การเปรียบเทียบสมบัติทางเคมีและทางกายภาพของแป้งที่ได้จากพันธุ์ข้าวไทย และการผลิตมอลโทเดกซ์ทริน

นางสาว ชนินันท์ วรรธนะหทัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีทางอาหาร ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2542

ISBN 974-334-751-8

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I 19132 3[illegible]X

COMPARISON OF CHEMICAL AND PHYSICAL PROPERTIES OF FLOUR AMONG THAI RICE CULTIVARS AND ITS MALTODEXTRIN PRODUCTION

Miss Chaninun Wantanahatai

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Science in Food Technology

Department of Food Technology

Faculty of Science

Chulalongkorn University

Academic Year 1999

ISBN 974-334-751-8

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การเปรียบเทียบสมบัติทางเคมีและทางกายภาพของแป้งที่ได้จากพันธุ์ข้าวไทยและการผลิตมอลโทเดกซ์ทริน
โดย	นางสาว ชนินันท์ วรรธนะหทัย
ภาควิชา	เทคโนโลยีทางอาหาร
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร. วรรณา ตุลยธัญ
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ผู้ช่วยศาสตารจารย์ ดร. ศักดิ์ดา จงแก้ววัฒนา

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิทยาศาสตร์

(รองศาสตราจารย์ ดร. วันชัย โพธิ์พิจิตร)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร. ชัยยุทธ ธัญพิทยากุล)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(รองศาสตราจารย์ ดร. วรรณา ตุลยธัญ)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ศักดิ์ดา จงแก้ววัฒนา)

..... กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร. ปราณี อ่านเปรื่อง)

ชนินันท์ วรรธนะหทัย : การเปรียบเทียบสมบัติทางเคมีและทางกายภาพของแป้งที่ได้จากพันธุ์ข้าวไทย และการผลิตมอลโทเดกซ์ทริน. (COMPARISON OF CHEMICAL AND PHYSICAL PROPERTIES OF FLOUR AMONG THAI RICE CULTIVARS AND ITS MALTODEXTRIN PRODUCTION) อ. ที่ปรึกษา : รศ. ดร. วรรณา ตุลยธัญ, อ. ที่ปรึกษาร่วม : ผศ. ดร. ศักดิ์ดา จงแก้ววัฒนา, 211 หน้า. ISBN 974-334-751-8.

งานวิจัยนี้แบ่งการทดลองเป็น 2 ส่วน ส่วนที่ 1 ทำการผลิตแป้งโดยวิธีโม่แห้งจากข้าวที่คัดเลือกพันธุ์แล้ว 5 พันธุ์ ได้แก่ ขาวดอกมะลิ 105 ชัยนาท 1 เหนียวสันป่าตอง ก.วก. 1 และก่ำดอยสะเก็ด และศึกษาสมบัติทางเคมีและทางกายภาพของแป้งข้าวที่ผลิตได้ ส่วนที่ 2 นำแป้งข้าวมาผลิตเป็นผลิตภัณฑ์มอลโทเดกซ์ทรินเหลว (DE 15-20) และตรวจสอบองค์ประกอบของคาร์โบไฮเดรตมวลโมเลกุลต่ำโดยเฉพาะพวกที่มี degree of polymerization (DP) ในช่วง 1-7 โดยเทคนิค paper chromatography และหาปริมาณโดยใช้ HPLC

ผลการทดลองในส่วนแรกแสดงให้เห็นว่าพันธุ์ข้าวที่ต่างกันให้องค์ประกอบเคมี และสมบัติทางกายภาพแตกต่างกัน และให้ผลผลิตแป้งข้าวต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยพันธุ์ข้าวเหนียว (ข้าวเหนียวสันป่าตองและข้าวก่ำดอยสะเก็ด) ให้ผลผลิตแป้งข้าวสูงกว่าพันธุ์ข้าวเจ้า (ข้าว ก.วก. 1, ขาวดอกมะลิ 105 และ ชัยนาท1) ข้าวเหนียวมีความชื้น (10.01-10.10%) สูงกว่า แต่มีปริมาณอมัยโลส (3.70-5.25%) และไขมัน (0.89-1.07%) ต่ำกว่าข้าวเจ้า (9.82-9.98, 1.41-2.63 และ 18.50-29.64% ตามลำดับ) ผลการศึกษาครั้งนี้ชี้ให้เห็นว่าองค์ประกอบเคมีทำให้ความแข็งแรงภายในเมล็ดของข้าวต่างพันธุ์มีความต่างกัน และส่งผลให้สมบัติทางกายภาพของข้าวต่างพันธุ์มีความต่างกัน แป้งข้าวมีความสัมพันธ์ทางลบกับอมัยโลสและไขมันอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.01$) กำลังการพองตัวและการละลายของแป้งก็ให้ความสัมพันธ์ทางลบกับอมัยโลสและไขมัน อย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.01$) ขณะที่ pasting temperature ให้ความสัมพันธ์ทางบวกกับอมัยโลสและไขมัน อย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.01$)

