15453

ผลของแป้งมันสำปะหลังต่อคุณภาพของเต้าหู้หลอด

(Effect of tapioca flour on the quality of package tofu)

T096976

นางสาว ศิริมาลย์ สุลัยศรี

นางสาว อรณีย์ ดอนสกุล

รายงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตร์บัณฑิต

ภาคอุตสาหกรรมเกษตร คณะเทคโนโลยีการเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2541

ปผ.
ศ473ผ
2541

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 96976
วัน.เดือน.ปี - 5 JUN 2003

1966

ใบรับรองปัญหาพิเศษ

เรื่อง

ผลของแป้งมันสำปะหลังต่อคุณภาพของเต้าหู้หลอด

(Effect of tapioca flour on the quality of package tofu)

โดย

นางสาว ศิริมาลย์ สุลัยศรี

นางสาว อรณีย์ ดอนสกุล

ได้รับการพิจารณาเห็นชอบจาก

..../...../..... อาจารย์ที่ปรึกษาปัญหาพิเศษ

( )

- ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร

....

( )

หัวหน้าภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร

วันที่.....เดือน.....พ.ศ. .....

ฉพ.
ส 4938
2540

ศิริมาลย์ สุลัยศรี และ อรณีย์ ดอนสกุล. 2541 : ผลของแป้งมันสำปะหลังต่อคุณภาพเต้าหู้หลอด (Effect of tapioca flour on the quality of package tofu). สาขาวิชาอุตสาหกรรมเกษตร ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.อาจารย์ที่ปรึกษา ดร.ยุพร พืชกมุทร, 69 หน้า

ในการศึกษาสภาวะและชนิดของแป้งที่ใช้ในการพัฒนาคุณภาพเต้าหู้หลอด พบว่าควรใช้แป้งมันสำปะหลังและแป้งมันสำปะหลังดัดแปรชนิด Crosslinked และ Oxidized ในสภาวะที่เป็นน้ำแป้งเป็นวัตถุดิบในการทดลอง โดยใช้น้ำนมถั่วเหลืองที่ใช้อัตราส่วนน้ำ : ถั่วเหลืองที่ 5 : 1 ก่อนที่จะเติมน้ำแป้งในอัตราส่วนนมถั่วเหลืองต่อน้ำแป้งที่ 5 : 1 แป้งมันสำปะหลังที่การศึกษามีความเข้มข้น 1 , 3 , 5 , 8 , 10 % [w/v] แป้ง Crosslinked ที่การศึกษามีความเข้มข้น 1 , 3 , 5 , 8 , 10 % [w/v] และ แป้ง Oxidized ที่การศึกษามีความเข้มข้น 1 , 3 , 5 , 8 % [w/v] เมื่อทำการศึกษาหาค่าการ Syneresis ของเต้าหู้หลอดที่ทำการผสมแป้งทั้ง 3 ชนิดในความเข้มข้นที่กำหนดไว้พบว่า เต้าหู้หลอดที่ผสมแป้งมันสำปะหลัง และ แป้ง Crosslinked มีแนวโน้มการ Syneresis ลดลงเมื่อความเข้มข้นเพิ่มมากขึ้น แต่ แป้ง Oxidized มีแนวโน้มการ Syneresis เพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นเพิ่มมากขึ้น เมื่อนำไปศึกษาหาค่าความชื้นจะพบว่าเต้าหู้หลอดที่ทำการผสมแป้งทั้ง 3 ชนิดตามความเข้มข้นที่กำหนดจะมีค่าความชื้นลดลง เมื่อค่าความเข้มข้นของแป้งมากขึ้น ต่อมานำไปศึกษาหาค่า Maximum force ของเต้าหู้หลอดโดยเครื่องวัดเนื้อสัมผัสพบว่า เต้าหู้หลอดที่ผสมแป้งมันสำปะหลัง และ แป้ง Crosslinked มีแนวโน้มของค่า Maximum force เพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นเพิ่มมากขึ้น แต่ แป้ง Oxidized มีแนวโน้มของค่า Maximum force ลดลงเมื่อความเข้มข้นเพิ่มมากขึ้น

อรณีย์ ดอนสกุล
ศิริมาลย์ สุลัยศรี

ลายมือชื่อนักศึกษา	ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา	วัน เดือน ปี

กิตติกรรมประกาศ

การจัดทำปัญหาพิเศษในครั้งนี้จะสำเร็จลุล่วงมิได้หากขาด ดร.ยุพร พืชกมุทร ซึ่งกรุณาให้เกียรติเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาตลอดจนให้คำปรึกษาและตรวจแก้ไขปัญหาพิเศษฉบับนี้จนสมบูรณ์ ผู้จัดทำจึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณ อาจารย์ชมพูนุท สีหโสภณ และอาจารย์ระจิตร จุธากรณ์ (คณะกรรมการปัญหาพิเศษ) และคณาจารย์ประจำภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร ซึ่งกรุณาประสิทธิ์ประสาทวิชาและให้คำแนะนำ พร้อมทั้งชี้แนะแนวทางแก่คณะผู้จัดทำ

ผู้จัดทำขอขอบคุณ บริษัท สยาม มอดิฟายด์ สตาร์ช จำกัด ที่กรุณาให้ความอนุเคราะห์แป้งดัดแปร กรมส่งเสริมการเกษตร จังหวัดเชียงใหม่ ที่กรุณาให้ความอนุเคราะห์ถั่วเหลือง คุณน้ำทิพย์ วงษ์ประทีป คุณปณัฐฐา กรีติพัฒน์และคุณปริยาพร เขียวขำ ที่ให้คำปรึกษาและเอื้อเฟื้อข้อมูล เจ้าหน้าที่ฝ่ายต่างๆ ของภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตรทุกท่าน รวมทั้งเพื่อนๆ รุ่นพี่และรุ่นน้อง ในภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตรที่ได้ช่วยเหลือและให้กำลังใจแก่ผู้จัดทำตลอดมา

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากปัญหาพิเศษฉบับนี้ขอมอบให้แด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

ศิริมาลย์ สุลัยศรี

อรณีย์ คอนสกุล

กุมภาพันธ์ 2541

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	ค
กิตติกรรมประกาศ	ง
สารบัญตาราง	จ
สารบัญภาพ	ช
บทที่	
1. บทนำ	1
2. การตรวจเอกสาร	3
2.1 วัตถุดิบที่ใช้ในการทดลอง	4
2.2 กรรมวิธีการผลิตเต้าหู้หลอด	15
2.3 ปัญหาในการผลิตและความผิดปรกติของเต้าหู้หลอด	18
3. อุปกรณ์และวิธีทำการทดลอง	22
3.1 วัตถุดิบและสารเคมี	22
3.2 อุปกรณ์ในการผลิต	22
3.3 อุปกรณ์ในการวิเคราะห์	23
3.4 วิธีทำการทดลอง	24
4. ผลการทดลอง	28
4.1 การศึกษาชนิดของแป้ง 7 ชนิดที่เหมาะสมต่อการพัฒนาคุณภาพเต้าหู้หลอด	28
4.1.1 สภาวะที่เป็นของแข็ง	28
4.1.2 สภาวะที่เป็นน้ำแป้ง	30
4.2 การศึกษาหาขอบเขตของปริมาณแป้งที่เหมาะสมต่อการพัฒนาคุณภาพเต้าหู้หลอด	31
4.2.1 ผลของน้ำแป้งมันสำปะหลัง	31
4.2.2 ผลของน้ำแป้ง Crosslinked	34
4.2.3 ผลของน้ำแป้ง Oxidized	36
4.3 การวิเคราะห์เต้าหู้หลอดที่ผลิตได้จากการทดลอง	38

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.3.1 การวัดค่าการ Syneresis	38
4.3.2 การวัดค่าความชื้น	40
4.3.3 การวัดค่า Maximum Force	41
4.4 ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัส	42
5. สรุปผลการทดลอง	46
เอกสารอ้างอิง	48
ภาคผนวก ก. แสดงคุณสมบัติของแป้ง Modified Starch ประเภท Oxidized และ Crosslinked	51
ภาคผนวก ข. แสดงการวิเคราะห์หาปริมาณ Syneresis	52
ภาคผนวก ค. แสดงการวิเคราะห์หาปริมาณความชื้น	55
ภาคผนวก ง. แสดงการวิเคราะห์หาค่า Maximum Force	58
ภาคผนวก จ. แสดงการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส และการวิเคราะห์ทางสถิติ	62
ประวัติผู้เขียน	69

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่

2.1 แสดงปริมาณองค์ประกอบต่าง ๆ ของเต้าหู้หลอด 4

2.2 แสดงความแตกต่างของอมัยโลสและอมัยโลเพคติน 10

2.3 แสดงการพองตัวและการละลายของแป้งต่าง ๆ ที่อุณหภูมิ 95° ซ. 11

2.4 แสดงอุณหภูมิเจลาติไนเซชั่นของแป้งต่าง ๆ 12

4.1 แสดงลักษณะปรากฏของเต้าหู้หลอดเมื่อใช้แป้งต่างกัน 7 ชนิด 28

4.2 แสดงลักษณะปรากฏของเต้าหู้หลอดเมื่อใช้น้ำแป้งต่างกัน 7 ชนิด 30

4.3 แสดงผลของการใช้น้ำแป้งมันสำปะหลังที่ความเข้มข้น 31
1 , 5 , 8 , 9 , 10 , 11 , 13 % [w/v]

4.4 แสดงผลของการใช้น้ำแป้ง Crosslinked ที่ความเข้มข้น 34
1 , 5 , 8 , 9 , 10 , 11 , 13 % [w/v]

4.5 แสดงผลของการใช้น้ำแป้ง Oxidized ที่ความเข้มข้น 36
1 , 5 , 8 , 9 , 10 , 11 , 13 % [w/v]

4.6 แสดงผลการ Syneresis ของเต้าหู้หลอดเมื่อใช้น้ำแป้ง 3 ชนิด 38
ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ กัน

4.7 แสดงผลของการวัดค่าความชื้นของเต้าหู้หลอดเมื่อใช้น้ำแป้ง 3 ชนิด 40
ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ กัน

4.8 แสดงผลของการวัดค่า Maximum Force ของเต้าหู้หลอด 41
เมื่อใช้น้ำแป้ง 3 ชนิด ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ กัน

4.9 แสดงผลการทดสอบทางด้านประสาทสัมผัสของเต้าหู้หลอด 42
เมื่อใช้น้ำแป้ง 3 ชนิด ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ กัน

1 ข. แสดงผลการวิเคราะห์การ Syneresis ของเจลเต้าหู้หลอด 52
เมื่อผสมน้ำแป้ง 3 ชนิดตามความเข้มข้นที่กำหนด

1 ค. แสดงผลการวิเคราะห์ความชื้นของเจลเต้าหู้หลอด 55
เมื่อผสมน้ำแป้ง 3 ชนิดตามความเข้มข้นที่กำหนด

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

ตารางที่

1 ง. แสดงผลการวิเคราะห์ค่าแรงกดสูงสุดของเจลเต้าหู้หลอด เมื่อผสมน้ำแป้ง 3 ชนิดตามความเข้มข้นที่กำหนด 59

1 จ. แสดงผลการทดสอบคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสของเต้าหู้หลอด เมื่อผสมน้ำแป้งมันสำปะหลังที่ความเข้มข้น 3 , 5 , 8 %[w/v] 63

2 จ. แสดงผลการวิเคราะห์ทางสถิติของเต้าหู้หลอดเมื่อผสมน้ำแป้งมันสำปะหลัง ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ กัน 64

3 จ. แสดงผลการทดสอบคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสของเต้าหู้หลอด เมื่อผสมน้ำแป้ง Crosslinked ที่ความเข้มข้น 3 , 5 , 8 %[w/v] 65

4 จ. แสดงผลการวิเคราะห์ทางสถิติของเต้าหู้หลอดเมื่อผสมน้ำแป้ง Crosslinked ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ กัน 66

5 จ. แสดงผลการทดสอบคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสของเต้าหู้หลอด เมื่อผสมน้ำแป้ง Oxidized ที่ความเข้มข้น 3 , 5 , 8 %[w/v] 67

6 จ. แสดงผลการวิเคราะห์ทางสถิติของเต้าหู้หลอดเมื่อผสมน้ำแป้ง Oxidized ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ กัน 68

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่

ภาพที่ 3.1 แสดงกรรมวิธีการผลิตเต้าหู้หลอดในการทดลอง 25

ภาพที่ 4.1 แสดงลักษณะปรากฏของเต้าหู้หลอดเมื่อผสมแป้งมันสำปะหลัง ที่ระดับความเข้มข้น 10 และ 11 % [w/v] 33

ภาพที่ 4.2 แสดงลักษณะปรากฏของเต้าหู้หลอดเมื่อผสมแป้ง Crosslinked ที่ระดับความเข้มข้น 10 และ 11 % [w/v] 35

ภาพที่ 4.3 แสดงลักษณะปรากฏของเต้าหู้หลอดเมื่อผสมแป้ง Oxidized ที่ระดับความเข้มข้น 8 และ 9 % [w/v] 37

ภาพที่ 4.4 แสดงลักษณะปรากฏของเต้าหู้หลอดที่นำไปทดสอบ เมื่อผสมน้ำแป้งมันสำปะหลังที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ 43

ภาพที่ 4.5 แสดงลักษณะปรากฏของเต้าหู้หลอดที่นำไปทดสอบ เมื่อผสมน้ำแป้ง Crosslinked ที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ 44

ภาพที่ 4.6 แสดงลักษณะปรากฏของเต้าหู้หลอดที่นำไปทดสอบ เมื่อผสมน้ำแป้ง Oxidized ที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ 45

ภาพที่ 1 ข. กราฟแสดงค่าการ Syneresisของเต้าหู้หลอด 54

ภาพที่ 1 ค. กราฟแสดงค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นของเต้าหู้หลอด 57

ภาพที่ 1 ง. กราฟแสดงค่า Maximum Force ของเต้าหู้หลอด 60

ภาพที่ 2 ง. แสดงลักษณะกราฟ Texture Profile ของเจลเต้าหู้หลอด 61

บทที่ 1
บทนำ

ส่วนประกอบหนึ่งที่มีในอาหารซึ่งร่างกายจำเป็นต้องได้รับในปริมาณที่เหมาะสม คือ โปรตีน เพราะนอกจากจะช่วยทำให้ร่างกายเจริญเติบโต และช่วยซ่อมแซมเนื้อเยื่อของร่างกายแล้ว โปรตีนยังช่วยให้การทำงานของอวัยวะต่างๆในร่างกายเป็นไปอย่างปรกติด้วย แหล่งของโปรตีนที่สำคัญ คือ โปรตีนจากเนื้อสัตว์ เช่น เนื้อ นม ไข่ เป็นต้น ถั่วเหลืองเป็นพืชตระกูลถั่วที่ได้รับความสนใจอย่างมากในการผลิตโปรตีนจากพืชมาใช้แทนโปรตีนจากสัตว์ซึ่งมีราคาสูง เนื่องจากถั่วเหลืองมีคุณค่าทางโภชนาการสูง มีราคาถูก (น้ำทิพย์, 2540) โดยมีองค์ประกอบที่เป็นโปรตีนในปริมาณสูง นอกจากนี้ยังมีไขมันในรูปของ polyunsaturated fatty acid (PUFA) มากกว่า 50% , วิตามินที่ละลายได้ในไขมัน รวมทั้ง thiamine , nicotinic acid และ panthotenic acid ด้วย อย่างไรก็ตามถั่วเหลืองดิบจะมีองค์ประกอบของ anti-nutrition เช่น trypsin inhibitor และ Haemaglutenin อยู่ซึ่งสามารถถูกทำลายได้ด้วยความร้อน ดังนั้นขบวนการแปรรูปจึงมีผลต่อการใช้ประโยชน์ของสารอาหาร (Beddows and Wong, 1987)

เมล็ดถั่วเหลืองสามารถนำมาประกอบอาหารได้หลายชนิด เช่น เต้าหู้ เต้าฮวย ซีอิ้ว และนมถั่วเหลือง เป็นต้น (ลินจง, 2538) แต่อย่างไรก็ตามสำหรับประเทศไทยการบริโภคถั่วเหลืองหรือผลิตภัณฑ์ถั่วเหลืองยังนับว่าน้อยมากเมื่อเทียบกับประเทศอื่นๆในเอเชีย โดยเฉพาะเมื่อเปรียบเทียบกับประเทศจีน และ ญี่ปุ่น ในประเทศเหล่านี้ถั่วเหลืองถือได้ว่าเป็นแหล่งโปรตีนที่สำคัญที่สุด โดยนิยมนำไปแปรรูปทำผลิตภัณฑ์เต้าหู้ (Tofu) (Kohyama และคณะ, 1995)

ในการแปรรูปถั่วเหลืองเมล็ดแห้งให้เป็นผลิตภัณฑ์ ส่วนมากนิยมนำมาแปรรูปเป็นเต้าหู้ชนิดต่างๆ ซึ่งคนไทยนิยมบริโภคเต้าหู้หลอดกันมากที่สุด ทั้งนี้เพราะเต้าหู้แบบนี้เก็บได้นาน สามารถขนส่งได้สะดวก ทำให้ขนส่งได้สะดวก ขนส่งได้ไกลจากโรงงานที่ผลิตมาก (Beddows and Wong, 1987)

เต้าหู้หลอดเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้พัฒนาขึ้นในประเทศญี่ปุ่น โดยเริ่มในปีค.ศ. 1960 เทคนิคการผลิตได้ก้าวหน้าเรื่อยมา จนกระทั่งในปัจจุบันสามารถผลิตได้โดยใช้เครื่องอัตโนมัติทั้งหมด สำหรับ

ประเทศไทยการผลิตเต้าหู้หลอดนั้นได้มีผู้นำเทคนิคเข้ามาผลิตเมื่อประมาณ 20 ปีที่ผ่านมานี้ มีทั้งใส่ไข่และไม่ใส่ไข่ อย่างไรก็ตามรายละเอียดเกี่ยวกับการผลิตของโรงงานต่างๆในประเทศไทยยังไม่มีใครทราบแน่ชัด (ณรงค์, 2528) นอกจากนี้ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์เต้าหู้หลอด เพื่อจุดประสงค์การลดต้นทุนการผลิตและยืดอายุของผลิตภัณฑ์ อาจจะใช้สารประเภทไฮโดรคอลลอยด์ เช่น แป้ง เจลาติน หรือ กัมชนิดต่าง ๆ ใส่เข้าไปเพื่อเพิ่มปริมาณผลิตผล และลดต้นทุนในการผลิต แต่ยังไม่มีการศึกษาอย่างเด่นชัดในเรื่องนี้นัก ดังนั้นคณะผู้วิจัยจึงได้ให้ความสนใจศึกษาในกรณีดังกล่าว

ในการศึกษาปัญหาพิเศษครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ

1) เพื่อศึกษาถึงชนิดของแป้งมันสำปะหลังที่มีผลต่อคุณภาพของเต้าหู้หลอด

2) เพื่อศึกษาถึงปริมาณของแป้งมันสำปะหลังในระดับต่าง ๆ ซึ่งมีผลต่อคุณภาพเต้าหู้หลอด

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

บทที่ 2

การตรวจเอกสาร

เต้าหู้หลอดเป็นผลิตภัณฑ์ที่จัดอยู่ในพวกเต้าหู้บรรจุภาชนะ (filled tofu) ชนิดหนึ่ง เป็นผลิตภัณฑ์ที่แตกต่างไปจากเต้าหู้แบบธรรมดาทั้งในเรื่องวิธีการผลิต อายุการเก็บ และความสะอาด เต้าหู้แบบธรรมดานั้นจะต้องทำการตกตะกอนในขณะที่นมถั่วเหลืองมีอุณหภูมิสูง แล้วจึงนำโปรตีนที่ตกตะกอนใส่ลงพิมพ์ กดให้แน่นเป็นก้อน การผลิตต้องสัมผัสกับสิ่งแวดล้อมหรือผู้ผลิตตลอดเวลา ทำให้มีจุลินทรีย์สูง เป็นเหตุให้มีอายุการเก็บสั้น แต่สำหรับเต้าหู้หลอดนั้น การตกตะกอนมักทำหลังจากที่ผสมสารตกตะกอนกับนมถั่วเหลืองเข้าด้วยกันแล้วที่อุณหภูมิต่ำ โดยใช้นมถั่วเหลืองที่ผ่านการฆ่าเชื้อและใส่ภาชนะบรรจุและผ่านการให้ความร้อนจึงไม่มีโอกาสที่จะสัมผัสกับผู้ผลิต โดยปกติแล้วจุลินทรีย์ที่หลงเหลืออยู่จะน้อยมาก และจะมีอยู่เฉพาะจุลินทรีย์ที่ทนความร้อนสูงได้เท่านั้น ด้วยเหตุนี้เต้าหู้หลอดแบบนี้จึงเก็บได้นาน นอกจากนี้แล้วยังมีเต้าหู้อื่นๆ อีก 3 ชนิด คือ เต้าหู้บรรจุกล่องพลาสติก เต้าหู้บรรจุห่อพลาสติก และเต้าหู้บรรจุกล่องกระดาษสี่เหลี่ยม (ณรงค์, 2528)

การผลิตเต้าหู้แบ่งย่อยได้เป็น 3 ขั้นตอน คือ

1. การแช่ถั่ว (maceration) และการสกัด (extraction) อุณหภูมิและอัตราส่วนของน้ำต่อถั่ว มีความสำคัญต่อคุณภาพของเต้าหู้ ซึ่งจะเกี่ยวข้องกับปริมาณโปรตีนที่สกัดได้

2. การให้ความร้อน (heating) และการกรอง (filteration) อุณหภูมิที่ใช้ในการบดถั่วจะมีผลต่อความแข็งแรงของเต้าหู้ โดยความแข็งแรงจะเกี่ยวข้องกับปริมาณ sulhydryl group (SH) ในน้ำนมถั่วเหลือง นอกจากนี้อัตราส่วนของน้ำที่ใช้ในการบดถั่วก็มีผลต่อคุณภาพของเจลจากถั่วเหลืองด้วยเช่นกัน

3. การทำให้ตกตะกอน (coagulation) การใช้สารตกตะกอน GDL เป็นต้น ความร้อนจะทำให้พันธะ disulfide ของสายโซ่โปรตีนแตกออก เมื่อเติมสารตกตะกอนโมเลกุลโปรตีนในส่วนที่เป็น hydrophobic จะเกิดการจับตัวกัน เป็นโครงร่างตาข่าย แล้วตกตะกอน (Beddows and Wong, 1987)

