รายงานการวิจัย

การศึกษาทดลองทำผลิตภัณฑ์สะตอกึ่งสำเร็จรูปและผงปรุงรสสะตอเพื่อเป็นต้นแบบให้แก่เกษตรกรผู้ปลูกสะตอชุมชนพรหมคีรี จังหวัดนครศรีธรรมราช

Experimental Study of Pakia speciosa Semi-instant and Powder Products for Using as a Prototype for Pakia speciosa Farmers in Promkreeree Nakhonsithammarat.

ผู้วิจัย

นางสาวมณีรัตน์ ติรนันทกุล

RMUTK- CARIT

โครงการวิจัยทุนสนับสนุนงานวิจัยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

งบประมาณเงินรายได้ ปี พ.ศ. 2555

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

b 176896

ว4. 028
ว1437
ค.2
เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 3043
วัน เดือน ปี 26 ม.ค. 2559

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการทำสะตออบแห้งกึ่งสำเร็จรูปและผงปรุงรสสะตอ โดยวิธีการอบแห้งด้วยลมร้อน ตัวแปรที่ศึกษาคือ อุณหภูมิในการอบ 3 ระดับ ได้แก่ 45 °C, 60 °C และ 75 °C โดยแต่ละอุณหภูมิจะใช้ความเร็วลมที่ 2 m/s พบว่า อุณหภูมิที่อบแห้งได้เร็วที่สุดคือ 75 °C รองลงมาคือ 60 °C 45 °C ตามลำดับ โดยในแต่ละอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้ง จะใช้สะตอสด 3 ขนาด คือ เต็มเมล็ด 1/2 ของเมล็ด และ 1/4 ของเมล็ด พบว่า ขนาด 1/4 ของเมล็ดใช้เวลาในการอบแห้งน้อยที่สุด รองลงมาคือ 1/2 ของเมล็ด และเต็มเมล็ดตามลำดับ เมื่อนำมาวิเคราะห์สมบัติต่างๆ หลังทำการอบแห้ง พบว่าสะตออบแห้งขนาด 1/4 ของเมล็ด สามารถคืนตัวได้ดีและเร็วที่สุด คือ ประมาณ 75-86 % ค่าสีของสะตออบแห้งทั้งก่อนและหลังการคืนตัว พบว่า สะตออบแห้งที่อบที่อุณหภูมิ 60 °C มีค่าสีที่ใกล้เคียงกับสะตอสดมากที่สุด ค่าของแข็งที่ละลายได้ (Total Soluble Solid, TSS) พบว่าสะตออบแห้งขนาด 1/4 ของเมล็ด มีค่าความเข้มข้นของของแข็งที่ละลายได้สูงที่สุด ส่วนอุณหภูมิที่ใช้ในการอบไม่มีผลต่อค่า TSS มากนัก เมื่อนำมาวิเคราะห์ค่าเนื้อสัมผัสโดยเครื่อง Texture analyser พบว่าขนาดของเมล็ดสะตอมีผลต่อค่าเนื้อสัมผัส ในสะอบอบแห้งที่อบเต็มเมล็ดจะมีความแข็งภายหลังการคืนตัวมากที่สุดในทุกอุณหภูมิที่ใช้อบแห้ง ความแข็งจะน้อยลงเมื่อขนาดของสะตออบแห้งเล็กลง จากแบบสอบถามคะแนนความพึงพอใจของผู้บริโภคเกี่ยวกับสะตออบแห้งกึ่งสำเร็จรูปและสะตอผง คะแนนความพึงพอใจที่สูงที่สุด คือ อบที่ 1/2 ของเมล็ดที่อุณหภูมิ60 °C ได้คะแนนความพึงพอใจสูงที่สุด เมื่อนำมาสรุปเป็นตารางการเลือกวิธีที่ดีที่สุด (Best selection method) สภาวะที่ดีที่สุดคือ 1/2 ของเมล็ด ที่อบที่อุณหภูมิ 60 °C เป็นภาวะที่ดีที่สุดในการทดลองนี้

ABSTRACT

The objective of this research was to study stink bean (*Pakia speciosa*) drying in hot air process. The variables in this study were three temperature including 45 °C, 60 °C and 75 °C, with the fixed wind speed at 2.0 m/s. It was found that the fastest drying temperature was 75 °C followed by 60 °C and 45 °C, respectively. In each drying temperature, three variation sizes of stink bean were used namely full seed, 1/2 of seed and 1/4 of seed. Minimal drying time happened in 1/4 of seed followed by 1/2 of seed and full seed, respectively. Analysis of physical, chemical and sensory test was evaluated in all drying products. One forth size of stink bean displayed the highest and fastest rehydration rate (75-86 % weight increase). Pre and post drying colors were examined and showed that the dried seed at 60 °C had the closest color to the fresh seed. The total dissolved solid (TDS) test showed the greatest value in the 1/4 seed size. There is no effect of temperature on TDS variation. A positive relationship between texture strengthens and seed sizes was found. The bigger seed size, the harder the texture was observed. Sensory evaluation (taste, texture, color and odor) 1/2 of seed at 60 °C obtained highest score from the panelist. Best selection method analysis found that the 1/2 of seed at 60 °C were the best.

สารบัญ

		หน้า
บทคัดย่อ		ก
ABSTRACT		ข
สารบัญ		ค
สารบัญตาราง		ฉ
สารบัญรูป		ช
บทที่ 1 บทนำ 1		1
1.1	ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2	วัตถุประสงค์ของการทำโครงงาน	2
1.3	ขอบเขตของโครงงาน	2
1.4	ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 วารสารปริทัศน์		3
2.1	สะตอ	3
2.1.1	สายพันธุ์และลักษณะ	3
2.1.2	มาตรฐานลักษณะของคุณภาพที่ดีของสะตอ	4
2.1.3	ตลาดของสะตอ	4
2.1.4	ประโยชน์ของสะตอ	5
2.1.5	ส่วนประกอบทางเคมี	5
2.1.6	ฤทธิ์ทางเภสัชวิทยาของส่วนประกอบที่พบในเมล็ดสะตอ	5
2.1.7	คุณภาพสะตอหลังเก็บเกี่ยว	6
2.1.8	การแปรรูปขั้นต่ำผักและผลไม้	6
2.2	การเสื่อมคุณภาพของผักและผลไม้ที่ผ่านการแปรรูปขั้นต่ำ	6
2.3	การยืดอายุการเก็บผักและผลไม้สดที่ผ่านการแปรรูปขั้นต่ำ	8
2.3.1	การเก็บรักษาโดยใช้อุณหภูมิต่ำ	9
2.3.2	การใช้ความร้อนขั้นต่ำ	9
2.3.3	การใช้สารละลายกรดซิตริก	9
2.3.4	การใช้ Hinokitiol	11
2.3.5	การลวกก่อนการแช่แข็ง	11
2.4	การอบแห้ง	11
2.4.1	หลักการอบแห้ง	12
2.4.2	การกำหนดค่าความชื้นของวัสดุอบ	13
2.4.3	การคำนวณที่เกี่ยวกับการอบ	17
2.4.4	อุปกรณ์การอบแห้ง	18

สารบัญ(ต่อ)

		หน้า
	2.4.5 คุณสมบัติของการอบแห้ง	22
	2.4.6 ประโยชน์ของการอบแห้ง	22
	2.4.7 คุณค่าทางโภชนาการของการอบแห้ง	22
2.5	การอบแห้งผลไม้	23
	2.5.1 ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล	23
	2.5.2 กลไกการเกิดสีน้ำตาลในผลผลิตทางการเกษตร	23
	2.5.3 ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการเกิดสีน้ำตาล	24
2.6	สารเคมีที่นำมาใช้ในการอบแห้งผลไม	25
	2.6.1 สารประกอบซัลไฟต์	25
	2.6.2 กรดซิตริก	26
	2.6.3 กรดแอสคอร์บิค	26
	2.6.4 วัตถุประสงค์ของการใช้กรดและเกลือของกรดอินทรีย์ในอาหาร	27
2.7	การเก็บรักษาและการเก็บผลไม้อบแห้ง	27
บทที่ 3	วิธีการทดลอง	29
3.1	วัตถุดิบและอุปกรณ์	29
	3.1.1 วัตถุดิบ	29
	3.1.2 อุปกรณ์ในการผลิต	29
	3.1.3 เครื่องมือวิเคราะห์	30
3.2	การผลิตสะตออบแห้งกึ่งสำเร็จรูป	30
3.3	ศึกษาคุณสมบัติทางเคมีของสะตอสด	30
3.4	การศึกษาค่าความชื้นของสะตออบแห้งกึ่งสำเร็จรูป	30
3.5	การศึกษาค่าการคืนตัว	30
3.6	การศึกษาค่าสี	30
3.7	การศึกษาค่าของแข็งที่ละลายได้	30
3.8	ทดสอบเนื้อสัมผัส	31
3.9	การทดสอบทางด้านประสาทสัมผัสของสะตออบแห้งกึ่งสำเร็จรูป	31
3.10	ตารางการเลือกวิธีที่ดีที่สุด	31
บทที่ 4	ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง	32
4.1	ส่วนประกอบทางเคมีของสะตอสด	32
4.2	น้ำหนักที่เหลืออยู่ของสะตอในขณะอบแห้งทุกๆ 30 นาที	38
4.3	การคืนตัวของสะตออบแห้ง	35
4.4	สีของสะตออบแห้งกึ่งสำเร็จรูป	38

สารบัญ(ต่อ)

		หน้า
4.4.1	ค่าสีก่อนการคืนตัว	38
4.4.2	ค่าสีหลังการคืนตัว	40
4.5	ปริมาณของแข็งที่ละลายได้	41
4.6	เนื้อสัมผัสของสะตออบแห้งกึ่งสำเร็จรูป	42
4.7	การทดลองทำผลิตภัณฑ์ผงปรุงรสสะตอ	43
4.8	ค่าความพึงพอใจของผู้บริโภคที่มีต่อสะตออบแห้งกึ่งสำเร็จรูปและสะตอผง	44
4.9	การเลือกวิธีที่ดีที่สุด	45
4.10	การถ่ายทอดความรู้การทำผลิตภัณฑ์สะตอกึ่งสำเร็จรูปและผงปรุงสะตอ	46
บทที่ 5	สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	50
5.1	สรุปผลการทดลอง	50
5.2	ข้อเสนอแนะ	50
บรรณานุกรม		51
ภาคผนวก ก	ข้อมูลผลการทดลองและการคำนวน	62
ภาคผนวก ข	ข้อมูลผลการทดลอง	82

รายการตาราง

ตารางที่		หน้า
4.1	ส่วนประกอบทางเคมีของสะตอสด	37
4.2	ค่าสีของสะตอสดและสะตออบแห้งที่ภาวะต่างๆ	44
4.3	ค่าสีของสะตอสดและสะตออบแห้งที่ภาวะต่างๆ	45
ก.1	น้ำหนักที่เหลือในระหว่างการอบแห้งทุกๆ 30 นาที อบที่อุณหภูมิ 45 °C	70
ก.2	น้ำหนักที่เหลือในระหว่างการอบแห้งทุกๆ 30 นาที อบที่อุณหภูมิ 60 °C	72
ก.3	น้ำหนักที่เหลือในระหว่างการอบแห้งทุกๆ 30 นาที อบที่อุณหภูมิ 75 °C	74
ก.4	ค่าการคืนตัวของสะตออบแห้งที่อุณหภูมิ 45 °C	75
ก.5	ค่าการคืนตัวของสะตออบแห้งที่อุณหภูมิ 60 °C	76
ก.6	ค่าการคืนตัวของสะตออบแห้งที่อุณหภูมิ 75 °C	77
ก.7	ค่าสีของสะตออบแห้งก่อนการคืนตัว	78
ก.8	ค่าสีของสะตอสด	84
ก.9	ค่าสีของสะตออบแห้งภายหลังการคืนตัว	85
ก.10	ปริมาณความเข้มข้นของของแข็งที่ละลายได้ของสะตออบแห้งที่ภาวะต่าง	91
ข.1	ค่าเนื้อสัมผัสของสะตออบแห้งภายหลังการคืนตัว	92
2.1	รูปแบบการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในเครื่องอบแบบแบชและอุโมงค์	15
2.2	พฤติกรรมของวัสดุขณะอบ	17
2.3	Drying Rate	18
2.4	Equilibrium Moisture Content	19
2.5	Moisture receding in falling rate drying period	20
2.6	เครื่องอบแบบถาด	21
2.7	Screen Conveyor Drying	22
2.8	Tower Drying	23
2.9	Rotary Dryer	24
2.10	Fluidisebed dryer	25
2.11	ขั้นตอนสังเคราะห์สารประกอบฟีนอลและการเกิดสีน้ำตาล	28
3.1	เครื่องอบผลไม้แห้ง	34
3.2	เครื่อง Water prove	35
4.1	ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักของสะตอกับเวลาในการอบแห้งที่อุณหภูมิ 45°C	38
4.2	ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักของสะตอกับเวลาในการอบแห้งที่อุณหภูมิ 60°C	39
4.3	ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักของสะตอกับเวลาในการอบแห้งที่อุณหภูมิ 75°C	40
4.4	น้ำหนักในการคืนตัวของสะตออบแห้งกึ่งสำเร็จรูปเมื่ออบที่อุณหภูมิ 45°C	41
4.5	น้ำหนักในการคืนตัวของสะตออบแห้งกึ่งสำเร็จรูปเมื่ออบที่อุณหภูมิ 60°C	42

รายการตาราง(ต่อ)

ตารางที่		หน้า
4.6	น้ำหนักในการคืนตัวของสะตออบแห้งกึ่งสำเร็จรูปเมื่ออบที่อุณหภูมิ 75°C	43
4.7	ความเข้มข้นของของแข็งที่ละลายได้ของสะตออบแห้งที่ภาวะต่างๆ	46
4.8	ค่าแสดงความแข็งของสะตอสดและสะตออบแห้งที่อบที่ภาวะต่างๆ	47
4.9	ความพึงพอใจของผู้บริโภคที่มีต่อสะตออบแห้งกึ่งสำเร็จรูปที่อบที่ภาวะต่างๆ	49
ก.1	ค่าสีของสะตออบแห้งเต็มเมล็ดที่อุณหภูมิ 45 °C ก่อนการคืนตัว	78
ก.2	ค่าสีของสะตออบแห้ง 1/2 ของเมล็ดที่อุณหภูมิ 45 °C ก่อนการคืนตัว	79
ก.3	ค่าสีของสะตออบแห้ง 1/4 ของเมล็ดที่อุณหภูมิ 45 °C ก่อนการคืนตัว	79

รายการรูป

รูปที่		หน้า
ก.4	ค่าสีของสะตออบแห้งเต็มเมล็ดที่อุณหภูมิ 60 °C ก่อนการคืนตัว	80
ก.5	ค่าสีของสะตออบแห้ง 1/2 ของเมล็ดที่อุณหภูมิ 60 °C ก่อนการคืนตัว	81
ก.6	ค่าสีของสะตออบแห้ง 1/4 ของเมล็ดที่อุณหภูมิ 60 °C ก่อนการคืนตัว	81
ก.7	ค่าสีของสะตออบแห้งเต็มเมล็ดที่อุณหภูมิ 75 °C ก่อนการคืนตัว	82
ก.8	ค่าสีของสะตออบแห้ง 1/2 ของเมล็ดที่อุณหภูมิ 75 °C ก่อนการคืนตัว	83
ก.9	ค่าสีของสะตออบแห้ง 1/4 ของเมล็ดที่อุณหภูมิ 75 °C ก่อนการคืนตัว	83
ก.10	ค่าสีของสะตอสด	84
ก.11	ค่าสีของสะตออบแห้งเต็มเมล็ดที่อุณหภูมิ 45 °C ภายหลังการคืนตัว	85
ก.12	ค่าสีของสะตออบแห้ง 1/2 ของเมล็ดที่อุณหภูมิ 45 °C ภายหลังการคืนตัว	86
ก.13	ค่าสีของสะตออบแห้ง 1/4 ของเมล็ดที่อุณหภูมิ 45 °C ภายหลังการคืนตัว	86
ก.14	ค่าสีของสะตออบแห้งเต็มเมล็ดที่อุณหภูมิ 60 °C ภายหลังการคืนตัว	87
ก.15	ค่าสีของสะตออบแห้ง 1/2 ของเมล็ดที่อุณหภูมิ 60 °C ภายหลังการคืนตัว	88
ก.16	ค่าสีของสะตออบแห้ง 1/4 ของเมล็ดที่อุณหภูมิ 60 °C ภายหลังการคืนตัว	88
ก.17	ค่าสีของสะตออบแห้งเต็มเมล็ดที่อุณหภูมิ 75 °C ภายหลังการคืนตัว	89
ก.18	ค่าสีของสะตออบแห้ง 1/2 ของเมล็ดที่อุณหภูมิ 75 °C ภายหลังการคืนตัว	90
ก.19	ค่าสีของสะตออบแห้ง 1/4 ของเมล็ดที่อุณหภูมิ 75 °C ภายหลังการคืนตัว	90
ข.1	กราฟแสดงค่าเนื้อสัมผัสของสะตอสดเต็มเมล็ด	94
ข.2	กราฟแสดงค่าเนื้อสัมผัสของสะตอสด 1/2 ของเมล็ด	94
ข.3	กราฟแสดงค่าเนื้อสัมผัสของสะตอสด 1/4 ของเมล็ด	95
ข.4	กราฟแสดงค่าเนื้อสัมผัสของสะตออบแห้งเต็มเมล็ดที่อุณหภูมิ 45 °C	95
ข.5	กราฟแสดงค่าเนื้อสัมผัสของสะตออบแห้ง 1/2 ของเมล็ดที่อุณหภูมิ 45 °C	96
ข.6	กราฟแสดงค่าเนื้อสัมผัสของสะตออบแห้ง 1/4 ของเมล็ดที่อุณหภูมิ 45 °C	96
ข.7	กราฟแสดงค่าเนื้อสัมผัสของสะตออบแห้งเต็มเมล็ดที่อุณหภูมิ 60 °C	97
ข.8	กราฟแสดงค่าเนื้อสัมผัสของสะตออบแห้ง 1/2 ของเมล็ดที่อุณหภูมิ 60 °C	97
ข.9	กราฟแสดงค่าเนื้อสัมผัสของสะตออบแห้ง 1/4 ของเมล็ดที่อุณหภูมิ 60 °C	98
ข.10	กราฟแสดงค่าเนื้อสัมผัสของสะตออบแห้งเต็มเมล็ดที่อุณหภูมิ 75 °C	98
ข.11	กราฟแสดงค่าเนื้อสัมผัสของสะตออบแห้ง 1/2 ของเมล็ดที่อุณหภูมิ 75 °C	99
ข.12	กราฟแสดงค่าเนื้อสัมผัสของสะตออบแห้ง 1/4 ของเมล็ดที่อุณหภูมิ 75 °C	99

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย

อาหารพื้นบ้านใช้วัตถุดิบจากผลผลิตทางการเกษตร ซึ่งมีหลากหลายและมีปริมาณมากในท้องถิ่น และทำการผลิตโดยผู้ผลิตรายย่อย ตั้งแต่ระดับครัวเรือน กลุ่มแม่บ้านหรือกลุ่มเกษตรกร ผลิตภัณฑ์แปรรูปอาหารพื้นบ้านมักเป็นของฝากนักท่องเที่ยว มีการจัดส่งไปจำหน่ายในเมืองใหญ่ เช่น กรุงเทพฯ และแหล่งท่องเที่ยวสำคัญ ดังนั้นการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารแปรรูปพื้นบ้านให้มีความหลากหลาย และมีมาตรฐานคุณภาพ เพื่อเพิ่มช่องทางและโอกาสในการจำหน่ายของผลิตภัณฑ์ ช่วยให้ผู้บริโภคมีความมั่นใจในคุณภาพและความปลอดภัยในผลิตภัณฑ์จึงมีความสำคัญอย่างยิ่ง (ศิรินทรา, 2546)

สะตอ (*Parkia speciosa* Hassk) เป็นพืชเศรษฐกิจที่ได้รับความนิยมในการบริโภคอย่างแพร่หลายโดยเฉพาะในท้องถิ่นภาคใต้ ถือเป็นพืชที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจชนิดหนึ่งของประเทศไทย โดยสะตอที่พบและเป็นที่รู้จักในท้องถิ่นภาคใต้ มี 2 พันธุ์ คือ สะตอดาน และสะตอข้าว สะตอสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้เกือบทุกส่วน โดยเฉพาะส่วนของยอดอ่อน ส่วนของผลหรือฝักของสะตอสามารถนำมาใช้เป็นผักจิ้มและสามารถนำไปปรุงเป็นอาหาร (กิตติพงษ์และคณะ, 2547) จากประโยชน์ดังกล่าวของสะตอทำให้ในปัจจุบันพบว่าสะตอได้รับความนิยมในการบริโภคเพิ่มขึ้นและมีราคาค่อนข้างสูง เนื่องจากสะตอส่วนมากมีการออกผลเป็นฤดูกาล โดยสะตอจำนวนมากจะออกสู่ตลาดในช่วงเดือนกรกฎาคมถึงตุลาคม ส่วนการบริโภคสะตอนอกฤดูกาล ได้แก่ การนำสะตอมาดองเปรี้ยว ซึ่งจะได้สะตอซึ่งมีรสชาติเปรี้ยว ปนเค็ม แข็งกรอบ มีกลิ่นฉุนมาก และมีรสชาติเฉพาะตัวไม่สามารถนำมารับประทาน หรือปรุงในลักษณะสดอย่างเดิมได้ ดังนั้นจึงควรจะมีการศึกษาการยืดอายุการเก็บรักษาหรือแปรรูปสะตอให้มีคุณภาพและลักษณะใกล้เคียงเดิม (กนกวรรณ, 2548)

ดังนั้นงานวิจัยจึงสนใจศึกษาการทำผลิตภัณฑ์สะตออบแห้งกึ่งสำเร็จรูปและสะตอผง เพื่อให้ผลิตภัณฑ์สะตอมีความหลากหลาย ถูกสุขลักษณะ มีอายุการเก็บรักษานานขึ้น ซึ่งจะเป็นอีกแนวทางหนึ่งที่ช่วยเพิ่มมูลค่าและเพิ่มช่องทางการจำหน่ายและส่งออกของสะตอที่มีอยู่ในท้องถิ่น อีกทั้งยังสามารถถ่ายทอดเทคโนโลยีสู่ภาคประชาชนเพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในกลุ่มชุมชนของตนเอง สอดคล้องกับปรัชญาการวิจัยเพื่อพัฒนาท้องถิ่นแบบยั่งยืนและเศรษฐกิจแบบพึ่งตนเองของประเทศไทย (เอกสิทธิ์, 2552)

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาทดลองทำผลิตภัณฑ์สะตอกึ่งสำเร็จรูปและผงปรุงรสสะตอ เพื่อเป็นต้นแบบและเป็นข้อมูลในการเลือกแนวทางใหม่ของการทำผลิตภัณฑ์จากสะตอให้แก่ชุมชน เกษตรกรผู้ปลูกสะตอชุมชนพรหมคีรี จังหวัดนครศรีธรรมราช และเกษตรกรทั่วไป

1.3 ขอบเขตของโครงงาน

1.3.1 ศึกษาคุณลักษณะทางด้านกายภาพของสะตอ

1.3.2 ศึกษาผลของอุณหภูมิและพื้นที่ผิวที่มีต่อคุณภาพด้านสี กลิ่น เนื้อสัมผัส การสูญเสียน้ำหนัก ของผลิตภัณฑ์สะตออบแห้งกึ่งสำเร็จรูป

1.3.3 ศึกษาทดลองทำผลิตภัณฑ์ผงปรุงรสสะตอ

1.3.4 ศึกษาผลตอบการรับของผู้บริโภคที่ทดลองใช้ผลิตภัณฑ์สะตอกึ่งสำเร็จรูปและผงปรุงรสสะตอ

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ทราบคุณลักษณะทางด้านเกายภาพของสะตอ

1.4.2 ทราบผลของอุณหภูมิและพื้นที่ผิวที่มีต่อคุณภาพด้านสี กลิ่น เนื้อสัมผัส การสูญเสียน้ำหนัก ของผลิตภัณฑ์สะตออบแห้งกึ่งสำเร็จรูป

1.4.3 ได้ต้นแบบผลิตภัณฑ์สะตออบแห้งกึ่งสำเร็จรูปและผลิตภัณฑ์ผงปรุงรสสะตอ

1.4.4 ทราบผลตอบการรับของผู้บริโภคที่ทดลองใช้ผลิตภัณฑ์สะตอกึ่งสำเร็จรูปและผงปรุงรส

1.4.5 เพื่อเป็นต้นแบบและเป็นข้อมูลในการเลือกแนวทางใหม่ของการทำผลิตภัณฑ์จากสะตอ

1.4.6 ลดปัญหาการเก็บรักษา และการขนส่ง และเพิ่มโอกาสและความเป็นไปได้ในการขยายตลาดของผลิตภัณฑ์จากพืชท้องถิ่นสะตอ

1.4.7 สามารถนำความรู้ไปเผยแพร่/ถ่ายทอดให้แก่ชุมชนเกษตรกร ผู้ปลูกสะตอและผู้สนใจ

บทที่ 2

วารสารปริทัศน์

2.1 สะตอ

2.1.1 สายพันธุ์และลักษณะ

สะตอ (*Parkia speciosa* Hassk) เป็นพืชในวงศ์ Leguminosae วงศ์ย่อย Mimosaceae มีชื่อสามัญว่า Stink bean เป็นพืชยืนต้นขนาดกลางชนิดหนึ่ง มีความสูงเฉลี่ยประมาณ 30 เมตร มีผลเป็นฝักแบน เมล็ดใช้เป็นผัก เป็นพืชตระกูลถั่วเช่นเดียวกับกระถินและมะขาม สะตอตามถิ่นต่างๆ มีการเรียกชื่อต่างกันออกไป เช่น ประเทศมาเลเซียและจังหวัดปัตตานีเรียกว่า ปัตเต๊าะ(Pat-tah) แถบจังหวัดสตูลของไทยและมาเลเซียบางส่วนเรียกว่า ปาไต (Paa-tai) นอกจากนี้อาจเรียกสะตออีกหลายชื่อ เช่น กะตอ (Kato) ปะตา (Pa-taa) กายูปะตา (Kayu-pataa) เป็นต้นลักษณะโดยทั่วไปของสะตอชอบขึ้นในที่ชื้นเขตป่าดงดิบโดยเฉพาะแถบภาคใต้และภาคตะวันออกของประเทศไทยซึ่งเป็นพื้นที่ที่มีภูมิอากาศเหมาะสม ปัจจุบันสะตอเป็นที่นิยมรับประทานทั่วไปทั้งในประเทศและต่างประเทศ จึงเป็นพืชที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจชนิดหนึ่ง แหล่งปลูกที่สำคัญในภาคใต้ ได้แก่ จังหวัดสุราษฎร์ธานี ชุมพร ระนอง พังงา กระบี่ และสงขลา ในภาคตะวันออก ได้แก่ จังหวัดระยอง จันทบุรี และตราด (เที่ยง, 2532) โดยทั่วไปพันธุ์ของสะตอสามารถแบ่งได้ 3 พันธุ์โดยอาศัยการจำแนกตามลักษณะของฝัก รสชาติและกลิ่นดังนี้

1) สะตอข้าว สะตอข้าวมีลักษณะฝักบิดเป็นเกลียว มีทั้งขนาดฝักสั้นและยาว โดยเฉลี่ยขนาดของฝักยาวประมาณ 31 เซนติเมตร และมีความกว้างของฝักประมาณ 4 เซนติเมตร จำนวนเมล็ดต่อฝักมีประมาณ 10-20 เมล็ด จำนวนฝักต่อช่อประมาณ 8-20 ฝัก ขึ้นกับความสมบูรณ์ของต้นและการสะสมอาหาร ในด้านกลิ่นของสะตอข้าวจะมีกลิ่นไม่ฉุนซึ่งเป็นที่นิยมสำหรับผู้บริโภคโดยทั่วไป

2) สะตอดาน สะตอดานมีลักษณะฝักแบนตรงคล้ายกับแผ่นกระดานไม้ ไม่บิดเบี้ยวเหมือนสะตอข้าว ขนาดของฝักยาวประมาณ 32 เซนติเมตร แต่มีความกว้างมากกว่าสะตอข้าว ในส่วนเมล็ดต่อฝักมีประมาณ 10-20 เมล็ด จำนวนฝักต่อช่ออาจน้อยกว่าสะตอข้าวคือมีประมาณ 8-15 ฝักขึ้นกับความสมบูรณ์ของต้น ส่วนกลิ่นของสะตอดานจะมีกลิ่นค่อนข้างฉุนจัดซึ่งเป็นที่นิยมสำหรับผู้บริโภคชาวภาคใต้

3) สะตอแตหรือสะตอป่า มีลักษณะฝักและเมล็ดค่อนข้างแข็งกว่าสะตอข้าวและสะตอดาน สะตอแตชอบขึ้นในป่าลึก รสชาติไม่ค่อยอร่อยจึงไม่นิยมนำมารับประทาน ในปัจจุบันสะตอได้รับการปรับปรุงพันธุ์เพิ่มมากขึ้น ซึ่งกรมวิชาการเกษตรโดยสถาบันวิจัยพืชสวนได้มอบหมายให้ศูนย์วิจัยพืชสวนตรังรับผิดชอบพืชสะตอ ที่ผ่านมาได้ดำ เนินการรวบรวมสายพันธุ์สะตอที่ชนะการประกวดจากแหล่งต่างๆ มาปลูกในศูนย์วิจัยพืชสวนตรัง เพื่อทำการคัดเลือกหาพันธุ์ที่ดีและแนะนำสู่เกษตรกร (ทัศนี, 2545) ซึ่งคาดว่าสะตอพันธุ์เกษตรที่ใช้ในการทดลองอาจมีที่มาจากการปรับปรุงพันธุ์สะตอดังกล่าว เนื่องจากสะตอพันธุ์เกษตรที่ซื้อจากจังหวัดยะลา โดยมีแหล่งปลูกในจังหวัดยะลาที่นำมาทำการทดลองเป็นพันธุ์ที่ออกฝักได้รวดเร็วกว่าสะตอพันธุ์ข้าวและพันธุ์ดาน (จารุ, 2541)

สะตอเป็นพืชที่มีรสชาติเฉพาะตัว คือมีกลิ่นฉุน ซึ่งน่าจะมาจากสะตอเป็นพืชที่มีกำมะถันเป็นองค์ประกอบ (จุไรรัตน์, 2527) รายงานว่าเมล็ดสะตอจากการเก็บรักษาในสภาพทั้งฝักในสภาวะแช่เย็นมีปริมาณสารประกอบกำมะถันในรูปของหมู่ซัลไฮดริล (Sulfhydryl Group, SH) เพิ่มขึ้นในช่วงแรกและหลังจากนั้นปริมาณซัลไฮดริล จะค่อยๆลดลงโดยวันที่ 1,. 4 และ 15 จะมีปริมาณสารประกอบกำมะถัน 4.85, 10.37 และ 1.02 µmol /g ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่าปริมาณของสารประกอบกำมะถันในเมล็ดสะตอแก่จะสูงกว่าสะตออ่อน โดยการเพิ่มปริมาณของสารประกอบกำมะถันจะแปรผันกับเวลาวันที่ฝักสะตออยู่บนต้นเป็นเส้นตรง

2.1.2 มาตรฐานลักษณะของคุณภาพที่ดีของสะตอ

(สุรพงศ์ และสมบัติ, 2530) ได้กำหนดมาตรฐานลักษณะของสะตอที่มีคุณภาพดีดังนี้

1) รูปร่างสะตอที่ดีต้องมีรูปร่างตรงตามลักษณะประจำพันธุ์

2) ขนาดต้องมีฝักยาวใหญ่ สม่ำเสมอ เมล็ดมีขนาดใหญ่ การเรียงของเมล็ดชิดและมีเมล็ดจำนวนมาก

3) สีผิวของฝักจะต้องเกลี้ยง ปราศจากคราบหยดสารเคมี มีสีเขียวสด สีฝักสม่ำเสมอ

4) ฝักสดหลังจากซื้อแล้วสามารถเก็บรักษาต่อไปได้อีก 2-3 วัน

5) ฝักสดที่ซื้อไม่ควรมีฝักอ่อนหรือฝักสุกปะปน

6) ควรมีกลิ่นและรสฉุน รสเผ็ดหรือรสเผ็ดน้อย สะตอข้าวควรมีรสมันและหวาน กลิ่นและรสไม่ผิดเพี้ยนไปจากเดิม

7) เมล็ดต้องมีรูปร่างคล้ายหัวแม่มือ ขนาดใหญ่ แน่นเต่งและสดมีสีเขียวอ่อนปราศจากรอยตำหนิจากการทำ ลายของโรคและแมลง

8) ปราศจากตำหนิที่เกิดจากการเก็บเกี่ยว การบรรจุและการขนส่ง

2.1.3 ตลาดของสะตอ

สะตอเป็นพืชที่มีความสำคัญชนิดหนึ่งของประเทศไทย โดยมีตลาดที่สำคัญทั้งในประเทศและต่างประเทศ (จารุ, 2541) รายงานตลาดที่สำคัญของสะตอไว้ดังนี้

1) ตลาดภายในประเทศ ได้แก่ ตลาดในภาคใต้และตลาดภาคกลาง โดยตลาดที่มีการขายสะตอส่วนใหญ่อยู่ในจังหวัดในภาคใต้ทุกจังหวัด ตลาดที่สำคัญได้แก่ หาดใหญ่ สุไหงโกลก สุราษฎร์ธานี กระบี่ ตรังและพัทลุง ซึ่งนิยมขายในรูปฝักสด ส่วนตลาดในภาคกลางมีตลาดที่สำคัญได้แก่ ตลาดปากคลองตลาด ตลาดสี่มุมเมือง และตลาดองค์การตลาดเพื่อเกษตรกรซึ่งเป็นตลาดที่มีการซื้อขายกันในรูปฝักสดและแกะเมล็ด

