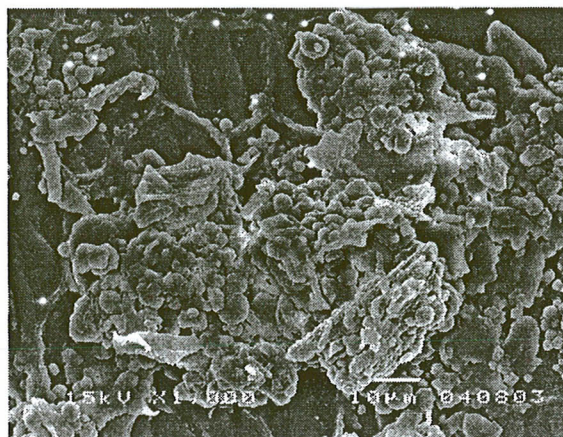


(f)

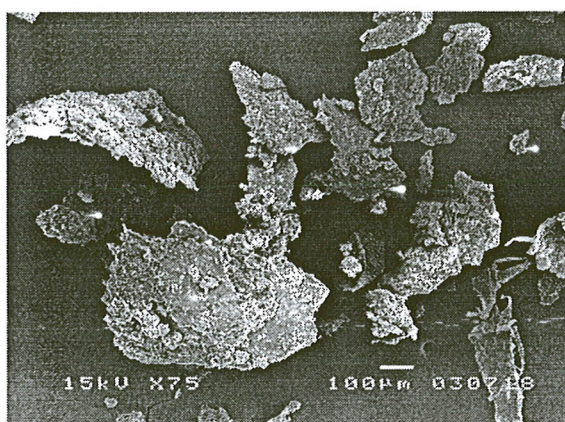
รูปที่ 3 SEM chromatogram ของแป้งข้าวสาลีพันธุ์ กข6 (a,b) และแป้งข้าวตัวอย่างที่มีจำหน่ายในท้องตลาด Starch A (c,d) และ Starch B (e,f) ที่กำลังขยาย 1,000 และ 5,000 เท่า ตามลำดับ



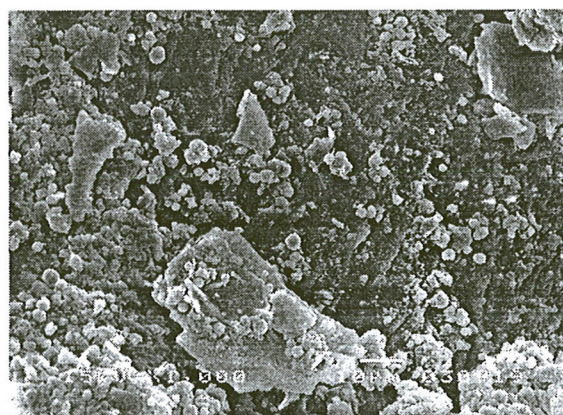
(a)



(b)



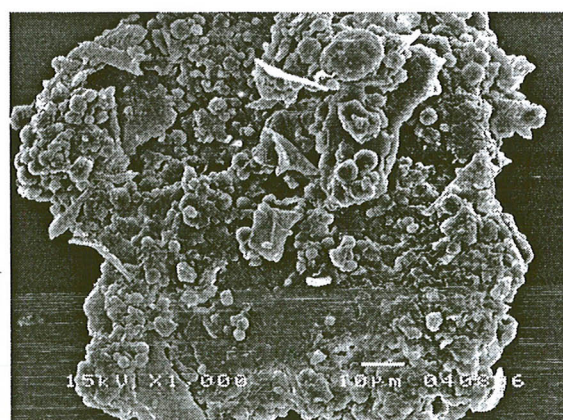
(c)



(d)

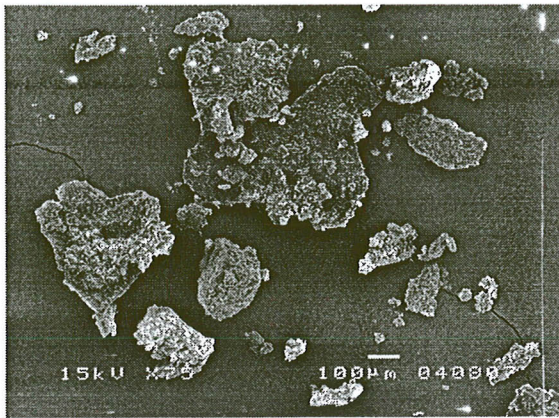


(e)

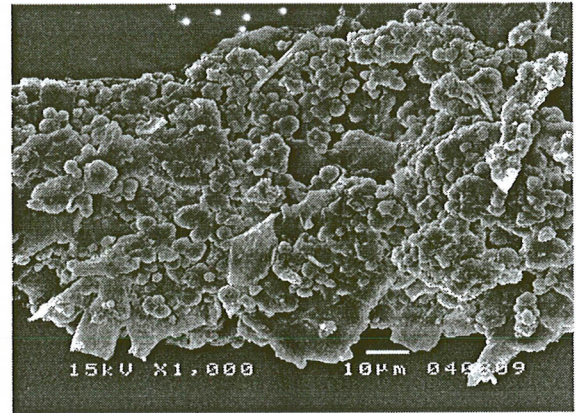


(f)

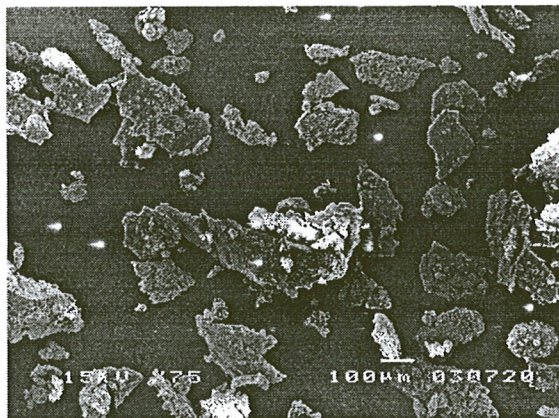
รูปที่ 4 SEM chromatogram ของรำข้าวสายพันธุ์หอมดอกมะลิ105 (a,b), ปทุมธานี 1(c,d) และ สุพรรณบุรี60 (e,f) ที่กำลังขยาย 75 และ1,000 เท่า ตามลำดับ



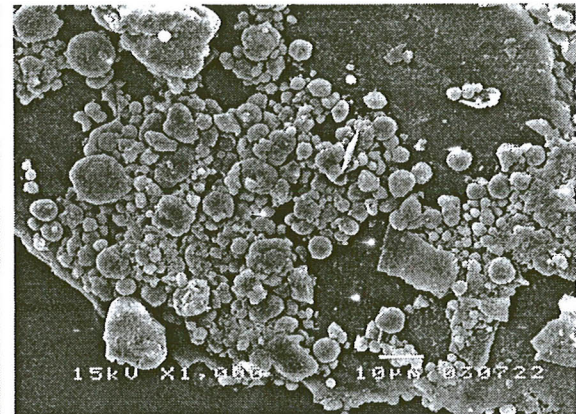
(a)



(b)



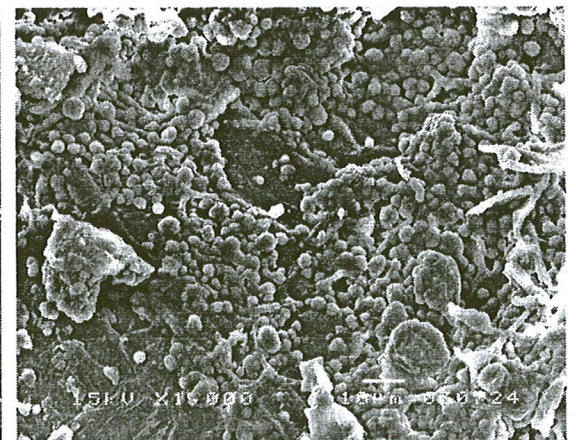
(c)



(d)

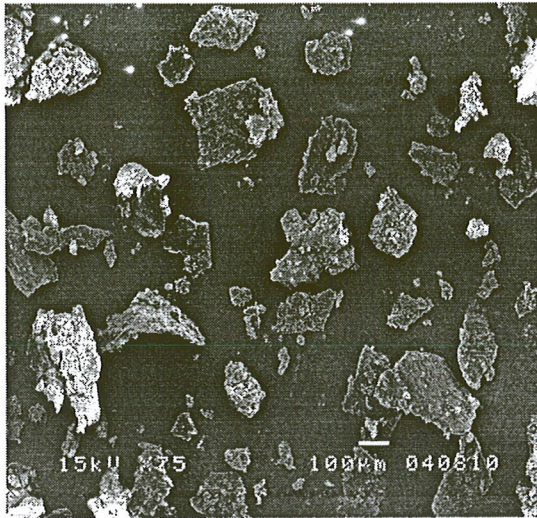


(e)

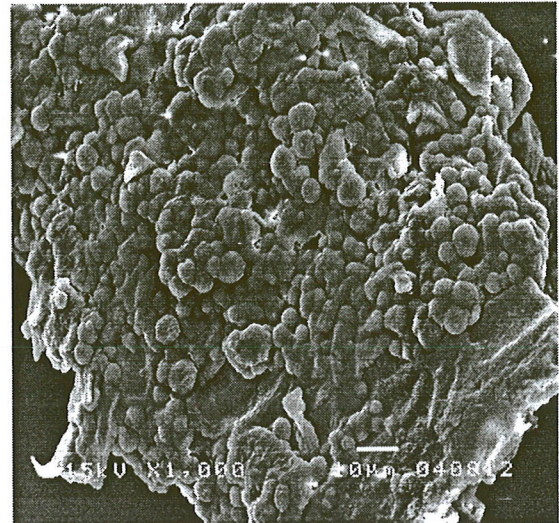


(f)

รูปที่ 5 SEM chromatogram ของรำข้าวสายพันธุ์ชัยนาท 1 (a,b), สุพรรณบุรี 1 (c,d) และสุพรรณบุรี 90 (e,f) ที่กำลังขยาย 75 และ 1,000 เท่า ตามลำดับ

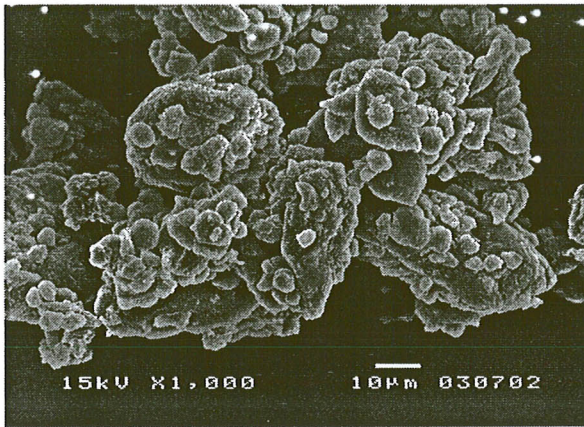


(a)

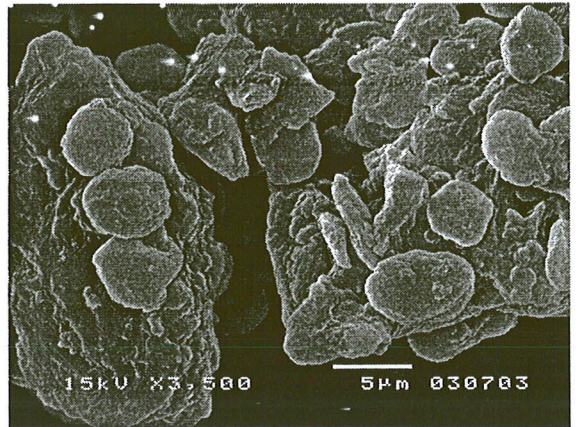


(b)

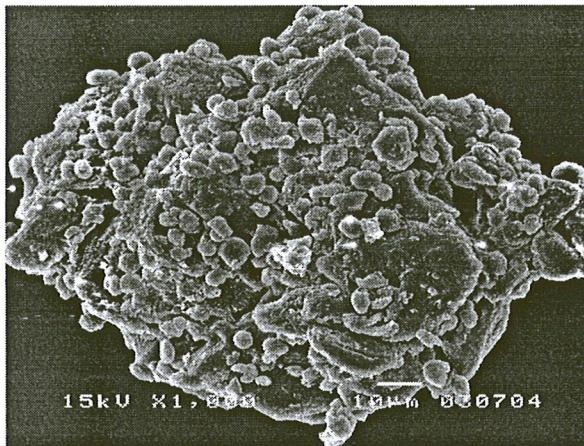
รูปที่ 6 SEM chromatogram ของรำข้าวสายพันธุ์ กข 6 (a,b) ที่กำลังขยาย 75 และ 1,000 เท่าตามลำดับ



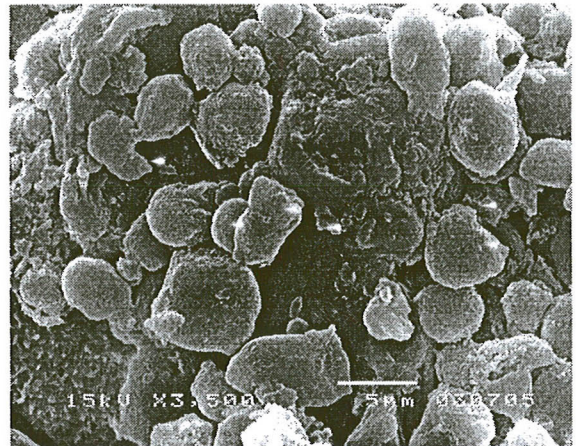
(a)



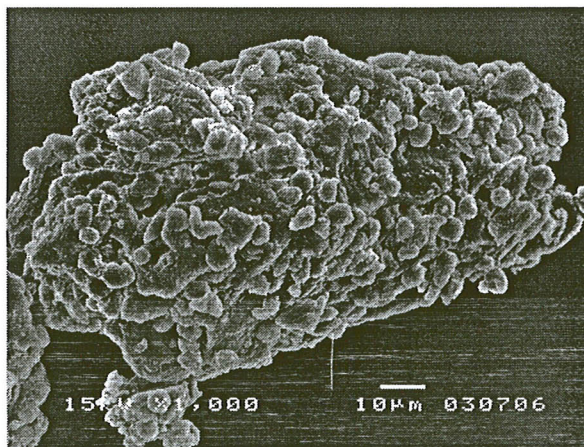
(b)



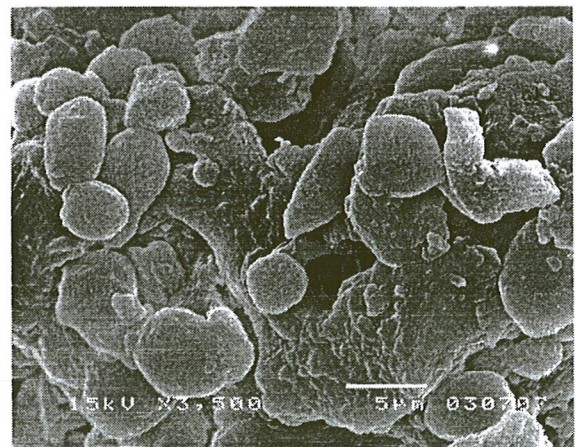
(c)



(d)

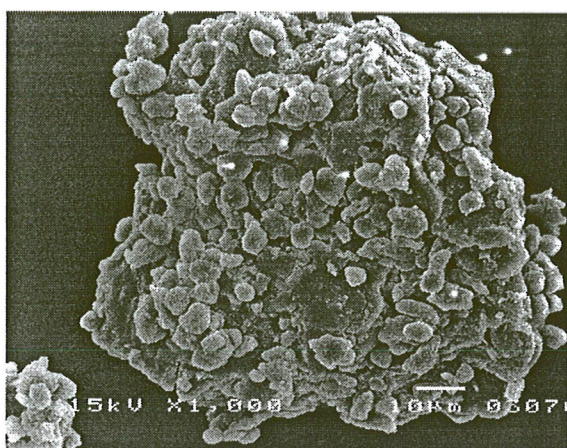


(e)

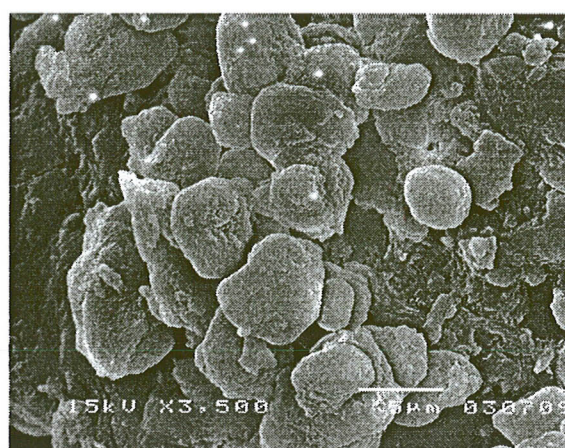


(f)

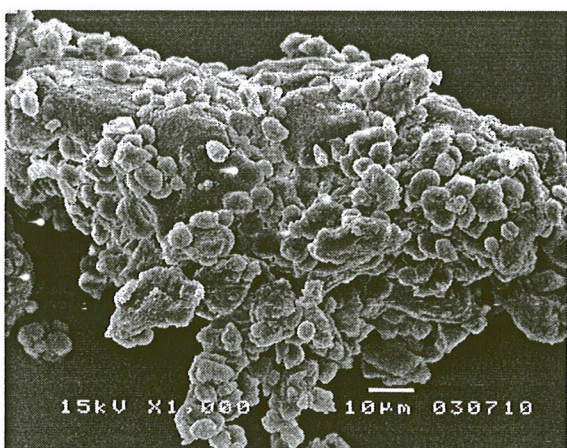
รูปที่ 7 SEM chromatogram ของแป้งเมล็ดมะขามสายพันธุ์เปรี้ยวยักษ์-เพชรบูรณ์ (a,b), ศรีชมพู-เพชรบูรณ์ (c,d) และขันตี-เพชรบูรณ์ (e,f) ที่กำลังขยาย 1,000 และ 3,500 เท่า ตามลำดับ



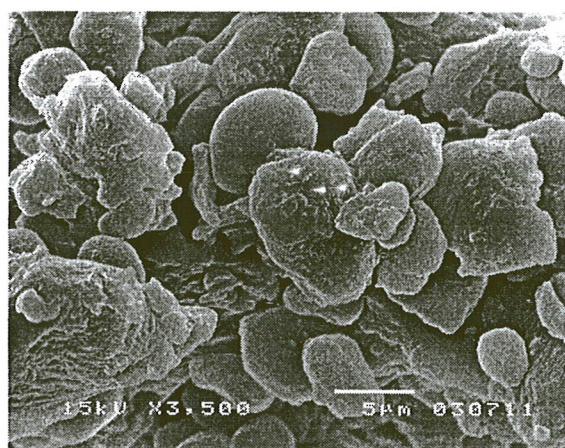
(a)



