

664.8042

๕๖๗๖๗

ร. 2

การพัฒนากระบวนการผลิตมะขามป้อมแช่อิ่มอบแห้ง

สารนิพนธ์

ของ

ศุภการย์ ดีพรมกุล



เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา

ตามหลักสูตรปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ศึกษา

พฤษภาคม 2550

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

§ 154008

12.6 S.H. 2550

การพัฒนากระบวนการผลิตมะขามป้อมแช่อิ่มอบแห้ง

บทคัดย่อ
ของ
ศุภการย์ ดีพรมกุล

เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ศึกษา
พฤษภาคม 2550
ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

ศุภการย์ ดีพรมกุล. (2550). การพัฒนากระบวนการผลิตมะขามป้อมแช่อิ่มอบแห้ง สารนิพนธ์
กศ.ม. (วิทยาศาสตร์ศึกษา). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.
อาจารย์ที่ปรึกษาสารนิพนธ์: ดร.พรทิพย์ ศิริสุนทรลักษณ์ และอาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
อาจารย์สมชายสุริยะศิริบุตร

การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการถ่ายเทมวลสารในระหว่างการแช่อิ่มมะขามป้อมและคุณภาพ
มะขามป้อมแช่อิ่ม ได้แก่ ระยะเวลาการให้ความร้อน (0 นาที 5 นาทีและ 10 นาที) ความเข้มข้นของ
สารละลายน้ำตาล (45°Brix 55°Brix และ 65°Brix) และอัตราส่วนของมะขามป้อมต่อสารละลายน้ำตาล
(1:1 1:2 และ 1:4) และศึกษาสภาวะการอบแห้ง (อุณหภูมิความร้อน 50°C 60°C และ 70°C) ที่มีผลต่อ
คุณภาพมะขามป้อมแช่อิ่มอบแห้ง และประเมินอายุการเก็บรักษาของมะขามป้อมแช่อิ่มอบแห้งที่
บรรจุถุงพลาสติกและเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (25±5°C) และอุณหภูมิแช่เย็น (4±2°C) พบว่าสภาวะ
ที่เหมาะสม ได้แก่ ระยะเวลาการให้ความร้อนมะขามป้อม 10 นาทีก่อนการแช่อิ่ม, ความเข้มข้น
สารละลายน้ำตาล 65°Brix และอัตราส่วนมะขามป้อมต่อสารละลายน้ำตาลเป็น 1:2 เนื่องจาก ทำให้
เกิดการซึมผ่านของสารละลายน้ำตาล สู่เซลล์มะขามป้อม ในระหว่างการแช่อิ่มมากและเร็วที่สุด และ
คุณภาพทางประสาทสัมผัสของมะขามป้อมที่ผ่านการแช่อิ่มดี สำหรับสภาวะการอบแห้งที่เหมาะสม
ได้แก่ อุณหภูมิความร้อน 60°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เพราะทำให้มะขามป้อมแช่อิ่มมีคุณภาพทาง
ประสาทสัมผัสที่ดี และใช้เวลาในการอบไม่นานเกินไป มะขามป้อมแช่อิ่มบรรจุถุงพลาสติกสามารถ
เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องและอุณหภูมิแช่เย็นนานเกินกว่า 4 สัปดาห์ โดยไม่มีเชื้อราปรากฏ ผู้ชิมให้
คะแนนทางประสาทสัมผัสแก่มะขามป้อมแช่อิ่มอบแห้ง ไม่แตกต่างกัน ($p < 0.05$) ในระหว่างการเก็บ
รักษา 4 สัปดาห์ โดยผู้ชิมให้การยอมรับด้านสี กลิ่นและรสชาติ แต่ไม่ยอมรับด้านลักษณะปรากฏ
และเนื้อสัมผัส อย่างไรก็ตามผู้ชิมให้การยอมรับโดยรวมแก่ผลิตภัณฑ์มะขามป้อมแช่อิ่มอบแห้งทั้งที่
เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องและแช่เย็น

PROCESS DEVELOPMENT OF OSMOTIC DEHYDRATED EMBLIC MYROBALAN
(*PHYLLANTHUS EMBLICA*)

AN ABSTRACT
BY
SUPHARKARN DEEPROMKUL

Presented in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Master of Education degree in Science Education
at Srinakharinwirot University
November 2007

Suphakarn Deepromkul. (2007). *The Process of Osmotic Dehydrated Emblic Myrobalan (Phyllanthus Emblica)*. Master's Project, M.Ed. (Science Education). Bangkok: Graduate School, Srinakharinwirot University. Project Advisor: Dr. Porntip Sirisoontaralak and Project Co-advisor Mr. Somchai Suriyasiributr.

This study aimed to investigate effects of preheating time (0, 5 and 10 min), concentration of sugar solution (45 , 55 and 65°Brix) and fruits-to-sugar solution ratio (1:1, 1:2 and 1:4) on mass transfer during osmotic dehydration process and quality of osmotic Emblic Myrobalan. Effect of drying temperatures (50 ,60 and 70°C) on quality of osmotic dehydrated Emblic Myrobalan was also determined. Shelf life of the product was evaluated when packed and stored at room temperature (25±5°C) and chilling temperature (4±2 °C). The optimum conditions for osmotic process were blanching for 10 minutes before osmotic process, using sugar solution of 65°Brix and fruits-to-sugar solution ratio of 1:4. These conditions induced the highest transfer of sugar solution to the fruits and the good sensory quality of osmotic Emblic Myrobalan. The optimum drying condition was 60°C for 24 hours to produce good quality of osmotic dehydrated product with reasonable drying time. Osmotic dehydrated Emblic Myrobalan packed in plastic bags was free from mold when kept at room and chilling temperature for 4 weeks. There was no significant difference ($p<0.05$) of the sensory scores during 4 weeks of storage. The panelists accepted color, odor and taste of the product whereas they rejected the appearance and texture. Panelists however gave overall acceptance to the products stored for 4 weeks at room and chilling temperature.

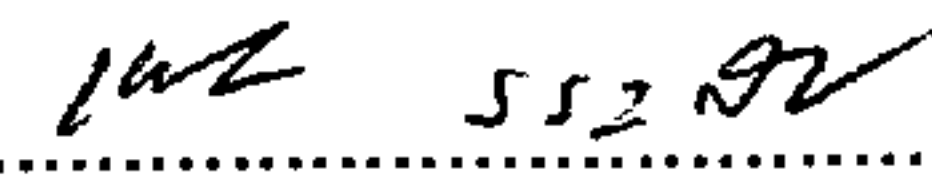
อาจารย์ที่ปรึกษาสารนิพนธ์ ประธานคณะกรรมการบริหารหลักสูตร และคณะกรรมการสอบ
ได้พิจารณาสารนิพนธ์เรื่องการศึกษาการพัฒนากระบวนการผลิตมะขามป้อมแช่อิ่มอบแห้ง ของ
ศุภการย์ ดีพรมกุล ฉบับนี้แล้ว เห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรปริญญา
การศึกษามหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์ศึกษา ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒได้

อาจารย์ที่ปรึกษาสารนิพนธ์



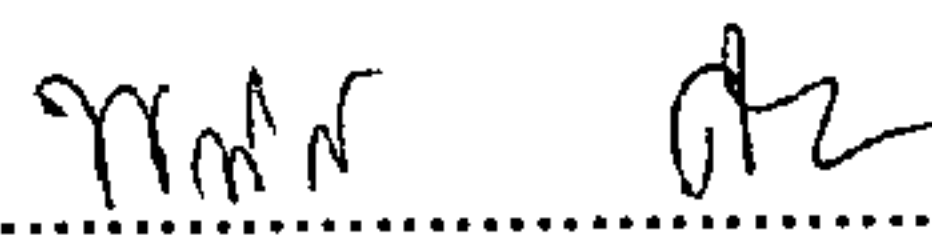
(ดร.พรทิพย์ ศิริสุนทรลักษณ์)

ประธานคณะกรรมการบริหารหลักสูตร



(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เพื่องลดา วีระสัย)

คณะกรรมการสอบ



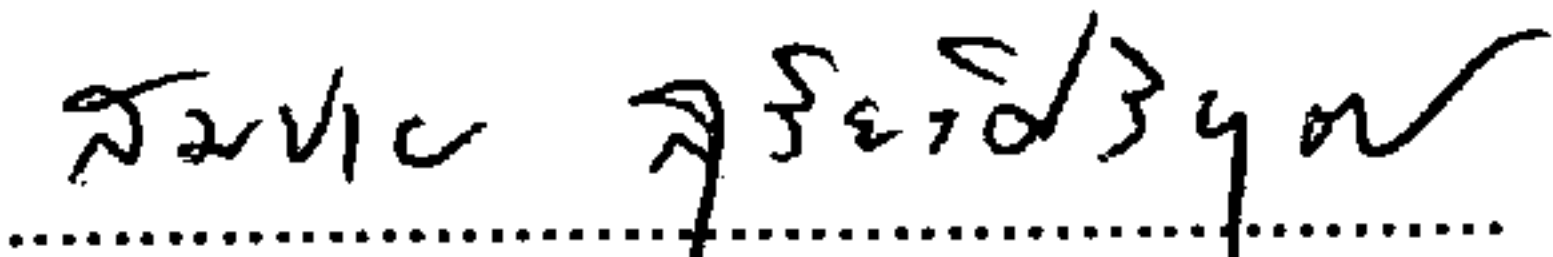
ประธาน

(ดร.พรทิพย์ ศิริสุนทรลักษณ์)



กรรมการสอบสารนิพนธ์

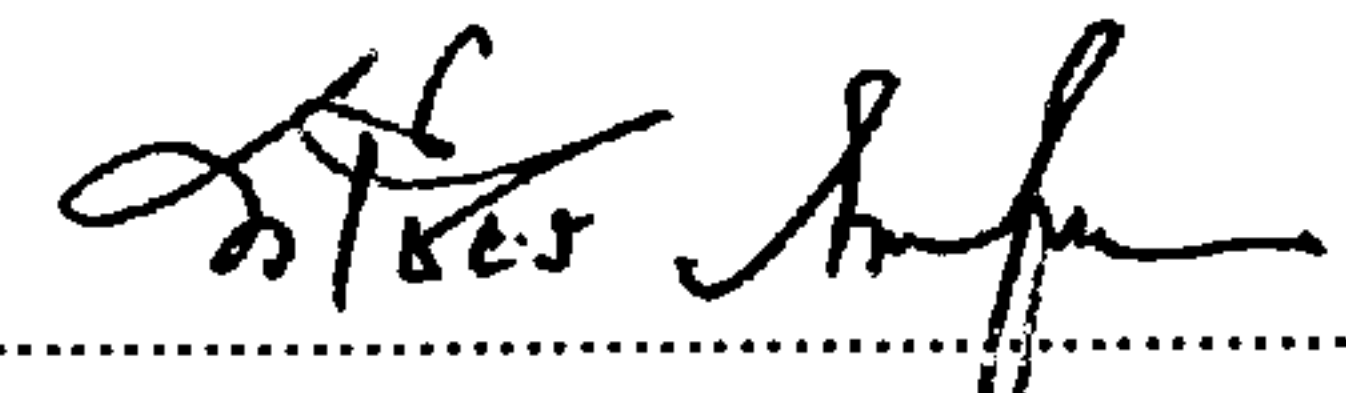
(รองศาสตราจารย์ ดร.พรพิมล ม่วงไทย)



