

บทที่ 4 ผลการทดลอง

ส่วนที่ 1 การผลิตแป้งข้าวและวิเคราะห์สมบัติทางเคมีและทางกายภาพของแป้งข้าว

4.1 ผลผลิตของแป้งข้าวที่ได้จากการแปรรูปข้าวสารเป็นแป้งข้าวโดยการโม่แห้ง

ข้าวสารทั้ง 5 พันธุ์นำมาผ่านกระบวนการแปรรูปเป็นแป้งข้าว (ดังรูปที่ 3.3) พบว่ามีร้อยละผลผลิตแป้งข้าวที่ได้ แสดงดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ร้อยละผลผลิตแป้งข้าวที่ได้จากข้าวสารพันธุ์ต่างๆโดยวิธีโม่แห้ง

พันธุ์ข้าว	ผลผลิตแป้งข้าวที่ได้* (ร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง)
ข้าวเจ้า	
ก.ว.ก. 1	74.87c
ขาวดอกมะลิ 105	65.25e
ชัยนาท 1	68.84d
ข้าวเหนียว	
ก่ำดอยสะเก็ด	79.15b
เหนียวสันป่าตอง	82.46a
LSD _{0.05}	1.7486

* ค่าที่ได้เป็นค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 4 ซ้ำ

a,b,c,... ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวดิ่งเดียวกัน แสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

จากตารางที่ 4.1 เมื่อวิเคราะห์ความแปรปรวนระหว่างพันธุ์และร้อยละผลผลิตแป้งข้าว พบว่าพันธุ์เป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้ร้อยละผลผลิตแป้งข้าวแตกต่างกัน โดยพันธุ์ข้าวเหนียว ซึ่งได้แก่ พันธุ์ก่ำดอยสะเก็ด และเหนียวสันป่าตอง เมื่อโม่เป็นแป้งแล้ว มีร้อยละผลผลิตสูงกว่าพันธุ์ข้าวเจ้า ซึ่งได้แก่ พันธุ์ข้าวญี่ปุ่น ก.ว.ก.1 พันธุ์ข้าวขาวดอกมะลิ 105 และชัยนาท 1

ถ้าแยกชนิดของข้าวออกตามองค์ประกอบทางเคมีเป็นข้าวเจ้าและข้าวเหนียว ซึ่งข้าวเจ้า ได้แก่ ข้าว ก.ว.ก. 1 ข้าวขาวดอกมะลิ 105 และข้าวชัยนาท 1 ส่วนข้าวเหนียว ได้แก่ ข้าวกำดอย สะเก็ด ข้าวเหนียวสันป่าตอง นำมาวิเคราะห์ความแปรปรวนระหว่างชนิดของข้าวและร้อยละ ผลผลิตแบ่งข้าวแล้ว แสดงผลได้ดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ร้อยละผลผลิตของแบ่งข้าวที่ได้จากข้าวเจ้าและข้าวเหนียว

ชนิดของข้าว	ผลผลิตแบ่งข้าวที่ได้โดยเฉลี่ย (ร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง)
ข้าวเจ้า*	69.95b
ข้าวเหนียว**	80.39a
LSD _{0.05}	4.8429

* แบ่งข้าวเจ้าที่ใช้ในการวิเคราะห์ คือ แบ่งข้าว ก.ว.ก.1 ขาวดอกมะลิ 105 และชัยนาท 1

** แบ่งข้าวเหนียวที่ใช้ในการวิเคราะห์ คือ แบ่งข้าวกำดอยสะเก็ด และแบ่งข้าวเหนียวสันป่าตอง

a,b,c,... ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งเดียวกัน แสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

จากตารางที่ 4.2 เห็นได้ชัดว่าข้าวเหนียวโดยทั่วไปแล้ว ให้ผลผลิตแบ่งข้าวสูงกว่าข้าวเจ้า อย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) สอดคล้องกับผลการทดลองจากตารางที่ 4.1

เนื่องจากในข้าวพันธุ์ต่างๆ จะมีความหลากหลายขององค์ประกอบทางเคมีอยู่ ดังนั้นในขั้นตอนต่อไปจะศึกษาถึงองค์ประกอบทางเคมีในแบ่งข้าวทั้ง 5 พันธุ์ และจะศึกษาเชื่อมโยงไปถึงผลขององค์ประกอบทางเคมีที่มีต่อร้อยละผลผลิตแบ่งในภายหลัง (หัวข้อ 4.3)

4.2 องค์ประกอบทางเคมีของแบ่งข้าว

เนื่องจากในการทดลองมีการวิเคราะห์ปริมาณความชื้นของแบ่งข้าวก่อนทำการวิเคราะห์องค์ประกอบเคมีหรือสมบัติทางกายภาพทุกครั้ง ดังนั้นจึงแสดงผลการทดลองขององค์ประกอบเคมีของแบ่งข้าวเป็นหน่วยของร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง และในผลการทดลองนี้จะแสดงผลค่าความชื้นเฉพาะความชื้นของเมล็ดข้าวในครั้งแรกก่อนจะนำมาผลิตเป็นแบ่งข้าวเท่านั้น โดยปริมาณความชื้นภายในเมล็ดข้าวพันธุ์ต่างๆ แสดงได้ดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ร้อยละความชื้นของเมล็ดข้าวทั้ง 5 พันธุ์*

พันธุ์	ร้อยละความชื้น
ข้าวเจ้า	
ก.วก. 1	9.91
ขาวดอกมะลิ 105	9.82
ชัยนาท 1	9.98
ข้าวเหนียว	
ก่ำดอยสะเก็ด	10.10
เหนียวสันป่าตอง	10.01
LSD _{0.05}	ns

* ค่าที่ได้เป็นค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์แบ่งข้าว 5 พันธุ์ ทั้ง 4 ซ้ำ ซ้ำละ 2 ครั้ง
ns ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

จากตารางที่ 4.3 เมื่อวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติระหว่างพันธุ์และองค์ประกอบทางเคมีของแบ่งข้าวแล้ว พบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) แต่จากการสังเกตพบว่าข้าวเหนียวแสดงแนวโน้มของร้อยละความชื้นสูงกว่าข้าวเจ้าเล็กน้อย

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติระหว่างพันธุ์และองค์ประกอบทางเคมีของแบ่งข้าวทั้ง 5 พันธุ์ พบว่าแบ่งข้าวต่างพันธุ์กันจะมีองค์ประกอบทางเคมีแตกต่างกัน ปริมาณขององค์ประกอบเคมีชนิดต่างๆของแบ่งข้าว แสดงดังตารางที่ 4.4 และ 4.5

ตารางที่ 4.4 องค์ประกอบทางเคมีของแป้งข้าวทั้ง 5 พันธุ์* เปรียบเทียบกับองค์ประกอบเคมีของข้าวสารและข้าวกล้องที่ได้จากงานวิจัยอื่น

พันธุ์	ร้อยละโดยน้ำหนักแห้งต่อน้ำหนักแป้งแห้ง				
	คาร์โบไฮเดรต	โปรตีน	ไขมัน	เส้นใย	เถ้า
ข้าวเจ้า					
ก.ว.ก. 1	89.76a	7.67d	1.41c	0.67a	0.50b
ขาวดอกมะลิ 105	89.10b	7.85d	2.21b	0.56b	0.28d
ชัยนาท 1	88.13c	8.55b	2.63a	0.33d	0.36c
ข้าวเหนียว					
ก่ำดอยสะเก็ด	87.73d	10.17a	1.07d	0.44c	0.59a
เหนียวสันป่าตอง	89.91a	8.29c	0.89d	0.59b	0.32cd
LSD _{0.05}	0.3210	0.2397	0.2204	0.0577	0.0524
ข้อมูลที่นำมาเปรียบเทียบ					
ข้าวสาร ¹	86.9 – 89.8	6.5 – 9.6	0.3 – 1.1	0.4 – 1.0	0.5 – 1.9
ข้าวสาร ²	86.2 – 92.6	6.5 – 13.3	0.3 – 0.6	0.1 – 0.6	0.4 – 0.7
ข้าวกล้อง ¹	85.2 – 90.2	7.2 – 10.8	0.6 – 3.1	0.2 – 1.9	0.5 – 2.1
ข้าวกล้อง ²	79.4 – 88.0	7.1 – 13.1	2.4 – 3.9	0.8 – 2.6	1.5 – 2.1

* ค่าที่ได้เป็นค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์แป้งข้าว 5 พันธุ์ ทั้ง 4 ซ้ำ แต่ละซ้ำทำการวิเคราะห์ 2 ครั้ง

a,b,c,... ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งเดียวกัน แสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

¹ มาจากงานวิจัยของ Hirohata และ Chen (1959)

² มาจากงานวิจัยของ Juliano และคณะ (1964a)

จากตารางที่ 4.4 เมื่อเปรียบเทียบองค์ประกอบทางเคมีของแป้งข้าวที่ใช้ในงานวิจัยกับองค์ประกอบทางเคมีของข้าวสารจากงานวิจัยของ Hirohata และ Chen (1959) และ Juliano และคณะ(1964a) พบว่าองค์ประกอบเกือบทุกชนิดไม่มีความแตกต่างจากองค์ประกอบเคมีที่วิเคราะห์ได้จากทั้งสองงานวิจัย มีเพียงปริมาณไขมันเท่านั้นที่พบว่าแป้งข้าวที่ใช้ในงานวิจัยที่ศึกษาในครั้งนี้มีปริมาณสูงกว่าแป้งข้าวที่ได้จากทั้งสองงานวิจัย

ในการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของแป้งข้าว ได้วิเคราะห์ปริมาณของอัมัยโลสและอัมัยโลเพคตินที่มีอยู่ในแป้งข้าวทั้ง 5 พันธุ์ ในงานวิจัยนี้ แสดงดังตารางที่ 4.5 เนื่องจากองค์ประกอบหลักของคาร์โบไฮเดรต คือ สตาร์ช และสตาร์ชมีอัมัยโลสและอัมัยโลเพคตินเป็นองค์ประกอบหลัก

ตารางที่ 4.5 ปริมาณอัมัยโลส และอัมัยโลเพคตินของแป้งข้าวทั้ง 5 พันธุ์*

พันธุ์	ร้อยละโดยน้ำหนักแห้งต่อน้ำหนักแป้งแห้ง		
	อัมัยโลส	อัมัยโลเพคติน	สัดส่วนอัมัยโลสต่ออัมัยโลเพคติน**
ข้าวเจ้า			
ก.ว.ก. 1	18.50b	81.50c	0.23b
ขาวดอกมะลิ 105	18.70b	81.30c	0.23b
ชัยนาท 1	29.64a	70.36d	0.42a
ข้าวเหนียว			
ก่ำดอยสะเก็ด	5.25c	94.75b	0.06c
เหนียวสันป่าตอง	3.70d	96.30a	0.04c
LSD _{0.05}	1.5082	1.5082	0.0280

* ค่าที่ได้เป็นค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์แป้งข้าว 5 พันธุ์ ทั้ง 4 ซ้ำ ซ้ำละ 2 ครั้ง

** ค่าที่ได้จากการคำนวณ โดยนำร้อยละอัมัยโลสหารด้วยร้อยละอัมัยโลเพคติน

a,b,c,... ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งเดียวกัน แสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

จากตารางที่ 4.5 สามารถจัดประเภทของข้าว ตามปริมาณร้อยละอัมัยโลสที่มีอยู่ในแป้งข้าว แสดงประเภทของข้าวได้ดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 ประเภทของแป้งข้าวทั้ง 5 พันธุ์ตามการแบ่งโดยใช้เกณฑ์อัมยิโลสของ Juliano (1992)

พันธุ์		% อัมยิโลส	ประเภทของข้าว
ก.ว.ก. 1	ข้าวจาปอนิก้า	18.50	ข้าวอัมยิโลสต่ำ
ก้าดอยสะเกิด	ข้าวอินดิก้า	5.25	ข้าวอัมยิโลสต่ำมากหรือข้าวเหนียว*
ขาวดอกมะลิ 105	ข้าวอินดิก้า	18.70	ข้าวอัมยิโลสต่ำ
ชัยนาท 1	ข้าวอินดิก้า	29.64	ข้าวอัมยิโลสสูง
เหนียวสันป่าตอง	ข้าวอินดิก้า	3.70	ข้าวอัมยิโลสต่ำมากหรือข้าวเหนียว*

* ถ้าแบ่งตามเกณฑ์ของ Juliano (1992) เป็นข้าวอัมยิโลสต่ำมาก แต่เนื่องจากบ้านเรานิยมเรียกข้าวที่มีปริมาณอัมยิโลสต่ำกว่าร้อยละ 9 ว่าข้าวเหนียว (อุตสาหกรรม, 2529)

จากหัวข้อ 4.1 ในเรื่องผลผลิตแป้งข้าว พบว่าพันธุ์ส่งผลต่อร้อยละผลผลิตแป้งข้าวที่ได้ และจากผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนขององค์ประกอบทางเคมีของแป้งข้าว 5 พันธุ์ก็พบว่าความหลากหลายของพันธุ์ทำให้องค์ประกอบทางเคมีของแป้งข้าวมีความหลากหลายด้วยเช่นกัน ดังนั้นองค์ประกอบทางเคมีที่หลากหลายของแป้งข้าวน่าจะเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อร้อยละผลผลิตแป้งข้าวที่ได้จากการโม่แห้ง ดังนั้นในหัวข้อต่อไปจึงศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบเคมีกับร้อยละผลผลิตแป้งข้าวที่ได้

4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างผลผลิตแป้งข้าวที่ได้กับองค์ประกอบทางเคมีของแป้งข้าว

ความสัมพันธ์ระหว่างผลผลิตแป้งข้าวที่ได้จากการโม่แห้งกับองค์ประกอบทางเคมีของแป้งข้าวทั้ง 5 พันธุ์ แสดงดังตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 ค่าสหสัมพันธ์ (r) ระหว่างปริมาณผลผลิตที่ได้กับองค์ประกอบทางเคมีของแป้งข้าว จากการศึกษาวิเคราะห์โดย Pearson's correlation analysis

	ผลผลิต		
	แป้งข้าว 5 พันธุ์	แป้งข้าวเจ้า 3 พันธุ์	แป้งข้าวเหนียว 2 พันธุ์
ผลผลิต	1.0000	1.0000	1.0000
ความชื้นของเมล็ด	0.4683*	ns	ns
อัมยิโลส	-0.8013**	ns	-0.8455**
อัมยิโลเพคติน	0.8013**	ns	0.8455**
โปรตีน	ns	ns	-0.8403**
ไขมัน	-0.8712**	-0.6324*	ns

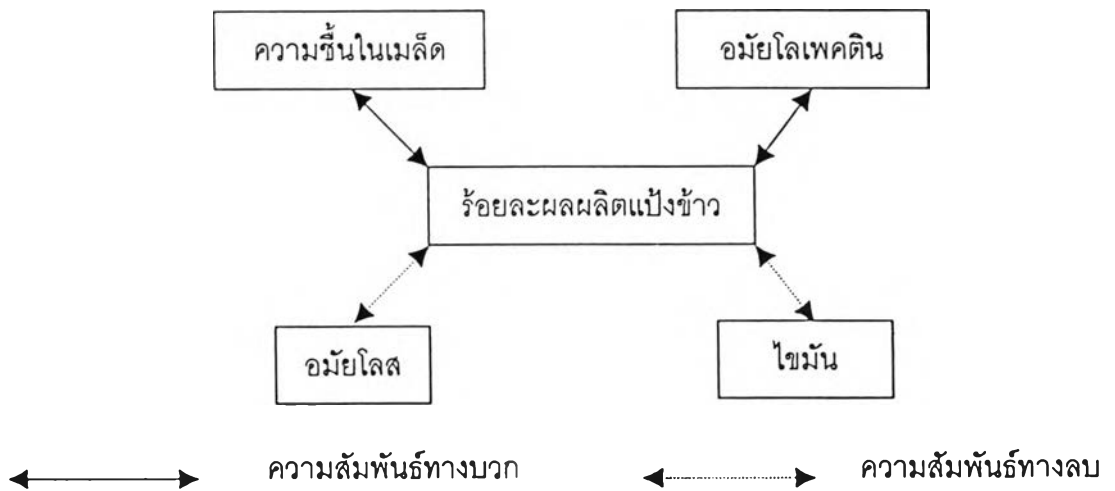
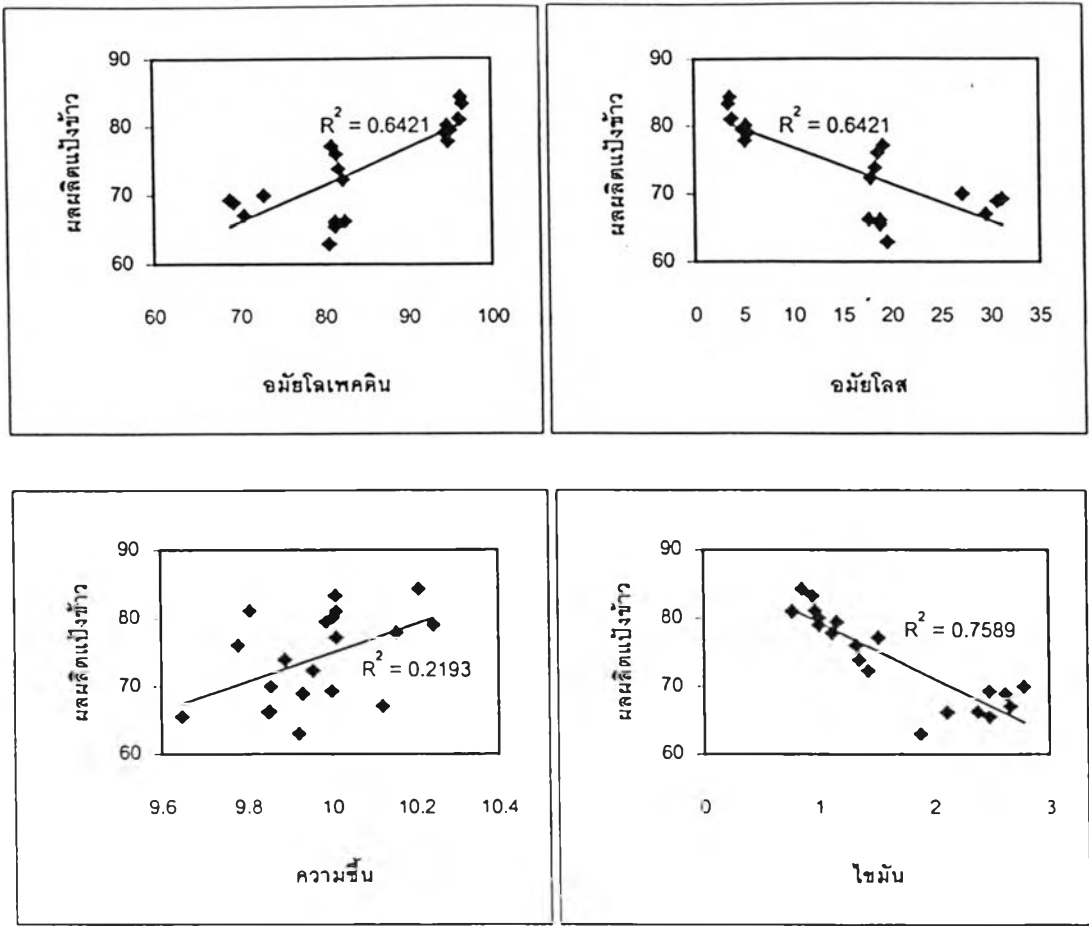
ns : ไม่มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

* : สัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

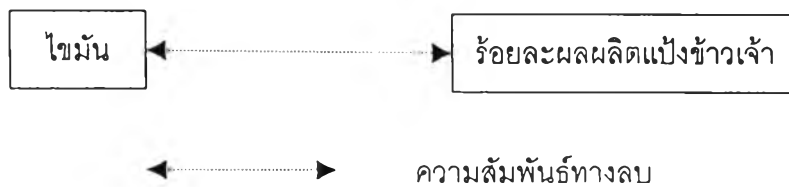
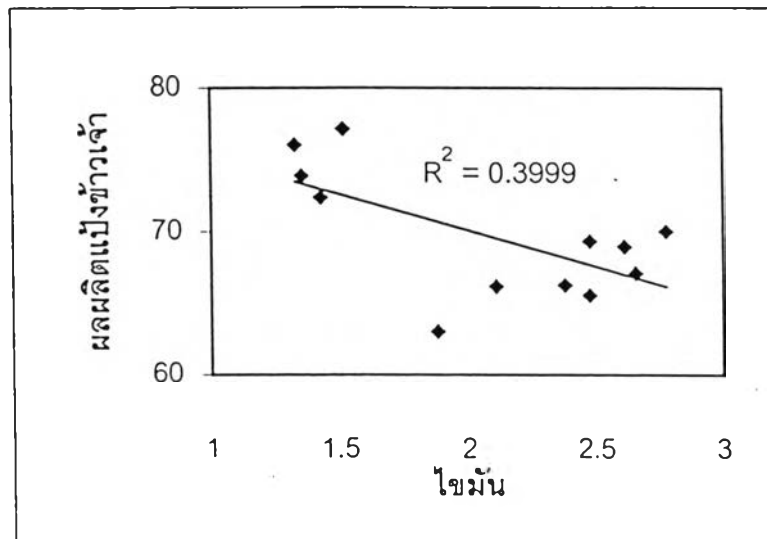
** : สัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.01$)

จากตารางที่ 4.7 เมื่อพิจารณาค่าสหสัมพันธ์ระหว่างผลผลิตแป้งข้าวทั้ง 5 พันธุ์ กับองค์ประกอบเคมีที่สำคัญ พบว่าผลผลิตแป้งข้าวมีความสัมพันธ์กับร้อยละความชื้นภายในเมล็ด ปริมาณอัมยิโลส อัมยิโลเพคติน และไขมัน อย่างมีนัยสำคัญ $p < 0.05$ เป็นอย่างน้อย และได้แสดงความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละผลผลิตแป้งข้าวทั้ง 5 พันธุ์และองค์ประกอบเคมีดังรูปที่ 4.1 ซึ่งจากรูปจะเห็นได้ชัดว่าผลผลิตแป้งข้าวทั้ง 5 พันธุ์มีความสัมพันธ์กับความชื้น อัมยิโลส อัมยิโลเพคติน และไขมัน โดยความชื้นและอัมยิโลเพคตินให้ความสัมพันธ์ในทางบวก ในขณะที่อัมยิโลสและไขมันให้ความสัมพันธ์ในทางลบกับปริมาณผลผลิตแป้งข้าว 5 พันธุ์