2) ตลาดต่างประเทศ ตลาดที่สำคัญคือ ประเทศมาเลเซีย อินโดนีเซีย สหรัฐอเมริกา และประเทศต่างๆ ในทวีปยุโรป ซึ่งผู้ส่งออกสะตอไปต่างประเทศส่วนใหญ่จะเป็นพ่อค้าส่งราย ใหญ่ในตลาดหัวอิฐ จังหวัดนครศรีธรรมราช ตลาดอำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลาและตลาดอำเภอสุไหงโกลก จังหวัดนราธิวาส จะทำการส่งออกผลผลิตสะตอทั้งในรูปของฝักและเมล็ดที่แกะแล้วบรรจุในถุงพลาสติก

2.1.4 ประโยชน์ของสะตอ

1) คุณค่าทางอาหาร ส่วนของสะตอที่นำมาใช้ปรุงอาหาร ได้แก่ ส่วนของผลหรือฝักและส่วนของยอดอ่อนโดยส่วนของเมล็ดสะตอเป็นส่วนที่มีคุณค่าทางอาหารอย่างมาก

2.1.5 ส่วนประกอบทางเคมี

สารประกอบทางเคมีที่พบในส่วนของเมล็ดสะตอส่วนใหญ่จะอยู่ในกลุ่มกรดอะมิโน และสารประกอบที่มีซัลเฟอร์ในโมเลกุล ได้แก่

1) กรดอะมิโน อนุพันธุ์ของกรดอะมิโนที่เป็นองค์ประกอบในเมล็ดสะตอ ได้แก่ Dichrostachnic acid, Djenkolic acid และ Thiazolidine-4-carboxylic acid (Susilo and Gmelin, 1982) นอกจากนี้กรดอะมิโนที่พบเป็นปริมาณมากในเลคตินซึ่งเป็นสารประกอบไกลโคโปรตีนที่เป็นองค์ประกอบในเมล็ดสะตอคือ Glycine, Aspartic acid, Isoleucine และ Serine แต่พบว่ามี Methionine และ Cystein อยู่น้อยมาก (Suvachittanont and Peutpaiboon, 1992)

2) สารประกอบซัลเฟอร์ สารประกอบซัลเฟอร์ ที่เป็นองค์ประกอบในเมล็ดสะตอ ได้แก่ Hexathionane, 1-2-4-5-7-8, Pentathiepane, 1-2-3-5-6, Trithiolane, 1-2-4 และ 1,2,4,6 Tetrathiepane (Gmelin et al., 1981)

3) สารประกอบ Steroidal ได้แก่ β-Sitosterol และ Stigmasterol (Jamaluddin *et al.*, 1994)

ส่วนสารประกอบทางเคมีที่พบในส่วนเปลือกของฝักจะเป็นสารกลุ่มSteroidal ได้แก่ Stigmast-4-en-3-one (Jamaluddin *et al.*, 1995)

2.1.6 ฤทธิ์ทางเภสัชวิทยาของส่วนประกอบที่พบในเมล็ดสะตอ

1) ผลต่อการแบ่งตัวของเซลล์:สารเลคตินจากสะตอมีผลกระตุ้นการแบ่งเซลล์ของเม็ดเลือดขาวที่สร้างจากม้าม (Suvachittanont and Peutpaiboon, 1992)

2) ผลยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย: สารกลุ่ม Polysulfides ที่สกัดได้จากเมล็ดจะมีผลยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรียทั้งชนิดแกรมบวกและแกรมลบ (Gmelin *et al.*, 1981)

3) ผลยับยั้งการเจริญของเชื้อรา: สารกลุ่ม Polysulfides ที่สกัดได้จากเมล็ดมีผลยับยั้งการเจริญของเชื้อรา *Candida albican* (Gmelin *et al.*, 1981)

4) ผลการเกาะกลุ่มของเม็ดเลือดแดง (Heamagglutination):สารเลคตินทำให้เม็ดเลือดแดงของหนูเกาะกลุ่ม แต่ไม่มีผลทำ ให้เม็ดเลือดแดงของคนเกาะกลุ่ม จึงไม่เป็นอันตรายต่อคน (Suvachittanont and Peutpaiboon, 1992)

5) ฤทธิ์ลดน้ำตาลในเลือด โปรตีนที่สกัดมาจากเมล็ดสะตอมีผลในการยับยั้ง อัตราการเพิ่มน้ำตาลในเลือดของหนูที่ถูกชักนำ ให้เป็นเบาหวาน (วัลลี และพูลสุข, 2531) เช่น เดียวกับสารที่สกัดจากคลอโรฟอร์มจากเมล็ดที่มีสาร β-Sitosterol และ Stigmasterol พบว่ามี ผลลดน้ำตาลในเลือดของหนูที่เป็นเบาหวาน แต่ไม่มีผลต่อหนูที่ปกติ (Jamaluddin *et al.*,1994)

6) ฤทธิ์กระตุ้นการบีบตัวของลำไส้ (วัลลีและพูลสุข, 2531) รายงานว่าโปรตีนที่สกัดได้จากเมล็ดสะตอมีฤทธิ์กระตุ้นการหดตัวของลำ ไส้เล็กส่วนดูโอดีนัมของหนู และหนูที่กินสะตอบดจะมีอุจจาระอ่อนกว่าปกติ

2.1.7 คุณภาพสะตอหลังการเก็บเกี่ยว

การจำหน่ายสะตอในประเทศไทยจะจำหน่ายทั้งฝักและแกะเมล็ด สะตอทั้งฝักสามารถวางตลาดขายได้ประมาณ 3-4 วัน หลังจากนั้นผิวเปลือกจะเริ่มเปลี่ยนเป็นสีดำและบริเวณเนื้อฝักที่หุ้มเมล็ดจะเริ่มสุกเปลี่ยนเป็นสีเหลืองส้มและดำในที่สุดทำให้ราคาตก การเก็บมาทั้งช่อซึ่งมีใบติดมาด้วยจะทำ ให้อายุการวางตลาดยาวนานไปได้อีก 2-3 วัน ส่วนสะตอแกะเมล็ดนิยมใช้พันธุ์สะตอดานเพราะมีขนาดใหญ่และรูปทรงน่าซื้อ ถ้าพรมน้ำจะเก็บได้ 3-4 วัน ถ้าไม่พรมน้ำจะเก็บได้ 2-3 วัน หลังจากนั้นจะเริ่มงอกและเหม็นเน่าในที่สุด (เที่ยง, 2534)

2.1.8 การแปรรูปขั้นต่ำผักและผลไม้

การแปรรูปขั้นต่ำคือการปฏิบัติ การเตรียม การบรรจุ และการแจกจ่ายผลิตผลทางการเกษตรอันได้แก่ ผักและผลไม้ในสภาพคล้ายของสด ซึ่งรวมทั้งการตัดแต่งหรือการใช้การฉายรังสีในระดับต่ำด้วย (Shewfelt, 1986) เพื่อให้ผลิตภัณฑ์มีคุณลักษณะ 2 ประการคือ มีความสะดวกในการบริโภค และมีคุณภาพคล้ายของสด (Huxsoll and Bolin, 1989) จึงจัดเป็นผลิตภัณฑ์ผักและผลไม้สดพร้อมบริโภค (Wiley, 1994) (จริงแท้, 2538) กล่าวว่าการแปรรูปผักและผลไม้สดพร้อมบริโภคหมายถึงการปฏิบัติการใดๆ ก็ตามหลังการเก็บเกี่ยว เช่น การทำความสะอาด การปอก การตัดแบ่ง การซอยเป็นชิ้นเล็กๆ การบรรจุ ฯลฯ โดยที่ผักและผลไม้ยังมีชีวิตอยู่ เช่น เนื้อขนุนและส้มโอที่ผ่านการตัดแต่ง ข้าวโพดฝักอ่อนและเมล็ดสะตอที่ผ่านการแกะออกจากฝัก เป็นต้น การแปรรูปในลักษณะนี้ทำ ให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความบอบบาง ง่ายต่อการเข้าทำลายของเชื้อโรคและเน่าเสียได้เร็วกว่าปกติ ซึ่งตรงกันข้ามกับการแปรรูปโดยทั่วไป เช่น การตากแห้ง การบรรจุกระป๋อง หรือการแช่แข็ง วิธีเหล่านี้ล้วนเป็นวิธีที่ทำ ให้ผลิตผลคงทนเก็บรักษาได้นานขึ้น

อย่างไรก็ตามการแปรรูปผักและผลไม้สดพร้อมบริโภคมีข้อดีที่สามารถรักษาคุณภาพไว้ใกล้เคียงกับธรรมชาติมากกว่าการแปรรูปวิธีอื่นๆ

2.2 การเสื่อมคุณภาพของผักและผลไม้ที่ผ่านการแปรรูปขั้นต่ำ

ผักและผลไม้ที่ผ่านการแปรรูปขั้นต่ำมีผลทำ ให้เนื้อเยื่อของผลไม้เกิดบาดแผล พื้นที่ผิวเพิ่มมากขึ้นและมีของเหลวภายในเซลล์ไหลออกมาเคลือบบริเวณผิวหน้า ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์เกิดการเน่าเสียจากจุลินทรีย์และเกิดการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาและชีวเคมี ทำ ให้คุณภาพของผลิตภัณฑ์ไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค การเสื่อมคุณภาพของผักและผลไม้สดที่ผ่านการแปรรูปมีดังนี้

1) การเสื่อมคุณภาพทางด้านสรีรวิทยา การเสื่อมคุณภาพทางด้านสรีรวิทยาของผักและผลไม้ที่ผ่านการแปรรูปขั้นต่ำ ได้แก่ การเพิ่มอัตราการหายใจ และการสร้างเอทิลีน ผักและผลไม้สดที่ผ่านการแปรรูปขั้นต่ำมีอัตราการหายใจสูงกว่าผักและผลไม้สด1.2-7.0 เท่า (Ahvenainen,1996) ทั้งนี้มีสาเหตุมาจากการแปรรูปขั้นต่ำมีผลทำให้ผักและผลไม้สดมีพื้นที่ผิวสัมผัสกับบรรยากาศเพิ่มขึ้น ออกซิเจนจึงสามารถแพร่ผ่านเข้าไปในเซลล์ได้มากขึ้น ผักและผลไม้สดดังกล่าวจึงมีอัตราการหายใจสูงกว่าผักและผลไม้สดทั้งผล นอกจากนี้บาดแผลที่เกิดจากการแปรรูปขั้นต่ำจะเหนี่ยวนำ การทำ งานของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์เอทิลีน ซึ่งเอทิลีนสามารถควบคุมการสุกของผลไม้ และทำ ให้เกิดการชราภาพเร็วขึ้น เช่น เอทิลีนกระตุ้นให้เกิดการเสื่อมสลายของ

คลอโรฟิลล์ ทำ ให้ความแน่นเนื้อของผลไม้ลดลง กระตุ้นให้มีการเปลี่ยนแป้งเป็นน้ำตาลและมีการลดลงของปริมาณกรดทำ ให้รสของผลไม้ดีขึ้น (จริงแท้, 2538)

2) การเสื่อมคุณภาพทางด้านชีวเคมี ในการแปรรูปขั้นต่ำผักและผลไม้ทำ ให้เกิดการทำ ลายผิวหน้าเซลล์และทำ ให้เกิดบาดแผลในเนื้อเยื่อ จึงง่ายต่อการเข้าทำ ปฏิกิริยาของเอนไซม์กับสารตั้งต้นและมีผลให้เกิดการเสื่อมคุณภาพด้านประสาทสัมผัสได้เร็วกว่าปกติ ซึ่งได้แก่ การเกิดกลิ่นรสผิดปกติ การสูญเสียสีเขียว และการสูญเสียความแน่นเนื้อ

- การเกิดกลิ่นรสผิดปกติ การเปลี่ยนแปลงทางด้านชีวเคมีของกลิ่นรสในผักที่ผ่านการแปรรูปขั้นต่ำ ได้แก่ การเกิดปฏิกริยาออกซิเดชันของกรดไขมันไม่อิ่มตัว ซึ่งเอนไซม์ที่ทำหน้าที่เป็นตัวเร่งในปฏิกริยาดังกล่าว ได้แก่ เอนไซม์ไลปอกซิจิเนส ผลจากปฏิกริยาดังกล่าวจะทำ ให้เกิดสารประกอบแอลดีไฮด์และคีโตน (Hildebrand, 1989) Bengtsson et al. (1967) กล่าวว่า n-Hexanal เป็นผลจากการย่อยสลาย Hydroperoxide และเกี่ยวข้องกับการเกิดกลิ่นรสผิดปกติในถั่วลันเตา

- การสูญเสียสีเขียว การสูญเสียสีเขียวเกิดขึ้นเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของปริมาณคลอโรฟิลล์ โดยเอนไซม์ที่มีบทบาทในการสลายตัวของคลอโรฟิลล์ ได้แก่ เอนไซม์คลอโรฟิลเลส การทำ งานของเอนไซม์ชนิดนี้เกิดขึ้นเนื่องจากเอทิลีนมีผลให้กิจกรรมของเอนไซม์คลอโรฟิลเลสเพิ่มขึ้น ทำ ให้เกิดการสลายของคลอโรฟิลล์มากขึ้น (Amir-Shapira *et al.*, 1987) นอกจากนี้ยังมีเอนไซม์ชนิดอื่นที่เกี่ยวข้องในการสูญเสียสีเขียว ได้แก่ Chlorophyll oxidase, Lipolytic acid Hydrolase และระบบเอนไซม์ Peroxidase Hydrogen Peroxide

- การสูญเสียความแน่นเนื้อ การตัดหรือหั่นเซลล์ของพืชมีผลให้เกิดการสูญเสียความแน่นเนื้อ เช่น ผลกีวีที่ผ่านการตัดแต่งจะสูญเสียความแน่นเนื้อถึงร้อยละ 50 ของความแน่นเนื้อเริ่มต้นเมื่อเก็บรักษาที่ 2 °C เป็นเวลา 2 วัน (Wiley, 1994) Varoquaux *et al.* (1990)กล่าวว่าการสูญเสียลักษณะเนื้อสัมผัสของผลกีวีที่ผ่านการตัดแต่งเนื่องมาจากการย่อยสลายที่ผนังเซลล์โดยเอนไซม์ การตัดแต่งจะทำ ให้ Pectinolytic และ Proteolytic Enzyme ถูกปลดปล่อยออกมาจากเซลล์และแพร่ผ่านเข้าไปภายในเนื้อเยื่อทำ ให้ความแน่นเนื้อของผักและผลไม้ลดลง (Wiley, 1994)

นอกจากนี้ปฏิกริยาลิปิดเปอร์ออกซิเดชัน (Lipid Peroxidation) อาจมีสัมพันธ์กับผักสีเขียวที่เกิดความชราภาพในระหว่างการเก็บรักษาหลังการเก็บเกี่ยว Yamauchi and Watada(1991) พบว่าผักปวยเหล่งมีกรดลิโนเลนิกลดลง พร้อมกับมีสีเหลืองเกิดขึ้นและมีการสูญเสียคลอโรฟิลล์สอดคล้องกับ Zhuang *et al.* (1994) ที่รายงานว่าการเสื่อมคุณภาพของ Broccoli floret เกี่ยวข้องกับการลดลงของระดับกรดไขมันไม่อิ่มตัวหลายตำ แหน่ง (Polyunsaturated fatty acid: PUFA) โดยปฏิกริยาลิปิดเปอร์ออกซิเดชันเกิดขึ้นเนื่องจากเอนไซม์ไลปอกซิจิเนสทำปฏิกริยากับ PUFA ที่เกิดจากการสลายตัวของไขมัน ทำ ให้เกิด Hydroperoxide ซึ่งมีผลทำ ให้พืชสูญเสียความแข็งแรงของผนังเซลล์ สูญเสียโปรตีน และคลอโรฟิลล์ และมีผลให้เกิดการเสื่อมคุณภาพ (Zhuang *et al.*, 1995)

3) การเสื่อมคุณภาพจากจุลินทรีย์

กระบวนการแปรรูปขั้นต่ำ เช่น การตัดหรือหั่นมีผลให้ของเหลวภายในไหลออกมภายนอกซึ่งของเหลวเหล่านี้ประกอบด้วยอาหารที่จุลินทรีย์สามารถใช้ประโยชน์ได้ และการเพิ่มพื้นที่ผิวจากการตัดหรือหั่นมีผลให้จุลินทรีย์เจริญได้เร็วขึ้น (Brackett, 1994) (Brackett, 1987) กล่าวว่า

แบคทีเรียเป็นจุลินทรีย์ที่ทำ ให้เกิดการเน่าเสียในผักที่ผ่านการแปรรูปขั้นต่ำ เนื่องจากผักส่วนใหญ่มี pH เป็นกลางจึงทำ ให้แบคทีเรียสามารถเจริญได้ดี

2.3 การยืดอายุการเก็บผักและผลไม้สดที่ผ่านการแปรรูปขั้นต่ำ

ผักและผลไม้ที่ผ่านการแปรรูปขั้นต่ำอาจเน่าเสียได้ง่ายเนื่องจากสาเหตุต่างๆ มีผลให้คุณภาพของผลิตภัณฑ์ไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค ดังนั้นจึงมีการนำ วิธีการต่างๆ มาใช้เพื่อยืดอายุการเก็บผักและผลไม้ที่ผ่านกระบวนการแปรรูปขั้นต่ำโดยมีวิธีการต่างๆ ดังนี้

2.3.1 การเก็บรักษาโดยใช้อุณหภูมิต่ำ (Cold preservation)

การเก็บรักษาโดยใช้อุณหภูมิต่ำเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับผลิตภัณฑ์ผักและผลไม้ที่ผ่านการแปรรูปขั้นต่ำ โดยอุณหภูมิต่ำจะช่วยชะลอการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์และลดกิจกรรมของเอนไซม์ มีรายงานการศึกษาผลของการใช้อุณหภูมิต่ำในการเก็บรักษาต่อคุณภาพของผักและผลไม้อยู่มากมาย (Ryder, 1979; Hardenburg *et al.*, 1986; Will *et al.*, 1989) อย่างไรก็ตามยังไม่มีอุณหภูมิใดอุณหภูมิหนึ่งที่เหมาะสมสำ หรับการเก็บรักษาผักและผลไม้เพราะผลของการตอบสนองต่ออุณหภูมิต่ำจะแตกต่างกันไประหว่างผลิตผล Hardenburg *et al.* (1986); Will *et al.* (1989) รายงานอุณหภูมิที่เหมาะสม คือ –1 ถึง 4 °C สำหรับ Celery, Lettuce, Parsley, Spinach และ Watercress Rushingand Senn (1962) ได้ทดลองเก็บผักสลัดโดยการแช่เย็นพบว่าผักสลัดจะมีอายุการเก็บน้อยกว่า 1สัปดาห์เมื่อเก็บที่ 10 °C 5-6 สัปดาห์เมื่อเก็บที่ 4.4 °C และ 12-16 สัปดาห์เมื่อเก็บที่ –1.1 °C

Trail *et al.* (1992) ได้ทดลองเก็บถั่วแขกที่อุณหภูมิ 5 และ 10 °C ในถุง Low density Polyolefin พบว่าระยะเวลาการเก็บไม่มีผลต่อปริมาณคลอโรฟิลล์ของถั่วแขกที่เก็บที่อุณหภูมิ 5 °C ส่วนถั่วแขกที่เก็บที่อุณหภูมิ 10 °C พบว่ามีการเพิ่มขึ้นของปริมาณคลอโรฟิลล์อย่างมีนัยสำคัญหลังจากการเก็บรักษานาน 4 วัน อย่างไรก็ตามเมื่อเก็บนานขึ้นพบว่าปริมาณคลอโรฟิลล์มีค่าลดลง นอกจากนี้การเก็บรักษาถั่วแขกที่ 10 °C จะทำ ให้สูญเสียน้ำหนักมากกว่าการเก็บที่ 5 °C แต่อุณหภูมิและระยะเวลาการเก็บไม่มีผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัส สอดคล้องกับ Guyer *et al.* (1950) ซึ่งพบว่าเมื่อเก็บถั่วแขกโดยใช้อุณหภูมิสูงและระยะเวลานานจะทำ ให้ปริมาณคลอโรฟิลล์ในถั่วแขกลดลง นอกจากนี้การใช้อุณหภูมิต่ำในการยืดอายุการเก็บยังมีอิทธิพลต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ Gonzalez *et al.* (1989) กล่าวว่าเนื้อสัมผัสของถั่วแขกเป็นผลมาจากปริมาณเส้นใยและเพคตินในฝักถั่ว Freeman and Sistrunk (1978) ได้ศึกษาผลของการเก็บรักษาหลังการเก็บเกี่ยวต่อคุณภาพของถั่วแขก พบว่าถั่วแขกที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิสูงและระยะเวลานานจะมีปริมาณไฟเบอร์เพิ่มขึ้น สอดคล้องกับค่าความแน่นเนื้อที่เพิ่มขึ้นโดยมีค่า Shear stress สูงขึ้น

ถึงแม้ว่าการเก็บรักษาโดยใช้อุณหภูมิต่ำเป็นสิ่งจำ เป็นสำหรับผลิตภัณฑ์ผักและผลไม้ที่ผ่านการแปรรูปขั้นต่ำ แต่การเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ มีผลให้ผัก และผลไม้เกิดความผิดปกติทางสรีระวิยาที่เรียกว่า อาการสะท้านหนาว (Chilling injury) ได้ ซึ่ง (Saltveit and Morris, 1990) ได้ให้ความหมายของ Chilling injury ว่าเป็นความเสียหายที่เกิดจากการเก็บรักษาผักและผลไม้ที่มีถิ่นกำเนิดในเขตร้อนและเขตกึ่งร้อนในที่อุณหภูมิต่ำเหนือจุดเยือกแข็ง (Freezing point) ของพืชชนิดนั้น โดยเกิดขึ้นจากเปลี่ยนแปลงของฟอสโฟลิปิดซึ่งเป็นองค์ประกอบของไขมันเยื่อหุ้มเซลล์ (Rolle and Chism, 1987a) จากลักษณะที่เป็นของเหลว (Liquid Crystaline) มาเป็นลักษณะของเจลแข็ง (Gel

State) (Rolle and Chism, 1987b) ทำให้การซึมผ่านของสารต่างๆทางเยื่อหุ้มเซลล์เพิ่มขึ้น และเกิดการเปลี่ยนแปลงกิจกรรมของเอนไซม์ ซึ่งมีผลทำให้เกิดความไม่สมดุลของเมตาบอลิซึมและปรากฏอาการสะท้านหนาว โดยทั่วไประดับของอาการสะท้านหนาวที่เกิดขึ้นในพืชหรือส่วนของพืชขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ เช่น อุณหภูมิที่ผักและผลไม้ได้รับ ระยะเวลาและความไวของผักและผลไม้แต่ละชนิดต่ออุณหภูมิการเกิดอาการสะท้านหนาว โดยความไวของพืชหรือส่วนของพืชต่ออาการการเกิด Chilling injury ขึ้นอยู่กับ ชนิดของพืช ส่วนของพืช และรูปร่างและสภาวะทางสรีรวิทยาในช่วงเวลาที่สัมผัสกับอุณหภูมิต่ำ (Kays, 1991)

2.3.2 การใช้ความร้อนขั้นต่ำ (Mild heat treatment)

การใช้ความร้อนขั้นต่ำมีวัตถุประสงค์เพื่อลดจำนวนจุลินทรีย์เริ่มต้นและยับยั้งการทำ งานของเอนไซม์บางชนิดที่ทำให้คุณภาพของผลิตภัณฑ์เสื่อมเสีย (Huxsoll and Bolin, 1989) โดยเอนไซม์ส่วนใหญ่จะสูญเสียกิจกรรมเมื่อใช้ความร้อนที่ 60 °C นานประมาณ 2-3 นาที แต่มีข้อยกเว้นสำหรับเอนไซม์บางชนิด (King and Bolin, 1989) (William *et al.*, 1986) ได้เปรียบเทียบความสามารถในการทนต่อความร้อนของเอนไซม์บางชนิดของถั่วลันเตาในรูปของค่า Z (หมายถึงอุณหภูมิเป็น °F ที่ทำให้ค่า D ลดลงร้อยละ 90 โดย D หมายถึงเวลาเป็นนาที ณ อุณหภูมิที่กำหนดที่ใช้ในการทำ ลายเอนไซม์จากเดิมร้อยละ 90) และค่า F (หมายถึงเวลาเป็นนาทีที่ใช้ทำ ลายเอนไซม์ซึ่งมีค่า Z ค่าหนึ่ง ณ อุณหภูมิที่กำหนด) โดยที่เอนไซม์ไลปอกซิจิเนสมีค่า Z เท่ากับ 16 °F และค่า F น้อยกว่า 0.1 นาทีที่ 82 °C ส่วนเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสในถั่วลันเตามีค่า Z เท่ากับ 48 °F และค่า F เท่ากับ 60 นาทีที่ 82 °C ซึ่งจะเห็นได้ว่าเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสทนความร้อนได้ดีกว่าเอนไซม์ไลปอกซิจิเนส

2.3.3 การใช้สารละลายกรดซิตริก (Citric acid)

กรดซิตริกเป็นกรดอินทรีย์หลักของผลไม้ เช่น ผลไม้ตระกูลส้ม สตรอเบอร์รี่และในผัก เช่น มะเขือเทศและถั่ว (Wiley, 1994) กรดซิตริกสามารถยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ได้เนื่องจากสามารถจับโลหะซึ่งจำ เป็นสำหรับการเจริญของจุลินทรีย์จึงทำให้จุลินทรีย์ไม่สามารถเจริญเติบโตได้ (Beuchat and Golden, 1989) นอกจากนี้การลด pH จะมีผลต่อเอนไซม์โดยทำให้เสียสภาพจากการทำลายพันธะไฮโดรเจนในโมเลกุล (King and Bolin, 1989) กรดซิตริกมักใช้ร่วมกับสารป้องกันการเกิดสีน้ำตาล เช่น สารแอนติออกซิแดนท์ ความเข้มข้นของกรดซิตริกที่ใช้อยู่ทั่วไปคือร้อยละ 0.1-0.3 ร่วมกับสารแอนติออกซิแดนท์ 100-200 ppm (Wiley, 1994)

(Kim and Klieber, 1997) รายงานว่ากรดซิตริกสามารถยับยั้งการเกิดจุดดำ(Black Speck) และการเกิดสีน้ำตาลในกะหล่ำปลี (Chinese Cabbage) ได้ และช่วยยืดอายุการเก็บรักษาได้ 14 วัน ในขณะที่กะหล่ำปลีที่ไม่แช่ในสารละลายกรดซิตริกจะมีอายุการเก็บรักษาเพียง 10 วัน ที่อุณหภูมิ 5 °C (Santerre *et al.*, 1991) ได้ทดลองนำมันฝรั่งที่ผ่านการปอกเปลือกจุ่มในสารละลายอีริธอร์บิก (Erythorbic) ร้อยละ 3 โซเดียมแอซิดไพโรฟอสเฟต (Sodium acid Pyrophosphate) ร้อยละ 0.25 และโซเดียมคลอไรด์ (Sodium Chloride) ร้อยละ3 แล้วเก็บในสารละลายกรดซิตริกร้อยละ 0.2 ร่วมกับสารละลายกรดซอร์บิกร้อยละ 0.2 พบว่ามันฝรั่งที่เก็บในสารละลายกรดซิตริกและกรดซอร์บิกจะมีจำ นวนจุลินทรีย์ต่ำ กว่ามันฝรั่งที่จุ่มในน้ำแล้วเก็บในถุงพลาสติกเมื่อเก็บรักษานาน 6 วัน ที่ 3.5 °C

2.3.4 การใช้ Hinokitiol (β-Thujaplicin)

ซึ่งเป็นน้ำมันหอมระเหยที่พบในรากของต้น *Hiba arboruitaec* และสามารถนำมาสกัดโดยใช้ไอน้ำ โครงสร้างของสารประกอบนี้มีฤทธิ์ในการจับโลหะจึงสามารถยับยั้งเอนไซม์ของจุลินทรีย์หลายชนิดได้ นอกจากนี้ยังได้รับอนุมัติให้เป็นวัตถุเจือปนอาหารในประเทศญี่ปุ่นอีกด้วย

Hinokitiol สามารถใช้ควบคุมคุณภาพของผลิตผลทางการเกษตรหลายชนิด เช่น สามารถรักษาความสดของปลาและหอย ใช้ในการฆ่าเชื้อราในผักผลไม้และอาหารสัตว์ รวมถึงควบคุมความเสื่อมเสียหลังการเก็บเกี่ยวของผักและผลไม้ ดังรายงานของ Fallik and Grinberg(1992) พบว่าการใช้สารละลาย Hinokitiol ความเข้มข้น 750 µl/l ในการจุ่มมะเขือยาวและผล Red Pepper นานเป็นเวลา 30 วินาที และ 60 วินาที ตามลำดับ สามารถยับยั้งการเสื่อมเสียได้ ในปัจจุบันบริษัท Seiwa ได้ผลิต Fresheet โดยการนำสาร Hinokitiol มาผสมในฟิล์มสำหรับบรรจุผักและผลไม้ซึ่งสามารถใช้โดยการห่อหุ้มหรือปกคลุมเพื่อให้สาร Hinokitiol ระเหยออกมารักษาความสดของผักและผลไม้ เนื่องจาก Hinokitiol มีคุณสมบัติในการควบคุมการหายใจยับยั้งการผลิตเอธิลีน และมีความสามารถในการยับยั้งจุลินทรีย์

2.3.5 การลวก (Blanching) ก่อนการแช่แข็ง

การลวกเป็นการปฏิบัติการก่อนการแช่แข็งที่สำคัญขั้นตอนหนึ่ง กระทำโดยการใช้ความร้อนที่อุณหภูมิ 70-105 °C ในช่วงระยะเวลาสั้น ๆ ที่เหมาะสมแล้วทำให้เย็นทันที วิธีที่ใช้ในการลวกสามารถกระทำได้หลายวิธี ได้แก่

1) การใช้น้ำ (Water Blanching) เป็นการลวกโดยใช้น้ำร้อนเป็นตัวกลางในการถ่ายเทความร้อน

2) การใช้ไอน้ำ (Steam Blanching) เป็นการลวกโดยใช้ไอน้ำซึ่งมีประสิทธิภาพสูงในการถ่ายเทความร้อน

3) การใช้ไมโครเวฟ (Microwave Blanching) เป็นการใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีอำนาจในการทะลุทะลวงสูงทำ ให้เกิดความร้อนสูงในเวลาอันรวดเร็ว

การลวกผักไม่ว่าจะใช้วิธีการใดก็ตามต่างมีวัตถุประสงค์เพื่อยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ซึ่งเป็นสาเหตุของการเสื่อมเสียคุณภาพด้านสี กลิ่นรสและเนื้อสัมผัสของผักแช่แข็ง นอกจากนี้การลวกยังมีประโยชน์ช่วยในการแปรรูปคือ ช่วยให้เซลล์พืชอ่อนตัวจึงสามารถบรรจุในภาชนะได้ตามรูปแบบที่ต้องการ ส่วนข้อเสียของการลวก ได้แก่ การสูญเสียคุณค่าทางโภชนาการ สี และกลิ่นรสและอาจเกิดรสสุก (Cook Taste) ได้อีกด้วย นอกจากนี้การลวกยังมีผลเสียต่อสิ่งแวดล้อมเนื่องจากใช้น้ำและพลังงานเป็นปริมาณมาก (William *et al*., 1986)

การลวกโดยการใช้น้ำเป็นตัวกลางในการแลกเปลี่ยนความร้อนมีราคาการลงทุนไม่สูงมากนักและมีประสิทธิภาพของพลังงานความร้อนสูงกว่าการใช้ไอน้ำในการลวกร้อยละ 60-65 (Bomben, 1977) แต่การลวกโดยใช้วิธีนี้จะมีการสูญเสียคุณค่าทางอาหารและของแข็งที่ละลายน้ำมากกว่าการลวกโดยใช้ไอน้ำ ส่วนการลวกโดยใช้ไอน้ำจะมีการสูญเสียของแข็งที่ละลายน้ำน้อยกว่าและมีน้ำเสียจากเครื่องต่ำ (Carroad *et al*,. 1980) รายงานว่าการลวกบรอคโคลีในน้ำเดือดทำ ให้สูญเสียของแข็งที่ละลายได้ร้อยละ 8-9 ส่วนการลวกโดยใช้ไอน้ำมีการสูญเสียเพียงร้อยละ 6-5เช่นเดียวกับ (McCurdy *et al*., 1983) ที่รายงานว่าการลวก Dry peas ด้วยไอน้ำจะรักษาปริมาณของแข็งที่

ละลายได้มากกว่าการลวกด้วยน้ำเดือด นอกจากการใช้น้ำร้อนและไอน้ำในการลวกแล้วยังมีการใช้ไมโครเวฟในการลวก ซึ่งมีข้อดีสำ หรับกระบวนการแปรรูปคือ มีการส่งถ่ายความร้อนในลักษณะ "Deep Heating" และไม่เกิดความแตกต่างของอุณหภูมิในแต่ละความลึกของอาหารพลังงานจากคลื่นไมโครเวฟสามารถให้ความร้อนได้อย่างรวดเร็วโดยเฉพาะอย่างยิ่งอาหารที่มีปริมาณความชื้นสูง เนื่องจากน้ำสามารถดูดซับพลังงานคลื่นไมโครเวฟได้ดีกว่าองค์ประกอบอื่นๆในอาหาร อย่างไรก็ตาม การใช้ไมโครเวฟยังมีข้อจำ กัดคือราคาของแต่ละหน่วยความร้อนสูงและต้องออกแบบเครื่องมือให้เหมาะสมกับการปฏิบัติงานในกระบวนการผลิต (Huxsoll *et al.*,1970) แต่การลวกผักโดยใช้ไมโครเวฟค่อนข้างไม่เป็นที่ยอมรับ เช่น การศึกษาของ (Drake *et al.*, 1981) พบว่าการใช้ไมโครเวฟลวกผักบางชนิดจะให้ผลิตภัณฑ์ผักแช่แข็งที่มีคุณภาพด้านสีและมีปริมาณกรดแอสคอร์บิกต่ำกว่าการลวกในน้ำเดือดและไอน้ำ แต่ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีความแน่นเนื้อมากกว่าโดยมีแรงเฉือน (Shear value) สูงกว่า และเมื่อพิจารณาการสูญเสียปริมาณของเหลวออกจากชิ้นเนื้อ (Drip loss) ในการลวกถั่วแขกและถั่วลันเตาพบว่าการลวกโดยใช้ไมโครเวฟจะมีค่า Drip loss สูงกว่าการลวกด้วยน้ำเดือดและไอน้ำ และผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสพบว่าผักที่ลวกโดยใช้ไมโครเวฟจะไม่เป็นที่ยอมรับเท่าผักที่ผ่านการลวกด้วยไอน้ำและน้ำเดือด Stone and Young (1985) พบว่าการลวกถั่วแขกโดยใช้ไมโครเวฟจะได้ถั่วแขกที่มีความแน่นเนื้อมากกว่า การลวกโดยใช้ไอน้ำและน้ำเดือด แต่พบว่าการลวกโดยใช้ไมโครเวฟจะทำ ให้ถั่วที่เก็บรักษามีกลิ่น ผิดปกติที่รุนแรง โดยกลิ่นผิดปกติที่เกิดขึ้น ได้แก่ กลิ่น Grassy bitter และ Stored ซึ่งเป็นผลมาจากเอนไซม์ที่ไม่ถูกยับยั้งระหว่างการลวก