กรรมการสอบสารนิพนธ์

(อาจารย์สมชาย สุริยะศิริบุตร)

อนุมัติให้รับสารนิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาการศึกษา
มหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ศึกษา ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ



คณบดีคณะวิทยาศาสตร์

(รองศาสตราจารย์ ดร.วิเชียร มากตุ่น)

วันที่ 20 เดือนพฤศจิกายน. พ.ศ. 2550

ประกาศคุณูปการ

สารนิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จสมบูรณ์ได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับพระมหากรุณาธิคุณจากสมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี ผู้วิจัยขอน้อมรำลึกถึงพระมหากรุณาธิคุณในพระองค์ที่ทรงมีพระมหากรุณาดำริโครงการส่งเสริมคุณภาพการศึกษาในโรงเรียนถิ่นทุรกันดาร พื้นที่อำเภอปอแก้ว และอำเภอเฉลิมพระเกียรติ จังหวัดน่าน อันเป็นจุดเริ่มต้นของการพัฒนาครูถิ่นทุรกันดารให้ได้รับการศึกษาในระดับมหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์ศึกษา ซึ่งนับเป็นเกียรติอันสูงสุดที่ข้าพเจ้าได้รับโอกาสอันดียิ่งนี้ และจะได้นำความรู้ที่ได้ไปพัฒนาเด็กนักเรียนต่อไป

ขอกราบขอบพระคุณ ดร.พรทิพย์ ศิริสุนทรารักษ์ ประธานควบคุมสารนิพนธ์ และอาจารย์สมชาย สุระยะศิริบุตร อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ที่กรุณาให้คำปรึกษา คำแนะนำ ตลอดจนการแก้ไขปัญหา และข้อบกพร่องต่างๆ อันเกิดขึ้นในงานวิจัย และการเขียนสารนิพนธ์

ขอกราบขอบพระคุณสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ที่ได้สนับสนุนทุนการศึกษาผ่านโครงการส่งเสริมคุณภาพการศึกษาโรงเรียนถิ่นทุรกันดาร ในสมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี

ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.พรพิมล ม่วงไทย ดร.พรทิพย์ ศิริสุนทรารักษ์ และ อาจารย์สมชาย สุระยะศิริบุตร ในการเป็นกรรมการสอบปากเปล่าสารนิพนธ์ ตลอดจนการให้คำแนะนำต่างๆ เพื่อให้สารนิพนธ์ฉบับนี้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น และขอขอบคณาจารย์ในคณะวิทยาศาสตร์ทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ให้ความเมตตาเอาใจใส่แก่ผู้วิจัย

ขอขอบคุณ นายอดุลย์ จิณะชิต ผู้อำนวยการโรงเรียน และคณะครูทุกคน ที่ให้ความช่วยเหลือ คำแนะนำเป็นกำลังใจแก่ผู้วิจัย และขอขอบคุณ พี่ น้องๆ และนิสิตปริญญาโททุกท่านที่ได้ให้คำแนะนำ ช่วยเหลือ อำนวยความสะดวกและให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยตลอดการศึกษาและการทำวิจัย ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งในความกรุณาและขอขอบพระคุณทุกๆ ท่านไว้ ณ โอกาสนี้

และขอ ขอบพระคุณบิดา มารดาที่ได้อบรมเลี้ยงดู ให้โอกาสทางการศึกษาที่ดี ให้กำลังใจในการสนับสนุนด้านการวิจัยด้วยดีตลอดมา และขอขอบพระคุณทุกท่านที่มีได้กล่าวนาม ณ ที่นี้ ที่มีส่วนช่วยให้การวิจัยครั้งนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

ศุภการย์ ดีพรมกุล

สารบัญ

บทที่		หน้า
1	บทนำ.....	
	ภูมิหลัง.....	1
	วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
	ความสำคัญของการวิจัย.....	2
	ขอบเขตของการวิจัย.....	2
	นิยามศัพท์เฉพาะ.....	3
2	ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	4
	ข้อมูลทั่วไปของมะขามป้อม.....	4
	ลักษณะทั่วไปของมะขามป้อม	8
	การแช่ส้ม	9
	การทำแห้งหลังกระบวนการแช่ส้ม	13
	งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	14
3	วิธีดำเนินการวิจัย.....	17
4	ผลการทดลอง.....	26
5	สรุปอภิปรายผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ.....	42
	บรรณานุกรม.....	44
	ภาคผนวก	48
	ประวัติย่อผู้วิจัย.....	83

บัญชีตาราง

ตาราง	หน้า
1 คุณค่าทางโภชนาการของมะขามป้อมเปรียบเทียบกับส้มเขียวหวานสด.....	9
2 คุณภาพทางประสาทสัมผัสของมะขามป้อมที่ผ่านการให้ความร้อนเป็นระยะเวลา แตกต่างกันก่อนจะแช่อิ่ม.....	29
3 คุณภาพทางประสาทสัมผัสของมะขามป้อมที่แช่อิ่มในสารละลายน้ำตาลที่มีความ เข้มข้นแตกต่างกัน.....	33
4 คุณภาพทางประสาทสัมผัสของมะขามป้อมที่แช่อิ่มในสารละลายน้ำตาลเมื่อ ใช้อัตราส่วนมะขามป้อมต่อสารละลายน้ำตาลแตกต่างกัน.....	36
5 สภาวะการอบแห้งและคุณภาพของมะขามป้อมแช่อิ่มอบแห้ง.....	37
6 การเกิดเชื้อราที่สังเกตได้ในมะขามป้อมแช่อิ่มอบแห้งที่เก็บรักษาที่ อุณหภูมิห้องและอุณหภูมิแช่เย็น.....	39
7 คุณภาพทางประสาทสัมผัสของมะขามป้อมแช่อิ่มอบแห้งบรรจุถุงพลาสติก และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ($25\pm 5^{\circ}\text{C}$) และอุณหภูมิแช่เย็น ($4\pm 2^{\circ}\text{C}$) เป็น เวลา 4 สัปดาห์.....	41

บัญชีภาพประกอบ

ภาพประกอบ	หน้า
1 ลักษณะลำต้นของมะขามป้อม.....	5
2 ลักษณะใบของมะขามป้อม.....	5
3 ลักษณะดอกของมะขามป้อม.....	6
4 ลักษณะผลของมะขามป้อม.....	7
5 ลักษณะเมล็ดของมะขามป้อม.....	7
6 โครงสร้างของน้ำตาลซูโครส.....	10
7 การถ่ายเทมวลสารระหว่างภายในเซลล์และสารละลายภายนอกเซลล์.....	11
8 การศึกษาผลของการให้ความร้อนมะขามป้อมต่อการถ่ายเทมวลสารระหว่างการ แช่อิ่ม.....	21
9 การศึกษาผลของความเข้มข้นสารละลายน้ำตาลต่อการถ่ายเทมวลสารระหว่างการ แช่อิ่ม.....	22
10 การศึกษาผลของอัตราส่วนมะขามป้อมต่อสารละลายน้ำตาลต่อการถ่ายเทมวล สารระหว่างการแช่อิ่ม.....	23
11 การศึกษาสภาวะการอบแห้งต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์มะขามป้อมแช่อิ่มอบแห้ง.....	24
12 การศึกษาอายุการเก็บรักษามะขามป้อมแช่อิ่มอบแห้ง.....	25
13 น้ำหนักมะขามป้อมที่เพิ่มขึ้น (ร้อยละ) ในระหว่างการแช่อิ่มมะขามป้อมที่ไม่ผ่าน การให้ความร้อน (0 นาที) ผ่านการให้ความร้อน 5 นาที และ 10 นาที ด้วย สารละลายน้ำตาล 65° Brix.....	28
14 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในสารละลายน้ำตาลที่ลดลง (ร้อยละ) ในระหว่างการ แช่อิ่มมะขามป้อมที่ไม่ผ่านการให้ความร้อน (0 นาที) ผ่านการให้ความร้อน 5 นาที และ 10 นาที ด้วยสารละลายน้ำตาล 65° Brix.....	28
15 มะขามป้อมที่ไม่ผ่านการให้ความร้อน (0 นาที) ผ่านการให้ความร้อน 5 นาที และ 10 นาที ก่อนจะนำไปแช่อิ่ม.....	30
16 น้ำหนักมะขามป้อมที่เพิ่มขึ้น (ร้อยละ) ในระหว่างการแช่อิ่มมะขามป้อมที่ผ่าน การให้ความร้อน 10 นาที ด้วยสารละลายน้ำตาล 45, 55 และ 65 ° Brix.....	32

บัญชีภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ

หน้า

17	ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในสารละลายน้ำตาลที่ลดลง (ร้อยละ) ในระหว่างการแช่แข็งมะขามป้อมที่ผ่านการให้ความร้อน 10 นาทีด้วยสารละลายน้ำตาล 45, 55 และ 65° Brix.....	32
18	น้ำหนักมะขามป้อมที่เพิ่มขึ้น (ร้อยละ) ในระหว่างการแช่แข็งมะขามป้อม โดยใช้อัตราส่วนมะขามป้อมต่อสารละลายน้ำตาลเป็น 1:1, 1:2 และ 1:4.....	35
19	ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในสารละลายน้ำตาลที่ลดลง (ร้อยละ) ในระหว่างการแช่แข็งมะขามป้อม โดยใช้อัตราส่วนมะขามป้อมต่อสารละลายน้ำตาลเป็น 1:1, 1:2 และ 1:4.....	35
20	มะขามป้อมแช่แข็งที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 50°C, 60°C และ 70°C.....	38

