รายงานผลการวิจัย
มหาวิทยาลัยแม่โจ้

เรื่อง การพัฒนาผลิตภัณฑ์เนื้อลำไยแช่อิ่มอบแห้งและการนำไปใช้ประโยชน์
DEVELOPMENT OF DRIED AND SWEETENED LONGAN PRODUCT AND ITS UTILIZATION

โครงการย่อยภายใต้ชุดโครงการ : การพัฒนาผลิตภัณฑ์จากลำไย

ได้รับการจัดสรรงบประมาณวิจัย ประจำปี 2550
จำนวน 184,000 บาท

หัวหน้าโครงการ วิวัฒน์ หวังเจริญ

ผู้ร่วมโครงการ วัลยา โมราสุข

สำนักหอสมุด มหาวิทยาลัยแม่โจ้
B: 234910
196749
มิ.ย. มี.ค. 2552
เลขเรียกหนังสือ
รว
LD0.28.42b
9 342 1)

งานวิจัยเสร็จสิ้นสมบูรณ์

31 / มีนาคม / 2552

การพัฒนาผลิตภัณฑ์เนื้อลำไยแช่อิ่มอบแห้งและการนำไปใช้ประโยชน์

DEVELOPMENT OF DRIED AND SWEETENED LONGAN PRODUCT AND ITS UTILIZATION

วิวัฒน์ หวังเจริญ วัลยา โมราสุข

WIWAT WANGCHAROEN WALLAYA MOORASUK

ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้

บทคัดย่อ

การศึกษาอิทธิพลของชนิดน้ำตาล (ซูโครส กลูโคส และกลูโคสไซรัป) ความเข้มข้นของน้ำตาล (เริ่มต้นที่ 40 องศาบริกซ์แล้วปรับเพิ่มขึ้นวันละ 10 องศาบริกซ์จนถึง 70 องศาบริกซ์ และเริ่มต้นที่ 70 องศา บริกซ์แล้วปรับให้คงที่ในวันต่อไป) อุณหภูมิที่ใช้ในการแช่อิ่ม (อุณหภูมิห้อง (30± 5), 50, 60, 70, 80 และ 90 องศาเซลเซียส) และสารเคมี (แคลเซียมคลอไรด์ความเข้มข้นร้อยละ 0.1 กรดซิตริกความเข้มข้นร้อยละ 0.1 และโปแตสเซียมเมตาไบซัลไฟต์ความเข้มข้นร้อยละ 0.01 โดยมีการใช้สารเคมีชนิดใดชนิดหนึ่ง การใช้สารเคมีสองชนิดร่วมกัน หรือ ทั้งสามชนิดร่วมกัน) ในกระบวนการผลิตเนื้อลำไยแช่อิ่มอบแห้งพบว่า การใช้ความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลเริ่มต้นที่ 70 องศาบริกซ์แล้วปรับให้คงที่ในวันต่อไปช่วยลดระยะเวลาในการแช่อิ่มลงได้ 1 – 2 วัน การใช้อุณหภูมิในการแช่อิ่มสูงขึ้น มีผลทำให้น้ำตาลซึมผ่านเข้าไปในเนื้อลำไยได้มากขึ้น โดยน้ำตาลกลูโคสจะซึมผ่านเข้าไปได้เร็วกว่าน้ำตาลซูโครสและกลูโคสไซรัปตามลำดับ แต่การใช้อุณหภูมิสูงทำให้เนื้อลำไยแช่อิ่มที่ได้จากการแช่อิ่มโดยใช้น้ำตาลทั้ง 3 ชนิดมีสีน้ำตาลเช่นเดียวกัน การใช้โปแตสเซียมเมตาไบซัลไฟต์ความเข้มข้นร้อยละ 0.01 ในการผลิตเนื้อลำไยแช่อิ่มอบแห้งโดยใช้ตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสช่วยลดการเกิดสีน้ำตาลที่จะเกิดขึ้นของผลิตภัณฑ์ในระหว่างการอบแห้งได้ เนื้อลำไยแช่อิ่มอบแห้งที่ผ่านการแช่อิ่มโดยใช้ซูโครสจะมีรสหวานมากและเนื้อสัมผัสค่อนข้างแข็ง ส่วนเนื้อลำไยแช่อิ่มอบแห้งที่ผ่านการแช่อิ่มโดยใช้กลูโคสไซรัปจะมีเนื้อสัมผัสเหนียวและแข็ง สำหรับเนื้อลำไยแช่อิ่มอบแห้งที่ผ่านการแช่อิ่มโดยใช้กลูโคสจะไม่คงตัว มีการตกผลึกของกลูโคสที่บริเวณผิวนอกในระหว่างการเก็บรักษา แต่เนื้อลำไยแช่อิ่มอบแห้งที่ผ่าน

การแช่อิ่มโดยใช้ซูโครสร่วมกับกลูโคสไซรัปจะมีรสหวานชวนรับประทานและมีเนื้อสัมผัสที่สามารถเคี้ยวเป็นอาหารรับประทานเล่นได้

การทดสอบการยอมรับของเนื้อลำไยแช่อิ่มอบแห้งพบว่า เนื้อลำไยแช่อิ่มอบแห้งที่ผ่านการแช่อิ่มโดยใช้ซูโครสได้รับคะแนนความชอบอยู่ระหว่างเฉยๆ (บอกไม่ได้ว่าชอบหรือไม่ชอบ) และชอบเล็กน้อย (5.60 - 5.69) จึงควรนำไปใช้เป็นส่วนผสมหรือวัตถุดิบสำหรับการประกอบเป็นอาหารต่างๆ มากกว่าการรับประทานโดยตรง ส่วนเนื้อลำไยที่แช่อิ่มในสารละลายซูโครส 2 วัน และแช่อิ่มต่อในสารละลายกลูโคสไซรัปอีก 2 วันได้รับคะแนนการยอมรับอยู่ระหว่างชอบเล็กน้อยและชอบปานกลาง (6.71) การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่ากิจกรรมของน้ำและความชื้นของเนื้อลำไยแช่อิ่มอบแห้งพบว่า สามารถอธิบายได้โดยใช้แบบจำลอง Brunauer-Emmett-Teller (BET) และ Gugenheim-Anderson de Boer (GAB) แต่การใช้แบบจำลอง GAB ให้ผลดีกว่า สำหรับการศึกษาการยอมรับของน้ำตาลลำไยและน้ำเชื่อมลำไย (ผลพลอยได้จากกระบวนการแช่อิ่ม) พบว่า คะแนนการยอมรับของด้านลักษณะปรากฏของน้ำตาลลำไยอยู่ระหว่างชอบเล็กน้อยและชอบปานกลาง (6.75) และเมื่อนำมาชงเป็นน้ำลำไยแบบร้อนพบว่า ได้คะแนนการยอมรับในระดับชอบปานกลาง (6.98) ในขณะที่เมื่อนำมาชงเป็นน้ำลำไยแบบเย็น พบว่า ได้คะแนนการยอมรับระหว่างชอบปานกลางและชอบมาก (7.42) ส่วนคะแนนการยอมรับของน้ำเชื่อมลำไยด้านลักษณะปรากฏอยู่ระหว่างชอบเล็กน้อยและชอบปานกลาง (6.65) และคะแนนการยอมรับด้านกลิ่นอยู่ระหว่างชอบปานกลางและชอบมาก (7.20)

ABSTRACT

Effects of sugar types (sucrose, glucose, and glucose syrup) sugar concentrations (40°Brix to 70°Brix by 10°Brix increase a day, and constant at 70°Brix), process temperatures (room temperature (30±5), 50, 60, 70, 80, and 90 °C), chemical reagent used (calcium chloride 0.1%(w/v), citric acid 0.1%(w/v), Potassium metabisulphite 0.01%(w/v), mixed between two of them, and mixed all together), in sweetened longan process were carried out. It was found that using constant sugar concentration at 70°Brix could reduce process time about 1 - 2 days. Sugar diffusion was faster with high process temperatures, and the diffusion of glucose was faster than that of sucrose, and glucose syrup, respectively. But all high process temperatures caused brown colour of products. Potassium metabisulphite 0.01%(w/v) could reduce browning reaction occurred during drying at 50 °C in hot air oven. Dried sweetened longan produced by sucrose had very sweet taste and hard texture. The one produced by glucose syrup was sticky and hard in texture. The one produced by glucose was unstable because there was glucose crystallization on its surface during storage. But dried sweetened product produced by sucrose and glucose syrup had sweet taste and chewable texture.

Acceptance tests of dried sweetened longan showed that the sucrose-sweetened product was scored between "neither like nor dislike" and "like slightly" (5.60 - 5.69). It should be used as ingredient or raw material for cooking rather than directly consumed. For the dried product which was sweetened by sucrose for 2 days and glucose syrup for 2 days, it was scored between "like slightly" and "like moderately" (6.71). The water sorption isotherm of dried products might be explained by both Brunauer-Emmett-Teller (BET) and Gugenheim-Anderson de Boer (GAB) models, but GAB model gave a better fit than BET model. Acceptance tests of 2 by-products, longan sugar and longan syrup, were also studied. The appearance of longan sugar was scored between "like slightly" and "like moderately" (6.75), while hot drink prepared from it was scored at "like moderately" (6.98) and its cold drink was scored between

"like moderately" and "like very much" (7.42). The appearance and odour of longan syrup were scored between "like slightly" and "like moderately" (6.65), and "like moderately" and "like very much" (7.20), respectively.

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอแสดงความขอบคุณเป็นอย่างสูง ต่อสำนักวิจัยและส่งเสริมวิชาการการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ในการสนับสนุนทุนการวิจัยประจำปีงบประมาณ 2550 จำนวน 184,000 บาทแก่งานวิจัยเรื่อง "การพัฒนาผลิตภัณฑ์เนื้อลำไยแช่อิ่มอบแห้งและการนำไปใช้ประโยชน์" ในครั้งนี้

สารบัญเรื่อง

	หน้า
บทคัดย่อ	iii
กิตติกรรมประกาศ	vii
สารบัญเรื่อง	viii
สารบัญตาราง	ix
สารบัญภาพ	x
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการทดลอง	9
ผลการทดลองและการวิจารณ์ผล	16
สรุปผล	97
เอกสารอ้างอิง	99

สารบัญตาราง

		หน้า
ตารางที่ 1	น้ำหนักผล เปลือก เนื้อ เมล็ด และปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำของลำไยบางสายพันธุ์	5
ตารางที่ 2	ช่วงเวลาการออกดอก การเก็บเกี่ยว และคุณลักษณะพิเศษของลำไยบางสายพันธุ์	6
ตารางที่ 3	สมการเส้นตรงแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักเฉลี่ยต่อผลของเนื้อลำไยและเวลาที่ใช้ในการแช่อิ่มที่อุณหภูมิต่างๆ เมื่อแปรชนิดน้ำตาล	37
ตารางที่ 4	สมการเส้นตรงแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของแข้งที่ละลายได้ทั้งหมดของเนื้อลำไยและเวลาที่ใช้ในการแช่อิ่มที่อุณหภูมิต่างๆ เมื่อแปรชนิดน้ำตาล	39
ตารางที่ 5	สมการเส้นตรงแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงเฉือนของเนื้อลำไยและเวลาที่ใช้ในการแช่อิ่มที่อุณหภูมิต่างๆ เมื่อแปรชนิดน้ำตาล	41
ตารางที่ 6	สมการเส้นตรงแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความสว่าง (L*) ของเนื้อลำไยและเวลาที่ใช้ในการแช่อิ่มที่อุณหภูมิต่างๆ เมื่อแปรชนิดน้ำตาล	44
ตารางที่ 7	สมการเส้นตรงแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสีแดง (a*) ของเนื้อลำไยและเวลาที่ใช้ในการแช่อิ่มที่อุณหภูมิต่างๆ เมื่อแปรชนิดน้ำตาล	46
ตารางที่ 8	สมการเส้นตรงแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสีเหลือง (b*) ของเนื้อลำไยและเวลาที่ใช้ในการแช่อิ่มที่อุณหภูมิต่างๆ เมื่อแปรชนิดน้ำตาล	48
ตารางที่ 9	ผลการจัดลำดับความขอบจากลักษณะปรากฏของเนื้อลำไยแช่อิ่มที่ผ่านการทำแห้งโดยตัวแทนผู้บริโภค 120 คน	84
ตารางที่ 10	ผลการประเมินการยอมรับของเนื้อลำไยแช่อิ่มอบแห้งโดยตัวแทนผู้บริโภค 120 คน	86
ตารางที่ 11	ผลการประเมินการยอมรับของเนื้อลำไยแช่อิ่มอบแห้งในลักษณะของอาหารรับประทานเล่นโดยตัวแทนผู้บริโภค 120 คน	90
ตารางที่ 12	ผลการประเมินการยอมรับของน้ำตาลลำไยและน้ำเชื่อมลำไย โดยตัวแทนผู้บริโภค 120 คน	93
ตารางที่ 13	ค่ากิจกรรมของน้ำและความชื้น (ร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง) ของตัวอย่างเนื้อลำไยแช่อิ่มอบแห้ง	95

สารบัญภาพ

		หน้า
ภาพที่ 1	น้ำหนักเฉลี่ยต่อผลของเนื้อลำไยในระหว่างการแช่อิ่มที่อุณหภูมิห้อง เมื่อแปรชนิดน้ำตาลและสารเคมี	17
ภาพที่ 2	ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดของเนื้อลำไยในระหว่างการแช่อิ่ม ที่อุณหภูมิห้อง เมื่อแปรชนิดน้ำตาลและสารเคมี	18
ภาพที่ 3	ค่าแรงเฉือนของเนื้อลำไยในระหว่างการแช่อิ่มที่อุณหภูมิห้อง เมื่อแปรชนิดน้ำตาลและสารเคมี	19
ภาพที่ 4	ค่าความสว่าง (L*) ของเนื้อลำไยในระหว่างการแช่อิ่มที่อุณหภูมิห้อง เมื่อแปรชนิดน้ำตาลและสารเคมี	20
ภาพที่ 5	ค่าสีแดง (a*) ของเนื้อลำไยในระหว่างการแช่อิ่มที่อุณหภูมิห้อง เมื่อแปรชนิดน้ำตาลและสารเคมี	21
ภาพที่ 6	ค่าสีเหลือง (b*) ของเนื้อลำไยในระหว่างการแช่อิ่มที่อุณหภูมิห้อง เมื่อแปรชนิดน้ำตาลและสารเคมี	22
ภาพที่ 7	ค่าแรงเฉือนของเนื้อลำไยก่อนและหลังการแช่อิ่มเป็นเวลา 5 วัน ที่อุณหภูมิห้อง เมื่อแปรชนิดน้ำตาลและสารเคมี	24
ภาพที่ 8	ค่าความสว่าง (L*) ของเนื้อลำไยก่อนและหลังการแช่อิ่มเป็นเวลา 5 วัน ที่อุณหภูมิห้อง เมื่อแปรชนิดน้ำตาลและสารเคมี	25
ภาพที่ 9	ค่าสีแดง (a*) ของเนื้อลำไยก่อนและหลังการแช่อิ่มเป็นเวลา 5 วัน ที่อุณหภูมิห้อง เมื่อแปรชนิดน้ำตาลและสารเคมี	26
ภาพที่ 10	ค่าสีเหลือง (b*) ของเนื้อลำไยก่อนและหลังการแช่อิ่มเป็นเวลา 5 วัน ที่อุณหภูมิห้อง เมื่อแปรชนิดน้ำตาลและสารเคมี	27
ภาพที่ 11	น้ำหนักเฉลี่ยต่อผลของเนื้อลำไยในระหว่างการแช่อิ่มที่อุณหภูมิห้อง เมื่อแปรความเข้มข้นของน้ำตาล	29
ภาพที่ 12	ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดของเนื้อลำไยในระหว่างการแช่อิ่ม ที่อุณหภูมิห้อง เมื่อแปรความเข้มข้นของน้ำตาล	30
ภาพที่ 13	ค่าแรงเฉือนของเนื้อลำไยในระหว่างการแช่อิ่มที่อุณหภูมิห้อง เมื่อแปรความเข้มข้นของน้ำตาล	31

สารบัญภาพ (ต่อ)

		หน้า
ภาพที่ 14	ค่าความสว่าง (L*) ของเนื้อลำไยในระหว่างการแช่อิ่มที่อุณหภูมิห้อง เมื่อแปรความเข้มข้นของน้ำตาล	32
ภาพที่ 15	ค่าสีแดง (a*) ของเนื้อลำไยในระหว่างการแช่อิ่มที่อุณหภูมิห้อง เมื่อแปรความเข้มข้นของน้ำตาล	33
ภาพที่ 16	ค่าสีเหลือง (b*) ของเนื้อลำไยในระหว่างการแช่อิ่มที่อุณหภูมิห้อง เมื่อแปรความเข้มข้นของน้ำตาล	34
ภาพที่ 17	น้ำหนักเฉลี่ยต่อผลของเนื้อลำไยในระหว่างการแช่อิ่มที่อุณหภูมิต่างๆ เมื่อแปรชนิดน้ำตาล	36
ภาพที่ 18	ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดของเนื้อลำไยในระหว่างการแช่อิ่มที่อุณหภูมิต่างๆ เมื่อแปรชนิดน้ำตาล	38
ภาพที่ 19	ค่าแรงเฉือนของเนื้อลำไยในระหว่างการแช่อิ่มที่อุณหภูมิต่างๆ เมื่อแปรชนิดน้ำตาล	40
ภาพที่ 20	ค่าความสว่าง (L*) ของเนื้อลำไยในระหว่างการแช่อิ่มที่อุณหภูมิต่างๆ เมื่อแปรชนิดน้ำตาล	43
ภาพที่ 21	ค่าสีแดง (a*) ของเนื้อลำไยในระหว่างการแช่อิ่มที่อุณหภูมิต่างๆ เมื่อแปรชนิดน้ำตาล	45
ภาพที่ 22	ค่าสีเหลือง (b*) ของเนื้อลำไยในระหว่างการแช่อิ่มที่อุณหภูมิต่างๆ เมื่อแปรชนิดน้ำตาล	47
ภาพที่ 23	ค่าแรงเฉือนของเนื้อลำไยก่อนและหลังการแช่อิ่มโดยซูโครสเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิต่างๆ เมื่อแปรชนิดสารเคมี	50
ภาพที่ 24	ค่าแรงเฉือนของเนื้อลำไยก่อนและหลังการแช่อิ่มโดยกลูโคสเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิต่างๆ เมื่อแปรชนิดสารเคมี	51
ภาพที่ 25	ค่าแรงเฉือนของเนื้อลำไยก่อนและหลังการแช่อิ่มโดยกลูโคสไซรัปเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิต่างๆ เมื่อแปรชนิดสารเคมี	52

สารบัญภาพ (ต่อ)

		หน้า
ภาพที่ 26	ค่าความสว่าง (L*) ของเนื้อลำไยก่อนและหลังการแช่อิ่มโดยซูโครสเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิต่างๆ เมื่อแปรชนิดสารเคมี	53
ภาพที่ 27	ค่าความสว่าง (L*) ของเนื้อลำไยก่อนและหลังการแช่อิ่มโดยกลูโคสเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิต่างๆ เมื่อแปรชนิดสารเคมี	54
ภาพที่ 28	ค่าความสว่าง (L*) ของเนื้อลำไยก่อนและหลังการแช่อิ่มโดยกลูโคสไซรัปเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิต่างๆ เมื่อแปรชนิดสารเคมี	55
ภาพที่ 29	ค่าสีแดง (a*) ของเนื้อลำไยก่อนและหลังการแช่อิ่มโดยซูโครสเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิต่างๆ เมื่อแปรชนิดสารเคมี	56
ภาพที่ 30	ค่าสีแดง (a*) ของเนื้อลำไยก่อนและหลังการแช่อิ่มโดยกลูโคสเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิต่างๆ เมื่อแปรชนิดสารเคมี	57
ภาพที่ 31	ค่าสีแดง (a*) ของเนื้อลำไยก่อนและหลังการแช่อิ่มโดยกลูโคสไซรัปเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิต่างๆ เมื่อแปรชนิดสารเคมี	58
ภาพที่ 32	ค่าสีเหลือง (b*) ของเนื้อลำไยก่อนและหลังการแช่อิ่มโดยซูโครสเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิต่างๆ เมื่อแปรชนิดสารเคมี	59
ภาพที่ 33	ค่าสีเหลือง (b*) ของเนื้อลำไยก่อนและหลังการแช่อิ่มโดยกลูโคสเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิต่างๆ เมื่อแปรชนิดสารเคมี	60
ภาพที่ 34	ค่าสีเหลือง (b*) ของเนื้อลำไยก่อนและหลังการแช่อิ่มโดยกลูโคสไซรัปเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิต่างๆ เมื่อแปรชนิดสารเคมี	61
ภาพที่ 35	การมีผลึกน้ำตาลออกมาเกาะบริเวณผิวนอกเมื่อเก็บไว้เป็นระยะเวลาหนึ่งของเนื้อลำไยแช่อิ่มอบแห้งโดยใช้กลูโคสในการแช่อิ่ม	63
ภาพที่ 36	การเปลี่ยนแปลงของเนื้อลำไยแช่อิ่มขณะอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส	65
ภาพที่ 37	บางส่วนของเนื้อลำไยแช่อิ่มที่ทำแห้งโดยการอบแห้ง	67
ภาพที่ 38	การเปลี่ยนแปลงของเนื้อลำไยแช่อิ่มเมื่ออบแห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส 48 ชั่วโมง	68

สารบัญภาพ (ต่อ)

		หน้า
ภาพที่ 39	การเปลี่ยนแปลงของเนื้อลำไยแช่อิ่มเมื่อผ่านการเคี่ยวจนน้ำตาลตกผลึกเมื่อเคี่ยวในปริมาณมาก (ครั้งละ 20 กิโลกรัม)	70
ภาพที่ 40	การเปลี่ยนแปลงของเนื้อลำไยแช่อิ่มเมื่อผ่านการเคี่ยวจนน้ำตาลตกผลึกเมื่อเคี่ยวในปริมาณน้อย (ครั้งละ 2 กิโลกรัม)	71
ภาพที่ 41	บางส่วนของเนื้อลำไยแช่อิ่มที่ทำแห้งโดยการเคี่ยว	72
ภาพที่ 42	บางส่วนของน้ำตาลลำไยที่ได้จากการเคี่ยวน้ำเชื่อมจนน้ำตาลตกผลึก	73
ภาพที่ 43	ค่าสีของน้ำตาลลำไย	74
ภาพที่ 44	ตัวอย่างของน้ำเชื่อมลำไย	75
ภาพที่ 45	การเปลี่ยนแปลงของเนื้อลำไยขณะแช่อิ่ม	77
ภาพที่ 46	การเปลี่ยนแปลงของเนื้อลำไยขณะอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส	79
ภาพที่ 47	เนื้อลำไยแช่อิ่มอบแห้งในลักษณะของอาหารรับประทานเล่น	81
ภาพที่ 48	เนื้อลำไยแช่อิ่มที่ทำแห้งโดยการอบแห้ง	83
ภาพที่ 49	เนื้อลำไยแช่อิ่มที่ทำแห้งโดยการเคี่ยวในปริมาณมาก (ซ้าย) และในปริมาณน้อย (ขวา)	83
ภาพที่ 50	เนื้อลำไยแช่อิ่มอบแห้งในลักษณะของอาหารรับประทานเล่น	88
ภาพที่ 51	น้ำตาลลำไยและน้ำลำไยแบบร้อนน้ำลำไยแบบร้อนและเย็นที่เตรียมโดยใช้น้ำตาลลำไยร้อยละ 10	92
ภาพที่ 52	น้ำเชื่อมลำไย	92
ภาพที่ 53	ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากิจกรรมของน้ำและความชื้นของเนื้อลำไยอบแห้ง	95
ภาพที่ 54	ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากิจกรรมของน้ำและความชื้นของเนื้อลำไยอบแห้งแบบจำลอง Brunauer-Emmett-Teller; BET (aw/[(1-aw)*m] = 1/(mo*c) + [(c-1)/(mo*c)]*aw)	96
ภาพที่ 55	ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากิจกรรมของน้ำและความชื้นของเนื้อลำไยอบแห้งตามแบบจำลอง Gugenheim-Anderson de Boer; GAB (aw/m = (k/mo)*((1/c)-1)*aw² + (c-2)/(mo*c)*aw+ 1/(mo*c*k))	96

คำนำ

ภาคเหนือเป็นแหล่งผลิตลำไยที่สำคัญ มีผลผลิตประมาณร้อยละ 90 ของผลผลิตทั้งหมด โดยเฉพาะจังหวัดลำพูนและเชียงใหม่ ในปี พ.ศ. 2543 มีพื้นที่ปลูกทั้งหมดประมาณ 696,503 ไร่ และได้ผลผลิตประมาณ 374,460 ตัน (อนงค์นุช, 2546) ด้านการตลาดของลำไยในปี 2542 อาจแบ่งออกเป็นการบริโภคสดภายในประเทศประมาณร้อยละ 30 การส่งออกลำไยสดประมาณร้อยละ 20 การแปรรูปเป็นลำไยอบแห้งประมาณ ร้อยละ 40 และการแปรรูปเป็นลำไยกระป๋องประมาณร้อยละ 10 (อมรทิพย์, มปป.)

ตามปกติการออกดอกของลำไยจะเกิดขึ้นปีละ 1 ครั้ง ส่วนใหญ่อยู่ในช่วงเดือนธันวาคมถึงมกราคม และเก็บเกี่ยวได้ในช่วงเดือนสิงหาคม แต่ปัจจุบันสามารถบังคับให้ลำไยออกดอกได้ตามเวลาที่ต้องการโดยไม่จำกัดว่าเป็นช่วงใดของปี การค้นพบวิธีการนี้ถือเป็นภูมิปัญญาของคนไทย โดยได้สังเกตว่าดินปืนสามารถกระตุ้นให้ลำไยออกดอกได้ ต่อมา นักวิทยาศาสตร์ชาวไทยได้พิจารณาว่า สารที่เป็นองค์ประกอบหลักของดินปืนคือ โพแทสเซียมคลอเรต น่าจะเป็นสารหลักที่กระตุ้นให้ลำไยออกดอก และได้มีการศึกษาเรื่องนี้อย่างจริงจังตั้งแต่ พ.ศ. 2542 จนพิสูจน์ได้อย่างชัดเจนว่า สารโพแทสเซียมคลอเรตเป็นสารสำคัญที่มีผลกระตุ้นให้ลำไยออกดอกได้ ไม่ใช่องค์ประกอบอื่นๆที่มีอยู่ในดินปืน ปัจจุบัน ชาวสวนที่ปลูกลำไย ใช้สารโพแทสเซียมคลอเรตละลายน้ำ แล้วพ่นให้ทั่วต้นลำไยในระยะที่มีใบแก่จัด ลำไย จะออกดอกได้ภายหลังจากการพ่นสารแล้วประมาณ 3-4 สัปดาห์ จากการค้นพบวิธีการบังคับการออกดอกของลำไยดังกล่าว ทำให้ปัจจุบันมีการผลิตลำไยออกสู่ตลาดได้ตลอดทั้งปี รวมทั้งพื้นที่การปลูกลำไยก็ไม่ได้จำกัด เฉพาะในภาคเหนืออีกต่อไป (เทคนิคการผลิตไม้ผลนอกฤดู, มปป.)

ความก้าวหน้าทางการด้านเทคโนโลยีการเกษตรในปัจจุบัน นอกจากจะทำให้สามารถผลิตลำไยได้ตลอดปีแล้ว ยังส่งผลให้สามารถผลิตผลลำไยในฤดูกาลมีเพิ่มมากขึ้นเป็นจำนวนมาก ทำให้มีผลผลิตเกินความต้องการของตลาด และเนื่องจากลำไยเป็นผลไม้ที่มีการเน่าเสียได้เร็ว จึงจำเป็นต้องมีการแปรรูปทันทีหรือหาวิธีการยืดอายุการเก็บที่เหมาะสมเพื่อการแปรรูปในเวลาต่อมา ในส่วนของการแปรรูปลำไยในเชิงพาณิชย์ในปัจจุบัน ได้แก่ การอบแห้งทั้งเปลือกและการอบแห้งเฉพาะเนื้อ การแช่เยือกแข็ง และการผลิตลำไยในน้ำเชื่อมบรรจุกระป๋อง (อมรทิพย์, มปป.) นอกจากนี้ยังได้มีผลการศึกษาทดลองเกี่ยวกับการแปรรูปลำไยเป็นผลิตภัณฑ์ชนิดต่างๆ อื่นจำนวนมาก ตัวอย่างเช่น ทอฟฟี่ลำไย (วรรัตน์, 2531) เครื่องดื่มลำไยผงสำเร็จรูป (อนุรักษ์และอาทร, 2542) แยมลำไย น้ำตาลลำไยแบบเข้มข้น หรือ ลำไยซีรัป (นวลศรี, 2543) ลำไยเชื่อม

ย้อมสี ลำไยอบน้ำผึ้ง ลำไยเชื่อมย้อมสีแช่อิ่มอบแห้ง (สมบัติ, 2543) และลำไยแช่อิ่มอบแห้งย้อมสีธรรมชาติ (วัชระและคณะ, 2545) เป็นต้น

ในส่วนของการยืดอายุการเก็บรักษาลำไยสดเพื่อการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์เนื้อลำไยต่างๆ ในเชิงพาณิชย์ รองศาสตราจารย์ รัตนา อัตตปัญโญ ได้เสนอแนวทางไว้ 3 วิธี คือ (1) การดองในสารละลายซึ่งสามารถเก็บลำไยทั้งผลไว้ที่อุณหภูมิห้องได้ประมาณ 60 วัน และสามารถนำมาแปรรูปต่อเป็นเนื้อลำไยอบแห้งและเนื้อลำไยย้อมสีแช่อิ่มอบแห้ง (2) การแช่เย็นที่อุณหภูมิ 2-5 องศาเซลเซียส ซึ่งสามารถเก็บลำไยทั้งผลไว้ได้นาน 30 วัน และสามารถนำมาแปรรูปต่อเป็นเนื้อลำไยอบแห้ง และลำไยอบน้ำผึ้ง (3) การอบด้วยลมร้อนจนมีความชื้นร้อยละ 30-40 และเก็บในถุงเย็นอย่างหนาปิดสนิทซึ่งบรรจุซิลิกาเจลไว้ในสัดส่วนลำไยแห้ง:ซิลิกาเจล เท่ากับ 100:1 ซึ่งเป็นวิธีที่สามารถเก็บลำไยไว้ได้นาน 30 วัน และสามารถนำมาแปรรูปต่อเป็นลำไยอบแกะเนื้อ และลำไยอบแห้งทั้งเปลือก (รัตนา, 2542; รัตนา, 2543 และ สมบัติ, 2543)

จากการตรวจเอกสารข้างต้นแสดงให้เห็นว่า หากไม่พิจารณาในแง่ของการบริโภคสด การอบแห้งทั้งเปลือกและการอบแห้งเฉพาะเนื้อ การแช่เยือกแข็ง และการผลิตลำไยในน้ำเชื่อมบรรจุกระป๋อง ซึ่งเป็นวิธีการหลักของการใช้ประโยชน์จากลำไยในเชิงพาณิชย์ในปัจจุบันแล้ว ผลิตภัณฑ์ลำไยพร้อมบริโภคอื่นๆ หรือการนำลำไยไปใช้เป็นส่วนประกอบของอาหารส่วนใหญ่มักจะอยู่ในลักษณะของอาหารหวาน ซึ่งใช้น้ำตาลเป็นองค์ประกอบเพื่อปรุงแต่งรสชาติและแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ทั้งสิ้น คณะผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะพัฒนาวิธีการแปรรูปเนื้อลำไยสดเป็นเนื้อลำไยแช่อิ่มอบแห้งซึ่งมีปริมาณน้ำตาลสูงและมีความชื้นต่ำ สามารถนำไปใช้เป็นส่วนประกอบของอาหารที่ต้องการได้ในภายหลัง นอกจากนี้ยังมีการพัฒนาผลิตภัณฑ์ลำไยแช่อิ่มอบแห้งในลักษณะของอาหารรับประทานเล่น และการใช้ประโยชน์จากน้ำเชื่อมเข้มข้นซึ่งเป็นผลพลอยได้จากกระบวนการผลิตเนื้อลำไยแช่อิ่มเป็นผลิตภัณฑ์น้ำลำไยผง (น้ำตาลลำไย) และน้ำเชื่อมลำไย

วัตถุประสงค์

1. เพื่อให้ได้กรรมวิธีการแปรรูปเนื้อลำไยแช่อิ่มอบแห้งเพื่อใช้เป็นส่วนประกอบของอาหารที่ต้องการ
2. เพื่อให้ได้กรรมวิธีการผลิตผลิตภัณฑ์เนื้อลำไยแช่อิ่มอบแห้งในลักษณะของอาหารรับประทานเล่น
3. เพื่อให้ได้วิธีการใช้ประโยชน์จากน้ำเชื่อมเข้มข้นซึ่งเป็นผลพลอยได้จากกระบวนการผลิตเนื้อลำไยแช่อิ่มเป็นผลิตภัณฑ์น้ำลำไยผง (น้ำตาลลำไย) และน้ำเชื่อมลำไย

การตรวจเอกสาร

1. ลำไย

ลำไย (Longan) จัดเป็นพืชที่อยู่ในตระกูล Sapindaceae มีชื่อวิทยาศาสตร์ อยู่หลายชื่อ คือ Euphoria longana Lam., Euphoria longan Strend., Nephelium longana Camb. และ Dimocarpus longan Lour. จัดเป็นพืชไม้ผลเขตร้อนและกึ่งร้อน และสันนิษฐานว่าถิ่นกำเนิดของลำไยอยู่ในประเทศจีนตอนใต้

ลำไยจัดเป็นไม้ผลที่น่าสนใจตัวหนึ่ง เพราะเนื้อลำไยมีคุณสมบัติทางยา บำรุงโรคประสาทอ่อน ๆ นอนไม่หลับ หากรับประทานขนาด 10-15 กรัม จะช่วยบำรุงม้าม และหัวใจได้ ส่วนเนื้อลำไยแห้งมีเกลือแร่ที่มีประโยชน์ที่ร่างกายต้องการในปริมาณน้อยอยู่อีกด้วย เช่น ทองแดง สังกะสี แมงกานีส เป็นต้น นอกจากนี้ ผู้บริโภคยังสามารถนำผลลำไยมาประกอบอาหารได้หลากหลาย ทั้งประเภทขนมไทย (ได้แก่ ข้าวเหนียวเปียกลำไย บัวลอยลำไยไข่หวาน วุ้นลำไย ลำไยลอยแก้ว และน้ำลำไย เป็นต้น) ประเภทขนมอบ (ได้แก่ เค้กลำไย คุกกี้ลำไย แพนเค้กลำไย และ พายลำไย เป็นต้น) และประเภทอาหารคาว (ได้แก่ ซุปไก่ตุ๋นลำไย ซึ่งเมนูนี้มีคุณค่าทางอาหารดีมาก เป็นยาบำรุงสมอง เหมาะสำหรับเป็นอาหารบำรุงในฤดูหนาว และ ปลาทอดกรอบราดหน้าผลไม้ เป็นต้น) (อมรทิพย์, มปป.)

ในส่วนของคุณค่าทางโภชนาการของลำไย ตารางแสดงคุณค่าอาหารไทย ในส่วนที่กินได้ 100 กรัมของกองโภชนาการ กรมอนามัย (2530) แสดงให้เห็นว่า เนื้อลำไยสดให้พลังงาน 71 แคลอรี่ และประกอบด้วยน้ำ 81.0 กรัม คาร์โบไฮเดรต 15.6 กรัม โปรตีน 1.0 กรัม ไขมัน 1.4 กรัม เยื่อไย 0.3 กรัม วิตามินบีหนึ่ง 0.03 มิลลิกรัม วิตามินบีสอง 0.14 มิลลิกรัม ไนอาซีน 0.3 มิลลิกรัม วิตามินซี 56 มิลลิกรัม แคลเซียม 23 มิลลิกรัม ฟอสฟอรัส 36 มิลลิกรัม และเหล็ก 0.4 มิลลิกรัม ส่วนเนื้อลำไยอบแห้งให้พลังงาน 256 แคลอรี่ และประกอบด้วยน้ำ 26.7 กรัม คาร์โบไฮเดรต 65.9 กรัม โปรตีน 4.3 กรัม ไขมัน 0.5 กรัม เยื่อไย 1.7 กรัม วิตามินบีหนึ่ง 0.02 มิลลิกรัม วิตามินบีสอง 0.50 มิลลิกรัม ไนอาซีน 1.0 มิลลิกรัม วิตามินซี 34 มิลลิกรัม แคลเซียม 32 มิลลิกรัม ฟอสฟอรัส 117 มิลลิกรัม และเหล็ก 4.4 มิลลิกรัม

การคัดเกรดหรือการคัดขนาดลำไย อาจแบ่งได้ดังนี้ คือ

เกรดใหญ่พิเศษ	มีจำนวนผลน้อยกว่า 70 ผล/กก.		(14.3 กรัม/ผล หรือมากกว่า)
เกรด A	มีจำนวนผล	71-80 ผล/กก.	(12.5-14.2 กรัม/ผล)
เกรด B	มีจำนวนผล	81-90 ผล/กก.	(11.1-12.4 กรัม/ผล)
เกรด C	มีจำนวนผล	91 ผล/กก.	(น้อยกว่า 11.1กรัม/ผล)

สำหรับข้อมูลต่างๆ ของลำไยบางสายพันธุ์ที่มีผู้รวบรวมไว้แสดงดังตารางที่ 1 และ 2 ตามลำดับ

ตารางที่ 1 น้ำหนักผล เปลือก เนื้อ เมล็ด และปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำของลำไยบางสายพันธุ์

พันธุ์	น้ำหนักผล (กรัม)	น้ำหนักเปลือก(กรัม)	น้ำหนักเนื้อ (กรัม)	น้ำหนักเมล็ด (กรัม)	ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำ(กรัม)
พื้นเมือง	5.02	0.78	3.18	1.06	17-19
อีดอ	14.47	2.47	10.02	0.98	20-21
สีชมพู	12.90	1.74	9.41	1.75	21-22
ใบดำ	9.91	2.02	6.35	1.54	18-20
พวงทอง	15.17	2.37	11.50	1.30	21-22
ปู่มาตีนโค้ง	15.89	3.06	10.43	0.40	20-21
แดงกลม	19.96	2.67	9.32	1.97	18-20
แห้ว	13.90	2.40	9.59	1.91	19-20
เบี้ยวเขียว	15.26	2.97	1.14	1.17	20-22

ที่มา : คุณศักดิ์, 2539.

ตารางที่ 2 ช่วงเวลาการออกดอก การเก็บเกี่ยว และคุณลักษณะพิเศษของลำไยบางสายพันธุ์

พันธุ์	ช่วงเวลาการออกดอก	ช่วงเวลาการเก็บเกี่ยว	คุณลักษณะพิเศษ
อีดอ	ปลาย ธ.ค. – ม.ค.	ปลาย มิ.ย. – ส.ค.	เก็บผลก่อนพันธุ์อื่น
สีชมพู	ปลาย ธ.ค. – ม.ค.	ปลาย ก.ค. – ส.ค.	เนื้อมีสีชมพูเมื่อผลแก่ รสชาติดี
แห้ว	ปลาย ม.ค. – ต้นก.พ.	กลาง ส.ค. – ต้น ก.ย.	เนื้อแน่น กรอบ รสชาติดี
เบี้ยวเขียว	ปลาย ม.ค. – ต้นก.พ.	กลาง ส.ค. – ต้น ก.ย.	เก็บเกี่ยวหลังพันธุ์อื่น รสชาติดีมาก
ใบดำ	ปลาย ธ.ค. – กลางม.ค.	กลาง ก.ค. – ต้น ส.ค.	ออกดอกติดผลสม่ำเสมอ เมื่อผลแก่สามารถเก็บไว้ บนต้นได้นานกว่าพันธุ์อื่น
อีแดงกลม	กลาง ม.ค.–ปลาย ม.ค.	ต้น ส.ค. – ปลายส.ค.	ผลกลมกว่าพันธุ์อื่น เนื้อมีกลิ่นคาวคล้ายกำมะถัน
เพชรสาคร	ธ.ค. – ม.ค. (ในฤดู) ก.ค. – ส.ค. (นอกฤดู)	พ.ค. – มิ.ย. ธ.ค. – ม.ค.	เป็นพันธุ์ทะวายออกดอกมาก กว่าหนึ่งครั้งต่อปี

หมายเหตุ : ช่วงเวลาออกดอกและเก็บเกี่ยวแปรผันตามแหล่งปลูกและสภาพแวดล้อมในแต่ละปี
ที่มา : พาวิน, มปป.