การผลิตมอลโทเดกซ์ทรินเหลวให้มี DE 15-20 นั้น จากข้อมูลแสดงให้เห็นว่าข้าวต่างพันธุ์จะใช้เวลาในการย่อยต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) เวลาที่ใช้ในการย่อยของแป้งข้าว ก.วก. 1 แป้งข้าวเหนียวสันป่าตอง แป้งข้าวก่ำดอยสะเก็ด แป้งข้าวชัยนาท 1 และแป้งข้าวขาวดอกมะลิ 105 อยู่ในช่วง 11.07-22.38, 23.03-37.93, 24.65-39.76, 36.00-55.54 และ 39-79-58.22 นาที ตามลำดับ มอลโทเดกซ์ทรินจากแป้งข้าว ก.วก. 1, เหนียวสันป่าตอง และก่ำดอยสะเก็ด มีองค์ประกอบของน้ำตาล DP 3, 5 และ 6 เป็นหลัก ซึ่งปริมาณสัดส่วนของน้ำตาล DP 3, 5 และ 6 ในมอลโทเดกซ์ทรินจากแป้งข้าวทั้ง 3 พันธุ์ เรียงตามลำดับ คือ ร้อยละ 63.66, 59.56 และ 54.52 มอลโทเดกซ์ทรินจากแป้งข้าวชัยนาท 1 และแป้งข้าวขาวดอกมะลิ 105 มีองค์ประกอบของน้ำตาล DP 5, 6 และ 7 เป็นหลัก ในปริมาณร้อยละ 52.06 และ 51.63 ตามลำดับ มอลโทเดกซ์ทรินที่ผลิตจากแป้งข้าวเจ้า 2 พันธุ์นี้ให้ความขุ่นสูง ในขณะที่มอลโทเดกซ์ทรินจากแป้งข้าว ก.วก. 1, แป้งข้าวเหนียวสันป่าตอง และแป้งข้าวก่ำดอยสะเก็ดมีความใส แม้ทำการเก็บไว้ในอุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 2 เดือน นอกจากนี้ยังพบว่ามอลโทเดกซ์ทรินจากแป้งข้าวก่ำดอยสะเก็ดให้ผลิตภัณฑ์ใสสีชมพูอ่อน

ภาควิชา	เทคโนโลยีทางอาหาร	ลายมือชื่อนิสิต.....
สาขาวิชา	เทคโนโลยีทางอาหาร	ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....
ปีการศึกษา	2542	ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

3970371023 : MAJOR FOOD TECHNOLOGY

KEY WORD: RICE FLOUR / CULTIVARS / CHEMICAL PROPERTIES / PHYSICAL PROPERTIES / MALTODEXTRIN

CHANINUN WANTANAHATAI : COMPARISON OF CHEMICAL AND PHYSICAL PROPERTIES OF FLOUR AMONG THAI RICE CULTIVARS AND ITS MALTADEXTRIN PRODUCTION. THESIS ADVISOR : ASSO. PROF. VANNA TULYATUN, THESIS COADVISER : ASSIST. PROF. SAKDA JONGKAEWWATTANA, 211 pp. ISBN 974-334-751-8

This study consisted of two experimental parts. The first part was production of flour from five selected rice cultivars, namely Kao Dok Mali 105. Chainat 1, DOA 1, Niew Sunpatong and Kum Doi Saket, by dry milling and their chemical and physical properties were analysed. The second part was production of liquid maltodextrin (DE 15-20). Carbohydrate composition of the maltodextrin especially those with degree of polymerization (DP) in the range of 1 to 7 were seperated and identified by paper chromatagraphy technique and quantified by HPLC.

The result of the first part indicated that rice cultivars had significantly difference ($p<0.05$) chemical and physical properties and gave difference flour yield. Waxy rice cultivars (Niew Sunpatong and Kum Doy Saket) gave higher flour yield than normal rice cultivars (DOA 1, Kao Dok Mali 105 and Chainat 1). Waxy rice had higher moisture content (10.01-10.10%) but gave lower amylose (3.70-5.25%) and fat content (0.89-1.07%) than normal rice (9.82-9.98, 1.41-2.63 and 18.50-29.64% respectively). Evidence indicated that chemical composition lead to the difference of internal grain strength of rice cultivars and hence their physical properties. Rice flour yield negatively correlated with amylose and fat ($p<0.01$). Swelling power and soluble of flour negatively correlated with amylose and fat ($p<0.01$). Pasting temperature positively correlated with amylose and fat ($p<0.01$).

For the production of liquid maltodextrin with DE 15-20, data showed that time of hydrolysis was signifinantly difference among rice cultivars. Time of hydrolysis for DOA 1, Niew Sunpatong, Kum Doy Saket, Chainat 1 and Kao Dok Mali 105 were 11.07-22.38, 23.03-37.93, 24.65-39.76, 36.00-55.54 and 39.79-58.22 min., respectively. Maltodextrin from DOA 1, Niew Sunpatong and Kum Doy Saket contained major saccharides in the DP of 3, 5 and 6. The amount of major saccharides (DP 3, 5 and 6) in maltodextrin from DOA 1, Niew Sunpatong and Kum Doy Saket were 63.66, 59.56 and 54.42% respectively. While those from Chainat1 and Kao Dok Mali105 contained major saccharides with DP 5, 6 and 7 in the amount of 52.06 and 51.63% respectively and gave turbidity products. Even storing in fifteen Celsius degree for two month, maltodextrin from the other cultivars gave clear products and found that Kum Doy Saket's maltodextrin gave clear and pink color.