บทที่ 1

บทนำ

ภูมิหลัง

มะขามป้อมเป็นผลไม้ป่าที่มีคุณค่าทางอาหารสูง โดยมีปริมาณวิตามินซีสูง โดยมะขามป้อมสดมีวิตามินซี 276 มิลลิกรัมต่อส่วนที่บริโภคได้ 100 กรัม (กล้าณรงค์ ศรีรอด. 2542:2-4) มะขามป้อมเป็นพืชที่ขึ้นอยู่ทั่วไป พบเห็นตามป่าเบญจพรรณแล้ง ป่าเต็งรัง และป่าแดงทั่วไป สำหรับในประเทศไทย พื้นที่ที่มีมะขามป้อมมากคือภาคเหนือ โดยการขยายพันธุ์เกิดจากการที่พวกสัตว์ป่า เช่น เก้ง กวาง รวมทั้งมนุษย์กินลูกมะขามป้อมแล้วทิ้งเมล็ดไถลออกไป ทำให้มะขามป้อมขยายพันธุ์ได้มากขึ้น (ชูขวัญ ทัพย์มณี.2548:10) โดยเฉพาะในเขตอำเภอบ่อเกลือ จังหวัดน่าน ในเกือบทุกพื้นที่จะมีต้นมะขามป้อม ซึ่งในฤดูกาลที่มะขามป้อมสุก กลุ่มคนในพื้นที่จะนำผลสุกมาบริโภคสด หรือนำมาจิ้มกับเกลือ แต่เนื่องจากผลสุกมีมาก ส่วนที่เหลือบนต้นจึงร่วงลงมาและเน่าเสีย และแม้จะมีการนำมาดองเกลือเพื่อเก็บไว้บริโภค รวมถึงผลิต มะขามป้อมผงซงพร้อมดื่ม แต่ก็ยังเป็นปริมาณเล็กน้อย จึงเหลือส่วนทิ้งจำนวนมาก นอกจากนี้กระบวนการเก็บถนอมอาหารที่ใช้เป็นภูมิปัญญาท้องถิ่นแบบเดิม สามารถเก็บรักษาผลผลิตมะขามป้อมได้แต่เป็นระยะเวลาสั้น ผลผลิตมักมักจะเกิดการเสื่อมเสียจากเชื้อรา (ประทีน มณีรัตน์.2548:32)

อย่างไรก็ตาม เทคโนโลยีที่ใช้ยืดอายุการเก็บรักษาอาหารมีหลายวิธี ได้แก่ การฆ่าเชื้อจุลินทรีย์และบรรจุกระป๋อง การแช่แข็ง การใช้รังสีแกมมาและไมโครเวฟในการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ การปรับสภาพการบรรจุโดยการดัดแปรสภาพบรรยากาศ ฯลฯ (Raoult-Wack.1994:7) แต่การเลือกใช้เทคโนโลยีต้องมีความเหมาะสมกับผลผลิต สภาพพื้นที่ อุปกรณ์และเครื่องมือในการผลิต ซึ่งเทคโนโลยีการลดความชื้นในผลิตผลสดโดยการแช่ในสารละลายน้ำตาล (osmotic dehydration) นับว่าเป็นภูมิปัญญาดั้งเดิม ซึ่งทำได้ง่ายในครัวเรือน ใช้อุปกรณ์การผลิตไม่ยุ่งยาก ไม่ต้องใช้เครื่องมือราคาแพง โดยการแลกเปลี่ยนน้ำออกจากผลผลิตสู่สารละลายน้ำตาลและในขณะที่น้ำตาลถ่ายเทจากสารละลายน้ำตาลสู่ผลผลิต ทำให้ผลผลิตสดมีความชื้นลดลง ซึ่งอาจลดลงถึง 50 เปอร์เซ็นต์ของความชื้นเริ่มต้น แต่ความชื้นในระดับดังกล่าวถือว่ายังคงมีความชื้นสูง จึงต้องนำไปทำแห้ง (drying) ต่อเพื่อให้ได้ระดับความชื้นที่จะเก็บรักษาผลผลิตได้นาน แต่ในกระบวนการแช่ อิ่มและการทำแห้งนั้น ปัจจัยในการผลิตทั้งในส่วนของวัตถุดิบและสภาวะการผลิตล้วนมีผลต่อประสิทธิภาพของกระบวนการและคุณภาพผลผลิต (Uddin,Adesina and Aina.1990:17) ดังนั้นจึงจำเป็นต้องศึกษาผลของสภาวะการแช่ อิ่ม และผลของการอบแห้งต่อประสิทธิภาพของกระบวนการและคุณภาพผลผลิตมะขามป้อมแช่ อิ่มอบแห้ง เพื่อพัฒนากระบวนการผลิต ตามแนวความคิดแบบวิทยาศาสตร์ และสามารถนำไปใช้ในการยืดอายุการเก็บรักษามะขามป้อมสดในท้องถิ่น ลดปริมาณการเหลือทิ้ง สร้างผลิตภัณฑ์อาหารแปรรูปแบบใหม่ที่มีศักยภาพทางการตลาด

ในอนาคต นอกจากนี้ยังสามารถถ่ายทอดเทคโนโลยีกระบวนการผลิตแก่กลุ่มแม่บ้านในชุมชน เพื่อเพิ่มอาชีพและรายได้อีกทางหนึ่งด้วย

วัตถุประสงค์

วัตถุประสงค์หลักของการศึกษา คือ การพัฒนากระบวนการผลิตมะขามป้อมแช่อิ่มอบแห้ง โดยมีวัตถุประสงค์ย่อยดังนี้

1. เพื่อศึกษาผลของการให้ความร้อนแก่มะขามป้อม, ความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาล และ อัตราส่วนมะขามป้อมต่อสารละลายน้ำตาล ต่อประสิทธิภาพการแช่อิ่ม และคุณภาพมะขามป้อมแช่อิ่ม
2. เพื่อศึกษาสภาวะการทำแห้งต่อคุณภาพมะขามป้อมแช่อิ่มอบแห้ง
3. เพื่อประเมินอายุการเก็บรักษาของมะขามป้อมแช่อิ่มอบแห้ง

ความสำคัญของงานวิจัย

- 1.เป็นการพัฒนากระบวนการแช่อิ่มและทำแห้งด้วยการใช้หลักการทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีเพื่อพัฒนากระบวนการผลิตแบบท้องถิ่น
- 2.เป็นการลดการสูญเสียมะขามป้อมสดและยืดอายุการเก็บรักษามะขามป้อมสดที่มีมากในท้องถิ่น
- 3.เป็นการเพิ่มมูลค่าผลิตภัณฑ์ โดยสร้างผลิตภัณฑ์ใหม่ที่มีรสชาติและเนื้อสัมผัสที่ดี และมีคุณค่าทางโภชนาการ
- 4.ทำให้สามารถควบคุมคุณภาพผลิตภัณฑ์ให้มีความสม่ำเสมอและเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค
- 5.เป็นการถ่ายทอดองค์ความรู้ด้านเทคโนโลยีกระบวนการผลิต เพื่อประโยชน์แก่ชุมชนในการสร้างรายได้และใช้ประโยชน์จากทรัพยากรในท้องถิ่น

ขอบเขตของงานวิจัย

งานวิจัยครอบคลุมการพัฒนากระบวนการแช่อิ่ม และอบแห้งมะขามป้อม โดยศึกษาผลของการให้ความร้อน,ความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาล,อัตราส่วนของมะขามป้อมต่อสารละลายน้ำตาลที่เหมาะสมในกระบวนการแช่อิ่ม การศึกษาสภาวะการอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่เหมาะสมในการทำแห้งมะขามป้อมแช่อิ่ม และการประเมินอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์มะขามป้อมแช่อิ่มอบแห้ง

นิยามศัพท์เฉพาะ

การแช่แข็ง คือ การทำแห้งอาหารด้วยวิธีออสโมซิส ที่ใช้สาร ละลายน้ำตาล ซึ่งการแยกน้ำออกจากผักและผลไม้ เกิดขึ้นจากการเคลื่อนย้ายโมเลกุลของน้ำจากสารละลายเจือจาง ไปยัง สารละลายที่เข้มข้นกว่าโดยโมเลกุลของน้ำจะผ่านเยื่อบางๆที่เรียกว่าเยื่อเลือกผ่าน(semipermeable membrane)

การทำแห้ง คือ การทำให้น้ำระเหยออกไปจากอาหารจนความชื้นในอาหารลดลงจนถึงระดับที่จุลินทรีย์ไม่สามารถเจริญเติบโตได้ โดยการทำแห้ง มีหลายวิธีได้แก่ การตากแดด การใช้ลมร้อน เป็นต้น

การถ่ายเทมวลสารระหว่างการแช่แข็ง คือ การที่น้ำและสารบางอย่างที่มีอยู่ภายในเซลล์ตามธรรมชาติ เช่น กรดอินทรีย์ น้ำตาลและเกลือแร่ แพร่กระจายออกจากเซลล์สู่สารละลายภายนอก ในขณะที่ตัวถูกละลายภายนอก (น้ำตาล) จะแพร่กระจายเข้าสู่ภายในเซลล์ของผักหรือผลไม้ เนื่องจากความแตกต่างของแรงดันออสโมติก (osmotic pressure) ระหว่างภายในเซลล์ของผัก ผลไม้และสารละลายภายนอก

การสูญเสีย น้ำ (water loss) คือ การที่น้ำภายในเนื้อเยื่อของอาหารไหลออกมาสู่สารละลายภายนอกที่มีน้ำน้อยกว่าตามหลักการออสโมซิส โดยเกิดในกรณีที่จุ่มอาหารที่มีปริมาณความเข้มข้นของของแข็งที่ละลายได้ต่ำกว่าในสารละลายที่มีความเข้มข้นของของแข็งที่ละลายได้สูงกว่า

การได้รับของแข็ง (solid gain) คือ การที่ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในสารละลายจะซึมเข้าสู่เนื้อเยื่อของอาหาร ตามหลักการออสโมซิส โดยเกิดในกรณีที่จุ่มอาหารที่มีปริมาณความเข้มข้นของของแข็งที่ละลายได้ต่ำกว่าในสารละลายที่มีความเข้มข้นของของแข็งที่ละลายได้สูงกว่า

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ข้อมูลทั่วไปของมะขามป้อม

มะขามป้อม (*Phyllanthus emblica* L.) มีถิ่นกำเนิดและกระจายพันธุ์ในเขตเอเชียใต้และเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ในประเทศไทยพบเห็นอยู่ทั่วไปเกือบทุกภาค มะขามป้อมสามารถขยายพันธุ์ได้ 2 วิธี คือโดยอาศัยเพศซึ่งได้จากการเพาะกล้าจากเมล็ดและการขยายพันธุ์โดยไม่อาศัยเพศเช่นการปักชำ (เย็นจิตร ทวีผล.2530: 14) มะขามป้อมมีรายละเอียดของชื่อดังต่อไปนี้

ชื่อพื้นเมือง	มะขามป้อม (ทั่วไป) กันโอด (เขมร-จันทบุรี) กำหวด (ราชบุรี) มั่งลู่ สันยาสา (กะเหรี่ยง-แม่ฮ่องสอน)
ชื่อวิทยาศาสตร์	<i>Phyllanthus emblica</i>
ชื่อวงศ์	<i>Euphorbiaceae</i>
ชื่อสกุลไม้	<i>Phyllanthus</i> L.
ชื่อสามัญ	Emblic myrobalan, Indian Gooseberry, Amla, Amalaki

มะขามป้อมเป็นพืชสมุนไพรที่มีประโยชน์ทางยาที่น่าสนใจ ผลสดใช้รับประทานทำให้ชุ่มคอแก้กระหายน้ำ ลำต้นยังใช้เป็นไม้สร้างบ้าน ใช้ทำเชื้อเพลิง ใบและเปลือกใช้ย้อมผ้าและฟอกหนัง เป็นปุ๋ยใช้รักษาความเป็นกรด-ด่างของดิน และเมล็ดใช้ย้อมผม จึงนับว่ามะขามป้อมเป็นพืชที่มีคุณค่ามาก (ชูขวัญ ทรัพย์มณี. 2548:15-65)