2. **การแช่อิ่ม**

การแช่อิ่ม คือ การทำแห้งโดยวิธีออสโมซิส เป็นการทำแห้งอาหารโดยการแช่ในของเหลวที่มีค่า aw ต่ำกว่าอาหารนั้น ทำให้เกิดกระบวนการออสโมซิสขึ้นในอาหาร ซึ่งของเหลวที่นิยมใช้ คือ สารละลายน้ำตาล หรือ สารละลายเกลือ และการไหลที่เกิดขึ้นในกระบวนการออสโมซิสจะมีลักษณะเป็นสองทางที่สวนทางกัน กล่าวคือ น้ำตาลหรือเกลือซึ่งเป็นตัวถูกละลายในสารละลายจะแพร่เข้าไปในอาหาร ในขณะที่น้ำก็จะแพร่ออกจากอาหารสู่สารละลาย การแพร่ของตัวถูกละลายจะเกิดขึ้นช้ากว่าการแพร่ของน้ำ และวิธีการนี้จะมีประสิทธิภาพมากขึ้นหากมีการกวนหรือใช้อุณหภูมิสูงร่วมด้วย (ไพบูลย์, 2532)

การแช่อิ่มสามารถทำได้ 2 วิธี คือ การแช่อิ่มแบบช้า และ การแช่อิ่มแบบเร็ว (สินธนา, 2535)

การแช่อิ่มแบบช้า ทำได้โดยนำผักผลไม้ที่ต้องการมาแช่อิ่ม ปอก ตัด หั่น ตามความเหมาะสม จากนั้นนำมาต้มในน้ำเชื่อมเข้มข้น 30 – 40 องศาบริกซ์ นาน 5 นาที แช่ผักผลไม้ในน้ำเชื่อมดังกล่าว 1 คืน วันรุ่งขึ้นแยกผักผลไม้ออก เติมน้ำตาลลงในน้ำเชื่อมให้ความเข้มข้นเพิ่มขึ้นจากเดิม 10 องศาบริกซ์ และแช่ผักผลไม้ไว้ 1 คืน ทำซ้ำทุกวันจนกระทั่งความเข้มข้นของน้ำเชื่อมไม่น้อยกว่า 60 องศาบริกซ์ ใช้เวลาประมาณ 6 - 7 วัน จากนั้นจึงนำไปผักผลไม้ไปอบหรือตากแดด โดยควรล้างคราบน้ำเชื่อมออกก่อน เพื่อลดการตกผลึกของน้ำตาล เนื่องจากน้ำตาลจะถูกเปลี่ยนไปอยู่ในรูปน้ำตาลอินเวอร์ท (Invert sugar)

การแช่อิ่มแบบเร็ว ทำได้โดยเตรียมน้ำเชื่อมเข้มข้นประมาณ 30 – 40 องศาบริกซ์ นำผักผลไม้ที่ปอกเปลือก ตัดหั่น หรือเอาเมล็ดออกแล้วแช่ในน้ำเชื่อม จากนั้นนำไปต้มไฟอ่อนๆ เคี่ยวจนน้ำเชื่อมจนมีความหวานเพิ่มขึ้นถึง 60 – 70 องศาบริกซ์ วิธีนี้มีข้อเสีย คือ ผักผลไม้ที่ได้จะมีลักษณะเหี่ยวย่น ความหวานซึมผ่านเนื้อเยื่อไม่สม่ำเสมอ และมีสีคล้ำ

การแทรกซึมของน้ำตาลเข้าสู่เนื้อเยื่อผักผลไม้ ในระหว่างการแช่อิ่มเป็นปัจจัยสำคัญที่กำหนดระยะเวลาในการแช่อิ่มผักผลไม้ ทั้งนี้ถ้าอัตราการแทรกซึมของน้ำตาลต่ำและเกิดขึ้นอย่างช้าๆ ระยะเวลาในการแช่อิ่มย่อมยาวนานกว่าปกติ โดยอัตราการซึมผ่านของน้ำตาลเข้าสู่เนื้อเยื่อผักผลไม้จะช้าหรือเร็วเพียงใด ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ ได้แก่ อุณหภูมิ ชนิดของน้ำตาล ความเข้มข้นของน้ำตาลที่ใช้ในการแช่อิ่ม การกระจายตัวของน้ำตาลในเนื้อเยื่อผักผลไม้ และพื้นที่ผิวของผักผลไม้ เป็นต้น (วินิตา, 2531)

1. อุณหภูมิที่ใช้ในการแช่อิ่มผักผลไม้ อุณหภูมิเป็นปัจจัยที่สามารถเพิ่มหรือลดความสามารถในการละลายน้ำของน้ำตาลได้ ดังนั้นเมื่อใช้อุณหภูมิสูง ผลึกของน้ำตาลที่อยู่ในรูปของแข็งจะสามารถเปลี่ยนมาอยู่ในรูปของของเหลวมากขึ้น ทำให้น้ำตาลสามารถจะแทรกซึมเข้าไปในเนื้อเยื่อของผักผลไม้มากขึ้นด้วยเช่นกัน หรืออาจจะเนื่องจากความร้อนที่เพิ่มขึ้นทำให้เกิดการแพร่ของอากาศที่อยู่ภายในเนื้อเยื่อของผักผลไม้ออกมาสู่ภายนอกได้เร็วขึ้น ทำให้เกิดเนื้อเยื่อของผักผลไม้แตกออกมีพื้นที่ผิวเพิ่มขึ้น ดังนั้นโอกาสที่น้ำตาลจะเข้าไปในเนื้อเยื่อผลไม้ย่อมเกิดขึ้นได้เร็วขึ้น

2. ชนิดของน้ำตาลที่ใช้ในการแช่อิ่ม น้ำตาลที่ใช้ในอุตสาหกรรมอาหารมีหลายชนิด เช่น ซูโครส ฟรุคโทส และกลูโคสไซรัป เป็นต้น น้ำตาลแต่ละชนิดจะมีขนาดผลึกและความสามารถในการละลายที่แตกต่างกัน น้ำตาลที่มีผลึกขนาดใหญ่จะแทรกซึมเข้าสู่เนื้อเยื่อผักผลไม้ช้ากว่าน้ำตาลที่มีผลึกขนาดเล็ก ดังนั้นน้ำตาลทรายจึงมีความสามารถในการแทรกซึมช้ากว่าน้ำตาล

ฟรุกโทส เป็นต้น ในทางปฏิบัติน้ำตาลที่นิยมใช้โดยทั่วไปในอุตสาหกรรมอาหารคือ น้ำตาลทราย (ซูโครส) เนื่องจากเป็นน้ำตาลที่หาง่ายและมีราคาถูกกว่าน้ำตาลชนิดอื่นๆ แม้ว่าจะเป็นน้ำตาล Disaccharide ก็ตาม แต่ในระหว่างขบวนการแช่อิ่ม น้ำตาลทรายสามารถแตกตัวเป็นน้ำตาลชั้นเดียว (Monosaccharide) ได้เมื่อทำปฏิกิริยากับกรดเจือจางที่มีอยู่ในผักผลไม้ ทำให้แทรกซึมเข้าในเนื้อเยื่อของผลไม้ได้เร็วขึ้น

3. ความเข้มข้นของน้ำตาลในเนื้อเยื่อผักผลไม้ ตามธรรมชาติ จะมีผลต่อการแทรกซึมของน้ำตาลภายนอกเข้าสู่เนื้อเยื่อของผักผลไม้ กล่าวคือ ถ้าภายในเนื้อเยื่อของผักผลไม้มีน้ำตาลอยู่สูงจะทำให้ลดระยะเวลาในการแทรกซึมของน้ำตาลทรายจนถึงสมดุลในการแช่อิ่ม เพราะน้ำตาลภายในเนื้อเยื่อของผักผลไม้กับน้ำตาลที่ใช้ในการแช่อิ่มจะเกิดความสมดุลกันได้เร็วขึ้น

4. พื้นที่ผิวของผักผลไม้ ผักผลไม้ที่มีพื้นที่ผิวมากมีโอกาสที่จะสัมผัสกับน้ำตาลได้มากกว่าผักผลไม้ที่มีพื้นที่ผิวน้อย ดังนั้นโอกาสที่จะทำให้น้ำตาลซึมผ่านเข้าไปในเนื้อเยื่อผักผลไม้ที่มีพื้นที่ผิวมาก จึงเกิดได้เร็วขึ้น

5. ความเข้มข้นของน้ำตาล ความเข้มข้นของน้ำตาลที่ใช้ในการแช่อิ่มผักผลไม้จะมีผลต่อแรงดันออสโมติกของเนื้อเยื่อผักผลไม้ ทำให้การเคลื่อนที่ของน้ำตาลเข้าไปในเนื้อเยื่อของผักผลไม้เร็วขึ้น แต่น้ำตาลต่างชนิดกัน อาจทำให้เกิดแรงดันออสโมติกต่างกันได้ แม้ว่าจะมีความเข้มข้นเท่ากัน เช่น น้ำตาลกลูโคสในสภาพของสารละลายจะค่าแรงดันออสโมติกสูงกว่าซูโครสประมาณ 2 เท่า ในระดับความเข้มข้นเดียวกัน เป็นต้น

6. ระยะเวลาในการแช่ผักผลไม้น้ำเชื่อม มีผลต่อการแทรกซึมของน้ำตาลเข้าไปในเนื้อเยื่อผักผลไม้อย่างทั่วถึง ถ้าระยะเวลานานขึ้นโอกาสที่น้ำตาลจะแทรกซึมเข้าในเนื้อเยื่อของผักผลไม้อย่างทั่วถึงก็จะมีมากขึ้น แต่ถ้าน้ำตาลในผักผลไม้เกิดความสมดุลกับน้ำเชื่อมที่ใช้แช่อิ่มแล้ว ระยะเวลาที่ใช้ในการแช่ก็จะไม่มีผลแต่อย่างใด

อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

วัสดุอุปกรณ์

1. ลำไยสดพันธุ์อีดอที่คว้านเมล็ดแล้ว
2. น้ำตาลทราย หรือ ซูโครส (Sucrose, Food grade)
3. กลูโคส (Glucose, Food grade)
4. กลูโคสไซรัป (Glucose syrup, Food grade)
5. กรดซิตริก (Citric acid, Food grade)
6. แคลเซียมคลอไรด์ (Calcium chloride, Food grade)
7. โปแทสเซียมเมตาไบซัลไฟต์ (Potassium metabisulphite, Food grade)
8. ลิเทียมคลอไรด์ (Lithium chloride, Analytical Reagent (AR) grade)
9. โปแทสเซียมอะซิเตรท (Potassium acetate, Analytical Reagent (AR) grade)
10. แมกนีเซียมคลอไรด์ (Magnesium chloride, Analytical Reagent (AR) grade)
11. โปแทสเซียมคาร์บอเนต (Potassium carbonate, Analytical Reagent (AR) grade)
12. แมกนีเซียมไนเตรท (Magnesium nitrate, Analytical Reagent (AR) grade)
13. โซเดียมคลอไรด์ (Sodium chloride, Analytical Reagent (AR) grade)
14. โปแทสเซียมคลอไรด์ (Potassium chloride, Analytical Reagent (AR) grade)
15. แบเรียมคลอไรด์ (Barium chloride, Analytical Reagent (AR) grade)
16. โปแทสเซียมซัลเฟต (Potassium sulphate, Analytical Reagent (AR) grade)
17. เครื่องชั่ง
18. เทอร์โมคอปเปอร์
19. ตู้อบลมร้อน (Hot air oven)
20. ตู้ควบคุมอุณหภูมิ (Incubator)
21. เครื่องวัดปริมาณซองแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดแบบมือถือ (Hand refractometer)
22. เครื่อง Tri-stimulus colorimeter model JC801
23. เครื่อง Warner bratzler shear
24. เครื่อง Water activity meter, AquaLab Series3
25. อุปกรณ์งานครัวต่างๆ
26. อุปกรณ์สำหรับการทดสอบทางประสาทสัมผัส

วิธีการทดลอง

1. การศึกษากระบวนการแช่อิ่มแบบช้า

1.1 **การศึกษาอิทธิพลของชนิดน้ำตาลและสารเคมีในกระบวนการแช่อิ่ม**

ศึกษาอิทธิพลของน้ำตาล 3 ชนิด คือ ซูโครส กลูโคส และกลูโคสไซรัป และสารเคมี 3 ชนิด คือ แคลเซียมคลอไรด์ความเข้มข้นร้อยละ 0.1 กรดซิตริกความเข้มข้นร้อยละ 0.1 และโปแตสเซียมเมตาไบซัลไฟต์ความเข้มข้นร้อยละ 0.01 โดยมีการใช้สารเคมีชนิดใดชนิดหนึ่ง การใช้สารเคมีสองชนิดร่วมกัน หรือ การใช้สารเคมีทั้งสามชนิดร่วมกันเพื่อเปรียบเทียบกับการไม่เติมสารเคมี (ตัวอย่างควบคุม)

โดยนำเนื้อลำไยมาแช่ในสารละลายน้ำตาลเข้มข้นเท่ากับ 40 องศาบริกซ์ในวันที่ 1 ปรับเพิ่มความเข้มข้นเป็น 50 และ 60 องศาบริกซ์ในวันที่ 2 และ 3 และใช้ความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลเท่ากับ 70 องศาบริกซ์ในวันที่ 4 และ 5

ติดตามผลโดยการวัดการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักเฉลี่ยต่อผล ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ค่าแรงเฉือน ค่าความสว่าง (L*) ค่าสีแดง (a*) และค่าสีเหลือง (b*) ทุกวัน ทำการทดลอง 3 ซ้ำ วิเคราะห์ผลโดยการพิจารณาแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงระหว่างน้ำตาลแต่ละชนิดและการเปรียบเทียบค่าแรงเฉือน ค่าความสว่าง (L*) ค่าสีแดง (a*) และค่าสีเหลือง (b*) ก่อนและหลังกระบวนการแช่อิ่มภายกลุ่มของน้ำตาลแต่ละชนิด วางแผนการทดลองแบบ Randomized complete block design (RCBD) เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Ducan's new multiple range test (DMRT)

1.2 **การศึกษาอิทธิพลของความเข้มข้นของน้ำตาลที่ใช้ในกระบวนการแช่อิ่ม**

ศึกษาวิธีการแช่อิ่มแบบปกติ (ตามข้อ 1.1) คือ เริ่มต้นการแช่อิ่มโดยใช้สารละลายน้ำตาลความเข้มข้นเท่ากับ 40 องศาบริกซ์ เพิ่มความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลเป็น 50 และ 60 องศาบริกซ์ในวันที่ 2 และ 3 และใช้ความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลเท่ากับ 70 องศาบริกซ์ในวันที่ 4 และ 5 เปรียบเทียบกับการใช้สารละลายน้ำตาลความเข้มข้นเท่ากับ 70 องศาบริกซ์ตั้งแต่วันที่ 1 และมีการปรับให้สารละลายน้ำตาลมีความเข้มข้นเท่ากับ 70 องศาบริกซ์ในทุกๆ วัน

ติดตามผลโดยการวัดการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักเฉลี่ยต่อผล ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ค่าแรงเฉือน ค่าความสว่าง (L*) ค่าสีแดง (a*) และค่าสีเหลือง (b*) ทุกวัน ทำการทดลอง 3 ซ้ำ วิเคราะห์ผลโดยการพิจารณาแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงในระหว่างกระบวนการแช่อิ่ม

2. **การศึกษากระบวนการแช่อิ่มแบบเร็ว**

2.1 การศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิและชนิดน้ำตาลในกระบวนการแช่อิ่ม

ศึกษาอิทธิพลของน้ำตาล 3 ชนิด คือ ซูโครส กลูโคส และกลูโคสไซรัป โดยนำเนื้อลำไยแช่ในสารละลายน้ำตาลเข้มข้นเท่ากับ 70 องศาบริกซ์ ที่อุณหภูมิห้อง (30 $\pm$ 5) 50 60 70 80 และ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

ติดตามผลโดยการวัดการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักเฉลี่ยต่อผล ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ค่าแรงเฉือน ค่าความสว่าง (L*) ค่าสีแดง (a*) และค่าสีเหลือง (b*) ทุก 4 ชั่วโมง ทำการทดลอง 3 ซ้ำ วิเคราะห์ผลโดยการพิจารณาแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงในระหว่างกระบวนการแช่อิ่ม และสร้างสมการเส้นตรงเพื่อแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่ติดตามและเวลาในการแช่อิ่ม

2.2 การศึกษาอิทธิพลของชนิดน้ำตาลและสารเคมีในกระบวนการแช่อิ่ม

ศึกษาอิทธิพลของน้ำตาล 3 ชนิด คือ ซูโครส กลูโคส และกลูโคสไซรัป และสารเคมี 3 ชนิด คือ แคลเซียมคลอไรด์ความเข้มข้นร้อยละ 0.1 กรดซิตริกความเข้มข้นร้อยละ 0.1 และโปแตสเซียมเมตาไบซัลไฟต์ความเข้มข้นร้อยละ 0.01 โดยมีการใช้สารเคมีชนิดใดชนิดหนึ่ง การใช้สารเคมีสองชนิดร่วมกัน หรือ การใช้สารเคมีทั้งสามชนิดร่วมกันเพื่อเปรียบเทียบกับการไม่เติมสารเคมี (ตัวอย่างควบคุม)

โดยนำเนื้อลำไยแช่ในสารละลายน้ำตาลเข้มข้นเท่ากับ 70 องศาบริกซ์ ที่อุณหภูมิ 60 70 80 และ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

ติดตามผลโดยการเปรียบเทียบค่าแรงเฉือน ค่าความสว่าง (L*) ค่าสีแดง (a*) และค่าสีเหลือง (b*) ของลำไยก่อนและหลังการแช่อิ่ม ทำการทดลอง 3 ซ้ำ วิเคราะห์ผลโดยการเปรียบเทียบค่าแรงเฉือน ค่าความสว่าง (L*) ค่าสีแดง (a*) และค่าสีเหลือง (b*) ก่อนและหลังกระบวนการแช่อิ่มภายกลุ่มของน้ำตาลแต่ละชนิด วางแผนการทดลองแบบ Randomized complete block design (RCBD) เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Ducan's new multiple range test (DMRT)

3 **การศึกษาอิทธิพลของชนิดสารเคมีในกระบวนการทำแห้ง**

3.1 การอบแห้งในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส

ศึกษาการใช้สารเคมี 3 ชนิด คือ แคลเซียมคลอไรด์ความเข้มข้นร้อยละ 0.1 กรดซิตริกความเข้มข้นร้อยละ 0.1 และโปแตสเซียมเมตาไบซัลไฟต์ความเข้มข้นร้อยละ 0.01 โดยมีการใช้สารเคมีชนิดใดชนิดหนึ่ง การใช้สารเคมีสองชนิดร่วมกัน หรือ การใช้สารเคมีทั้งสามชนิดร่วมกัน

เพื่อเปรียบเทียบกับการไม่เติมสารเคมี (ตัวอย่างควบคุม) ในลำไยแช่อิ่มโดยซูโครสตามวิธีการที่เลือกได้จากข้อ 1.2 (การแช่อิ่มในสารละลายน้ำตาลเข้มข้นร้อยละ 70 โดยปรับความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลให้เป็นร้อยละ 70 เป็นเวลา 3 วัน) ที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง

ติดตามผลโดยการวัดการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักเฉลี่ยต่อผล ค่าแรงเฉือน ค่าความสว่าง (L*) ค่าสีแดง (a*) และค่าสีเหลือง (b*) ของลำไยแช่อิ่มทุก 4 ชั่วโมง วิเคราะห์ผลโดยการพิจารณาแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงระหว่างการอบแห้ง และการเปรียบเทียบค่าแรงเฉือน ค่าความสว่าง (L*) ค่าสีแดง (a*) และค่าสีเหลือง (b*) ของเนื้อลำไยแช่อิ่มหลังการอบแห้ง วางแผนการทดลองแบบ Randomized complete block design (RCBD) เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Ducan's new multiple range test (DMRT)

3.2 **การเคี่ยวในน้ำเชื่อมที่ใช้แช่อิ่มจนน้ำตาลตกผลึก**

ศึกษาการใช้สารเคมี 3 ชนิด คือ แคลเซียมคลอไรด์ความเข้มข้นร้อยละ 0.1 กรดซิตริกความเข้มข้นร้อยละ 0.1 และโปแตสเซียมเมตาไบซัลไฟต์ความเข้มข้นร้อยละ 0.01 โดยมีการใช้สารเคมีชนิดใดชนิดหนึ่ง การใช้สารเคมีสองชนิดร่วมกัน หรือ การใช้สารเคมีทั้งสามชนิดร่วมกัน เพื่อเปรียบเทียบกับการไม่เติมสารเคมี (ตัวอย่างควบคุม) ในลำไยแช่อิ่มโดยซูโครสตามวิธีการที่เลือกได้จากข้อ 1.2 (การแช่อิ่มในสารละลายน้ำตาลเข้มข้นร้อยละ 70 โดยปรับความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลให้เป็นร้อยละ 70 เป็นเวลา 3 วัน) และนำมาเคี่ยวในน้ำเชื่อมที่ใช้ในการแช่อิ่มจนน้ำตาลตกผลึก โดยแบ่งการเคี่ยวออกเป็น 2 ลักษณะ คือ (1) การเคี่ยวในปริมาณมาก (ครั้งละ 20 กิโลกรัม) และการเคี่ยวในปริมาณน้อย (ครั้งละ 2 กิโลกรัม)

ติดตามผลโดยการวัดการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักเฉลี่ยต่อผล ค่าแรงเฉือน ค่าความสว่าง (L*) ค่าสีแดง (a*) และค่าสีเหลือง (b*) ของลำไยแช่อิ่มก่อนและหลังการเคี่ยว วิเคราะห์ผลโดยการเปรียบเทียบค่าแรงเฉือน ค่าความสว่าง (L*) ค่าสีแดง (a*) และค่าสีเหลือง (b*) ก่อนและหลังการเคี่ยว วางแผนการทดลองแบบ Randomized complete block design (RCBD) เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Ducan's new multiple range test (DMRT)

4. **การศึกษาการผลิตเนื้อลำไยแช่อิ่มอบแห้งในลักษณะของอาหารรับประทานเล่น**

ศึกษาการใช้ซูโครสร่วมกับกลูโคสไซรัปในการแช่อิ่มเพื่อผลิตลำไยแช่อิ่มอบแห้งในลักษณะของอาหารรับประทานเล่น ดังนี้ คือ

(1) การแช่อิ่มโดยใช้สารละลายซูโครสความเข้มข้น 70 องศาบริกซ์ 1 วัน ร่วมกับการแช่อิ่มโดยใช้สารละลายกลูโคสไซรัปความเข้มข้น 70 องศาบริกซ์ 3 วัน

(2) การแช่อิ่มโดยใช้สารละลายซูโครสความเข้มข้น 70 องศาบริกซ์ 2 วัน ร่วมกับการแช่อิ่มโดยใช้สารละลายกลูโคสไซรัปความเข้มข้น 70 องศาบริกซ์ 2 วัน

จากนั้นนำมาอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมง

ติดตามผลโดยการวัดการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักเฉลี่ยต่อผล ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ค่าแรงเฉือน ค่าความสว่าง (L*) ค่าสีแดง (a*) และค่าสีเหลือง (b*) ทุก 4 ชั่วโมง ทำการทดลอง 3 ซ้ำ วิเคราะห์ผลโดยการพิจารณาแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงในระหว่างกระบวนการแช่อิ่มและการอบแห้ง

5. การทดสอบทางประสาทสัมผัส

5.1 การทดสอบการยอมรับเนื้อลำไยแช่อิ่มที่ผ่านการทำแห้งแล้ว

5.1.1 การจัดลำดับความชอบจากลักษณะปรากฏของเนื้อลำไยแช่อิ่มที่ผ่านการทำแห้ง

คัดเลือกตัวอย่างเนื้อลำไยแช่อิ่มที่ผ่านการทำแห้งจากข้อ 3 จำนวน 6 ตัวอย่าง ซึ่งประกอบด้วย เนื้อลำไยแช่อิ่มที่ทำแห้งโดยการอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส จำนวน 4 ตัวอย่าง (1 – 4) และเนื้อลำไยแช่อิ่มอบแห้งที่ทำแห้งโดยการเคี่ยวจนน้ำตาลตกผลึก จำนวน 2 ตัวอย่าง (5 – 6) ดังนี้ คือ

(1) เนื้อลำไยที่แช่อิ่มโดยซูโครสเมื่อไม่เติมสารเคมี

(2) เนื้อลำไยที่แช่อิ่มโดยซูโครสเมื่อเติมแคลเซียมคลอไรด์ร้อยละ 0.1

(3) เนื้อลำไยที่แช่อิ่มโดยซูโครสเมื่อเติมโปแตสเซียมเมตาไบซัลไฟต์ร้อยละ 0.01

(4) เนื้อลำไยที่แช่อิ่มโดยซูโครสเมื่อเติมแคลเซียมคลอไรด์ร้อยละ 0.1 และโปแตสเซียมเมตาไบซัลไฟต์ร้อยละ 0.01

(5) เนื้อลำไยแห้งเมื่อเคี่ยวในปริมาณมาก (ครั้งละ 20 กิโลกรัม)

(6) เนื้อลำไยแห้งเมื่อเคี่ยวในปริมาณน้อย (ครั้งละ 2 กิโลกรัม)

และนำมาทดสอบการยอมรับโดยให้ตัวแทนผู้บริโภคจำนวน 120 คนประเมินตัวอย่างทั้งหมดจากลักษณะปรากฏโดยวิธีการจัดลำดับ (Ranking test) ด้วยการพิจารณาเรียงลำดับตามความชอบจาก ลำดับที่ 1 ชอบมากที่สุด จนถึงลำดับที่ 6 ชอบน้อยที่สุด วิเคราะห์ผลโดยวิธี Friedman's T test และเปรียบเทียบผลต่างของผลรวมการจัดลำดับของตัวอย่างแต่ละคู่ด้วยวิธี Tukey's honestly significant difference test for ranking test เพื่อคัดเลือกตัวอย่างที่ได้รับการยอมรับสูงไปประเมินการยอมรับในลักษณะต่างๆ ในขั้นตอนต่อไป

5.1.2 **การทดสอบการยอมรับของเนื้อลำไยแช่อิ่มอบแห้ง**

นำตัวอย่างเนื้อลำไยแช่อิ่มอบแห้งที่คัดเลือกได้จากข้อ 5.1.1 จำนวน 4 ตัวอย่าง คือ

(1) เนื้อลำไยที่แช่อิ่มโดยซูโครสเมื่อไม่เติมสารเคมี

(2) เนื้อลำไยที่แช่อิ่มโดยซูโครสเมื่อเติมแคลเซียมคลอไรด์ร้อยละ 0.1

(3) เนื้อลำไยที่แช่อิ่มโดยซูโครสเมื่อเติมโปแตสเซียมเมตาไบซัลไฟต์ร้อยละ 0.01

(4) เนื้อลำไยที่แช่อิ่มโดยซูโครสเมื่อเติมแคลเซียมคลอไรด์ร้อยละ 0.1 และโปแตสเซียมเมตาไบซัลไฟต์ร้อยละ 0.01

มาทำการทดสอบการยอมรับจากตัวแทนผู้บริโภคจำนวน 120 คน โดยให้ตัวแทนผู้บริโภคทดสอบและประเมินลักษณะต่างๆ ของผลิตภัณฑ์ ซึ่งประกอบด้วย ลักษณะปรากฏ กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และ ความชอบรวม โดยใช้ 9-point hedonic scale (1 หมายถึง ไม่ชอบมากอย่างยิ่ง 5 หมายถึง เฉยๆ และ 9 หมายถึง ชอบมากอย่างยิ่ง) วางแผนการทดลองแบบ Randomized complete block design (RCBD) เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Ducan's new multiple range test (DMRT)

5.2 **การทดสอบการยอมรับเนื้อลำไยแช่อิ่มอบแห้งในลักษณะของอาหารรับประทานเล่น**

นำเนื้อลำไยแช่อิ่มอบแห้งในลักษณะของอาหารรับประทานเล่นที่ผลิตได้จากข้อ 4 คือ

(1) เนื้อลำไยแช่อิ่มอบแห้งที่แช่อิ่มในสารละลายซูโครส 2 วันร่วมกับสารละลายกลูโคสไซรัป 2 วัน

(2) เนื้อลำไยแช่อิ่มอบแห้งที่แช่อิ่มในสารละลายซูโครส 1 วันร่วมกับสารละลายกลูโคสไซรัป 3 วัน

และตัวอย่างทั้งสองที่คลุกด้วยซอร์บิทอลเพื่อลดดูดซับความชื้นและปรับปรุงลักษณะทางประสาทสัมผัส (3 และ 4)

มาทำการทดสอบการยอมรับจากตัวแทนผู้บริโภคจำนวน 120 คน โดยให้ตัวแทนผู้บริโภคทดสอบและประเมินลักษณะต่างๆ ของผลิตภัณฑ์ ซึ่งประกอบด้วย ลักษณะปรากฏ กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และ ความชอบรวม โดยใช้ 9-point hedonic scale (1 หมายถึง ไม่ชอบมากอย่างยิ่ง 5 หมายถึง เฉยๆ และ 9 หมายถึง ชอบมากอย่างยิ่ง) วางแผนการทดลองแบบ Randomized complete block design (RCBD) เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Ducan's new multiple range test (DMRT)

5.3 การทดสอบการยอมรับน้ำตาลลำไยและน้ำเชื่อมลำไย

นำน้ำตาลลำไยและน้ำเชื่อมลำไยซึ่งเป็นผลพลอยได้จากกระบวนการแช่อิ่มเนื้อลำไยในข้อ 3 และ 4 มาทำการทดสอบการยอมรับจากตัวแทนผู้บริโภคจำนวน 120 คน ดังนี้ คือ

(1) การประเมินการยอมรับโดยการพิจารณาจากลักษณะปรากฏของน้ำตาลลำไย

(2) การประเมินการยอมรับด้านลักษณะปรากฏ กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบรวม ของน้ำลำไยแบบร้อนที่เตรียมโดยใช้น้ำตาลลำไยร้อยละ 10

(3) การประเมินการยอมรับด้านลักษณะปรากฏ กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบรวม ของน้ำลำไยแบบเย็นที่เตรียมโดยใช้น้ำตาลลำไยร้อยละ 10

(4) การประเมินการยอมรับจากลักษณะปรากฏและกลิ่นของน้ำเชื่อมลำไย

โดยใช้ 9-point hedonic scale (1 หมายถึง ไม่ชอบมากอย่างยิ่ง 5 หมายถึง เฉยๆ และ 9 หมายถึง ชอบมากอย่างยิ่ง) วางแผนการทดลองแบบ Randomized complete block design (RCBD) เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Ducan's new multiple range test (DMRT)

6. การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่ากิจกรรมของน้ำและความชื้นของเนื้อลำไยแช่อิ่มอบแห้ง

นำตัวอย่างเนื้อลำไยแช่อิ่มอบแห้งที่ผลิตได้ 4 ตัวอย่าง คือ

(1) เนื้อลำไยแช่อิ่มอบแห้งที่แช่อิ่มในสารละลายซูโครส 70 องศาบริกซ์ เป็นเวลา 3 วัน

(2) เนื้อลำไยแช่อิ่มอบแห้งที่แช่อิ่มในสารละลายซูโครส 70 องศาบริกซ์ 2 วันร่วมกับสารละลายกลูโคสไซรัป 70 องศาบริกซ์ 2 วัน

(3) เนื้อลำไยแช่อิ่มอบแห้งที่แช่อิ่มในสารละลายซูโครส 70 องศาบริกซ์ 1 วันร่วมกับสารละลายกลูโคสไซรัป 3 วัน

(4) เนื้อลำไยแช่อิ่มอบแห้งที่แช่อิ่มในสารละลายกลูโคสไซรัป 70 องศาบริกซ์ เป็นเวลา 4 วัน

บรรจุในภาชนะปิดสนิทที่มีสารละลายอิ่มตัวของเกลือที่มีความดันไอในระดับต่างๆ ทิ้งไว้จนเกิดสมดุลภายในภาชนะ นำตัวอย่างเนื้อลำไยแช่อิ่มอบแห้งมาวัดค่ากิจกรรมของน้ำและความชื้น (ร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง) และนำค่าที่ได้มาสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ากิจกรรมของน้ำและความชื้น (Sorption isotherm)

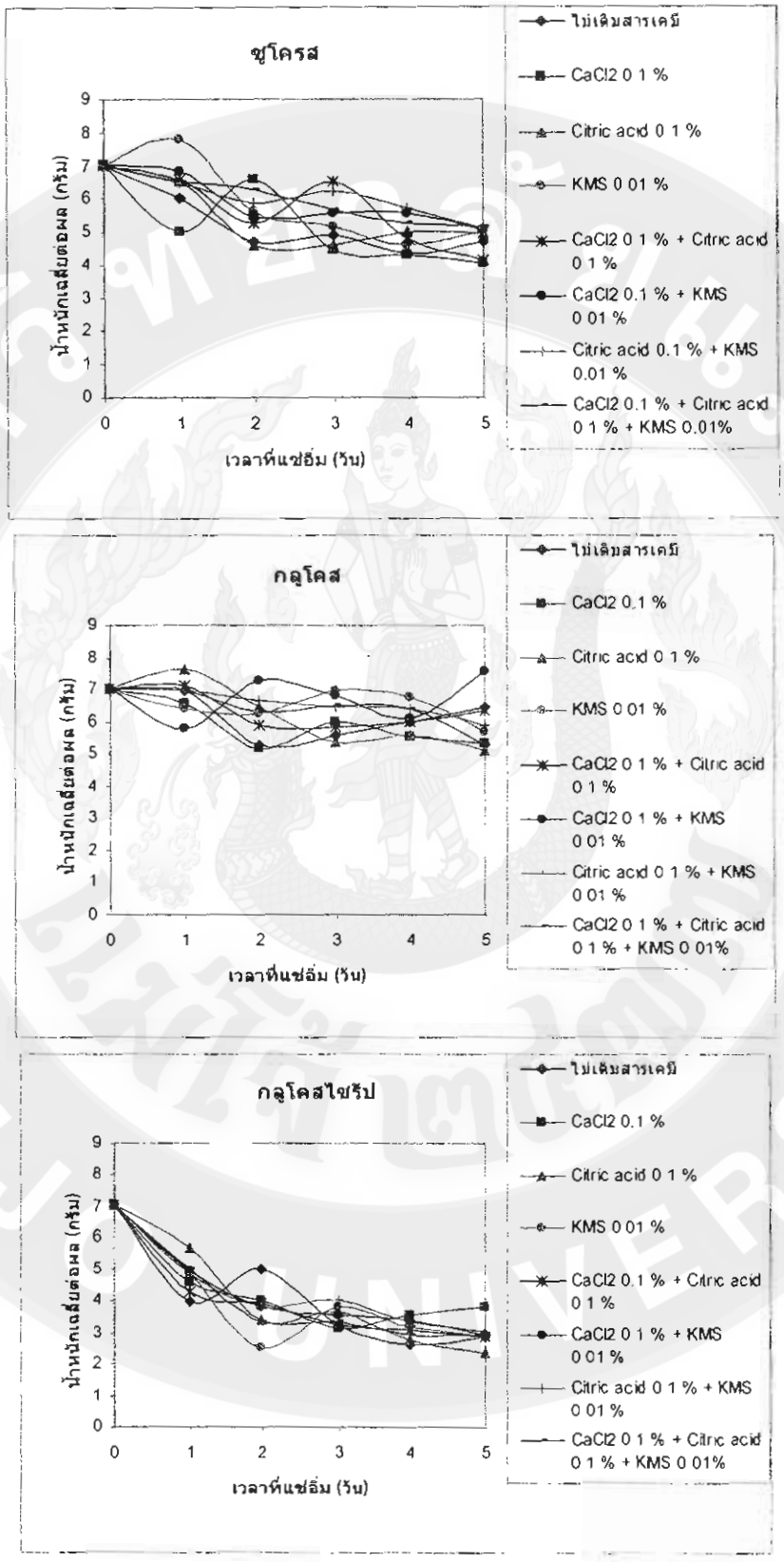
ผลการทดลองและการวิจารณ์ผล

1. ผลการศึกษากระบวนการแช่อิ่มแบบช้า

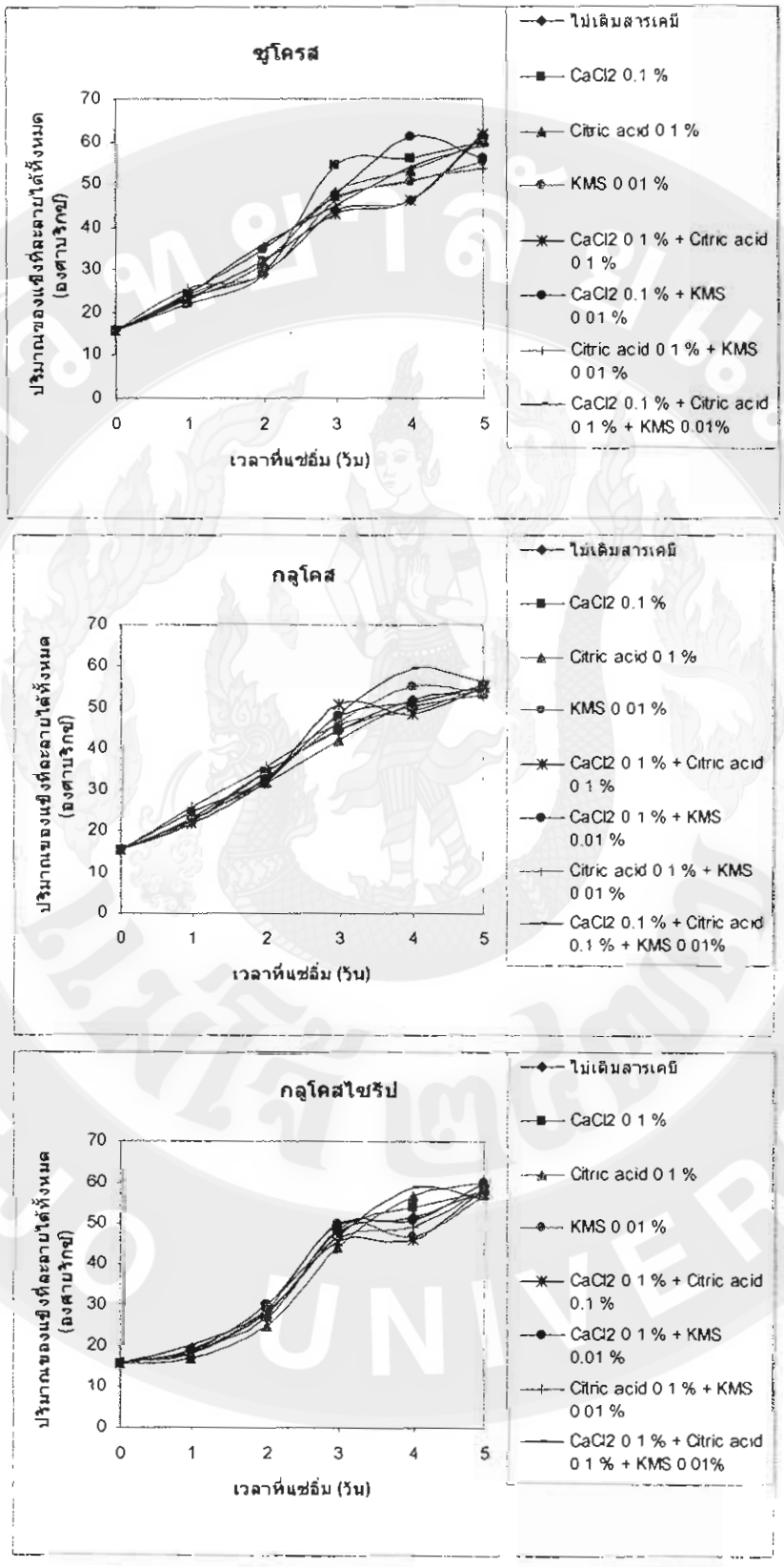
1.1 ผลการศึกษาอิทธิพลของชนิดน้ำตาลและสารเคมีในกระบวนการแช่อิ่ม

จากการติดตามการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักเฉลี่ยต่อผล ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ค่าแรงเฉือน ค่าความสว่าง (L*) ค่าสีแดง (a*) และค่าสีเหลือง (b*) ของลำไยในระหว่างกระบวนการแช่อิ่มโดยใช้น้ำตาล 3 ชนิด คือ ซูโครส กลูโคส และกลูโคสไซรัป โดยเริ่มต้นใช้ความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลเท่ากับ 40 องศาบริกซ์ในวันที่ 1 และเพิ่มความเข้มข้นเป็น 50 และ 60 องศาบริกซ์ในวันที่ 2 และ 3 และใช้ความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลเท่ากับ 70 องศาบริกซ์ในวันที่ 4 และ 5 โดยมีการใช้สารเคมี 3 ชนิด คือ แคลเซียมคลอไรด์ความเข้มข้นร้อยละ 0.1 กรดซิตริกความเข้มข้นร้อยละ 0.1 และโปแตสเซียมเมตาไบซัลไฟต์ความเข้มข้นร้อยละ 0.01 โดยมีการใช้สารเคมีชนิดใดชนิดหนึ่ง การใช้สารเคมีสองชนิดร่วมกัน หรือ การใช้สารเคมีทั้งสามชนิดร่วมกันเพื่อเปรียบเทียบกับการไม่เติมสารเคมี (ตัวอย่างควบคุม)

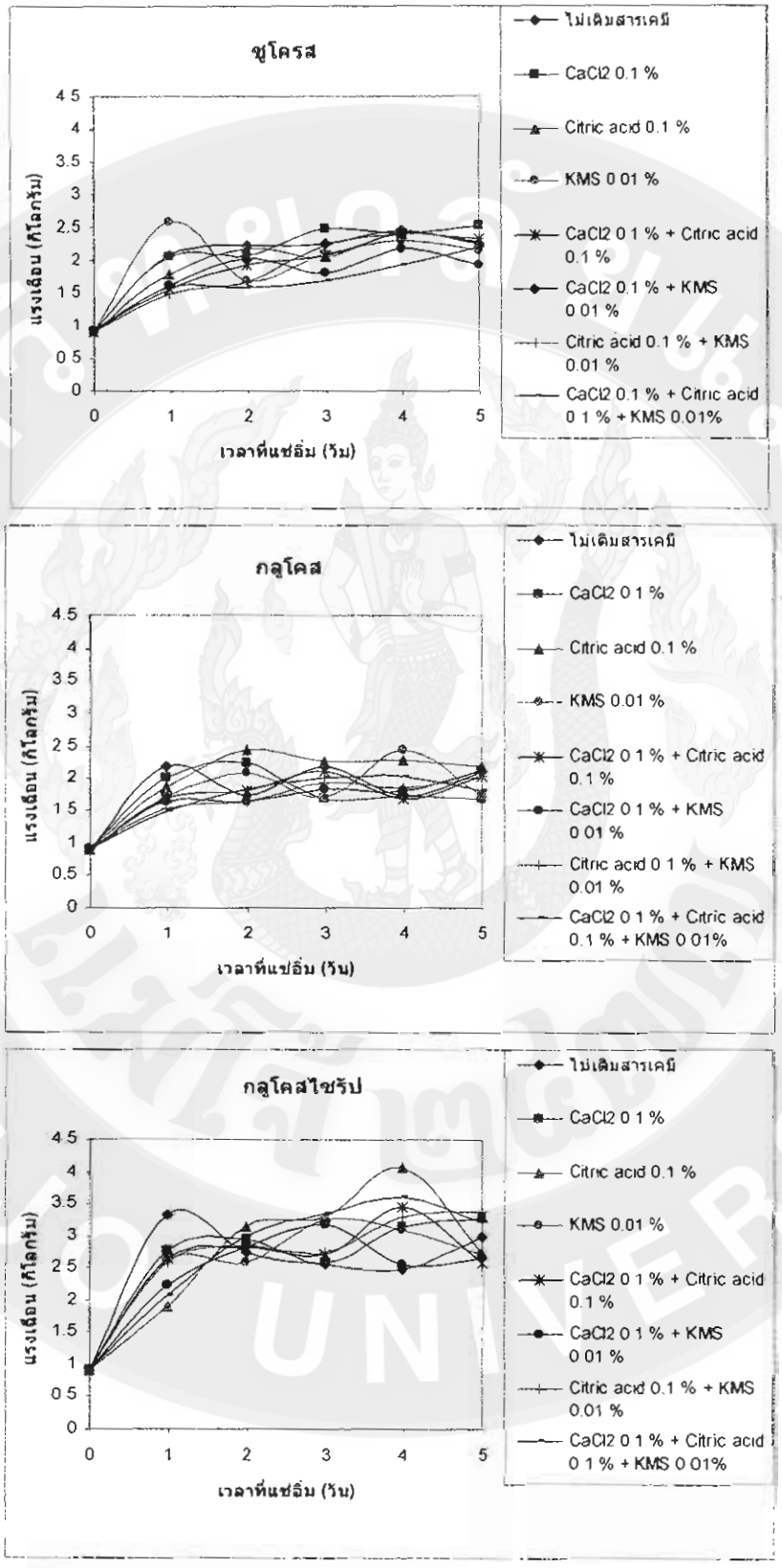
ผลการทดลองพบว่า เมื่อระยะเวลาการแช่อิ่มเพิ่มมากขึ้น น้ำเหนักเฉลี่ยต่อผลมีแนวโน้มลดลง โดยการใช้กลูโคสไซรัปในการแช่อิ่มจะทำให้น้ำหนักเฉลี่ยต่อผลมีแนวโน้มลดลงมากกว่าการใช้ซูโครสและกลูโคสอย่างเห็นได้ชัด (ภาพที่ 1) เนื่องจากสารละลายกลูไซรัปมีความหนืดสูงกว่าสารละลายซูโครสและกลูโคส จึงดึงน้ำออกมาจากเนื้อลำไยได้มากกว่า แต่ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดในเนื้อลำไยที่ผ่านการแช่อิ่มในสารละลายกลูโคสไซรัปจะมีแนวโน้มการเพิ่มสูงขึ้นช้ากว่า (ภาพที่ 2) เพราะกลูโคสไซรัปมีสารโมเลกุลขนาดใหญ่กว่าน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว (กลูโคส) และน้ำตาลโมเลกุลคู่ (ซูโครส) เป็นองค์ประกอบอยู่ด้วย ทำให้การซึมผ่านของน้ำตาลเข้าไปในเนื้อลำไยเกิดขึ้นในอัตราที่ช้ากว่า และด้วยเหตุผลที่กลูโคสไซรัปมีองค์ประกอบที่มีขนาดโมเลกุลใหญ่กว่ารวมอยู่ และมีความหนืดมากกว่าซูโครสและกลูโคสนี้เอง (กล้าณรงค์, 2542; นิธิยา,2545) จึงส่งผลให้ค่าแรงเฉือนของลำไยที่ผ่านการแช่อิ่มโดยกลูโคสไซรัปมีค่ามากกว่า (ภาพที่ 3) ในช่วงแรกของการแช่อิ่มพบว่า ค่าความสว่าง (L*) ของลำไยแช่อิ่มจะมีค่าสูงขึ้นเนื่องจากความร้อนที่ใช้ในการลวกลำไยก่อนนำมาแช่อิ่มและความร้อนจากน้ำเชื่อม และพบว่าค่าความสว่าง (L*) ของลำไยที่แช่อิ่มโดยกลูโคสไซรัปมีค่าสูงขึ้นมากกว่า เนื่องจากลักษณะความเป็นมันวาวของกลูโคสไซรัปเอง แต่ไม่พบความแตกต่างดังกล่าวในช่วงท้ายของกระบวนการแช่อิ่มเพราะน้ำตาลซึมเข้าไปอยู่ในเนื้อลำไยอย่างเต็มที่แล้ว จึงทำให้เนื้อลำไยมีลักษณะทึบแสงใกล้เคียงกัน (ภาพที่ 4) สำหรับค่าสีแดง (a*) และค่าสีเหลือง (b*) ของลำไยแช่อิ่มจะมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นเมื่อระยะเวลาในการแช่อิ่มนานขึ้น (ภาพที่ 5 และ 6) เนื่องจากการเกิดสีน้ำตาลของเนื้อลำไย



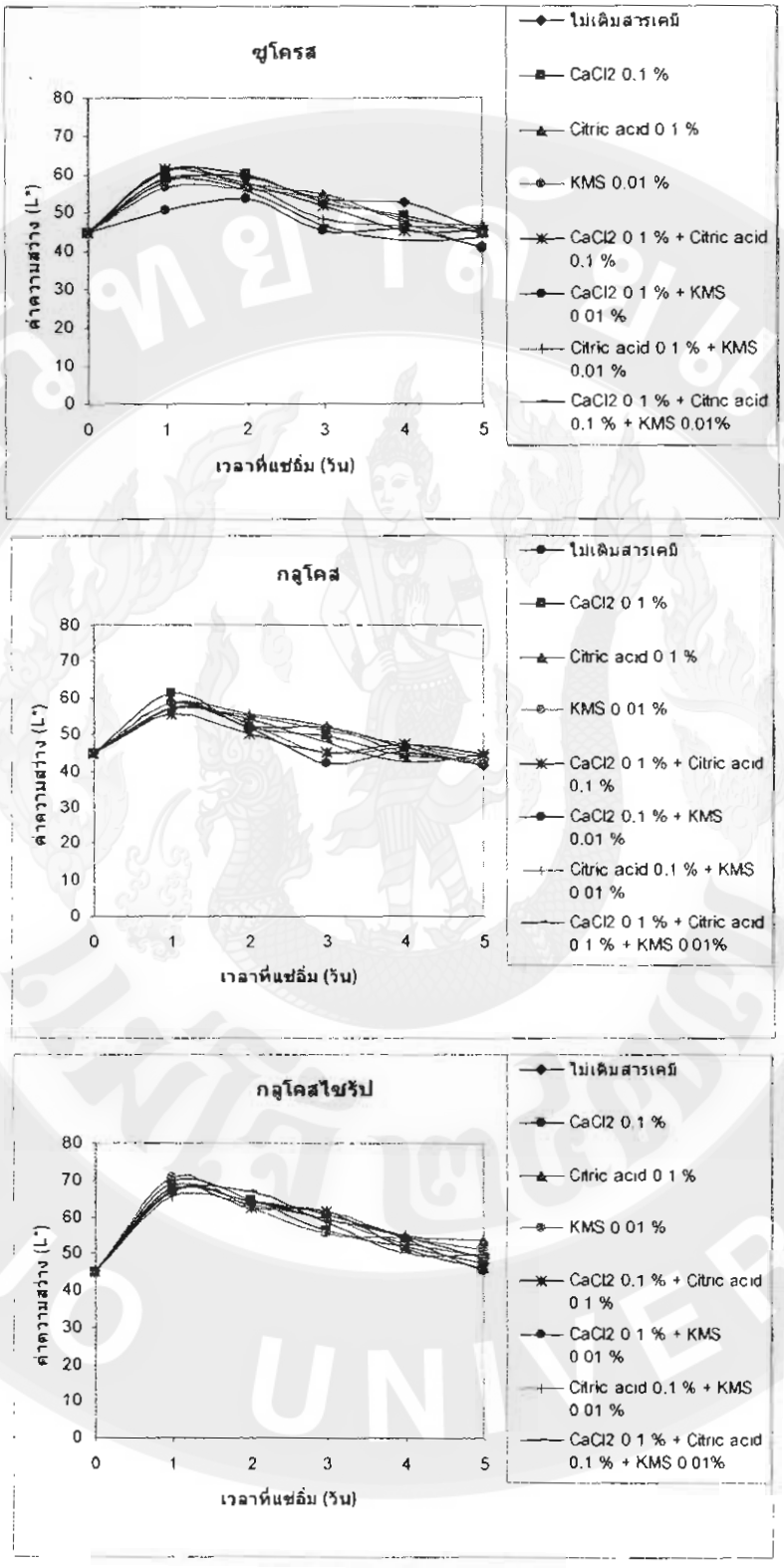
ภาพที่ 1 น้ำหนักเฉลี่ยต่อผลของเนื้อลำไยในระหว่างการแช่อิ่มที่อุณหภูมิห้อง เมื่อแปรชนิดน้ำตาลและสารเคมี