2.4 การอบแห้ง (Drying)

การอบแห้งคือการกำจัดความชื้นจำนวนน้อยที่ค้างอยู่ในผลิตภัณฑ์ การอบแห้งมักเป็นกระบวนการสุดท้ายก่อนการบรรจุ เพื่อป้องกันความเสียหายของผลิตภัณฑ์จากการมีความชื้นเกินค่าปลอดภัย ในวัสดุอาหารการมีความชื้นอาจทำให้เกิดเชื้อรา หรือการเกาะติดเป็นก้อนของผลิตภัณฑ์ที่เป็นเม็ด หรืออาจมีผลเสียต่อการนำไปใช้ในกระบวนการผลิตขั้นต่อไป การอบแห้งเป็นการกำจัดความชื้นออกด้วยวิธีทางความร้อน โดยการให้ความร้อนเพื่อการระเหยความชื้นออกสู่ตัวกลางซึ่งส่วนใหญ่เป็นอากาศร้อนและแห้ง โดยอากาศดังกล่าวนอกจากจะเป็นแหล่งความร้อนเพื่อการระเหยแล้วยังทำหน้าที่พาความชื้นจากการระเหยออกจากห้องอบด้วย

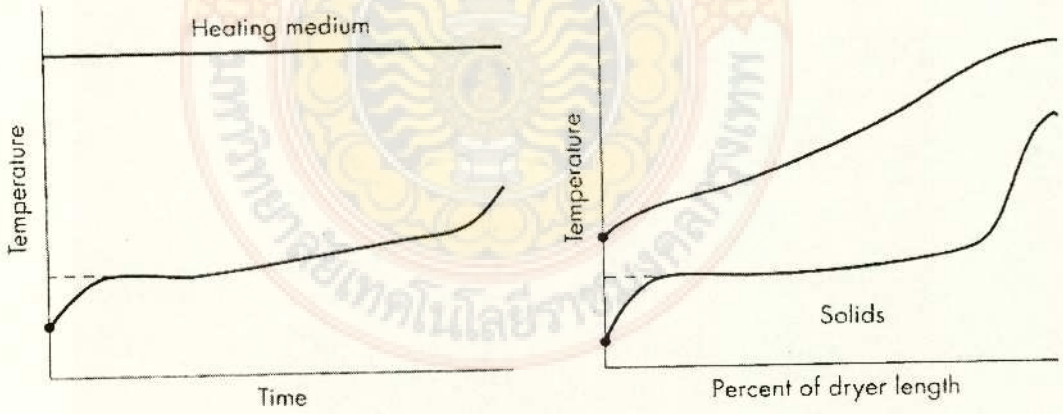
ความชื้นสุดท้ายในผลิตภัณฑ์ต่างๆ นั้นมากน้อยแตกต่างกันออกไป ของแข็งบางชนิดสามารถอบจนแห้งปราศจากน้ำ เรียก Bone dry solid แต่ส่วนใหญ่แล้วจะยังมีความชื้นเหลืออยู่บ้าง ตัวอย่างเช่น เกลือแกงที่ว่าแห้งจะมีความชื้นประมาณ 0.5% ถ่านหินแห้งมีความชื้นประมาณ 4%การอบแห้งโดยแท้จริงแล้วหมายถึงการทำความชื้นให้ลดลงด้วยวิธีทางความร้อนให้ได้ความชื้นในระดับที่รับได้ มิได้หมายความว่าอบจนมีค่าความชื้นเป็นศูนย์ เนื่องจากของแข็งมีอยู่หลายรูปแบบเช่น เป็นเกล็ด(Flakes) เป็นเม็ด เป็นผลึก เป็นผง เป็นแผ่น ความชื้นที่จะถูกอบให้แห้งก็อาจอยู่ในของแข็งในหลายรูปแบบ เช่น อาจเคลือบอยู่บนผิวผลึกอย่างในการอบเกลือ เป็นน้ำที่อยู่ในเนื้อวัสดุเช่น แผ่นยาง หรือไม้กระดาน หรืออาจจะเป็นแบบผสม คือบางส่วนเป็นความชื้นที่อยู่ข้างนอกบางส่วนอยู่ข้างในเนื้อ วัสดุอบอาจจะอยู่ในสภาพของแข็ง ของเหลว หรือ เป็น Slurry สภาวะของวัสดุเหล่านี้ เป็นกำหนดรูปแบบของอุปกรณ์ที่ใช้ในการอบ ซึ่งก็มีอยู่หลากหลายชนิด เช่นเครื่องอบแบบถาด แบบ

อุโมงค์ แบบถังหมุน แบบพ่นฝอย แบบ Rotary ดังนั้นการอบแห้งจึงเป็นเทคโนโลยีที่มีขอบข่ายกว้างมาก ในการเรียนในเบื้องต้น จึงจำกัดวงให้แคบไว้เฉพาะเรื่องหลักการทั่วไปของการคำนวณเวลาอบแห้งในอุปกรณ์แบบถาดอบและแบบอุโมงค์เท่านั้น ส่วนการอบแบบพ่นฝอยนักศึกษาจะได้เรียนจากการปฏิบัติจริงในวิชาปฏิบัติการ Unit Operations ซึ่งอยู่ในวิชา Industrial Chemistry lab (มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2550)

2.4.1 หลักการอบแห้ง

การถนอมอาหารโดยการอบแห้งได้มีมานานแล้ว เช่น การทำแห้งด้วยการตากแดดและ การอบแห้งโดยอาศัยเครื่องกล ใช้ความร้อนจากแหล่งพลังงานอื่น ๆ เช่น ไฟฟ้า การเผาไหม้ของ เชื้อเพลิง เช่น แก๊สหุงต้ม น้ำมันเชื้อเพลิง วัสดุเกษตรและฟืน พลังงานไอน้ำ เป็นต้น (สิริชัย, 2539) ได้กล่าวว่า การอบแห้งใช้พื้นที่น้อยกว่าการตากแห้งและสามารถควบคุมคุณภาพผลิตภัณฑ์ให้คงที่ได้ นอกจากนี้ยังได้กล่าวถึง หลักการอบแห้งโดยใช้ลมร้อนอากาศปกติมีอุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ประมาณร้อยละ 60 ถึง 75 เมื่อทำให้อากาศร้อนขึ้น เช่น อุณหภูมิ 60 องศา- เซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ประมาณร้อยละ 15 ถึง 25 จะสามารถถ่ายเทความร้อนให้กับอาหาร น้ำระเหยกลายเป็นไอ ลมจะพัดพาไอน้ำออกไป ความชื้นในอาหารลดลงอย่างรวดเร็วในช่วงแรกต่อมาจะลดลงช้าๆ จนกระทั่งถึงจุดความชื้นสมดุลเนื่องจากผลไม้มีความชื้นสูง (ร้อยละ 70 ถึง 95) ระยะเวลาในการอบแห้งจึงใช้เวลานาน การอบแห้งที่ถูกต้อง

1) รูปแบบการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของวัสดุในเครื่องอบ พฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในเครื่องอบขึ้นอยู่กับธรรมชาติของๆแข็งและปริมาณความชื้นที่มีอยู่ ตลอดจนขึ้นกับอุณหภูมิของอากาศที่ใช้อบ แต่รูปแบบของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิก็มีความคล้ายคลึงกัน แม้จะใช้เครื่องอบต่างชนิด ดังรูปที่ 1



รูปที่ 2.1 รูปแบบการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในเครื่องอบแบบแบชและอุโมงค์ (ที่มา: คู่มือปฏิบัติการ Unit 2 ภาควิชา เคมีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ)

ในเครื่องอบแบบแบช (Batch dryer) ซึ่งอบด้วยอากาศแห้งอุณหภูมิคงที่ Tv อุณหภูมิของวัสดุอบจะเพิ่มจากค่าตั้งต้น Tsa ถึงค่าอุณหภูมิอบ Ti ในเครื่องอบที่เป็น non adiabatic ที่ไม่มีอากาศพัดผ่าน ค่า Ti นี้จะเท่ากับจุดเดือดของ ๆ เหลวภายใต้ความดันในเครื่องอบ แต่เมื่ออากาศอบที่อยู่ในสภาวะadiabatic Ti จะมีค่าเท่ากับหรือใกล้เคียงกับค่า Twet bulb ,Tw (ซึ่งเท่ากับอุณหภูมิ Adiabatic Saturation Temperature ในกรณีของเหลวคือน้ำ และก๊าซคืออากาศ) การอบแห้งอาจดำเนินอยู่ด้วยค่าอุณหภูมิ Tw ระยะหนึ่ง แต่ถ้าผิวของวัสดุเริ่มแห้ง ไม่นานค่าอุณหภูมินี้จะค่อย ๆ เพิ่มขึ้น อุณหภูมิ ณ จุดที่ระเหยนี้จะขึ้นอยู่กับค่าความต้านทานของบริเวณที่ผิวแห้ง และสิ่งแวดล้อมในช่วงสุดท้ายอุณหภูมิอาจสูงขึ้นตามรูป ค่าเวลาอบตามรูปที่ 1 จะแตกต่างกันตั้งแต่สองสามวินาทีถึงหลาย ๆ ชั่วโมง ของแข็งอาจจะมีค่าอุณหภูมิ Tw เกือบตลอดเวลาที่ใช้อบหรืออาจใช้เวลาที่อุณหภูมินี้เพียงประเดี๋ยวเดียว อุณหภูมิของอากาศมักคงที่หรืออาจถูกทำโปรแกรมให้เปลี่ยนไปตามเวลาที่ใช้อบ

ในเครื่องอบต่อเนื่องสมบูรณ์แบบ วัสดุอบผ่านเข้าระบบคล้ายกับ รูปที่ 1 แบบอุโมงค์อากาศและวัสดุผ่านเข้าออกคนละด้านในระบบที่มีการอบแบบ Steady State สภาวะที่จุดต่าง ๆ ในเครื่องอบจะมีค่าคงที่ไม่ขึ้นกับเวลา รูปที่ 1 แบบอุโมงค์ แสดงพฤติกรรมของการอบแบบต่อเนื่องในสภาวะคงที่ ก๊าซและของแข็งวิ่งสวนทางกัน ของแข็งเข้าทางซ้ายออกทางขวา ขณะที่ก๊าซเข้าขวาออกซ้าย ตามรูปที่ 1 จะเห็นการปรับอุณหภูมิผิวของแข็งจาก Ti สู่สภาวะการอบแบบอัตราอบคงที่ซึ่งค่า Ti = Tw เนื่องจากความร้อนที่ใช้เพื่อการทำ Initial warm up หรือ Final heating จะมีปริมาณน้อยมาก เมื่อเทียบกับปริมาณความร้อนที่ใช้เพื่อการระเหย สำหรับการอบวัสดุที่ไวต่อการสูญเสียคุณภาพจะออกแบบให้อุณหภูมิขาออกของของแข็งอยู่ใกล้เคียงกับ ค่า Tw มากที่สุด อากาศร้อนที่เข้าอบมักเข้าที่อุณหภูมิสูงและค่าความชื้นต่ำ (มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ,2550)

2) การถ่ายเทความร้อนในเครื่องอบความร้อนที่ถ่ายเทจากลมร้อนสู่วัสดุอบถูกควบคุมด้วยกลไกการถ่ายเทความร้อนหลายรูปแบบดังสมการ

$$qT = hvA(Tv - Ti) = hcA(Tv - Ti) + hrA(Tv - Ti) + ukA(Tv - Ti) \quad .....(1)$$

เมื่อ hc = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน โดยการพาจากก๊าซสู่ผิวของแข็ง ($W/m^2 K$)

hr = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน โดยการแผ่รังสี ระหว่างวัสดุกับผนังของห้องอบ ($W/m^2 K$)

uk = สัมประสิทธิ์รวมของการถ่ายเทความร้อนสู่ผิวหน้าของการอบโดยการพาและการนำความร้อนผ่านชิ้นวัสดุสู่ผิวหน้าซึ่งมีการระเหย ($W/m^2 K$)

Tv , Ti คือค่าอุณหภูมิอากาศที่ใช้อบแห้งและอุณหภูมิผิวต่อระหว่างอากาศและของแข็ง(°K)

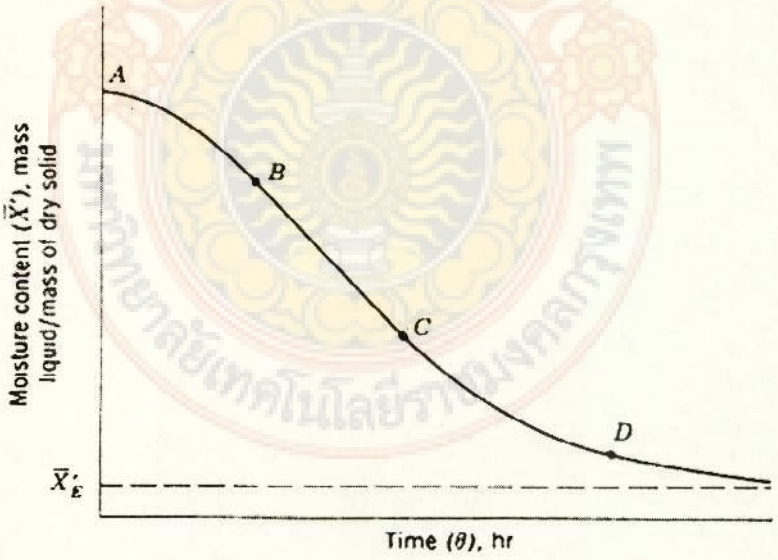
2.4.2 การกำหนดค่าความชื้นของวัสดุอบ

การระบุค่าความชื้นอาจแบ่งออกเป็น Wet basis กับ Dry basis คือการใช้ฐานในการเปรียบเทียบแตกต่างกัน Wet basis หมายถึงการเทียบปริมาณความชื้นกับน้ำหนักรวมของของแข็งและความชื้น Dry basis เป็นการเทียบปริมาณความชื้นกับของแข็งเท่านั้น เช่น ถ้าบอกว่าวัสดุมีค่าความชื้น 20% Wet basis หมายความว่า มีน้ำ 20 กรัมต่อของแข็ง 80 กรัม แต่ถ้าเป็น 20% Dry

basisหมายถึงมีน้ำ 20 กรัมต่อของแข็ง 100 กรัม โดยปกติการบอกค่าความชื้นโดยใช้ Dry basis จะทำให้คำนวณง่ายกว่า เพราะสามารถระบุเป็นค่าความชื้นต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนักของของแข็ง เช่น 20% Dry basis จะเท่ากับน้ำ 0.2 กรัมต่อของแข็งหนึ่งกรัม เมื่อทำให้แห้งเหลือ 10% Dry basis ก็หมายความว่าเหลือความชื้นเพียง น้ำ 0.1 กรัมต่อของแข็งหนึ่งกรัม ค่าความชื้นที่ลดลงเท่ากับ 0.2 - 0.1 = 0.1 กรัมน้ำต่อกรัมของแข็งได้เลย ในทางตรงข้ามถ้าเริ่มจาก 20% เหลือ 10% Wet basis จะไม่สามารถจับค่าความชื้นมาลบกันโดยตรงได้ เพราะฐานที่ใช้เทียบเปลี่ยนไป 20% Wet basis มีน้ำ 20 กรัมต่อของแข็ง 80 กรัม เมื่อแห้งมี 10% Solid หมายความว่ามีน้ำ 10 กรัมต่อของแข็ง 90 กรัม การจะเอาความชื้นมาลบจะต้องเป็นค่าความชื้นในสถานะใหม่ที่เกี่ยวเนื่องกับของแข็งจำนวนเดิมคือ 80 กรัมซึ่งจะคำนวณได้โดยการเทียบบัญญัติไตรยางค์ดังนี้

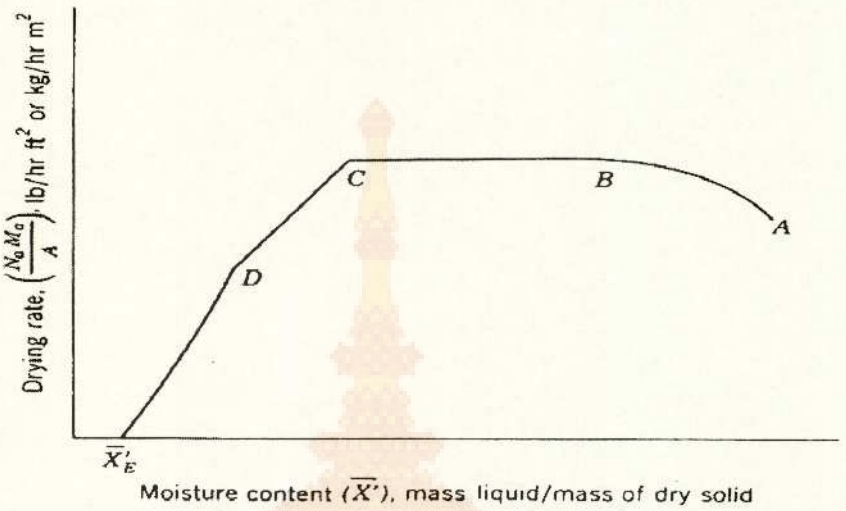
ก่อนอบแห้ง 20% wet solid	วัสดุชื้น100 กรัม	มีน้ำ 20 กรัม	ของแข็ง 80	กรัม
หลังอบแห้ง	ของแข็ง 90 กรัม	มีความชื้น	10	กรัม
ของแข็ง 80 กรัม	มีความชื้นได้	(10/90) × 80 = 80 8.88		กรัม
ดังนั้น ปริมาณน้ำที่จะเหยออกคือ		20 – 8.88 = 11.11		กรัม
หรือ ของแข็ง 80 กรัมต้อง น้ำระเหยออก		11.11		กรัม
ของแข็ง 1 กรัม ต้องน้ำระเหยออก		11.11/80 = 0.139		กรัม

เมื่อเทียบกับข้อมูลข้างต้นที่อบจาก 20 ⟶ 10% Dry basis ซึ่งระเหยน้ำออก 0.1 กรัมน้ำต่อกรัมของแข็ง แล้วจะพบว่าผลลัพธ์ต่างกัน และการคำนวณยุ่งยากไม่เท่ากัน



รูปที่ 2.2 พฤติกรรมของวัสดุขณะอบ
(ที่มา : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2550)

1) Critical moisture content, X'c ค่าความชื้นวิกฤต คือค่าความชื้นที่มีอยู่ในวัสดุ ณ เวลาที่อัตราเร็วในการอบแห้งเริ่มลด นับเป็นจุดสุดท้ายของ constant rate drying period การอบแห้งต่อจากนี้ไป จะมีอัตราการระเหยต่ำลงเรื่อยๆ

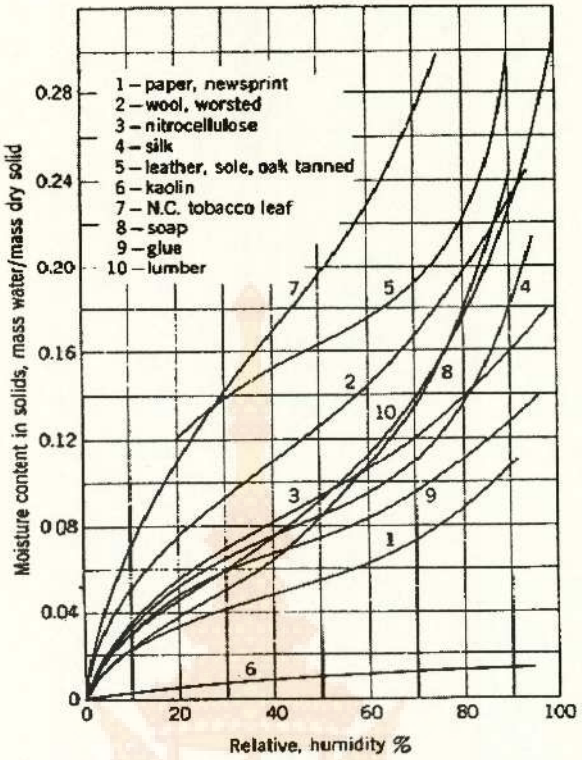


รูปที่ 2.3 Drying Rate
(ที่มา: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2550)

2) ค่า Free moisture หมายถึงค่าความชื้นที่สามารถกำจัดออกได้ที่สภาวะอากาศอบหนึ่งๆค่า X'F = X'0 — X'E

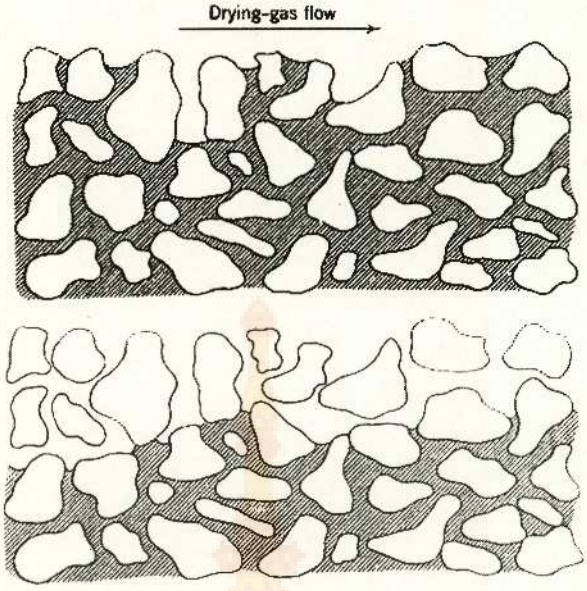
3) ค่า Bound moisture และ Unbound moisture, Bound moisture คือค่าความชื้นที่มีอยู่ในวัสดุขณะที่ความชื้นนี้ทำให้เกิดความดันของไอต่ำกว่าค่าความดันไอที่อุณหภูมินั้น ค่า Bound moisture มีอยู่ได้หลายสภาพ อาจอยู่ในช่วง Capillary ระหว่างอนุภาควัสดุ เช่น ในแผ่นไม้ เมื่อดูเทียบกับกราฟระหว่างความชื้นสมดุล และความชื้นสัมพัทธ์ ค่าความชื้นในวัสดุที่สอดคล้องกับจุดตัดเส้น 100%ความชื้นสัมพัทธ์ คือค่าความชื้นสูงสุดในช่วงของ Bound moisture ถ้าความชื้นมากกว่านี้ เรียก Unbound moisture หรือคิดอีกนัยหนึ่งเนื่องจากปริมาณนอกเหนือจากค่า Bound moisture มิได้ถูกยึดอย่างแน่นเหนียวด้วยโครงสร้างของวัสดุจึงระเหยง่าย Unbound moisture จะให้ค่าความชื้นในก๊าซเฟสเท่ากับค่าความดันไอของอากาศ ณ อุณหภูมิ Tw และแม้จะมีความชื้นมากกว่านี้ก็ไม่มีผลให้ความดันไอสูงขึ้นอีก ทั้งนี้เพราะค่าความดันไอขึ้นกับอุณหภูมิ และเป็นค่าความดันที่สมดุล ณ อุณหภูมินั้น (คู่มือปฏิบัติการ Unit 2 ภาควิชา เคมีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2550)

4) ค่าความชื้นสมดุล X'E คือความชื้นที่จะยังคงเหลืออยู่ในเนื้อวัสดุในสมดุลกับอากาศที่ใช้อบความชื้นจะไม่ลดต่ำกว่านี้อีกแม้ว่าจะใช้เวลานานเท่าใดก็ ตาม ถ้าต้องการได้วัสดุที่มีค่าความชื้นต่ำกว่าค่านี้ จะต้องเปลี่ยนสภาวะของอากาศอบให้ มีค่าความชื้นต่ำลง



รูปที่ 2.4 Equilibrium Moisture Content
(ที่มา: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2550)

5) Constant Rate Drying (Rc) และ Falling Rate Drying (Rf) อัตราการอบ (R) หมายถึง ค่าความชื้นที่ระเหยออกไปได้ต่อหน่วยพื้นที่ต่อหน่วยเวลาหน่วยอาจเป็นปอนด์น้ำต่อตารางฟุตชั่วโมง หรือกิโลกรัมน้ำต่อตารางเมตรชั่วโมง Constant Rate Drying (Rc) คือการอบแห้งในช่วงการอบที่มีค่าอัตราการระเหยต่อพื้นที่และเวลาคงที่เป็นการอบที่มีความชื้นในวัสดุเหลือเฟือ จึงเดินทางมาสู่ผิวหน้าได้ทันเวลากับความร้อนที่จ่ายจากลมร้อนมาที่ผิวเป็นปริมาณความร้อนที่อยู่ในประเภท Unbound moisture ที่สำคัญคือ การอบในช่วงนี้เกิดโดยที่อุณหภูมิวัสดุคงที่ Twet bulb ของอากาศแห้งที่ใช้อบ



รูปที่ 2.5 Moisture receding in falling rate drying period
(ที่มา: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2550)

Falling Rate Drying คือ การอบในช่วงที่ปริมาณน้ำที่ผิววัสดุแห้งลง เมื่อน้ำระเหยมาที่ผิวไม่ทันอัตราการระเหยต่อหน่วยพื้นที่และเวลาก็จะลด ในช่วงนี้อุณหภูมิที่ผิวอาจค่อย ๆ เพิ่มขึ้น และค่า Rf อาจจะแปรผันตรงกับค่าความชื้นที่เหลืออยู่ (กราฟ Falling rate เป็นเส้นตรง) หรือไม่ขึ้นโดยตรงกับค่า X' (กราฟของ Falling rate เป็นเส้นโค้ง) ก็ได้ วัสดุอบบางประเภทอาจมีแต่ Falling rate ตลอดการอบเลยก็ได้

2.4.3 การคำนวณที่เกี่ยวกับการอบ (Drying Calculation)

การคำนวณที่เกี่ยวกับการอบแห้งมักเป็นการคำนวณหาค่าเวลาที่ใช้ในการอบ (Drying time) สมการทั่วไปสำหรับคำนวณหาค่าเวลาที่ใช้อบหาได้จากการอินทีเกรดสมการของคำจำกัดความของ Drying Rate

$$R = -\frac{w_s}{A}\frac{dX}{d\theta} = \frac{M_a M_b}{A} \qquad \text{.....(2)}$$

เมื่อ R = ค่า drying rate, lb H_2O./hr.ft^2, kg H_2O/m^2.hr.

Ws = น้ำหนักของของแข็งแห้ง, lb, kg

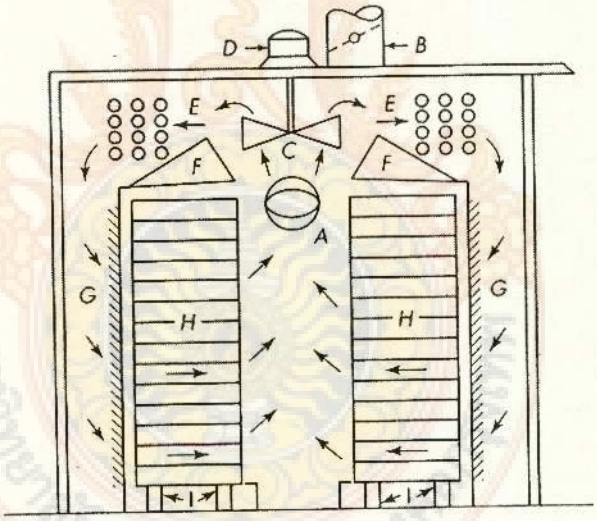
X' = ค่าความชื้นในของแข็ง

2.4.4 อุปกรณ์อบแห้ง (Drying Equipment)

เพื่อเป็นตัวอย่างจะกล่าวถึงเครื่องอบแห้งสองกลุ่มได้แก่เครื่องอบสำหรับของแข็งแบบเม็ดหรือกึ่งแป้งเปียก ขณะที่กลุ่มที่สองได้แก่ เครื่องอบสำหรับ Slurry หรือของเหลว

1) เครื่องอบของแข็งและ Paste เครื่องอบที่ใช้ได้แก่เครื่องอบแบบถาด Screen conveyor สำหรับวัสดุที่กวนไม่ได้ หรือ Screw conveyor, Fluid bed และ Flash dryer สำหรับวัสดุที่กวนได้ โดยจะพยายามเรียงลำดับความทนต่อการกวนได้ในการอบวัสดุ

2) เครื่องอบแบบถาด (Tray dryer) เครื่องอบประกอบด้วยกล่องโลหะข้างในมีชั้นวางสองชั้น ซึ่งรองรับตะแกรง H ตะแกรงเป็นที่วางถาดอบขนาดต่างๆ ซึ่งใช้บรรจุวัสดุที่จะอบอากาศร้อนถูกบังคับให้หมุนวนด้วยความเร็วประมาณ 2 ถึง 5 เมตรต่อวินาที ระหว่างถาดด้วยพัดลมแผ่นครีบ G ช่วยบังคับลมให้พัดขนานกับผิวอบในถาด อากาศชื้นบางส่วนถูกปล่อยออกที่ปล่อง B และอากาศ Make up เข้าที่ทางจุด A ชั้นวางตั้งอยู่บนลูกล้อซึ่งทำให้สามารถเข็นออกจากตู้อบได้เมื่อจบการอบเครื่องอบแบบถาดนี้สามารถทำงานภายใต้ระบบสุญญากาศได้ บ่อยครั้งการให้ความร้อนเป็นแบบทางอ้อม ซึ่งทำโดยถาดอบจะวางไว้บนกล่องโลหะกลวง ภายในมีไอน้ำ หรือน้ำร้อนหล่อลื้ยงอยู่ในการนี้ไอจากการะเหยความชื้นจะต้องดูดออกโดยใช้ปั๊ม (มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2550)

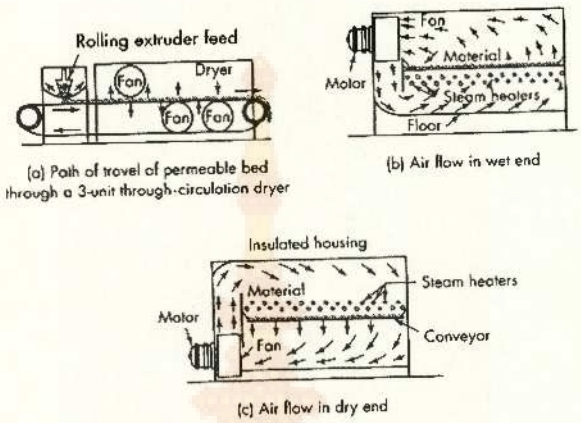


รูปที่ 2.6 เครื่องอบแบบถาด (Tray dryer)
(ที่มา: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2550)

3) เครื่องอบแบบสายพานเลื่อน (Screen conveyor dryer) ในการอบแบบนี้วัสดุอบจะถูกทำให้แห้งอย่างช้าๆ บนตะแกรงเลื่อนโลหะ เคลื่อนที่ไปในอุโมงค์อบชิ้นวัสดุ อาจจะหนาระหว่าง 25-150 มิลลิเมตร อุโมงค์อบอาจแบ่งเป็นช่วง ๆ มีพัดลมของตัวเองทางด้านวัสดุขาเข้าพัดลมจะเป่าผ่านลวดความร้อนขึ้นสู่ตะแกรงจากล่างขึ้นบน ส่วนทางด้านขาออกซึ่งวัสดุแห้งอาจมีฝุ่นพัด

สำนักวิทยบริการและเทคโนโลยีสารสนเทศ
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

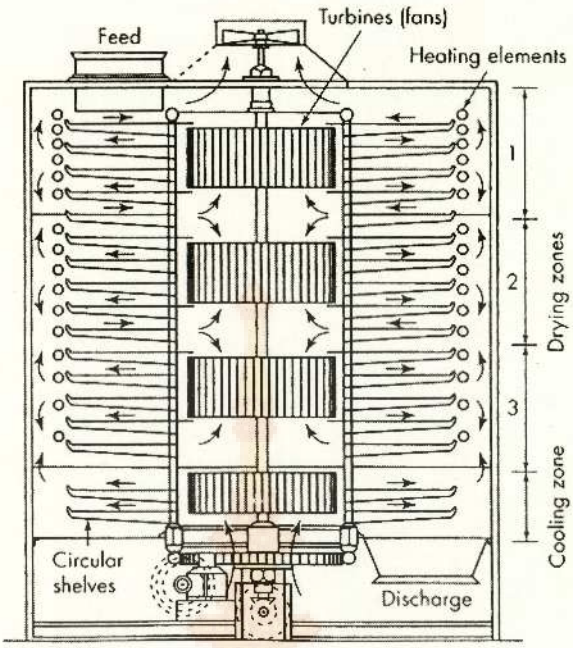
ลมจะบังคับทิศทางลมตรงข้ามกับขาเข้า คือจะบังคับลมให้เป่าลงจากด้านบนกดวัสดุอบเข้ากับสานพาน เพื่อกันการฟุ้งกระจาย อุณหภูมิของอากาศอบ และค่าความชื้นจะแตกต่างไปตามตำแหน่งต่างๆ เพื่อความเหมาะสมทางการอบ



รูปที่ 2.7 Screen Conveyor Dryer
(ที่มา: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2550)

