การผลิตโปรตีนเข้มข้นจากใบมันสำปะหลัง โดยการปรับสภาพใบด้วยความร้อนและสารเคมี

นางสาว ภรณี ศรีเสาวลักษณ์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีทางอาหาร ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2540

ISBN 974-638-606-9

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I17926506

PRODUCTION OF LEAF PROTEIN CONCENTRATES FROM CASSAVA LEAVES BY THERMAL AND CHEMICAL PRETREATMENT

Miss Paranee Srisaowalak

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science in Food Technology
Department of Food Technology
Graduate School
Chulalongkorn University
Academic Year 1997

ISBN 974-638-606-9

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การผลิตโปรตีนเข้มข้นจากใบมันสำปะหลังโดยการปรับสภาพใบด้วยความร้อนและสารเคมี
โดย	นางสาว ภรณี ศรีเสาวลักษณ์
ภาควิชา	เทคโนโลยีทางอาหาร
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์ ดร. ชิดพงศ์ ประดิษฐสุวรรณ

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(ศาสตราจารย์ นายแพทย์ ศุภวัฒน์ ชุติวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(อาจารย์ ดร. รมณี สงวนดีกุล)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(อาจารย์ ดร. ชิดพงศ์ ประดิษฐสุวรรณ)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุวรรณา สุภิมารส)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุเมธ ตันตระเธียร)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภรณี ศรีเสาวลักษณ์ : การผลิตโปรตีนเข้มข้นจากใบมันสำปะหลังโดยการปรับสภาพใบด้วยความร้อนและสารเคมี (PRODUCTION OF LEAF PROTEIN CONCENTRATES FROM CASSAVA LEAVES BY THERMAL AND CHEMICAL PRETREATMENT) อ.ที่ปรึกษา : อ.ดร. ชิดพงศ์ ประดิษฐสุวรรณ, 119 หน้า. ISBN 974-638-606-9.

งานวิจัยเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตโปรตีนเข้มข้นจากใบมันสำปะหลังนี้หลังจากวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบแล้วได้ศึกษาอิทธิพลของการปรับสภาพใบที่มีผลต่อการเพิ่มประสิทธิภาพการสกัดโปรตีน โดยทดลองปรับสภาพใบด้วยความร้อนและสารเคมี วิธีแรกได้แช่ใบมันสำปะหลังในน้ำกลั่นซึ่งแปรอุณหภูมิ (30-60°C) และเวลา (0-60 นาที) ในการแช่ นำใบที่ปรับสภาพแล้วไปสกัดโปรตีนโดยปั่นใบร่วมกับบัฟเฟอร์ pH 9 และแยกน้ำโปรตีนสกัด พบว่าการแช่ใบที่อุณหภูมิ 40°C นาน 40 นาที ให้ปริมาณโปรตีนในน้ำสกัดต่อปริมาณโปรตีนที่มีในวัตถุดิบคิดเป็นร้อยละสูงสุด ($p \leq 0.05$) วิธีที่ 2 แบ่งการทดลองเป็น 3 ส่วน คือการแช่ใบในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ 4% โซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.05M และโปตัสเซียมไฮดรอกไซด์ 0.05M เทียบกับน้ำกลั่นที่อุณหภูมิ 30°C เวลา 60 นาที พบว่าการแช่ใบในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 4% ช่วยให้ปริมาณโปรตีนเพิ่มขึ้นในน้ำสกัดได้ดีที่สุด ($p \leq 0.05$) จากนั้นหาความเข้มข้นที่เหมาะสมของสารละลายโซเดียมคลอไรด์ที่อุณหภูมิ 30°C เวลา 60 นาที โดยแปรความเข้มข้นในช่วงกว้างขึ้น (0-10%) พบว่าความเข้มข้นที่ 2 3 และ 4% ให้ปริมาณโปรตีนที่สกัดได้สูงสุดซึ่งไม่แตกต่างกันทางสถิติ จึงนำช่วงความเข้มข้นนี้มาแปรร่วมกับอุณหภูมิ (30-50°C) และเวลา (0-60 นาที) ปรากฏว่าภาวะที่เหมาะสมที่สุดคือใช้สารละลายโซเดียมคลอไรด์ 2% อุณหภูมิ 30°C เวลา 20 นาที ($p \leq 0.05$)