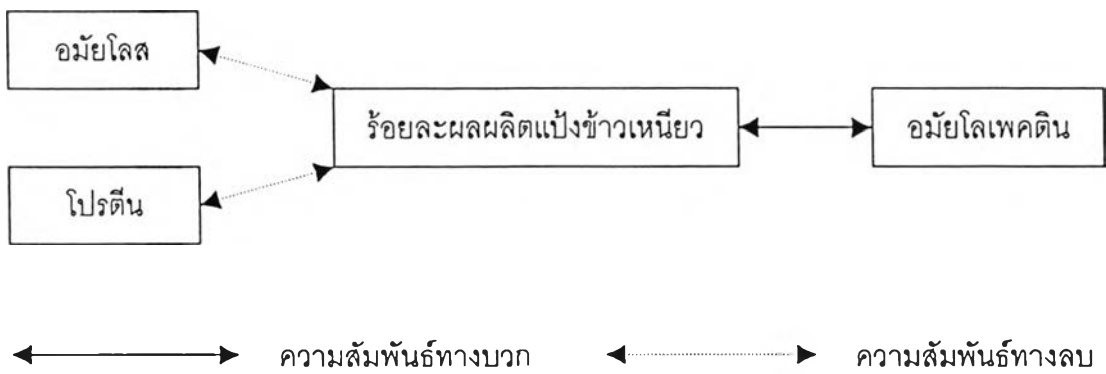
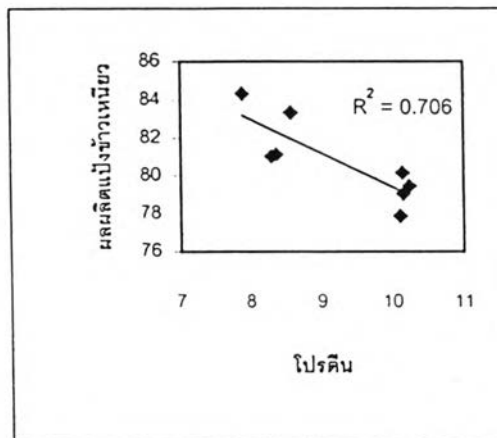
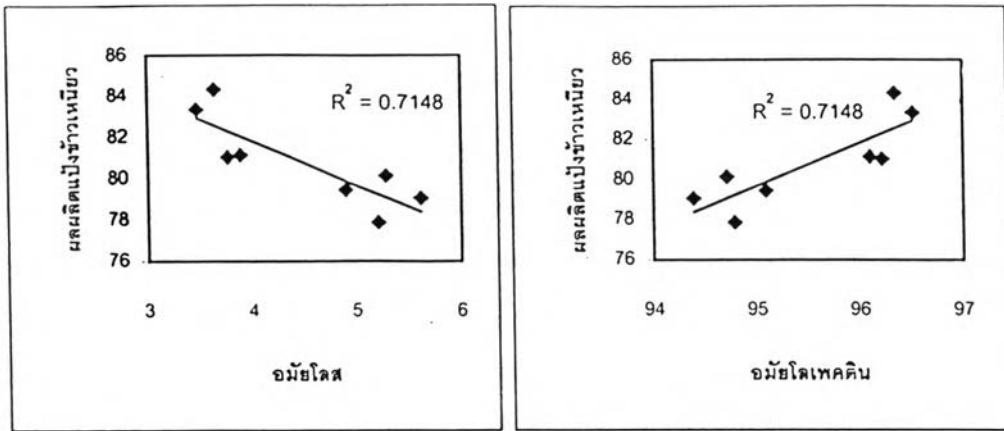
นอกจากนี้ยังนำองค์ประกอบเคมีของแป้งข้าวเจ้าและแป้งข้าวเหนียวมาวิเคราะห์ความแปรปรวนกับปริมาณผลผลิตแป้งข้าวเจ้าและแป้งข้าวเหนียว แสดงผลการวิเคราะห์ดังตารางที่ 4.7 ซึ่งจากผลการวิเคราะห์พบว่าปัจจัยที่ส่งผลต่อปริมาณผลผลิตแป้งข้าวเจ้า มีเพียงไขมันเท่านั้น โดยไขมันให้ความสัมพันธ์ทางลบกับผลผลิตแป้งข้าวเจ้า แสดงดังรูปที่ 4.2 สำหรับแป้งข้าวเหนียว พบความสัมพันธ์ของโปรตีน อัมยิโลส และอัมยิโลเพคตินที่มีต่อผลผลิตแป้งข้าวเหนียว โดยพบว่าโปรตีนและอัมยิโลสให้ความสัมพันธ์ทางลบ และอัมยิโลเพคตินให้ความสัมพันธ์ในทางบวกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.01$) แสดงผลดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบเคมีที่สำคัญกับร้อยละผลผลิตแบ่งข้าวที่ได้จากข้าว ทั้ง 5 พันธุ์



รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบเคมีที่สำคัญกับร้อยละผลผลิตแบ่งข้าวที่ได้จากข้าวสารเจ้า 3 พันธุ์ คือ พันธุ์ ก.วก. 1 ขาวดอกมะลิ 105 และชัยนาท 1



รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบเคมีที่สำคัญกับร้อยละผลผลิตแบ่งข้าวที่ได้จากข้าวสารเหนียว 2 พันธุ์ คือ พันธุ์ก่ำดอยสะเก็ด และพันธุ์เหนียวสันป่าตอง

4.4 ความสัมพันธ์ขององค์ประกอบทางเคมีในแป้งข้าว

มีงานวิจัยซึ่งรายงานถึงความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบทางเคมีภายในสตาร์ชไว้หลายงาน (Juliano et al., 1964a; 1964b; Morrison et al., 1984; Choudhury and Juliano, 1980; South et al., 1991) โดยองค์ประกอบเคมีที่นำมาศึกษาความสัมพันธ์ คือ อมัยโลเพคติน อมัยโลส โปรตีน และไขมัน

ดังนั้นจึงนำร้อยละองค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญของแป้งข้าวทั้ง 5 พันธุ์ มาวิเคราะห์ค่าสหสัมพันธ์ (correlation) เพื่อศึกษาถึงความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบทางเคมี โดยแสดงผลดังตารางที่ 4.8 และแสดงให้เห็นความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบเคมีของแป้งข้าวทั้ง 5 พันธุ์ให้ชัดเจนยิ่งขึ้นในรูปที่ 4.4 ซึ่งจากตารางและรูป แสดงให้เห็นว่าสำหรับแป้งข้าวทั้ง 5 พันธุ์ ปริมาณอมัยโลสมีสัดส่วนผกผันกับปริมาณอมัยโลเพคติน โดยมีค่า $r = -1.0000$ เนื่องจากปริมาณอมัยโลเพคตินนั้นได้มาจากการนำ 100 ไปหักลบด้วยปริมาณอมัยโลส ดังนั้นผลของอมัยโลสและอมัยโลเพคตินจะตรงข้ามกันเสมอ อมัยโลสมีสัดส่วนตรงกับไขมัน ($r = 0.8970$, $p < 0.01$) ในขณะที่อมัยโลเพคตินมีสัดส่วนผกผันกับไขมัน ($r = -0.8970$, $p < 0.01$) ซึ่งผลที่ได้นี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ South และคณะ (1991) ซึ่งหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณไขมันและปริมาณอมัยโลสในสตาร์ชข้าวโพดและข้าวโพดข้าวเหนียวทั้งหมด 20 พันธุ์ พบว่าปริมาณไขมันเป็นสัดส่วนโดยตรงกับปริมาณอมัยโลส อย่างมีนัยสำคัญ ($r = 0.9590$, $p < 0.01$)

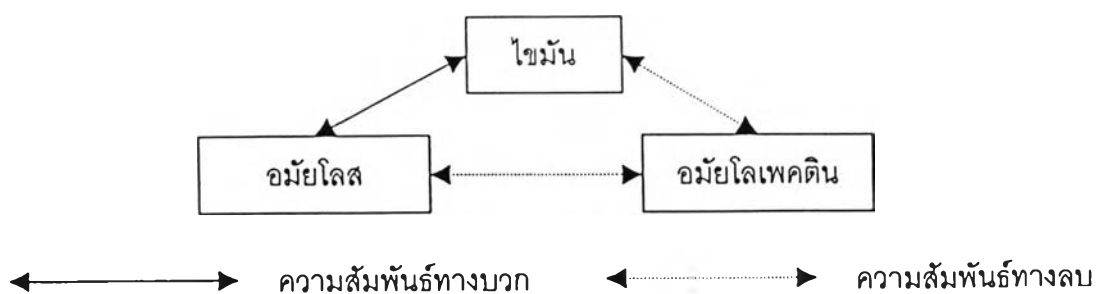
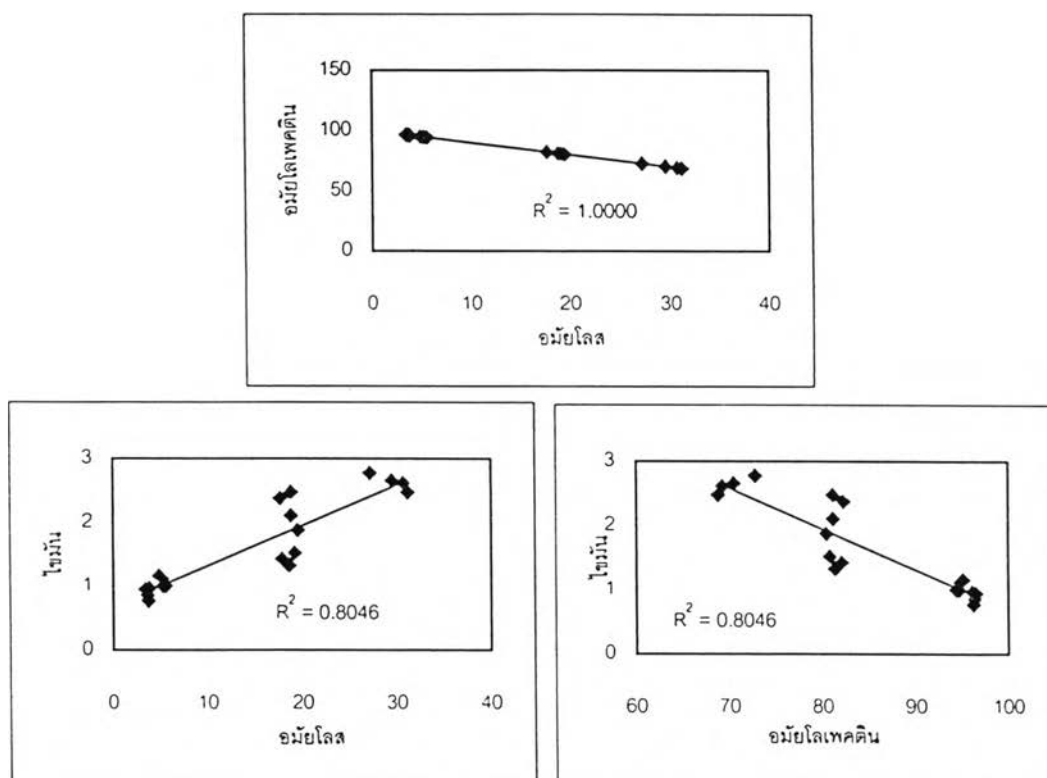
นอกจากนี้ยังแยกวิเคราะห์ค่าสหสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญจากแป้งข้าวเจ้า 3 พันธุ์ และแป้งข้าวเหนียว 2 พันธุ์ แสดงผลดังตารางที่ 4.9 รูปที่ 4.5 สำหรับแป้งข้าวเจ้า และสำหรับแป้งข้าวเหนียวจะแสดงผลดังตารางที่ 4.10 และรูปที่ 4.6

ตารางที่ 4.9 ค่าสหสัมพันธ์ขององค์ประกอบทางเคมีของแป้งข้าวทั้ง 5 พันธุ์

	อเมย์โลส	อเมย์โลเพคติน	โปรตีน	ไขมัน
อเมย์โลส	1.0000			
อเมย์โลเพคติน	-1.0000**	1.0000		
โปรตีน	NS	NS	1.0000	
ไขมัน	0.8970**	-0.8970**	NS	1.0000

NS : ไม่มีความสัมพันธ์กันทางสถิติ ($p > 0.05$)

** : สัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 99 ($p < 0.01$)



รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ขององค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญของแป้งข้าวทั้ง 5 พันธุ์

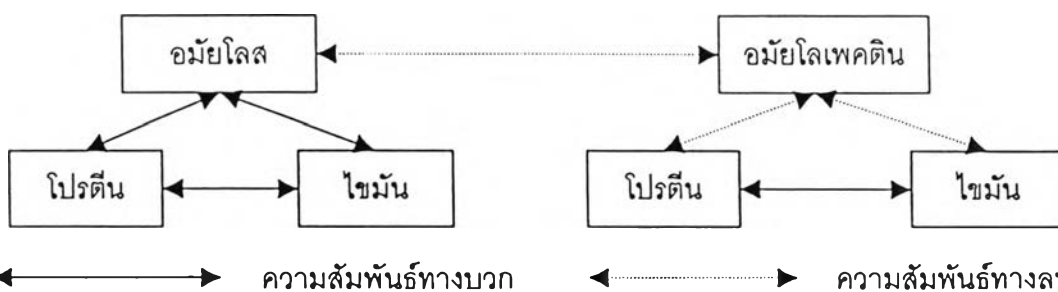
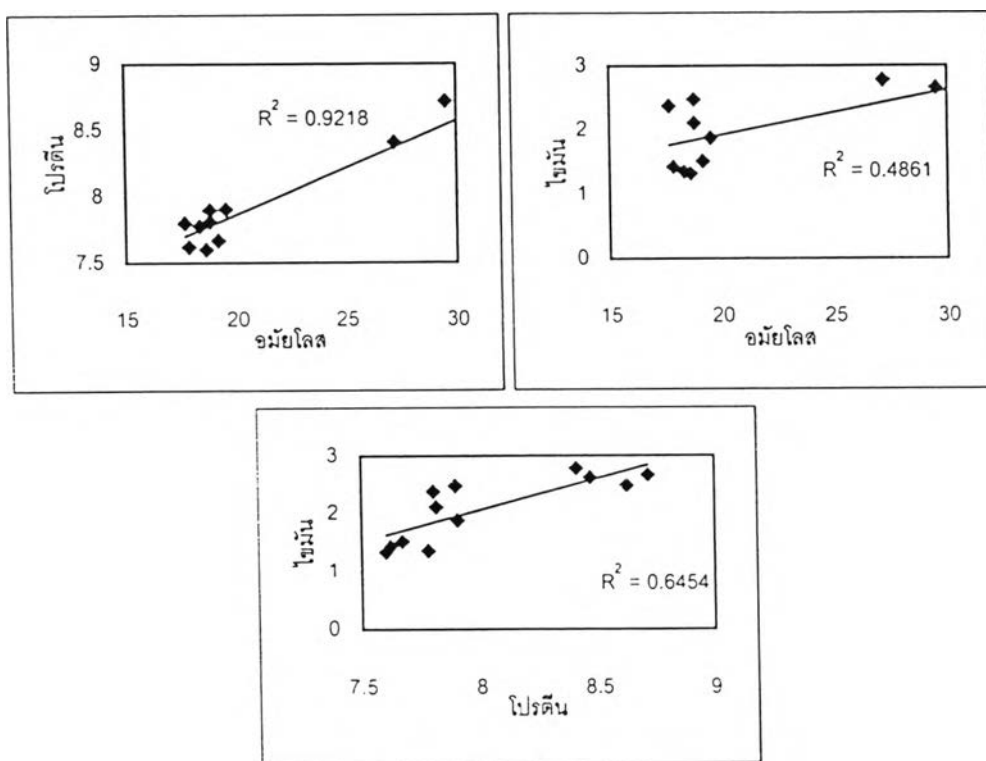
ตารางที่ 4.10 ค่าสหสัมพันธ์ขององค์ประกอบทางเคมีของแป้งข้าวเจ้า 3 พันธุ์

	อเมย์โลส	อเมย์โลเพคติน	โปรตีน	ไขมัน
อเมย์โลส	1.0000			
อเมย์โลเพคติน	-1.0000**	1.0000		
โปรตีน	0.9601**	-0.9601**	1.0000	
ไขมัน	0.6972*	-0.6972*	0.8033**	1.0000

NS : ไม่มีความสัมพันธ์กันทางสถิติ ($p > 0.05$)

* : สัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p < 0.05$)

** : สัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 99 ($p < 0.01$)



รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ขององค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญของแป้งข้าวเจ้า 3 พันธุ์ (อเมย์โลเพคตินและอเมย์โลสมีค่า $r = -1.0000$ เสมอ ในที่นี้จึงไม่เสนอกราฟความสัมพันธ์ของอเมย์โลเพคติน)

จากตารางที่ 4.9 และรูปที่ 4.5 พิจารณาค่าสหสัมพันธ์ขององค์ประกอบเคมีจากแป้งข้าวเจ้าทั้ง 3 พันธุ์ พบความสัมพันธ์ในทางบวกระหว่างอัมัยโลสกับโปรตีน และอัมัยโลสกับไขมัน โดยมีค่า $r = 0.9601$ ($p < 0.01$) และ $r = 0.6972$ ($p < 0.05$) ตามลำดับ ในขณะที่อัมัยโลสพบความสัมพันธ์ทางลบกับโปรตีนและไขมัน ($r = -0.9601$, $p < 0.01$ และ $r = -0.6972$, $p < 0.05$ ตามลำดับ) ทั้งยังพบว่าโปรตีนมีความสัมพันธ์ในทางบวกกับไขมัน โดยมีค่า $r = 0.8033$ ($p < 0.01$)

ความสัมพันธ์ระหว่างอัมัยโลสกับไขมันของแป้งข้าวเจ้าสอดคล้องกับงานวิจัยของ South และคณะ (1991) ซึ่งรายงานถึงผลการหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณไขมันและปริมาณอัมัยโลสในสตาร์ชของข้าวโพด (nonwaxy maize starch) ทั้งหมด 15 พันธุ์ โดยมีปริมาณอัมัยโลสในช่วงร้อยละ 23 – 51 และมีปริมาณไขมันร้อยละ 0.49 - 1.15 พบว่าปริมาณไขมันเป็นสัดส่วนโดยตรงกับปริมาณอัมัยโลส อย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.01$) โดยมีค่า $r = 0.9060$

ส่วนความสัมพันธ์ระหว่างอัมัยโลสกับโปรตีนในแป้งข้าวเจ้านั้น จากงานวิจัยพบว่ามีความสัมพันธ์ทางบวก ซึ่งขัดแย้งกับงานวิจัยหลายงานที่ผ่านมา (บุญลักษณ์และคณะ, 2517; Juliano et al., 1964a; 1964b) แต่สอดคล้องกับงานวิจัยของ Hamaker และคณะ (1991)

สำหรับความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโปรตีนและปริมาณไขมันในแป้งข้าวเจ้าซึ่งพบว่ามีความสัมพันธ์ทางบวกนั้น ไม่มีงานวิจัยใดที่ยืนยันถึงความสัมพันธ์ขององค์ประกอบทั้งสองส่วนนี้

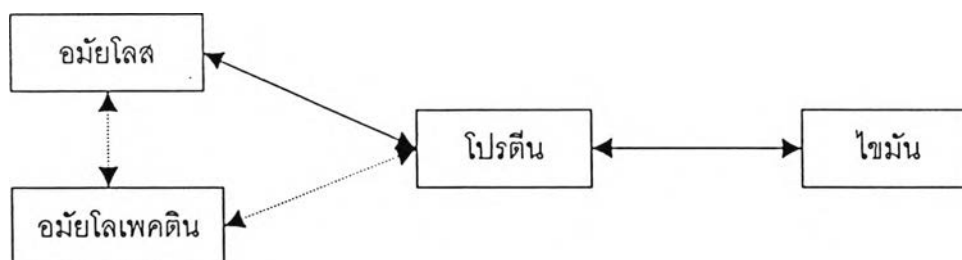
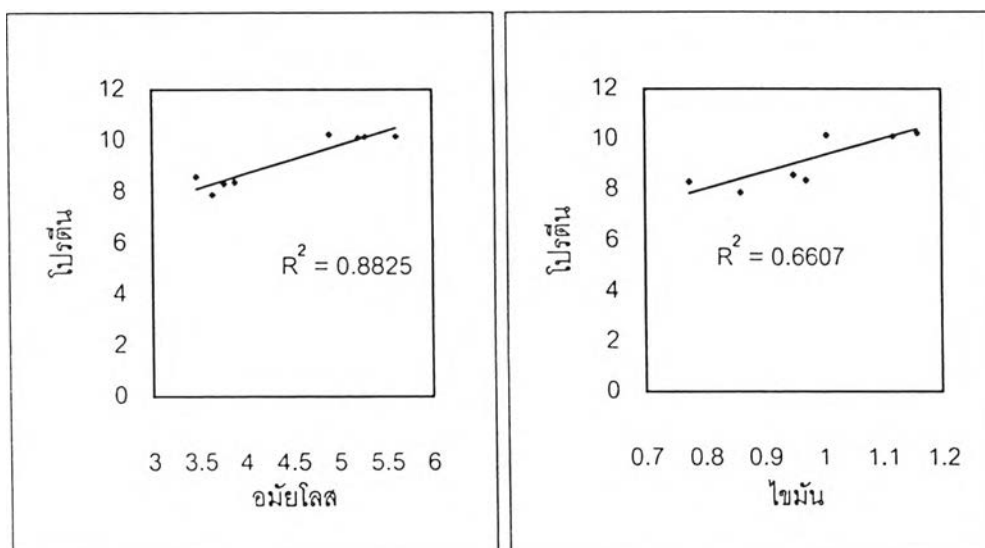
ตารางที่ 4.11 ค่าสหสัมพันธ์ขององค์ประกอบทางเคมีของแป้งข้าวเหนียว 2 พันธุ์

	อภัยโลส	อภัยโลเพคติน	โปรตีน	ไขมัน
อภัยโลส	1.0000			
อภัยโลเพคติน	-1.0000**	1.0000		
โปรตีน	0.9394**	-0.9394**	1.0000	
ไขมัน	NS	NS	0.8128*	1.0000

NS : ไม่มีความสัมพันธ์กันทางสถิติ ($p > 0.05$)

* : สัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p < 0.05$)

** : สัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 99 ($p < 0.01$)



←—————→ ความสัมพันธ์ทางบวก ←··········→ ความสัมพันธ์ทางลบ

รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ขององค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญของแป้งข้าวเหนียว 2 พันธุ์ (อภัยโลสและอภัยโลเพคตินมีค่า $r = -1.0000$ เสมอ ในที่นี้จึงไม่เสนอกกราฟความสัมพันธ์ของอภัยโลเพคติน)

