

ผลการทดลองและวิจารณ์

4.1 การสกัดแป้งมันเทศ

ในการเตรียมแป้งมันเทศ สามารถเตรียมได้ในลักษณะเดียวกับการเตรียมแป้งจากพืชหัว เช่น มันฝรั่ง โดยพบว่าประสิทธิภาพการสกัดแป้งจากมันเทศโดยเฉลี่ยมากกว่าร้อยละ 70 และให้ผลผลิตแป้งร้อยละ 9-18 (น้ำหนักสด) (ตารางที่ 4.1) ทั้งนี้ขึ้นกับสายพันธุ์และอายุการเก็บเกี่ยว จากการทดสอบผลของสายพันธุ์และอายุการเก็บเกี่ยวที่มีต่อร้อยละของผลผลิตแป้ง ด้วยวิธีทางสถิติ (ภาคผนวก ข.) พบว่า สายพันธุ์ และอายุการเก็บเกี่ยวเป็นตัวแปรที่ทำให้ผลผลิตแป้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 แต่ตัวแปรทั้งสองดังกล่าวไม่มีผลร่วม (interaction) ต่อร้อยละของผลผลิตแป้ง นั่นคือ ผลรวมของตัวแปรทั้งสองไม่สามารถบอกความแตกต่างในร้อยละของผลผลิตแป้ง ดังนั้นในการผลิตแป้งมันเทศเพื่อให้ได้ผลผลิตสูงสุด จึงควรมีการควบคุมในเรื่องของสายพันธุ์ และ/หรืออายุการเก็บเกี่ยวมันเทศ ซึ่งจากการทดลองพบว่า สายพันธุ์โนริน 03 ให้ร้อยละของผลผลิตแป้งสูงกว่าสายพันธุ์อื่น (ไม่พิจารณาเปรียบเทียบกับพันธุ์โกลด์และกระต่าย เนื่องจาก 2 สายพันธุ์ดังกล่าวไม่สามารถควบคุมอายุการเก็บเกี่ยวได้ จึงทำให้อาจมีความแตกต่างกันเนื่องจากตัวแปรนั้นได้) และมันเทศในการทดลองนี้ที่อายุการเก็บเกี่ยว 4 เดือน ให้ผลผลิตแป้งโดยเฉลี่ยสูงกว่าที่อายุการเก็บเกี่ยว 3 เดือน คือ ร้อยละ 12.39 และ 11.55 ตามลำดับโดยพันธุ์โนริน 03 ที่อายุการเก็บเกี่ยว 4 เดือนให้ผลผลิตแป้งสูงสุด คือ ร้อยละ 14.49 ซึ่งเมื่อเทียบผลผลิตแป้งที่ได้นี้กับที่ AVRDC (10) ได้รายงาน (ผลผลิตแป้งสูงถึงร้อยละ 20-26) ก็จัดว่ามันเทศในประเทศยังให้ผลผลิตแป้งต่ำ จึงควรมีการวิจัยเพื่อพัฒนาสายพันธุ์ให้สามารถผลิตแป้งได้ทัดเทียมกับต่างประเทศ

อนึ่ง แม้ว่ามันเทศที่อายุการเก็บเกี่ยว 4 เดือนจะให้ผลผลิตแป้งโดยเฉลี่ยสูงกว่า

ที่อายุการเก็บเกี่ยว 3 เดือนก็ตาม แต่ก็ไม้อาจกำหนดให้มันเทศที่อายุการเก็บเกี่ยว 4 เดือนเป็นตัวบ่งชี้ (indicator) คุณภาพของมันเทศต่อร้อยละของผลผลิตแป้งได้ เนื่องจากระยะสุกแก่ (mature) ของมันเทศในแต่ละสายพันธุ์ไม่เท่ากัน (4) ซึ่งสายพันธุ์ที่นำมาทดลองอาจเป็นสายพันธุ์ที่มีอายุการเก็บเกี่ยวอยู่ในช่วง 4 เดือน อาจมีสายพันธุ์อื่นที่มีระยะสุกแก่ในช่วงอื่น เช่น มันเทศสายพันธุ์โกลด์ มีอายุการเก็บเกี่ยวในช่วง 4-5 เดือน เป็นต้น ซึ่งลักษณะนี้ อายุการเก็บเกี่ยวเพื่อให้ได้ผลผลิตแป้งสูงสุดก็จะเปลี่ยนแปลงไป ดังนั้นสิ่งที่ควรจะต้องมีความสัมพันธ์กับผลผลิตแป้งและสอดคล้องกับอายุการเก็บเกี่ยว คือ สมบัติของมันเทศ ในการทดลองนี้จึงได้ศึกษาสมบัติบางประการของมันเทศ ได้แก่ ความหนาแน่น (bulk density) ปริมาณแป้ง (starch) และปริมาณความชื้น (moisture) ในมันเทศจากสายพันธุ์และอายุการเก็บเกี่ยวต่าง ๆ

เมื่อทดสอบผลของสายพันธุ์และอายุการเก็บเกี่ยวที่มีต่อความแตกต่างในสมบัติดังกล่าว ด้วยวิธีทางสถิติพบว่าสายพันธุ์และอายุการเก็บเกี่ยวมีผลให้ปริมาณแป้ง (น้ำหนักเปียก) ปริมาณแป้ง (น้ำหนักแห้ง) และปริมาณความชื้น มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (ตารางที่ 4.2) นั่นคือผลผลิตแป้งอาจมีความสัมพันธ์กับปริมาณแป้ง (น้ำหนักเปียก) ปริมาณแป้ง (น้ำหนักแห้ง) และปริมาณความชื้น เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ด้วยวิธีทางสถิติพบว่าร้อยละของผลผลิตแป้งกับปริมาณแป้ง (น้ำหนักเปียก) และปริมาณความชื้นมีความสัมพันธ์เชิงเส้น ส่วนความหนาแน่นและปริมาณแป้ง (น้ำหนักแห้ง) มีความสัมพันธ์กับผลผลิตแป้งน้อยมาก โดยพิจารณาได้จากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficient) ซึ่งควรจะมีค่ามากกว่า 0.70 สำหรับค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ และสมการถดถอย (regression equation) แสดงในตารางที่ 4.3

ดังนั้นในการตรวจสอบคุณภาพของมันเทศเพื่อให้ได้ผลผลิตแป้งสูง จึงควรพิจารณาจากปริมาณแป้ง (น้ำหนักเปียก) แต่ในการวิเคราะห์ปริมาณแป้งที่มีในมันเทศนั้นไม่มีวิธีการวิเคราะห์ที่ค่อนข้างยุ่งยาก ไม่สะดวก ใช้เวลานาน ทั้งยังสิ้นเปลืองในด้านค่าใช้จ่ายเรื่องสารเคมี จึงไม่สะดวกเมื่อนำไปปฏิบัติในระดับอุตสาหกรรม แม้จะให้ผลค่อนข้างแม่นยำ ดังนั้นจึงเสนอแนะให้ใช้สมบัติอื่น คือ ปริมาณความชื้นเป็นตัวบ่งชี้คุณภาพของมันเทศที่มีต่อผลผลิตแทน

เนื่องจากไม่มีความยุ่งยาก และรวดเร็วกว่าการวิเคราะห์ปริมาณแป้งในมันเทศ

ตารางที่ 4.1 ร้อยละของผลผลิตแป้ง และประสิทธิภาพในการสกัดแป้งจากมันเทศ สายพันธุ์ และอายุการเก็บเกี่ยวต่าง ๆ

สายพันธุ์	ผลผลิตแป้ง (ร้อยละ)	ประสิทธิภาพการสกัด (ร้อยละ) ¹
โอบุต	13.67	64.53
กระต่าย	17.46	79.65
อายุ 3 เดือน		
TIS 8250	8.82	72.41
โนริน 03	13.36	68.74
พม.พจ.2	12.66	71.83
พม.03-2	11.37	74.27
เจลีย์	11.55	71.81
อายุ 4 เดือน		
TIS 8250	10.10	77.32
โนริน 03	14.49	74.26
พม.พจ.2	12.98	69.66
พม.03-2	12.00	76.33
เจลีย์	12.39	74.39
ค่าเฉลี่ย		72.88

$$^1 \text{ประสิทธิภาพการสกัดแป้ง (ร้อยละ)} = \frac{\text{ผลผลิตแป้ง} \times 100}{\text{ปริมาณแป้งทั้งหมดในมันเทศ}}$$

ตารางที่ 4.2 ค่าเฉลี่ยของสมบัติมันเทศจากสายพันธุ์และอายุการเก็บเกี่ยวต่าง ๆ ที่นำมาสกัดแป้ง

สายพันธุ์	Bulk density ^{NS} (กรัม/ลบ.ซม.)	ปริมาณแป้ง* (ร้อยละ โดยน้ำหนักแห้ง)	ปริมาณความชื้น* (ร้อยละ)	ปริมาณแป้ง* (ร้อยละ โดยน้ำหนักเปียก)
โอดด	1.0330	68.56 ^c	69.12 ^f	21.17 ^b
กระต่าย	1.1384	72.15 ^b	69.63 ^{ef}	21.92 ^a
อายุ 3 เดือน				
TIS 8250	1.3233	71.59 ^b	83.00 ^a	12.17 ^h
โนวิน 03	1.3688	65.25 ^d	70.21 ^{df}	19.44 ^c
นม.พจ.2	1.3290	64.62 ^{de}	72.73 ^c	17.63 ^e
นม.03-2	1.3442	62.47 ^f	75.50 ^b	15.31 ^f
อายุ 4 เดือน				
TIS 8250	1.4139	73.95 ^a	82.35 ^a	13.06 ^g
โนวิน 03	1.4527	65.73 ^d	70.31 ^{de}	19.51 ^c
นม.พจ.2	1.3761	64.87 ^d	71.29 ^d	18.63 ^d
นม.03-2	1.4347	63.13 ^{ef}	75.11 ^b	15.71 ^f

NS หมายถึง ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

* ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรเหมือนกัน หมายถึง ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ตารางที่ 4.3 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์และสมการถดถอย ระหว่างร้อยละของผลผลิต
แบ่งกับสมบัติต่าง ๆ ของมันเทศ

สมบัติของมันเทศ	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์	สมการถดถอย ⁽¹⁾
ความหนาแน่น (กรัม/ลบ.ซม.)	0.1808	-
ร้อยละของปริมาณแบ่ง		
โดยน้ำหนักแห้ง	0.4254	-
โดยน้ำหนักเปียก	0.9247	$Y = 0.73X$
ร้อยละของปริมาณความชื้น	0.9261	$Y = -0.35X + 37.98$

⁽¹⁾ Y เป็นร้อยละของผลผลิตแบ่ง และ X เป็นค่าแสดงปริมาณสมบัติของมันเทศ

4.2 สมบัติของแป้งมันเทศ

4.2.1 องค์ประกอบทางเคมี (chemical composition)

องค์ประกอบทางเคมีของแป้งมันเทศจำแนกตามสายพันธุ์ และอายุการเก็บเกี่ยว แสดงในตารางที่ 4.4 จากการทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยสำหรับองค์ประกอบทางเคมีของแป้งมันเทศด้วยวิธีทางสถิติ พบว่า ปริมาณความชื้น ปริมาณอะไมโลส ปริมาณโปรตีน ปริมาณฟอสฟอรัส และปริมาณเถ้า ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเนื่องจากผลของสายพันธุ์และอายุการเก็บเกี่ยวที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ส่วนปริมาณแบ่งที่มีในแป้งมันเทศที่สกัดได้ พบว่า สายพันธุ์และอายุการเก็บเกี่ยวมีผลร่วมกันต่อความแตกต่างอย่าง

มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยพบว่า แป้งมันเทศจากสายพันธุ์ พม.03-2 ที่อายุการเก็บเกี่ยว 3 เดือนมีปริมาณแป้งไม่แตกต่างจากแป้งมันเทศที่ได้จากมันเทศอายุการเก็บเกี่ยว 4 เดือน และแป้งมันเทศจากสายพันธุ์ พม.พจ.2 ที่อายุการเก็บเกี่ยว 3 เดือนมีปริมาณแป้งไม่แตกต่างจากแป้งมันเทศจากสายพันธุ์ TIS 8250 และ พม.พจ.2 ที่อายุการเก็บเกี่ยว 4 เดือน

จากผลการทดลองโดยทั่ว ๆ ไปจะเห็นว่าปริมาณแป้งในแป้งมันเทศที่ได้จากมันเทศอายุการเก็บเกี่ยว 3 และ 4 เดือนจะมีปริมาณที่แตกต่างกัน โดยที่อายุการเก็บเกี่ยว 4 เดือน จะมีปริมาณแป้งโดยเฉลี่ยในแป้งที่สกัดได้ สูงกว่าที่อายุการเก็บเกี่ยว 3 เดือน คือ 95.37 และ 88.43 ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่าปริมาณไขมันที่มีในแป้งมันเทศที่สกัดได้มีความแตกต่างกัน โดยที่สายพันธุ์และอายุการเก็บเกี่ยวมีผลร่วมกันต่อความแตกต่างในปริมาณไขมันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 แป้งมันเทศจากสายพันธุ์ TIS 8250 ที่อายุการเก็บเกี่ยว 4 เดือนมีปริมาณไขมันสูงสุด คือ ร้อยละ 0.22 และมีความแตกต่างจากแป้งมันเทศอื่น ๆ นอกจากนี้ยังพบว่าปริมาณไขมันในกลุ่มของแป้งมันเทศจากสายพันธุ์โอกูด แป้งจากมันเทศอายุการเก็บเกี่ยว 3 เดือน (TIS 8250 โนริน 03 พม.พจ.2 พม.03-2) และสายพันธุ์ พม.03-2 ที่อายุการเก็บเกี่ยว 4 เดือนไม่มีความแตกต่างกัน แต่แตกต่างจากสายพันธุ์โนริน 03 พม.พจ.2 ที่อายุการเก็บเกี่ยว 4 เดือนและสายพันธุ์กระต่าย โดยกลุ่มหลังนี้มีปริมาณไขมันน้อยที่สุด

สำหรับแป้งมันเทศจากสายพันธุ์โอกูดและกระต่าย เมื่อพิจารณาปริมาณแป้งจากแป้งที่สกัดได้ (ตารางที่ 4.4) และเปรียบเทียบกับสายพันธุ์อื่น ๆ ที่อายุการเก็บเกี่ยว 3 และ 4 เดือน (เนื่องจากการทดสอบความแตกต่างในค่าเฉลี่ยของปริมาณแป้ง สำหรับสายพันธุ์ที่ควบคุมอายุการเก็บเกี่ยวได้ให้ผลดังที่กล่าวในข้างต้น จึงอาจพิจารณาให้พันธุ์โอกูดและกระต่ายเป็นตัวแปรได้ในลักษณะเดียวกัน) พบว่า ปริมาณแป้งจากสายพันธุ์โอกูดและกระต่ายมีค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกับปริมาณแป้งจากสายพันธุ์อื่น ๆ ที่มีอายุการเก็บเกี่ยวดังกล่าวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่างที่อายุการเก็บเกี่ยว 3 และ 4 เดือน

ตารางที่ 4.4 ค่าเฉลี่ยองค์ประกอบทางเคมีของแป้งมันเทศที่สกัดได้

ชนิดแป้ง	ปริมาณแป้ง ^{\1*} (ร้อยละ)	ปริมาณอะไมโลส ^{\1NS} (ร้อยละ)	ปริมาณความชื้น ^{NS} (ร้อยละ)	ปริมาณโปรตีน ^{\1NS} (ร้อยละ)	ปริมาณไขมัน ^{\1*} (ร้อยละ)	ปริมาณฟอสฟอรัส ^{\1NS} (ร้อยละ(x10 ²))	ปริมาณเถ้า ^{\1NS} (ร้อยละ)
โกลด	92.68 ^{abc}	33.78	12.39	0.05	0.12 ^c	0.42	0.49
กระต่าย	91.87 ^{abc}	37.53	12.40	0.08	trace ^e	0.71	0.80
อายุ 3 เดือน							
TIS 8250	85.83 ^c	35.18	13.05	0.10	0.07 ^{cd}	0.41	0.96
โนริน 03	87.16 ^c	40.01	12.85	0.09	0.09 ^{bc}	0.39	0.87
พม.พจ.2	88.18 ^{bc}	38.86	13.05	0.06	0.10 ^{bc}	0.36	0.74
พม.03-2	92.56 ^{abc}	36.55	13.48	0.08	0.07 ^{cd}	0.13	0.75
เจเลีย	88.43	37.65	13.11	0.08	0.08	0.32	0.83
อายุ 4 เดือน							
TIS 8250	94.56 ^{ab}	37.05	12.63	0.04	0.22 ^a	0.31	0.74
โนริน 03	95.88 ^a	38.02	12.05	0.06	0.01 ^e	0.40	1.29
พม.พจ.2	94.96 ^{ab}	36.63	12.88	0.05	trace ^e	0.21	0.91
พม.03-2	96.06 ^a	39.06	12.70	0.05	0.06 ^{cd}	0.32	0.82
เจเลีย	95.37	37.69	12.57	0.05	0.07	0.31	0.94

\1 ร้อยละ โดยน้ำหนักแห้ง

* ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรเหมือนกัน หมายถึง ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

NS หมายถึง ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ดังนั้น เมื่อพิจารณาจากร้อยละปริมาณแบ่งของแบ่งมันเทศที่สกัดได้ เพื่อให้มีปริมาณแบ่งสูง จึงควรเลือกผลิตแบ่งจากมันเทศที่มีอายุ 4 เดือน และสามารถใช้น้ำมันเทศจากสายพันธุ์โอกูดและกระต่าย ซึ่งมีมากในท้องตลาดปัจจุบันได้ด้วย

จากการทดลองของ Madamba และคณะ (14) พบว่า องค์ประกอบทางเคมีโดยร้อยละของแบ่งมันเทศจาก 6 สายพันธุ์ (BNAS Centennial Daja Georgia red Jewel และ S.P.45) มีดังนี้ ปริมาณความชื้น 10.25-11.25 ปริมาณอะไมโลส 29.60-32.40 ปริมาณไขมัน 0.14-0.19 และปริมาณฟอสฟอรัส 0.0016-0.0022 ซึ่งใกล้เคียงกับจากผลการทดลองนี้

4.2.2 สมบัติทางกายภาพ-เคมี (Physicochemical properties)

แบ่งมันเทศที่สกัดได้จากมันเทศสายพันธุ์และอายุการเก็บเกี่ยวต่าง ๆ มีลักษณะรูปร่างของเม็ดแบ่งที่เหมือนกัน โดยส่วนมากที่พบเป็นรูปหลายเหลี่ยม (polygonal) (ภาคผนวก ค.) และมีขนาดของเม็ดแบ่งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (ตารางที่ 4.5)

สำหรับอุณหภูมิการเกิดเจลของแบ่งมันเทศโดยส่วนรวมมีค่าใกล้เคียงกัน และมีความสัมพันธ์สอดคล้องกับขนาดของเม็ดแบ่ง (ตารางที่ 4.5) กล่าวคือ ถ้าขนาดของเม็ดแบ่งเล็กจะมีแนวโน้มที่มีอุณหภูมิการเกิดเจลสูง Arsdel และคณะ (32) ได้อธิบายว่า การที่เม็ดแบ่งมีขนาดเล็กจะทำให้มีแรงยึดเหนี่ยวของผนังเม็ดแบ่งที่แข็งแรงกว่าขนาดใหญ่ จึงทำให้การเกิดเจลเป็นไปได้ยาก และเป็นสาเหตุที่ทำให้อุณหภูมิการเกิดเจลมีแนวโน้มสูงขึ้น ทั้งนี้ ยกเว้นแบ่งมันเทศจากสายพันธุ์ พม.03-2 ซึ่งมีขนาดเม็ดแบ่งเล็กแต่มีอุณหภูมิการเกิดเจลต่ำกว่าสายพันธุ์อื่น

สำหรับข้อมูลอื่นที่ศึกษาเกี่ยวกับแบ่งมันเทศ โดย Madamba และคณะ (14) พบว่ารูปร่างของเม็ดแบ่งมันเทศมีลักษณะเป็นรูปไข่ วงกลม และรูปหลายเหลี่ยม ขนาดของเม็ดแบ่ง

5-43 ไมครอน อุณหภูมิในการเกิดเจล 57-75 องศาเซลเซียส และจากรายงานของ Swinkels (33) ได้แสดงว่า รูปร่างของเม็ดแป้งมันเทศเป็นรูปหลายเหลี่ยม ขนาดของเม็ดแป้ง 5-25 ไมครอน อุณหภูมิในการเกิดเจล 65-70 องศาเซลเซียส จะเห็นว่าให้ผลใกล้เคียงกับการทดลองนี้

ตารางที่ 4.6-4.7 และรูปที่ 4.1-4.8 แสดงการเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งเปียก (paste) ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 6 ในระหว่าง heating-cooling cycle พบว่ารูปแบบของ Brabender visco-amylogram ของแป้งมันเทศโดยส่วนรวมมีลักษณะเดียวกัน กล่าวคือ เมื่อเพิ่มอุณหภูมิจนถึงอุณหภูมิการเกิดเจลความหนืดจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจนถึงจุดสูงสุด โดยมีค่าสูงสุดประมาณ 500-600 บี.ยู.¹ หลังจากนั้นความหนืดก็ลดลงในช่วงให้ความร้อน (heating cycle) จนถึงอุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส เมื่อให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียสต่อเป็นเวลา 30 นาที พบว่า ความหนืดมีแนวโน้มลดลงอีก และเมื่อลดอุณหภูมิ (cooling cycle) เป็น 50 องศาเซลเซียส ความหนืดก็จะเพิ่มขึ้น

เมื่อทดสอบความแตกต่างในค่าเฉลี่ยของความหนืดในช่วง heating cycle (ตารางที่ 4.6) พบว่า ความหนืดที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียสโดยส่วนรวมไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ยกเว้นสายพันธุ์ พม.03-2 ที่อายุการเก็บเกี่ยวมีผลต่อความหนืดของแป้งเปียกที่จุดนี้ และสายพันธุ์ โอกูดที่ให้ความหนืดสูงถึง 690 บี.ยู. ซึ่งสูงกว่าสายพันธุ์อื่น ๆ

ที่จุดให้ค่าความหนืดสูงสุด (peak viscosity) ในช่วง heating cycle พบว่า สายพันธุ์และอายุการเก็บเกี่ยวเป็นตัวแปรที่มีผลร่วมกันต่อค่าความหนืดโดยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 และการทดสอบคู่แตกต่างโดยวิธี multiple comparison แบบ simultaneous test เพื่อพิจารณาว่าแป้งมันเทศใดบ้าง

¹บี.ยู. หมายถึง หน่วยวัดความหนืดเป็น Brabender unit

จาก treatment combination ระหว่างสายพันธุ์และอายุการเก็บเกี่ยวที่มีค่าความหนืดแตกต่างกัน แสดงผลในตารางที่ 4.6

อนึ่ง เมื่อพิจารณาจากรูปแบบของ Brabender visco-amylogram จะเห็นได้ว่าแป้งมันเทศโดยส่วนรวม ความหนืดที่เพิ่มขึ้นในช่วง heating cycle จนถึงจุดสูงสุดของความหนืดจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว และจุดสูงสุดของความหนืดจะเกิดขึ้นก่อนการเพิ่มอุณหภูมิถึง 95 องศาเซลเซียส จึงพิจารณาได้ว่าแรงยึดเหนี่ยวภายในเม็ดแป้งของแป้งมันเทศมีความสม่ำเสมอ ทั้งนี้ยกเว้นสายพันธุ์โอกูด (รูปที่ 4.3) ซึ่งพบว่าจุดสูงสุดของความหนืดในช่วง heating cycle เกิดหลังจากการเพิ่มอุณหภูมิถึง 95 องศาเซลเซียส แสดงว่าเม็ดแป้งมันเทศจากสายพันธุ์โอกูดมีแรงยึดที่แข็งแรง ทำให้มีเสถียรภาพต่อความร้อนดีกว่าแป้งมันเทศจากสายพันธุ์อื่น แต่อย่างไรก็ตามในช่วง heating cycle ที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที พบว่าแป้งมันเทศสายพันธุ์โอกูดมีลักษณะเช่นเดียวกับสายพันธุ์อื่น ๆ คือมีความหนืดลดลง (ตารางที่ 4.7) ดังนั้นจึงอาจกล่าวได้ว่าแป้งมันเทศไม่มีเสถียรภาพที่ดีต่อการกวน

ในช่วง cooling cycle ระหว่างอุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียสถึง 50 องศาเซลเซียส (รูปที่ 4.1-4.8) พบว่า แป้งมันเทศโดยส่วนรวมเกิดการคืนตัว (retrogradation) ได้ในอัตราปานกลาง และเมื่อทดสอบความแตกต่างของความหนืดของแป้งมันเทศจากสายพันธุ์ และอายุการเก็บเกี่ยวต่าง ๆ ในช่วง cooling cycle พบว่า

ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เมื่อทดสอบความแตกต่างค่าเฉลี่ยของความหนืด (ตารางที่ 4.8) พบว่า สายพันธุ์และอายุการเก็บเกี่ยวมีผลร่วมกันต่อความหนืดที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยที่อายุการเก็บเกี่ยว 4 เดือน จะให้ความหนืดสูงกว่าที่อายุการเก็บเกี่ยว 3 เดือน

อนึ่ง เมื่อพิจารณาผลต่างของความหนืดเมื่อลดอุณหภูมิจาก 95 องศาเซลเซียส ถึง 50 องศาเซลเซียส (ตารางที่ 4.7) ซึ่งเป็นช่วงการคืนตัว พบว่า สามารถแบ่งแป้งมันเทศที่สกัดได้เป็น 4 กลุ่ม คือ