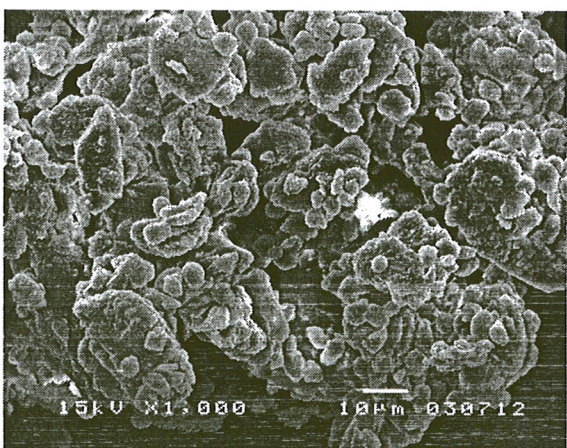
(b)



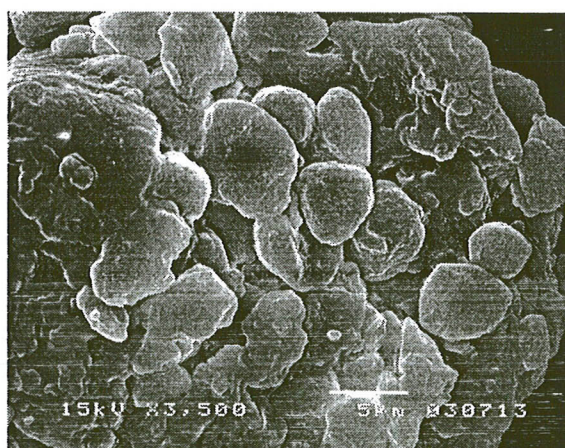
(c)



(d)

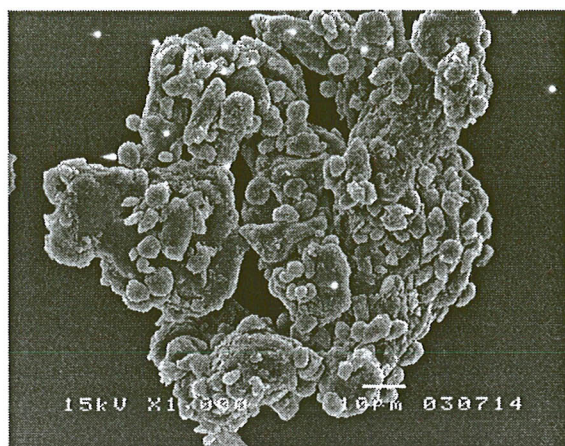


(e)

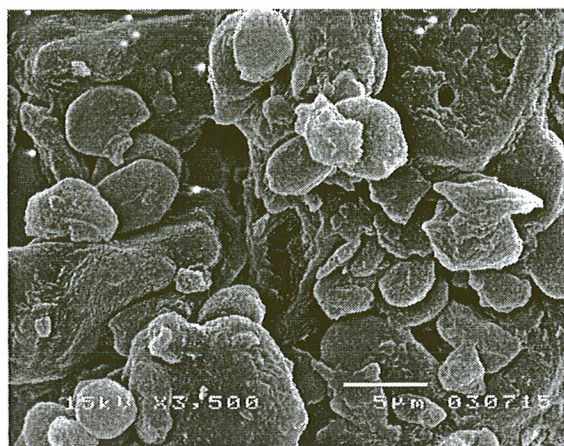


(f)

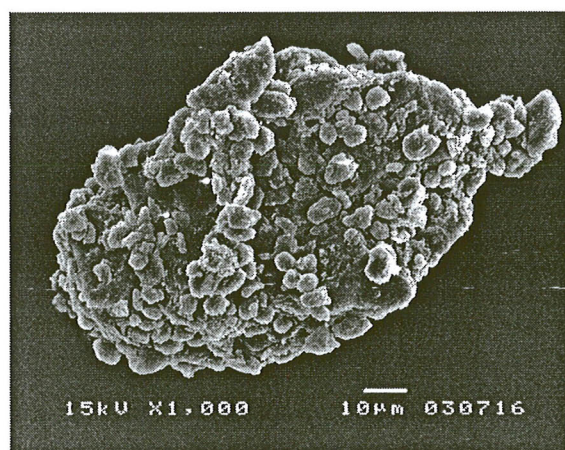
รูปที่ 8 SEM chromatogram ของแป้งเมล็ดมะขามสายพันธุ์สีทองหนัก-เพชรบูรณ์ (a,b), สีทองเบา-เพชรบูรณ์ (c,d) และเปรี้ยว-โคราช (e,f) ที่กำลังขยาย 1,000 และ 3,500 เท่า ตามลำดับ



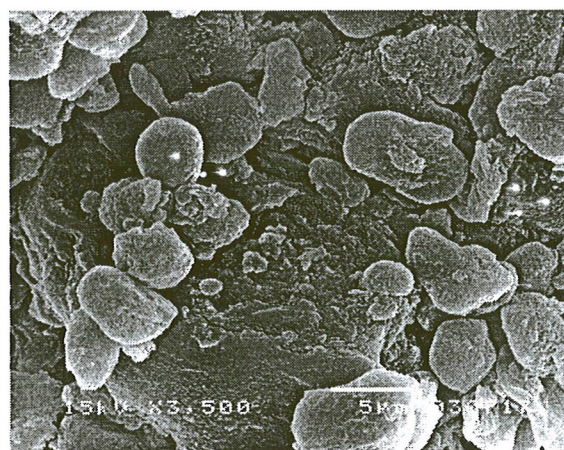
(a)



(b)



(c)



(d)

รูปที่ 9 SEM chromatogram ของแป้งเมล็ดมะขามสายพันธุ์สีทองหนัก-โคราช (a,b) และ ศรีชมพู่-โคราช (c,d) ที่กำลังขยาย 1,000 และ 3,500 เท่า ตามลำดับ

3.2 การกระจายขนาดอนุภาค (Particle size distribution)

3.2.1 แป้งข้าวที่เตรียมขึ้นและแป้งข้าวที่มีจำหน่าย

เมื่อนำตัวอย่างแป้งข้าวไปทดสอบหาขนาดอนุภาคด้วยเทคนิค Laser light scattering ลักษณะการกระจายขนาดของอนุภาคที่ได้ไม่ใช่การกระจายปกติ (Normal distribution) และมีการกระจายแบบไม่สมมาตรกัน (Asymmetry) จึงทำให้ค่าขนาดอนุภาคเฉลี่ยโดยปริมาตร (Volume mean diameter, D (เสาวรศ, 2537; Luangwitchajaroen, 2007)) และค่ามัธยฐาน (Mass median diameter, $D(v,0.5)$) ที่ได้ในแต่ละสายพันธุ์แตกต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 13 โดยค่าเฉลี่ยของขนาดอนุภาคแป้งข้าวทั้งเจ็ดสายพันธุ์อยู่ในช่วง 55-102 ไมครอน โดยทั่วไปแป้งข้าวทั้งเจ็ดสายพันธุ์มีการกระจายขนาดค่อนข้างกว้าง โดยสายพันธุ์ กข 6 ซึ่งเป็นแป้งข้าวเหนียว มีขนาดอนุภาคเฉลี่ยและค่ามัธยฐานมากที่สุด ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากอนุภาคแป้งที่เกาะกันเป็นกลุ่มและไม่สามารถกระจายออกจากกันในระหว่างการวัด แม้จะใช้ sonicator ช่วยกระจายอนุภาคก่อนการวัดแล้วก็ตาม ส่วนสายพันธุ์ข้าวเจ้าหอมดอกมะลิ 105 ขนาดอนุภาคเฉลี่ยมีค่าน้อยที่สุด ค่าที่วัดได้มีขนาดใหญ่กว่าที่เห็นจากภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด แต่จากภาพถ่ายนั้นการเปรียบเทียบขนาดค่อนข้างยาก เพราะมีความแตกต่างกันไม่ชัดเจนนัก

สำหรับแป้งข้าวเจ้าจากท้องตลาดลักษณะการกระจายขนาดของอนุภาคที่ได้ไม่ใช่การกระจายปกติเช่นเดียวกัน ค่าขนาดอนุภาคเฉลี่ยของ Starch A และ Starch B เท่ากับ 39.02 และ 36.56 ไมครอนตามลำดับ ส่วนค่ามัธยฐานเท่ากับ 25.80 และ 23.95 ไมครอนตามลำดับ ซึ่งค่าเฉลี่ยขนาดอนุภาคที่ได้จากทั้งสองตัวอย่างมีค่าใกล้เคียงกับที่สังเกตจากภาพถ่ายจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด แต่ค่าที่ได้ไม่ใกล้เคียงกับตัวอย่างแป้งข้าวเจ้าทั้งหกสายพันธุ์ จึงไม่สามารถระบุได้ว่าแป้งข้าวเจ้าที่ซื้อจากท้องตลาดเป็นสายพันธุ์ใดหรือเป็นไปได้ว่าอาจมีการผสมของแป้งข้าวเจ้าหลายสายพันธุ์

3.2.2 รำข้าว

การศึกษาการกระจายขนาดอนุภาครำข้าวโดยเทคนิค Laser light scattering พบว่าลักษณะการกระจายขนาดอนุภาคไม่ใช่การกระจายแบบปกติ (Normal distribution) มีกราฟการกระจายขนาดเบ้ซ้ายเล็กน้อย ทำให้ค่าขนาดอนุภาคเฉลี่ยโดยปริมาตร (mean, D (เสาวรศ, 2537; Luangwitchajaroen, 2007)) มากกว่าค่ามัธยฐาน (median, $D(v,0.5)$) โดยค่าที่ได้ในแต่ละสายพันธุ์แสดงในตารางที่ 14 โดยค่าเฉลี่ยของขนาดอนุภาครำข้าวทั้งเจ็ดสายพันธุ์อยู่ในช่วง 220-310

ไมครอน รำข้าวสายพันธุ์สุพรรณบุรี1และปทุมธานี1 มีค่าขนาดอนุภาคเฉลี่ยมากและน้อยที่สุดตามลำดับ ซึ่งค่าที่ได้สอดคล้องกับภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

3.2.3 แป้งเมล็ดมะขาม

จากเทคนิค Laser light scattering พบว่า การกระจายขนาดอนุภาคของแป้งเมล็ดมะขามมีการกระจายขนาดอนุภาคไม่ใช่แบบการกระจายปกติ (normal distribution) อนุภาคมีการกระจายขนาดค่อนข้างกว้างทำให้ค่าขนาดอนุภาคเฉลี่ยโดยปริมาตร (mean, D (เสาวรศ, 2537; Luangwitthajaroen, 2007) และค่ามัธยฐาน (median, D (v,0.5)) แตกต่างกันค่อนข้างมาก ดังแสดงในตารางที่ 15 ค่าเฉลี่ยขนาดอนุภาคแป้งเมล็ดมะขามอยู่ในช่วงประมาณ 40-50 ไมครอน โดยสายพันธุ์สีทองเบา-เพชรบูรณ์และศรีชมภู-เพชรบูรณ์มีค่าเฉลี่ยขนาดอนุภาคมากและน้อยที่สุดตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับภาพถ่ายจากกล้องอิเล็กตรอนแบบส่องกราด

3.2.4 การเปรียบเทียบ

การศึกษาการกระจายขนาดอนุภาคด้วยเทคนิค Laser light scattering ของตัวอย่างทั้งสามประเภท พบว่าตัวอย่างทั้งหมดมีการกระจายอนุภาคที่ไม่ใช่การกระจายปกติ และยังมีมีการกระจายขนาดที่แตกต่างกัน โดยทั่วไปการกระจายขนาดอนุภาคของตัวอย่างเรียงลำดับจากแคบไปกว้าง ได้แก่ รำข้าว แป้งข้าวและแป้งเมล็ดมะขาม ทั้งนี้อาจเป็นผลมาจากลักษณะขนาดและรูปร่างที่ไม่สม่ำเสมอ และแตกต่างกันอีกทั้งยังมีผลจากการที่ตัวอย่างเกาะกันเป็นกลุ่ม ผลที่ได้โดยทั่วไปก็มีความสอดคล้องกับการศึกษาฐานวิทยาของตัวอย่างโดยรำข้าวมีขนาดใหญ่ที่สุด รองลงมาคือแป้งข้าวและแป้งเมล็ดมะขามดังแสดงในตาราง 13-15 และ ภาคผนวก (ข) ตามลำดับ

3.3 การพิสูจน์เอกลักษณ์ (Identification)

3.3.1 แป้งข้าวที่เตรียมขึ้นและแป้งข้าวที่มีจำหน่าย

การพิสูจน์เอกลักษณ์ด้วย Fourier transform infrared spectroscopy (FT-IR) นั้นพบว่าอินฟราเรดสเปกตรัมที่ได้แสดงแบนด์การดูดกลืนของหมู่ฟังก์ชันต่างๆ ในแป้งข้าวทั้งเจ็ดสายพันธุ์และตัวอย่างแป้งข้าวจากท้องตลาดมีความคล้ายคลึงกันดังรูปที่ 10-11 และ ภาคผนวก (ค) โดยทั่วไปแป้งจะประกอบด้วยสารโพลีแซคคาไรด์ (polysaccharides) สองชนิด คือ amylose และ amylopectin ซึ่งมีโมเลกุลของกลูโคส (glucose) เป็นโมเลกุลย่อย (Rowe *et al.*, 2003) ดังนั้นสเปกตรัมที่ได้ของแป้งข้าวจึงมีแบนด์ของหมู่ฟังก์ชันหลักๆ ดังแสดงในตารางที่ 16

ตารางที่ 13 แสดงผลการประเมินผลคุณสมบัติทางกายภาพต่างๆของแป้งข้าวจ้าวทั้งเจ็ดสายพันธุ์และแป้งข้าวจ้าวที่มีจำหน่ายในท้องตลาดสองตัวอย่าง แสดงค่า mean (SD)

หัวข้อ	มะลิ105	ปทุมธานี 1	สุพรรณบุรี 60	ชัยนาท 1	สุพรรณบุรี 1	สุพรรณบุรี 90	กข 6	Starch A	Starch B
Median, D(v,0.5) (µm)	17.47 (0.58)	66.85 (2.36)	34.33 (0.78)	17.97 (1.43)	24.57 (0.87)	50.72 (1.54)	80.61 (2.49)	25.80 (0.40)	23.95 (0.67)
Mean, D[4,3] (µm)	55.69 (0.84)	91.13 (3.27)	79.62 (1.78)	64.91 (3.79)	60.09 (1.52)	88.09 (2.46)	102.31 (1.57)	39.02 (0.26)	36.56 (0.44)
%Loss on drying	9.27 (0.11)	10.09 (0.08)	9.46 (0.02)	9.52 (0.09)	10.33 (0.06)	10.44 (0.03)	9.69 (0.06)	3.09 (0.01)	3.19 (0.13)
Water content (%)	9.3957 (0.1288)	9.9792 (0.0814)	9.4142 (0.1664)	9.8423 (0.0688)	10.4820 (0.0738)	10.4140 (0.1068)	10.4360 (0.1247)	4.2503 (0.2413)	4.7739 (0.0176)
Flow rate (g/s)	N/A								
Angle of repose (deg)	59.9 (2.1)	51.6 (1.0)	56.4 (2.7)	53.8 (1.2)	62.0 (0.2)	56.5 (0.7)	63.1 (1.0)	52.2 (0.4)	55.3 (0.4)
Apparent density (g/cm ³)	1.4736 (0.0039)	1.4657 (0.0031)	1.4723 (0.0012)	1.4676 (0.0033)	1.4876 (0.0016)	1.4847 (0.0012)	1.4730 (0.0034)	1.4954 (0.0052)	1.4907 (0.0053)
Bulk density (g/cm ³)	0.448 (0.006)	0.465 (0.002)	0.429 (0.002)	0.378 (0.003)	0.356 (0.005)	0.399 (0.002)	0.455 (0.002)	0.452 (0.003)	0.475 (0.004)
Tapped density (g/cm ³)	0.825 (0.002)	0.762 (0.002)	0.776 (0.002)	0.789 (0.003)	0.753 (0.002)	0.771 (0.004)	0.784 (0.001)	0.690 (0.002)	0.760 (0.010)
%Compressibility	45.7 (0.6)	39.0 (0.3)	44.6 (0.3)	52.2 (0.3)	51.4 (0.6)	48.3 (0.6)	42.0 (0.2)	34.5 (0.4)	37.5 (1.0)

N/A = ผงแป้งไม่สามารถไหลผ่านกรวยแก้วได้ จึงไม่สามารถหาค่าได้

ตารางที่ 14 แสดงผลการประเมินผลคุณสมบัติทางกายภาพต่างๆของรำข้าวทั้งเจ็ดสายพันธุ์ แสดง

ค่า mean (SD)

หัวข้อ	มะลิ105	ปทุมธานี	สุพรรณบุรี	ชัยนาท	สุพรรณบุรี	สุพรรณบุรี	กข 6
		1	60	1	1	90	
Median	288.16	195.09	229.80	256.91	286.72	256.31	254.42
(μm)	(6.06)	(2.45)	(8.61)	(7.66)	(5.35)	(11.75)	(7.88)
Mean	301.38	225.01	249.54	274.24	303.54	277.72	272.90
(μm)	(5.13)	(4.91)	(9.13)	(7.77)	(3.67)	(11.20)	(6.14)
% Loss on drying	6.05	5.94	6.72	6.06	6.59	6.12	5.93
	(0.10)	(0.08)	(0.04)	(0.03)	(0.10)	(0.03)	(0.08)
Water content	5.2475	6.2738	7.6465	6.5873	7.8570	7.2479	7.2145
(%)	(0.2380)	(0.2852)	(0.2064)	(0.4162)	(0.2490)	(0.2424)	(0.2824)
Flow rate (g/s)	N/A						
Angle of repose	57.5	54.5	57.7	57.4	52.3	52.5	57.1
(deg)	(0.4)	(1.6)	(0.2)	(0.5)	(0.1)	(1.0)	(0.6)
Apparent density	1.3564	1.3956	1.4094	1.3641	1.3524	1.3649	1.3718
(g/cm^3)	(0.0066)	(0.0092)	(0.0059)	(0.0103)	(0.0044)	(0.0075)	(0.0067)
Bulk density	0.252	0.255	0.237	0.245	0.243	0.259	0.260
(g/cm^3)	(0.001)	(0.004)	(0.002)	(0.002)	(0.002)	(0.000)	(0.001)
Tapped density	0.382	0.382	0.359	0.362	0.339	0.370	0.368
(g/cm^3)	(0.004)	(0.003)	(0.006)	(0.002)	(0.003)	(0.001)	(0.002)
%Compressibility	34.1	33.2	33.9	32.3	28.4	29.9	29.4
	(0.4)	(1.1)	(0.9)	(1.0)	(1.1)	(0.2)	(0.2)