ตารางที่ 2.1 แสดงปริมาณองค์ประกอบต่างๆ ของเต้าหู้หลอด

องค์ประกอบ	ปริมาณ
moisture (%)	90.0
crude protein (%)	4.5
crude fat (%)	3.2
ash (%)	0.6
Ca (mg%)	35.0

หมายเหตุ ได้จากการวิเคราะห์เต้าหู้หลอดที่ใช้อัตราส่วนน้ำบดถั่วต่อน้ำหนักถั่วเท่ากับ 5 : 1 และใช้ GDL เป็นสารตกตะกอน หรือใช้แคลเซียมคลอไรด์ , แคลเซียมซัลเฟต

ที่มา : K.Saino (1979)

2.1 วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตเต้าหู้หลอด

2.1.1 ถั่วเหลือง

ถั่วเหลืองจัดอยู่ใน Family leguminosae และ Subfamily Papiliokdeae มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ที่ใช้กันเป็นทางการในปัจจุบัน คือ Glycine max (L.) Merrill ส่วนชื่อสามัญก็เรียกต่างๆ กันไป เช่น Soya bean , Chinese pea , Manchurn bean และ Soybean ซึ่งชื่อ Soybean เป็นที่ยอมรับกันมากที่สุด (กองส่งเสริมพืชพันธุ์, 2531)

การเลือกถั่วเหลืองที่จะนำมาใช้ทำเต้าหู้ เพื่อที่จะให้เต้าหู้มีผลผลิตสูง (yield) และได้เนื้อเต้าหู้ที่เหมาะสมจะต้องเลือกถั่วเหลืองที่ไม่เก็บไว้นานหลายเดือน หรือเป็นถั่วเก่าเก็บ และควรเป็นถั่วเหลืองที่เก็บไว้ในสภาวะที่พอเหมาะ กล่าวคือ อุณหภูมิและความชื้นต่ำ (วันชัย, 2527) ทั้งนี้เนื่องจากถั่วเหลืองที่เก็บไว้นานเกินไป หรือเก็บไว้ในสภาวะที่ไม่เหมาะสมจะมีค่าของ Nitrogen Solubility Index (NSI) ต่ำลงทำให้การสกัดเอาโปรตีนออกมาในนมถั่วเหลืองน้อยลง ฉรงค์ (2538) กล่าวว่า ถั่วเหลืองที่ใช้ในการผลิตเต้าหู้ควรมีขนาดใหญ่ เปลือกบาง ขั้วเมล็ดไม่มีสีดำ อายุไม่เกิน

6 เดือน ถั่วเก่ามากจะให้เต้าหู้น้อย ถั่วเหลืองเป็นวัตถุดิบที่สำคัญมาก เป็นที่ให้สารละลายโปรตีน ซึ่งจะทำหน้าที่เป็นเนื้อเต้าหู้ภายหลังการตกตะกอนแล้ว ถั่วเหลืองที่ดีจะต้องมีของแข็ง (โปรตีน ไข-มัน คาร์โบไฮเดรต เกลือแร่ต่างๆ) ละลายออกมามาก และให้กลิ่นถั่วน้อย ไม่มีรสขม ให้นมสีขาว สีของตา (hilum) ถั่วเหลืองควรจะใกล้เคียงกับสีของเมล็ดถั่วเหลือง และมีการละลายดี นอกจากนี้ไม่ควรมีเมล็ดเน่าเสีย ก้อนดิน ก้อนหิน ปะปนอยู่ ขนาดของเมล็ดมีความสำคัญมาก ถั่ว-เหลืองที่มีเมล็ดขนาดใหญ่จะให้ส่วนที่เป็นเนื้อมาก สีของเมล็ดมีผลต่อสีของน้ำนมถั่วเหลืองหรือเต้าหู้มาก ถั่วเหลืองที่ตาสีดำหรือสีที่เข้มกว่าเปลือกมาก จะทำให้นมถั่วเหลืองหรือเต้าหู้มีสีคล้ำ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการเตรียมน้ำนมถั่วเหลืองโดยไม่เอาเปลือกถั่วเหลืองออก ถั่วเหลืองที่มีของแข็งละลายน้ำได้มากจะให้ผลผลิตที่สูง

ส่วนประกอบทางเคมีและคุณค่าทางโภชนาการ

โปรตีนของถั่วเหลือง ถั่วเหลืองมีปริมาณโปรตีน 35-40 เปอร์เซนต์ แต่จะเป็นโปรตีนที่มีคุณภาพไม่สมบูรณ์ คือ มีปริมาณของกรดอะมิโนที่มีกำมะถันเป็นองค์ประกอบ (Sulfur containing amino acid) ที่จำเป็นต่อร่างกาย ได้แก่ กรดอะมิโน เมทิลโอนีน+ซิสตีน (Methionine+Cystine) น้อย แต่มีปริมาณกรดอะมิโนไลซีน (Lysine) สูง โปรตีนในถั่วเหลืองจะถูกสะสมอยู่ในเซลล์ของเนื้อถั่วเหลือง โดยสะสมกันในลักษณะที่เรียกว่า Protein bodies หรือ Storage Proteins ซึ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางระหว่าง 2-20 ไมครอน แต่ส่วนใหญ่มีขนาด 5-8 ไมครอน และมีน้ำหนักโมเลกุลอยู่ในช่วงของ 200,000-600,000 ในสภาวะธรรมชาติ โมเลกุลของโปรตีนขนาดใหญ่เหล่านี้ยังสามารถจับตัวกันเป็นโมเลกุลขนาดใหญ่ได้อีกด้วยการเชื่อมกันของ disulfide linkage

ไขมันของถั่วเหลือง ถั่วเหลืองประกอบด้วยไขมัน 21 เปอร์เซนต์ น้ำมันถั่วเหลืองมีความสำคัญมากต่อโภชนาการของมนุษย์ คุณภาพของน้ำนมถั่วเหลืองสูงกว่าสัตว์ และสูงกว่ามันเนย เนื่องจากน้ำมันถั่วเหลืองมีปริมาณกรดไขมันที่จำเป็นต่อร่างกาย ได้แก่ กรด Linoleic 25.0-64.8 % และ กรด Linolenic 0.3-12.1 % เป็นต้น ซึ่งกรดไขมันเหล่านี้จะช่วยทำให้ร่างกายทำงานเป็นปกติ และเลซิทีนที่มีอยู่ในถั่วเหลืองมีประโยชน์ต่อร่างกายมาก คือ ทำหน้าที่เป็นสาร antioxidant

คาร์โบไฮเดรทของถั่วเหลือง ถั่วเหลืองมีคาร์โบไฮเดรทประมาณ 34 เปอร์เซนต์ ซึ่งส่วนใหญ่เป็นพวก galactans , pentosans และ hemicellulose ซึ่งร่างกายนำไปใช้ประโยชน์ได้น้อย มีรายงานว่า เพียง 40 เปอร์เซนต์ของคาร์โบไฮเดรททั้งหมด ซึ่งร่างกายสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ ถั่วเหลืองแตกต่างจากพวก legumes ตรงที่ว่ามีแป้งน้อยมาก หรือไม่มีเลย ซึ่งทำให้ถั่วเหลืองเป็นอาหารที่เหมาะสมสำหรับคนที่เป็นโรคเบาหวานอย่างยิ่ง ส่วนน้ำตาลอิสระ (free sugar) ซึ่งละลายในน้ำ ได้แก่ sucose , raffinose และ stachyose (สมชาย, 2538)

ไวตามินและแร่ธาตุ (Vitamins and Mineals) ในถั่วเหลือง ถั่วเหลืองเป็นอาหารที่อุดมสมบูรณ์ไปด้วยไวตามิน และเกลือแร่ต่างๆ ไวตามินที่อุดมสมบูรณ์ได้แก่ Thiamine (B1) , Riboflavin (B2) , Niacin , D , E และ K จะพบว่ามีไวตามิน B2 มากกว่าพืชอื่นใด และมีมากเกินความต้องการต่อวันในผู้ใหญ่อีกด้วย นอกจากไวตามินแล้วถั่วเหลืองยังประกอบไปด้วยไบโอติน (Biotin) โคลิน (Choline) และอิโนซิทอล (Inositol) ซึ่งทำหน้าที่คล้ายกับไวตามิน ในแง่ของเกลือแร่ธาตุต่างๆ ถั่วเหลืองอุดมสมบูรณ์ไปด้วยแคลเซียม (calcium) ฟอสฟอรัส (phosphorus) เหล็ก (iron) และโปแตสเซี่ยม (potassium) สำหรับแคลเซี่ยมนั้นเป็นธาตุที่สำคัญและจำเป็นอย่างยิ่งในการเจริญเติบโตของกระดูกในร่างกาย โปแตสเซี่ยมร่างกายต้องการในการเสริมสร้างกล้ามเนื้อต่างๆ และทำให้กล้ามเนื้อแข็งแรง ธาตุฟอสฟอรัสช่วยในการบำรุงประสาทและสมอง และธาตุเหล็กสำคัญในการบำรุงโลหิต (สมชาย, 2538)

สารพิษในถั่วเหลือง (สมชาย, 2538) มีสารซึ่งต่อต้านทางด้านโภชนากรของถั่วเหลือง ซึ่งแบ่งออกได้เป็น 3 ชนิด ได้แก่

1. Trypsin Inhibitor (TI) เป็นโปรตีนชนิดหนึ่ง ซึ่งประกอบไปด้วยกรดอะมิโน ซึ่งมีกำมะถันเป็นองค์ประกอบ (30-40 % cystine) โปรตีนนี้จะไปยับยั้งปฏิกิริยาของเอนไซม์ทริพซิน (Trypsin) ซึ่งเป็นเอนไซม์ในกระเพาะอาหารของเรา แต่ Trypsin Inhibitor นี้สามารถหยุดปฏิ-กิริยาของมันได้โดยการนึ่งถั่วเหลือง (ที่แช่น้ำแล้ว) ด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิ 250 องศาฟาเรนไฮน์ เป็นเวลา 10-20 นาที หรือต้มในน้ำที่อุณหภูมิ 200 องศาฟาเรนไฮน์ เป็นเวลา 30-45 นาที หรือต้มในน้ำเดือด (212 องศาฟาเรนไฮน์) เป็นเวลา 15-20 นาที

2. Haemaglutinins ถั่วเหลืองประกอบไปด้วยโปรตีนอย่างน้อย 4 ชนิด ซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้เม็ดเลือดแดงจับกันเป็นก้อน ในการทดลองกับกระต่ายและหนูทดลอง โปรตีนเหล่านี้เรียกว่า

Haemaglutinins โปรตีนเหล่านี้จะถูกทำลายโดยเอนไซม์ pepsin ซึ่งเป็นเอนไซม์ในกระเพาะอาหารของมนุษย์ Haemaglutinins สามาระถูกทำลายได้ด้วยความร้อน ดังนั้นจึงไม่มีปัญหาเกี่ยวกับ Haemaglutinins ในอาหาร ถ้าได้มีการให้ความร้อนที่เหมาะสมแก่ถั่วเหลืองในขั้นตอนของการแปรรูปถั่วเหลืองไปเป็นผลิตภัณฑ์อาหารต่างๆ

3. Saponins เป็นพวก Complex glucosides ของ Triterpenoid alcohols มีอยู่ในถั่วเหลืองประมาณ 0.5 เปอร์เซนต์ สารนี้ไม่ละลายใน Hexane และยังคงเหลืออยู่ในกากถั่วเหลืองที่สกัดเอาน้ำมันออกแล้ว (defatted meal) ซึ่งมีในปริมาณเพียงเล็กน้อยและเมื่อนำไปทดสอบกับลูกไก่ , หนูทดลอง โดยใช้ Saponins ในปริมาณ 0.5 เปอร์เซนต์ ถึง 3 เปอร์เซนต์ ผสมลงไปในอาหารที่ใช้เลี้ยง ปรากฏว่า ไม่มีอันตรายต่อสุขภาพของสัตว์เหล่านี้แต่ประการใด ถึงแม้ว่าสารตัวนี้จะไม่ถูกทำลายด้วยความร้อนก็ตาม ก็ไม่มีผลร้ายปรากฏในแง่ปัญหาทางด้านโภชนาการ

ในการทดลองครั้งนี้จะใช้ถั่วเหลืองสายพันธุ์ สจ.4 ซึ่งในขณะที่เป็นต้นอ่อนจะมีสีม่วง ใบเลี้ยงสีเขียว ลำต้นเป็นแบบไม่ทอดยอด ใบย่อยแต่ละใบเป็นชนิดกว้าง คือ ตรงฐานใบกว้างจะค่อยๆ เรียวแหลมที่ปลายใบ ใบค่อนข้านหนา สีเข้ม มีขนสีน้ำตาลปกคลุมทั่วไป และขนมีลักษณะตั้ง ดอกมีสีม่วง เมื่อถั่วเหลืองเข้าสู่ระยะแก่ฝักจะเปลี่ยนจากสีเขียว เป็นสีเหลือง และฝักเมื่อแก่จะเป็นสีน้ำตาลเข้ม เมล็ดมีลักษณะค่อนข้างกลม ผิวสีเหลืองค่อนข้างจะด้าน ตาสีน้ำตาล ขนาดเมล็ดใหญ่ คือ มีน้ำหนัก 100 เมล็ด หนัก 14-15 กรัม ลักษณะเด่นของถั่วเหลืองพันธุ์นี้คือ มีความต้านทานต่อโรครากสนิม เป็นพันธุ์ที่มีเมล็ดกลม มีเปลือกสีเหลืองอ่อน ตาค่อนข้างมีสีน้ำตาลอ่อน (กรมส่งเสริมพืชพันธ์, 2531) เหมาะสำหรับทำเต้าหู้หลอด แต่ถั่วเหลืองพันธุ์นี้มีถั่วหินปะปนอยู่มากทำให้มีปัญหาในการบด (ฉรงค์, 2538)

2.1.2 น้ำ

น้ำที่เหมาะควรมีอุณหภูมิต่ำ สะอาด รสดี และมีราคาไม่แพง น้ำที่ใช้อาจมาจากแหล่งใดก็ได้ แต่ถ้าเป็นน้ำบ่อจะมีคุณภาพดีกว่าน้ำประปา ทั้งนี้เพราะว่าน้ำประปามีอุณหภูมิสูงและมักจะมีคลอรีนผสมอยู่ระหว่าง 0.025-2.00 ส่วนในล้านส่วน ซึ่งอาจจะทำให้เต้าหู้มีกลิ่นผิดปกติและมีเนื้อนิ่มกว่าปกติ ถ้าจำเป็นต้องใช้น้ำประปาควรผ่านกระบวนการกำจัดคลอรีนเสียก่อน โดยนำไปกรองผ่านผงถ่าน นอกจากนี้ถ้าจำเป็นต้องใช้น้ำจากแหล่งอื่น ควรมีการตรวจสอบปริมาณจุลินทรีย์ก่อน น้ำที่เหมาะสมควรมีปริมาณจุลินทรีย์ต่ำ และมีปริมาณคลอโรฟอร์มไม่เกิน 2 ต่อน้ำ 1 มิลลิลิตร

2.1.3 สารตกตะกอนโปรตีน (cogulant)

ในกระบวนการผลิตเจลเต้าหู้ขั้นตอนที่สำคัญ คือ การเติมสารตกตะกอนเพื่อให้เกิดเจล Watanabe และคณะ (1964)แสดงให้เห็นว่าปริมาณของสารตกตะกอนจะมีความสัมพันธ์กับเปอร์เซนต์ของของแข็งที่มีในน้ำนม สารเคมีที่ใช้กันอยู่มีหลายชนิด คือ สารประกอบคลอไรด์ สารประกอบซัลเฟต กรด สารกลูโคโนเดลต้าแลคโทน (GDL) นอกจากนี้ยังมีการใช้น้ำผลไม้ในการตกตะกอนด้วย เช่น น้ำส้มคั้น น้ำมะนาว น้ำสับปะรด ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีลักษณะกรอบ หักง่าย มีรสเฝื่อนเล็กน้อย (สมจิต และ เพลินใจ, 2538)

สารกลูโคโนเดลต้าแลคโทน (GDL) จะนำไปผสมกับนมถั่วเหลืองที่มีอุณหภูมิต่ำแล้วนำไปต้มให้ความร้อน สารประกอบชนิดนี้จะเปลี่ยนไปเป็นกลูโคนิค ซึ่งอาจทำให้นมถั่วเหลืองตกตะกอน เป็นขบวนการตกตะกอน ที่คล้ายๆ กับกรดที่เกิดจากจุลินทรีย์ สารกลูโคโนเดลต้าแลคโทนเป็นผลึกสีขาว ละเอียด ไม่มีกลิ่นรส เตรียมจากแป้งข้าวโพดโดยการหมักด้วยจุลินทรีย์ การทำงานของสารกลูโคโนเดลต้าแลคโทนแตกต่างไปจากการทำงานของสารประกอบแคลเซียมซัลเฟตมาก กล่าวคือ สารแลคโทนจะให้โปรตอนซึ่งทำให้โปรตีนตกตะกอน ในขณะที่สารประกอบซัลเฟตนั้นตัวอิออนของแคลเซียมทำให้โปรตีนตกตะกอน โดยปกติจะนิยมใช้สารกลูโคโนเดลต้าแลคโทนกับการผลิตเต้าหู้หลอด ไม่นิยมใช้กับเต้าหู้แข็งกับเต้าฮวย เต้าหู้หลอดที่ได้มีลักษณะเหมือนเจลลี่นุ่ม ไม่มีกลิ่นรส ปริมาณที่ใช้ประมาณ 1.1 เปอร์เซนต์ของน้ำหนักถั่วแห้ง หรือ 0.33 เปอร์เซนต์ของนมถั่วเหลือง ก่อนใช้ควรละลายในน้ำเย็นเล็กน้อนก่อนใส่ลงในนมถั่วเหลือง แต่ไม่ควรทิ้งไว้นานเกิน 10 นาที ในปัจจุบันนิยมที่จะใช้สารแลคโทนผสมกับแคลเซียมซัลเฟตในอัตราส่วน 8 ต่อ 2 กล่าวกันว่าของผสมนี้จะทำให้เต้าหู้หลอดมีรสดีกว่าการใช้สารแลคโทนแต่เพียงอย่างเดียว (ณรงค์, 2528)

2.1.4 แป้ง

คุณสมบัติที่เกี่ยวข้องกับการนำไปใช้ประโยชน์ (อรวรรณ,2529) เพื่อการผลิตเต้าหู้หลอด คือ

2.1.4.1 รูปร่างและขนาด

เม็ดแป้งจากแหล่งต่างกันจะมีขนาดและลักษณะรูปร่างแตกต่างกัน เม็ดแป้งข้าวเจ้ามีขนาดเล็กที่สุด คือ มีขนาด 3-8 ไมครอน ลักษณะเป็นรูปหลายเหลี่ยม มักพบอยู่รวมกันเป็นกลุ่ม เม็ดแป้งข้าวโพดมีขนาด 10-25 ไมครอน มีทั้งลักษณะกลมและหลายเหลี่ยม เม็ดแป้งมันสำปะหลังขนาดเฉลี่ยเท่าๆ กันกับเม็ดแป้งข้าวโพด โดยอยู่ในช่วง 5-35 ไมครอน แต่จะมีลักษณะเป็นรูปทรงกลมหรือรูปไข่ที่มีด้านหนึ่งตัดตรง สำหรับแป้งสาลีจะมีลักษณะกลม โดยมีทั้งขนาดใหญ่และเล็กคละกัน ขนาดเล็ก 2-6 ไมครอน และขนาดใหญ่ 20-35 ไมครอน

2.1.4.2 ปฏิกิริยากับไอโอดีน

แป้งต่างชนิดกันจะมีอัตราส่วนของอมัยโลสและอมัยโลเพคตินต่างกัน และโดยทั่วไปแป้งจะมีอมัยโลส 20-25 เปอร์เซนต์ และอมัยโลเพคติน 75-80 เปอร์เซนต์ แต่พบว่าในธรรมชาติยังมีกลุ่มของแป้งอีกกลุ่มหนึ่งซึ่งนิยมนำมาใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร รวมทั้งการนำมาทำแป้งดัดแปลง คือ แป้งข้าวเหนียว ข้าวโพดข้าวเหนียว ข้าวฟ่างข้าวเหนียว ซึ่งมีปริมาณอมัยโลสเพียง 1 เปอร์เซนต์ และนอกจากนี้ ความก้าวหน้าทางพันธุกรรม ทำให้สามารถเพิ่มปริมาณอมัยโลสจากระดับปกติ เช่น Amylomaize มีอมัยโลส 50-75 เปอร์เซนต์ ซึ่งอมัยโลสและอมัยโลแพคตินมีคุณสมบัติที่แตกต่างกัน ดังตารางที่ 2.2

วิธีวิเคราะห์อมัยโลสจะอาศัยคุณสมบัติการทำปฏิกิริยากับไอโอดีน วิธีที่นิยมใช้คือ การให้แป้งทำปฏิกิริยากับสารละลายไอโอดีนและวัดสีน้ำเงินที่เกิดขึ้นเช่น การใช้ spectrophotometer **หรือ** Potentiometric titration

ตารางที่ 2.2 แสดงความแตกต่างของอมัยโลสและอมัยโลเพคติน

อมัยโลส	อมัยโลเพคติน
1. ประกอบด้วยโมเลกุลกลูโคสที่ต่อกันเป็นเส้นตรง	1. ประกอบด้วยโมเลกุลกลูโคสมีกิ่งก้านสาขาเหมือนกิ่งไม้
2. ประกอบด้วยกลูโคส 200-1,200 หน่วย	2. แต่ละกิ่งมีกลูโคส 20-25 หน่วย
3. ละลายน้ำได้ดีกว่า	3. ละลายน้ำได้น้อยกว่า
4. เมื่อต้มในน้ำจะมีความข้นหนืดน้อยและขุ่น	4. ข้นหนืดมากและใส
5. ให้สีน้ำเงินกับสารละลายไอโอดีน	5. ให้สีแดงหรือน้ำตาลกับสารละลายไอโอดีน
6. ต้มแล้วตั้งทิ้งไว้จะจับตัวเป็นวุ้น	6. ไม่จับตัวเป็นวุ้น

ที่มา : อรวรรณ (2529)