จากตารางที่ 4.10 และรูปที่ 4.6 ซึ่งพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบเคมีของแป้งข้าวเหนียว 2 พันธุ์ พบว่าค่าสหสัมพันธ์ของอัมยิโลสกับโปรตีนเท่ากับ 0.9394 ($p < 0.01$) ในขณะที่อัมยิโลเพคตินให้ผลตรงกันข้ามกัน ($r = -0.9394$, $p < 0.01$) สอดคล้องกับงานวิจัยของ Hamaker และคณะ (1991) แต่ขัดแย้งกับงานวิจัยหลายงานที่ผ่านมา (บุญลักษณ์และคณะ, 2517; Juliano et al., 1964a) นอกจากความสัมพันธ์ที่กล่าวมานี้ยังพบความสัมพันธ์ระหว่างโปรตีนและไขมันซึ่งมีค่า $r = 0.8128$ ($p < 0.05$) ซึ่งยังไม่มียานวิจัยใดที่ยืนยันถึงความสัมพันธ์ขององค์ประกอบทั้งสองส่วนนี้

เนื่องจากความสัมพันธ์ระหว่างอัมยิโลส อัมยิโลเพคติน โปรตีน และไขมัน ภายในแป้งข้าวค่อนข้างซับซ้อน เนื่องจากมีตัวแปรที่เกี่ยวข้องมากมายไม่ว่าจะเป็นพันธุ์ข้าว การจัดเรียงตัวขององค์ประกอบเคมีชนิดต่างๆภายในเม็ดสตาร์ช ดังนั้นความสัมพันธ์ขององค์ประกอบทางเคมีที่รายงานไว้จึงเป็นเพียงข้อสันนิษฐานถึงความสอดคล้องและไม่สอดคล้องกับงานวิจัยอื่นเท่านั้น

ในหัวข้อต่อไปจะทดลองนำแป้งข้าวทั้ง 5 พันธุ์มาศึกษาสมบัติทางกายภาพ ซึ่งในที่นี้จะศึกษาเรื่องกำลังการพองตัวของเม็ดสตาร์ช ร้อยละการละลายของสตาร์ชในแป้งข้าว และ pasting properties ของแป้งข้าว

4.5 สมบัติทางกายภาพของแป้งข้าวพันธุ์ต่างๆ

4.5.1 ศึกษากำลังการพองตัว (Swelling power) และร้อยละการละลาย (% Solubles) ของเม็ดสตาร์ชจากแป้งข้าว

เมื่อน้ำแป้งถูกให้ความร้อน จะพบว่าเม็ดสตาร์ชจะดูดซับน้ำและเกิดการพองตัวขึ้น ถ้าให้ความร้อนจนถึง gelatinization temperature บางส่วนของอัมยิโลสในสตาร์ชจะละลายออกมาในตัวทำละลายซึ่งก็คือน้ำ จึงศึกษากำลังการพองตัวและร้อยละการละลายของเม็ดสตาร์ชจากแป้งข้าวทั้ง 5 พันธุ์ที่อุณหภูมิต่างๆ โดยสังเกตผลตั้งแต่อุณหภูมิ 55 - 95 องศาเซลเซียส ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่ากำลังการพองตัวและร้อยละการละลายของเม็ดสตาร์ชจากแป้งข้าวทั้ง 5 พันธุ์ที่อุณหภูมิต่างๆ แสดงดังตารางที่ 4.11 และ 4.12

ตารางที่ 4.11 กำลังการพองตัวของเมล็ดสตาร์ชจากแป้งข้าวทั้ง 5 พันธุ์ที่อุณหภูมิต่างๆ

พันธุ์	กำลังการพองตัว ณ อุณหภูมิ				
	55°C	65°C	75°C	85°C	95°C
ข้าวเจ้า					
ก.ว.ก. 1	7.92cd	10.81c	13.03b	15.91b	21.32a
ขาวดอกมะลิ 105	8.39b	10.67c	11.89bc	13.10c	18.59b
ชัยนาท 1	7.22d	9.56d	10.32d	13.01c	18.13b
ข้าวเหนียว					
ก่ำดอยสะเก็ด	9.78b	16.15b	20.28a	20.33a	20.28a
เหนียวสันป่าตอง	10.51a	18.09a	20.31a	20.48a	20.24a
LSD _{0.05}	0.7008	0.6559	1.8951	1.4618	1.6324

* ค่าที่ได้เป็นค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์แบ่งข้าว 5 พันธุ์ พันธุ์ละ 4 ซ้ำ ซ้ำละ 2 ครั้ง
a,b,c,... ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวดิ่งเดียวกัน แสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางที่ 4.12 ร้อยละการละลายของเมล็ดสตาร์ชจากแป้งข้าวทั้ง 5 พันธุ์ที่อุณหภูมิต่างๆ

พันธุ์	ร้อยละการละลาย ณ อุณหภูมิ				
	55°C	65°C	75°C	85°C	95°C
ข้าวเจ้า					
ก.ว.ก. 1	6.29cd	6.77b	9.85b	20.70b	32.37a
ขาวดอกมะลิ 105	6.61c	6.97b	7.86c	15.12c	29.90ab
ชัยนาท 1	5.62d	6.40b	7.66c	13.91c	27.73bc
ข้าวเหนียว					
ก่ำดอยสะเก็ด	9.21b	12.65a	21.79a	25.48a	25.99c
เหนียวสันป่าตอง	12.06a	12.50a	21.04a	24.46a	25.92c
LSD _{0.05}	0.7884	1.0867	1.5569	2.8227	2.8617

* ค่าที่ได้เป็นค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์แบ่งข้าว 5 พันธุ์ พันธุ์ละ 4 ซ้ำ ซ้ำละ 2 ครั้ง
a,b,c,... ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวดิ่งเดียวกัน แสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

จากตารางที่ 4.11 เมื่อพิจารณากำลังการพองตัวของแป้งข้าวเจ้า พบว่าแป้งข้าวญี่ปุ่น ก.ว.ก. 1 ให้ค่ากำลังการพองตัวสูงกว่าแป้งข้าวขาวดอกมะลิ 105 และแป้งข้าวชยันนาท 1 ในทุกอุณหภูมิที่ทำการทดลอง และสำหรับแป้งข้าวเหนียว พบว่าแป้งข้าวเหนียวสันป่าตองมีค่ากำลังการพองตัวสูงกว่าแป้งข้าวกำลังดอยสะเก็ดที่อุณหภูมิ 55 ถึง 65 องศาเซลเซียส และเมื่อทำการทดลองตั้งแต่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียสขึ้นไปนั้น พบว่าแป้งข้าวเหนียวทั้งสองพันธุ์มีกำลังการพองตัวไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

จากตารางที่ 4.12 เมื่อพิจารณาร้อยละการละลายของแป้งข้าวเจ้าพบว่าแป้งข้าวญี่ปุ่น ก.ว.ก. 1 มีค่าร้อยละการละลายสูงกว่าแป้งข้าวอีก 2 พันธุ์ที่เหลืออย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ในเกือบทุกอุณหภูมิที่ทำการทดลอง ยกเว้นที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียสเท่านั้น และพบว่าร้อยละการละลายของแป้งข้าวเหนียวทั้งสองพันธุ์ไม่แตกต่างกันในเกือบทุกอุณหภูมิที่ทำการทดลอง มีเพียงที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียสเท่านั้นที่แป้งข้าวเหนียวสันป่าตองให้ร้อยละการละลายสูงกว่าแป้งข้าวกำลังดอยสะเก็ด

เมื่อพิจารณาจากตารางที่ 4.11 และ 4.12 พบว่าเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ค่ากำลังการพองตัวและร้อยละการละลายของแป้งข้าวจะเพิ่มสูงขึ้น ทั้งยังสังเกตได้ว่ากำลังการพองตัวและร้อยละการละลายของเมล็ดสตาร์ชจากแป้งข้าวเจ้าทั้ง 3 พันธุ์ ต่ำกว่าแป้งข้าวเหนียว 2 พันธุ์ ดังนั้นจึงนำค่ากำลังการพองตัวและร้อยละการละลายของเมล็ดสตาร์ชจากแป้งข้าวเจ้าและข้าวเหนียวมาวิเคราะห์ความแปรปรวนเปรียบเทียบกัน แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน ดังตารางที่ 4.13 และ 4.14 ตามลำดับ

ซึ่งจากตารางที่ 4.13 และ 4.14 พบว่าแป้งข้าวเหนียวมีค่ากำลังการพองตัวและร้อยละการละลายสูงกว่าแป้งข้าวเจ้าในทุกอุณหภูมิ ยกเว้นเพียงที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียสที่พบว่ากำลังการพองตัวระหว่างแป้งข้าวเจ้าและแป้งข้าวเหนียวไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ในขณะที่ร้อยละการละลายที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียสแป้งข้าวเจ้าให้ค่าร้อยละการละลายสูงกว่าแป้งข้าวเหนียว อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางที่ 4.13 กำลังการพองตัวของเมล็ดสตาร์ชจากแป้งข้าวเจ้าและแป้งข้าวเหนียว

พันธุ์	กำลังการพองตัว ณ อุณหภูมิต่างๆ				
	55°C	65°C	75°C	85°C	95°C
ข้าวเจ้า*	7.84b	10.35b	11.75b	14.01b	19.35
ข้าวเหนียว**	9.84a	16.73a	19.58a	19.91a	19.65
LSD _{0.05}	0.4371	0.8840	1.2407	1.3950	ns

* แป้งข้าวเจ้าที่ใช้ในการวิเคราะห์คือ แป้งข้าว.ว.ก. 1 ข้าวดอกมะลิ 105 และชัณนาท 1

** แป้งข้าวเหนียวที่ใช้ในการวิเคราะห์ คือ แป้งข้าวท่าคอยสะเกิด และแป้งข้าวเหนียวสันป่าตอง

a,b,c,... ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวดิ่งเดียวกัน แสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$)

ns ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ตารางที่ 4.14 ร้อยละการละลายของเมล็ดสตาร์ชจากแป้งข้าวเจ้าและแป้งข้าวเหนียว

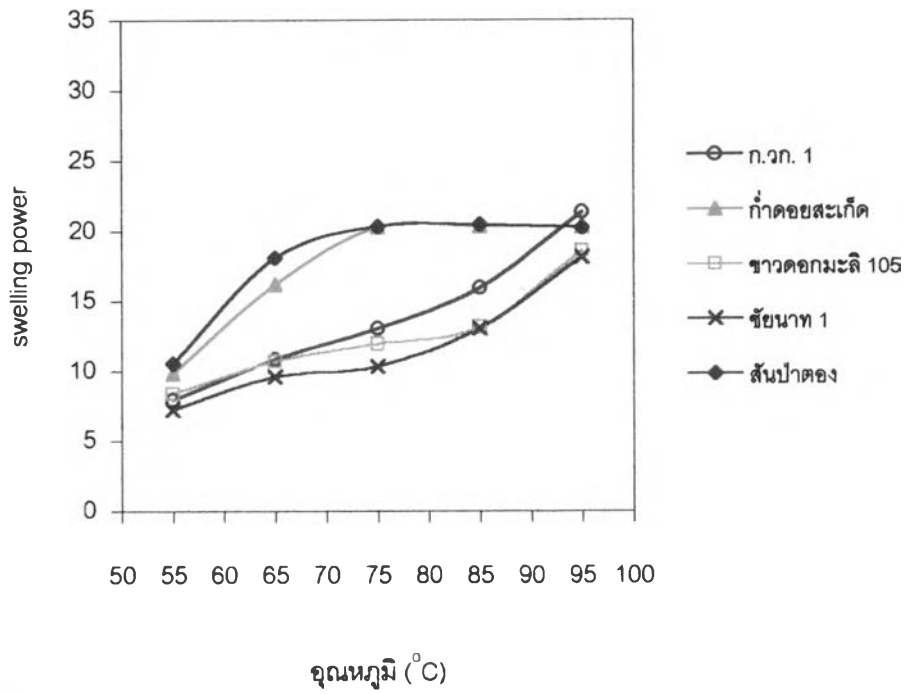
พันธุ์	ร้อยละการละลาย ณ อุณหภูมิต่างๆ				
	55°C	65°C	75°C	85°C	95°C
ข้าวเจ้า*	6.17b	6.71b	8.46b	16.58b	30.00a
ข้าวเหนียว**	10.36a	12.41a	21.01a	23.64a	24.82b
LSD _{0.05}	1.0456	0.7490	1.2286	2.4524	1.8164

* แป้งข้าวเจ้าที่ใช้ในการวิเคราะห์คือ แป้งข้าว.ว.ก. 1 ข้าวดอกมะลิ 105 และชัณนาท 1

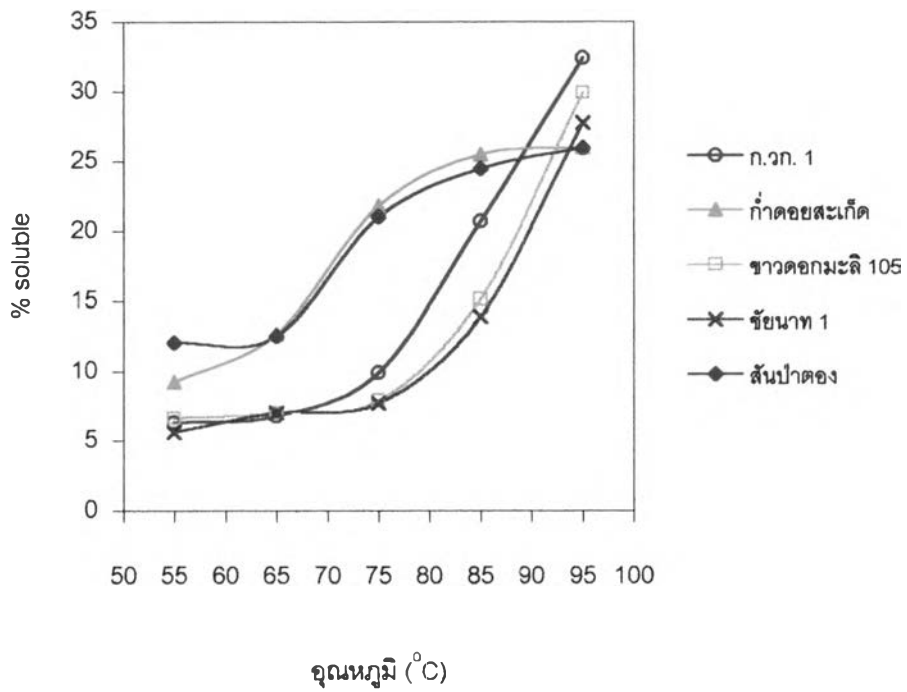
** แป้งข้าวเหนียวที่ใช้ในการวิเคราะห์ คือ แป้งข้าวท่าคอยสะเกิด และแป้งข้าวเหนียวสันป่าตอง

a,b,c,... ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวดิ่งเดียวกัน แสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$)

เพื่อพิจารณากำลังการพองตัวและร้อยละการละลายของเมล็ดสตาร์ชจากแป้งข้าวทั้ง 5 พันธุ์ให้ชัดเจนยิ่งขึ้น จึงนำค่ากำลังการพองตัวและร้อยละการละลายของเมล็ดสตาร์ชจากแป้งข้าวทุกพันธุ์ที่อุณหภูมิต่างๆ จากตารางที่ 4.12 และ 4.13 มาเขียนเป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังการพองตัวกับอุณหภูมิ และร้อยละการละลายกับอุณหภูมิ แสดงได้ดังรูปที่ 4.7 และ 4.8 ตามลำดับ



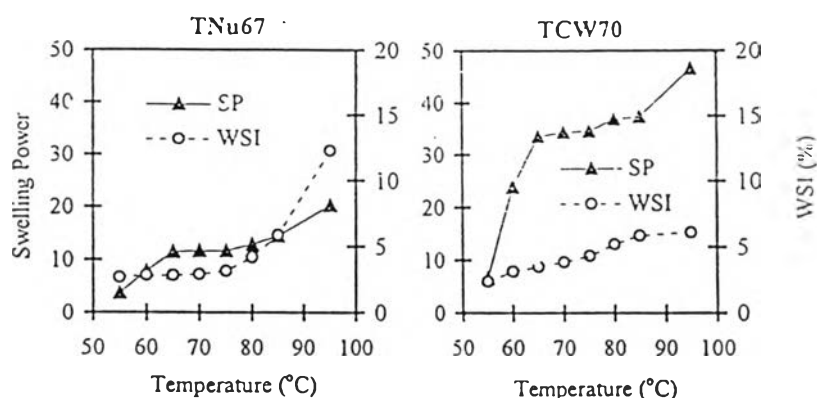
รูปที่ 4.7 กำลังการพองตัวของแป้งข้าว 5 พันธุ์ ที่อุณหภูมิต่างๆ



รูปที่ 4.8 ร้อยละการละลายของแป้งข้าว 5 พันธุ์ที่อุณหภูมิต่างๆ

จากรูปที่ 4.7 และ 4.8 แสดงให้เห็นว่ากำลังการพองตัวและร้อยละการละลายสามารถแบ่งได้เป็น 2 รูปแบบ คือ รูปแบบของแป้งข้าวเจ้าและแป้งข้าวเหนียว

จากรูปที่ 4.7 พบว่าแป้งข้าวเจ้ามีรูปแบบการการพองตัว 2 ชั้น กล่าวคือ เมื่อให้ความร้อนกับน้ำแป้ง เม็ดสตาร์ชจะมีค่ากำลังการพองตัวสูงขึ้นอย่างรวดเร็วจากอุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส ถึง 65 องศาเซลเซียส และเมื่อให้ความร้อนเพิ่มขึ้นจนอุณหภูมิเป็น 75 องศาเซลเซียส พบว่ากำลังการพองตัวของเม็ดสตาร์ชเพิ่มขึ้นน้อยมาก จนเมื่อให้ความร้อนเพิ่มขึ้นอีกจนถึงอุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส เม็ดสตาร์ชจึงมีค่ากำลังการพองตัวสูงขึ้นอย่างรวดเร็วอีกครั้ง ซึ่งผลการทดลองที่ได้นี้สอดคล้องกับสตาร์ชข้าวเจ้าพันธุ์ TNu67 งานวิจัยของ Tsai และคณะ (1997) ซึ่งมีรูปแบบการพองตัวและค่าการละลายแสดงดังรูปที่ 4.9

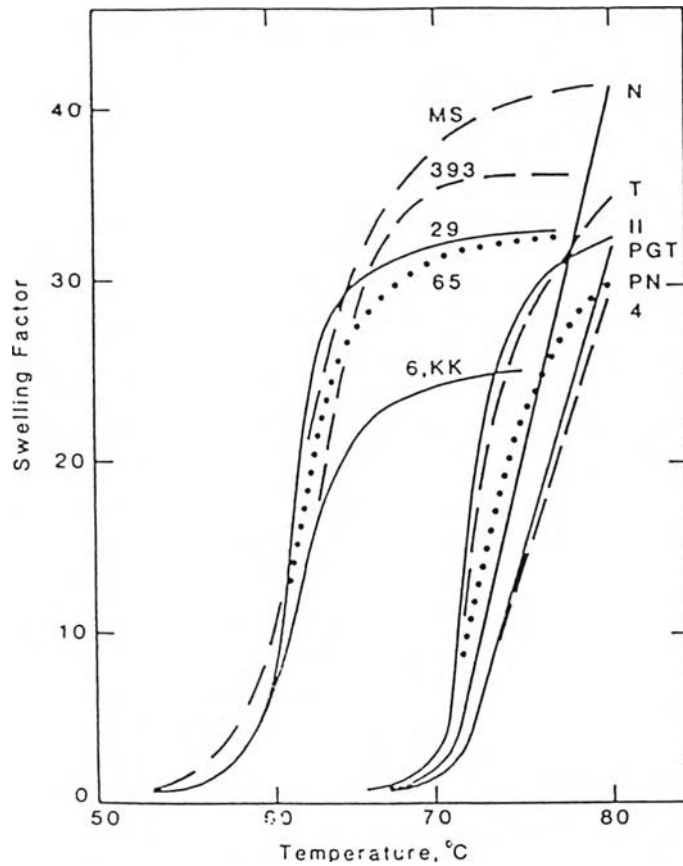


รูปที่ 4.9 กำลังการพองตัวและดัชนีการละลายของสตาร์ชข้าวเจ้าพันธุ์ TNu67 และแป้งข้าวเหนียวพันธุ์ TCW70 จากงานวิจัยของ Tsai และคณะ (1997)

จากรูปที่ 4.9 พบว่าสตาร์ชข้าวเจ้า TNU67 ให้กำลังการพองตัวสูงขึ้นอย่างรวดเร็วที่อุณหภูมิ 55 ถึง 65 องศาเซลเซียส และที่อุณหภูมิ 65 ถึง 85 องศาเซลเซียส พบว่ากำลังการพองตัวค่อนข้างจะคงที่ จนกระทั่งให้ความร้อนถึงอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส กำลังการพองตัวจึงเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วอีกครั้ง สอดคล้องกับผลของกำลังการพองตัวของเม็ดสตาร์ชจากแป้งข้าวเจ้าที่ใช้ในงานวิจัยนี้

สำหรับค่าการละลายจากรูปที่ 4.8 พบว่าร้อยละการละลายของสตาร์ชจากแป้งข้าวเจ้าในการทดลองนี้จะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น โดยพบว่าที่อุณหภูมิต่ำ (55-75 องศาเซลเซียส) ร้อยละการละลายจะเพิ่มขึ้นไม่มากนัก แต่เมื่อให้ความร้อนจนอุณหภูมิเกิน 75 องศาเซลเซียสไปแล้ว ร้อยละการละลายจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว เห็นได้จากความชันที่สูงขึ้นอย่างรวดเร็ว และโดยเฉพาะที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส พบว่าแป้งข้าวเจ้ามีค่าร้อยละการละลายเพิ่มสูงขึ้นมาก ซึ่งผลที่สังเกตได้นั้นสอดคล้องกับค่าการละลายที่ได้จากการทดลองของ Tsai และคณะ (1997) ดังแสดงในรูปที่ 4.9 ซึ่งพบว่าค่าดัชนีการละลายของสตาร์ชข้าวในช่วงอุณหภูมิ 55 ถึง 80 องศาเซลเซียส ค่อนข้างคงที่ แต่เมื่อให้ความร้อนจนอุณหภูมิเกิน 80 องศาเซลเซียสไป จะพบว่าค่าดัชนีการละลายเพิ่มสูงขึ้นอย่างเห็นได้ชัด