N/A = พงรำข้าวไม่สามารถไหลผ่านกรวยแก้วได้ จึงไม่สามารถหาค่าได้

ตารางที่ 15 แสดงผลการประเมินผลคุณสมบัติทางกายภาพต่างๆของแป้งเมล็ดมะขามทั้งแปดสายพันธุ์ แสดงค่า mean (SD)

หัวข้อ	เพชรบูรณ์					โคราช		
	เปรี้ยว ยักซ์	ศรีชมภู	ขันตี	สีทอง หนัก	สีทอง เบา	เปรี้ยว	สีทอง หนัก	ศรีชมภู
Median (μm)	15.58 (0.15)	12.95 (0.38)	15.46 (0.41)	13.09 (0.44)	18.05 (0.14)	14.21 (0.42)	13.25 (0.33)	14.59 (0.11)
Mean (μm)	43.23 (0.31)	40.82 (0.68)	48.33 (1.93)	44.45 (1.70)	50.60 (0.45)	43.41 (0.62)	45.07 (0.45)	46.12 (0.46)
% Loss on drying	6.88 (0.04)	6.18 (0.02)	6.17 (0.08)	6.74 (0.02)	6.37 (0.05)	6.00 (0.10)	5.95 (0.10)	5.83 (0.08)
Water content (%)	8.3546 (0.1216)	6.0596 (0.1736)	5.8873 (0.2103)	8.7443 (0.1336)	6.1177 (0.2546)	8.6579 (0.1128)	6.0612 (0.2381)	5.8360 (0.2012)
Flow rate (g/s)	N/A							
Angle of repose (deg)	55.3 (0.8)	51.9 (0.6)	49.8 (0.4)	51.7 (0.6)	55.3 (0.6)	51.7 (0.8)	52.8 (0.5)	50.6 (0.2)
Apparent density (g/cm^3)	1.4345 (0.0055)	1.4404 (0.0054)	1.4511 (0.0055)	1.4405 (0.0055)	1.4734 (0.0032)	1.4468 (0.0043)	1.4483 (0.0046)	1.4450 (0.0042)
Bulk density (g/cm^3)	0.393 (0.012)	0.368 (0.002)	0.390 (0.009)	0.361 (0.007)	0.366 (0.005)	0.389 (0.004)	0.367 (0.005)	0.368 (0.002)
Tapped density (g/cm^3)	0.620 (0.007)	0.601 (0.007)	0.636 (0.009)	0.597 (0.006)	0.617 (0.005)	0.624 (0.009)	0.611 (0.003)	0.612 (0.001)
%Compressibility	36.7 (1.7)	38.8 (0.3)	38.7 (0.6)	39.6 (1.2)	40.8 (0.9)	37.7 (0.4)	40.0 (0.9)	39.9 (0.4)

N/A = ผงรำข้าวไม่สามารถไหลผ่านกรวยแก้วได้ จึงไม่สามารถหาค่าได้

ตารางที่ 16 แสดงการแปลผลอินฟราเรดสเปกตรัมของแป้งข้าวสาลีพันธุ์ต่างๆ (ชุตติมา, 2545; เสาวรส, 2537)

Wavenumber (cm ⁻¹)	การแปลผล/ชนิดของการสั่น
~ 3400	O-H stretching H-bonded (O-H)
~2930	C-H stretching (-CH ₂ -)
1470-1430	C-H bending (-CH ₂ -)
1200-1000	C-O stretching

การทดสอบด้วย Fourier transform near infrared spectroscopy (FT-NIR) พบว่าสเปกตรัมของแป้งข้าวทั้งเจ็ดสายพันธุ์และแป้งข้าวเจ้าจากท้องตลาด ดังแสดงในรูปที่ 15 ไม่สามารถแยกความแตกต่างของแป้งข้าวแต่ละสายพันธุ์และแป้งข้าวเจ้าจากท้องตลาดได้ แต่สเปกตรัมของสายพันธุ์ข้าวหอมดอกมะลิ 105 มีสเปกตรัมที่แยกจากกลุ่มเล็กน้อย ทั้งนี้ยังไม่สามารถสรุปได้ว่ามีความแตกต่างไปจากกลุ่มหรือไม่ เนื่องจากการใช้ FT-NIR ในการตรวจสอบเอกลักษณ์ของตัวอย่างนั้น ต้องมีการเก็บรวบรวมข้อมูลที่มากพอที่จะสร้างเป็นข้อมูลมาตรฐาน ซึ่งพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลของสเปกตรัมและองค์ประกอบหรือตัวแปรต่างๆ เช่น คุณสมบัติหมู่ฟังก์ชันในเชิงคณิตศาสตร์และสถิติ (Chemometrics) เป็นอย่างดี เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบโดยเฉพาะในกรณีที่สเปกตรัมที่มีการซ้อนทับกัน ข้อมูลจากการทดลองนี้จะเป็นข้อมูลเบื้องต้นสำหรับการวิจัยในอนาคตต่อไป

3.3.2 ข้าว

การพิสูจน์เอกลักษณ์ข้าวด้วย Fourier transform infrared spectroscopy (FT-IR) นั้นพบว่าอินฟราเรดสเปกตรัมที่ได้แสดงแบนด์การดูดกลืนของหมู่ฟังก์ชันต่างๆ ในข้าวทั้งเจ็ดสายพันธุ์มีความคล้ายคลึงกันดังรูปที่ 12 และ ภาคผนวก (ค) แต่จะพบความแตกต่างของสเปกตรัมในช่วงประมาณ $1650-1745\text{ cm}^{-1}$ คือข้าวเกือบทุกสายพันธุ์จะพบ 3 แบนด์ที่ประมาณ 1653 , 1711 และ 1745 cm^{-1} ยกเว้นข้าวสายพันธุ์ข้าวหอมมะลิ 105 และสายพันธุ์ กข6 ไม่พบแบนด์ที่ประมาณ 1711 cm^{-1} เหมือนสายพันธุ์อื่นๆ นอกจากนี้ยังพบว่าสเปกตรัมในช่วงดังกล่าวมีลักษณะหรือปริมาณความเข้มที่แตกต่างกันในข้าวแต่ละสายพันธุ์จึงอาจใช้ในการพิสูจน์เอกลักษณ์ของข้าวได้ต่อไปในข้าวมีสารประกอบอยู่หลายชนิดที่เคยมีการศึกษา เช่น arabinoxylan hemicellulose, gamma-oryzanol, tocotrienol และ beta-sinosterol เป็นต้น (Luangwichajaroen, 2007) สเปกตรัมที่ได้ของข้าวมีแบนด์ของหมู่ฟังก์ชันหลักดังแสดงในตารางที่ 17

ส่วนการทดสอบด้วย Fourier transform near infrared spectroscopy (FT-NIR) พบว่าสเปกตรัมของข้าวทั้งเจ็ดสายพันธุ์ดังแสดงในรูปที่ 16 มีลักษณะคล้ายคลึงกัน ไม่สามารถแยกความแตกต่างได้ แต่จะสังเกตได้ว่าข้าวเจ้าหอมมะลิ 105 มีสเปกตรัมที่แยกออกจากกลุ่มเช่นเดียวกับกับแป้งข้าวหอมดอกมะลิ 105 ข้างต้น อย่างไรก็ตามก็ยังต้องอาศัยข้อมูลมาตรฐานและวิธีการทางคณิตศาสตร์และสถิติ เพื่อมาใช้ในการเปรียบเทียบเช่นกัน

3.3.3 แป้งเมล็ดมะขาม

การพิสูจน์เอกลักษณ์ด้วย Fourier transform infrared spectroscopy (FT-IR) และ Fourier transform near infrared spectroscopy (FT-NIR) นั้นพบว่าสเปกตรัมที่ได้จากแป้งเมล็ดมะขามทั้งแปดสายพันธุ์มีความคล้ายคลึงกันดังแสดงในรูปที่ 13 และรูปที่ 17 ภาคผนวก (ค) และ (ง) ตามลำดับ สำหรับการวิเคราะห์ด้วย FT-IR นั้นจะพบแบนด์ของหมู่ฟังก์ชันหลักๆขององค์ประกอบในแป้งเมล็ดมะขามซึ่งเป็นกลุ่มคาร์โบไฮเดรตหรือโพลีแซคคาไรด์ (polysaccharide) โดยมีอัตราส่วนของ glucose :xylose: galactose ประมาณ 3:2:1 (Marathe *et al*, 2002) การแปลผลสเปกตรัมแสดงดังตารางที่ 18

ในส่วนของ FT-NIR ของแป้งเมล็ดมะขามก็เก็บเป็นข้อมูลเบื้องต้นสำหรับการจัดทำข้อมูลมาตรฐานต่อไปและอาศัยวิธีการทางคณิตศาสตร์และสถิติเข้ามาช่วยในการเปรียบเทียบแปลผล

3.3.4 การเปรียบเทียบ

FT-IR

อินฟราเรดสเปกโตรสโกปีเป็นเครื่องมือหนึ่งที่ใช้ในการพิสูจน์เอกลักษณ์ของสารประกอบต่างๆ อินฟราเรดสเปกตรัมที่ได้จากการวิเคราะห์แป้งข้าว รำข้าวและแป้งเมล็ดมะขามพบว่าสเปกตรัมของแต่ละกลุ่มก็จะมีคล้ายคลึงกันภายในกลุ่มและแยกแยะความแตกต่างกันได้ค่อนข้างยากในแต่ละสายพันธุ์ (รูปที่ 10-13) อาจจะต้องพิจารณาความเข้มของแต่ละแบนด์ร่วมด้วยจึงจะแยกแยะได้ เมื่อเปรียบเทียบสเปกตรัมของตัวอย่าง 3 กลุ่มดังรูปที่ 14 จะพบแบนด์ที่คล้ายคลึงกันและแตกต่างกันโดยทั้ง 3 กลุ่มจะพบแบนด์ที่กว้างและเข้มมากของหมู่ไฮดรอกซิล (O-H) ในช่วง $3300-3600\text{ cm}^{-1}$ ซึ่งเป็น hydrogen bonded O-H peak และอาจมีพีคของ free O-H stretching อยู่ที่ประมาณ 3600 cm^{-1} (เป็นแบนด์ที่แหลมและมีขนาดเล็ก) แต่ถูกบดบังด้วยพีคของ hydrogen bonded O-H ส่วนอินฟราเรดสเปกตรัมที่ได้ระหว่างกลุ่มที่มีความแตกต่างกันทั้งรูปร่างลักษณะและความเข้มของแบนด์ต่างๆจะสามารถนำมาใช้ในการพิสูจน์เอกลักษณ์ได้

จากอินฟราเรดสเปกตรัมของแป้งข้าว รำข้าวและแป้งเมล็ดมะขามที่ได้พบว่า มีการดูดกลืนรังสีที่แตกต่างชัดเจนใน 3 ช่วงความยาวคลื่นดังแสดงในภาพข้างต้นได้แก่ช่วงประมาณ $3000-2800\text{ cm}^{-1}$ $1800-1600\text{ cm}^{-1}$ และ $1200-1000\text{ cm}^{-1}$ โดยจะพบว่าทั้งรูปร่างและลักษณะความ

เข้มของแบนด์ที่แตกต่างกัน โดยในช่วง $3000-2800\text{ cm}^{-1}$ แป้งข้าวจะพบแบนด์ของ C-H stretching ที่แตกต่างจากรำข้าวและแป้งเม็ดมะขาม ส่วนรำข้าวและแป้งเม็ดมะขามจะมีความเข้มของแบนด์ที่แตกต่างกัน

ช่วงถัดมาคือที่ประมาณ $1800-1600\text{ cm}^{-1}$ จะเห็นว่ารำข้าวและแป้งเม็ดมะขามจะมีแบนด์ดูดกลืนรังสีที่ประมาณ $1710-1750\text{ cm}^{-1}$ ซึ่งไม่พบในแป้งข้าว คาดว่าในรำข้าวและแป้งเม็ดมะขามจะมีสารประกอบที่มีหมู่คาร์บอนิล (C=O) อยู่ในโครงสร้าง เช่น สารพวกเอสเทอร์ (ester) หรือคีโตน (ketone) ส่วนสุดท้ายคือประมาณ $1200-1000\text{ cm}^{-1}$ แป้งข้าวพบแบนด์ของ C-O stretching ในขณะที่รำข้าวและแป้งเม็ดมะขามไม่พบแบนด์ที่ชัดเจน คาดว่าแป้งข้าวน่าจะมีสารประกอบที่เป็นกลุ่มอีเธอร์ (ether) เพราะไม่พบแบนด์ของคาร์บอนิลในแป้งข้าว

FT-NIR

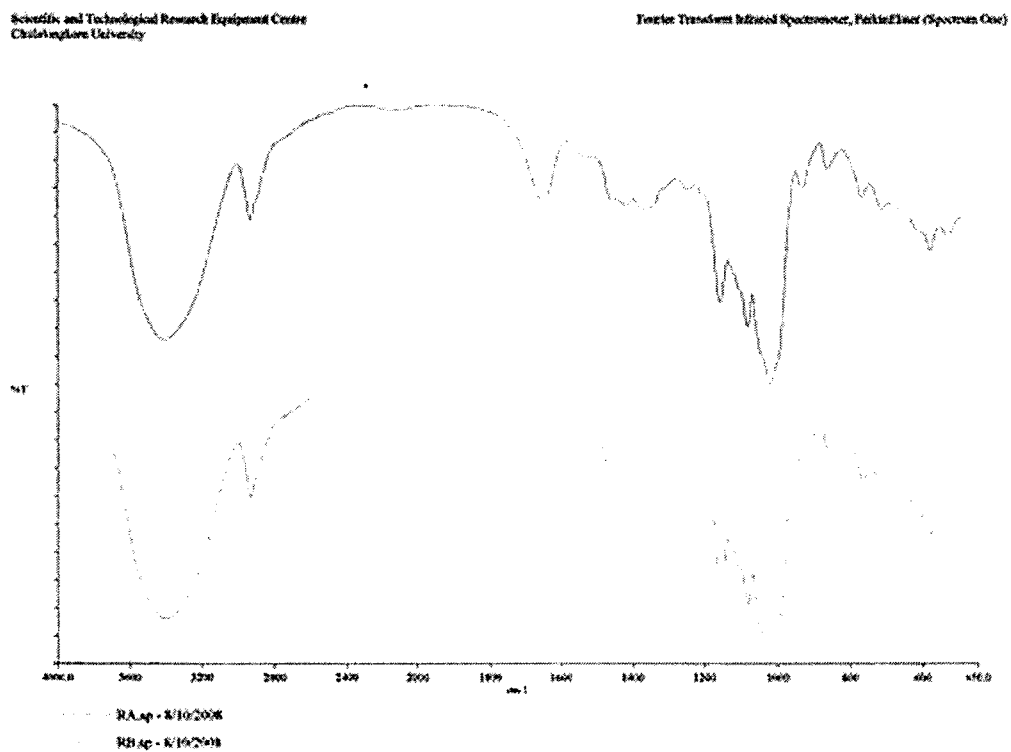
สเปกตรัมของ FT-NIR ของตัวอย่างทั้งสามกลุ่มมีความคล้ายคลึงกันค่อนข้างมากทั้งภายในกลุ่มและระหว่างกลุ่ม (รูปที่ 15-17 และ ภาคผนวก (ง)) แม้ว่าจะมีความแตกต่างกันบ้างในส่วนของปริมาณความเข้มของการดูดกลืนแสง แต่ยังคงมีความแตกต่างภายในกลุ่มและระหว่างกลุ่มน้อยกว่าหากเปรียบเทียบกับ FT-IR แต่ทั้งนี้อาจเนื่องจาก FT-NIR สเปกตรัมที่ได้เกิดจากการสั่นแบบ overtone ของหมู่ฟังก์ชันต่างๆ จึงเป็นไปได้ที่ตัวอย่างทั้งสามกลุ่มซึ่งมีหมู่ฟังก์ชันคล้ายกัน จะมีสเปกตรัมที่คล้ายกันด้วย อย่างไรก็ตามยังไม่สามารถใช้ FT-NIR เป็นเครื่องมือในการพิสูจน์เอกลักษณ์ของตัวอย่างทั้งสามกลุ่มได้ เนื่องจากไม่มีฐานข้อมูลมาตรฐานสำหรับการเปรียบเทียบ เพื่อที่จะสร้างความสัมพันธ์ในเชิงของคณิตศาสตร์และสถิติมาใช้ในการแปลผลสเปกตรัม ดังนั้นข้อมูลที่ได้จึงเป็นข้อมูลเบื้องต้นที่จะใช้สำหรับการสร้างข้อมูลมาตรฐานของตัวอย่างทั้งสามกลุ่มต่อไป

ตารางที่ 17 แสดงการแปลผลอินฟราเรดสเปกตรัมของรำข้าวสาลีพันธุ์ต่างๆ (ชุตินา, 2547; เสาวรส, 2537)