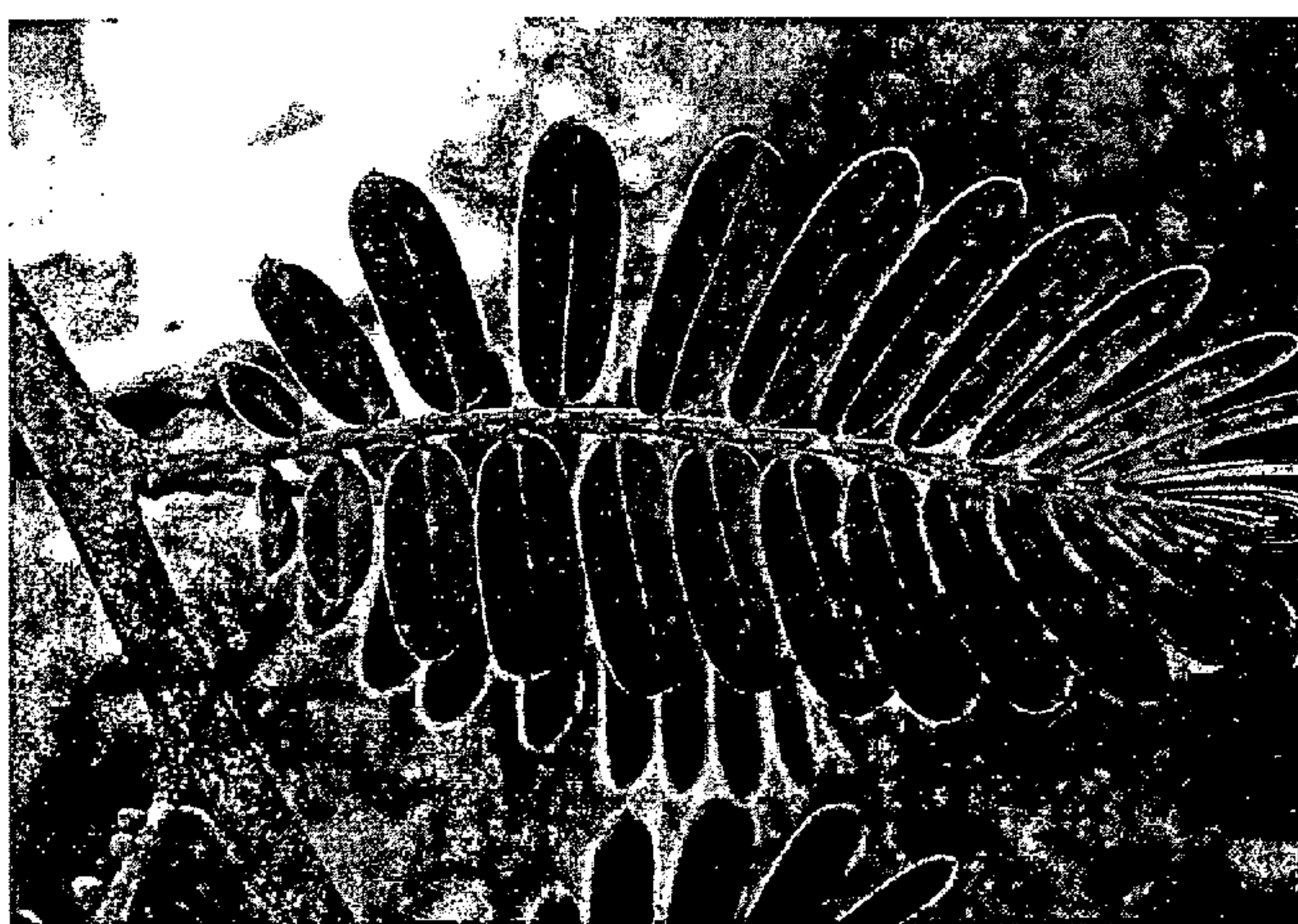
2.2 ลักษณะโดยทั่วไปของมะขามป้อม

2.2.1 ลำต้น มะขามป้อมเป็นไม้ยืนต้นขนาดกลางสูงประมาณ 8-12 เมตร โตเต็มที่วัดรอบลำต้นได้ประมาณ 80 เซนติเมตร ลำต้นคดงอเปลือกนอกสีน้ำตาลอมเทา ผิวค่อนข้างเรียบลอกออกเป็นแผ่นๆได้เปลือกในสีชมพูสด เรือนยอดแผ่กระจายรูปทรงกลม ปลายกิ่งมักห้อยลง พุ่มใบโปร่ง เนื้อไม้สีแดงอมน้ำตาล เปลือกต้นมีแทนนินร้อยละ 8-9 ของน้ำหนักแห้ง ส่วนกิ่งก้านเล็ก มีแทนนินร้อยละ 21 ของน้ำหนักแห้ง ลำต้น ใช้ทำเสาเข็ม เครื่องมือขนาดเล็ก ด้ามเครื่องมือทางการเกษตร และทำเชื้อเพลิง (เย็นจิตร เดชะดำรงสิน.2540: 10)



ภาพประกอบ 1 ลักษณะลำต้นของมะขามป้อม

2.2.2 ใบ เป็นใบเลี้ยงคู่ ใบมีลักษณะเป็นรุ่มแบบขนนก ใบย่อยมีขนาดเล็ก ใบเป็นช่อ แต่ละช่อมีใบย่อยเล็กๆ รูปขอบขนานติดกันเป็นคู่ๆเยื้องๆกันปลายใบมน มีรอยหยักเว้าเล็กน้อย ขอบใบเรียบสีเขียวอ่อน กว้าง 0.25-0.50 เซนติเมตรเรียงชิดกันก้านใบสั้นมาก ใบย่อยจำนวน 22 คู่ เส้นใบไม่ชัดเจน เส้นกลางใบเห็นได้รางๆ สำหรับใบมะขามป้อมมีองค์ประกอบสำคัญ ได้แก่ amlaic acid, lupeol และมีปริมาณแทนนินร้อยละ 22 ของน้ำหนักแห้ง (ภัทรชัย และคณะ.2535:15-17)



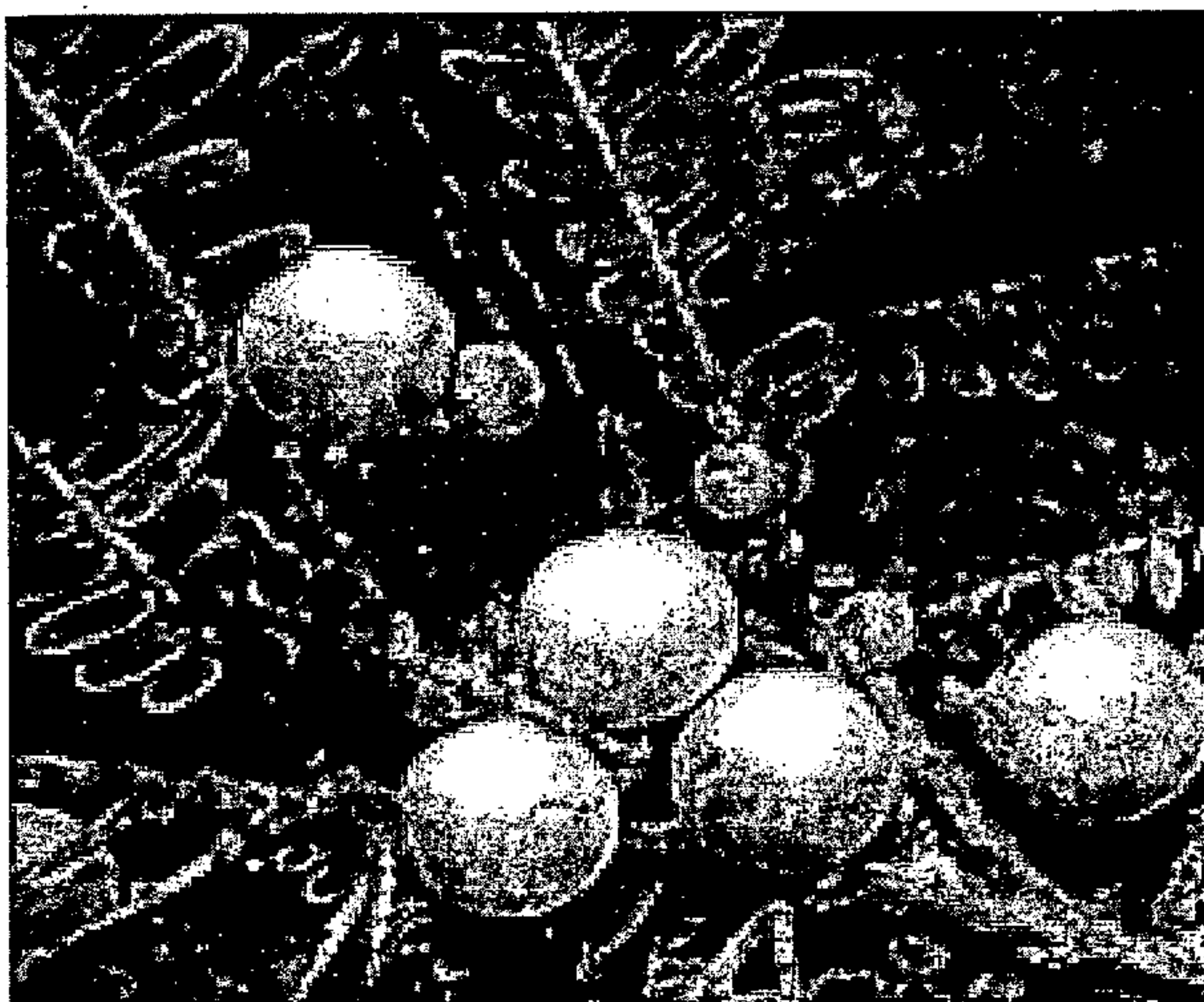
ภาพประกอบ 2 ลักษณะใบของมะขามป้อม

2.2.3 ลักษณะดอก ดอกแยกเพศกัน แต่เกิดบนกิ่งและต้นเดียวกัน มีสีเหลืองอ่อน อดเป็นพวง ดอกตัวผู้ขนาดเล็กก้านสั้นมีจำนวนมาก ดอกตัวเมียมีขนาดเล็กเช่นกันแต่มีจำนวนน้อยกว่าดอกตัวผู้ มีกลิ่นหอมคล้ายผิวมะนาว มีกลีบรองดอก 6 กลีบ ดอกเพศผู้มีเกสรเพศผู้ 3 อัน ฐานรองดอกมี 6 แฉก ดอกเพศเมียมีฐานรองดอกเป็นรูปถ้วย ขอบถ้วยหยักรังไข่มี 3 ช่อง หลอดท่อรังไข่ปลายแยกเป็น 2 แฉก ไม่เท่ากัน (จินตนา ศรีผุย. 2546: 59)