ศึกษาการตกตะกอนโปรตีนเข้มข้นโดยใช้น้ำโปรตีนจากใบที่ไม่ผ่านการปรับสภาพและผ่านการปรับสภาพแล้วทั้งสองวิธี ไปปรับ pH ในช่วง 2-10 เพื่อหา pH ที่โปรตีนมีการละลายต่ำสุด พบว่าอยู่ในช่วง 3.25-4.25 ซึ่งในการทดลองจะปรับในช่วงแคบขึ้นคือ 3.7-3.75 แล้วนำไปศึกษาร่วมกับการใช้กลูตารัลดีไฮด์ (เข้มข้น 5.6M) ในการช่วยตกตะกอน โดยการแปรปริมาณที่เติมในน้ำโปรตีนสกัด (0-2.0% โดยปริมาตร) แล้วปรับ pH ที่ 3.7-3.75 พิจารณาความเข้มข้นที่ให้ค่าร้อยละปริมาณโปรตีนในโปรตีนเข้มข้น (LPC) ที่ผ่านการอบแห้ง (55°C 24 ชั่วโมง) ต่อปริมาณโปรตีนในน้ำสกัดสูงสุด พบว่าภาวะที่เหมาะสมในการตกตะกอนโปรตีนจากน้ำโปรตีนของใบที่ไม่ผ่านการปรับสภาพและปรับสภาพที่ 40°C 40 นาที ใช้กลูตารัลดีไฮด์ 0.5% โดยปริมาตร ขณะที่ใบที่ปรับสภาพโดยแช่สารละลายโซเดียมคลอไรด์ 2% ที่ 30°C 20 นาที ใช้ 1.0% โดยปริมาตร ($p \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบร้อยละปริมาณโปรตีนในโปรตีนเข้มข้นแห้งต่อปริมาณโปรตีนในวัตถุดิบของทั้งสามกระบวนการผลิต พบว่ากระบวนการที่เริ่มจากการปรับสภาพใบโดยแช่น้ำกลั่นที่ 40°C 40 นาที ให้ค่าดังกล่าวสูงสุด ($p \leq 0.05$) นำ LPC ที่ได้จากกระบวนการนี้ไปทำแห้งระบบแช่เยือกแข็งเพื่อวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ปริมาณกรดอะมิโนและสมบัติด้านการใช้งาน ซึ่งพบว่ามีโปรตีนสูงถึง 61.47% มีปริมาณกรดไฮโดรไซยานิกเพียง 25.30 ppm โดยน้ำหนักแห้ง (ในวัตถุดิบมี 854.91 ppm) มีกรดอะมิโนซิสทีนเป็นตัวจำกัด ส่วนสมบัติด้านการใช้งานพบว่ามีความสามารถในการดูดซับน้ำมัน และเกิดอิมัลชันค่อนข้างดี

ภาควิชา เทคโนโลยีทางอาหาร ลายมือชื่อนิสิต ภรณี ศรีเสาวลักษณ์

สาขาวิชา เทคโนโลยีทางอาหาร ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา ชิดพงศ์ ประดิษฐสุวรรณ

ปีการศึกษา 2540 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

C827489 : MAJOR FOODTECHNOLOGY
KEY WORD: *Manihot esculenta* / CASSAVA LEAVES / THERMAL AND CHEMICAL PRETREATMENT / CROSSLINKING AGENT / GLUTARALDEHYDE
PARANEE SRISAOWALAK: PRODUCTION OF LEAF PROTEIN CONCENTRATES FROM CASSAVA LEAVES BY THERMAL AND CHEMICAL PRETREATMENT. THESIS ADVISOR : CHIDPHONG PRADITSUWANA, Ph.D. 119 pp. ISBN 974-638-606-9.