กลุ่มที่ 1: ผลต่างความหนืดประมาณ 60 ปี.ยู. ได้แก่

สายพันธุ์กระท้าย

สายพันธุ์ พม.พจ. 2 ที่อายุการเก็บเกี่ยว 3 เดือน

สายพันธุ์ พม.03-2 ที่อายุการเก็บเกี่ยว 3 เดือน

กลุ่มที่ 2: ผลต่างความหนืดประมาณ 100 ปี.ยู. ได้แก่

สายพันธุ์ TIS 8250 ที่อายุการเก็บเกี่ยว 3 เดือนและ 4 เดือน

สายพันธุ์โนริน 03 ที่อายุการเก็บเกี่ยว 3 เดือน

กลุ่มที่ 3: ผลต่างความหนืดประมาณ 150 ปี.ยู. ได้แก่

สายพันธุ์โนริน 03 พม.พจ.2 และพม.03-2 ที่อายุการ

เก็บเกี่ยว 4 เดือน

กลุ่มที่ 4: ผลต่างความหนืดประมาณ 200 ปี.ยู. ได้แก่

สายพันธุ์โอกูด

สำหรับแป้งข้าวโพด และแป้งมันสำปะหลัง ซึ่งได้ศึกษาควบคู่ไปด้วย

เนื่องจากในรายงานของ AVRDC (10) กล่าวว่า แป้งมันเทศมีสมบัติของความหนืดอยู่ระหว่าง แป้งทั้งสอง พบว่า มีค่าความหนืดต่างกันประมาณ 300 และ 100 ปี.ยู. ตามลำดับ

ความหนืดของแป้งมันเทศในช่วงอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที พบว่า แป้งมันเทศจากสายพันธุ์และอายุการเก็บเกี่ยวต่าง ๆ มีความหนืดใกล้เคียงกับที่ อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส แม้จะมีแนวโน้มลดลงบ้างแต่ไม่มากนักหลังผ่านจุดที่มีความหนืดสูงสุดในช่วง cooling สำหรับแป้งมันเทศจากสายพันธุ์โอกูด พบว่า มีความหนืดในช่วงนี้สูงที่สุดในกลุ่มของแป้งมันเทศที่สกัดได้ทั้งหมด โดยมีความหนืดถึง 785 ปี.ยู. และยิ่งมากกว่าแป้งข้าวโพดและแป้งมันสำปะหลัง เมื่อนำแป้งที่ความเข้มข้นร้อยละ 6

จากปรากฏการณ์ในช่วง cooling cycle อาจกล่าวได้ว่าแป้งมันเทศเกิดการคืนตัวได้ต่างกัน (รูปที่ 4.1-4.8) โดยที่กลุ่มที่ 1 การคืนตัวเกิดได้น้อย นั่นคือแป้งเปียกหลังจากให้ความร้อน (ที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที) มีความคงตัวดีกว่า

ในกลุ่มอื่น ในกลุ่มที่ 2 มีลักษณะการคืนตัวใกล้เคียงกับแป้งมันสำปะหลัง ส่วนกลุ่มที่ 3 มีลักษณะการคืนตัวระหว่างแป้งมันสำปะหลังและแป้งข้าวโพดโดยมีแนวโน้มใกล้เคียงกับแป้งมันสำปะหลัง และกลุ่มที่ 4 มีลักษณะการคืนตัวกึ่งกลางระหว่างแป้งมันสำปะหลัง และแป้งข้าวโพด

ตารางที่ 4.5 ค่าเฉลี่ยสมบัติทางกายภาพ-เคมีของแป้งมันเทศที่สกัดได้

ชนิดแป้ง	อุณหภูมิการเกิดเจล (°C)	ขนาดเม็ดแป้ง ^{NS} (ไมครอน)	pH ^{NS} ของแป้งเปียก
โอบุค	72 - 81	9.36 ± 0.78	6.60
กระต่าย	71 - 78	12.26 ± 1.15	6.68
อายุ 3 เดือน			
TIS 8250	70 - 74	11.16 ± 1.00	6.60
โนริน 03	73 - 78	9.87 ± 0.80	6.60
พม.พจ.2	71 - 75	9.42 ± 3.91	6.68
พม.03-2	68 - 72	7.01 ± 1.19	6.48
อายุ 4 เดือน			
TIS 8250	70 - 75	11.41 ± 1.27	6.75
โนริน 03	74 - 80	8.92 ± 0.88	6.58
พม.พจ.2	70 - 75	12.67 ± 1.21	6.68
พม.03-2	68 - 73	9.99 ± 0.82	6.55

NS หมายถึง ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ตารางที่ 4.6 ค่าเฉลี่ยความหนืดของสารละลายแป้งที่ความเข้มข้นร้อยละ 6 ของแป้ง
มันเทศที่สกัดได้ แป้งข้าวโพด และแป้งมันสำปะหลัง ในช่วง heating
cycle

ชนิดแป้ง	ความหนืด (ปี.ย.) ^{\1}		
	95 °C*	ค่าสูงสุด*	95 °C, 30 นาที*
โอกูด	690 ^a	705 ^a	520 ^a
กระต่าย	375 ^{cd}	510 ^{cd}	240 ^{ef}
อายุ 3 เดือน			
TIS 8250	400 ^{cd}	585 ^{bc}	260 ^{de}
โนริน 03	410 ^{cd}	495 ^d	285 ^{cd}
พม.พจ.2	390 ^{cd}	545 ^{bcd}	250 ^e
พม.03-2	340 ^d	540 ^{bcd}	220 ^f
อายุ 4 เดือน			
TIS 8250	415 ^{bc}	480 ^d	345 ^b
โนริน 03	430 ^{bc}	460 ^d	315 ^{bc}
พม.พจ.2	460 ^{bc}	550 ^{bcd}	360 ^b
พม.03-2	510 ^b	615 ^b	415 ^b
ข้าวโพด	275	345	290
มันสำปะหลัง	280	595	155

\1 ปี.ย. หมายถึง Brabender unit

* ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรเหมือนกัน หมายถึง ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับ
ความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ตารางที่ 4.7 ผลต่างการเปลี่ยนแปลงความหนืดใน heating-cooling cycle ของสารละลายแป้งที่ความเข้มข้นร้อยละ 6 ของแป้งมันเทศที่สกัดได้ แป้งข้าวโพด และแป้งมันสำปะหลัง

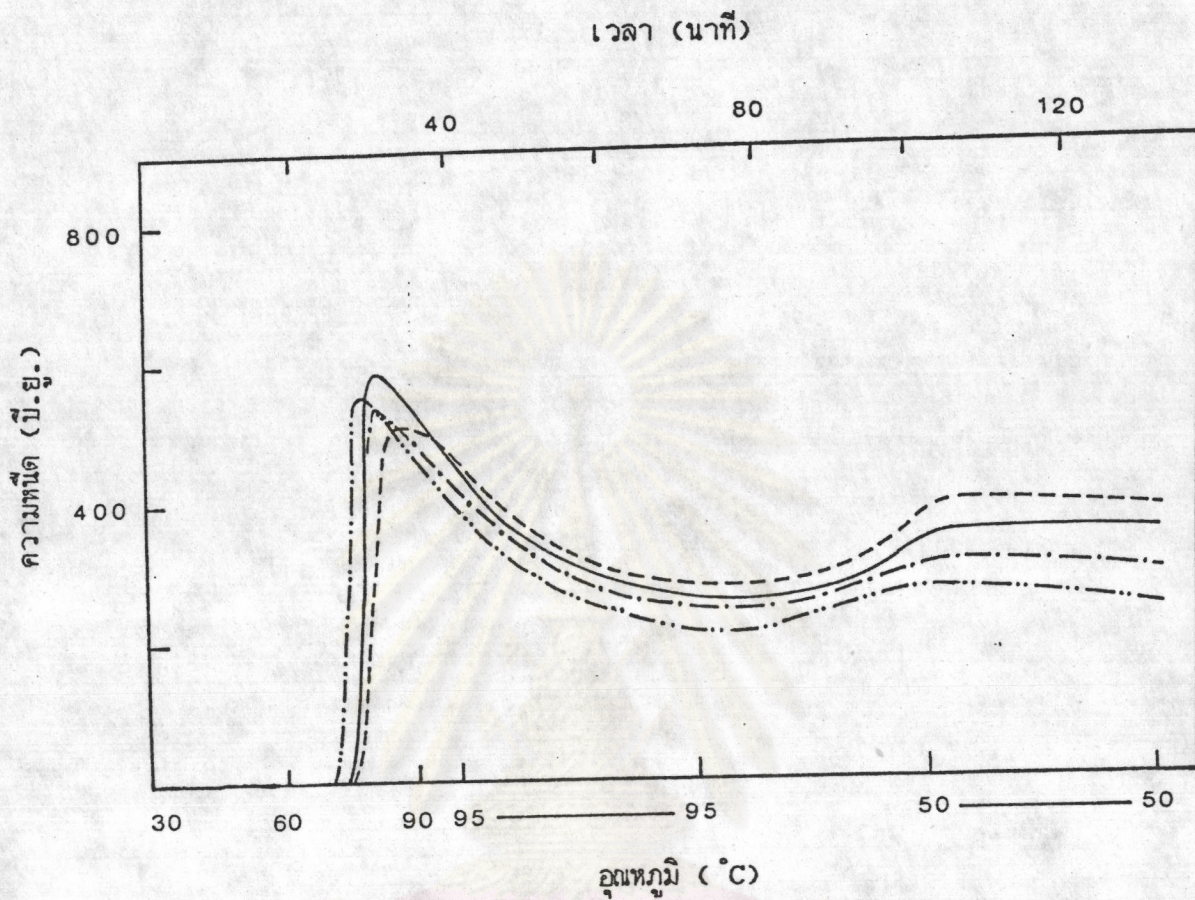
ชนิดแป้ง	ผลต่างของความหนืด (ปี.ย.)	
	peak viscosity ถึง 95 °C นาน 30 นาที	95 °C นาน 30 นาที ถึง 50 °C
โอกูด	185	215
กระต่าย	270	60
อายุ 3 เดือน		
TIS 8250	325	100
โนริน 03	210	90
พม.พจ.2	295	65
พม.03-2	320	60
อายุ 4 เดือน		
TIS 8250	135	105
โนริน 03	145	145
พม.พจ.2	195	140
พม.03-2	200	155
ข้าวโพด	85	320
มันสำปะหลัง	450	115

ตารางที่ 4.8 ค่าเฉลี่ยความหนืดของสารละลายแป้งที่ความเข้มข้นร้อยละ 6 ของแป้ง
มันเทศที่สกัดได้ แป้งข้าวโพด และแป้งมันสำปะหลัง ในช่วง cooling
cycle

ชนิดแป้ง	ความหนืด (ปี.ย.) ^{\1}		
	50 °C*	ค่าสูงสุด*	50 °C, 30 นาที*
โอกูต	735 ^a	795 ^a	785 ^a
กระต่าย	300 ^g	300 ^g	285 ^{ef}
อายุ 3 เดือน			
TIS 8250	350 ^{ef}	350 ^{ef}	345 ^{de}
โนริน 03	375 ^e	380 ^e	365 ^d
พม.พจ.2	315 ^{fz}	320 ^{fz}	300 ^{de}
พม.03-2	280 ^g	280 ^g	255 ^f
อายุ 4 เดือน			
TIS 8250	450 ^d	460 ^d	450 ^c
โนริน 03	460 ^{cd}	475 ^d	470 ^c
พม.พจ.2	500 ^c	525 ^c	520 ^{bc}
พม.03-2	570 ^b	595 ^b	585 ^b
ข้าวโพด	610	615	585
มันสำปะหลัง	270	315	315

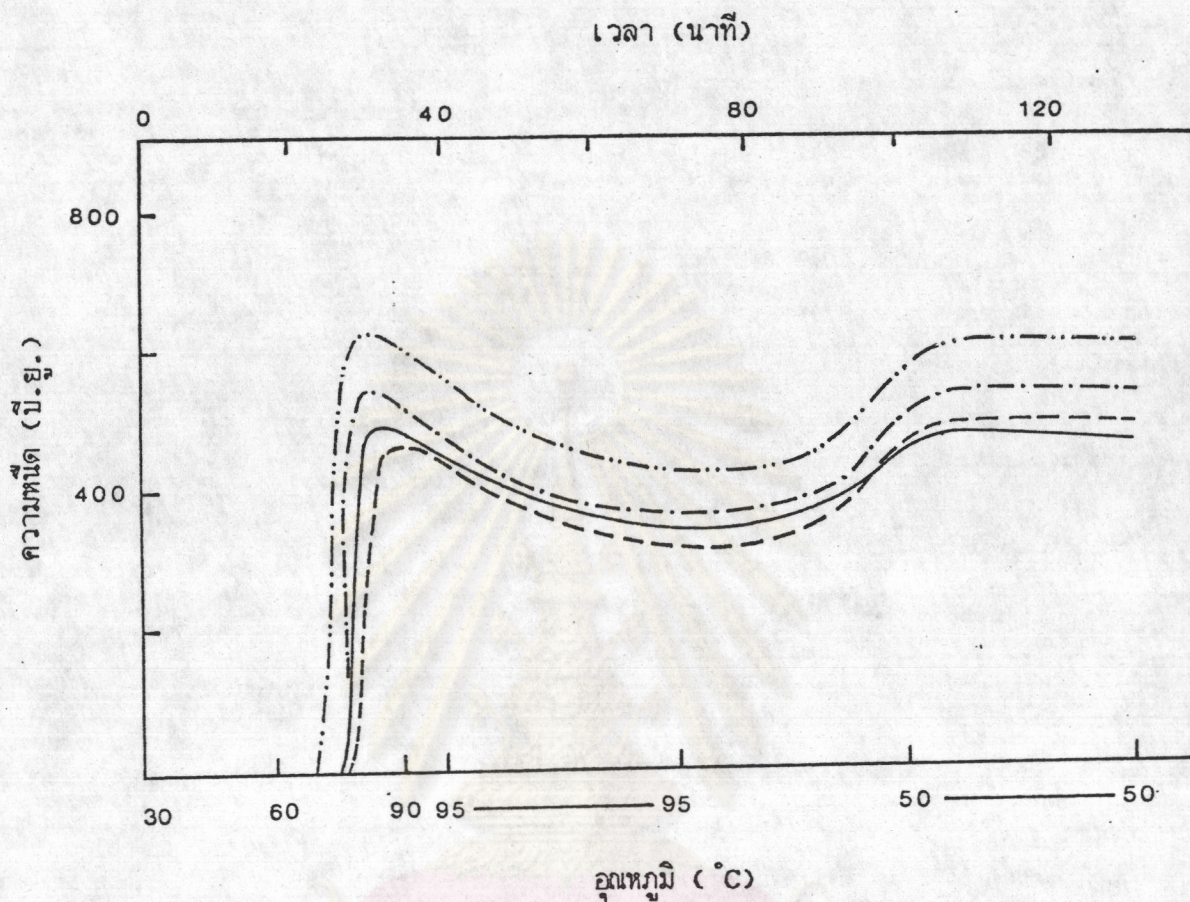
\1 ปี.ย. หมายถึง Brabender unit

* ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรเหมือนกัน หมายถึง ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับ
ความเชื่อมั่นร้อยละ 95



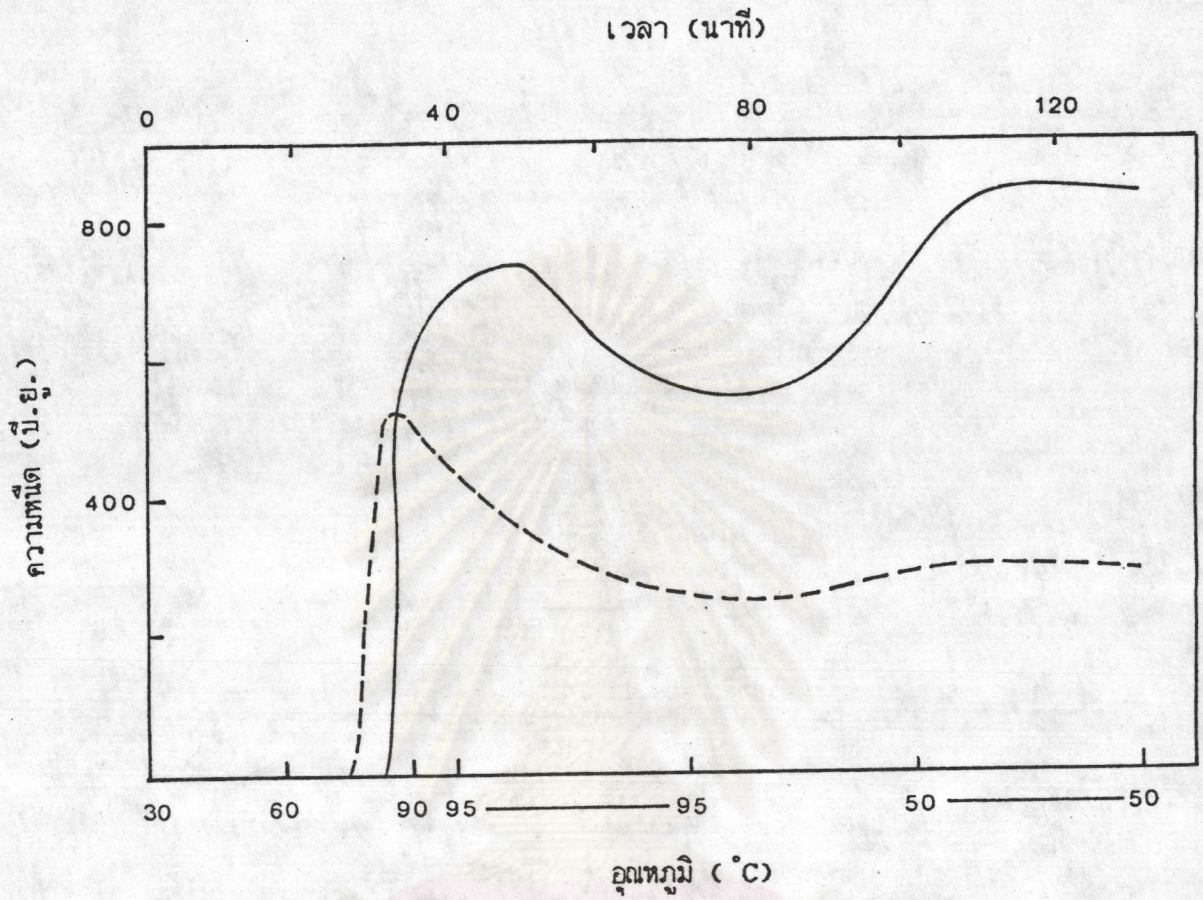
รูปที่ 4.1 รูปแบบการเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งเปียกที่ความเข้มข้นร้อยละ 6 ใน heating-cooling cycle ของแป้งมันเทศที่สกัดได้ อายุการเก็บเกี่ยว 3 เดือน

— TIS 8250 - - - - - นอริน 03
- · - · - พม.พจ.2 · · · · · พม.03-2



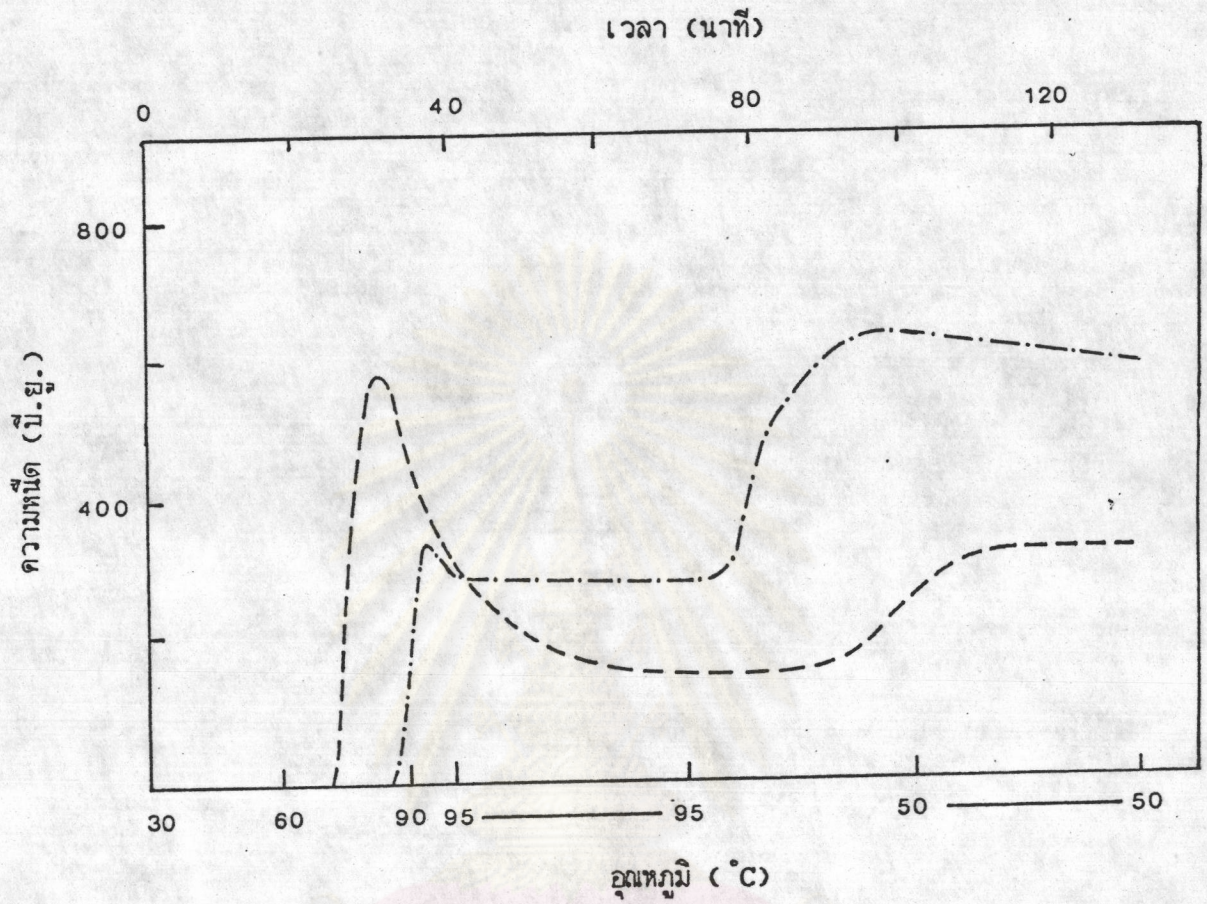
รูปที่ 4.2 รูปแบบการเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งเปียกที่ความเข้มข้นร้อยละ 6 ใน heating-cooling cycle ของแป้งมันเทศที่สกัดได้ อายุการเก็บเกี่ยว 4 เดือน

— TIS 8250 - - - - - นอริน 03
- · - · - พม.พจ.2 - · - · - พม.03-2



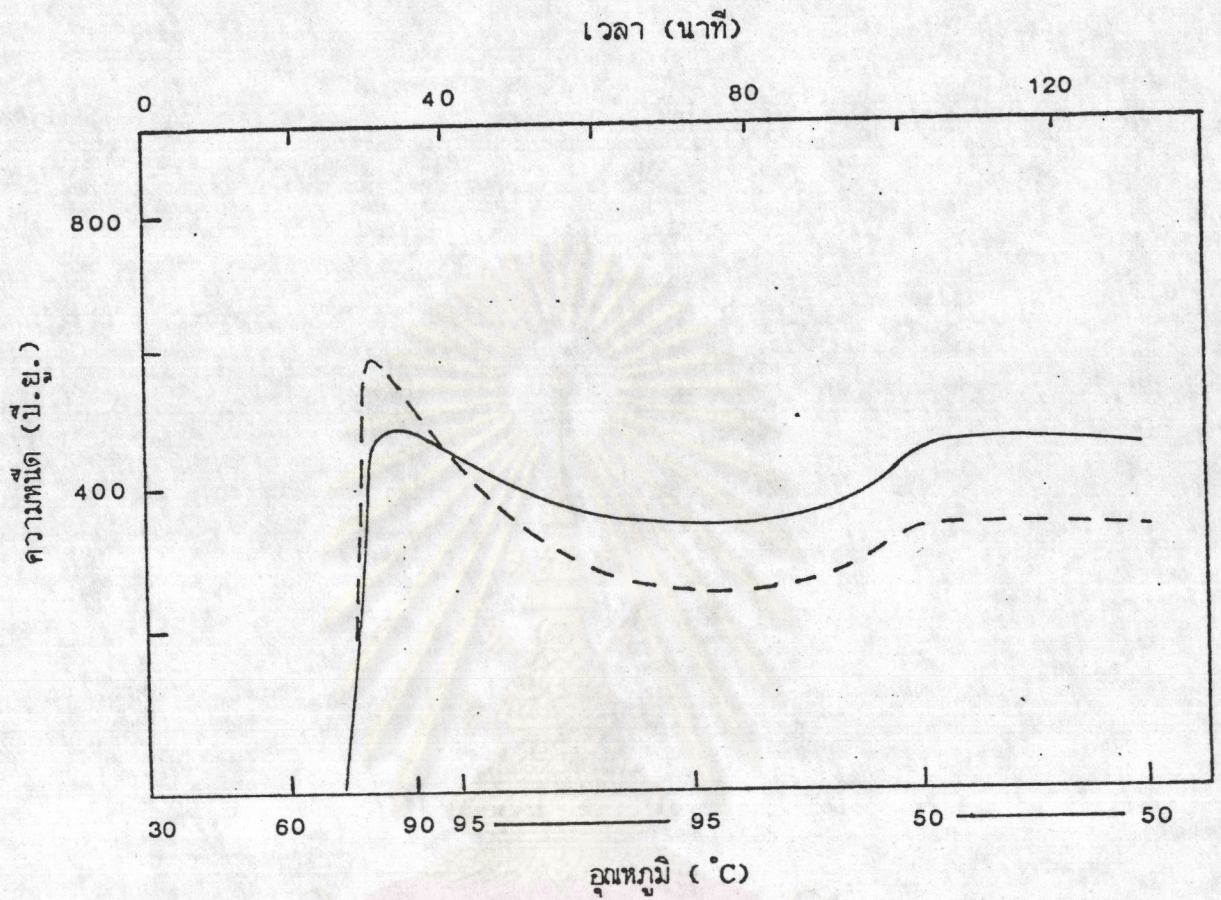
รูปที่ 4.3 รูปแบบการเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งเปียกที่ความเข้มข้นร้อยละ 6 ใน heating-cooling cycle ของแป้งมันเทศที่สกัดได้