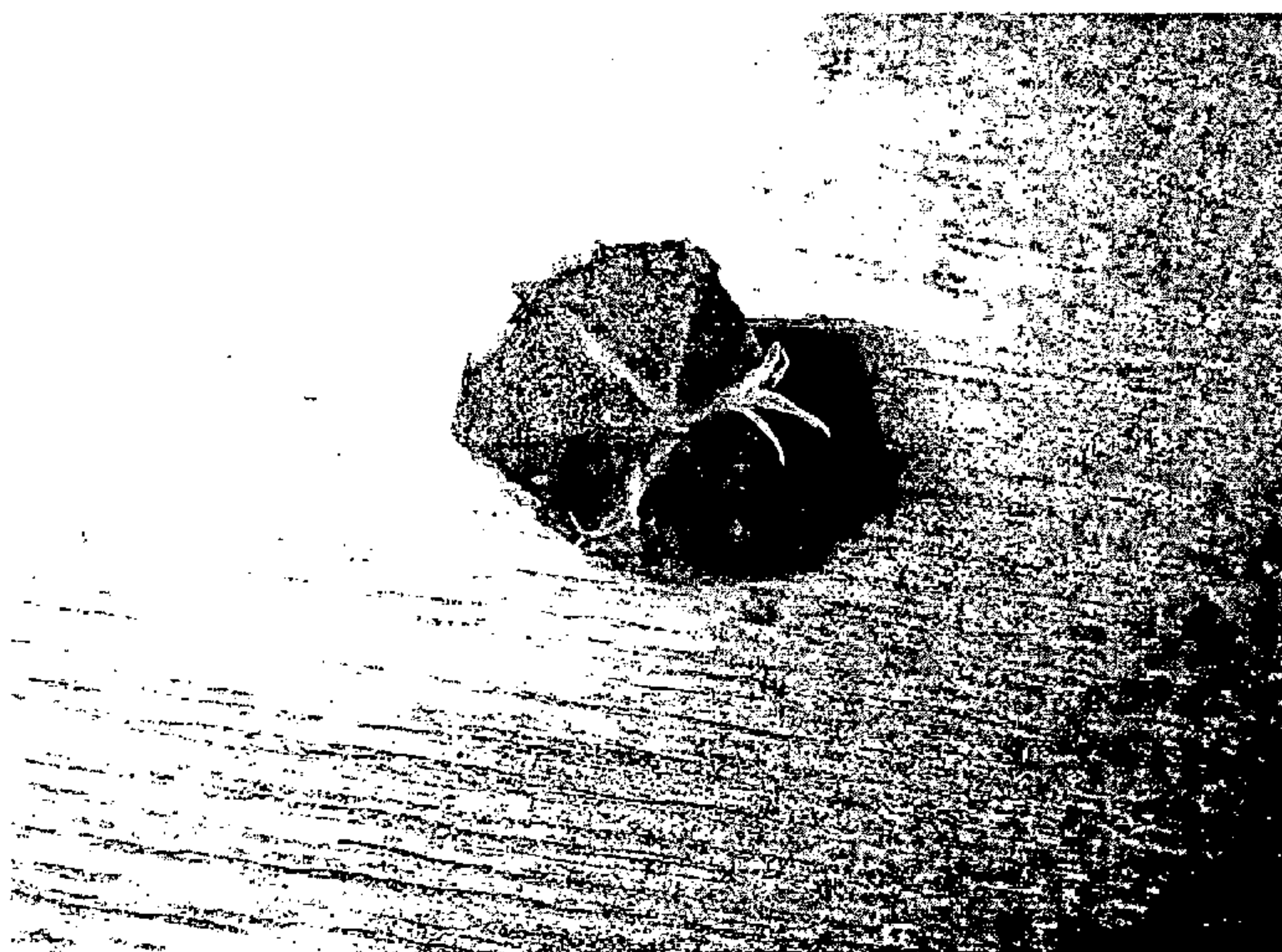
ภาพประกอบ 3 ลักษณะดอกของมะขามป้อม

2.2.4 ลักษณะผล มะขามป้อมผลมีรูปร่างทรงกลมฉ่ำน้ำมีเนื้อหนาเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.2-2 เซนติเมตร ผลที่อ่อนมีสีเขียวอ่อน ผลที่แก่จะมีสีเขียวค่อนข้างใส มีเส้นริ้วๆตามยาวพอสังเกตเห็นได้ 6 เส้น เนื้อภายในแบ่งออกเป็น 3 พูมีรสฝาดเปรี้ยว ขม และอมหวาน ผลสดมีวิตามินซีร้อยละ 1-1.8 นับว่ามีปริมาณมากและ(วิตามินซีในน้ำคั้นจากมะขามป้อม มีมากประมาณ 20 เท่าของน้ำส้มคั้น) มะขามป้อม 1 ผลมีปริมาณวิตามินซีเทียบเท่าที่มีในผลส้ม 1-2 ผล นอกจากนั้นยังมีสารแทนนิน (Tannin) ร้อยละ 28 ส่วน ผลแห้งมีการดมิวซิก (mucic acid) ร้อยละ 4-9 เปลือกผลมีการดแอลลาจิก (ellagic acid) กรดฟิลเลมบลิก (phyllemblic acid) และสารฟีนอล (phenols) (ภัทร ภูมิ ลิ้มหนูสนธิ์ และประภัทร อิมละเอียด. 2546: 37)



ภาพประกอบ 4 ลักษณะผลของมะขามป้อม

2.2.5 เมล็ด มี 1 เมล็ดใน 1 ผล เปลือกหุ้มเมล็ดแข็ง 6 สัน และในเมล็ดมีน้ำมัน (fixed oil) ประมาณร้อยละ 26 (จุฑามาศ นิวัฒน์.2542: 65)



ภาพประกอบ 5 ลักษณะเมล็ดของมะขามป้อม

2.1.2 สรรพคุณทางยา

ผลสด มีรสเปรี้ยวอมฝาด คั้นน้ำดื่มกินแก้กระหาย ลดไข้ แก้ไอ แก้หวัด ใช้ผสมน้ำผึ้งขับพยาธิ รักษาโรคเบาหวาน โรคบิด โรคหวัด ใช้หมักทำไวน์ผลไม้ ใช้สระผม ทำหมึกเขียน ยาย้อมผม (วิชัย หุทัยธนาสันต์. 2521:70)

ผลแห้ง บดให้เป็นผงชงกิน แก้กตเลือด ท้องเสีย โรคบิด โรคดีซ่าน และโรคโลหิตจาง (ภัทรภูมิ ลิ้มบุญสนธิ์ และประภัทร อิมละเอียด. 2546: 43)

เมล็ด เมล็ดใช้ชงน้ำร้อน แก้โรคเบาหวาน โรคน้ำดี คลื่นไส้อาเจียน โรคหลอดลมอักเสบ ใบ ต้มน้ำอาบลดไข้ ใบสดนำมาตำพอกหรือทาบริเวณแผล ผื่นคัน ผิวน้ำอักเสบดี (ภัทรภูมิ ลิ้มบุญสนธิ์ และประภัทร อิมละเอียด. 2546: 43)

ใบแห้ง ใช้ย้อมเส้นใย เช่น ขนสัตว์ ไหม ให้สีน้ำตาลหรือเหลือง (วิชัย หุทัยธนาสันต์. 2521: 70)

เปลือก ใช้เปลือกที่แห้งแล้วบดเป็นผงละเอียดโรยแผลสด (วิชัย หุทัยธนาสันต์. 2521:72)

ราก ใช้เป็นยาลดไข้ฟอกเลือด (ภัทรภูมิ ลิ้มบุญสนธิ์ และประภัทร อิมละเอียด. 2546: 44)

น้ำและสารสกัด น้ำมะขามป้อมมีสารที่มีฤทธิ์ป้องกัน และยับยั้งการสร้างเซลล์ของมะเร็งในร่างกายมนุษย์ได้ (Farks and Lazar.1969: 7-8) และรักษาโรคกระเพาะอาหารอักเสบชนิดรุนแรง วิตามินซีจากมะขามป้อมทำเป็นยาแผนปัจจุบันได้(Rahman and Lamb.1990: 11) สารสกัดนำมาใช้ยับยั้งการเจริญของเชื้อไวรัสโรคตับอักเสบบี

2.1.3 คุณค่าทางอาหารของผลมะขามป้อมสด

กองโภชนาการ กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข รายงานปริมาณสารอาหารในผลมะขามป้อมสดส่วนที่กินได้ 100 กรัม พบว่ามีวิตามินซีสูงกว่าผลส้มถึง 15 เท่า (ตารางที่ 1)

ตาราง 1 การเปรียบเทียบปริมาณสารอาหารในผลมะขามป้อมสดและผลส้มสด

สารอาหาร	ผลมะขามป้อมสด	ผลส้มสด	หน่วย
พลังงาน	58.00	44.00	แคลอรี
น้ำ	84.10	88.70	กรัม
ไขมัน	0.50	0.20	กรัม
คาร์โบไฮเดรต	14.30	9.90	กรัม
เส้นใยอาหาร	2.40	0.02	กรัม
โปรตีน	0.70	0.60	กรัม
แคลเซียม	29.00	31.00	มิลลิกรัม
ฟอสฟอรัส	21.00	18.00	มิลลิกรัม
เหล็ก	0.50	0.80	มิลลิกรัม
วิตามินเอ	100	4,000	หน่วยสากล
วิตามินบี 1	0.03	10.04	มิลลิกรัม
วิตามินบี2	0.04	20.05	มิลลิกรัม
วิตามินซี	276.00	18.00	มิลลิกรัม

ที่มา: กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข (2535:14)

2.2 การแช่อิ่ม

2.2.1 หลักการการแช่อิ่ม

การแช่อิ่ม คือการเอาผลไม้ใส่ลงในน้ำเชื่อมให้ผลไม้จมน้ำเชื่อมตัว คือ ให้น้ำเชื่อมซึมเข้าไปในผลไม้เต็มที่ จนไม่สามารถซึมเข้าไปได้อีก การที่จะทำให้ น้ำเชื่อมเข้าไปในผลไม้จมน้ำเชื่อมตัวนั้นต้องเพิ่มความเข้มข้นของน้ำเชื่อมทุกวันโดยรินน้ำเชื่อมออกอุ่น และเติมน้ำตาลลงไป หรือตมน้ำเชื่อมจนงวดลงเพื่อให้เข้มข้น แล้วจึงเอาผลไม้ลงแช่ ทำเช่นนี้ 3-4 ครั้งจนน้ำเชื่อมไม่สามารถซึมเข้าไปได้อีก การแช่อิ่มเป็นการทำแห้งอาหารด้วยวิธีออสโมซิส ที่ใช้สาร ละลายน้ำตาล โดยความแตกต่างของความเข้มข้นของตัวถูกละลาย จะทำให้เกิดความแตกต่าง ของแรงดันออสโมติก ระหว่างภายในเซลล์ของผัก และผลไม้และสารละลายภายนอก เกิดเป็นแรงขับให้มีการถ่ายเทมวลสารผ่านเยื่อเลือกผ่าน ได้แก่ น้ำจะซึมออกจากเซลล์สู่สารละลายภายนอก และตัวถูกละลาย หรือน้ำตาลจะซึมจากภายนอกสู่ภายในเซลล์ และสารบางอย่างที่มีอยู่ในธรรมชาติ (กรดอินทรีย์ เกลือแร่) จะซึมออกนอก