The aim of this research was to increase the efficiency of production of Leaf Protein Concentrates (LPC). The effect of thermal and chemical pretreatment of raw material was studied after the analysis of its chemical composition. The thermal pretreatment consisted on soaking the cassava leaves into distilled water of a variable temperature (30-60°C) and for a variable period of time (0-60 min). A green juice was extracted from the treated cassava leaves by pulping with pH 9 buffer. The experiments showed that the 40°C for 40 min condition of extraction gave the highest %protein recovery ($p \leq 0.05$). For the chemical pretreatment, leaves were soaked in four treatment solutions: distilled water, 0.05M NaOH, 0.05M KOH and 4% NaCl at 30°C for 60 min. The suitable solution that gave the highest %protein recovery was 4% NaCl ($p \leq 0.05$). Treatment was then continued with a wide range of NaCl between 0-10% at 30°C in 60 min. The suitable treatment range found was 2, 3 and 4%. Then the interactions of temperature (30-50°C), time (0-60 min) and concentration of NaCl were determined. The suitable condition found was 2% NaCl at 30°C in 20 min ($p \leq 0.05$).

The precipitation of LPC was studied by adjusting the pH of the green juice between 2-10 to determine the pH at which protein is less soluble. Every green juice sample from the treated and untreated leaves revealed the same results that protein in green juice had the least solubility at a pH 3.25-4.25. Next, the pH was narrowed to a range of pH between 3.7-3.75. To improve the LPC precipitation, the crosslinking agent, 5.6M glutaraldehyde (0-2.0% by volumn), was used while adjusting the pH between 3.7-3.75. After drying the LPC (55°C 24 hr.), the %protein recovery in precipitation showed that the optimum content of glutaraldehyde for green juice from untreated and thermal pretreated leaves (40°C 40 min) was 0.5% by volume. Chemical pretreated leaves used a 1.0% by volume ($p \leq 0.05$). The comparison among the three processes of LPC production with leaf pretreatment and precipitation conditions indicated that the process which began with the thermal pretreatment gave the highest %overall protein recovery ($p \leq 0.05$). LPC obtained from initial thermal pretreatment was freezed dry for analysis of its chemical composition, amino acid content and functional properties. The LPC had a 61.47% protein, content of hydrocyanic acid was found in 25.30 ppm (854.91 ppm of raw material) and cystine was the limiting amino acid. Among the functional properties were found good fat absorption and emulsifying activity.

ภาควิชา เทคโนโลยีทางอาหาร ลายมือชื่อนิสิต ปรานี ศรีเสาวลักษณ์

สาขาวิชา เทคโนโลยีทางอาหาร ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา ชิดพงศ์ ปราชญ์

ปีการศึกษา 2540 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม -

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลืออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งได้ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่าง ๆในงานวิจัย รวมทั้งช่วยดูแลและอำนวยความสะดวกในระหว่างการศึกษาและดำเนินการวิจัยตลอดมา และเนื่องจากทุนการวิจัยครั้งนี้ได้รับมาจากสำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.) จึงขอขอบพระคุณคณะกรรมการ สวทช. มา ณ ที่นี้ด้วย

ขอขอบพระคุณ อ.ดร. รมณี สงวนดีกุล ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผศ.ดร. สุวรรณา สุภิมารส และผศ.ดร. สุเมธ ตันตระเธียร คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผู้ให้ความช่วยเหลือและข้อเสนอแนะที่เป็นประโยชน์ในการปรับปรุงแก้ไขงานวิจัยตลอดเรื่อยมา รศ.ดร. ปราณี อ่านเปรื่อง อาจารย์ผู้ดูแลนิสิต ปริญญาโท และคณาจารย์ประจำภาควิชาทุกท่านที่กรุณาอบรมและให้ความรู้แก่ผู้วิจัยตั้งแต่เริ่มเข้าศึกษา คุณชษฐ์และคุณลิทธิ์สม สิงคารวานิช ผู้เอื้อเฟื้อและอำนวยความสะดวกในการจัดหาวัตถุดิบได้แก่ใบมันสำปะหลังตลอดงานวิจัย ซึ่งเป็นสิ่งที่สำคัญยิ่งในการดำเนินงานให้ลุล่วงไปได้ อาจารย์สิรินดา ทุสุมภ์ และอาจารย์วิไลลักษณ์ ชัยสิทธิ์ อาจารย์ประจำภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ผู้ให้ความอนุเคราะห์เครื่องมือและสถานที่ในการทำแห้งระบบแช่เยือกแข็ง คุณนิวัติ ถิรวัฒน์ คุณเสาวนีย์ พจนา คุณอำไพ เขตสาลี หัวหน้าห้องปฏิบัติการ คุณมณฑา ศรีเมือง คุณน้อย มิเอม คุณสำเริง จันทรนิยม และเจ้าหน้าที่ประจำห้องสารบรรณภาควิชาทุกท่านที่อำนวยความสะดวกทั้งด้านงานธุรการและการปฏิบัติการตั้งแต่เริ่มเข้าศึกษา เจ้าหน้าที่ศูนย์เครื่องมือจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้บริการตรวจวิเคราะห์โครงสร้างด้วยเทคนิค scanning electron microscope และเจ้าหน้าที่ศูนย์เครื่องมือคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล ที่ให้บริการตรวจวิเคราะห์ปริมาณกรดอะมิโน