2.1.4.3 การพองตัวและการละลาย

แป้งจะไม่ละลายในน้ำเย็นแต่จะดูดซึมน้ำไว้ได้ประมาณ 25-30 เปอร์เซนต์ และพองตัวน้อยมากจนไม่สามารถสังเกตเห็นได้ ทั้งนี้เนื่องจากการจัดเรียงตัวกัน (intermixed) ระหว่างโมเลกุลของอมัยโลสและอมัยโลเพคตินภายในเม็ดแป้ง แต่เมื่อให้น้ำแป้งมีอุณหภูมิสูงขึ้นประมาณ 60 องศาเซลเซียส ขึ้นไป ส่วน amorphous จะรับน้ำได้มาก และการจับกันของโมเลกุลในส่วน crystallite เริ่มคลายความหนาแน่นลง โมเลกุลส่วนที่เริ่มคลายตัวออกจากกันจะมีการรับน้ำได้ ทำให้เม็ดแป้งพองตัวเพิ่มขึ้น โมเลกุลอมัยโลสและอมัยโลเพคตินซึ่งมีขนาดเล็กและเป็นอิสระกระจายตัวออกมาจากเม็ดแป้ง ทำให้เกิดสภาพการละลายขึ้น เมื่อให้อุณหภูมิน้ำแป้งสูงขึ้นไปอีก ส่วน crystallite ที่เหลืออยู่นี้คลายตัว ทำให้เม็ดแป้งพองตัวเต็มที่จนแตกในที่สุด ทำให้เกิดสภาพการละลายมาก

สามารถแบ่งแป้งออกเป็น 3 กลุ่มตามความสามารถในการดูดซึมน้ำ ได้แก่

1) แป้งจากธัญพืช เช่น แป้งจากข้าวเจ้า แป้งจากข้าวเหนียว เป็นต้น

2) แป้งจากพืชราก เช่น แป้งจากมันสำปะหลัง เป็นต้น

3) แป้งจากพืชหัว เช่น แป้งจากมันฝรั่ง เป็นต้น

แป้งกลุ่มเดียวกันมีแนวโน้มของรูปแบบการพองตัวคล้ายกัน แป้งจากพืชหัวจะพองตัวที่อุณหภูมิต่ำกว่า และการพองตัวอย่างเร็วมาก สามารถพองตัวได้เต็มที่เมื่อเม็ดแป้งมีอุณหภูมิถึงอุณหภูมิเจลาติไนเซชั่น ส่วนแป้งจากธัญพืชซึ่งมีช่วงอุณหภูมิเจลาติไนเซชั่นสูงกว่าแป้งจากพืชหัว จะเริ่มพองตัวที่อุณหภูมิสูงกว่า และแป้งจากพืชรากจะเริ่มพองตัวที่อุณหภูมิที่ใกล้เคียงกับแป้งจากพืชหัว และที่อุณหภูมิต่ำกว่าแป้งจากธัญพืช แต่เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจะมีอัตราการพองตัวที่ช้าลง (อรวรรณ, 2529)

ตารางที่ 2.3 แสดงการพองตัวและการละลายของแป้งต่างๆ ที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส

ชนิดแป้ง	ความสามารถในการพองตัว (น้ำหนักของตะกอนต่อน้ำหนักแป้งแห้ง)	เปอร์เซนต์การละลาย	Critical concentration value (กรัมน้ำหนักแห้ง)
มันสำปะหลัง	71	48	1.4
ข้าวโพด	24	25	4.4
ข้าวสาลี	19	18	5.6
ข้าวเหนียวและข้าวเจ้า	56	13	1.8

ที่มา : อรวรรณ (2529)

2.1.4.4 การเกิดเจลาติไนเซชั่น

ในสภาวะธรรมชาติในเม็ดแป้งมีการจับกันของโมเลกุลอมัยโลสและอมัยโลเพคตินในส่วนที่เป็น crystallite อย่างหนาแน่นแข็งแรง จึงไม่ละลายในน้ำเย็น แต่น้ำอาจจะซึมเข้าไปในส่วน amorphous ของเม็ดแป้ง ซึ่งไม่แข็งแรงและมีกลุ่มไฮดรอกซิลอิสระ และจับกันด้วยพันธะไฮโดรเจนได้บ้าง แต่เมื่อให้ความร้อนจนถึงอุณหภูมิหนึ่งประมาณ 60-70 องศาเซลเซียส หรือใช้สารเคมี จะมีผลทำให้การจับกันระหว่างโมเลกุลของแป้งในส่วน crystallite คลายตัวลง เกิดปฏิกิริยาการรับน้ำและเกิดการพองตัวของเม็ดแป้ง ซึ่งไม่สามารถผันกลับได้และทำให้สารละลายแป้งมีความหนืดและใสขึ้น กระบวนการนี้เรียกว่า เจลาติไนเซชั่น (gelatinization)

ตารางที่ 2.4 แสดงอุณหภูมิเจลาติไนเซชั่นของแป้งต่างๆ

ชนิดของแป้ง	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)
ข้าวโพด	62-67-72
มันสำปะหลัง พันธุ์ไซแอมิส	62-68-73
ข้าวเจ้าและข้าวเหนียว	68-74.5-78
ข้าวสาลี	58-61-64

ที่มา : อรวรรณ (2529)

2.1.4.5 ความหนืด (viscosity)

คุณสมบัติที่สำคัญและเป็นประโยชน์มากที่สุดของแป้ง คือ เมื่อให้ความร้อนจะสามารถพองตัวในน้ำและให้ความหนืด พฤติกรรมความหนืดเป็นคุณสมบัติเฉพาะและแตกต่างกันไปตามชนิดและสายพันธุ์ของแป้ง เมื่อเม็ดแป้งซึ่งแขวนลอยในน้ำได้รับความร้อนจนถึงระดับหนึ่งจะพองตัวขึ้นอย่างรวดเร็ว ทำให้ความหนืดเพิ่มขึ้นเร็วมาก จากนั้นจะลดลงในอัตราที่ช้าลง และเห็นได้ชัดเมื่ออยู่ในช่วงการหุงต้มที่ 95 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ดังนั้น ค่าความหนืดของน้ำ-แป้งสุกจะเกิดจากการผสมผสานของเม็ดแป้งที่พองตัว เม็ดแป้งที่แตกหัก (fragment) และโมเลกุลของแป้งที่ละลายออกมาจากเม็ดแป้งเป็นอิสระจะสามารถเคลื่อนที่เข้ามาจับกันและกักน้ำไว้ได้อีก ทำให้ความหนืดสูงขึ้นอีก (อรวรรณ, 2529)

เม็ดแป้งที่มีการพองตัวสูง เช่น แป้งมันสำปะหลัง และแป้งจากธัญพืชที่เป็นแบบข้าวเหนียว เม็ดแป้งที่มีการพองตัวปานกลาง ได้แก่ แป้งจากธัญพืชทั่วๆ ไป แป้งที่มีการพองตัวเล็กน้อย ได้แก่ แป้งจากถั่วต่างๆ และเม็ดแป้งที่มีการพองตัวน้อยมาก คือ แป้งที่มีปริมาณอมัยโลสสูง เช่น แป้งข้าวโพด (อรวรรณ, 2529)

2.1.5 แป้งดัดแปร

แป้งดัดแปร (modified starch) หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำแป้ง (สตาร์ช/starch/ St-OH) เช่น แป้งมันสำปะหลัง แป้งข้าวโพด แป้งมันฝรั่ง เป็นต้น มาเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางเคมี และ/หรือ ทางกายภาพจากเดิม ด้วยความร้อนและหรือเอนไซม์ และ/หรือสารเคมีชนิดต่าง ๆ เพื่อให้เหมาะสมกับการนำไปใช้ในอุตสาหกรรมต่าง ๆ การใช้แป้งดัดแปรในอุตสาหกรรมอาหารนั้น เกณฑ์ที่กำหนดและลักษณะชี้บ่งของแป้งดัดแปรแต่ละประเภทต้องเป็นไปตามข้อกำหนดของกระทรวงอุตสาหกรรม (2535) และการทดสอบเกณฑ์ที่กำหนดให้เป็นไปตาม FAO Food and Nutrition Paper (1986)

การดัดแปรแป้งสามารถแบ่งเป็น 3 วิธี ได้แก่

1. การดัดแปรเพื่อเปลี่ยนแปลงปริมาณอะมิโลส หรืออะมิโลเพคติน
2. การดัดแปรโดยวิธีทางกายภาพ (Physical modification)
3. การดัดแปรโดยวิธีทางเคมี (Chemical modification) เป็นวิธีการดัดแปรที่มีหลายรูปแบบขึ้นกับปฏิกิริยาเคมีที่นำมาใช้ในแต่ละปฏิกิริยาให้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณสมบัติเฉพาะ สามารถเลือกได้ตามวัตถุประสงค์ที่ต้องการ แบ่งได้เป็น 2 ประเภทคือ

3.1 การทำให้แตกตัวอย่างมีการควบคุม (Controlled degradation) การดัดแปรแป้งแบบนี้ทำให้โครงสร้างของแป้งเกิดการเปลี่ยนแปลง โดยโมเลกุลของแป้งจะถูกไฮโดรไลส์ทำให้โมเลกุลมีขนาดเล็กลง การไฮโดรไลส์มักเกิดที่ตำแหน่ง α-1,4 รวมทั้งการเกิดออกซิเดชั่นของหมู่ไฮดรอกซิลเป็นหมู่แอลดีไฮด์ คีโตนหรือคาร์บอกซิล แบ่งได้เป็น 3 ประเภทคือ

ก) การดัดแปรด้วยกรด (Acid modification)

ข) การดัดแปรโดยวิธีไพโรคอนเวอร์ชัน (Pyroconversion) หรือเด็กซ์ตรินไนเซชั่น (Dextrinization)

ค) การดัดแปรด้วยวิธีออกซิเดชั่นหรือการฟอก (Oxidized or hypochloritemodification) เป็นการทำปฏิกิริยากับสารเคมีพวก oxidizing agent มีผลทำให้โครงสร้างทางเคมีและขนาดของโมเลกุลเปลี่ยนแปลงไป แป้งดัดแปรที่ได้เรียกว่า ออกซิไดส์สตาร์ช(Oxidized starch)ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นจะเปลี่ยนหมู่ไฮดรอกซิลไปเป็นหมู่แอลดีไฮด์คีโตนหรือคาร์บอกซิลและมีการไฮโดรไลส์โมเลกุลของแป้งด้วย นอกจากนี้ยังเป็นการกำจัดสีและการทำลายจุลินทรีย์ ทำให้แป้งมีความขาวขึ้น คุณ-

สมบัติของออกซิไดส์สตาร์ชให้ความหนืดต่ำลงที่อุณหภูมิสูงขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับแป้งดิบมีลักษณะเป็นเจลที่คงตัวมากกว่าเดิมและมีคุณสมบัติในการไหลเมื่อแห้งดีขึ้น

3.2 การเกิดอนุพันธ์

แป้งดัดแปรที่ได้เรียกว่า อนุพันธ์ของแป้ง (starch derivatives) แบ่งชนิดของปฏิกิริยาของการดัดแปรโดยวิธีนี้ได้ 3 แบบ ได้แก่

ก) อีเทอริฟิเคชัน (Etherification)

ข) เอสเทอริฟิเคชัน (Esterification)

ค) ครอสส์-ลิงกิง (Cross-linking) เป็นแป้งดัดแปรที่ได้จากปฏิกิริยาระหว่างแป้งกับสารเคมีที่มีหมู่ฟังก์ชันมากกว่า 1 หมู่ (multi functional reagent) แป้งดัดแปรที่ได้ เรียกว่าครอสส์ลิงก์-สตาร์ช (cross-linked starch,St-xx-St) โดยจะเป็นปฏิกิริยาเอสเทอริฟิเคชันหรืออีเทอริฟิเคชันก็ได้ขึ้นกับชนิดสารเคมีที่ใช้โดยสามารถที่จะทำปฏิกิริยากับหมู่ไฮดรอกซิลของโมเลกุลแป้งมากกว่า 1 หมู่ ทำให้เกิดพันธะเชื่อมข้าม (crosslinksหรือ bridges) ระหว่างโมเลกุลของแป้ง 2 โมเลกุลซึ่งเป็นพันธะโควาเลนต์จะช่วยส่งเสริมพันธะไฮโดรเจนที่ยึดโครงสร้างของเม็ดแป้งไว้ให้แข็งแรงมากขึ้น ลดการพองตัวของเม็ดแป้ง ทำให้แป้งดัดแปรทนต่อสภาวะการเป็นกรด ความร้อน และสภาพที่มีแรงเฉือนจากเครื่องมือที่ใช้ในกระบวนการผลิตอาหาร สารที่ใช้ได้แก่ฟอสฟอรัสออกซิคลอไรด์ (Phosphorus oxichloride)โซเดียมไตรเมทระฟอสเฟต (Sodium trimetraphosphate) หรือ อีพิคลอโรไฮดริน (Epichlorohydrin) เป็นต้น

ตัวอย่างของครอสส์ - ลิงก์สตาร์ช เช่น ไดสตาร์ชฟอสเฟต (Distarch phosphate) เป็นแป้งดัดแปรที่เตรียมจากสารละลายแป้งที่ร้อน ทำปฏิกิริยากับฟอสเฟต-ออกซิคลอไรด์ หรือ โซเดียมไตรเมทระฟอสเฟต โดยเกิดปฏิกิริยาเอสเทอริฟิเคชัน ระหว่างโมเลกุลของแป้ง 2 โมเลกุลกับฟอสเฟต ทำให้ได้พันธะฟอสโฟไดเอสเทอร์ ไดสตาร์ชฟอสเฟตที่ได้จะยังคงรักษาลักษณะของเม็ดแป้ง ความหนืดจะสูง และมีเสถียรภาพ ต่อสภาวะที่เป็นกรด แรงเฉือนที่รุนแรง (Strong shear) และการหุงต้มเป็นเวลานาน (กล้าณรงค์ และคณะ, 2539)

2.2 กรรมวิธีการผลิตเต้าหู้หลอด

การผลิตเต้าหู้หลอดอาจแบ่งได้เป็น 2 ขั้นตอน (ปณัฐฐา และ ปริยาพร, 2540) คือ ขั้นตอนในการผลิตน้ำนมถั่วเหลืองให้มีความเข้มข้นพอเหมาะ ให้ปราศจากกลิ่นรส ขั้นต่อมาเป็นการนำนมถั่วเหลืองที่ได้ไปตกตะกอนในภาชนะบรรจุ

2.2.1 การผลิตน้ำนมถั่วเหลือง มีขั้นตอนต่างๆ ดังนี้

2.2.1.1 การกำจัดเปลือกถั่วเหลือง ถั่วเหลืองที่กำจัดเปลือกออกจะให้น้ำนมถั่วเหลืองที่มีกลิ่นถั่วน้อย ไม่มีรสขม และมีสีขาวน่ารับประทาน นอกจากนี้ยังใช้กากถั่วเหลืองเป็นอาหารได้อีกด้วย แต่ถ้าใช้ถั่วเหลืองทั้งเปลือกจะให้ผลตรงกันข้าม กล่าวคือมีกลิ่นถั่วแรง สีคล้ำและมีรสขม การกำจัดเปลือกออกคือโม่หิน โดยปรับระยะระหว่างฟันให้เหมาะสมพอที่จะให้เมล็ดถั่วเหลืองแตกเท่านั้น นำถั่วที่โม่ผ่าซีกแล้วแยกเปลือกออกโดยใช้สีผัดหรือลมเป่า

2.2.1.2 การแช่ถั่วเหลือง ถั่วเหลืองที่ใช้ทำนมถั่วเหลืองควรผ่านการแช่น้ำก่อนบดเนื่องจากจะทำให้บดได้ง่าย มีของแข็งและโปรตีนละลายน้ำได้มากขึ้น ก่อนนำถั่วเหลืองไปแช่น้ำควรจะล้างน้ำก่อนเพื่อกำจัดฝุ่นละอองและสิ่งสกปรกอื่นๆ ซึ่งจะทำให้นมถั่วเหลืองที่ได้มีสีและกลิ่นผิดปรกติ ปริมาณน้ำที่ใช้แช่ไม่ควรต่ำกว่า 3 เท่าของน้ำหนักถั่วเหลืองแห้ง อุณหภูมิของน้ำถ้าต่ำมากจะใช้เวลาแช่นาน ประมาณ 16-24 ชั่วโมง แต่ถ้าอุณหภูมิสูง เช่น ในหน้าร้อนของประเทศไทยเวลาที่ใช้แช่จะลดลง นอกจากนี้ถั่วเหลืองที่เก็บไว้นานหรือมีขนาดเล็ก เนื้อแข็งหรือมีปริมาณน้ำมันสูง ควรใช้เวลาแช่น้ำนานขึ้น หลังจากที่แช่จนได้ที่แล้วน้ำหนักถั่วเหลืองจะเพิ่มขึ้น 2.2-2.3 เท่า การใช้เวลาในการแช่ถั่วเหลืองมากหรือน้อยจนเกินไปจะมีผลทำให้ปริมาณเต้าหู้ที่ได้ลดน้อยลง

การสังเกตดูความพอดีของการแช่ถั่วเหลืองประการแรกให้สังเกตดูก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ถ้าแช่ถั่วเหลืองนานเกินไปจะมีฟองก๊าซชนิดนี้เกิดขึ้น แต่อย่างไรก็ตามถั่วเหลืองจะยังคงมีคุณภาพดีอยู่พอที่จะใช้นมถั่วเหลืองได้ ประการที่สองให้สังเกตดูเปลือกถั่ว ถั่วที่แช่น้ำจนได้ที่จะมีเปลือกเต่งตึงสีสดใส แต่ถ้าเปลือกเริ่มเหี่ยวย่นแสดงว่าแช่น้ำนานเกินไป ประการสุดท้ายให้ทดลองบี้เมล็ดถั่วด้วยนิ้วมือ ถ้าเมล็ดถั่วเหลืองแตกออกง่ายแสดงว่าแช่ถั่วเหลืองได้ที่แล้ว

2.2.1.3 การบดถั่วเหลือง นำถั่วเหลืองที่แช่จนได้ที่แล้วมาล้างให้สะอาด 2-3 ครั้ง นำไปโม่ให้ละเอียด โดยควรผสมน้ำลงไปด้วย และควรมีอุณหภูมิไม่ต่ำกว่า 80 องศาเซลเซียส เพื่อลดเวลาที่ต้มให้น้อยลง หากในการบดใช้น้ำร้อนมาก จะมีผลทำให้ถั่วบดมีลักษณะหยาบ และโปรตีนละลายออกมาน้อยมาก

2.2.1.4 การต้ม เป็นขั้นตอนที่ทำหลังจากโม่ถั่วเหลืองจนละเอียดแล้ว มีจุดมุ่งหมายหลายประการคือ เพื่อ

- เป็นการทำลายสาร trypsin inhibitor และ Hemaglutenin ที่มีอยู่ในถั่ว ซึ่งเป็นสารที่ทำให้ร่างกายใช้โปรตีนได้น้อยลง
- ทำให้นมถั่วเหลืองมีกลิ่นดีขึ้น
- สามารถสกัดนมถั่วเหลืองออกมาได้โดยง่าย
- เปลี่ยนรูปโปรตีนให้อยู่ในรูปที่ตกตะกอนได้ง่าย

ปริมาณน้ำที่ใช้มีความสำคัญมาก ถ้าใช้มากเกินไปจะได้นมถั่วเหลืองที่เจือจาง ไม่เหมาะสำหรับทำเต้าหู้หลอด ในทางตรงกันข้ามถ้าใช้น้ำน้อยเกินไปจะสกัดโปรตีนออกมาได้น้อย โดยปรกติปริมาณน้ำที่ใช้สำหรับการทำนมถั่วเหลืองจะประมาณ 4-6 เท่าของน้ำหนักถั่วแห้ง นมถั่วเหลืองที่ได้จะมีปริมาณของแข็งอยู่ประมาณ 10.5-12.0 เปอร์เซนต์

2.2.1.5 การกรองเอากากออก มักทำหลังจากที่นำถั่วบดไปต้มกับน้ำแล้ว การกรองเป็นการแยกเอาส่วนที่ละลายน้ำได้ออกจากส่วนที่ไม่ละลายน้ำ ในประเทศญี่ปุ่นส่วนใหญ่นิยมต้มถั่วบดก่อนที่จะนำไปกรอง การต้มจะเป็นการลดความหนืดของถั่วเหลืองให้น้อยลงทำให้กรองได้ง่าย พร้อมทั้งมีโปรตีนและของแข็งอื่นๆ ละลายออกมาได้มากด้วย เพราะน้ำทำให้โปรตีนแยกตัวกันในขณะถูกความร้อน ไม่จับตัวกันเป็นก้อนซึ่งเป็นลักษณะที่แตกต่างไปจากโปรตีนที่มีอยู่ในเมล็ดถั่วเหลือง จากการค้นคว้าพบว่าเมื่ออุณหภูมิของน้ำอยู่ระหว่าง 45-85 องศาเซลเซียส จะมีโปรตีนละลายออกมามากที่สุด

2.2.1.6 การล้างกาก ถึงแม้จะมีการแยกกากออกมาจากนมถั่วเหลืองแล้วก็ตาม กากที่เหลือยังมีโปรตีนอยู่มาก ควรนำกากมาล้างด้วยน้ำร้อนอีกอย่างน้อย 1 ครั้ง จะช่วยให้โปรตีนละลายออกมามากขึ้น แต่อย่างไรก็ตามปริมาณน้ำที่ใช้ร่วมกันจะต้องไม่มากกว่าปริมาณที่ต้องการ

2.2.2 การตกตะกอนโปรตีน

การตกตะกอนโปรตีนเป็นขั้นตอนที่ทำให้นมถั่วเหลืองที่เตรียมไว้จับตัวกันเป็นก้อน มีลักษณะเหมือนเจล การตกตะกอนทำได้โดยใช้สาร GDL การตกตะกอนโปรตีนสำหรับเต้าหู้หลอดแตกต่างไปจากการตกตะกอนเพื่อผลิตเต้าหู้แบบอื่นๆ กล่าวคือ จะต้องใส่สารเคมีในขณะที่นมถั่วเหลืองมีอุณหภูมิต่ำ แล้วจึงเพิ่มอุณหภูมิให้สูงขึ้น ซึ่งในขั้นตอนนี้จะมีการเติมน้ำแป้งที่ความเข้มข้นต่างๆ ลงไปผสมกับนมถั่วเหลืองก่อนที่จะมีการเติมสารตกตะกอน สำหรับขั้นตอนในการตกตะกอนมีดังนี้

2.2.2.1 การผสมน้ำแป้ง นำน้ำแป้งที่เตรียมไว้มาผสมกับน้ำนมถั่วเหลืองซึ่งทำให้อุณหภูมิต่ำแล้ว เพื่อให้ละลายเข้ากับน้ำนมถั่วเหลืองให้ได้มากที่สุด

2.2.2.2 การผสมสารตกตะกอน นำนมถั่วเหลืองที่ผสมกับน้ำแป้งจนละลายเป็นเนื้อเดียวกันดีแล้วมาผสมสาร GDL ลงไปคนให้เข้ากัน