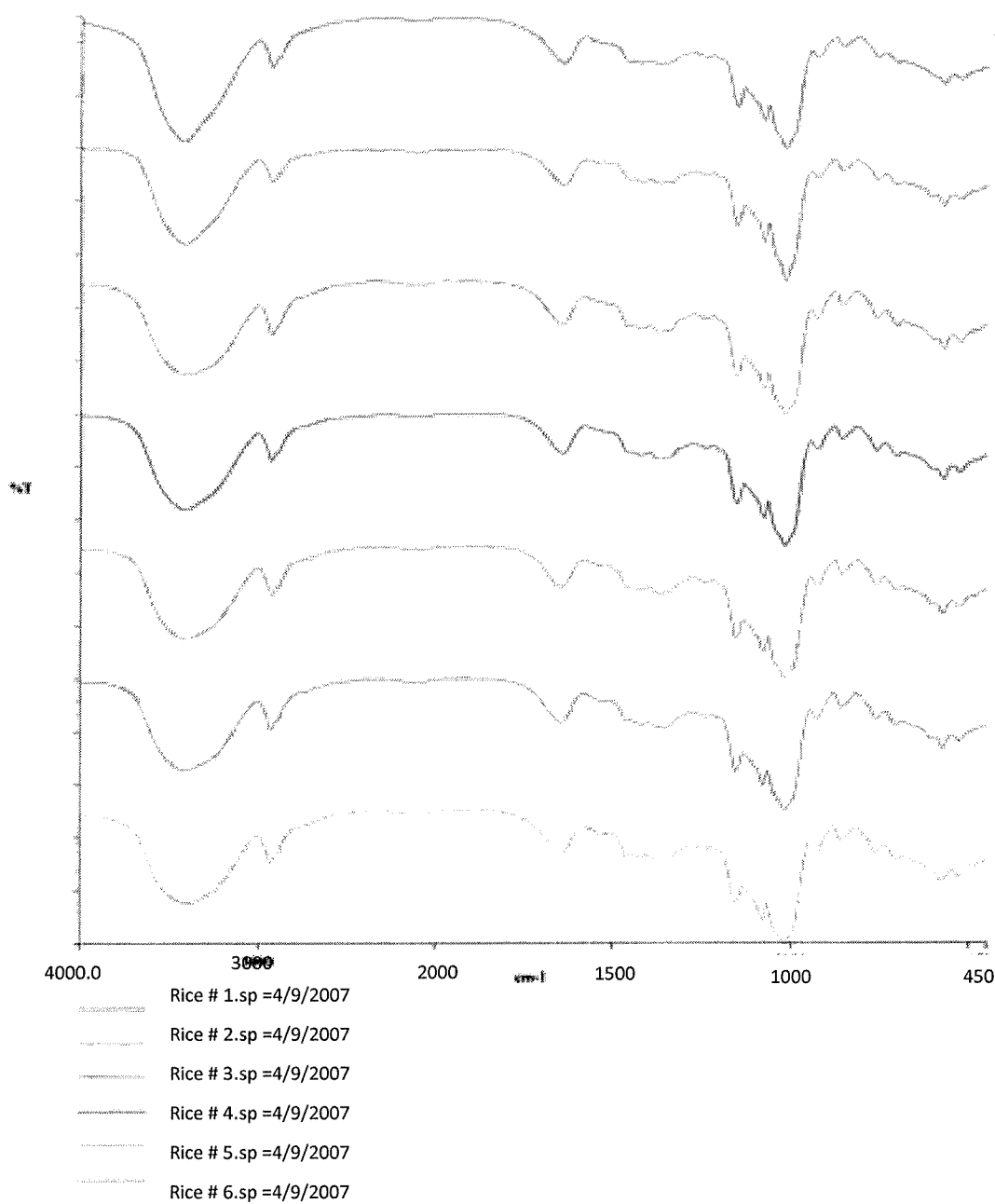
Wavenumber (cm ⁻¹)	การแปลผล/ชนิดของการสั่น
~3400	O-H stretching H-bonded (O-H)
~2925, 2854	C-H stretching (-CH ₂ -)
~ 1745, 1711	C=O stretching
~ 1657, 1647	C=C stretching
~ 1460	C-H bending (-CH ₂ -)
1200-1000	C-O stretching

ตารางที่ 18 แสดงการแปลผลอินฟราเรดสเปกตรัมของแป้งเมล็ดมะขามสายพันธุ์ต่างๆ (ชุดีมา, 2547; เสาวรศ, 2537)

Wavenumber (cm ⁻¹)	การแปลผล/ชนิดของการสั่น
~ 3400	O-H stretching H-bonded (O-H)
~ 2925, 2855	C-H stretching (-CH ₂ -)
~ 1745	C=O stretching
~ 1646	C=C stretching
~ 1440	C-H bending (-CH ₂ -)
1200-1000	C-O stretching



รูปที่ 10 เปรียบเทียบ IR spectrum ของตัวอย่างแป้งข้าวเจ้าจากท้องตลาด



รูปที่ 11 เปรียบเทียบ IR spectrum ของแป้งข้าวเจ้าสายพันธุ์

Rice1: หอมมะลิ 105

Rice 2: ปทุมธานี1

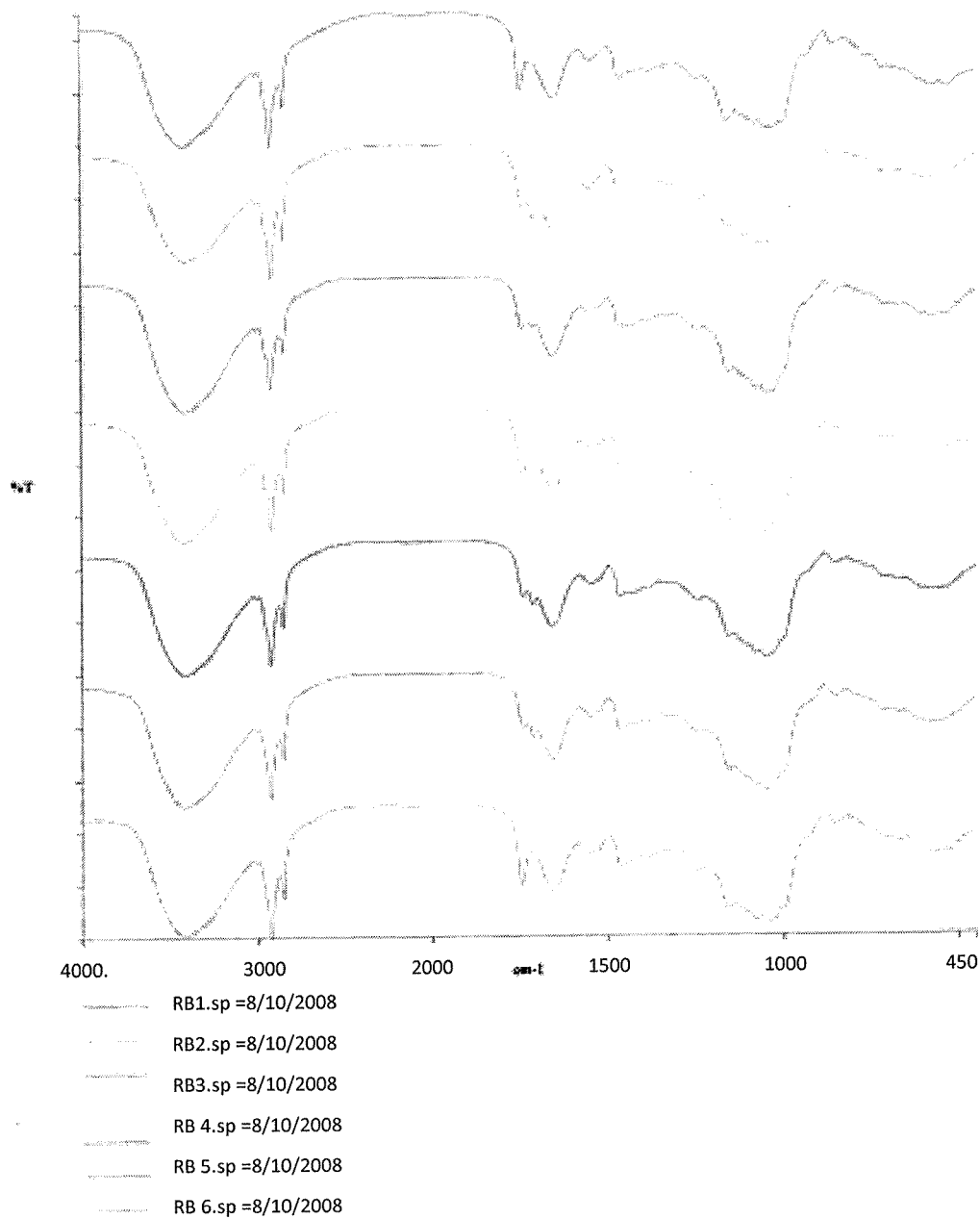
Rice 3: สุพรรณบุรี60

Rice 4: ชัยนาท1

Rice 5: สุพรรณบุรี1

Rice 6: สุพรรณบุรี90

Rice 7: กข6



รูปที่ 12 เปรียบเทียบ IR spectras ของรำข้าวสายพันธุ์ต่างๆ

RB1:หอมมะลิ 105

RB2: ปทุมธานี1

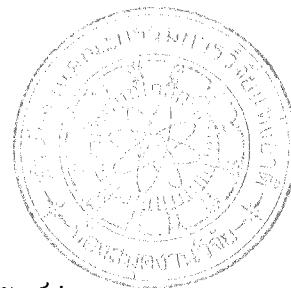
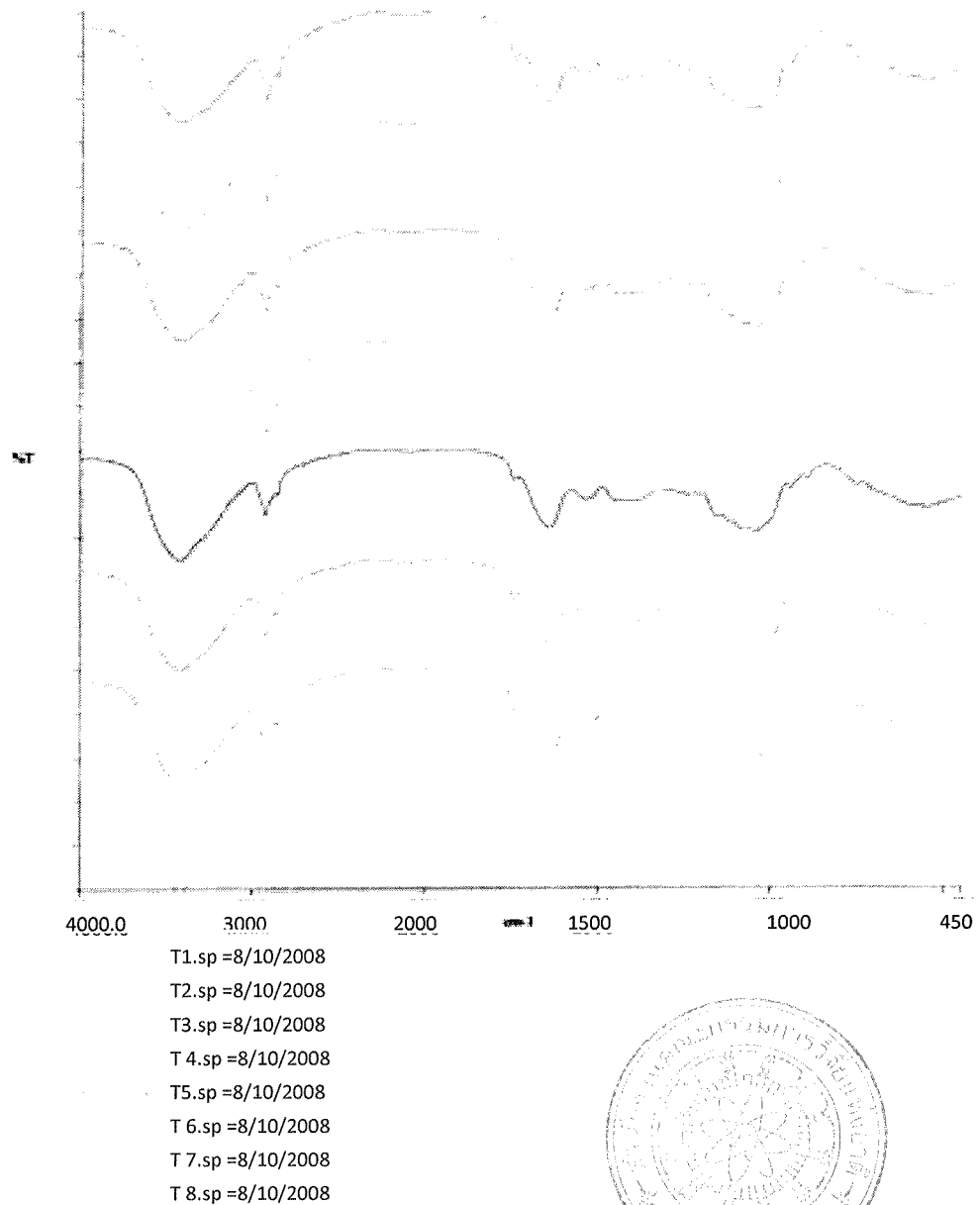
RB3:สุพรรณบุรี60

RB4: ชัยนาท1

RB5:สุพรรณบุรี1

RB6: สุพรรณบุรี90

RB7: กข6



รูปที่ 13 เปรียบเทียบ IR spectrum ของแป้งเม็ดมะขามสายพันธุ์ต่างๆ

T1: เป็รียักษ์-เพชรบูรณ์

T2: ศรีชมภู-เพชรบูรณ์

T3: ขันติ-เพชรบูรณ์

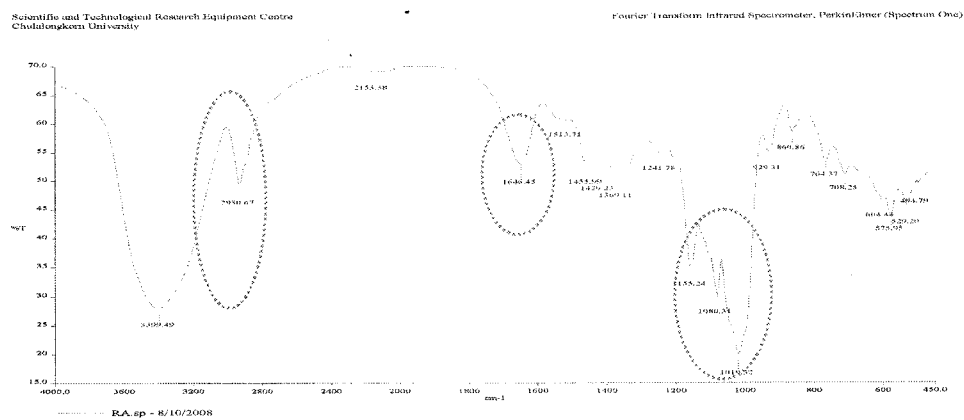
T4: สีทองหนัก-เพชรบูรณ์

T5: สีทองเบา-เพชรบูรณ์

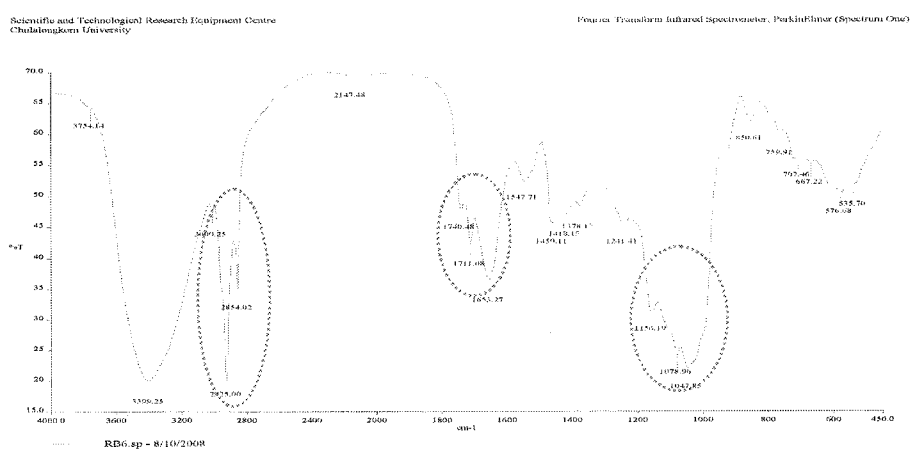
T6: เป็รียว-โคราช

T7: สีทองหนัก-โคราช

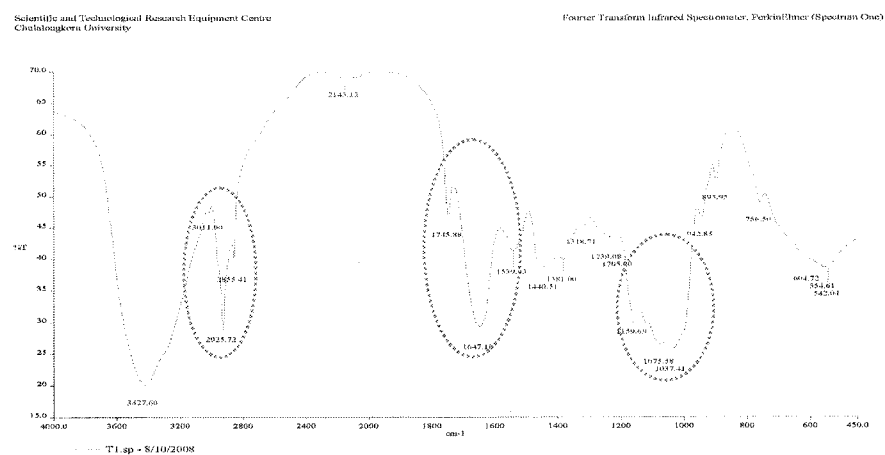
T8: ศรีชมภู-โคราช



(a)



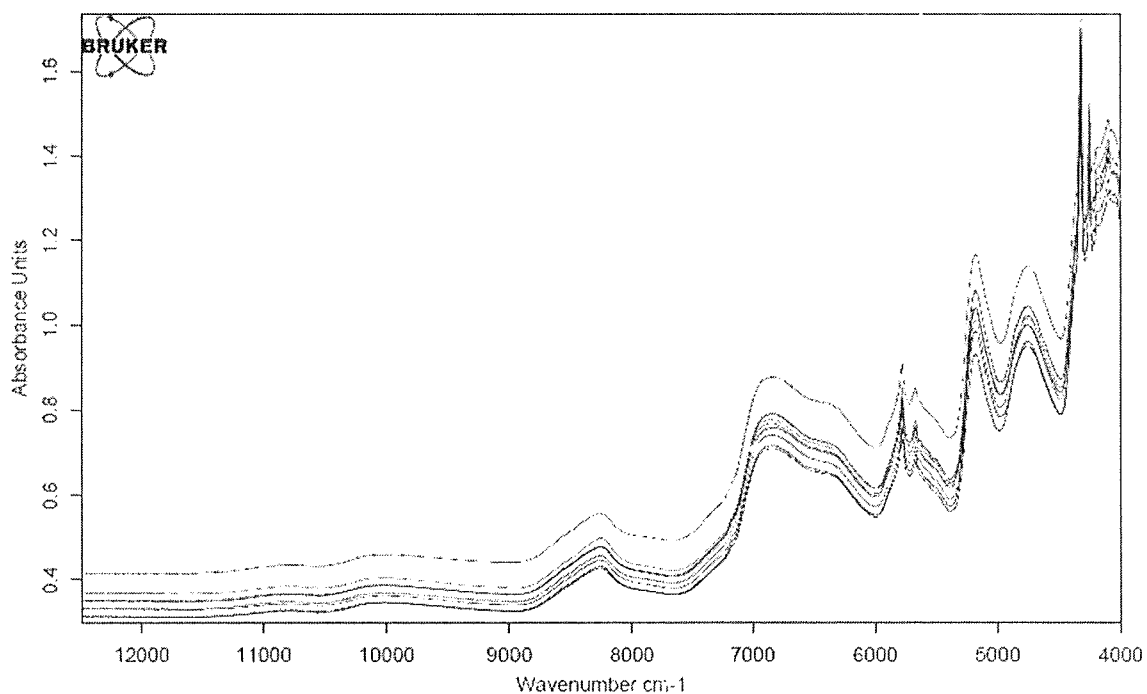
(b)