ขอขอบคุณ รุ่นพี่ เพื่อน และรุ่นน้องทุกท่านที่เป็นกำลังใจ ให้คำปรึกษาและช่วยแก้ไขปัญหาต่าง ๆ อย่างเต็มที่ ซึ่งทำให้ผู้วิจัยมีความสุขในการทำงานเสมอมา

ท้ายนี้ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณ บิดา-มารดา คุณยาย และพี่สาว ซึ่งสนับสนุนด้านการเงินและให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยจนสำเร็จการศึกษา

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ
กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ
สารบัญ ..... ช
สารบัญตาราง ..... ฎ
สารบัญรูป ..... ฑ

บทที่

1. บทนำ 1
2. วารสารปริทัศน์ 3
   - 2.1 มันสำปะหลัง (*Manihot esculenta*) และพันธุ์ที่ปลูกในประเทศ 3
   - 2.2 องค์ประกอบทางเคมี 5
     - 2.2.1 หัวมันสำปะหลัง 5
     - 2.2.2 ใบมันสำปะหลัง 5
   - 2.3 การใช้ใบมันสำปะหลังเป็นแหล่งโปรตีน 6
     - 2.3.1 ใบมันสำปะหลัง 6
     - 2.3.2 น้ำโปรตีนสกัด (green juice) จากใบมันสำปะหลัง 7
     - 2.3.3 โปรตีนเข้มข้น (Leaf Protein Concentrates-LPC) จาก ใบมันสำปะหลัง 8
   - 2.4 ไซยาโนเจนนิกไกลโคไซด์ (cyanogenic glycosides) และแทนนิน 8
     - 2.4.1 ไซยาโนเจนนิกไกลโคไซด์ 8
     - 2.4.2 แทนนิน 10
   - 2.5 การผลิตโปรตีนเข้มข้นจากใบมันสำปะหลัง 12
     - 2.5.1 การเตรียมใบพืชเพื่อสกัดโปรตีนออกมา 13
     - 2.5.2 การแยกเส้นใยออกจากสารละลายโปรตีน 15
     - 2.5.3 การตกตะกอนโปรตีน 15
     - 2.5.4 การทำแห้งโปรตีนเข้มข้น 17
   - 2.6 คุณค่าทางอาหารของโปรตีนเข้มข้นจากใบมันสำปะหลัง 18
   - 2.7 สมบัติด้านการใช้งาน (functional properties) ของโปรตีนเข้มข้น 19

สารบัญ (ต่อ)

บทที่		หน้า
	2.8 การเพิ่มผลผลิตโปรตีนเข้มข้น	22
	2.8.1 ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับวัตถุดิบ	22
	2.8.2 ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการผลิต	23
	2.9 ความแข็งแรงของผนังเซล	25
	2.9.1 องค์ประกอบของผนังเซล	25
	2.9.2 พันธะในผนังเซล	26
	2.9.3 การลดความแข็งแรงของผนังเซล	27
3.	การทดลอง	30
	3.1 วัตถุดิบ	30
	3.2 สารเคมี	30
	3.3 อุปกรณ์	30
	3.4 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย	31
	3.4.1 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี	31
	3.4.2 การปรับสภาพใบมันสำปะหลังด้วยความร้อน	32
	3.4.3 การปรับสภาพใบมันสำปะหลังด้วยสารเคมี	34
	3.4.3.1 การเลือกสารละลายที่ใช้แช่วัตถุดิบจากสารทั้ง 3 ชนิดได้แก่ โซเดียมคลอไรด์เข้มข้น 4% โซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.05M และโปตัสเซียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.05M เทียบกับการแช่น้ำกลั่น	34
	3.4.3.2 การหาความเข้มข้นที่เหมาะสมที่สุดของสารที่เลือกได้	35
	3.4.3.3 การหาภาวะที่เหมาะสมเมื่อใช้สารละลายแปรร่วมกับอุณหภูมิและเวลาในการปรับสภาพวัตถุดิบ	35
	3.4.4 การตกตะกอนโปรตีนโดยปรับ pH ของน้ำโปรตีนสกัดจากใบที่ไม่ผ่านการปรับสภาพและปรับสภาพทั้ง 2 วิธีจากข้อ 3.4.2 และ 3.4.3	36
	3.4.4.1 การหา pH ที่โปรตีนในน้ำโปรตีนสกัดมีการละลายต่ำสุด	36
	3.4.4.2 การหาปริมาณกลูตาราลดีไฮด์ที่เหมาะสมเพื่อช่วยตกตะกอนร่วมกับการปรับ pH	38