ภาควิชา เทคโนโลยีทางอาหาร ลายมือชื่อนิสิต.....

สาขาวิชา เทคโนโลยีทางอาหาร ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....

ปีการศึกษา 2542 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยได้รับแนวคิดริเริ่มในงานวิจัย และแนวการเขียนวิทยานิพนธ์ ตลอดจนความช่วยเหลือ สนับสนุน และเอาใจใส่อย่างดียิ่งจากรองศาสตารจารย์ ดร. วรรณา ตุลยธัญ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ศักดิ์ดา จงแก้ววัฒนา งานวิจัยครั้งนี้จึงสำเร็จลงด้วยดี รวมทั้งได้ความคิดที่ช่วยให้ผู้เขียนมีทัศนะกว้างขึ้นจาก รองศาสตาราจารย์ ดร. ปราณี อ่านเปรื่อง ได้ความช่วยเหลือกลั่นกรองให้งานวิจัยมีคุณค่ายิ่งขึ้นจากรองศาสตารจารย์ ดร. ชัยยุทธ ธัญพิทยากุล ผู้วิจัยซาบซึ้งเป็นอย่างยิ่ง จึงขอกราบขอบพระคุณทุกท่านเป็นอย่างสูง

ขอบพระคุณคณาจารย์ในภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหารทุกท่านที่กรุณาประสิทธิประสาทความรู้ให้แก่ผู้วิจัย ซึ่งเป็นรากฐานอย่างดียิ่งในการศึกษาค้นคว้างานวิจัยในครั้งนี้

ขอขอบพระคุณคุณวิมลมาศ พวงนาค ซึ่งกรุณาอำนวยความสะดวก ติดต่อให้ใช้สถานที่และเครื่องมือในการวิเคราะห์โปรตีนของโรงงานยาสูบ และขอบพระคุณ คุณวไลภรณ์ ธนาเพิ่มสุข ซึ่งอำนวยความสะดวกตลอดระยะเวลาที่ผู้วิจัยดำเนินงานวิจัยที่โรงงานยาสูบ

ขอบพระคุณ Dr. Junnichi Tanaka จาก University of the Ryukyus ประเทศญี่ปุ่น ซึ่งเป็นธุระเอื้อเฟื้อให้ตัวอย่างน้ำตาลมวลโมเลกุลต่ำที่ใช้ในงานวิจัยนี้ และติดต่อสั่งซื้อน้ำตาลให้ ขอบพระคุณคุณสุนันท์ รังษีกาญจน์ส่อง เจ้าหน้าที่ประจำศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีที่อำนวยความสะดวกในการวิเคราะห์ HPLC

ขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการทุกท่าน ซึ่งอำนวยความสะดวกในด้านต่างๆ

และเนื่องจากทุนวิจัยครั้งนี้บางส่วนได้รับมาจากทุนอุดหนุนการวิจัยของบัณฑิตวิทยาลัย จึงขอขอบพระคุณบัณฑิตวิทยาลัยมา ณ ที่นี้ด้วย

ขอขอบใจเพื่อนๆ และน้องปริญญาโทในภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร ซึ่งเป็นกำลังใจ และให้ความช่วยเหลือในทุกด้านอย่างดียิ่ง และสำหรับผู้มีส่วนช่วยเหลือซึ่งผู้วิจัยมิได้กล่าวนาม ก็ขอได้รับความขอบคุณจากผู้วิจัยไว้ ณ โอกาสนี้

ท้ายที่สุดนี้ ผู้วิจัยกราบขอบพระคุณคุณพ่อ คุณแม่ ซึ่งกรุณาให้ความเมตตาความช่วยเหลือ สนับสนุน ทั้งยังเป็นแรงใจให้แก่ผู้วิจัยตลอดมา

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....จ
กิตติกรรมประกาศ.....ฉ
สารบัญตาราง.....ช
สารบัญรูป.....ฌ
บทที่
1. บทนำ.....1
2. วารสารปริทัศน์.....4
3. การดำเนินงานวิจัย.....50
4. ผลการทดลอง.....64
5. วิจารณ์ผลการทดลอง.....122
6. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....147
รายการอ้างอิง.....153
ภาคผนวก
ภาคผนวก ก.....167
ภาคผนวก ข.....170
ภาคผนวก ค.....173
ภาคผนวก ง.....182
ภาคผนวก จ.....185
ภาคผนวก ฉ.....197
ภาคผนวก ช.....199
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....211