เมื่อพิจารณารูปแบบการพองตัวและร้อยละการละลายของแป้งข้าวเหนียวจากรูปที่ 4.7 และ 4.8 พบว่าแป้งข้าวเหนียวมีรูปแบบการพองตัวและการละลายคล้ายกัน กล่าวคือ เมื่อให้ความร้อนตั้งแต่ที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียสกำลังการพองตัวและร้อยละการละลายจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนกระทั่งถึงอุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียสพบว่ากำลังการพองตัวและร้อยละการละลายจะเพิ่มขึ้นช้าลงมาก โดยกำลังการพองตัวมีค่าค่อนข้างคงที่ ในขณะที่ร้อยละการละลายเพิ่มขึ้นในอัตราที่ต่ำมาก ซึ่งเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกับกรพองตัวและดัชนีการละลายของสตาร์ชข้าวเหนียว TCW70 จากงานวิจัยของ Tsai และคณะ (1997) (รูปที่ 4.9) พบว่ากำลังการพองตัวของสตาร์ชข้าวเหนียว TCW70 ให้ผลแตกต่างจากแป้งข้าวเหนียวจากการทดลอง โดยสตาร์ชข้าวเหนียว TCW70 ให้รูปแบบกำลังการพองตัว 2 ชั้น ในขณะที่ร้อยละการละลายนั้นให้ผลสอดคล้องกับแป้งข้าวเหนียวที่ใช้ในงานวิจัยนี้ แต่ถ้าพิจารณากำลังการพองตัวของสตาร์ชข้าวเหนียว TCW70 จากงานวิจัยของ Lii และคณะ (1996) (รูปที่ 2.13) พบว่าให้ผลสอดคล้องกับงานวิจัยนี้สำหรับกำลังการพองตัวของสตาร์ชข้าวเหนียวนั้นพบว่างานวิจัยนี้ให้ผลสอดคล้องกับงานวิจัยของ Tester และ Morrison (1990b) ซึ่งศึกษาถึงการพองตัวของสตาร์ชข้าวเหนียวอินดิค้ำพันธุ์ต่างๆ 12 พันธุ์ ซึ่ง 6 พันธุ์จะมี gelatinization temperature ต่ำ และอีก 6 พันธุ์จะมี gelatinization temperature สูงแสดงดังรูปที่ 4.10

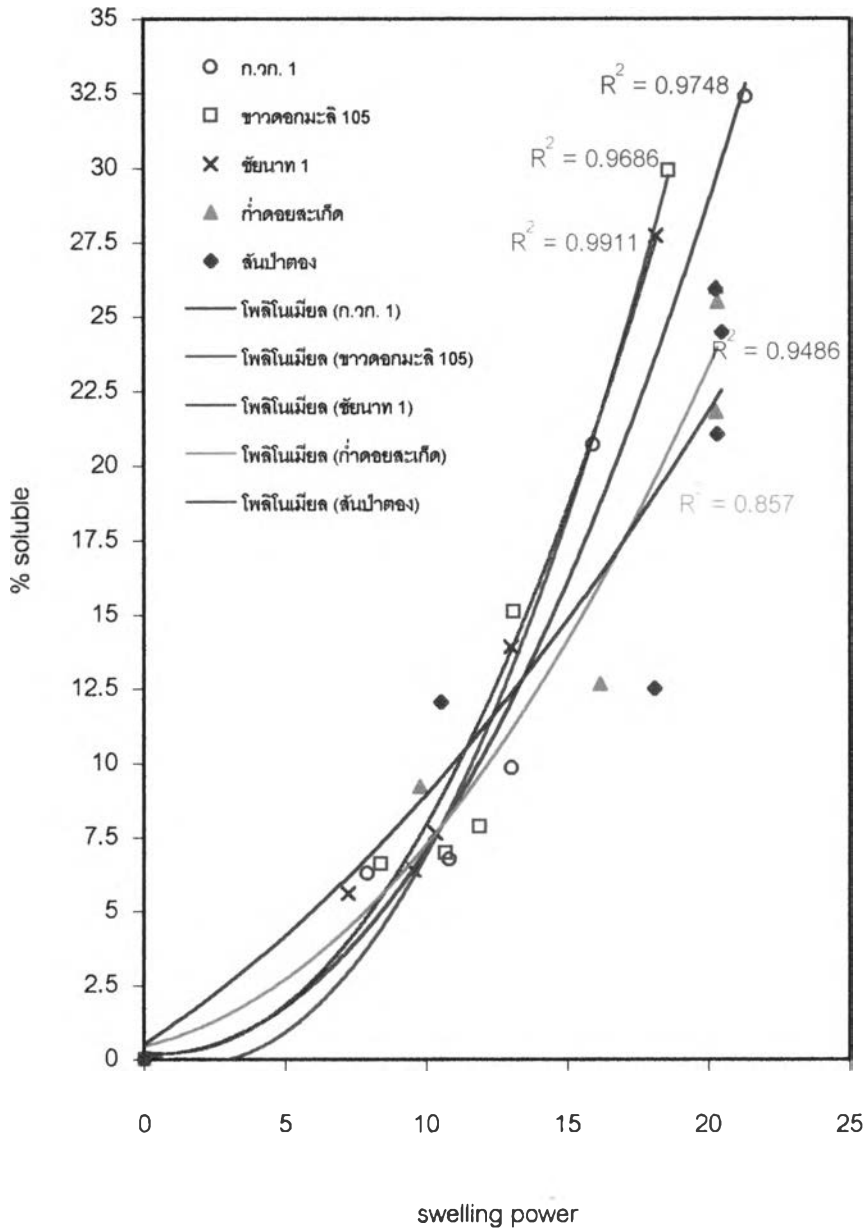


รูปที่ 4.10 กำลังการพองตัวของสารข้าวเหนียว 12 พันธุ์ ซึ่งมีค่า gelatinization temperature สูง 6 พันธุ์ และต่ำอีก 6 พันธุ์ (โดยจะแสดงค่า gel. temp. หน่วยเป็นองศาเซลเซียส ในวงเล็บหลังตัวย่อของชื่อพันธุ์)

สารข้าวเหนียว 6 พันธุ์ ที่มีค่า gel. temp. ต่ำ ได้แก่ พันธุ์ IR29 (29 = 66.1) IR65 (65 = 65.7) IR39368-31-1-2 (393 = 66.8) RD6 (6 = 64.3) Khao Khao (KK = 65.9) Malagkit Sungsong (MS = 66.8)

สารข้าวเหนียว 6 พันธุ์ ที่มีค่า gel. temp. สูง ได้แก่ พันธุ์ RD4 (4 = 78.8) Inilang-ilang (II = 75.0) Nathasiq (N = 76.3) Perurutong NBA (PN = 75.7) Pya Gyi Taung (PGT = 77.6) Tapol (T = 77.1)

เมื่อนำค่ากำลังการพองตัวและร้อยละการละลายของแป้งข้าวแต่ละพันธุ์มาหาความสัมพันธ์ซึ่งกันและกัน โดยนำมาเขียนเป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังการพองตัวและร้อยละการละลายของแป้งข้าวแต่ละพันธุ์ แล้วหาความสัมพันธ์โดยใช้เส้น trendline แบบ polynomial จะได้ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังการพองตัวและร้อยละการละลายของแป้งข้าวแต่ละพันธุ์ แสดงดังรูปที่ 4.11



รูปที่ 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังการพองตัวและร้อยละการละลายของแป้งข้าว 5 พันธุ์

ซึ่งจากรูปที่ 4.11 แสดงให้เห็นว่าเมื่อกำลังการพองตัวของเมล็ดสตาร์ชเพิ่มขึ้น ร้อยละการละลายของสตาร์ชจะเพิ่มสูงขึ้นตามลำดับ ในแป้งข้าวทุกพันธุ์ โดยพบว่าแป้งข้าวญี่ปุ่นพันธุ์ ก.ว.ก. 1 ให้ค่า $R^2 = 0.9748$ พันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 ให้ค่า $R^2 = 0.9686$ พันธุ์ชัยนาท 1 ให้ค่า $R^2 = 0.9911$ พันธุ์ก่ำตอยสะเกิด ให้ค่า $R^2 = 0.9486$ และพันธุ์ข้าวเหนียวสันป่าตอง ให้ค่า $R^2 = 0.8570$

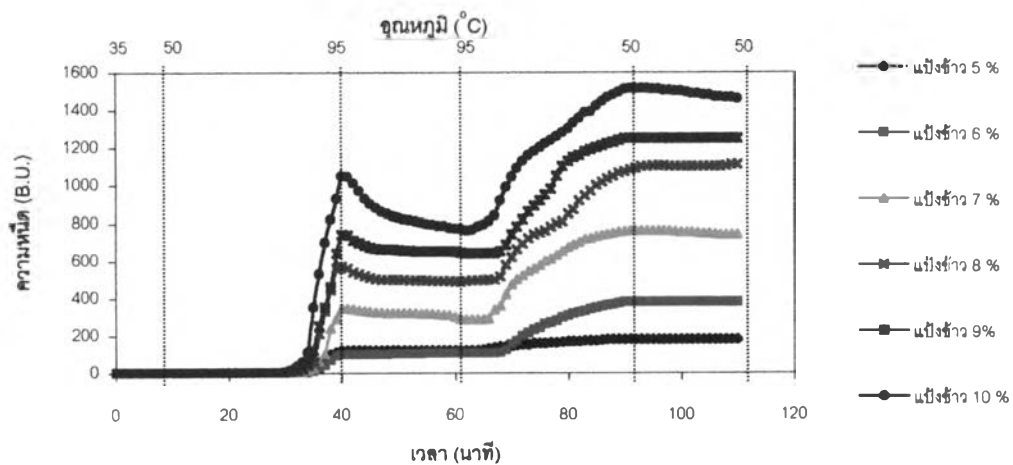
4.5.2 pasting properties ของแป้งข้าวต่างๆ

ทดลองหาความเข้มข้นที่เหมาะสมของแป้งข้าว โดยใช้แป้งข้าวชนิดโม่น้ำ ตราช้าง สามเศียร จากโรงงานเส้นหมี่ขอเฮง จำกัด โดยแปรความเข้มข้นของน้ำแป้ง 6 ความเข้มข้น เพื่อศึกษาว่าความเข้มข้นที่เหมาะสมในการเตรียมน้ำแป้งข้าว 5 พันธุ์ ควรอยู่ในช่วงใด โดยเลือกเตรียมที่ความเข้มข้นตั้งแต่ร้อยละ 5 – 10 โดยน้ำหนัก ให้มีน้ำหนัก 500 กรัม ควบคุม pH ของน้ำ กลั่นให้เท่ากับ 5.5 ให้ความเร็วรอบเท่ากับ 75 รอบต่อนาที Brabender viscoamylogram ของ แป้งข้าวชนิดโม่น้ำที่ความเข้มข้นต่างๆ แสดงดังรูปที่ 4.12

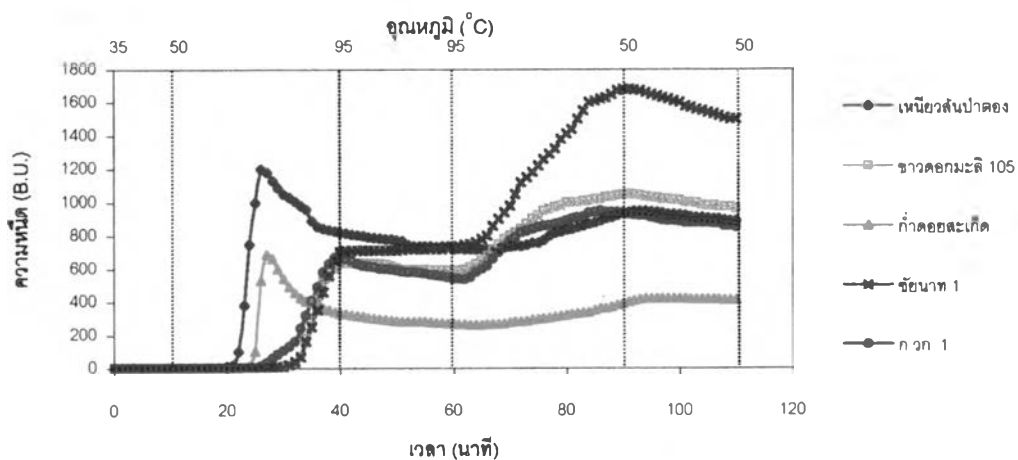
พบว่าที่ความเข้มข้นของน้ำแป้งร้อยละ 8-10 โดยน้ำหนักแห่ง Brabender viscoamylogram แสดง peak viscosity ที่ชัดเจน จึงเลือกเตรียมน้ำแป้งจากแป้งข้าว 5 พันธุ์ที่ ความเข้มข้นร้อยละ 10 แสดงดังรูปที่ 4.13

เมื่อเตรียมน้ำแป้งจากแป้งข้าว 5 พันธุ์โดยใช้ความเข้มข้นร้อยละ 10 โดยน้ำหนักแห่ง พบว่าแป้งข้าวชัยนาท 1 มีค่าความหนืดสูงมาก ต้องใช้ตุ้มถ่วงน้ำหนักขนาด 1,000 B.U. ซึ่งทำให้อ่านค่าและแปรผลการทดลองได้ผิดพลาด เพราะเส้นกราฟที่ได้มีขนาดใหญ่และแปรปรวนมาก และบางซ้ำของแป้งข้าวชัยนาท 1 มีค่าความหนืดสูงเกินกว่าจะอ่านได้ด้วยเครื่อง Brabender viscoamylograph สำหรับแป้งข้าวพันธุ์อื่นไม่มีปัญหาเรื่องการอ่านค่าความหนืด เมื่อใช้น้ำแป้งที่ความเข้มข้นร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก แต่เนื่องจากในงานวิจัยต้องทำการเปรียบเทียบแป้งข้าวทั้ง 5 พันธุ์ จึงต้องเลือกเตรียมตัวอย่างที่ความเข้มข้นเท่ากัน ดังนั้นจึงลดความเข้มข้นของน้ำแป้งลง เป็นเตรียมตัวอย่างที่ความเข้มข้นร้อยละ 8 โดยน้ำหนักแห่ง ผลของ Brabender viscoamylogram จากแป้งข้าว 5 พันธุ์ที่ความเข้มข้นน้ำแป้งร้อยละ 10 โดยน้ำหนักแห่ง ซึ่งแสดงในรูปที่ 4.13 (เป็นผลการทดลองเพียง 1 ซ้ำเท่านั้น โดยเลือกซ้ำที่สามารถอ่านค่าความหนืดของแป้งข้าวทั้ง 5 พันธุ์ ได้) ส่วนผลของ Brabender viscoamylogram ของแป้งข้าว 5 พันธุ์ที่ความเข้มข้นของน้ำแป้งร้อยละ 8 โดยน้ำหนักแห่ง แสดงในรูปที่ 4.14

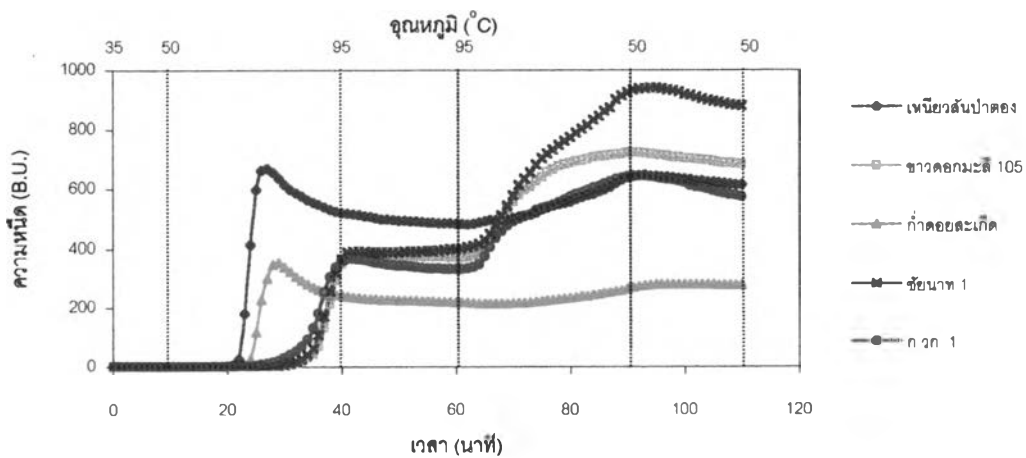
ความเข้มข้นของน้ำแป้งร้อยละ 8 โดยน้ำหนักที่เลือกใช้นี้ เส้นกราฟมีค่าความหนืดอยู่ในช่วงประมาณ 1,000 B.U. เป็นค่าที่ไม่ต้องใช้ตุ้มน้ำหนักถ่วง เส้นกราฟที่ได้เป็นเส้นเดี่ยวและมีความสม่ำเสมอ



รูปที่ 4.12 Brabender viscoamylogram ของแป้งข้าวเจ้าชนิดโม่น้ำตราช้างสามเศียรที่ความชื้นชั้นต่างๆ



รูปที่ 4.13 Brabender viscoamylogram ของแป้งข้าว 5 พันธุ์ ความชื้น 10% โดยน้ำหนักแห้ง



รูปที่ 4.14 Brabender viscoamylogram ของแป้งข้าว 5 พันธุ์ ความชื้น 8% โดยน้ำหนักแห้ง

จากรูปที่ 4.13 และ 4.14 พบว่าแป้งข้าวมีย Brabender viscoamylogram แตกต่างกัน แยกออกได้เป็น 2 แบบ คือ Brabender viscoamylogram ของแป้งข้าวเจ้า ซึ่งจะได้แก่ แป้งข้าวก.ว.ก. 1 แป้งข้าวขาวดอกมะลิ 105 และแป้งข้าวชัยนาท 1 อีกแบบจะเป็น Brabender viscoamylogram ของแป้งข้าวเหนียว ซึ่งได้แก่ แป้งข้าวเหนียวสันป่าตอง และแป้งข้าวก่ำดอยสะเก็ด

การแปรผลจาก Brabender viscoamylogram ใช้วิธีที่แสดงในวารสารปริทัศน์หัวข้อที่ 2.5.2 ในเรื่องความหนืด ในที่นี้จะพิจารณาเฉพาะค่า pasting temperature, peak temperature, peak viscosity, breakdown และ setback ซึ่งค่าต่างๆของแป้งข้าวทั้ง 5 พันธุ์ แสดงไว้ในตารางที่ 4.15

ซึ่งจากตารางที่ 4.15 พบว่าพันธุ์ข้าวส่งผลต่อ pasting properties ของแป้งข้าว โดยแป้งข้าวทุกพันธุ์จะให้ค่า pasting temperature, peak temperature, breakdown, set back แตกต่างกันไป โดยเฉพาะเมื่อพิจารณาระหว่างแป้งข้าวเจ้ากับแป้งข้าวเหนียว จะพบว่ามี ความแตกต่างกันอย่างมากระหว่างผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของ pasting properties จากแป้งข้าวเจ้าและแป้งข้าวเหนียวเปรียบเทียบกัน ดังตารางที่ 4.16

ซึ่งจากตารางที่ 4.16 จะพบว่าแป้งข้าวเหนียวให้ค่า pasting temperature, peak temperature และ setback ต่ำกว่าแป้งข้าวเจ้า ในขณะที่ให้ค่า peak viscosity และ breakdown สูงกว่าแป้งข้าวเจ้า

ตารางที่ 4.15 Pasting properties ของแป้งข้าวทั้ง 5 พันธุ์ที่ความเข้มข้นน้ำแป้งร้อยละ 8 โดยน้ำหนักแห้ง*

พันธุ์	Pasting temp. (°C)	Peak temp. (°C)	ความหนืด ณ จุดต่างๆ (B.U.)				Breakdown**	Setback***	
			Peak viscosity	95 °C	95 °C hold	50 °C			50 °C hold
ข้าวเจ้า									
ก.วก. 1	71.78b	95.00a	371.75b	360.75b	332.50c	640.50b	574.25c	1.12c	1.74c
ขาวดอกมะลิ 105	80.25a	95.00a	348.75b	348.75b	372.00bc	720.50b	682.75b	0.94d	2.09b
ชัยนาท 1	79.28a	95.00a	365.50b	365.50b	398.50b	932.50a	880.00a	0.92d	2.56a
ข้าวเหนียว									
ก่ำดอยสะเก็ด	67.95c	77.70b	366.25b	241.75c	219.00d	265.50c	279.50d	1.68a	0.72d
เหนียวสันป่าตอง	65.45d	74.75c	670.00a	521.00a	484.00a	638.75b	615.25bc	1.39b	0.96d
LSD _{0.05}	1.8836	1.4279	78.5520	73.0310	45.7840	87.1950	75.1330	0.1756	0.2746

* ค่าที่ได้เป็นค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์แป้งข้าว 5 พันธุ์ พันธุ์ละ 4 ซ้ำ

** breakdown = $\frac{\text{peak viscosity}}{\text{ความหนืดสุดท้ายที่ 95 องศาเซลเซียส}}$

*** setback = $\frac{\text{ความหนืดที่ 50 องศาเซลเซียส}}{\text{peak viscosity}}$

a,b,c.... ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งเดียวกัน แสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (p<0.05)

ตารางที่ 4.16 ค่าเฉลี่ย Pasting properties ของแป้งข้าวเจ้าและข้าวเหนียวที่ความเข้มข้นน้ำแป้งร้อยละ 8 โดยน้ำหนักแห้ง

พันธุ์	Pasting temp. (°C)	Peak temp. (°C)	ความหนืด ณ จุดต่างๆ (B.U.)				Breakdown***	Setback**	
			Peak viscosity	95 °C	95 °C hold	50 °C			50 °C hold
ข้าวเจ้า*	77.10a	95.00a	359.92b	358.33	367.67	764.50a	712.33a	0.98b	2.14a
ข้าวเหนียว**	67.79b	76.22b	520.92a	382.46	366.92	536.13b	531.21b	1.50a	1.05b
LSD _{0.05}	4.0799	1.4802	121.8000	ns	ns	114.2100	90.7930	0.1130	0.1997

* แป้งข้าวเจ้าที่ใช้ในการวิเคราะห์คือ แป้งข้าว.ว.ก. 1 แป้งข้าวขาวดอกมะลิ 105 และแป้งข้าวชยันนาท 1