2.2.2.3 การบรรจุ บรรจุนมถั่วเหลืองที่ผสมกับสารตกตะกอนแล้วลงในถุงตามปริมาณที่กำหนดไว้ ถุงที่ใช้อาจเป็นถุงโพลิเอทธิลีน หรือ ถุงโพลิสไตรีนก็ได้ มีขนาดความจุประมาณ 300-350 มิลลิลิตร ยาว 5-7 นิ้ว และหนา 0.05 มิลลิเมตร แต่ถ้าเป็นถุงไวลินิดีนคลอไรด์จะสามารถทนความร้อนได้ดี ไม่เหี่ยวย่นเมื่อบรรจุถุง จากนั้นปิดผนึกถุงให้แน่น

2.2.2.4 การให้ความร้อน นำถุงพลาสติกที่บรรจุเรียบร้อยแล้วไปแช่ในน้ำร้อน ซึ่งระหว่างทำให้ร้อนสาร GDL จะสลายตัวให้กรดกลูโคนิค มีลักษณะเหมือนเจลและอุ้มของแข็งอื่นๆ ไว้ในเจลนี้

2.2.2.5 การทำให้เย็น นำถุงที่ผ่านความร้อนแล้วลงแช่ในน้ำเย็นทันที โดยใช้เวลาแช่ประมาณ 1-2 ชั่วโมง หลังจากนั้นจะต้องเก็บไว้ที่อุณหภูมิต่ำ

96976

2.3 ปัญหาการผลิตและความผิดปรกติของเต้าหู้หลอด

2.3.1 การเกิดฟอง

ฟองมักเกิดขึ้นเสมอในการทำนมถั่วเหลือง และเป็นปัญหามากในการผลิตเต้าหู้หลอด เนื่องจากในขณะที่ทำการต้มนมถั่วเหลืองที่บดแล้วจะเกิดไอน้ำขึ้น ไอน้ำนี้จะถูกล้อมรอบด้วยของเหลวที่มีลักษณะเป็นคอลลอยด์ที่มีความตึงผิวสูง ทำให้เกิดฟองขึ้นและเป็นฟองที่ไม่แตกง่าย ทำให้เกิดการสะสมและล้นออกจากภาชนะ ฟองอากาศนี้เมื่อเข้าไปปนอยู่ในเนื้อเต้าหู้หลอด ทำให้มีอายุการเก็บสั้นลงและลักษณะปรากฏไม่น่ารับประทาน ดังนั้นการป้องกันการเกิดฟองในขณะที่ทำนมถั่วเหลืองจึงเป็นสิ่งที่จำเป็นอย่างยิ่ง อาจทำได้โดยการเติมสารเคมีที่เรียกว่า " สารระงับฟอง " (defoamer) (ณรงค์, 2528)

2.3.2 กลิ่นถั่ว

2.3.2.1 สารที่ทำให้เกิดกลิ่นถั่ว

กลิ่นถั่วเป็นปัญหาต่อการยอมรับของผู้บริโภคมาก สารที่ทำให้เกิดกลิ่นถั่วจะเป็นพวก Volatile compound สำหรับในถั่วเหลืองดิบจะมีจำนวนของพวกแอลกอฮอร์สูงที่สุด โดยเฉพาะ n-hexanol ซึ่งทำให้เกิด raw beany flavor แอลกอฮอร์ซึ่งอาจเกิดขึ้นได้ในขณะทำการแช่ถั่วเหลือง และ cabonyl compounds ต่างก็เป็นตัวการสำคัญที่ทำให้เกิดกลิ่นรสของ defated product และ isolated protein ซึ่งสารที่ให้กลิ่นถั่วที่แรงที่สุดคือ ไวนิลคีโตน จากการทดลองพบว่า lipoxygenes activity มีส่วนสัมพันธ์กับการเกิด n-hexanol ใน isolated protein โดย n-hexanol เป็นตัวสำคัญที่ทำให้เกิดกลิ่นใน soy protein (ทศพร, 2527)

2.3.2.2 สาเหตุของการเกิดกลิ่นถั่ว

จะเห็นได้ว่าตัวการที่ทำให้เกิดกลิ่น ได้แก่ เอนไซม์ไลปอกซีจีเนส (lipoxygenase) ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่นของไขมันที่มี cis,cis-1-4-pentadiene ซึ่งเป็นกรดไขมันไม่อิ่มตัว เช่น Linoleic , Linolenic และ Arachidonic acid เป็นต้น ทำให้เกิด peroxidation ซึ่งจะมีผลต่อรสชาติ กลิ่น และสี โดยเฉพาะในถั่ว

เมื่อองค์ประกอบของเมล็ดถั่วถูกทำลายหรือบดแตก ปริมาณของไขมันและไลปอก-ซีจีเนส จะถูก ionized ออกมา ถ้าหากถั่วเหลืองมีความชื้นต่ำกว่า 13 เปอร์เซนต์ เอนไซม์ตัวนี้จะไม่เกิดปฏิกิริยาทันทีกับกรดไขมัน แต่เมื่อมีน้ำเติมเข้าไปเพิ่มปริมาณความชื้นขึ้น การออกซิไดส์ของกรดไขมันก็จะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วและเกิดกลิ่นที่ผู้บริโภคไม่ยอมรับได้ ดังนั้นถ้าเรายับยั้ง (inactivate) เอนไซม์ไลปอกซีจีเนสเสียก่อน เช่น การลวกน้ำร้อน ก็สามารถทำให้กลิ่นถั่วลดลงได้ (ทศพร, 2527)

สรุปการยับยั้งปฏิกิริยาของเอนไซม์ไลปอกซีจีเนสไว้ดังนี้คือ

1. การบดถั่วด้วยน้ำร้อน (gringing with hot water)
2. dry heating-extrusion cooking
3. ลวกน้ำร้อน (blanching)
4. บดถั่วที่ pH ต่ำ แล้วตามด้วยทำให้สุก

นอกจากนี้กลิ่นถั่วอาจจะเกิดจากปฏิกิริยาของไขมัน เช่น hydrolysis ,decarboxylation , dehydration , autoxidation ซึ่งกระบวนการเหล่านี้ทำให้เกิดองค์ประกอบหลายอย่าง และอาจมีการฟอร์มตัวขึ้นใหม่เป็นพวก Volatile compound ต่างๆ ซึ่งมีผลต่อกลิ่นรสของถั่ว

2.3.2.3 วิธีการกำจัดกลิ่นถั่ว

(ก) การใช้วิธีทางเคมีกายภาพ (Physical-Chemical)

การใช้ความร้อนสามารถกำจัดกลิ่นถั่วให้ลดลงได้ โดยการบดถั่วเหลืองที่อุณหภูมิสูง ความร้อนจะทำลายเอนไซม์ทันทีที่ถั่วเหลืองถูกบดโดยไม่มีโอกาสทำงาน หรือเปลี่ยนไขมันให้เกิดสารประกอบต่างๆ ดังกล่าวมาแล้ว แต่ความร้อนเป็นตัวที่ทำให้โปรตีนเปลี่ยนสภาพไปได้ ในกรณีที่ใช้ความร้อนมากเกินไปและนานเกินไป จะทำให้การละลายของไนโตรเจนลดลง (ทศพร, 2527)

(ข) การใช้สารเคมีกำจัดกลิ่นถั่ว

สารประกอบจำพวกแอลกอฮอร์ไม่สามารถทำลายได้ด้วยความร้อน แต่สามารถกำจัดได้ด้วยการใช้สารละลายด่าง เช่น โซเดียมไบคาร์บอเนต ซึ่งการใช้ 0.4M โซเดียมไบ-

คาร์บอเนต คุณค่าทางอาหารไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก และการใช้ 0.2M NaOH จะทำให้โปรตีนลดลง เนื่องจากมีการทำลายกรดอะมิโน เช่น cystine

(ค) การใช้จุลินทรีย์กำจัดกลิ่นถั่ว

(ง) การใช้เอนไซม์ในการกำจัดกลิ่นถั่ว

การใช้เอนไซม์ aldehyde dehydrogenes (ALDH) มีผลทำให้ n-gexanol ในถั่วเหลืองสดลง โดยเปลี่ยนไปเป็น n-hexanoic acid ซึ่งจะเพิ่มขึ้นหลังจาก treat ด้วย ALDH ร่วมกับ NAD+ นอกจากนี้อาจใช้ ALDH ในการปรับปรุงกลิ่นของนมถั่วเหลืองได้ด้วย อย่างไรก็ตามค่าใช้จ่ายในวิธีนี้แพงมาก (ทศพร, 2527)

2.3.3 เต้าหู้มีสีคล้ำ

สาเหตุเนื่องมาจากการเตรียมถั่วเหลืองที่ไม่ถูกต้อง หรืออาจเกิดจากเก็บถั่วเหลืองไว้นานทำให้สีของถั่วคล้ำลงตามธรรมชาติ เมื่อนำไปทำเป็นเต้าหู้หลอดก็จะให้สีคล้ำด้วย นอกจากนี้การล้างถั่วเหลืองก็มีผลต่อสีของเต้าหู้หลอด โดยการล้างถั่วที่ไม่สะอาดพอจะทำให้สิ่งปนเปื้อน เช่น หิน ฝุ่น ละออง ปะปนไปในเต้าหู้หลอดด้วย

2.3.4 การแยกชั้น (syneresis)

การแยกชั้นของเต้าหู้หลอด อาจพบได้เมื่อเก็บเต้าหู้หลอดไว้ระยะหนึ่ง ลักษณะเช่นนี้เกิดจากการใช้ถั่วที่เก็บไว้นานเกินไป โปรตีนจะละลายออกมาได้น้อย และส่วนที่ละลายออกมาก็ไม่อยู่ในรูปสารละลายคอลลอยด์แท้จริง เมื่อนำไปทำเป็นเต้าหู้หลอดก็จะเกิดเป็นเจลที่ไม่อยู่ตัว ทำให้เกิดการแยกชั้นของน้ำและโปรตีน ซึ่งการเติมแป้งจะช่วยแก้ไขให้ปริมาณการ syneresis ต่ำลง

2.3.5 เนื้อหยาบ

ลักษณะเนื้อหยาบนี้อาจเกิดจากปริมาณแป้งที่มากเกินไป หรือใช้น้ำที่มีความกระด้างสูง เช่น น้ำที่มีเกลือแคลเซียมหรือแมกนีเซียมอยู่ ทำให้การตกตะกอนเป็นไปอย่างรวดเร็วเมื่อได้รับความร้อน เต้าหู้หลอดที่ได้จะมีเนื้อหยาบไม่น่ารับประทาน การแก้ไขอาจทำโดย การควบคุมปริมาณแป้งที่เติมลงในนมถั่วเหลืองให้พอเหมาะ และใช้น้ำที่ผ่านการกำจัดความกระด้างมาแล้ว

15453

2.3.6 เนื้อนิ่มเละ

เป็นลักษณะที่เกิดจากคุณสมบัติของแป้งแต่ละชนิด เช่น แป้งสาลี ในขณะที่การเติมแป้งมันสำปะหลังในปริมาณเท่ากัน กลับพบการแยกของเจลแป้งและเจลโปรตีน หรือเนื่องจากการใช้ความเข้มข้นของน้ำแป้งน้อยเกินไป อีกสาเหตุคือ นมถั่วเหลืองมีส่วนของแข็งที่ละลายน้ำได้น้อยเกินไป การแก้ไขอาจทำได้โดยการเปลี่ยนชนิดของแป้ง และการเพิ่มปริมาณความเข้มข้นของแป้งให้มากขึ้น หรือเตรียมนมถั่วเหลืองให้มีความเข้มข้นมากขึ้น

2.3.7 การแยกของเจลแป้งและเจลโปรตีน

สามารถพบลักษณะนี้ได้ชัดบริเวณก้นหลอด เจลแป้งจะมีสีแตกต่างจากเจลโปรตีน ลักษณะเนื้อสัมผัสก็แตกต่างเช่นกัน มีสาเหตุมาจากคุณสมบัติของแป้งแต่ละชนิด หรือใช้ความเข้มข้นของน้ำแป้งมากเกินไป นอกจากนี้อาจเกิดจากขั้นตอนการละลายน้ำแป้งในนมถั่วเหลืองไม่ดีพอ

2.3.8 การเน่าเสีย

ลักษณะที่ปรากฏให้เห็นคือ การมีฟองเกิดขึ้นมาก ที่เป็นเช่นนี้อาจเกิดจากการปิดฝาไม่สนิท หรือใช้ความร้อนในการฆ่าเชื้อน้อยเกินไป อีกลักษณะคือจุดสีต่างๆ เป็นวงกลมขนาดพอสมควรบนเนื้อเต้าหู้หลอด เนื่องจากอุณหภูมิในการเก็บรักษาสูงและมีการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในระหว่างการเก็บรักษา

ห้องสมุดคณะเทคโนโลยีการเกษตร
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า ลาดกระบัง

บทที่ 3
อุปกรณ์และวิธีทำการทดลอง

3.1 วัตถุดิบและสารเคมี

3.1.1 วัตถุดิบ ถั่วเหลืองสายพันธุ์สจ.4 จากสถาบันวิจัยพืชไร่ จังหวัดเชียงใหม่

3.1.2 สารเคมี กลูโคโนเดลต้าแลคโตน (GDL)

3.1.3 แป้งชนิดต่างๆ ได้แก่

แป้งมันสำปะหลัง

แป้งสาลี

แป้งข้าวเจ้า

แป้งข้าวเหนียว

แป้งข้าวโพด

3.1.4 แป้งมันสำปะหลังดัดแปร จากบริษัทสยาม มอดิฟายด์ สตาร์ช จำกัด

ชนิด Oxidized Starch (ภาคผนวก ก.)

ชนิด Cross-linking Starch (ภาคผนวก ก.)

3.1.5 น้ำกลั่น

3.2 อุปกรณ์ในการผลิต

เครื่องโม่ผ่าซีกถั่วเหลือง

เครื่องชั่งชนิดหยาบ

เครื่องชั่งชนิดละเอียด

เครื่องปั่นผสมอาหาร

อ่างน้ำร้อน (water bath)

ถุงพลาสติก (HD) ขนาดกว้าง 7 ซม. และยาว 23 ซม.

เทอร์โมมิเตอร์

กระบอกน้ำกลั่น

ตะแกรงแยกเจริ์ม
ตู้เย็น
เตาแก๊ซ
หนังยาง
ครีมครีบ
กะละมังสเตนเลส
หม้อสเตนเลส
ทัพพี
กระชอน
กระบอกตวง 1000 มิลลิลิตร
บีกเกอร์ 1000 , 250 และ 50 มิลลิลิตร
ช้อนตักสาร
แท่งแก้วคน
ตะแกรงสะเด็ดน้ำ
ผ้าขาวบางตาถี่ ขนาดกว้าง 65 ซม. และยาว 90 ซม.

3.3 อุปกรณ์ในการวิเคราะห์

Refactometer	ATAGO N-1
เครื่องวัดเนื้อสัมผัส	Stable Micro System, TAXT-2
หัววัดเนื้อสัมผัสขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 มม. (75 mm compression platen)	
แบบพิมพ์กดเจลโปรตีนถั่วเหลือง (เส้นรอบวง 3.3 ซม. สูง 2.5 ซม.)	
ตู้อบลมร้อน	E 53
เครื่องชั่งชนิดละเอียด	Metter AB 204

อลูมิเนียมแคน
Plate
กระดาษกรอง

3.4 วิธีทำการทดลอง

3.4.1 ศึกษาชนิดของแป้งและสภาวะของการเตรียมแป้งที่เหมาะสมต่อการพัฒนาคุณภาพเต้าหู้หลอด โดยทำการทดลองในแป้ง 7 ชนิดที่ 2 สภาวะ (ดังภาพที่ 3.1)คือ

3.4.1.1 แป้งข้าวเหนียว

3.4.1.2 แป้งข้าวจ้าว

3.4.1.3 แป้งสาลี

3.4.1.4 แป้งข้าวโพด

3.4.1.5 แป้งมันสำปะหลัง

3.4.1.6 แป้งดัดแปร - ออกซิไดส์สตาร์ช

- ครอสส์-ลิงก์สตาร์ช

- สภาวะที่เป็นของแข็ง ใช้อัตราส่วนน้ำกลั่น : ถั่ว = 5:1 และ GDL 1% ของน้ำหนักถั่วแห้ง ใช้อัตราส่วนแป้ง 4% ของน้ำหนักถั่วแห้ง

- สภาวะที่เป็นน้ำแป้ง ใช้อัตราส่วนน้ำกลั่น : ถั่ว = 5:1 และ GDL 1% ของน้ำหนักถั่วแห้งใช้อัตราส่วนน้ำแป้ง 12% (w/v) ต่อน้ำนม = 1 : 5

3.4.2 ศึกษาอิทธิพลของปริมาณแป้งที่มีผลต่อคุณภาพเต้าหู้หลอด ซึ่งในขั้นตอนนี้มีการศึกษาโดยใช้อัตราส่วนน้ำกลั่น : ถั่ว = 5 : 1 GDL 1 % ของน้ำหนักถั่วแห้งและนำน้ำนมมา 750 มิลลิลิตร ผสมกับน้ำแป้งปริมาตร 150 มิลลิลิตร เพื่อหาระดับความเข้มข้นในช่วงที่เต้าหู้หลอดมีคุณภาพเหมาะสม ดังนี้

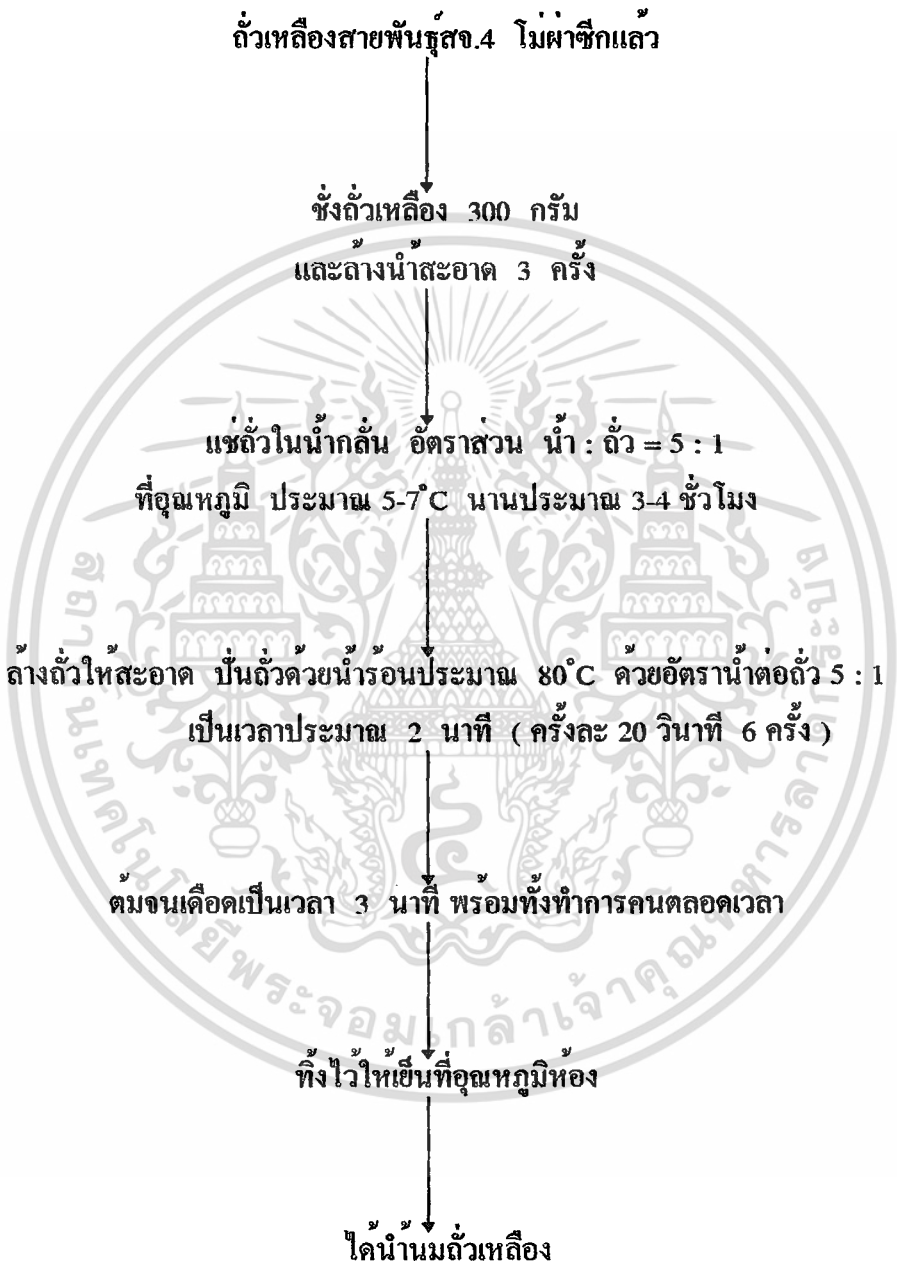
3.4.2.1 แป้งมันสำปะหลังที่ระดับความเข้มข้น 1 , 5 , 8 , 9 , 10 , 11 , 13%

3.4.2.2 แป้งมันสำปะหลังดัดแปรชนิดออกซิไดส์สตาร์ช ที่ระดับความเข้มข้น 1 , 5 , 8 , 9 , 10 , 11 , 13%

3.4.2.3 แป้งมันสำปะหลังดัดแปรชนิดครอสส์ลิงก์สตาร์ช ที่ระดับความเข้มข้น 1 , 5 , 8 , 9 , 10 , 11 , 13%

ภาพที่ 3.1

การเตรียมน้ำนมถั่วเหลือง



การตกตะกอนโปรตีน

ภาพที่ 3.1 แสดงกรรมวิธีการผลิตเต้าหู้หลอด

3.4.3 ศึกษาถึงปริมาณของแป้งมันสำปะหลังในช่วงระดับต่างๆ ซึ่งมีผลต่อคุณภาพเต้าหู้หลอด เพื่อหาระดับความเข้มข้นที่เหมาะสมที่สุดของแป้งมันสำปะหลังทั้ง 3 ชนิด โดยทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 3.4.2 แต่ที่ระดับความเข้มข้นของแป้ง ดังนี้

3.4.3.1 แป้งมันสำปะหลังที่ระดับความเข้มข้น 1 , 3 , 5 , 8 , 10%

3.4.3.2 แป้งมันสำปะหลังดัดแปรชนิดออกซิไดส์สตาร์ช ที่ระดับความเข้มข้น 1 , 3 , 5 , 8 %

3.4.3.3 แป้งมันสำปะหลังดัดแปรชนิดครอสลิงก์สตาร์ช ที่ระดับความเข้มข้น 1 , 3 , 5 , 8 , 10%

3.4.4 การตรวจสอบคุณภาพของเต้าหู้หลอด ดังนี้

3.4.4.1 การ syneresis (ภาคผนวก ข.)