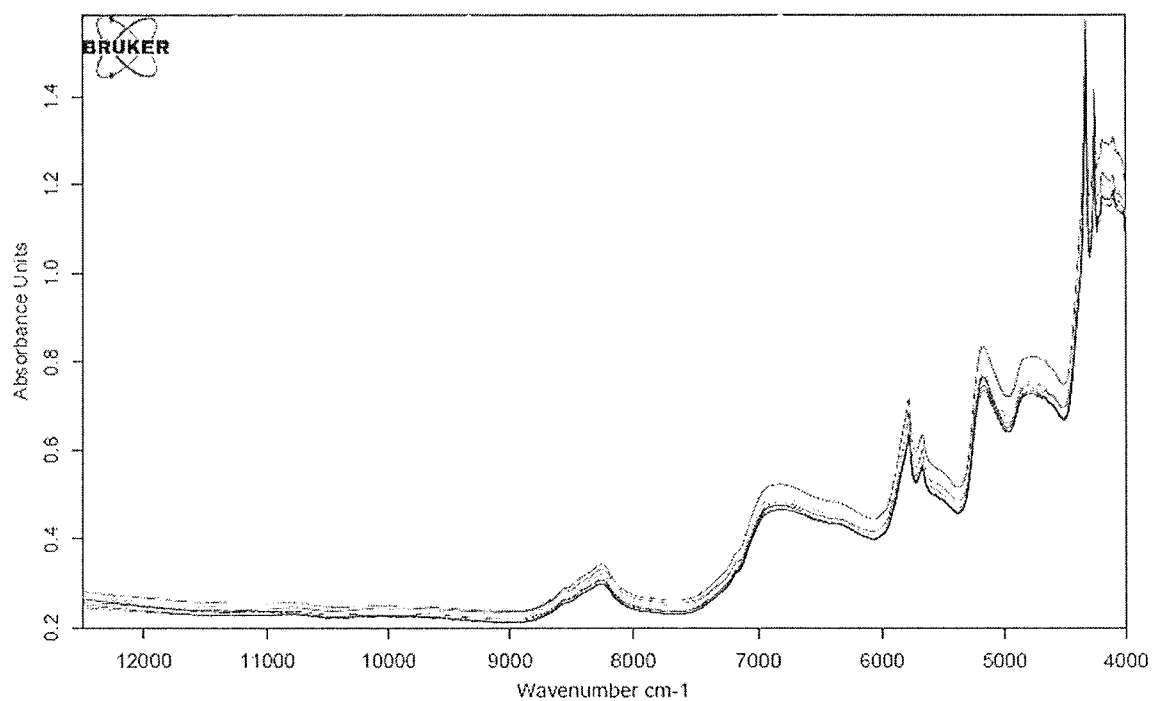
(c)

รูปที่ 14 เปรียบเทียบอินฟราเรดสเปกตรัมของตัวอย่างแป้งข้าว (a) ข้าว (b) และแป้งเม็ดมะขาม

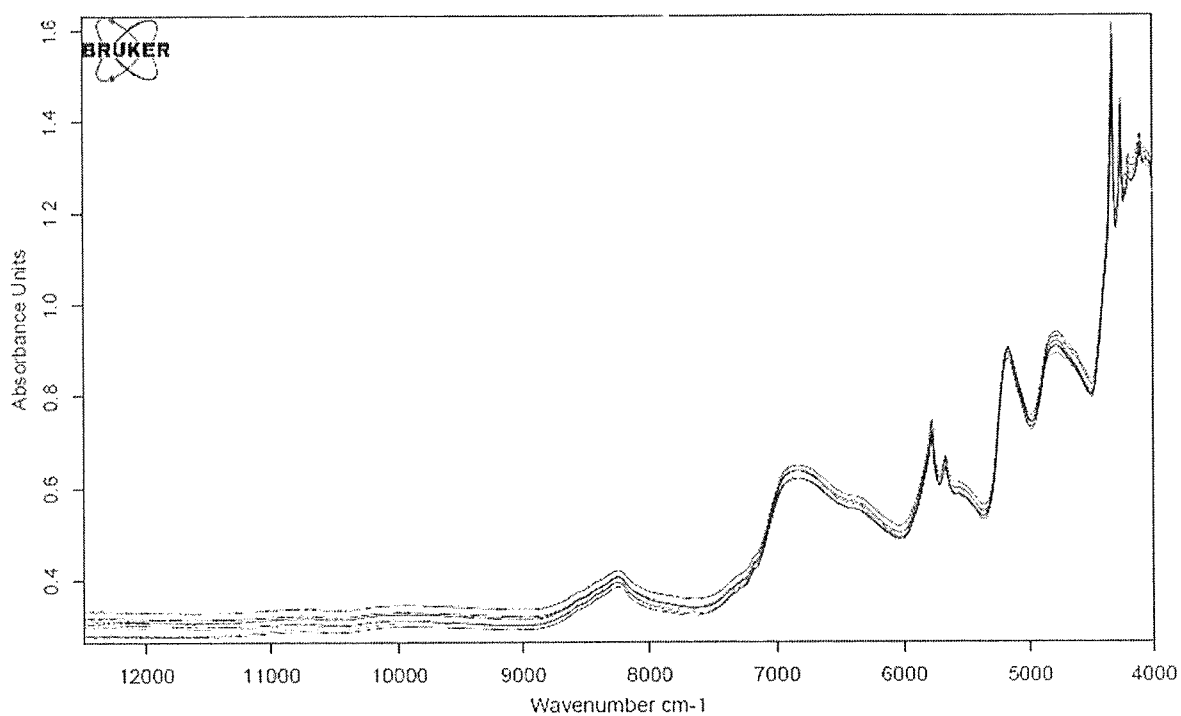
(c)



รูปที่ 15 เปรียบเทียบ NIR spectrum ของแป้งข้าวเจ้าคาสายพันธุ์ที่เตรียมขึ้นและแป้งข้าวเจ้าสองตัวอย่างจากท้องตลาด (1) หอมมะลิ 105 (2) ปทุมธานี 1 (3) สุพรรณบุรี 60 (4) ชัยนาท 1 (5) สุพรรณบุรี 1 (6) สุพรรณบุรี 90 (7) กข 6 (A) Starch A (B) Starch B



รูปที่ 16 เปรียบเทียบ NIR spectrums ของรำข้าวเจ็ดสายพันธุ์ (1) หอมมะลิ 105 (2) ปทุมธานี 1 (3) สุพรรณบุรี 60 (4) ชัยนาท 1 (5) สุพรรณบุรี 1 (6) สุพรรณบุรี 90 (7) กข 6



รูปที่ 17 เปรียบเทียบ NIR spectrum ของแป้งเมล็ดมะขามแปดสายพันธุ์ (1) เป็รียักษ์-เพชรบูรณ์ (2) ศรีชมภู-เพชรบูรณ์ (3) ขันติ-เพชรบูรณ์ (4) สีทองหนัก-เพชรบูรณ์ (5) สีทองเบา-เพชรบูรณ์ (6) เป็รียว-โคราช (7) สีทองหนัก-โคราช (8) ศรีชมภู-โคราช

3.4 % Loss on Drying และ ปริมาณน้ำในอนุภาค (Water content)

3.4.1 แป้งข้าวที่เตรียมขึ้นและแป้งข้าวที่มีจำหน่าย

ในการหาปริมาณความชื้นและปริมาณน้ำในอนุภาคของตัวอย่างแป้งข้าวที่ทดสอบด้วยเครื่อง Moisture analyzer และเครื่องคาร์ล ฟิชเชอร์ (Karl fisher) นั้นพบว่าแป้งข้าวทั้งเจ็ดสายพันธุ์ค่าที่ได้อยู่ในช่วงประมาณ 9–10 % ดังแสดงในตารางที่ 13 ซึ่งถือว่าค่อนข้างสูง และอาจมีผลต่อคุณสมบัติในการไหลและความหนาแน่นของผงแป้งข้าวซึ่งจะได้กล่าวถึงภายหลัง ส่วนตัวอย่างแป้งข้าวจากท้องตลาดปริมาณความชื้นอยู่ในช่วงประมาณ 3-4 % ดังแสดงในตารางที่ 13 สำหรับค่าปริมาณความชื้นของแป้งข้าว ที่ระบุโดยทั่วไป เท่ากับ 14 % ที่ 50% RH (Rowe, 2003)

ค่าที่ได้จากตัวอย่างแป้งข้าวทั้งหมดส่วนใหญ่ค่าที่ได้จากเครื่อง Karl fisher จะมีค่ามากกว่าค่าที่ได้จากเครื่อง Moisture analyzer และค่าที่ได้จากตัวอย่างแป้งข้าวเจ้าจากท้องตลาดมีค่าค่อนข้างต่ำถ้าเปรียบเทียบกับแป้งข้าวเจ้าหกลสายพันธุ์ก่อนหน้านี้ ซึ่งเป็นไปได้ว่าอาจมีการเติมสารบางอย่าง เพื่อป้องกันการดูดซับความชื้น

3.4.2 รำข้าว

ปริมาณความชื้นและปริมาณน้ำในอนุภาคของรำข้าวที่ทดสอบด้วยเครื่อง Moisture analyzer และเครื่องคาร์ล ฟิชเชอร์ (Karl fisher) นั้น พบว่าค่าที่ได้อยู่ในช่วงประมาณ 6-8% ดังแสดงในตารางที่ 14 โดยค่าส่วนใหญ่ที่ได้จากเครื่อง Karl fisher จะมีค่ามากกว่าค่าที่ได้จากเครื่อง Moisture analyzer ทั้งนี้ค่าจากเครื่อง Moisture analyzer รำข้าวที่มีปริมาณความชื้นสูงและต่ำที่สุด คือ สายพันธุ์สุพรรณบุรี 60 และ กข 6 ตามลำดับ ส่วนปริมาณน้ำในอนุภาคสูงและต่ำที่สุดจากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Karl fisher คือ รำข้าวสายพันธุ์สุพรรณบุรี 1 และหอมมะลิ 105 ตามลำดับ

3.4.3 แป้งเมล็ดมะขาม

ในการหาปริมาณความชื้นและปริมาณน้ำในอนุภาคของแป้งเมล็ดมะขามที่ทดสอบด้วยเครื่อง Moisture analyzer และเครื่อง Karl fisher นั้นพบว่าค่าที่ได้อยู่ในช่วงประมาณ 6-9 % ดังแสดงในตารางที่ 15 โดยค่าที่ได้จากเครื่อง Karl fisher จะมีค่ามากกว่าค่าที่ได้จากเครื่อง Moisture analyzer ทั้งนี้ค่าจากเครื่อง Moisture analyzer แป้งเมล็ดมะขามที่มีปริมาณความชื้นสูงและต่ำที่สุด คือ สายพันธุ์เปรี้ยวยักษ์-เพชรบูรณ์ และสีทองหนัก-โคราช ตามลำดับ ส่วนปริมาณน้ำ

ในอนุภาคสูงและต่ำที่สุดจากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Karl fisher คือแป้งเมล็ดมะขามสายพันธุ์สีทองหนัก-เพชรบูรณ์และศรีชมภู-โคราช ตามลำดับ

3.4.4 การเปรียบเทียบ

ค่าปริมาณความชื้นและค่าปริมาณน้ำในอนุภาคของตัวอย่างจากทั้งสองวิธีเมื่อเรียงลำดับจากมากไปน้อยคือ แป้งข้าวที่เตรียมขึ้น แป้งเมล็ดมะขาม รำข้าว และแป้งข้าวเจ้าจากท้องตลาด โดยค่าที่ได้ส่วนใหญ่เป็นไปในทิศทางเดียวกันคือ ค่าปริมาณน้ำในอนุภาคจากเครื่อง Karl fisher จะมีค่ามากกว่าค่าปริมาณความชื้นที่ได้จากเครื่อง Moisture analyzer

นอกจากนี้ค่าปริมาณน้ำในอนุภาคของรำข้าวและแป้งเมล็ดมะขามที่ได้จากเครื่อง Karl fisher มีความผันแปรมากกว่าค่าปริมาณความชื้นที่วัดโดยใช้เครื่อง Moisture analyzer คาดว่าเนื่องจากการวิเคราะห์หาปริมาณน้ำโดยวิธีคาร์ลฟิสเซอร์ไทเทรชัน (Karl fisher titration) นั้นสารตัวอย่างต้องอยู่ในสภาพสารละลายหรือสามารถทำให้น้ำในตัวอย่างออกมาในสารละลายเพื่อทำปฏิกิริยากับคาร์ล ฟิสเซอร์ รีเอเจนต์ (Karl fisher reagent) ดังนั้นจึงต้องใช้ตัวทำละลายที่เหมาะสมในรำข้าวซึ่งมีไขมันเป็นองค์ประกอบอยู่ ตัวทำละลายที่เหมาะสมควรจะเป็นส่วนผสมระหว่างเมธานอล (methanol) กับคลอโรฟอร์ม (chloroform) หรือเมธานอลกับไตรคลอโรเอทิลีน (trichloroethylene) ส่วนแป้งเมล็ดมะขามซึ่งพบว่ามีการกลุ่มคาร์โบไฮเดรตค่อนข้างมาก ควรใช้ส่วนผสมระหว่างเมธานอลและฟอร์มามาไมด์ (formamide) เป็นสารละลาย (เพ็ญศรี, 2549) ในการทดสอบนี้ใช้เมธานอลเป็นตัวทำละลายอย่างเดียวจึงอาจไม่เหมาะสมนัก เพราะน้ำในอนุภาคอาจจะออกมาทำปฏิกิริยาได้ไม่เท่ากันและส่งผลทำให้ค่าความชื้นที่ได้มีความผันแปรค่อนข้างมาก

3.5 อัตราการไหล (Flow rate) และ มุมการไหล (Angle of repose)

3.5.1 แป้งข้าวที่เตรียมขึ้นและแป้งข้าวที่มีจำหน่าย

ตัวอย่างแป้งข้าวทั้งหมดไม่สามารถวัดอัตราการไหลได้ เนื่องจากไม่สามารถไหลผ่านรูเปิดของกรวยแก้วได้ เมื่อวัดค่ามุมการไหล (Angle of repose) ได้ค่าในช่วง 51-63° ซึ่งถือว่าคุณสมบัติในการไหลไม่ดี (The United States Pharmacopeial Convention, 2005) โดยแป้งข้าวสายพันธุ์ กข6 ซึ่งเป็นแป้งข้าวเหนียวมีค่ามุมการไหลสูงสุด และสายพันธุ์ปทุมธานี 1 มีค่ามุมการไหลต่ำสุด นอกจากนี้จะสังเกตได้ว่าแป้งข้าวที่เตรียมขึ้นเองส่วนใหญ่มีค่ามุมการไหลที่

สูงกว่าและค่าที่ได้มีความผันแปรมากกว่าแป้งข้าวจากท้องตลาด ทั้งนี้อาจเกิดจากแป้งข้าวจากท้องตลาดมีการกระจายขนาดที่แคบกว่าและมีความชื้นภายในอนุภาคน้อยกว่าแป้งข้าวที่เตรียมขึ้น

3.5.2 ราข้าว

เนื่องจากราข้าวทั้งเจ็ดสายพันธุ์ไม่สามารถไหลผ่านรูเปิดของกรวยแก้วได้ จึงไม่สามารถวัดอัตราการไหลได้ และเมื่อวัดค่ามุมการไหล (Angle of repose) จากเครื่อง Powder characteristic tester ได้ค่าในช่วง 52-58° ซึ่งจัดว่าคุณสมบัติในการไหลไม่ดี (The United States Pharmacopeial Convention, 2005) โดยราข้าวสายพันธุ์สุพรรณบุรี 60 และสุพรรณบุรี 1 มีค่ามุมการไหลสูงสุดและต่ำสุด ตามลำดับ

3.5.3 แป้งเมล็ดมะขาม

แป้งเมล็ดมะขามทั้งแปดสายพันธุ์ไม่สามารถวัดอัตราการไหลได้ เนื่องจากไม่สามารถไหลผ่านรูเปิดของกรวยแก้วได้ เมื่อวัดค่ามุมการไหล (Angle of repose) โดยเครื่อง Powder characteristic tester ได้ค่าในช่วงประมาณ 51-55 °C จัดว่ามีคุณสมบัติในการไหลไม่ดี (The United States Pharmacopeial Convention, 2005) โดยแป้งเมล็ดมะขามสายพันธุ์เปรี้ยวยักษ์-เพชรบูรณ์และสีทองเบา-เพชรบูรณ์ มีค่ามุมการไหลเท่ากันและมีค่าสูงสุด ส่วนสายพันธุ์ศรีชมภู-โคราชมีค่ามุมการไหลต่ำสุด