สารบัญ (ต่อ)

บทที่		หน้า
	3.4.5 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการผลิตโปรตีนเข้มข้นที่ประกอบด้วยการปรับสภาพใบและการตกตะกอนโปรตีนตามภาวะที่เหมาะสมจากข้อ 3.4.2-3.4.4	40
	3.4.6 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีและปริมาณกรดอะมิโนของโปรตีนเข้มข้น	40
	3.4.7 การวิเคราะห์สมบัติด้านการใช้งาน (functional properties) ของโปรตีนเข้มข้น	41
4.	ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง	42
	4.1 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี	42
	4.2 การปรับสภาพใบมันสำปะหลังด้วยความร้อน	44
	4.3 การปรับสภาพใบด้วยสารเคมี	45
	4.3.1 การเลือกสารละลายที่ใช้แช่วัตถุดิบจากสารทั้ง 3 ชนิดได้แก่ โซเดียมคลอไรด์เข้มข้น 4% โซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.05M และโปตัสเซียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.05M เทียบกับการแช่น้ำกลั่น	46
	4.3.2 การหาความเข้มข้นที่เหมาะสมที่สุดของสารที่เลือกได้	47
	4.3.3 การหาภาวะที่เหมาะสมเมื่อใช้สารละลายแปรร่วมกับอุณภูมิและเวลาในการแช่	50
	4.4 การตกตะกอนโปรตีนโดยการปรับ pH ของน้ำโปรตีนสกัดจากใบที่ไม่ผ่านการปรับสภาพและปรับสภาพทั้ง 2 วิธีจากข้อ 4.2 และ 4.3	52
	4.4.1 การหา pH ที่โปรตีนในน้ำสกัดมีการละลายต่ำสุด	53
	4.4.2 การหาปริมาณกลูตาราลดีไฮด์ที่เหมาะสม เพื่อช่วยตกตะกอนร่วมกับการปรับ pH	54
	4.5 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการผลิตโปรตีนเข้มข้นที่ประกอบด้วยการปรับสภาพใบและการตกตะกอนโปรตีนตามภาวะที่เหมาะสม	57
	4.6 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีและปริมาณกรดอะมิโนของโปรตีนเข้มข้น	59
	4.7 การวิเคราะห์สมบัติด้านการใช้งานของโปรตีนเข้มข้นจากใบมันสำปะหลัง	62
5.	สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	67
รายการอ้างอิง		69

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
ภาคผนวก	78
ภาคผนวก ก	79
ภาคผนวก ข	86
ภาคผนวก ค	88
ภาคผนวก ง	89
ภาคผนวก จ	101
ภาคผนวก ฉ	111
ภาคผนวก ช	118
ประวัติผู้วิจัย	119