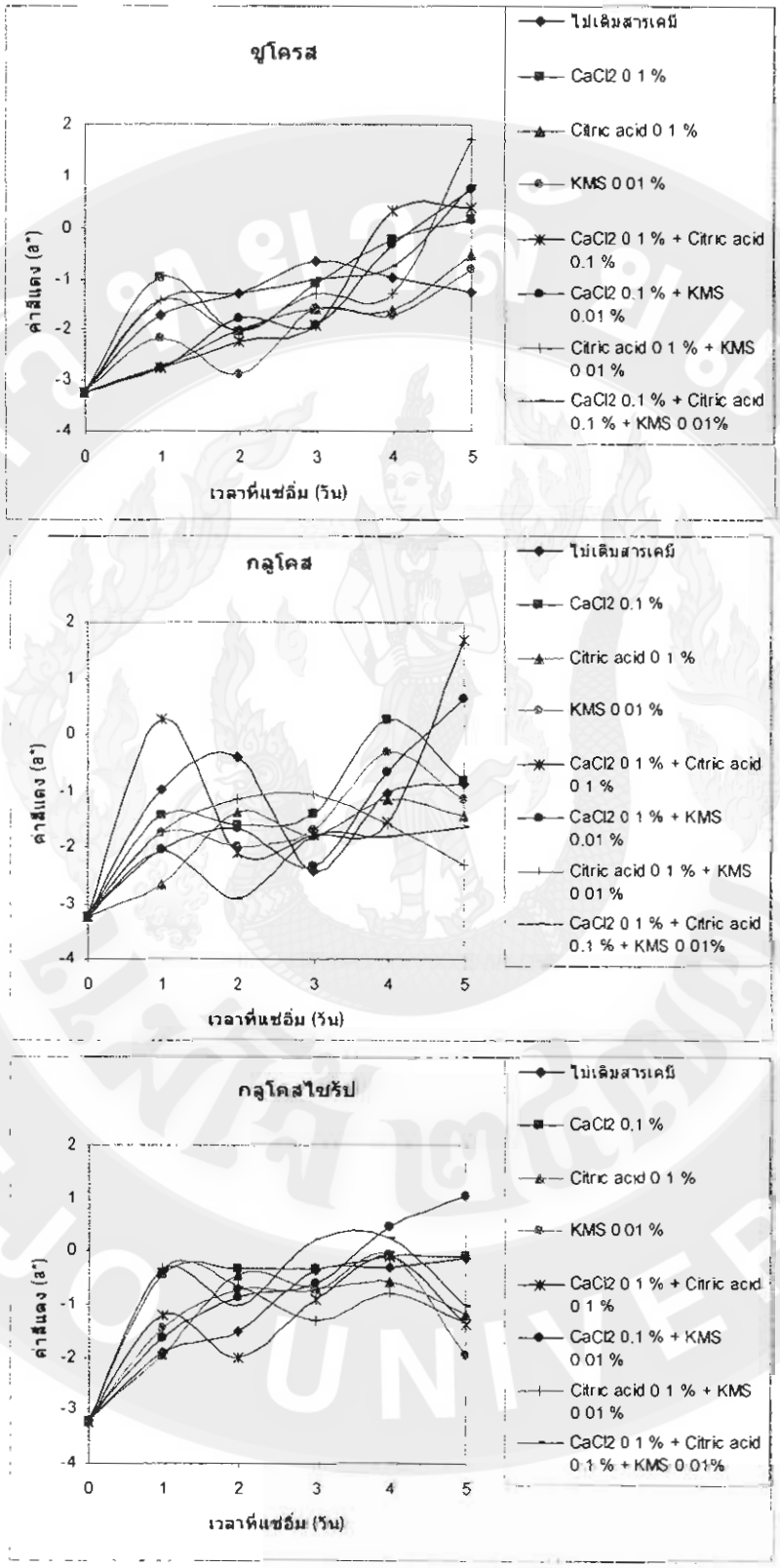
ภาพที่ 2 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดของเนื้อลำไยในระหว่างการแช่อิ่มที่อุณหภูมิห้อง เมื่อแปรชนิดน้ำตาลและสารเคมี



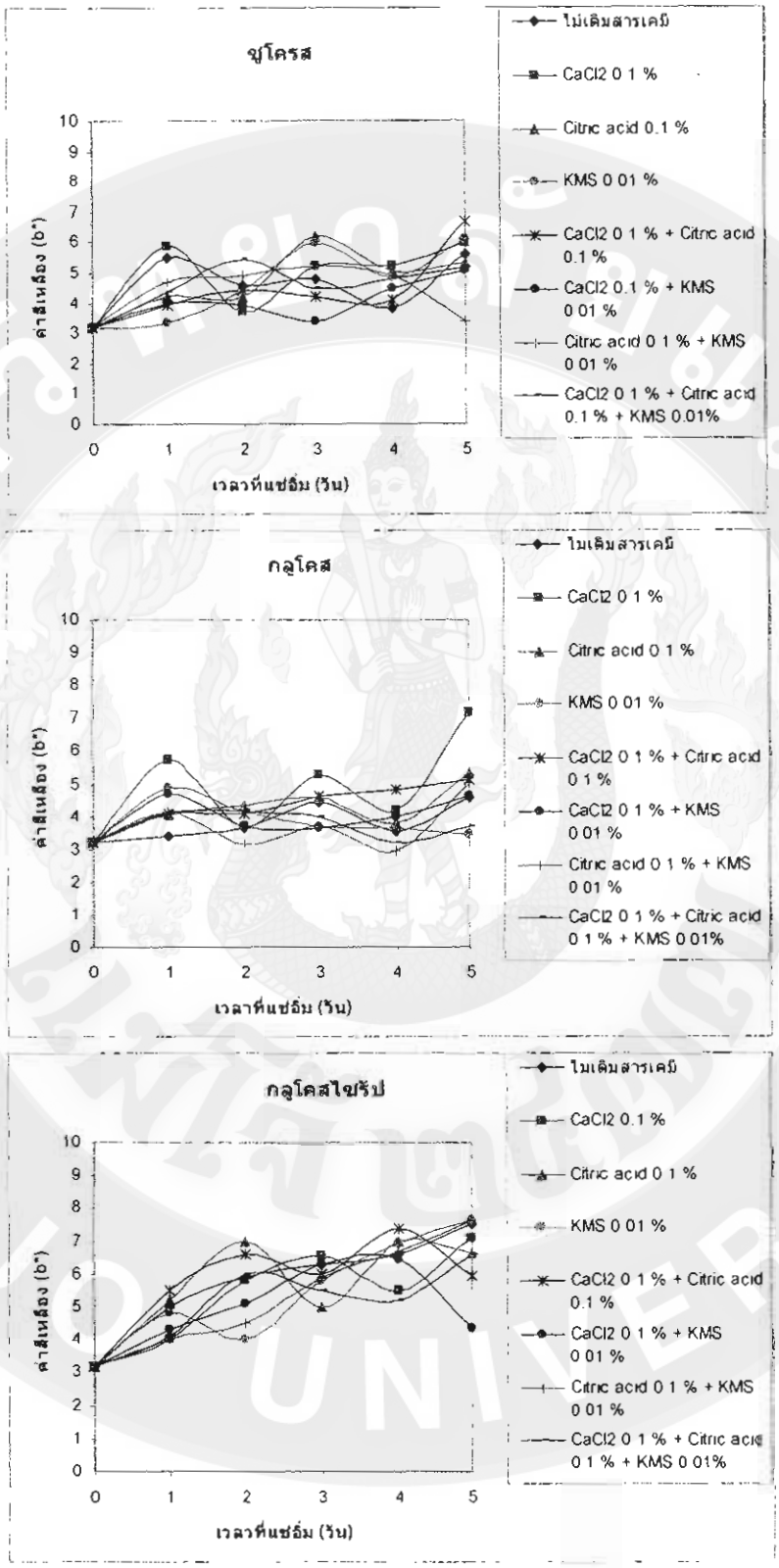
ภาพที่ 3 ค่าแรงเฉือนของเนื้อลำไยในระหว่างการแช่อิ่มที่อุณหภูมิห้อง เมื่อแปรชนิดน้ำตาลและสารเคมี



ภาพที่ 4 ค่าความสว่าง (L*) ของเนื้อลำไยในระหว่างการแช่อิ่มที่อุณหภูมิห้อง เมื่อแปรชนิดน้ำตาลและสารเคมี



ภาพที่ 5 ค่าสีแดง (a*) ของเนื้อลำไยในระหว่างการแช่อิ่มที่อุณหภูมิห้อง เมื่อแปรชนิดน้ำตาลและสารเคมี

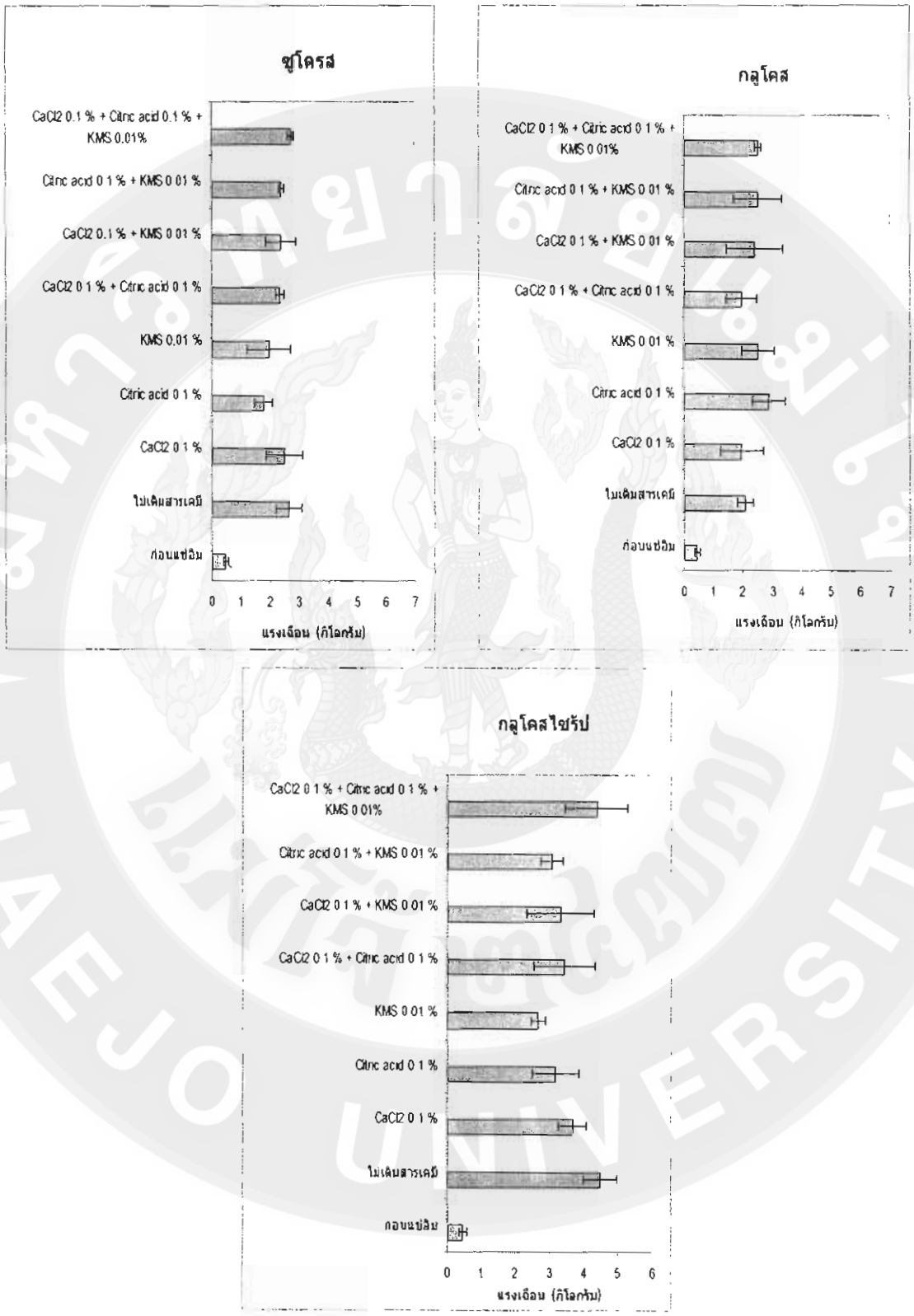


ภาพที่ 6 ค่าสีเหลือง (b*) ของเนื้อลำไยในระหว่างการแช่อิ่มที่อุณหภูมิห้อง เมื่อแปรชนิดน้ำตาลและสารเคมี

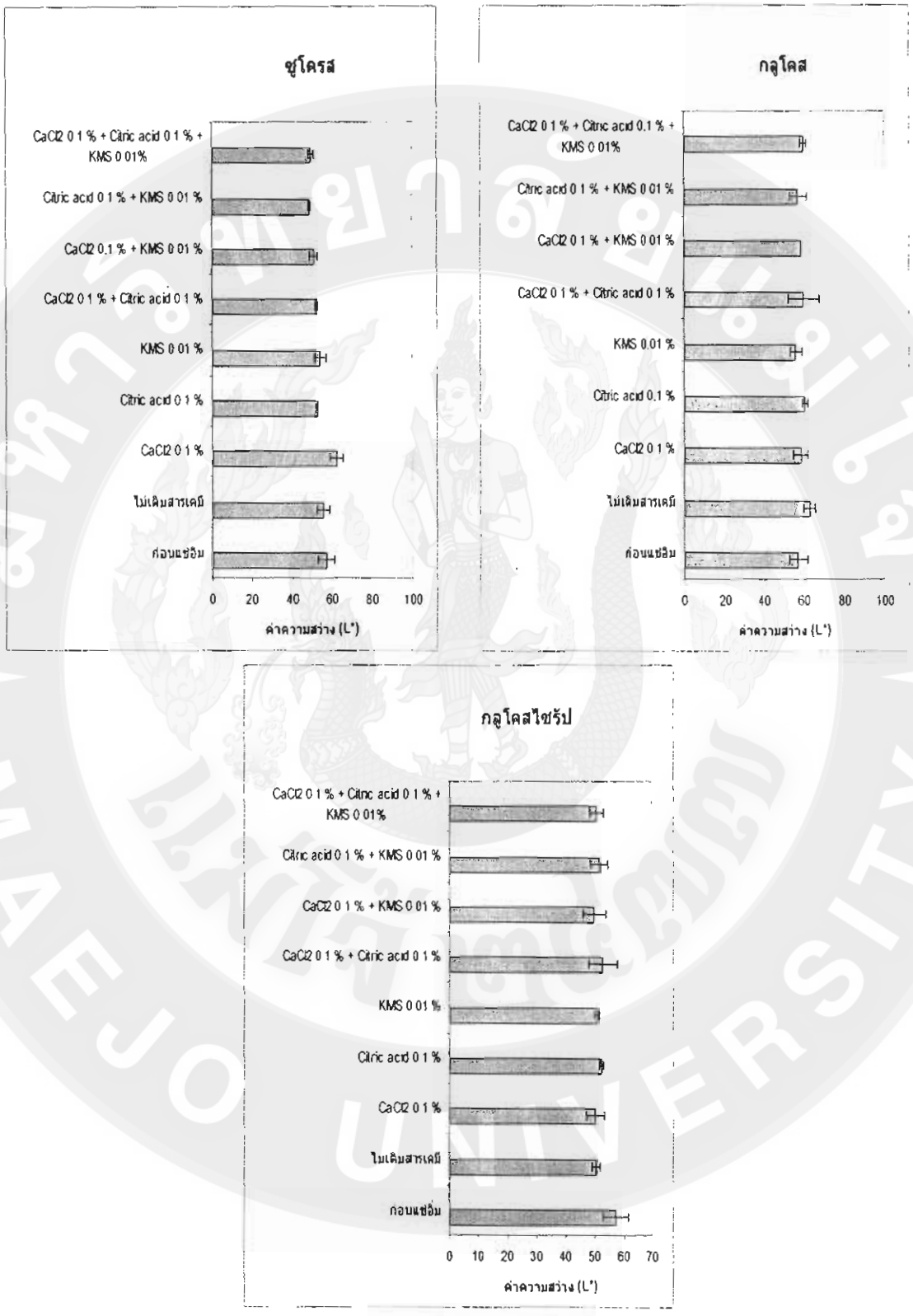
จากผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนภายในกลุ่มของน้ำตาลแต่ละชนิด พบว่า ลำไยหลังการแช่อิ่มมีค่าแรงเฉือน และ ค่าสีแดง (a*) สูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) แต่ค่าความสว่าง (L*) และค่าสีเหลือง (b*) มีการเปลี่ยนแปลงอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

สำหรับสารเคมีทั้ง 3 ชนิดที่ใช้ คือ แคลเซียมคลอไรด์ความเข้มข้นร้อยละ 0.1 กรดซิตริกความเข้มข้นร้อยละ 0.1 และโปแตสเซียมเมตาไบซัลไฟต์ความเข้มข้นร้อยละ 0.01 โดยมีการใช้สารเคมีเพียงชนิดหนึ่ง การใช้สารเคมีสองชนิดร่วมกัน หรือ การใช้สารเคมีทั้งสามชนิดร่วมกันนั้น พบว่า ในภาพรวมแล้วการใช้สารเคมีในทุกกรณีไม่ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างเห็นได้ชัด เมื่อเปรียบเทียบกับการไม่เติมสารเคมี (ตัวอย่างควบคุม) โดยเฉพาะค่าความสว่าง (L*) ซึ่งทุกสิ่งทดลองมีค่าแตกต่างกันน้อยมาก (ภาพที่ 8) แต่ในส่วนของค่าแรงเฉือน ค่าสีแดง (a*) และค่าสีเหลือง (b*) นั้นพบว่า ข้อมูลมีความแปรปรวนค่อนข้างสูง (ภาพที่ 7 9 และ 10) และเมื่อพิจารณาลงไปในรายละเอียดของน้ำตาลแต่ละชนิดจะพบว่า ผลของสารเคมีที่ใช้ในกลุ่มของน้ำตาลต่างชนิดกันอาจมีความแตกต่างกัน เช่น กรดซิตริกมีแนวโน้มที่จะทำให้ค่าแรงเฉือนของลำไยแช่อิ่มโดยใช้ซูโครสมีค่าลดลง ในขณะที่โปแตสเซียมเมตาไบซัลไฟต์มีแนวโน้มที่จะทำให้ค่าแรงเฉือนของลำไยแช่อิ่มโดยใช้กลูโคสไซรัปมีค่าลดลง (ภาพที่ 7) หรือแคลเซียมคลอไรด์มีแนวโน้มที่จะทำให้ค่าสีเหลือง (b*) ของลำไยแช่อิ่มโดยใช้ซูโครสและกลูโคสไซรัปมีค่าสูงขึ้นแต่กลับมีผลทำให้ค่าสีเหลือง(b*) ของลำไยแช่อิ่มโดยใช้กลูโคสมีค่าลดลง (ภาพที่ 10) เป็นต้น

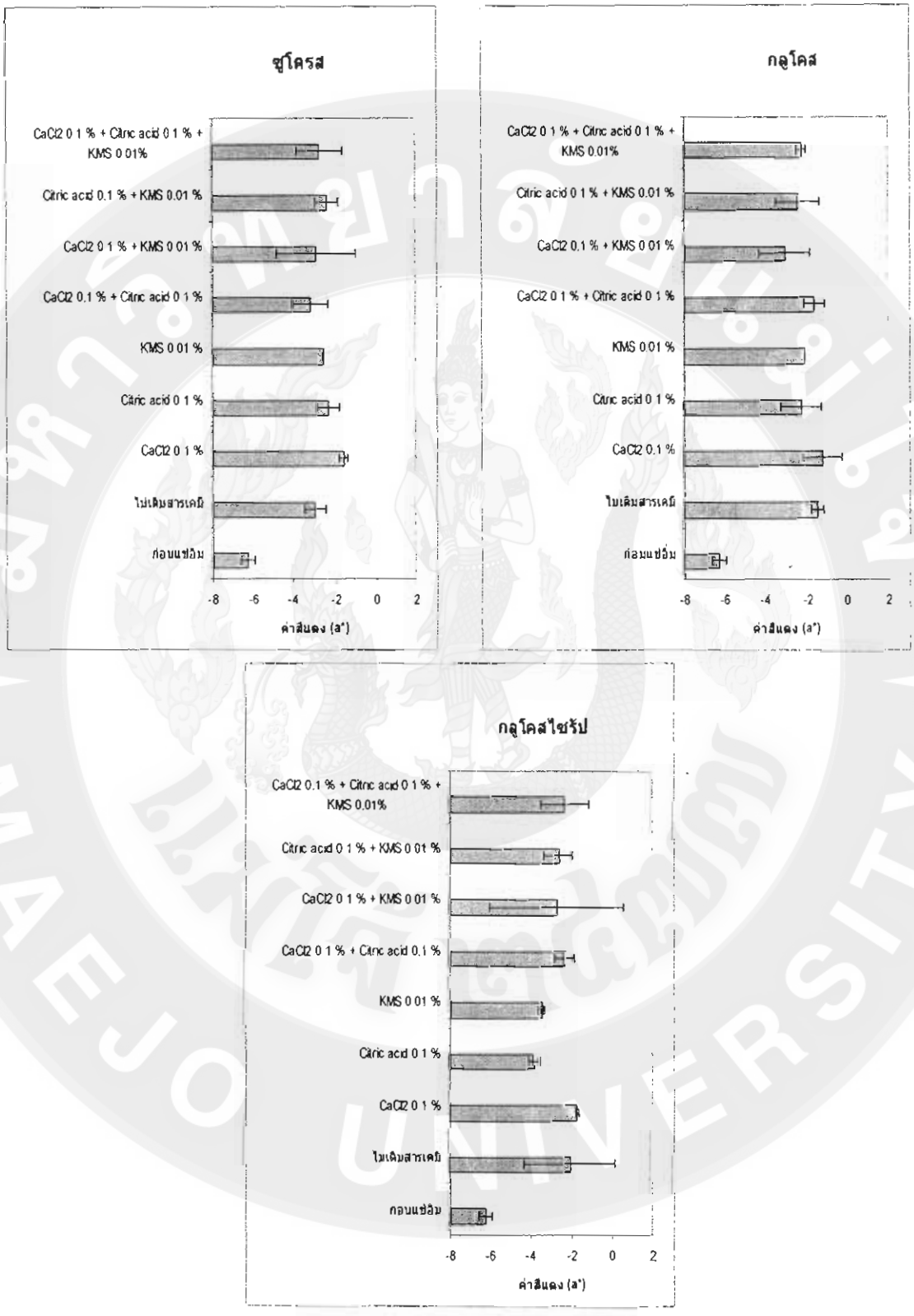
ซึ่งเมื่อพิจารณาจากความแปรปรวนของข้อมูลแล้ว จึงไม่สมควรสรุปว่า สารเคมีที่ใช้ก่อให้เกิดความแตกต่างจากการไม่เติมสารเคมี



ภาพที่ 7 ค่าแรงเฉือนของเนื้อลำไยก่อนและหลังการแช่อิ่มเป็นเวลา 5 วัน ที่อุณหภูมิห้อง เมื่อแปรชนิดน้ำตาลและสารเคมี

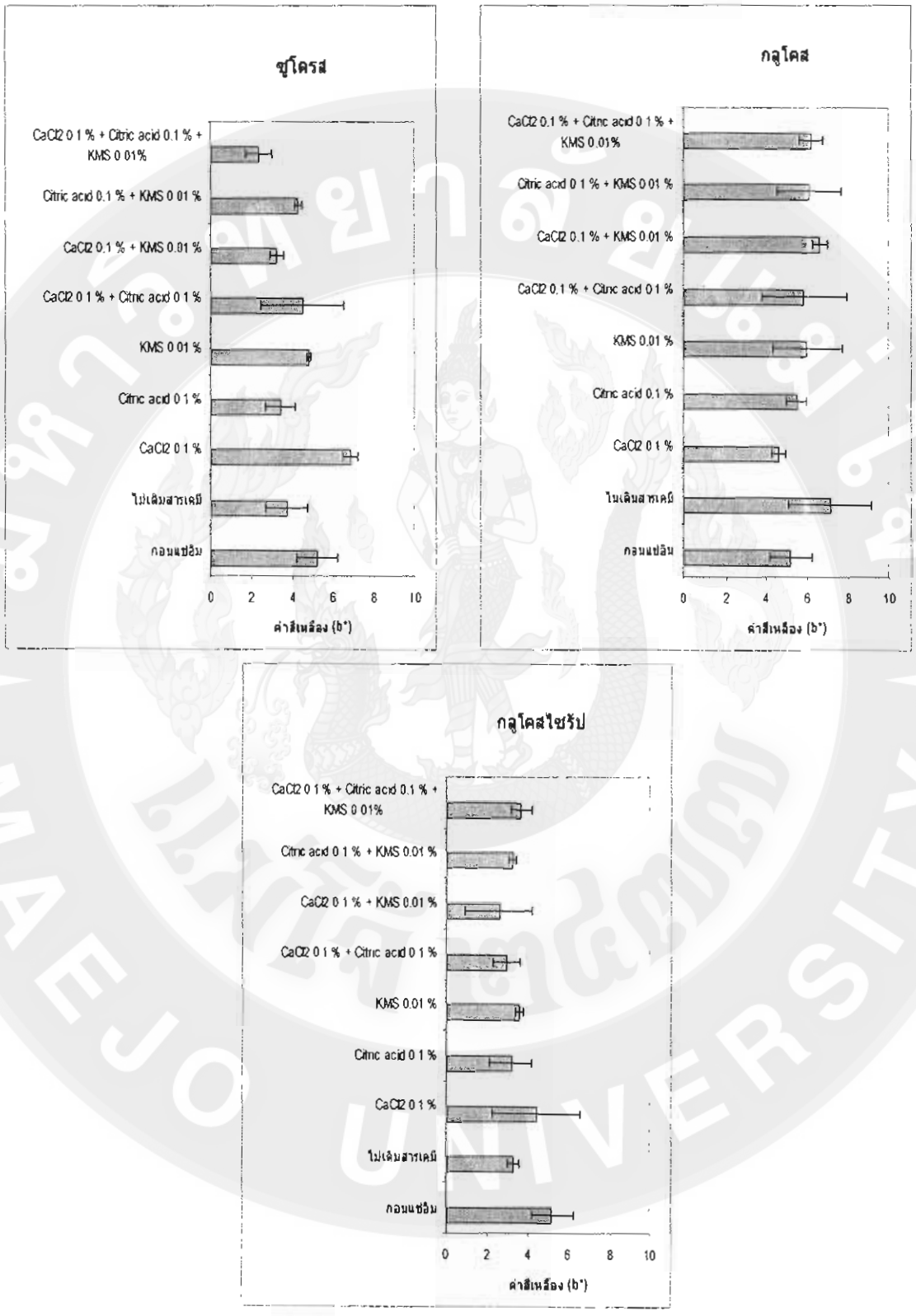


ภาพที่ 8 ค่าความสว่าง (L*) ของเนื้อลำไยก่อนและหลังการแช่อิ่มเป็นเวลา 5 วัน ที่อุณหภูมิห้อง เมื่อแปรชนิดน้ำตาลและสารเคมี



ภาพที่ 9 ค่าสีแดง (a*) ของเนื้อลำไยก่อนและหลังการแช่อิ่มเป็นเวลา 5 วัน ที่อุณหภูมิห้อง เมื่อแปรชนิดน้ำตาลและสารเคมี

สำนักหอสมุด มหาวิทยาลัยแม่โจ้



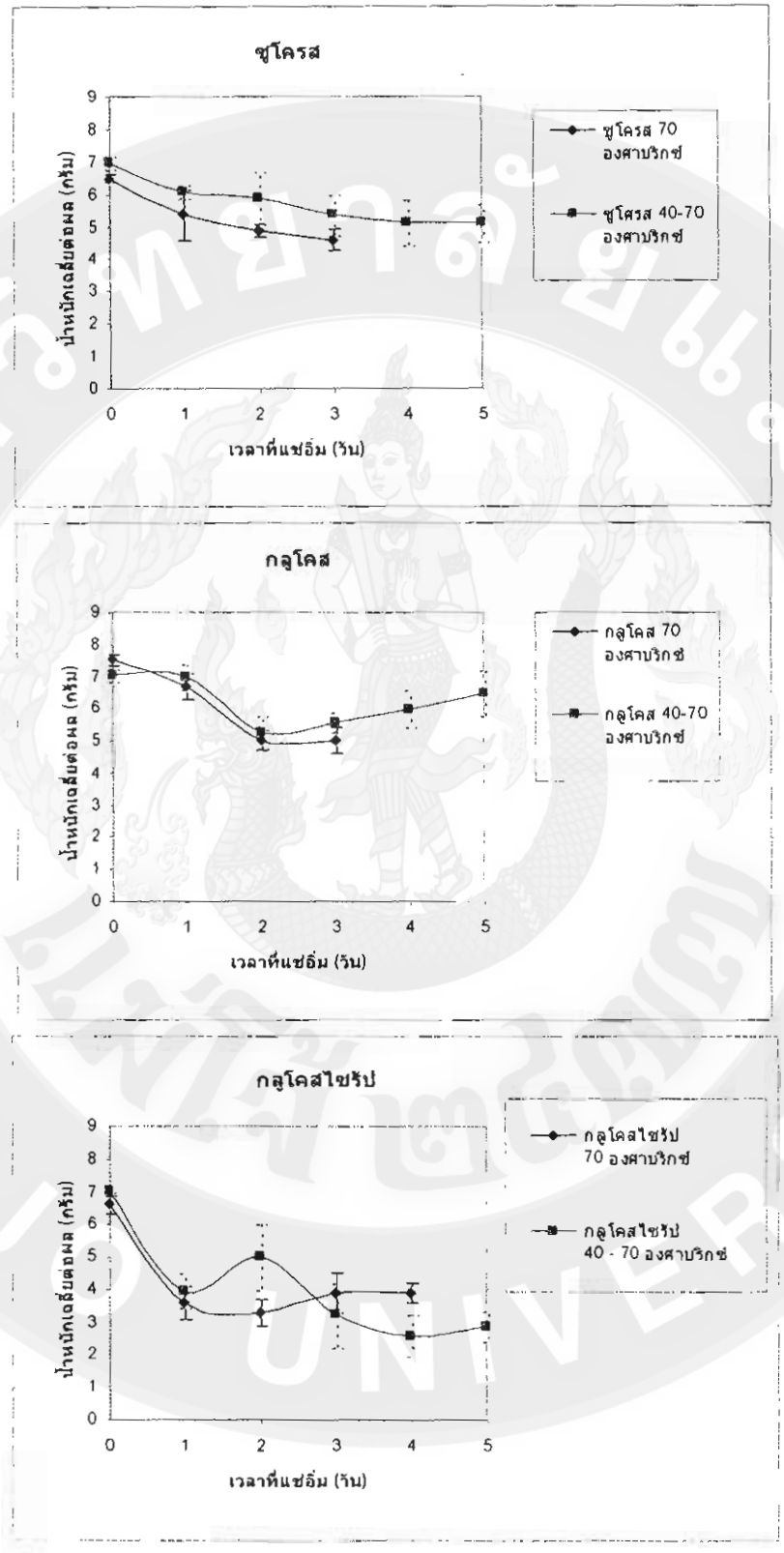
ภาพที่ 10 ค่าสีเหลือง (b*) ของเนื้อลำไยก่อนและหลังการแช่อิ่มเป็นเวลา 5 วัน ที่อุณหภูมิห้อง เมื่อแปรชนิดน้ำตาลและสารเคมี

1.2 **ผลการศึกษาอิทธิพลของความเข้มข้นของน้ำตาลที่ใช้ในกระบวนการแช่อิ่ม**

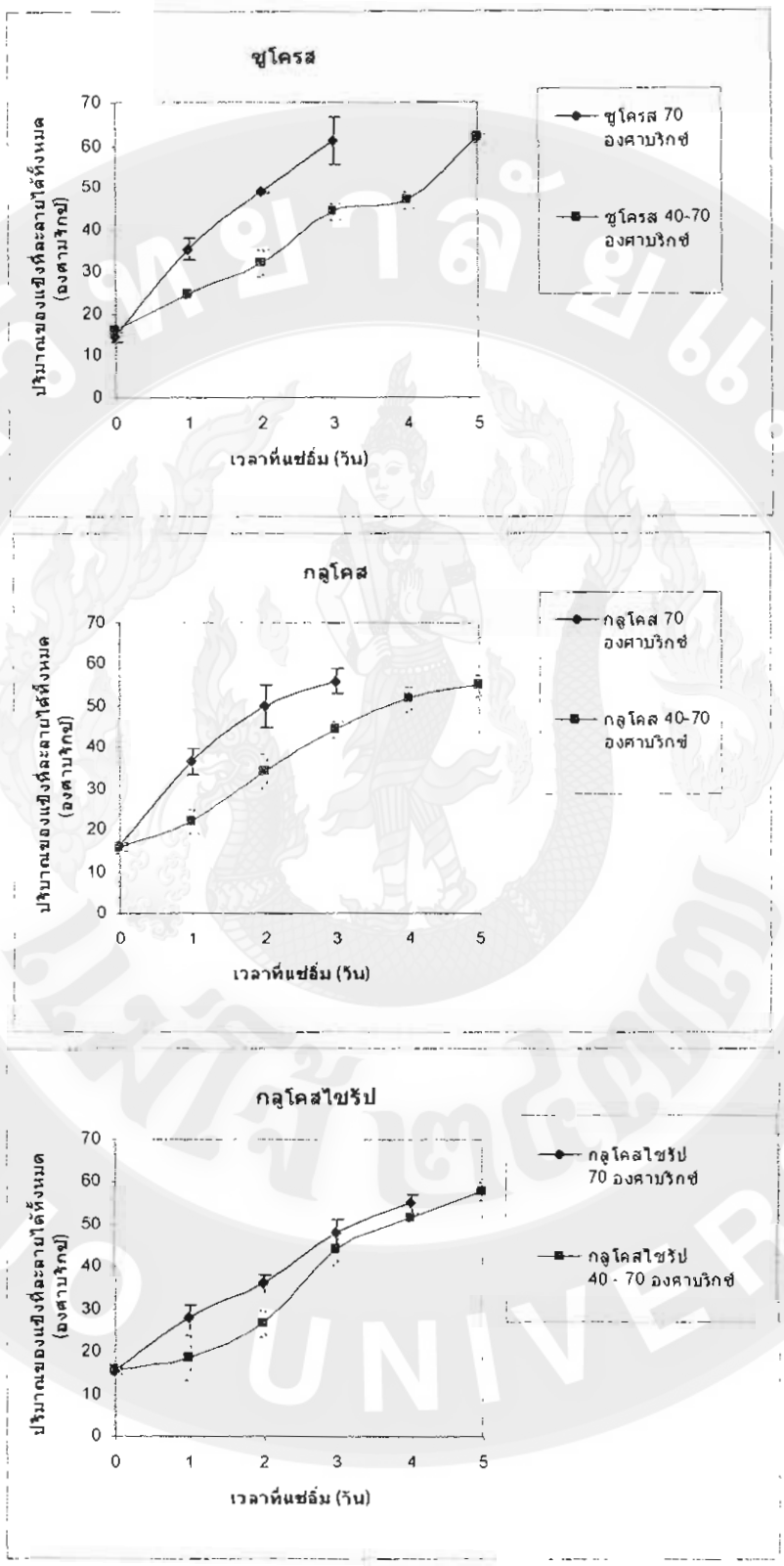
จากการติดตามการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักเฉลี่ยต่อผล ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ค่าแรงเฉือน ค่าความสว่าง (L*) ค่าสีแดง (a*) และค่าสีเหลือง (b*) ของลำไยในระหว่างกระบวนการแช่อิ่มโดยใช้น้ำตาล 3 ชนิด คือ ซูโครส กลูโคส และกลูโคสไซรัป ตามวิธีการแช่อิ่มแบบปกติ (ตามข้อ 1.1) คือ เริ่มต้นการแช่อิ่มโดยใช้สารละลายน้ำตาลความเข้มข้นเท่ากับ 40 องศาบริกซ์ และเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลเป็น 50 และ 60 องศาบริกซ์ในวันที่ 2 และ 3 และใช้ความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลเท่ากับ 70 องศาบริกซ์ในวันที่ 4 และ 5 เปรียบเทียบกับการใช้สารละลายน้ำตาลความเข้มข้นเท่ากับ 70 องศาบริกซ์ตั้งแต่วันที่ 1 และมีการปรับให้สารละลายน้ำตาลมีความเข้มข้นเท่ากับ 70 องศาบริกซ์ในทุกๆ วันโดยพิจารณาใช้ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดในลำไยแช่อิ่มอบแห้งเป็นเกณฑ์ในการเปรียบเทียบ

ผลการทดลองพบว่า การใช้สารละลายน้ำตาลความเข้มข้นเท่ากับ 70 องศาบริกซ์ตั้งแต่วันแรกในการแช่อิ่มลำไยมีผลทำให้น้ำหนักเฉลี่ยต่อผลและค่าความสว่าง (L*) ของลำไยแช่อิ่มมีค่าลดลงเร็วขึ้น ในขณะที่ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ค่าแรงเฉือน และค่าสีเหลือง (b*) มีค่าเพิ่มขึ้นเร็วขึ้น ส่วนค่าสีแดง (a*) มีแนวโน้มการเพิ่มสูงขึ้นน้อยลง ดังภาพที่ 11 - 16 เนื่องจากความเข้มข้นที่สูงมากขึ้นของสารละลายน้ำตาล ทำให้อัตราการซึมผ่านเข้าไปในเนื้อลำไยของน้ำตาลมีค่ามากขึ้น และน้ำในผลลำไยถูกดึงออกมาได้เร็วขึ้น จึงสามารถลดระยะเวลาที่ใช้ในการแช่อิ่มลงได้ โดยพบว่า การแช่อิ่มโดยใช้ซูโครสและกลูโคสโดยใช้สารละลายน้ำตาลเริ่มต้นเท่ากับ 70 องศาริกซ์ และมีการปรับให้สารละลายน้ำตาลมีความเข้มข้นเท่ากับ 70 องศาบริกซ์ทุกวันเป็นเวลา 3 วัน จะได้ลำไยแช่อิ่มที่มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดเท่ากับการแช่อิ่มตามวิธีปกติซึ่งต้องใช้ระยะเวลาในการแช่อิ่ม 5 วัน ในขณะที่การแช่อิ่มโดยใช้กลูโคสไซรัปในสภาวะเดียวกันจะต้องใช้เวลา 4 วัน (ภาพที่ 12) จึงจะได้ลำไยแช่อิ่มที่มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดตามต้องการ เนื่องจากกลูโคสไซรัปมีส่วนผสมบางส่วนที่มีขนาดโมเลกุลใหญ่กว่ากลูโคสและซูโครส (น้ำตาลโมเลกุลใหญ่กว่า 2 โมเลกุล) จึงทำให้อัตราการซึมผ่านของโมเลกุลดังกล่าวเกิดขึ้นช้ากว่าเมื่อแช่อิ่มในกลูโคสและซูโครส

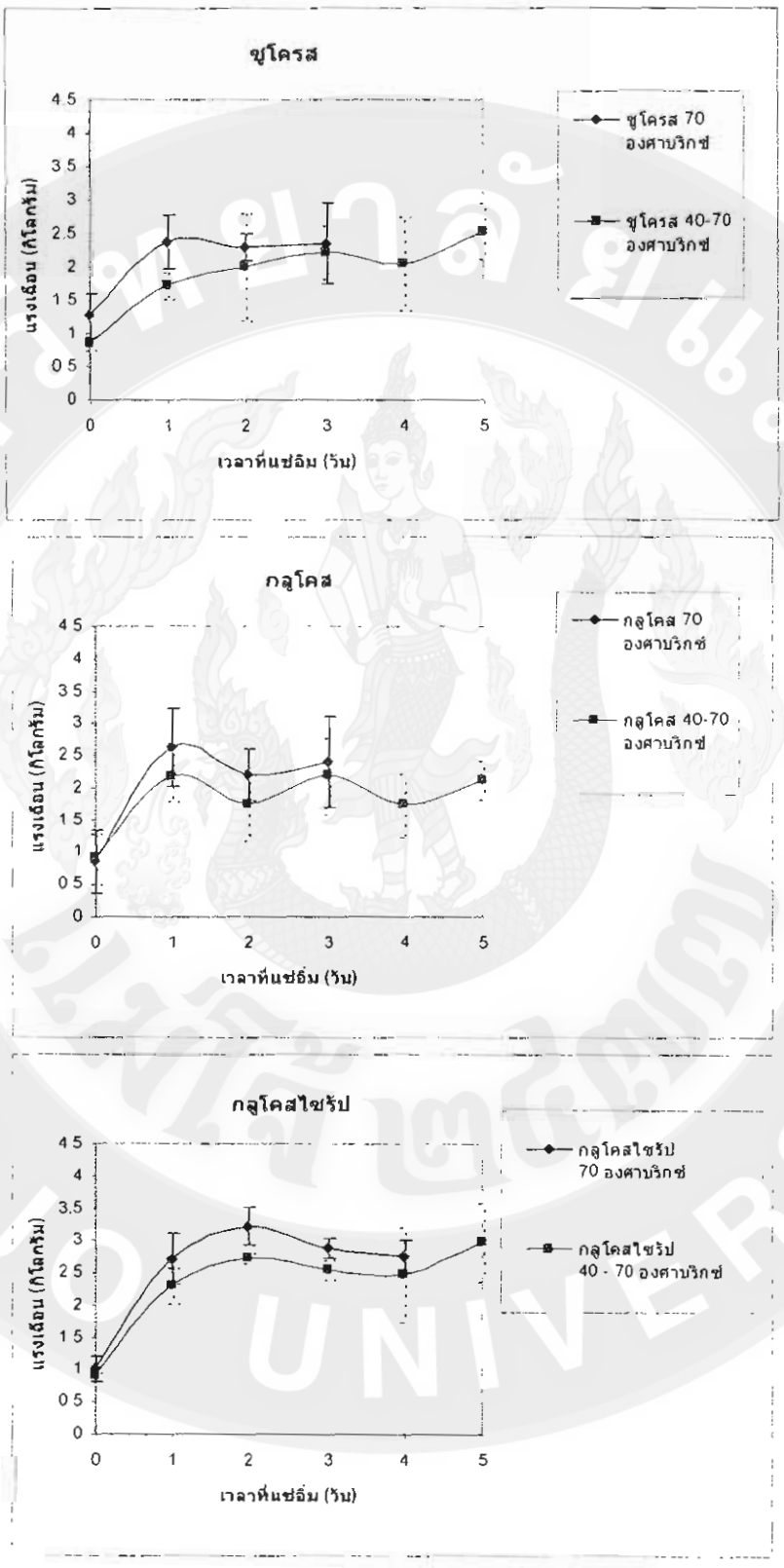
จากการที่สามารถจะลดระยะเวลาในการแช่อิ่มได้โดยการใช้ความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลเท่ากับ 70 องศาบริกซ์ตั้งแต่วันแรก และปรับให้มีค่า 70 องศาบริกซ์ในทุกๆ วันที่ทำการแช่อิ่ม จึงพิจารณาเลือกใช้การแช่อิ่มในลักษณะนี้สำหรับการแช่อิ่มแบบช้าในการทดลองขั้นตอนต่อไป