3.5.4 การเปรียบเทียบ

ตัวอย่างแป้งข้าว ราข้าวและแป้งเมล็ดมะขามทุกสายพันธุ์ไม่สามารถหาค่าอัตราการไหลได้ เพราะไม่สามารถไหลผ่านรูเปิดของกรวยแก้วได้เอง และค่ามุมการไหลก็สอดคล้องกันคือ บ่งชี้ว่าตัวอย่างทั้งสามกลุ่มมีคุณสมบัติการไหลที่ไม่ดี โดยได้ค่ามุมการไหลที่ใกล้เคียงกันทั้งสามกลุ่มคือ มากกว่า 50 deg ทั้งนี้มีหลายปัจจัยที่มีผลต่อคุณสมบัติการไหลของตัวอย่าง คือ ลักษณะทางสัณฐานวิทยา ขนาดอนุภาค การกระจายของขนาดอนุภาค และความชื้น (Howard, 1992) อนุภาคของตัวอย่างทั้งสามกลุ่มมีรูปร่างที่ไม่สม่ำเสมอ มีเหลี่ยมมุมและไม่กลม อีกทั้งยังมีขนาดเล็ก การกระจายขนาดอนุภาคไม่เป็นแบบการกระจายปกติ และปริมาณความชื้นที่ค่อนข้างสูง ทำให้มีแรงยึดเกาะระหว่างอนุภาคและอนุภาคเกาะติดกันเป็นก้อน คุณสมบัติการไหลจึงไม่ดีนัก

3.6 ความหนาแน่นปรากฏ (Apparent density)

3.6.1 แป้งข้าวที่เตรียมขึ้นและแป้งข้าวที่มีจำหน่าย

ค่าความหนาแน่นปรากฏ (Apparent density) ของแป้งข้าวได้ค่าเฉลี่ยในช่วง 1.47-1.49 g/cm³ โดยแป้งข้าวเจ้าจากท้องตลาดจะมีค่าความหนาแน่นปรากฏมากกว่าแป้งข้าวเจ้าที่เตรียมขึ้น โดยแป้งข้าวเจ้า Starch A และแป้งข้าวเจ้าสายพันธุ์ปทุมธานี 1 มีค่าความหนาแน่นปรากฏมากและน้อยที่สุด ตามลำดับ

3.6.2 รำข้าว

ค่าเฉลี่ยของค่าความหนาแน่นปรากฏ (Apparent density) ของรำข้าวอยู่ในช่วง 1.35-1.41 g/cm³ รำข้าวสายพันธุ์สุพรรณบุรี 60 และสุพรรณบุรี 1 มีค่าความหนาแน่นปรากฏมากและน้อยที่สุด ตามลำดับ

3.6.3 แป้งเมล็ดมะขาม

ค่าความหนาแน่นปรากฏ (Apparent density) ของแป้งเมล็ดมะขามได้ค่าเฉลี่ยในช่วง 1.43-1.47 g / cm³ โดยแป้งเมล็ดมะขามสายพันธุ์สีทองเบา-เพชรบูรณ์ และสายพันธุ์เปรี้ยวยักษ์-เพชรบูรณ์ มีค่าความหนาแน่นปรากฏมากและน้อยที่สุด ตามลำดับ

3.6.4 การเปรียบเทียบ

ค่าความหนาแน่นปรากฏ (Apparent density) ของตัวอย่างที่ได้จากเครื่อง Ultrapycnometer เป็นค่าความหนาแน่นของเนื้อสารตัวอย่าง โดยหลักการการวัดอาศัยการแทนที่ของก๊าซฮีเลียมที่สามารถผ่านเข้าไปในรูพรุนขนาดเล็กของอนุภาค และไม่ถูกดูดซับโดยอนุภาค (Sinko, 2006) ค่าความหนาแน่นปรากฏที่ได้ของตัวอย่างเรียงลำดับจากน้อยไปมากคือ รำข้าว แป้งเมล็ดมะขามและแป้งข้าว

3.7 ความหนาแน่นปรากฏ (Bulk density) ความหนาแน่นหลังเคาะ (Tapped density) และร้อยละของความสามารถอัดแน่น (% Compressibility)

3.7.1 แป้งข้าวที่เตรียมขึ้นและแป้งข้าวที่มีจำหน่าย

จากตัวอย่างแป้งข้าวทั้งหมดความหนาแน่นก่อนเคาะ (Bulk density) ได้ค่าเฉลี่ยในช่วง 0.39-0.47 g/cm³ และความหนาแน่นหลังเคาะ (Tapped density) ในช่วง 0.45-0.83 g/cm³ เมื่อนำมาคำนวณค่าร้อยละของความสามารถในการอัดแน่น (% Compressibility) ได้ค่า

จากค่าน้อยไปมาก (คุณสมบัติการไหลดีมากไปน้อย) คือ รำข้าว แปะข้าวเจ้าจากท้องตลาด แป้งเม็ลัดมะขาม และแป้งข้าวที่เตรียมขึ้นเอง ซึ่งจะเห็นผลได้ชัดเจนกว่าการประเมินคุณสมบัติการไหลด้วยค่ามุมการไหล ปัจจัยที่มีผลต่อคุณสมบัติการไหลดังกล่าวไปข้างต้นในการเปรียบเทียบมุมการไหลก็สามารถนำมาอภิปรายผลได้ชัดเจนยิ่งขึ้น คือรำข้าวมีขนาดอนุภาคใหญ่กว่าและมีการกระจายขนาดอนุภาคที่แคบกว่าแป้งข้าวและแป้งเม็ลัดมะขาม อีกทั้งปริมาณความชื้นที่น้อยกว่าจึงทำให้รำข้าวมีคุณสมบัติการไหลที่ดีกว่าแป้งข้าวและแป้งเม็ลัดมะขาม

4. การทดสอบฤทธิ์การยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ของน้ำมันมะขาม

ทดสอบฤทธิ์การยับยั้งจุลินทรีย์ของสารสกัดน้ำมันมะขามต่างสายพันธุ์ ต่างเชื้อแบคทีเรีย ได้แก่ *Staphylococcus aureus* *Escherichia coli* *Micrococcus luteus* *Bacillus subtilis* และ *Pseudomonas aeruginosa* ต่อเชื้อรา ได้แก่ *Candida albicans* และ *Saccharomyces Cerevisiae* สารสกัดน้ำมันมะขามมีฤทธิ์ยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ได้ในระดับต่ำ จากการทดสอบโดยวิธี agar diffusion test และ broth microdilution test ผลการทดลองดังแสดงไว้ในตารางที่ 19 และ 20 สารสกัดความเข้มข้นสูงถึง 15-30% ของน้ำมันมะขามทุกสายพันธุ์ ที่ทดสอบให้ clear inhibition zone ต่อเชื้อ *S. aureus* ขณะที่ให้ผลการยับยั้งได้ต่ำใน *E. coli* น้ำมันมะขามชนิดเปรี้ยว ได้แก่ น้ำสกัดมะขามเปรี้ยว ยักษ์จากเพชรบูรณ์ TI-PK/P และ น้ำมันมะขามเปรี้ยวจากโคราช TI-P/K ให้ฤทธิ์การยับยั้งเชื้อได้ดีกว่าสายพันธุ์หวาน และยับยั้งเชื้ออื่นๆ ได้แก่ *M. luteus* *B. subtilis* และ *P. aeruginosa* แต่น้ำมันมะขามทุกสายพันธุ์ไม่มีผลยับยั้งเชื้อรา (ตารางที่ 19) การทดสอบฤทธิ์การยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ของน้ำสกัดจากมะขาม โดยวิธี broth microdilution เพื่อหาค่า minimum inhibitory concentration (MIC) และค่า minimum bactericidal concentration (MBC) ของน้ำมันมะขามต่อเชื้อแบคทีเรีย *S. aureus* และ *E. coli* แสดงไว้ในตารางที่ 20 พบว่าน้ำมันมะขามพันธุ์เปรี้ยวโคราช มีผลการยับยั้งเชื้อที่ดีกว่าน้ำมันมะขามเปรี้ยว ยักษ์เพชรบูรณ์ และสายพันธุ์มะขามหวานอื่นๆ ทดสอบได้ค่า MBC และ MIC ของน้ำมันมะขามเปรี้ยวโคราช (TI-P/K) ที่ 3.75% ต่อเชื้อ *S. aureus* และ *E. coli* ขณะที่น้ำมันมะขามเปรี้ยว ยักษ์เพชรบูรณ์ (TI-PY/P) ได้ค่า MIC และ MBC ที่ 15% น้ำมันมะขามพันธุ์อื่นๆ ที่ได้ผล ได้แก่ สีสทองหนักโคราช และ สีสทองเบาเพชรบูรณ์ มีค่า MIC ที่ 15% ต่อเชื้อ *S. aureus* และมีค่า MIC ที่ 15-30% ต่อเชื้อ *E. coli* ส่วนน้ำมันมะขามหวานพันธุ์อื่นๆ ไม่มีผลยับยั้งเชื้อ แม้ในความเข้มข้นถึง 30% (ตารางที่ 20) การทดสอบแป้งในเม็ลัดมะขาม (kernel) ในขนาดสูงถึง 5% ไม่พบว่าสามารถยับยั้งเชื้อแบคทีเรียและเชื้อราที่ทดสอบได้ในการทดลองนี้

ตารางที่ 19ฤทธิ์ยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ของสารสกัดจากเนื้อมะขามต่างสายพันธุ์โดยวิธี agar diffusion assay

Seed-coat extract of Tamarind cultivars		<i>S. aureus</i>	<i>E. coli</i>	<i>M. luteus</i>	<i>B. subtilis</i>	<i>P. aeruginosa</i>	<i>C. albicans</i>	<i>S. cerevisiae</i>
		ATCC6538P	ATCC25922	ATCC9341	ATCC6633	ATCC9721	ATCC 10230	ATCC9763
Inhibition zone (mm)								
TI-PY/P	15%	12.5	9.2	22.3	17.6	18.3	0	0
	7.5%	17.5	12.6	17.6	12.6	11.6	0	0
TI-K/P	15%	25.9	21.1	10.3	10	0	0	0
	7.5%	22.3	0	0	0	0	0	0
TI-SP/P	15%	23.9	20.7	0	0	0	0	0
	7.5%	20.7	0	0	0	0	0	0
TI-STN/P	15%	25.5	21.7	0	0	0	0	0
	7.5%	21.9	0	0	0	0	0	0
TI-P/K	30%	23.9	22.7					
	15%	20.6	15.8	25.6	14.4	16.3	0	0
	7.5%	ND	ND	17.5	13.0	12.8	0	0
TI-SP/K	30%	27	19.3					
	15%	24.2	0	0	0	0	0	0
	7.5%	ND	ND	0	0	0	0	0
TI-STN/K	30%	28.2	21.9					
	15%	25.3	19.8	0	0	0	0	0
	7.5%	ND	ND	0	0	0	0	0

*สารทุกตัวต่างหยอดใส่ใน cup 300 µl/cup , ใช้ 2% DMSO as control

ตารางที่ 20 ค่า MICs และ MBCs ของสารสกัดจากเนื้อมะขามต่างสายพันธุ์ ที่มีผลต่อแบคทีเรียที่ทดสอบ โดย broth microdilution test

Seed-coat extract of Tamarind cultivars	แบคทีเรีย			
	<i>S. aureus</i> ATCC 6538P		<i>E. coli</i> ATCC 25922	
	MIC	MBC	MIC	MBC
TI-PY/P	15%	15%	15%	15%
TI-K/P	>30%	>30%	>30%	>30%
TI-SP/P	>30%	>30%	>30%	>30%
TI-STN/P	15%	>30%	30%	>30%
TI-P/K	3.75%	3.75%	3.75%	3.75%
TI-SP/K	>30%	>30%	>30%	>30%
TI-STN/K	15%	30%	15%	30%

5. การทดสอบฤทธิ์การเป็นยาระบายของน้ำสกัดมะขามในหนูขาว

ทดสอบฤทธิ์การระบายของน้ำสกัดมะขาม 3 สายพันธุ์ ได้แก่ พันธุ์เปรี้ยวยักษ์ มะขามหวานพันธุ์ดีและศรีชมภูจากเพชรบูรณ์ โดยเตรียมน้ำสกัดเข้มข้น 20% เตรียมเป็นน้ำสกัดที่ผ่านการกรองหยาบด้วยผ้ากรอง และการแยกได้น้ำสกัดใสด้วยเครื่อง centrifuge ได้ผลการทดลอง แสดงไว้ในตารางที่ 21 น้ำมะขามสกัดทั้งแบบกรองหยาบและปั่นแยกจนได้น้ำใส ให้ผลการระบายโดยดูจากมีการเคลื่อนของผงถ่านในลำไส้เล็กได้ไกลกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

การทดสอบฤทธิ์การระบายของน้ำสกัดมะขาม กับ reference organic acids ได้แก่ tartaric acid, citric acid และ malic acid ดังแสดงในตารางที่ 22

จากการทดลองพบว่าน้ำลูกพรุนในขนาดเป็น 10 เท่า ของขนาดรับประทานในคน มีเปอร์เซ็นต์การเคลื่อนที่ของผงถ่านในลำไส้ของหนูขาวเท่ากับ $63.94 \pm 7.40\%$ ซึ่งสูงกว่าเปอร์เซ็นต์การเคลื่อนที่ของผงถ่านในลำไส้ของหนูขาวในกลุ่มควบคุม ($47.68 \pm 1.72\%$) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p=0.001$) ในทำนองเดียวกัน มะขามเปรี้ยวยักษ์ และมะขามพันธุ์ขันตีมีเปอร์เซ็นต์การเคลื่อนที่ของผงถ่านในลำไส้ของหนูขาวเท่ากับ 57.96 ± 7.92 และ $58.49 \pm 9.18\%$ ตามลำดับ ซึ่งสูงกว่าเปอร์เซ็นต์การเคลื่อนที่ของผงถ่านในลำไส้ของหนูขาวในกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p=0.024$ สำหรับมะขามเปรี้ยวยักษ์ และ $p=0.021$ สำหรับมะขามพันธุ์ขันตี) เช่นเดียวกัน ส่วนมะขามอีก 3 พันธุ์ คือมะขามพันธุ์ศรีชมภู มะขามพันธุ์สีทองเบา และมะขามพันธุ์สีทองหนัก มีเปอร์เซ็นต์การเคลื่อนที่ของผงถ่านในลำไส้ของหนูขาว ไม่แตกต่างจากกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

สำหรับผลของกรด 3 ชนิด ที่พบในมะขาม ต่อการเคลื่อนที่ของผงถ่านในลำไส้ของหนูขาว พบว่ากรดทั้ง 3 ชนิด คือ Tartaric acid, Citric acid และ Malic acid ในขนาด 100 mg/kg มีเปอร์เซ็นต์การเคลื่อนที่ของผงถ่านในลำไส้ของหนูขาวเท่ากับ 62.56 ± 13.77 , 60.45 ± 4.50 และ $57.03 \pm 5.01\%$ ตามลำดับ ซึ่งสูงกว่าเปอร์เซ็นต์การเคลื่อนที่ของผงถ่านในลำไส้ของหนูขาว ในกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p=0.001$ สำหรับ Tartaric acid, $p=0.006$ สำหรับ Citric acid และ $p=0.040$ สำหรับ Malic acid) ในขณะที่เปอร์เซ็นต์การเคลื่อนที่ของผงถ่านในลำไส้ของหนูขาวของกรดทั้ง 3 ชนิด ในขนาด 10 mg/ml ไม่แตกต่างจากกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ตารางที่ 21 ผลของน้ำสกัดมะขามต่อเปอร์เซ็นต์การเคลื่อนที่ของผงถ่านในลำไส้ (duodenum) ของหนูขาว

Experimental group/Tamarind extracts	%distance of charcoal in duodenum
Control (distilled water)	45.96 $\pm$ 2.03
Nestvita 3 เท่าขนาดรับประทานในคน	45.98 $\pm$ 1.26
Nestvita 10 เท่าขนาดรับประทานในคน	59.65 $\pm$ 2.65*
เปรี้ยวยักษ์ (Prew Yak/P) Extract1 2ml/kg	50.99 $\pm$ 1.61*
เปรี้ยวยักษ์ (Prew Yak/P) Extract2 2ml/kg	53.97 $\pm$ 1.72*
ขันตี (Kanti/P) Extract1 2ml/kg	53.72 $\pm$ 1.95*
ขันตี (Kanti/P) Extract2 2ml/kg	54.09 $\pm$ 5.23*
ศรีชมภู (Srichompu/P) Extract1 2ml/kg	50.52 $\pm$ 3.60*
ศรีชมภู (Srichompu/P) Extract2 2ml/kg	52.05 $\pm$ 6.83*

N = 6, *Significant difference from control (p<0.05)

ตารางที่ 22 แสดงผลต่อการเปออร์เซ็นต์เคลื่อนที่ของผงถ่านในลำไส้ของหนูขาวของสารทดสอบ
สารสกัดน้ำมะขามชนิดต่างๆ และ reference organic acids

Experimental group/Tamarind extracts	%distance of charcoal in duodenum	P value
Control (distilled water)	47.68 ± 1.72	
น้ำลูกพรุน 10 เท่า ขนาดรับประทานในคน	63.94 ± 7.40*	0.001
มะขามเปรี้ยวยักษ์ (Prew Yak/P)	57.96 ± 7.92*	0.024
มะขามพันธุ์ขันธ์ (Kanti/P)	58.49 ± 9.18*	0.021
มะขามพันธุ์ศรีชมภู (Srichompu/P)	53.56 ± 7.84	0.191
มะขามพันธุ์สีทองเบา (Sitong Bow/P)	47.26 ± 7.88	0.924
มะขามพันธุ์สีทองหนัก (Sitong Nak/P)	49.12 ± 2.15	0.748
Tartaric acid 10 mg/kg	51.65 ± 6.74	0.376
Tartaric acid 100 mg/kg	62.56 ± 13.77*	0.001
Citric acid 10 mg/kg	51.11 ± 9.58	0.444
Citric acid 100 mg/kg	60.45 ± 4.50*	0.006
Malic acid 10 mg/kg	49.11 ± 7.10	0.750
Malic acid 100 mg/kg	57.03 ± 5.01*	0.040

6. องค์ประกอบและคุณสมบัติด้านอนุมูลอิสระของสารสกัดเปลือกเมล็ดมะขาม

6.1 องค์ประกอบของสารสกัดเปลือกเมล็ดมะขาม

เปลือกเมล็ดมะขามสายพันธุ์ต่างๆ ที่แยกออกจากเนื้อในเมล็ด (kernel) พบว่ามีความชื้น 7.5-10% ดังแสดงไว้ในตารางที่ 23 เมื่อนำเปลือกเมล็ดมะขามมาสกัดด้วยแอลกอฮอล์ตามวิธีดังมีรายละเอียดในวิธีทดลองได้สารสกัด tamarind seed-coat extract (TSCE) ของมะขามสายพันธุ์ต่างๆ พบมีองค์ประกอบของสาร polyphenols ต่างๆ กัน ดังแสดงไว้ในตารางที่ 24 ได้แก่ total phenol 21-36.7% พบสูงสุดในพันธุ์ขันตีและต่ำสุดในพันธุ์สีทองหนัก พบปริมาณ %tannin 10-25% พบ tannin สูงสุดในเปลือกเมล็ดมะขามพันธุ์เปรี้ยวขี้กษ และต่ำสุดในเปลือกเมล็ดมะขามพันธุ์ศรีชมภู พบมีปริมาณของ proanthocyanidin แสดงค่าเป็น absorbance ที่ A_{550} เท่ากับ 0.17-0.08 พบสูงสุดในเปลือกเมล็ดมะขามหวานสีทองเบา และพบน้อยสุดในพันธุ์ศรีชมภู (ตารางที่ 24)