— โอบุค — กระจาย



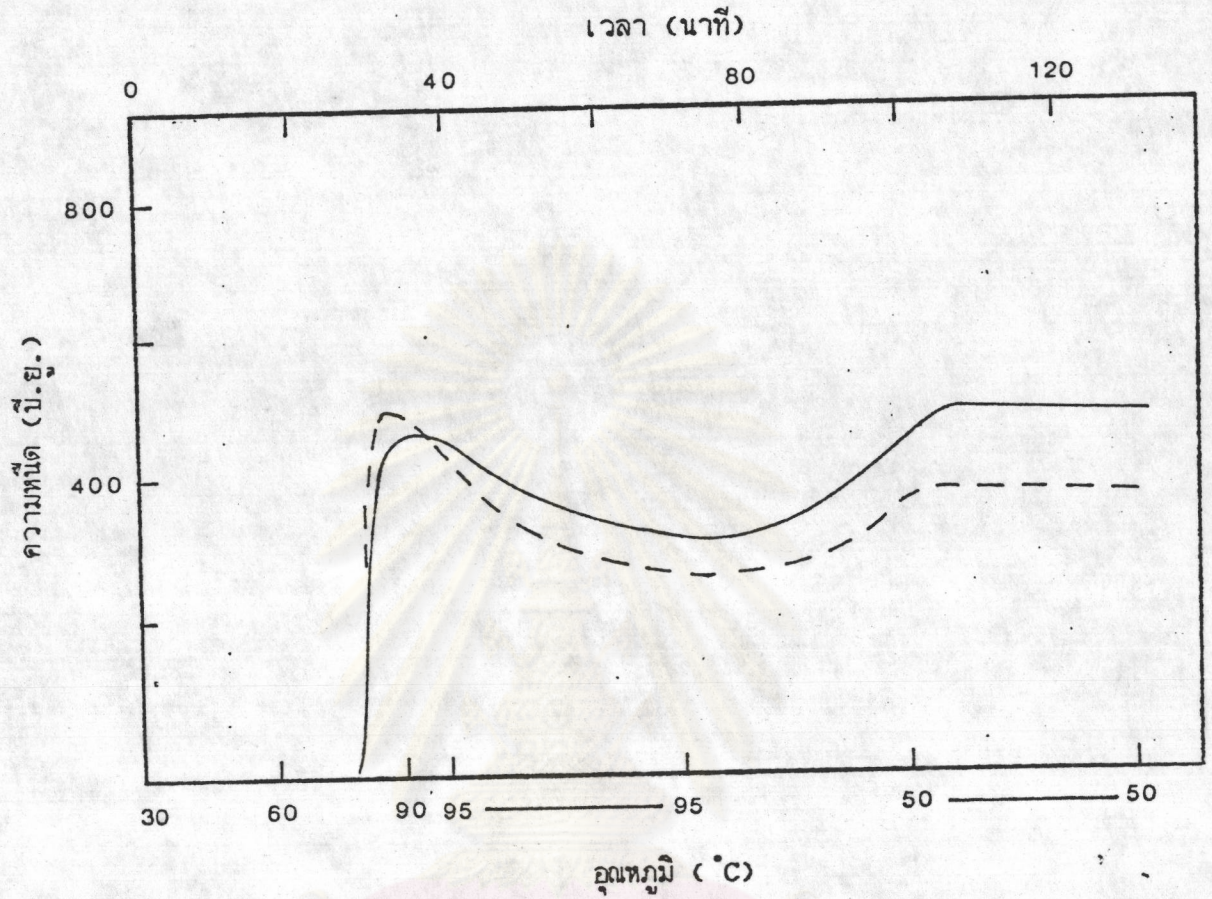
รูปที่ 4.4 รูปแบบการเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งเปียกที่ความเข้มข้นร้อยละ 6 ใน heating-cooling cycle ของแป้งข้าวโพด และแป้งมันสำปะหลัง

..... ข้าวโพด ----- มันสำปะหลัง



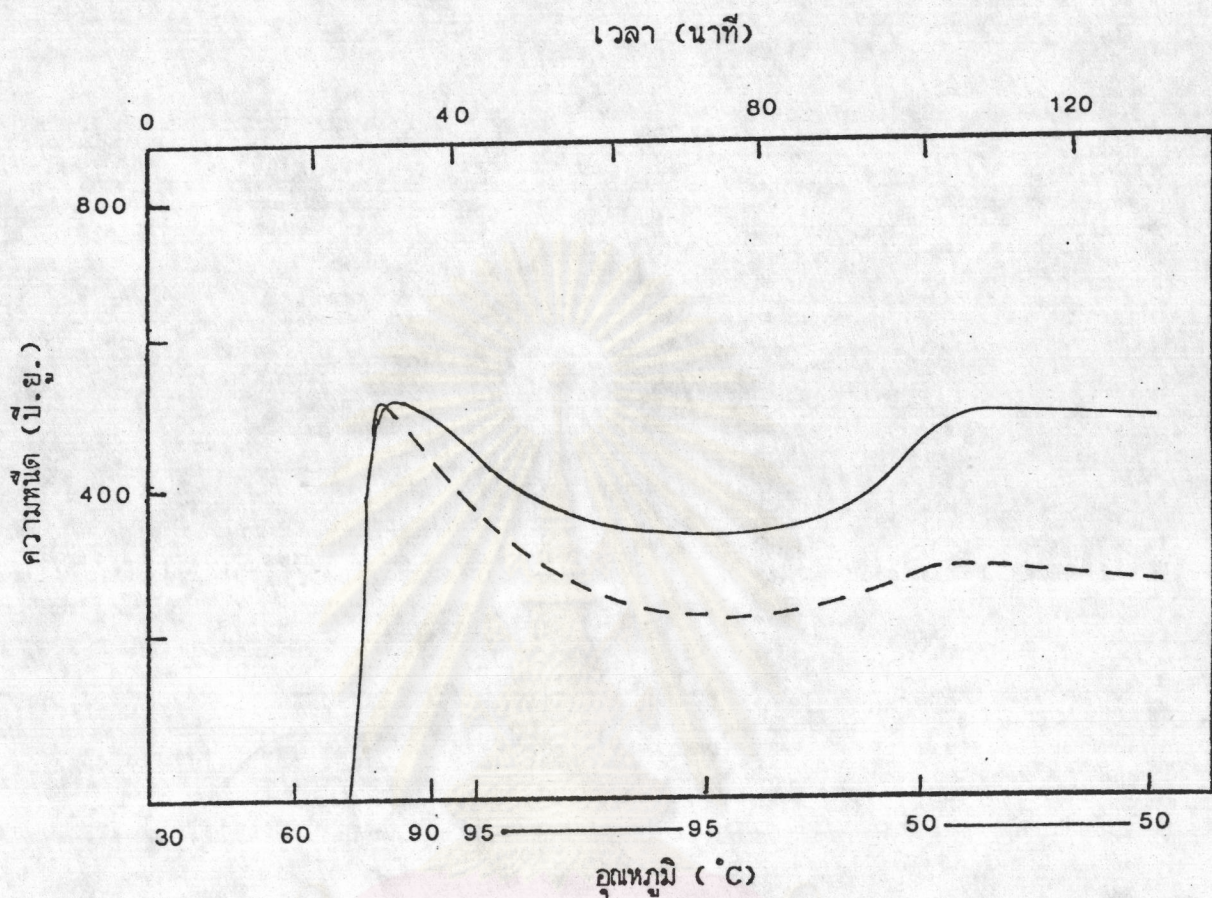
รูปที่ 4.5 รูปแบบการเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งเปียกที่ความเข้มข้นร้อยละ 6 ใน heating-cooling cycle ของแป้งมันเทศที่สกัดได้จากสายพันธุ์ TIS 8250 อายุการเก็บเกี่ยว 3 และ 4 เดือน

----- อายุการเก็บเกี่ยว 3 เดือน
————— อายุการเก็บเกี่ยว 4 เดือน



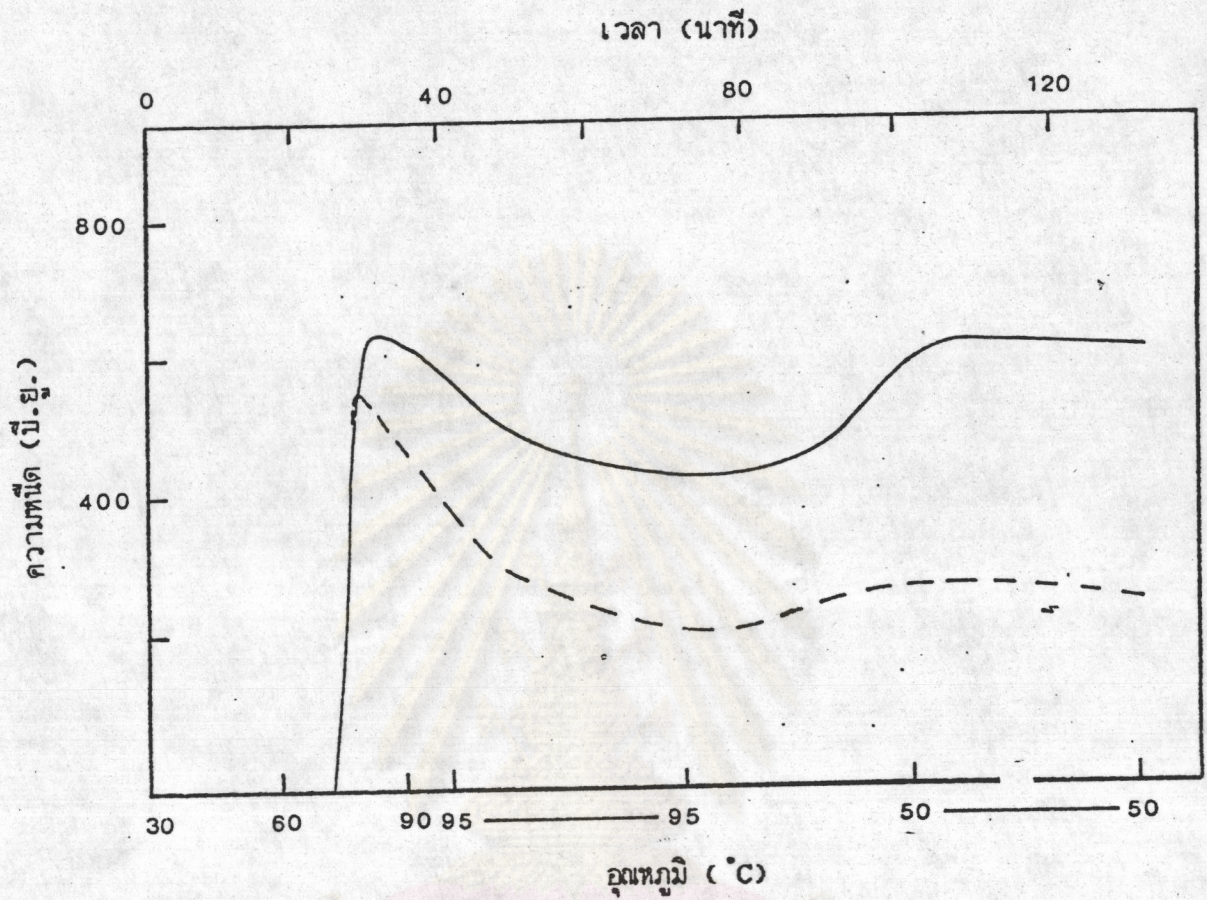
รูปที่ 4.6 รูปแบบการเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งเปียกที่ความเข้มข้นร้อยละ 6 ใน heating-cooling cycle ของแป้งมันเทศที่สกัดได้จากสายพันธุ์ ไนริน 03 อายุการเก็บเกี่ยว 3 และ 4 เดือน

----- อายุการเก็บเกี่ยว 3 เดือน
————— อายุการเก็บเกี่ยว 4 เดือน



รูปที่ 4.7 รูปแบบการเปลี่ยนแปลงความชื้นของแป้งเปียกที่ความเข้มข้นร้อยละ 6 ใน heating-cooling cycle ของแป้งมันเทศที่สกัดได้จากสายพันธุ์ พม.พจ.2 อายุการเก็บเกี่ยว 3 และ 4 เดือน

----- อายุการเก็บเกี่ยว 3 เดือน
————— อายุการเก็บเกี่ยว 4 เดือน



รูปที่ 4.8 รูปแบบการเปลี่ยนแปลงความชื้นของแป้งเปียกที่ความเข้มข้นร้อยละ 6 ใน heating-cooling cycle ของแป้งมันเทศที่สกัดได้จากสายพันธุ์ พม.03-2 อายุการเก็บเกี่ยว 3 และ 4 เดือน

----- อายุการเก็บเกี่ยว 3 เดือน
————— อายุการเก็บเกี่ยว 4 เดือน

สมบัติของแป้งมันเทศสายพันธุ์ และอายุการเก็บเกี่ยวต่าง ๆ และแป้งข้าวโพด ในด้านการพองตัว และความสามารถในการละลายของเม็ดแป้ง พบว่า ความเข้มข้นของแป้งมันเทศต่ำสุดที่ทำให้เกิดการพองตัวดีที่สุดที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส (critical concentration value) (33) มีค่าประมาณร้อยละ 2.00 โดยน้ำหนัก (ตารางที่ 4.9) จากการทดสอบความแตกต่างในค่าเฉลี่ยของความเข้มข้นดังกล่าวด้วยวิธีทางสถิติ พบว่า อายุการเก็บเกี่ยวเป็นตัวแปรที่ทำให้ความเข้มข้นดังกล่าวมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยมีค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่ทำให้เกิดการพองตัวดีที่สุดตามอายุการเก็บเกี่ยว 3 และ 4 เดือน คือ 1.77 และ 2.30 ตามลำดับ

รูปแบบการพองตัว (รูปที่ 4.9-4.15) พบว่า โดยส่วนรวมมีรูปแบบเป็น two stage กล่าวคือการพองตัวจะเพิ่มอย่างรวดเร็วในช่วงอุณหภูมิ 70-80 องศาเซลเซียส แล้วการพองตัวจะมีอัตราการเพิ่มลดลงหรือมีช่วงพัก (relaxation stage) ในช่วง 80-90 องศาเซลเซียส และจะกลับเพิ่มขึ้นอีกจนถึงอุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส ซึ่งต่างจากการทดลองของ Madamba (14) ที่พบว่า การพองตัวของแป้งมันเทศเป็น single stage ทั้งนี้อาจเนื่องจากความแตกต่างของมันเทศทั้งสายพันธุ์และสภาพการเพาะปลูก สำหรับความสามารถในการพองตัวของแป้งมันเทศสายพันธุ์ต่าง ๆ ในแต่ละช่วงอุณหภูมิ เมื่อนำมาทดสอบความแตกต่างในค่าเฉลี่ยของความสามารถในการพองตัวของแป้งมันเทศแต่ละชนิดด้วยวิธีทางสถิติ พบว่า ที่อุณหภูมิ 60-75 องศาเซลเซียส ไม่มีความแตกต่างกันอันเนื่องจากผลของสายพันธุ์ และอายุการเก็บเกี่ยว ยกเว้นสายพันธุ์ พม.03-2 (รูปที่ 4.15) ซึ่งพบว่า อายุการเก็บเกี่ยวมีผลต่อความสามารถในการพองตัวของแป้งทั้งนี้เห็นได้ชัดที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส ส่วนในช่วงอุณหภูมิ 75-95 องศาเซลเซียส พบว่า แป้งมันเทศจากทุกสายพันธุ์ที่อายุการเก็บเกี่ยว 3 เดือนให้ความสามารถในการพองตัวมากกว่า 4 เดือน เมื่อทดสอบด้วยวิธีทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 จากตารางที่ 4.9 พบว่า ที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส แป้งจากมันเทศอายุการเก็บเกี่ยว 3 เดือนมีความสามารถในการพองตัวสูงกว่ามันเทศอายุการเก็บเกี่ยว 4 เดือน คือ 57.25 และ 44.08 ตามลำดับ และจากข้อมูลการศึกษาโดย Swinkels (33) แป้งมันเทศมีความสามารถในการพองตัวที่ 95 องศาเซลเซียสเท่ากับ 46

ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่าอายุการเก็บเกี่ยวมีผลต่อความสามารถในการ
พองตัว โดยเมื่ออายุการเก็บเกี่ยวเพิ่มขึ้นจะทำให้ความสามารถในการพองตัวลดลง

รูปแบบการละลาย (รูปที่ 4.16-4.22) พบว่ามีลักษณะเป็นกราฟของ
log model กล่าวคือ จะมีความสามารถละลายได้ดีเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น จนถึงที่อุณหภูมิหนึ่งจะ
มีความสามารถในการละลายเพิ่มในอัตราที่ลดลง ซึ่งจากการทดสอบความแตกต่างในการละ-
ลายที่อุณหภูมิต่าง ๆ พบว่า ที่อุณหภูมิ 60-65 องศาเซลเซียส ไม่มีความแตกต่างกัน ที่อุณหภูมิ
75-95 องศาเซลเซียส อายุการเก็บเกี่ยวมีผลต่อความสามารถในการละลาย และโดยส่วน
รวมที่อายุการเก็บเกี่ยว 3 เดือน จะมีความสามารถในการละลายสูงกว่าที่อายุการเก็บเกี่ยว
4 เดือน คือ ร้อยละ 38.20 และ 30.67 ตามลำดับ เมื่อทดสอบด้วยวิธีทางสถิติที่ระดับความ
เชื่อมั่นร้อยละ 95

จากรูปแบบการพองตัวและการละลาย จะเห็นได้ว่ามีลักษณะที่สอดคล้อง
กัน และตัวแปรที่มีบทบาท คือ อายุการเก็บเกี่ยว ซึ่งความแตกต่างนี้อาจนำมาใช้อธิบายความ
แตกต่างของ Brabender visco-amylogram (รูป 4.5-4.8) อันเนื่องมาจากอายุการเก็บ-
เกี่ยวได้คือ ที่อายุการเก็บเกี่ยว 3 เดือน แป้งมันเทศมีการพองตัวและการละลายดีกว่าที่อายุ
การเก็บเกี่ยว 4 เดือน แสดงว่าเม็ดแป้งจากมันเทศอายุ 4 เดือน จะมีความแข็งแรงกว่า อีกทั้ง
ทั้งการละลายของสารในเม็ดแป้งเกิดขึ้นได้น้อยกว่า จึงทำให้แป้งมันเทศอายุการเก็บเกี่ยว
4 เดือนมีเสถียรภาพที่ดีกว่า เป็นผลให้ความหนืดของแป้งมันเทศอายุการเก็บเกี่ยว 4 เดือนที่
แสดงใน Brabender visco-amylogram ในช่วงจากจุดที่มีความหนืดสูงสุดไปยังจุดที่มีการ
ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที มีความหนืดลดลงน้อยกว่าที่อายุการ
เก็บเกี่ยว 3 เดือน (รูป 4.5-4.8)

สำหรับแป้งมันเทศสายพันธุ์กระต่าย พบว่ามีรูปแบบการพองตัวและการ
ละลายเป็นแบบ single stage (รูปที่ 4.11 และ 4.18) ซึ่งมีความแตกต่างจากสายพันธุ์
อื่น ๆ ก็อาจเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ Brabender visco-amylogram ของแป้งมันเทศจาก
สายพันธุ์นี้มีเสถียรภาพในช่วงของการเพิ่มความร้อนที่ต่ำจากสายพันธุ์อื่นได้

ตารางที่ 4.9 ค่าความเข้มข้นวิกฤต ความสามารถในการฟองตัว และการละลายของ
แป้งเปียกที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส

ชนิดแป้ง	ค่าความเข้มข้น วิกฤต ^{\1SA}	ความสามารถใน การฟองตัว ^{SA}	การละลาย ^{SA} (ร้อยละ)
โอกุต	2.41	41.48	22.85
กระต่าย	1.66	60.40	36.20
อายุ 3 เดือน			
TIS 8250	1.83	55.20	33.62
โนริน 03	1.56	64.27	52.86
พม.พจ.2	1.86	54.12	35.14
พม.03-2	1.81	55.42	31.18
เจลี่	1.77 ^b	57.25 ^a	38.20 ^a
อายุ 4 เดือน			
TIS 8250	2.18	45.94	31.69
โนริน 03	2.27	44.40	28.24
พม.พจ.2	2.23	46.52	33.39
พม.03-2	2.53	39.46	29.36
เจลี่	2.30 ^a	44.08 ^b	30.67 ^b
ข้าวโพด	3.43	29.19	25.16

\1 หน่วย กรัม/100 ลบ.ซม.

SA มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 เนื่อง
จากผลของอายุการเก็บเกี่ยว

ตารางที่ 4.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการฟองตัวและการละลาย เมื่อทดสอบความสัมพันธ์ดังกล่าวของแป้งมันเทศชนิดต่าง ๆ และแป้งข้าวโพด ด้วยวิธีทางสถิติ พบว่า การฟองตัวและการละลายมีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยพบว่ามีความสัมพันธ์ได้ 3 ลักษณะคือ log model, simple linear model และ exponential model ซึ่งความสัมพันธ์ในลักษณะของ log model แสดงให้เห็นว่าเมื่อเม็ดแป้งมีการฟองตัวมากขึ้นจะไม่ทำให้การละลายของแป้งเพิ่มขึ้นตามมาก ในขณะที่ลักษณะความสัมพันธ์แบบอื่นคือ simple linear model และ exponential model แสดงถึงผลจากการฟองตัวของเม็ดแป้งจะทำให้แป้งละลายตัวออกมามากตามด้วย ดังนั้นจึงพิจารณาได้ว่า แป้งที่ให้ความสัมพันธ์ระหว่างการฟองตัวและการละลายในลักษณะของ log model จะมีเม็ดแป้งที่แข็งแรงกว่าแป้งที่ให้ความสัมพันธ์ในลักษณะของ simple linear model และ exponential model ตามลำดับ

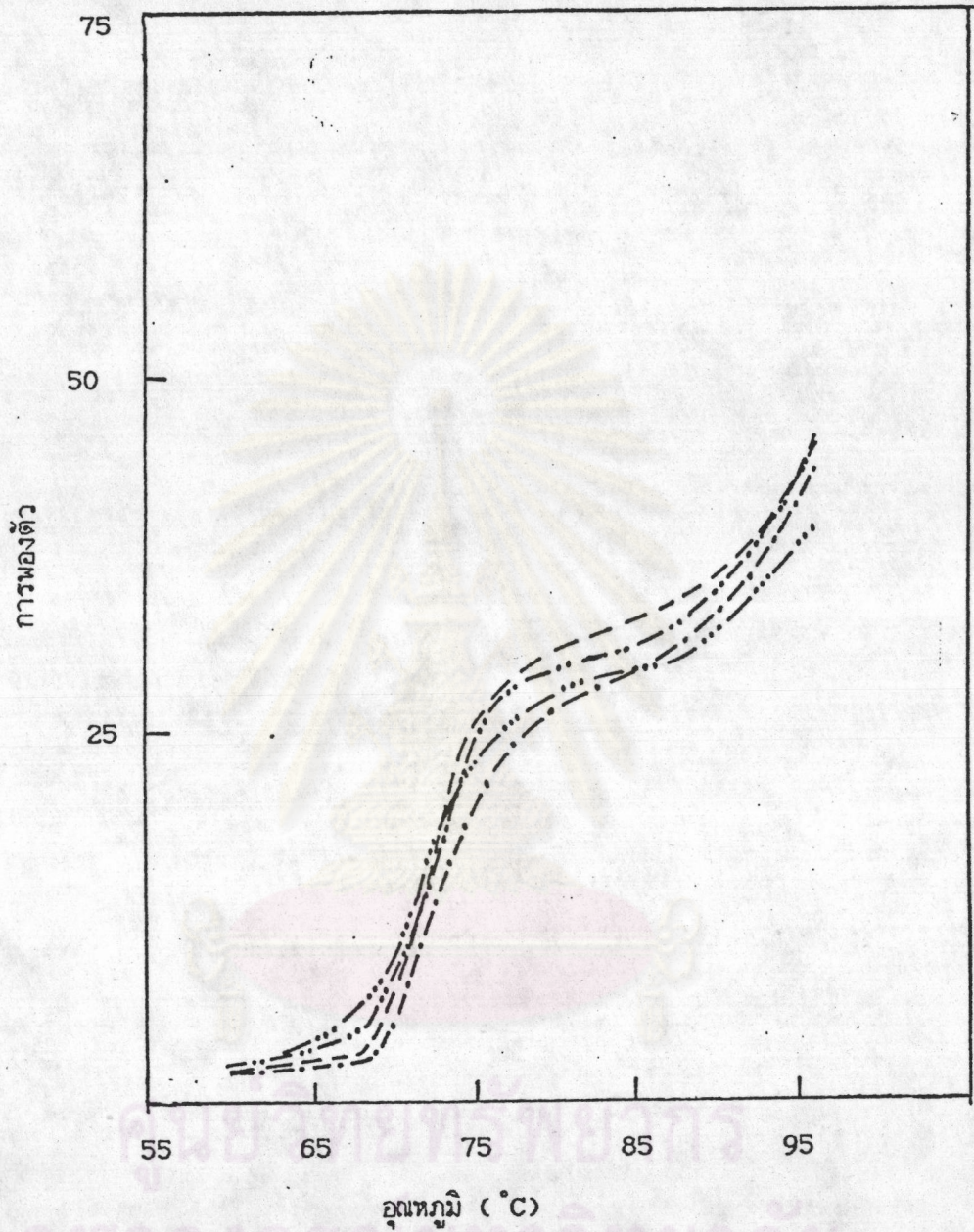
แป้งมันเทศจากมันเทศอายุการเก็บเกี่ยว 3 เดือน และจากสายพันธุ์ พม.พจ.2 ที่อายุการเก็บเกี่ยว 4 เดือน พบว่าให้ความสัมพันธ์แบบเส้นตรง (simple linear model) นอกนั้นรวมทั้งแป้งข้าวโพดให้ความสัมพันธ์แบบ log model ยกเว้นสายพันธุ์กระต่าย ให้ความสัมพันธ์แบบ exponential model โดยลักษณะความสัมพันธ์อธิบายด้วยสมการถดถอย ในตารางที่ 4.10 และรูปแบบความสัมพันธ์แสดงในรูปที่ 4.23-4.25

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.10 รูปแบบความสัมพันธ์ ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ และสมการแสดงความสัมพันธ์
ระหว่างร้อยละของการละลายกับความสามารถในการฟองตัวของแป้งเปียก

ชนิดแป้ง	รูปแบบ ความสัมพันธ์	ค่าสัมประสิทธิ์ สหสัมพันธ์	สมการ ¹	
โอบุค กระต่าย อายุ 3 เดือน	ลอกการิทึม	0.8932	$Y = 6.60\ln(X) - 1.19$	
	เอ็กซ์โปเนนเชียล	0.9530	$Y = \exp(X/24) + 2.64$	
	TIS 8250	เส้นตรง	0.8646	$Y = 0.55X + 2.98$
	โนริน 03	เส้นตรง	0.9917	$Y = 0.86X - 0.75$
	พม.พจ.2	เส้นตรง	0.9929	$Y = 0.71X - 1.51$
พม.03-2 อายุ 4 เดือน	เส้นตรง	0.9191	$Y = 0.64X + 1.62$	
	TIS 8250	ลอกการิทึม	0.9967	$Y = 7.68\ln(X) + 1.93$
	โนริน 03	ลอกการิทึม	0.9930	$Y = 8.33\ln(X) - 4.02$
	พม.พจ.2	เส้นตรง	0.9581	$Y = 0.65X + 5.09$
	พม.03-2	ลอกการิทึม	0.9684	$Y = 9.82\ln(X) - 8.61$
ข้าวโพด	ลอกการิทึม	0.8876	$Y = 9.47\ln(X) - 6.93$	