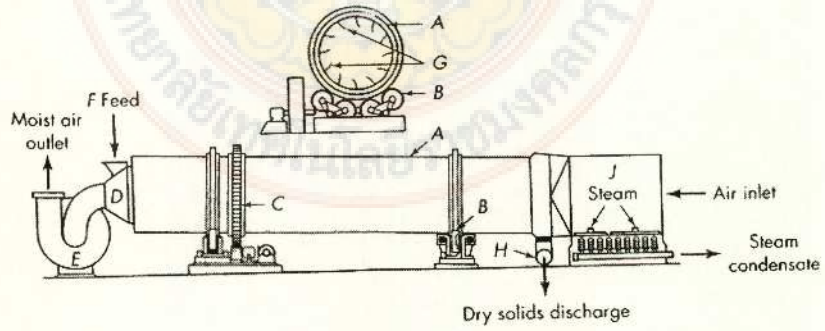
ตัวอย่าง screen conveyor dryer มีหน้ากว้าง 2 เมตร ยาว 2 ถึง 50 เมตร ใช้เวลาอบ 5-120นาทีขนาดตะแกรงบนสายพานปริมาณ 30 เมช (Mesh) วัสดุเม็ดใหญ่ เกล็ด หรือเส้นใย สามารถวางบนตะแกรงได้โดยตรง ในขณะที่พวก Paste จะต้องอัดเป็นเม็ดเสียก่อน Screen conveyor ประยุกต์ใช้อบวัสดุได้หลากหลายด้วยกลไกที่นุ่มนวล ราคาสมเหตุผล หมดเปลืองพลังงานต่ำ อาจใช้ไอประมาณ 2 กิโลกรัมต่อน้ำที่ระเหยหนึ่งกิโลกรัม อากาศจะพัดทะลุวัสดุ และระบายจากช่วงหนึ่งสู่อีกช่วงหนึ่ง

4) เครื่องอบแบบหอ (Tower dryer) เครื่องอบแบบนี้ประกอบด้วยถาดกลมซ้อนกันอยู่บนแกนหมุนตรงกลาง วัสดุอบตกจากด้านบน สวนทางกับลมร้อนที่ผ่านแต่ละถาด วัสดุอบจะถูกกวาดลงสู่ถาดล่าง ทิศทางการเคลื่อนที่ของลมและของแข็งอาจสวนทาง หรือตามกันก็ได้ตามรูป พัดลมจะบังคับลมให้พัดออกไปตามช่องระหว่างถาดความเร็วลมประมาณ 0.6 – 2.4 เมตร/วินาที อากาศที่ถูกอุ่นแล้วมักถูกดูดเข้าทางด้านล่าง และออกด้านบน Turbo dryer อบวัสดุโดยการ Through circulation และการตกผ่านกระแสลมร้อนจากถาดบนลงถาดล่าง (เหมือนหมาย, 2550)



รูปที่ 2.8 Tower Dryer
(ที่มา: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2550)

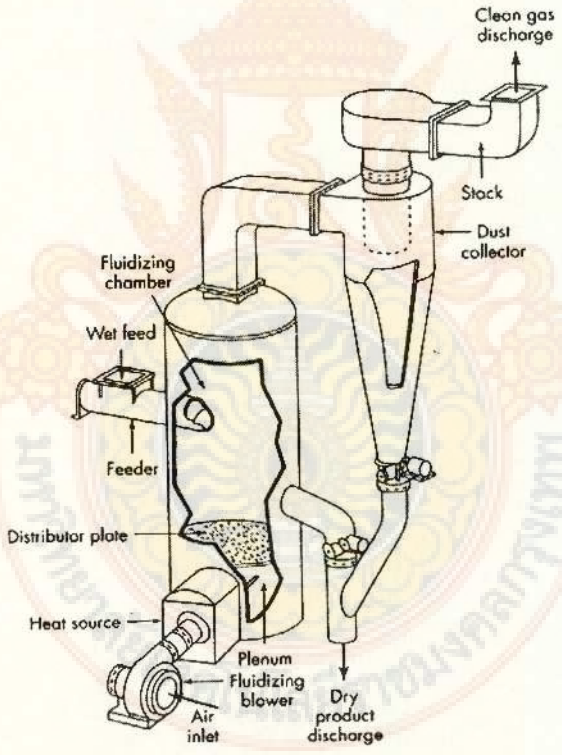
5) เครื่องอบแบบถังหมุน (Rotary dryer) เครื่องอบแบบนี้ประกอบด้วยถังยาวรูปทรงกระบอกวางนอนวางเอียงเล็กน้อย และหมุนรอบตัววัสดุป้อนเข้าด้านบน วัสดุแห้งออกทางด้านล่าง เมื่อถังหมุนเขี้ยวที่อยู่ด้านในจะเกี่ยวให้วัสดุถูกยกขึ้นไปโปรยจากด้านบนสวนกับลมร้อนที่เป่าเข้าด้านล่าง เป็นการอบแบบสัมผัสโดยตรง หรือทางอ้อม โดยใช้ไอน้ำวิ่งอยู่ในท่อที่ติดอยู่กับเปลือกด้านในของถัง ในการสัมผัสตรงระหว่างอากาศและวัสดุอบ ลมร้อนมักจะผ่านเข้า Jacket ที่อยู่ด้านนอก Shell ก่อนเข้าด้านล่างและสัมผัสกับวัสดุอบ



รูปที่ 2.9 Rotary Dryer
(ที่มา: กระทรวงพลังงาน, 2549)

6) Screw Conveyor Dryer เครื่องอบแบบสกรู เป็นเครื่องอบแบบต่อเนื่อง สัมผัสทางอ้อมกับตัวให้ความร้อน ประกอบด้วยสกรูหมุนอยู่ในตัวถัง ซึ่งเป็นเปลือกหล่อด้วยไอน้ำ ของแข็งถูกป้อนเข้าด้านหนึ่ง และถูกขับเคลื่อนไปข้างหน้าด้วยการหมุนของสกรู ไอที่เกี่ยวข้องถูกดูดออกทางท่อที่อยู่ด้านบนของตัวถัง ตัวถังนี้ขนาดประมาณเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 ถึง 600 มิลลิเมตร ยาวประมาณ 6 เมตร ถ้าต้องการความยาวมาก ๆ อาจทำ Conveyor หลายตัววางซ้อน ๆ กัน โดยตัวล่างสุดแทนที่ลมร้อนก็อาจจะหล่อเย็นเพื่อทำให้วัสดุอบเย็นลงก่อนปล่อยออกเครื่องอบแบบนี้เหมาะสำหรับอบของแข็งที่ละเอียดมากหรือติด ไม่สามารถใช้ Rotary dryerได้ เป็นระบบปิดที่สามารถทำเป็นสุญญากาศได้ จึงทำให้ใช้กับระบบที่ต้องการ Recovery solvent (กระทรวงพลังงาน, 2549)

7) เครื่องอบแบบ Fluidisebed เป็นเครื่องอบที่ของแข็งที่อบถูกทำให้ไหลเหมือนของไหลโดยความเร็วของอากาศที่ใช้อบการผสมและการให้ความร้อนจะเร็วมาก สารป้อนที่เปียกจะถูกป้อนจากด้านบน ผลผลิตที่แห้งจะออกทางด้านล่าง จากการทำงานตามรูป ค่าเวลาที่วัสดุถูกกักอยู่ในเครื่องอบซึ่งเรียกว่า Residence Time จะอยู่ในช่วง 30 ถึง 120 วินาทีเมื่อเป็นการอบเม็ดของแข็ง และอาจจะนานถึง 15-30 นาที ถ้าเป็นการอบ Bound water



รูปที่ 2.10 Fluidisebed dryer
(ที่มา: กระทรวงพลังงาน, 2549)

2.4.5 คุณสมบัติของการอบแห้ง

1) อาศัยการควบคุมอุณหภูมิ และความชื้นในห้องอบ ฉะนั้นจะได้ผลผลิตที่มีคุณภาพดี เสมอไปไม่ว่าจะอยู่ในสภาพแวดล้อมอย่างไร

2) ไม่เปลืองเนื้อที่มาก เพราะสามารถซ้อนกันได้หลายชั้น

3) ไม่ค่อยมีปัญหาเรื่องความสกปรกหรือเชื้อโรคต่าง ๆ เพราะอยู่ในที่ปกปิด

4) สามารถดำเนินงานได้ตลอด 24 ชั่วโมง

5) ไม่มีการเสื่อมคุณภาพระหว่างการอบแห้ง เพราะกรรมวิธีอบแห้งรวดเร็วและมีการควบคุมอุณหภูมิ

6) รักษาวิตามินได้มากกว่าการตากแห้ง เพราะสัมผัสเพียงอากาศเล็กน้อยและไม่ถูกแสงแดด (วัฒนา, 2526)

2.4.6 ประโยชน์ของการอบแห้ง

1) ช่วยเก็บอาหารไว้ได้นาน เพราะความแห้งป้องกันการเจริญของจุลินทรีย์ต่างๆ ได้

2) อาหารจะมีน้ำหนักเบา เพราะน้ำส่วนใหญ่ถูกกำจัดออกแล้วทำให้สะดวกใน การเก็บ การบรรจุหีบห่อ และส่งไปยังบริเวณห่างไกล และเป็นการประหยัดด้วย

3) อาจใช้อุปกรณ์น้อย ราคาถูก หรืออาจไม่ต้องลงทุนเลยก็ได้ เช่น การ ตากแดด

4) การถนอมอาหาร แบบตากแห้งทำได้ง่ายและสะดวก และไม่ต้องการความรู้มากนัก ได้อาหารที่มีรส กลิ่น สีแตกต่างกันออกไป เป็นการเพิ่มอาหารได้มากรสขึ้น และมักเป็นที่นิยมของคน (วัฒนา, 2526)

2.4.7 คุณค่าทางโภชนาการของอาหารแห้ง

เนื่องจากอาหารแห้งจะเสียน้ำไป จึงทำให้สัดส่วนขององค์ประกอบของสาร อาหารนั้นเพิ่มขึ้นต่อน้ำหนักอาหารเมื่อเทียบกับอาหารสด อย่างไรก็ตามอาหารที่ถนอมด้วยวิธีใดก็ตามจะไม่มีทางรักษาคุณค่าทางโภชนาการให้เทียบเท่ากับอาหารสดได้ การอบแห้งก็เช่นกัน คือ

1) ผักและผลไม้จะเสียวิตามินไปบ้างโดยเฉพาะพวกที่ละลายน้ำ คือ วิตามินซีจะเสื่อม เสียไปบ้างโดยการถูกอากาศ “ไรโบฟลาวิน” เสื่อมจากการถูกแสงแดด วิตามินเสื่อมเพราะความร้อน และการละลายน้ำ แม้วิตามินเอก็เสียไปมากเพราะถูกอากาศและแสงแดด วิตามินนี้ยังจะลดอีก ตามระยะเวลาที่เก็บ

2) อาหารพวกเนื้อสัตว์ การเสื่อมเสียคุณค่าทางโภชนาการของเนื้อสัตว์ขึ้นอยู่กับ วิธีการทำให้แห้ง คือ ถ้าถูกความร้อนสูงเป็นเวลานานจะทำให้อาหารมีลักษณะแห้งและแข็ง ร่างกาย จึงใช้ประโยชน์จากโปรตีนน้อยลงไปบ้างเล็กน้อย (วัฒนา, 2526)

2.5 การอบแห้งผลไม้

การทำอาหารแห้งก็คือการนำอาหารไปตากแดด หรืออบในตู้ความร้อนเพื่อระเหยน้ำที่เป็นส่วนจำนวนมากในอาหารออกไปให้มากเพียงพอที่อาหารแห้งนั้นสามารถเก็บอยู่ได้โดยไม่เสีย เนื่องจากจุลินทรีย์ อาหารแต่ละชนิดที่นำมาทำแห้งจะสามารถให้น้ำเหลืออยู่ภายในอาหารได้มากน้อยไม่เท่ากัน ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของอาหารนั้นเป็นสำคัญ ทั้งนี้เพราะผลไม้จะสามารถทำให้ แห้งโดยให้มีความชื้นสูงกว่า10 เปอร์เซ็นต์ได้ ทั้งนี้เพราะผลไม้มีส่วนประกอบของน้ำตาลอยู่สูง และ ผลไม้แห้งเป็นอาหารที่พร้อมจะกินได้เลย ดังนั้นลักษณะสำคัญของผลไม้แห้ง คือ เนื้อนิ่ม ไม่แข็ง กระด้าง เมื่อผลไม้แห้งมีความชื้นสูง จำต้องรมด้วยควันกำมะถันเพื่อยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ เพิ่มอายุการเก็บ (วิชัย, 2521)

การแปรรูปอาหารโดยการทำแห้ง เป็นการลดความชื้นของอาหารจนถึงระดับที่สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ได้คือ มีค่าวอเตอร์แอกติวิตี (Water activity : a_w) ต่ำกว่า 0.70 ทำให้เก็บอาหารได้นาน อาหารแห้งแต่ละชนิดจะมีความชื้นในระดับที่ปลอดภัยไม่เท่ากัน เช่น ผลไม้แช่อิ่มเก็บที่ความชื้น ร้อยละ 15 ถึง 20 ถ้าเป็นเมล็ดธัญพืชความชื้นระดับนี้จะเกิดราซึ่งการทำอาหารแห้งโดยทั่วไปจะอาศัยความร้อนส่งผ่านเข้าไปให้น้ำในอาหาร เพื่อให้น้ำในอากาศเคลื่อนที่ และระเหยออกจากผิวอาหาร และประสิทธิภาพในการเคลื่อนที่ของผิวน้ำมาที่ผิวอาหาร ธรรมชาติ ของอาหารถ้าเป็นผักจะแห้งเร็วกว่าผลไม้ เพราะผลไม้มีน้ำตาลเป็นองค์ประกอบอยู่ด้วย ในการ อบแห้งผลไม้ วิธีการที่นิยมกันมากที่สุดคือ การใช้ลมร้อนโดยที่ตัวเครื่องอบอาจมีลักษณะเป็นแบบตู้ หรืออุโมงค์ หรือใช้สายพานอบแห้ง จนความชื้นของผลิตภัณฑ์ลดลงถึงระดับหนึ่งแล้วจึงค่อยใช้ วิธีการอบในถัง นอกจากการอบแห้งด้วยลมร้อนแล้ว ยังอาจใช้การอบแห้งแบบอื่น ๆ เช่น การอบแห้งแบบแช่แข็ง การอบแห้งแบบไมโครเวฟ และการลดความชื้นด้วยการออสโมซีส (นิรนาม ก, ม.ป.ป.)

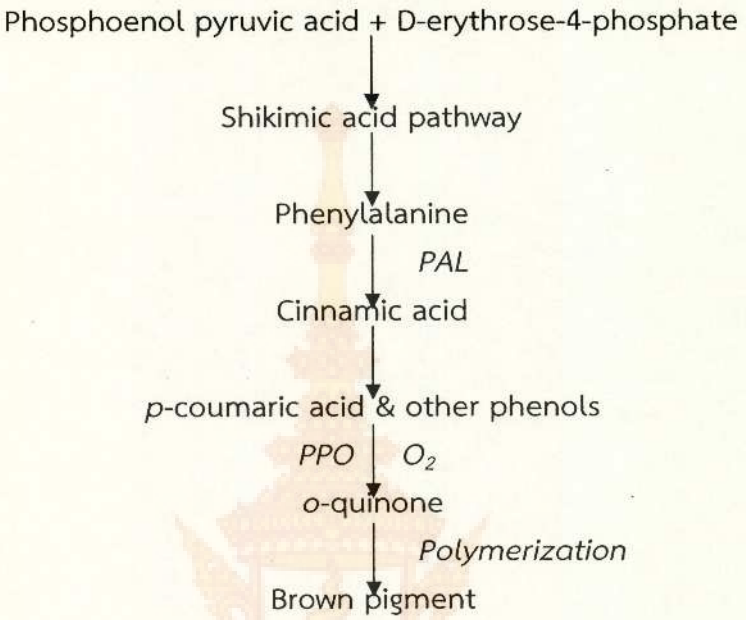
2.5.1 ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล (Browning Reaction)

การเกิดสีน้ำตาลของผลิตผลภายหลังการเก็บเกี่ยวระหว่างการเก็บรักษาและในขั้นตอน การแปรรูป การเกิดบาดแผล การบอบช้ำ และการสกัด เกิดจากการสัมผัสกันระหว่างสารประกอบ ฟีนอล ซึ่งอยู่ใน Vacuole และ เอนไซม์ที่อยู่ใน Cytoplasm ของเซลล์ในขณะที่มีก๊าซออกซิเจน แล้ว เกิดเป็นสีน้ำตาลขึ้น (Macheix และคณะ, 1990) (Radi และคณะ, 1997) การเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลที่มีสาเหตุมาจากเอนไซม์เป็นผลจากการที่สารประกอบฟีนอลที่มีในเนื้อเยื่อพืชในสภาพที่มีออกซิเจน ถูกออกซิไดซ์โดยเอนไซม์ PPO ทำให้เกิดสารสี คือ *o*-Quinone รวมตัวเป็นสารประกอบโมเลกุลใหญ่ ให้สารสีน้ำตาลขึ้น (Namiki, 1988)

2.5.2 กลไกการเกิดสีน้ำตาลในผลิตผลทางการเกษตร

กลไกการเกิดสีน้ำตาลเริ่มจากการสังเคราะห์สารประกอบฟีนอล โดยได้จากการรวมตัวกันของโมเลกุล Phosphoenol Pyruvic acid จาก Glycolysis และ Erythrose-4-Phosphate จาก Calvin cycle หรือ Pentose Phosphate Pathway เข้าสู่ Shikimic acid pathway เพื่อสังเคราะห์ สารประกอบฟีนอล โดยมี Phenylalanine เป็นสารตั้งต้น (Precursor) ของสารประกอบฟีนอลและ เอนไซม์ Phenylalanineammonialyase (PAL) ทำหน้าที่ดึงเอาหมู่อะมิโนออกจาก Phenylalanine ได้เป็น Cinnamic acid เมื่อพืชได้รับความเสียหายเช่น การสูญเสียน้ำ บาดแผล บอบช้ำ หรือ เสื่อมสภาพ จะทำให้เกิดปฏิกิริยาระหว่างสารประกอบฟีนอลในเนื้อเยื่อพืช

และเอนไซม์ PPO ใน สภาพที่มีออกซิเจนเกิดสารประกอบ *o*-Quinone จากนั้นจะเกิดการรวมตัวเป็นโมเลกุลใหญ่เกิดเป็น รงควัตถุสีน้ำตาลขึ้น (Matheis, 1983) ดังแสดงในรูปที่ 11



ภาพที่ 2.11 แสดงขั้นตอนการสังเคราะห์สารประกอบฟีนอลและการเกิดสีน้ำตาล
(ที่มา: จริงแท้, 2544)

2.5.3 ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการเกิดสีน้ำตาล

1) สารประกอบฟีนอล คือสารประกอบที่มีฟีนอลเป็นองค์ประกอบสำคัญและอาจมีหมู่ เคมีอื่นๆ เข้ามาเกาะที่ตำแหน่งต่าง ๆ สารในกลุ่มนี้ได้แก่ Cinnamic acid, Caffeic acid, Chlorogenic acid และ Catechol เป็นต้น (จริงแท้, 2544) สารประกอบฟีนอลพบบริเวณ Vacuole ซึ่งรวมตัวกันเป็นโมเลกุลใหญ่ในรูปที่ละลายน้ำหรือรวมตัวกันอย่างสมบูรณ์ในรูปที่ไม่ละลายน้ำ (Macheix และคณะ, 1990) ในผล Apricot ความรุนแรงการเกิดสีน้ำตาลขึ้นกับความเข้มข้นของสารประกอบฟีนอลด้วย (Vamos-vigyazo และคณะ, 1979) นอกจากนี้ (Radi และคณะ, 1997) พบว่าปริมาณสาร Chlorogenic acid ลดลงอย่างรวดเร็วขณะเกิดสีน้ำตาล ซึ่งแสดงว่าสาร Chlorogenic acid อาจเป็นสับสเตรทของปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลดังนั้นจึงถูกใช้ไปอย่างรวดเร็ว

2) เอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส (PPO) เป็นเอนไซม์ที่สามารถเปลี่ยนโมเลกุลของสารประกอบฟีนอลไปเป็นสาร *o*-Quinone ซึ่งจะรวมตัวกันเป็นโมเลกุลที่ใหญ่ขึ้นแล้วเกิดเป็นรงควัตถุสีน้ำตาลขึ้น (จริงแท้, 2544) เอนไซม์ PPO จะอยู่บน Thylakoid Membrane ของคลอโรพลาสต์และ Vesicles หรือพลาสติดอื่น ๆ ที่ไม่มีสีเขียว นอกจากนี้เอนไซม์ PPO อาจอยู่ในไมโตคอนเดรียหรือ ละลายอยู่ในเซลล์ของผลไม้หลายชนิด ซึ่งกิจกรรมของเอนไซม์ PPO อยู่ในเซลล์จะเพิ่มมากขึ้นเมื่อ ผลสุก โดยคาดว่าเอนไซม์ PPO อยู่ในพลาสติดและถูกปลดปล่อยสู่ไซโตพลาสซึม (Mayer และ

Harel, 1991) Andrews และ (Pridham, 1967) รายงานว่าการเกิดสีน้ำตาลของเปลือกผลกล้วยเกิดจากเอนไซม์ PPO ออกซิไดซ์ สาร Dopamime ซึ่งเป็นสารประกอบฟีนอลที่มีอยู่ในผลกล้วยทำให้เกิดจุดสีน้ำตาลกระจายอยู่ทั่วบนผิวเปลือก โดยพบว่าส่วนใหญ่จุดสีน้ำตาลเริ่มเกิดที่ผิวด้านที่ติดกับขั้วผลก่อน

3) เอนไซม์ฟีนิลอะลานีนแอมโมเนียไลเอส (PAL) เป็นเอนไซม์ที่ใช้ในกระบวนการสร้างสารประกอบฟีนอล โดยเปลี่ยน Phenylalanine ไปเป็น Cinnamic acid และสารประกอบฟีนอลอื่น ๆ ซึ่งเอนไซม์ PAL จะอยู่บริเวณ Cytoplasmic Plastids Mitochondria และ Microbodies มี pH ที่ เหมาะสมอยู่ในช่วง 8.0-8.7 (Hanson และHavir, 1981) โดยทั่วไปกิจกรรมของเอนไซม์ PAL ที่เพิ่มขึ้นสัมพันธ์กับการเพิ่มขึ้นของปริมาณสารประกอบฟีนอล ผลไม้ที่ยังอ่อนอยู่มีกิจกรรมของเอนไซม์ PAL สูงสุดและลดลงอย่างรวดเร็วในผลที่กำลังพัฒนา (Macheix และคณะ, 1990) นอกจากนี้การผลิตเอทิลีนการเกิดบาดแผลสามารถชักนำให้กิจกรรมเอนไซม์ PAL และการสลายสารประกอบฟีนอลเพิ่มขึ้นในเนื้อเยื่อพืชและต่อมาเกิดการรวมตัวเป็นโมเลกุลใหญ่ในผนังเซลล์เกิดเป็นสารสีน้ำตาลขึ้น (Mayer, 1987)

4) การเกิดบาดแผลและรอยช้ำ บาดแผลหรือรอยช้ำเนื่องจากได้รับความกระทบกระเทือนส่งผลให้เซลล์พืชถูกทำลายหรือเกิดความเสียหาย ทำให้สารประกอบต่าง ๆ รวมทั้งสารประกอบฟีนอลเกิดปฏิกิริยากันแล้วชักนำให้ปรากฏอาการสีน้ำตาลขึ้น (Mayer, 1987)

5) อุณหภูมิ อุณหภูมิต่ำมีผลทำ ให้กระบวนการเมตาบอลิซึมต่าง ๆ ลดลงทำให้การเกิด สีน้ำตาลในผลิตผลลดลงด้วย การเก็บรักษาลำ ไยในช่วงอุณหภูมิ 1 ถึง 5 องศาเซลเซียส สามารถลด การเกิดสีน้ำตาลของเปลือกลำไยได้ (Zhou และคณะ, 1997) (Jiang, 1999) นอกจากนี้การเก็บรักษาลำไยที่อุณหภูมิ 2 องศาเซลเซียส สามารถลดการเกิดสีน้ำตาลและลดกิจกรรมของเอนไซม์ PPO (Tian และคณะ, 2002)

6) ความชื้นสัมพัทธ์ ผลิตผลมีการสูญเสียน้ำเนื่องจากสภาพความชื้นของบรรยากาศภายนอกผลิตผล จากการศึกษาของ (Jiang, 1999) เก็บรักษาลำไยที่ความชื้นสัมพันธ์ร้อยละ 85-95 สามารถลดการสูญเสียน้ำและการเกิดสีน้ำตาล และในผลลิ้นจี่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 60 มีการสูญเสียน้ำหนักร้อยละ 10 หลังเก็บรักษา 48 ชั่วโมง และมีการเกิดสีน้ำตาลเพิ่มขึ้น (Underhill และ Simons, 1993)

2.6 สารเคมีที่นำมาใช้ในการอบแห้งผักและผลไม้

ในการใช้สารเคมีในการอบแห้งผักและผลไม้จะมีจุดประสงค์เพื่อสงวนคุณค่าทาง โภชนาการของอาหารและเพื่อยืดอายุการเก็บหรือช่วยปรับปรุงคุณภาพในด้านเกี่ยวกับสี กลิ่น รส ลักษณะสัมผัสและลักษณะปรากฏ โดยที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติหรือคุณค่าทางอาหาร นอกจากนี้ยังมีประโยชน์ในด้านเกี่ยวกับเทคนิคในการแปรรูปกรรมวิธีการแปรรูป การเตรียมวัตถุดิบ การบรรจุ การขนส่ง และอายุของการเก็บผลิตภัณฑ์นั้นๆ (สายสวาท, 2547)

2.6.1 สารประกอบซัลไฟต์ (Sulfite compound)

สารประกอบซัลไฟต์ เป็นวัตถุกันเสียที่ได้มีการรู้จักใช้มาหลายศตวรรษ โดยชาวโรมันและอียิปต์โบราณได้นำเอากำมะถันเผาให้เป็นสารที่ช่วยในการทำลายเชื้อจุลินทรีย์ในการทำไวน์ ซึ่งใน

อุตสาหกรรมไวน์และอาหารบางชนิดในปัจจุบันก็ยังใช้วิธีนี้อยู่ ต่อมาจึงได้มีการนำมาใช้ใน ผลิตภัณฑ์ผักแห้ง ผลิตภัณฑ์ผลไม้แห้ง ผลิตภัณฑ์เนื้อ และผลิตภัณฑ์ปลา เป็นต้น สารประกอบ ซัลไฟต์เป็นสารที่มีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลที่มีประสิทธิภาพดีมาก สารประกอบที่ใช้กันมาก ได้แก่ ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ โซเดียมซัลไฟต์ โพแทสเซียมซัลไฟต์วัตถุประสงค์ของการใช้สารประกอบซัลไฟต์

1) ป้องกันการเสื่อมเสียของอาหาร เพื่อยืดอายุการเก็บรักษาและถนอมอาหาร โดยการลดปริมาณหรือป้องกันการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์

2) ป้องกันการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาล คือ ปฏิกิริยาระหว่างน้ำตาลกับกรดอะมิโน โดยซัลเฟอร์ไดออกไซด์จะไปรวมกับหมู่แอลดีไฮด์ในน้ำตาลแทน ทำให้น้ำตาลทำปฏิกิริยากับกรดอะมิโนไม่ได้ และป้องกันการหืนในกระบวนการแปรรูปอาหารโดยที่ซัลเฟอร์ไดออกไซด์และเกลือซัลไฟต์ที่ละลายน้ำจะอยู่ในรูปของกรดซัลฟิวรัส ซึ่งจะยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ในพืชผักผลไม้ระหว่างการแปรรูปและยังช่วยต่อต้านการออกซิไดซ์ หรือกันหืนในกระบวนการทำแห้งผลไม้ (มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช, 2544)

2.6.2 กรดซิตริก (Citric acid)

กรดซิตริกหรือ Citro หรือ Hydrocerola หรือ 2-Hydroxytricarballylic acid เป็นกรดอินทรีย์ที่พบมากตามธรรมชาติในพืชและสัตว์มีสูตรโมเลกุล คือ $C_6H_8O_7$ จะพบมากในพืชตระกูล ส้ม เช่น พบในมะนาวประมาณร้อยละ 4 ถึง 8 ในเกรฟฟรุ๊ต ร้อยละ 0.9 ถึง 1.2 ในส้มเขียวหวาน ร้อยละ 0.6 ถึง 1.0 กรดซิตริกเป็นกรดที่มีการใช้ในอุตสาหกรรมอาหารมานานกว่า 100 ปีแล้ว และมีการใช้มากกว่ากรดชนิดอื่นโดยมีมากถึงร้อยละ 60 ของกรดทั้งหมดที่มีการใช้ในอุตสาหกรรม อาหาร ซึ่งกรดซิตริกมีคุณสมบัติดีกว่ากรดชนิดอื่นคือ ละลายน้ำได้ดี มีกลิ่นรสเป็นที่ยอมรับของ ผู้บริโภค เป็นสารจับโลหะที่มีประสิทธิภาพสูงในอุตสาหกรรมเครื่องดื่มไม่ว่าจะเป็นน้ำผลไม้ น้ำหวานชนิดต่าง ๆทั้งชนิดที่อัดคาร์บอนไดออกไซด์และไม่อัดคาร์บอนไดออกไซด์หรือเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ก็จะใช้กรดซิตริกและเกลือของกรดซิตริกช่วยปรับให้มีกลิ่นรสและความเป็นกรดเป็นด่างที่พอเหมาะเป็นวัตถุกันเสียในอุตสาหกรรมผักและผลไม้กระป๋อง พบว่าสามารถช่วยลดอุณหภูมิและเวลาที่จะต้องใช้ในการฆ่าเชื้อลง เนื่องจากการใช้ระยะเวลาในการฆ่าเชื้อจะทำให้เนื้อสัมผัสและกลิ่นรสของผลิตภัณฑ์เสียไป นอกจากนี้ยังพบว่ากรดซิตริกเป็นสารเสริมฤทธิ์วัตถุกันหืนที่มีประสิทธิภาพดีมากและในผลิตภัณฑ์เนื้อมีการใช้กรดซิตริกและเกลือซิเตรตช่วยให้ผลิตภัณฑ์เนื้อมี

2.6.3 กรดแอสคอร์บิค (Ascorbic acid)

กรดแอสคอร์บิค หรือที่รู้จักกันอีกชื่อหนึ่งว่าวิตามินซี ($C_6H_8O_6$) จัดเป็นกรดอินทรีย์ชนิด หนึ่งที่พบได้ในผักผลไม้หลายชนิด เช่น ผลไม้ตระกูลส้ม ฝรั่ง องุ่น สตรอเบอรี่ มะเขือเทศ กะหล่ำปลี บร็อคเคอรี่ และผักขม วิตามินซีมีความสำคัญต่อร่างการของคนเราช่วยป้องกันโรคเลือดออกตามไรฟัน ช่วยเสริมภูมิต้านทานของร่างกายต่อโรคภัยไข้เจ็บหลายชนิด เช่น โรคภูมิแพ้ และโรคหวัด นอกจากนี้ยังมีหลายคนเชื่อว่าจะมีส่วนเกี่ยวข้องกับการชะลอความแก่อีกด้วย ในทางอุตสาหกรรมอาหาร มีการนำวิตามินซีมาใช้ในอาหารและเครื่องดื่มหลายชนิด ดังนั้นจึงเป็นวิตามินที่น่าสนใจตัวหนึ่ง โดยนำมาใช้ในลักษณะต่างๆ กันดังนี้

1) เพิ่มคุณค่าทางโภชนาการในอาหารโดยเติมลงในอาหารบางชนิดที่มีวิตามินซีต่ำ หรือไม่มีเลย หรือเติมลงในอาหารเพื่อทดแทนปริมาณวิตามินซีที่สูญเสียไปในระหว่างขั้นตอนการ แปรรูปผลิตภัณฑ์อาหาร เพื่อให้อาหารนั้นมีปริมาณวิตามินซีอยู่ในเกณฑ์กำหนด

2) ใช้เป็นสารแอนติออกซิแดนท์ (Antioxidant) ในผลิตภัณฑ์อาหารเนื่องจากวิตามินซีสามารถจับกับออกซิเจนได้ง่าย ดังนั้นจึงสามารถช่วยป้องกันไม่ให้ออกซิเจนเข้าทำปฏิกิริยากับ อาหารอันจะเป็นเหตุให้คุณภาพของอาหารทางด้านสี กลิ่น รสชาติ เปลี่ยนแปลงไปในระหว่าง การเก็บ เช่น อาหารที่ผ่านการทอดน้ำมันต่าง ๆ นอกจากนั้นในบางกรณียังอาจช่วยให้ขั้นตอนการ แปรรูปอาหารสะดวกและง่ายขึ้น

2.6.4 วัตถุประสงค์ของการใช้กรดและเกลือของกรดอินทรีย์ในอาหาร

1) ปรับปรุงหรือป้องกันการเปลี่ยนสี กลิ่น รส หรือทำให้สี กลิ่น รส คงตัว ทำให้ผลิตภัณฑ์อาหารมีรสสดใสซาบซ่า เช่น ในผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มอัดลม

2) ป้องกันการตกผลึกของน้ำตาลในผลิตภัณฑ์อาหาร

3) ช่วยเสริมฤทธิ์วัตถุกันหืน

4) ป้องกันการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่ทำให้อาหารเสียหรือเป็นพิษ

5) ทำหน้าที่เป็นซีเควสแทรนด์ (Sequestrant) โดยทำปฏิกิริยากับโลหะที่ปนเปื้อนอาหารตามธรรมชาติ หรือจากกระบวนการผลิต เกิดสารประกอบเชิงซ้อนทำให้อาหารคงตัว (มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช, 2544)