6.2ฤทธิ์ทางชีวภาพของสารสกัดเปลือกเมล็ดมะขามต่อการต้านอนุมูลอิสระ

คุณสมบัติของ reducing power ของสารสกัดเปลือกเมล็ดมะขาม แสดงไว้ในรูปที่ 18 สารสกัดเปลือกเมล็ดมะขามเปรี้ยวขี้กษ (TI-PY/P) ให้ฤทธิ์ของ reducing power สูงสุด ขณะที่พันธุ์ศรีชมภูมีฤทธิ์ต่ำสุดได้ผลคล้ายกับ control คือ BHA น้ำสกัดเมล็ดมะขามทุกสายพันธุ์ที่ทดสอบได้ผลของ reducing power สูงกว่า control ยกเว้นพันธุ์ศรีชมภู (TI-SP/P) (รูปที่ 18)

คุณสมบัติของ % inhibition of lipid peroxidation ของสารสกัดเปลือกเมล็ดมะขาม แสดงไว้ใน รูปที่ 19 พบว่าน้ำสกัดเปลือกเมล็ดมะขามหวานสีทองเบาจากเพชรบูรณ์ให้ผลของ inhibition of lipid peroxidation ได้สูงกว่าสารสกัดเปลือกเมล็ดมะขามพันธุ์อื่นๆ ด้วยอัตราเร็วกว่า และแรงกว่า control (vitamin C) ขณะที่สารสกัดเปลือกเมล็ดมะขามพันธุ์อื่นๆ มีฤทธิ์ที่เทียบเท่ากับ control

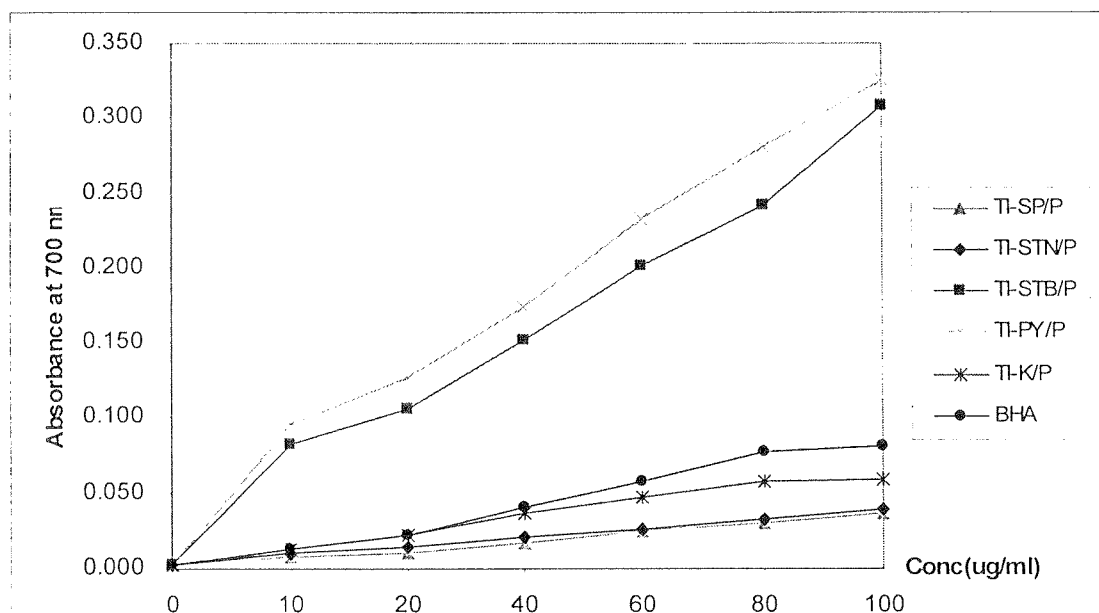
คุณสมบัติ inhibition of hydroxyl radical ของสารสกัดเปลือกเมล็ดมะขามแสดงไว้ในรูปที่ 20 สารสกัดทุกสายพันธุ์ให้ฤทธิ์ต่ำกว่ากลุ่ม control สารสกัดเปลือกเมล็ดมะขามสีทองเบา (TI-STB/P) มีอัตราเร็วเริ่มต้นในการ inhibition hydroxyl radical ได้เร็วกว่า และทุกสายพันธุ์ฤทธิ์ของการ inhibition of hydroxyl radical ใกล้เคียงกัน

ตารางที่ 23 ค่าความชื้นของเปลือกเมล็ดมะขาม จากจังหวัดเพชรบูรณ์ (-/P) และจังหวัด
นครราชสีมา (โคราช) (-/K) แสดงค่า means (SD)

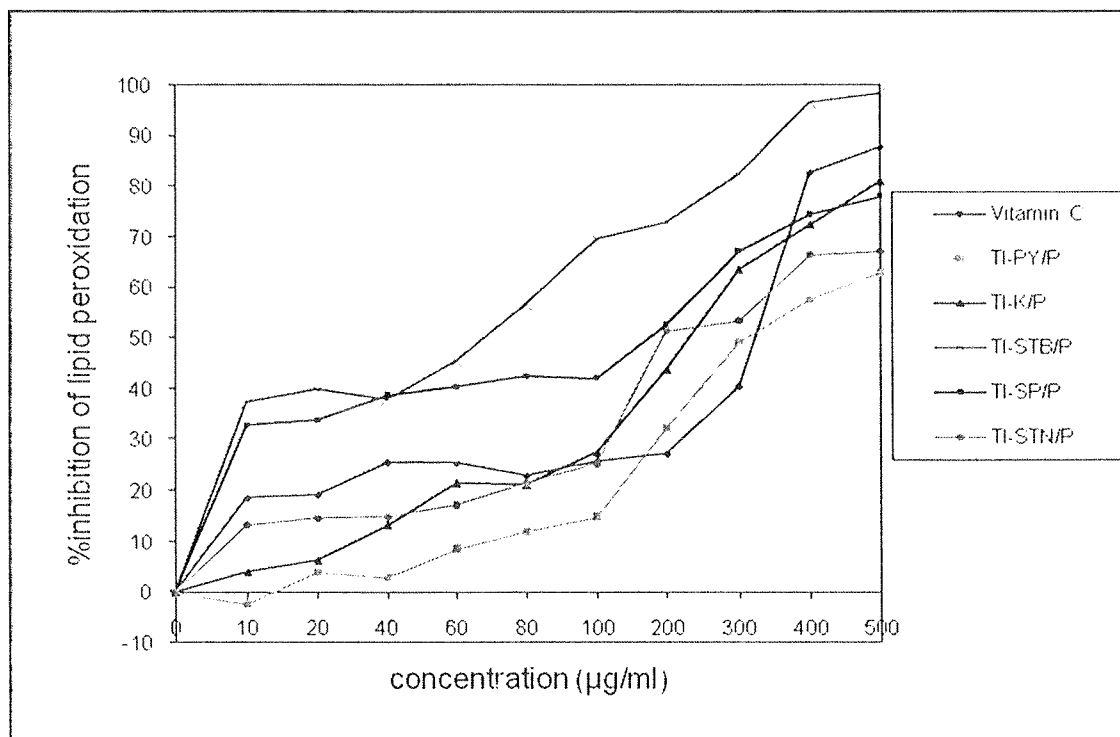
Tamarind cultivars	Moisture (%)
เปรี้ยวยักษ์/P Prew Yak/P (TI-PY/P)	8.07 (0.58)
ขันตี/P Kanti/P (TI-K/P)	9.77 (0.33)
ศรีชมภู/P Sri Chompu/P (TI-SP/P)	10.44 (0.17)
สีทองเบา/P Sitong B/P (TI-STB/P)	9.92 (0.50)
สีทองหนัก/P Sitong N/P (TI-STH/P)	10.49 (0.65)
เปรี้ยว/K Prew/K (TI-P/K)	8.77 (0.26)
ศรีชมภู/K Sri Chompu/K (TI-SP/K)	9.51 (0.60)
สีทองหนัก/K Sitong N/K (TI-STN/K)	7.48 (0.21)

ตารางที่ 24 แสดงปริมาณของสารประเภท phenolic compound ในสารสกัดจากเปลือกเมล็ดมะขามสายพันธุ์ต่างๆ

สารสกัดจากสายพันธุ์ ต่างๆ	Total phenol [GAE (g/100g dry extract)]	% Tannin	Proanthocyanidin (A_{550})
ศรีชมภู (TI-SP/P)	21.185 ± 0.741	10.077 ± 0.511	0.084 ± 0.002
สีทองหนัก (TI-STN/P)	24.519 ± 0.370	16.802 ± 0.168	0.128 ± 0.007
สีทองเบา (TI-STB/P)	36.370 ± 0.980	20.803 ± 1.046	0.179 ± 0.001
เปรี้ยวยักษ์ (TI-PY/P)	30.074 ± 0.980	25.395 ± 4.943	0.125 ± 0.002
จันทิ (TI-K/P)	36.741 ± 0.370	18.242 ± 1.046	0.177 ± 0.001



รูปที่ 18 แสดงคุณสมบัติ reducing power ของสารสกัดจากเปลือกเมล็ดมะขามสายพันธุ์ต่างๆ (ค่าที่แสดงแต่ละค่าเป็นค่า mean $\pm$ SEM (n=3))

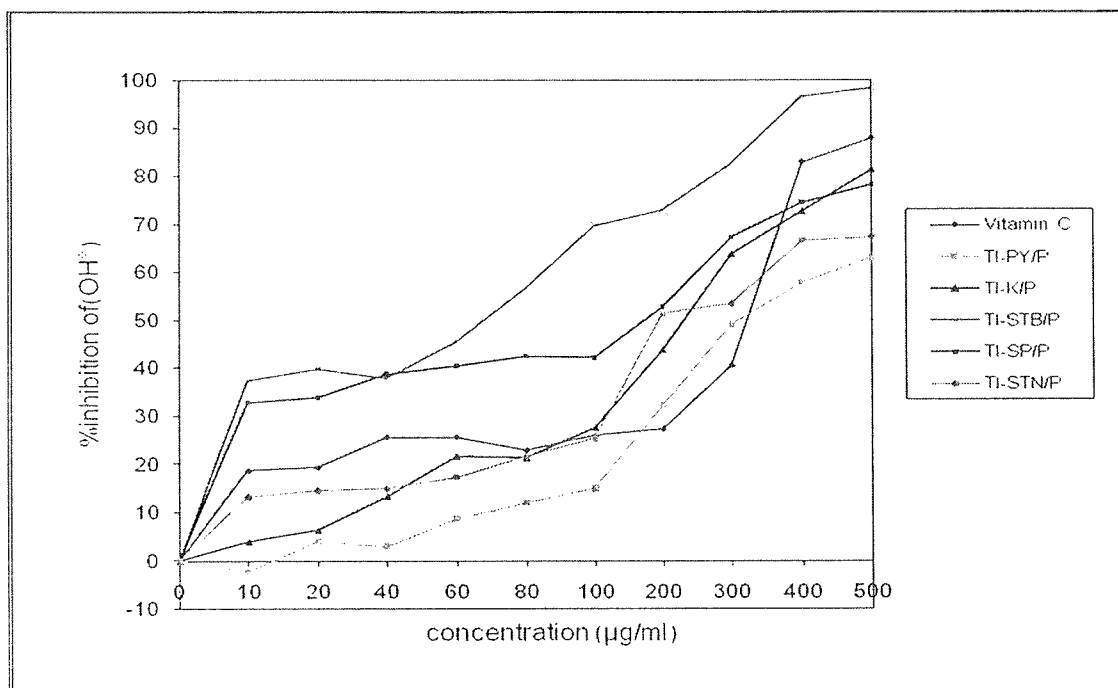


รูปที่ 19 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ความเข้มข้นและค่า % inhibition of lipid peroxidation ของสารสกัดจากเปลือกเมล็ดมะขามสายพันธุ์ต่างๆ

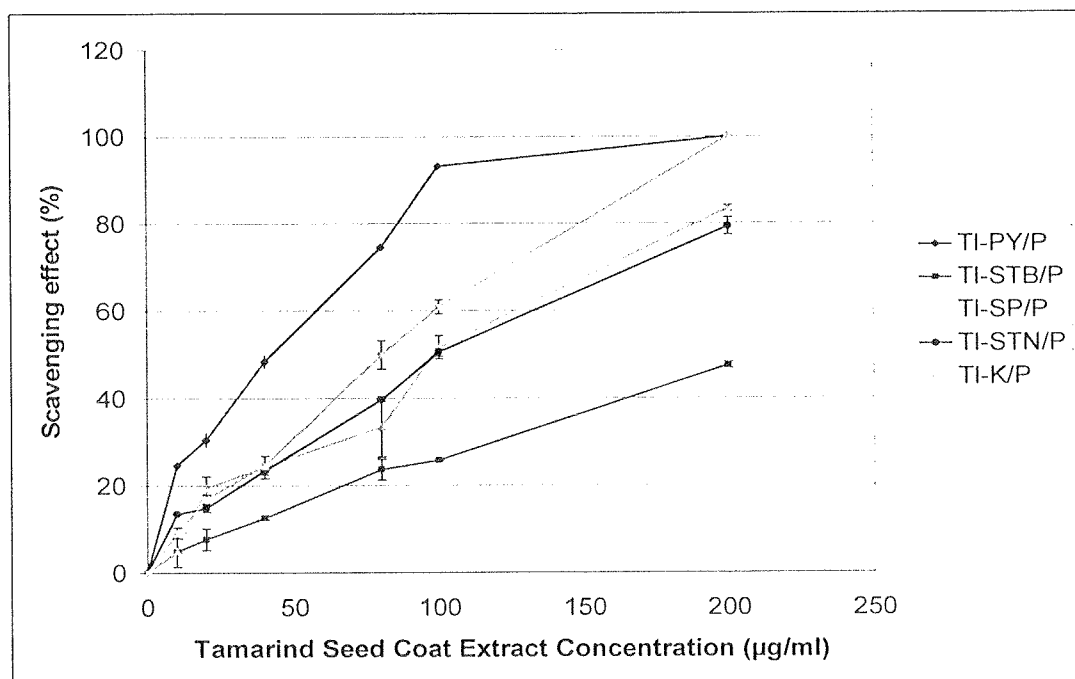
คุณสมบัติของ scavenging effect of hydroxyl peroxide แสดงในรูปที่ 21 พบว่า สารสกัดจากเปลือกเมล็ดมะขามทุกสายพันธุ์สามารถ scavenge hydroxyl peroxide ได้ดี สารสกัดมะขามเปรี้ยวยักษ์ (TI-PY/P) และพันธุ์ขันตี (TI-K/P) ให้ผลการกำจัด hydrogen peroxide ดีกว่าสายพันธุ์อื่นๆ

คุณสมบัติ scavenging effect of DPPH ของสารสกัดเปลือกเมล็ดมะขาม แสดงในรูปที่ 22 พบว่าสารสกัดเปลือกเมล็ดมะขามแต่ละสายพันธุ์มี scavenging effect ต่อ DPPH ที่ใกล้เคียงกัน การออกฤทธิ์ของสารสกัดเปลือกเมล็ดมะขามทุกสายพันธุ์มีอัตราเร็วสูง 85-95% ที่ความเข้มข้น 20 $\mu\text{g/ml}$ ของสารสกัดเปลือกเมล็ดมะขามทุกสายพันธุ์

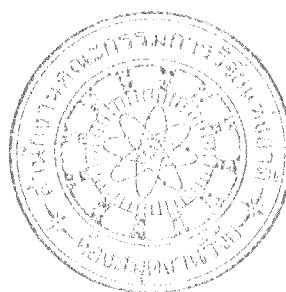
ในตารางที่ 25 แสดงค่า EC_{50} หรือความเข้มข้นที่ออกฤทธิ์ด้าน oxidation ได้ 50% ของสารสกัดเปลือกเมล็ดมะขาม ต่อวิธีวิเคราะห์มาตรฐานต่างๆ โดยการเปรียบเทียบค่า EC_{50} ของสารสกัดเปลือกเมล็ดมะขามแต่ละสายพันธุ์ สารสกัดที่ให้ค่า EC_{50} ต่ำสุด แสดงถึงความแรงสูงที่สุดในการต้านอนุมูลอิสระ หรือการเป็น antioxidant ของสารสกัด ผลการทดลองในตารางที่ 25 แสดงให้เห็นว่า สารสกัดเปลือกมะขามสีทองเบา (TI-STB/P) ให้ผลของ lipid peroxidation inhibition ได้สูงสุดเทียบกับสารสกัดเปลือกเมล็ดมะขามพันธุ์ศรีชมภู ขันตี วิตามินซี สีทองหนัก และเปรี้ยวยักษ์ตามลำดับ ในขณะที่ฤทธิ์การกำจัดอนุมูลอิสระ โดยวิธี DPPH scavenging assay สารสกัดเปลือกเมล็ดมะขามพันธุ์ขันตี ได้ผลดีที่สุด และสูงกว่าวิตามินซี ส่วนฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ hydroxyl radical สารสกัดเปลือกเมล็ดมะขามสีทองเบา ได้ผลสูงสุดเช่นเดียวกันกับการยับยั้ง lipid peroxidation ฤทธิ์ของ reducing power ของสารสกัดเปลือกเมล็ดมะขามมีค่าสูงกว่า positive controlที่ใช้ reference standard คือวิตามินซี และ BHA