** แป้งข้าวเหนียวที่ใช้ในการวิเคราะห์ คือ แป้งข้าวท่าดอยสะเก็ด และแป้งข้าวเหนียวสันป่าดอง

*** breakdown =
$$\frac{\text{peak viscosity}}{\text{ความหนืดสุดท้ายที่ 95 องศาเซลเซียส}}$$

**** setback =
$$\frac{\text{ความหนืดที่ 50 องศาเซลเซียส}}{\text{peak viscosity}}$$

a,b,c,... ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวดิ่งเดียวกัน แสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (p<0.05)

ns หมายถึงไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบทางเคมี กำลังการพองตัว ร้อยละการละลายของแป้งข้าว และ pasting properties ของแป้งข้าว

เนื่องจากมีงานวิจัยหลายงานที่รายงานถึงความสัมพันธ์ระหว่างผลของโครงสร้างของเม็ดสตาร์ชหรือองค์ประกอบทางเคมีที่มีต่อสมบัติทางกายภาพไม่ว่าจะเป็นกับกำลังการพองตัวและร้อยละการละลาย หรือกับสมบัติด้าน pasting properties หรือแม้แต่ที่รายงานถึงสมบัติทางกายภาพที่ส่งผลต่อกัน เช่น สมบัติด้านการพองตัวและการละลายของสตาร์ชที่มีต่อ pasting properties (Leach et al., 1959; Juliano et al., 1964a; 1964b; Tester and Morrison, 1990a; Hamaker and Griffin, 1993; Reddy et al., 1994; Lii et al., 1995; Mua and Jackson 1995; Lii et al., 1996; Guraya et al., 1997; Tsai et al., 1997) ในที่นี้จึงนำผลการทดลองเรื่ององค์ประกอบทางเคมีและสมบัติทางกายภาพมาพิจารณาหาความสัมพันธ์หรือค่าสหสัมพันธ์ (r) ระหว่างองค์ประกอบเคมีกับสมบัติทางกายภาพที่สำคัญ โดยแสดงผลการวิเคราะห์ค่าสหสัมพันธ์ดังตารางที่ 4.17 – 4.19

ตารางที่ 4.17 ค่าสหสัมพันธ์ (r) ระหว่างกำลังการพองตัวที่อุณหภูมิต่างๆของแป้งข้าวทั้ง 5 พันธุ์ กับองค์ประกอบทางเคมี จากการวิเคราะห์โดย Pearson's correlation analysis

	55°C	65°C	75°C	85°C	95°C
แป้งข้าว 5 พันธุ์					
อมัยโลส	-0.9230**	-0.9394**	-0.9378**	-0.9045**	-0.4506*
อมัยโลเพคติน	0.9230**	0.9394**	0.9378**	0.9045**	0.4506*
โปรตีน	ns	0.4808*	0.5650**	0.5447*	ns
ไขมัน	-0.7864**	-0.8436**	-0.8544**	-0.9144**	-0.6835**
แป้งข้าวเจ้า 3 พันธุ์					
อมัยโลส	-0.7243**	-0.8541**	-0.8316**	ns	ns
อมัยโลเพคติน	0.7243**	0.8541	0.8316**	ns	ns
โปรตีน	-0.6533*	-0.8404**	-0.9094**	-0.5975*	-0.6451*
ไขมัน	ns	-0.6905**	-0.7732**	-0.9151**	-0.8547**
แป้งข้าวเหนียว 2 พันธุ์					
อมัยโลส	-0.7270*	-0.8926**	ns	ns	ns
อมัยโลเพคติน	0.7270*	0.8926**	ns	ns	ns
โปรตีน	ns	-0.8730**	ns	ns	ns
ไขมัน	ns	ns	ns	ns	ns

ns : ไม่มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

* : สัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

** : สัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.01$)

ตารางที่ 4.18 ค่าสหสัมพันธ์ (r) ระหว่างร้อยละการละลายที่อุณหภูมิต่างๆของแป้งข้าวทั้ง 5 พันธุ์ กับองค์ประกอบทางเคมี จากการวิเคราะห์โดย Pearson's correlation analysis

	55°C	65°C	75°C	85°C	95°C
แป้งข้าว 5 พันธุ์					
อมัยโลส	-0.8917**	-0.9106**	-0.9185**	-0.8637**	ns
อมัยโลเพคติน	0.8917**	0.9106**	0.9185**	0.8637**	ns
โปรตีน	ns	0.6274**	0.6474**	0.4731*	-0.6417**
ไขมัน	-0.7696**	-0.7792**	-0.8384**	-0.9178**	ns
แป้งข้าวเจ้า 3 พันธุ์					
อมัยโลส	-0.7610**	ns	ns	ns	-0.7105**
อมัยโลเพคติน	0.7610**	ns	ns	ns	0.7105**
โปรตีน	-0.6667**	ns	-0.5972*	-0.6935*	-0.7936**
ไขมัน	ns	ns	-0.6960*	-0.8556**	-0.7942**
แป้งข้าวเหนียว 2 พันธุ์					
อมัยโลส	-0.9515**	ns	ns	ns	ns
อมัยโลเพคติน	0.9515**	ns	ns	ns	ns
โปรตีน	-0.9587**	ns	ns	ns	ns
ไขมัน	ns	ns	ns	ns	ns

ns : ไม่มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

* : สัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

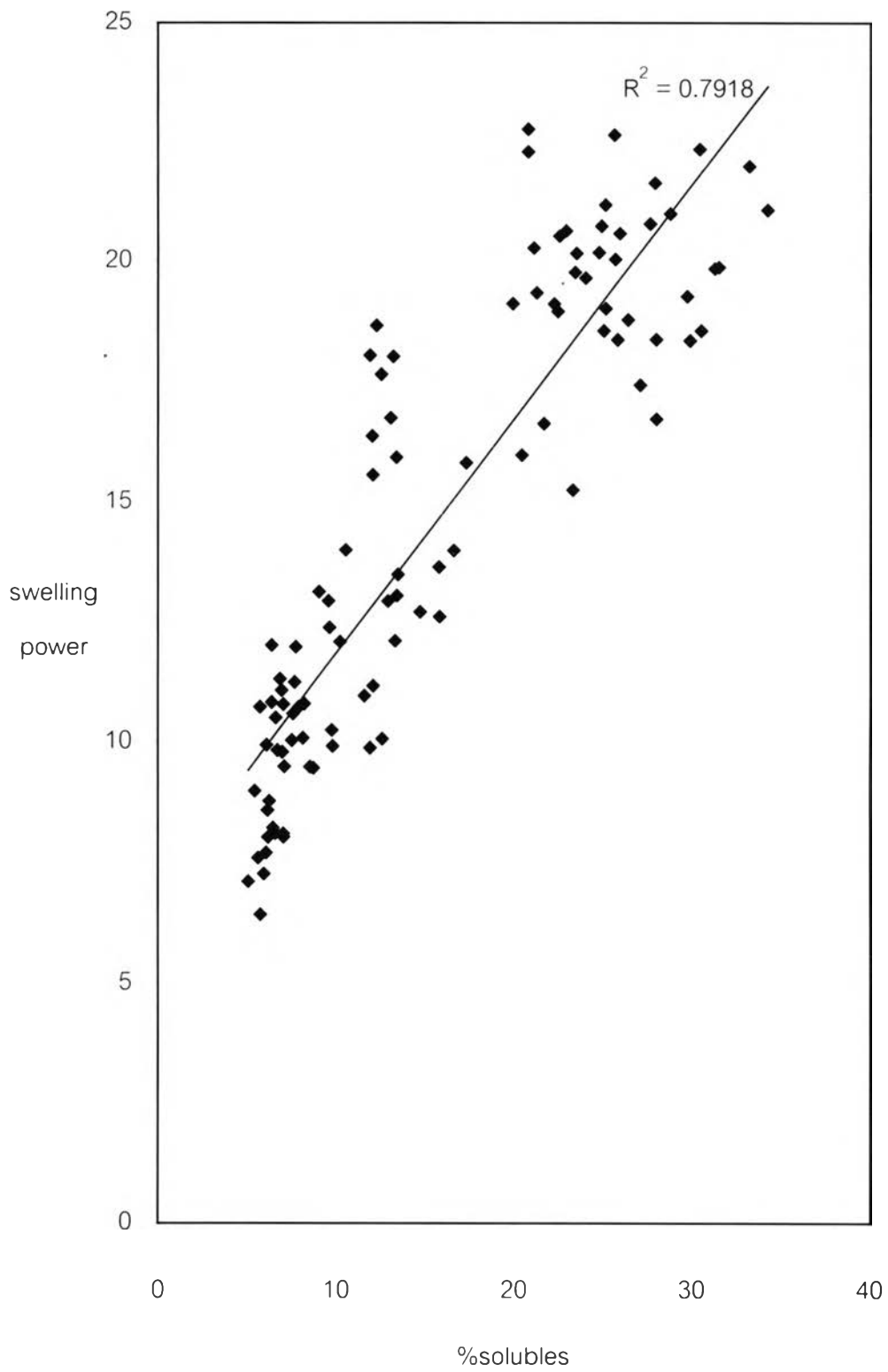
** : สัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.01$)

จากตารางที่ 4.17 สำหรับแบ่งข้าว 5 พันธุ์ พบความสัมพันธ์ของอภัยโลเพคติน อภัยโลส โปรตีน และไขมันต่อกำล้างการพองตัวของเม็ดสตาร์ช โดยอภัยโลเพคตินให้ความสัมพันธ์ทางบวก ในขณะที่อภัยโลส ไขมัน ให้ความสัมพันธ์ในทางลบ เมื่อพิจารณาโปรตีน พบว่าค่าสหสัมพันธ์ของ กำล้างการพองตัวกับโปรตีนเป็นบวก ซึ่งขัดแย้งกับงานวิจัยในเรื่องผลของโปรตีนที่จำกัดการพองตัวของเม็ดสตาร์ช จึงแยกพิจารณาเป็นชนิดของแบ่งข้าวเจ้าและแบ่งข้าวเหนียว ซึ่งก็พบว่าปริมาณโปรตีนให้ความสัมพันธ์ในทางลบกับกำล้างการพองตัวของแบ่งข้าวเจ้าและแบ่งข้าวเหนียว

เมื่อพิจารณาจากแบ่งข้าวเจ้า 3 พันธุ์ พบว่าอภัยโลเพคตินมีความสัมพันธ์ในทางบวกกับ กำล้างการพองตัวที่อุณหภูมิตั้งแต่ 55-75 องศาเซลเซียส ในขณะที่อภัยโลสให้ความสัมพันธ์ในทางลบ และเมื่ออุณหภูมิสูงกว่า 75 องศาเซลเซียส อภัยโลสและอภัยโลเพคตินไม่มีผลต่อกำล้างการพองตัวของเม็ดสตาร์ชแบ่งข้าวเจ้า ในขณะที่โปรตีนและไขมันให้ความสัมพันธ์ในทางลบกับค่ากำล้างการพองตัวในทุกอุณหภูมิ

และสำหรับแบ่งข้าวเหนียว 2 พันธุ์ พบว่าอภัยโลส อภัยโลเพคติน และโปรตีนเป็นปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับค่ากำล้างการพองตัว โดยอภัยโลสและโปรตีนให้ความสัมพันธ์ทางลบ อภัยโลเพคตินให้ผลเป็นบวก โดยพบความสัมพันธ์เหล่านี้ในช่วงอุณหภูมิ 55 - 65 องศาเซลเซียส เมื่ออุณหภูมิสูงกว่า 65 องศาเซลเซียสก็ไม่พบความสัมพันธ์ดังกล่าวอีก ซึ่งเป็นเพราะเม็ดสตาร์ชพองตัวสมบูรณ์แล้ว

สำหรับความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบทางเคมีและร้อยละการละลายของแบ่งข้าวเจ้า แบ่งข้าวเหนียว และแบ่งข้าวทั้งหมด ซึ่งแสดงดังตารางที่ 4.18 พบว่าค่าการละลายทั้งในแบ่งข้าวเจ้า แบ่งข้าวเหนียว และแบ่งข้าวทั้งหมดให้ค่าสหสัมพันธ์กับองค์ประกอบทางเคมีเช่นเดียวกับกำล้างการพองตัวของเม็ดสตาร์ช แสดงให้เห็นว่ากำล้างการพองตัวและร้อยละการละลายนั้นมีความสัมพันธ์กัน สอดคล้องกับในรูปที่ 4.11 ซึ่งพบว่ากำล้างการพองตัวและร้อยละการละลายของแบ่งข้าวแต่ละพันธุ์มีความสัมพันธ์ในทางบวกซึ่งกันและกัน และเมื่อนำกำล้างการพองตัวและร้อยละการละลายของแบ่งข้าวที่อุณหภูมิเดียวกันมาหาความสัมพันธ์ โดยนำมาเขียนเป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำล้างการพองตัวและร้อยละการละลาย แล้วหาความสัมพันธ์โดยการใส่เส้น trendline จะได้ความสัมพันธ์ระหว่างกำล้างการพองตัวและร้อยละการละลายของแบ่งข้าวทุกพันธุ์เป็นความสัมพันธ์ทางบวกที่มีค่า $r^2 = 0.7918$ แสดงดังรูปที่ 4.15



รูปที่ 4.15 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังการพองตัวและร้อยละการละลายของแป้งข้าว 5 พันธุ์

ตารางที่ 4.19 ค่าสหสัมพันธ์ (r) ระหว่าง pasting properties บางค่าจากแป้งข้าวกับองค์ประกอบทางเคมี จากการวิเคราะห์โดย Pearson's correlation analysis

	Pasting temperature	Peak temperature	Peak viscosity
แป้งข้าว 5 พันธุ์			
อมัยโลส	0.8582**	-	-
อมัยโลเพคติน	-0.8582**	-	-
โปรตีน	ns	-	-
ไขมัน	0.9305**	-	-
แป้งข้าวเจ้า 3 พันธุ์			
อมัยโลส	ns	-	-
อมัยโลเพคติน	ns	-	-
โปรตีน	ns	-	-
ไขมัน	0.8096**	-	-
แป้งข้าวเหนียว 2 พันธุ์			
อมัยโลส	ns	0.7740*	-0.9619**
อมัยโลเพคติน	ns	-0.7740*	0.9619**
โปรตีน	0.8160*	ns	-0.9775**
ไขมัน	0.8095*	ns	-0.7970*

ns : ไม่มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

* : สัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

** : สัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.01$)

- : ไม่ได้ทำการวิเคราะห์

จากตารางที่ 4.19 พบว่า pasting temperature ของแป้งข้าว 5 พันธุ์ มีความสัมพันธ์ทางบวกกับอัมยโลสและไขมัน ในขณะที่มีความสัมพันธ์ทางลบกับอัมยโลเพคติน เมื่อพิจารณาแป้งข้าวเจ้า 3 พันธุ์ พบว่าไขมันมีความสัมพันธ์กับ pasting temperature เด่นชัดที่สุด โดยมีความสัมพันธ์ทางบวก สำหรับแป้งข้าวเหนียว 2 พันธุ์ พบว่าโปรตีนและไขมันให้ความสัมพันธ์ทางบวกกับ pasting temperature

สำหรับ peak temperature และ peak viscosity จะทำการวิเคราะห์ในแป้งข้าวเหนียว 2 พันธุ์เท่านั้น เนื่องจากในแป้งข้าวเจ้าไม่มี peak temperature และ peak viscosity ที่ชัดเจน ซึ่งเมื่อวิเคราะห์ค่าสหสัมพันธ์ระหว่าง peak temperature ของแป้งข้าวเหนียวแล้วพบว่าองค์ประกอบที่มีความสัมพันธ์ทางบวกคือ อัมยโลส ในขณะที่มีความสัมพันธ์ทางลบกับอัมยโลเพคติน สำหรับ peak viscosity พบว่าอัมยโลส ไขมัน และโปรตีนให้ความสัมพันธ์ทางลบ ในขณะที่อัมยโลเพคตินให้ความสัมพันธ์ทางบวก

นอกจากนี้ยังวิเคราะห์ค่าสหสัมพันธ์ระหว่าง pasting temperature ของแป้งข้าวทั้ง 5 พันธุ์ กับกำลังการพองตัวและร้อยละการละลายที่อุณหภูมิซึ่งเกิด pasting temperature ของแป้งข้าวเจ้า (75 องศาเซลเซียส) และแป้งข้าวเหนียว (65 องศาเซลเซียส) พบความสัมพันธ์ระหว่างกำลังการพองตัวและร้อยละการละลายกับ pasting temperature โดยให้ค่า $r = -0.9156$ และ -0.9060 ($p < 0.01$) ตามลำดับ

และทำการวิเคราะห์ค่าสหสัมพันธ์ระหว่าง peak temperature และ peak viscosity กับกำลังการพองตัวและร้อยละการละลายที่อุณหภูมิซึ่งใกล้เคียงกัน peak temperature ของแป้งข้าวเหนียวทั้ง 2 พันธุ์ (75 องศาเซลเซียส) ซึ่งไม่พบความสัมพันธ์ระหว่างกำลังการพองตัวและร้อยละการละลายกับ peak temperature และ peak viscosity

เนื่องจากค่า setback ขึ้นกับองค์ประกอบที่สำคัญ คือ อัมยโลส จึงทำการวิเคราะห์องค์ประกอบของค่า set back กับอัมยโลส ซึ่งพบว่าอัมยโลสให้ความสัมพันธ์ทางบวกกับค่า setback โดยให้ค่า $r = 0.9487$ ($p < 0.01$) จากแป้งข้าวทุกพันธุ์

จากผลการทดลองในส่วนแรกซึ่งเป็นการศึกษาสมบัติทางเคมีและทางกายภาพของแป้งข้าวที่ใช้ในงานวิจัย จะพบว่าพันธุ์ข้าวมีอิทธิพลต่อองค์ประกอบทางเคมีและทางกายภาพของแป้งข้าวเป็นอย่างมาก แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนระหว่างพันธุ์ ร้อยละผลผลิตแป้งข้าว องค์ประกอบทางเคมี และสมบัติทางกายภาพ ดังตารางที่ 4.20

ตารางที่ 4.20 สรุปผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ (analysis of variance) ระหว่างพันธุ์ข้าว และตัวแปรสมบัติทางเคมีและทางกายภาพ

ผลการทดลอง	แหล่งความแปรปรวน
	พันธุ์ข้าว
ร้อยละผลผลิตแป้งข้าว	**
องค์ประกอบทางเคมี	
คาร์โบไฮเดรต	**
โปรตีน	**
ไขมัน	**
เส้นใย	**
เถ้า	**
อัมยิโลส	**
อัมยิโลเพคติน	**
สมบัติทางกายภาพ	
กำลังการพองตัว	**
ร้อยละการละลาย	**
pasting properties	
pasting temperature	**
peak temperature	**
peak viscosity	**
breakdown	**
setback	**

** มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.01$)

จากผลการทดลองในส่วนนี้ แสดงให้เห็นว่าพันธุ์ส่งผลต่อสมบัติทุกประการของแป้งข้าว จึงอาจกล่าวได้ว่า พันธุ์ที่หลากหลายส่งผลให้สมบัติทางเคมีและทางกายภาพของแป้งข้าวแตกต่างกัน ซึ่งด้วยเหตุนี้เองในการนำข้าวและแป้งข้าวไปใช้จึงต้องพิจารณาถึงพันธุ์ข้าว และสมบัติของแป้งข้าวพันธุ์นั้นๆ เป็นสำคัญ เพื่อให้เหมาะสมกับการนำไปใช้มากที่สุด

ส่วนที่ 2 การผลิตมอลโทเดกซ์ทรินจากแป้งข้าวพันธุ์ต่างๆ

4.7 การนำแป้งข้าวมาผลิตเป็นมอลโทเดกซ์ทริน

ในงานทดลองนำแป้งข้าวทั้ง 5 พันธุ์ ได้แก่ แป้งข้าว ก.ว.ก. 1 แป้งข้าวขาวดอกมะลิ 105 แป้งข้าวชยันนาท 1 แป้งข้าวท่าดอยสะเก็ด และแป้งข้าวเหนียวสันป่าตอง มาผลิตเป็นผลิตภัณฑ์มอลโทเดกซ์ทรินที่มีค่าสมมูลเดกซ์โทรส (DE) ในช่วง 15-20 โดยควบคุมปัจจัยที่ให้แก่น้ำแป้งแต่ละพันธุ์เท่ากัน ปัจจัยที่ควบคุม ได้แก่ ความเข้มข้นน้ำแป้ง โดยใช้ความเข้มข้นร้อยละ 30 โดยน้ำหนักแห้ง pH ของน้ำแป้งเป็น 6.5 ความเข้มข้นของเอนไซม์ α -amylase (Termamyl 120L[®]) 0.10 โดยน้ำหนักต่อน้ำหนักน้ำแป้ง สภาวะที่ใช้ในการให้ความร้อนช่วงแรก 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที แล้วจึงลดอุณหภูมิลงเป็น 95 องศาเซลเซียส และแปรเวลาในการให้ความร้อนในช่วง 95 องศาเซลเซียสนี้คราวละ 10 นาที ทำการย่อยจนกว่าจะได้ผลิตภัณฑ์มอลโทเดกซ์ทรินที่มีค่า DE ในช่วง 15-20 ในแป้งข้าวแต่ละพันธุ์จะทำการผลิตมอลโทเดกซ์ทริน 4 ซ้ำ ในทุกครั้งที่ผลิตจะทำการวิเคราะห์ค่า residual enzyme activity ภายหลังทำการย่อยและหยุดปฏิกิริยาทุกครั้ง เพื่อพิจารณาว่าเอนไซม์ถูกยับยั้งสมบูรณ์ แล้ววิเคราะห์ % liquefied starch ร้อยละของแข็ง น้ำตาลรีดิวซ์ (แสดงผลในภาคผนวก ง. ตารางที่ ง.1 – ง.3) และคำนวณค่า DE ของมอลโทเดกซ์ทรินจากแป้งข้าวแต่ละซ้ำ และนำผลวิเคราะห์แต่ละค่ามาหาค่าเฉลี่ย แสดงผลการวิเคราะห์ค่า DE ที่เวลาต่างๆของแป้งข้าวแต่ละพันธุ์ ดังตารางที่ 4.21

ซึ่งเมื่อพิจารณาผลการทดลองในตารางที่ ง.1 - ง.3 และตารางที่ 4.21 พบว่าเมื่อใช้เวลาในการย่อยเพิ่มขึ้น %liquefied starch ร้อยละของแข็ง ร้อยละน้ำตาลรีดิวซ์ และค่า DE ของผลิตภัณฑ์มอลโทเดกซ์ทรินจากแป้งข้าวทุกพันธุ์มีค่าเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 4.21 ค่า DE จากแป้งข้าวที่ผ่านการย่อยด้วย Termamyl 120L[®] ณ เวลาต่างๆ