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
4.1	องค์ประกอบทางเคมีของใบมันสำปะหลัง (*Manihot esculenta*).....	42
4.2	ร้อยละปริมาณโปรตีนในน้ำโปรตีนสกัดเทียบกับโปรตีนในวัตถุดิบเริ่มต้น เมื่อแช่วัตถุดิบในสารละลายชนิดต่าง ๆกัน ที่อุณหภูมิ 30°C นาน 60 นาที.....	46
4.3	ปริมาณโซเดียมคลอไรด์ที่วิเคราะห์ได้ในใบมันสำปะหลังที่ผ่านการแช่สารละลายโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้นต่าง ๆ ที่อุณหภูมิ 30°C นาน 60 นาที.....	49
4.4	กระบวนการผลิตโปรตีนเข้มข้นทั้ง 3 กระบวนการที่สรุปได้.....	57
4.5	ร้อยละปริมาณโปรตีนที่ได้ต่อปริมาณโปรตีนเริ่มต้น แยกพิจารณาจากขั้นตอนการสกัด การตกตะกอน และจากทั้งกระบวนการ.....	58
4.6	องค์ประกอบทางเคมีของโปรตีนเข้มข้นที่ผลิตได้เทียบกับใบมันสำปะหลัง.....	60
4.7	ปริมาณกรดอะมิโนในโปรตีนเข้มข้น (LPC) จากใบมันสำปะหลัง เทียบกับค่ามาตรฐานจาก FAO/WHO และค่า Chemical Score	61
4.8	สมบัติด้านการใช้งานของโปรตีนเข้มข้นจากใบมันสำปะหลัง เทียบกับใบอัลฟัลฟา	64
จ.1	ค่าความแปรปรวนของอุณหภูมิของน้ำกลั่นและเวลาในการแช่วัตถุดิบเพื่อปรับสภาพใบด้วยความร้อน	101
จ.2	%protein recovery ที่เปลี่ยนแปลงเนื่องจากอิทธิพลร่วมระหว่างอุณหภูมิของน้ำที่ให้ความร้อนกับเวลาในการให้ความร้อนแก่ใบมันสำปะหลัง.....	102
จ.3	ค่าความแปรปรวนของสารละลายแต่ละชนิดที่ใช้แช่วัตถุดิบที่ 30°C 60 นาที..	102
จ.4	ค่าความแปรปรวนของความเข้มข้นโซเดียมคลอไรด์ในช่วง 0-10% ที่ใช้แช่วัตถุดิบที่ 30°C 60 นาที.....	103
จ.5	%protein recovery ในการสกัด เมื่อแปรความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมคลอไรด์ในช่วง 0-10% สำหรับแช่วัตถุดิบ	103
จ.6	ค่าความแปรปรวนของความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมคลอไรด์ อุณหภูมิ และเวลาในการแช่วัตถุดิบ เพื่อปรับสภาพใบด้วยสารเคมี.....	104
จ.7	%protein recovery ที่เปลี่ยนแปลงเนื่องจากอิทธิพลร่วมระหว่างความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมคลอไรด์และอุณหภูมิในการแช่วัตถุดิบภายในเวลา 0-60 นาที.....	104

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
จ.8	%protein recovery ที่เปลี่ยนแปลงเนื่องจากอิทธิพลร่วมระหว่างอุณหภูมิของสารละลายโซเดียมคลอไรด์และเวลาในการแช่วัตถุดิบ เมื่อพิจารณาความเข้มข้นโซเดียมคลอไรด์ในช่วง 2-4%	105
จ.9	ร้อยละการละลายของโปรตีนในน้ำโปรตีนสกัดแต่ละตัวอย่างที่มีการปรับสภาพใบต่างกัน เมื่อปรับ pH ในช่วง 2-10	106
จ.10	ค่าความแปรปรวนของความเข้มข้นกลูตารัลดีไฮด์ ที่ใช้ตกตะกอนโปรตีนร่วมกับการปรับ pH จากน้ำโปรตีนของใบที่ไม่ผ่านการปรับสภาพ	106
จ.11	ร้อยละปริมาณโปรตีนในโปรตีนเข้มข้นต่อปริมาณโปรตีนในน้ำโปรตีนสกัดของกระบวนการผลิตที่ใช้ใบไม่ผ่านการปรับสภาพ เมื่อแปรปริมาณกลูตารัลดีไฮด์ในการตกตะกอน	107
จ.12	ค่าความแปรปรวนของความเข้มข้นกลูตารัลดีไฮด์ ที่ใช้ตกตะกอนโปรตีนร่วมกับการปรับ pH จากน้ำโปรตีนของใบที่ผ่านการปรับสภาพโดยแช่น้ำกลั่นที่ 40°C 40 นาที	107
จ.13	ร้อยละปริมาณโปรตีนในโปรตีนเข้มข้นต่อปริมาณโปรตีนในน้ำโปรตีนสกัดของกระบวนการผลิตที่ใช้ใบปรับสภาพที่ 40°C 40 นาที เมื่อแปรปริมาณกลูตารัลดีไฮด์ในการตกตะกอน	108
จ.14	ค่าความแปรปรวนของความเข้มข้นกลูตารัลดีไฮด์ ที่ใช้ตกตะกอนโปรตีนร่วมกับการปรับ pH จากน้ำโปรตีนของใบที่ผ่านการปรับสภาพโดยแช่สารละลายโซเดียมคลอไรด์ 2% ที่ 30°C 20 นาที	108
จ.15	ร้อยละปริมาณโปรตีนในโปรตีนเข้มข้นต่อปริมาณโปรตีนในน้ำโปรตีนสกัดของกระบวนการผลิตที่ใช้ใบปรับสภาพโดยแช่สารละลายโซเดียมคลอไรด์ 2% 30°C 20 นาที เมื่อแปรปริมาณกลูตารัลดีไฮด์ในการตกตะกอน	109
จ.16	ค่าความแปรปรวนของ %protein recovery ในช่วงการสกัดของแต่ละกระบวนการ	109