3.4.4.2 ปริมาณความชื้น (ภาคผนวก ค.)

3.4.4.3 ลักษณะเนื้อสัมผัส (ภาคผนวก ง.)

3.4.6 การทดสอบทางด้านประสาทสัมผัส โดยนำเต้าหู้หลอดที่มีการเติมน้ำแป้งในระดับต่างๆ ของแป้งแต่ละชนิดมาให้ผู้บริโภคจำนวน 20 คนทดสอบ (ภาคผนวก จ.)

บทที่ 4

ผลการทดลอง

4.1 การศึกษาถึงชนิดของแป้ง 7 ชนิด ที่เหมาะสมต่อการพัฒนาคุณภาพเต้าหู้หลอด

โดยทำการศึกษาที่ 2 สภาวะ ดังนี้

4.1.1 สภาวะที่เป็นของแข็ง

ผลของการใช้แป้งในสภาวะที่เป็นของแข็งต่อลักษณะปรากฏของเต้าหู้หลอด เมื่อใช้อัตราส่วนน้ำกลั่น : ถั่ว = 5 : 1 ใช้ GDL ความเข้มข้น 1 % ของน้ำหนักถั่วแห้ง และอัตราส่วนแป้ง 4 % ของน้ำหนักถั่วแห้ง จะให้ผลดังที่แสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 แสดงผลการใช้แป้งต่างชนิดกัน 7 ชนิด

ชนิดของแป้ง	ลักษณะปรากฏ
มันสำปะหลัง	ก้นหลอดมีการแยกของเจลแป้งและเจลโปรตีนอย่างเห็นได้ชัด สามารถเทออกจากหลอดได้ง่ายเจลด้านข้างแข็งแรงไม่ติดหลอด เนื้อเต้าหู้ที่ปรากฏหยาบ เป็นสีขาว
ข้าวเหนียว	ก้นหลอดมีการแยกของเจลแป้งและเจลโปรตีนอย่างเห็นได้ชัด เทออกจากหลอดได้ยากเนื้อเต้าหู้เหนียวติดหลอด เนื้อสัมผัสเต้าหู้มีลักษณะหยาบ
ข้าวสาลี	ไม่พบการแยกของเจลโปรตีนกับแป้งที่ก้นหลอด เทออกจากหลอดได้ค่อนข้างง่ายแต่เจลด้านข้างจะเละ เนื้อสัมผัสนิ่มมาก เละ และ มีการ syneresis สูง
ข้าวโพด	ก้นหลอดมีการแยกของเจลแป้งและเจลโปรตีนอย่างเห็นได้ชัด เทออกจากหลอดได้ค่อนข้างง่ายแต่เจลด้านข้างจะเละ เนื้อสัมผัสนิ่มเละ
ข้าวเจ้า	ก้นหลอดมีการแยกของเจลแป้งและเจลโปรตีนอย่างเห็นได้ชัด เทออกจากหลอดได้ยากเนื้อเต้าหู้เหนียวติดหลอด เนื้อสัมผัสเต้าหู้มีลักษณะหยาบเละ

ตารางที่ 4.1 (ต่อ)

ชนิดของแป้ง	ลักษณะปรากฏ
Crosslinked	ไม่พบการแยกของเจลโปรตีนกับแป้งที่ก้นหลอด สามารถเทออกจากหลอดได้ง่าย เจลด้านข้างแข็งแรงไม่ติดหลอด เนื้อเต้าหู้ที่ปรากฏหยาบเล็กน้อยเป็นสีขาว
Oxidized	ไม่พบการแยกของเจลโปรตีนกับแป้งที่ก้นหลอด สามารถเทออกจากหลอดได้ง่ายมีน้ำหล่อเลี้ยงอยู่ในหลอด มี Syneresis สูง

จะเห็นได้ว่าการใช้แป้งในรูปของผงแป้ง จะทำให้เกิดการแยกชั้นระหว่างเจลเต้าหู้และเจลแป้ง นอกจากนี้ยังพบว่าในการผสมแป้งลงในน้ำนมถั่วเหลืองจะทำให้แป้งจับตัวกันเป็นก้อนเกิดเกิดการละลายไม่หมด

4.1.2 สภาวะที่เป็นน้ำแป้ง

ผลของการใช้แป้งในสภาวะที่เป็นของเหลวต่อลักษณะปรากฏของเต้าหู้หลอด เมื่อใช้อัตราส่วนน้ำกลั่น : ถั่ว = 5 : 1 ใช้ GDL ความเข้มข้น 1 % ของน้ำหนักถั่วแห้ง และความเข้มข้นของน้ำแป้งคือ 12 % (w/v) อัตราส่วนของน้ำแป้ง : นม = 1 : 5 จะให้ผลดังที่แสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 แสดงผลการใช้น้ำแป้งต่างชนิดกัน 7 ชนิด

ชนิดของน้ำแป้ง	ลักษณะปรากฏ
มันสำปะหลัง	ก้นหลอดมีการแยกของเจลแป้งและเจลโปรตีนแล็กน้อยสามารถเทออกจากหลอดได้ง่าย เจลด้านข้างแข็งแรงไม่ติดหลอด เนื้อเต้าหู้ที่ปรากฏมีลักษณะหยาบเล็กน้อยเป็นสีขาว
ข้าวเหนียว	ก้นหลอดมีการแยกของเจลแป้งและเจลโปรตีนอย่างเห็นได้ชัด เทออกจากหลอดได้ยากเนื้อเต้าหู้เหนียวติดหลอด เนื้อสัมผัสเต้าหู้มีลักษณะหยาบ
ข้าวสาลี	ไม่พบการแยกของเจลโปรตีนกับแป้งที่ก้นหลอด เทออกจากหลอดได้ค่อนข้างง่าย เนื้อสัมผัสนิ่มมาก เละ และ มีการ syneresis สูง
ข้าวโพด	ก้นหลอดมีการแยกของเจลแป้งและเจลโปรตีนอย่างเห็นได้ชัด เทออกจากหลอดได้ยากเนื้อเต้าหู้เหนียวติดหลอด เนื้อสัมผัสเต้าหู้มีลักษณะหยาบเละ
ข้าวเจ้า	ก้นหลอดมีการแยกของเจลแป้งและเจลโปรตีนอย่างเห็นได้ชัด เทออกจากหลอดได้ยากเนื้อเต้าหู้เหนียวติดหลอดเล็กน้อย เนื้อสัมผัสเต้าหู้มีลักษณะหยาบ
Crosslinked	ไม่พบการแยกของเจลโปรตีนกับแป้งที่ก้นหลอด สามารถเทออกจากหลอดได้ง่าย เจลด้านข้างแข็งแรงไม่ติดหลอด เนื้อเต้าหู้ที่ปรากฏหยาบเล็กน้อยเป็นสีขาว
Oxidized	ไม่พบการแยกของเจลโปรตีนกับแป้งที่ก้นหลอด สามารถเทออกจากหลอดได้ง่ายมีน้ำหล่อเลี้ยงอยู่ในหลอด เนื้อเต้าหู้ที่ปรากฏเนียนเป็นสีขาว มีการ Syneresis สูง

เมื่อพิจารณาจากผลการทดลองตารางที่ 4.1 และ 4.2 จะพบว่าการใช้แป้งมันสำปะหลังและแป้งมันสำปะหลังชนิดดัดแปรในรูปของน้ำแป้งจะมีแนวโน้มทำให้เกิดเจลเต้าหู้หลอดที่มีความแข็งแรงยืดหยุ่น จึงนำน้ำแป้งทั้งสามไปทำการพัฒนาผลิตภัณฑ์เต้าหู้หลอดในการทดลองต่อไป

4.2 การศึกษาหาขอบเขตของปริมาณแป้งที่เหมาะสมต่อการพัฒนาคุณภาพเต้าหู้หลอด

จากผลการทดลองที่ 4.1 จะพบว่าการใช้แป้งมันสำปะหลัง และแป้งมันสำปะหลังชนิดดัดแปรในรูปของน้ำแป้งจะมีแนวโน้มทำให้เกิดเจลเต้าหู้หลอดที่มีความแข็งแรงยืดหยุ่นเหมาะสมกับการนำมาพัฒนาผลิตภัณฑ์เต้าหู้หลอด ในการทำการทดลองในขั้นตอนนี้ทำเพื่อศึกษาหาขอบเขตของปริมาณแป้งทั้ง 3 ชนิดที่เหมาะสมในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ โดยกระทำการทดลองผลิตเต้าหู้หลอดที่ทำการผสมน้ำแป้งที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ แล้วนำลักษณะปรากฏของเต้าหู้หลอดที่ผลิตได้มาพิจารณาหาขอบเขตปริมาณน้ำแป้งที่เหมาะสมในการพัฒนาผลิตภัณฑ์

4.2.1 ผลของน้ำแป้งมันสำปะหลังที่ความเข้มข้นต่างๆกันต่อลักษณะปรากฏของเต้าหู้หลอด

ผลของการใช้น้ำแป้งมันสำปะหลังที่ความเข้มข้นต่าง ๆ กันต่อลักษณะปรากฏของเต้าหู้หลอด เมื่อใช้อัตราส่วนน้ำกลั่น : ถั่ว = 5 : 1 ใช้ GDL ความเข้มข้น 1 % ของน้ำหนักถั่วแห้ง และความเข้มข้นของน้ำแป้งคือ 1 , 5 , 8 , 9 , 10 , 11 , 13 % (w/v) อัตราส่วนของน้ำแป้ง : นม = 1 : 5 จะให้ผลดังที่แสดงในตารางที่ 4.3

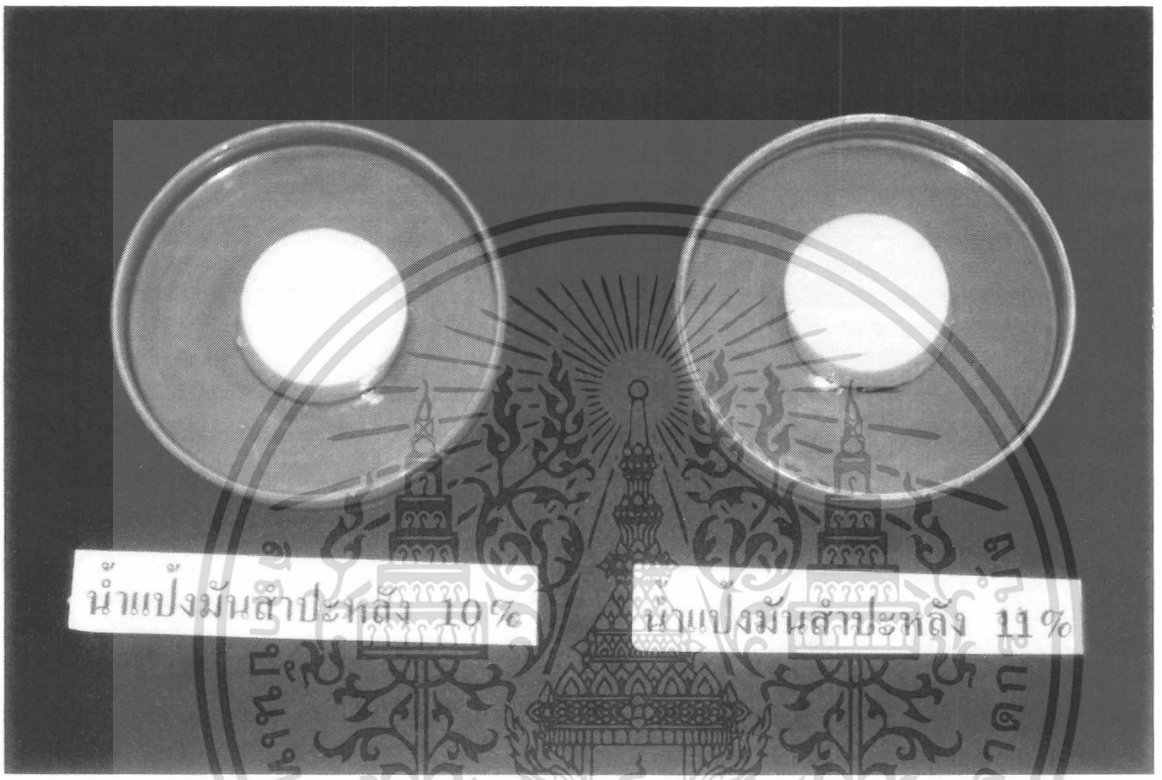
ตารางที่ 4.3 แสดงผลของการใช้น้ำแป้งมันสำปะหลังที่ความเข้มข้น 1 , 5 , 8 , 9 , 10 , 11 , 13 % (w/v)

ความเข้มข้น% (w/v)	ลักษณะปรากฏของเต้าหู้หลอด
1	สามารถเทออกจากหลอดได้ง่าย มีน้ำอยู่ภายในหลอด เจลที่ได้มีลักษณะอ่อน เนื้อเต้าหู้มีลักษณะเนียนเรียบสวย ไม่หยาบ
5	สามารถเทออกได้ค่อนข้างง่าย มีน้ำอยู่ภายในหลอดเล็กน้อย เนื้อเต้าหู้มีลักษณะเนียนเรียบสวย ไม่หยาบ
8	สามารถเทออกได้ค่อนข้างง่าย เจลเต้าหู้มีความแข็งแรงกว่าที่ความเข้มข้น 5 % เนื้อสัมผัสมีลักษณะหยาบเล็กน้อย
9	สามารถเทออกได้ค่อนข้างง่าย เนื้อสัมผัสของเต้าหู้มีลักษณะหยาบกว่าที่ความเข้มข้น 8%และเจลเต้าหู้ก็มีความแข็งแรงมากกว่าด้วย

ตารางที่ 4.3 (ต่อ)

ความเข้มข้น% (w/v)	ลักษณะปรากฏของเต้าหู้หลอด
10	สามารถเทออกได้ค่อนข้างง่าย ไม่ปรากฏการแยกชั้นของเจลแป้งกับเจลโปรตีนเนื้อสัมผัสจะหยาบกว่าที่ความเข้มข้น 9 % เพียงเล็กน้อย
11	สามารถเทออกได้ค่อนข้างง่าย ไม่ปรากฏการแยกชั้นของเจลแป้งกับเจลโปรตีน แต่เนื้อสัมผัสของเต้าหู้จะหยาบ มีลักษณะปรากฏใกล้เคียงกันกับที่ระดับความเข้มข้นที่ 10 %
13	ก้นหลอดมีการแยกชั้นของเจลแป้งและเจลโปรตีนเห็นได้อย่างชัดเจน เทออกได้ง่ายไม่ติดหลอด เจลเต้าหู้ที่ได้มีเนื้อสัมผัสหยาบมาก

เมื่อพิจารณาจากผลการทดลองที่ตารางที่ 4.3 จะพบว่าการใช้แป้งมันสำปะหลังที่ระดับความเข้มข้น 13% จะสังเกตเห็นการแยกชั้นของเจลแป้งและเจลโปรตีนที่ก้นหลอดและเนื้อสัมผัสของเต้าหู้หลอดที่ได้มีลักษณะหยาบมาก ดังนั้นขอบเขตของปริมาณแป้งมันสำปะหลังที่จะทำการศึกษาในขั้นตอนการทดลองต่อไป ควรเป็นที่ระดับความเข้มข้น 1 , 3 , 5 , 8 , 10% [w/v] การที่ไม่เลือกทำการศึกษาที่ระดับความเข้มข้น 11% เนื่องมาจากลักษณะปรากฏของเต้าหู้หลอดที่ระดับความเข้มข้น 10% และ 11% มีความใกล้เคียงกันมากดังที่แสดงในภาพที่ 4.1 ดังนั้นจึงเลือกทำการศึกษาที่ระดับความเข้มข้นเดียว คือ ที่ 10% [w/v]



ภาพที่ 4.1 ลักษณะปรากฏของเต้าหู้หลอดที่ผสมแป้งมันสำปะหลัง
ที่ระดับความเข้มข้น 10 % และ 11 % [w/v]

4.2.2 ผลของน้ำแป้งCrosslinkedที่ความเข้มข้นต่างๆกันต่อลักษณะปรากฏของเต้าหู้หลอด

ผลของการใช้น้ำแป้ง Crosslined ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ กันต่อลักษณะปรากฏของเต้าหู้หลอด เมื่อใช้อัตราส่วนน้ำกลั่น : ถั่ว = 5 : 1 ใช้ GDL ความเข้มข้น 1 % ของน้ำหนักถั่วแห้ง และความเข้มข้นของน้ำแป้งคือ 1 , 5 , 8 , 9 , 10 , 11 , 13 % (w/v) อัตราส่วนของน้ำแป้ง : นม = 1 : 5 จะให้ผลดังที่แสดงในตารางที่ 4.4

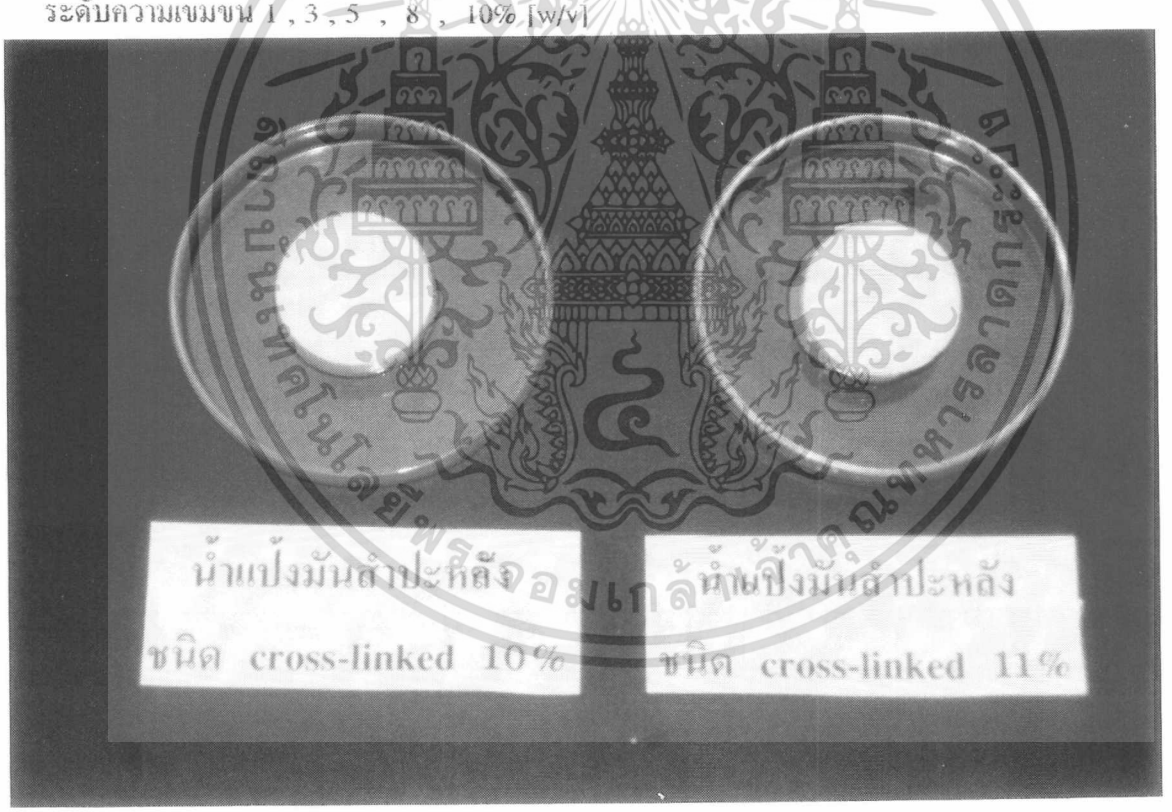
ตารางที่ 4.4 แสดงผลของการใช้น้ำแป้ง Crosslinked ที่ความเข้มข้น 1 , 5 , 8 , 9 , 10 , 11 , 13 % (w/v)

ความเข้มข้น % (w/v)	ลักษณะปรากฏของเต้าหู้หลอด
1	สามารถเทออกจากหลอดได้ง่าย มีน้ำอยู่ภายในหลอด เจลที่ได้มีลักษณะอ่อน เนื้อเต้าหู้มีลักษณะเนียนเรียบสวย ไม่หยาบ
5	สามารถเทออกได้ค่อนข้างง่าย มีน้ำอยู่ภายในหลอดเล็กน้อย เนื้อเต้าหู้มีลักษณะเนียนเรียบสวย ไม่หยาบ
8	สามารถเทออกได้ค่อนข้างง่าย เจลเต้าหู้มีความแข็งแรงกว่าที่ความเข้มข้น 5 % เนื้อสัมผัสมีลักษณะเนียบเรียบสวย ไม่หยาบ
9	สามารถเทออกได้ค่อนข้างง่าย เต้าหู้มีความแข็งแรงของเจลมากกว่าที่ความเข้มข้น 8% เนื้อสัมผัสเริ่มมีลักษณะหยาบ
10	สามารถเทออกได้ค่อนข้างง่าย ไม่ปรากฏการแยกชั้นของเจลแป้งกับเจลโปรตีนเนื้อสัมผัสจะหยาบกว่าที่ความเข้มข้น 9 % เพียงเล็กน้อย
11	สามารถเทออกได้ค่อนข้างง่าย ไม่ปรากฏการแยกชั้นของเจลแป้งกับเจลโปรตีน แต่เนื้อสัมผัสของเต้าหู้จะหยาบไม่เนียน

ตารางที่ 4.4 (ต่อ)

ความเข้มข้น% (w/v)	ลักษณะปรากฏของเต้าหู้หลอด
13	สามารถเทออกได้ค่อนข้างง่าย ไม่ปรากฏการแยกชั้นของเจลแป้งกับเจลโปรตีน แต่เนื้อสัมผัสของเต้าหู้จะมีความหยาบไม่เนียนมากกว่าที่ความเข้มข้น 11 %

เมื่อพิจารณาจากผลการทดลองที่ตารางที่ 4.4 จะพบว่าการใช้แป้ง Crosslinked ที่ระดับความเข้มข้น 11% จะสังเกตเห็นเนื้อสัมผัสของเต้าหู้หลอดที่ได้มีลักษณะหยาบไม่เนียน ซึ่งในระดับความเข้มข้นที่ 10% จะมีลักษณะปรากฏของเนื้อสัมผัสที่ดีกว่าดังที่แสดงในภาพที่ 4.2 ดังนั้นขอบเขตของปริมาณแป้งCrosslinked ที่จะทำการศึกษาในขั้นตอนการทดลองต่อไป ควรเป็นที่ระดับความเข้มข้น 1 , 3 , 5 , 8 , 10% [w/v]