พันธุ์	ค่า DE ของผลิตภัณฑ์มอลโทเดกซ์ทรินเหลว*ที่เวลา				
	10 นาที	20 นาที	30 นาที	40 นาที	50 นาที
ข้าวเจ้า					
ก.ว.ก. 1	14.63a	18.74a	23.48a	-	-
ขาวดอกมะลิ 105	7.89c	9.06e	11.48d	15.36a	18.71
ชัยนาท 1	8.29c	11.12d	13.60c	14.56b	18.96
ข้าวเหนียว					
ก่ำดอยสะเก็ด	10.60b	12.87c	16.62b	21.01a	-
เหนียวสันป่าตอง	10.87b	13.81b	16.95b	20.38a	-
LSD _{0.05}	0.5621	0.9377	0.8785	1.2434	ns

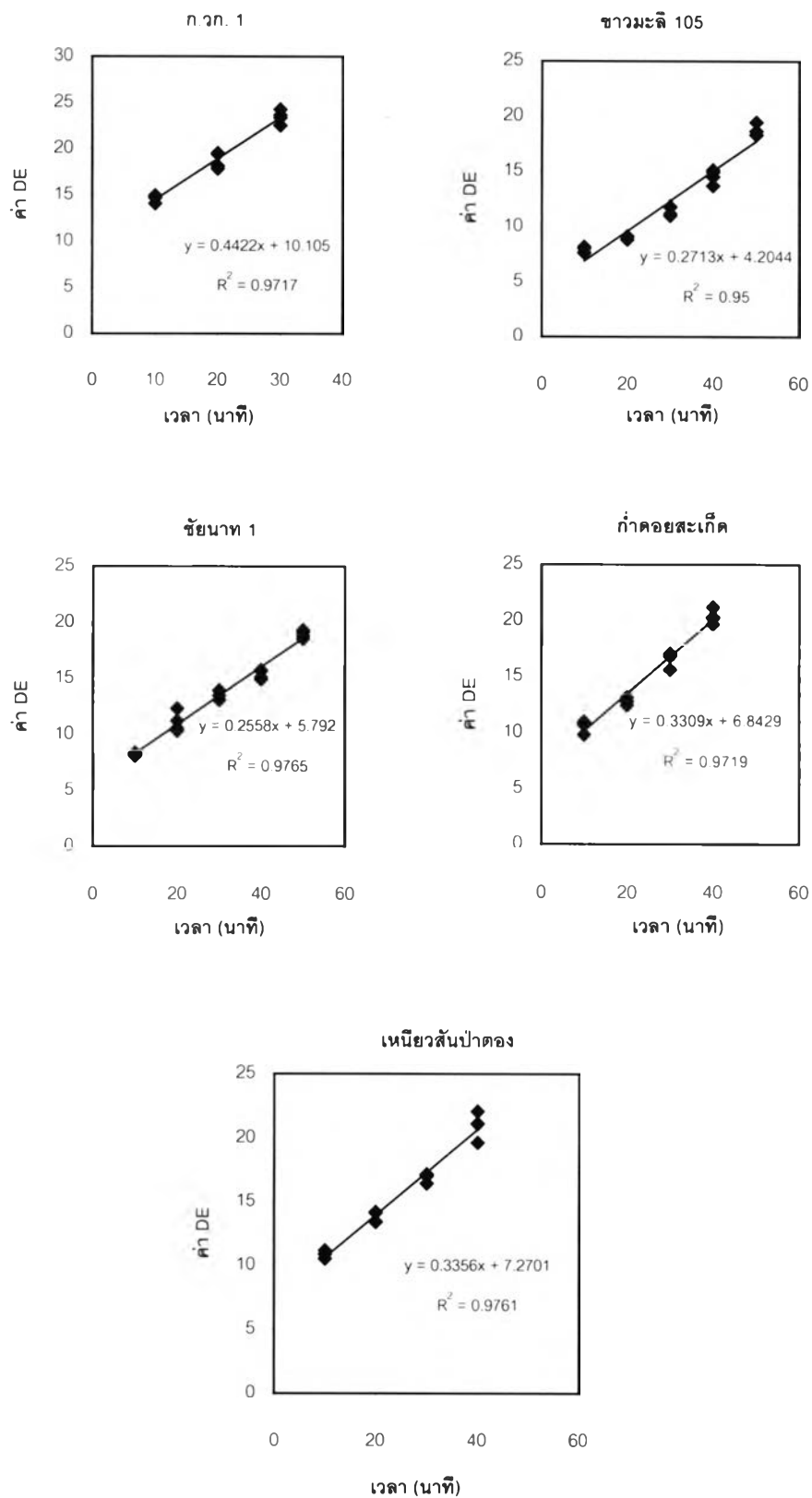
* แป้งข้าวแต่ละพันธุ์จะผลิตมอลโทเดกซ์ทริน 4 ชั่วโมงวิเคราะห์ค่าในแต่ละชั่วโมงแล้วนำมาเฉลี่ย

a,b,c,... ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวดิ่งเดียวกัน แสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$)

ns ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

จากตารางที่ 4.21 พบว่าแป้งข้าว ก.ว.ก. 1 ใช้เวลาในการย่อยเพื่อให้ได้มอลโทเดกซ์ทรินที่มีค่า DE ในช่วง 15-20 สั้นที่สุด คือ ใช้เวลาประมาณ 20 นาทีเท่านั้น แป้งข้าวก่ำดอยสะเก็ดและแป้งข้าวเหนียวสันป่าตองใช้เวลาประมาณ 40 นาที ส่วนแป้งข้าวขาวดอกมะลิ 105 และแป้งข้าวชัยนาท 1 ใช้เวลาในการผลิตนานที่สุด โดยใช้เวลาประมาณ 1 ชั่วโมง

นำค่า DE ของผลิตภัณฑ์มอลโทเดกซ์ทรินจากแป้งข้าวแต่ละพันธุ์ซึ่งผ่านการย่อย ณ เวลาต่างๆมาเขียนเป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ใช้ในการย่อยกับค่า DE พบว่าสามารถสร้างสมการทำนายความสัมพันธ์ระหว่างค่า DE ของผลิตภัณฑ์และเวลาที่ใช้ในการย่อย เมื่อใช้สภาวะที่กำหนดในการทดลองนี้ เพื่อผลิตมอลโทเดกซ์ทรินที่มีช่วง DE ต่ำกว่า 20 ได้ แสดงดังรูปที่ 4.16



รูปที่ 4.16 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ใช้อยู่ในช่วง 95 องศาเซลเซียส กับค่า DE ของแป้งข้าว 5 พันธุ์

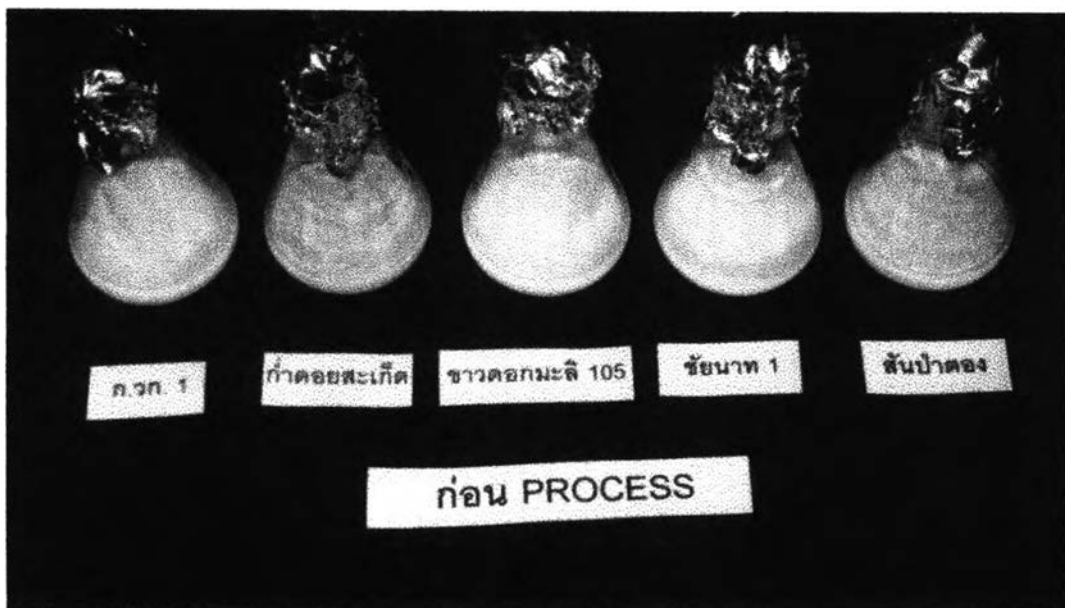
จากสมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ใช้ในการผลิตกับ DE สามารถคำนวณเวลาที่ใช้ในการผลิตมอลโทเดกซ์ทรินให้มีค่า DE ในช่วง 15-20 ได้ แสดงดังตารางที่ 4.22

ตารางที่ 4.22 เวลาที่ใช้ในการผลิตมอลโทเดกซ์ทรินที่มีค่า DE 15 - 20 ของแป้งข้าวพันธุ์ต่างๆ (คำนวณจากสมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการย่อยกับค่า DE ของแป้งข้าวพันธุ์ต่างๆ)

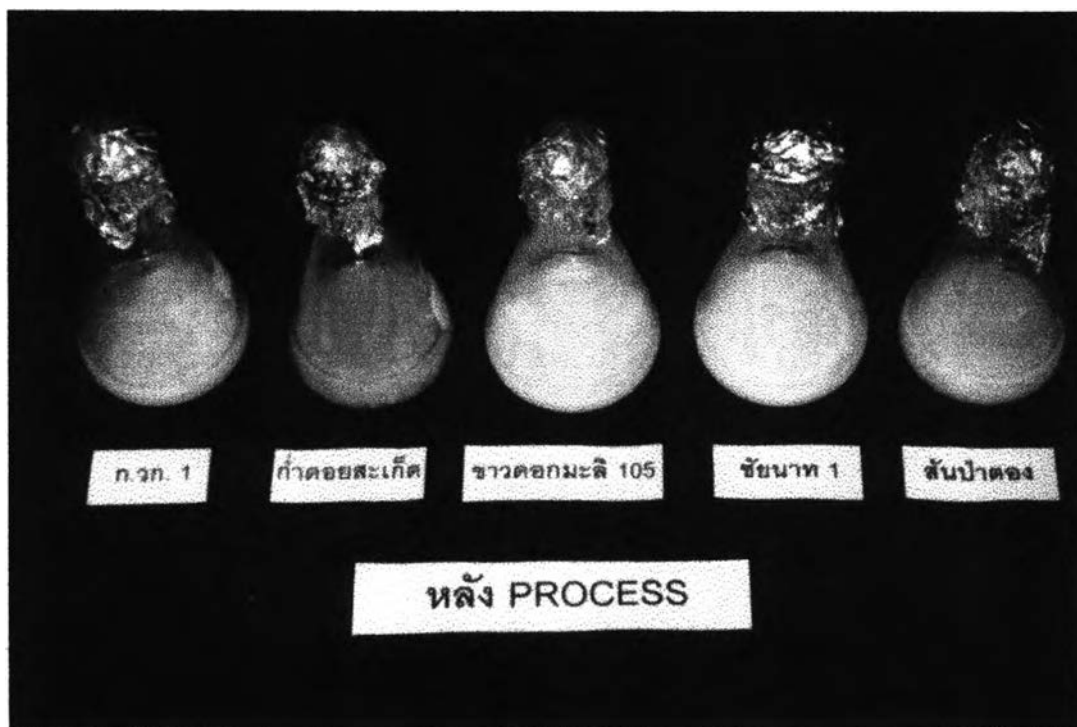
พันธุ์ข้าว	เวลาที่ใช้ในการผลิตมอลโทเดกซ์ทริน (นาที)	
	DE =15	DE =20
ก.วก. 1	11.07	22.38
ขาวดอกมะลิ 105	39.79	58.22
ชัยนาท 1	36.00	55.54
ก่ำดอยสะเก็ด	24.65	39.76
เหนียวสันป่าตอง	23.03	37.93

จากตารางที่ 4.22 แสดงช่วงเวลาที่ใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์มอลโทเดกซ์ทรินเหลว ให้มีค่า DE อยู่ในช่วง 15-20 และในการผลิตครั้งต่อไปจะผลิตมอลโทเดกซ์ทรินจากแป้งข้าวพันธุ์ต่างๆ โดยใช้ช่วงเวลานี้ในการผลิต

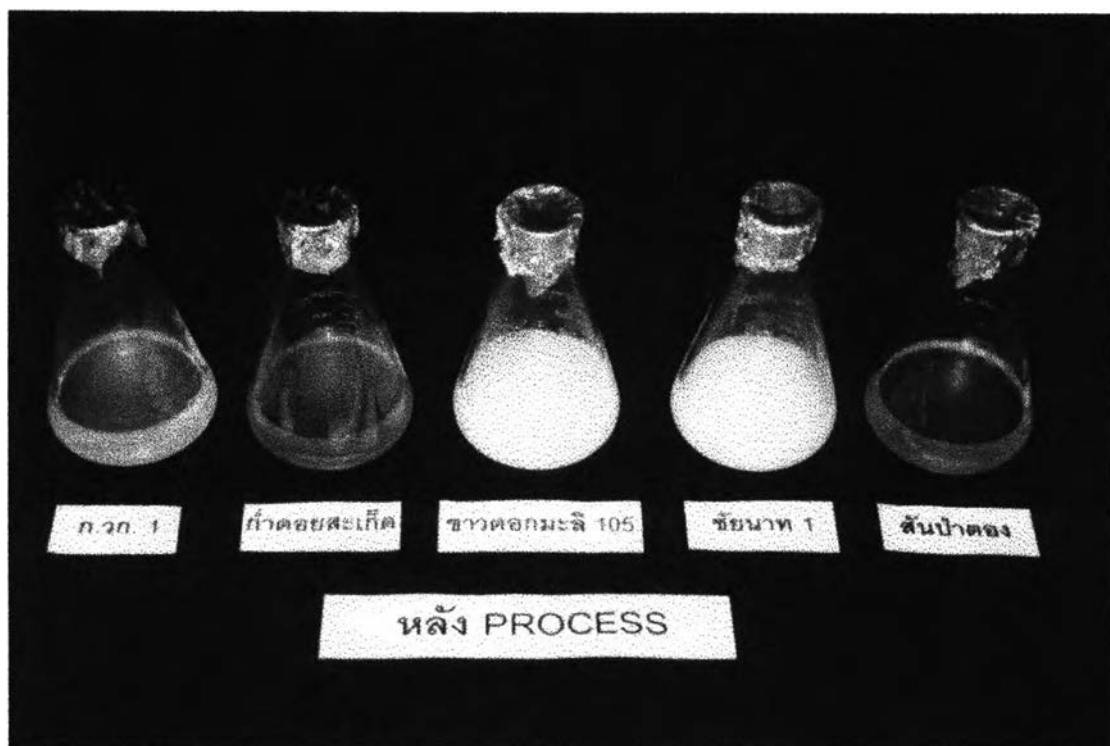
แสดงลักษณะปรากฏของน้ำแป้งตั้งแต่เริ่มผลิตไปจนถึงได้ผลิตภัณฑ์มอลโทเดกซ์ทรินเหลว ดังรูปที่ 4.17 - 4.20 จากนั้นสังเกตลักษณะปรากฏ และวัดค่าสี (L, a, b) ของผลิตภัณฑ์มอลโทเดกซ์ทรินในช่วง DE 15-20 แสดงผลในตารางที่ 4.23 ซึ่งพบว่าผลิตภัณฑ์มอลโทเดกซ์ทรินที่ได้จากแป้งข้าวต่างชนิดกันมีลักษณะแตกต่างกัน พบว่าแป้งข้าวก่ำดอยสะเก็ดจะให้ผลิตภัณฑ์ใส มีสีชมพูอ่อน ในขณะที่ผลิตภัณฑ์มอลโทเดกซ์ทรินที่ได้จากแป้งข้าวขาวดอกมะลิ 105 และแป้งข้าวชัยนาท 1 จะให้ผลิตภัณฑ์ที่ขุ่น ส่วนผลิตภัณฑ์ที่ได้จากแป้งข้าวญี่ปุ่น ก.วก. 1 และแป้งข้าวเหนียวสันป่าตองมีความใส เมื่อสังเกตผลจากค่าสี L ซึ่งถ้าค่าเป็น + แสดงถึงความสว่าง ถ้าค่าเป็น - คือแสดงถึงความมืด ค่าสี a ถ้าค่าเป็น + แสดงถึงสีแดง เป็น - แสดงถึงสีเขียว และค่า b ถ้าเป็น + แสดงถึงสีเหลือง เป็น - แสดงสีน้ำเงิน ซึ่งเมื่อพิจารณาจะพบว่ามีเพียงค่า a และ b ของผลิตภัณฑ์ที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)



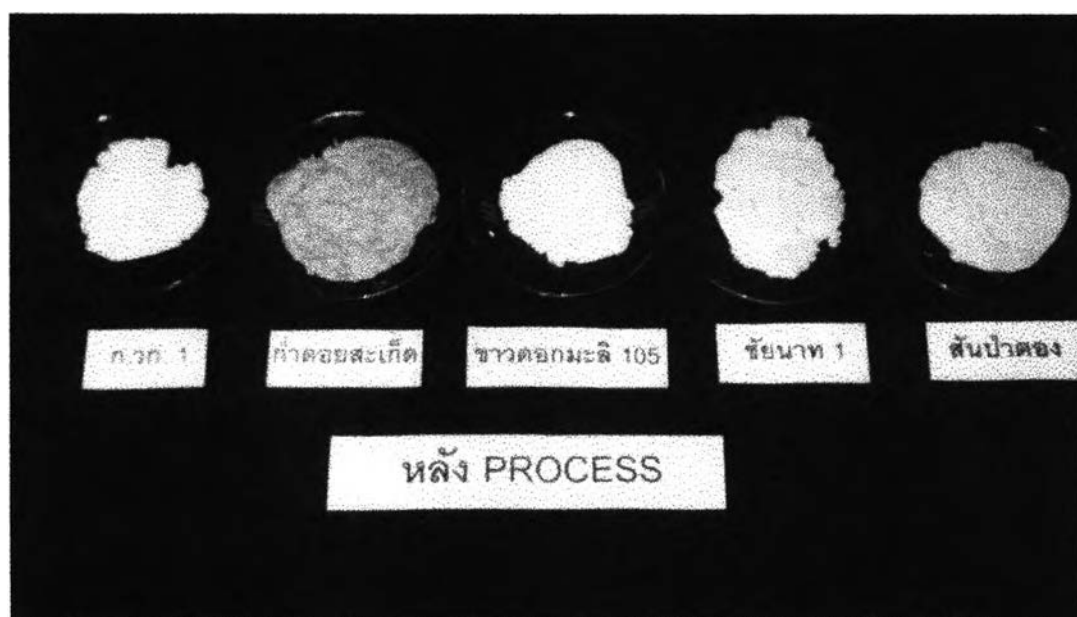
รูปที่ 4.17 ลักษณะน้ำแบ่งจากแบ่งข้าว 5 พันธุ์ ก่อนนำเข้า Autoclave



รูปที่ 4.18 ลักษณะของน้ำแบ่งของแบ่งข้าว 5 พันธุ์ หลังนำออกจาก Autoclave



รูปที่ 4.19 ลักษณะของผลิตภัณฑ์มอลโทเดกซ์ทรินจากแป้งข้าว 5 พันธุ์



รูปที่ 4.20 กากตะกอนของแป้งข้าว 5 พันธุ์ เมื่อแยกออกจากน้ำแป้งที่ถูกย่อย

ตารางที่ 4.23 ลักษณะปรากฏและค่า L, a, b ของมอลโทเดกซ์ทรินเหลวที่มีค่า DE ในช่วง 15-20

พันธุ์	DE	ค่า L	ค่า a	ค่า b	ลักษณะปรากฏ
ข้าวเจ้า					
ก.วก. 1	18.74	94.60	0.46c	11.96b	ของเหลว ใส สีเหลืองอ่อน
ขาวดอกมะลิ 105	18.71	91.18	2.99a	20.35a	ของเหลว ขุ่น
ชัยนาท 1	18.96	91.32	2.87a	18.03a	ของเหลว ขุ่น
ข้าวเหนียว					
ก่ำดอยสะเก็ด	21.01	93.70	1.17b	11.91b	ของเหลว ใส สีชมพูอ่อน
เหนียวสันป่าตอง	20.38	91.60	1.09b	11.45b	ของเหลว ใส สีเหลืองอ่อน
LSD _{0.05}		ns	0.4506	4.1296	

- ค่าที่ได้เป็นค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์น้ำตาลรีดิวซ์ในมอลโทเดกซ์ทรินจากแป้งข้าว 5 พันธุ์ แต่ละพันธุ์จะผลิตมอลโทเดกซ์ทริน 4 ชั่วโมงวิเคราะห์ค่าในแต่ละชั่วโมงนำมาเฉลี่ย
- a,b,c,... ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งเดียวกัน แสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$)
- ns ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

จากนั้นเก็บผลิตภัณฑ์ที่ได้นี้ไว้ในขวดที่ทำกรพาสเจอร์ไรซ์แล้วปิดฝาสนิท เก็บไว้ที่อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 เดือน สังเกตลักษณะปรากฏของมอลโทเดกซ์ทรินที่ได้พบว่ามอลโทเดกซ์ทรินจากแป้งข้าวขาวดอกมะลิ 105 และแป้งข้าวชัยนาท 1 เกิดตะกอนนอนก้นเมื่อเก็บไว้ได้เพียง 2 สัปดาห์ แต่มอลโทเดกซ์ทรินจากแป้งข้าว ก.วก. 1 แป้งข้าวก่ำดอยสะเก็ด และแป้งข้าวเหนียวสันป่าตอง ยังมีลักษณะปรากฏไม่เปลี่ยนแปลง

4.8 การตรวจสอบองค์ประกอบของน้ำตาลโมเลกุลต่ำ (DP 1-7) ในผลิตภัณฑ์มอลโทเดกซ์ทรินจากแป้งข้าวที่มีค่า DE 15-20 ในเชิงคุณภาพ โดยใช้เปเปอร์โครมาโตกราฟี