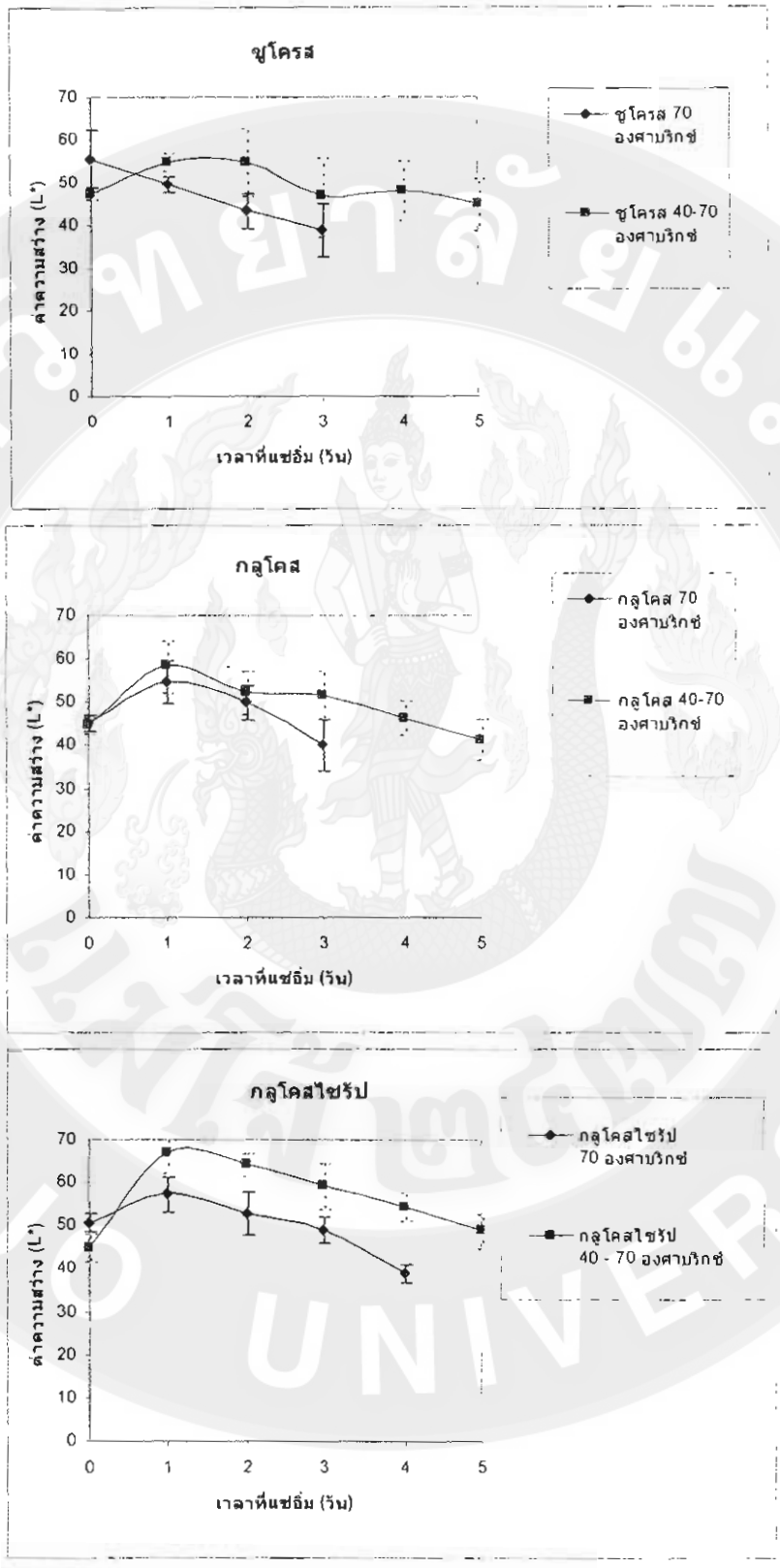
ภาพที่ 11 น้ำหนักเฉลี่ยต่อผลของเนื้อลำไยในระหว่างการแช่อิ่มที่อุณหภูมิห้อง เมื่อแปรความเข้มข้นของน้ำตาล



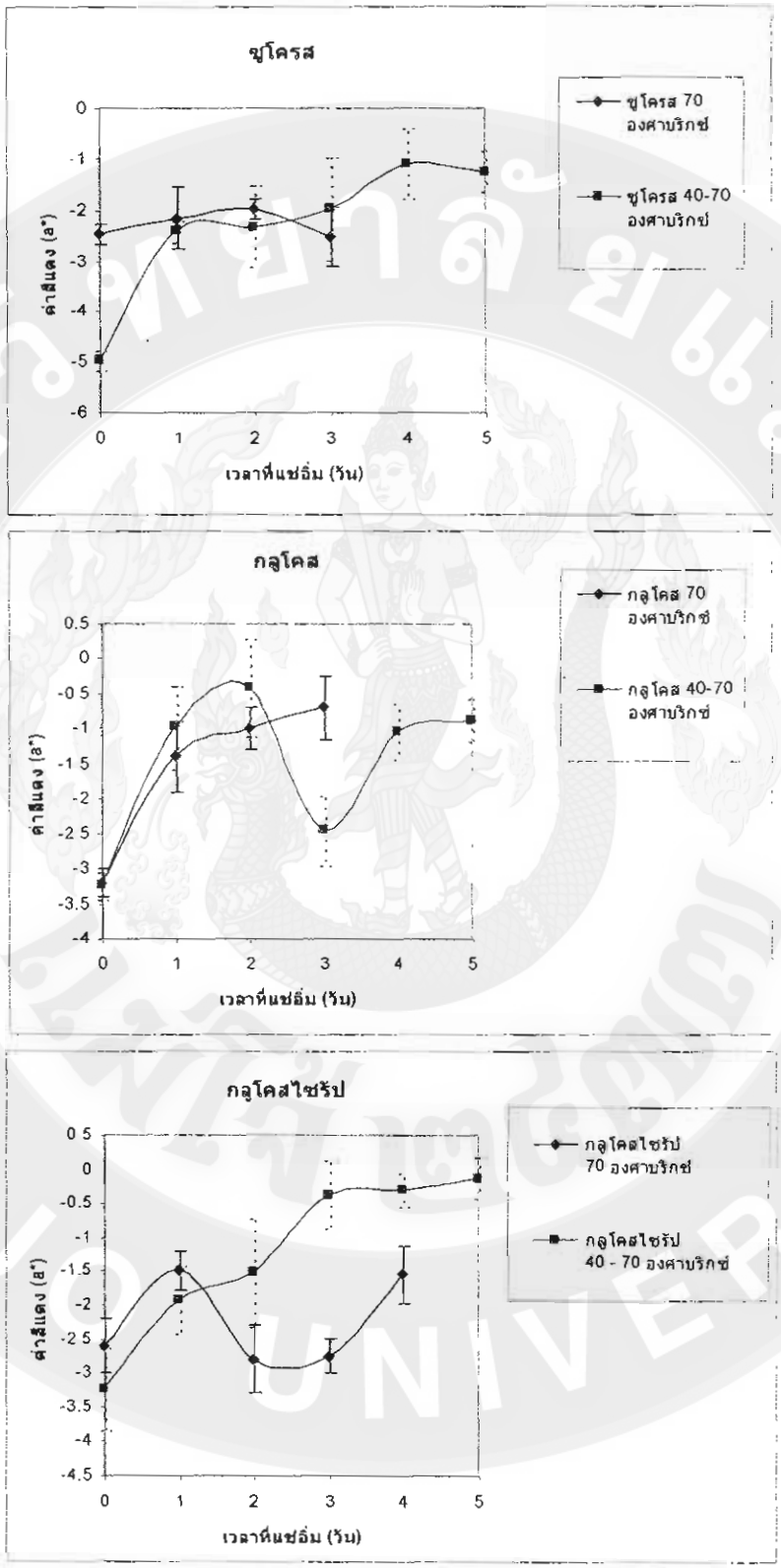
ภาพที่ 12 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดของเนื้อลำไยในระหว่างการแช่อิ่มที่อุณหภูมิห้อง เมื่อแปรความเข้มข้นของน้ำตาล



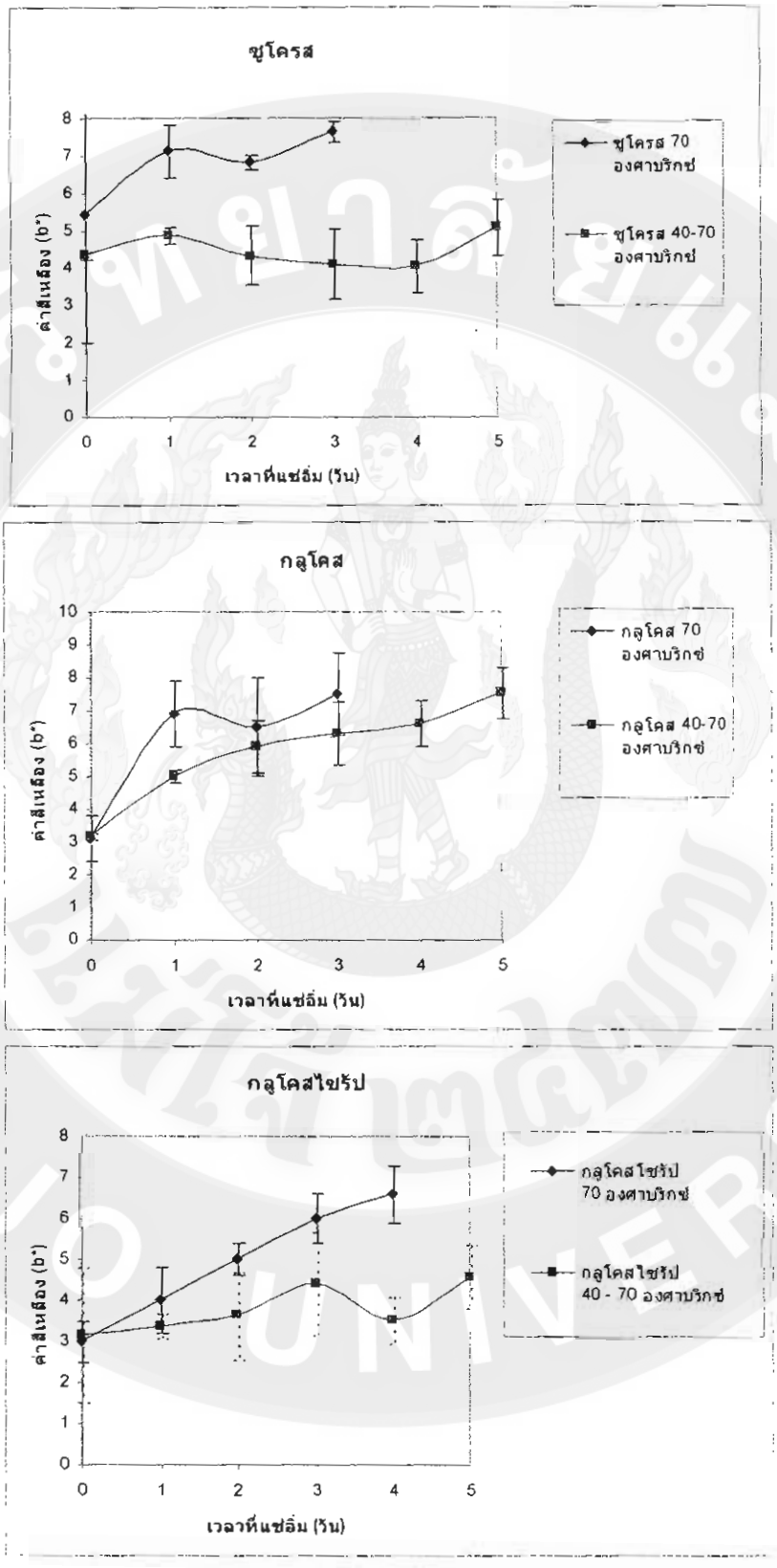
ภาพที่ 13 ค่าแรงเฉือนของเนื้อลำไยในระหว่างการแช่อิ่มที่อุณหภูมิห้อง เมื่อแปรความเข้มข้นของน้ำตาล



ภาพที่ 14 ค่าความสว่าง (L*) ของเนื้อลำไยในระหว่างการแช่อิ่มที่อุณหภูมิห้อง เมื่อแปรความเข้มข้นของน้ำตาล



ภาพที่ 15 ค่าสีแดง (a*) ของเนื้อลำไยในระหว่างการแช่อิ่มที่อุณหภูมิห้อง เมื่อแปรความเข้มข้นของน้ำตาล



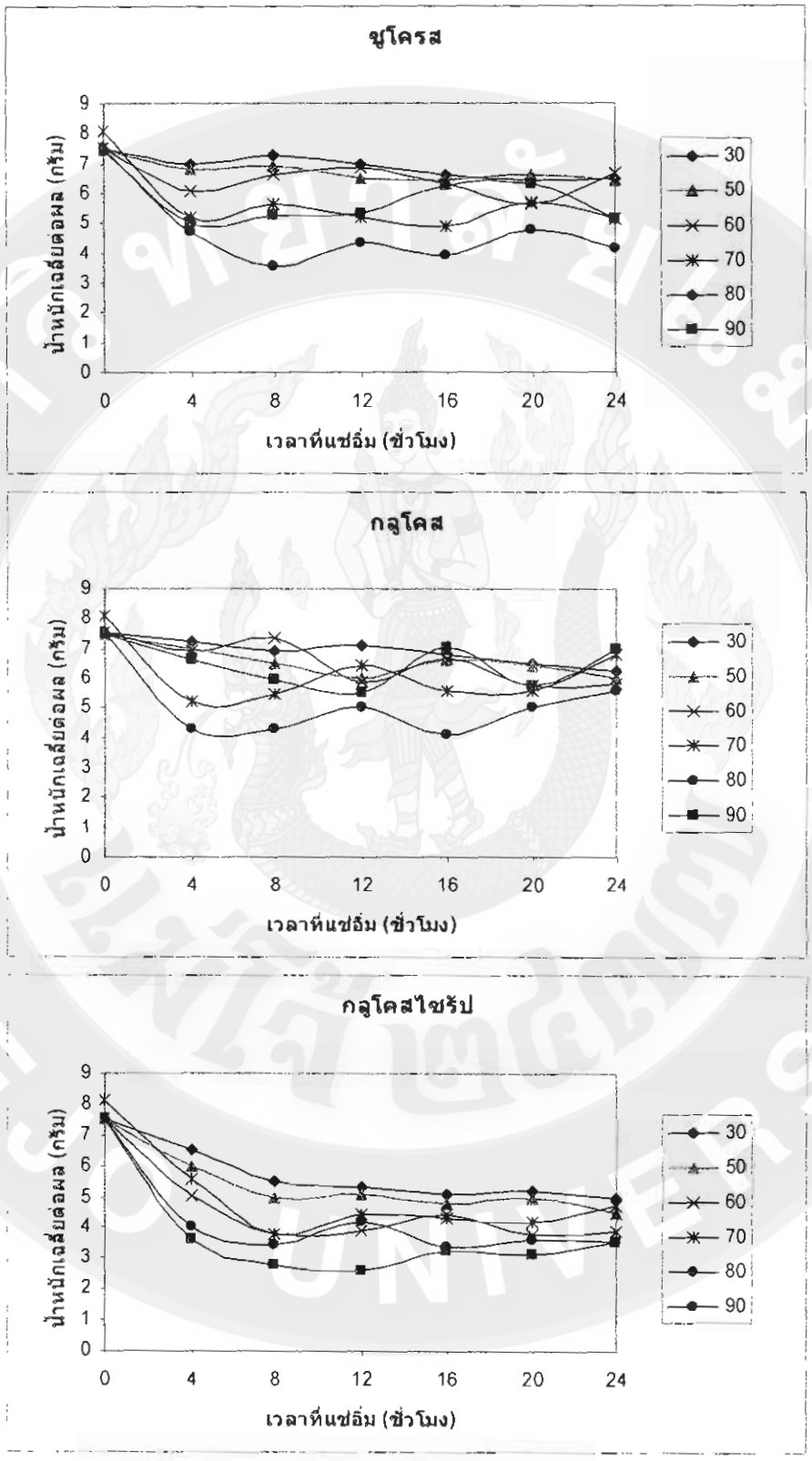
ภาพที่ 16 ค่าสีเหลือง (b*) ของเนื้อลำไยในระหว่างการแช่อิ่มที่อุณหภูมิห้อง เมื่อแปรความเข้มข้นของน้ำตาล

2. **ผลการศึกษากระบวนการแช่อิ่มแบบเร็ว**

2.1 **ผลการศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิและชนิดน้ำตาลในกระบวนการแช่อิ่ม**

จากการติดตามการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักเฉลี่ยต่อผล ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ค่าแรงเฉือน ค่าความสว่าง (L*) ค่าสีแดง (a*) และค่าสีเหลือง (b*) ทุก 4 ชั่วโมง ของเนื้อลำไยแช่อิ่มโดยแช่ในสารละลายน้ำตาลเข้มข้นเท่ากับ 70 องศาบริกซ์ ที่อุณหภูมิห้อง (30 $\pm$ 5) 50 60 70 80 และ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เมื่อใช้สารละลายน้ำตาล 3 ชนิด คือ ซูโครส กลูโคส และกลูโคสไซรัป พบว่าเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น อัตราการลดลงของน้ำหนักเฉลี่ยต่อผลจะมีค่าเพิ่มมากขึ้น โดยสามารถพิจารณาได้จากภาพที่ 17 และค่าความชันของสมการเส้นตรงในตารางที่ 3 แต่แนวโน้มดังกล่าวของค่าความชันอาจจะเห็นได้ไม่ชัดเจนนัก เนื่องจากสมการเหล่านั้นมีจุดตัดแกนที่แตกต่างกันออกไป แต่จะเห็นได้อย่างชัดเจนว่า ค่าความชันของสมการเส้นตรงของกลูโคสไซรัปมีค่าติดลบมากกว่าของซูโครสและกลูโคส การเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักเฉลี่ยต่อผลนี้จะมีแนวโน้มตรงกันข้ามกับการเปลี่ยนแปลงของปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดในลำไยแช่อิ่มที่จะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาการแช่อิ่มนานขึ้น แต่ที่เหมือนกันคือ เมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวจะเกิดขึ้นได้เร็ว โดยสามารถพิจารณาได้จากภาพที่ 18 และค่าความชันของสมการเส้นตรงในตารางที่ 4 ซึ่งในกรณีนี้สามารถเห็นแนวโน้มของค่าความชันที่จะมีค่ามากขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นได้อย่างชัดเจน และพบว่า ค่าความชันของกลูโคสจะมีแนวโน้มสูงกว่าซูโครสและกลูโคสไซรัปตามลำดับ ทั้งเนื่องจากกลูโคสเป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวจึงมีขนาดโมเลกุลเล็กที่สุด ในขณะที่ซูโครสเป็นน้ำตาลโมเลกุลคู่จึงมีขนาดใหญ่กว่า และกลูโคสไซรัปซึ่งเป็นส่วนผสมของน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว น้ำตาลโมเลกุลคู่ และสารที่มีจำนวนโมเลกุลสูงกว่ากลูโคสซึ่งมีขนาดโมเลกุลเล็กกว่า จึงมีอัตราการซึมผ่านเข้าไปในเนื้อลำไยได้มากกว่าซูโครสและกลูโคสไซรัปตามลำดับ

สำหรับค่าแรงเฉือนซึ่งจะมีค่าเพิ่มมากขึ้นเมื่อระยะเวลาในการแช่อิ่มนานขึ้นนั้น พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงเร็วขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นเช่นกัน โดยสามารถพิจารณาได้จากภาพที่ 19 และค่าความชันของสมการเส้นตรงในตารางที่ 5 ทั้งนี้เพราะค่าแรงเฉือนมีความสัมพันธ์กับชนิดและปริมาณของของแข็งที่อยู่ในเนื้อลำไย เมื่อน้ำตาลซึมเข้าไปในเนื้อลำไยมากขึ้นก็จะส่งผลให้เนื้อลำไยมีค่าแรงเฉือนสูงขึ้นด้วย และจะเห็นได้ว่าค่าความชันของสมการของกลูโคสไซรัปมีค่ามากกว่าซูโครสและกลูโคสตามลำดับ เนื่องจากกลูโคสไซรัปมีองค์ประกอบที่มีขนาดโมเลกุลใหญ่กว่าซูโครสและกลูโคส จึงเกิดการต้านแรงเฉือนได้สูงกว่าตามลำดับ

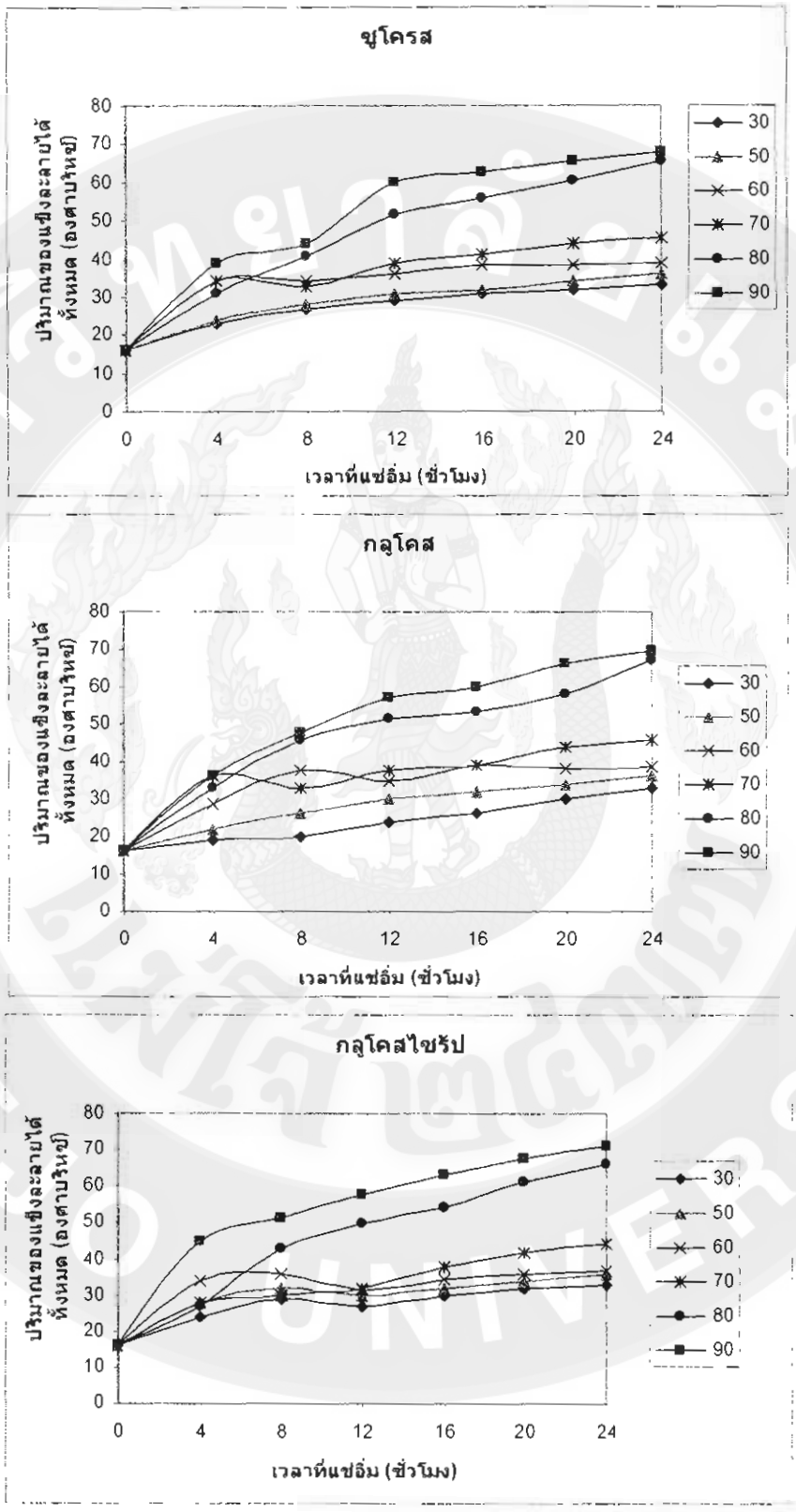


ภาพที่ 17 น้ำหนักเฉลี่ยต่อผลของเนื้อลำไยในระหว่างการแช่อิ่มที่อุณหภูมิต่างๆ เมื่อแปรชนิดน้ำตาล

ตารางที่ 3 สมการเส้นตรงแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักเฉลี่ยต่อผลของเนื้อลำไยและเวลาที่ใช้ในการแช่อิ่มที่อุณหภูมิต่างๆ เมื่อแปรชนิดน้ำตาล

ชนิดน้ำตาล	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	สมการเส้นตรง*	r^2
ซูโครส	30	Y = -0.044X + 7.4296	0.8251
	50	Y = -0.0375X + 7.1786	0.6891
	60	Y = -0.328X + 6.9174	0.2196
	70	Y = -0.0767X + 6.6312	0.3653
	80	Y = -0.0858X + 5.7268	0.3192
	90	Y = -0.031X + 6.2062	0.0888
กลูโคส	30	Y = -0.0471X + 7.46	0.9098
	50	Y = -0.05X + 7.1714	0.6458
	60	Y = -0.0715 X + 7.4145	0.7078
	70	Y = -0.0282X + 6.5024	0.0569
	80	Y = -0.0375X + 7.1786	0.0868
	90	Y = -0.0196X + 6.7129	0.0511
กลูโคสไซรัป	30	Y = -0.0943X + 6.86	0.7623
	50	Y = -0.1X + 6.6143	0.7057
	60	Y = -0.1127X + 5.9752	0.5172
	70	Y = -0.109X + 6.3323	0 4107
	80	Y = -0.1138X + 5.605	0 4441
	90	Y = -0.1096X + 5.0989	0.3184

* สมการอธิบายการเปลี่ยนแปลงของค่าที่ติดตาม (Y) ที่เวลา (X) ถูกปรับให้เป็นสมการเส้นตรงเพื่อให้เกิดความสะดวกในการเปรียบเทียบ ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (r^2) ที่แสดงจึงอาจต่ำกว่าค่าที่ควรจะเป็น เนื่องจากความสัมพันธ์ดังกล่าวไม่ใช่ความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง

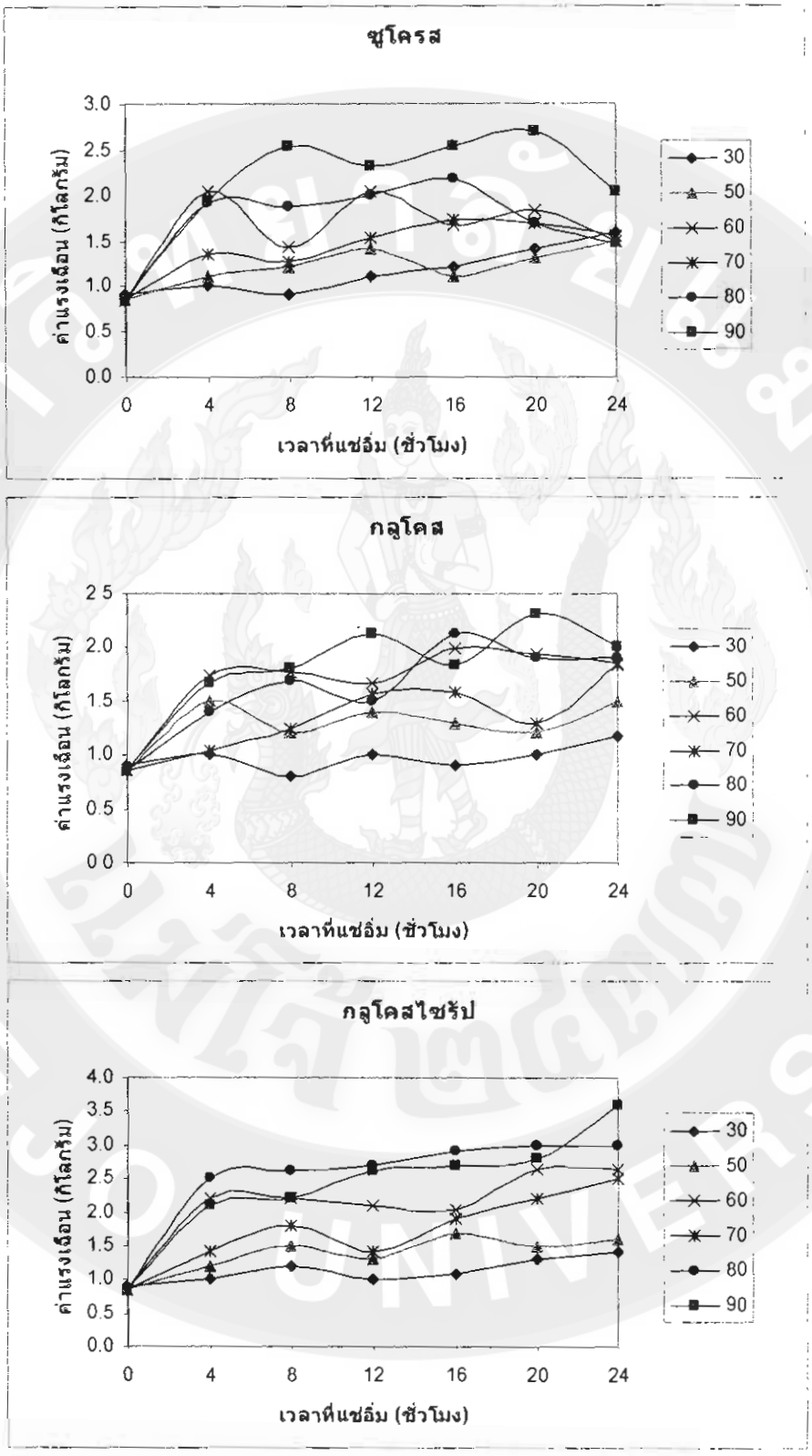


ภาพที่ 18 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดของเนื้อลำไยในระหว่างการแช่อิ่มที่อุณหภูมิต่างๆ เมื่อแปรชนิดน้ำตาล

ตารางที่ 4 สมการเส้นตรงแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของแข้งที่ละลายได้ทั้งหมดของเนื้อลำไยและเวลาที่ใช้ในการแช่อิ่มที่อุณหภูมิต่างๆ เมื่อแปรชนิดน้ำตาล

ชนิดน้ำตาล	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	สมการเส้นตรง*	r^2
ซูโครส	30	Y = 0.6687X + 19.232	0.8962
	50	Y = 0.7491X + 19.711	0.8965
	60	Y = 0.7268X + 24.936	0.6107
	70	Y = 1.0393X + 23.814	0.8001
	80	Y = 1.9866X + 22.018	0.9467
	90	Y = 2.0357X + 26.329	0.8679
กลูโคส	30	Y = 0.7054X + 15.536	0.9863
	50	Y = 0.8036X + 18.357	0.9516
	60	Y = 0.7982X + 23.664	0.6667
	70	Y = 0.9929X + 24.043	0.7597
	80	Y = 1.8839X + 23.636	0.9151
	90	Y = 2.083X + 25.332	0.9047
กลูโคสไซรัป	30	Y = 0.6071X + 20	0.8118
	50	Y = 0.6429X + 22	0 7137
	60	Y = 0.5741X + 25.154	0.4614
	70	Y = 1.0643X + 19.971	0.9349
	80	Y = 2.057X + 20.486	0 9528
	90	Y = 1.9875X + 29.179	0.8423

* สมการอธิบายการเปลี่ยนแปลงของค่าที่ติดตาม (Y) ที่เวลา (X) ถูกปรับให้เป็นสมการเส้นตรงเพื่อให้เกิดความสะดวกในการเปรียบเทียบ ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (r^2) ที่แสดงจึงอาจต่ำกว่าค่าที่ควรจะเป็น เนื่องจากความสัมพันธ์ดังกล่าวไม่ใช่ความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง



ภาพที่ 19 ค่าแรงเฉือนของเนื้อลำไยในระหว่างการแช่อิ่มที่อุณหภูมิต่างๆ เมื่อแปรชนิดน้ำตาล

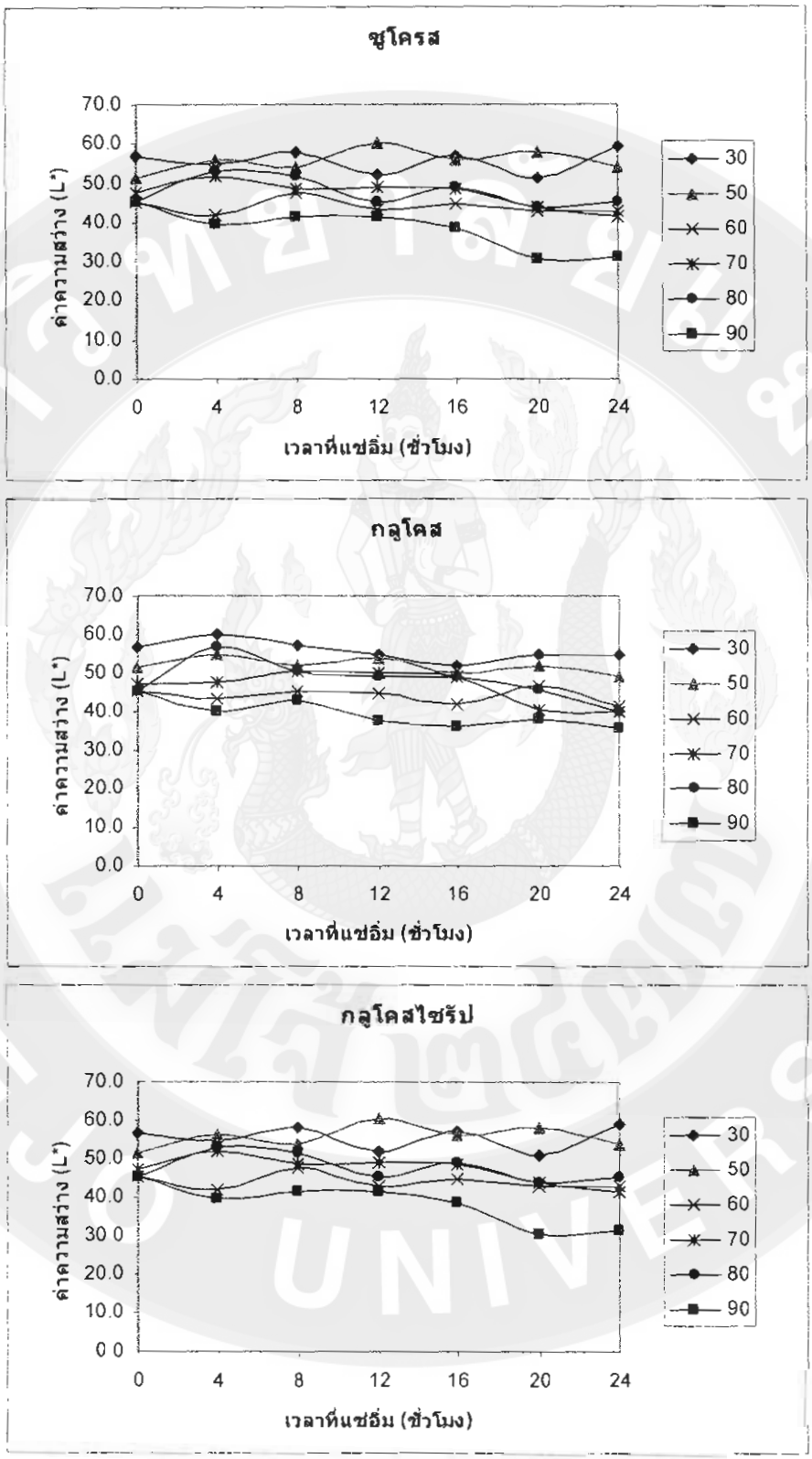
ตารางที่ 5 สมการเส้นตรงแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงเฉือนของเนื้อลำไยและเวลาที่ใช้ในการแช่อิ่มที่อุณหภูมิต่างๆ เมื่อแปรชนิดน้ำตาล

ชนิดน้ำตาล	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	สมการเส้นตรง*	r^2
ซูโครส	30	Y = 0.0286X + 0.8143	0.8767
	50	Y = 0.0201X + 0.9661	0.6408
	60	Y = 0.0155X + 1.4324	0.1041
	70	Y = 0.029X + 1.0757	0.6809
	80	Y =0.0156X + 1.5229	0.0933
	90	Y = 0.0453X + 1.5849	0.3872
กลูโคส	30	Y = 0.0081X + 0.8696	0.3636
	50	Y = 0.0129X + 1.1232	0.2428
	60	Y = 0.0323X + 1.2954	0.5281
	70	Y = 0.0337X + 1.2954	0.7354
	80	Y = 0.041X + 1.1324	0.6996
	90	Y =0.0429X + 1.2832	0.6184
กลูโคสไซรัป	30	Y = 0.0184X + 0.9107	0.7376
	50	Y = 0.0272X + 1.0518	0.6654
	60	Y = 0.054X + 1.4446	0.6065
	70	Y = 0.0593X + 1.0145	0.8616
	80	Y = 0.0689X + 1.1.678	0.6226
	90	Y = 0.0901X + 1.3232	0.8327

* สมการอธิบายการเปลี่ยนแปลงของค่าที่ติดตาม (Y) ที่เวลา (X) ถูกปรับให้เป็นสมการเส้นตรงเพื่อให้เกิดความสะดวกในการเปรียบเทียบ ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (r^2) ที่แสดงจึงอาจต่ำกว่าค่าที่ควรจะเป็น เนื่องจากความสัมพันธ์ดังกล่าวไม่ใช่ความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง

ในส่วนของค่าสีซึ่งประกอบด้วย ค่าความสว่าง (L*) ค่าสีแดง (a*) และค่าสีเหลือง (b*) พบว่า เมื่อระยะเวลาในการแช่อิ่มนานขึ้น ค่าความสว่าง (L*) จะมีแนวโน้มลดลง แต่การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวนี้จะเห็นได้อย่างชัดเจนที่อุณหภูมิตั้งแต่ 60 องศาเซลเซียสขึ้นไป (ภาพที่ 20 และตารางที่ 6) ในขณะที่ค่าสีแดง (a*) และค่าสีเหลือง (b*) จะมีแนวโน้มสูงขึ้น (ภาพที่ 21 และ 22 และตารางที่ 7 และ8) เนื่องจากปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่เกิดขึ้นในเนื้อลำไยแช่อิ่มทำให้เกิดการทึบแสงมากขึ้นค่าความสว่าง (L*) จึงลดลง และเนื่องจากสีน้ำตาลเป็นส่วนผสมของสีแดงและสีเหลืองดังนั้นค่าสีแดง (a*) และค่าสีเหลือง (b*) จึงมีแนวโน้มสูงขึ้น ซึ่งหากพิจารณาจากความชันของสมการเส้นตรงในตารางที่ 7 ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสขึ้นไปจะพบว่า ค่าความชันของสมการเส้นตรงของกลูโคสไซรัปมีค่าติดลบมากที่สุด ซึ่งหมายความว่า ค่าความสว่าง (L*) ของเนื้อลำไยแช่อิ่มโดยใช้กลูโคสไซรัปที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสขึ้นไปจะมีค่าความสว่าง (L*) ลดลงมากกว่าเนื้อลำไยแช่อิ่มโดยใช้ซูโครสและกลูโคส

เมื่อพิจารณาจากความชันของสมการเส้นตรงในตารางที่ 8 จะพบว่า ค่าความชันของสมการเส้นตรงของกลูโคสมีค่ามากที่สุด ซึ่งหมายความว่า ค่าสีแดง (a*) ของเนื้อลำไยแช่อิ่มโดยใช้กลูโคสจะมีค่าสีแดง (a*) มากกว่าเนื้อลำไยแช่อิ่มโดยใช้ซูโครสและกลูโคสไซรัป และเมื่อพิจารณาจากความชันของสมการเส้นตรงในตารางที่ 9 จะพบว่า ค่าความชันของสมการเส้นตรงของกลูโคสและซูโครสมีค่ามากกว่ากลูโคสไซรัป ซึ่งหมายความว่า ค่าสีเหลือง (b*) ของเนื้อลำไยแช่อิ่มโดยใช้กลูโคสและซูโครสจะมีค่าสีเหลือง (b*) มากกว่าเนื้อลำไยแช่อิ่มโดยใช้กลูโคสไซรัป จากการพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของค่าสีแดง (a*) และค่าสีเหลือง (b*) แล้วจะพบว่า เนื้อลำไยแช่อิ่มโดยใช้กลูโคสจะมีสีแดง (a*) และค่าสีเหลือง (b*) สูงกว่าทั้งสองกรณี เนื่องจากมีแนวโน้มการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลสูงกว่าซูโครสและกลูโคสไซรัป เพราะกลูโคสเป็นน้ำตาลรีดิวซ์ซึ่งสามารถทำปฏิกิริยากับกรดอะมิโนเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดได้โดยตรง (นิธิยา, 2545)

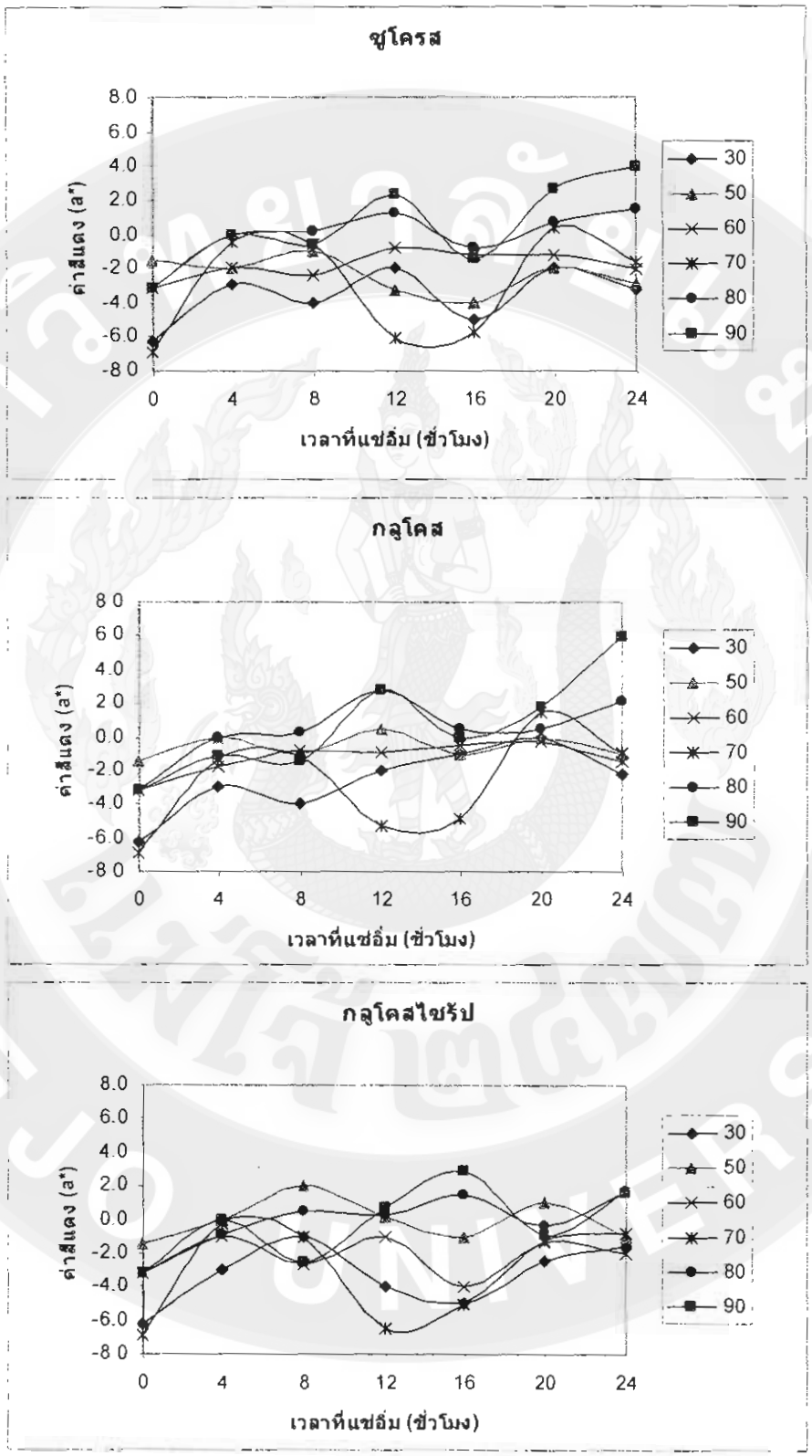


ภาพที่ 20 ค่าความสว่าง (L*) ของเนื้อลำไยในระหว่างการแช่อิ่มที่อุณหภูมิต่างๆ เมื่อแปรชนิดน้ำตาล

ตารางที่ 6 สมการเส้นตรงแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความสว่าง (L*) ของเนื้อลำไยและเวลาที่ใช้ในการแช่อิ่มที่อุณหภูมิต่างๆ เมื่อแปรชนิดน้ำตาล

ชนิดน้ำตาล	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	สมการเส้นตรง*	r^2
ซูโครส	30	Y = -0.0241X + 55.946	0.0047
	50	Y = 0.1262X + 54.143	0.1373
	60	Y = -0.0667X + 44.825	0.0873
	70	Y = -0.298X + 50.785	0.5545
	80	Y = -0.181X + 49.751	0.1923
	90	Y = -0.5605X + 44.966	0.7795
กลูโคส	30	Y = -0.1966X + 58.139	0.4612
	50	Y = 0.1328X + 53.492	0.2988
	60	Y = -0.0621X + 44.937	0.0792
	70	Y = -0.3353X + 50.375	0.443
	80	Y = -0.3381X + 52.065	0.3271
	90	Y = -0.3462X + 43.532	0.7324
กลูโคสไซรัป	30	Y = -0.3563X + 55.025	0.4287
	50	Y = 0.4833X + 52.099	0.8652
	60	Y = -0.3588X + 46.446	0.9244
	70	Y = -0.2467X + 53.607	0.1606
	80	Y = -0.5749X + 56.69	0.3617
	90	Y = -0.5665X +49.005	0 8133

* สมการอธิบายการเปลี่ยนแปลงของค่าที่ติดตาม (Y) ที่เวลา (X) ถูกปรับให้เป็นสมการเส้นตรงเพื่อให้เกิดความสะดวกในการเปรียบเทียบ ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (r^2) ที่แสดงจึงอาจต่ำกว่าค่าที่ควรจะเป็น เนื่องจากความสัมพันธ์ดังกล่าวไม่ใช่ความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง

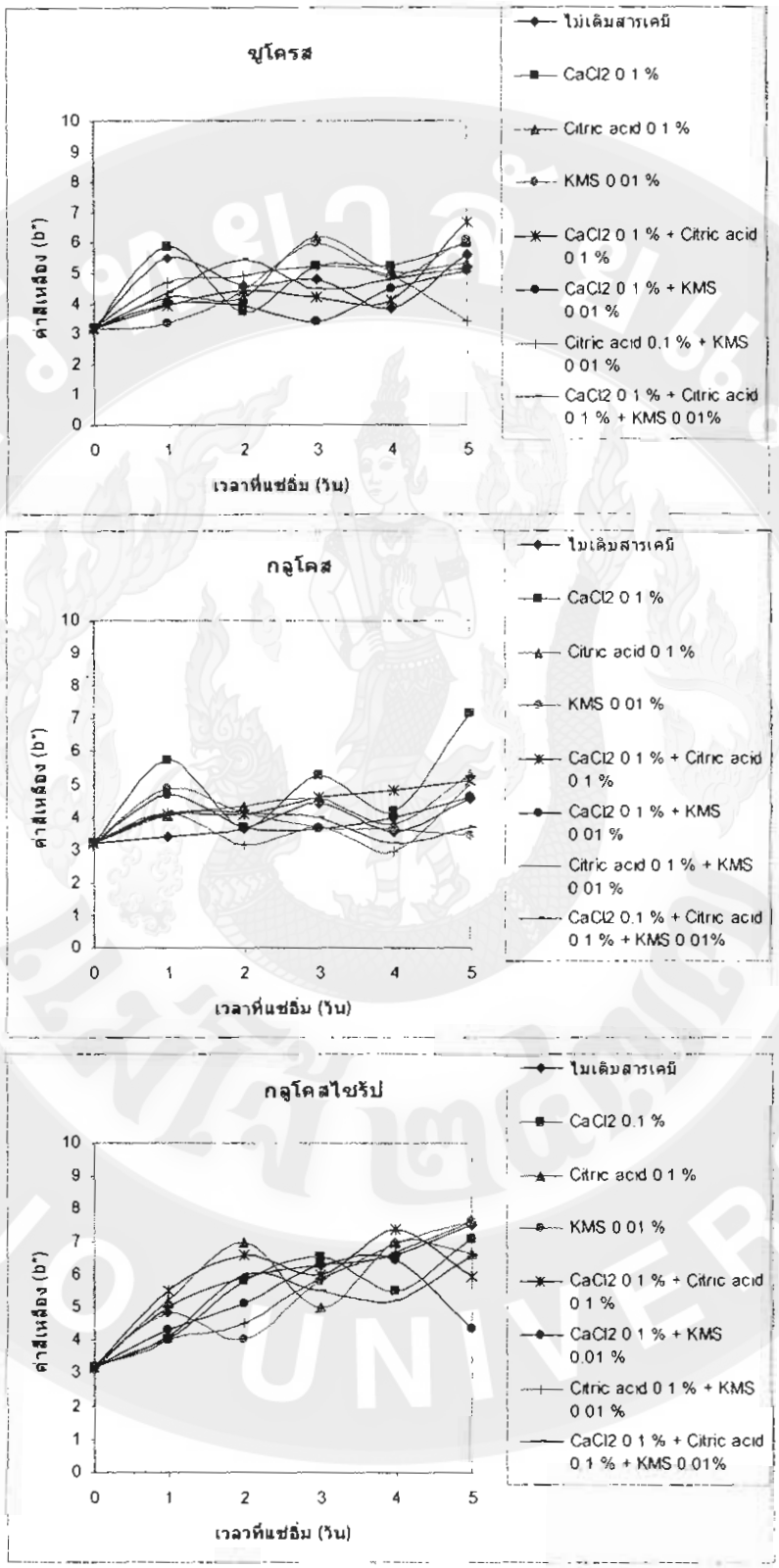


ภาพที่ 21 ค่าสีแดง (a*) ของเนื้อลำไยในระหว่างการแช่อิ่มที่อุณหภูมิต่างๆ เมื่อแปรชนิดน้ำตาล

ตารางที่ 7 สมการเส้นตรงแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสีแดง (a*) ของเนื้อลำไยและเวลาที่ใช้ในการแช่อิ่มที่อุณหภูมิต่างๆ เมื่อแปรชนิดน้ำตาล

ชนิดน้ำตาล	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	สมการเส้นตรง*	r^2
ซูโครส	30	Y = -0.0906X - 4.7375	0.2454
	50	Y = -0.0662X - 1.6032	0.2936
	60	Y = 0.054X - 2.5057	0.3114
	70	Y = 0.1091X - 4.3037	0.092
	80	Y = 0.1281X - 1.6085	0.4867
	90	Y = 0.23X - 2.2443	0.6152
กลูโคส	30	Y = 0.1896X - 4.9214	0.6289
	50	Y = 0.0134X - 0.7321	0.025
	60	Y = 0.0763X - 2.2024	0.4498
	70	Y = 0.1782X - 4.8487	0.2656
	80	Y = 0.153X - 1.4281	0.4871
	90	Y = 0.3102X - 3.0521	0.7574
กลูโคสไซรัป	30	Y = 0.0994X - 4.5339	0.2076
	50	Y = 0.0045X - 0.095	0.001
	60	Y = 0.0124X - 2.3258	0.0086
	70	Y = 0.1101X - 4.4296	0.107
	80	Y = 0.1472X - 1.8385	0.5874
	90	Y = 0.1618X - 2.1657	0.4095

* สมการอธิบายการเปลี่ยนแปลงของค่าที่ติดตาม (Y) ที่เวลา (X) ถูกปรับให้เป็นสมการเส้นตรงเพื่อให้เกิดความสะดวกในการเปรียบเทียบ ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (r^2) ที่แสดงจึงอาจต่ำกว่าค่าที่ควรจะเป็น เนื่องจากความสัมพันธ์ดังกล่าวไม่ใช่ความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง



ภาพที่ 22 ค่าสีเหลือง (b*) ของเนื้อลำไยในระหว่างการแช่อิ่มที่อุณหภูมิต่างๆ เมื่อแปรชนิดน้ำตาล

ตารางที่ 8 สมการเส้นตรงแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสีเหลือง (b*) ของเนื้อลำไยและเวลาที่ใช้ในการแช่อิ่มที่อุณหภูมิต่างๆ เมื่อแปรชนิดน้ำตาล

ชนิดน้ำตาล	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	สมการเส้นตรง*	r^2
ซูโครส	30	Y = -0.0297X + 4.9639	0.0409
	50	Y = 0.0485X + 4.5939	0.047
	60	Y = 0.1695X + 3.1607	0.7661
	70	Y = 0.201X + 5.497	0.685
	80	Y = 0.3377X + 7.22	0.5747
	90	Y = 0.8317X + 4.0882	0.9246
กลูโคส	30	Y = 0.0038X + 5.4068	0.0012
	50	Y = 0.1199X + 4.5682	0.3509
	60	Y = 0.2403X + 4.1702	0.6269
	70	Y = 0.2625X + 7.5663	0.3738
	80	Y = 0.3712X + 6.111	0.6969
	90	Y = 0.659X + 3.9418	0.8585
กลูโคสไซรัป	30	Y = -0.063X + 5.2336	0.2372
	50	Y = 0.0663X + 4.3539	0.1289
	60	Y = 0.1789X + 3.0899	0.8231
	70	Y = 0.2395X + 5.2595	0.5895
	80	Y = 0.4077X + 5.1257	0.8222
	90	Y = 0.5445X + 3.7234	0.7007

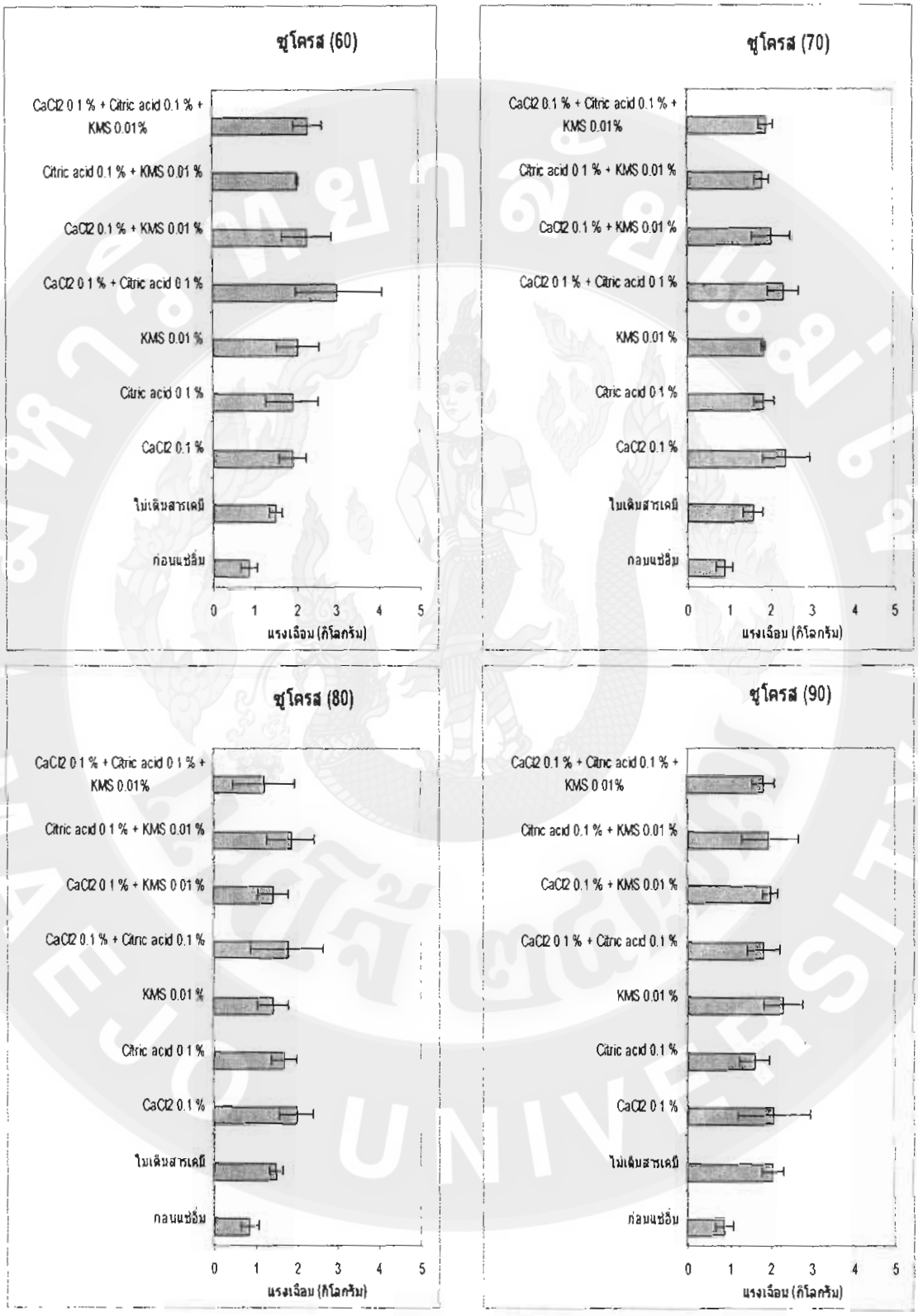
* สมการอธิบายการเปลี่ยนแปลงของค่าที่ติดตาม (Y) ที่เวลา (X) ถูกปรับให้เป็นสมการเส้นตรงเพื่อให้เกิดความสะดวกในการเปรียบเทียบ ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (r^2) ที่แสดงจึงอาจต่ำกว่าค่าที่ควรจะเป็น เนื่องจากความสัมพันธ์ดังกล่าวไม่ใช่ความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง

2.2 **ผลการศึกษาอิทธิพลของชนิดน้ำตาลและสารเคมีในกระบวนการแช่อิ่ม**

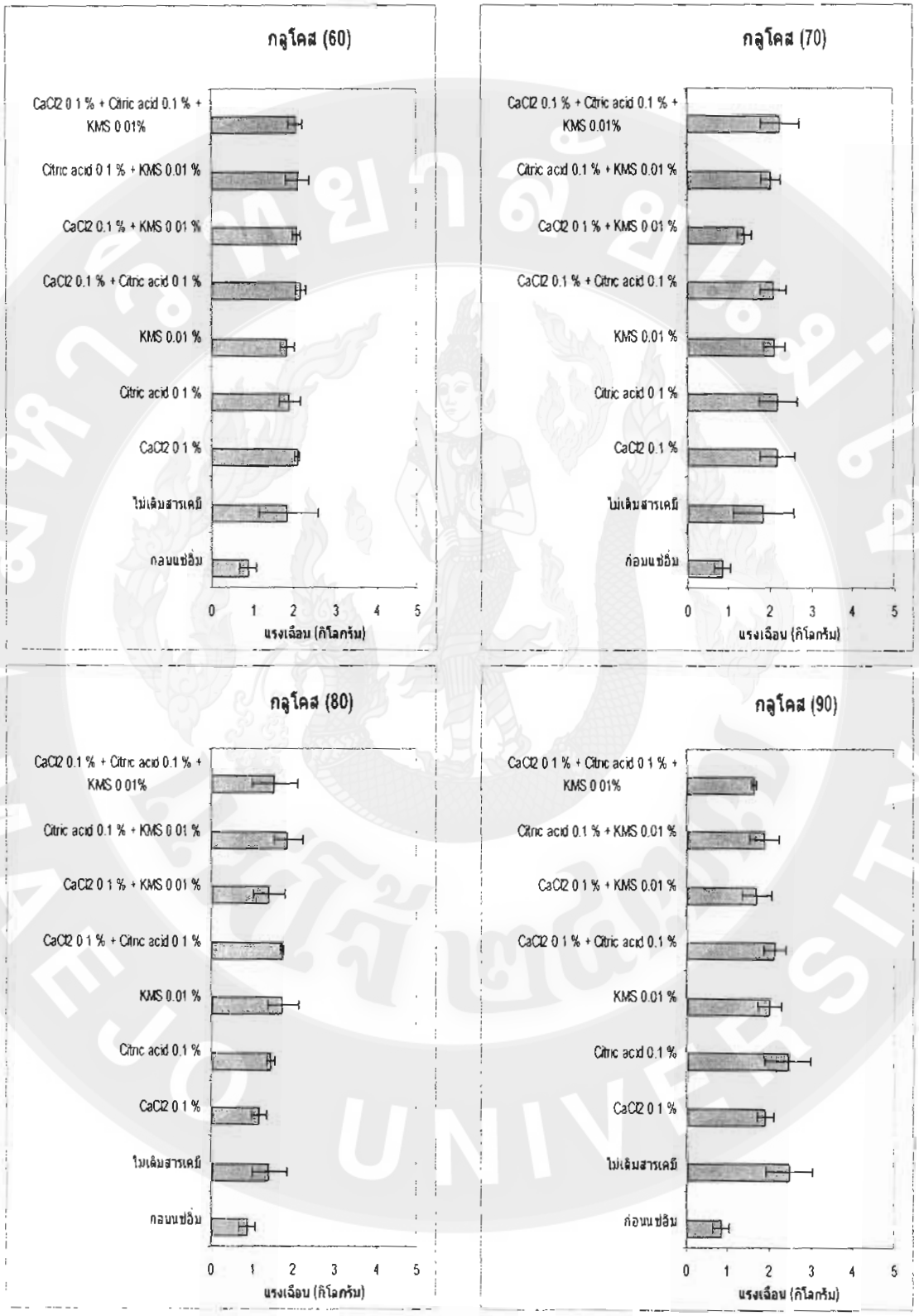
จากผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของเนื้อลำไยก่อนละหลังการแช่ในสารละลายน้ำตาลความเข้มข้น 70 องศาบริกซ์ ที่อุณหภูมิ 60 70 80 และ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ภายในกลุ่มของน้ำตาลแต่ละชนิด พบว่า ลำไยหลังการแช่อิ่มมีค่าแรงเฉือน ค่าสีแดง (a*) และ ค่าสีเหลือง (b*) สูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)(ภาพที่ 23 – 25 และ 29 – 34) แต่มีค่าความสว่าง (L*) ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)(ภาพที่ 27 – 28) ยกเว้นในกรณีของซูโครสที่ค่าความสว่าง (L*) มีการเปลี่ยนแปลงอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)(ภาพที่ 26)

สำหรับสารเคมีทั้ง 3 ชนิดที่ใช้ คือ แคลเซียมคลอไรด์ความเข้มข้นร้อยละ 0.1 กรดซิตริกความเข้มข้นร้อยละ 0.1 และโปแตสเซียมเมตาไบซัลไฟต์ความเข้มข้นร้อยละ 0.01 โดยมีการใช้สารเคมีเพียงชนิดหนึ่ง การใช้สารเคมีสองชนิดร่วมกัน หรือ การใช้สารเคมีทั้งสามชนิดร่วมกันนั้น พบว่า ในภาพรวมแล้วการใช้สารเคมีในทุกกรณีไม่ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างเห็นได้ชัด เมื่อเปรียบเทียบกับการไม่เติมสารเคมี (ตัวอย่างควบคุม) เนื่องจากข้อมูลมีความแปรปรวนค่อนข้างสูง โดยเฉพาะค่าแรงเฉือน ค่าสีแดง (a*) และค่าสีเหลือง (b*) (ภาพที่ 23 – 25 และ 29 – 34) และเมื่อพิจารณาลงไปในรายละเอียดของน้ำตาลแต่ละชนิดจะพบว่า ผลของสารเคมีที่ใช้ในกลุ่มของน้ำตาลต่างชนิดกันอาจมีความแตกต่างกัน หรือแม้แต่น้ำตาลชนิดเดียวกันที่อุณหภูมิต่างกันก็อาจมีความแตกต่างกันด้วย เช่น กรดซิตริกที่ทำให้ค่าสีแดง (a*) ของลำไยแช่อิ่มโดยใช้กลูโคสไซรัปลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส แต่ลักษณะดังกล่าวกลับไม่พบที่อุณหภูมิอื่นๆ (ภาพที่ 31) เป็นต้น

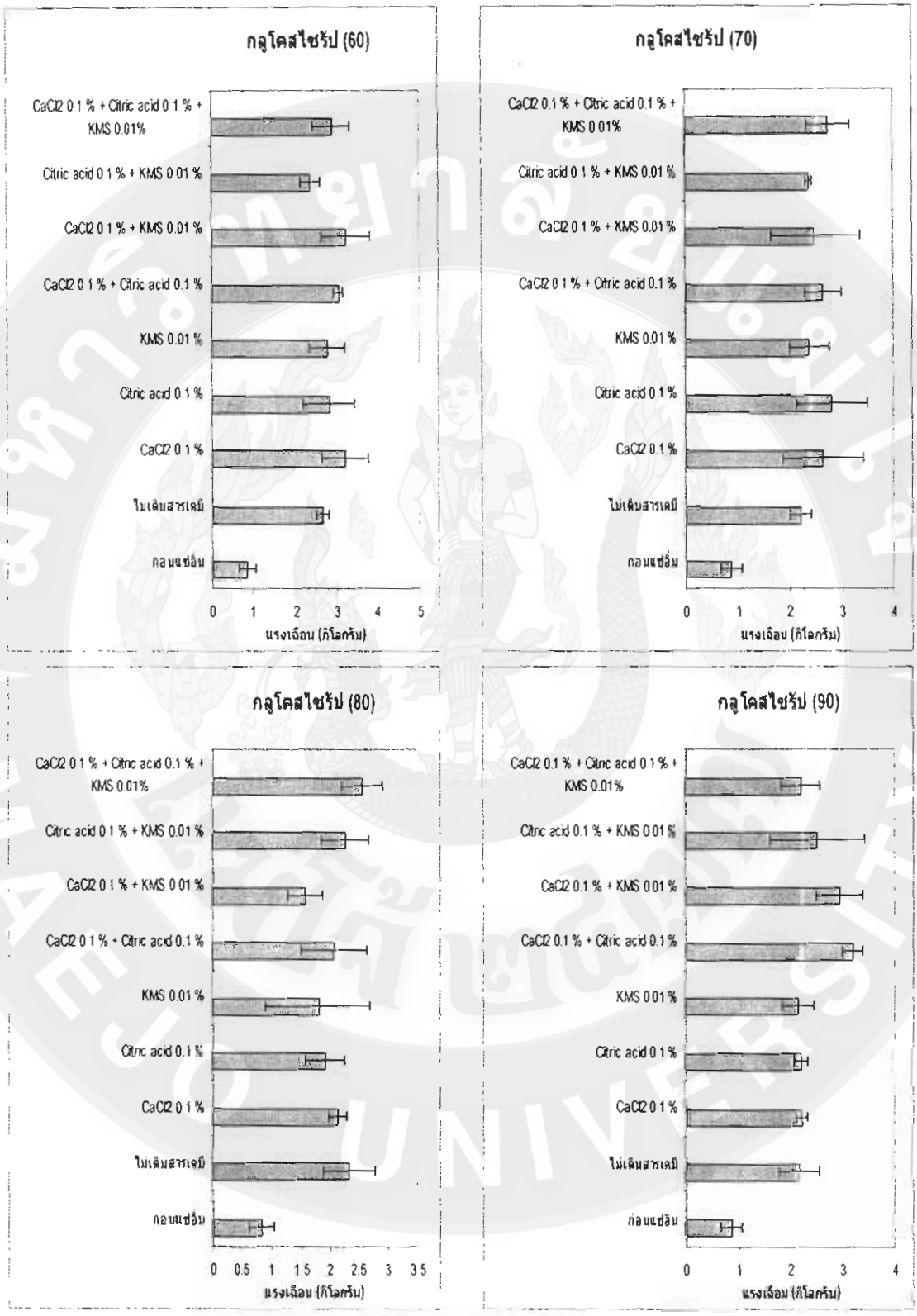
ซึ่งเมื่อพิจารณาจากความแปรปรวนของข้อมูลแล้ว จึงไม่สมควรสรุปว่า สารเคมีที่ใช้ก่อให้เกิดความแตกต่างจากการไม่เติมสารเคมี และเนื่องจากการเร่งกระบวนการแช่อิ่มโดยใช้อุณหภูมิสูงทำให้เนื้อลำไยแช่อิ่มที่ได้มีสีน้ำตาลเกิดขึ้นมาก จึงไม่พิจารณาเลือกใช้อุณหภูมิสูงในกระบวนการแช่อิ่มสำหรับขั้นตอนต่อไป



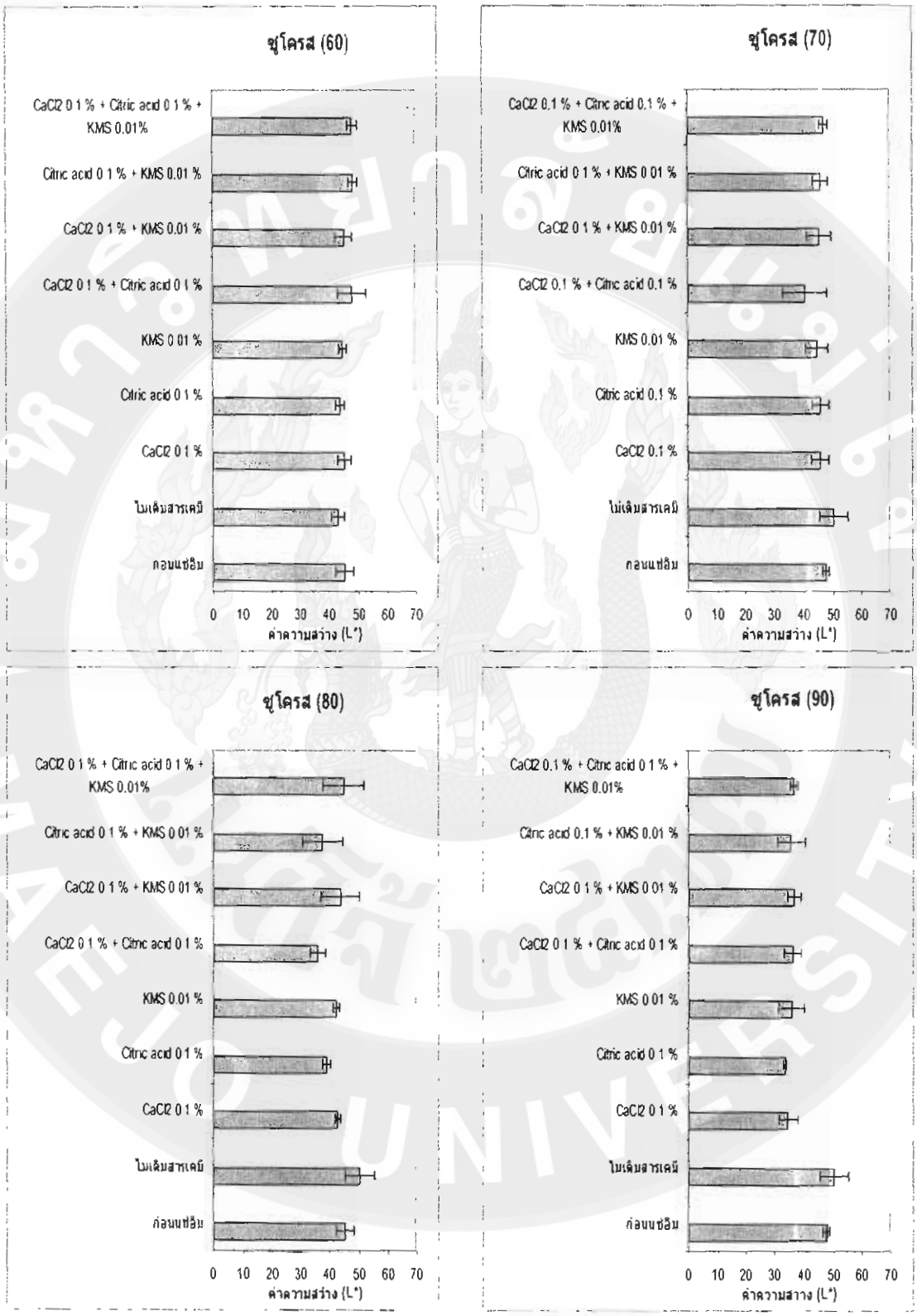
ภาพที่ 23 ค่าแรงเฉือนของเนื้อลำไยก่อนและหลังการแช่อิ่มโดยซูโครสเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิต่างๆ เมื่อแปรชนิดสารเคมี



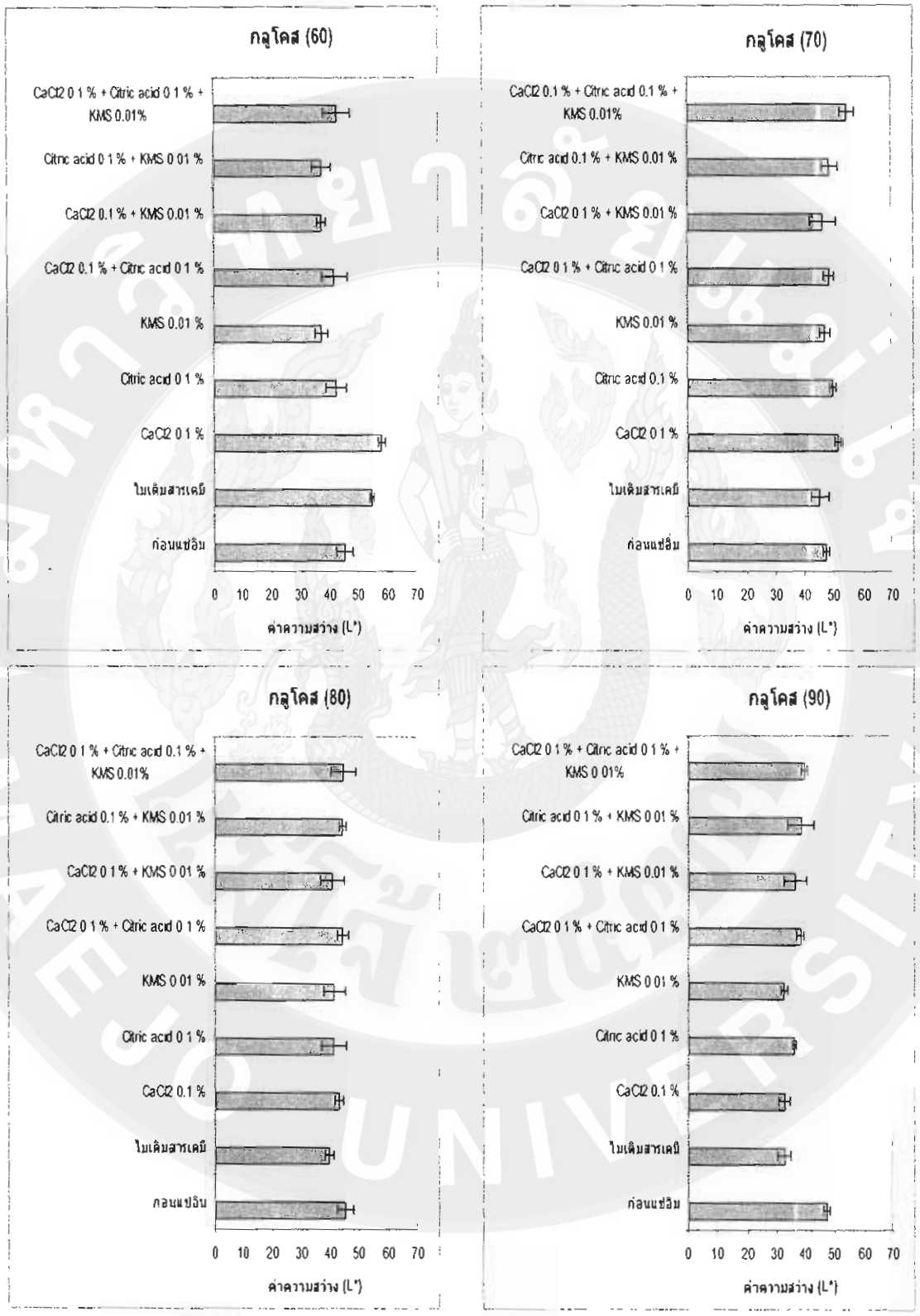
ภาพที่ 24 ค่าแรงเฉือนของเนื้อลำไยก่อนและหลังการแช่อิ่มโดยกลูโคสเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิต่างๆ เมื่อแปรชนิดสารเคมี



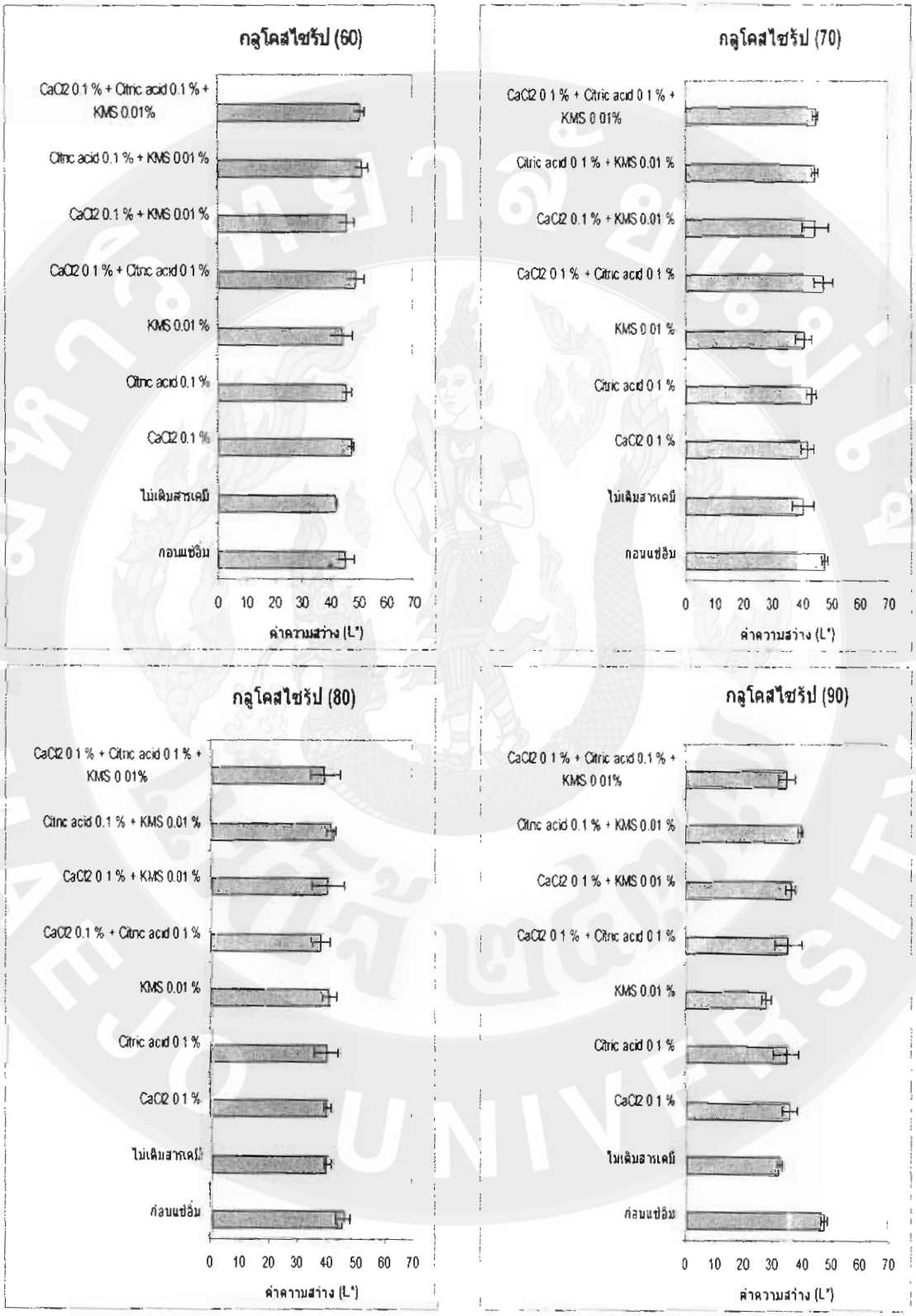
ภาพที่ 25 ค่าแรงเฉือนของเนื้อลำไยก่อนและหลังการแช่อิ่มโดยกลูโคสไซรัปเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิต่างๆ เมื่อแปรชนิดสารเคมี



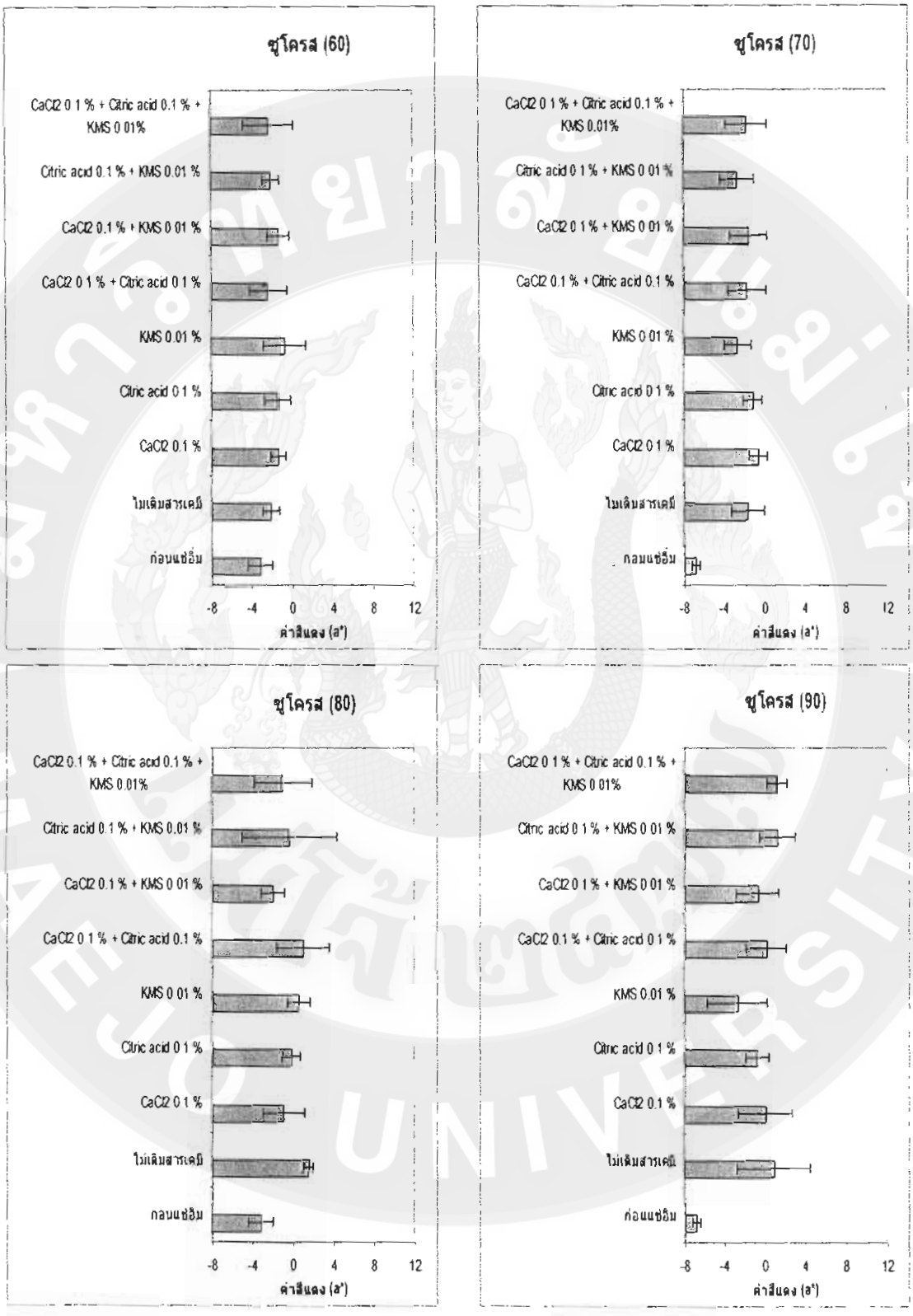
ภาพที่ 26 ค่าความสว่าง (L*) ของเนื้อลำไยก่อนและหลังการแช่อิ่มโดยซูโครสเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิต่างๆ เมื่อแปรชนิดสารเคมี



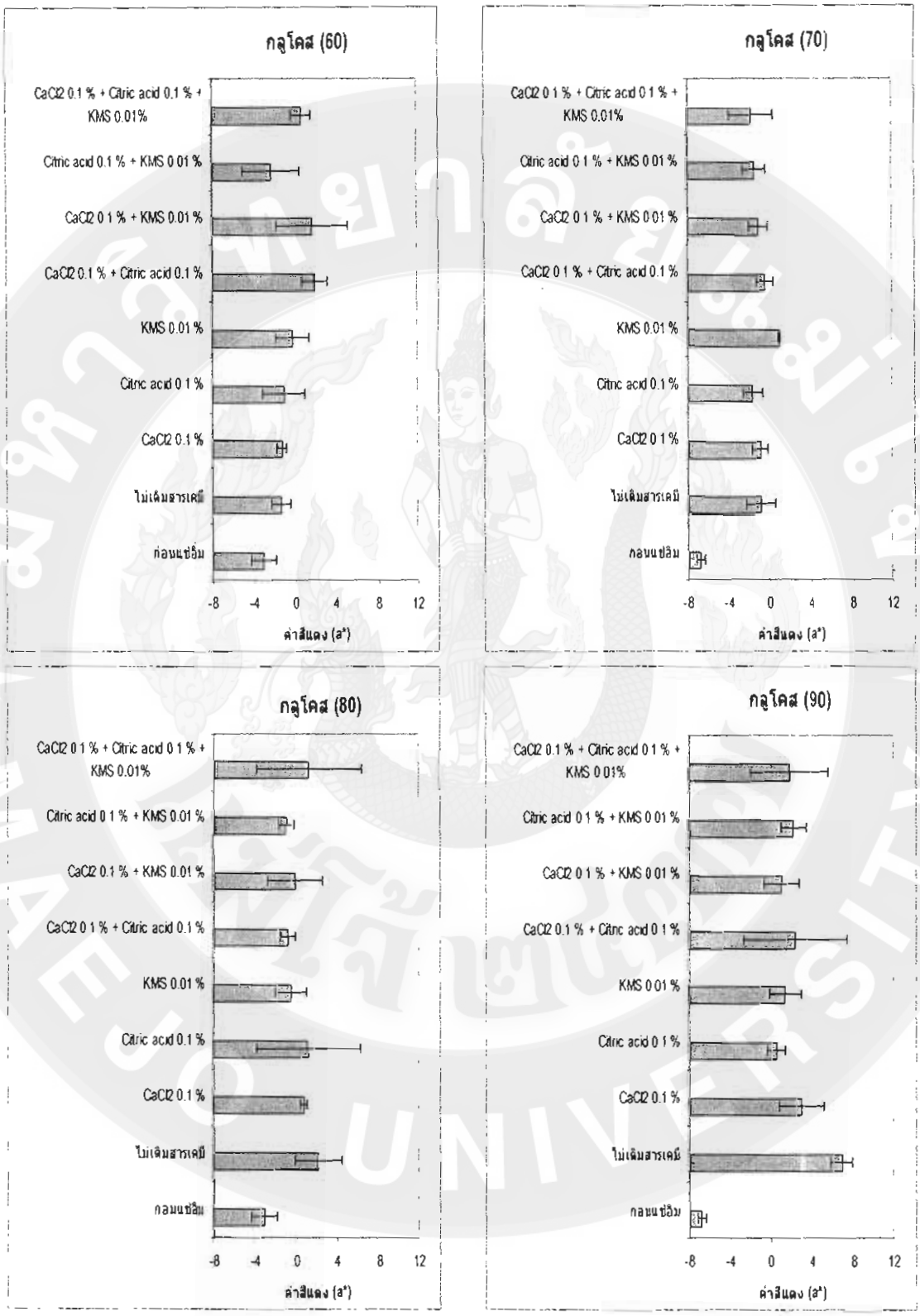
ภาพที่ 27 ค่าความสว่าง (L*) ของเนื้อลำไยก่อนและหลังการแช่อิ่มโดยกลูโคสเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิต่างๆ เมื่อแปรชนิดสารเคมี



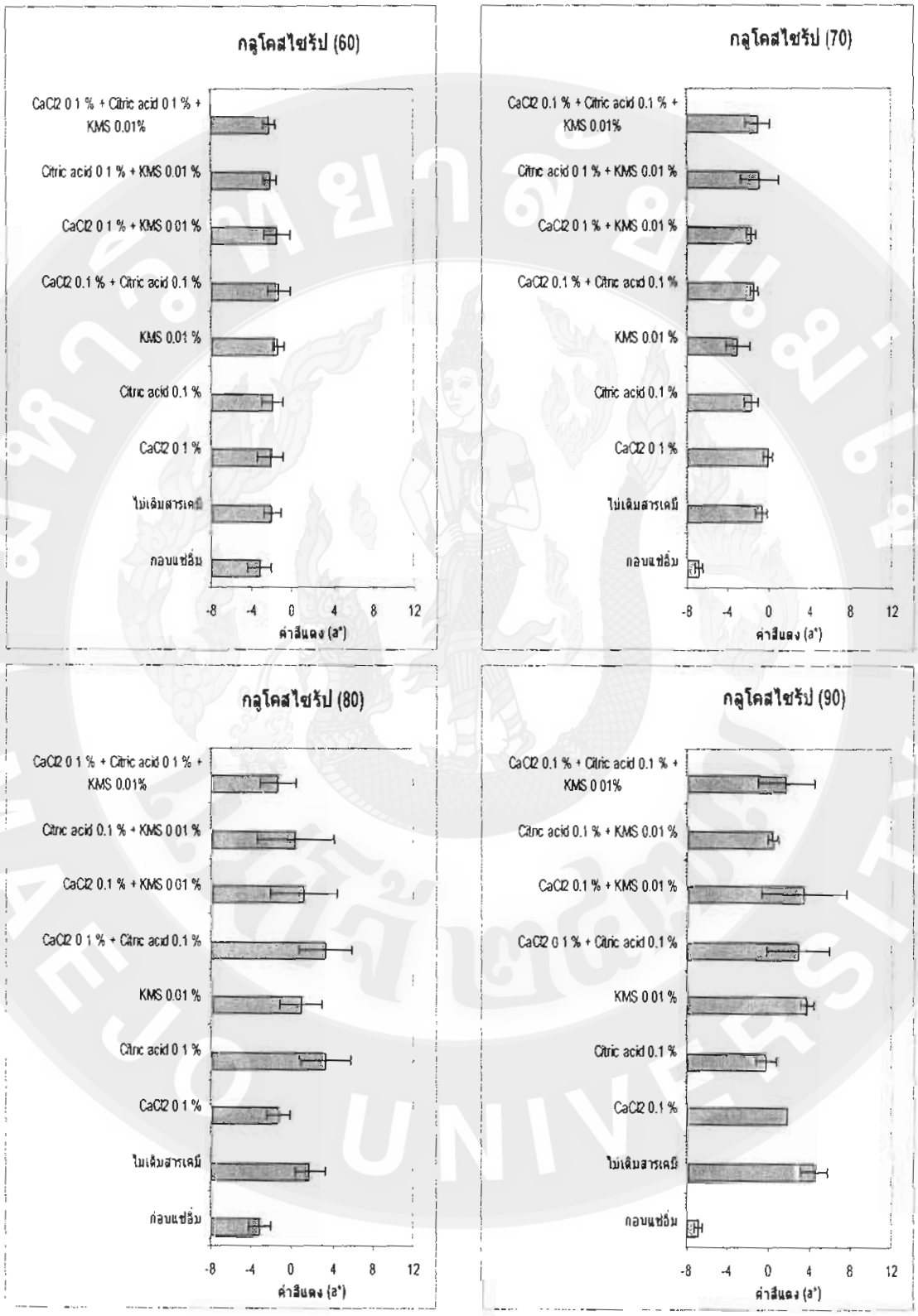
ภาพที่ 28 ค่าความสว่าง (L*) ของเนื้อลำไยก่อนและหลังการแช่อิ่มโดยกลูโคสไซรัปเป็นเวลา 24 ชั่วโมงที่อุณหภูมิต่างๆ เมื่อแปรชนิดสารเคมี