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

2.1 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของข้าวกล้องและข้าวสาร ที่รวบรวมจากรายงานการวิจัย.....11
2.2 สมบัติทางโครงสร้างของอมัยโลสจากข้าว.....13
2.3 สมบัติทางโครงสร้างของอมัยโลเพคติน.....15
2.4 มอลโทเดกซ์ทรินทางการค้าบางชนิด.....38
2.5 ค่า DE และแบบแผนโมเลกุลคาร์โบไฮเดรตของมอลโทเดกซ์ทรินที่ได้จากการผลิต โดยการใช้เอนไซม์ α-amylase แบบขั้นตอนเดียวย่อยแป้งข้าว.....47
2.6 แบบแผนโมเลกุลคาร์โบไฮเดรตของผลิตภัณฑ์มอลโทเดกซ์ทรินที่ผลิตโดยการใช้เอนไซม์ α-amylase แบบ 2 ขั้นตอน แสดงในรูป degree of polymerization (DP).....48
4.1 ร้อยละผลผลิตแป้งข้าวที่ได้จากข้าวสารพันธุ์ต่างๆโดยวิธีโม่แห้ง.....64
4.2 ร้อยละผลผลิตของแป้งข้าวที่ได้จากข้าวเจ้าและข้าวเหนียว.....65
4.3 ร้อยละความชื้นของเมล็ดข้าวทั้ง 5 พันธุ์.....66
4.4 องค์ประกอบทางเคมีของแป้งข้าวทั้ง 5 พันธุ์ * เปรียบเทียบกับองค์ประกอบเคมี ของข้าวสารและข้าวกล้องที่ได้จากงานวิจัยอื่น.....67
4.5 ปริมาณอมัยโลส และอมัยโลเพคตินของแป้งข้าวทั้ง 5 พันธุ์ *.....68
4.6 ประเภทของแป้งข้าวทั้ง 5 พันธุ์ตามการแบ่งโดยใช้เกณฑ์อมัยโลสของ Juliano (1992)...69
4.7 ค่าสหสัมพันธ์ (r) ระหว่างปริมาณผลผลิตที่ได้กับองค์ประกอบทางเคมีของแป้งข้าว จากการวิเคราะห์โดย Pearson's correlatcn analysis 70
4.8 ค่าสหสัมพันธ์ขององค์ประกอบทางเคมีของแป้งข้าวทั้ง 5 พันธุ์ จากการวิเคราะห์ โดย Pearson's correlation analysis 75
4.9 ค่าสหสัมพันธ์ขององค์ประกอบทางเคมีของแป้งข้าวเจ้า 3 พันธุ์ จากการวิเคราะห์ โดย Pearson's correlation analysis 76
4.10 ค่าสหสัมพันธ์ขององค์ประกอบทางเคมีของแป้งข้าวเหนียว 2 พันธุ์ จากการวิเคราะห์ โดย Pearson's correlation analysis 78
4.11 กำลังการพองตัวของเม็ดสตาร์ชจากแป้งข้าวทั้ง 5 พันธุ์ที่อุณหภูมิต่างๆ.....80
4.12 ร้อยละการละลายของเม็ดสตาร์ชจากแป้งข้าวทั้ง 5 พันธุ์ที่อุณหภูมิต่างๆ.....80

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ **หน้า**

4.13 กำลังการพองตัวของเม็ดสตาร์ชจากแป้งข้าวเจ้าและแป้งข้าวเหนียว.....82
4.14 ร้อยละการละลายของเม็ดสตาร์ชจากแป้งข้าวเจ้าและแป้งข้าวเหนียว.....82
4.15 Pasting properties ของแป้งข้าวทั้ง 5 พันธุ์ที่ความเข้มข้นน้ำแป้ง
ร้อยละ 8 โดยน้ำหนักแห้ง.....91
4.16 ค่าเฉลี่ย Pasting properties ของแป้งข้าวเจ้าและแป้งข้าวเหนียวที่ความเข้มข้น
น้ำแป้งร้อยละ 8 โดยน้ำหนักแห้ง.....92
4.17 ค่าสหสัมพันธ์ (r) ระหว่างกำลังการพองตัวที่อุณหภูมิต่างๆของแป้งข้าวทั้ง 5 พันธุ์
กับองค์ประกอบทางเคมี จากการวิเคราะห์โดย Pearson's correlation analysis.....94
4.18 ค่าสหสัมพันธ์ (r) ระหว่างร้อยละการละลายที่อุณหภูมิต่างๆของแป้งข้าวทั้ง 5 พันธุ์
กับองค์ประกอบทางเคมี จากการวิเคราะห์โดย Pearson's correlation analysis.....95
4.19 ค่าสหสัมพันธ์ (r) ระหว่าง pasting properties บางค่าจากแป้งข้าวกับองค์ประกอบทางเคมี
จากการวิเคราะห์โดย Pearson's correlation analysis.....98
4.20 สรุปผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ (analysis of varience) ระหว่าง
พันธุ์ข้าว และตัวแปรสมบัติทางเคมีและทางกายภาพ.....100
4.21 ค่า DE จากแป้งข้าวที่ผ่านการย่อยด้วย Termamyl 120L® ณ เวลาต่างๆ.....102
4.22 เวลาที่ใช้ในการผลิตมอลโทเดกซ์ทรินที่มีค่า DE 15 – 20 ของแป้งข้าวพันธุ์ต่างๆ
(คำนวณจากสมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการย่อยกับค่า DE
ของแป้งข้าวพันธุ์ต่างๆ).....104
4.23 ลักษณะปรากฏและค่า L, a, b ของมอลโทเดกซ์ทรินเหลวที่มีค่า DE ในช่วง 15-20.....107
4.24 Solvent ทั้ง 5 ระบบที่ใช้ในการทดลองแยกองค์ประกอบของน้ำตาลมวลโมเลกุลต่ำ
(DP1-7) ในผลิตภัณฑ์มอลโทเดกซ์ทริน.....108
4.25 ค่าเฉลี่ย* R_f มาตรฐานของน้ำตาล DP 1 ถึง 7 และสารละลายผสมของน้ำตาล
DP 1-7 เมื่อใช้ Solvent ชนิดต่างๆ ทำการ develop 1 ครั้ง แล้วตรวจสอบค่า R_f 109
4.26 ค่าเฉลี่ย* R_f มาตรฐานของน้ำตาล DP 1 ถึง 7 และสารละลายผสมของน้ำตาล
DP 1-7 เมื่อใช้ Solvent ชนิดต่างๆ ทำการ develop 2 ครั้ง แล้วตรวจสอบค่า R_f 109