¹ กำหนดตัวแปรในสมการ คือ X เป็น ความสามารถในการฟองตัว และ Y เป็นร้อยละ
ของการละลาย



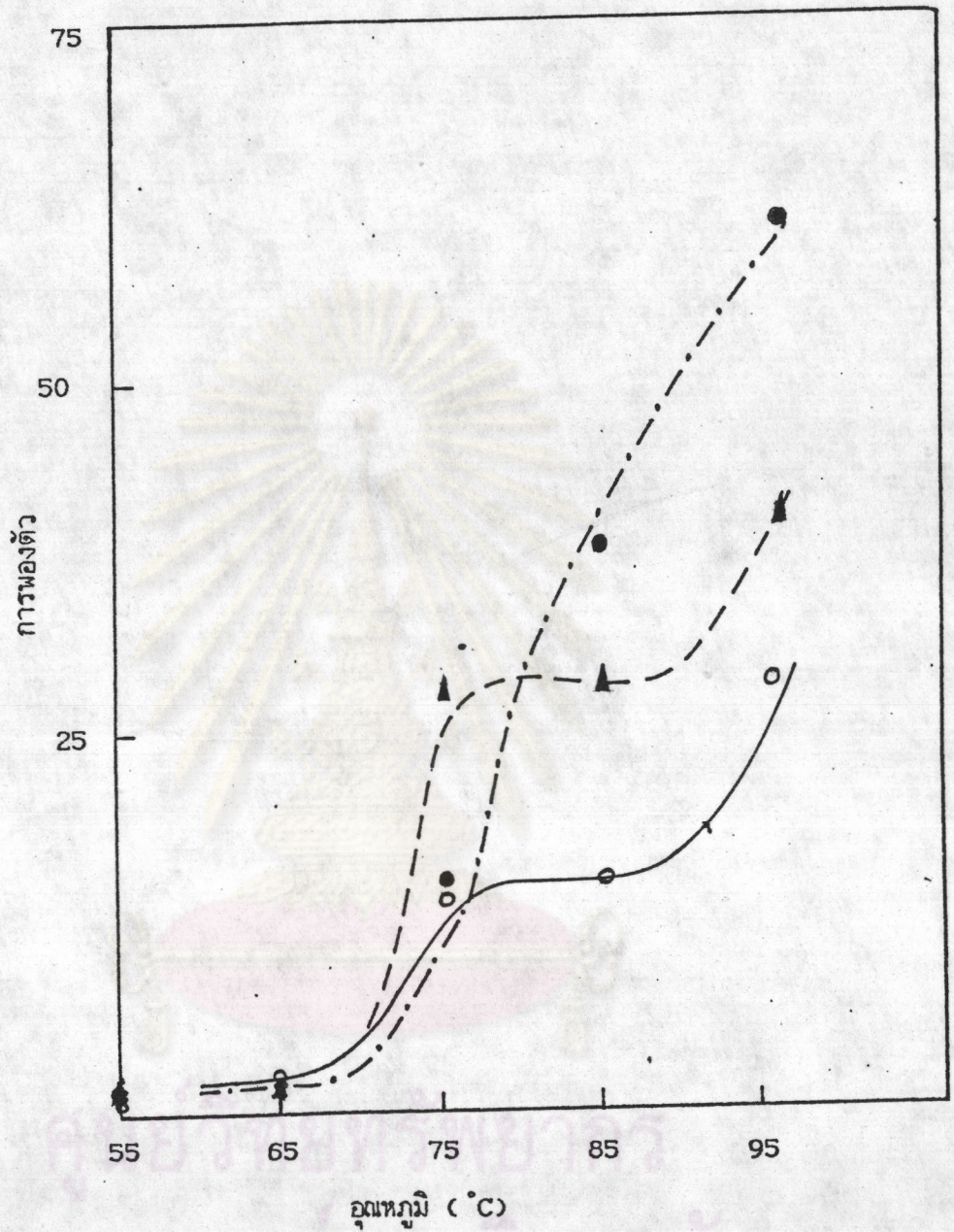
รูปที่ 4.10 รูปแบบการพองตัวของแป้งมันเทศที่สกัดได้ อายุการเก็บเกี่ยว 4 เดือน

----- TIS 8250

-.-.-.- นอวิน 03

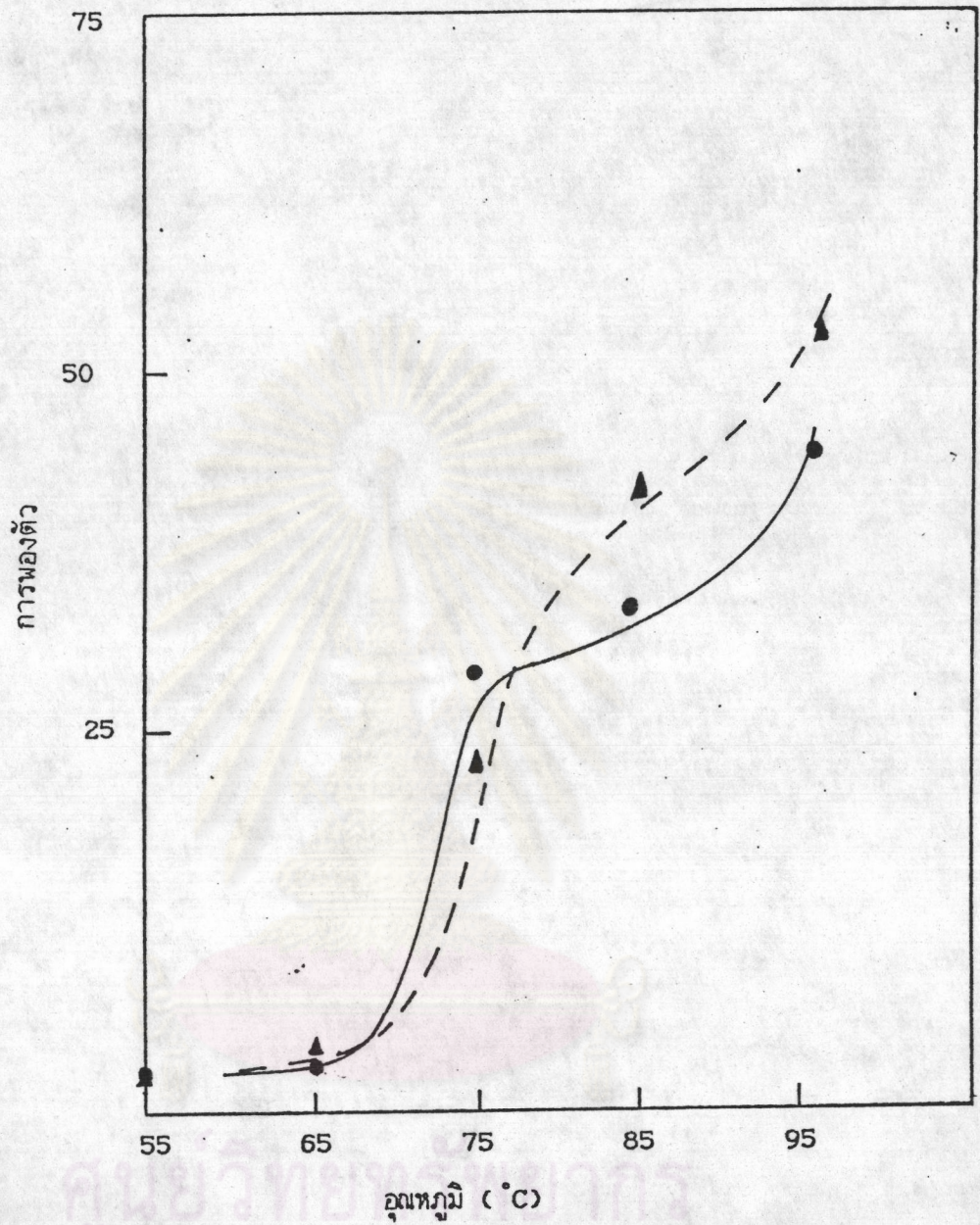
-.-.-.- พม.พจ.2

-.-.-.- พม.03-2



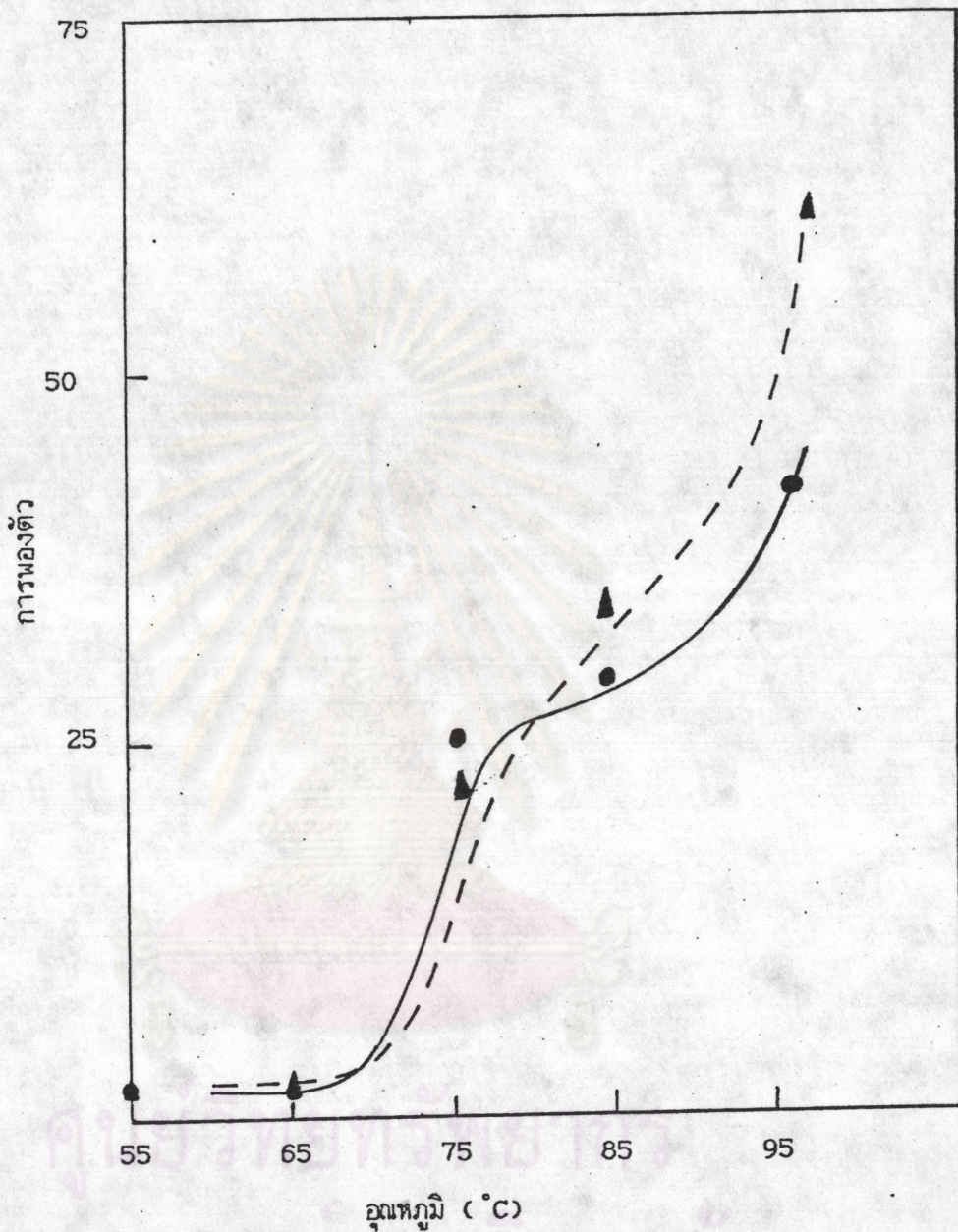
รูปที่ 4.11 รูปแบบการพองตัวของแป้งมันเทศที่สกัดได้ และแป้งข้าวโพด

▲---▲ โกลด ●-...-● กระต่าย
○---○ ข้าวโพด



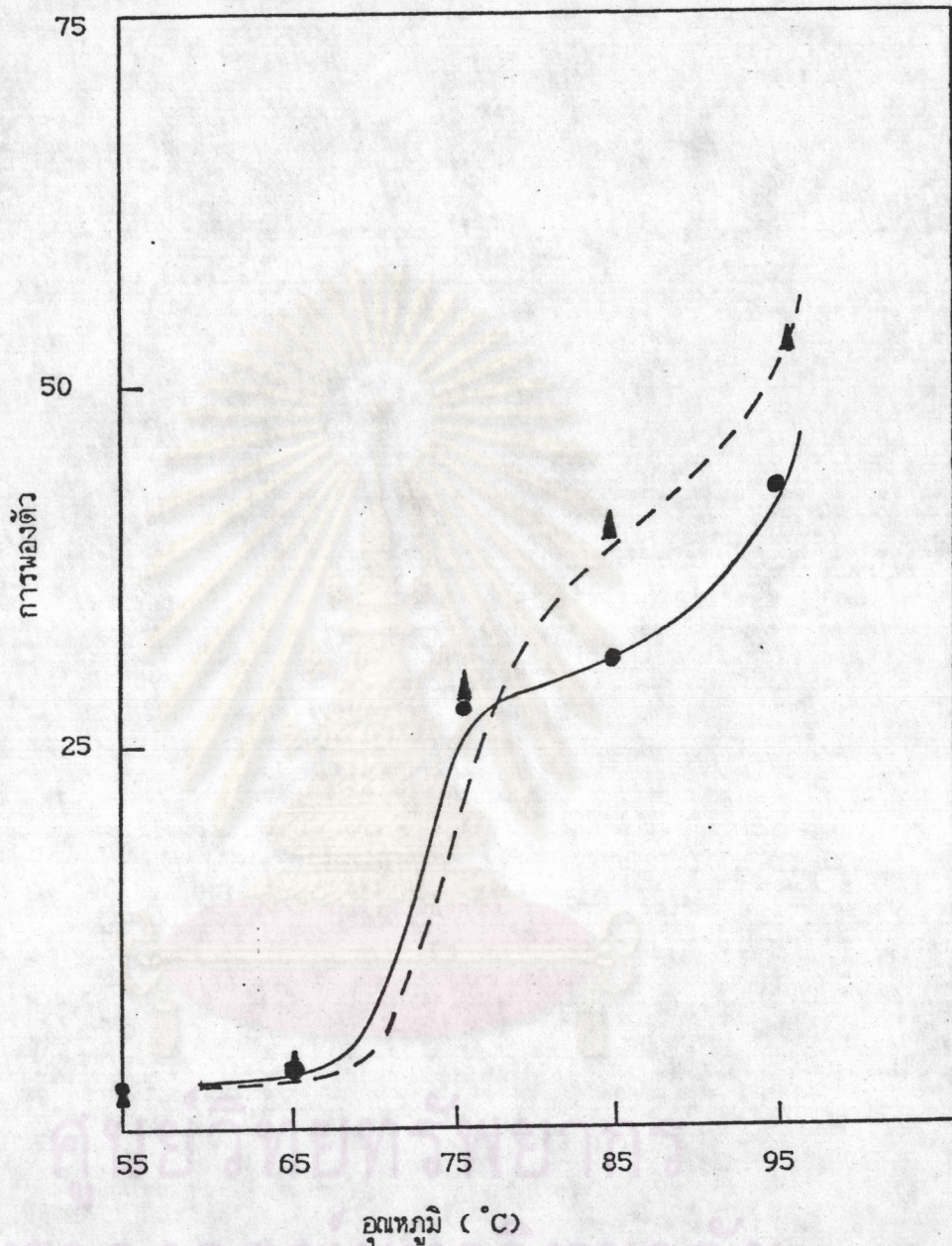
รูปที่ 4.12 รูปแบบการพองตัวของแป้งมันเทศที่สกัดได้จากสายพันธุ์ TIS 8250 อายุการเก็บเกี่ยว 3 และ 4 เดือน

- ▲ --- ▲ อายุการเก็บเกี่ยว 3 เดือน
- — ● อายุการเก็บเกี่ยว 4 เดือน



รูปที่ 4.13 รูปแบบการพองตัวของแป้งมันเทศที่สกัดได้จากสายพันธุ์โนริน 03 อายุการเก็บเกี่ยว 3 และ 4 เดือน

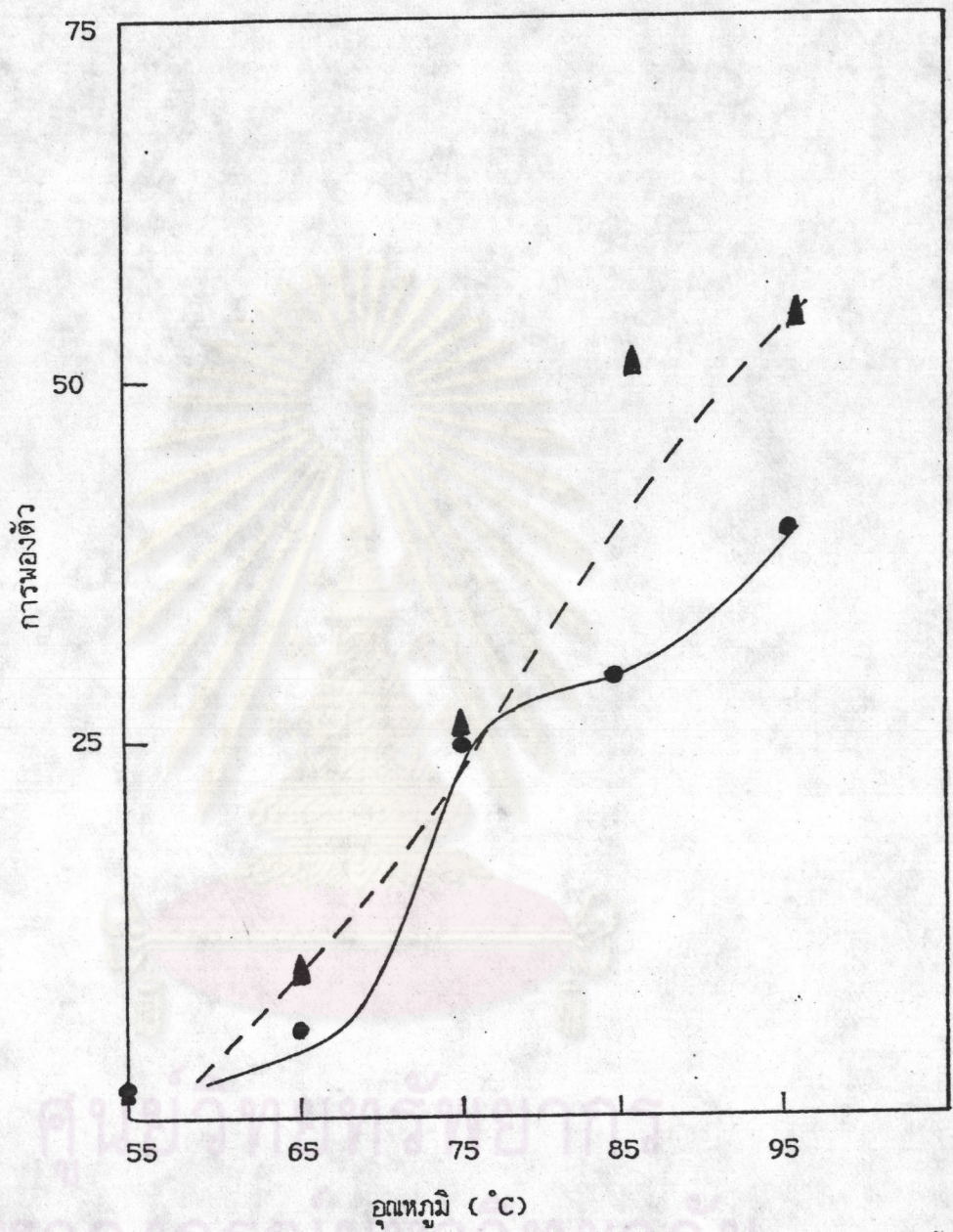
▲ --- ▲ อายุการเก็บเกี่ยว 3 เดือน
● — ● อายุการเก็บเกี่ยว 4 เดือน



รูปที่ 4.14 รูปแบบการพองตัวของแป้งมันเทศที่สกัดได้จากสายพันธุ์พม.พจ.2
อายุการเก็บเกี่ยว 3 และ 4 เดือน

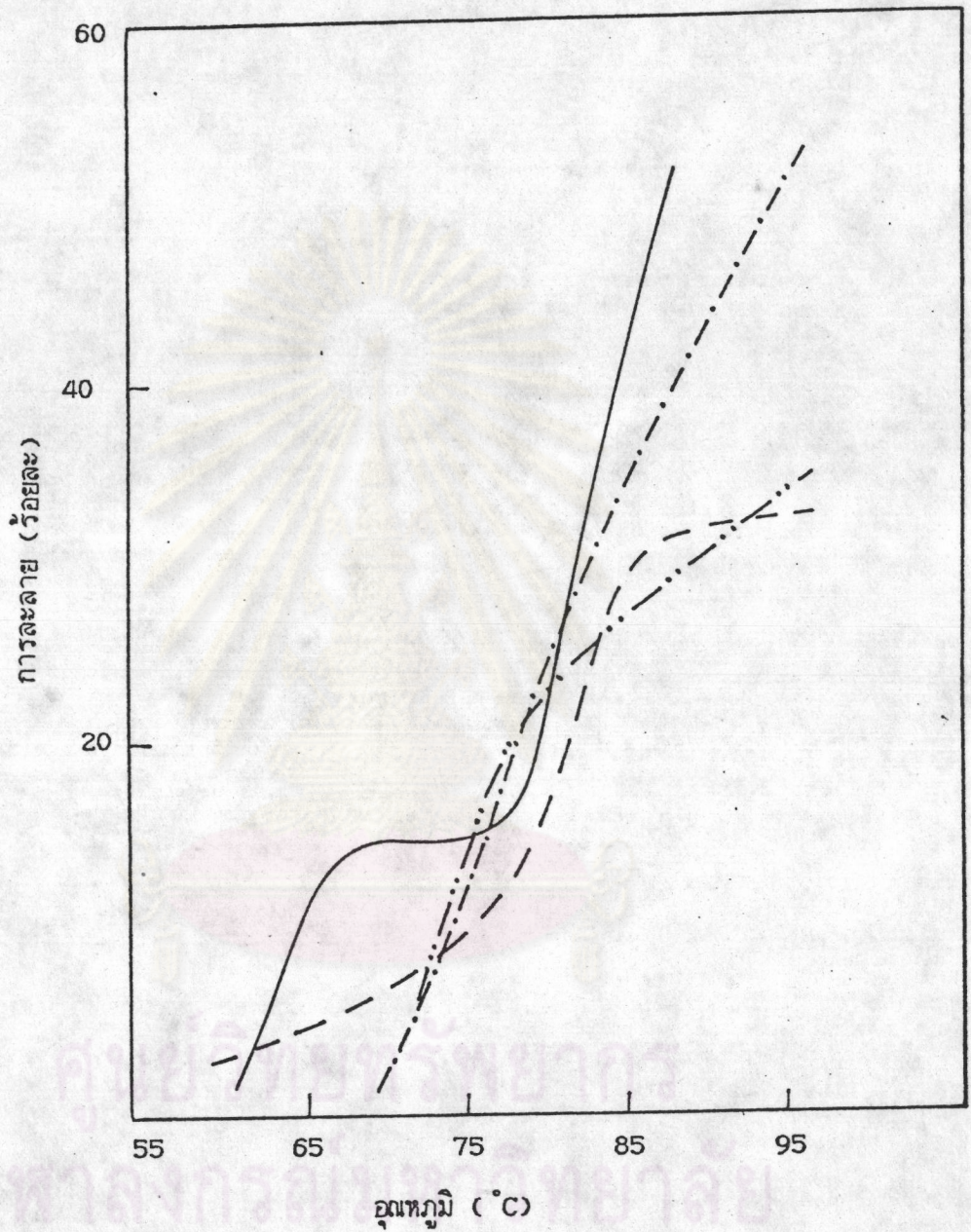
▲---▲ อายุการเก็บเกี่ยว 3 เดือน

●—● อายุการเก็บเกี่ยว 4 เดือน



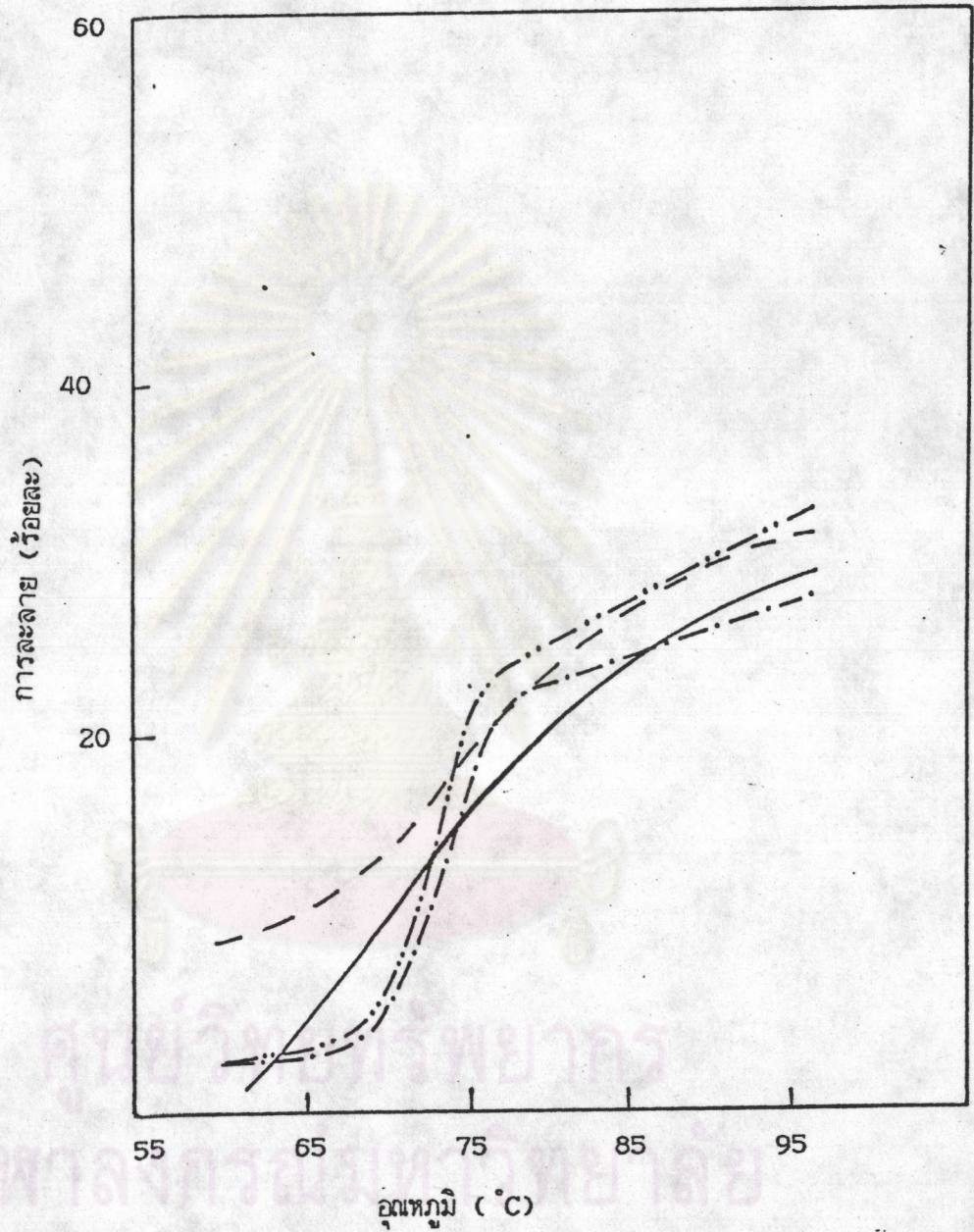
รูปที่ 4.15 รูปแบบการพองตัวของแป้งมันเทศที่สกัดได้จากสายพันธุ์พม.03-2 อายุการเก็บเกี่ยว 3 และ 4 เดือน