นำผลิตภัณฑ์มอลโทเดกซ์ทรินที่ผลิตได้ไปวิเคราะห์องค์ประกอบของน้ำตาลโมเลกุลต่ำ (DP 1-7) ในเชิงคุณภาพ (qualitative method) โดยวิธีเปเปอร์โครมาโตกราฟี (paper chromatography) โดยใช้ solvent ทั้งหมด 4 ระบบ แสดงดังตารางที่ 4.24 เปรียบเทียบกัน ทำการ develop สารละลายผสมของน้ำตาลมาตรฐาน DP 1-7 เปรียบเทียบกับสารละลายน้ำตาลมาตรฐาน DP 1 ถึง DP 7 เพื่อหาจำนวนครั้งที่ต้องใช้ในการ develop แสดงผลดังตารางที่ 4.25 – 4.29

ตารางที่ 4.24 Solvent ทั้ง 4 ระบบที่ใช้ในการทดลองแยกองค์ประกอบของน้ำตาลมวลโมเลกุลต่ำ (DP1-7) ในผลิตภัณฑ์มอลโทเดกซ์ทริน

ระบบที่	solvent	อัตราส่วน (โดยปริมาตร)
1	n-butanol: pyridine : H ₂ O	9: 5: 4
2	isopropanol: pyridine: H ₂ O	7: 2: 2
3	isoamyl alcohol: pyridine: H ₂ O	7: 7: 6
4	ethyl acetate: n-butanol: acetic acid : H ₂ O	6: 8: 5: 8

ตารางที่ 4.25 ค่าเฉลี่ย* R_f มาตรฐานของน้ำตาล DP 1 ถึง 7 และสารละลายผสมของน้ำตาล DP 1-7 เมื่อใช้ Solvent ชนิดต่างๆ ทำการ develop 1 ครั้ง แล้วตรวจสอบค่า R_f

น้ำตาล	Solvent 1		Solvent 2		Solvent 3		Solvent 4	
	pure	mix	pure	mix	pure	mix	pure	mix
Glucose	0.42	-	0.51	-	0.45	-	0.47	-
Maltose	0.32	-	0.38	-	0.36	-	0.37	-
Maltotriose	0.22	-	0.27	-	0.26	-	0.29	-
Maltotetraose	0.15	-	0.18	-	0.20	-	0.21	-
Maltopentaose	0.11	-	0.11	-	0.17	-	0.16	-
Maltohexaose	0.06	-	0.08	-	0.13	-	0.12	-
Maltoheptaose	0.06	-	0.06	-	0.12	-	0.09	-

- * ค่าเฉลี่ยที่ได้จากการทดลอง 2 ซ้ำ
- หมายถึงไม่มีการแยกจุดออกมาอย่างชัดเจน

ตารางที่ 4.26 ค่าเฉลี่ย* R_f มาตรฐานของน้ำตาล DP 1 ถึง 7 และสารละลายผสมของน้ำตาล DP 1-7 เมื่อใช้ Solvent ชนิดต่างๆ ทำการ develop 2 ครั้ง แล้วตรวจสอบค่า R_f

น้ำตาล	Solvent 1		Solvent 2		Solvent 3		Solvent 4	
	pure	mix	pure	mix	pure	mix	pure	mix
Glucose	0.63	0.64	0.74	0.78	0.63	0.60	0.64	-
Maltose	0.49	0.49	0.57	0.63	0.50	0.49	0.52	-
Maltotriose	0.35	-	0.46	0.49	0.41	-	0.42	-
Maltotetraose	0.24	-	0.31	-	0.36	-	0.35	-
Maltopentaose	0.16	-	0.20	-	0.29	-	0.27	-
Maltohexaose	0.11	-	0.14	-	0.22	-	0.24	-
Maltoheptaose	0.07	-	0.11	-	0.19	-	0.18	-

- * ค่าเฉลี่ยที่ได้จากการทดลอง 2 ซ้ำ
- หมายถึงไม่มีการแยกจุดออกมาอย่างชัดเจน

ตารางที่ 4.27 ค่าเฉลี่ย* R_f มาตรฐานของน้ำตาล DP 1 ถึง 7 และสารละลายผสมของน้ำตาล DP 1-7 เมื่อใช้ Solvent ชนิดต่างๆ ทำการ develop 3 ครั้ง แล้วตรวจสอบค่า R_f

น้ำตาล	Solvent 1		Solvent 2		Solvent 3		Solvent 4	
	pure	mix	pure	mix	pure	mix	pure	Mix
Glucose	0.71	0.72	0.88	0.89	0.67	0.67	0.74	0.73
Maltose	0.56	0.56	0.78	0.76	0.58	0.56	0.65	-
Maltotriose	0.40	0.42	0.63	0.60	0.50	0.48	0.56	-
Maltotetraose	0.30	-	0.48	0.47	0.41	-	0.46	-
Maltopentaose	0.19	-	0.32	-	0.33	-	0.36	-
Maltohexaose	0.13	-	0.20	-	0.30	-	0.30	-
Maltoheptaose	0.09	-	0.15	-	0.26	-	0.25	-

- * ค่าเฉลี่ยที่ได้จากการทดลอง 2 ซ้ำ
- หมายถึงไม่มีการแยกจุดออกมาอย่างชัดเจน

ตารางที่ 4.28 ค่าเฉลี่ย* R_f มาตรฐานของน้ำตาล DP 1 ถึง 7 และสารละลายผสมของน้ำตาล DP 1-7 เมื่อใช้ Solvent ชนิดต่างๆ ทำการ develop 4 ครั้ง แล้วตรวจสอบค่า R_f

น้ำตาล	Solvent 1		Solvent 2		Solvent 3		Solvent 4	
	pure	mix	pure	mix	pure	mix	pure	mix
Glucose	0.78	0.80	0.91	0.91	0.71	0.76	0.76	0.76
Maltose	0.65	0.69	0.83	0.80	0.65	0.66	0.67	0.66
Maltotriose	0.49	0.53	0.74	0.70	0.54	0.58	0.59	0.59
Maltotetraose	0.33	0.37	0.58	0.58	0.47	0.49	0.50	0.51
Maltopentaose	0.23	0.26	0.45	0.44	0.38	0.40	0.40	0.43
Maltohexaose	0.16	0.18	0.32	0.33	0.28	-	0.32	-
Maltoheptaose	0.11	0.11	0.18	0.19	0.25	-	0.27	-

- * ค่าเฉลี่ยที่ได้จากการทดลอง 2 ซ้ำ
- หมายถึงไม่มีการแยกจุดออกมาอย่างชัดเจน

ตารางที่ 4.29 ค่าเฉลี่ย* R_f มาตรฐานของน้ำตาล DP 1 ถึง 7 และสารละลายผสมของน้ำตาล DP 1-7 เมื่อใช้ Solvent ชนิดต่างๆ ทำการ develop 5 ครั้ง แล้วตรวจสอบค่า R_f

น้ำตาล	Solvent 1		Solvent 2		Solvent 3		Solvent 4	
	pure	mix	pure	mix	pure	mix	pure	mix
Glucose	0.88	0.88	0.96	0.94	0.72	0.78	0.84	0.87
Maltose	0.74	0.75	0.90	0.86	0.62	0.70	0.76	0.80
Maltotriose	0.58	0.59	0.83	0.76	0.56	0.63	0.68	0.71
Maltotetraose	0.43	0.45	0.71	0.64	0.50	0.55	0.60	0.63
Maltopentaose	0.30	0.32	0.55	0.51	0.45	0.48	0.52	0.55
Maltohexaose	0.21	0.23	0.40	0.39	0.40	0.40	0.44	0.45
Maltoheptaose	0.15	0.16	0.25	0.27	0.36	0.34	0.35	0.35

- * ค่าเฉลี่ยที่ได้จากการทดลอง 2 ซ้ำ
- หมายถึงไม่มีการแยกจุดออกมาอย่างชัดเจน

จากตารางที่ 4.25 พบว่าการ develop เพียง 1 ครั้ง ไม่สามารถทำให้องค์ประกอบของน้ำตาล DP 1-7 แยกออกมาได้หมด จึงต้องทำการ develop ในจำนวนครั้งมากขึ้น พบว่าเมื่อใช้จำนวนครั้งในการ develop มากขึ้น น้ำตาลเริ่มแยกองค์ประกอบออกมาเรื่อยๆ (ตารางที่ 4.26-4.29) โดยพบว่าเมื่อทำการ develop ทั้งหมด 4 ครั้ง (ตารางที่ 4.28) solvent ที่ 1 และ 2 สามารถแยกองค์ประกอบของน้ำตาล DP 1-7 ออกมาครบ แต่เนื่องจากระยะทางของจุดแสดงค่า DP 7 มีค่าต่ำมาก ดังนั้นจึงทำการ develop เพิ่มขึ้นอีก 1 ครั้ง ซึ่งพบว่าทำให้การแยกจุดเห็นได้อย่างชัดเจนมากขึ้น และในครั้งนี้พบว่า solvent ที่ 3 และ 4 ก็สามารถแยกองค์ประกอบของน้ำตาล DP 1-7 ออกมาได้ครบเช่นเดียวกับ solvent ที่ 1 และ 2 เช่นกัน

ดังนั้นในการทดลองขั้นต่อไปซึ่งจะนำผลิตภัณฑ์มอลโทเดกซ์ทรินมาแยกองค์ประกอบของน้ำตาลโมเลกุลต่ำ DP 1-7 จะทำการ develop ทั้งหมด 5 ครั้ง แล้วจึงทำการตรวจสอบด้วย alkaline silver nitrate (detection reagent) แสดงผลดังตารางที่ 4.30-4.33 และรูปที่ 4.21 – 4.24

ตารางที่ 4.30 ค่าเฉลี่ย* R_f ของสารละลายผสมน้ำตาล DP 1-7 เปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ย* R_f จากมอลโทเดกซ์ทรินที่ได้จากแป้งข้าว 5 พันธุ์ (develop 5 ครั้ง) โดยใช้ solvent ระบบที่ 1 คือ n-butanol: pyridine: H_2O ในอัตราส่วน 9: 5: 4 โดยปริมาตร

น้ำตาล	R_f มาตรฐาน	ค่า R_f ของผลิตภัณฑ์มอลโทเดกซ์ทริน DE 15-20 จากแป้งข้าวพันธุ์				
		ก.วก. 1	ขาวดอกมะลิ 105	ชัยนาท 1	ก่ำดอยสะเก็ด	สันป่าตอง
Glucose	0.88	0.88	0.88	0.89	0.88	0.89
Maltose	0.75	0.75	0.76	0.77	0.76	0.78
Maltotriose	0.61	0.61	0.63	0.64	0.63	0.65
Maltotetraose	0.46	0.47	0.49	0.50	0.48	0.51
Maltopentaose	0.34	0.35	0.35	0.36	0.35	0.36
Maltohexaose	0.24	0.25	0.24	0.24	0.24	0.25
Maltoheptaose	0.15	0.15	0.14	0.14	0.15	0.13

* ค่าเฉลี่ยที่ได้จากการทดลอง 4 ซ้ำ

ตารางที่ 4.31 ค่าเฉลี่ย* R_f ของสารละลายผสมน้ำตาล DP 1-7 เปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ย* R_f จากมอลโทเดกซ์ทรินที่ได้จากแป้งข้าว 5 พันธุ์ (develop 5 ครั้ง) โดยใช้ solvent ระบบที่ 2 คือ isopropanol: pyridine: H_2O ในอัตราส่วน 7: 2: 2 โดยปริมาตร

น้ำตาล	R_f มาตรฐาน	ค่า R_f ของผลิตภัณฑ์มอลโทเดกซ์ทริน DE 15-20 จากแป้งข้าวพันธุ์				
		ก.วก. 1	ขาวดอกมะลิ 105	ชัยนาท 1	ก่ำดอยสะเก็ด	สันป่าตอง
Glucose	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93
Maltose	0.81	0.82	0.83	0.81	0.83	0.82
Maltotriose	0.70	0.71	0.72	0.71	0.71	0.71
Maltotetraose	0.59	0.60	0.60	0.59	0.61	0.60
Maltopentaose	0.48	0.48	0.49	0.49	0.48	0.49
Maltohexaose	0.37	0.37	0.38	0.36	0.37	0.36
Maltoheptaose	0.24	0.25	0.24	0.24	0.25	0.24

* ค่าเฉลี่ยที่ได้จากการทดลอง 4 ซ้ำ

ตารางที่ 4.32 ค่าเฉลี่ย* R_f ของสารละลายผลสมน้ำตาล DP 1-7 เปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ย* R_f จากมอลโทเดกซ์ทรีนที่ได้จากแป้งข้าว 5 พันธุ์ (develop 5 ครั้ง) โดยใช้ solvent ระบบที่ 3 คือ isoamyl alcohol: pyridine: H_2O ในอัตราส่วน 7: 7: 6 โดยปริมาตร

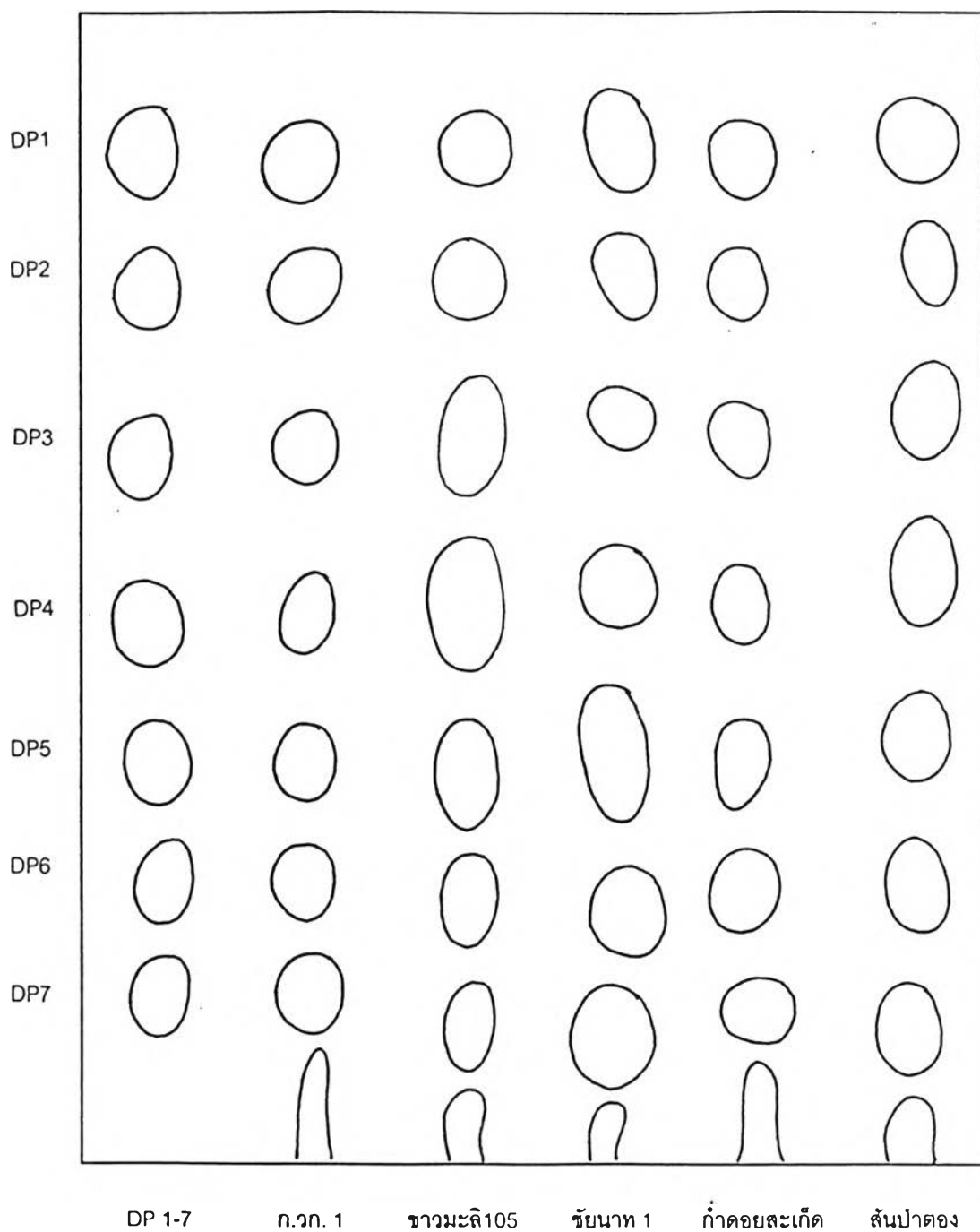
น้ำตาล	R_f มาตรฐาน	ค่า R_f ของผลิตภัณฑ์มอลโทเดกซ์ทรีน DE 15-20 จากแป้งข้าวพันธุ์				
		ก.วก. 1	ขาวดอกมะลิ 105	ชัยนาท 1	ท่าดอยสะเกิด	สันป่าตอง
Glucose	0.78	0.78	0.79	0.79	0.78	0.80
Maltose	0.69	0.70	0.70	0.71	0.70	0.71
Maltotriose	0.61	0.62	0.62	0.63	0.63	0.63
Maltotetraose	0.55	0.54	0.55	0.55	0.55	0.55
Maltopentaose	0.47	0.47	0.48	0.48	0.48	0.49
Maltohexaose	0.40	0.40	0.41	0.40	0.42	0.41
Maltoheptaose	0.33	0.33	0.34	0.33	0.35	0.33

* ค่าเฉลี่ยที่ได้จากการทดลอง 4 ซ้ำ

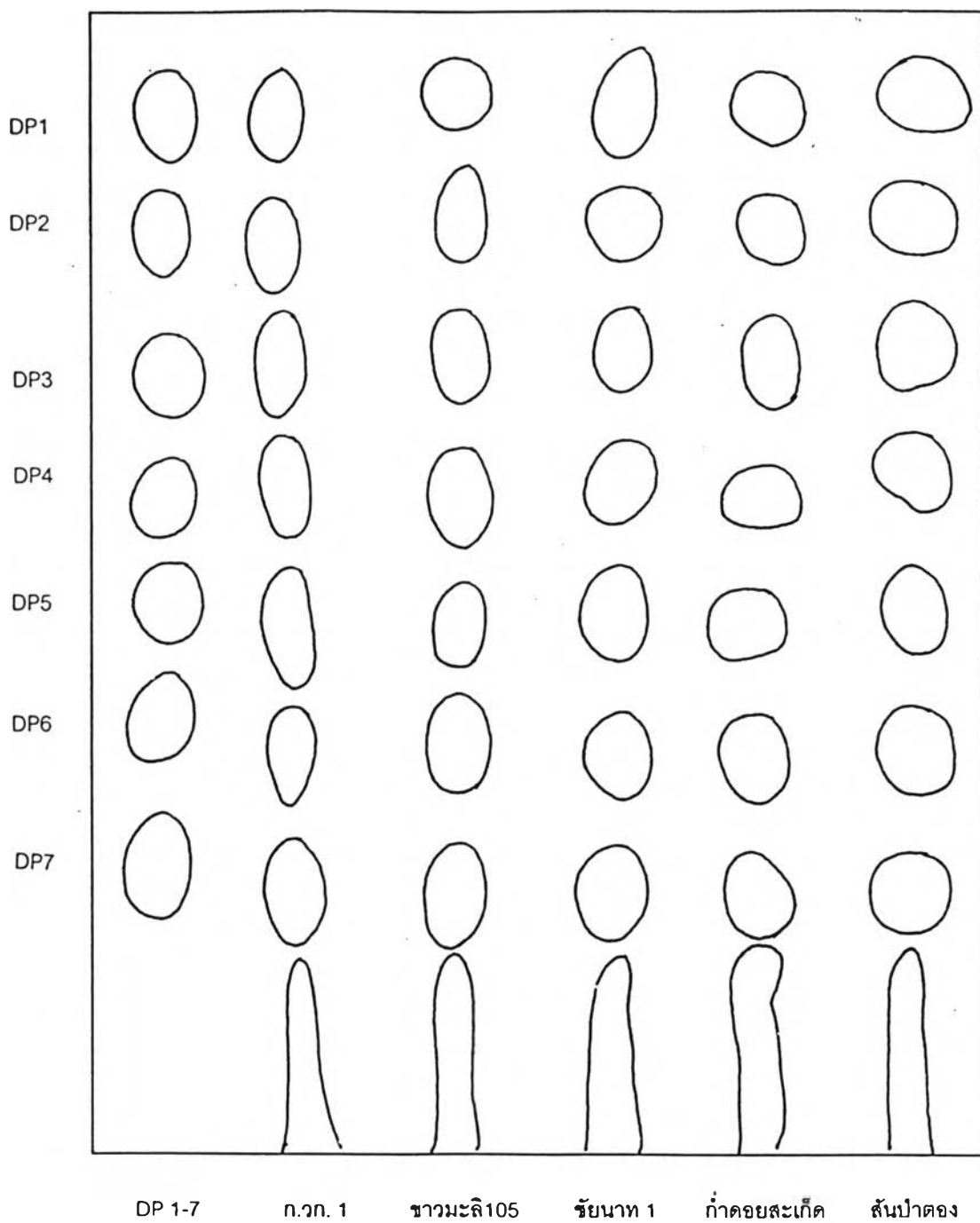
ตารางที่ 4.33 ค่าเฉลี่ย* R_f ของสารละลายผลสมน้ำตาล DP 1-7 เปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ย* R_f จากมอลโทเดกซ์ทรีนที่ได้จากแป้งข้าว 5 พันธุ์ (develop 5 ครั้ง) โดยใช้ solvent ระบบที่ 4 คือ ethyl acetate: n-butanol: acetic acid: H_2O ในอัตราส่วน 6: 8: 5: 8 โดยปริมาตร

น้ำตาล	R_f มาตรฐาน	ค่า R_f ของผลิตภัณฑ์มอลโทเดกซ์ทรีน DE 15-20 จากแป้งข้าวพันธุ์				
		ก.วก. 1	ขาวดอกมะลิ 105	ชัยนาท 1	ท่าดอยสะเกิด	สันป่าตอง
Glucose	0.88	0.91	0.92	0.92	0.92	0.92
Maltose	0.81	0.82	0.83	0.83	0.82	0.84
Maltotriose	0.72	0.73	0.74	0.74	0.73	0.74
Maltotetraose	0.62	0.65	0.65	0.64	0.65	0.64
Maltopentaose	0.55	0.56	0.57	0.56	0.56	0.55
Maltohexaose	0.45	0.46	0.46	0.46	0.46	0.46
Maltoheptaose	0.35	0.36	0.36	0.36	0.36	0.37