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
จ.17	ค่าความแปรปรวนของ %protein recovery ในช่วงการตกตะกอนของแต่ละกระบวนการ	109
จ.18	ค่าความแปรปรวนของ %overall protein recovery ของแต่ละกระบวนการ	109
จ.19	ร้อยละปริมาณโปรตีนที่ละลายในน้ำที่เหลือหลังจากการแช่ใบที่ 40°C 40 นาที และในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ 2% 30°C 20 นาที เทียบกับปริมาณโปรตีนในใบเริ่มต้น	110
จ.20	ร้อยละการละลายของโปรตีนในผลิตภัณฑ์โปรตีนเข้มข้นจากใบมันสำปะหลังที่ pH 2-12	110

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
3.1	ขั้นตอนการปรับสภาพใบด้วยความร้อน	32
3.2	ขั้นตอนการสกัดโปรตีน	33
3.3	ขั้นตอนการตกตะกอนโปรตีนโดยการปรับ pH	37
3.4	ขั้นตอนการตกตะกอนโดยใช้กลูตาราลดีไฮด์ร่วมกับการปรับ pH	39
4.1	ร้อยละปริมาณโปรตีนในน้ำโปรตีนสกัดต่อปริมาณโปรตีนในใบแห้ง (%protein recovery) ที่เปลี่ยนแปลงเนื่องจากอิทธิพลร่วมระหว่างอุณหภูมิของน้ำที่ให้ความร้อนกับเวลาในการให้ความร้อนแก่ใบมันสำปะหลัง	44
4.2	ร้อยละปริมาณโปรตีนที่มีในน้ำโปรตีนสกัดต่อปริมาณโปรตีนที่มีในวัตถุดิบ เมื่อแปรความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมคลอไรด์ในช่วง 0-10% ที่ใช้แช่วัตถุดิบ	48
4.3	ร้อยละปริมาณโปรตีนในน้ำโปรตีนสกัดต่อปริมาณโปรตีนในใบแห้ง (%protein recovery) ที่เปลี่ยนแปลงเนื่องจากอิทธิพลร่วมระหว่างความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมคลอไรด์และอุณหภูมิในการแช่วัตถุดิบภายในเวลา 0-60 นาที	51
4.4	ร้อยละปริมาณโปรตีนในน้ำโปรตีนสกัดต่อปริมาณโปรตีนในใบแห้ง (%protein recovery) ที่เปลี่ยนแปลงเนื่องจากอิทธิพลร่วมระหว่างอุณหภูมิและเวลาในการแช่วัตถุดิบ เมื่อพิจารณาในช่วงความเข้มข้นโซเดียมคลอไรด์ 2-4%	51
4.5	ร้อยละการละลายของโปรตีนในน้ำโปรตีนสกัดแต่ละตัวอย่างที่มีการปรับสภาพใบต่างกัน เมื่อปรับ pH ในช่วง 2-10	53
4.6	ร้อยละปริมาณโปรตีนในโปรตีนเข้มข้นต่อปริมาณโปรตีนในน้ำโปรตีนสกัดของกระบวนการผลิตที่ใช้ใบไม่ผ่านการปรับสภาพ เมื่อแปรปริมาณกลูตาราลดีไฮด์ในการตกตะกอน	55
4.7	ร้อยละปริมาณโปรตีนในโปรตีนเข้มข้นต่อปริมาณโปรตีนในน้ำโปรตีนสกัดของกระบวนการผลิตที่ใช้ใบปรับสภาพที่ 40°C 40 นาที เมื่อแปรปริมาณกลูตาราลดีไฮด์ในการตกตะกอน	55
4.8	ร้อยละปริมาณโปรตีนในโปรตีนเข้มข้นต่อปริมาณโปรตีนในน้ำโปรตีนสกัดของกระบวนการผลิตที่ใช้ใบปรับสภาพโดยแช่สารละลายโซเดียมคลอไรด์ 2% ที่ 30°C 20นาที เมื่อแปรปริมาณกลูตาราลดีไฮด์ ในการตกตะกอน	56
4.9	การละลายของโปรตีนในผลิตภัณฑ์โปรตีนเข้มข้นจากใบมันสำปะหลังที่ pH 2-12	63