- ▲---▲ อายุการเก็บเกี่ยว 3 เดือน
- อายุการเก็บเกี่ยว 4 เดือน



รูปที่ 4.16 รูปแบบการละลายของแอสฟัลต์ที่สกัดได้ อายุการเก็บเกี่ยว 3 เดือน

--- TIS 8250 -.-.- โนริน 03
-.-.- นม.พจ.2 — นม.03-2



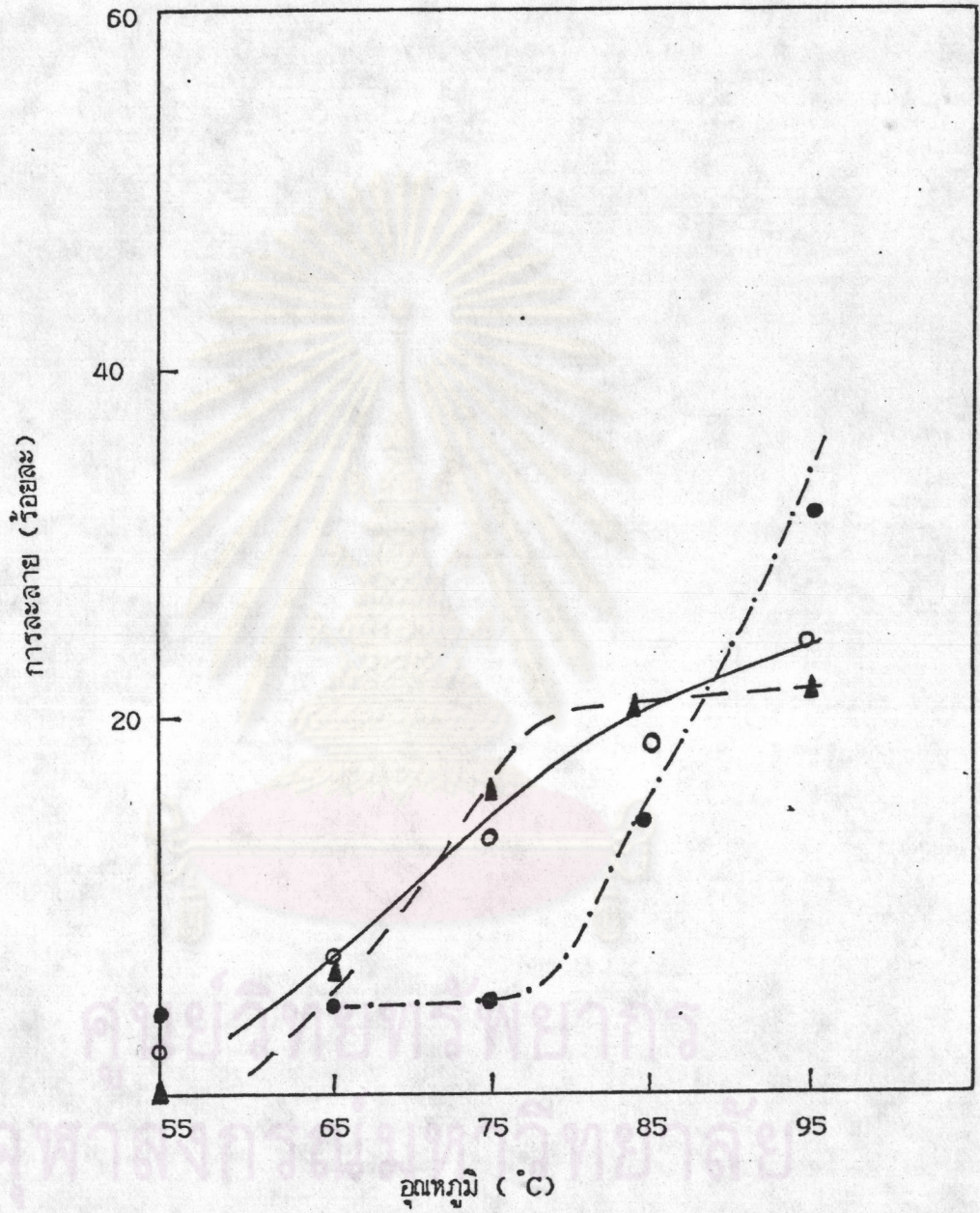
รูปที่ 4.17 รูปแบบการละลายของแป้งมันเทศที่สกัดได้ อายุการเก็บเกี่ยว 4 เดือน

----- TIS 8250

..... นอริน 03

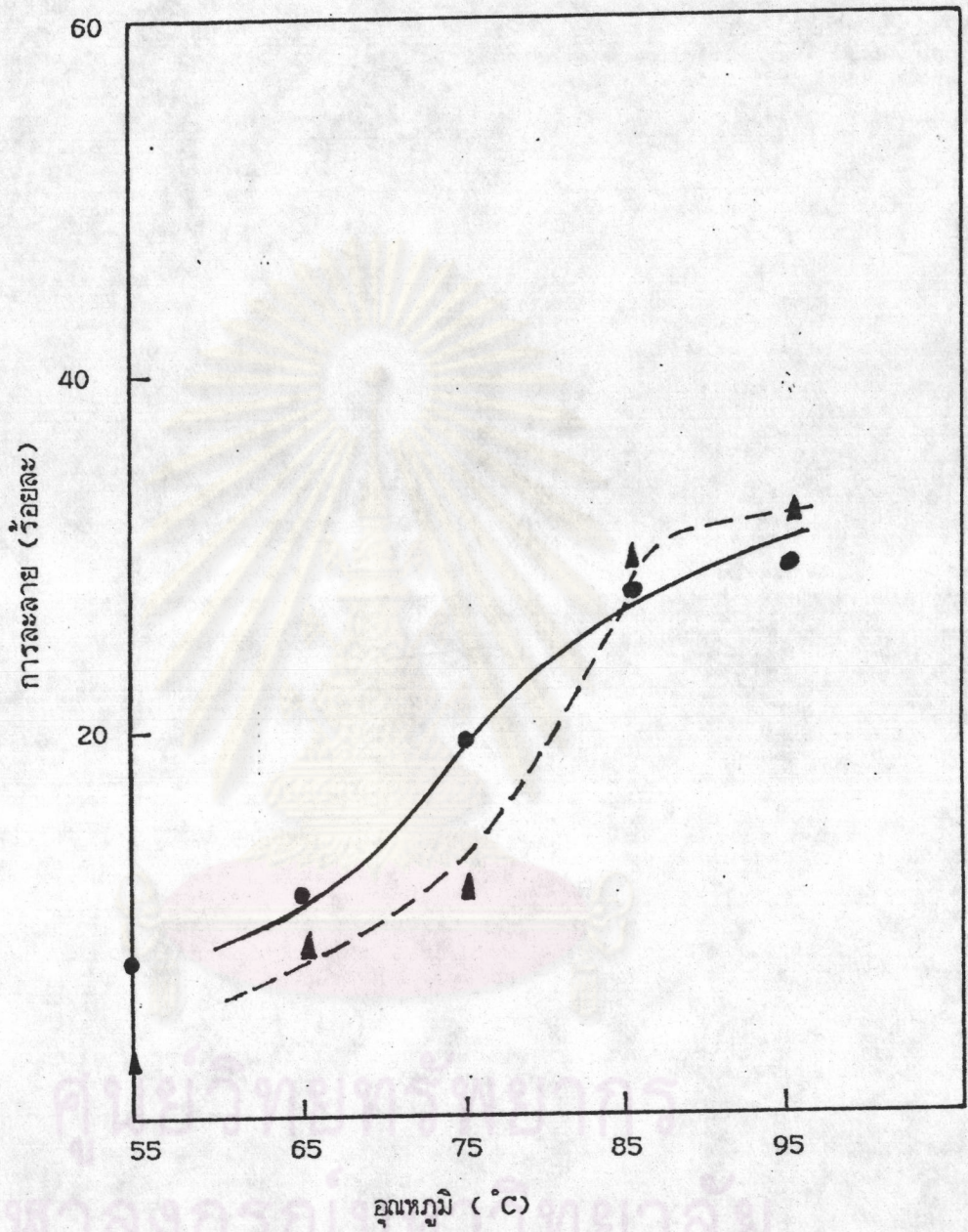
..... พม.พจ.2

———— พม.03-2



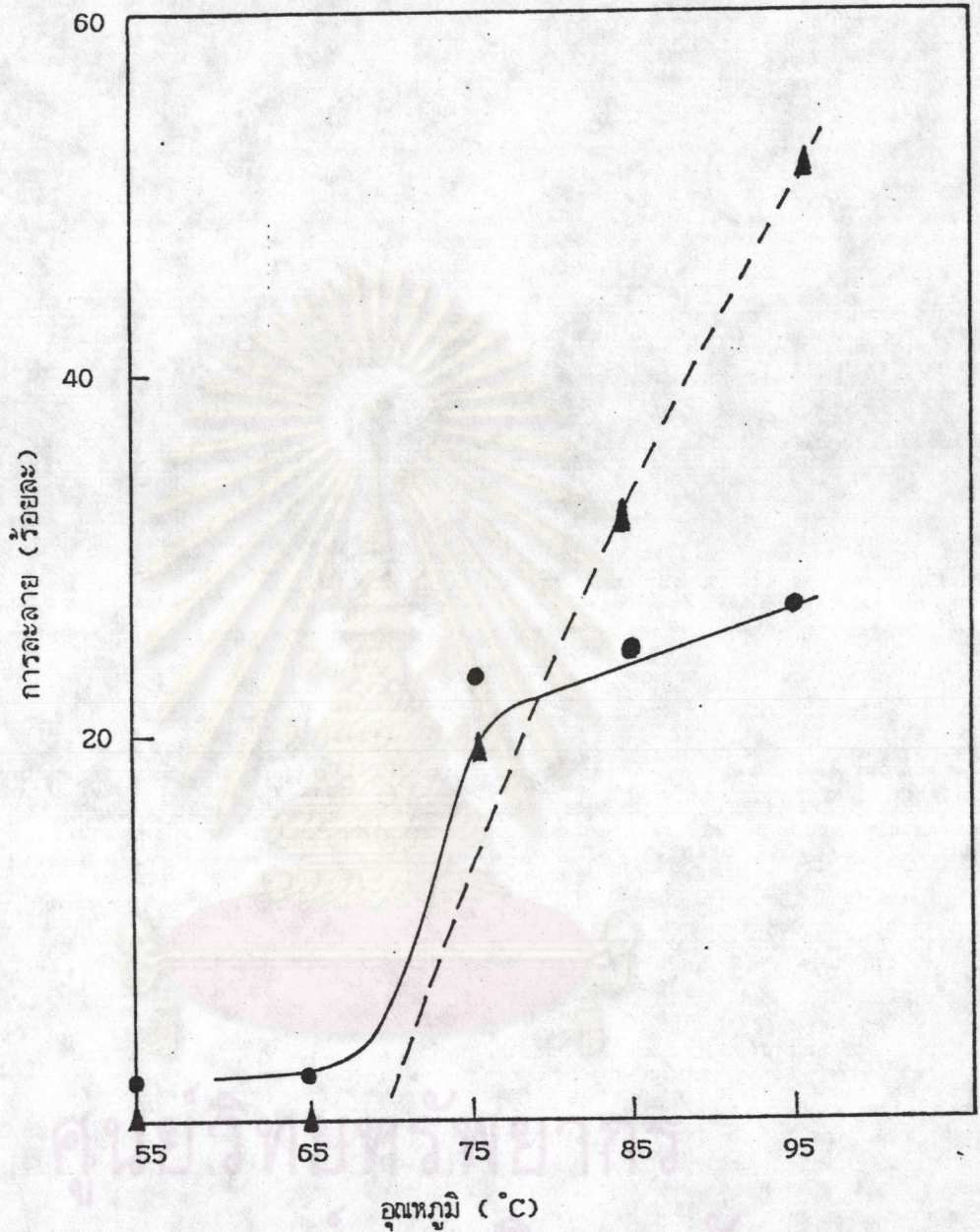
รูปที่ 4.18 รูปแบบการละลายของแป้งมันเทศที่สกัดได้ และแป้งข้าวโพด

▲---▲ ไอกุด ●-...-● กระจ่าย
○—○ ข้าวโพด



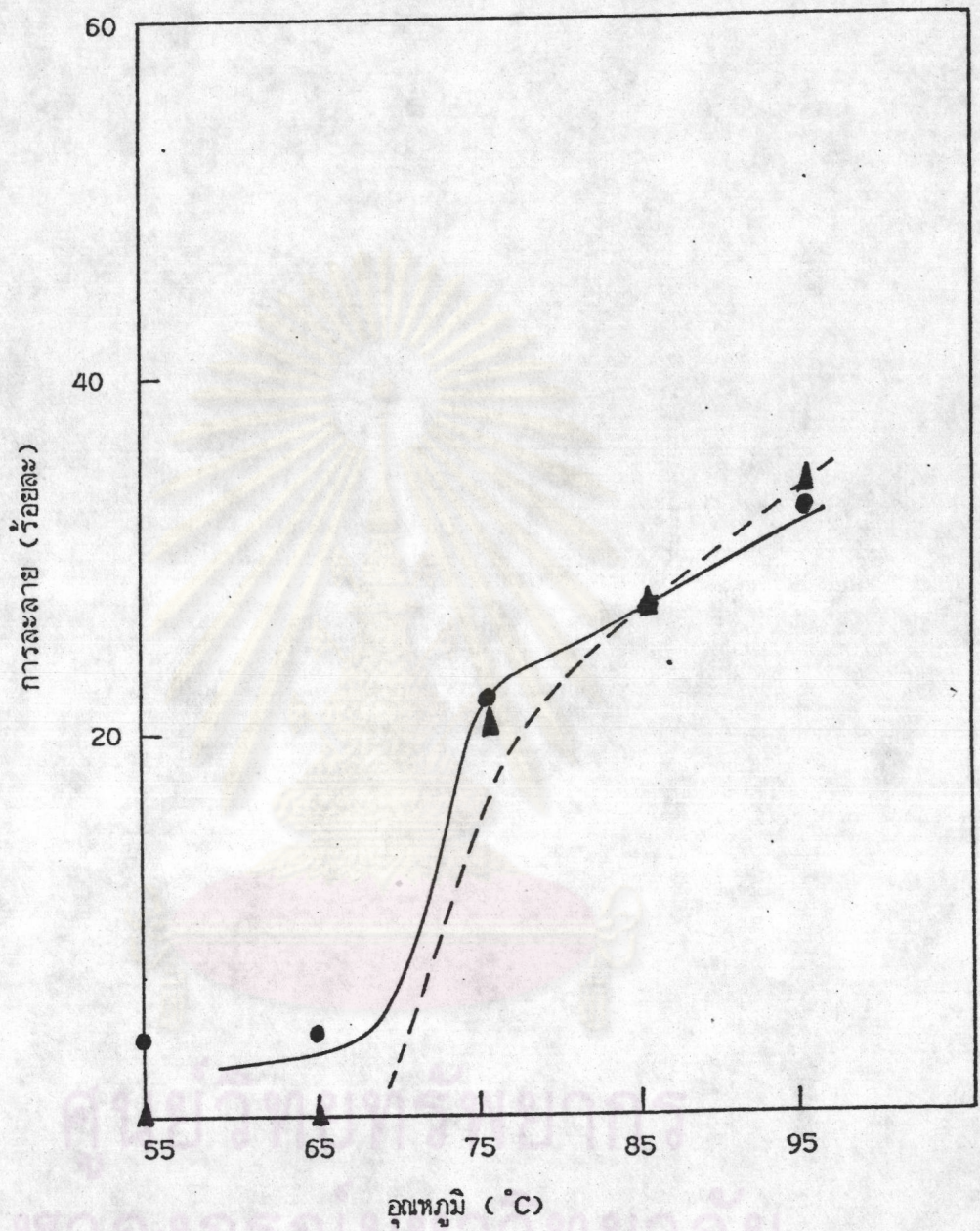
รูปที่ 4.19 รูปแบบการละลายของแอมัลแทคที่สกัดได้จากสายพันธุ์ TIS 8250 อายุการเก็บเกี่ยว 3 และ 4 เดือน

- ▲---▲ อายุการเก็บเกี่ยว 3 เดือน
- อายุการเก็บเกี่ยว 4 เดือน



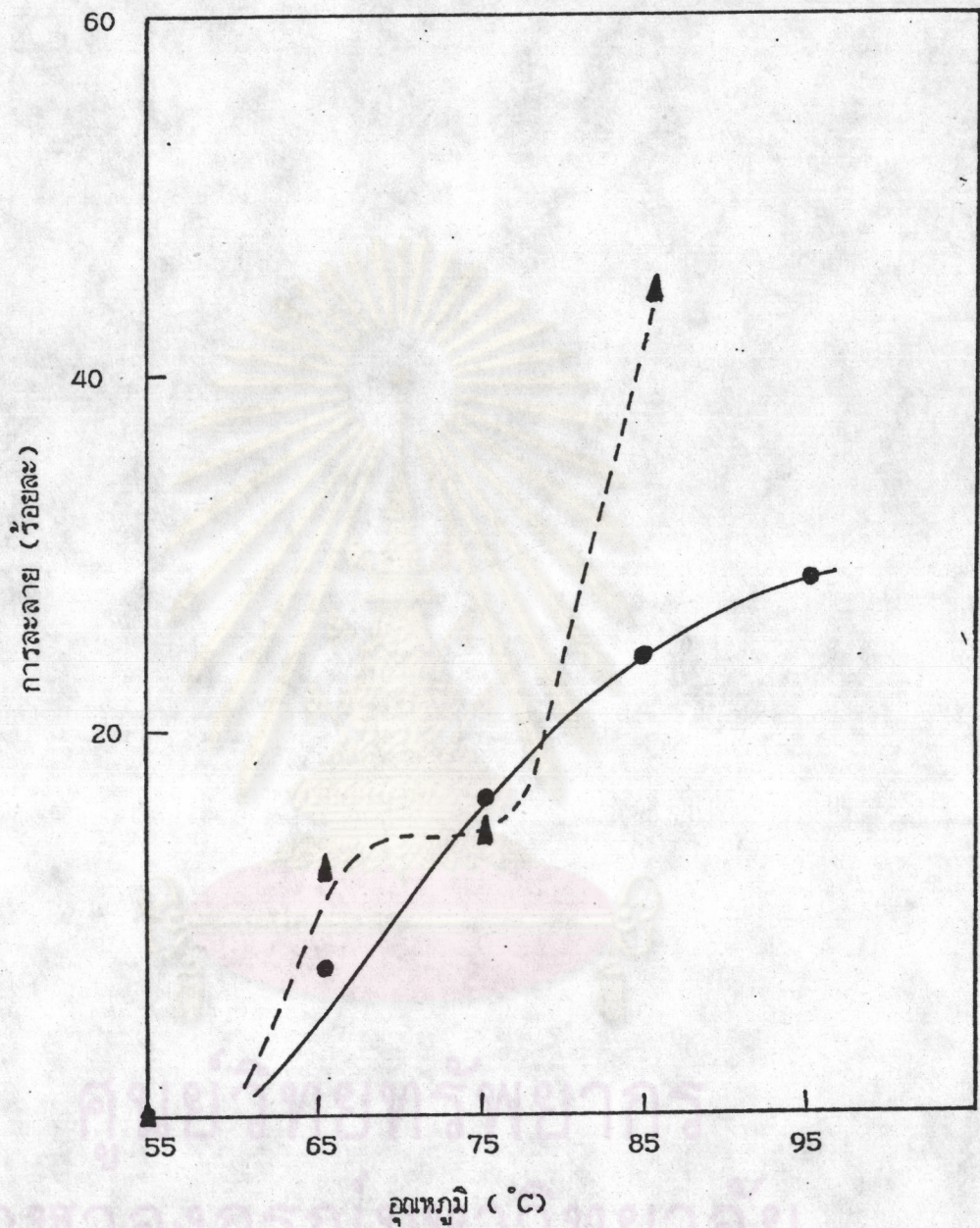
รูปที่ 4.20 รูปแบบการละลายของแป้งมันเทศที่สกัดได้จากสายพันธุ์โนริน 03
อายุการเก็บเกี่ยว 3 และ 4 เดือน

- ▲---▲ อายุการเก็บเกี่ยว 3 เดือน
- อายุการเก็บเกี่ยว 4 เดือน



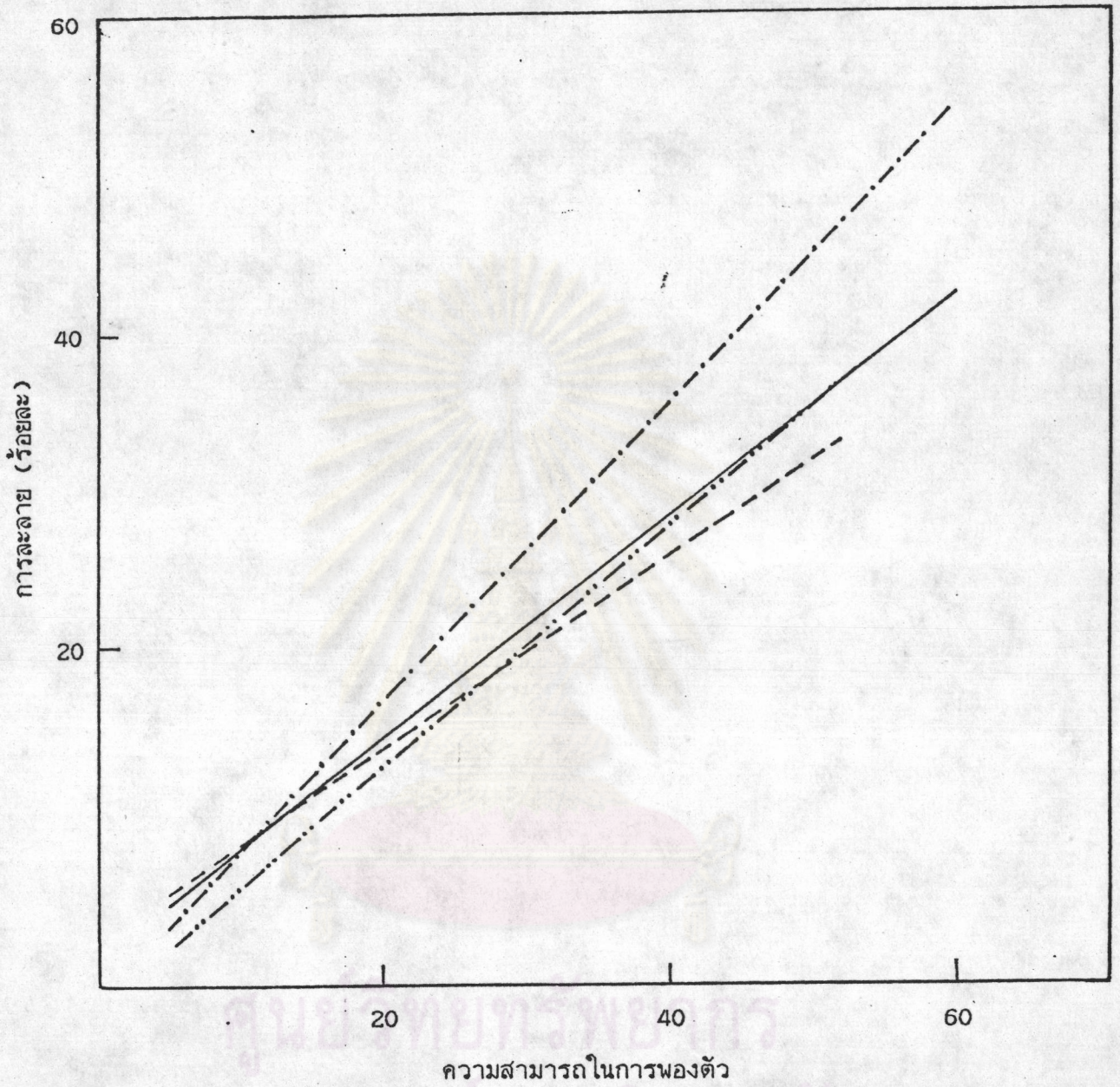
รูปที่ 4.21 รูปแบบการละลายของแป้งมันเทศที่สกัดได้จากสายพันธุ์พม.พจ.2
อายุการเก็บเกี่ยว 3 และ 4 เดือน