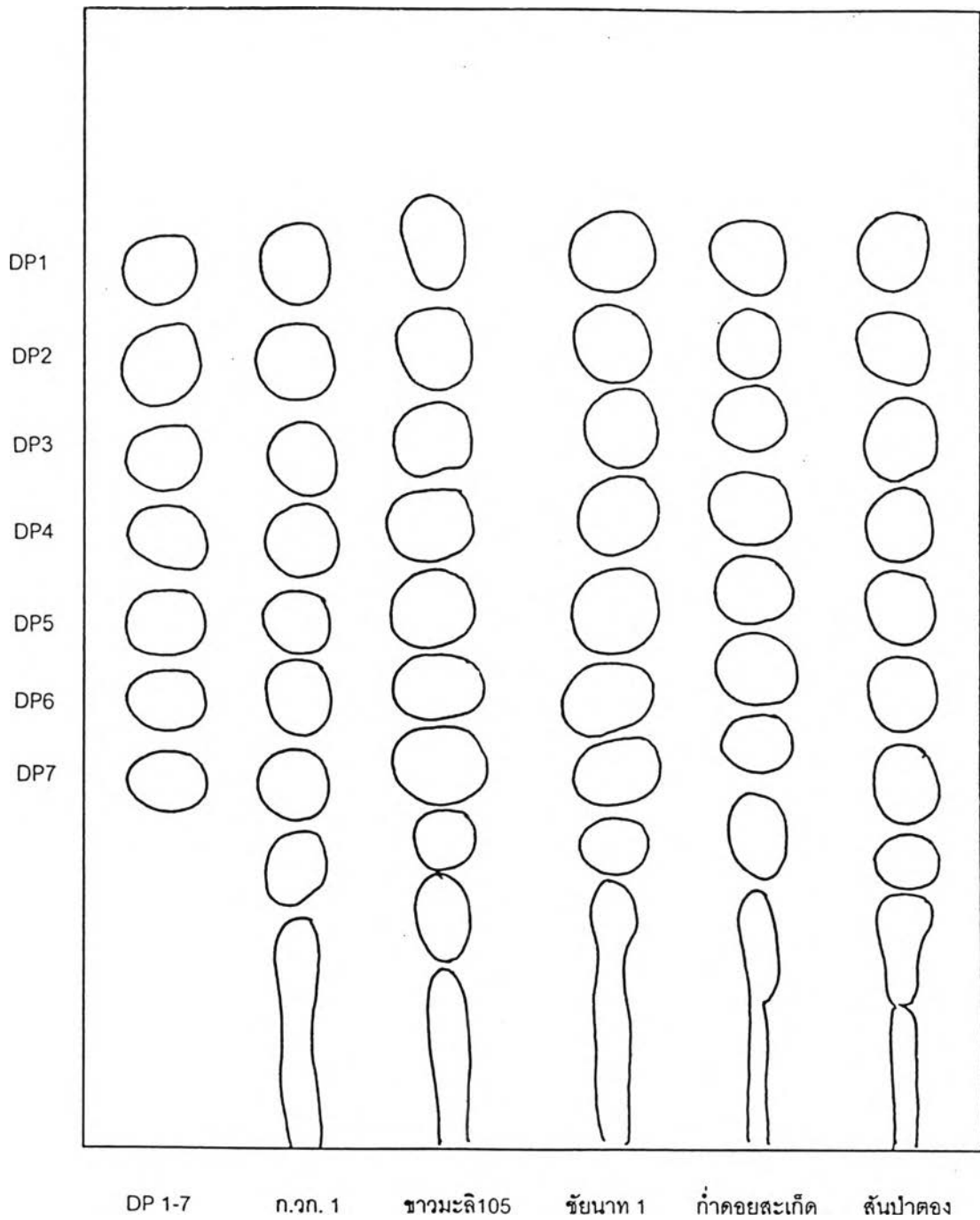
* ค่าเฉลี่ยที่ได้จากการทดลอง 4 ซ้ำ



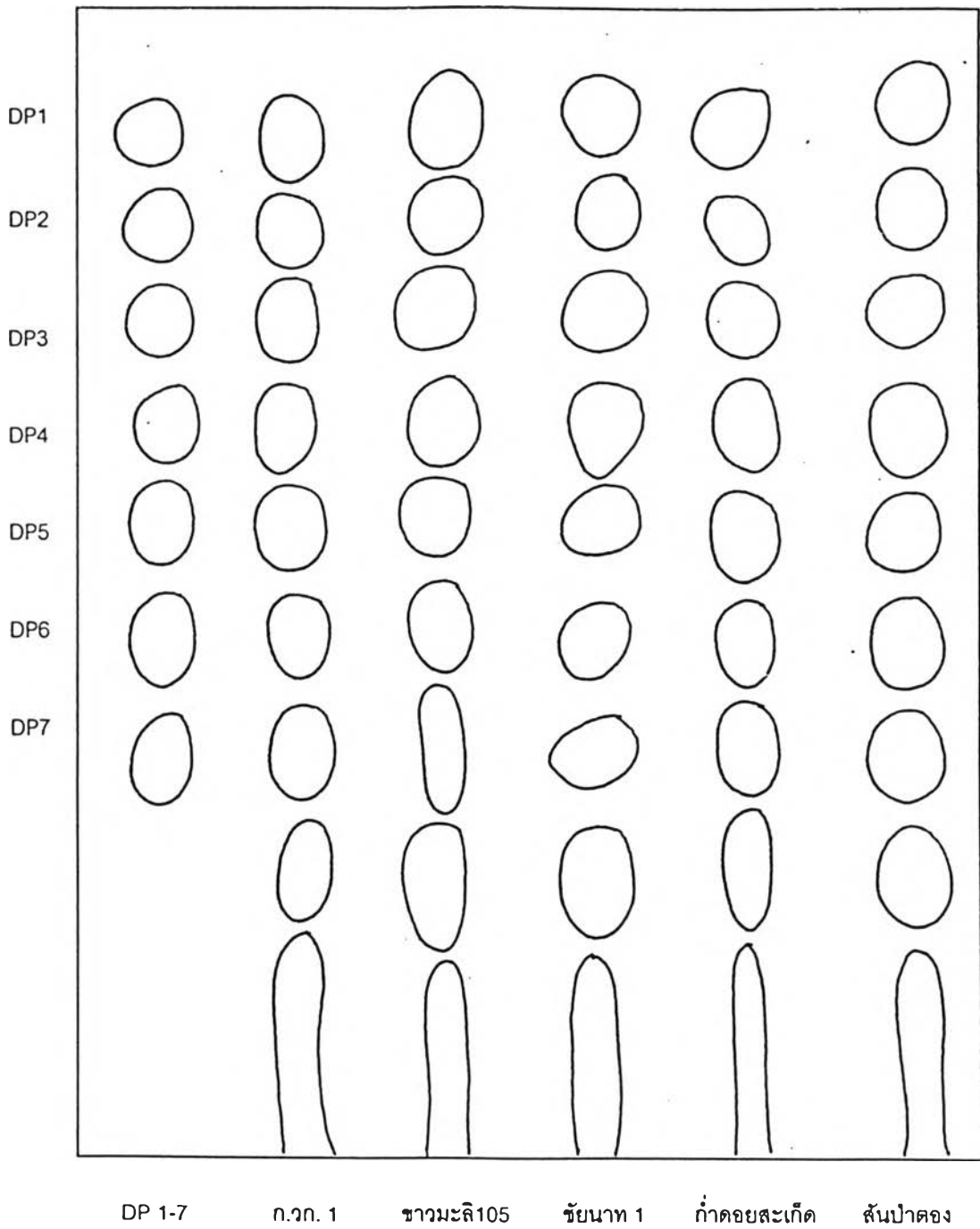
รูปที่ 4.21 รูปแบบ (pattern) การแยกองค์ประกอบของคาร์โบไฮเดรตโมเลกุลต่ำ (DP1-7) ของ solvent ระบบ 1 คือ n-butanol: pyridine: H₂O ในอัตราส่วน 9: 5: 4 โดยปริมาตร ซึ่งทำการ develop 5 ครั้ง



รูปที่ 4.22 รูปแบบ (pattern) การแยกองค์ประกอบของคาร์โบไฮเดรตโมเลกุลต่ำ (DP1-7) ของ solvent ระบบ 2 คือ isopropanol: pyridine: H₂O ในอัตราส่วน 7: 2: 2 โดยปริมาตร ซึ่งทำการ develop 5 ครั้ง



รูปที่ 4.23 รูปแบบ (pattern) การแยกองค์ประกอบของคาร์โบไฮเดรตโมเลกุลต่ำ (DP1-7) ของ solvent ระบบ 3 คือ isoamyl alcohol: pyridine: H₂O ในอัตราส่วน 7: 7: 6 โดยปริมาตร ซึ่งทำการ develop 5 ครั้ง



รูปที่ 4.24 รูปแบบ (pattern) การแยกองค์ประกอบของคาร์โบไฮเดรตโมเลกุลต่ำ (DP1-7) ของ solvent ระบบ 4 คือ ethyl acetate: n-butanol: acetic acid: H₂O ในอัตราส่วน 6: 8: 5: 8 โดยปริมาตร ซึ่งทำการ develop 5 ครั้ง

จากตารางที่ 4.30-4.33 สามารถใช้ solvent ทั้ง 4 ระบบนี้ในการตรวจสอบองค์ประกอบน้ำตาลโมเลกุลต่ำ DP 1-7 ได้ โดยพบว่าผลิตภัณฑ์มอลโทเดกซ์ทรินในช่วง DE 15-20 มีองค์ประกอบของน้ำตาลมวล์โมเลกุลต่ำ (DP1-7) สังเกตได้จากค่าเฉลี่ย R_f ที่ได้จากมอลโทเดกซ์ทริน ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับค่าเฉลี่ย R_f ของสารละลายน้ำตาลมาตรฐาน นอกจากนี้ยังการแยกโดยวิธีนี้สามารถตรวจสอบน้ำตาลโมเลกุลสูงกว่า DP 7 ได้ เพราะสังเกตจากรูปที่ 4.21-4.24 ซึ่งภายหลังตรวจสอบด้วย detection reagent แล้วพบว่ามีแถบสีดำเป็นแถบ ซึ่งยังไม่สามารถแยกเป็นจุดออกมาให้เห็นอย่างชัดเจน

การทดสอบโมเลกุลของน้ำตาลโดยใช้วิธีเปเปอร์โครมาโตกราฟีจะสามารถแยกองค์ประกอบของน้ำตาลโมเลกุลต่ำภายในผลิตภัณฑ์ได้ โดยการเปรียบเทียบกับค่า R_f มาตรฐานของน้ำตาล แต่วิธีนี้ไม่สามารถระบุปริมาณที่แน่นอนของน้ำตาลที่มีอยู่ในองค์ประกอบได้ จึงทำการวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลมวล์โมเลกุลต่ำ (DP 1-7) โดยใช้ HPLC ต่อไป

4.9 การตรวจสอบองค์ประกอบของน้ำตาลโมเลกุลต่ำ (DP 1-7) ในผลิตภัณฑ์มอลโทเดกซ์ทรินจากแป้งข้าวที่มีค่า DE 15-20 ในเชิงปริมาณ โดยใช้เทคนิค HPLC (High Performance Liquid Chromatography)

ผลิตมอลโทเดกซ์ทรินจากแป้งข้าวแต่ละพันธุ์โดยควบคุมให้ได้ค่า DE ในช่วง 15-20 โดยกำหนดเวลาในการย่อยดังนี้คือ แป้งข้าว ก.ว.ก. 1 จะใช้เวลาในการย่อย 20 นาที แป้งข้าวขาวดอกมะลิ 105 และแป้งข้าวชยันนาท 1 จะใช้เวลาในการย่อย 50 นาที และแป้งข้าวกำลังจะเกิดกับแป้งข้าวเหนียวสันป่าตองจะใช้เวลาในการผลิต 30 นาที จากนั้นวิเคราะห์ค่า DE ของผลิตภัณฑ์จากแป้งข้าวแต่ละพันธุ์ แล้วนำผลิตภัณฑ์ที่ได้ไปฉีด HPLC เพื่อศึกษาองค์ประกอบของน้ำตาลโมเลกุลต่ำที่มี DP ในช่วง 1-7 แสดงปริมาณและร้อยละน้ำตาล DP 1-7 ดังตารางที่ 4.34-4.35 และแสดง chromatogram ดังรูปที่ 4.25

ตารางที่ 4.34 ค่าเฉลี่ย*ปริมาณน้ำตาล DP 1-7 ของมอลโทเดกซ์ทรินจากแป้งข้าว 5 พันธุ์

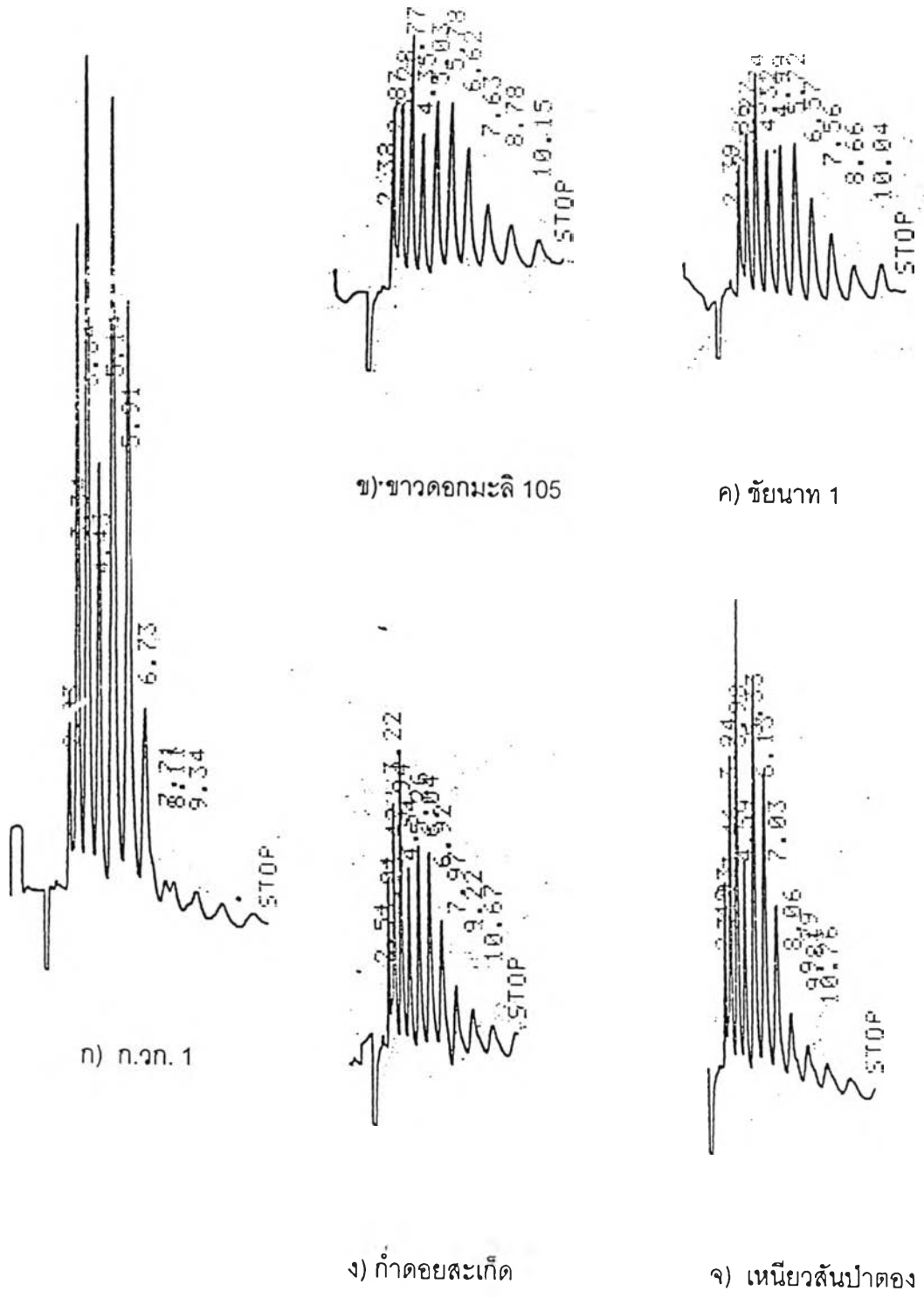
น้ำตาล	ปริมาณน้ำตาล จากมอลโทเดกซ์ทรินของแป้งข้าวพันธุ์ต่างๆ (ไมโครกรัม/5 ไมโครลิตร)				
	ก.วก. 1 DE 19.08	ขาวดอกมะลิ 105 DE 17.90	ชัยนาท 1 DE 17.64	กำดอຍสะเกิด DE 17.37	สันป่าตอง DE 18.60
Glucose	18.01	20.14	13.11	15.99	16.19
Maltose	99.20	29.35	24.60	37.22	48.58
Maltotriose	122.53	33.69	27.88	43.88	62.42
Maltotetraose	69.55	28.75	24.50	34.38	38.13
Maltopentaose	158.28	38.22	29.76	52.28	82.04
Maltohexaose	137.72	45.68	39.21	55.71	76.04
Maltoheptaose	51.66	35.53	29.26	39.07	46.69
Total	656.95	231.36	188.32	278.52	370.07

* ค่าเฉลี่ยที่ได้จากการทดลอง 2 ซ้ำ

ตารางที่ 4.35 ค่าเฉลี่ย*สัดส่วนน้ำตาลมอลโทเดกซ์ทรินจากแป้งข้าว 5 พันธุ์

น้ำตาล	ร้อยละน้ำตาล DP 1-7 จากมอลโทเดกซ์ทรินของแป้งข้าวพันธุ์				
	ก.วก. 1 DE 19.08	ขาวดอกมะลิ 105 DE 17.90	ชัยนาท 1 DE 17.64	กำดอຍสะเกิด DE 17.37	สันป่าตอง DE 18.60
Glucose	2.75	8.71	6.98	5.75	4.36
Maltose	15.10	12.68	13.06	13.36	13.14
Maltotriose	18.64	14.56	14.85	15.75	16.87
Maltotetraose	10.60	12.41	13.05	12.34	10.32
Maltopentaose	24.06	16.53	15.89	18.75	22.15
Maltohexaose	20.96	19.75	20.75	20.02	20.54
Maltoheptaose	7.90	15.35	15.42	14.04	12.62
Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

* ค่าเฉลี่ยที่ได้จากการทดลอง 2 ซ้ำ



รูปที่ 4.25 chromatogram ของน้ำตาลมอลโมเลกุลต่ำ DP 1-7 จากแป้งข้าว 5 พันธุ์ คือ ก) ก.ว.ก. 1 ข) ขาวดอกมะลิ 105 ค) ชัยนาท 1 ง) กำดอยสะเกิด จ) เหนียวสันป่าตอง

มอลโทเดกซ์ทรินที่ผลิตจากแป้งข้าว 5 พันธุ์ ซึ่งได้แก่ มอลโทเดกซ์ทรินจากแป้งข้าว ก.วก. 1 มอลโทเดกซ์ทรินจากแป้งข้าวเหนียวสันป่าตอง มอลโทเดกซ์ทรินจากแป้งข้าวก่ำดอยสะเก็ด มอลโทเดกซ์ทรินจากแป้งข้าวชัยนาท 1 และมอลโทเดกซ์ทรินจากแป้งข้าวขาวดอกมะลิ 105 โดยเลือกใช้สภาวะที่กำหนดจากงานวิจัยของ Slott และ Madsen (1975) และใช้เวลาที่ ได้จากการทดลอง (ตารางที่ 4.22) เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์มอลโทเดกซ์ทรินที่มีค่า DE ในช่วง 15-20 พบว่าจากตารางที่ 4.34 มอลโทเดกซ์ทรินที่ผลิตจากแป้งข้าว ก.วก. 1 ให้ปริมาณน้ำตาล มวลโมเลกุลต่ำ DP1-7 ในปริมาณสูงที่สุด รองลงมาคือมอลโทเดกซ์ทรินจากแป้งข้าวเหนียว สันป่าตอง มอลโทเดกซ์ทรินจากแป้งข้าวก่ำดอยสะเก็ด มอลโทเดกซ์ทรินจากแป้งข้าวขาวดอกมะลิ 105 และมอลโทเดกซ์ทรินจากแป้งข้าวชัยนาท 1 ตามลำดับ

จากตารางที่ 4.35 เมื่อพิจารณาสัดส่วนของน้ำตาล DP 1-7 พบว่ามอลโทเดกซ์ทรินที่ ผลิตจากแป้งข้าว 5 พันธุ์ ที่กล่าวในข้างต้น โดยใช้สภาวะที่กำหนดจะมีสัดส่วนของน้ำตาลมวล โมเลกุลต่ำ DP 1-7 แตกต่างกันไป พบว่ามอลโทเดกซ์ทรินที่ผลิตจากแป้งข้าว ก.วก. 1 ให้สัดส่วน ของน้ำตาล DP 5 สูงที่สุด รองลงมาเป็นน้ำตาล DP 6 และน้ำตาล DP3 ตามลำดับ สำหรับ มอลโทเดกซ์ทรินที่ผลิตจากแป้งข้าวขาวดอกมะลิ 105 ให้สัดส่วนน้ำตาล DP 5 สูงที่สุด รองลงมาเป็นน้ำตาล DP6 และน้ำตาล DP7 ตามลำดับ มอลโทเดกซ์ทรินที่ผลิตจากแป้ง ข้าวชัยนาท 1 ให้สัดส่วนของน้ำตาล DP 6 สูงที่สุด รองลงมาเป็นน้ำตาล DP5 และน้ำตาล DP7 ตามลำดับ มอลโทเดกซ์ทรินที่ผลิตจากแป้งข้าวก่ำดอยสะเก็ดให้ค่าสัดส่วนน้ำตาล DP6 สูงที่สุด รองลงมาเป็นน้ำตาล DP5 และน้ำตาล DP3 ตามลำดับ และสำหรับมอลโทเดกซ์ทรินที่ผลิต จากแป้งข้าวเหนียวสันป่าตองพบว่าให้ค่าสัดส่วนน้ำตาล DP5 สูงที่สุด และให้ค่าสัดส่วนน้ำตาล DP6 และน้ำตาล DP3 รองลงมาตามลำดับ

สำหรับรูปที่ 4.25 พบว่าเวลาที่ใช้ในการแยกน้ำตาลโมเลกุลต่างๆ (retention time) จาก สภาวะที่เลือกใช้ สารละลายที่เลือกใช้ จะใช้เวลาในการแยกน้ำตาล DP 1-7 แตกต่างกันไป ดังนี้ คือ เวลาที่ใช้ในการแยกน้ำตาล DP 1 –7 คือ เวลาประมาณ 3, 3.5, 4.0, 4.5, 5.2, 6.0 และ 7.2 นาที ตามลำดับ