เซลล์ ทำให้สูญเสียน้ำจากผักและผลไม้ และปริมาณของแข็งในผักและผลไม้เพิ่มขึ้น ส่งผลให้ปริมาณของน้ำอิสระหรือ ค่าวอเตอร์แอกติวิตี (Water Activity, A_w) ลดลงในระดับที่จุลินทรีย์ไม่สามารถเจริญเติบโตได้ (มณฑล สุกใส.2547: 35)

การเลือกผลไม้แช่อิ่ม ผลไม้ต้องสดใหม่และเป็นผลไม้ที่มีรสเปรี้ยว เช่น มะม่วงดิบ มะดัน มะขาม มะกอก ตะลิงปลิง กระท้อน โดยเลือกตามฤดูกาล จะมีราคาถูกเหมาะกับการเก็บถนอมไว้รับประทานได้นาน(เลอพงษ์ ชูเทพ.2526: 15)

2.2.2 วิธีการแช่อิ่ม

การแช่อิ่มแบ่งเป็น 2 วิธี ได้แก่ การแช่อิ่มแบบเร็วและการแช่อิ่มแบบช้า

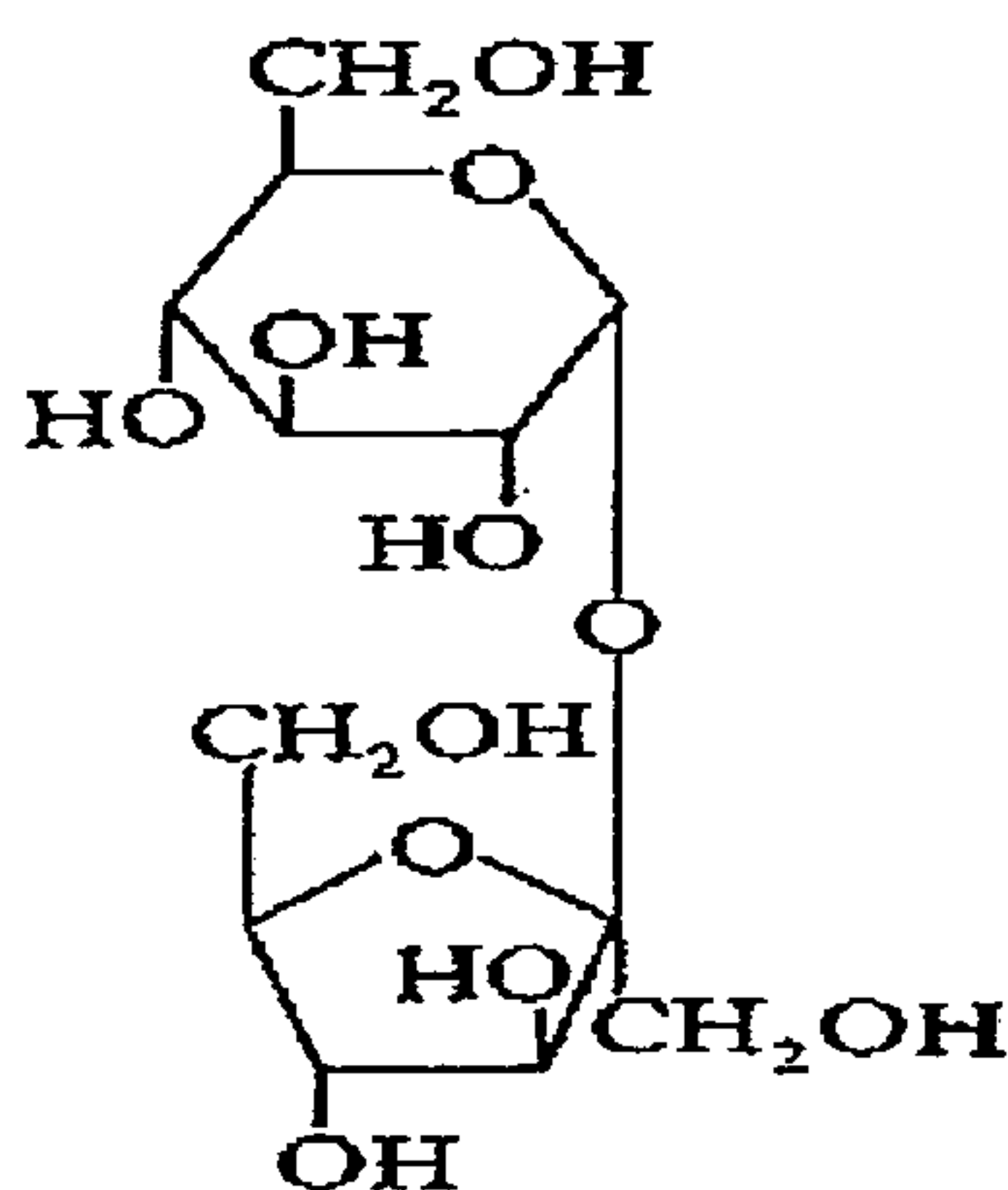
การแช่อิ่มแบบเร็ว (นิยมเรียกว่า การเชื่อม) เป็นการเคี่ยวผักหรือผลไม้ในน้ำเชื่อมเข้มข้นปานกลาง (น้ำตาลเข้มข้นประมาณ 40 เปอร์เซ็นต์ หรือ 40 °Brix) โดยใช้อุณหภูมิปานกลาง จนกระทั่งน้ำเชื่อมมีความเข้มข้นประมาณ 65 เปอร์เซ็นต์ (ศิริลักษณ์ สินชวาลย์. 2522: 45) โดยถ้าเชื่อมต่อไปจะเกิดการตกผลึกของน้ำตาลซึ่งจะเรียกลักษณะนี้ว่าการฉาบ วิธีนี้มีข้อเสียคือ ผลไม้ที่แช่อิ่มจะมีลักษณะเหี่ยวยุบ หดตัว ความหวานซึมผ่านเนื้อเยื่อไม่สม่ำเสมอ สีคล้ำ(อดิศักดิ์ เอกโสวรรณ.2549.)

การแช่อิ่มแบบช้า เป็นการนำผักหรือผลไม้มาแช่ในน้ำเชื่อมที่มีความเข้มข้นเจือจางประมาณ 30 ถึง 35 เปอร์เซ็นต์ แล้วจึงเพิ่มความเข้มข้นของน้ำเชื่อมครั้งละประมาณ 5 ถึง 10 เปอร์เซ็นต์ จนกระทั่งได้ความเข้มข้นของน้ำตาลประมาณ 65 เปอร์เซ็นต์ จากนั้นอาจนำไปอบแห้งเพื่อทำเป็นผลิตภัณฑ์แช่อิ่มแห้ง(candied food) หรือนำไปจุ่มในน้ำเชื่อมเข้มข้นแล้วอบแห้งเพื่อให้เกิดการตกผลึกเป็นผลิตภัณฑ์เคลือบน้ำตาล (crystallized food) ข้อเสียของวิธีนี้ คือ ช้ามาก แต่จะให้ผลิตภัณฑ์คุณภาพดี ได้แก่ ไม่เหี่ยวยุบ ไม่เสียรูปทรงหรือหดตัว มีความหวานของน้ำตาลซึมอยู่ตามเนื้ออาหารอย่างสม่ำเสมอ และ สีไม่คล้ำ (อดิศักดิ์ เอกโสวรรณ.2549.)

2.2.3 สารละลายออสโมติก

สารละลายออสโมติกเป็นสารละลายที่มีความเข้มข้นของแข็งที่ละลายได้สูงเช่นน้ำตาล เกลือ เป็นต้น สารละลายออสโมติกจะทำให้เกิดแรงดันออสโมติกที่เป็นปัจจัยสำคัญในการเกิดกระบวนการออสโมซิส (พันธัณรงค์ จันทรแสงสี.2540.) สำหรับกระบวนการแช่อิ่มจะใช้สารละลายออสโมติก เป็นสารละลาย น้ำตาลซูโครส น้ำตาลซูโครสมีโครงสร้างเป็นน้ำตาลโมเลกุลคู่ซึ่งประกอบไปด้วยน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว 2 ตัวคือ น้ำตาลกลูโคสจับตัวกับน้ำตาลฟรุกโทส(ภาพประกอบที่ 6)น้ำหนักโมเลกุลเท่ากับ 342 ให้พลังงาน 4 กิโลแคลอรี / กรัม น้ำตาลซูโครสจะมีคุณสมบัติการให้ความหวานที่ถูกกำหนดให้เป็นค่ามาตรฐานมีค่าเท่ากับ 100 หน่วย และมีคุณสมบัติในการหยุดการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ได้เนื่องจากเมื่อมีการเติมน้ำตาลลงในอาหาร ปริมาณ A_w จะลดลง ซึ่งปกติค่า A_w ของน้ำจะ

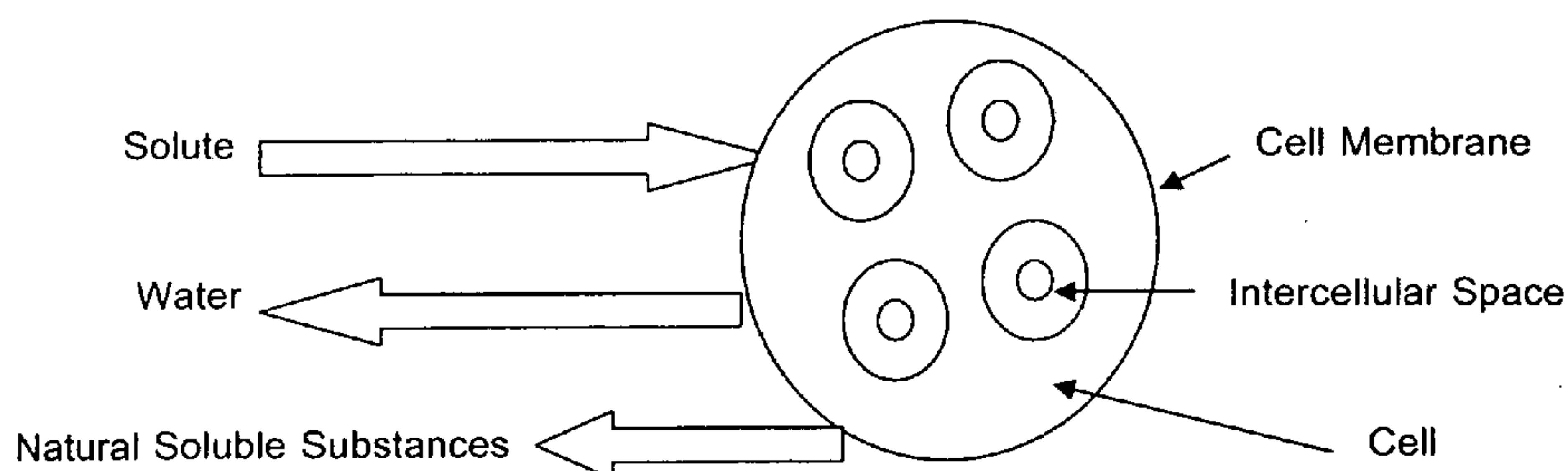
มีค่าเท่ากับ 1.00 และจะเริ่มลดลงเมื่อตัวถูกละลายเพิ่มขึ้นจนกระทั่งถึงจุดอิ่มตัว (กล้าณรงค์ ศิริรอด, 2542: 41)