- ▲---▲ อายุการเก็บเกี่ยว 3 เดือน
- อายุการเก็บเกี่ยว 4 เดือน



รูปที่ 4.22 รูปแบบการละลายของแป้งมันเทศที่สกัดได้จากสายพันธุ์พม.03-2 อายุการเก็บเกี่ยว 3 และ 4 เดือน

- ▲---▲ อายุการเก็บเกี่ยว 3 เดือน
- อายุการเก็บเกี่ยว 4 เดือน



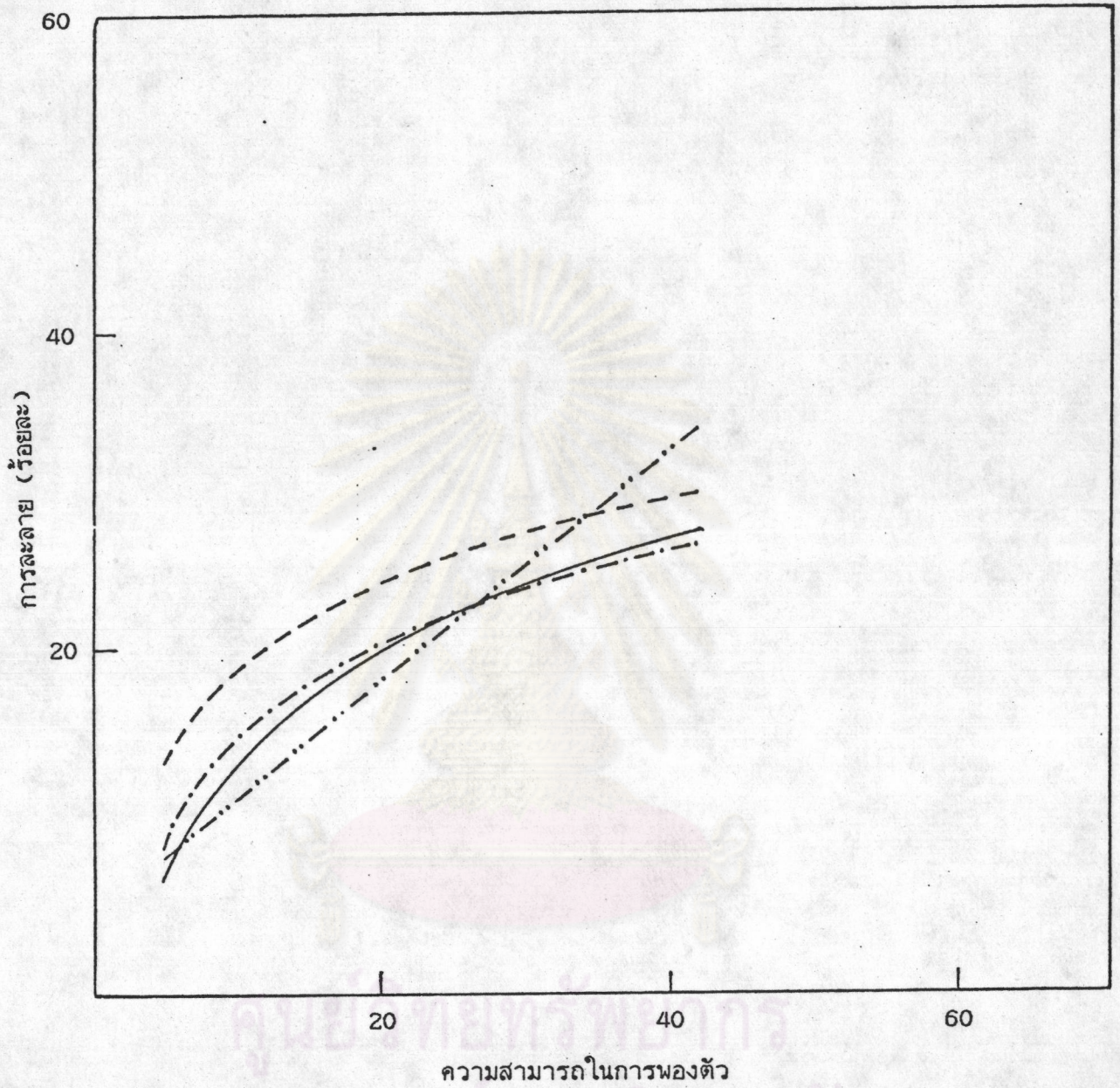
รูปที่ 4.23 รูปแบบความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการพองตัวกับร้อยละการละลายของแป้งมันเทศที่สกัดได้ อายุการเก็บเกี่ยว 3 เดือน

----- TIS 8250

..... นอนริน 03

..... พม.พจ.2

———— พม.03-2



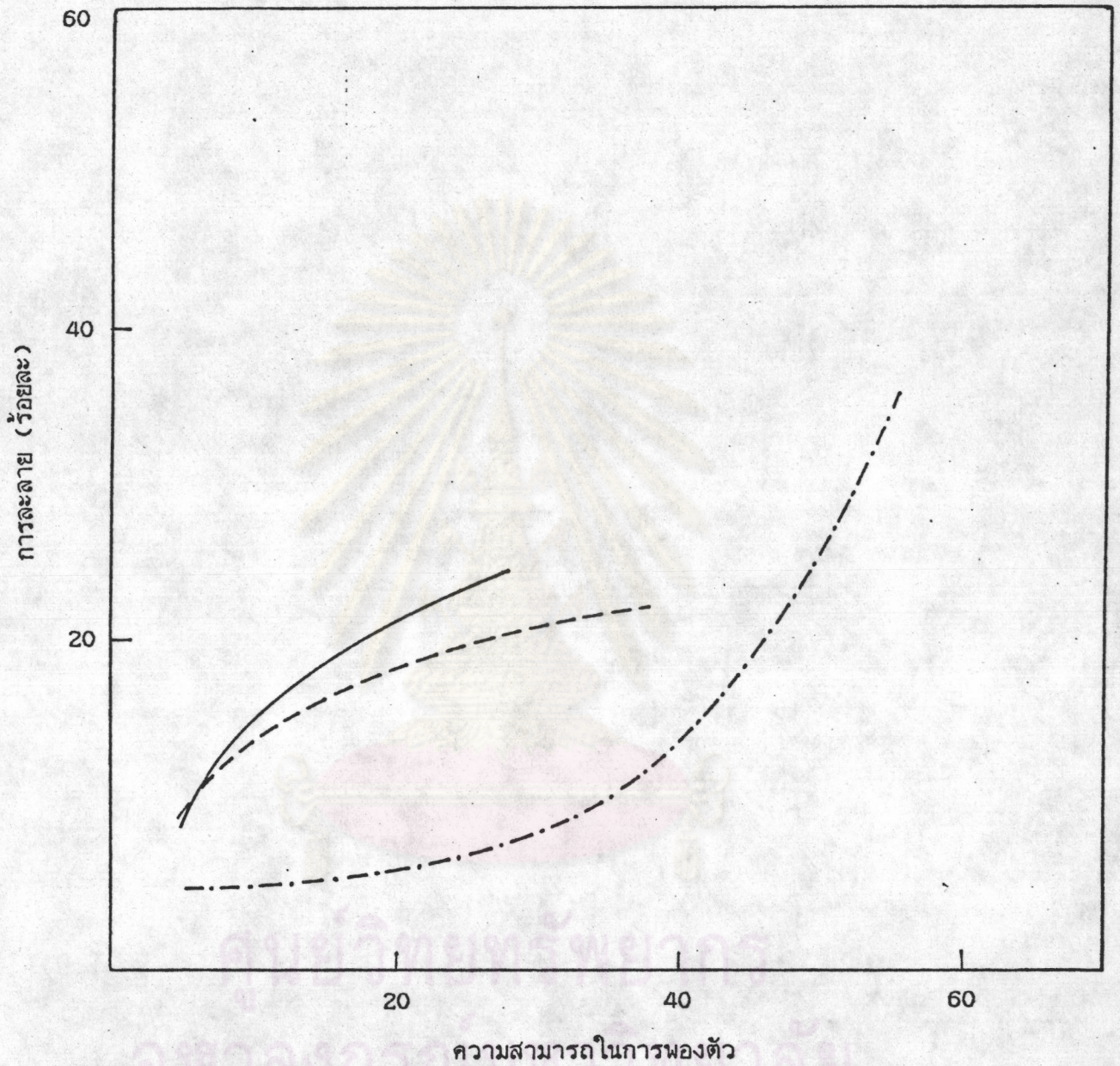
รูปที่ 4.24 รูปแบบความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการพองตัวกับร้อยละการละลายของเป้งมันเทศที่สกัดได้ อายุการเก็บเกี่ยว 4 เดือน

----- TIS 8250

- . - . - . นอริน 03

..... พม.พจ.2

———— พม.03-2



รูปที่ 4.25 รูปแบบความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการพองตัวกับร้อยละการละลายของแป้งมันเทศที่สกัดได้ และแป้งข้าวโพด

----- โอกูด -.-.-.-.- กระต่าย
————— ข้าวโพด

4.3 เสถียรภาพของแป้งมันเทศ

การทดสอบเสถียรภาพด้านต่าง ๆ ของแป้งมันเทศ ศึกษาโดยคัดเลือกแป้งมันเทศ จาก treatment combination ระหว่างสายพันธุ์และอายุการเก็บเกี่ยวที่ชี้ให้เห็นว่าเม็ด แป้งมีความแข็งแรงและมีเสถียรภาพของความหนืดดี ทั้งนี้เพื่อใช้พิจารณาว่าแป้งมันเทศจะมี เสถียรภาพได้เพียงพอต่อการทดสอบซึ่งเป็นสภาพการใช้งานแบบต่าง ๆ ได้แก่ สภาพความเป็น กรด-ด่าง ความเข้มข้นของแป้งที่ใช้ และการเก็บในลักษณะของแป้งเปียก เป็นต้น

ในการคัดเลือกนี้จะพิจารณาจากข้อมูลเกี่ยวกับสมบัติต่าง ๆ ของแป้งมันเทศที่ศึกษา ข้างต้น โดยพิจารณาจากสมบัติทางกายภาพ-เคมีเป็นเกณฑ์การตัดสินใจ (เนื่องจากองค์ประกอบ ทางเคมีไม่มีความแตกต่างกันอย่างเด่นชัด อีกทั้งไม่อาจใช้พิจารณาในหลักการข้างต้นได้มากนัก) ได้แก่ การเปลี่ยนแปลงความหนืดใน heating-cooling cycle (brabender visco-amylograms) รูปแบบการพองตัวและการละลาย และจะใช้สมบัติอื่น ๆ ได้แก่ ปริมาณแป้ง ในแป้งที่สกัดได้ รวมถึงในด้านผลผลิตแป้งจากการสกัดเป็นส่วนร่วมพิจารณา

เนื่องจากแป้งจากมันเทศที่อายุการเก็บเกี่ยวมีเสถียรภาพดีกว่าที่ 3 เดือน และ เมื่อพิจารณาในกลุ่ม 4 เดือนแล้ว พบว่า สายพันธุ์โนริน 03 เป็นสายพันธุ์ที่มีเสถียรภาพ และ มีความบริสุทธิ์ของแป้งสูง คือ การเปลี่ยนแปลงความหนืดใน heating-cooling cycle ขณะ กวนไม่ลดลงมาก ความหนืดที่เพิ่มขึ้นขณะคั้นตัวไม่เพิ่มมาก มีอุณหภูมิในการเกิดเจลสูง ความ สามารถในการพองตัวเพิ่มขึ้นในขณะที่การละลายไม่เพิ่มขึ้นตาม และมีปริมาณแป้งในแป้งที่สกัด ได้สูง (ร้อยละ 95.88) สำหรับสายพันธุ์โอดุตและกระต่ายซึ่งเป็นสายพันธุ์ที่มีมากในท้องตลาด พบว่า สายพันธุ์โอดุตมีเสถียรภาพดีกว่า เหตุผลอธิบายได้ในลักษณะเดียวกับสายพันธุ์โนริน 03 ที่อายุการเก็บเกี่ยว 4 เดือน และยังมีเสถียรภาพต่อความร้อนด้วย กล่าวคือ การเพิ่มอุณหภูมิให้ แก่แป้งเปียกถึง 95 องศาเซลเซียสจะไม่ทำให้ความหนืดลดลง นอกจากนี้แล้วแป้งมันเทศจาก สายพันธุ์โนริน 03 ที่อายุการเก็บเกี่ยว 4 เดือน และ โอดุตยังให้ผลผลิตแป้งสูงถึงร้อยละ 14.49 และ 13.67 ตามลำดับ ซึ่งสูงกว่าค่าเฉลี่ยของผลผลิตแป้งจากมันเทศอายุการเก็บ

เกี่ยว 3 และ 4 เดือนที่ศึกษา อนึ่งเนื่องจากแป้งมันเทศที่สกัดจากสายพันธุ์โนริน 03 อายุการเก็บเกี่ยว 4 เดือน มีสมบัติหลายประการที่ใกล้เคียงกับแป้งมันเทศที่สกัดจากมันเทศสายพันธุ์อื่นที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 4 เดือน รวมถึงสายพันธุ์กระต่ายตามที่ได้กล่าวมาแล้ว จึงอาจพิจารณาให้แป้งมันเทศที่สกัดจากสายพันธุ์โนริน 03 อายุการเก็บเกี่ยว 4 เดือน เป็นตัวแทนของกลุ่มนี้ด้วย ดังนั้นจึงพิจารณาใช้แป้งมันเทศจากสายพันธุ์โนริน 03 ที่อายุการเก็บเกี่ยว 4 เดือน และ โอิคุตเป็นแป้งทดสอบ

4.3.1 เสถียรภาพต่อความเป็นกรด

วัตถุประสงค์ของการใช้แป้งในอุตสาหกรรมอาหารมีหลายประการ ทั้งนี้ขึ้นกับลักษณะความต้องการของผลิตภัณฑ์อาหาร (34) เช่น การใช้แป้งเพื่อเป็นสารเพิ่มความหนืด (thickening agent) ในซอสมะเขือเทศและซูปครีม สารให้เสถียรภาพ (stabilizer) ในน้ำสลัดชั้น เป็นต้น แม้ว่าการใช้แป้งจะมีความแตกต่างในวัตถุประสงค์การใช้งาน แต่ในเชิงปฏิบัติหรือกระบวนการผลิตส่วนใหญ่จะมีลักษณะการใช้งานที่คล้ายกัน เช่น ใช้แป้งในรูปของแป้งเปียกโดยผ่านกระบวนการให้ความร้อน การกวน และอาจมีการปรับ pH ของอาหารด้วย เป็นต้น ดังนั้นในการทดสอบเสถียรภาพของแป้ง จึงควรพิจารณาถึงผลของ pH ต่อเสถียรภาพของแป้ง โดยทำการทดสอบการเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งเปียกใน heating-cooling cycle เพื่อให้มีสภาพใกล้เคียงกับการใช้งานจริง

ที่แต่ละ pH รูปแบบการเปลี่ยนแปลงความหนืดในระหว่าง heating-cooling cycle ของแป้งทดสอบ คือ แป้งมันเทศจากสายพันธุ์โอคุต โนริน 03 อายุการเก็บเกี่ยว 4 เดือน และแป้งข้าวโพด ดังแสดงในรูปที่ 4.26-4.28 มีลักษณะแตกต่างกัน เมื่อพิจารณารูปแบบการเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งมันเทศที่เตรียมได้จากสายพันธุ์โอคุต และโนริน 03 อายุการเก็บเกี่ยว 4 เดือน ที่ระดับ pH เท่ากัน จะมีรูปแบบการเปลี่ยนแปลงความหนืดต่างกัน แสดงว่ารูปแบบการเปลี่ยนแปลงความหนืดใน heating-cooling cycle ที่ระดับ pH ต่าง ๆ มีความแตกต่างกันเนื่องมาจากความแตกต่างของสายพันธุ์ของมันเทศที่นำ

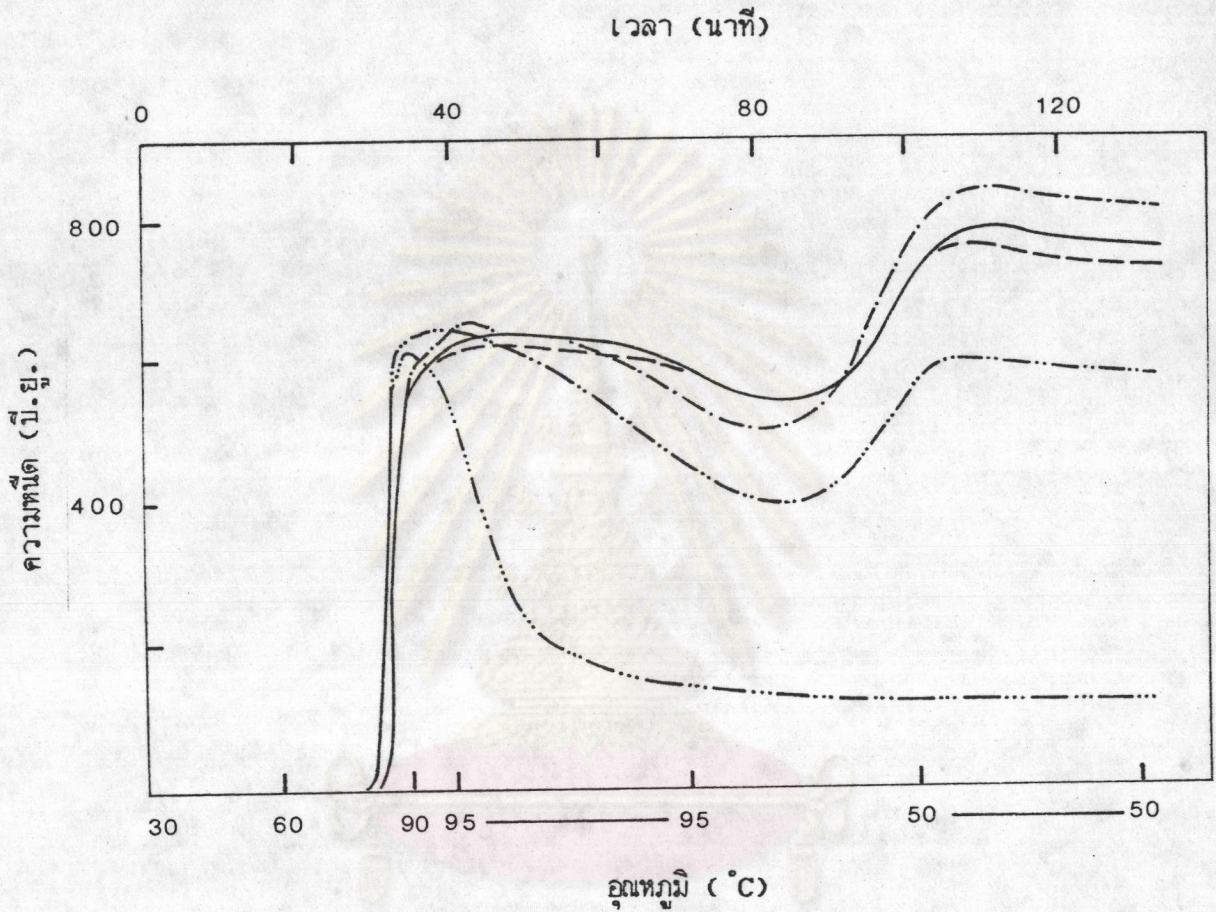
มาใช้สกัดแป้ง และชนิดของแป้งที่ใช้ทดสอบ และเมื่อพิจารณารูปแบบการเปลี่ยนแปลงความหนืดระหว่างแป้งมันเทศจากสายพันธุ์ดังกล่าวกับแป้งข้าวโพดก็ให้ผลเช่นเดียวกัน คือ ที่ระดับ pH เท่ากันจะมีรูปแบบการเปลี่ยนแปลงความหนืดต่างกัน แต่อย่างไรก็ตามที่ pH 3.0 แป้งที่นำมาทดสอบทั้งหมดต่างก็มีรูปแบบการเปลี่ยนแปลงความหนืดที่คล้ายกัน คือ เมื่อความหนืดในช่วง heating cycle เพิ่มขึ้นจนถึงจุดสูงสุด ความหนืดจะลดลงจนคงที่อยู่ที่ ๗ ระดับหนึ่ง อาจอธิบายได้เนื่องจากที่ pH 3.0 เกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (hydrolysis) ตัดพันธะ glycosidic ของโมเลกุลของแป้ง ทำให้โมเลกุลแป้งฉีกขาดได้ง่าย ความหนืดจึงลดลงมากในช่วงของ heating cycle และไม่สามารถแสดงสมบัติของแป้งได้อีก เช่น การเกิดเจล เป็นต้น การทดลองนี้ให้ผลสอดคล้องกับผลของ Freeman และคณะ (35) และ Schoch (22)

เมื่อพิจารณาผลของ pH ต่อความหนืดของแป้งเปียกเมื่อให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที (รูปที่ 4.29) พบว่า pH มีผลต่อความหนืด ณ จุดนี้และให้ลักษณะความสัมพันธ์เป็นเส้นโค้งคว่ำ (concave) ช่วง pH ที่แป้งเปียกให้ความหนืดสูงสุด (optimum pH) สำหรับแป้งมันเทศจากสายพันธุ์โกลด์ คือ 5.5-6.5 และโนริน 03 ที่อายุการเก็บเกี่ยว 4 เดือน คือ 4.5-5.5 แป้งข้าวโพด คือ 5.0-6.0 ซึ่งผลของ pH ต่อความหนืด ณ จุดนี้จะมีผลกระทบต่อคุณภาพของแป้งเปียกเมื่อเย็นตัวลง (อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส) (รูปที่ 4.26-4.28) จะเห็นได้ว่า pH มีผลต่อรูปแบบการเปลี่ยนแปลงความหนืดในช่วง cooling อย่างเด่นชัด และเมื่อพิจารณาอัตราส่วนของความหนืดที่เพิ่มขึ้นของแป้งเปียกจากอุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที ถึง 50 องศาเซลเซียส ที่ระดับ pH ต่าง ๆ เพื่อพิจารณาถึงบทบาทของ pH ต่อลักษณะการคืนตัวของแป้งเปียก พบว่า ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของความหนืดที่เพิ่มขึ้นในช่วงนี้ และ pH มีลักษณะเป็นเส้นโค้งคว่ำ (รูปที่ 4.30) ช่วง pH ที่แป้งเปียกมีความหนืดเพิ่มขึ้นสูงสุด (optimum pH) สำหรับแป้งมันเทศจากสายพันธุ์โกลด์ คือ pH 5.5-6.5 สายพันธุ์โนริน 03 อายุการเก็บเกี่ยว 4 เดือน คือ pH 5.0-6.0 และแป้งข้าวโพด คือ pH 5.5-6.0 ที่ pH สูงกว่าช่วง optimum จะมีการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนดังกล่าวน้อยกว่าที่ pH ต่ำกว่าช่วง optimum ซึ่งพิจารณาได้จากความชันของกราฟในรูปที่ 4.30 คือ ที่ pH ต่ำกว่า 4.5 ทั้งสายพันธุ์โนริน 03 ที่อายุการเก็บเกี่ยว 4 เดือนและโกลด์ จะมีการคืนตัวน้อยลง

เมื่อพิจารณาผลของ pH ต่อความหนืดของแป้งเปียกที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที ซึ่งความหนืดที่จุดนี้จะเป็นความหนืดที่เกิดขึ้นในสภาพการใช้งานจริง (23) พบว่า ความสัมพันธ์ระหว่างความหนืด ณ จุดดังกล่าว และ pH (รูปที่ 4.31) มีลักษณะเป็นเส้นโค้งคว่ำ โดยมีลักษณะสอดคล้องกับกราฟความสัมพันธ์ในรูปที่ 4.29 และ 4.30 และยังมีช่วง optimum pH เท่า ๆ กันด้วย ที่ pH 3.0 แป้งที่ใช้ทดสอบทุกชนิดมีความหนืดใกล้เคียงกันและมีค่าต่ำซึ่งเป็นผลจากการที่โมเลกุลของแป้งถูกไฮโดรไลส์ด้วยกรด

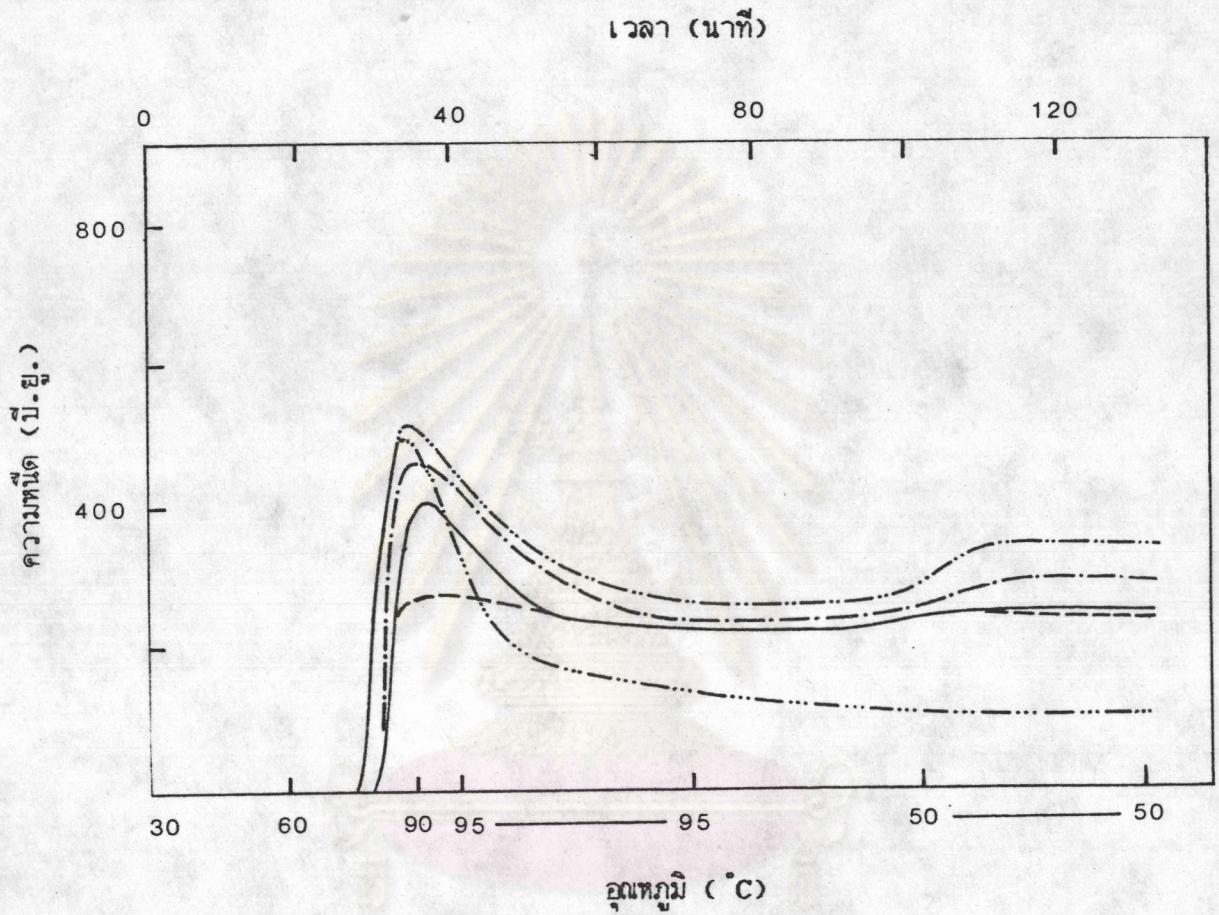
ดังนั้นเมื่อพิจารณาถึง pH ที่เหมาะสมต่อการใช้งานของแป้งมันเทศโดยส่วนรวม จึงสรุปได้ว่า pH ในช่วง 4.5-6.5 เป็น pH ที่เหมาะสมเนื่องจากสามารถแสดงสมบัติตามปกติหรือมีเสถียรภาพ อนึ่งเนื่องจากพบว่าสายพันธุ์ของมันเทศมีบทบาทต่อช่วงของ pH ดังกล่าว ซึ่งจะทำให้แป้งเปียกมีเสถียรภาพต่อความเป็นกรด-ต่างแตกต่างกัน จึงควรที่จะคำนึงถึงผลของสายพันธุ์ด้วย เพื่อให้ได้แป้งมันเทศที่มีคุณภาพสม่ำเสมอ