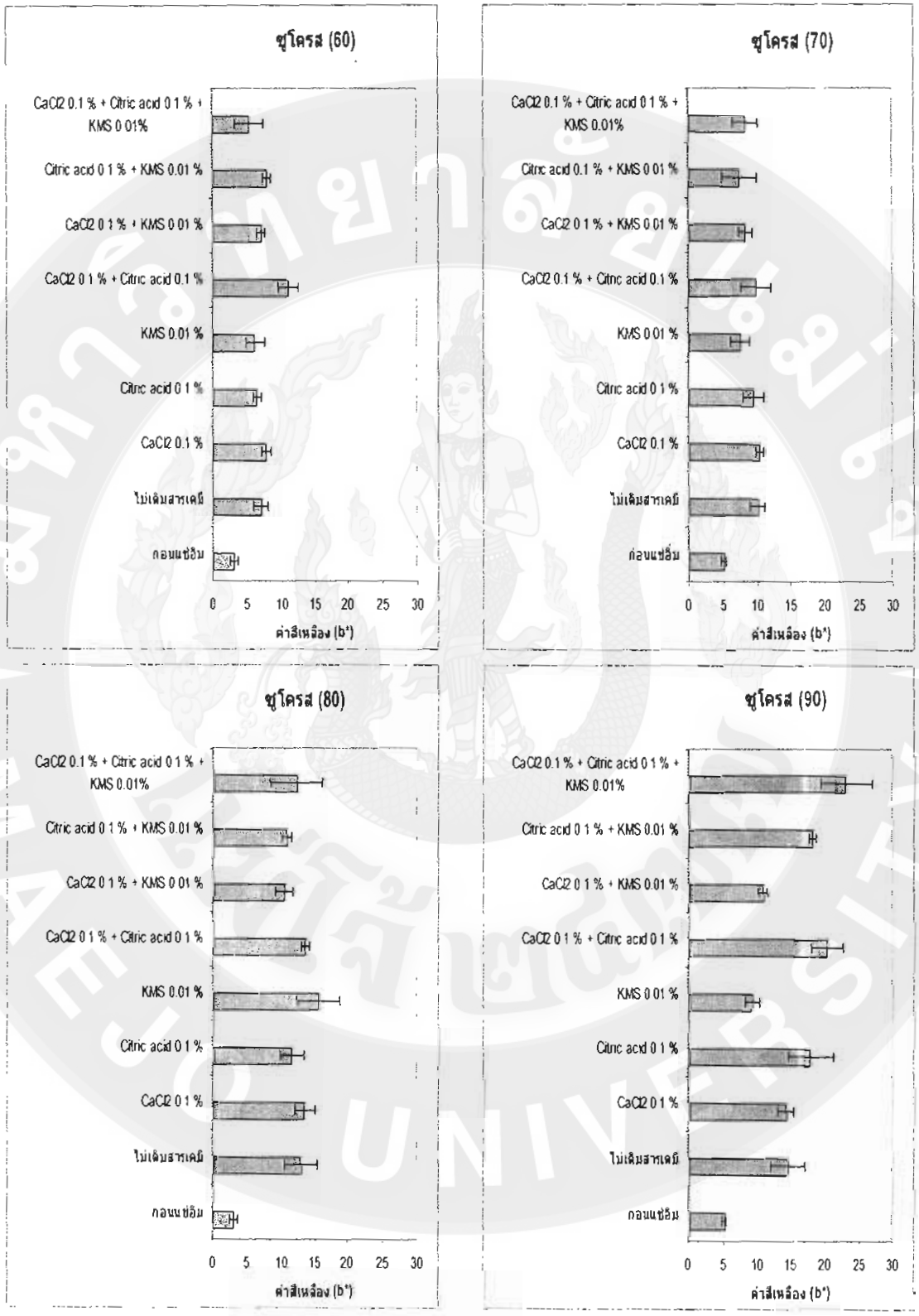
ภาพที่ 29 ค่าสีแดง (a*) ของเนื้อลำไยก่อนและหลังการแช่อิ่มโดยซูโครสเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิต่างๆ เมื่อแปรชนิดสารเคมี



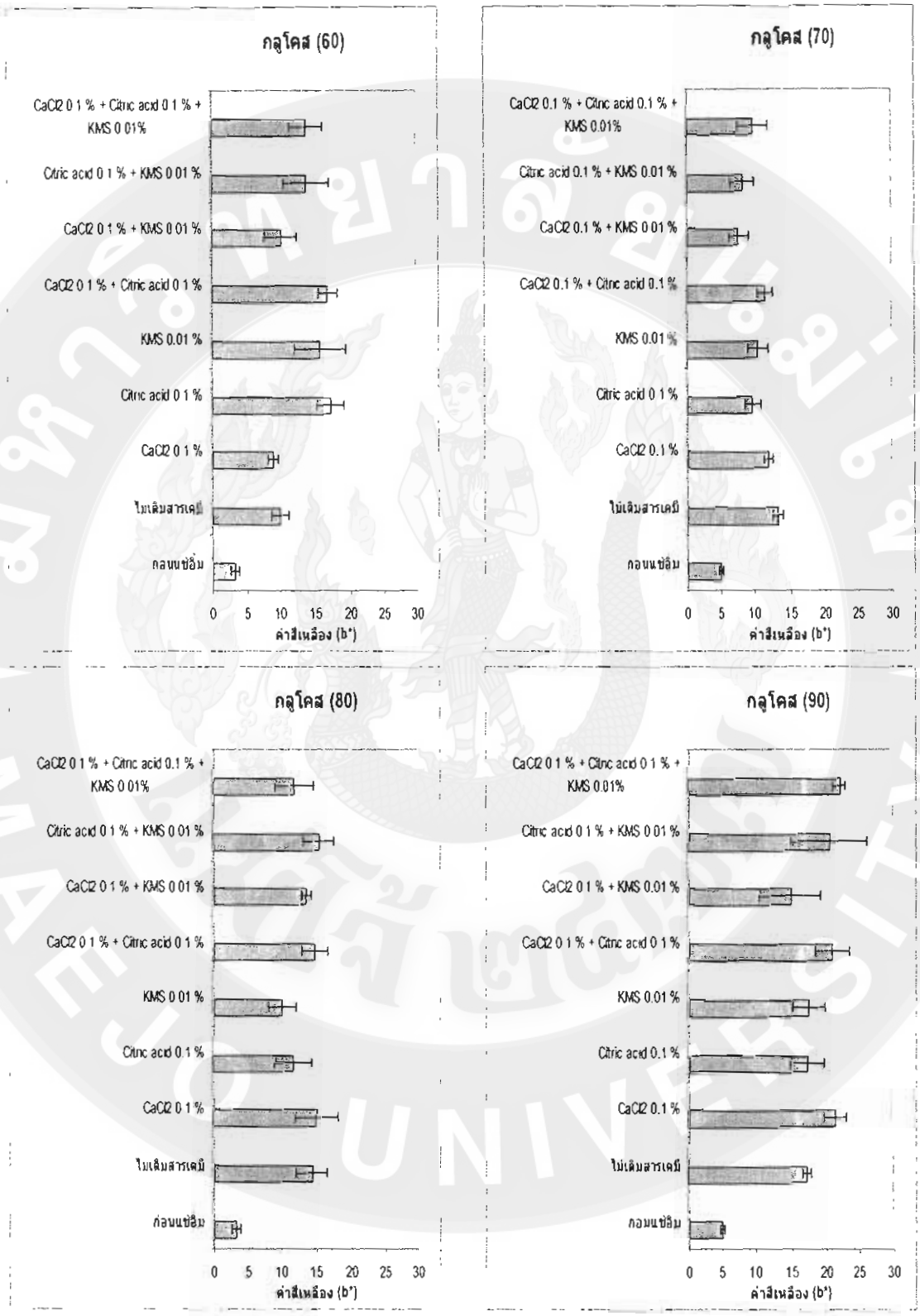
ภาพที่ 30 ค่าสีแดง (a*) ของเนื้อลำไยก่อนและหลังการแช่อิ่มโดยกลูโคสเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิต่างๆ เมื่อแปรชนิดสารเคมี



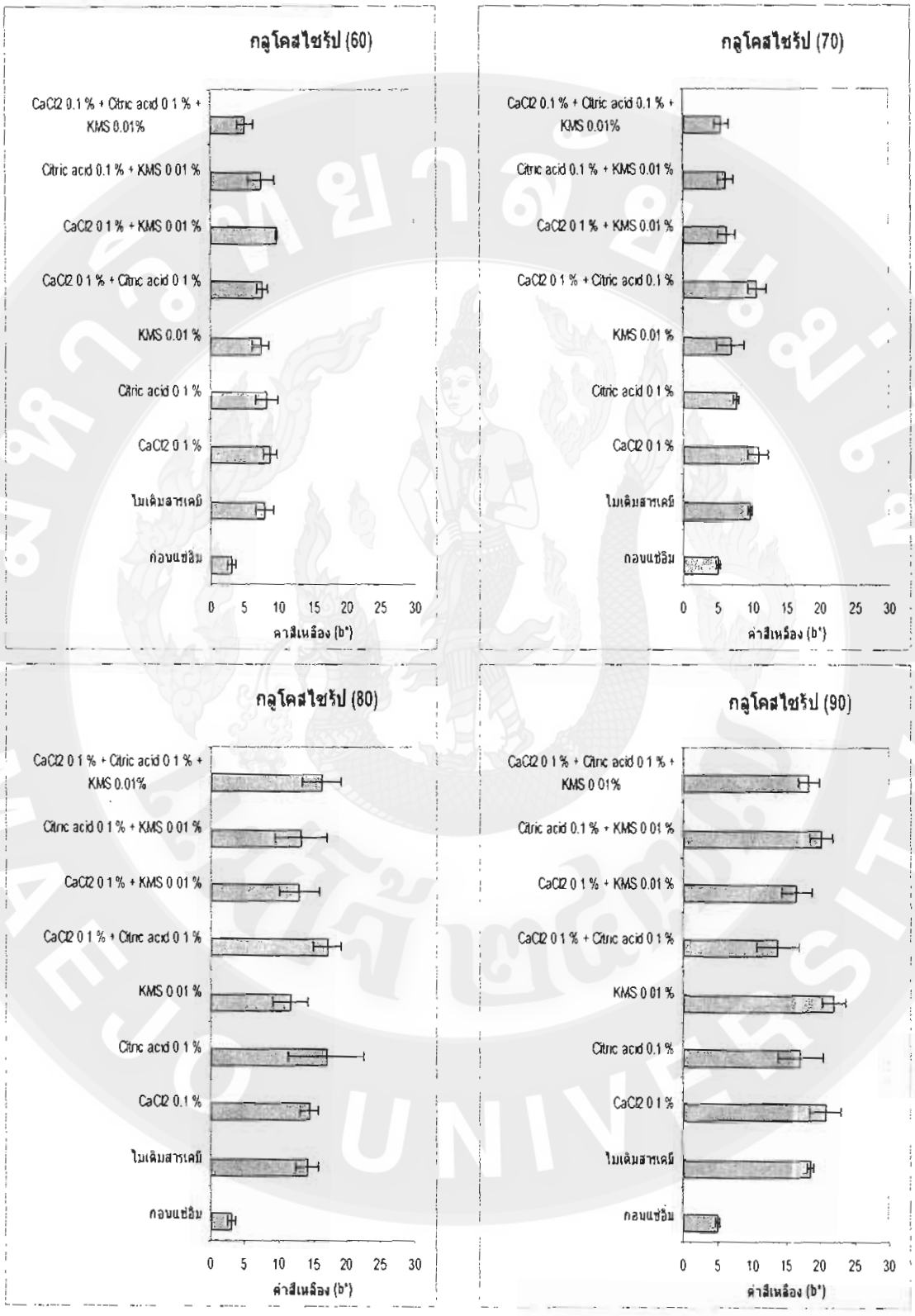
ภาพที่ 31 ค่าสีแดง (a*) ของเนื้อลำไยก่อนและหลังการแช่อิ่มโดยกลูโคสไซรัปเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิต่างๆ เมื่อแปรชนิดสารเคมี



ภาพที่ 32 ค่าสีเหลือง (b*) ของเนื้อลำไยก่อนและหลังการแช่อิ่มโดยซูโครสเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิต่างๆ เมื่อแปรชนิดสารเคมี



ภาพที่ 33 ค่าสีเหลือง (b*) ของเนื้อลำไยก่อนและหลังการแช่อิ่มโดยกลูโคสเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิต่างๆ เมื่อแปรชนิดสารเคมี



ภาพที่ 34 ค่าสีเหลือง (b*) ของเนื้อลำไยก่อนและหลังการแช่อิ่มโดยกลูโคสไซรัปเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิต่างๆ เมื่อแปรชนิดสารเคมี

3 ผลการศึกษาอิทธิพลของชนิดสารเคมีในกระบวนการทำแห้ง

จากการศึกษากระบวนการทำแห้งเบื้องต้นโดยวิธีการอบแห้งในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 และ 60 องศาเซลเซียส พบว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสจะทำให้ผลิตภัณฑ์มีสีน้ำตาลคล้ำมากกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสอย่างเห็นได้ชัด จึงพิจารณาเลือกใช้อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสสำหรับการอบแห้งลำไยแช่อิ่มต่อไป

นอกจากนี้ยังพบว่า ลำไยที่ผ่านการแช่อิ่มโดยใช้กลูโคสที่ผ่านการอบแห้งและนำมาเก็บไว้เมื่อเวลาผ่านไปสักระยะหนึ่ง จะเริ่มมีผลึกน้ำตาลออกมาเกาะบริเวณผิวนอกของลำไยและเพิ่มจำนวนมากขึ้นเรื่อยๆ (ภาพที่ 35) โดยลักษณะเช่นนี้จะเกิดได้เร็วมากขึ้นหากลำไยแช่อิ่มอบแห้งดังกล่าวถูกอบไม่แห้งมากนัก และในกรณีที่จำเป็นต้องเก็บลำไยแช่อิ่มดังกล่าวไว้ในตู้เย็นเพื่อรอการอบแห้งจะเริ่มพบว่ามีผลึกน้ำตาลออกมาเกาะบริเวณผิวนอกของลำไยอย่างเห็นได้ชัดในวันที่ 2 หลังจากเริ่มเก็บ และผลึกน้ำตาลดังกล่าวจะออกมาเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ เมื่อเวลาผ่านไป เนื่องจากการละลายของกลูโคสที่อุณหภูมิต่ำและอุณหภูมิห้องไม่ดีนัก (นิธิยา, 2545) ทำให้เกิดการตกผลึกได้ง่าย

ส่วนลำไยที่ผ่านการแช่อิ่มโดยใช้กลูโคสไซรัปนั้น หากทำการอบแห้งเป็นระยะเวลานานเกินไปจะทำให้ลำไยแช่อิ่มอบแห้งที่ได้มีลักษณะแข็งเหมือนลูกกวาดชนิดแข็ง แต่หากทำการอบแห้งโดยใช้ระยะเวลาที่พอเหมาะ จะได้ลำไยแช่อิ่มอบแห้งที่มีเนื้อสัมผัสเหนียวและหนึบในลักษณะที่สามารถเคี้ยวเล่นได้ แต่เนื่องจากการแช่อิ่มโดยใช้กลูโคสไซรัปจะได้ลำไยแช่อิ่มที่ไม่มีรสชาติไม่เหมาะสำหรับการนำมาบริโภคเป็นอาหารขบเคี้ยว ผู้วิจัยจึงทำการทดลองใช้ซูโครสและกลูโคสไซรัปร่วมกันในการผลิตลำไยแช่อิ่มอบแห้งในลักษณะของอาหารรับประทานเล่นในหัวข้อ 4 ต่อไป

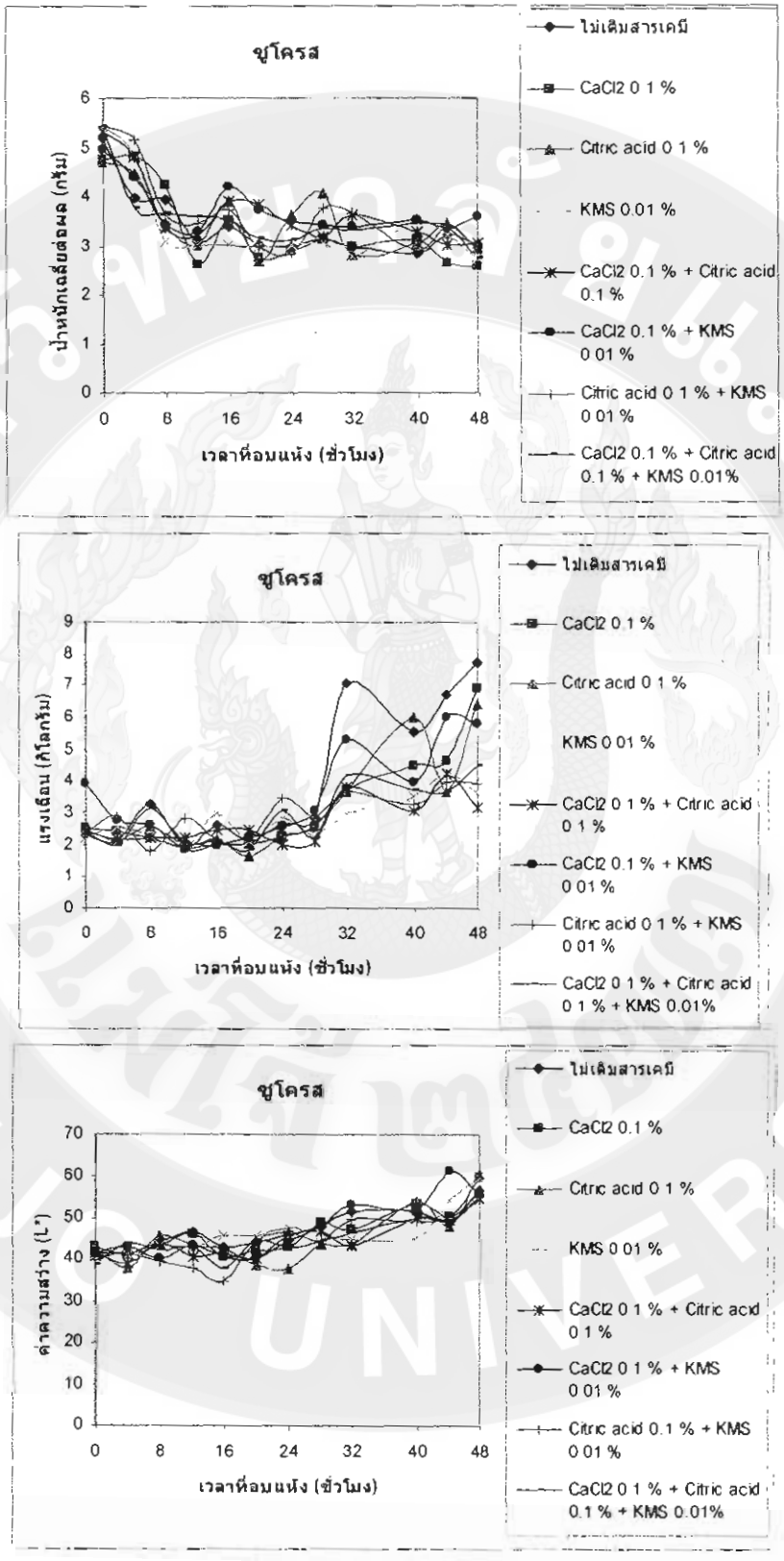
นอกจากนี้ยังพบอีกว่าสามารถทำแห้งลำไยแช่อิ่ม โดยวิธีการเคี่ยวในน้ำเชื่อมที่ใช้แช่อิ่มจนน้ำตาลตกผลึกได้ ดังนั้นในส่วนของการศึกษาอิทธิพลของชนิดสารเคมีในกระบวนการทำแห้งนี้ จะแสดงผลเฉพาะการทำแห้งลำไยแช่อิ่มที่ผ่านการแช่อิ่มโดยใช้ซูโครสเพียงอย่างเดียว โดยพิจารณาแบ่งกระบวนการทำแห้งออกเป็น 2 วิธี คือ (1) การอบแห้งในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส และ (2) การเคี่ยวในน้ำเชื่อมที่ใช้แช่อิ่มจนน้ำตาลตกผลึก

ภาพที่ 35 การมีผลึกน้ำตาลออกมาเกาะบริเวณผิวนอกเมื่อเก็บไว้เป็นระยะเวลาหนึ่ง ของเนื้อลำไยแช่อิ่มอบแห้งโดยใช้กลูโคสในการแช่อิ่ม

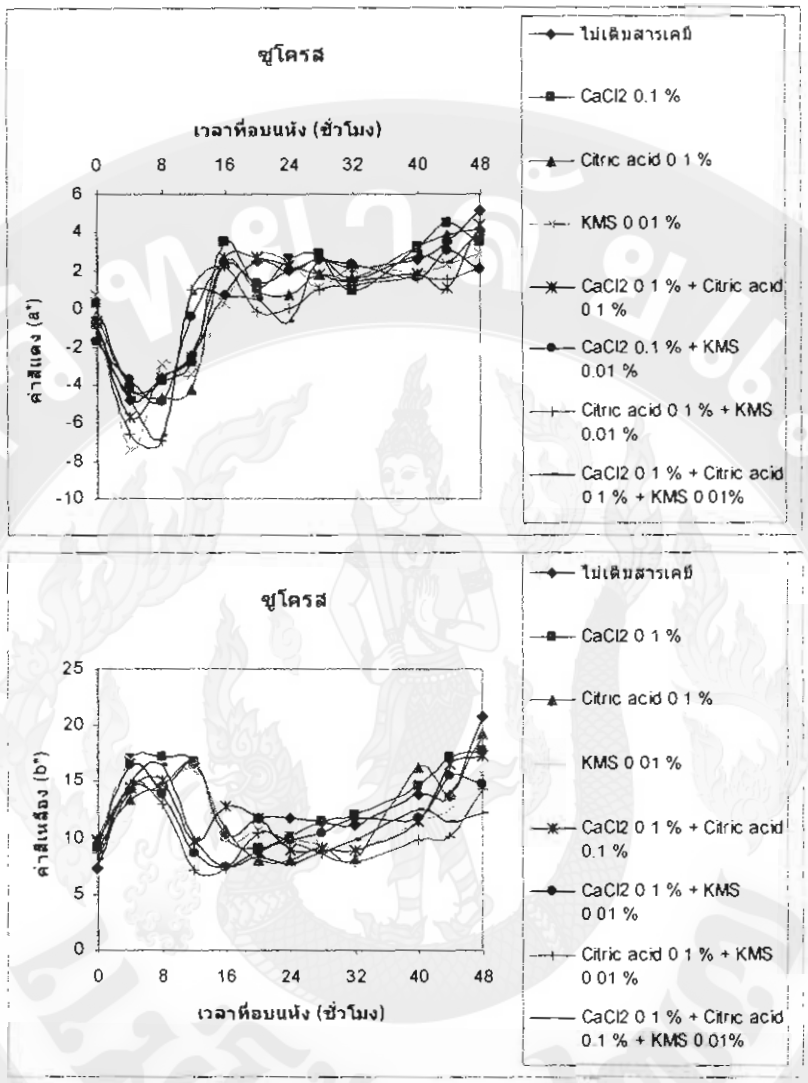
3.1 ผลการอบแห้งในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส

เมื่อนำลำไยแช่อิ่มโดยซูโครสตามวิธีการที่เลือกได้จากข้อ 1.2 (การแช่อิ่มในสารละลายน้ำตาลเข้มข้นร้อยละ 70 โดยปรับความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลให้เป็นร้อยละ 70 เป็นเวลา 3 วัน) มาอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง โดยติดตามการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักเฉลี่ยต่อผล ค่าแรงเฉือน ค่าความสว่าง (L*) ค่าสีแดง (a*) และค่าสีเหลือง (b*) ทุก 4 ชั่งโมง พบว่า น้ำหนักเฉลี่ยต่อผลมีค่าลดลงอย่างรวดเร็วในช่วง 12 ชั่วโมงแรก และค่อยๆ ลดลงอย่างช้าๆ ในช่วงหลังของการอบแห้ง ในขณะที่ค่าแรงเฉือนมีแนวโน้มลดลงเล็กน้อยในช่วง 12 ชั่วโมงแรก และกลับมามีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นอย่างช้าๆ ในช่วงชั่วโมงที่ 12 – 24 หลังจากนั้นจึงเพิ่มในอัตราที่สูงขึ้น แต่มีความแปรปรวนค่อนข้างสูง ซึ่งการลดลงของแรงเฉือนในช่วง 12 ชั่วโมงแรก เกิดจากการที่เนื้อลำไยมีเนื้อสัมผัสที่หลวมมากขึ้นเนื่องจากน้ำในลักษณะของ Loosely bound water ซึ่งช่วยให้เนื้อลำไยมีลักษณะเต่งถูกระเหยออกไป ส่วนการเพิ่มสูงขึ้นในช่วงหลัง 12 ชั่วโมง เกิดจากการที่เนื้อลำไยมีการหดตัวแน่นขึ้นเพราะสูญเสียน้ำในลักษณะของ Capillary water สำหรับค่าความสว่าง (L*) จะค่อยๆ สูงขึ้นเมื่อเวลาในการอบแห้งมากขึ้น เนื่องจากน้ำค่อยๆ ระเหยออกไปทำให้สีของเนื้อลำไยสว่างขึ้นเรื่อยๆ ในขณะที่ค่าสีแดง (a*) มีการลดลงและเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วง 12 ชั่วโมงแรก หลังจากนั้นจึงค่อยๆ เพิ่มขึ้น เมื่อระยะเวลาในการอบแห้งนานขึ้น ค่าสีเหลือง (b*) มีการเพิ่มขึ้นและลดลงอย่างรวดเร็วในช่วง 12 ชั่วโมงแรก หลังจากนั้นจึงค่อยๆ เพิ่มขึ้น เมื่อระยะเวลาในการอบแห้งนานขึ้น (ภาพที่ 36) ซึ่งการเพิ่มขึ้นและลดลงของค่าสีแดง (a*) และค่าสีเหลือง (b*) ในช่วง 12 ชั่วโมงแรก น่าจะเกิดจากอิทธิพลของความชื้นที่เปลี่ยนไปของเนื้อลำไยซึ่งส่งผลต่อค่าสีที่วัดได้ ส่วนการเพิ่มขึ้นของค่าทั้งสองในช่วงหลังจากนั้นเกิดจากการเพิ่มขึ้นของปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลซึ่งจะเกิดได้ดีที่สุดในช่วงที่มีค่า a_w ประมาณ 0.6 – 0.8 (นิธิยา, 2545) ซึ่งเป็นช่วงที่ Capillary water กำลังถูกระเหยออกไป

บางส่วนของเนื้อลำไยแช่อิ่มที่ผ่านการทำแห้งโดยการอบแห้งในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสแสดงดังภาพที่ 37



ภาพที่ 36 การเปลี่ยนแปลงของเนื้อลำไยแช่อิ่มขณะอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส

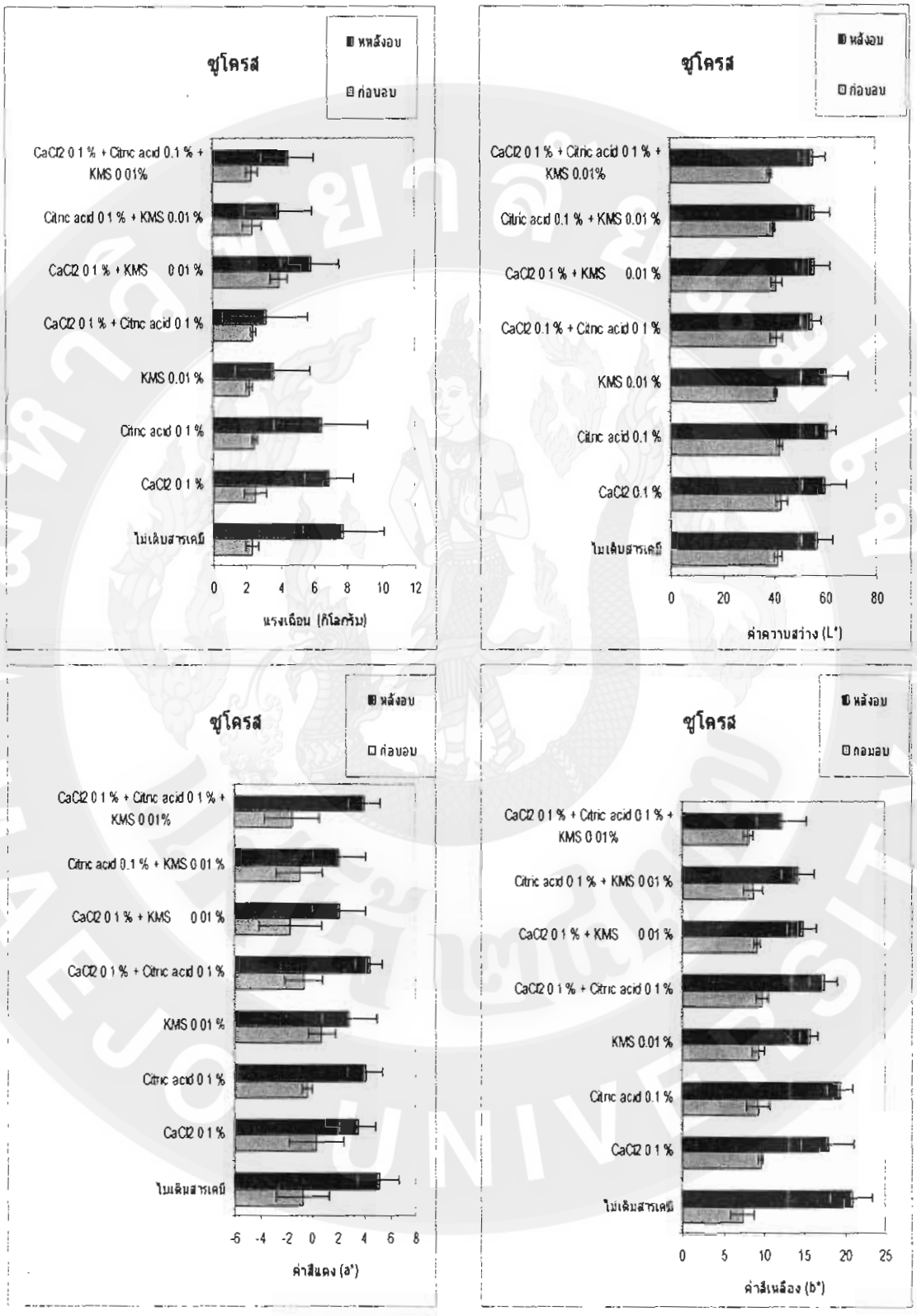


ภาพที่ 36 (ต่อ) การเปลี่ยนแปลงของเนื้อลำไยแช่อิ่มขณะอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส

ภาพที่ 37 บางส่วนของเนื้อลำไยแช่อิ่มที่ทำแห้งโดยการอบแห้ง

ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของเนื้อลำไยแช่อิ่มหลังการอบแห้งพบว่า เนื้อลำไยแช่อิ่มที่มีการเติมโปแตสเซียมเมตาไบซัลไฟต์ทุกตัวอย่างมีค่าสีเหลือง (b*) น้อยกว่าตัวอย่างที่ไม่เติมสารเคมี (ตัวอย่างควบคุม) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) (ภาพที่ 38) เนื่องจากโปแตสเซียมเมตาไบซัลไฟต์จะเข้าทำปฏิกิริยากับสารประกอบคาร์บอนิลซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ของปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่ไม่มีเอนไซม์เกี่ยวข้อง ก่อนที่จะสารประกอบคาร์บอนิลเหล่านี้จะเกิดการรวมตัวกันเป็นรงควัตถุสีน้ำตาล (Melanoidins) ต่อไป (ศิวาพร, 2546) ส่วนความแตกต่างของค่าแรงเฉือน ค่าความสว่าง (L*) และ ค่าสีแดง (a*) ที่เกิดจากโปแตสเซียมเมตาไบซัลไฟต์ และความแตกต่างของทุกลักษณะที่เกิดจากแคลเซียมคลอไรด์และกรดซิตริก เมื่อเทียบกับตัวอย่างที่ไม่เติมสารเคมี (ตัวอย่างควบคุม) ไม่นัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

จึงสรุปได้ว่าควรเติมโปแตสเซียมเมตาไบซัลไฟต์ความเข้มข้นร้อยละ 0.01 ในการผลิตเนื้อลำไยแช่อิ่มอบแห้งโดยใช้ตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสเพื่อลดการเกิดสีน้ำตาลของผลิตภัณฑ์ ความเข้มข้นของโปแตสเซียมเมตาไบซัลไฟต์ในระดับนี้มีค่าต่ำกว่าปริมาณสารประกอบซัลไฟต์ที่มีการอนุญาตให้ใช้ในผลไม้แห้งและผักแห้ง ตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 84 ซึ่งระบุปริมาณสูงสุดที่อนุญาตให้ใช้ไม่เกิน 2,500 มิลลิกรัม/กิโลกรัม (ศิวาพร, 2546)

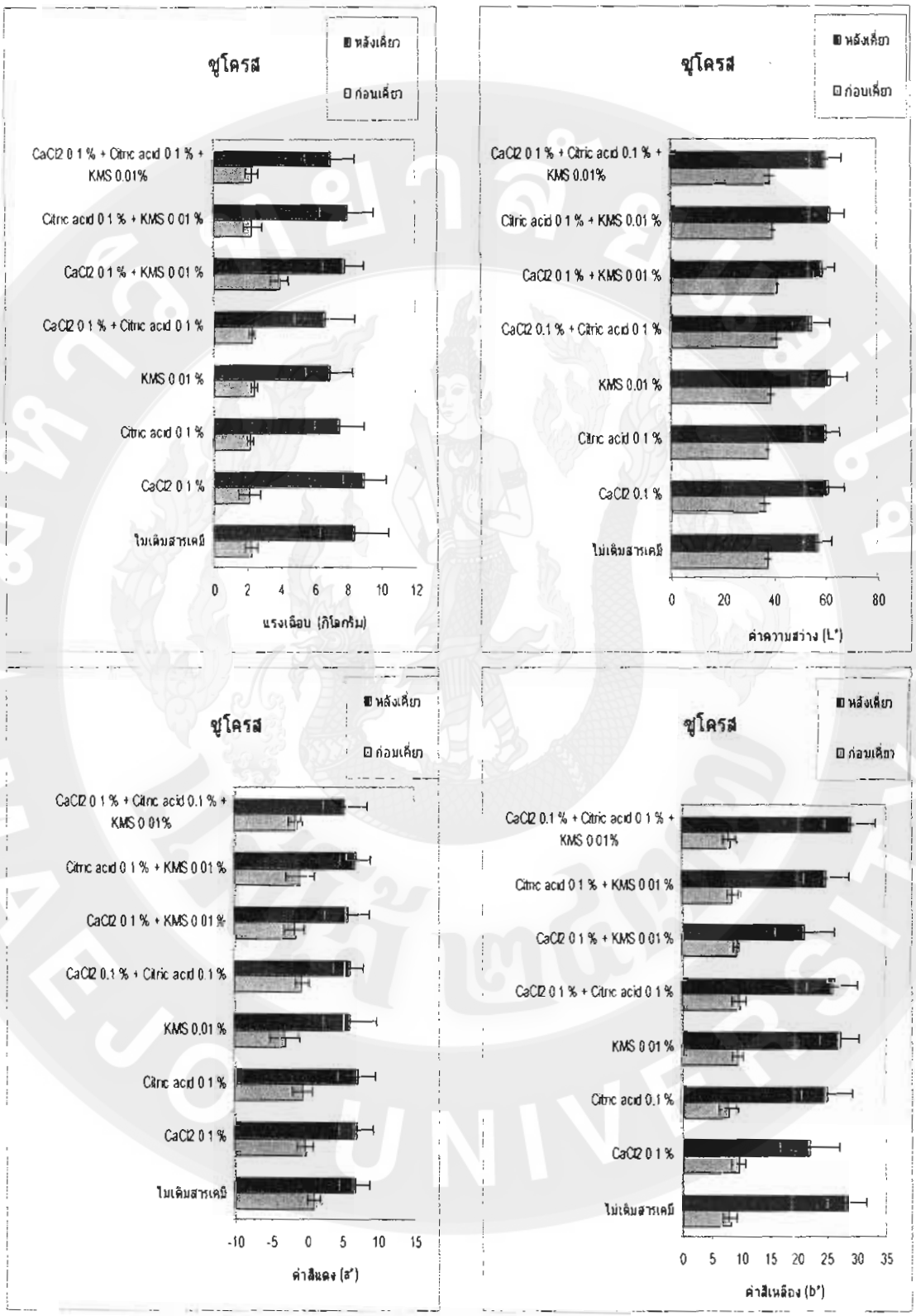


ภาพที่ 38 การเปลี่ยนแปลงของเนื้อลำไยแช่อิ่มเมื่ออบแห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส 48 ชั่วโมง

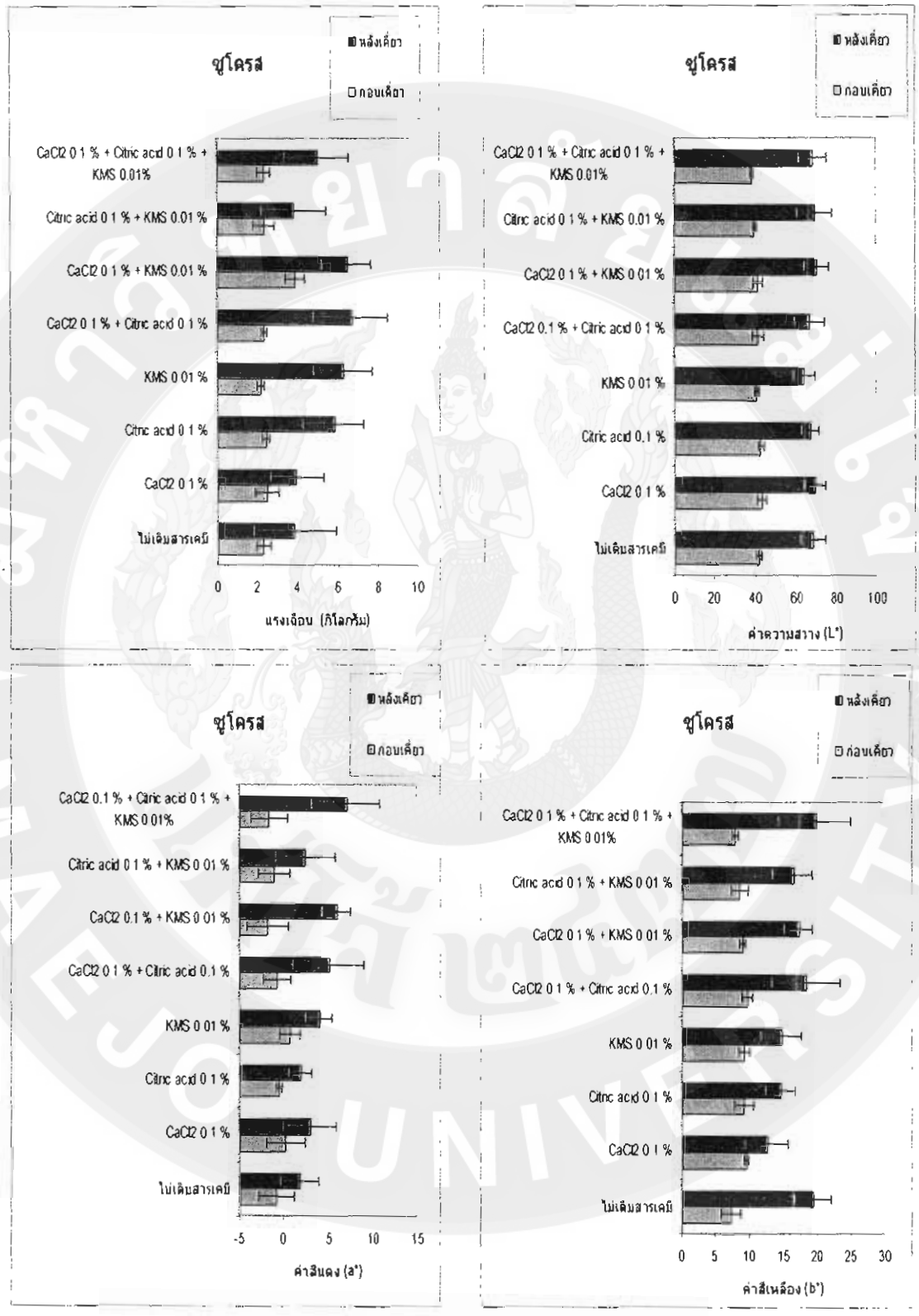
3.2 ผลการเคี่ยวในน้ำเชื่อมที่ใช้แช่อิ่มจนน้ำตาลตกผลึก

เมื่อนำลำไยแช่อิ่มโดยซูโครสตามวิธีการที่เลือกได้จากข้อ 1.2 (การแช่อิ่มในสารละลายน้ำตาลเข้มข้นร้อยละ 70 โดยปรับความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลให้เป็นร้อยละ 70 เป็นเวลา 3 วัน) มาเคี่ยวในน้ำเชื่อมที่ใช้แช่อิ่มจนน้ำตาลตกผลึก และเปรียบเทียบค่าแรงเฉือน ค่าความสว่าง (L*) ค่าสีแดง (a*) และค่าสีเหลือง (b*) ก่อนและหลังการเคี่ยว พบว่าเมื่อทำการเคี่ยวครั้งละ 20 กิโลกรัม จะทำให้ค่าแรงเฉือน ค่าความสว่าง (L*) ค่าสีแดง (a*) และค่าสีเหลือง (b*) ของเนื้อลำไยแช่อิ่มมีค่าเพิ่มมากขึ้น (ภาพที่ 39) โดยผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีสีเข้มมากและมีลักษณะเม็ดลีบแบน (ภาพที่ 41 (ก)) และเมื่อทำการเคี่ยวครั้งละ 2 กิโลกรัมจะทำให้การเปลี่ยนแปลงของค่าต่างๆ ที่ติดตามมีค่าลดลง โดยเฉพาะอย่างยิ่งค่าสีแดง (a*) และค่าสีเหลือง (b*) (เปรียบเทียบระหว่างภาพที่ 39 และ 40) โดยผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีสีอ่อนลงอย่างเห็นได้ชัด และมีลักษณะลีบแบนน้อยกว่า (ภาพที่ 41) เนื่องจากการเคี่ยวในปริมาณมากจำเป็นต้องใช้เวลาในการให้ความร้อนนานกว่ามาก ทำให้น้ำตาลที่ได้รับความร้อนสูงเป็นเวลานานๆ เกิดปฏิกิริยาคาราเมลไลเซชั่น (การเกิดน้ำตาลไหม้) มากขึ้น ผลิตภัณฑ์ที่ได้จึงมีสีน้ำตาลเข้มมากขึ้น ส่วนลักษณะลีบแบนของผลิตภัณฑ์เกิดจากการกดทับกันของน้ำตาลและลำไยแช่อิ่มในปริมาณมากขณะเคี่ยว

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวน พบว่า ค่าแรงเฉือน ค่าความสว่าง (L*) ค่าสีแดง (a*) และค่าสีเหลือง (b*) ของเนื้อลำไยแช่อิ่มหลังเคี่ยวเมื่อเติมสารเคมีทุกชนิดและเมื่อไม่เติมสารเคมี (ตัวอย่างควบคุม) แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ซึ่งผลที่ได้แตกต่างจากการอบแห้งในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสในหัวข้อ 3.1 ที่พบว่า การเติมโปแตสเซียมเมตาไบซัลไฟต์มีผลช่วยลดค่าสีเหลือง (b*) ของเนื้อลำไยแช่อิ่มหลังอบได้ เนื่องจากการเคี่ยวให้น้ำตาลตกผลึกเป็นการใช้ความร้อนในระดับสูงกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสอย่างมาก และความร้อนที่สูงมากนี้มีผลทำให้โปแตสเซียมเมตาไบซัลไฟต์สลายตัวไปอย่างรวดเร็ว จึงไม่มีผลต่อการยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลในระหว่างการเคี่ยว



ภาพที่ 39 การเปลี่ยนแปลงของเนื้อลำไยแช่อิ่มเมื่อผ่านการเคี่ยวจนน้ำตาลตกผลึกเมื่อเคี่ยวในปริมาณมาก (ครั้งละ 20 กิโลกรัม)



ภาพที่ 40 การเปลี่ยนแปลงของเนื้อลำไยแช่อิ่มเมื่อผ่านการเคี้ยวจนน้ำตาลตกผลึกเมื่อเคี้ยวในปริมาณน้อย (ครั้งละ 2 กิโลกรัม)