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ **หน้า**

4.27 ค่าเฉลี่ย* R_f มาตรฐานของน้ำตาล DP 1 ถึง 7 และสารละลายผสมของน้ำตาล DP 1-7 เมื่อใช้ Solvent ชนิดต่างๆ ทำการ develop 3 ครั้ง แล้วตรวจสอบค่า R_f 110

4.28 ค่าเฉลี่ย* R_f มาตรฐานของน้ำตาล DP 1 ถึง 7 และสารละลายผสมของน้ำตาล DP 1-7 เมื่อใช้ Solvent ชนิดต่างๆ ทำการ develop 4 ครั้ง แล้วตรวจสอบค่า R_f 110

4.29 ค่าเฉลี่ย* R_f มาตรฐานของน้ำตาล DP 1 ถึง 7 และสารละลายผสมของน้ำตาล DP 1-7 เมื่อใช้ Solvent ชนิดต่างๆ ทำการ develop 5 ครั้ง แล้วตรวจสอบค่า R_f 111

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.....112

4.31 ค่าเฉลี่ย* R_f ของสารละลายผสมน้ำตาล DP 1-7 เปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ย* R_f จากมอลโทเดกซ์ทรินที่ได้จากแป้งข้าว 5 พันธุ์ (develop 5 ครั้ง) โดยใช้ solvent ระบบที่ 3 คือ isopropanol: pyridine: H_2O ในอัตราส่วน 7: 2: 2 โดยปริมาตร.....112

4.32 ค่าเฉลี่ย* R_f ของสารละลายผสมน้ำตาล DP 1-7 เปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ย* R_f จากมอลโทเดกซ์ทรินที่ได้จากแป้งข้าว 5 พันธุ์ (develop 5 ครั้ง) โดยใช้ solvent ระบบที่ 4 คือ isoamyl alcohol: pyridine: H_2O ในอัตราส่วน 7: 7: 6 โดยปริมาตร.....113

4.33 ค่าเฉลี่ย* R_f ของสารละลายผสมน้ำตาล DP 1-7 เปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ย* R_f จากมอลโทเดกซ์ทรินที่ได้จากแป้งข้าว 5 พันธุ์ (develop 5 ครั้ง) โดยใช้ solvent ระบบที่ 5 คือ ethyl acetate: n-butanol: acetic acid: H_2O ในอัตราส่วน 6: 8: 5: 8 โดยปริมาตร.....114

4.34 ค่าเฉลี่ย*ปริมาณน้ำตาล DP 1-7 ของมอลโทเดกซ์ทรินจากแป้งข้าว 5 พันธุ์.....119

4.35 ค่าเฉลี่ย*สัดส่วนน้ำตาลมวลโมเลกุลต่ำ DP 1-7 ของมอลโทเดกซ์ทรินจากแป้งข้าว.....119

จ.1 Solvent ทั้ง 4 ระบบที่ใช้ในการทดลองแยกองค์ประกอบของน้ำตาลมวลโมเลกุลต่ำ (DP1-7) ในผลิตภัณฑ์มอลโทเดกซ์ทริน.....193

ฉ.1 % liquefied starch จากแป้งข้าวที่ผ่านการย่อยด้วย Termamyl 120L® 197

ฉ.2 ร้อยละของแข็งจากแป้งข้าวที่ผ่านการย่อยด้วย Termamyl 120L® ณ เวลาต่างๆ.....198

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ **หน้า**

ฉ.3 ร้อยละน้ำตาลรีดิวซ์จากแป้งข้าวที่ผ่านการย่อยด้วย Termamyl 120L® ณ เวลาต่างๆ.....198
ช.1 ANOVA TABLE ของร้อยละผลผลิตจากแป้งข้าว 5 พันธุ์.....199
ช.2 ANOVA TABLE ของผลผลิตจากแป้งข้าวและแป้งข้าวเหนียว.....199
ช.3 ANOVA TABLE ของความชื้นภายในเมล็ดจากแป้งข้าว 5 พันธุ์.....199
ช.4 ANOVA TABLE ของปริมาณคาร์โบไฮเดรตจากแป้งข้าว 5 พันธุ์.....199
ช.5 ANOVA TABLE ของปริมาณโปรตีนจากแป้งข้าว 5 พันธุ์.....200
ช.6 ANOVA TABLE ของปริมาณไขมันจากแป้งข้าว 5 พันธุ์.....200
ช.7 ANOVA TABLE ของปริมาณเส้นใยจากแป้งข้าว 5 พันธุ์.....200
ช.8 ANOVA TABLE ของปริมาณเถ้าจากแป้งข้าว 5 พันธุ์.....200
ช.9 ANOVA TABLE ของปริมาณอมัยโลสจากแป้งข้าว 5 พันธุ์.....201
ช.10 ANOVA TABLE ของกำลังการพองตัวที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส จากแป้งข้าว 5 พันธุ์.....201
ช.11 ANOVA TABLE ของกำลังการพองตัวที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส จากแป้งข้าว 5 พันธุ์.....201
ช.12 ANOVA TABLE ของกำลังการพองตัวที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส จากแป้งข้าว 5 พันธุ์.....201
ช.13 ANOVA TABLE ของกำลังการพองตัวที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส จากแป้งข้าว 5 พันธุ์.....202
ช.14 ANOVA TABLE ของกำลังการพองตัวที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส จากแป้งข้าว 5 พันธุ์.....202
ช.15 ANOVA TABLE ของร้อยละการละลายที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส จากแป้งข้าว 5 พันธุ์.....202
ช.16 ANOVA TABLE ของร้อยละการละลายที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส จากแป้งข้าว 5 พันธุ์.....202
ช.17 ANOVA TABLE ของร้อยละการละลายที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส จากแป้งข้าว 5 พันธุ์.....203