ภาพประกอบ 6 โครงสร้างของน้ำตาลซูโครส
ที่มา: คุณสมบัติของน้ำตาลซูโครส (กล้าณรงค์, 2542: 41)

2.2.4 การถ่ายเทมวลสารในระหว่างการแช่ส้ม

การแช่ผัก ผลไม้ ในสารละลายเข้มข้นที่มีค่าแรงดันสูง (Hypertonic Solution) ได้แก่ สารละลายน้ำตาล เกลือ หรือส่วนผสมของน้ำตาลและเกลือ จะทำให้เกิดความแตกต่างของแรงดันออสโมติกระหว่างภายในเซลล์ของผัก ผลไม้และสารละลายภายนอก (Concentrated Solution) เกิดเป็นแรงขับให้มีการถ่ายเทมวลสารระหว่างผัก ผลไม้และสารละลายภายนอกผ่านเยื่อหุ้มเซลล์หรือเซลล์เมมเบรนที่ทำหน้าที่เป็นเยื่อเลือกผ่าน (Semi-permeable Membrane) โดยการถ่ายเทมวลสารที่เกิดขึ้นนี้จะมีทั้งการถ่ายเทมวลของน้ำและตัวถูกละลายในเวลาเดียวกัน เป็นการเคลื่อนที่แบบสวนทางกัน (Counter-Current Mass Transfer) ได้แก่ น้ำภายในเซลล์ของผักและผลไม้จะแพร่กระจายออกจากเซลล์สู่สารละลายภายนอก ตัวถูกละลายภายนอก เช่น น้ำตาล หรือ เกลือ จะแพร่กระจายเข้าสู่ภายในเซลล์ของผัก ผลไม้ และ สารบางอย่างที่มีอยู่ภายในเซลล์ตามธรรมชาติ เช่น กรดอินทรีย์ น้ำตาลและเกลือแร่ จะแพร่กระจายออกนอกเซลล์สู่สารละลายภายนอก (พันธุ์ณรงค์ จันทรแสงสี, 2540.) สำหรับกลไกการถ่ายเทมวลสารแสดงในภาพประกอบที่ 7



ภาพประกอบ 7 การถ่ายเทมวลสารระหว่างภายในเซลล์และสารละลายภายนอกเซลล์
ที่มา : พันธุ์รงค์ จันทรแสงสี. (2540).

การถ่ายเทมวลสารระหว่างการทำแห้งแบบออสโมติก ผ่านเยื่อเลือกผ่าน (ถ้าใช้สารละลายน้ำตาลจะเรียกว่ากระบวนการแช่อิ่ม) ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมี โดยจะเกิดการถ่ายเทมวลระหว่างน้ำที่อยู่ในอาหารกับส่วนที่เป็นของแข็งที่ละลายได้ในสารละลาย กระบวนการนี้จะเกิดขึ้นควบคู่เรื่อยไปจนกว่าระบบจะอยู่ในสภาวะที่สมดุล (นวพร ล้ำเลิศกุล. 2549: 33, Kowalska and Lenart. 2001.) โดยอาจทำให้ปริมาณน้ำหรือความชื้นในชิ้นผัก ผลไม้ ลดลงได้ถึง 50% ของน้ำหนักเริ่มต้น จากนั้นอาจมีการนำผลิตภัณฑ์ไปทำแห้งต่อในเครื่องทำแห้ง หรือด้วยวิธีการอื่นเพื่อลดปริมาณความชื้นให้ต่ำลงตามต้องการจนสามารถเก็บรักษาได้ในชั้นที่ปลอดภัย โดยปกติจะลดความชื้นลงให้เหลือประมาณ 15% หรือมีค่า $^{\circ}\text{C}_w$ ประมาณ 0.65 (ประสงค์ ทุงเก่า. 2546: 74)

ในระหว่างกระบวนการทำแห้งแบบออสโมซิส เกิดการถ่ายเทมวลสารแบบไหลสวนทาง คือ น้ำไหลออกจากเซลล์ผักและผลไม้ ในขณะที่น้ำตาลไหลเข้าสู่เซลล์ ดังนั้นจึงมีการประเมินประสิทธิภาพของการถ่ายเทมวลสารจากปริมาณการสูญเสียน้ำ และ ปริมาณการได้รับของแข็ง โดยปริมาณการสูญเสียน้ำสามารถคำนวณจากน้ำหนักและความชื้นของผลิตภัณฑ์ ก่อนและหลังการแช่อิ่ม รายงานค่าเป็นปริมาณน้ำที่สูญเสียไปจากผักหรือผลไม้ต่อน้ำหนักของตัวอย่างเริ่มต้น 100 กรัม สำหรับปริมาณการได้รับของแข็งสามารถคำนวณจากน้ำหนักและความชื้น ของผลิตภัณฑ์ก่อนและหลังการแช่อิ่ม รายงานค่าเป็นปริมาณของแข็งที่เพิ่มขึ้นต่อน้ำหนักของตัวอย่างเริ่มต้น 100 กรัม หรือ ประเมินจากความเข้มข้นของของแข็งที่ละลายได้ (Soluble solid concentration) รายงานค่าเป็นปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (Total Soluble Solid, TSS) ที่เพิ่มขึ้น (น้ำตาล) ต่อน้ำหนักของสารละลายในตัวอย่าง 100 กรัม

2.2.5 ปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการแช่ส้ม

การออสโมซิสจะทำให้เกิดการถ่ายเทมวลสารระหว่างน้ำในชั้นผลไม้และน้ำตาลในสารละลายซึ่งอัตราการถ่ายเทมวลสารนี้จะเกิดขึ้นได้เร็วหรือช้าจะขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างดังต่อไปนี้ (อติศักดิ์ เอกโสวรรณ. 2549.)

ระยะเวลาในการให้ความร้อนผลไม้อ่อนก่อนการแช่ส้ม มีผลต่อการถ่ายเทมวลสารเนื่องจากความร้อน จะทำให้โครงสร้างของเซลล์ผลไม้ที่มีส่วนต้านทานการถ่ายเทมวล โดยทำหน้าที่เป็นเยื่อเลือกผ่าน เกิดการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางกายภาพ คืออ่อนตัวลง สูญเสียคุณสมบัติการเป็นเยื่อเลือกผ่านไป จึงทำให้อัตราการถ่ายเทมวลสารของน้ำในผลไม้และน้ำตาลในสารละลายภายนอกสูงขึ้น จึงสามารถลดเวลาในการออสโมซิสลง ระยะเวลาในการให้ความร้อนขึ้นอยู่กับชนิดและขนาดของผลไม้ เช่น เซอร์รี่จะลวกในน้ำร้อนอุณหภูมิ 70 °C นาน 2 นาที มะละกอลวกในน้ำเดือดนาน 5 นาที มะม่วงจะลวกด้วยไอน้ำนาน 2 นาที (อ่อนรวี รัตนพันธุ์. 2533:)

การเคลื่อนที่ของสารละลายน้ำตาล ในการออสโมซิส ถ้าหากสารละลายน้ำตาลมีการเคลื่อนที่ด้วยการกวน หรือการใช้ปั๊ม (pump) จะเป็นผลให้อัตราการออสโมซิสสูงขึ้น ทำให้อัตราการสูญเสียน้ำของชั้นผลไม้เพิ่มขึ้น นอกจากนี้การกวน ยังเป็นผลให้สัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลสาร (mass transfer coefficient) มีค่าเพิ่มขึ้น ส่วนการใช้ปั๊มเพื่อช่วยให้สารละลายน้ำตาลมีการเคลื่อนที่ระหว่างการออสโมซิส (จิราภรณ์ สอดจิตร์. 2528:)

อัตราส่วนระหว่างผลไม้และสารละลายน้ำตาล การใช้อัตราส่วนระหว่างผลไม้และสารละลายน้ำตาลเพิ่มขึ้น จะมีผลให้อัตราการสูญเสียน้ำและอัตราการเพิ่มขึ้นของน้ำตาลมากขึ้นด้วย (รุ่งนภา พงศ์สวัสดิ์มานิต. 2535:55)

ความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาล การเลือกใช้ความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลจะมีความสำคัญมาก เนื่องจากมีผลต่อการสูญเสียน้ำของผลิตภัณฑ์ โดยจะมีผลต่อค่า ความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลซูโครสที่ใช้ส่วนใหญ่ จะอยู่ในช่วงตั้งแต่ 30-70°Brix แตกต่างกันไปตามชนิดของผลไม้ ถ้าความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลยิ่งมากขึ้น อัตราการสูญเสียน้ำจะมาก เป็นผลให้อัตราการออสโมซิสเร็วขึ้นด้วย (รุ่งนภา พงศ์สวัสดิ์มานิต. 2535: 55)

รูปร่างและขนาดของผลไม้ รูปร่างและขนาดของผลไม้มีผลต่อการถ่ายเทมวลสารเนื่องจากมีผลต่ออัตราส่วนระหว่างพื้นที่ผิวสัมผัสต่อปริมาตร ถ้าอัตราส่วนนี้มีค่าสูงจะทำให้ น้ำในชั้นผลไม้แพร่ออกมาสู่สารละลายน้ำตาลภายนอกได้เร็วและมาก แต่ถ้าอัตราส่วนของพื้นที่ผิวสัมผัสต่อปริมาตรมีค่าน้อยจะทำให้อัตราการสูญเสียน้ำเกิดได้น้อย (อ่อนรวี รัตนพันธุ์. 2533:)

ชนิด พันธุ์ และความสุกของผลไม้ ชนิดของผลไม้ พันธุ์ และความสุกมีผลต่อการถ่ายเทมวลสาร เนื่องจากการถ่ายเทมวลสารระหว่างน้ำและน้ำตาล จะขึ้นกับองค์ประกอบทางเคมี และโครงสร้างของผนังเซลล์ และเซลล์เมมเบรนของผลไม้ ผลไม้บางชนิดจึงใช้เวลาสั้นแต่บางชนิดจะใช้เวลาานาน ผลไม้ชนิดเดียวกันแต่ต่างพันธุ์ จะมีอัตราการสูญเสียน้ำหนักระหว่างการออสโมซิสต่างกันและทำให้ผลิตภัณฑ์ผลไม้แช่ส้มอบแห้งที่ได้มีคุณภาพแตกต่างกันด้วย (แก้วเกษม ปราบ