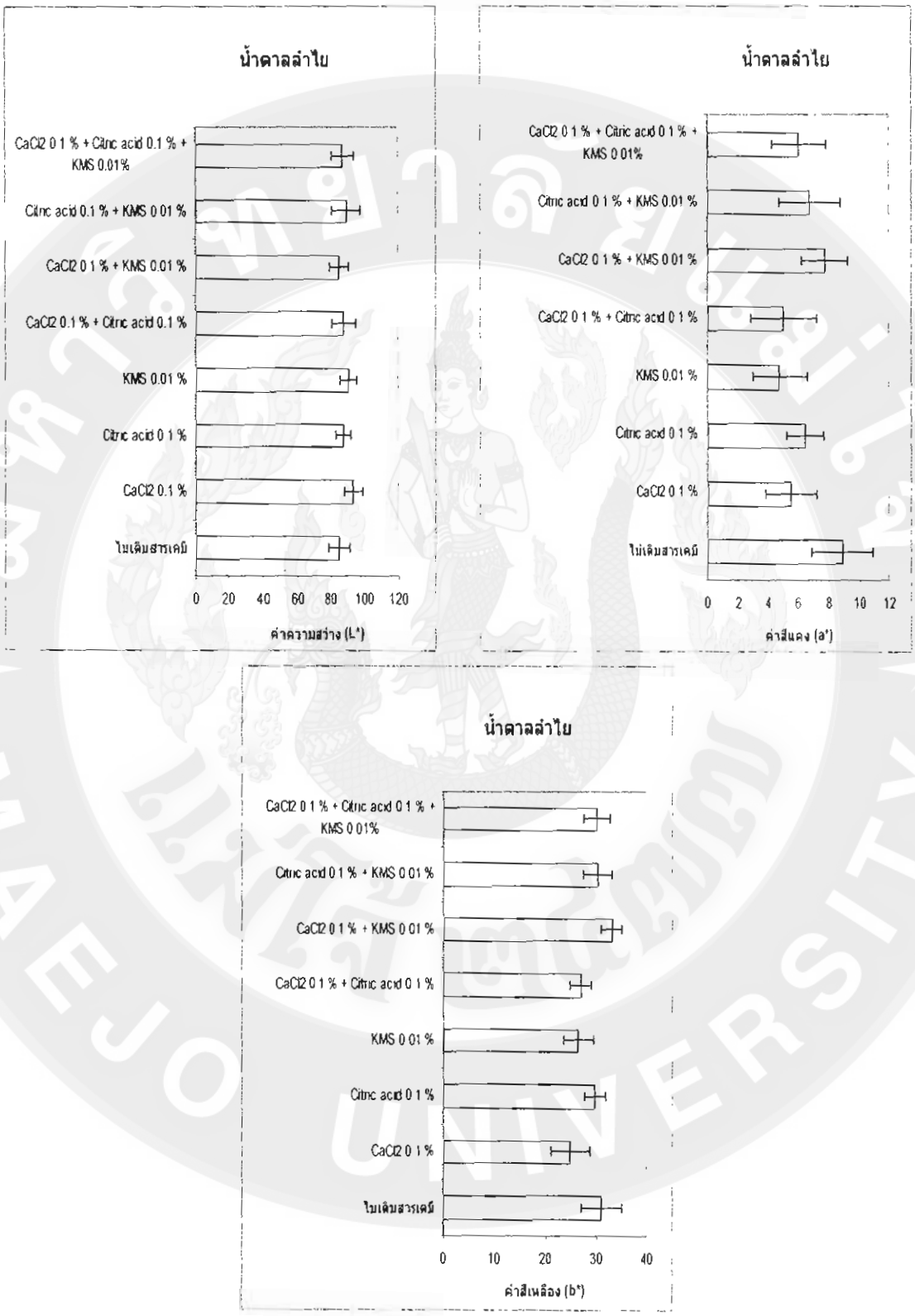
(ก) เมื่อเคี่ยวในปริมาณมาก (ครั้งละ 20 กิโลกรัม)

(ข) เมื่อเคี่ยวในปริมาณน้อย (ครั้งละ 2 กิโลกรัม)

ภาพที่ 41 บางส่วนของเนื้อลำไยแช่อิ่มที่ทำแห้งโดยการเคี่ยว

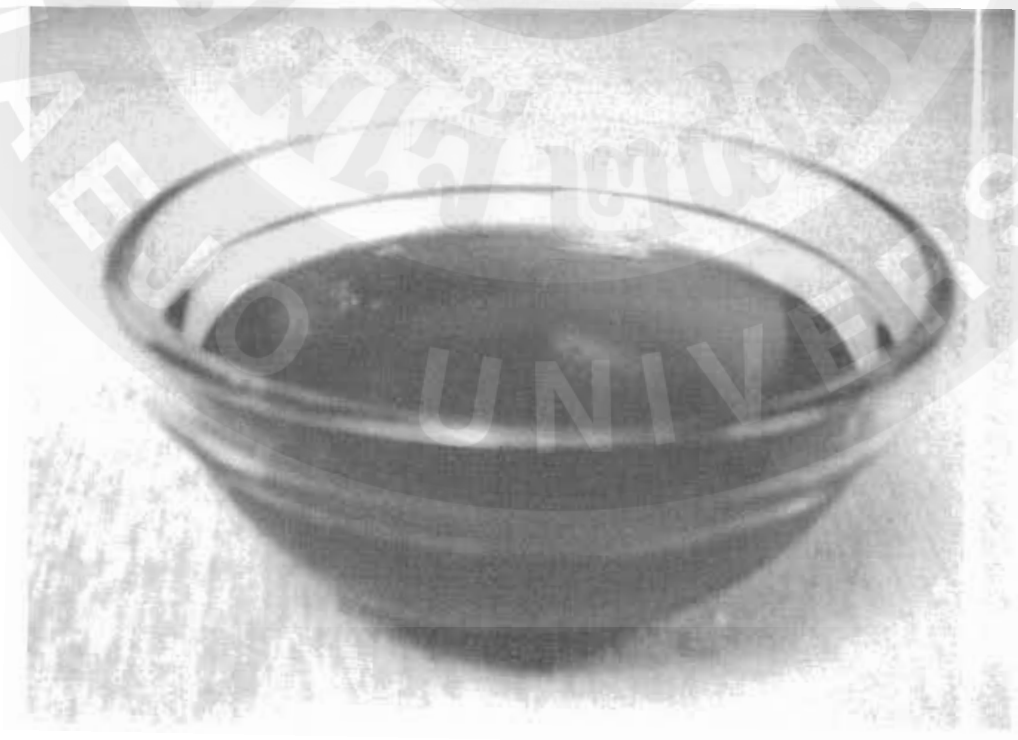
และในการเคี่ยวน้ำเชื่อมนี้ นอกจากจะเป็นการทำแห้งเนื้อลำไยแช่อิ่มแล้ว ยังจะได้น้ำตาลลำไยเป็นผลพลอยได้ ซึ่งสามารถนำมาใช้เป็นผลิตภัณฑ์น้ำลำไยผง (ภาพที่ 42) ได้อีกด้วย ตัวอย่างค่าสีซึ่งประกอบด้วยค่าความสว่าง (L*) ค่าสีแดง (a*) และค่าสีเหลือง (b*) ของน้ำตาลลำไยที่ได้จากการเคี่ยวแสดงดังภาพที่ 43 ซึ่งเมื่อนำมาวิเคราะห์ความแปรปรวนพบว่า ทุกค่าของทุกตัวอย่างแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) เนื่องจากความแปรปรวนของข้อมูลค่อนข้างสูง

ภาพที่ 42 บางส่วนของน้ำตาลลำไยที่ได้จากการเคี่ยวน้ำเชื่อมจนน้ำตาลตกผลึก



ภาพที่ 43 ค่าสีของน้ำตาลลำไย

แต่การเคียวน้ำเชื่อมจนน้ำตาลตกผลึกนี้จะสามารถทำได้ก็ต่อเมื่อน้ำเชื่อมดังกล่าว ไม่อยู่ในสภาพที่เป็นกรดมากเกินไป เนื่องจากเมื่อน้ำเชื่อมที่อยู่ในสภาพกรดได้รับความร้อนจากการปรับปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในแต่ละวัน จะทำให้ซูโครสแตกตัวเป็นส่วนผสมของกลูโคสและฟรุคโตส (Invert sugar) และส่วนผสมของกลูโคสและฟรุคโตสนี้จะถูกเปลี่ยนไปเป็นกรดน้ำตาล (Sugar acid) ซึ่งการสลายตัวของซูโครสจะเกิดได้ช้าที่สุดที่ pH 8 และจะเกิดได้ดีเมื่อมีค่า pH ต่างไปจาก 8 มากขึ้น ในขณะที่การเปลี่ยนไปเป็นกรดน้ำตาลของกลูโคสและฟรุคโตสจะเกิดได้ช้าที่สุดที่ pH 4 และจะเกิดได้ดีเมื่อมีค่า pH ต่างไปจาก 4 มากขึ้น (กล้าณรงค์, 2532) และจากการทดลองพบว่า เมื่อ pH ของน้ำเชื่อมมีค่าต่ำกว่า 4 จะไม่สามารถเคี่ยวให้น้ำตาลตกผลึกได้ เนื่องจากซูโครสส่วนใหญ่เกิดการสลายตัวเป็นกลูโคสและฟรุคโตส และถูกเปลี่ยนต่อไปเป็นกรดน้ำตาลนั่นเอง แต่ถึงแม้จะไม่สามารถเคี่ยวน้ำเชื่อมที่มี pH ต่ำกว่า 4 ให้เป็นน้ำตาลลำไยได้ ก็ยังสามารถนำน้ำเชื่อมนั้นมาทำเป็นผลิตภัณฑ์น้ำเชื่อมลำไย (ภาพที่ 44) โดยนำมาต้มให้เดือด 15 นาที บรรจุขวดแก้วขณะร้อน ปิดฝาให้สนิท และทำให้เย็น เพื่อนำไปใช้ประโยชน์อื่นต่อไปได้ เช่น น้ำลำไยเข้มข้น น้ำเชื่อมสำหรับราดไอศกรีมหรือแพนเค้ก เป็นต้น เนื่องจากน้ำเชื่อมดังกล่าวมีกลิ่นรสของลำไยผสมอยู่มาก

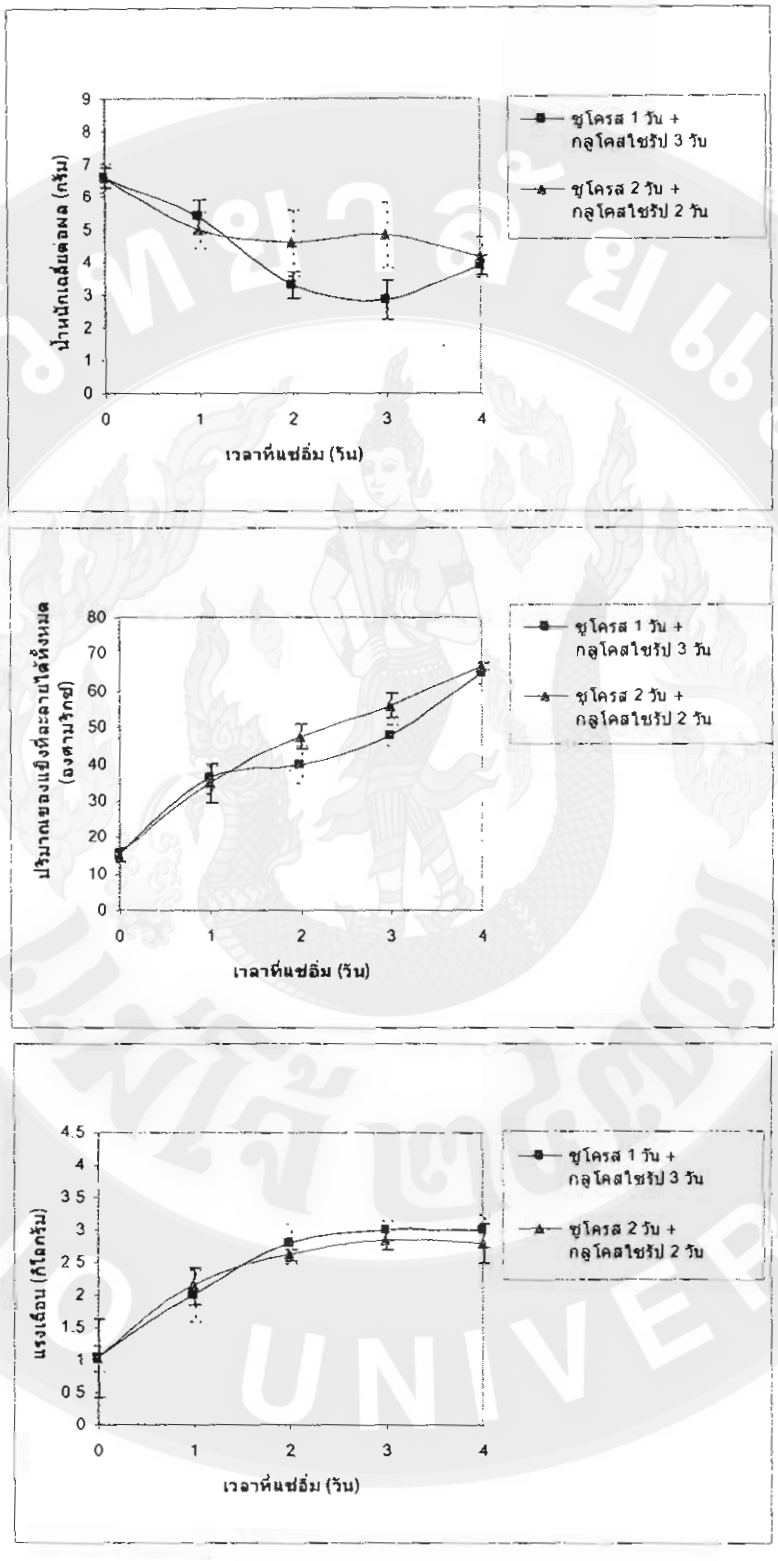


ภาพที่ 44 ตัวอย่างของน้ำเชื่อมลำไย

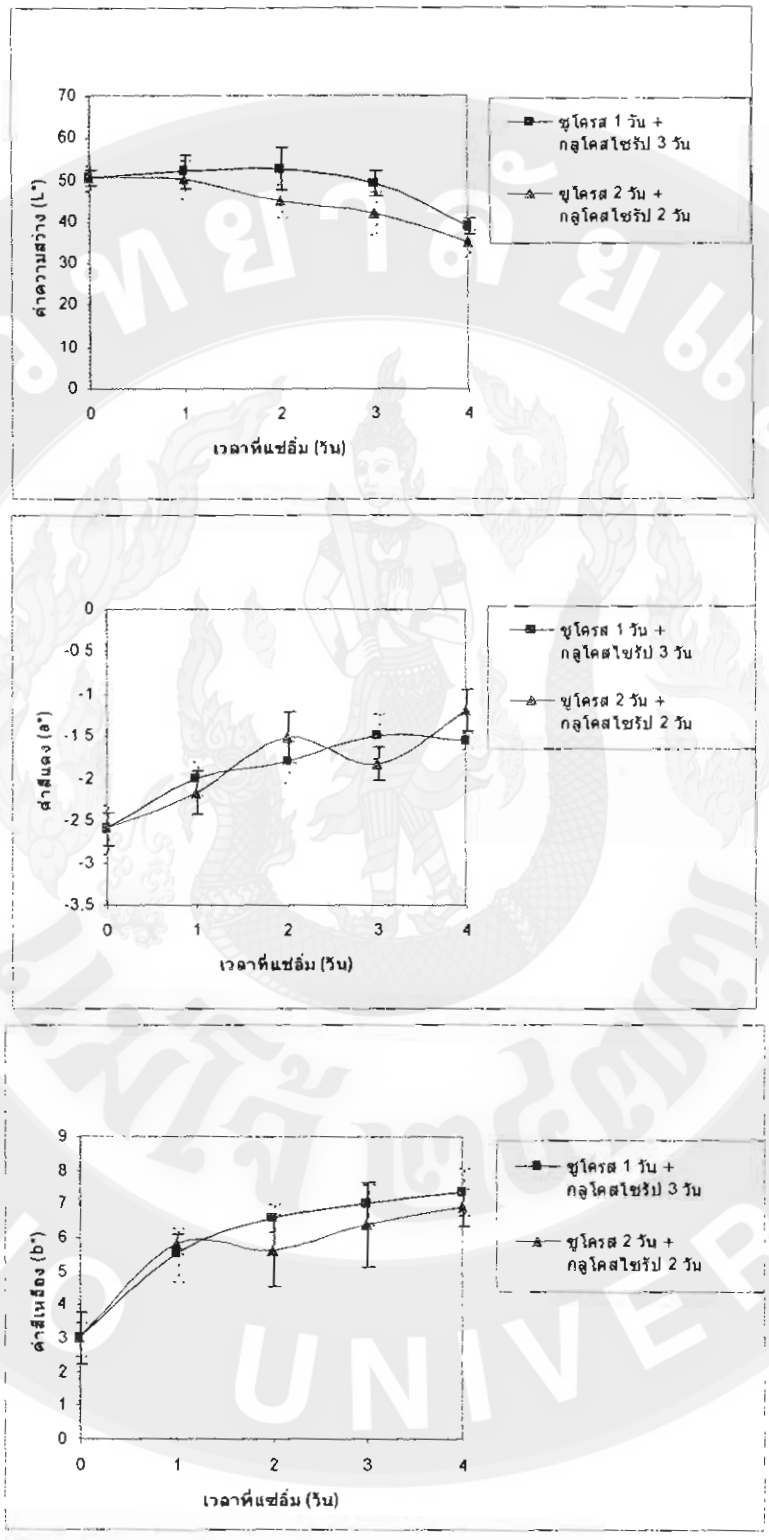
4. ผลการศึกษาการผลิตเนื้อลำไยแช่อิ่มอบแห้งในลักษณะของอาหารรับประทานเล่น

จากข้อมูลการศึกษากระบวนการทำแห้งเบื้องต้นในข้อ 3 ทำให้ทราบว่าลำไยแช่อิ่มโดยกลูโคสไซรัป เมื่อนำมาอบแห้งโดยใช้ระยะเวลาที่เหมาะสมจะได้ลำไยแช่อิ่มอบแห้งที่มีเนื้อสัมผัสเหนียวและหนึบในลักษณะที่สามารถเคี้ยวเล่นได้ แต่การแช่อิ่มโดยใช้กลูโคสไซรัปจะได้ลำไยแช่อิ่มที่ไม่มีรสชาติไม่เหมาะสำหรับการนำมาบริโภคเป็นอาหารขบเคี้ยว จึงทำการทดลองใช้กลูโคสไซรัปร่วมกับซูโครสในการแช่อิ่มดังนี้ คือ (1) การแช่อิ่มโดยใช้สารละลายซูโครสความเข้มข้น 70 องศาบริกซ์ 1 วัน ร่วมกับการแช่อิ่มโดยใช้สารละลายกลูโคสไซรัปความเข้มข้น 70 องศาบริกซ์ 3 วัน และ (2) การแช่อิ่มโดยใช้สารละลายซูโครสความเข้มข้น 70 องศาบริกซ์ 2 วัน ร่วมกับการแช่อิ่มโดยใช้สารละลายกลูโคสไซรัปความเข้มข้น 70 องศาบริกซ์ 2 วัน และนำมาอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมง พบว่า การแช่อิ่มโดยใช้สารละลายซูโครส 1 วันร่วมกับสารละลายกลูโคสไซรัป 3 วัน มีแนวโน้มการลดลงของน้ำหนักเฉลี่ยต่อผลมากกว่าในช่วงวันที่ 2 และ 3 ของการแช่อิ่ม และจะมีการเพิ่มขึ้นของปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดช้ากว่าในช่วงเวลาเดียวกัน ค่าแรงเฉือนของเนื้อลำไยแช่อิ่มทั้งสอง 2 กรณีมีแนวโน้มการเพิ่มขึ้นในลักษณะเดียวกัน การแช่อิ่มโดยใช้สารละลายซูโครส 1 วันร่วมกับสารละลายกลูโคสไซรัป 3 วันมีแนวโน้มการลดลงของค่าความสว่าง (L*) น้อยกว่า ส่วนแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของค่าสีแดง (a*) และค่าสีเหลือง (b*) ของทั้ง 2 กรณีไม่แตกต่างกัน (ภาพที่ 45)

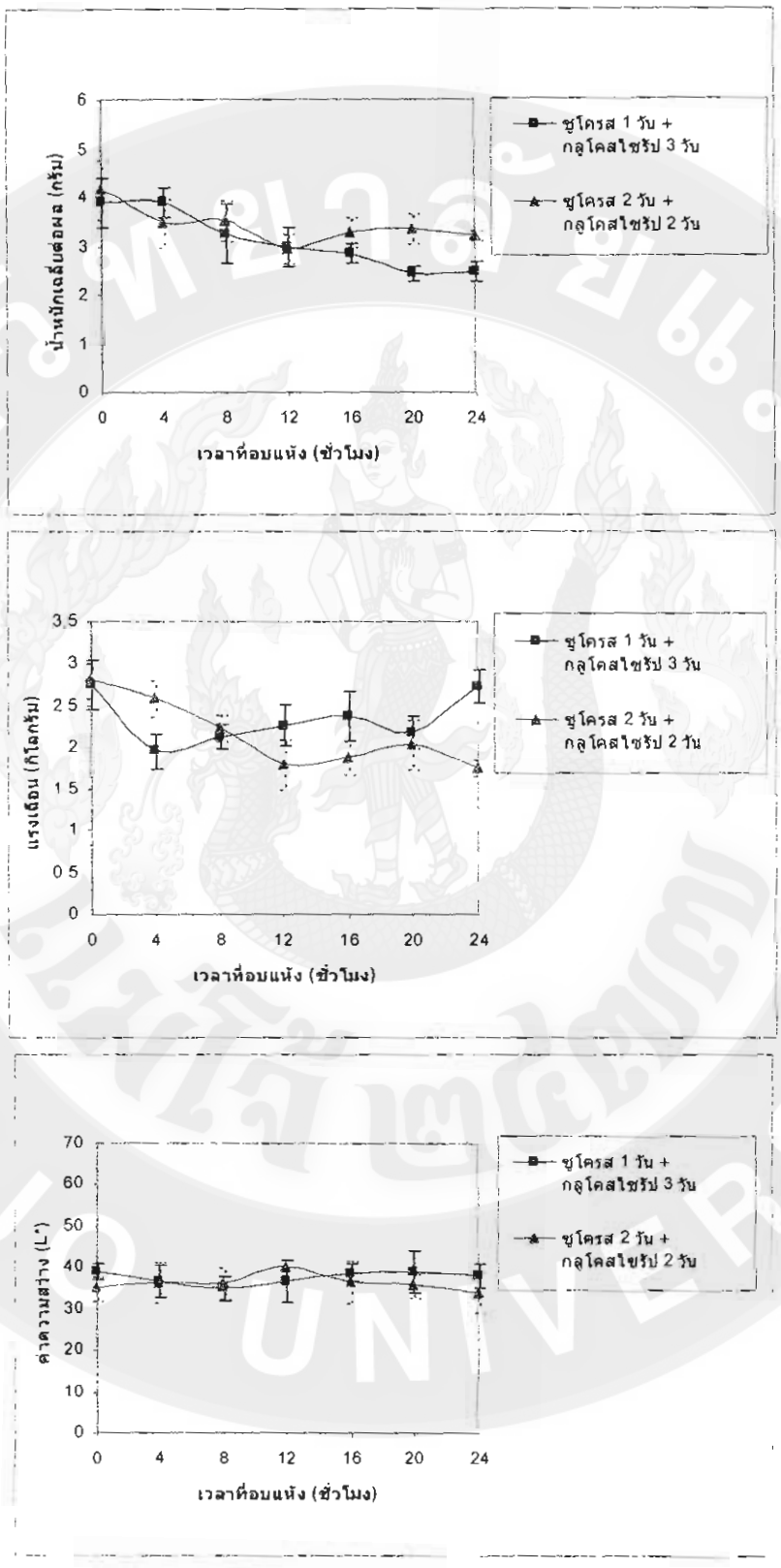
ในส่วนของการอบแห้ง พบว่า การแช่อิ่มโดยใช้สารละลายซูโครส 1 วันร่วมกับสารละลายกลูโคสไซรัป 3 วันมีแนวโน้มการลดลงของน้ำหนักเฉลี่ยต่อผลในระหว่างการอบแห้งมากกว่า และลำไยแช่อิ่มอบแห้งที่ได้จะมีค่าแรงเฉือนสูงกว่า สำหรับค่าความสว่าง (L*) ของเนื้อลำไยแช่อิ่ม พบว่า การอบแห้งไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความสว่าง แต่การอบแห้งมีผลทำให้ค่าสีแดง (a*) และค่าสีเหลือง (b*) ของเนื้อลำไยแช่อิ่มมีค่าสูงขึ้น โดยหากพิจารณาจากค่าเฉลี่ยของค่าสีแดง (a*) และค่าสีเหลือง (b*) หลังการอบแห้ง 24 ชั่วโมง พบว่า การแช่อิ่มโดยใช้สารละลายซูโครส 1 วันร่วมกับสารละลายกลูโคสไซรัป 3 วันมีค่าสีแดง (a*) สูงกว่า แต่มีค่าสีเหลือง (b*) ต่ำกว่า (ภาพที่ 46) สอดคล้องกับภาพของผลิตภัณฑ์ที่ได้ซึ่งสามารถสังเกตได้ว่า เนื้อลำไยแช่อิ่มการแช่อิ่มอบแห้งโดยใช้สารละลายซูโครส 1 วันร่วมกับสารละลายกลูโคสไซรัป 3 วัน (ภาพที่ 47 (ก)) มีสีเหลืองน้อยกว่า (ค่าสีเหลือง (b*)) และสว่างมากกว่า (ค่าความสว่าง (L*) สูงกว่า) เนื้อลำไยแช่อิ่มการแช่อิ่มอบแห้งโดยใช้สารละลายซูโครส 2 วันร่วมกับสารละลายกลูโคสไซรัป 2 วัน (ภาพที่ 47 (ข))



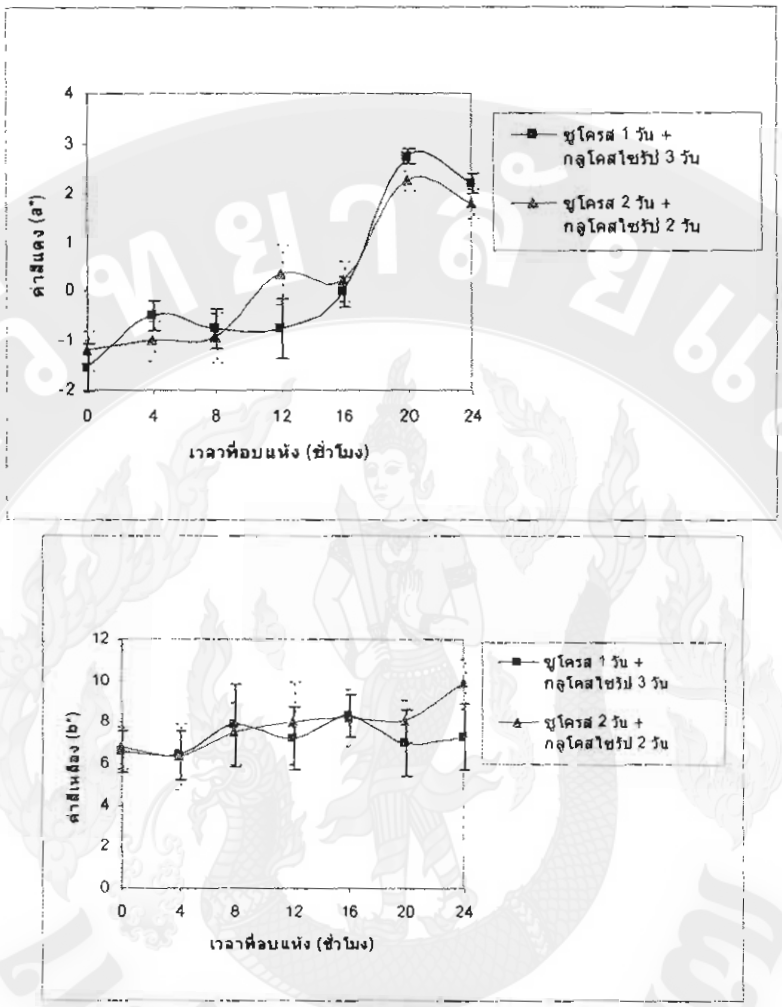
ภาพที่ 45 การเปลี่ยนแปลงของเนื้อลำไยขณะแช่อิ่ม



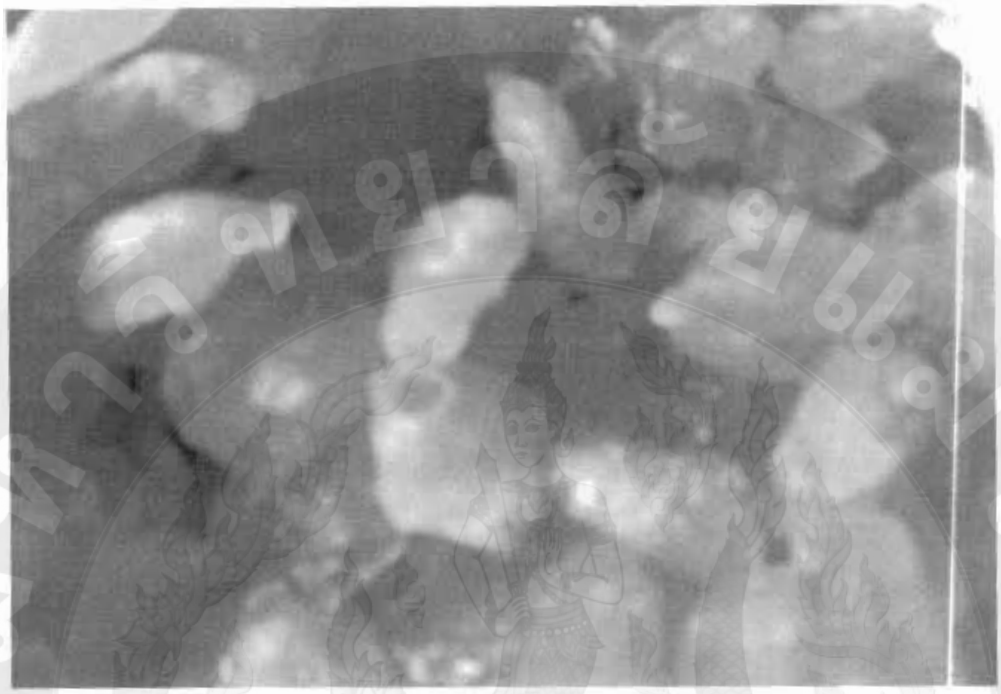
ภาพที่ 45 (ต่อ) การเปลี่ยนแปลงของเนื้อลำไยขณะแช่อิ่ม



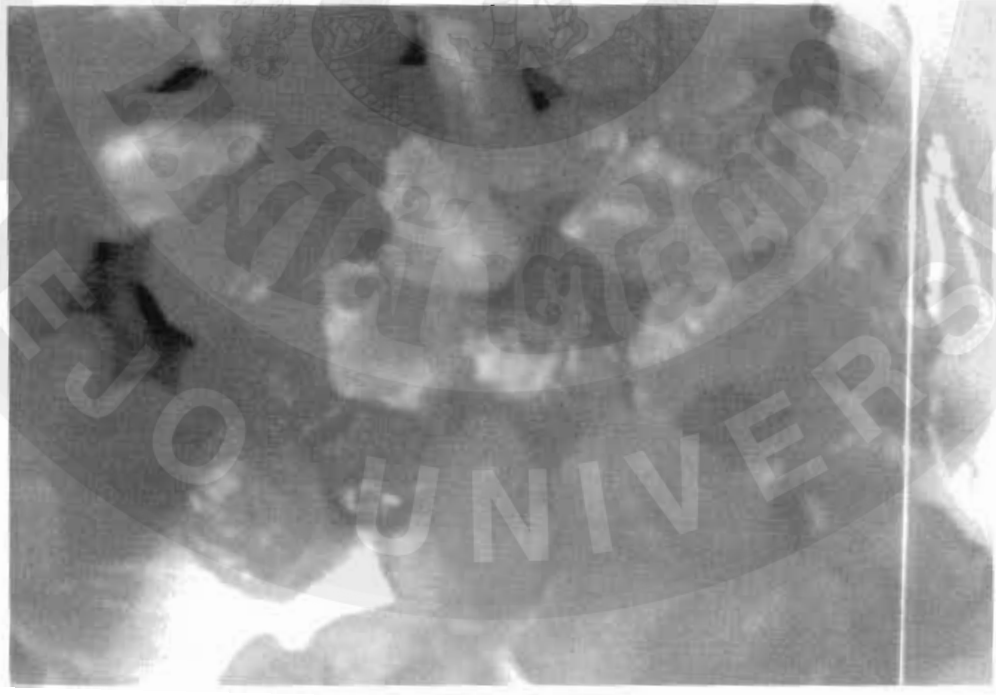
ภาพที่ 46 การเปลี่ยนแปลงของเนื้อลำไยขณะอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 46 (ต่อ) การเปลี่ยนแปลงของเนื้อลำไยขณะอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส



(ก) ซูโครส 1 วัน + กลูโคสไซรัป 3 วัน



(ข) ซูโครส 2 วัน + กลูโคสไซรัป 2 วัน

ภาพที่ 47 เนื้อลำไยแช่อิ่มอบแห้งในลักษณะของอาหารรับประทานเล่น

สำหรับน้ำเชื่อมที่เหลือจากขั้นตอนการผลิตลำไยแช่อิ่มอบแห้งในลักษณะของอาหารรับประทานเล่นนี้ ในส่วนของน้ำเชื่อมซูโครสก็สามารถนำมาเคี่ยวเป็นน้ำตาลลำไย ในขณะที่น้ำเชื่อมจากกลูโคสไซรัปก็สามารถนำมาใช้เป็นน้ำเชื่อมลำไยได้เช่นกัน

5. **ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัส**

5.1 **ผลการทดสอบการยอมรับเนื้อลำไยแช่อิ่มที่ผ่านการทำแห้งแล้ว**

5.1.1 **ผลการจัดลำดับความชอบจากลักษณะปรากฏของเนื้อลำไยแช่อิ่มที่ผ่านการทำแห้ง**

เพื่อไม่ให้ตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบมีมากจนเกินไป ผู้วิจัยจึงพิจารณาคัดเลือกตัวอย่างเนื้อลำไยแช่อิ่มที่ผ่านการทำแห้งจากข้อ 3 มาทำการทดสอบการยอมรับจากตัวแทนผู้บริโภคเพียง 6 ตัวอย่าง คือ เนื้อลำไยแช่อิ่มที่ทำแห้งโดยการอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส จำนวน 4 ตัวอย่าง ซึ่งประกอบด้วย (1) เนื้อลำไยที่แช่อิ่มโดยซูโครสเมื่อไม่เติมสารเคมี (2) เนื้อลำไยที่แช่อิ่มโดยซูโครสเมื่อเติมแคลเซียมคลอไรด์ร้อยละ 0.1 (3) เนื้อลำไยที่แช่อิ่มโดยซูโครสเมื่อเติมโปแตสเซียมเมตาไบซัลไฟต์ร้อยละ 0.01 และ (4) เนื้อลำไยที่แช่อิ่มโดยซูโครสเมื่อเติมแคลเซียมคลอไรด์ร้อยละ 0.1 และโปแตสเซียมเมตาไบซัลไฟต์ร้อยละ 0.01 (ภาพที่ 48) และเนื้อลำไยแช่อิ่มอบแห้งที่ทำแห้งโดยการเคี่ยวจนน้ำตาลตกผลึก จำนวน 2 ตัวอย่าง ประกอบด้วย (5) เนื้อลำไยแห้งเมื่อเคี่ยวในปริมาณมาก (ครั้งละ 20 กิโลกรัม) และ (6) เนื้อลำไยแห้งเมื่อเคี่ยวในปริมาณน้อย (ครั้งละ 2 กิโลกรัม) (ภาพที่ 49) โดยตัวแทนผู้บริโภคจำนวน 120 คนจะถูกขอให้พิจารณาตัวอย่างทั้งหมดจากลักษณะปรากฏ และพิจารณาเรียงลำดับตามความชอบของตนเองจากลำดับที่ 1 ชอบมากที่สุด จนถึงลำดับที่ 6 ชอบน้อยที่สุด

ภาพที่ 48 เนื้อลำไยแช่อิ่มที่ทำแห้งโดยการอบแห้ง
จากซ้ายไปขวา : (1) ไม่เติมสารเคมี (2) เติมแคลเซียมคลอไรด์ร้อยละ 0.1
(3) เติมโปแตสเซียมเมตาไบซัลไฟต์ร้อยละ 0.01 และ
(4) เติมแคลเซียมคลอไรด์ร้อยละ 0.1 และโปแตสเซียมเมตาไบซัลไฟต์ร้อยละ 0.01

ภาพที่ 49 เนื้อลำไยแช่อิ่มที่ทำแห้งโดยการเคี่ยวในปริมาณมาก (ซ้าย) และในปริมาณน้อย (ขวา)

ผลการทดสอบพบว่า ตัวอย่างเนื้อลำไยแช่อิ่มอบแห้งที่เติมโปแตสเซียมเมตาไบซัลไฟต์ร้อยละ 0.01 และเนื้อลำไยที่แช่อิ่มอบแห้งที่เติมแคลเซียมคลอไรด์ร้อยละ 0.1 และโปแตสเซียมเมตาไบซัลไฟต์ร้อยละ 0.01 ได้รับการยอมรับจากผู้บริโภคมากที่สุด รองลงมา คือ เนื้อลำไยแช่อิ่มอบแห้งที่ไม่เติมสารเคมี เนื้อลำไยแช่อิ่มอบแห้งที่เติมแคลเซียมคลอไรด์ร้อยละ 0.1 และเนื้อลำไยแช่อิ่มที่ทำแห้งโดยการเคี่ยวในปริมาณน้อย ในขณะที่เนื้อลำไยแช่อิ่มที่ทำแห้งโดยการเคี่ยวในปริมาณมากได้รับการยอมรับน้อยที่สุด ($p<0.05$) ดังตารางที่ 9 เนื่องจากตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่ทำแห้งโดยการอบแห้งและการเคี่ยวในปริมาณน้อยมีลักษณะปรากฏที่ดีกว่า คือ ลักษณะเม็ดไม่ลีบแบน (ภาพที่ 48 และ 49) และตัวอย่างผลิตภัณฑ์เนื้อลำไยแช่อิ่มอบแห้งที่มีการเติมโปแตสเซียมเมตาไบซัลไฟต์ร้อยละ 0.01 ในช่วงของการแช่อิ่มมีสีคล้ำน้อยกว่าอย่างเห็นได้ชัด (ภาพที่ 48) สอดคล้องกับผลการทดลองในข้อ 3.1 ที่พบว่าเนื้อลำไยแช่อิ่มที่มีการเติมโปแตสเซียมเมตาไบซัลไฟต์ทุกตัวอย่างมีค่าสีเหลือง (b*) น้อยกว่าตัวอย่างที่ไม่เติมสารเคมี (ตัวอย่างควบคุม) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตารางที่ 9 ผลการจัดลำดับความชอบจากลักษณะปรากฏของเนื้อลำไยแช่อิ่มที่ผ่านการทำแห้งโดยตัวแทนผู้บริโภค 120 คน

ผลิตภัณฑ์	ผลรวมการจัดลำดับ
เนื้อลำไยแช่อิ่มที่ทำแห้งโดยการอบแห้ง	
- ไม่เติมสารเคมี	421[b]
- เติมแคลเซียมคลอไรด์ ร้อยละ 0.1	467[b]
- เติมโปแตสเซียมเมตาไบซัลไฟต์ ร้อยละ 0.01	318[a]
- เติมแคลเซียมคลอไรด์ ร้อยละ 0.1 และโปแตสเซียมเมตาไบซัลไฟต์ ร้อยละ 0.01	320[a]
เนื้อลำไยแช่อิ่มที่ทำแห้งโดยการเคี่ยว	
- เมื่อเคี่ยวในปริมาณมาก (ครั้งละ 20 กิโลกรัม)	561[c]
- เมื่อเคี่ยวในปริมาณน้อย (ครั้งละ 2 กิโลกรัม)	433[b]

หมายเหตุ: ผลรวมการจัดลำดับน้อย หมายถึง ได้รับการยอมรับมากกว่า

a, b, ... ผลรวมการจัดลำดับที่มีตัวอักษรกำกับต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

จากผลการทดสอบข้างต้นสามารถเห็นได้อย่างชัดเจนว่า เนื้อลำไยแช่อิ่มที่ทำแห้งโดยการอบแห้งมีลักษณะปรากฏ ซึ่งเป็นลักษณะแรกที่ผู้บริโภคจะใช้ในการประเมินตัวอย่างอาหารก่อนพิจารณารับประทานหรือซื้อ ดีกว่าเนื้อลำไยแช่อิ่มที่ทำแห้งโดยการเคี่ยวในปริมาณมาก และถึงแม้ว่าเนื้อลำไยแช่อิ่มที่ทำแห้งโดยการเคี่ยวในปริมาณน้อย จะมีผลรวมการจัดลำดับแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ($p>0.05$) แต่การเคี่ยวในปริมาณน้อยเป็นวิธีที่ไม่เหมาะสมสำหรับการผลิตในปริมาณมากๆ จึงพิจารณานำเฉพาะตัวอย่างเนื้อลำไยแช่อิ่มที่ทำแห้งโดยการอบแห้งทั้ง 4 ตัวอย่างไปทดสอบการยอมรับตามลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านต่างๆ ในขั้นตอนต่อไป

5.1.3 ผลการทดสอบการยอมรับของเนื้อลำไยแช่อิ่มอบแห้ง

เมื่อนำตัวอย่างเนื้อลำไยแช่อิ่มอบแห้งทั้ง 4 ตัวอย่างที่เลือกได้จากข้อ 5.1.1 คือ (1) เนื้อลำไยที่แช่อิ่มโดยซูโครสเมื่อไม่เติมสารเคมี (2) เนื้อลำไยที่แช่อิ่มโดยซูโครสเมื่อเติมแคลเซียมคลอไรด์ร้อยละ 0.1 (3) เนื้อลำไยที่แช่อิ่มโดยซูโครสเมื่อเติมโปแตสเซียมเมตาไบซัลไฟต์ร้อยละ 0.01 และ (4) เนื้อลำไยที่แช่อิ่มโดยซูโครสเมื่อเติมแคลเซียมคลอไรด์ร้อยละ 0.1 และโปแตสเซียมเมตาไบซัลไฟต์ร้อยละ 0.01 มาทำการทดสอบการยอมรับจากตัวแทนผู้บริโภคจำนวน 120 คน โดยให้ตัวแทนผู้บริโภคทดสอบและประเมินลักษณะต่างๆ ของผลิตภัณฑ์ ซึ่งประกอบด้วย ลักษณะปรากฏ กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัสและความชอบรวม โดยใช้ 9-point hedonic scale (1 หมายถึง ไม่ชอบมากอย่างยิ่ง 5 หมายถึง เฉยๆ และ 9 หมายถึง ชอบมากอย่างยิ่ง)

ผลการทดลองพบว่า เนื้อลำไยแช่อิ่มที่เติมแคลเซียมคลอไรด์มีค่าเฉลี่ยคะแนนความชอบด้านกลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบรวมสูงกว่าตัวอย่างเนื้อลำไยแช่อิ่มที่ไม่เติมสารเคมีและเนื้อลำไยแช่อิ่มอบแห้งที่เติมโปแตสเซียมเมตาไบซัลไฟต์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ในขณะที่เนื้อลำไยแช่อิ่มอบแห้งที่เติมแคลเซียมคลอไรด์และโปแตสเซียมเมตาไบซัลไฟต์ มีค่าเฉลี่ยคะแนนความชอบแตกต่างจากตัวอย่างอื่นๆ อย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ในทุกลักษณะ (ตารางที่ 10) เนื่องจากแคลเซียมคลอไรด์แตกตัวให้อนุมูลแคลเซียมที่เมื่อทำปฏิกิริยากับสารประกอบเพกทิกในเนื้อของของผักผลไม้จะเกิดเป็นเกลือแพกเตท ทำให้โครงสร้างของเซลล์ผักผลไม้แข็งแรงขึ้นและทนต่อความร้อนได้มากขึ้น (สินธนา, 2535) ตัวอย่างเนื้อลำไยแช่อิ่มอบแห้งที่มีการเติมสารละลายแคลเซียมคลอไรด์จึงมีเนื้อสัมผัสที่ดีกว่าตัวอย่างที่ไม่เติมแคลเซียมคลอไรด์ แต่อิทธิพลของแคลเซียมคลอไรด์นี้กลับไม่เห็นผลอย่างมีนัยสำคัญในข้อ 3.1 เนื่องจากข้อมูลมีความแปรปรวนสูง ซึ่งความแตกต่างนี้อาจเกิดจากขนาดของตัวอย่างที่ใช้ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมาก กล่าวคือ การทดสอบทางประสาทสัมผัสในข้อ 5.1.2 นี้ใช้ผู้ทดสอบคือ ตัวแทนผู้บริโภค (ขนาดตัวอย่าง) ถึง 120 คนซึ่งมากกว่าการการวัดแรงเฉือนในข้อ 3.1 ซึ่งใช้

จำนวนตัวอย่าง (ขนาดตัวอย่าง) เพียง 10 ตัวอย่างในแต่ละซ้ำ ทำให้ความแปรปรวนที่เกิดขึ้นจากการใช้ขนาดตัวอย่างน้อยมีค่าสูงกว่า นอกจากนี้ผลการประเมินตัวอย่างโดยพิจารณาจากความชอบซึ่งมีความแตกต่างกันออกไปในแต่ละบุคคล และความแตกต่างของความละเอียดที่วัดโดยผู้ทดสอบและเครื่องมือก็เป็นอีกเหตุผลหนึ่งที่สามารถนำมาใช้อธิบายถึงความแตกต่างของผลการทดสอบเนื้อสัมผัสที่ได้จากการใช้เครื่องมือและการใช้ผู้ทดสอบ (ตัวแทนผู้บริโภค) ในการประเมินหรือวัดค่าได้

ตารางที่ 10 ผลการประเมินการยอมรับของเนื้อลำไยแช่อิ่มอบแห้งโดยตัวแทนผู้บริโภค 120 คน

เนื้อลำไยแช่อิ่มที่ทำแห้งโดยการอบแห้ง	ลักษณะปรากฏ^{ns}	กลิ่น	รสชาติ	เนื้อสัมผัส	ความชอบรวม
- ไม่เติมสารเคมี	5.35 ± 1.60	5.37^{b} ± 1.46	5.51^{b} ± 1.88	5.04^{b} ± 1.63	5.60^{b} ± 1.50
- เติมแคลเซียมคลอไรด์ ร้อยละ 0.1	5.49 ± 1.57	5.69^{a} ± 1.38	5.98^{a} ± 1.47	5.57^{a} ± 1.52	5.94^{a} ± 1.42
- เติมโปแตสเซียมเมตาไบซัลไฟต์ ร้อยละ 0.01	5.28 ± 1.48	5.22^{b} ± 1.44	5.56^{b} ± 1.71	5.24^{b} ± 1.56	5.63^{b} ± 1.52
- เติมแคลเซียมคลอไรด์ ร้อยละ 0.1 และโปแตสเซียมเมตาไบซัลไฟต์ ร้อยละ 0.01	5.30 ± 1.59	5.49^{ab} ± 1.46	5.80^{ab} ± 1.80	5.29^{ab} ± 1.74	5.69^{ab} ± 1.58