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ **หน้า**

ช.18 ANOVA TABLE ของร้อยละการละลายที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส
จากแป้งข้าว 5 พันธุ์.....203
ช.19 ANOVA TABLE ของร้อยละการละลายที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส
จากแป้งข้าว 5 พันธุ์.....203
ช.20 ANOVA TABLE ของค่ากำลังการพองตัวที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส
เมื่อแยกพิจารณาเป็นแป้งข้าวเจ้าและแป้งข้าวเหนียว.....203
ช.21 ANOVA TABLE ของค่ากำลังการพองตัวที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส
เมื่อแยกพิจารณาเป็นแป้งข้าวเจ้าและแป้งข้าวเหนียว.....204
ช.22 ANOVA TABLE ของค่ากำลังการพองตัวที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส
เมื่อแยกพิจารณาเป็นแป้งข้าวเจ้าและแป้งข้าวเหนียว.....204
ช.23 ANOVA TABLE ของค่ากำลังการพองตัวที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส
เมื่อแยกพิจารณาเป็นแป้งข้าวเจ้าและแป้งข้าวเหนียว.....204
ช.24 ANOVA TABLE ของค่ากำลังการพองตัวที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส
เมื่อแยกพิจารณาเป็นแป้งข้าวเจ้าและแป้งข้าวเหนียว.....204
ช.25 ANOVA TABLE ของร้อยละการละลายที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส
เมื่อแยกพิจารณาเป็นแป้งข้าวเจ้าและแป้งข้าวเหนียว.....205
ช.26 ANOVA TABLE ของร้อยละการละลายที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส
เมื่อแยกพิจารณาเป็นแป้งข้าวเจ้าและแป้งข้าวเหนียว.....205
ช.27 ANOVA TABLE ของร้อยละการละลายที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส
เมื่อแยกพิจารณาเป็นแป้งข้าวเจ้าและแป้งข้าวเหนียว.....205
ช.28 ANOVA TABLE ของร้อยละการละลายที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส
เมื่อแยกพิจารณาเป็นแป้งข้าวเจ้าและแป้งข้าวเหนียว.....205
ช.29 ANOVA TABLE ของร้อยละการละลายที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส
เมื่อแยกพิจารณาเป็นแป้งข้าวเจ้าและแป้งข้าวเหนียว.....206
ช.30 ANOVA TABLE ของ pasting temperature จากแป้งข้าว 5 พันธุ์.....206
ช.31 ANOVA TABLE ของ peak temperature จากแป้งข้าว 5 พันธุ์.....206

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ **หน้า**

ช.32 ANOVA TABLE ของ pasting viscosity จากแป้งข้าว 5 พันธุ์.....206
ช.33 ANOVA TABLE ของค่าความหนืดที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส
จากแป้งข้าว 5 พันธุ์.....207
ช.34 ANOVA TABLE ของค่าความหนืดที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียสหลังคงที่ไว้
20 นาที จากแป้งข้าว 5 พันธุ์.....207
ช.35 ANOVA TABLE ของค่าความหนืดที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส
จากแป้งข้าว 5 พันธุ์.....207
ช.36 ANOVA TABLE ของค่าความหนืดที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสหลังคงที่ไว้
20 นาที จากแป้งข้าว 5 พันธุ์.....207
ช.37 ANOVA TABLE ของค่า breakdown จากแป้งข้าว 5 พันธุ์.....208
ช.38 ANOVA TABLE ของค่า setback จากแป้งข้าว 5 พันธุ์.....208
ช.39 ANOVA TABLE ของ pasting temperature เมื่อแยกพิจารณาเป็น
แป้งข้าวเจ้าและแป้งข้าวเหนียว.....208
ช.40 ANOVA TABLE ของ peak temperature เมื่อแยกพิจารณาเป็น
แป้งข้าวเจ้าและแป้งข้าวเหนียว.....208
ช.41 ANOVA TABLE ของ pasting viscosity เมื่อแยกพิจารณาเป็น
แป้งข้าวเจ้าและแป้งข้าวเหนียว.....209
ช.42 ANOVA TABLE ของค่าความหนืดที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส เมื่อแยก
พิจารณาเป็นแป้งข้าวเจ้าและแป้งข้าวเหนียว.....209
ช.43 ANOVA TABLE ของค่าความหนืดที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียสหลังคงที่ไว้
20 นาที เมื่อแยกพิจารณาเป็นแป้งข้าวเจ้าและแป้งข้าวเหนียว.....209
ช.44 ANOVA TABLE ของค่าความหนืดที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส
เมื่อแยกพิจารณาเป็นแป้งข้าวเจ้าและแป้งข้าวเหนียว.....209
ช.45 ANOVA TABLE ของค่าความหนืดที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสหลังคงที่ไว้
20 นาที เมื่อแยกพิจารณาเป็นแป้งข้าวเจ้าและแป้งข้าวเหนียว.....210