ภาพที่ 4.2 ลักษณะปรากฏของเต้าหู้หลอดที่ผสมแป้งCrosslinked
ที่ระดับความเข้มข้น10 % และ 11% [w/v]

4.2.3 ผลของน้ำแป้ง Oxdized ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ กันต่อลักษณะปรากฏของเต้าหู้หลอด

ผลของการใช้น้ำแป้ง Oxidized ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ กันต่อลักษณะปรากฏของเต้าหู้หลอด เมื่อใช้อัตราส่วนน้ำกลั่น : ถั่ว = 5 : 1 ใช้ GDL ความเข้มข้น 1 % ของน้ำหนักถั่วแห้ง และความเข้มข้นของน้ำแป้งคือ 1 , 5 , 8 , 9 , 10 , 11 , 13 % (w/v) อัตราส่วนของน้ำแป้ง : นม = 1 : 5 จะให้ผลดังที่แสดงในตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 แสดงผลของการใช้น้ำแป้ง Oxidized ที่ความเข้มข้น 1 , 5 , 8 , 9 , 10 , 11 , 13 % (w/v)

ความเข้มข้น% (w/v)	ลักษณะปรากฏของเต้าหู้หลอด
1	สามารถเทออกจากหลอดได้ง่าย มีน้ำอยู่ภายในหลอดเล็กน้อย เนื้อเต้าหู้มีลักษณะเนียนเรียบสวย ไม่หยาบ
5	สามารถเทออกจากหลอดได้ง่าย มีน้ำอยู่ภายในหลอดมากกว่าที่ความเข้มข้น 1 % เนื้อเต้าหู้มีลักษณะเนียนเรียบสวย ไม่หยาบ
8	สามารถเทออกจากหลอดได้ง่าย มีน้ำอยู่ภายในหลอดมากกว่าที่ความเข้มข้น 5 % เจลเต้าหู้เริ่มมีลักษณะนิ่มไม่แข็งแรง เนื้อเต้าหู้มีลักษณะเนียนเรียบสวย ไม่หยาบ
9	สามารถเทออกจากหลอดได้ง่าย มีน้ำอยู่ภายในหลอดมากกว่าที่ความเข้มข้น 8 % เจลเต้าหู้มีลักษณะนิ่มไม่แข็งแรง เนื้อสัมผัสเต้าหู้เริ่มมีลักษณะนิ่มเละ
10	สามารถเทออกจากหลอดได้ง่าย มีน้ำอยู่ภายในหลอดมากกว่าที่ความเข้มข้น 9 % เจลเต้าหู้มีลักษณะนิ่มไม่แข็งแรง เนื้อสัมผัสเต้าหู้มีลักษณะนิ่มเละ

ตารางที่ 4.5 (ต่อ)

ความเข้มข้น %(w/v)	ลักษณะปรากฏของเต้าหู้หลอด
11	สามารถเทออกจากหลอดได้ง่าย มีน้ำอยู่ภายในหลอดมากกว่าที่ความเข้มข้น 10 % เจลเต้าหู้มีลักษณะนิ่มไม่แข็งแรง เนื้อสัมผัสเต้าหู้มีลักษณะนิ่มเละ
13	สามารถเทออกจากหลอดได้ง่าย มีน้ำอยู่ภายในหลอดมาก เจลเต้าหู้มีลักษณะนิ่ม เนื้อสัมผัสเต้าหู้มีลักษณะนิ่มเละ ที่ก้นหลอดพบว่ามีการตกตะกอนของเม็ดแป้ง

เมื่อพิจารณาจากผลการทดลองที่ตารางที่ 4.5 จะพบว่าการใช้แป้ง Oxidized ที่ระดับความเข้มข้น 9% จะสังเกตเห็นเจลเต้าหู้มีลักษณะนิ่มไม่แข็งแรง เนื้อสัมผัสเต้าหู้เริ่มมีลักษณะนิ่มเละ ซึ่งในระดับความเข้มข้นที่ 8% จะมีลักษณะปรากฏของเนื้อสัมผัสที่ดีกว่าดังที่แสดงในภาพที่ 4.3 ดังนั้นขอบเขตของปริมาณแป้ง Oxidized ที่จะทำการศึกษาในขั้นตอนการทดลองต่อไป ควรเป็นที่ระดับความเข้มข้น 1 , 3 , 5 , 8 % [w/v]

ภาพที่ 4.3 ลักษณะปรากฏของเต้าหู้หลอดที่ผสมแป้ง Oxidized
ที่ระดับความเข้มข้น 8 % และ 9% [w/v]

4.3 การวิเคราะห์เต้าหู้หลอดที่ผลิตได้จากการทดลอง

ในผลการทดลองที่ 4.2 จะสามารถหาขอบเขตของปริมาณแป้งทั้ง 3 ชนิดที่จะนำมาทำการศึกษาต่อไปในขั้นตอนการทดลองนี้ ซึ่งจะทำการวิเคราะห์คุณภาพทางด้านกายภาพและทางด้านเคมี ได้แก่ การวิเคราะห์หาค่า Maximum force ค่าการ Syneresis และการวิเคราะห์หาปริมาณความชื้นของเต้าหู้หลอดที่ทำการผลิต

4.3.1 การวัดค่าการ Syneresis ของเต้าหู้หลอด

ผลการวัดค่าการ Syneresis ของเต้าหู้หลอดที่ใช้น้ำแป้ง 3 ชนิดที่ความเข้มข้นต่าง ๆ กัน เมื่อใช้อัตราส่วนน้ำกลั่น : ถั่ว = 5 : 1 ใช้ GDL ความเข้มข้น 1 % ของน้ำหนักถั่วแห้ง อัตราส่วนของน้ำแป้ง : นม = 1 : 5

- ความเข้มข้นของน้ำแป้งมันสำปะหลังคือ 1 , 3 , 5 , 8 , 10 % (w/v)
- ความเข้มข้นของน้ำแป้ง Crosslinked คือ 1 , 3 , 5 , 8 , 10 % (w/v)
- ความเข้มข้นของน้ำแป้ง Oxidized คือ 1 , 3 , 5 , 8 % (w/v)

จะให้ผลดังที่แสดงในตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 แสดงผลของการ Syneresis ของเต้าหู้หลอดเมื่อใช้แป้ง 3 ชนิด ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ กัน

ความเข้มข้น %[w/v]	การ Synersis [ml.]		
	น้ำแป้งมันสำปะหลัง	น้ำแป้ง Crosslinked	น้ำแป้ง Oxidized
1	1.2950 [a]	1.8575 [a]	1.6726 [a]
3	1.2168 [a]	1.8109 [a]	1.7081 [a]
5	1.1260 [b]	1.3584 [b]	1.7531 [a]
8	0.8507 [c]	1.1991 [c]	2.0917 [c]
10	0.8261 [c]	1.0675 [d]	-

[abcd] ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยอักษรเดียวกันตามแนวตั้ง แสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % เมื่อใช้ตัวอย่าง 3 ซ้ำ

เมื่อพิจารณาผลการทดลองดังตารางที่ 4.6 พบว่าในน้ำแป้งมันสำปะหลังและน้ำแป้ง Crosslinked เมื่อความเข้มข้นของแป้งเพิ่มมากขึ้น การSyneresisของเต้าหู้หลอดจะลดลงแต่ในน้ำแป้ง Oxidizedจะพบว่าเมื่อความเข้มข้นของแป้งเพิ่มมากขึ้น การSyneresisของเต้าหู้หลอดจะเพิ่มขึ้น (ดังภาพที่1ข.ในภาคผนวก ข.) เหตุที่เป็นเช่นนั้นเพราะแป้งมันสำปะหลังและแป้ง Crosslinked จะมีความสามารถในการดูดซับน้ำได้ดีเมื่อปริมาณแป้งเพิ่มมากขึ้นการดูดซับน้ำย่อมมีมากขึ้นดังนั้นน้ำที่แยกตัวออกจากเจลเต้าหู้มีจะปริมาณน้อยลง เมื่อปริมาณน้ำที่แยกออกมาจากเจลเต้าหู้มีน้อยลงค่าการ Syneresis จึงน้อยลงด้วย

4.3.2 ผลการวัดความชื้นของเต้าหู้หลอด

ผลการวัดค่าความชื้นของเต้าหู้หลอดที่ใช้น้ำแป้ง 3 ชนิด ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ กัน เมื่อใช้อัตราส่วนน้ำกลั่น : ถั่ว = 5 : 1 ใช้ GDL ความเข้มข้น 1 % ของน้ำหนักถั่วแห้ง อัตราส่วนของน้ำแป้ง : นม = 1 : 5

- ความเข้มข้นของน้ำแป้งมันสำปะหลังคือ 1 , 3 , 5 , 8 , 10 % (w/v)
- ความเข้มข้นของน้ำแป้ง Crosslinked คือ 1 , 3 , 5 , 8 , 10 % (w/v)
- ความเข้มข้นของน้ำแป้ง Oxidized คือ 1 , 3 , 5 , 8 % (w/v)

จะให้ผลดังที่แสดงในตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 แสดงผลการวัดค่าความชื้นของเต้าหู้หลอดเมื่อใช้แป้ง 3 ชนิด ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ กัน

ความเข้มข้น %[w/v]	Moisture [%]		
	น้ำแป้งมันสำปะหลัง	น้ำแป้ง Crosslinked	น้ำแป้ง Oxidized
1	90.385 [a]	90.065 [a]	90.875 [a]
3	89.205 [a]	89.975 [b]	89.780 [b]
5	90.070 [a]	89.700 [c]	89.330 [c]
8	89.160 [a]	89.560 [d]	88.710 [d]
10	89.470 [a]	89.230 [d]	-

[abcd] ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยอักษรเดียวกันตามแนวตั้ง แสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % เมื่อใช้ตัวอย่าง 2 ซ้ำ

เมื่อพิจารณาผลการทดลองดังตารางที่ 4.7 พบว่าในน้ำแป้งทั้ง 3 ชนิดเมื่อความเข้มข้นของแป้งเพิ่มมากขึ้น ปริมาณความชื้นของเต้าหู้หลอดจะลดลง(ดังภาพที่ 1ค.ในภาคผนวก ค.) เหตุที่เป็นเช่นนั้นเพราะเมื่อปริมาณแป้งในหลอดเต้าหู้เพิ่มมากขึ้นปริมาณน้ำย่อมน้อยลงเพราะแป้งไปแทนที่น้ำ ดังนั้นเมื่อปริมาณแป้งลดน้อยลงปริมาณความชื้นในเต้าหู้หลอดจึงลดลงด้วย

4.3.3 ผลการวัด Maximum Force ของเต้าหู้หลอด

ผลการวัดค่า maximum forceของเต้าหู้หลอดที่ใช้น้ำแป้ง 3 ชนิด ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ กัน เมื่อใช้อัตราส่วนน้ำกลั่น : ถั่ว = 5 : 1 ใช้ GDL ความเข้มข้น 1 % ของน้ำหนักถั่วแห้ง อัตราส่วนของน้ำแป้ง : นม = 1 : 5

- ความเข้มข้นของน้ำแป้งมันสำปะหลังคือ 1 , 3 , 5 , 8 , 10 % (w/v)
- ความเข้มข้นของน้ำแป้ง Crosslinked คือ 1 , 3 , 5 , 8 , 10 % (w/v)
- ความเข้มข้นของน้ำแป้ง Oxidized คือ 1 , 3 , 5 , 8 % (w/v)

จะให้ผลดังที่แสดงในตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 แสดงผลการวัดค่า Maxium Force ของเต้าหู้หลอดเมื่อใช้แป้ง 3 ชนิด ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ กัน

ความเข้มข้น %[w/v]	Maximum Force [g.]		
	น้ำแป้งมันสำปะหลัง	น้ำแป้ง Crosslinked	น้ำแป้ง Oxidized
1	624.839 [a]	638.763 [a]	589.025 [a]
3	719.786 [b]	686.005 [b]	547.476 [b]
5	784.076 [c]	689.919 [b]	522.908 [b]
8	838.885 [d]	716.880 [c]	439.235 [c]
10	876.799 [d]	724.217 [c]	-

[abcd] ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยอักษรเดียวกันตามแนวตั้ง แสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % เมื่อใช้ตัวอย่าง 3 ซ้ำ

เมื่อพิจารณาผลการทดลองดังตารางที่ 4.8 พบว่าในน้ำแป้งมันสำปะหลังและน้ำแป้ง Crosslinked เมื่อความเข้มข้นของแป้งเพิ่มมากขึ้น ค่า Maximum forceของเต้าหู้หลอดจะเพิ่มขึ้นแต่ในน้ำแป้ง Oxidizedจะพบว่าเมื่อความเข้มข้นของแป้งเพิ่มมากขึ้น ค่า Maximum forceของเต้าหู้หลอดจะลดลง (ดังภาพที่1ง.ในภาคผนวก ง.) เหตุที่เป็นเช่นนั้นเพราะแป้งมันสำปะหลังและแป้ง Crosslinked จะมีความสามารถในการเพิ่มความแข็งแรงให้กับเจลเต้าหู้ เมื่อปริมาณแป้งเพิ่มมากขึ้นเต้าหู้ย่อมทนการกดทับได้ดีขึ้นค่า Maximum force จึงเพิ่มมากขึ้น แต่ในกรณีของแป้ง

Oxidized เมื่อเติมเข้าไปในเต้าหู้หลอดจะทำให้โครงสร้างภายในเจลเต้าหู้หลอดมีการเปลี่ยนแปลงไปอาจทำให้เต้าหู้ทนแรงกดทับได้น้อยลง

4.4 ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัส

ในการทดลองนี้จะทำการคัดเลือกเต้าหู้หลอดที่ทำการผลิตโดยผสมน้ำแป้งทั้ง 3 ชนิด ที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ กันโดยพิจารณาการเลือกระดับความเข้มข้นของน้ำแป้งจากผลการทดลองที่กล่าวมาเบื้องต้น ในการการทดสอบทางประสาทสัมผัสของเต้าหู้หลอดที่ผลิตจากน้ำนมถั่วเหลืองที่อัตราส่วนน้ำกลั่น : ถั่ว = 5 : 1 ใช้ GDL ความเข้มข้น 1 % ของน้ำหนักถั่วแห้ง อัตราส่วนของน้ำแป้ง : น้ำนม = 1 : 5

- ความเข้มข้นของน้ำแป้งมันสำปะหลังคือ 3 , 5 , 8 % (w/v)
- ความเข้มข้นของน้ำแป้ง Crosslinked คือ 3 , 5 , 8 , 10 % (w/v)
- ความเข้มข้นของน้ำแป้ง Oxidized คือ 1 , 3 , 5 , 8 % (w/v)

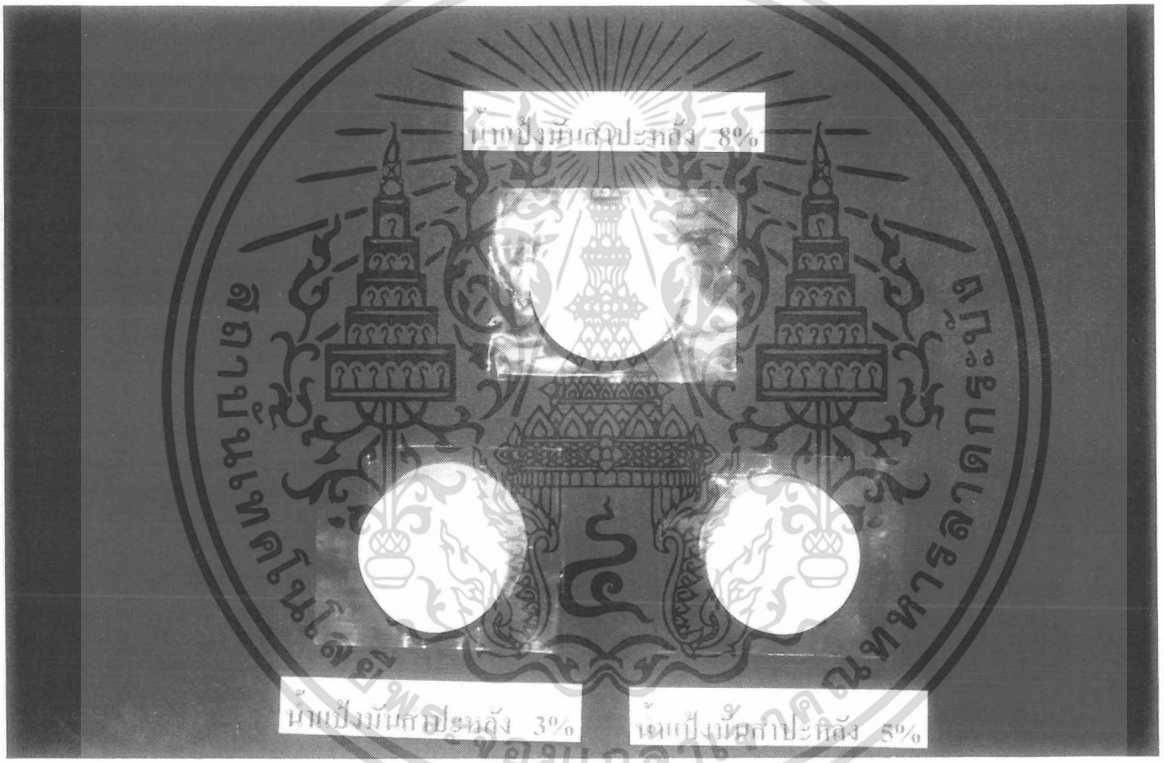
จะให้ผลดังที่แสดงในตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 แสดงผลการทดสอบทางด้านประสาทสัมผัสของเต้าหู้หลอดเมื่อใช้แป้ง 3 ชนิด ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ กัน

ความเข้มข้น %[w/v]	ค่าเฉลี่ยการทดสอบทางด้านประสาทสัมผัส (แบบ scoring test)		
	น้ำแป้งมันสำปะหลัง	น้ำแป้ง Crosslinked	น้ำแป้ง Oxidized
1	-	-	5.5 [a]
3	4.5 [a]	5.6 [a]	5.15 [a]
5	4.35 [a]	4.25 [b]	4.2 [b]
8	4.4 [a]	4.05 [b]	4.45 [b]
10	-	3.85 [b]	-

[ab] ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยอักษรเดียวกันตามแนวตั้ง แสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % เมื่อใช้ตัวอย่าง 3 ซ้ำ

เมื่อพิจารณาผลการทดลองจากตารางที่ 4.9 เต้าหู้หลอดที่ผสมน้ำแป้งมันสำปะหลังที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ไปทดสอบคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัส (ลักษณะปรากฏของเต้าหู้หลอดที่นำไปทดสอบแสดงในภาพที่ 4.4) พบว่าเมื่อนำไปคำนวณผลทางด้านสถิติ (ตารางที่ 2จ. ในภาคผนวก จ.) ไม่มีความแตกต่างทางด้านสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% แต่ถ้าพิจารณาในด้านคะแนนรวมสูงสุดจะพบว่าผู้ทดสอบจำนวน 20 คนมีการยอมรับเต้าหู้หลอดที่ทำการผสมน้ำแป้งมันสำปะหลังที่ระดับความเข้มข้น 3 % มากที่สุด

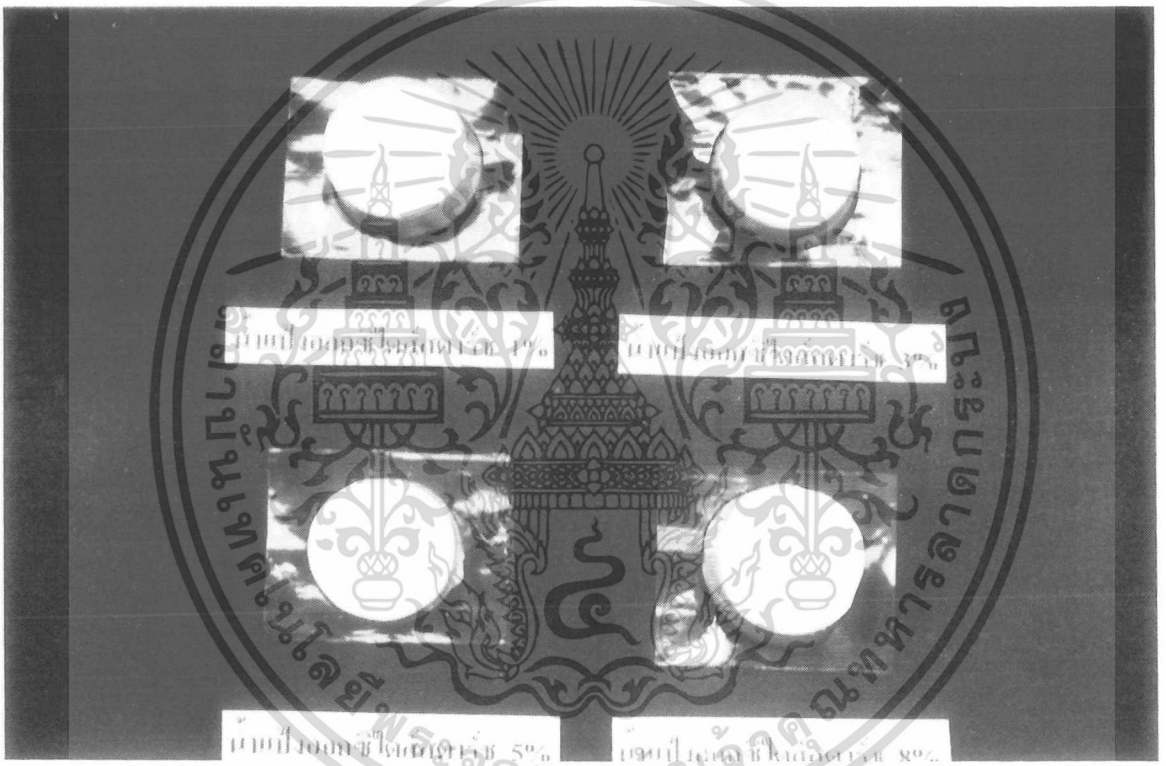


ภาพที่ 4.4

เมื่อพิจารณาผลการทดลองจากตารางที่ 4.9 เต้าหู้หลอดที่ผสมน้ำแป้ง Crosslinked ที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ไปทดสอบคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัส (ลักษณะปรากฏของเต้าหู้หลอดที่นำไปทดสอบแสดงในภาพที่ 4.5) เมื่อพิจารณาคะแนนรวมสูงสุดที่ได้จากการทดสอบจะพบว่าผู้ทดสอบจำนวน 20 คนมีการยอมรับเต้าหู้หลอดที่ทำการผสมน้ำแป้งCrosslinked ที่ระดับความเข้มข้น 3 % มากที่สุด