2.7 การเก็บรักษา และการบรรจุผลไม้อบแห้ง

เมื่ออบแห้งผลไม้แล้วควรเก็บในกล่องหรือถังเก็บขนาดใหญ่ เพื่อให้เกิดการถ่ายเท ความชื้นจากภายในเนื้อผลไม้มาข้างนอกและระหว่างชิ้นผลไม้ที่มีความชื้นแตกต่างกัน ขั้นตอนนี้ เรียกว่า "Sweating" โดยทั่วไปใช้เวลาประมาณสองอาทิตย์ หลังจากนี้จะได้ผลิตภัณฑ์ที่เหมาะกับ การรักษาและนำไปผลิตในขั้นอื่นต่อไป (มาวิน, 2547) ระหว่างการเก็บรักษาเพื่อรอการผลิตในขั้น ต่อไปนั้นอาจต้องรมยาฆ่าแมลงเป็นช่วง ๆ ที่นิยมใช้กันคือ เมธิลโบร์ไมด์ โดยการรมยาภายในห้องที่มิดชิด มีพัดลมช่วยในการกระจายเมธิลโบรไมด์ซึ่งปล่อยออกมาจากถังความดัน ปริมาณเมธิลโบรไมด์ที่ใช้กันประมาณ 2.4 กิโลกรัมต่อขนาด 100 ลูกบาศก์เมตร ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ ถ้าอากาศมีอุณหภูมิสูงอาจใช้น้อยลงเล็กน้อย เวลาที่ใช้รมยาภายในห้อง ประมาณ 24 ชั่วโมง ถ้าใช้แผ่นพลาสติกคลุมผลิตที่ต้องการรมยาภายนอกอาคาร อาจใช้เวลานานกว่านี้ ประมาณ 3 วัน การรมยาควรทำเป็นช่วง ๆ ประมาณเดือนละครั้ง เนื่องจากความต้องการผลิตภัณฑ์ที่ปลอดจากสารเคมี ตกค้างมีเพิ่มมากขึ้น ดังนั้นการเก็บรักษาในห้องเย็นจะเป็นวิธีที่เหมาะสม (สมชาติ, 2540)

การเก็บรักษาผลิตผลในสภาพที่มีออกซิเจนความเข้มข้นสูงพบว่าสามารถลดการเกิด สีน้ำตาลได้ด้วย เนื่องจากออกซิเจนความเข้มข้นสูงอาจไปทำให้เกิดการยับยั้งการทำงานของ เอนไซม์ PPO โดยการยับยั้งอาจเกิด 2 วิธี วิธีแรกคือ การยับยั้งโดยสารตั้งต้น (Substrate Inhibition) โดยออกซิเจนที่มีความเข้มข้นสูงเกินไปจะยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ PPO โดยตรง ส่วนวิธีที่ 2 คือ การยับยั้งโดยสารที่สร้างขึ้นมา (Product Inhibition) โดยออกซิเจนที่มีความเข้มข้นสูงเกินไปอาจไป

เร่งการทำงานของเอนไซม์ PPO ทำ ให้เกิดการผลิตสาร *o*-Quinone มากเกินไป ทำให้มีผลย้อนกลับมายับยั้งการทำงานของเอนไซม์ PPO (Day, 1996)

นอกจากนี้สภาพบรรยากาศที่มีก๊าซออกซิเจนความเข้มข้นสูงสามารถลดการเจริญเติบโต ของเชื้อจุลินทรีย์ได้เนื่องมาจากก๊าซออกซิเจนทำให้เกิดปฏิกิริยา Oxidation-Reduction ในเนื้อเยื่อพืชเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะเอนไซม์ที่มีหมู่ Sulfhydryl Groups หรือ Disulfide Bridges และเกิดการสะสมของ Reactive Oxygenspecies (ROS) (Kader และBen-Yehoshua, 2000) (Garschman, 1964) และ (Haugaard, 1968) รายงานว่าการที่ปริมาณ ROS เพิ่มขึ้นเกิดจากปฏิกิริยา Lipid Oxidation อันเป็น ผลมาจากความเป็นพิษของก๊าซออกซิเจน (O_2 toxicity) ทำให้เกิด superoxide radicals (O_2^-) และ Superoxide Radicals ที่เกิดขึ้นนี้จะไปทำลายกระบวนการ Metabolism ในองค์ประกอบของเซลล์ จุลินทรีย์ทำให้เซลล์จุลินทรีย์สังเคราะห์เอนไซม์ Superoxide Dismutase (SOD) ขึ้นมาเพื่อกำจัด Radicals เหล่านี้ออกและหลีกเลี่ยงความเสียหายที่เกิดจาก Radicals ดังกล่าว ดังการศึกษาของ (Demple และHalbrook, 1983) พบว่า O_2 Stress มีผลทำให้เชื้อ *S. typhimurium* และ *E. coli* มี Multigene Systems ที่เกี่ยวข้องกับการทำลาย ROS เพิ่มขึ้นและมีการสร้างโปรตีนมาซ่อมแซมส่วนที่ เกิดความเสียหายจาก oxidative damage ส่วนในการทดลองของ (Wszelaki และ Mitcham, 2000) พบว่า สภาพบรรยากาศที่มีก๊าซออกซิเจน 80 ถึง 100 kPa สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อ *Botrytis cinerea* ในสตรอเบอรี่ได้

บทที่ 3

วิธีการทดลอง

3.1 อุปกรณ์

3.1.1 วัตถุดิบ

สะตอ พันธุ์ข้าว จากปากคลองตลาด แหล่งที่มา จ. ชุมพร

3.1.2 อุปกรณ์ในการผลิต

เครื่องอบผลไม้แห้ง รุ่น ABC-728.002 สามารถบรรจุอาหารหรือผลไม้ที่ต้องการอบได้ 4 ชั้น ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 31 ซม. ฝาปิดใส มีปุ่มเปิดปิดและมีสัญญาณไฟ ขณะที่เครื่องทำงานอยู่ ปรับระดับความร้อนได้ 3 ระดับ ความร้อนกระจายทั่วถึงทุกถาด มีนาฬิกาตั้งเวลาได้ 12 ชั่วโมงซึ่งตัดไฟอัตโนมัติ กำลังไฟ 250/500/700 วัตต์

รูปที่ 3.1 เครื่องอบผลไม้แห้ง รุ่น ABC-728.002
(ที่มา: weerasu.com)

3.1.3 เครื่องมือวิเคราะห์

เครื่องชั่งทศนิยม 2 ตำแหน่ง ยี่ห้อ Sartorius รุ่น BP 221

เครื่อง PCS TestrTM 35 หาค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (Total Soluble Solid)

The munsell book of colour วัดหาค่าสี

เครื่อง Texture Analyser รุ่น TA.xT_1 Serial No. 10760 วัดค่าเนื้อสัมผัส

3.2 การผลิตสะตออบแห้งกึ่งสำเร็จรูปและผงปรุงรสสะตอ

นำสะตอพันธุ์ข้าว สด ซึ่งใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตสะตออบแห้งกึ่งสำเร็จรูปมาแกะเอาแต่เม็ด ล้างด้วยน้ำสะอาดทิ้งไว้ให้สะเด็ดน้ำ แล้วจึงนำสะตอดังกล่าวมาหั่นให้มีขนาด 1/2 และ 1/4 ของเมล็ด โดยแต่ละการทดลองจะใช้สะตอสด 600 กรัม นำเข้าเครื่องอบผลไม้แห้ง (รุ่น ABC 728.002) อบที่อุณหภูมิ 45, 60 และ 75 องศาเซลเซียส และนำออกมาชั่งน้ำหนักทุก ๆ 30 นาที จนแห้งหรือน้ำหนักไม่เปลี่ยนแปลง เมื่อสะตอแห้งแล้วนำออกมาพักที่อุณหภูมิห้องจนสะตออบแห้งอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิห้อง คือ 28 °C จึงนำมาบรรจุในถุงพลาสติกปิดผนึกแบบสุญญากาศเพื่อเก็บไว้ใช้ในการศึกษาขั้นต่อไป (ดัดแปลงจากจันทณีย์ และ อนุพงษ์, 2548) การทำผงปรุงรสสะตอ จะทำโดยการนำสะตออบแห้งที่ได้มาปั่นละเอียดให้อยู่ในรูปผงและนำไปร่อนผ่านตะแกรงละเอียดเพื่อให้ได้ผงสะตอที่มีขนาดอนุภาคใกล้เคียงกัน

3.3 ศึกษาคุณสมบัติทางเคมีของสะตอสด

ในการศึกษาลักษณะทางเคมีของสะตอสด จะทำการส่งเมล็ดสะตอสด ไปยังกรมอนามัยเพื่อทำการตรวจสอบคุณสมบัติต่างๆ ทางเคมีของสะตอสด คือ พลังงาน น้ำ คาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมัน กาก (Crude Fiber) ใยอาหาร (Dietary Fiber) เถ้า (Ash) แคลเซียม ฟอสฟอรัส เหล็ก วิตามินเอ วิตามินบี 1 วิตามินบี 2 วิตามินซี ไนอะซีน

3.4 การศึกษาค่าความชื้นของสะตออบแห้งกึ่งสำเร็จรูป

การหาปริมาณความชื้น ทำโดยนำวัตถุดิบที่ต้องการหาความชื้น มาชั่งน้ำหนักแล้วบันทึกค่าไว้เป็น มวลวัตถุเริ่มต้น จากนั้นจึงนำมาอบจนกระทั่งน้ำหนักไม่เปลี่ยนแปลงจากนั้นบันทึกค่าไว้เป็นมวลวัตถุที่แห้ง

3.5 การศึกษาค่าการคืนตัว

การหาค่าการคืนตัว โดยการนำสะตออบแห้งที่ทุกสภาวะมา 5 g ต้มด้วยน้ำร้อน 100 °C นำออกมาชั่งน้ำหนักทุก ๆ 30 sec จนน้ำหนักไม่เปลี่ยนแปลง โดยก่อนชั่งแต่ละครั้งจะต้องซับน้ำให้แห้งก่อน

3.6 การศึกษาค่าสี

ทำการศึกษาค่าสีของสะตออบแห้งทั้งก่อนการคืนตัวและหลังการคืนตัว โดยใช้ The munsell book of colour เปรียบเทียบกับค่าสีของสะตอสด

3.7 การศึกษาค่าของแข็งที่ละลายได้

วัดค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดในสะตออบแห้ง (ด้วยเครื่อง Refractometer รุ่น ZGRB – 32ATC) โดยการนำสะตออบแห้งที่ทุกสภาวะ น้ำหนัก 5 g มาปั่นให้ละเอียด ผสมน้ำ 200 ml กวนให้เข้ากัน 10 min กรองด้วยกระดาษกรอง นำสารละลายใสมาวัดค่าปริมาณของแข็งละลายได้

3.8 ทดสอบเนื้อสัมผัส

นำสะอบแห้งที่ทำการอบทุกสภาวะมาทำให้คืนตัว จากนั้นนำมาทดสอบค่าความแข็งด้วยเครื่อง Texture analyser รุ่น TA.xT_1 Serial No. 10760 โดยในการอบแต่ละเงื่อนไข จะทำการทดสอบ 3 ครั้ง ค่าที่ได้จะเป็นค่าความแข็ง (N)

3.9 การทดสอบทางด้านประสาทสัมผัสของสะตออบแห้งกึ่งสำเร็จรูปและผงปรุงรสสะตอ

โดยทำการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของสะตออบแห้งในด้านสี รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบรวม ที่ระดับคะแนน 1-4 คะแนน (ตัวอย่างแบบประเมินคุณภาพแสดงในภาคผนวก ข) ด้วยผู้ทดสอบจำนวนทั้งสิ้น 20 คน และนำผลคะแนนที่ได้จากการทดสอบชิมตามแบบทดสอบในภาคผนวก ไปวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติต่อไป

3.10 การเลือกสภาวะการทำผลิตภัณฑ์สะตออบแห้งกึ่งสำเร็จรูปโดยวิธีการคัดเลือกแบบวิธีที่ดีที่สุด (Best selection method)

โดยให้คะแนน เรียงลำดับสภาวะการทดสอบผลิตภัณฑ์ทั้ง 9 สภาวะ เพื่อหาสภาวะที่ดีที่สุด และสรุปนำไปใช้เป็นตัวเลือกสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการทำผลิตภัณฑ์สะตอกึ่งสำเร็จรูป

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 ส่วนประกอบทางเคมีของสะตอสด

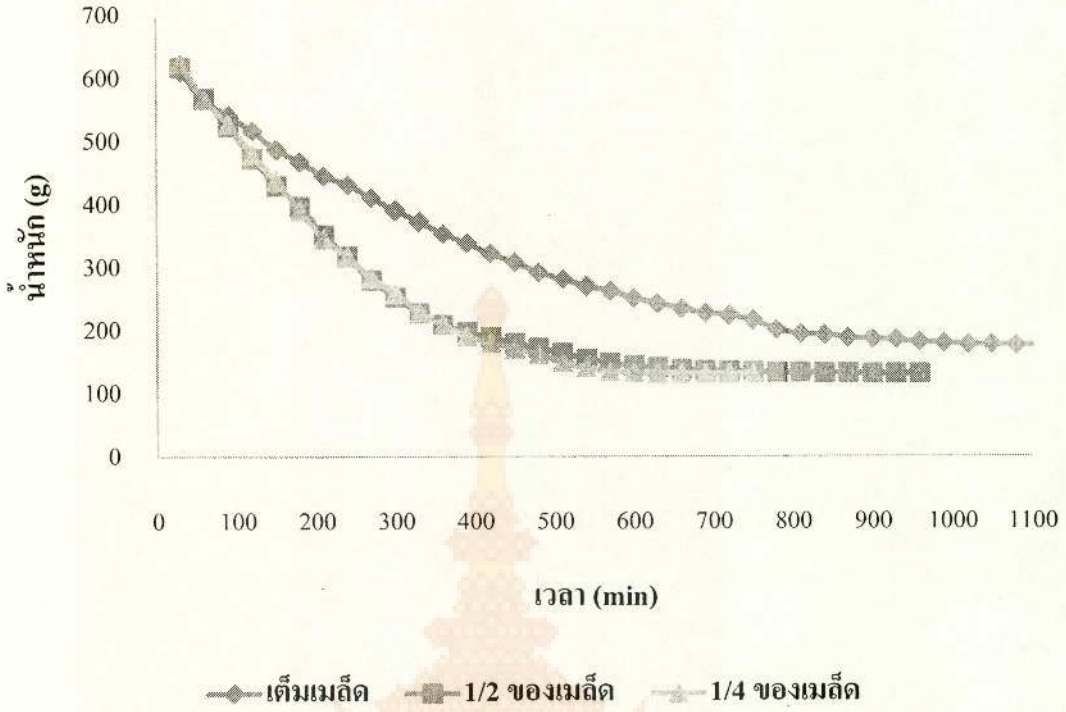
จากการวิเคราะห์ส่วนประกอบต่างๆ ของสะตอสด พบว่ามีคุณสมบัติดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ส่วนประกอบทางเคมีของสะตอสด

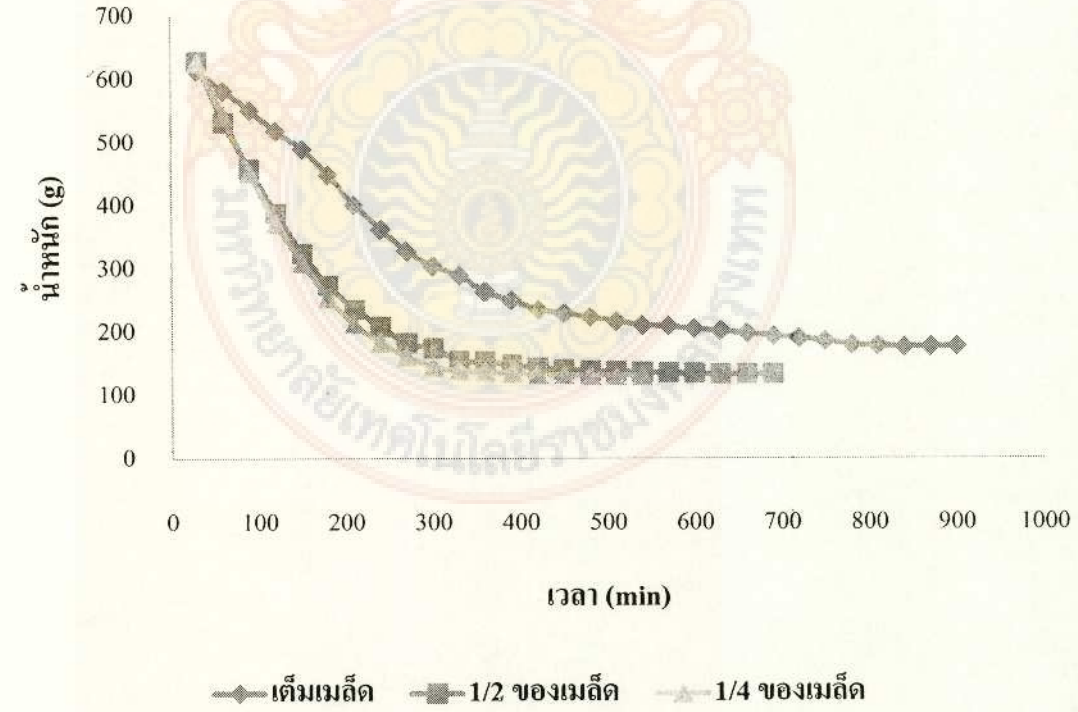
สารอาหาร	ปริมาณ	หน่วย
พลังงาน	130	กิโลแคลอรี่
น้ำ	70.7	กรัม
คาร์โบไฮเดรต	15.5	กรัม
โปรตีน	8.0	กรัม
ไขมัน	4.0	กรัม
กาก (Crude Fiber)	0.5	กรัม
ใยอาหาร (Dietary Fiber)	-	กรัม
เถ้า (Ash)	1.3	กรัม
แคลเซียม	76	มิลลิกรัม
ฟอสฟอรัส	83	มิลลิกรัม
เหล็ก	0.7	มิลลิกรัม
วิตามินเอ	794	หน่วยสากล (I.U.)
วิตามินบี 1	0.11	มิลลิกรัม
วิตามินบี 2	0.01	มิลลิกรัม
วิตามินซี	6.0	มิลลิกรัม
ไนอะซีน	1.0	มิลลิกรัม

4.2 การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของสะตอในระหว่างการอบแห้ง

จากรูป 4.1 แสดงให้เห็นว่า การอบสะตอทั้งเมล็ดใช้เวลาในการอบนานที่สุดกว่าน้ำหนักของสะตอจะคงที่และมีค่าความชันน้อยที่สุด เนื่องจากความชื้นที่ระเหยออกไปได้น้อยและช้า การอบที่ขนาด 1/2 ของเมล็ดจะใช้เวลาในการอบน้อยกว่าเต็มเมล็ด ลักษณะของเส้นกราฟมีความชันมากกว่าเพราะที่ 1/2 ของเมล็ดมีพื้นที่ในการถ่ายเทความร้อนได้มากกว่าจึงทำให้น้ำหนักเปลี่ยนแปลงเร็ว กราฟจึงมีความชันมาก อบที่ขนาด 1/4 ของเมล็ดจะใช้เวลาในการอบแห้งน้อยที่สุด คือ กราฟจะมีความชันมากที่สุด เนื่องจากความชื้นระเหยได้ดีที่สุดเพราะมีพื้นที่ในการถ่ายเทความร้อนมาก



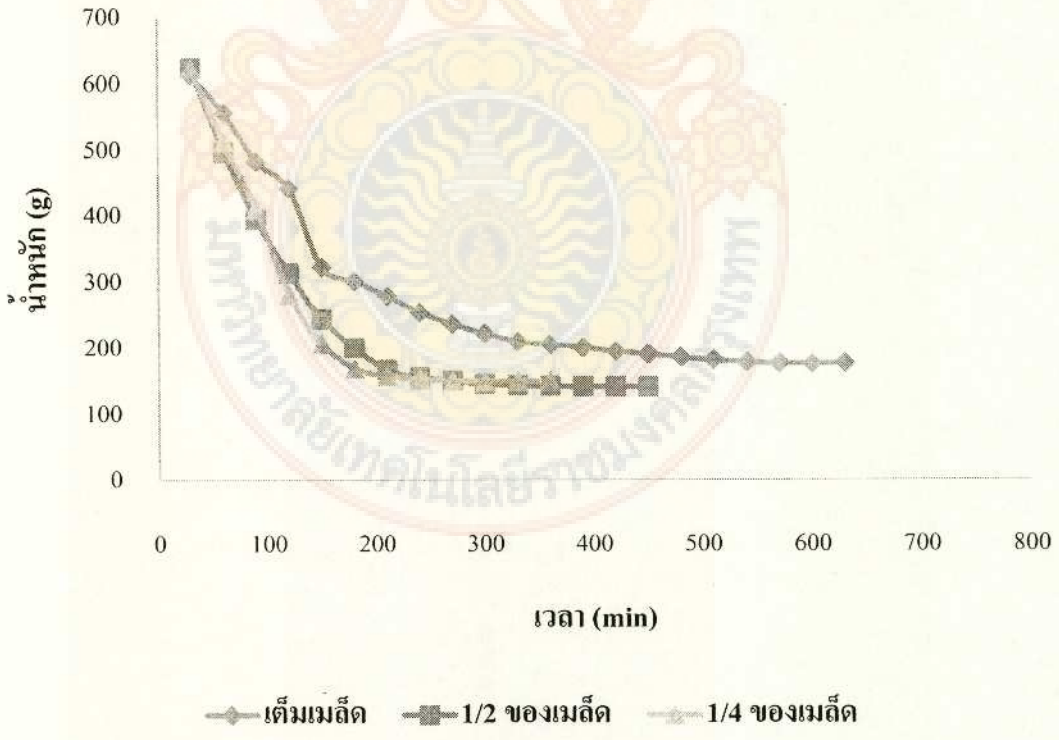
รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักของสะตอกับเวลาในการอบแห้งที่อุณหภูมิ 45°C



รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักของสะตออบแห้งกับเวลาในการอบแห้งที่อุณหภูมิ 60°C

เมื่อสังเกตที่รูป 4.1 จะพบว่า น้ำหนักของสะตออบแห้งที่อบที่ขนาด 1/2 และ 1/4 ของเมล็ดจะมีน้ำหนักที่เหลือสุดท้ายใกล้เคียงกัน ส่วนสะตอที่อบเต็มเมล็ดจะมีน้ำหนักแตกต่างจากทั้งสองขนาด เพราะว่า การอบสะตอทั้งเมล็ดผิวภายนอกของสะตอจะแห้งก่อนและน้ำที่อยู่ภายในจะระเหยออกมาไม่ได้ จึงอาจมีน้ำเหลืออยู่ภายในเมล็ดสะตอ ทำให้น้ำหนักของสะตอที่อบทั้งเมล็ดมีมากที่สุด

จากรูป 4.2 แสดงให้เห็นว่า อบสะตอทั้งเมล็ดใช้เวลาในการอบนานที่สุดกว่าน้ำหนักของสะตอจะคงที่และมีค่าความชันน้อยที่สุด เนื่องจากความชื้นที่ระเหยออกไปได้น้อยและช้า อบที่ขนาด 1/2 ของเมล็ด จะใช้เวลาในการอบน้อยกว่าเต็มเมล็ด ลักษณะของเส้นกราฟมีความชันมากกว่าเพราะที่ 1/2 ของเมล็ดมีพื้นที่ในการถ่ายเทความร้อนได้มากกว่าจึงทำให้น้ำหนักเปลี่ยนแปลงเร็ว กราฟจึงมีความชันมาก อบที่ขนาด 1/4 ของเมล็ดจะใช้เวลาในการอบแห้งน้อยที่สุด คือ กราฟจะมีความชันมากที่สุด เนื่องจากความชื้นระเหยได้ดีที่สุดเพราะมีพื้นที่ในการถ่ายเทความร้อนมาก เมื่อสังเกตที่กราฟจะพบว่า น้ำหนักของสะตออบแห้งที่อบที่ขนาด 1/2 และ 1/4 ของเมล็ด จะมีน้ำหนักที่เหลือสุดท้ายใกล้เคียงกัน ส่วนสะตอที่อบเต็มเมล็ดจะมีน้ำหนักแตกต่างจากทั้งสองขนาด เพราะว่าการอบสะตอทั้งเมล็ดผิวภายนอกของสะตอจะแห้งก่อนและน้ำที่อยู่ภายในจะระเหยออกมาไม่ได้ จึงอาจมีน้ำเหลืออยู่ภายในเมล็ดสะตอ ทำให้น้ำหนักของสะตอที่อบทั้งเมล็ดมีมากที่สุด และเมื่อเปรียบเทียบเส้นกราฟกับรูปที่ 4.1 ที่ใช้อุณหภูมิในการอบ 45°C จะเห็นได้ว่า กราฟรูปนี้จะมีความชันมากกว่า เพราะใช้ความร้อนมากกว่าจึงทำให้อัตราการระเหยของน้ำระเหยได้เร็วและมากขึ้นจึงใช้เวลาในการอบน้อยกว่า

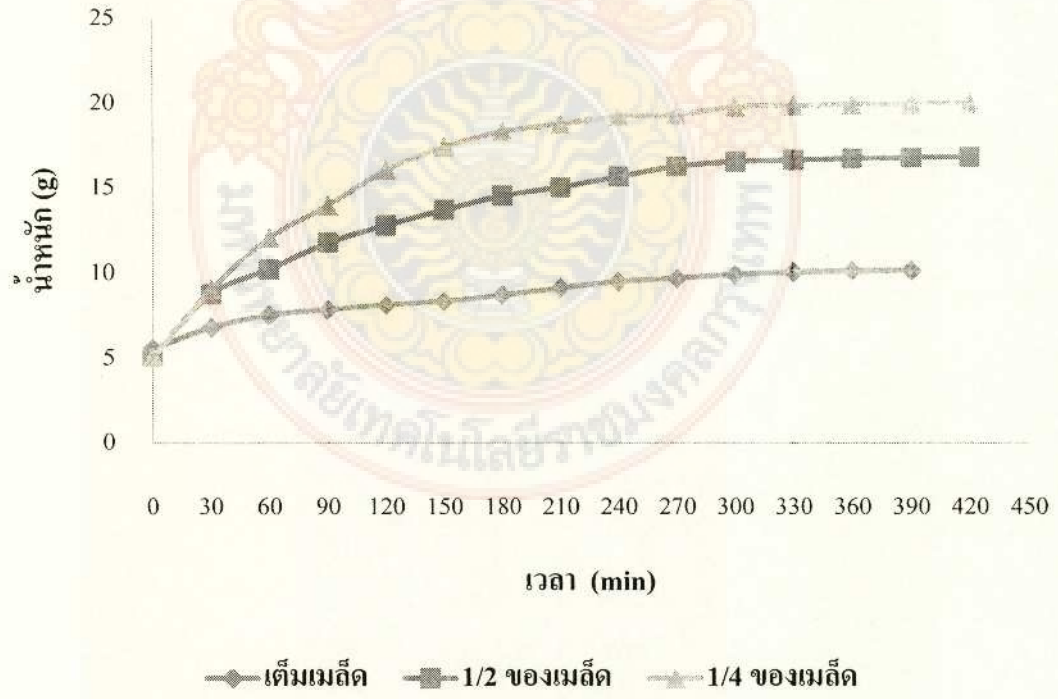


รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักของสะตออบแห้งกับเวลาในการอบแห้งที่อุณหภูมิ 75°C

จากรูป 4.3 แสดงให้เห็นว่า อบสะตอทั้งเมล็ดใช้เวลาในการอบนานที่สุดกว่าน้ำหนักของสะตอจะคงที่และมีค่าความชันน้อยที่สุด เนื่องจากความชื้นที่ระเหยออกไปได้น้อยและช้า อบที่ขนาด 1/2 ของเมล็ด จะใช้เวลาในการอบน้อยกว่าเต็มเมล็ด ลักษณะของเส้นกราฟมีความชันมากกว่าเพราะที่ 1/2 ของเมล็ดมีพื้นที่ในการถ่ายเทความร้อนได้มากกว่าจึงทำให้น้ำหนักเปลี่ยนแปลงเร็ว กราฟจึงมีความชันมาก อบที่ขนาด 1/4 ของเมล็ด จะใช้เวลาในการอบแห้งน้อยที่สุด คือ กราฟจะมีความชันมากที่สุด เนื่องจากความชื้นระเหยได้ดีที่สุดเพราะมีพื้นที่ในการถ่ายเทความร้อนมาก เมื่อสังเกตที่กราฟจะพบว่า น้ำหนักของสะตออบแห้งที่อบที่ขนาด 1/2 และ 1/4 ของเมล็ด จะมีน้ำหนักที่เหลือสุดท้ายใกล้เคียงกัน ส่วนสะตอที่อบเต็มเมล็ดจะมีน้ำหนักแตกต่างจากทั้งสองขนาด เพราะว่าการอบสะตอทั้งเมล็ดผิวภายนอกของสะตอจะแห้งก่อนและน้ำที่อยู่ภายในจะระเหยออกมาไม่ได้ จึงอาจมีน้ำเหลืออยู่ภายในเมล็ดสะตอ ทำให้น้ำหนักของสะตอที่อบทั้งเมล็ดมีมากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับรูปที่ 4.1 และ 4.2 พบว่ารูปนี้ที่อบที่อุณหภูมิ 75°C จะมีความชันของเส้นกราฟมากที่สุด เนื่องจากใช้อุณหภูมิในการอบสูงที่สุดทำให้ความชื้นสามารถระเหยได้เร็วและดีที่สุด จึงใช้เวลาในการอบแห้งน้อยที่สุด

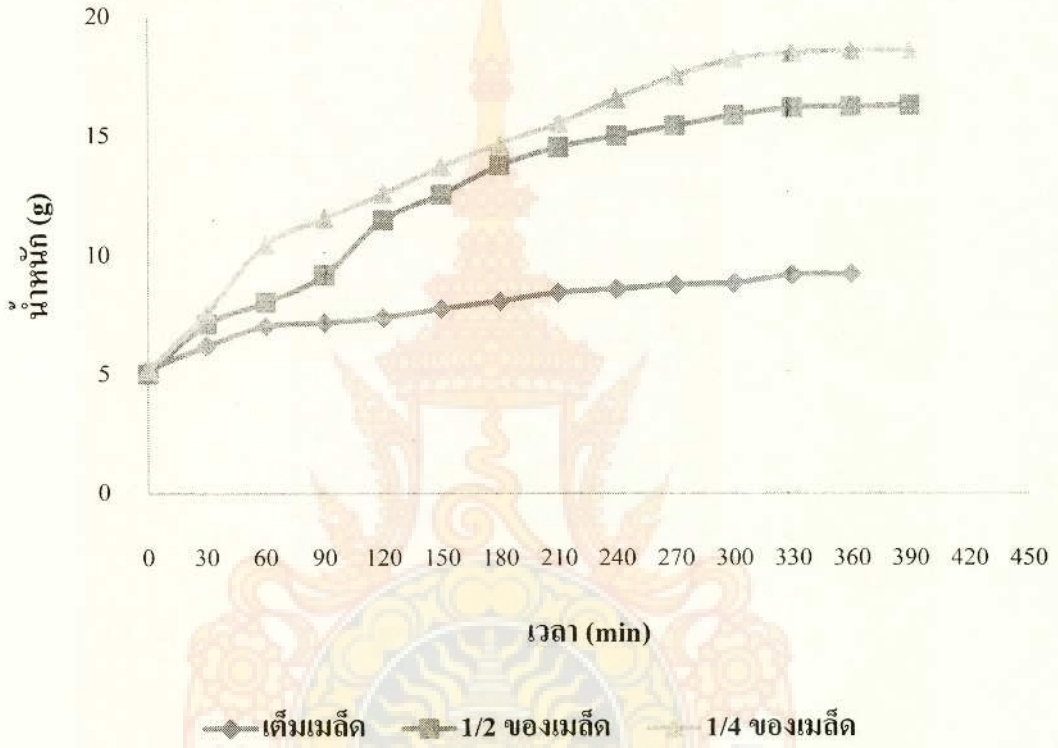
4.3 การคืนตัวของสะตออบแห้ง

จากรูป 4.4 จะเห็นได้ว่าสะตออบแห้งที่อบทั้งเมล็ดจะมีค่าความชันน้อยเพราะ สามารถคืนตัวได้ช้า น้ำหนักในการคืนตัวเพิ่มได้ทีละน้อย



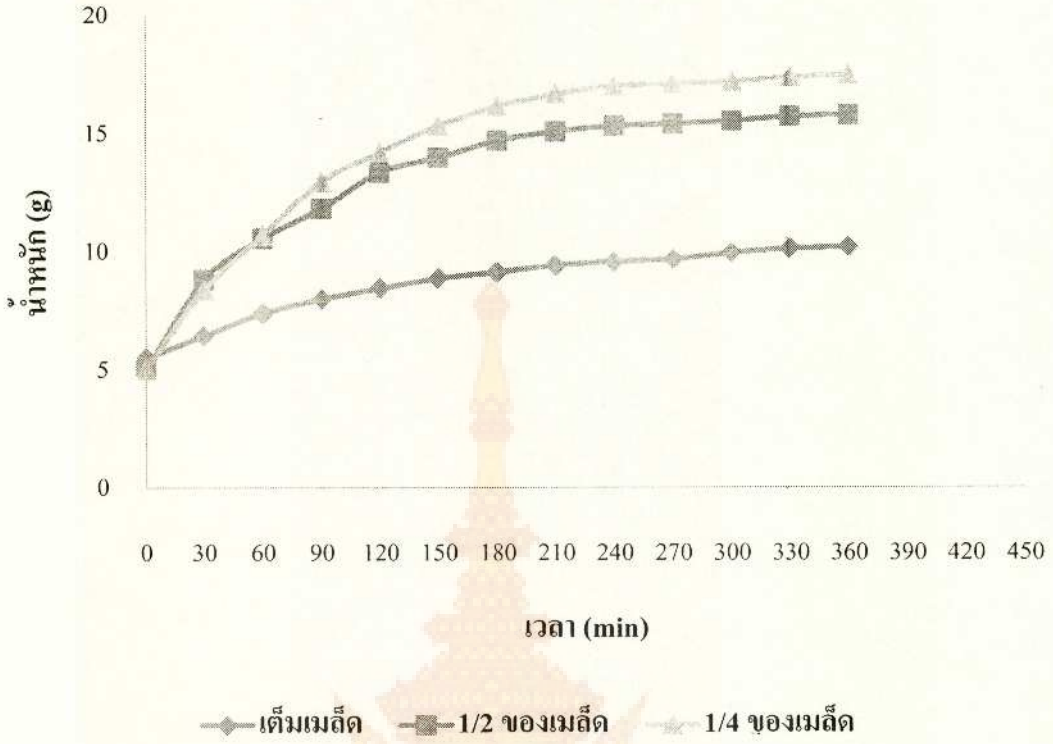
รูปที่ 4.4 น้ำหนักในการคืนตัวของสะตออบแห้งกึ่งสำเร็จรูปเมื่ออบที่อุณหภูมิ 45 °C ที่เวลาต่างๆ