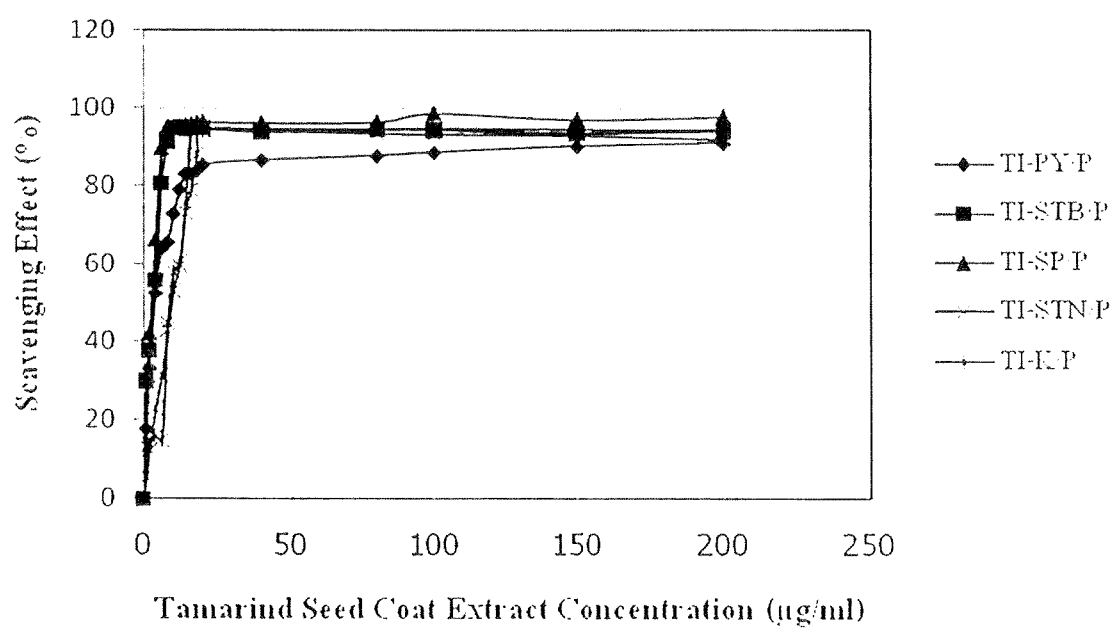


รูปที่ 20 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า % inhibition of hydroxyl radical กับความเข้มข้นของสารสกัด 5 สายพันธุ์



รูปที่ 21 แสดงค่า % scavenging effect ในการกำจัดสารไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ของสารสกัดจากเปลือกเมล็ดมะขาม ทั้ง 5 สายพันธุ์ ที่ความเข้มข้นต่างๆ





รูปที่ 22 แสดง % scavenging effect ต่ออนุมูลอิสระ DPPH ของสารสกัดเปลือกเมล็ดมะขามสายพันธุ์ต่างๆ

ตารางที่ 25 เปรียบเทียบค่า EC_{50} ของสารสกัดเปลือกเมล็ดมะขาม (TSCE) ต่างสายพันธุ์จากการวิเคราะห์ด้วยวิธีมาตรฐานต่างๆ

TSCE	EC_{50} ($\mu\text{g/ml}$)			
	Lipid peroxidation	DPPH	Hydroxyl radicals	Reducing power
TI-SP/P (ศรีชมภู)	192.94 ± 0.50^b	314.31 ± 11.56^c	187.95 ± 26.84^d	na
TI-STN/P (สีทองหนัก)	226.95 ± 9.53^{bc}	217.09 ± 56.15^{bc}	138.05 ± 7.56^{cd}	na
TI-STB/P (สีทองเบา)	62.19 ± 7.13^a	233.25 ± 14.92^{bc}	62.23 ± 9.36^{ab}	162.26 ± 0.61^b
TI-PY/P (เปรี้ยวขี้กษ)	354.45 ± 14.05^d	152.95 ± 4.14^{ab}	129.11 ± 4.02^c	142.06 ± 1.72^a
TI-K/P (ขันคี่)	218.19 ± 11.85^b	70.10 ± 1.75^a	102.67 ± 4.02^{bc}	na
Vitamin C	263.93 ± 8.03^c	138.29 ± 5.54^{ab}	nt	231.15 ± 1.15^d
BHA	nt	nt	5.28 ± 0.03^a	254.69 ± 0.96^c

Data are mean $\pm$ SEM (n=3), DPPH = 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl,

BHA = butylated hydroxyanisol,

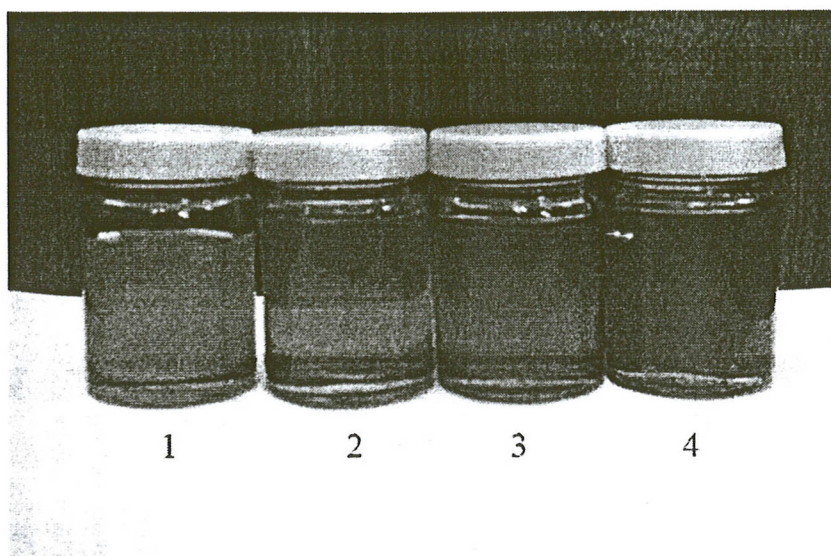
a, b, c, d = significant difference between groups

na = not applicable, nt = not tested

7. การเตรียมผลิตภัณฑ์เจลเปลือกเมล็ดมะขามที่มีฤทธิ์ lipid peroxidation inhibition ได้แก่ TSCE ของเปลือกเมล็ดมะขามสีทองเบา (TI-STB/P)

การทดลองได้คัดเลือกเปลือกเมล็ดมะขามที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูง ได้แก่ TSCE ของเปลือกเมล็ดมะขามสีทองเบา (TI-STB/P) มาเตรียมผลิตภัณฑ์เจล โดยเตรียมผลิตภัณฑ์ในความเข้มข้นต่างๆ 3 ความเข้มข้นของสารสกัดเปลือกเมล็ดมะขาม (TSCE) ใน gel 1 กรัม ประกอบด้วย 70 140 และ 280 μg ตามลำดับ ทำการเตรียมโดยใช้สารสกัด polysaccharide จากเปลือกทุเรียน (PG) เป็นสารก่อกเจล จากการทดลอง ได้ผลิตภัณฑ์ TSCE-PG gel ดังรูปของผลิตภัณฑ์แสดงในรูปที่ 23 คุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ ดังแสดงในตารางที่ 26 แต่ละผลิตภัณฑ์มีลักษณะเป็นเจลใส มีความเข้มข้นของสี ตั้งแต่สีน้ำตาลอ่อน จนถึงสีน้ำตาลเข้มของสารสกัดเปลือกเมล็ดมะขาม คุณสมบัติของผลิตภัณฑ์เจลในขณะเตรียมใหม่ๆ และหลังทดสอบความคงตัว โดยวิธี ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง นาน 30 วัน และในสภาวะเร่งโดยผ่านการทดสอบโดยวิธี heating-cooling cycles 4 cycles ไม่พบความแตกต่างที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของผลิตภัณฑ์โดยมีนัยสำคัญ ยกเว้นมีค่าของ viscosity เพิ่มขึ้น และในรูปที่ 24 แสดงคุณสมบัติการไหลของผลิตภัณฑ์ที่เตรียม 3 ความเข้มข้นที่ทดสอบ หลังการเตรียมเสร็จใหม่ๆ และหลังผ่าน stability test แสดงรูปแบบการไหลที่คล้ายกัน

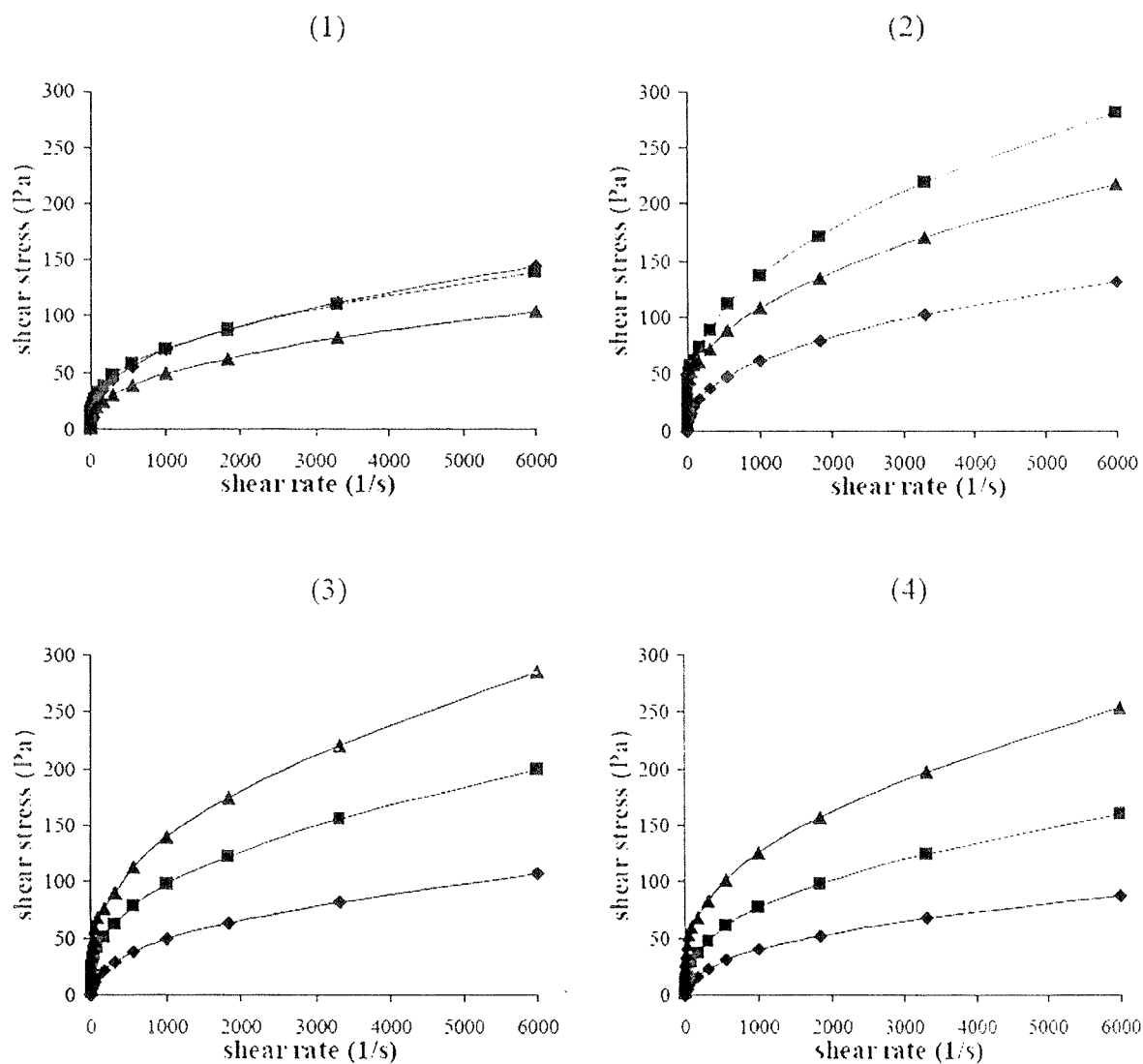
เมื่อทดสอบประสิทธิภาพการต้าน lipid peroxidation ของผลิตภัณฑ์เจลที่เตรียมขึ้น ได้ผลดังแสดงไว้ในรูปที่ 25 ผลิตภัณฑ์ TSCE-PG gel มีคุณสมบัติของ lipid peroxidation inhibition จากการทดสอบโดยวิธี lipid peroxidation inhibition test (Jiang *et al.*, 2005) เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของ TSCE จะได้ผลมี lipid peroxidation inhibition เพิ่มขึ้น แต่การให้ความร้อนในสภาวะเร่งในการทดสอบ stability test จะทำให้คุณสมบัติการ inhibit ของ lipid peroxidation ลดลงมาก ขณะที่การทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง มีผลน้อยต่อการสูญเสียของ activity ของ lipid peroxidation inhibition (รูปที่ 25) TSCE สามารถนำมาพัฒนาเตรียมผลิตภัณฑ์เจลใช้ภายนอกสำหรับผิวหน้าได้ ซึ่งประสิทธิภาพของผลิตภัณฑ์ในการดูแลผิวหน้า ช่วยลดรอยเหี่ยวย่นได้หรือไม่ ยังคงต้องทำการศึกษาต่อไป



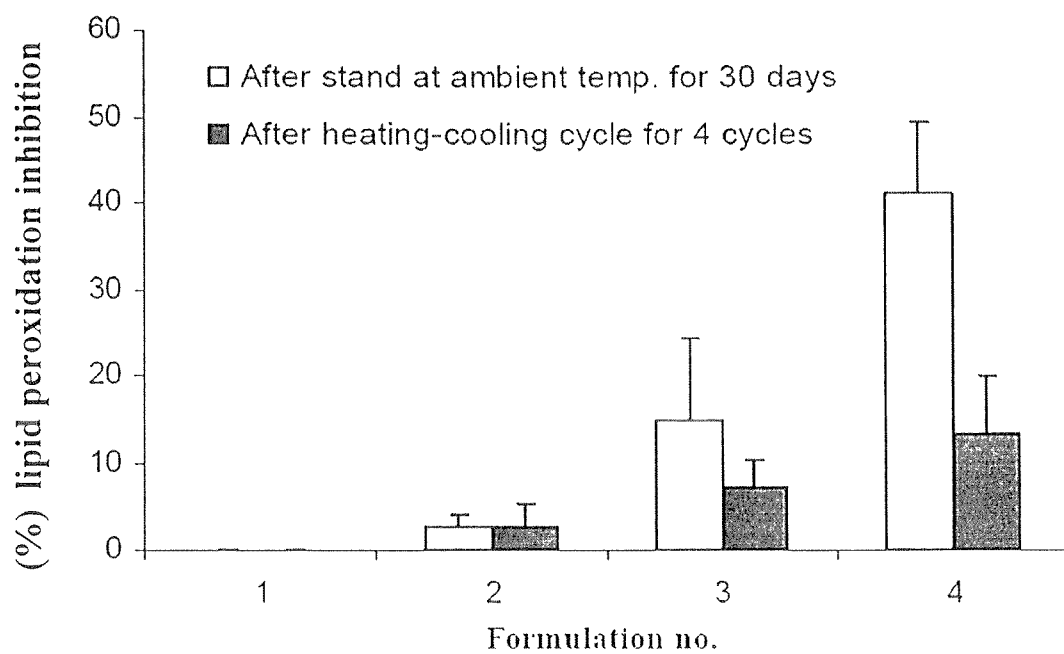
รูปที่ 23 ผลิตภัณฑ์เจลสารสกัดเปลือกหุ้มเมล็ดมะขาม (TSCE) ใน PG gel 1 กรัม: 1 = PG gel base, 2 = TSCE 70 μg ใน PG gel, 3 = TSCE 140 μg ใน PG gel และ 4 = TSCE 280 μg ใน PG gel

ตารางที่ 26 ลักษณะทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ PG gel และ TSCE-PG gel ที่ความเข้มข้นต่างๆของ สารสกัดเปลือกหุ้มเมล็ดมะขาม

Preparation no. (TSCE concentration, $\mu\text{g/g}$)	Description of gel products			
	Condition	After freshly prepared	After 30 days stand at ambient temperature	After heating- cooling for 4 cycles
1 (0)	Appearance:	not clear gel	not clear gel	not clear gel
	Air bubble:	less	none	none
	Color:	light yellow	light yellow	light yellow
	Flow:	easy	not easy	not easy
	pH(mean $\pm$ SEM):	4.32 $\pm$ 0.01	3.83 $\pm$ 0	3.75 $\pm$ 0.01
	Viscosity(cPs) (mean $\pm$ SEM)	720.3 $\pm$ 115.1	1183.9 $\pm$ 103.9	609.3 $\pm$ 144.5
2 (70)	Appearance:	clear gel	clear gel	clear gel
	Air bubble:	less	none	none
	Color:	light yellow-	light yellow-	light yellow-
	Flow:	brown	brown	brown
	pH(mean $\pm$ SEM):	easy	not flow	not flow
	Viscosity(cPs): (mean $\pm$ SEM)	4.44 $\pm$ 0 515.7 $\pm$ 168.6	4.34 $\pm$ 0 2760.2 $\pm$ 227.4	4.26 $\pm$ 0 2337.7 $\pm$ 375.6
3 (140)	Appearance:	clear gel	clear gel	clear gel
	Air bubble:	less	none	none
	Color:	yellow-brown	yellow-brown	yellow-brown
	Flow:	easy	not flow	not flow
	pH(mean $\pm$ SEM):	4.45 $\pm$ 0	4.32 $\pm$ 0	4.32 $\pm$ 0
	Viscosity(cPs) (mean $\pm$ SEM):	362.1 $\pm$ 68.6	1503.3 $\pm$ 222.8	2605.0 $\pm$ 356.6
4 (280)	Appearance:	not clear gel	not clear gel	not clear gel
	Air bubble:	less	none	none
	Color:	light brown	light brown	light brown
	Flow:	easy	not flow	not flow
	pH(mean $\pm$ SEM):	4.70 $\pm$ 0	4.17 $\pm$ 0	4.13 $\pm$ 0
	Viscosity(cPs): (mean $\pm$ SEM)	216.3 $\pm$ 23.9	865.0 $\pm$ 337.8	2554.8 $\pm$ 268.0



รูปที่ 24 กราฟแสดงคุณสมบัติการไหลของผลิตภัณฑ์เจล ◆: หลังเตรียมผลิตภัณฑ์เสร็จใหม่ๆ, ■: หลังจากเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 30 วัน, ▲: หลังจากผ่านการทดสอบ heating-cooling cycling test, (1) = PG gel base, (2) = TSCE 70 $\mu\text{g/g}$ PG gel, (3) = TSCE 140 $\mu\text{g/g}$ PG gel และ (4) = TSCE 280 $\mu\text{g/g}$ PG gel



รูปที่ 25 ประสิทธิภาพฤทธิ์การต้านลิพิดเปอร์ออกซิเดชัน(Lipid peroxidation inhibition) ของผลิตภัณฑ์ TSCE-PG gel