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ **หน้า**

ช.46 ANOVA TABLE ของค่า breakdown เมื่อแยกพิจารณาเป็น
แป้งข้าวเจ้าและแป้งข้าวเหนียว.....210
ช.47 ANOVA TABLE ของค่า setback เมื่อแยกพิจารณาเป็นแป้งข้าวเจ้า
และแป้งข้าวเหนียว.....210

สารบัญรูป

รูปที่ **หน้า**

2.1 โครงสร้างของเมล็ดข้าว....4

2.2 กระบวนการผลิตฟลาวร์ข้าว....10

2.3 ลักษณะโครงสร้างของอมัยโลเพคตินที่ประกอบด้วยส่วนผลึก (1) และส่วนอสันฐาน (2)..12

2.4 แบบจำลองล่าสุดของอมัยโลเพคติน....14

2.5 ลักษณะโครงสร้างเกลียวคู่ของอมัยโลเพคติน....14

2.6 แบบจำลองการจับตัวของอมัยโลสกับสารอินทรีย์....17

2.7 แบบจำลองโครงสร้างของอมัยโลสที่อยู่ร่วมกับอมัยโลเพคตินและไขมัน....18

2.8 โครงสร้างและการพองตัวของเม็ดสตาร์ช....20

2.9 รูปแบบการพองตัวและการละลายของสตาร์ชบางชนิด....20

2.10 Brabender viscoamylogram ของสตาร์ชข้าวโพดที่ความเข้มข้นต่างๆ....22

2.11 Brabender viscoamylogram ของแป้งข้าวเจ้า (รูปบน) และแป้งข้าวเหนียว ทางการค้า (รูปล่าง) ที่ความเข้มข้นต่างๆ....24

2.12 ระยะในการเกิดเจลาติไนเซชันของเม็ดสตาร์ช....25

2.13 กำลังการพองตัวและดัชนีการละลายน้ำของสตาร์ชข้าวเจ้า KSS7 และ สตาร์ชข้าวเหนียว (TCW70) 30

2.14 ขั้นตอนการผลิตมอลโทเดกซ์ทริน....39

2.15 การดัดพันธะของเอนไซม์ α-amylase ในสตาร์ช....42

2.16 กระบวนการลดความหนืดของสตาร์ช ซึ่งมีทั้งการใช้เอนไซม์แบบขั้นตอนเดียว และสองขั้นตอน....42

2.17 เปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการย่อยผลิตภัณฑ์ให้มีค่า DE ต่างๆของเอนไซม์ Termamyl 60L และเอนไซม์ α-amylase ที่ผลิตจากแบคทีเรีย *B. licheniformis* MB80 โดยใช้สภาวะที่เหมาะสมในการย่อยสตาร์ช....44

3.1 ขอบข่ายงานวิจัยโดยสังเขป....54

3.2 ขั้นตอนการขัดสีข้าวเปลือกให้เป็นข้าวสาร....56

3.3 ขั้นตอนการโม่แห้งข้าวสารให้เป็นแป้งฟลาวร์ข้าว....57

3.4 ขั้นตอนการผลิตมอลโทเดกซ์ทรินที่ใช้ในงานวิจัยนี้....60

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบเคมีที่สำคัญกับร้อยละผลผลิตแป้งข้าวที่ได้จากข้าวทั้ง 5 พันธุ์.....71

4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบเคมีที่สำคัญกับร้อยละผลผลิตแป้งข้าวที่ได้จากข้าวสารเจ้า 3 พันธุ์ คือ พันธุ์ ก.วก. 1 ขาวดอกมะลิ 105 และชัยนาท 1.....72

4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบเคมีที่สำคัญกับร้อยละผลผลิตแป้งข้าวที่ได้จากข้าวสารเหนียว 2 พันธุ์ คือ พันธุ์กำดอยสะเก็ด และพันธุ์เหนียวสันป่าตอง.....73

4.4 ความสัมพันธ์ขององค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญของแป้งข้าวทั้ง 5 พันธุ์.....75

4.5 ความสัมพันธ์ขององค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญของแป้งข้าวเจ้า 3 พันธุ์.....76

4.6 ความสัมพันธ์ขององค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญของแป้งข้าวเหนียว 2 พันธุ์.....78