ศูนย์วิจัยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



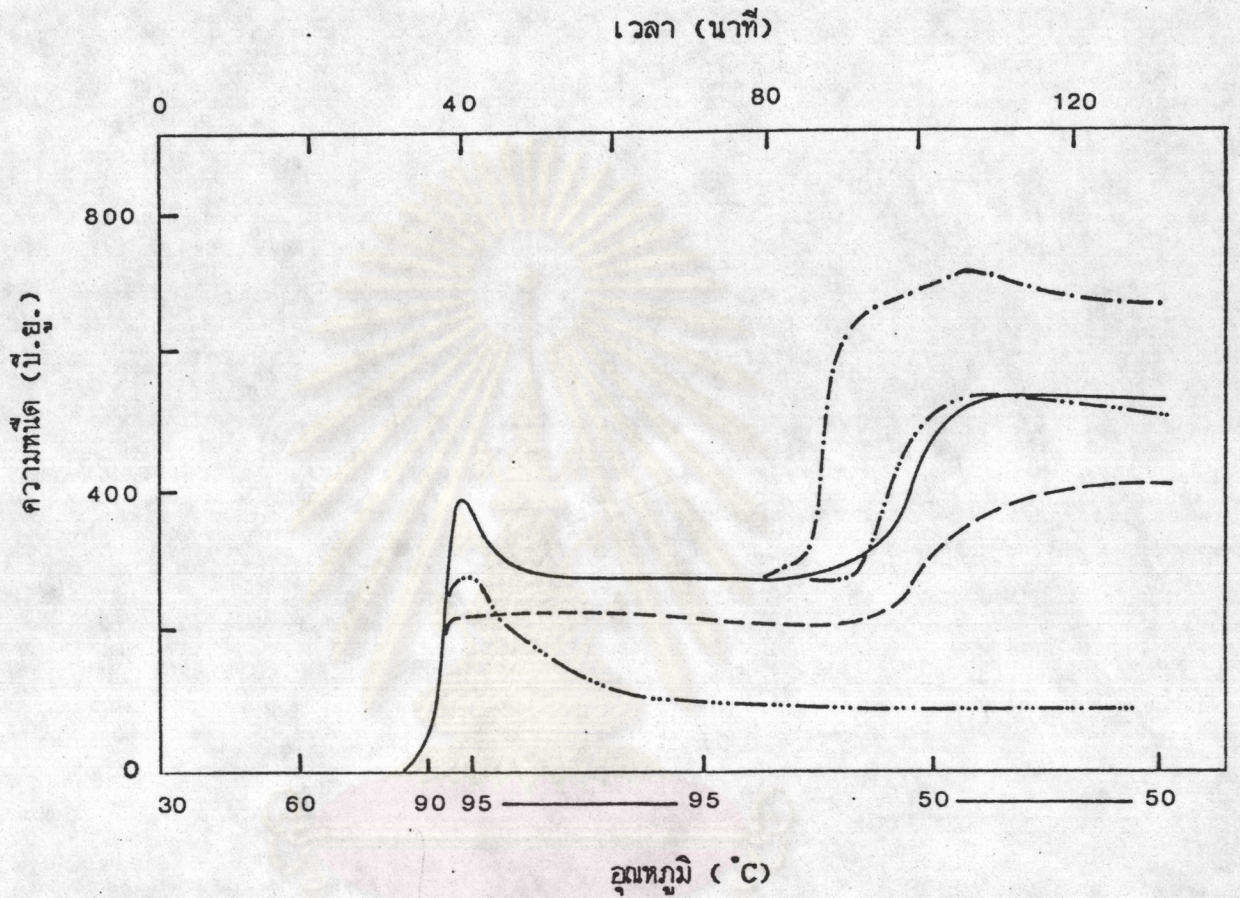
รูปที่ 4.26 รูปแบบการเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งเปียกที่ความเข้มข้นร้อยละ 6 ใน heating-cooling cycle ของแป้งมันเทศที่สกัดได้จากสายพันธุ์ โอกูด ที่ pH ต่าง ๆ

- | | |
|--------------|--------------|
| pH 3.0 | pH 4.5 |
| pH 6.0 | pH 7.0 |
| pH 8.0 | |



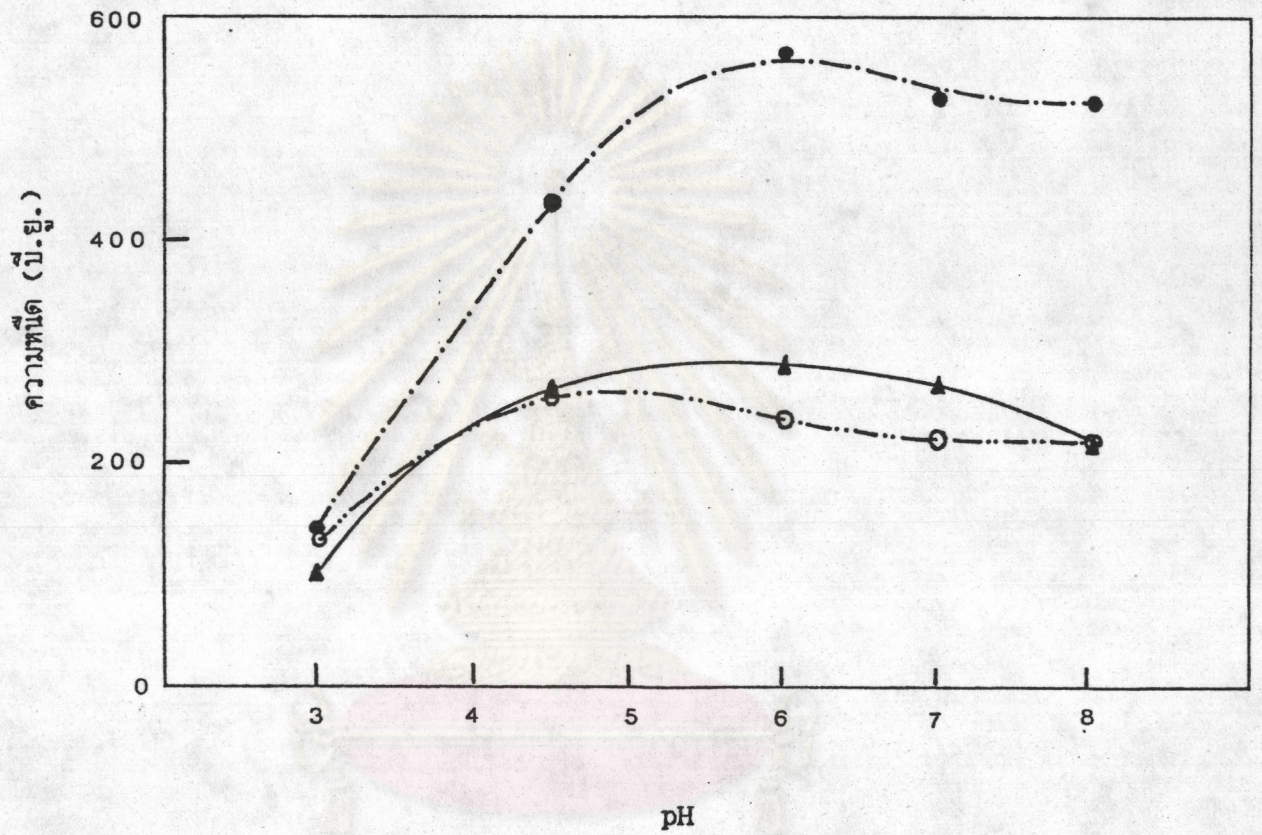
รูปที่ 4.27 รูปแบบการเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งเปียกที่ความเข้มข้นร้อยละ 6 ใน heating-cooling cycle ของแป้งมันเทศที่สกัดได้จากสายพันธุ์ โนริน 03 อายุการเก็บเกี่ยว 4 เดือน ที่ pH ต่าง ๆ

- pH 3.0
- pH 4.5
- pH 6.0
- pH 7.0
- pH 8.0



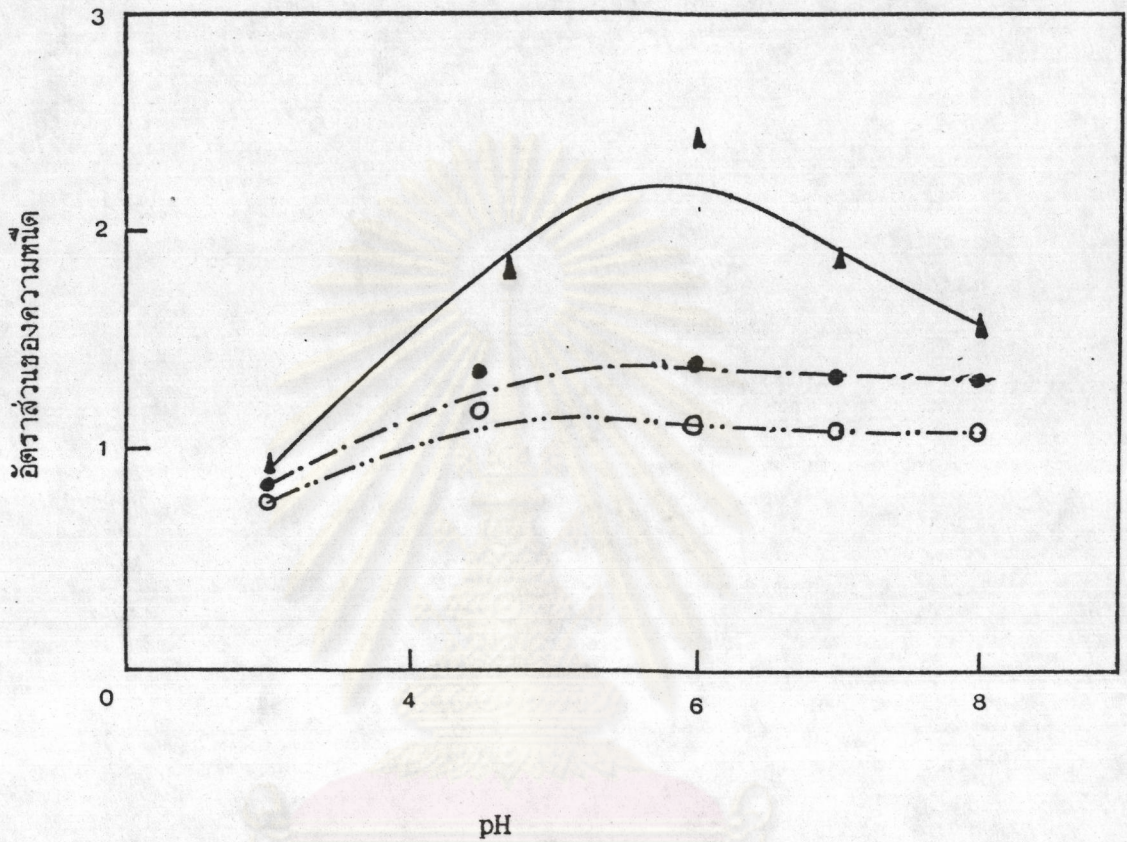
รูปที่ 4.28 รูปแบบการเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งเปียกที่ความเข้มข้นร้อยละ 6 ใน heating-cooling cycle ของแป้งข้าวโพด ที่ pH ต่าง ๆ

- pH 3.0
- pH 4.5
- pH 6.0
- pH 7.0
- pH 8.0



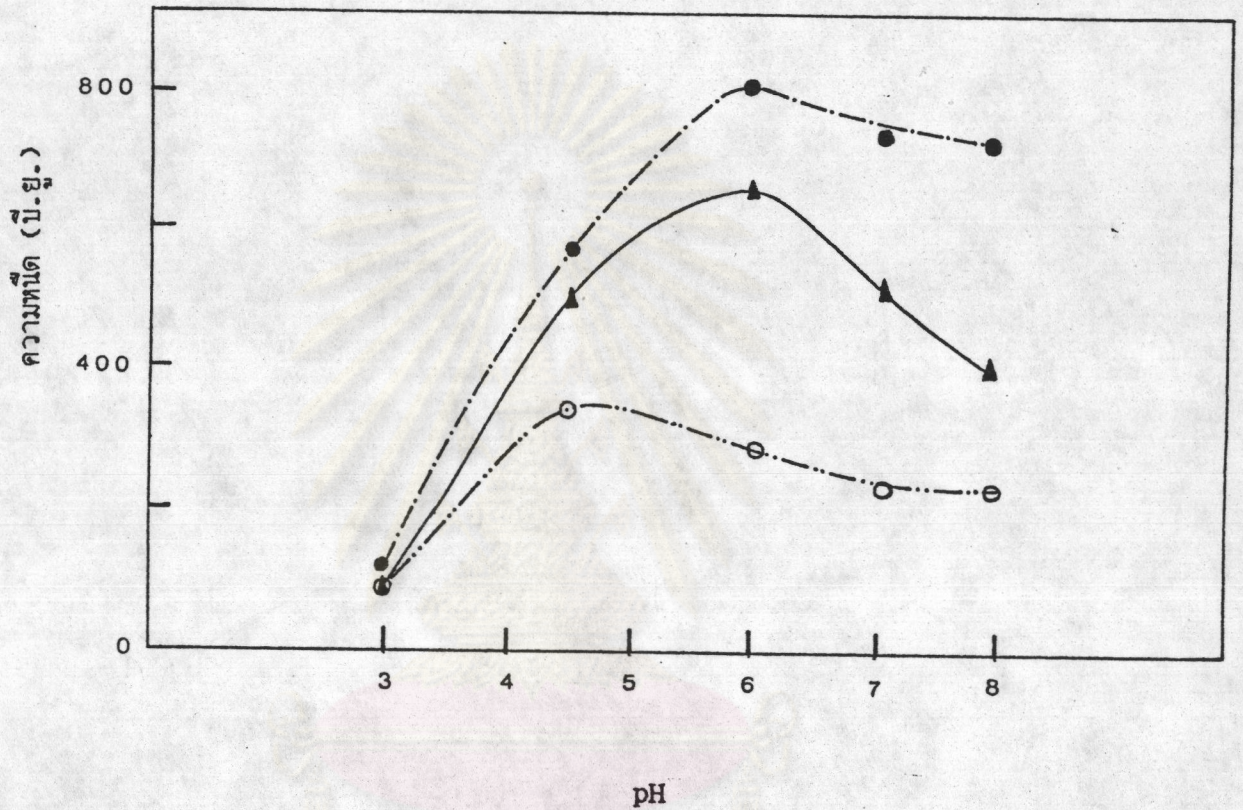
รูปที่ 4.29 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นเมื่อให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส นาน 30 นาทีแก่แป้งเปียกความเข้มข้นร้อยละ 6 และ pH ของน้ำแป้ง จากแป้งมันเทศที่สกัดได้และแป้งข้าวโพด

- · — · — แป้งมันเทศจากสายพันธุ์โอกูด
- · · · · แป้งมันเทศจากสายพันธุ์โนวิน 03 อายุการเก็บเกี่ยว 4 เดือน
- แป้งข้าวโพด



รูปที่ 4.30 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของความหนืดที่เพิ่มขึ้นในช่วง cooling cycle ของแป้งเปียกความเข้มข้นร้อยละ 6 และ pH ของน้ำแป้งจากแป้งมันเทศที่สกัดได้ และแป้งข้าวโพด

- แป้งมันเทศจากสายพันธุ์โกลด์
- แป้งมันเทศจากสายพันธุ์โนริน 03 อายุการเก็บเกี่ยว 4 เดือน
- แป้งข้าวโพด



รูปที่ 4.31 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดเมื่อสิ้นสุด heating-cooling cycle ของแป้งเปียกความเข้มข้นร้อยละ 6 และ pH ของน้ำแป้ง จากน้ำมันเตาที่สกัดได้ และแป้งข้าวโพด

- แป้งมันเทศจากสายพันธุ์โกลด์
- .-.-.- แป้งมันเทศจากสายพันธุ์โนริน 03 อายุการเก็บเกี่ยว 4 เดือน
- แป้งข้าวโพด

4.3.2 พฤติกรรมของแป้งเปียกที่ความเข้มข้นต่าง ๆ

Mazurs และคณะ (23) ได้ศึกษาพฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งเปียกที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ในช่วง heating-cooling cycle ด้วยเครื่อง Brabender visco-amylograph พบว่า ความเข้มข้นของแป้งเปียกมีผลต่อสมบัติการเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งเปียกใน heating-cooling cycle และได้กำหนดจุดวิเคราะห์จาก Brabender visco-amylogram 5 จุด คือที่ ความหนืดสูงสุดในช่วง heating cycle อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียสนาน 1 ชั่วโมง อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสนาน 1 ชั่วโมง และนำมาใช้พิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของแป้งเปียกกับความหนืดของจุดวิเคราะห์ดังกล่าว ในรายงานฉบับนี้จะเรียกกราฟความสัมพันธ์นี้ว่า กราฟแบบ Mazurs (Mazurs curve) ซึ่งประกอบด้วยกราฟ 5 เส้นตามจุดวิเคราะห์ที่กำหนดอิงกับการทดลองนี้ คือ

เส้นกราฟ A เป็นกราฟที่พิจารณาความหนืดที่จุดสูงสุดในช่วง heating

เส้นกราฟ B เป็นกราฟที่พิจารณาความหนืดที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส

เส้นกราฟ C เป็นกราฟที่พิจารณาความหนืดที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียสนาน 30 นาที

เส้นกราฟ D เป็นกราฟที่พิจารณาความหนืดที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส

เส้นกราฟ E เป็นกราฟที่พิจารณาความหนืดที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสนาน 30 นาที

ประโยชน์ที่ได้จากกราฟแบบ Mazurs คือการนำมาใช้พิจารณาในแง่การใช้งาน เช่น การพิจารณาเลือกความเข้มข้นของแป้ง เพื่อให้ได้ลักษณะปรากฏของแป้งเปียกที่ต้องการ เป็นต้น

จากการทดลองนี้พบว่า ความเข้มข้นของแป้งเปียกมีผลต่อรูปแบบการเปลี่ยนแปลงความหนืดในช่วง heating-cooling cycle ของแป้งมันเทศที่สกัดได้จากสายพันธุ์โอดุกและโนริน 03 อายุการเก็บเกี่ยว 4 เดือน และแป้งข้าวโพด (รูปที่ 4.32-4.34)

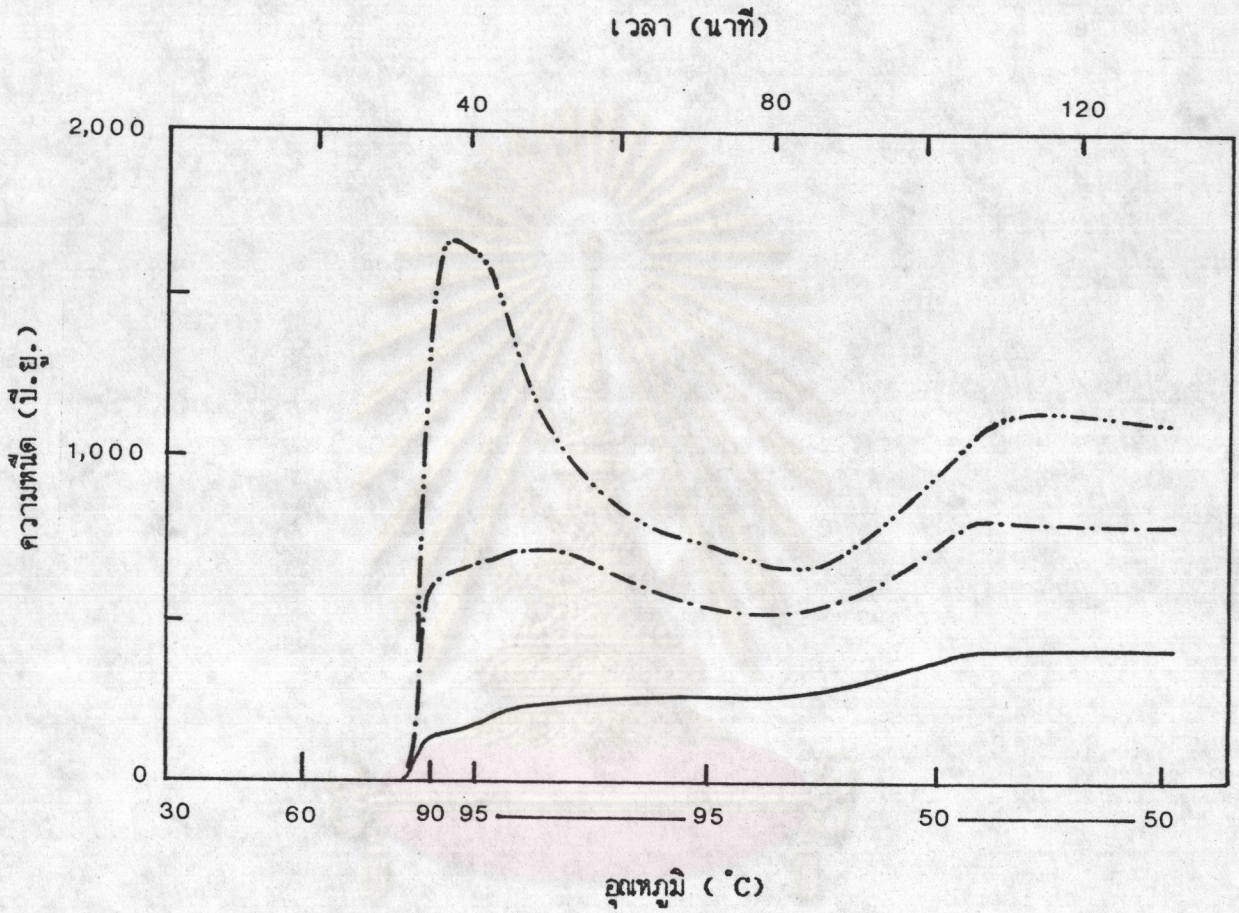
กล่าวคือเมื่อความเข้มข้นของแบริ่งสูงขึ้นจากร้อยละ 4 ถึง 8 ความหนืดสูงสุดในช่วง heating cycle จะเพิ่มขึ้นสูง หลังจากนั้นความหนืดจะลดลงมาก และการเพิ่มขึ้นของความหนืดในช่วง cooling cycle จะสูงขึ้นด้วย แบริ่งเปียกที่มีความเข้มข้นของแบริ่งต่ำจะมีความหนืดต่ำ แต่เสถียรภาพใน heating-cooling cycle มีแนวโน้มดีกว่าเมื่อมีความเข้มข้นของแบริ่งสูง

รูปที่ 4.35-4.36 แสดงลักษณะกราฟแบบ Mazurs ของแบริ่งมันเทศจากสายพันธุ์โอกูดและโนริน 03 ที่อายุการเก็บเกี่ยว 4 เดือน จะเห็นได้ว่า ที่ความเข้มข้นของแบริ่งเปียกในระดับเดียวกันแบริ่งมันเทศจากสายพันธุ์โอกูดมีความหนืดในทุกเส้นกราฟสูงกว่าสายพันธุ์โนริน 03 อายุการเก็บเกี่ยว 4 เดือน สำหรับแบริ่งข้าวโพดแสดงกราฟแบบ Mazurs ในรูปที่ 4.37

แบริ่งมันเทศจากสายพันธุ์โอกูด ไม่แสดงเส้นกราฟ A เนื่องจากจุดสูงสุดของความหนืดในช่วง heating cycle ปรากฏที่ความเข้มข้นสูง (ร้อยละ 8) และมีความหนืดมากกว่า 1,000 บี.ยู. ความหนืดของแบริ่งมันเทศชนิดนี้ (รูปที่ 4.32) สูงกว่าแบริ่งมันเทศที่สกัดมาจากสายพันธุ์โนริน 03 อายุการเก็บเกี่ยว 4 เดือน (รูปที่ 4.33) และแบริ่งข้าวโพด (รูปที่ 4.34) ที่ระดับความเข้มข้นเดียวกัน และเมื่อกวนสารละลายแบริ่งชนิดนี้ที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที พบว่า เมื่อความเข้มข้นของแบริ่งสูงขึ้นมีผลให้ความหนืดลดลงมาก สังเกตได้จากระยะห่างระหว่างเส้นกราฟ B และ C ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่าเสถียรภาพของแบริ่งเปียกชนิดนี้จะลดลงเมื่อความเข้มข้นของแบริ่งสูงขึ้น โดยมีเสถียรภาพต่อความหนืดได้ดีเมื่อใช้แบริ่งที่ความเข้มข้นน้อยกว่าหรือเท่ากับร้อยละ 6 และเมื่อพิจารณาระยะห่างระหว่างเส้นกราฟ C และ D ซึ่งช่วงนี้เป็นการลดอุณหภูมิจาก 95 องศาเซลเซียส เป็น 50 องศาเซลเซียส พบว่า เมื่อความเข้มข้นของแบริ่งเปียกสูงขึ้นจากร้อยละ 4 ถึง 8 ระยะห่างระหว่างเส้นกราฟ C และ D จะเพิ่มขึ้น แสดงว่า แบริ่งเกิดการคั่นตัวได้ดีขึ้น