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
ข.1	ภาพตัดขวางของใบมันสำปะหลังที่ไม่ได้ผ่านการปรับสภาพ	86
ข.2	ภาพตัดขวางของใบมันสำปะหลังที่ผ่านการปรับสภาพด้วยความร้อน ที่ 40°C ในน้ำกลั่น 40 นาที	86
ข.3	ภาพตัดขวางของใบมันสำปะหลังที่ผ่านการปรับสภาพโดยแช่สารละลาย โซเดียมคลอไรด์ 2% 30°C 20 นาที	87
ค.1	ชุดเครื่องมือที่ใช้ในการกลั่นเพื่อวิเคราะห์กรดไฮโดรไซยานิก	88
ง.1	Chromatogram สำหรับกรดอะมิโนทุกตัวยกเว้นซีสทีนและเมทไธโอนีน ซ้ำที่ 1	97
ง.2	Chromatogram สำหรับกรดอะมิโนทุกตัวยกเว้นซีสทีนและเมทไธโอนีน ซ้ำที่ 2	98
ง.3	Chromatogram สำหรับกรดอะมิโนซีสทีนและเมทไธโอนีน ซ้ำที่ 1	99
ง.3	Chromatogram สำหรับกรดอะมิโนซีสทีนและเมทไธโอนีน ซ้ำที่ 2	100
ฉ.1	ลักษณะใบมันสำปะหลังพันธุ์ห้านาที	111
ฉ.2	ใบมันสำปะหลังที่ตัดตามขวางขนาด 1-1.5 เซนติเมตร	112
ฉ.3	ลักษณะของผสมหลังจากปั่นใบกับบัฟเฟอร์ครั้งแรก	112
ฉ.4	กากใบหลังจากคั้นน้ำโปรตีนออกแล้ว	113
ฉ.5	น้ำโปรตีนสกัดจากใบแต่ละภาวะ	113
ฉ.6	โปรตีนเข้มข้นที่ได้จากการตกตะกอนโดยปรับ pH ที่ 3.7-3.75	114
ฉ.7	น้ำใสหลังจากการตกตะกอนโดยปรับ pH ที่ 3.7-3.75	114
ฉ.8	โปรตีนเข้มข้นที่ได้จากการตกตะกอนโดยเติมกลูตารัลดีไฮด์และปรับ pH ที่ 3.7-3.75	115
ฉ.9	น้ำใสหลังจากการตกตะกอนโดยเติมกลูตารัลดีไฮด์และปรับ pH ที่ 3.7-3.75	115
ฉ.10	โปรตีนเข้มข้นจากวัตถุดิบที่ไม่ปรับสภาพที่การตกตะกอนที่ 80°C	116
ฉ.11	น้ำใสหลังจากการตกตะกอนที่ 80°C	116
ฉ.12	ผลิตภัณฑ์โปรตีนเข้มข้นที่ผ่านการทำแห้งระบบแช่เยือกแข็ง บด และผ่านตะแกรงขนาด 40 เมช	117