จากรูป 4.4 สะตออบแห้งที่อบ 1/2 ของเมล็ดสามารถคืนตัวได้ดีกว่าเต็มเมล็ดซึ่งจะเห็นได้จากรูปว่ามีความชันมากกว่า ส่วนเส้นกราฟของสะตออบแห้งที่อบ 1/4 ของเมล็ดจะมีค่าความชันมากที่สุด น้ำหนักเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว นั่นคือ สะตออบแห้งที่อบโดยขนาด 1/4 ของเมล็ดจะมีประสิทธิภาพในการคืนตัวที่ดีที่สุด เมื่อเทียบกับสะตออบแห้งที่อบที่ขนาด 1/2 ของเมล็ด และอบเต็มเมล็ด และเมื่อสังเกตจากกราฟก็จะเห็นได้ว่า ที่ 1/2 และ 1/4 ของเมล็ดจะใช้เวลาในการคืนตัวไม่นาน น้ำหนักก็จะคงที่ แต่สะตออบแห้งที่อบเต็มเมล็ดจะใช้เวลามากที่สุดกว่าน้ำหนักจะคงที่



รูปที่ 4.5 น้ำหนักในการคืนตัวของสะตออบแห้งกึ่งสำเร็จรูปเมื่ออบที่อุณหภูมิ 60 °C ที่เวลาต่างๆ

จากกราฟ 4.5 จะเห็นได้ว่าสะตออบแห้งที่อบทั้งเมล็ดจะมีค่าความชันน้อยเพราะ สามารถคืนตัวได้ช้า น้ำหนักในการคืนตัวเพิ่มได้ทีละน้อย และสะตออบแห้งที่อบ 1/2 ของเมล็ดสามารถคืนตัวได้ดีกว่าเต็มเมล็ดซึ่งจะเห็นได้จากกราฟว่ามีความชันมากกว่า ส่วนเส้นกราฟของสะตออบแห้งที่อบ 1/4 ของเมล็ดจะมีค่าความชันมากที่สุด น้ำหนักเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว นั่นคือ สะตออบแห้งที่อบโดยขนาด 1/4 ของเมล็ดจะมีประสิทธิภาพในการคืนตัวที่ดีที่สุด เมื่อเทียบกับสะตออบแห้งที่อบที่ขนาด 1/2 ของเมล็ด และอบเต็มเมล็ด และเมื่อสังเกตจากกราฟก็จะเห็นได้ว่า ที่ 1/2 และ 1/4 ของเมล็ดจะใช้เวลาในการคืนตัวไม่นาน น้ำหนักก็จะคงที่ แต่สะตออบแห้งที่อบเต็มเมล็ดจะใช้เวลามากที่สุดกว่าน้ำหนักจะคงที่



รูปที่ 4.6 น้ำหนักในการคืนตัวของสะตออบแห้งกึ่งสำเร็จรูปเมื่ออบที่อุณหภูมิ 75 °C ที่เวลาต่างๆ

จากรูป 4.6 จะเห็นได้ว่าสะตออบแห้งที่อบทั้งเมล็ดจะมีค่าความชันน้อยเพราะ สามารถคืนตัวได้ช้า น้ำหนักในการคืนตัวเพิ่มได้ทีละน้อย และสะตออบแห้งที่อบ 1/2 ของเมล็ดสามารถคืนตัวได้ดีกว่าเต็มเมล็ดซึ่งจะเห็นได้จากเส้นกราฟว่ามีความชันมากกว่า ส่วนเส้นกราฟของสะตออบแห้งที่อบ 1/4 ของเมล็ดจะมีค่าความชันมากที่สุด น้ำหนักเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว นั่นคือ สะตออบแห้งที่อบโดยขนาด 1/4 ของเมล็ดจะมีประสิทธิภาพในการคืนตัวที่ดีที่สุด เมื่อเทียบกับสะตออบแห้งที่อบที่ขนาด 1/2 ของเมล็ด และอบเต็มเมล็ด และเมื่อสังเกตจากรูปก็จะเห็นได้ว่า ที่ 1/2 และ 1/4 ของเมล็ดจะใช้เวลาในการคืนตัวไม่นาน น้ำหนักก็จะคงที่ แต่สะตออบแห้งที่อบเต็มเมล็ดจะใช้เวลามากที่สุดกว่าน้ำหนักจะคงที่

4.4 สีของสะตออบแห้งกึ่งสำเร็จรูป

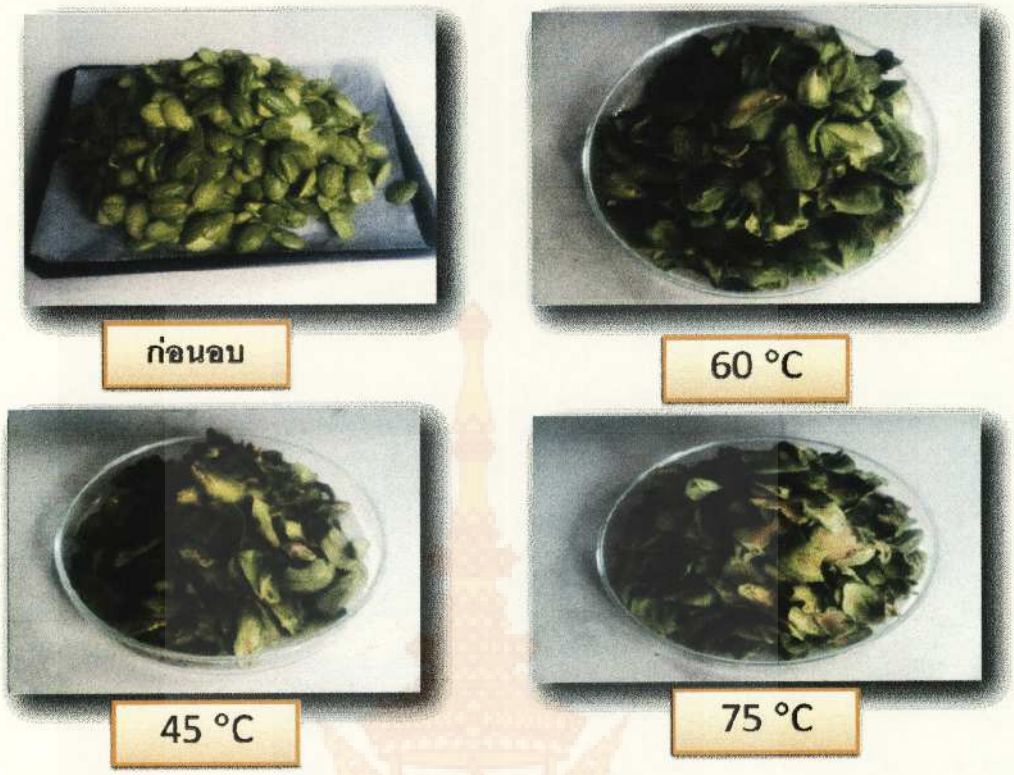
4.4.1 ค่าสีก่อนการคืนตัว

ตารางที่ 4.2 ค่าสีของสะตอออบแห้งที่ภาวะต่างๆอ่านจาก The munsell book of colour

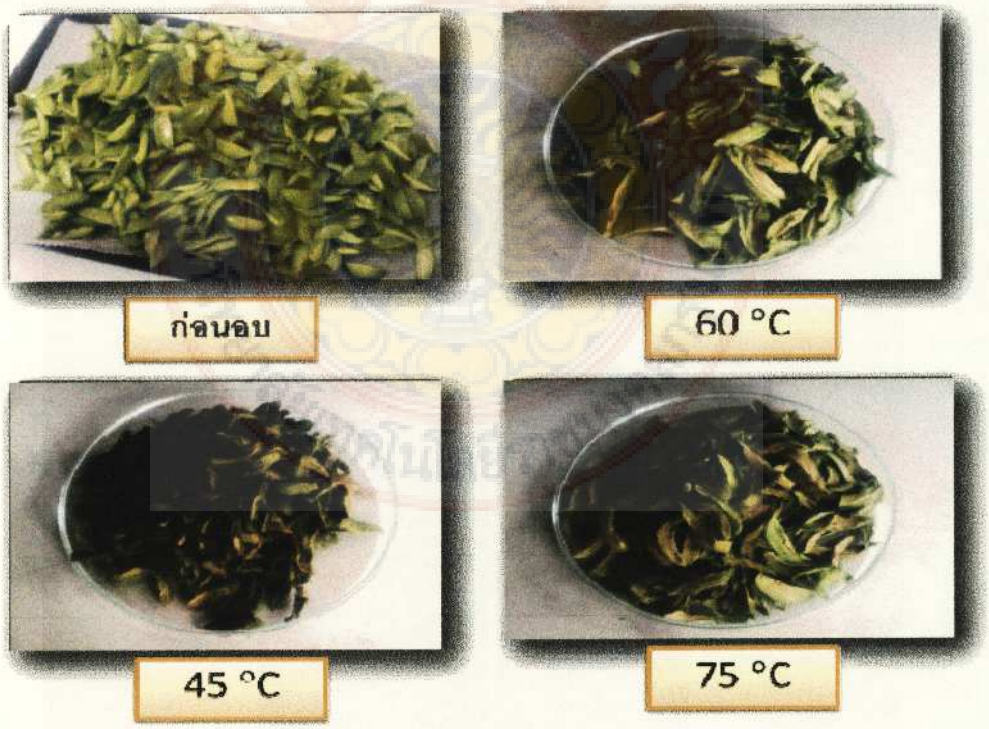
อบที่อุณหภูมิ (°C)	ขนาดในการอบ	ค่าสีที่ได้
45	เต็มเมล็ด	Hue 2.5GY 4/6
	1/2 ของเมล็ด	Hue 2.5GY 3/4
	1/4 ของเมล็ด	Hue 2.5GY 3/4
60	เต็มเมล็ด	Hue 2.5GY 5/8
	1/2 ของเมล็ด	Hue 5GY 4/8
	1/4 ของเมล็ด	Hue 5GY 4/8
75	เต็มเมล็ด	Hue 5Y 5/6
	1/2 ของเมล็ด	Hue 5GY 5/8
	1/4 ของเมล็ด	Hue 5GY 5/10
ไม่ได้ทำการอบ	สะตอสด	Hue 5GY 6/8

หมายเหตุ: รูปแสดงค่าสีเทียบกับ The munsell book of colour จะแสดงในภาคผนวก ก

รูปที่ 4.7 สีของผลิตภัณฑ์สะตออบแห้งที่ได้จากการอบขนาดเต็มเมล็ดที่อุณหภูมิต่างๆ



รูปที่ 4.8 สีของผลิตภัณฑ์สะตออบแห้งที่ได้จากการอบขนาด 1/2 ของเมล็ดที่อุณหภูมิต่างๆ



รูปที่ 4.9 สีของผลิตภัณฑ์สะตออบแห้งที่ได้จากการอบขนาด 1/4 ของเมล็ดที่อุณหภูมิต่างๆ

จากตารางที่ 4.2 และรูปที่ 4.7-4.9 แสดงค่าสีของสะตอทั้งก่อนอบแห้งและหลังอบแห้ง สะตอสดมีค่าสีเท่ากับ Hue 5GY 6/8 หมายความว่ามีความเป็นสีเขียวแกมเหลืองที่ระดับ 5 จากทั้งหมด 10 ระดับ มีความทึบของสี (Value)ที่ระดับ 6 จากทั้งหมด 9 ระดับ มีความสดใสของสี (Chroma) ที่ระดับ 8 จากทั้งหมด 16 ระดับ เมื่อเปรียบเทียบค่าของสีในสภาวะการอบแห้งแบบต่างๆ กับสะตอสดแล้วพบว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 °C มีค่าสีโดยรวมใกล้เคียงกับสะตอสดมากที่สุด ตามมาด้วยค่าสีของการอบแห้งที่อุณหภูมิ 45 °C รองลงมาซึ่งจะมีเฉดของสีไปในทางสีเขียว และค่าสีโดยรวมใกล้เคียงน้อยที่สุดคือการอบแห้งที่อุณหภูมิ 75 °C ซึ่งจะมีเฉดของสีไปในทางสีเหลือง

4.4.2 ค่าสีหลังการคืนตัว

ตารางที่ 4.3 สีของสะตออบแห้งที่ภาวะต่างๆโดยใช้ The munsell book of colour

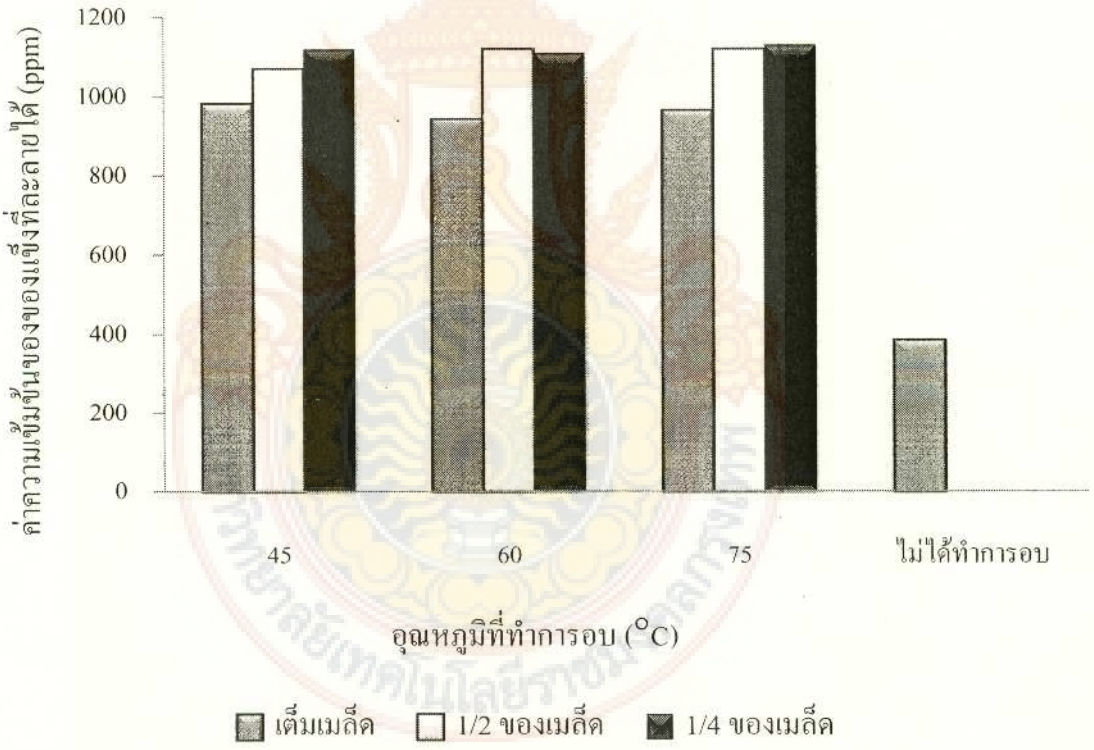
อบที่อุณหภูมิ (°C)	ขนาดในการอบ	ค่าสีที่ได้
45	เต็มเมล็ด	Hue 7.5Y 4/6
	1/2 ของเมล็ด	Hue 7.5Y 5/8
	1/4 ของเมล็ด	Hue 7.5Y 5/6
60	เต็มเมล็ด	Hue 2GY 5/8
	1/2 ของเมล็ด	Hue 2.5GY 5/8
	1/4 ของเมล็ด	Hue 10Y 5/6
75	เต็มเมล็ด	Hue 10Y 6/8
	1/2 ของเมล็ด	Hue 2.5GY 6/10
	1/4 ของเมล็ด	Hue 2.5GY 5/8
ไม่ได้ทำการอบ	สะตอสด	Hue 5GY 6/8

หมายเหตุ: รูปภาพแสดงค่าสีเทียบกับ The munsell book of colour จะแสดงในภาคผนวก ก

จากตารางที่ 4.3 แสดงค่าสีของสะตอสดและสะตออบแห้งภายหลังการคืน สะตอสดมีค่าสีเท่ากับ Hue 5GY 6/8 หมายความว่ามีความเป็นสีเขียวแกมเหลืองที่ระดับ 5 จากทั้งหมด 10 ระดับ มีความทึบของสีที่ระดับ 6 จากทั้งหมด 9 ระดับ มีความสดใสของสีที่ระดับ 8 จากทั้งหมด 16 ระดับ เมื่อเปรียบเทียบค่าสีของสะตออบแห้งที่สภาวะต่างๆภายหลังการคืนตัวกับสะตอสดแล้วพบว่าค่อนข้างมีเฉดสีไปทางสีเหลืองในทุกการทดลองเนื่องจากการความร้อนมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงเฉดสี ค่าสีโดยรวมของสะตออบแห้งภายหลังการคืนตัวที่ใกล้เคียงกับสะตอสดมากที่สุดคือ การอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 °C รองลงมาคือการอบแห้งที่อุณหภูมิ 75 °C และค่าสีใกล้เคียงน้อยที่สุดคือการอบแห้งที่อุณหภูมิ 45 °C แต่สีโดยรวมของสะตออบแห้งภายหลังการคืนตัวทุกๆการทดลองจะมีเฉดสีไปทางสีเหลือง สีก่อนอบจะมีสีเฉดเขียวและหลังอบจะมีเฉดเป็นเหลืองเขียวโดยที่สีหลังการคืนตัวส่วนใหญ่จะมีเฉดไปทางเหลือง

4.5 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (Total Solubal Solid, TSS)

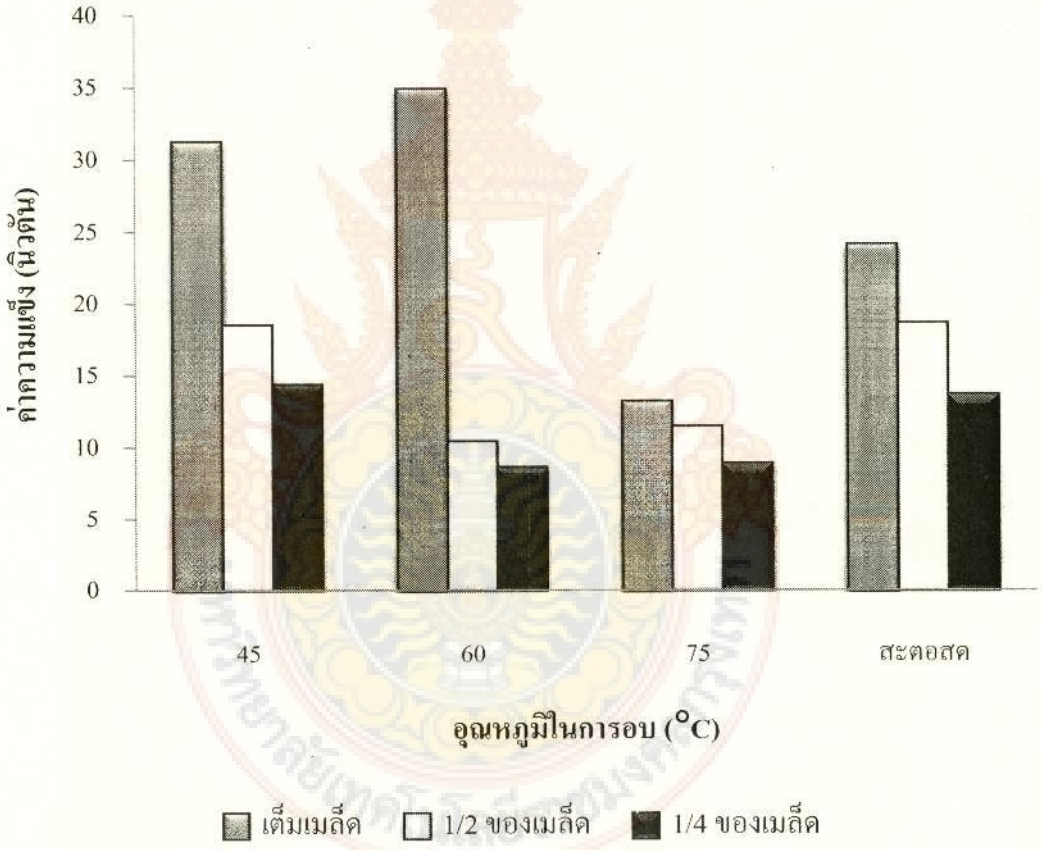
จากภาพที่ 4.10 ผลการทดลองพบว่าปริมาณของของแข็งละลายได้สูงที่สุดพบในสะตออบแห้งแบบ 1/4 ของเมล็ดของทุกสภาวะการทดลอง ตามมาด้วยค่าความเข้มข้นของของแข็งที่ละลายได้ของสะตออบแห้งแบบ 1/2 ของเมล็ดในทุกสภาวะ และค่าความเข้มข้นของของแข็งที่ละลายได้ต่ำที่สุดของสะตออบแห้งแบบเต็มเมล็ดในทุกสภาวะการทดลอง จากค่าของความเข้มข้นของของแข็งที่ละลายได้ของสะตออบแห้งและสะตอสดนั้นค่อนข้างแตกต่างกัน อาจจะด้วยเหตุผลที่ว่าสะตอสดมีปริมาณน้ำอยู่ในตัวมันเองมากกว่าสะตออบแห้ง เมื่อทำการชั่งตัวอย่างที่น้ำหนักเท่ากันจึงให้ค่าของความเข้มข้นของของแข็งที่ละลายได้ออกมาต่างกัน โดยที่สะตออบแห้งจะให้ค่าความเข้มข้นของของแข็งที่ละลายได้สูงกว่าสะตอสด จากการวิเคราะห์ค่าดังกล่าวนั้นอาจจะกล่าวได้ว่าสะตออบแห้งมีรสชาติที่เปลี่ยนแปลงไปจากสะตอสด ซึ่งการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวอาจจะไม่สามารถสัมผัสหรือรับรู้ได้ด้วยการชิม



รูปที่ 4.10 ความเข้มข้นของของแข็งที่ละลายได้ของสะตออบแห้งที่สภาวะต่างๆ เมื่อใช้สะตออบแห้ง 5 g ต่อน้ำ 250 ml (1:50)

4.6 เนื้อสัมผัสของสะตออบแห้งกึ่งสำเร็จรูป

จากรูป 4.11 ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าขนาดของพื้นที่ผิวมีผลต่อค่าความแข็ง ค่าความแข็งสูงสุดพบในสะตอสดเต็มเมล็ดรวมทั้งสะตออบแห้งแบบเต็มเมล็ดในทุกสภาวะภายหลังการคืนตัวตามมาด้วยค่าความแข็งที่ลดลงของสะตอสดแบบ 1/2 ของเมล็ดรวมทั้งสะตออบแห้งแบบ 1/2 ของเมล็ดในทุกสภาวะการทดลองภายหลังการคืนตัว และค่าความแข็งต่ำที่สุดพบในสะตอสดแบบ1/4ของเมล็ดรวมทั้งสะตออบแห้งแบบ 1/4 ของเมล็ดในทุกสภาวะการทดลองภายหลังการคืนตัวแนวโน้มการลดลงของค่าความแข็งแปรผกผันกับขนาดของพื้นที่ผิว กล่าวคือยิ่งขนาดของพื้นที่ผิวน้อยลงจะมีค่าความแข็งมากขึ้น โดยที่พบว่าอุณหภูมิไม่มีผลต่อค่าความแข็งเนื่องจากทำการวัดค่าความแข็งภายหลังการคืนตัวแล้ว



รูปที่ 4.11 แสดงค่าความแข็ง (Hardness) ของสะตอสดและสะตออบแห้งที่อบที่สภาวะต่างๆ โดยใช้เครื่อง Texture analyser รุ่น TA.xT_1 Serial No. 10760 (Stable Micro System)

จากรูป 4.12 ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าขนาดของพื้นที่ผิวมีผลต่อค่าความแข็ง ค่าความแข็งสูงสุดพบในสะตอสดเต็มเมล็ดรวมทั้งสะตออบแห้งแบบเต็มเมล็ดในทุกสภาวะภายหลังการคืนตัว

ตามมาด้วยค่าความแข็งที่ลดลงของสะตอสดแบบ 1/2 ของเมล็ดรวมทั้งสะตออบแห้งแบบ 1/2 ของเมล็ดในทุกสภาวะการทดลองภายหลังการคืนตัว และค่าความแข็งต่ำที่สุดพบในสะตอสดแบบ1/4ของเมล็ดรวมทั้งสะตออบแห้งแบบ 1/4 ของเมล็ดในทุกสภาวะการทดลองภายหลังการคืนตัวแนวโน้มการลดลงของค่าความแข็งแปรผกผันกับขนาดของพื้นที่ผิว กล่าวคือยิ่งขนาดของพื้นที่ผิวน้อยลงจะมีค่าความแข็งมากขึ้น โดยที่พบว่าอุณหภูมิไม่มีผลต่อค่าความแข็งเนื่องจากทำการวัดค่าความแข็งภายหลังการคืนตัวแล้ว

4.7 การทดลองทำผลิตภัณฑ์ผงปรุงรสสะตอ

นำสะตออบแห้งกึ่งสำเร็จรูปที่ได้จากการทดลองทุกสภาวะมาทำการบดละเอียดด้วยเครื่องปั่นอาหารแห้ง จากนั้นทำการร่อนด้วยตะแกรงเมชหมายเลข 80 และทำการเก็บตัวอย่างผงสะตอที่ได้ในภาชนะพลาสติกทึบแสง รูปที่ 4.12 แสดงผงปรุงรสสะตอที่ได้จากตัวอย่างการอบสภาวะต่างๆ

ผงสะตอที่ได้จากการอบขนาดเต็มเมล็ดที่อุณหภูมิต่างๆ

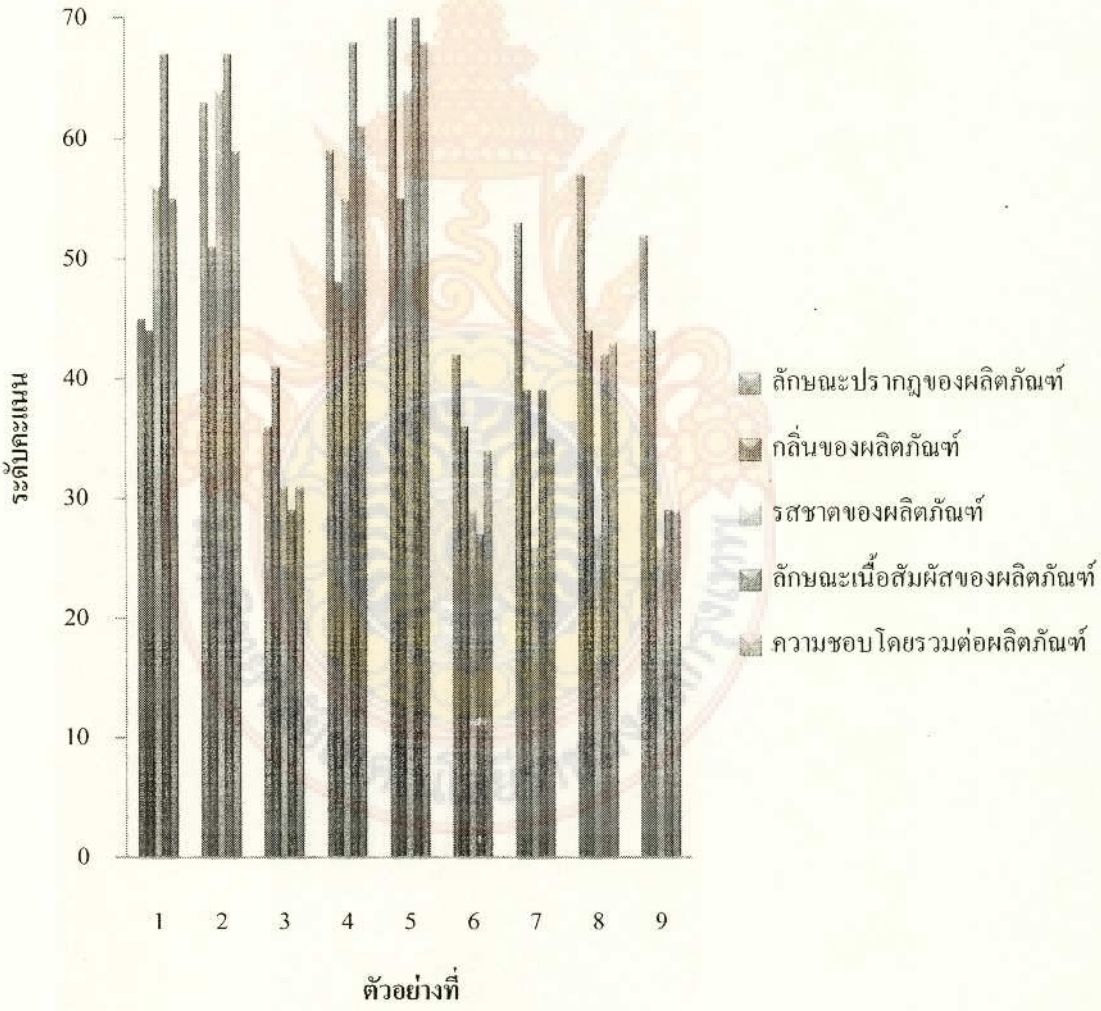
ผงสะตอที่ได้จากการอบขนาด 1/2 เมล็ดที่อุณหภูมิต่างๆ

ผงสะตอที่ได้จากการอบขนาด 1/4 เมล็ดที่อุณหภูมิต่างๆ

รูปที่ 4.12 ผงสะตอที่ได้จากการอบขนาดต่างๆ และที่อุณหภูมิแตกต่างกัน

4.8 ค่าความพึงพอใจของผู้บริโภคที่มีต่อสะตออบแห้งกึ่งสำเร็จรูป

จากรูปที่ 4.13 จะเห็นได้ว่า หัวข้อลักษณะปรากฏของผลิตภัณฑ์ (กราฟแท่งสีน้ำเงิน) ตัวอย่างที่ 5 คือ อบที่ 60°C ขนาด 1/2 ของเมล็ด ผู้บริโภคมีความพึงพอใจมากที่สุดถึง 70 คะแนน ลำดับที่ 2 คือตัวอย่างที่ 2 คือ อบที่ 45°C ขนาด 1/2 ของเมล็ดระดับความพึงพอใจอยู่ที่ 63 คะแนน โดยใช้สายตาในการประเมิน ส่วนตัวอย่างที่ 3 คือ อบที่ 45°C ทั้งเมล็ด จะมีคะแนนความพึงพอใจน้อยที่สุด ในหัวข้อกลิ่นของผลิตภัณฑ์ใช้จมูกในการประเมิน (กราฟแท่งสีแดง) จะเห็นว่า คะแนนความพึงพอใจที่ได้ใกล้เคียงกันไม่แตกต่างกันมากนัก โดยตัวอย่างที่ได้คะแนนมากที่สุด คือ ตัวอย่างที่ 5 เช่นเดียวกับลักษณะปรากฏ(กราฟแท่งสีน้ำเงิน) จะเห็นว่าหัวข้อนี้ความสูงของแท่งกราฟจะไม่สูงมากนัก อาจเป็นเพราะว่ากลิ่นของสะตอที่อบแล้วไม่ได้แตกต่างกันมากนักคะแนนความพึงพอใจจึงอยู่ในระดับปานกลางและมีความไล่เลี่ยกัน



รูปที่ 4.13 ความพึงพอใจของผู้บริโภคที่มีต่อสะตออบแห้งกึ่งสำเร็จรูปและสะตอผงที่อบที่ภาวะต่างๆ

** หมายเหตุ

1 = อบที่ขนาด 1/4 ของเมล็ด อุณหภูมิ 45 °C
2 = อบที่ขนาด 1/2 ของเมล็ด อุณหภูมิ 45 °C
3 = อบที่ขนาดเต็มเมล็ด อุณหภูมิ 45 °C
4 = อบที่ขนาด 1/4 ของเมล็ด อุณหภูมิ 60 °C
5 = อบที่ขนาด 1/2 ของเมล็ด อุณหภูมิ 60 °C
6 = อบที่ขนาดเต็มเมล็ด อุณหภูมิ 60 °C
7 = อบที่ขนาด 1/4 ของเมล็ด อุณหภูมิ 75 °C
8 = อบที่ขนาด 1/2 ของเมล็ด อุณหภูมิ 75 °C
9 = อบที่ขนาดเต็มเมล็ดเมล็ด อุณหภูมิ 75 °C