หมายเหตุ: ค่าที่แสดงในตาราง คือ ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (จากสเกล 1 (ไม่ชอบมากอย่างยิ่ง) - 9 (ชอบมากอย่างยิ่ง))

a, b, ... ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรกำกับต่างกันในแต่ละสดมภ์มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ns ค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

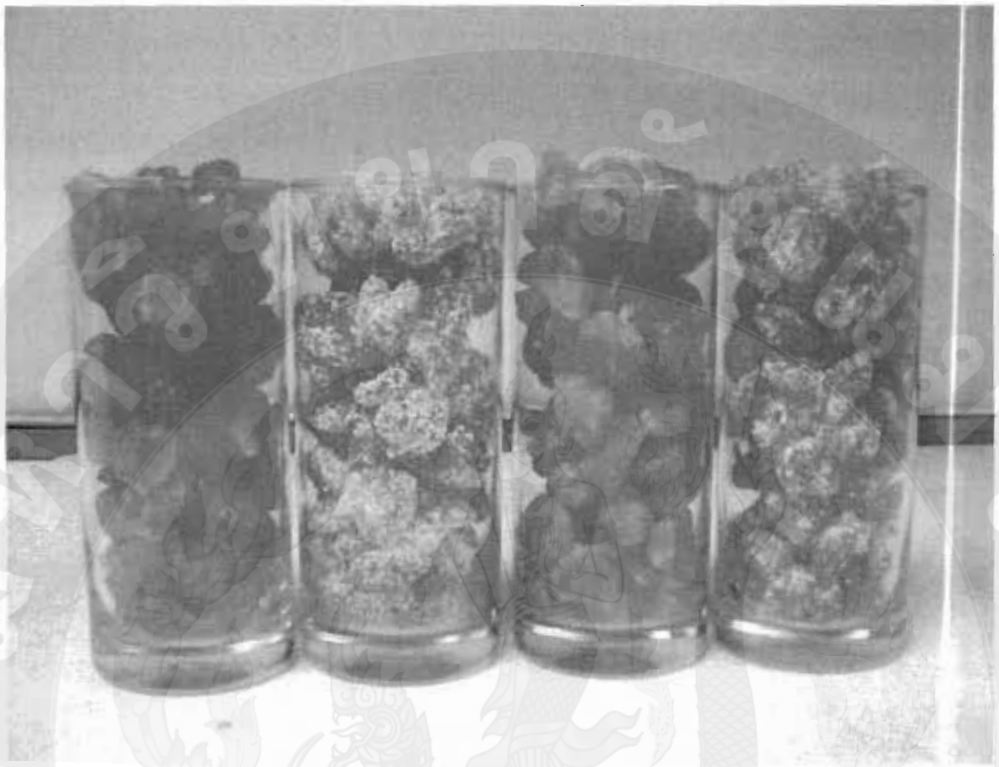
ส่วนความแตกต่างของคะแนนการยอมรับด้านกลิ่นและรสชาตินั้นน่าจะเกิดจากอิทธิพลจากการประเมินตัวอย่างหลายลักษณะร่วมกัน ทำให้ผลการประเมินของแต่ละลักษณะมีผลต่อกัน (Halo effect) มากกว่า (Meilgaard *et al.*, 1999)

สำหรับผลการทดลองในข้อ 5.1.1 ที่พบความแตกต่างด้านความชอบเมื่อให้ตัวแทนผู้บริโภคประเมินตัวอย่างโดยพิจารณาจากลักษณะปรากฏเพียงลักษณะเดียวด้วยวิธีการจัดลำดับ และพบว่าเนื้อลำไยแช่อิ่มอบแห้งที่เติมโปแตสเซียมเมตาไบซัลไฟต์ได้รับการยอมรับมากกว่า ซึ่งผลการทดลองที่ได้แตกต่างไปจากการทดสอบในข้อ 5.1.2 นี้นั้น น่าจะเป็นผลมาจาก 2 กรณี คือ (1) วิธีการหรือสเกลที่ใช้ในการทดสอที่แตกต่างกัน (การจัดลำดับ และ การให้คะแนน หรือ สเกลอันดับ และ สเกลอันตรภาค) และ (2) อิทธิพลจากการประเมินตัวอย่างหลายลักษณะร่วมกัน (Halo effect) (การประเมินเพียงลักษณะเดียว และ การประเมินหลายลักษณะร่วมกัน)

เมื่อนำผลการทดลองในข้อ 5.1.1 และ 5.1.2 มาพิจารณาร่วมกัน จึงอาจสรุปได้ว่าผลิตภัณฑ์เนื้อลำไยแช่อิ่มอบแห้งที่น่าจะได้รับการยอมรับมากที่สุด คือ ผลิตภัณฑ์เนื้อลำไยแช่อิ่มอบแห้งที่มีการเติมแคลเซียมคลอไรด์ร้อยละ 0.1 และโปแตสเซียมคลอไรด์ร้อยละ 0.01 เนื่องจากเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีทั้งลักษณะปรากฏและเนื้อสัมผัสที่เป็นที่ยอมรับของตัวแทนผู้บริโภค แต่อย่างไรก็ตามเนื้อลำไยแช่อิ่มอบแห้งในที่นี้ได้รับคะแนนความชอบไม่มากนัก (5.60 - 5.69) เนื่องจากผลิตภัณฑ์มีเนื้อสัมผัสที่ค่อนข้างแข็ง จึงเหมาะที่จะนำไปใช้เป็นส่วนผสมหรือวัตถุดิบสำหรับการประกอบเป็นอาหารต่างๆ มากกว่าการนำมารับประทานโดยตรง

5.2 ผลการทดสอบการยอมรับเนื้อลำไยแช่อิ่มอบแห้งในลักษณะของอาหารรับประทานเล่น

เมื่อนำเนื้อลำไยแช่อิ่มอบแห้งในลักษณะของอาหารรับประทานเล่นที่ผลิตได้จากข้อ 4 คือ เนื้อลำไยแช่อิ่มอบแห้งที่แช่อิ่มในสารละลายซูโครส 2 วันร่วมกับสารละลายกลูโคสไซรัป 2 วัน และเนื้อลำไยแช่อิ่มอบแห้งที่แช่อิ่มในสารละลายซูโครส 1 วันร่วมกับสารละลายกลูโคสไซรัป 3 วัน และตัวอย่างทั้งสองที่คลุกด้วยซอร์บิทอลเพื่อลดดูดซับความชื้นและปรับปรุงลักษณะทางประสาทสัมผัส (ภาพที่ 50) มาทำการทดสอบการยอมรับจากตัวแทนผู้บริโภคจำนวน 120 คน โดยให้ตัวแทนผู้บริโภคทดสอบและประเมินลักษณะต่างๆ ของผลิตภัณฑ์ ซึ่งประกอบด้วย ลักษณะปรากฏ กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัสและความชอบรวม โดยใช้ 9-point hedonic scale (1 หมายถึง ไม่ชอบมากอย่างยิ่ง 5 หมายถึง เฉยๆ และ 9 หมายถึง ชอบมากอย่างยิ่ง)



ภาพที่ 50 เนื้อลำไยแช่อิ่มอบแห้งในลักษณะของอาหารรับประทานเล่น

จากซ้ายไปขวา :

(1) เนื้อลำไยแช่อิ่มอบแห้งที่แช่อิ่มในสารละลายซูโครส 2 วันร่วมกับสารละลายกลูโคสไซรัป 2 วัน

(2) เนื้อลำไยแช่อิ่มอบแห้งที่แช่อิ่มในสารละลายซูโครส 2 วันร่วมกับสารละลายกลูโคสไซรัป 2 วัน คลุกด้วยซอร์บิทอล

(3) เนื้อลำไยแช่อิ่มอบแห้งที่แช่อิ่มในสารละลายซูโครส 1 วันร่วมกับสารละลายกลูโคสไซรัป 3 วัน

(2) เนื้อลำไยแช่อิ่มอบแห้งที่แช่อิ่มในสารละลายซูโครส 1 วันร่วมกับสารละลายกลูโคสไซรัป 3 วัน คลุกด้วยซอร์บิทอล

ผลการทดลองพบว่า เนื้อลำไยแช่อิ่มอบแห้งที่แช่อิ่มในสารละลายซูโครส 2 วันร่วมกับสารละลายกลูโคสไซรัป 2 วันได้รับคะแนนการยอมรับสูงสุดในทุกลักษณะที่ทำการทดสอบ ($p<0.05$) เนื้อลำไยแช่อิ่มอบแห้งที่แช่อิ่มในสารละลายซูโครส 2 วันร่วมกับสารละลายกลูโคสไซรัป 2 วันคลุกด้วยซอร์บิทอลได้รับคะแนนการยอมรับเป็นอันดับสองในด้านรสชาติ เนื้อสัมผัสและความชอบรวม ($p<0.05$) แต่มีคะแนนการยอมรับแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) จากตัวอย่างที่ไม่ได้คลุกด้วยซอร์บิทอลในด้านกลิ่น และมีคะแนนการยอมรับแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) จากเนื้อลำไยแช่อิ่มในสารละลายซูโครส 1 วันร่วมกับสารละลายกลูโคสไซรัป 3 วัน ทั้งตัวอย่างที่ไม่คลุกและคลุกด้วยซอร์บิทอล ซึ่งตัวอย่างทั้งสองนี้มีคะแนนการยอมรับแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ในทุกลักษณะที่ทำการทดสอบ (ตารางที่ 11)

เนื่องจากเนื้อลำไยแช่อิ่มอบแห้งในสารละลายซูโครส 2 วันร่วมกับสารละลายกลูโคสไซรัป 2 วันมีความเหนียวน้อยกว่า แต่มีความหวานมากกว่า เนื้อลำไยแช่อิ่มอบแห้งในสารลายซูโครส 1 วันร่วมกับสารละลายกลูโคสไซรัป 3 วัน เนื่องจากกลูโคสไซรัปที่ใช้ในการทดลองนี้มีค่า DE (Dextrose equivalent ซึ่งหมายถึง ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์เป็นร้อยละเมื่อคำนวณออกมาในรูปของน้ำตาลกลูโคส) ต่ำ ซึ่งเป็นกลูโคสไซรัปที่มีความหนืดสูง มีความหวานและความคงตัวของกลิ่นและรสต่ำ (กล้าณรงค์, 2542) การแช่อิ่มในสารละลายกลูโคสไซรัปเป็นเวลานานกว่า จึงทำให้เนื้อลำไยแช่อิ่มมีค่าการต้านแรงเฉือนสูงขึ้น มีรสหวานและมีความคงตัวของกลิ่นและรสน้อยกว่า จึงสามารถสรุปได้ว่า ตัวแทนผู้บริโภคยอมรับเนื้อลำไยแช่อิ่มอบแห้งในลักษณะของอาหารรับประทานเล่นที่มีความเหนียวไม่มากนัก มีรสค่อนข้างหวาน และมีกลิ่นและรสของลำไยมากกว่า

ส่วนการคลุกด้วยซอร์บิทอลเพื่อลดดูดซับความชื้นและปรับปรุงลักษณะทางประสาทสัมผัสนั้น กลับมีผลทำให้เนื้อลำไยแช่อิ่มอบแห้งในลักษณะของอาหารรับประทานเล่นได้รับการยอมรับลดลง เนื่องจากทำให้คะแนนการยอมรับในด้านลักษณะปรากฏ รสชาติ เนื้อสัมผัสและความชอบรวมมีค่าลดต่ำลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ดังนั้นเนื้อลำไยแช่อิ่มอบแห้งที่แช่อิ่มในสารละลายซูโครส 2 วันร่วมกับสารละลายกลูโคสไซรัป 2 วัน จึงเป็นตัวอย่างที่เหมาะสมที่สุด สำหรับการใช้เป็นผลิตภัณฑ์เนื้อลำไยแช่อิ่มอบแห้งในลักษณะของอาหารรับประทานเล่นต่อไป

ตารางที่ 11 ผลการประเมินการยอมรับของเนื้อลำไยแช่อิ่มอบแห้งในลักษณะของอาหารรับประทานเล่นโดยตัวแทนผู้บริโภค 120 คน

เนื้อลำไยแช่อิ่มอบแห้งที่แช่อิ่มในสารละลาย	ลักษณะปรากฏ	กลิ่น	รสชาติ	เนื้อสัมผัส	ความชอบรวม
- ซูโครส 2 วัน + กลูโคสไซรัป 2 วัน	$6.23^{a} \pm 1.08$	$6.03^{a} \pm 1.33$	$6.68^{a} \pm 1.28$	$6.59^{a} \pm 1.44$	$6.71^{a} \pm 1.19$
- ซูโครส 2 วัน + กลูโคสไซรัป 2 วัน คลุกด้วยซอร์บิทอล	$5.87^{b} \pm 1.34$	$5.88^{a} \pm 1.20$	$6.30^{b} \pm 1.18$	$6.09^{b} \pm 1.35$	$6.34^{b} \pm 1.20$
- ซูโครส 1 วัน + กลูโคสไซรัป 3 วัน	$5.83^{b} \pm 1.44$	$5.51^{b} \pm 1.14$	$5.84^{c} \pm 1.45$	$5.45^{c} \pm 1.62$	$5.86^{c} \pm 1.38$
- ซูโครส 1 วัน + กลูโคสไซรัป 3 วัน คลุกด้วยซอร์บิทอล	$5.88^{b} \pm 1.39$	$5.62^{b} \pm 1.23$	$5.98^{c} \pm 1.46$	$5.61^{c} \pm 1.63$	$5.95^{c} \pm 1.43$

หมายเหตุ: ค่าที่แสดงในตาราง คือ ค่าเฉลี่ย $\pm$ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (จากสเกล 1 (ไม่ชอบมากอย่างยิ่ง) - 9 (ชอบมากอย่างยิ่ง))

a, b, ... ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรกำกับต่างกันในแต่ละสดมภ์มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

5.3 **ผลการทดสอบการยอมรับน้ำตาลลำไยและน้ำเชื่อมลำไย**

น้ำตาลลำไยและน้ำเชื่อมลำไยซึ่งเป็นผลพลอยได้จากกระบวนการแช่อิ่มเนื้อลำไยในข้อ 3 และ 4 โดยน้ำตาลลำไยได้มาจากการเคี่ยวนำน้ำเชื่อมซูโครสจนน้ำตาลตกผลึก ส่วนน้ำเชื่อมลำไยได้จากการนำน้ำเชื่อมซูโครสที่มี pH ต่ำกว่า 4.0 หรือน้ำเชื่อมกลูโคสไซรัปมาต้มให้เดือด 15 นาที บรรจุขวดแก้วขณะร้อน ปิดฝาให้สนิท และทำให้เย็น

เมื่อนำน้ำตาลลำไยมาให้ตัวแทนผู้บริโภคจำนวน 120 คนประเมินการยอมรับโดยการพิจารณาจากลักษณะปรากฏของน้ำตาลลำไย และประเมินการยอมรับด้านลักษณะปรากฏ กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบรวม ของน้ำลำไยแบบร้อนและเย็นที่เตรียมโดยใช้น้ำตาลลำไยร้อยละ 10 (ภาพที่ 51) ส่วนน้ำเชื่อมลำไย (ภาพที่ 52) ตัวแทนผู้บริโภคถูกขอให้ประเมินการยอมรับจากลักษณะปรากฏและกลิ่นของน้ำเชื่อมลำไย โดยใช้ 9-point hedonic scale (1 หมายถึง ไม่ชอบมากอย่างยิ่ง 5 หมายถึง เฉยๆ และ 9 หมายถึง ชอบมากอย่างยิ่ง) ในการประเมิน พบว่า ได้ผลการประเมินดังตารางที่ 12 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าลักษณะปรากฏของน้ำตาลลำไย และน้ำเชื่อมลำไยได้รับการยอมรับจากตัวแทนผู้บริโภคในระดับหนึ่ง (6.65 – 6.75) กลิ่นของน้ำเชื่อมลำไยได้รับการยอมรับสูงกว่ากลิ่นของน้ำลำไยทั้งแบบร้อนและแบบเย็นที่เตรียมจากน้ำตาลลำไย ($p<0.05$) เนื่องจากน้ำเชื่อมลำไยมีกลิ่นลำไยแรงกว่า และน้ำลำไยแบบเย็นที่เตรียมจากน้ำตาลลำไยมีแนวโน้มการได้รับการยอมรับสูงกว่าน้ำลำไยแบบร้อนที่เตรียมจากน้ำตาลลำไย ($p<0.05$) เนื่องจากประเทศไทยมีอากาศที่ค่อนข้างร้อน เครื่องดื่มเย็นจึงได้รับการยอมรับมากกว่า นอกจากนี้อุณหภูมิของเครื่องดื่มยังมีผลต่อความไวของประสาทสัมผัสของผู้บริโภคอีกด้วย (Resurreccion, 1998)

ภาพที่ 51 น้ำตาลลำไยและน้ำลำไยแบบร้อนน้ำลำไยแบบร้อนและเย็นที่เตรียมโดยใช้น้ำตาลลำไยร้อยละ 10

ภาพที่ 52 น้ำเชื่อมลำไย

ตารางที่ 12 ผลการประเมินการยอมรับของน้ำตาลลำไยและน้ำเชื่อมลำไย โดยตัวแทนผู้บริโภค 120 คน

	ลักษณะปรากฏ	กลิ่น	รสชาติ	เนื้อสัมผัส	ความชอบรวม
- น้ำตาลลำไย	$6.75^{ab} \pm 1.23$	-	-	-	-
- น้ำลำไยแบบร้อน	$6.52^{b} \pm 1.42$	$6.69^{b} \pm 1.27$	$6.97^{b} \pm 1.33$	$6.77^{b} \pm 1.16$	$6.98^{b} \pm 1.15$
- น้ำลำไยแบบเย็น	$6.97^{a} \pm 1.45$	$6.73^{b} \pm 1.42$	$7.30^{a} \pm 1.29$	$7.10^{a} \pm 1.20$	$7.42^{a} \pm 1.17$
- น้ำเชื่อมลำไย	$6.65^{b} \pm 1.38$	$7.20^{a} \pm 1.34$	-	-	-

หมายเหตุ: ค่าที่แสดงในตาราง คือ ค่าเฉลี่ย $\pm$ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (จากสเกล 1 (ไม่ชอบมากอย่างยิ่ง) - 9 (ชอบมากอย่างยิ่ง))

a, b, ... ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรกำกับต่างกันในแต่ละสดมภ์มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

6. ผลการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่ากิจกรรมของน้ำและความชื้นของเนื้อลำไยแช่อิ่มอบแห้ง

ค่ากิจกรรมของน้ำและความชื้น (ร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง) ของตัวอย่างเนื้อลำไยแช่อิ่มอบแห้งทั้ง 4 ตัวอย่าง คือ (1) เนื้อลำไยแช่อิ่มอบแห้งที่แช่อิ่มในสารละลายซูโครส 70 องศาบริกซ์ เป็นเวลา 3 วัน (2) เนื้อลำไยแช่อิ่มอบแห้งที่แช่อิ่มในสารละลายซูโครส 70 องศาบริกซ์ 2 วัน ร่วมกับสารละลายกลูโคสไซรัป70 องศาบริกซ์ 2 วัน (3) เนื้อลำไยแช่อิ่มอบแห้งที่แช่อิ่มในสารละลายซูโครส 70 องศาบริกซ์ 1 วันร่วมกับสารละลายกลูโคสไซรัป 70 องศาบริกซ์ 3 วัน และ (4) เนื้อลำไยแช่อิ่มอบแห้งที่แช่อิ่มในสารละลายกลูโคสไซรัป 70 องศาบริกซ์ เป็นเวลา 4 วัน ก่อนบรรจุในภาชนะปิดสนิทที่มีสารละลายเกลืออิ่มตัวชนิดต่างๆ อยู่ แสดงดังตารางที่ 13 พบว่า การแช่อิ่มในสารละลายกลูโคสไซรัปมีแนวโน้มทำให้เนื้อลำไยแช่อิ่มอบแห้งที่ได้มีค่ากิจกรรมของน้ำและความชื้นลดลง เนื่องจากกลูโคสไซรัปมีสมบัติในการลดความชื้นสัมพันธ์สมดุล (Equilibrium relative humidity, ERH) ของอาหาร (Schenck and Hebeda, 1992) และเมื่อนำค่าที่ได้จากตัวอย่างที่เก็บไว้ในภาชนะปิดสนิทที่มีสารละลายเกลืออิ่มตัวชนิดต่างๆ จนกระทั่งถึงสภาวะสมดุลมาสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ากิจกรรมของน้ำและความชื้น (Sorption isotherm) ดัง

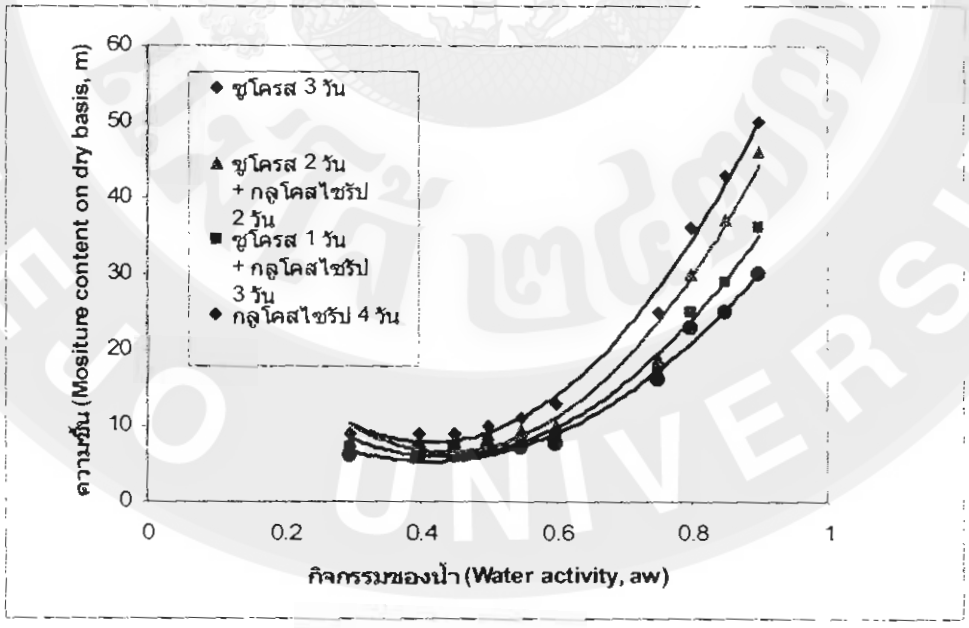
ภาพที่ 53 พบว่า ที่ค่ากิจกรรมของน้ำระดับเดียวกัน เนื้อลำไยอบแห้งที่ผ่านการแช่อิ่มในสารละลายกลูโคสไซรัปมีความชื้นต่ำกว่าเนื้อลำไยอบแห้งที่ผ่านการแช่อิ่มในสารละลายซูโครส และการเปลี่ยนแปลงความชื้นของเนื้อลำไยอบแห้งที่ผ่านการแช่อิ่มในสารละลายซูโครสจะมีแนวโน้มสูงกว่า (กราฟมีความชันมากกว่า) ทำให้สามารถอนุมานได้ว่าเนื้อลำไยอบแห้งที่ผ่านการแช่อิ่มในสารละลายซูโครสเพียงอย่างเดียวจะมีอายุการเก็บสั้นกว่าเนื้อลำไยอบแห้งที่ผ่านการแช่อิ่มในสารละลายกลูโคสไซรัปร่วมด้วย หรือ แช่อิ่มในสารละลายกลูโคสไซรัปเพียงอย่างเดียว

เมื่อนำข้อมูลความสัมพันธ์ระหว่างค่ากิจกรรมของน้ำและความชื้นที่ได้จากการทดลองมาอธิบายโดยใช้แบบจำลอง Brunauer-Emmett-Teller; BET และ Gugenheim-Anderson de Boer; GAB (Boquet *et al.*, 1978; Roos, 1993; Timmermann *et al.*, 2001) ดังภาพที่ 54 และ 55 ตามลำดับ พบว่า ข้อมูลที่ได้จากการทดลองครั้งนี้สามารถใช้แบบจำลองทั้งสองอธิบายได้ แต่แบบจำลอง GAB (r^2 = 0.893-0.941) จะสามารถอธิบายความสัมพันธ์ของข้อมูลจากการทดลองนี้ได้ดีกว่าแบบจำลอง BET (r^2 = 0.800-0.856) เนื่องจากค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (r^2) มีค่าสูงกว่า สอดคล้องกับงานวิจัยอื่นๆ เช่น Elmonsef Omar and Roos (2007) เป็นต้น ทั้งนี้เพราะแบบจำลอง BET จะให้ค่าที่ถูกต้องในช่วงค่ากิจกรรมของน้ำเท่ากับ 0.05-0.45 (Labuza, 1968)

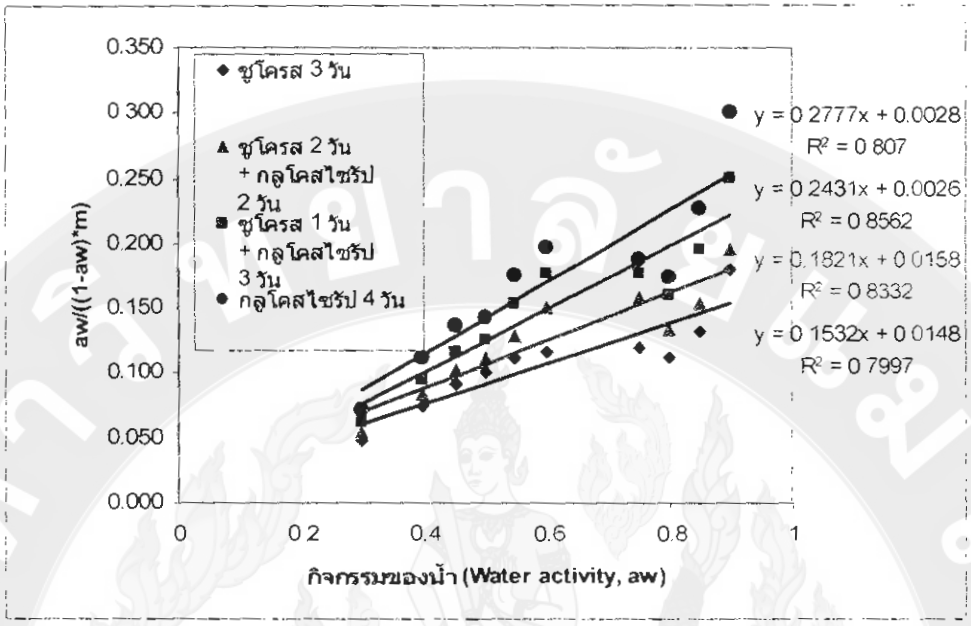
นอกจากนี้การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่ากิจกรรมของน้ำและความชื้นในครั้งนี้ยังทำให้ทราบว่า หากเนื้อลำไยแช่อิ่มอบแห้งมีค่ากิจกรรมของน้ำตั้งแต่ 0.80 ขึ้นไป จะทำให้เกิดการเสื่อมเสียเนื่องจากเชื้อราภายในระยะเวลา 2 สัปดาห์ ดังนั้นการเก็บรักษาเนื้อลำไยอบแห้งที่ผลิตได้จึงต้องพยายามควบคุมไม่ให้เนื้อลำไยอบแห้งดูดซับความชื้นจากสิ่งแวดล้อมจนทำให้มีค่ากิจกรรมของน้ำสูงถึง 0.8 ซึ่งในการทดลองนี้พบว่า ผลิตภัณฑ์ที่เกิดการเสื่อมเสียได้เร็วที่สุด เมื่อเก็บในถุงพลาสติกโพลีโพรไพลีนปิดผนึกที่อุณหภูมิห้อง คือ เนื้อลำไยอบแห้งที่แช่อิ่มในสารละลายซูโครสเพียงอย่างเดียว โดยมีอายุการเก็บรักษาประมาณ 1-2 เดือน ในขณะที่เนื้อลำไยแช่อิ่มในสารละลายซูโครสร่วมกับสารละลายกลูโคสไซรัป และเนื้อลำไยแช่อิ่มในสารละลายกลูโคสไซรัปนั้น สามารถเก็บไว้ได้นานกว่า 9 เดือนในสภาวะเดียวกัน

ตารางที่ 13 ค่ากิจกรรมของน้ำและความชื้น (ร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง) ของตัวอย่างเนื้อลำไยแช่อิ่มอบแห้ง

	กิจกรรมของน้ำ	ความชื้น
- เนื้อลำไยแช่อิ่มอบแห้งที่แช่อิ่มในสารละลายซูโครส 70 องศาบริกซ์ เป็นเวลา 3 วัน	0.713	17.79
- เนื้อลำไยแช่อิ่มอบแห้งที่แช่อิ่มในสารละลายซูโครส 70 องศาบริกซ์ 2 วันร่วมกับสารละลายกลูโคสไซรัป 70 องศาบริกซ์ 2 วัน	0.678	13.12
- เนื้อลำไยแช่อิ่มอบแห้งที่แช่อิ่มในสารละลายซูโครส 70 องศาบริกซ์ 1 วันร่วมกับสารละลายกลูโคสไซรัป 70 องศาบริกซ์ 3 วัน	0.630	11.18
- เนื้อลำไยแช่อิ่มอบแห้งที่แช่อิ่มในสารละลายกลูโคสไซรัป 70 องศาบริกซ์ เป็นเวลา 4 วัน	0.602	9.37

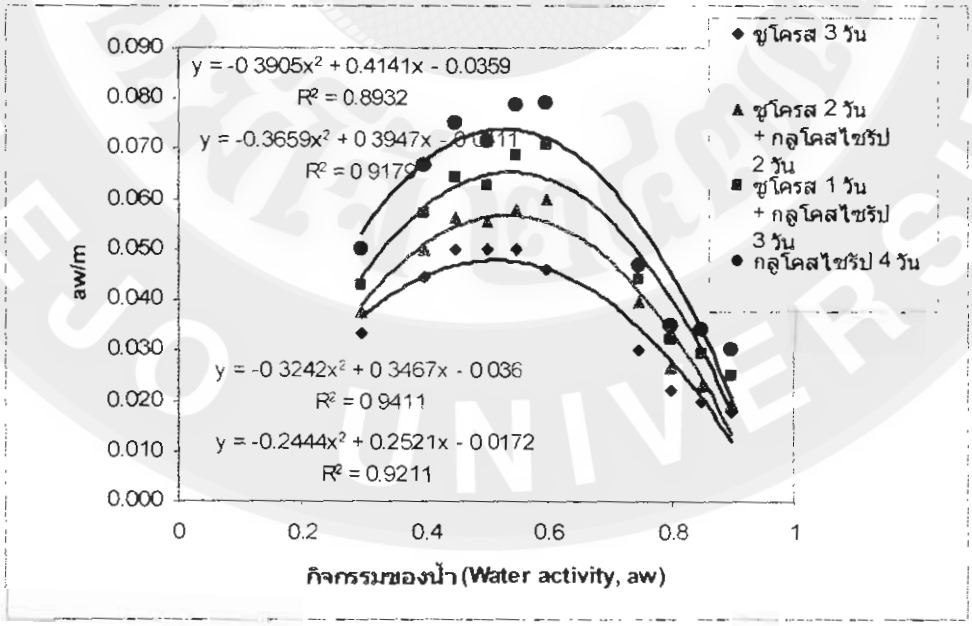


ภาพที่ 53 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากิจกรรมของน้ำและความชื้นของเนื้อลำไยอบแห้ง



ภาพที่ 54 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากิจกรรมของน้ำและความชื้นของเนื้อลำไยอบแห้งตามแบบจำลอง Brunauer-Emmett-Teller; BET

(aw/[(1-aw)*m] = 1/(mo*c) + [(c-1)/(mo*c)]*aw)



ภาพที่ 55 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากิจกรรมของน้ำและความชื้นของเนื้อลำไยอบแห้งตามแบบจำลอง Gugenheim-Anderson de Boer; GAB

(aw/m = (k/mo)*((1/c)-1)*aw² + (c-2)/(mo*c)*aw+ 1/(mo*c*k))

สรุปผล

1. การศึกษาอิทธิพลของชนิดน้ำตาลและสารเคมีในกระบวนการแช่อิ่มแบบช้าพบว่า การใช้กลูโคสไซรัปในการแช่อิ่มจะทำให้น้ำหนักเฉลี่ยต่อผลมีแนวโน้มลดลงมากกว่าการใช้ซูโครสและกลูโคสอย่างเห็นได้ชัด ส่วนการใช้สารเคมี ได้แก่ แคลเซียมคลอไรด์ความเข้มข้นร้อยละ 0.1 กรดซิตริกความเข้มข้นร้อยละ 0.1 และโปแตสเซียมเมตาไบซัลไฟต์ความเข้มข้นร้อยละ 0.01 โดยมีการใช้สารเคมีชนิดใดชนิดหนึ่ง การใช้สารเคมีสองชนิดร่วมกัน หรือ ทั้งสามชนิดร่วมกัน ไม่ก่อให้เกิดความแตกต่างของค่าที่ติดตามจากตัวอย่างควบคุม
2. การศึกษาอิทธิพลของความเข้มข้นของน้ำตาลที่ใช้ในกระบวนการแช่อิ่มพบว่า การใช้ความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลเท่ากับ 70 องศาบริกซ์ตั้งแต่วันแรก และปรับให้มีค่า 70 องศาบริกซ์ในทุกๆ วันที่ทำการแช่อิ่มช่วยลดระยะเวลาในการแช่อิ่มลงได้ 1 – 2 วัน
3. การศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิและชนิดน้ำตาลในกระบวนการแช่อิ่มแบบเร็วพบว่า การเพิ่มอุณหภูมิสูงขึ้นในช่วง 30 – 90 องศาเซลเซียส มีผลทำให้น้ำตาลซึมผ่านเข้าไปในเนื้อลำไยได้มากขึ้น โดยน้ำตาลกลูโคสจะซึมผ่านเข้าไปได้เร็วกว่าน้ำตาลซูโครสและกลูโคสไซรัปตามลำดับ
4. การศึกษาอิทธิพลของชนิดน้ำตาลและสารเคมีในกระบวนการแช่อิ่มแบบเร็วพบว่า สารเคมีที่ใช้ คือ แคลเซียมคลอไรด์ความเข้มข้นร้อยละ 0.1 กรดซิตริกความเข้มข้นร้อยละ 0.1 และโปแตสเซียมเมตาไบซัลไฟต์ความเข้มข้นร้อยละ 0.01 โดยมีการใช้สารเคมีชนิดใดชนิดหนึ่ง การใช้สารเคมีสองชนิดร่วมกัน หรือ ทั้งสามชนิดร่วมกัน ไม่ก่อให้เกิดความแตกต่างของค่าที่ติดตามจากตัวอย่างควบคุม และการใช้อุณหภูมิสูงทำให้เนื้อลำไยแช่อิ่มที่ได้จากการแช่อิ่มโดยใช้น้ำตาลทั้ง 3 ชนิดมีสีน้ำตาลเช่นเดียวกัน
5. การศึกษาอิทธิพลของชนิดสารเคมีต่อการกระบวนการทำแห้งพบว่า สามารถใช้โปแตสเซียมเมตาไบซัลไฟต์ความเข้มข้นร้อยละ 0.01 ในการผลิตเนื้อลำไยแช่อิ่มอบแห้งโดยใช้ตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสเพื่อลดการเกิดสีน้ำตาลของผลิตภัณฑ์ที่จะเกิดขึ้นระหว่างการอบแห้งได้ โดยความเข้มข้นของโปแตสเซียมเมตาไบซัลไฟต์ในระดับนี้มีค่าต่ำกว่าปริมาณสาร ประกอบซัลไฟต์ที่มีการอนุญาตให้ใช้ในผลไม้แห้งและผักแห้งตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 84 ซึ่งระบุปริมาณสูงสุดที่อนุญาตให้ใช้ไม่เกิน 2,500 มิลลิกรัม/กิโลกรัม

6. เนื้อลำไยแช่อิ่มอบแห้งที่ผ่านการแช่อิ่มในสารละลายซูโครสจะมีรสหวานมากและเนื้อสัมผัสค่อนข้างแข็ง เนื้อลำไยแช่อิ่มอบแห้งที่ผ่านการแช่อิ่มในสารละลายกลูโคสไซรัปจะมีเนื้อสัมผัสเหนียวและแข็ง เนื้อลำไยแช่อิ่มอบแห้งที่ผ่านการแช่อิ่มในสารละลายกลูโคสจะไม่คงตัว มีการตกผลึกของกลูโคสที่บริเวณผิวนอกเมื่อเวลาผ่านไป
7. การทดสอบการยอมรับของเนื้อลำไยแช่อิ่มอบแห้งพบว่า ได้รับคะแนนความชอบอยู่ระหว่างเฉยๆ (บอกไม่ได้ว่าชอบหรือไม่ชอบ) และชอบเล็กน้อย (5.60 - 5.69) เนื่องจากผลิตภัณฑ์มีรสหวานมากและมีเนื้อสัมผัสที่ค่อนข้างแข็ง ไม่เหมาะสำหรับการบริโภคโดยตรง ควรนำไปใช้เป็นส่วนผสมหรือวัตถุดิบสำหรับการประกอบเป็นอาหารต่างๆ มากกว่า
8. การศึกษากระบวนการผลิตเนื้อลำไยแช่อิ่มอบแห้งในลักษณะอาหารรับประทานเล่น พบว่า เนื้อลำไยที่แช่อิ่มในสารละลายซูโครส 2 วันและแช่อิ่มต่อในสารละลายกลูโคสไซรัปอีก 2 วันได้รับคะแนนการยอมรับอยู่ระหว่างชอบเล็กน้อยและชอบปานกลาง (6.71) เนื่องจากการแช่อิ่มในสารละลายซูโครสร่วมกับสารละลายกลูโคสไซรัปทำให้ผลิตภัณฑ์มีรสหวานชวนรับประทานและมีเนื้อสัมผัสที่สามารถเคี้ยวเป็นอาหารรับประทานเล่นได้
9. การศึกษาการยอมรับของน้ำตาลลำไยและน้ำเชื่อมลำไย (ผลพลอยได้จากกระบวนการแช่อิ่ม) พบว่า คะแนนการยอมรับของด้านลักษณะปรากฏของน้ำตาลลำไยอยู่ระหว่างชอบเล็กน้อยและชอบปานกลาง (6.75) และเมื่อนำมาชงเป็นน้ำลำไยแบบร้อนพบว่า ได้คะแนนการยอมรับในระดับชอบปานกลาง (6.98) ในขณะที่เมื่อนำมาชงเป็นน้ำลำไยแบบเย็น พบว่า ได้คะแนนการยอมรับระหว่างชอบปานกลางและชอบมาก (7.42) ส่วนคะแนนการยอมรับของน้ำเชื่อมลำไยด้านลักษณะปรากฏอยู่ระหว่างชอบเล็กน้อยและชอบปานกลาง (6.65) และคะแนนการยอมรับด้านกลิ่นอยู่ระหว่างชอบปานกลางและชอบมาก (7.20)
10. การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่ากิจกรรมของน้ำและความชื้นของเนื้อลำไยแช่อิ่มอบแห้งพบว่า สามารถอธิบายได้โดยใช้แบบจำลอง Brunauer-Emmett-Teller (BET) และ Gugenheim-Anderson de Boer (GAB) แต่การใช้แบบจำลอง GAB ให้ผลดีกว่า

เอกสารอ้างอิง

กองโภชนาการ กรมอนามัย. 2530. ตารางแสดงคุณค่าอาหารไทยในส่วนที่กินได้ 100 กรัม. นนทบุรี: กระทรวงสาธารณสุข. 48 หน้า.

กล้าณรงค์ ศรีรอต. 2532. เทคโนโลยีของน้ำตาล เล่ม 1 คุณสมบัติและเทคโนโลยี. คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 97 หน้า.

กล้าณรงค์ ศรีรอต. 2542. สารให้ความหวาน. กรุงเทพฯ: จาร์พา เท็คเซ็นเตอร์. 118 หน้า

คุณศักดิ์ สุคนธเกษร. 2539. การศึกษาลักษณะประจำพันธุ์ของผลลำไยพันธ์ต่างๆ ปัญหาพิเศษ สาขาไม้ผล ภาควิชาพืชสวน สถาบันเทคโนโลยีการเกษตรแม่โจ้. เชียงใหม่.

เทคนิคการผลิตไม้ผลนอกฤดู. มปป. สารานุกรมไทยสำหรบเยาวชนฯ เล่ม 27 ค้นจาก http://kanchanapisek.or.th/ kp6/BOOK27/chapter4/sect5

นวลศรี รักอริยะธรรม. 2543. การพัฒนาและเพิ่มมูลค่าผลิตภัณฑ์ลำไย. วารสารวิทยาศาสตร์ 54(6): 350-353.

นิธิยา รัตนาปนนท์. 2545. เคมีอาหาร. กรุงเทพฯ: โอเดียนสโตร์. 487 หน้า.

พาวิน มะโนชัย. มปป. ลำไย. เอกสารวิชาการที่ 76 กองเกษตรส้มพันธ์ กรมส่งเสริมการเกษตร 48 หน้า

ไพบูลย์ ธรรมรัตน์วาสิก. 2532. กรรมวิธีการแปรรูปอาหาร. กรุงเทพ: โอเดียนสโตร์. 302 หน้า.

รัตนา อัตตปัญโญ. 2542. การยืดอายุการเก็บรักษาลำไยสดและการแปรรูปในเชิงพาณิชย์. เคหการเกษตร 23(8): 206-209.

รัตนา อัตตปัญโญ. 2543. คู่มือวิธีการยืดอายุการเก็ลรักษาลำไยสดและการแปรรูปในเชิงพาณิชย์. กรุงเทพฯ: สำนักงานกองทุนสนับสนุนงานวิจัย. 29 หน้า

วรรัตน์ โชติวรณพร. 2531. การศึกษาการยอมรับของผู้บริโภคที่มีตอผลิตภัณฑ์ท๊อฟฟี่ลำไย. ปัญหาพิเศษสาขาเทคโนโลยีอุตสาหกรรมอาหาร สถาบันเทคโนโลยีการเกษตรแม่โจ้. เชียงใหม่.

วัชระ มั่งมูล, วิทยา ปาน้อย และ ธีระพงษ์ สาหร่าย. 2545. ลำไยแช่อิ่มอบแห้งย้อมสีธรรมชาติ. ปัญหาพิเศษสาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร มหาวิทยาลัยแม่โจ้. เชียงใหม่. 116 หน้า.

ศิวพร ศิวเวชช. 2546. วัตถุเจือปนอาหาร เล่ม 1. นครปฐม: โรงพิมพ์ ศูนย์ส่งเสริมและฝึกอบรมการเกษตรแห่งชาติ. 380 หน้า.

สมบัติ ทัพไทย. 2543. การพัฒนาผลิตภัณฑ์ลำไยและลิ้นจี่อบแห้งเพื่อเพิ่มมูลค่าการส่งออก ผลงานเด่นของ สกว. เมืองเกษตร 12(142): 20-31.

สินธนา ลีนานุรักษณ์. 2535. เอกสารประกอบการสอนวิชา การแปรรูปผักและผลไม้ ทอ. 474. ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะธุรกิจการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีการเกษตรแม่โจ้. 295 หน้า

อนงค์นุช เลิศประเสริฐ. 2546. ปัญหาการส่งออกผลไม้ไทยไปสาธารณรัฐประชาชนจีน. สำนักมาตรการนำเข้าส่งออกสินค้าทั่วไป กรมการค้าต่างประเทศ. ค้นจาก http://www.dft.moc.go.th/eximcentre/technical/ furit_exChina.htm

อนุรักษ์ ไชยวงศ์ และ อาทร แก้วเพียร. 2542. การทำผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มลำไยผงสำเร็จรูป. ปัญหาพิเศษสาขาเทคโนโลยีอุตสาหกรรมอาหาร มหาวิทยาลัยแม่โจ้. เชียงใหม่. 117 หน้า

อมรทิพย์ ภิรมย์บูรณ์. มปป. มหัศจรรย์.....ลำไย. ฝ่ายประชาสัมพันธ์ กองเกษตรสัมพันธ์ กรมส่งเสริมการเกษตร. ค้นจาก http://www.doae.go.th/report/last/bt81.htm

Boquet R., Chirife, J., and Iglesias H.A. 1978. Equations for fitting water sorption isotherms of foods. II. Evaluation of various two-parameter models. Journal of Food Technology 13:319–327

Elmonsef Omar, A.M. and Roos, Y. H. 2007. Water sorption and time-dependent crystallization behaviour of freeze-dried lactose–salt mixtures. LWT-Food Science and Technology. 40(3):520-528

Labuza, T.P. 1968. Sorption phenomena in foods. Journal of Food Technology 22 (3): 15–24.

Meilgaard, M., Civille, G. V., and Carr, B. T. 1999. Sensory evaluation techniques. 3rd ed. Boca Raton: CRC press. 387 p.

Resurreccion, A.V.A. 1998. Consumer sensory testing for product development. Maryland: Aspen Publishers. 254 p.

Roos, Y.H. 1993. Water activity and physical state effects on amorphous food stability, Journal of Food Processing Preservation 16: 433–447.

Schenck, F.W., and Hebeda, R.E. 1992. Starch hydrolysis products. New York: VCH Publishers. 650 p.

Timmermann, E.O., Chirife, J. and Iglesias, H.A. 2001. Water sorption isotherms of food and foodstuffs: BET or GAB parameters?, Journal of Food Engineering 48 (1): 19–31.