ภาพที่ 4.5

เมื่อพิจารณาผลการทดลองจากตารางที่ 4.9 เต้าหู้หลอดที่ผสมน้ำแป้ง Oxidized ที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ไปทดสอบคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัส (ลักษณะปรากฏของเต้าหู้หลอดที่นำไปทดสอบแสดงในภาพที่ 4.6) เมื่อพิจารณาคะแนนรวมสูงสุดที่ได้จากการทดสอบจะพบว่าผู้ทดสอบจำนวน 20 คนมีการยอมรับเต้าหู้หลอดที่ทำการผสมน้ำแป้ง Oxidized ที่ระดับความเข้มข้น 1 % มากที่สุด



ภาพที่ 4.6

บทที่ 5
สรุปผลการทดลอง

5.1 การศึกษาถึงชนิดและสภาวะของแป้งที่เหมาะสมต่อการพัฒนาคุณภาพเต้าหู้หลอด

จากผลการทดลองหาชนิดและสภาวะของแป้งที่เหมาะสมต่อการพัฒนาคุณภาพเต้าหู้หลอดพบว่าควรใช้แป้งมันสำปะหลังและแป้งมันสำปะหลังดัดแปรชนิด Crosslinked และ Oxidized ในสภาวะที่เป็นน้ำแป้งเป็นวัตถุดิบในการผลิต โดยใช้น้ำนมถั่วเหลืองที่มีอัตราส่วนน้ำ : ถั่วเหลือง = 5 : 1 ก่อนที่จะเติมน้ำแป้งในอัตราส่วน นมถั่วเหลือง : น้ำแป้ง = 5 : 1 และมีการใช้สารตกตะกอน GDL 1 % (ของน้ำหนักถั่วแห้ง)

5.2 การศึกษาหาขอบเขตของปริมาณแป้งที่เหมาะสมต่อการพัฒนาคุณภาพเต้าหู้หลอด

จากการทดลองพบว่าขอบเขตความเข้มข้นของน้ำแป้งทั้ง 3 ชนิด ที่เหมาะสมต่อการพัฒนาคุณภาพเต้าหู้หลอด ได้แก่ น้ำแป้งมันสำปะหลังที่ระดับความเข้มข้น 1 , 3 , 5 , 8 , 10 % [w/v] น้ำแป้ง Crosslinked ที่ระดับความเข้มข้น 1 , 3 , 5 , 8 , 10 %[w/v] และ น้ำแป้ง Oxidized ที่ระดับความเข้มข้น 1 , 3 , 5 , 8 %[w/v]

5.3 การวิเคราะห์คุณภาพของเต้าหู้หลอด

เมื่อนำเต้าหู้หลอดที่ทำการผลิตโดยมี แป้ง 3 ชนิดดังที่กำหนดไว้ในสรุปผลการทดลองข้อที่ 5.2 เป็นวัตถุดิบ มาทำวิเคราะห์คุณภาพทางด้านเคมีและกายภาพนั้น ได้ผลดังต่อไปนี้

5.3.1 การวัดค่าการ Syneresis ของเต้าหู้หลอด

จากการวัดค่าการ Syneresis ของเต้าหู้หลอด ที่มีการผสมน้ำแป้งมันสำปะหลังและน้ำแป้ง Crosslinked พบว่ามีแนวโน้มของการ Syneresis เหมือนกัน คือ เมื่อปริมาณความเข้มข้นของน้ำแป้งเพิ่มมากขึ้น ค่าของการ Syneresis ของเต้าหู้หลอดจะลดลง แต่เต้าหู้ที่มีการผสมน้ำแป้ง Oxidized นั้นจะพบว่าถ้าความเข้มข้นของน้ำแป้งเพิ่มมากขึ้นแนวโน้มการ Syneresis จะเพิ่มมากขึ้นด้วย

5.3.2 การหาค่าความชื้นของเต้าหู้หลอด

จากการหาค่าความชื้นของเต้าหู้หลอดที่มีการผสมน้ำแป้งทั้ง 3 ชนิด ตามอัตราส่วนและความเข้มข้นที่กำหนดพบว่า เต้าหู้ที่มีการผสมน้ำแป้งทั้ง 3 ชนิด มีแนวโน้มของค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นเหมือนกันหมด คือ เมื่อความเข้มข้นของแป้งมากขึ้นค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นของเต้าหู้จะมีการลดลง

5.3.3 การวัดค่า Maximum Force ของเต้าหู้หลอด

จากการวัดค่า Maximum Force ของเต้าหู้หลอดที่มีการผสมน้ำแป้งมันสำปะหลังและน้ำแป้ง Crosslinked พบว่ามีแนวโน้มของ Maximum Force เหมือนกัน คือ ถ้าความเข้มข้นของน้ำแป้งเพิ่มมากขึ้น ค่าของ Maximum Force จะเพิ่มมากขึ้นด้วย แต่เต้าหู้หลอดที่มีการผสมน้ำแป้ง Oxidized นั้นจะพบว่าถ้าความเข้มข้นเพิ่มมากขึ้นแนวโน้ม Maximum Force ของเต้าหู้จะลดลง

5.4 การประเมินผลคุณภาพทางประสาทสัมผัส

จากการประเมินผลคุณภาพทางประสาทสัมผัส กับผู้ชิมจำนวน 20 คน โดยใช้วิธีทดสอบแบบ Scoring test พบว่า

5.4.1 การประเมินผลคุณภาพทางประสาทสัมผัสของแป้งมันสำปะหลัง

เมื่อใช้ความเข้มข้นของน้ำแป้งมันสำปะหลังที่ 3 , 5 , 8 % [w/v] จะไม่พบความแตกต่างของความชอบในเต้าหู้หลอดที่มีการผสมน้ำแป้งที่ความเข้มข้นดังกล่าว

5.4.2 การประเมินผลคุณภาพทางประสาทสัมผัสของแป้ง Crosslinked

เมื่อใช้ความเข้มข้นของน้ำแป้ง Crosslinked ที่ 3 , 5 , 8 , 10 % [w/v] จะพบว่าผู้ชิมจะมีความชอบแตกต่างกันในแต่ละความเข้มข้น และความเข้มข้นที่ผู้บริโภคมีการยอมรับมากที่สุดคือ ความเข้มข้นของน้ำแป้ง Crosslinked ที่ระดับ 3 % [w/v]

5.4.3 การประเมินผลคุณภาพทางประสาทสัมผัสของแป้ง Oxidized

เมื่อใช้ความเข้มข้นของน้ำแป้ง Oxidized ที่ 1 , 3 , 5 , 8 % [w/v] จะพบว่าผู้ชิมจะมีความชอบแตกต่างกันในแต่ละความเข้มข้น และความเข้มข้นที่ผู้บริโภคมีการยอมรับมากที่สุดคือ ความเข้มข้นของน้ำแป้ง Oxidized ที่ระดับ 1 % [w/v]

เอกสารอ้างอิง

กรมส่งเสริมพืชพันธุ์. 2531. เอกสารวิชาการเรื่องถั่วเหลือง. กรมส่งเสริมการเกษตร, กรุงเทพฯ. 65 น.

กรมส่งเสริมพืชพันธุ์. 2523. เอกสารวิชาการเรื่องผลการจัดงานแสดงผลิตภัณฑ์ถั่วเหลือง. กลุ่มพืชน้ำมัน กรมส่งเสริมการเกษตร, กรุงเทพฯ. 160 น.

กระทรวงอุตสาหกรรม.2535. เอกสาร มอก.ที่ 1073-2535 เรื่องมาตรฐานผลิตภัณฑ์แป้งดัดแปรสำหรับอุตสาหกรรมอาหาร. สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. กรุงเทพฯ. 14 น.

กล้าณรงค์ ศรีรอต และ สิทธิโชค วัลลภาทิพย์. 2539. แป้งดัดแปร. วารสารอุตสาหกรรมเกษตร. 7(1): 7น.

ณรงค์ นิยมวิทย์. 2528. เต้าหู้หลอด. วารสารอาหาร. 15 (4): 20น.

ทศพร ยศสมบัติ. 2527. การกำจัดกลิ่นถั่วของถั่วเหลืองเพื่อทำผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มหมัก. บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ปณัฐฐา กรีติพัฒน์ และ ปริยาพร เขียวขำ. 2540. ผลของกระบวนการผลิตต่อคุณภาพเต้าหู้อ่อน. ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า-เจ้าคุณทหารลาดกระบัง, กรุงเทพฯ. 59น.

น้ำทิพย์ วงษ์ประทีป. 2540. การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อผลผลิตและคุณภาพของเจลจากโปรตีนถั่วเหลือง. บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง,กรุงเทพฯ. 108น.

วันชัย สมชิต. 2527. คุณสมบัติของถั่วเหลืองและอาหารจากถั่วเหลือง. ถั่วเหลืองและการใช้ประโยชน์ในประเทศไทย. สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 48น.

ลินจง สุขลำภู. 2538. การกำจัดกลิ่นในน้ำนมถั่วเหลืองเพื่อทำผลิตภัณฑ์โยเกิร์ต. วารสารเกษตรพระจอมเกล้า. 13(2):7น.

สมจิต อ่อนเหม และ เพลินใจ ตั้งคณะกุล. 2538. ถั่วเหลืองและผลิตภัณฑ์จากถั่วเหลือง. ในเอกสารประกอบการฝึกอบรมเทคนิคการถนอมอาหารและการควบคุมคุณภาพ. สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารให้แก่บุคคลากรสถาบันราชภัฏ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

สมชาย ประภาวัติ. 2538. ถั่วเหลืองและผลิตภัณฑ์จากถั่วเหลือง. ในเอกสารประกอบการฝึกอบรมเทคนิคการถนอมอาหารและการควบคุมคุณภาพ. สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารให้แก่บุคคลากรสถาบันราชภัฏ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

อรวรรณ เคนสุขเจริญ. 2529. คุณสมบัติบางประการในการนำไปใช้ประโยชน์ของแป้งต่างๆ. บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

Beddows C.G. and J.Wong. 1987. Optimization of yield and properties of silken tofu from soybeans. International Journal of Food Science and Technology. 22:15pp.

Food and Agriculture Organization of the United Nations. 1986. Specification for Identity and Purity. FAO Food and Nutrition Paper. 250 p.

Kohyama,K.; Sano,Y. and Doi,E. 1995. Rheological Characteristics and Gelation Mechanism of Tofu (Soybean Curd). J. Agric. Food Chem. 43:5pp.

Saio, K. 1979. Tofu-Relationships Between Texture and Fine Structure. Cereal Food World. 24:11p.

Watanabe,T.; Fudamachi,E; Nakayama,O.; Teremachi,Y.; Abe,K.; Seruga,S. and Miyanage,S. 1964. Research into standardization of the tofu making process. National Food Institute Reports (Japan). Part 1-3

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก.

คุณสมบัติของแป้ง Modified Starch ประเภท Oxidized และ Crosslinked ที่ได้รับการอนุเคราะห์จากบริษัทสยามมอดิฟายด์สตาร์ช

1. คุณสมบัติของแป้ง Oxidized
   - มีความสามารถในการอุ้มน้ำได้ดี หลังจากผ่านการให้ความร้อน
   - มีความสามารถฟอร์มเจลได้ดี และถ้าอยู่ในสภาวะของสารละลายจะเป็นสารละลายที่มีความคงตัวไม่มีการตกตะกอนของแป้ง
   - ให้ผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะเรียบขึ้นเงา
   - ที่สภาวะอุณหภูมสูงจะมีความหนืดต่ำเมื่อเทียบกับแป้งตามธรรมชาติ
   - มีรสชาติของแป้งตามธรรมชาติ

2. คุณสมบัติของแป้ง Crosslinked
   - มีความสามารถในการอุ้มน้ำได้ดี หลังจากผ่านการให้ความร้อน
   - สามารถทนกับสภาวะที่เป็นกรดอย่างอ่อนได้ดี
   - ให้ผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะเรียบขึ้นเงา
   - เพิ่มอายุการเก็บรักษาให้กับผลิตภัณฑ์
   - มีรสชาติของแป้งตามธรรมชาติ

ภาคผนวก ข.

การวิเคราะห์หาปริมาณ Syneresis

Syneresis คือการแยกชั้นของน้ำ การแยกชั้นของน้ำจะเกิดขึ้นเมื่อเก็บเจลเต้าหู้หลอดไว้สักระยะหนึ่ง หรือนำเจลเต้าหู้หลอดออกจากภาชนะบรรจุแล้วตั้งทิ้งไว้สักครู่จะเห็นน้ำแยกออกมาจากเจลเต้าหู้หลอดได้อย่างชัดเจน

วิธีการหาปริมาณ Syneresis ทำได้โดยนำเจลเต้าหู้หลอดตัวอย่างมาตัด ตัวอย่างเต้าหู้ที่จะนำมาวัดหาปริมาณ Syneresis จะต้องมีขนาดเท่า ๆ กันทุกตัวอย่าง จากนั้นนำไปวางบนกระดาษกรองที่อยู่ในภาชนะที่ปิดสนิท (จะต้องทราบน้ำหนักของกระดาษกรองและภาชนะก่อนที่จะทำการวางเจลเต้าหู้) หลังจากนั้นทำการตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 30 นาที หลังจากนั้นจึงนำเจลเต้าหู้ออกจากกระดาษกรองให้หมด นำกระดาษกรองที่ซึมซับน้ำเต็มที่ไปชั่งน้ำหนัก จดบันทึก

การคำนวณหา การแยกชั้นของน้ำ = A - B

A = น้ำหนักของกระดาษกรอง + ภาชนะ (หลังทำการทดลอง 30 นาที)

B = น้ำหนักของกระดาษกรอง + ภาชนะ (ก่อนทำการทดลอง)

เจลเต้าหู้ตัวอย่างที่นำมาทำการวิเคราะห์การแยกชั้นของน้ำคือ

-เต้าหู้ที่ผสมน้ำแป้งมันสำปะหลังที่ความเข้มข้น 1 , 3 , 5 , 8 , 10 %

-เต้าหู้ที่ผสมน้ำแป้งครอสลิงก์ที่ความเข้มข้น 1 , 3 , 5 , 8 , 10 %

-เต้าหู้ที่ผสมน้ำแป้งออกซิไดส์ที่ความเข้มข้น 1 , 3 , 5 , 8 %

จะได้ผลดังตารางที่ 1 ข. และ ภาพที่ 1 ข.

ตารางที่ 1 ข.

ผลการวิเคราะห์การแยกชั้นของน้ำของเจลเต้าหู้หลอดที่ผสมน้ำแป้ง 3 ชนิด ตามความเข้มข้นที่กำหนด

ความเข้มข้น	การ syneresis [g.]		
[%w/v]	แป้งมันสำปะหลัง	แป้ง Crosslinked	แป้ง Oxidized
1	1.2738	1.8780	1.6713
	1.3363	1.8032	1.6603
	1.3107	1.8914	1.6733

ตารางที่ 1 ข. (ต่อ)
ผลการวิเคราะห์การแยกชั้นของน้ำของเจลเต้าหู้หลอด
ที่ผสมน้ำแป้ง 3 ชนิดตามความเข้มข้นที่กำหนด

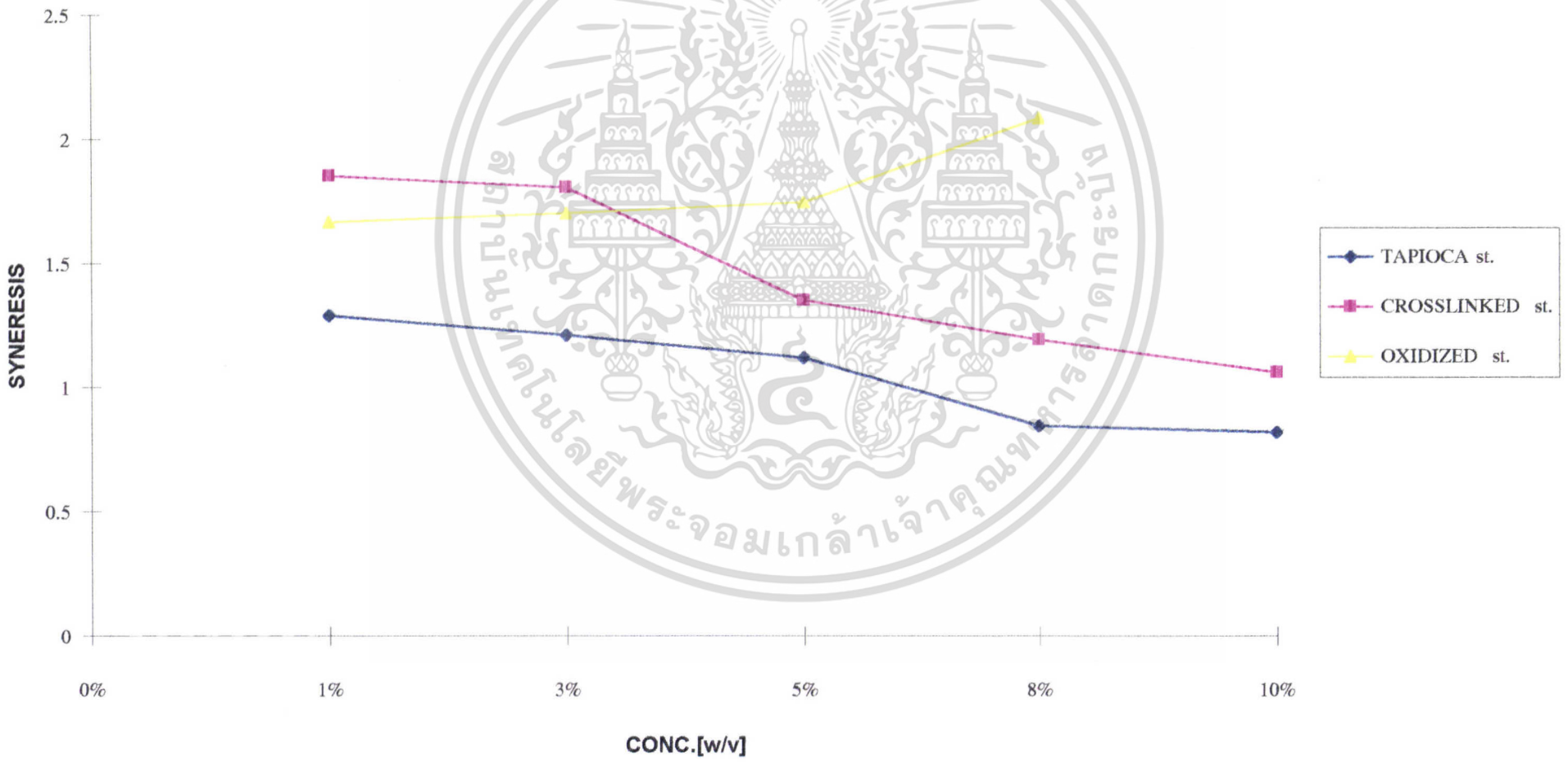
ความเข้มข้น	การ syneresis		
[%w/v]	แป้งมันสำปะหลัง	แป้ง Crosslinked	แป้ง Oxidized
เฉลี่ย	1.2950	1.8575	1.6726
3	1.2102	1.7824	1.7617
	1.2221	1.8484	1.6659
	1.2182	1.8021	1.6967
เฉลี่ย	1.2168	1.8109	1.7081
5	1.1294	1.3952	1.6870
	1.1481	1.3446	1.8142
	1.1005	1.3324	1.7581
เฉลี่ย	1.1260	1.3584	1.7531
8	0.8099	1.2311	2.3202
	0.8740	1.1680	1.9996
	0.8675	1.1982	1.9552
เฉลี่ย	0.8507	1.1991	2.0917
10	0.8331	1.0417	-
	0.8369	1.0405	-
	0.8083	1.1204	-
เฉลี่ย	0.8261	1.0675	-

Chart1

ภาพที่ 1ข.

กราฟแสดงค่าการ Syneresis ของเต้าหู้หลอด

ที่มีความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของแป้งกับชนิดของแป้ง



ภาคผนวก ค.

การวิเคราะห์หาปริมาณความชื้น

ในการวิเคราะห์หาปริมาณความชื้น

1. นำ Aluminium can อบที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส จนน้ำหนักคงที่ (ทำการจดน้ำหนักไว้)

2. ชั่งเต้าหู้ตัวอย่างหนัก 2 กรัม ด้วยตาชั่งละเอียด (จดน้ำหนักไว้)

3. นำไปอบใน Hot air oven ที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส โดยเปิดฝา aluminium can จนน้ำหนักคงที่

4. เมื่อได้น้ำหนักที่คงที่แล้วปิดฝา นำไปวางไว้ให้เย็นใน desicator

5. นำมาชั่งน้ำหนักและบันทึก

$$\text{ปริมาณร้อยละของความชื้น} = \frac{\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ-น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ}}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง}} \times 100$$

จะได้ผลดังตารางที่ 1 ค.และภาพที่ 1 ค.

ตารางที่ 1ค.