จากรูป 4.13 ในหัวข้อรสชาติ (กราฟแท่งสีเขียว) คะแนนความพึงพอใจค่อนข้างจะมีความแตกต่างกันมาก เนื่องจากตัดสินด้วยลิ้นคือการชิม จึงรับรู้ได้ถึงความแตกต่างที่เกิดขึ้น โดยตัวอย่างที่ 2 คืออบที่ 45 °C ขนาด 1/2 ของเมล็ด และตัวอย่างที่ 5 คืออบที่ 60 °C ขนาด 1/2 ของเมล็ด แท่งกราฟจะสูงที่สุด และคะแนนของตัวอย่างที่ 7 คือ อบที่ 75 °C ขนาดเต็มเมล็ด ตัวอย่างที่ 8 คือ อบที่ 75 °C ขนาด 1/2 ของเมล็ดและตัวอย่างที่ 9 คืออบที่ 75 °C ขนาด 1/4 ของเมล็ด ความสูงของแท่งกราฟจะน้อยมาก เนื่องจากผู้บริโภคพบว่ามีรสขม ที่อาจเกิดจากการไหม้ เพราะใช้ความร้อนในการอบมาก หัวข้อลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ (แท่งกราฟสีม่วง) จากกราฟจะพบว่าตัวอย่างที่ 3, 6 และ 9 ซึ่งอบทั้งเมล็ดทั้ง 3 ตัวอย่างจะมีระดับคะแนนความพึงพอใจน้อยมาก เนื่องจาก เมื่อทำการเคี้ยวพบว่ามีความเหนียวหนืด ไม่กรอบ เหมือนสะตอขนาด 1/2 และ 1/4 ของเมล็ด ในหัวข้อความชอบโดยรวมต่อผลิตภัณฑ์ (แท่งกราฟสีฟ้า) พบว่า ผู้บริโภคมีความพึงพอใจในผลิตภัณฑ์สะตออบแห้งกึ่งสำเร็จรูป ตัวอย่างที่ 5 มากที่สุด คืออบที่ 60 °C ขนาด 1/2 ของเมล็ด เพราะมีลักษณะ สี กลิ่น รสชาติ ที่ดีที่สุด ในกลุ่มตัวอย่างทั้ง 9 ตัวอย่าง เมื่อมองกราฟโดยรวมจะพบว่า ตัวอย่างที่ 1, 2 คือ อบที่ 45 °C ขนาด 1/4 และ 1/2 ของเมล็ด ตามลำดับ และตัวอย่างที่ 4, 5 คือ อบที่ 60 °C ขนาด 1/4 และ 1/2 ของเมล็ด ตามลำดับ จะมีระดับคะแนนความพึงพอใจโดยรวมสูง

4.8 การเลือกวิธีที่ดีที่สุดในการทำผลิตภัณฑ์สะตอกึ่งสำเร็จรูปและสะตอผง (Best selection method)

ในการพิจารณาจะมีเกณฑ์ คือ เวลาที่ใช้ในการอบ ปริมาณของแข็งที่ละลาย และคุณภาพด้านประสาทสัมผัส จึงนำค่าที่ได้จากการทดลองมาให้คะแนน โดยกระบวนการอบแห้งจำเป็นต้องใช้เวลาน้อยที่สุดเพื่อเพิ่มความรวดเร็วในการผลิตผลิตภัณฑ์ดังนั้นวิธีการอบแห้งที่ใช้เวลาน้อยที่สุดให้คะแนนมากที่สุดและใช้เวลามากสุดควรมีคะแนนต่ำที่สุด ในลักษณะของสี กลิ่น รสชาติ ความแข็ง ความเหนียว ความชอบโดยรวม ถูกพิจารณาด้วยคะแนนความนิยมที่ได้จากผลสำรวจแบบทดสอบ โดยลักษณะที่ได้รับคะแนนความนิยมสูงที่สุดมีคะแนนมากที่สุดและความนิยมต่ำสุดมีคะแนนต่ำสุด

จากตารางที่ 4.4 พบว่า ภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการทำผลิตภัณฑ์สะตออบแห้งกึ่งสำเร็จรูป คือ การอบสะตอแบบครึ่งเมล็ด (1/2) ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เปอร์เซ็นต์การเลือกสูงที่สุดคือ 68.5% เมื่อพิจารณาเกณฑ์ต่าง ๆ พบว่า ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีการตอบรับจากผู้บริโภคอยู่ในเกณฑ์ดีมาก และใช้ระยะเวลาในการอบ 9 ชั่วโมง

ตารางที่ 4.4 ระดับคะแนนการเลือกวิธีที่ดีที่สุดที่สภาวะต่างๆ ทั้ง 9 สภาวะ

	การอบแห้งที่อุณหภูมิ 45 °C			การอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 °C			การอบแห้งที่อุณหภูมิ 75 °C		
เกณฑ์ในการเลือก	เต็มเมล็ด	1/2 ของเมล็ด	1/4 ของเมล็ด	เต็มเมล็ด	1/2 ของเมล็ด	1/4 ของเมล็ด	เต็มเมล็ด	1/2 ของเมล็ด	1/4 ของเมล็ด
เวลาที่ใช้ในการอบแห้ง	1	2	4	3	6	7	5	8	9
สีก่อนการคืนตัว	4	3	3	5	7	7	1	9	8
สีหลังการคืนตัว	3	5	4	9	9	1	2	6	9
ค่าความเข้มข้นของของแข็งที่ละลายได้	9	6	4	7	4	5	8	4	1
ค่าเนื้อสัมผัส	9	3	6	8	1	4	7	2	5
อัตราการคืนตัว	2	6	9	1	5	8	3	4	7
การตอบรับของผู้บริโภค	6	7	2	8	9	3	4	5	1
คะแนนรวม	34	32	32	41	41	35	30	38	35
(SP,%)	53.9	50.8	50.7	65.1	68.5	55.5	47.6	60.3	55.5

4.7 การถ่ายทอดความรู้การทำผลิตภัณฑ์สะตอกึ่งสำเร็จรูปและผงปรุงรสสะตอเพื่อเป็นต้นแบบให้แก่เกษตรกรผู้ปลูกสะตอชุมชนพรหมคีรี จังหวัดนครศรีธรรมราช

4.7.1 ชื่อโครงการ: โครงการถ่ายทอดความรู้การทำผลิตภัณฑ์สะตอกึ่งสำเร็จรูปและผงปรุงรสสะตอเพื่อเป็นต้นแบบให้แก่เกษตรกรผู้ปลูกสะตอ ชุมชนพรหมคีรี จังหวัดนครศรีธรรมราช

4.7.2 หลักการและเหตุผล

สะตอ (Parkia speciosa Hassk) เป็นพืชเศรษฐกิจที่ได้รับความนิยมในการบริโภคอย่างแพร่หลายโดยเฉพาะในท้องถิ่นภาคใต้ ถือเป็นพืชที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจชนิดหนึ่งของประเทศไทย โดยสะตอที่พบและเป็นที่รู้จักในท้องถิ่นภาคใต้ มี 2 พันธุ์ คือ สะตอดาน และสะตอข้าว สะตอสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้เกือบทุกส่วน โดยเฉพาะส่วนของยอดอ่อน ส่วนของผลหรือฝักของสะตอสามารถนำมาใช้เป็นผักจิ้มและสามารถนำไปปรุงเป็นอาหาร จากประโยชน์ดังกล่าวของสะตอทำให้ในปัจจุบันพบว่าสะตอได้รับความนิยมในการบริโภคเพิ่มขึ้นและมีราคาค่อนข้างสูง เนื่องจากสะตอส่วนมากมีการออกผลเป็นฤดูกาล โดยสะตอจำนวนมากจะออกสู่ตลาดในช่วงเดือนกรกฎาคมถึงตุลาคม ส่วนการบริโภคสะตอนอกฤดูกาล ได้แก่ การนำสะตอมาดองเปรี้ยว ซึ่งจะได้สะตอซึ่งมี

รสชาติเปรี้ยว ปนเค็ม แข็งกรอบ มีกลิ่นฉุนมาก และมีรสชาติเฉพาะตัวไม่สามารถนำมารับประทานหรือปรุงในลักษณะสดอย่างเดิมได้ ดังนั้นจึงได้มีการทำวิจัยผลิตภัณฑ์สะตอกึ่งสำเร็จรูปและผงปรุงรสสะตอเพื่อยืดอายุการเก็บรักษาและแปรรูปสะตอให้มีคุณภาพและลักษณะใกล้เคียงเดิม ซึ่งจะเป็นประโยชน์อย่างมากและจะช่วยสร้างรายได้ สร้างงานให้กับผู้ผลิตและผู้ที่เกี่ยวข้องได้มากมาย

4.7.3 วัตถุประสงค์

เพื่อถ่ายทอดความรู้แก่เกษตรกรผู้ปลุกสะตอ ชุมชนพรหมคีรี จังหวัดนครศรีธรรมราชที่มีความสนใจที่ต้องการเรียนรู้การทำผลิตภัณฑ์สะตอกึ่งสำเร็จรูปและผงปรุงรสสะตอ

4.7.4 เป้าหมาย

1) เป้าหมายเชิงปริมาณ เกษตรกรผู้ปลุกสะตอ ชุมชนพรหมคีรี จังหวัดนครศรีธรรมราช จำนวน 20 คน
2) เป้าหมายเชิงคุณภาพ เกษตรกรผู้ปลุกสะตอ ชุมชนพรหมคีรีได้รับความรู้และความเข้าใจในการทำผลิตภัณฑ์สะตอกึ่งสำเร็จรูปและผงปรุงรสสะตอ

4.7.5 ผู้รับผิดชอบโครงการ

ผู้ดำเนินโครงการ 1) นางสาวมณีรัตน์ ติรนันทกุล (หัวหน้าโครงการ)
2) นายสุรัตน์ บุญพึ่ง
3) นายชาติสยาม ธรรมจินดา

หน่วยงาน สาขาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชมงคลกรุงเทพ

4.7.6 ระยะเวลาและสถานที่

วันที่ 29 มิถุนายน 2555 เวลา 9.00 – 12.00 น. ศาลาประชุม องค์การบริหารส่วนตำบลทอนหงส์ อำเภอพรหมคีรี จังหวัดนครศรีธรรมราช

4.7.7 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

เกษตรกรผู้ปลุกสะตอ ชุมชนพรหมคีรี จังหวัดนครศรีธรรมราช ทราบและเข้าใจการทำผลิตภัณฑ์สะตอกึ่งสำเร็จรูปและผงปรุงรสสะตอ

4.7.8 รายละเอียดกำหนดการของโครงการถ่ายทอดความรู้แสดงดังตารางที่ 4.5

ตาราง 4.5 การถ่ายทอดความรู้เกี่ยวกับการทำผลิตภัณฑ์สะตอกึ่งสำเร็จรูปและผงปรุงรสสะตอเพื่อเป็นต้นแบบให้แก่เกษตรกรผู้ปลูกสะตอ ชุมชนพรหมคีรี จังหวัดนครศรีธรรมราช วันศุกร์ที่ 29 มิถุนายน 2555 เวลา 9.00 น. – 12.00 น. องค์การบริหารส่วนตำบลทอนหงส์ อำเภอพรหมคีรี จังหวัดนครศรีธรรมราช

เวลา	รายการ
9.00 – 9.30 น.	ลงทะเบียน
9.30 – 10.30 น.	- กล่าวเปิดโครงการและเกริ่นนำ - บอกที่มาและความสำคัญของโครงการ - บอกขั้นตอนและปัจจัยที่มีผลการทำผลิตภัณฑ์สะตอกึ่งสำเร็จรูปและสะตอผง
10.30 – 10.45 น.	พักรับประทานน้ำชา กาแฟ
10.45 – 12.00 น.	- บอกคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่ได้ - บอกผลการสำรวจการตอบรับของผู้บริโภค - สรุปผล - ตอบข้อซักถาม - กล่าวปิดโครงการ

4.7.9 ภาพถ่ายของโครงการถ่ายทอดความรู้เกี่ยวกับการทำผลิตภัณฑ์สะตอกึ่งสำเร็จรูปและผงปรุงรสสะตอเพื่อเป็นต้นแบบให้แก่เกษตรกรผู้ปลูกสะตอ ชุมชนพรหมคีรี จังหวัดนครศรีธรรมราช วันศุกร์ที่ 29 มิถุนายน 2555 เวลา 9.00 น. – 12.00 น. องค์การบริหารส่วนตำบลทอนหงส์ อำเภอพรหมคีรี จังหวัดนครศรีธรรมราช แสดงในภาพตัวอย่าง ที่ 4.14- 4.17 และภาคผนวก ค

รูปที่ 4.16 ผู้วิจัย (นางสาวมณีรัตน์ ติรนันทกุล) เดินทางถึง อบต. ทอนหงส์ อ. พรหมคีรี จ. นครศรีธรรมราช

รูปที่ 4.17 ผู้วิจัยและเกษตรกรผู้ปลูกสะตอ อบต. ทอนหงส์ อ. พรหมคีรี จ.นครศรีธรรมราช ที่เข้าร่วมอบรมการทำผลิตภัณฑ์สะตอกึ่งสำเร็จรูปและผงปรุงรสสะตอ

รูปที่ 4.18 ผู้วิจัยและเกษตรกรผู้ปลูกผู้ปลูกสะตอ อบต. ทอนหงส์ อ. พรหมคีรี จ.นครศรีธรรมราช ระหว่างการถ่ายทอดความความรู้เรื่องการทำผลิตภัณฑ์สะตอกึ่งสำเร็จรูปและผงปรุงรสสะตอ

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองผลิตสะตออบแห้งกึ่งสำเร็จรูป พบว่าเมื่ออบที่อุณหภูมิ 45 °C จะใช้เวลาในการอบนานมากที่สุด โดยเฉพาะอบทั้งเมล็ดพบว่าใช้เวลาถึง 1,170 นาที เมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการอบ จะทำให้ประหยัดเวลาในการอบลง ขนาดของสะตอในการอบก็มีผลต่อเวลาในการอบเช่นกัน ที่ขนาด 1/4 จะใช้เวลาในการอบน้อยที่สุด และอบทั้งเมล็ดจะใช้เวลาในการอบมากที่สุด ซึ่งขนาดก็มีผลต่อค่าการคืนตัวด้วยเช่นกัน คือ เมื่อมีขนาดเล็กพื้นที่ก็จะมาก การคืนตัวก็จะรวดเร็วและคืนตัวได้ดีกว่าสะตออบแห้งขนาดใหญ่ ค่าสีที่ได้ก่อนการคืนตัวพบว่า สีของสะตออบแห้งที่อบที่ 60 °C มีค่าใกล้เคียงกับสะตอสดมากที่สุด สีที่ต่างจากสะตอสดมากที่สุดคืออบที่ 75 °C สีหลังการคืนตัวที่ใกล้เคียงกับสะตอสดมากที่สุดคือ การอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 °C รองลงมาคือการอบแห้งที่อุณหภูมิ 75 °C และค่าสีใกล้เคียงน้อยที่สุดคือการอบแห้งที่อุณหภูมิ 45 °C ปริมาณความเข้มข้นของของแข็งที่ละลายได้ที่สูงที่สุดพบในสะตออบแห้งขนาด 1/4 ของเมล็ด ของทุกอุณหภูมิที่ใช้อบ และค่าเปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นของของแข็งที่ละลายได้ต่ำที่สุดของสะตออบแห้ง คือ อบทั้งเมล็ด และสังเกตได้ว่าอุณหภูมิมีผลต่อเปอร์เซ็นต์ค่าของแข็งที่ละลายได้น้อยมาก ส่วนค่าความแข็งแปรผกผันกับขนาดของพื้นที่ผิว กล่าวคือยิ่งขนาดของพื้นที่ผิวน้อยลงจะมีค่าความแข็งมากขึ้น โดยที่อุณหภูมิที่ใช้ในการอบไม่มีผลต่อค่าความแข็งเนื่องจากทำการวัดค่าความแข็งภายหลังการคืนตัวแล้ว จากแบบสอบถามความพึงพอใจของผู้บริโภค ระดับคะแนนโดยรวมมากที่สุดคือ ตัวอย่างที่ 5 คือ อบที่ 60 °C ขนาด 1/2 ของเมล็ด ทั้งสี รสชาติ เนื้อสัมผัส กลิ่น และความชอบโดยรวม และจากตาราง Best selection method พบว่า สะตออบแห้งและสะตอผงที่ขนาด 1/2 ของเมล็ดที่อบที่ 60 °C ดีที่สุด

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ในการทำการทดสอบทางประสาทสัมผัสควรมีห้องทดสอบชิมที่สามารถเปิดไฟสีแดงในการอำพรางอคติที่เกิดขึ้นจากสีของผลิตภัณฑ์ โดยให้ผู้ทดสอบชิมทำการประเมินคุณลักษณะด้านอื่นๆ ก่อน แล้วจากนั้นจึงจะทำการประเมินคุณลักษณะด้านสีเป็นอันดับสุดท้าย ทั้งนี้เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดความคลาดเคลื่อนในการประเมินอันเกิดจากอคติของผู้ทดสอบชิม

2. ในงานวิจัยครั้งนี้มิได้ทำการศึกษาถึงความคงตัวของสีในสะตออบแห้งกึ่งสำเร็จรูป จึงไม่สามารถบอกได้ว่าในการแช่น้ำร้อนที่อุณหภูมิต่างๆ เพื่อทำให้คืนตัว รวมถึงระยะเวลาในการแช่ที่สภาวะใดมีประสิทธิภาพดีกว่ากันและไม่สามารถบอกได้ว่าสีของสะตออบแห้งกึ่งสำเร็จรูปจะสามารถคงตัวอยู่ได้นานเท่าใด ซึ่งความคงตัวของสีดังกล่าวเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่ออายุการเก็บรักษาในระหว่างรอจำหน่าย จึงเป็นที่น่าสนใจและเป็นสิ่งที่ควรจะได้มีการศึกษาต่อไปในอนาคต

บรรณานุกรม

กนกวรรณ จันทร์คำจร. 2548. **ลำดับกรดอะมิโนและฤทธิ์ทางชีวภาพของโปรตีนเมล็ดสะตอ**. วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต. วิทยาศาสตร์ (เคมีอินทรีย์) จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กรมอนามัย. 2535. **ตารางแสดงคุณค่าทางโภชนาการของอาหารไทย**. กรุงเทพมหานคร.

กระทรวงพลังงาน. 2549. **คู่มือเครื่องอบแห้ง**. กรุงเทพมหานคร.

กิติพงษ์ รัตนาภร์, ทะนง เอี่ยวศิริ, อาภรณ์ เกิดสิริ และสุปราณี มนูรักษ์ชินากร. 2547. "**ผลของอุณหภูมิต่อการเก็บรักษาฝักสะตอข้าวที่เคลือบสารเคลือบทางการค้าในห้องเย็น**" การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 44

จริงแท้ ศิริพานิช. 2538. **สรีรวิทยาและเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวผักและผลไม้**. นครปฐม: โรงพิมพ์ศูนย์ส่งเสริมการฝึกอบรมแห่งชาติมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์วิทยาเขตกำแพงแสน

จารุ ไชยแขวง. 2541. **การพัฒนาสะตอแบบครบวงจร**. สงขลา. โรงพิมพ์สาส์นใต้.

จุไรรัตน์ รัตนประทีป. 2527. **การหาปริมาณสารกำมะถันในสะตอ**. ปัญหาพิเศษปริญญาตรี ภาควิชาชีวเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

ทัศนี เรืองหิรัญ. 2545. **เรื่องสะตอ**. ข่าวสารสมาคมพืชสวน. 17 (1): 13

เที่ยง ตู้แก้ว. 2532. **เอกสารวิชาการที่ 4 เรื่องสะตอ**. กรุงเทพฯ. สถาบันวิจัยพืชสวน กรมวิชาการ เกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์

เที่ยง ตู้แก้ว, 2534. **การปลูกสะตอ**. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย กรุงเทพมหานคร.

นลินา จอมบดินทร์. 2541. **ผลของพันธุ์และสภาวะการแปรรูปต่อคุณภาพของข้าวโพดแช่แข็งทั้งฝัก**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

นิรนาม ก. ม.ป.ป. "การอบแห้ง" [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก: www.kmutt.ac.th/organization/research/intellect/pse11.htm. (วันที่สืบค้น 25 กรกฎาคม 2549)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ภาควิชาเคมีอุตสาหกรรม. 2550. **คู่มือปฏิบัติการ Unit 2**. กรุงเทพฯ.

มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช. 2544. **การถนอมและแปรรูป**. มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช.

มาวิน มะโนชัย. 2547. **เทคโนโลยีการผลิตลำไย**. ห้างหุ้นส่วนจำกัดมิตรเกษตรการตลาดและโฆษณา. กรุงเทพมหานคร.

มุทิตา มีนุ่น. 2536. **ความคงตัวของสีเขียวในหน่อไม้ฝรั่งบรรจุกระป๋อง**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

วัฒนา ประทุมสินธุ์. 2526. **ตำราการถนอมอาหาร**. ประสานมิตร. กรุงเทพมหานคร.

วัลลี สุวจิตตานนท์ และพูลสุข โพธิรักขิต. 2531. **โปรตีนจากสะตอ**. สงขลานครินทร์เวชสาร.

วิชัย หฤทัยธนาสันต์. 2521. **หลักการถนอมและแปรรูปผักผลไม้เบื้องต้น**. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพมหานคร.

ศิรินทรา ตันพงษ์พิพัฒชัย. 2546. **ผลของการใช้วิธีการแปรรูปขั้นต่ำสำหรับการเก็บรักษาสะตอในสภาวะแช่เย็นและแช่แข็ง**. วิทยานิพนธ์ (วท.ม.(วิทยาศาสตร์การอาหาร)). มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สมชาติ โสภณรณฤทธิ์. 2540. **การอบแห้งเมล็ดพืชและอาหารบางประเภท**. ศูนย์หนังสือพระจอมเกล้าธนบุรี.

สายสวาท กุลวัฒนาพร. 2547. **ข่าวเทคโนโลยีชาวบ้าน**. สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย, กรุงเทพมหานคร.

สุรพงศ์ โกสิยจินดา และสมบัติ กลางวัง. 2530. **คุณภาพและมาตรฐานของผักผลไม้สดบางชนิดในประเทศไทย**. ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ.

เสาวคนธ์ บุญนา. 2544. **ผลของอุณหภูมิสภาพปรับบรรยากาศและการเก็บในสารละลายน้ำตาลต่อคุณภาพเนื้อขนุนพร้อมบริโภค**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ. 2540. **ความแตกต่างระหว่างสายพันธุ์ของสะตอข้าวและสะตอดาน**. กรุงเทพมหานคร.

เอกสิทธิ์ จงเจริญรักษ์, ขวัญใจ แซ่ลิ้ม และสุทธวัฒน์ เบญจกุล. 2552. "**การเปลี่ยนแปลงของกิจกรรมการต้านออกซิเดชั่นของสะตอระหว่างการเก็บรักษา**" วารสารนวัตกรรมเทคโนโลยีหลัง การเก็บเกี่ยว. ปีที่8, ฉบับที่ 3

Ahvenainen, R. 1996. **New approaches in improving the shelf life of minimally processed fruit and vegetable**. Trends Food Sci. &Technol. 7: 179-187.

Al-Obaidy, H.M. and A.M. Siddiqi. 1981. **Properties of broad bean lipoxygenase**. J.Food Sci. 46: 622-626.

Amerine, M.A., R.M. Pangborn and E.B. Roessler. 1965. **Principles of sensory evaluation of food**. Academic Press Inc. New York.

Amir-Shapira, D., E.E. Goldschmidt, and A. Altman. 1987. **Chlorophyll catabolism in senescing plant tissues *in vivo* breakdown intermediates suggest different degradative pathways for citrus fruit and pasley leaves**. Proc. Natl. Acad. Sci. USA 84: 1901-1905.

Andrews, R.S., and Pridham, J.B.. 1967. "**Melanins from DOPA Containing Plants**", Phytochemistry,Vol. 6, p. 13-18.

Anthon, G.E. and D.M. Barrett. 2002. **Kinetic parameters for the thermal inactivation of quality-related enzymes in carrots and potatoes**. J. Agri. Food Chem. 50: 4119-4125.

Anzaldua-Morales, A., A. Quintero and R. Balandran. 1996. **Kinetics of thermal softening of six legumes during cooking**. J. Food Sci. 61: 167-170.

Barbic, I, G. Hilbert, C. Nguyen-the and J. Guirand. 1992. **The yeast flora of stored ready-to- use carrots and their role in spoilage**. Int J. Food Sci. Technol. 27: 473-484.

Barrett, D.M., E.L. Garcia, G.F. Russell, E. Ramirez and A. Shirazi. 2000. Blanch time and cultivar effects on quality of frozen and stored corn and broccoli. J. Food Sci. 65: 534 - 540.

Barrett, D. M. and C. Theerakulkait. 1995. **Quality indicators in blanched, frozen, stored vegetables**. Food Technol. 49 (1): 62-65.

Barry-Ryan C. and O' Beirne. 1998. **Quality and shelf-life of fresh cut carrot slices and affected by slicing method**. J. Food Sci. 63: 851-856.

Barth, M.M., E.L. Kerbel, S. Broussard and S.J. Schmidt. 1993. **Modified atmosphere packaging protects market quality in broccoli spears under ambient temperature storage**. J. Food Sci. 58: 1070-1072.

Bengtsson, B.L., I. Bosund and I. Rasmussen. 1967. **Hexanal and ethanol formation in peas in relation to off-flavor development**. Food Technol. 21(3): 478-482.

Beuchat, L.R. and D.A. Golden. 1989. **Antimicrobials occuring naturally in foods**. Food Technol. 43 (1): 134-142.

Blunstone, H.A.N., J.S. Woodman and J.B. Adams. 1971. **Canned citrus products pp**. 543-572. In A.C. Hulme, ed. The Biochemisty of Fruits & Their Products. Academic Press, New York.

Bomben, J.L. 1977. **Effluent generation, energy use and cost of blanching**. J. of Food Process and Eng. 1: 329.

Bottcher, H. 1975. **Enzyme activity and quality of frozen vegetables**. I.Remaining residual activity of peroxidase. Nahrung. 19: 173.

Bourne, M.C. 1987. **Effect of blanch temperature on kinetics of thermal softening of carrots and green beans**. J. Food Sci. 52: 667-668, 690.

Bourne, M.C. 1989. **Application of chemical kinetic theory to the rate of thermal softening of vegetables tissue** pp. 99-110. In J.J. Jen, ed. Quality Factors of Fruits and Vegetables Chemistry and Technology. American Chemical Society. Washington, D.C.

Brackett, R.E. 1987. **Microbiological consequences of minimally processed fruit and vegetables**. J. Food Qual. 10: 195-206.

Buckle, K.A. and R.A. Edwards. 1970. **Chlorophyll degradation and lipid oxidation in frozen unblanched peas**. J. Sci. Fd. Agric. 21 (6): 307-312.

Buick, R.K. and Damoglou, A.P. 1987. **The effect of vacuum packaging on the microbial spoilage and shelf-life of ready to use sliced carrots**. J. Sci. Food Agric. 38:167-175.

Burnette, F.S. 1977. **Peroxidase and its relationship of food flavor quality**: a review. J. Food Sci. 42: 1-6.

Campell, H. 1940. **Scalding of cut corn for freezing**. West Canner Pecker 32 (9): 51.

Carroad, P.A., J.B. Swartz and J.L. Bomben. 1980. **Yield and solid loss in water and steam blanching, water and air cooling, freezing and cooking of broccoli spears**. J. Food Sci. 45: 1408-1412.

Charley, H. 1982. Food Science: vegetable 2 nd ed. John Wiley and Sons, Inc., New York.

Charoenrein, S. and D.S. Reid. 1989. **Effect of freezing conditions and storage temperature on the stability of frozen green bean**. pp. 227-238. In J.J. Jen, ed. Quality Factors of Fruits and Vegetables Chemistry and Technology. American Chemical Society. Washington, D.C.

Chen, A.O. and J.R. Whitaker. 1986. **Purification and characterization of a lipoxygenase from immature English peas**. J. Agri. Food Chem. 34: 203-211.

Day, B.P.F. 1996. "**High Oxygen Modified Atmospheres Packaging for Fresh Prepared Produce**". Postharvest News Info, Vol. 7, No. 3, p. 31N-34N.

Demple, B. and Halbrook, J. 1983. "**Inducible Repair of Oxidative DNA Damage in *E. coli***". Nature,Vol. 304, p. 446-448.

Diehl, H.C. 1932. **A physiological view of freezing preservation**. Ind. Eng. Chem. 24:661.

Diehl, H.C., J.H. Dingle and J.A. Berry. 1933. **Enzymes can cause off flavors even when foods are frozen**. Food Ind. 5: 300.

Diel, E. and H.J. Stan. 1978. **Purification and characterization of two isoenzyme of lipoxgenase from soybeans**. Planta. 142: 321-328

Drake, S.R., S.E. Spayd and J.B. Thompson. 1981. **The influence of blanch and freezing methods on the quality of selected vegetables**. J. Food Qual. 4: 271-278.

Fallik, E. and S. Grinberg. 1992. Hinokitiol : **A natural substance that controls postharvest diseases in eggplant and pepper fruits**. Postharvest Biol. Technol. 2: 137-144.

N. Temkin-Gorodeiski, S. Grinberg and H. Davidson. 1995. **Prolonged lowtemperature storage of eggplants in polyethylene bags**. Postharvest Biol. Technol.5: 83-89.

Fennema, O.R. 1973. Nature of freezing process. pp. 151-239. In O.R. Fennema, ed. **Low Temperature Preservation of Foods and Living Matter**. Marcel Dekker, Inc.,New York.

Feys, M., W. Naesens, P. Toback and E. Maes. 1980. **Lipoxygenase activity in apples in relation to storage and physiological disorders**. Phytochemistry. 19: 1009-1011.

Freeman, D.W. and W.A. Sistrunk. 1978. **Effect of post harvest storage on the quality of canned snap beans**. J. Food Sci. 43: 211-214.

Ganthavorn, C. and J.R. Powers. 1989. **Partial purification and characterization of aparagus lipoxygenase**. J. Food Sci. 54: 371-373.

Ganthavorn, C., C.W. Nagel and J.R. Powers. 1991. **Thermal inactivation of asparagus lipoxygenase and peroxidase**. J. Food Sci. 56: 47-49, 79. Cited B. Fretzdorff,

W. Bergthaller and B. Putz. 1988. **Experiments on the in activation of some enzymes by water blanching in fresh fry production**.Potatoes res. 31: 25.

Garrote, R.L., E.R. Silva and R.A. Bertone. 1985. **Distribucion e inactivacion termica de las enzimas peroxidasa de lipoxigenasa en el choclo. Rev. Agroquim**. Tecnol. Aliment. 25 (3): 373-383.

Gerschman R. 1964. **Biological effects of oxygen**. In: Dick-ens F., Niel, E. (eds.). Oxygen in theAnimal Organism. Macmillan. New York. p. 475-492.

Gmelin, R., R. Susilo and G.R. Fenwick. 1981. **Cyclic polysulfides from *Parkia speciosa***. Phytochemistry. 20: 2521-2523.

Gold, H.J. and K.G. Weckel. 1959. **Degradation of chlorophyll to pheophytin during sterization of canned green peas by heat**. J. Food Tech. 13: 281-286.

Gonzalez, A.R., J. Mays and G. Prokakis. 1989. Snap bean trial, 1988. Field performance and quality evaluation of raw product, **frozen and canned snap bean cultivars**. Ark. Ag. Expt. Sta. 387: 1-16.

Groeschel, E.C., A.I. Nelson and M.P. Steinberg. 1966. **Change in color and other characteristics of green beans stored in controlled refrigerated atmospheres**. J. Food Sci. 31: 488-496.

Guyer, R.B., A. Kramer and L.E. Ide. 1950. **Factor affecting yield and quality measurements of raw and canned green and wax beans, a preliminary report**. Proc. Am. Soc. Hort. Sci. 56: 303-314.

Halpin, B.E. and C.Y. Lee. 1987. **Effect of blanching on enzyme activity and quality changes in green peas**. J. Food Sci. 52: 1002-1005.

Halpin, B.E., R. Pressey, J. Jen and N. Mondy. 1989. **Purification and characterization of peroxidase isoenzymes from green peas (*Pisum Sativum*)**. J. Food Sci. 54: 644-649.

Hanson, K.R. and Havir, E.A., 1981, **"Phenylalanine ammonia-lyase"**, In: Conn, E.E. (ed.), TheBiochemistry of Plant, Vol. 7, New York, **Academic Press**. 577 pp.

Hardenburg, R.E., A.E. Watada and C.Y. Wang. 1986. **The Commercial Storage of Fruits**, Hayakawa, K.I. and G.E. Timbers. 1977. **Influence of heat treatment on the quality of vegetables:change in visual green color**. J Food Sci. 42: 778-781.

Hildebrand, D.F. 1989. **Lipoxygenase**. Physiol. Plant. 76: 249-253.

Hung, Y.C. and D.R. Thompson. 1989. **Change in texture of green peas during freezing and frozen storage**. J. Food Sci. 54: 96-101.

Huxsoll, C.C. and H.R. Bolin. 1989. **Processing and distribution alternatives for minimally processed fruits and vegetables**. Food Technol. 43(2): 124-135.

W.C. Dietrich and A.I. Morgan Jr. 1970. Comparison of microwave with steam or water blanching of corn on the cob: characteristics of equipment and heat penetration. Food Tech. 24 (3): 84-86.

Jamaluddin, F., S. Mohamed and M.N. Lajis. 1994. **Hypoglycaemic effect of *Parkia speciosa* seed due to the synergistic action of sitosterol and stigmasterol**. Food Chemistry. 49: 339-345.

Jamaluddin. 1995. **Hypoglycaemic effect of stigmast-4-en-3-one**, from *Parkia speciosa* empty pods. Food Chemistry. 54: 9-13.113

Jay, J.M. 1992. **Modern Food Microbiology**. 2 nd ed. Chapman & Hall, New York.

Jiang, Y.M. 1999. **Low temperature and controlled atmosphere storage of fruit of longan(*Dimocarpus longan* Lour.)**. Tropical Science, Vol. 39, p. 98-100

Kader, A.A. and Ben-Yehoshua, S., 2000, **"Effects of Superatmospheric Oxygen Levels on Postharvest Physiology and Quality of Fresh Fruits and Vegetables"**, Postharvest Biology and Technology, Vol. 20, No. 1, p. 1-13.

Katsaboxakis, K.Z. and D.N. Papanicolaou. 1984. **The consequence of varying degree of blanching on the quality of green beans**, pp. 684-690. In P.

Zeuthen, J.C. Cheftel, C. Kays, S.J. 1991. **Post Harvest Physiology of Perisable Plant Products**. Van Nostrand, Reinhold., New York.

Kermasha, S., I. Alli and M. Metche. 1988. **Change in peroxidase activity during the development and processing of *Phaseolus vulgaris* cv, haricot seed**. J. Food Sci. 53: 1753-1755.

Kermaha, S. and M. Metche. 1987. **Change in lipoxygenase and hydroperoxide isomerase activities during the development and storage of French Bean seed.** J. Sci. Food Agr. 40: 1-10.