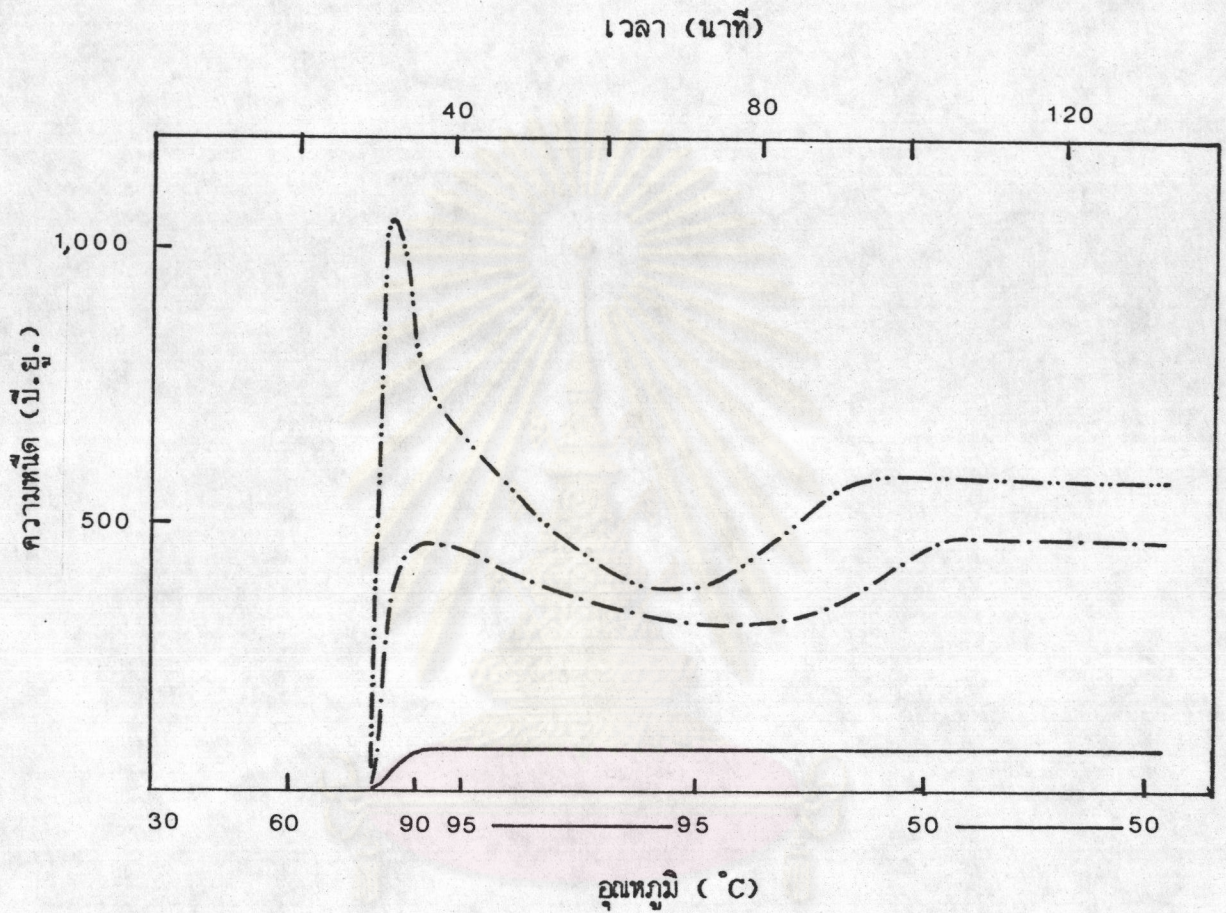
แบริ่งมันเทศจากสายพันธุ์โนริน 03 ที่อายุการเก็บเกี่ยว 4 เดือน พบว่ามี

เส้นกราฟ A (รูปที่ 4.36) เมื่อแป้งมีความเข้มข้นมากกว่าร้อยละ 6 จะมีผลให้เกิดจุดที่ทำให้ความหนืดสูงสุด (peak viscosity) ในช่วง heating หลังจากจุดความหนืดสูงสุดแล้วความหนืดจะลดลงที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส ซึ่งสังเกตได้จากระยะห่างของเส้นกราฟ A และเส้นกราฟ B ดังนั้นแป้งชนิดนี้จะมีเสถียรภาพต่อความร้อนเมื่อใช้แป้งที่ความเข้มข้นต่ำกว่าร้อยละ 6 หากใช้ความเข้มข้นสูงกว่านี้จะทำให้เสถียรภาพของแป้งต่อความร้อนลดลง เมื่อเปรียบเทียบเส้นกราฟ B และ C พบว่า ให้ลักษณะเช่นเดียวกับแป้งมันเทศจากสายพันธุ์โอกูด สำหรับความหนืดในช่วง cooling cycle เส้นกราฟ C และ D มีลักษณะแตกต่างจากของแป้งมันเทศจากสายพันธุ์โอกูด (รูปที่ 4.35) คือ ที่ความเข้มข้นต่ำ ความหนืดที่เพิ่มขึ้นจะมีแนวโน้มลดลงมากกว่าของสายพันธุ์โอกูด ซึ่งจะสังเกตได้จากระยะห่างของเส้นกราฟ C และ D ที่ความเข้มข้นร้อยละ 4 การลดอุณหภูมิจากอุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส เป็น 50 องศาเซลเซียส ไม่มีผลให้แป้งเปียกมีความหนืดเพิ่มขึ้น



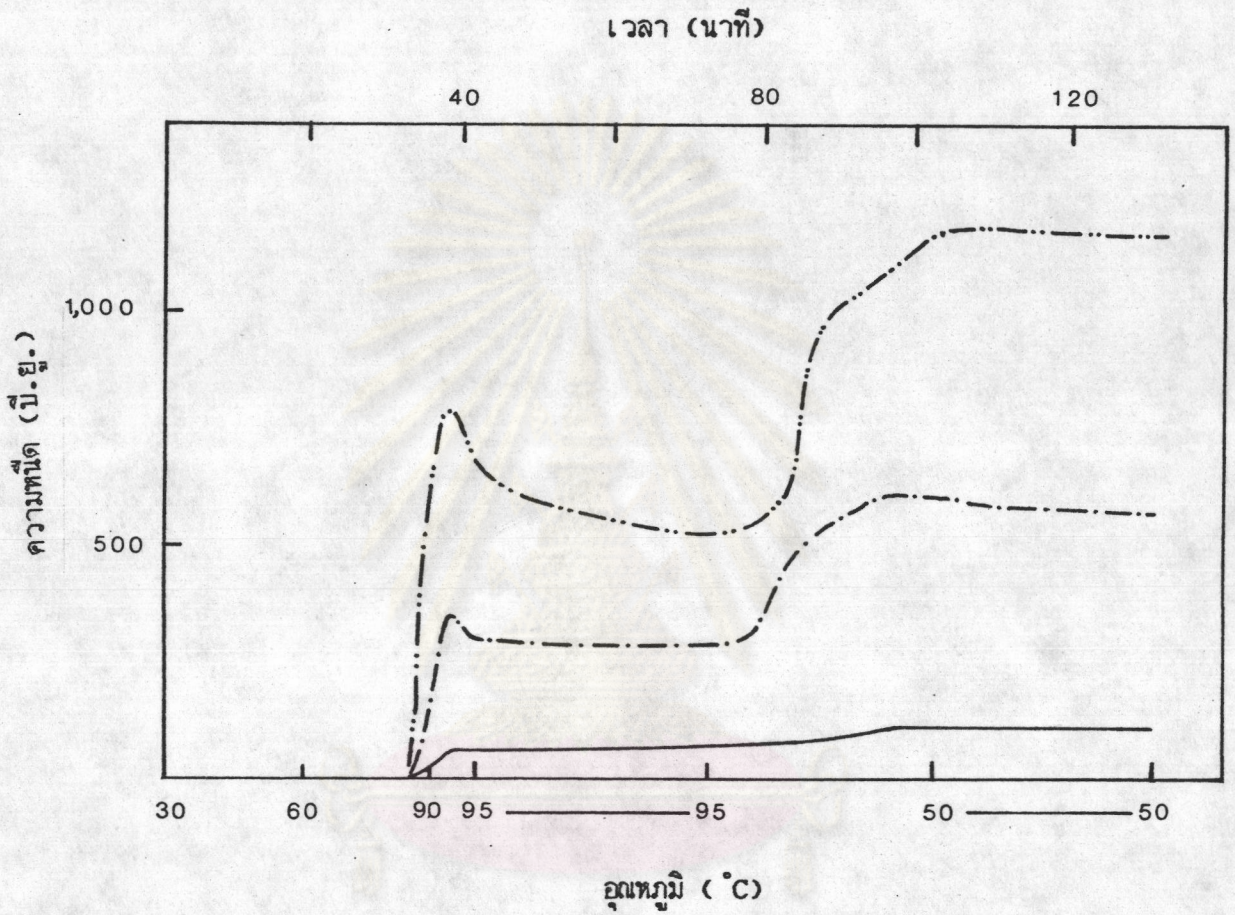
รูปที่ 4.32 รูปแบบการเปลี่ยนแปลงความหนืดใน heating-cooling cycle ของน้ำมันเตาจากสายพันธุ์โอกุล ที่ความเข้มข้นของแบริ่งเปียกร้อยละ 4 , 6 และ 8

- ร้อยละ 4
- - - - - ร้อยละ 6
- · - · - · ร้อยละ 8



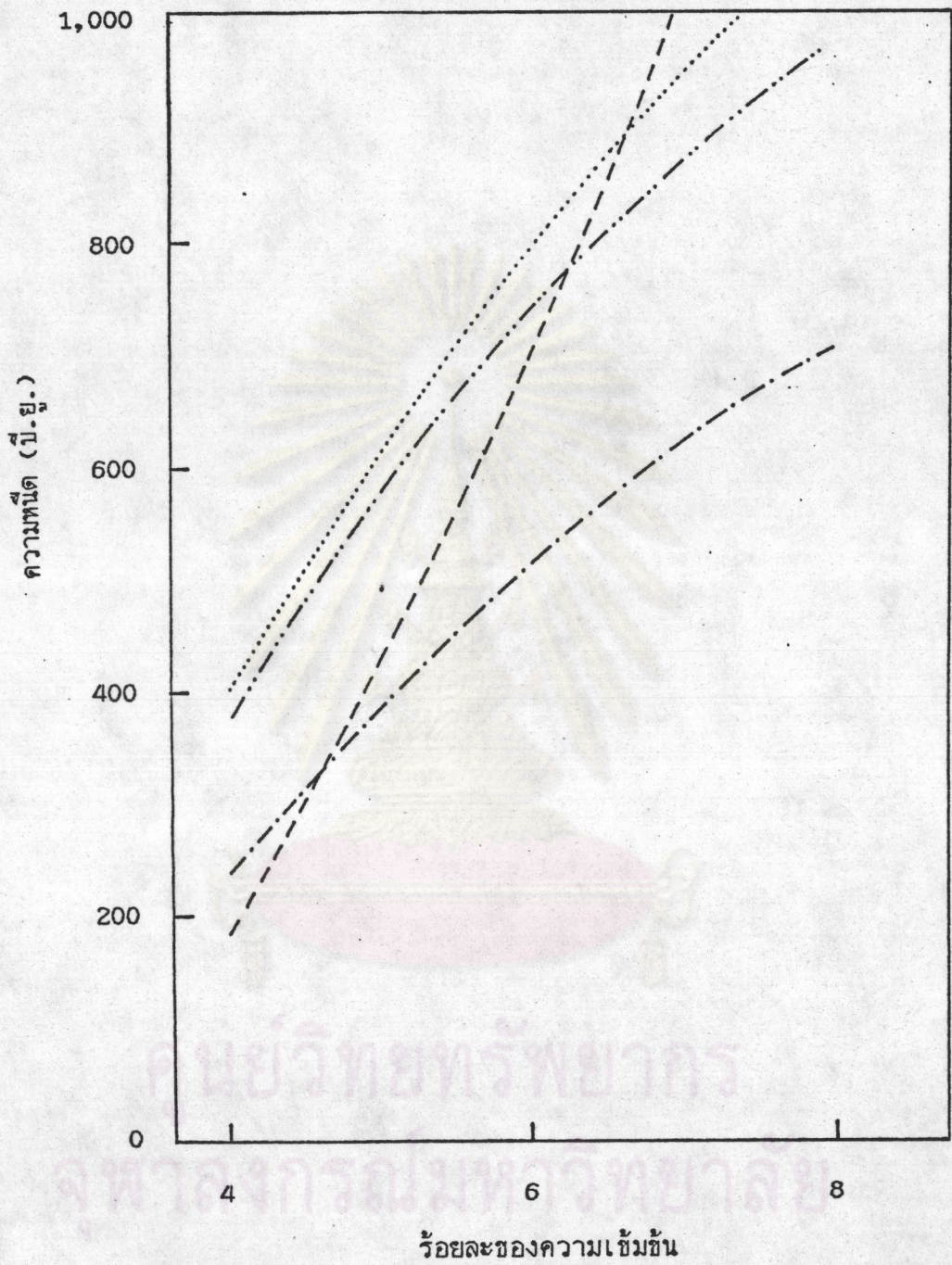
รูปที่ 4.33 รูปแบบการเปลี่ยนแปลงความหนืดใน heating-cooling cycle ของแป้งมันเทศจากสายพันธุ์โนริน 03 อายุการเก็บเกี่ยว 4 เดือน ที่ความเข้มข้นของแป้งเปียกร้อยละ 4 , 6 และ 8

- ร้อยละ 4
- - - - - ร้อยละ 6
- · - · - · ร้อยละ 8



รูปที่ 4.34 รูปแบบการเปลี่ยนแปลงความหนืดใน heating-cooling cycle ของแป้งข้าวโพด ที่ความเข้มข้นของแป้งเปียกร้อยละ 4 , 6 และ 8

- ร้อยละ 4
- · - · - ร้อยละ 6
- · · · · ร้อยละ 8



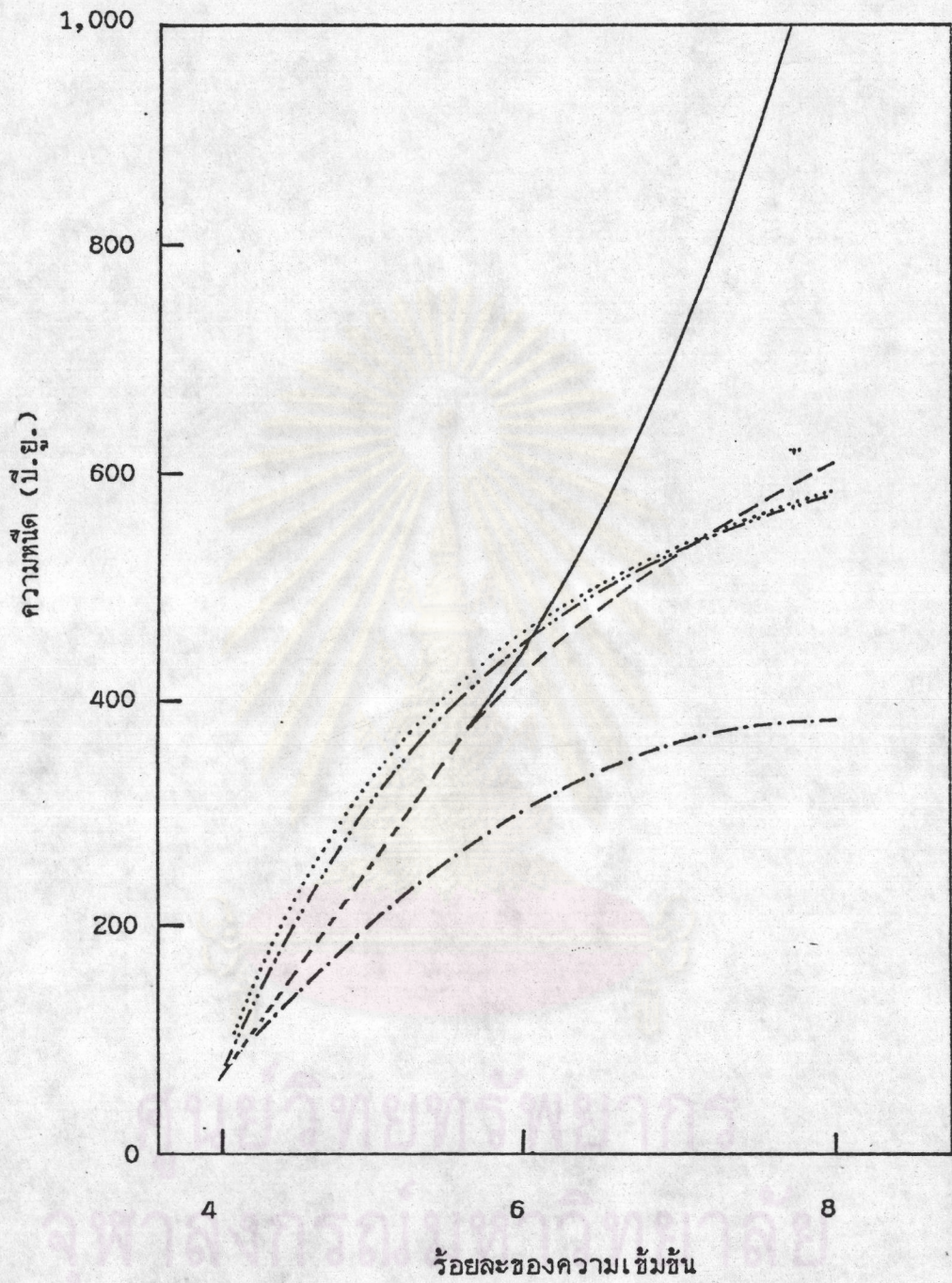
รูปที่ 4.35 กราฟแบบ Mazurs สำหรับแบ่งมันเทศจากสายพันธุ์โอกูด

----- เส้นกราฟ B

-.-.-.-.- เส้นกราฟ C

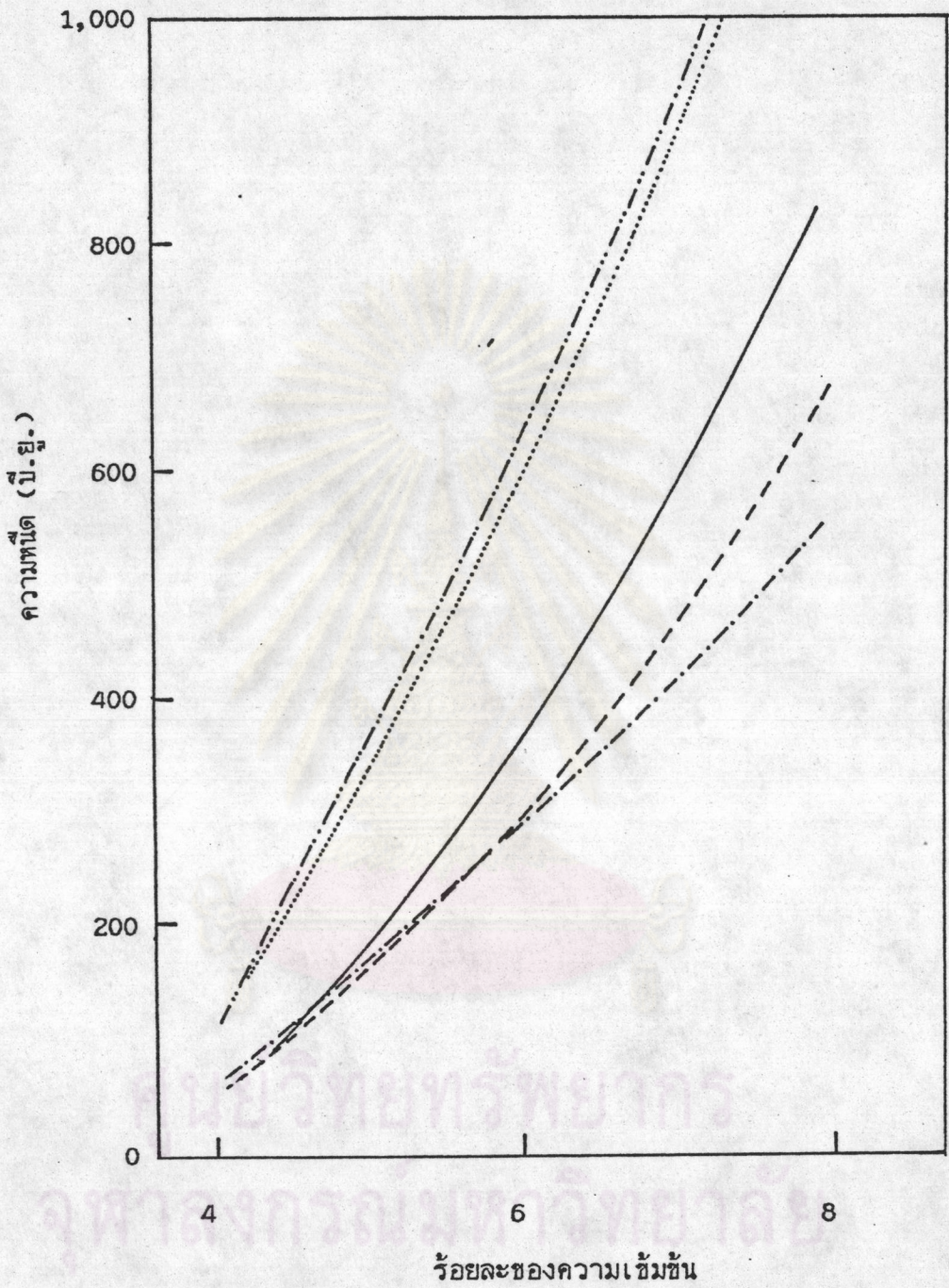
..... เส้นกราฟ D

..... เส้นกราฟ E



รูปที่ 4.36 กราฟแบบ Mazurs สำหรับแป้งมันเทศจากสายพันธุ์โนริน 03 อายุ การเก็บเกี่ยว 4 เดือน

- เส้นกราฟ A
- เส้นกราฟ B
- · - · - · เส้นกราฟ C
- เส้นกราฟ D
- เส้นกราฟ E



รูปที่ 4.37 กราฟแบบ Mazurs สำหรับแป้งข้าวโพด

- เส้นกราฟ A
- เส้นกราฟ B
- · - · - · เส้นกราฟ C
- · - · - · เส้นกราฟ D
- เส้นกราฟ E

4.3.3 เสถียรภาพความหนืดในการเก็บแป้งเปียก

จากการศึกษาเสถียรภาพความหนืดในการเก็บแป้งเปียกจากแป้งมันเทศ สายพันธุ์โนริน 03 ที่อายุการเก็บเกี่ยว 4 เดือน และ โลกุด ที่ความเข้มข้นร้อยละ 6 พบว่า ค่าเฉลี่ยของความหนืดที่เพิ่มขึ้นในขณะที่แป้งเปียกเย็นตัวลงจากอุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียสเป็น 25 องศาเซลเซียส และเมื่อเก็บแป้งเปียกนั้นไว้ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง (ตารางที่ 4.11) ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 จึงกล่าวได้ว่าแป้งมันเทศมีเสถียรภาพความหนืดในการเก็บได้ดีตามสภาวะทดสอบ และสำหรับ แป้งข้าวโพด พบว่า มีเสถียรภาพความหนืดที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ในเวลา 24 ชั่วโมง เช่นเดียวกับแป้งมันเทศที่ทดสอบ และให้ผลสอดคล้องกับการทดลองของ Schoch (22) ซึ่งพบว่า แป้งข้าวโพดเมื่อเก็บแป้งเปียกที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง ความหนืดของแป้งเปียกจะไม่เปลี่ยนแปลงมากนักหรือมีเสถียรภาพความหนืดในการเก็บ

อนึ่ง เมื่อพิจารณาความหนืดของแป้งเปียกที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส ก็พบว่า แป้งมันเทศที่สกัดมาจากสายพันธุ์ โลกุดให้ความหนืดสูงกว่าสายพันธุ์โนริน 03 ที่อายุการเก็บเกี่ยว 4 เดือน และให้ผลสอดคล้องกับการศึกษาการเปลี่ยนแปลงความหนืดใน heating-cooling cycle ด้วยเครื่อง Brabender visco-amylgraph ในหัวข้อที่ 4.3.2 คือ สัดส่วนของความหนืดที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียสของแป้งมันเทศจากสายพันธุ์ โลกุดและ โนริน 03 ที่อายุการเก็บเกี่ยว 4 เดือน เท่ากับ 1.98 ในขณะที่ผลจากหัวข้อ 4.3.2 ให้สัดส่วนของความหนืดที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียสของแป้งมันเทศจากสายพันธุ์ โลกุดและ โนริน 03 ที่อายุการเก็บเกี่ยว 4 เดือน เท่ากับ 1.63

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.11 ค่าเฉลี่ยความหนืดและผลต่างความหนืดของแป้งเปียกจากแป้งมันเทศและแป้งข้าวโพด ที่สภาวะทดสอบต่าง ๆ

ชนิดของแป้ง	ความหนืด (poise)			ผลต่างความหนืด(poise)	
	ที่ 90 °C	ที่ 25 °C	ที่ 25 °C 24 ชั่วโมง	ที่ 90 °C และ ที่ 25 °C	ที่ 90 °C และ ที่ 25 °C 24 ชั่วโมง
แป้งมันเทศ					
โอกูด ^{NS}	88.89	2,624.54	2,647.39	2,535.65	2,558.50
โนริน 03 ^{NS}	45.12	782.69	789.29	737.57	739.17
อายุการเก็บ เกี่ยว 4 เดือน					
แป้งข้าวโพด	36.92	1,768.08	1,829.34	1,731.16	1,792.42

NS หมายถึง ไม่มีความแตกต่างในค่าเฉลี่ยของผลต่างความหนืดระหว่างการลดอุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็น 25 องศาเซลเซียส และ 25 องศาเซลเซียส 24 ชั่วโมง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95