4.7 รูปแบบกำลังการพองตัวของเม็ดสตาร์ชจากแป้งข้าวพันธุ์ต่างๆ.....83

4.8 ร้อยละการละลายของเม็ดสตาร์ชจากแป้งข้าว 5 พันธุ์ที่อุณหภูมิต่างๆ.....83

4.9 กำลังการพองตัวและดัชนีการละลายของสตาร์ชข้าวเจ้าพันธุ์ TNu67 และแป้งข้าวเหนียวพันธุ์ TCW70 จากงานวิจัยของ Tsai และคณะ (1997).....84

4.10 กำลังการพองตัวจากสตาร์ชข้าวเหนียว 12 พันธุ์ ซึ่งมีค่า gelatinization temperature สูง 6 พันธุ์ และต่ำอีก 6 พันธุ์.....86

4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังการพองตัวและร้อยละการละลายของเม็ดสตาร์ชจากแป้งข้าว 5 พันธุ์.....87

4.12 Brabender viscoamylogram ของ flour ข้าวเจ้าตราช้างสามเศียรที่ความเข้มข้นต่างๆ.....89

4.13 Brabender viscoamylogram ของ flour ข้าวพันธุ์ต่างๆที่ความเข้มข้น 10%..... 89

4.14 Brabender visvoamylogram ของ flour ข้าวพันธุ์ต่างๆที่ความเข้มข้น 8%.....89

4.15 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังการพองตัวและร้อยละการละลายของแป้งข้าว 5 พันธุ์.....97

4.16 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ใช้ในการผลิตกับค่า DE ของแป้งข้าว 5 พันธุ์...103

4.17 ลักษณะน้ำแป้งจากแป้งข้าว 5 พันธุ์ ก่อนนำเข้า Autoclave.....105

4.18 ลักษณะของน้ำแป้งของแป้งข้าว 5 พันธุ์ หลังนำออกจาก Autoclave.....105

4.19 ลักษณะของผลิตภัณฑ์มอลโทเดกซ์ทรินจากแป้งข้าว 5 พันธุ์.....106

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

4.20 กากตะกอนของแป้งข้าว 5 พันธุ์ เมื่อแยกออกจากน้ำแป้งที่ถูกย่อย.....106

4.21 รูปแบบ (pattern) การแยกองค์ประกอบของคาร์โบไฮเดรตโมเลกุลต่ำ (DP1-7) ของ solvent ระบบ 1 คือ n-butanol: pyridine: H_2O ในอัตราส่วน 9: 5: 4 โดยปริมาตร ซึ่งทำการ develop 5 ครั้ง.....114

4.22 รูปแบบ (pattern) การแยกองค์ประกอบของคาร์โบไฮเดรตโมเลกุลต่ำ (DP1-7) ของ solvent ระบบ 2 คือ isopropanol: pyridine: H_2O ในอัตราส่วน 7: 2: 2 โดยปริมาตร ซึ่งทำการ develop 5 ครั้ง.....115

4.23 รูปแบบ (pattern) การแยกองค์ประกอบของคาร์โบไฮเดรตโมเลกุลต่ำ (DP1-7) ของ solvent ระบบ 3 คือ isoamyl alcohol: pyridine: H_2O ในอัตราส่วน 7: 7: 6 โดยปริมาตร ซึ่งทำการ develop 5 ครั้ง.....116

4.24 รูปแบบ (pattern) การแยกองค์ประกอบของคาร์โบไฮเดรตโมเลกุลต่ำ (DP1-7) ของ solvent ระบบ 4 คือ ethyl acetate: n-butanol: acetic acid: H_2O ในอัตราส่วน 6: 8: 5: 8 โดยปริมาตร ซึ่งทำการ develop 5 ครั้ง.....117

4.25 chromatogram ของน้ำตาลมวลโมเกลกุลต่ำ DP 1-7 จากแป้งข้าว 5 พันธุ์ คือ ก) ก.วก. 1 ข) ขาวดอกมะลิ 105 ค) ชัยนาท 1 ง)ก่ำดอยสะเก็ด จ) เหนียวสันป่าตอง.....120

ก. 1 ลักษณะต้นข้าวและเมล็ดข้าวเจ้าพันธุ์ ก.วก. 1.....167

ก. 2 ลักษณะต้นข้าวและเมล็ดข้าวเจ้าพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105.....167

ก. 3 ลักษณะต้นข้าวและเมล็ดข้าวเจ้าพันธุ์ชัยนาท 1.....168

ก. 4 ลักษณะต้นข้าวและเมล็ดข้าวเหนียวพันธุ์ข้าวเหนียวสันป่าตอง.....168

ก. 5 ลักษณะต้นข้าวและเมล็ดข้าวเหนียวพันธุ์ข้าวก่ำดอยสะเก็ด.....169

ข. 1 เครื่องสุ่มเมล็ดข้าว.....170

ข. 2 เครื่องกะเทาะเปลือกข้าวแบบ Satake.....171

ข. 3 เครื่องขัดขาวข้าว McGrill No. 2.....172

ค.1 กราฟมาตรฐานที่ใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณอมัยโลส.....180

จ. 1 กราฟมาตรฐานที่ใช้ในการวิเคราะห์ค่า % liquefied starch.....186

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

จ.2 กราฟมาตรฐานของน้ำตาล DP1-7 ที่ใช้ในการคำนวณปริมาณน้ำตาล DP 1-7 ซึ่งวิเคราะห์โดย HPLC.....196