Kim, B.S. and A. Klieber. 1977. **Quality maintenance of minimally processed Chinese cabbage with low temperature and citric acid drip.** J. Sci. Food Agric. 75: 31-36.

King, A.D. and H.R. Bolin. 1989. **Physiological and microbiological storage stability of minimally processed fruits and vegetable.** Food Technol. 43 (2): 132-135, 139.

Koch, R.B., B.L. Brumfiel. And M.N. Brumfiel. 1971. **Calcium requirement for lipoxygenase catalyzed linoleate oxidation.** J. Am. Oil Chem. Soc. 48: 532-538.

Labuza, T.P. 1982. **Shelf –life Dating of foods.** Food and Nutrition Press, Westport, Connecticutt.

Lajollo, F.M. and U.M. Marquez. 1982. **Chlorophyll degradation in a spinach system at low and intermediated water activitie.** J. Food Sci. 36: 850-853.

Lee, C.Y., M.C. Bourne and J.P. Van Buren. 1979. **Effect of blanching treatments on the firmness of carrots.** J. Food Sci. 44:615-616.

Lee, C.Y. and N.L. Smith. 1988. **Enzyme activity and quality of frozen green beans as affected by blanching and storage.** J. Food Qual. 11: 279-287.

Lee, F.A. and A.C. Wagenknecht. 1957. **On development of off-flavor during the storage of frozen raw peas.** Food Res. 16: 239-244.

Lindquist, F.E., W.C. Diethrich and M.M. Boggs. 1951. **Effect of processing procedure on quality of frozen whole kernel sweet corn.** Food Technol. 12 (9): 381-384.

Lu, A.T., J.R. Whitaker. 1972. **Some factors affecting rates of heat inactivation and reactivation of horseradish peroxidase.** J. Food Sci. 39: 1173-1178.

Lund, B.M. 1983. **Bacterial Spoilage,** pp. 219-257. In C. Dennis, ed. Post harvest pathology of fruits and vegetables. Academic Press, New York.

Macheix, I., Fleuriet, A. and Billot, J., 1990, **Fruit Phenolics,** CRC Press, Florida, p. 398.

Matheis, G., 1983, **"Enzymatic Browning of Food"**, Z. Lebensm, Unters. Forsch, Vol. 176, 454 pp.

Mayer, A.M. and Harel, E., 1991, **"Phenoloxidase and their significance in fruits and vegetable"**, Journal of Food Chemistry, Vol. 1, p. 373-398.

McCurdy, S.M., S.R. Drake, B.G. Swanson, H.K. Leung and J.R. Power. 1983. **Influence of cultivar, soak solution, blanch method and brine composition on canned dry peas quality**. J. Food Sci. 48: 394-396.

Mislivec, P.B., L.R. Beuchat and M.A. Cousin. 1992. **Yeast and molds**, pp. 239-249. In C. Vanderzant and D.F. Splittstoesser, eds. **Compendium of methods for the microbiological Examination of Foods**. American Public Health Association.

Morales-Blancas, E.F., V.E. Chandia and L. Cisneros-Zevallos. 2002. **Thermal inactivation kinetizs of peroxidase and lipoxygenase from broccoli**, green asparagus and carrots. J. Food Sci. 67: 146-154.

Namiki, M., 1988, **"Chemistry of Millard reaction: Recent studies on the browning reaction mechanism and the development of antioxidants and mutagens"**, Advance Food Reservation, Vol. 32, p. 115-184.

Pinsent, B.R.W. 1962. **Peroxidase regeneration and its effect on quality of frozen peas and thawed peas**. J. Food Sci. 27: 127-126.

Powrie, W.D. 1973. **Characteristics of food phytosystems and their behavior during freeze-preservation**, pp. 354-387. In O.R. Fennema, ed. Low Temperature Preservation of Foods and Living Matter. Marcel Dekker, Inc., New York.

Radi, M., Mahrouz, M. and Jaouad, A., 1997, **"Phenolic composition, browning susceptibility and carotenoid content of several apricot cultivars at maturity"**, HortScience, Vol. 32, No. 6, p. 1087-1091.

Reed, G. 1975. **Enzymes in Food Processing. 2d ed., Academic Press**, New York.

Rodriguez-saona, L.E., D.M. Barrett and D.P. Selivonchick. 1995. **Peroxidase and lipoxygenase influence on stability of polyunsaturated fatty acids in sweet corn (*Zeamay* L.) during frozen storage**. J. Food Sci. 60: 1041-1044.

Rolle, R.S. and G.W. Chism. 1987a. **Physiological consequences of minimally processed fruit and vegetables**. J. Food Qual. 10: 157-177. Cited J.K. Raison and L.L.Wright. 1973. Thermal phase transitions in the phospholipids of plant membranes, their induction by disaturated phospholipids their possible relation to chilling injury. Biochem. Biophys. Acta. 731: 69-76.

Rolle, R.S. and G.W. Chism. 1987b. **Physiological consequences of minimally processed fruit and vegetables**. J. Food Qual. 10: 157-177. Cited J.M. Lyon. 1973. Chilling injury in plants Ann. Rev. Plant Physiol. 24: 445-466

Rushing, N.B. and V.J. Senn. 1962. **Effect of preservative storage temperatures on shelf life of chilled salads**. Food Technol. 16 (2): 77-79.

Ryder, E.J. 1979. **Leafly Salad Vegetables**. AVI Publishing Company Inc., Westport, Connecticutt.

Saltveit, M.E. and L.L. Morris. 1990 **Overview on chilling injury of horticultural crop**, pp. 95- 136. In F.A. Thomas-Bar Beran and R.J. R.J. Robins, eds. Phytochemistry of Fruit and Vegetables. Oxford University Press Inc., New York.

Santerre, C.R., T.F. Leach and J.N. Cash. 1991. **Bisulfite alternatives in processing abrasion-peeled Russet Burbank potatoes**. J. Food Sci. 56: 257-259.

Schoonen, J.G. 1974. **The testa starch test as indicator of maturity of frozen peas**. Food Tech in Aust. 26: 162-164.

Sheu, S.C. and A.O. Chen. 1991. **Lipoxygenase as blanching index for frozen vegetables soybeans**. J. Food Sci. 56: 448-451.

Shewfelt, R.L. 1986. **Post harvest treatment for extending the life of fruits and vegetables**. Food Technol. 40 (5): 70-80, 89.

Stanley, D.W., M.C. Bourne, A.P. Stone and W.V. Wismer. 1995. **Low temperature blanching effects on chemistry**, firmness and structure of canned green beans and carrots. J. Food Sci. 60: 327-333.

Steinbuch, E. 1984. **Heat shock treatment for vegetables to be frozen as an alternative for blanching**, pp. 553-557. In P. Zeuthen, J.C. Cheftel, C. Erickson, M. Jul, H. Leniger, P. inko, G. Varela, and G. Vos, eds. Thermal Processing and Quality of Foods. Elsevier Applied Science Publishers, London.

Stone, M.B. and C.M. Young. 1985. **Effect of cultivars**, blanching techniques and cooking methods on quality of frozen green beans as measured by physical and sensory attributes. J. Food Qual. 7: 255-265.

Susilo, R. and R. Gmelin. 1982. **Precursors of cyclic polysulfides in seeds of *Parkia Speciosa Hassk.*** Z. Naturforsch Ser C. 37: 584-586.

Suvachittanont, W and A. Peutpaiboon. 1992. **Lectin from *Parkia Speciosa* seeds**. Phytochemistry. 37: 4065-4070.

Swanson, K.M.J., F.F. Busta, E.H. Peterson and M.G. Johnson. 1992. **Colony count methods**, pp. 75-95. In C.

Tan, C.T. and F.J. Francis. 1962. **Effect of processing temperature on pigments and color of spinach**. J. Food Sci. 27: 232-241.

Theerakulkait, C., D.M. Barrett and M.R. Mcdaniel. 1995a. **Sweet corn germ enzyme affect odor formation**. J. Food Sci. 60: 1034-1040.

Theerakulkait, C., D.M. Barrett and M.R. Mcdaniel. 1995b. **Sweet corn germ enzyme affect odor formation**. J. Food Sci. 60: 1034-1040. Cited S. Grossman,

M.Trop, R. Avtalion and A. Pinsky. 1972 Eggplant lipoxygenase: isolation and partial characterization. Lipid. 7: 467- 473

Tian, S., Xu, Y., Jiang, A. and Gong, Q., 2002, **"Physiological and Quality Responses of Longan Fruit to High O2 or High CO2 Atmospheres in Storage"**, Postharvest Biology and Technology, Vol. 24, p. 335-340.

Toledo, R.T. 1980. **Fundamental of Food Process Engineering**. Avi Publishing Company Inc., Westport, Connecticutt.

Trail, M.A., I.A. Wahem and J.N. Bizri. 1992. **Snap bean quality changed minimally when stored in low density polyolefin film package**. J. Food Sci. 57: 977-979.

Tressl, R. and F. Drawert. 1973. **Biogenesis of banana volatile**. J. Agri. Food Chem. 21: 560-565.

Underhill, S.J.R. and Simons, D.W., 1993, **"Lychee pericarp desiccation and the importance of postharvest microcracking"**, Scientia Horticulturae, Vol. 55, p. 115-122.

Vamos-vigyazo, L., Nadudvari-Markus, V. and Gajzago, I., 1979, **"Polyphenol oxidase and peroxidase activities polyphenol complex of apricot cultivars"**, Proceeding. Hung Annual. Mtg. Biochem, Vol. 19, p. 221-222.

Van Buren, J.P., J.C. Moyer, D.E. Wilson, W.B. Robinson and D.B. Hand. 1960. **Influence of blanching conditions on sloughing, splitting and firmness of canned snap beans**. Food Technol. 14: 233.118

Van Buren, J.P. Moyer, D.E. Wilson, W.B. Robinson and D.B. Hand. 1962. **Pectin methylesterase in snap beans**. J. Food Sci. 27: 291.

Varoquaux, P., I. Lecendre, F. Varoquaux and M. Souty. 1990. **Change in firmness of kiwi fruit after slicing**. Sci Alim. 10: 127-139.

Verlinden, B.E. and J.D. Baerdemaeker. 1997. **Modeling low temperature blanched carrot firmness based on heat induced processes and enzyme activity**. J. Food Sci. 62: 213- 229.

Vernon, L.P. 1960. **Spectrophotometric determination of chlorophylls and pheophytins in plant extracts**. J. Anal Chem. 32: 1144-1150.

Vick, B.A. and D.C. Zimmerman. 1986. **Characterization of the 12–oxo-phytodieneoic acid reductase in corn**. Plant Physiol. 80: 202-205.

Wagenknecht, A.C. and F.A. Lee. 1958. **Enzyme action and off-flavor in frozen peas**. Food Res. 23: 25-30.

Walker, G.C. 1964. **Color deterioration in frozen green beans (*Phaseolus vulgaris*)**. J. Food Sci. 29: 383.

Walter JR., W.M., H.P. Fleming and R.F. Mcfeeters. 1992. **Firmness control of sweepotato french fry-type product by tissue acidification**. J. Food Sci. 57: 138-142.

Watada, A.E., A. Kazuhiro and N. Yamuchi. 1990. **Physiological activities of partially processrd fruits and vegetables**. Food Technol. 40 (5): 116-122.

Whitaker, J.R. 1972. **Principle of Enzymology for the Food Science**. Marcel Dekker, Inc., New York.

Wiley, R.C. 1994. **Minimally Processed Refrigerated Fruits and Vegetables**. Chapman & Hall, Inc., New York.

Williams, D.C., M.H. Lim, A.O. Chen, R.M. Pangborn and J.R. Whitaker. 1986. **Blanching of vegetables for freezing which indicator enzyme to choose**. Food Techol. 40: 130-140.

Wills, R.B.H., W.B. McGlasson, D. Graham, T.H. Lee and E.G. Hall. 1989. **Postharvest-An Introduction to the Physiology and Handling of Fruits and Vegetables**. Van Nostrand Reinhold., New York. .

Wszelaki, A.L. and Mitcham, E.J.' 2000, **"Effects of Superatmospheric Oxygen on Strawberry Fruit Quality and Decay"**, Postharvest Biology and Technology, Vol. 20, p. 125-133.

Yamamoto, H.Y., M.P. Steinberg and A.I. Nelson. 1962. **Kinetic studies on the heat inactivation of peroxidase in sweet corn**. J. Food Sci. 27: 113-119.

Yamauchi, N., A.E. Watada. 1991. **Regulated chlorophyll degradation in spinach leaves during storage**. J. Am. Soc Hortic. Sci 116: 58-62.

Yan, S.Q., B.L. Liu, Z.Z. Hua and P.G. Zhou. 2000. **Study on the effect of freezing rate on the activity of peroxidase and polyphenoloxidase in apple slices**. Science and Technology of Food Industry. 21(2) 8-10.

Zhao, Y.P. and K.C. Chang. 1995. **Sulfite and starch affect color and carotenoids of dehydrated carrot (*Daucus carota*) during storage**. J. Food Sci.. 60(2) : p. 324-326

Zhuang, H., M.M. Barth and D.F. Hilderbrand 1994. **Packaging influenced total chlorophyll, soluble protein, fatty acid composition and lipoxygenase activity in broccoli florets**. J. Food Sci. 59: 1171-1174.

Zhuang, H., D.F. Hilderbrand and M.M. Barth. 1995. **Senescence of broccoli buds is related to change in lipid peroxidation**. J. Agri. Food Chem. 43: 2585-2591.

ภาคผนวก ก

ข้อมูลผลการทดลองและการคำนวณ

ก.1 น้ำหนักที่เหลือในระหว่างการอบแห้งทุกๆ 30 นาที

ตารางที่ ก.1 น้ำหนักที่เหลือในระหว่างการอบแห้งทุกๆ 30 นาที อบที่อุณหภูมิ 45 °C

เวลาในการอบแห้ง (นาที)	น้ำหนักที่เหลือ (g)		
	เต็มเมล็ด	1/2 ของเมล็ด	1/4 ของเมล็ด
0	610	618	625
30	567.78	568.78	567.35
60	541.65	524.54	528.86
90	517.12	473.98	479.62
120	487.34	430.77	438.19
150	468.72	397.21	391.49
180	445.92	352.34	346.91
210	432.54	318.76	318.49
240	411.59	280.45	284.2
270	391.87	253.91	259.67
300	373.02	228.81	230.41
330	354.95	209.79	209.29
360	339.16	198.12	191.81
390	322.73	189.14	180.33
420	309.25	180.67	171.13
450	293.59	172.8	162.65
480	282.6	164.33	150.21
510	271.54	155.65	141.66
540	263.11	149.32	135.59
570	252.49	144.12	133.05
600	243.68	141.93	132.75
630	235.29	138.56	132.23
660	228.81	136.78	131.87
690	224.55	135.14	131.65
720	216.98	134.78	131.43

ตารางที่ ก.1(ต่อ) น้ำหนักที่เหลือในระหว่างการอบแห้งทุกๆ 30 นาที อบที่อุณหภูมิ 45 °C

เวลาในการอบแห้ง(นาที)	น้ำหนักที่เหลือ (g)		
	เต็มเมล็ด	1/2 ของเมล็ด	1/4 ของเมล็ด
750	201.24	133.23	-
780	195.78	133.45	-
810	193.06	132.71	-
840	189.23	132.22	-
870	187.57	131.88	-
900	185.89	131.67	-
930	182.23	131.45	-
960	180.49	-	-
990	178.7	-	-
1020	177.45	-	-
1050	177.02	-	-
1080	176.87	-	-
1110	176.11	-	-
1140	175.76	-	-
1170	175.65	-	-
1200	175.5	-	-

หมายเหตุ ค่าว่างในตาราง คือ ค่าที่คงที่และหยุดทำการอบแล้ว

ตารางที่ ก.2 น้ำหนักที่เหลือในระหว่างการอบแห้งทุกๆ 30 นาที อบที่อุณหภูมิ 60 °C

เวลาในการอบแห้ง(นาที)	น้ำหนักที่เหลือ (g)		
	เต็มเมล็ด	1/2 ของเมล็ด	1/4 ของเมล็ด
0	610.00	618.00	625.00
30	613.00	629.00	626.00
60	582.44	532.12	543.03
90	552.23	458.33	452.91
120	518.19	388.02	371.24
150	489.31	324.95	310.86
180	448.95	274.26	254.07
210	401.29	236.30	212.80
240	362.57	208.76	183.42
270	328.28	182.28	161.93
300	304.25	174.47	145.19
330	289.77	154.82	139.41
360	263.06	153.17	137.73
390	250.19	148.39	135.61
420	235.22	143.08	133.04
450	229.01	140.72	132.18
480	223.92	138.16	131.54
510	216.67	137.59	131.25
540	210.29	136.91	131.13
570	208.67	135.86	-
600	204.05	134.30	-
630	201.67	133.94	-
660	197.32	133.73	-
690	193.96	133.5	-
720	190.37	-	-
750	185.89	-	-
780	179.08	-	-
810	177.88	-	-
840	176.87	-	-
870	176.62	-	-
900	176.56	-	-

ตารางที่ ก.3 น้ำหนักที่เหลือในการอบแห้งทุกๆ 30 นาที อบอุณหภูมิ 75 °C

เวลาในการอบแห้ง(นาที)	น้ำหนักที่เหลือ (g)		
	เต็มเมล็ด	1/2 ของเมล็ด	1/4 ของเมล็ด
0	610	618	625
30	613	625	624
60	557.39	498.03	513.24
90	483.28	394.45	411.26
120	441.56	313.87	281.29
150	322.71	244.18	207.87
180	301.18	200.35	169.34
210	278.56	167.98	158.01
240	254.92	156.24	145.66
270	236.77	150.9	135.78
300	222.9	145.11	132.51
330	209.36	140.02	132.23
360	205.59	135.65	132.08
390	200.98	133.78	-
420	194.08	133.45	-
450	190.27	133.34	-
480	185.76	-	-
510	181.39	-	-
540	178.6	-	-
570	176.95	-	-
600	176.65	-	-
630	176.31	-	-

ก.2 ค่าการคืนตัวของสะตออบแห้ง

ตารางที่ ก.4 ค่าการคืนตัวของสะตออบแห้งที่อุณหภูมิ 45 °C

เวลาที่ใช้ในการคืนตัว(นาที)	ขนาดของสะตออบแห้ง		
	เต็มเมล็ด	1/2 ของเมล็ด	1/4 ของเมล็ด
0	5.54	5.11	5.07
30	6.8	8.76	9.05
60	7.53	10.23	12.05
90	7.85	11.77	13.95
120	8.13	12.79	16
150	8.36	13.69	17.41
180	8.72	14.52	18.33
210	9.13	15.02	18.77
240	9.51	15.64	19.19
270	9.7	16.23	19.34
300	9.92	16.52	19.77
330	10.05	16.61	19.85
360	10.11	16.7	19.9
390	10.15	16.75	19.93
420	-	16.8	19.99
450	-	-	-

หมายเหตุ ค่าว่างในตาราง คือ ค่าที่คงที่และหยุดทำการอบแล้ว

ตารางที่ ก.5 ค่าการคืนตัวของสะตออบแห้งที่อุณหภูมิ 60 °C

เวลาที่ใช้ในการคืนตัว(นาที)	ขนาดของสะตออบแห้ง		
	เต็มเมล็ด	1/2 ของเมล็ด	1/4 ของเมล็ด
0	5.23	5.02	5.2
30	6.21	7.13	7.59
60	7.04	8.05	10.46
90	7.2	9.19	11.55
120	7.41	11.48	12.59
150	7.78	12.56	13.73
180	8.11	13.78	14.7
210	8.47	14.55	15.55

240	8.62	15.02	16.6
270	8.8	15.45	17.53
300	8.87	15.89	18.25
330	9.21	16.21	18.51
360	9.25	16.25	18.6
390	-	16.3	18.63

ตารางที่ ก.6 ค่าการคืนตัวของสะตออบแห้งที่อุณหภูมิ 75 °C

เวลาที่ใช้ในการคืนตัว(นาที)	ขนาดของสะตออบแห้ง		
	เต็มเมล็ด	1/2 ของเมล็ด	1/4 ของเมล็ด
0	5.53	5.05	5.08
30	6.47	8.82	8.41
60	7.41	10.56	10.69
90	8.01	11.83	12.96
120	8.46	13.35	14.21
150	8.89	13.99	15.35
180	9.15	14.7	16.16
210	9.45	15.09	16.69
240	9.6	15.33	17.03
270	9.7	15.42	17.13
300	9.95	15.54	17.21
330	10.14	15.73	17.41
360	10.2	15.79	17.5

ก.3 ค่าสีของสะตออบแห้ง

ตารางที่ ก.7 ค่าสีของสะตออบแห้งที่อุณหภูมิ 45 °C ก่อนการคืนตัว

อุณหภูมิในการอบแห้ง(°C)	ขนาดของสะตออบแห้ง	ค่าสีที่อ่านได้
45	เต็มเมล็ด	Hue 2.5GY 4/6
	1/2 ของเมล็ด	Hue 2.5GY 3/4
	1/4 ของเมล็ด	Hue 2.5GY 3/4

ตารางที่ ก.7 ค่าสีของสะตออบแห้งที่อุณหภูมิ 60 °C

อุณหภูมิในการอบแห้ง(°C)	ขนาดของสะตออบแห้ง	ค่าสีที่อ่านได้
60	เต็มเมล็ด	Hue 2.5GY 5/8
	1/2 ของเมล็ด	Hue 5GY 4/8
	1/4 ของเมล็ด	Hue 5GY 4/8

ตารางที่ ก.7 ค่าสีของสะตออบแห้งที่อุณหภูมิ 75 °C ก่อนการคืนตัว

อุณหภูมิในการอบแห้ง(°C)	ขนาดของสะตออบแห้ง	ค่าสีที่อ่านได้
75	เต็มเมล็ด	Hue 5Y 5/6
	1/2 ของเมล็ด	Hue 5GY 5/8
	1/4 ของเมล็ด	Hue 5GY 5/10

ตารางที่ ก.8 ค่าสีของสะตอสด

อุณหภูมิในการอบแห้ง(°C)	ขนาดของสะตออบแห้ง	ค่าสีที่อ่านได้
ไม่ได้ทำการอบ	สะตอสด	Hue 5GY 6/8

.4 ค่าสีของสะตออบแห้งภายหลังการคืนตัว

ตารางที่ ก.9 ค่าสีของสะตออบแห้งที่อุณหภูมิ 45 °C ภายหลังการคืนตัว

อุณหภูมิในการอบแห้ง(°C)	ขนาดของสะตออบแห้ง	ค่าสีที่อ่านได้
45	เต็มเมล็ด	Hue 7.5Y 4/6
	1/2 ของเมล็ด	Hue 7.5Y 5/8
	1/4 ของเมล็ด	Hue 7.5Y 5/6

ตารางที่ ก.10 ค่าสีของสะตออบแห้งที่อุณหภูมิ 60 °C ภายหลังการคืนตัว

อุณหภูมิในการอบแห้ง(°C)	ขนาดของสะตออบแห้ง	ค่าสีที่อ่านได้
60	เต็มเมล็ด	Hue 2.5GY 5/8
	1/2 ของเมล็ด	Hue 2.5GY 5/8
	1/4 ของเมล็ด	Hue 10Y 5/6

ตารางที่ ก.11 ค่าสีของสะตออบแห้งที่อุณหภูมิ 75 °C ภายหลังการคืนตัว

อุณหภูมิในการอบแห้ง(°C)	ขนาดของสะตออบแห้ง	ค่าสีที่อ่านได้
75	เต็มเมล็ด	Hue 10Y 6/8
	1/2 ของเมล็ด	Hue 2.5GY 6/10
	1/4 ของเมล็ด	Hue 2.5GY 5/8

ก.5 ปริมาณความเข้มข้นของของแข็งที่ละลายได้ (Total Soluble Solid, SSC)

ตารางที่ ก.12 ปริมาณความเข้มข้นของของแข็งที่ละลายได้ของสะตออบแห้งที่สภาวะต่างๆ เมื่อใช้สะตออบแห้ง 5 กรัมต่อน้ำ 250 มิลลิลิตร (1:50) โดยใช้เครื่อง water prove

อบที่อุณหภูมิ (°C)	ขนาดในการอบ	ค่าความเข้มข้นของของแข็งที่ละลายได้ (ppm)	ร้อยละของของแข็งที่ละลายได้
45	เต็มเมล็ด	982	4.91
	1/2 ของเมล็ด	1070	5.35
	1/4 ของเมล็ด	1120	5.6
60	เต็มเมล็ด	942	4.71
	1/2 ของเมล็ด	1120	5.6
	1/4 ของเมล็ด	1110	5.55
75	เต็มเมล็ด	965	4.825
	1/2 ของเมล็ด	1120	5.6
	1/4 ของเมล็ด	1130	5.65
ไม่ได้ทำการอบ	สะตอสด	385	1.925

ภาคผนวก ข

ข้อมูลผลการทดลอง

ข.1 ค่าเนื้อสัมผัสและกราฟที่วิเคราะห์ได้จากเครื่อง Texture analyser

ตารางที่ ข.1 ค่าเนื้อสัมผัสของสะตออบแห้งภายหลังการคืนตัว

อบที่อุณหภูมิ (°C)	ขนาดในการอบ	ค่าของความแข็ง (Hardness)(นิวตัน)	ค่าเฉลี่ย
สะตอสด	เต็มเมล็ด	22.030	24.145
	เต็มเมล็ด	24.848	
	เต็มเมล็ด	25.558	
	1/2 ของเมล็ด	17.868	18.638
	1/2 ของเมล็ด	18.729	
	1/2 ของเมล็ด	19.317	
	1/4 ของเมล็ด	13.277	13.673
	1/4 ของเมล็ด	13.522	
	1/4 ของเมล็ด	14.221	
45	เต็มเมล็ด	28.519	31.250
	เต็มเมล็ด	30.206	
	เต็มเมล็ด	35.026	
	1/2 ของเมล็ด	18.405	18.5043
	1/2 ของเมล็ด	20.188	
	1/2 ของเมล็ด	16.92	
	1/4 ของเมล็ด	15.287	14.391
	1/4 ของเมล็ด	14.012	
	1/4 ของเมล็ด	13.874	

ตารางที่ ข.1(ต่อ) ค่าเนื้อสัมผัสของสะตออบแห้งภายหลังการคืนตัว

อบที่อุณหภูมิ (°C)	ขนาดในการอบ	ค่าของความแข็ง (Hardness)(นิวตัน)	ค่าเฉลี่ย
60	เต็มเมล็ด	35.198	34.907
	เต็มเมล็ด	36.136	
	เต็มเมล็ด	33.387	
	1/2 ของเมล็ด	11.273	10.432
	1/2 ของเมล็ด	10.756	
	1/2 ของเมล็ด	9.267	
	1/4 ของเมล็ด	8.598	8.650
	1/4 ของเมล็ด	7.248	
	1/4 ของเมล็ด	10.104	
75	เต็มเมล็ด	13.937	13.233
	เต็มเมล็ด	12.772	
	เต็มเมล็ด	12.989	
	1/2 ของเมล็ด	11.281	11.482
	1/2 ของเมล็ด	11.852	
	1/2 ของเมล็ด	11.313	
	1/4 ของเมล็ด	9.362	8.908
	1/4 ของเมล็ด	8.746	
	1/4 ของเมล็ด	8.617	

ข.2 การประเมินการตอบรับของผู้บริโภค

แบบสอบถามความคิดเห็นของผู้บริโภคที่มีต่อสะตอบแห้งกึ่งสำเร็จรูป

อายุ.....วันที่.....ลำดับที่.....

คำชี้แจง โปรดทดสอบตัวอย่างตามลำดับที่นำเสนอ แล้วให้คะแนนความชอบในแต่ละคุณลักษณะของตัวอย่าง

ที่ตรงกับความรู้สึกของท่านมากที่สุดลงในตาราง

โดยกำหนดให้ 1= ไม่ชอบ 2= เฉย ๆ 3= ชอบ 4= ชอบมาก

หัวข้อ	คะแนน	ตย.1	ตย. 2	ตย. 3	ตย. 4	ตย. 5	ตย. 6	ตย. 7	ตย. 8	ตย. 9
ลักษณะปรากฏของผลิตภัณฑ์	1									
	2									
	3									
	4									
กลิ่นของผลิตภัณฑ์	1									
	2									
	3									
	4									
รสชาติของผลิตภัณฑ์	1									
	2									
	3									
	4									
ลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์	1									
	2									
	3									
	4									
ความชอบโดยรวมต่อผลิตภัณฑ์	1									
	2									
	3									
	4									

ภาคผนวก ค

ประวัติผู้วิจัย

1. ชื่อ นางสาวมณีรัตน์ ติรนันทกุล (Miss Maneerat Tiranuntakul)

2. หมายเลขบัตรประจำตัวประชาชน 3 8099 00347 80 1

3. ตำแหน่งปัจจุบัน อาจารย์ 1 ระดับ 6

4. หน่วยงานที่อยู่ที่สามารถติดต่อได้สะดวก พร้อมหมายเลขโทรศัพท์ โทรสาร และ e-mail

สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพเลขที่ 2 ถนนนางลิ้นจี่ แขวงทุ่งมหาเมฆ เขตสาทร กรุงเทพฯ 10120 โทรศัพท์ 0 2286 3991 – 5 ต่อ 1195, 1210, 1201 โทรสาร 0 2286 3991 – 5 ต่อ 1195

e-mail : maneerat.tiranuntakul@jcu.edu.au, kunkrukai@yahoo.com

5. ประวัติการศึกษา

ปีที่จบ	ระดับปริญญา	อักษรย่อปริญญาและชื่อเต็ม	สาขาวิชา	ชื่อสถาบันการศึกษา	ประเทศ
2554	เอก	วศ.ด. วิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต	วิศวกรรมเคมี	James Cook University	ออสเตรเลีย
2543	โท	วศ.ม. วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต	วิศวกรรมเคมี	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์	ไทย
2539	ตรี	วท.บ. วิทยาศาสตรบัณฑิต	เคมีอุตสาหกรรม	มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒประสานมิตร	ไทย

6. สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ (แตกต่างจากวุฒิการศึกษา) ระบุสาขาวิชาการ

การประยุกต์ใช้ไคโตแซน, การหมัก, การบำบัดน้ำเสีย, เมมเบรนและการกรอง

7. ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัยทั้งภายในและภายนอกประเทศโดยระบุสถานภาพในการทำวิจัยว่าเป็นผู้อำนวยการแผนงานวิจัย หัวหน้าโครงการวิจัย หรือผู้ร่วมวิจัยในแต่ละข้อเสนอการวิจัย

7.1 ผู้อำนวยการแผนงานวิจัย : ชื่อแผนงานวิจัย

-

7.2 หัวหน้าโครงการวิจัย : ชื่อโครงการวิจัย

- โครงการวิจัย เรื่องการศึกษาเปรียบเทียบอิทธิพลของตัวแปรที่มีผลต่อการผลิตและคุณลักษณะของไคโตแซนที่ได้จากเกล็ดปลาชนิดต่างๆ ได้รับเงินงบประมาณผลประโยชน์ มทร. กรุงเทพ ประจำปี 2552
- โครงการวิจัย เรื่องการศึกษาตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อการอุดตันของเมมเบรนในกระบวนการบำบัดแบบถังปฏิกรณ์ชีวภาพเมมเบรนเพื่อการนำกลับมาใช้ใหม่ของน้ำทิ้งชุมชน ได้รับเงินงบประมาณแผ่นดิน ประจำปี 2553

7.3 งานวิจัยที่ทำเสร็จแล้ว : ชื่อผลงานวิจัย ปีที่พิมพ์ การเผยแพร่ และแหล่งทุน (อาจมากกว่า 1 เรื่อง)

- M. Tiranuntakul, P.A. Schneider and V. Jegatheesan, "Assessment of critical flux in a pilot scale membrane bioreactor", Bioresources Technology (accepted June 2010).
- M. Tiranuntakul, P.A. Schneider and V. Jegatheesan, H.L. Fracchia, "Modelling based design of a pilot-scale membrane bioreactor for combined nutrient removal from domestic wastewater", IWA World Water Congress and Exhibition, Beijing, China. 2006.
- M. Tiranantakul, V. Jegatheesan, P. Schneider and H. L. Fracchia. (2005) "Performance of an oxidation ditch retrofitted with a membrane bioreactor during the start-up", Desalination, 183: 417-4242.
- M. Tiranantakul, V. Jegatheesan, P. Schneider and H. L. Fracchia, (2005). "Performance of an oxidation ditch retrofitted with a membrane bioreactor during the start-up", Proceedings of Desalination and the Environment, Santa Margherita-Portofino-La Spezia, May 22-25.
- M. Tiranuntakul and P. Sangsurasak, Experimental study of aeration effect on soybean fermentation in packed bed bioreactors, 2001, R&D Journal of Engineering Institute of Thailand, 12(4): 61-66 (in Thai).
- M. Tiranuntakul, Experimental study of soybean fermentation in packed bed bioreactors, 1999, Master Thesis, Kasetsart University, Bangkok, Thailand
- M.Tiranuntakul and P.Sangsurasak (1998), "Experimental study of soybean fermentation in packed bed bioreactors ", Proceedings of the 8th National Chemical Engineering Conference, Mahidol University, NakornPathom, Thailand, December 17-18. (in Thai)
- M. Tiranuntakul. Application of Chitosan for improvement of chilli sauce characteristics, 1996, undergraduate thesis, Srinakarinwirote University, Bangkok, Thailand (in Thai).

- V. Srisuthornharuthai, S. Pimpeth and M.Tiranuntakul. 2004. Exploratory study of a multiple-layer column tank for fermentation of nata de coco production, RMUT Research and Training Journal, 7(2): 60-67 (in Thai).
- J.Pethngam, K. Rattamanee and M.Tiranuntakul. 2004. Biochemical treatment of the slop distillery water from an alcohol factory, RMUT Research and Training Journal 7(3): 51-59 (in Thai).

- **รางวัลที่เคยได้รับ (Received award)**
- Growing Smart State PhD Award from Queensland government 2006, Australia.
- First distinguished postgraduate thesis award from Engineering School, 2000 Kasetsart university, Bangkok, Thailand.