ผลการวิเคราะห์ความชื้นของเจลเต้าหู้หลอดที่ผสมน้ำแป้ง 3 ชนิด ตามความเข้มข้นที่กำหนด

ความเข้มข้น [%w/v]	% Moisture		
	แป้งมันสำปะหลัง	แป้ง Crosslinked	แป้ง Oxidized
1	90.34	90.05	90.84
	90.43	90.08	90.91
เฉลี่ย	90.385	90.065	90.875
3	89.27	89.98	89.88
	89.14	89.97	89.68
เฉลี่ย	89.205	89.975	89.78

ตารางที่ 1ค. (ต่อ)

ผลการวิเคราะห์ความชื้นของเจลเต้าหู้หลอดที่ผสมน้ำแป้ง 3 ชนิด ตามความเข้มข้นที่กำหนด

ความเข้มข้น [%w/v]	% Moisture		
	แป้งมันสำปะหลัง	แป้ง Crosslinked	แป้ง Oxidized
5	90.05	89.78	89.19
	90.09	89.62	89.47
เฉลี่ย	90.07	89.70	89.33
8	89.94	89.59	88.59
	88.38	89.53	88.83
เฉลี่ย	89.16	89.56	88.71
10	89.48	89.19	-
	89.46	89.27	-
เฉลี่ย	89.47	89.23	-

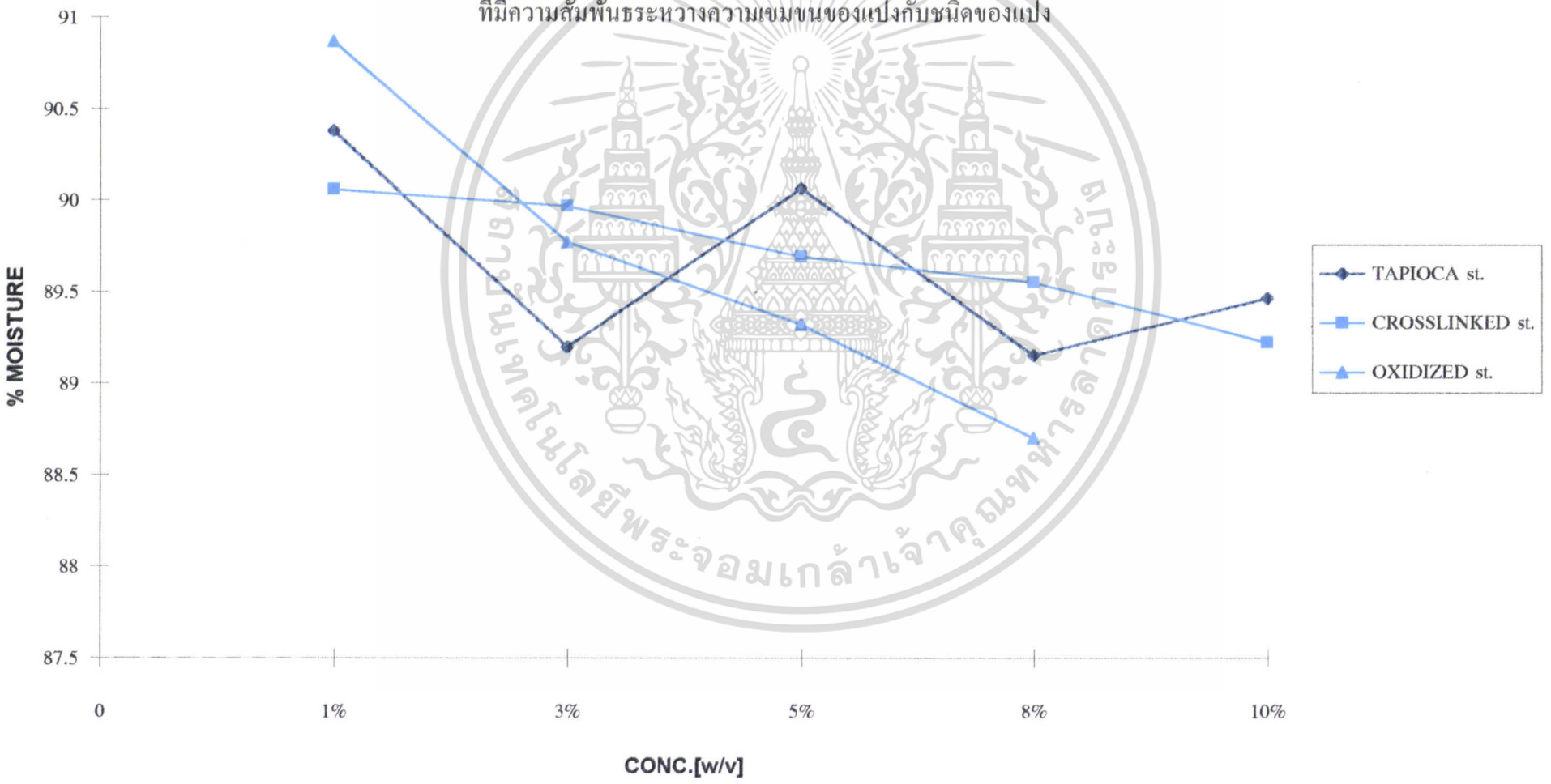
ศูนย์วิทยทรัพยากร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Chart1

ภาพที่ 1 ค.

กราฟแสดงค่าของ %ความชื้นของเต้าหู้หลอด

ที่มีความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของแป้งกับชนิดของแป้ง



ภาคผนวก ง.

การวิเคราะห์หาค่า Maximum Force

การเตรียมตัวอย่าง

เจลเต้าหู้หลอดตัวอย่างจะถูกแกะออกจากถุงอย่างประณีตก่อนจะใช้แม่พิมพ์ (ดังภาพที่ 3 ; น้ำทิพย์, 2540) กดให้มีขนาดความสูง 2.5 เซนติเมตร และเส้นผ่าศูนย์กลาง 3.5 เซนติเมตร

การกดทับตัวอย่าง แบบ Compression test

ตัวอย่างที่เตรียมจะนำมากดทับด้วยเครื่องมือวัดลักษณะเนื้อสัมผัส (Texture Expert for Windows รุ่น Stable Micro System จากประเทศอังกฤษ ดังภาพที่ 4 ; น้ำทิพย์, 2540) โดยใช้หัวกดขนาด 75 mm compression platen (ดังภาพที่ 5 ; น้ำทิพย์, 2540) ใช้ระยะทางการกดทับ 10 มิลลิเมตร จากความสูงตัวอย่าง 25 มิลลิเมตร (40 % deformation) ความเร็วในการกดทับ 0.5 มิลลิเมตรต่อวินาที หัวกดจะกดทับลงบนตัวอย่างแล้วถูกดึงกลับก่อนที่กดทับลงบนตัวอย่างอีกครั้ง ลักษณะของกราฟที่ทำการกดแบบ Compression test (ดังภาพ 2 ง.)จะถูกบันทึกและทำการแปรผลโดยเครื่องคอมพิวเตอร์โดยอัตโนมัติ

เจลเต้าหู้ตัวอย่างที่นำมาทำการวิเคราะห์หาค่าแรงกดสูงสุด คือ

-เต้าหู้ที่ผสมน้ำแป้งมันสำปะหลังที่ความเข้มข้น 1 , 3 , 5 , 8 , 10 %

-เต้าหู้ที่ผสมน้ำแป้งครอสลิงก์ที่ความเข้มข้น 1 , 3 , 5 , 8 , 10 %

-เต้าหู้ที่ผสมน้ำแป้งออกซิไดส์ที่ความเข้มข้น 1 , 3 , 5 , 8 %

จะได้ผลดังตารางที่ 1 ง. และภาพที่ 1 ง.

ตารางที่ 1 ง.

ผลการวิเคราะห์หาค่าแรงกดสูงสุดของเจลเต้าหู้หลอดที่ผสมน้ำแป้ง 3 ชนิด ตามความเข้มข้นที่กำหนด

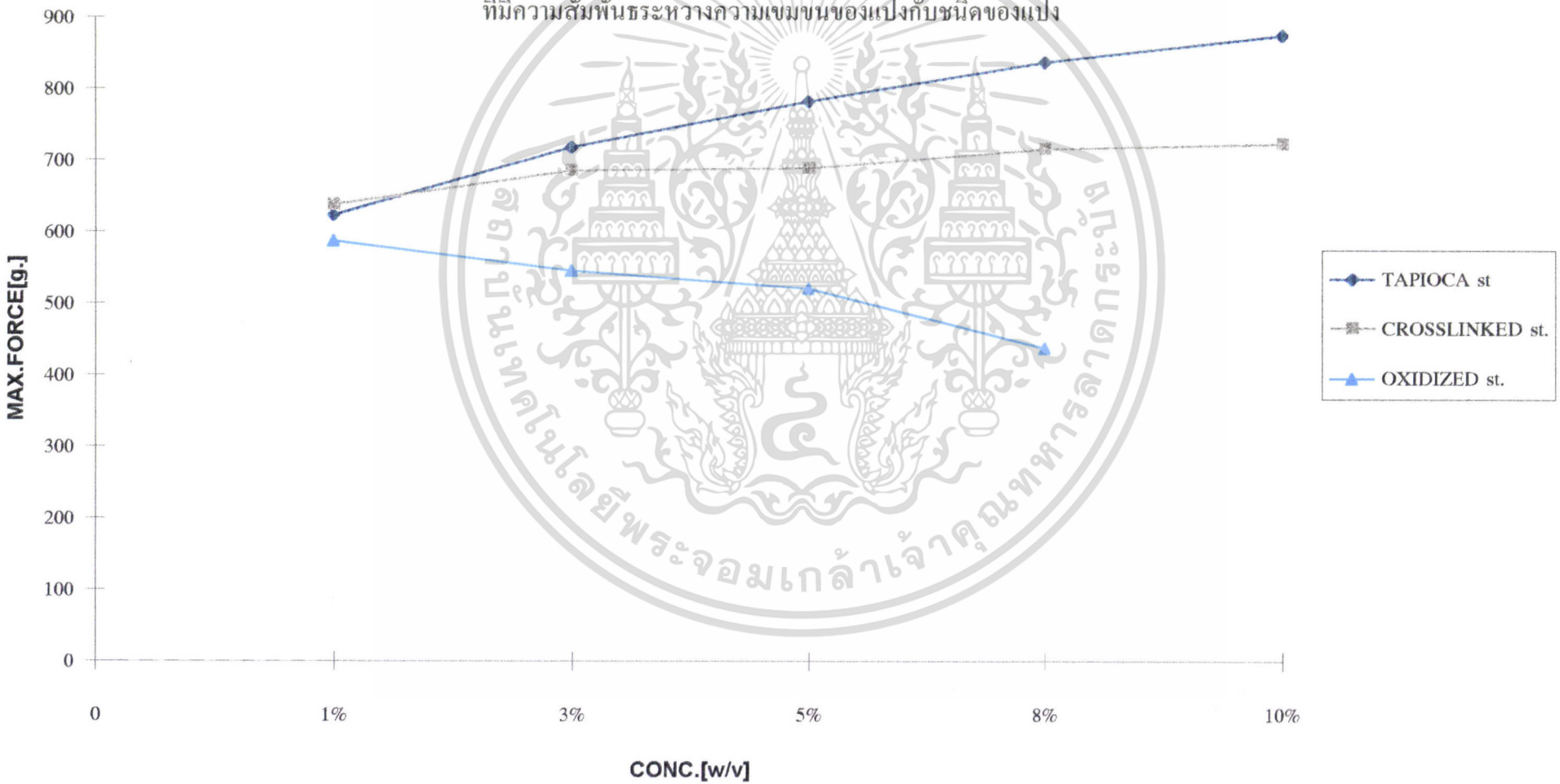
ความเข้มข้น [%w/v]	Maximum Force [g.]		
	แป้งมันสำปะหลัง	แป้ง Crosslinked	แป้ง Oxidized
1	613.776	642.744	591.708
	647.893	624.178	593.406
	612.849	649.368	581.962
เฉลี่ย	624.839	638.763	589.025
3	682.275	687.262	567.204
	723.913	674.721	528.684
	753.171	696.034	546.541
เฉลี่ย	719.786	686.005	547.476
5	801.214	708.290	511.029
	792.561	673.032	526.572
	758.454	688.436	531.118
เฉลี่ย	784.076	689.919	522.908
8	851.030	725.640	441.785
	826.585	722.303	418.777
	839.040	702.699	457.114
เฉลี่ย	838.885	716.880	439.235
10	899.570	730.283	-
	842.868	719.658	-
	887.960	722.711	-
เฉลี่ย	876.799	724.217	-

Chart1

ภาพที่ 1 ง.

กราฟแสดงค่า Maximum Force ของเต้าหู้หลอด

ที่มีความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของแป้งกับชนิดของแป้ง

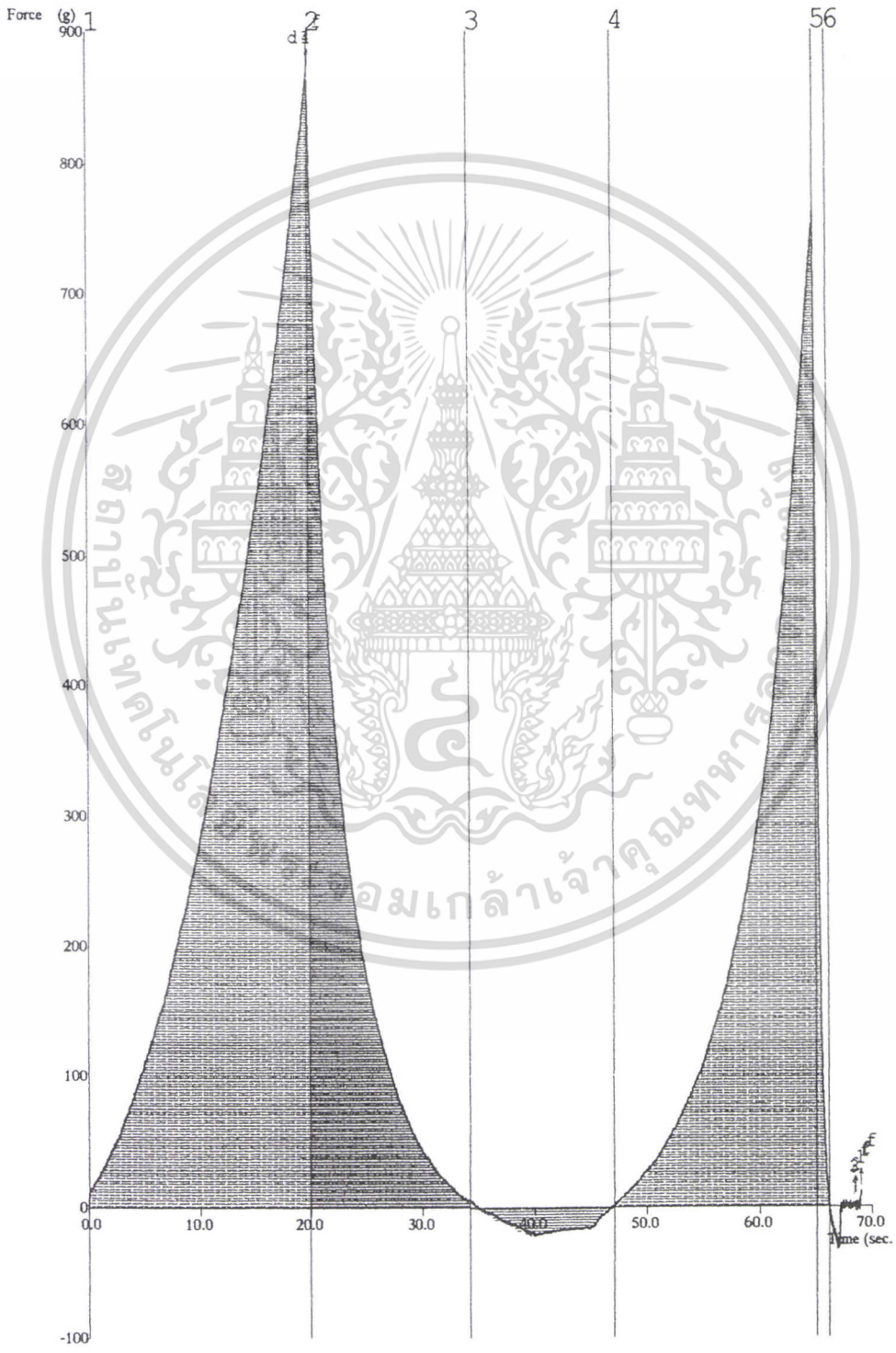


สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ภาพที่ 2 ง.

แสดงลักษณะกราฟ Texture Profiles ของเจลเต้าหู้หลอด

ที่ทำการวัดโดยเครื่องวัดเนื้อสัมผัสรุ่น Stable System TA-XT2



ภาคผนวก จ.

การทดสอบคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัส

โดยวิธี Scoring Test

ผู้ทดสอบ..... **วันที่**.....

ผลิตภัณฑ์ **เต้าหู้หลอด**

คำแนะนำ

กรุณาทดสอบตัวอย่างจากซ้ายไปขวา และให้คะแนนตามความชอบตามสเกลที่ให้ตรงกับรหัสตัวอย่าง

1- ไม่ชอบ	6- ชอบปานกลางถึงมาก
2- ไม่ชอบถึงชอบน้อย	7- ชอบมาก
3- ชอบน้อย	8- ชอบมากถึงมากที่สุด
4- ชอบน้อยถึงปานกลาง	9- ชอบมากที่สุด
5- ชอบปานกลาง	

รหัสตัวอย่าง

คะแนน ....

วิจารณ์.....

.....

ตารางที่ 1 จ.แสดงผลการทดสอบคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสของเต้าหู้ที่ผสมน้ำแป้งมันสำปะหลังที่ความเข้มข้น ดังนี้คือ 3 % , 5 % , 8 %

ผู้ชิม	ผลการ Sensory test			$X_{.j}$	$\bar{X}_{.j}$
	3%	5%	8%		
1	1	1	1	3	1
2	7	6	1	14	4.67
3	1	2	2	5	1.67
4	5	6	8	19	6.33
5	7	6	6	19	6.33
6	5	4	3	12	4
7	7	8	7	22	7.33
8	2	5	4	11	3.67
9	4	5	3	12	4
10	6	5	3	14	4.67
11	4	3	5	12	4
12	5	4	5	14	4.67
13	8	5	6	19	6.33
14	5	7	6	18	6
15	5	4	4	13	4.33
16	3	2	1	6	2
17	3	4	5	12	4
18	2	3	8	13	4.33
19	5	1	3	9	3
20	5	6	7	18	6
$X_{i.}$	90	87	88	$X_{..}$ =	$\bar{X}_{..}$ =
$\bar{X}_{i.}$	4.5	4.35	4.4	265	4.42

ตารางที่ 2 จ. แสดงผลการวิเคราะห์ทางสถิติของเต้าหู้หลอดที่ทำการผสมน้ำแป้งมันสำปะหลังที่ความเข้มข้นต่าง ๆ กัน

Source	df	SS	MS	F_{cal}	F_{table} 2,38	F_{table} 19,38
Treatment	2	0.23	0.115	0.05^{ns}	3.25[0.05]	1.85[0.05]
Block	19	159.25	8.38	3.74**	5.21[0.01]	2.40[0.01]
Error	38	85.1	2.24			
Total	59	244.58				

** แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเป็นไปได้ 0.01

ns ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ตารางที่ 3 จ. แสดงผลการทดสอบคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสของเต้าหู้ที่ผสมน้ำแป้งครอสลิงก์ที่ความเข้มข้น ดังนี้คือ 3 % , 5 % , 8 % , 10%

ผู้ชิม	ผลการ Sensory test				$X_{.j}$	$\bar{X}_{.j}$
	3%	5%	8%	10%		
1	5	4	3	3	15	3.75
2	6	5	4	4	19	4.75
3	5	5	6	3	18	4.5
4	8	4	4	4	17	4.25
5	5	7	5	4	24	6
6	5	4	4	3	16	4
7	7	5	6	6	24	6
8	6	4	4	4	18	4.5
9	3	5	6	6	20	5
10	7	6	4	4	21	5.25
11	5	4	2	2	13	3.25
12	3	3	3	3	12	3
13	9	6	6	5	26	6.5
14	5	1	1	2	9	2.25
15	8	5	6	6	25	6.25
16	5	5	5	5	20	5
17	3	4	4	4	15	3.75
18	4	3	3	3	13	3.25
19	5	3	2	3	13	3.25
20	9	2	3	3	17	4.25
$X_{i.}$	112	85	81	77	X..	$\bar{X}$..
$\bar{X}_{i.}$	5.6	4.25	4.05	3.85	355	4.44

ตารางที่ 4จ.แสดงผลการวิเคราะห์ทางสถิติของเต้าหู้หลอดที่ทำการผสมน้ำแป้งครอสลิงก์ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ กัน

Source	df	SS	MS	F_{cal}	F_{table} 3,57	F_{table} 19,57
Treatment	3	37.64	12.55	4.17**	2.27[0.05]	1.81[0.05]
Block	19	104.44	5.50	1.83*	4.14[0.01]	2.28[0.01]
Error	57	171.61	3.01			
Total	79	213.69				

* แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเป็นไปได้ 0.05

** แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเป็นไปได้ 0.01

ns ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

ตารางที่ 5 จ. แสดงผลการทดสอบคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสของเต้าหู้ที่ผสมน้ำแป้งออกซิไดส์ที่ความเข้มข้น ดังนี้คือ 1%, 3 % , 5 % , 8 %

ผู้ชิม	ผลการ Sensory test				$X_{.j}$	$\bar{X}_{.j}$
	1%	3%	5%	8%		
1	5	7	5	5	22	5.5
2	5	6	4	7	22	5.5
3	6	5	3	4	18	4.5
4	5	8	9	7	29	7.25
5	8	5	2	6	21	5.25
6	5	3	4	3	15	3.75
7	6	7	5	4	22	5.5
8	7	5	6	4	22	5.5
9	4	4	3	3	14	3.5
10	7	1	2	5	15	3.75
11	5	7	5	6	23	5.75
12	4	5	6	3	18	4.5
13	9	7	6	5	27	6.75
14	4	5	2	1	12	3
15	5	4	3	3	15	3.75
16	4	4	3	2	13	3.25
17	8	3	6	5	22	5.5
18	5	4	3	3	15	3.75
19	5	8	3	7	23	5.75
20	3	5	4	6	18	4.5
$X_{i.}$	110	103	84	89	X..	$\bar{X}$..
$\bar{X}_{i.}$	5.5	5.15	4.2	4.45	386	4.82

ตารางที่ 6 จ.แสดงผลการวิเคราะห์ทางสถิติของเต้าหู้หลอดที่ทำการผสมน้ำแป้งออาซิไดส์ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ กัน

Source	df	SS	MS	F_{cal}	F_{table} 3,57	F_{table} 19,57
Treatment	3	21.85	7.28	3.39*	2.27[0.05]	1.81[0.05]
Block	19	105.05	5.53	2.57**	4.14[0.01]	2.28[0.01]
Error	57	122.65	2.15			
Total	79	249.55				

* แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเป็นไปได้ 0.05

** แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเป็นไปได้ 0.01

- ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ประวัติผู้เขียน

นางสาวศิริมาลย์ สุลัยศรี เกิดเมื่อวันที่ 13 มกราคม พ.ศ. 2519 ที่จังหวัดกรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาตอนปลายจากโรงเรียนศึกษานารี ในปีพ.ศ. 2536 และสำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี หลักสูตรวิทยาศาสตร์บัณฑิต (อุตสาหกรรมเกษตร) จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ในปี พ.ศ. 2541

นางสาวอรณีย์ ดอนสกุล เกิดเมื่อวันที่ 9 ธันวาคม พ.ศ. 2519 ที่จังหวัดร้อยเอ็ด สำเร็จการศึกษาตอนปลายจากโรงเรียนสตรีวัดระฆัง ในปีพ.ศ. 2536 และสำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี หลักสูตรวิทยาศาสตร์บัณฑิต (อุตสาหกรรมเกษตร) จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ในปี พ.ศ. 2541