รูปดลง.2521.) นอกจากนี้ความแก่อ่อนของผลไม้ก็มีผลต่อการถ่ายเทมวลสาร โดยผลไม้ที่สุกหรือแก่จะมีอัตราการถ่ายเทมวลสารเร็วกว่าผลไม้ที่อ่อน แต่ถ้าผลไม้แก่เกินไปจะทำให้เนื้อสัมผัสและมากไม่น่ารับประทาน (ไพบูลย์ ธรรมรัตน์วาสิก. 2532: 62)

2.3 การทำแห้งหลังกระบวนการแช่แข็ง

ผัก และ ผลไม้เป็นอาหารประเภทเสื่อมเสียได้ง่ายจากเชื้อจุลินทรีย์เนื่องจากมีปริมาณน้ำค่อนข้างสูง (นวพร ลำเลิศกุล. 2549:) การยืดอายุการเก็บรักษาผัก และ ผลไม้ทำได้โดยการลดค่า A_w ที่จุลินทรีย์สามารถนำไปใช้ได้ให้เหลือน้อยที่สุด นอกจากนี้ยังเป็นการลดน้ำหนักของอาหารลงเพื่อสะดวกและลดต้นทุนในการขนส่ง

การกำจัดน้ำออกจากผักผลไม้สามารถทำได้หลายวิธี เช่น การอบแห้งด้วยลมร้อน (hot-air drying) การทำแห้งแบบสุญญากาศ (vacuum drying) หรือการทำแห้งแบบระเหิด (freeze drying) การใช้วิธีอบแห้งด้วยลมร้อนและทำแห้งแบบสุญญากาศจะทำให้ผลิตภัณฑ์มีกลิ่นรส สี และเนื้อสัมผัสแตกต่างไปจากผลไม้สดค่อนข้างมาก ในขณะที่การทำแห้งแบบระเหิด จะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพดี และมีอายุการเก็บยาวนานกว่า แต่การทำแห้งผลไม้ด้วยวิธีนี้จะมีต้นทุนการผลิตสูง สำหรับการทำให้แห้งด้วยวิธีการออสโมซิส หรือ การแช่แข็งร่วมกับการทำให้แห้งด้วยวิธีอื่นจะเป็นการกำจัดน้ำออกจากผลไม้ก่อนบางส่วน โดยอาศัยหลักของการออสโมซิสช่วยประหยัดพลังงานในการอบแห้ง(กรุณา วงษ์กระจ่าง. 2535: 19)

โดยทั่วไปภายหลังการแช่แข็งหรือการทำแห้งแบบออสโมซิสความชื้นของผลผลิตยังคงไม่ต่ำเพียงพอที่จะทำให้สามารถเก็บผลิตภัณฑ์ไว้นาน การอบแห้งด้วยความร้อนต่อจะช่วยลดปริมาณน้ำให้ต่ำลงถึงระดับที่จุลินทรีย์ไม่สามารถเจริญได้ โดยจะลดความชื้นลงให้เหลือประมาณร้อยละ 15 หรือมีค่า a_w ประมาณ 0.65 ซึ่งค่า a_w จะสัมพันธ์กับปริมาณความชื้นที่จุลินทรีย์สามารถใช้ในการเจริญเติบโตได้ จุลินทรีย์แต่ละชนิดจะเจริญเติบโตได้ในอาหารที่มีระดับ a_w แตกต่างกัน ดังนั้นค่า a_w จึงเป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญที่เกี่ยวข้องกับการควบคุมความชื้นในอาหาร เพื่อให้อาหารมีความคงตัวในด้านความปลอดภัยจากจุลินทรีย์ (มารีนา นุ้ยหิเม, สมชาติ โสภณรณฤทธิ์ และ บุษบา บุญนาค. 2536.)

นอกจากประโยชน์ในการลดความชื้น การทำให้แห้งแบบออสโมซิสก่อนการทำให้แห้งด้วยวิธีอื่น จะช่วยปรับปรุงคุณภาพของเนื้อสัมผัสของผลไม้อบแห้งให้ดีขึ้น (Bailon.1990.) และในระหว่างการออสโมซิส กรดในผลไม้บางส่วนจะถูกกำจัดออกไป เป็นผลให้ปริมาณกรดในผลไม้ลดลง ซึ่งเมื่อรวมกับน้ำตาลที่ซึมเข้าไปในผลไม้ จะทำให้ผลิตภัณฑ์มีรสชาติหวาน และกลมกล่อมกว่าผลไม้อบแห้งธรรมดา (Islam and Flink.1982.)

การเลือกใช้สภาวะการทำแห้งหลังกระบวนการแช่แข็ง เช่น อุณหภูมิ และ เวลาที่ใช้ในการทำแห้งผลผลิตแต่ละชนิดจะแตกต่างกันไป ขึ้นอยู่กับขนาด และชิ้นผลไม้ ปริมาณน้ำ ความไวต่อความ

ร้อน และ ปฏิบัติต่าง ๆ สำหรับอุณหภูมิที่เหมาะสมในการทำแห้งผลไม้ที่ผ่านการออสโมซิสแล้ว อยู่ในช่วง 55-65 °C และ ใช้เวลาในการอบแห้งประมาณ 20 ชั่วโมง (จิราภรณ์ สอดจิตร์. 2528.)

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

รุ่งนภา พงศ์สวัสดิ์มานิต.(2535:) ทำการทดลองลดเวลาในการออสโมซิสแอปเปิ้ล โดยให้ สารละลายน้ำตาลมีการเคลื่อนที่แบบจังหวะทุก ๆ 30 นาที และการเคลื่อนที่แบบต่อเนื่องภายใน 60 นาที พบว่าสามารถลดเวลาในการแช่อิ่มสับปะรดให้เหลือเพียง 15 ชั่วโมง และ 7 ชั่วโมงตามลำดับ ในขณะที่ถ้าทำการออสโมซิสโดยไม่มีการเคลื่อนที่ของน้ำตาลเลย จะต้องใช้เวลา ทั้งหมด 48 ชั่วโมง เนื่องจาก ขณะทำการออสโมซิส น้ำที่มีอยู่ในชิ้นผลไม้จะไหลออกมายังบริเวณสารละลายภายนอก ทำให้บริเวณรอบๆชิ้นผลไม้มีความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลเจือจางกว่าบริเวณอื่น

จิราภรณ์ สอดจิตร์.(2528:) ทดลองเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลในการออสโมซิสแอปเปิ้ล ซึ่งแสดงว่าผลไม้มีการสูญเสียน้ำมากขึ้น เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาล เนื่องจากสารละลายน้ำตาลซูโครสที่มีความเข้มข้นสูงจะทำให้เกิดแรงดันออสโมติกสูงกว่าสารละลายที่มีความเข้มข้นต่ำ แต่ไม่ควรใช้สารละลายน้ำตาลที่มีความเข้มข้นมากกว่า 70 °Brix เนื่องจาก สารละลายจะมีความหนืดสูงเกินไป ทำให้การถ่ายเทมวลสารลดลงและทำให้ไม่สะดวกในระหว่าง การแช่อิ่ม

ธารธรรมแก้ว เชื้อเมือง.(2537:) ทดลองเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลจาก 50 เป็น 60 และ 70 °Brix ที่ 30 °C พบว่าเวลาแอปเปิ้ลที่สูญเสียน้ำไปร้อยละ 25 คือ 170,130 และ 110 นาทีตามลำดับ

พรเพ็ญ เปรมโยธิน.(2538:) ทดลองลวกมะม่วงด้วยน้ำร้อนอุณหภูมิ 80 และ 100 °C ใน เวลาต่าง ๆ กัน พบว่าการลวกในน้ำร้อนที่ 100 °C นาน 10 นาที จะให้ค่าระดับการเกิดสีน้ำตาลต่ำ ที่สุดและสะดวกในการแปรรูป การลวกผลไม้ด้วยไอน้ำที่ 100 °C นาน 2-5 นาที ขึ้นกับขนาดของ ชิ้นผลไม้การใช้ความร้อนในการลวกผลไม้สามารถป้องกันการเกิดสีน้ำตาลเนื่องจากเอนไซม์ polyphenol oxidase ซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญของการสูญเสียคุณภาพ เช่น มีการเปลี่ยนแปลงทางเคมี ทำให้เกิดกลิ่นรสที่ไม่ต้องการ การสูญเสียคุณค่าทางอาหาร และ การเกิดเม็ดสี นอกจากนี้การลวก ที่เหมาะสมยังช่วยปรับปรุงลักษณะเนื้อสัมผัสเพื่อเพิ่มอัตราการแพร่ของน้ำตาลเข้าสู่เนื้อผลไม้ใน ระหว่างกระบวนการแช่อิ่มด้วย ดังนั้นการลวกที่สั้น หรือ นานเกินไปจะมีผลต่อคุณภาพของ ผลิตภัณฑ์ การลวกสามารถทำได้ในสารละลายต่าง ๆ กันขึ้นกับชนิดของผลไม้เพื่อรักษาสีของผลไม้ ให้คงที่ตามต้องการ วีระ พุ่ม.(2539:) ทดลอง การหาสภาพที่เหมาะสมในการผลิตลำไยอบแห้ง พบว่าเอนาลำไยแช่ในสารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟด์ ความเข้มข้น 1.0 เปอร์เซ็นต์ เวลา 30 นาที แล้วนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 55 °C 12 ชั่วโมง จะทำให้ได้ผลผลิตผลิตภัณฑ์ลำไยอบแห้งที่มีคุณภาพดี ในเรื่องของลักษณะที่ปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และการยอมรับโดยรวม

กุลยา จันทรอรุณ.(2540:) ทดลองออสโมซิสแอปเปิ้ลที่มีรูปร่างและขนาดต่างกัน พบว่าการสูญเสียน้ำและการเพิ่มขึ้นของน้ำตาลในชิ้นแอปเปิ้ล จะแตกต่างกันพืชที่หั่นเป็นชิ้นหนาประมาณ 2 ซม. จะมีอัตราการเปลี่ยนแปลงของอัตราการถ่ายเทมวลสารมากกว่าผลไม้ที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ยประมาณ 1.8 ซม. เนื่องจากพืชมีอัตราส่วนระหว่างพื้นที่ผิวสัมผัสต่อปริมาตรมากกว่า

Lenart and Flink.(1984:) ทดลองใช้อัตราส่วนระหว่างผลไม้และสารละลายน้ำตาลความเข้มข้น 60.6 °Brix ตั้งแต่ 1:1 จนถึง 1:10 (น้ำหนัก/น้ำหนัก) ในการออสโมซิสที่ 21 °C นาน 20 ชั่วโมง พบว่าเมื่ออัตราส่วนระหว่างผลไม้และสารละลายน้ำตาลเพิ่มขึ้น อัตราการสูญเสียน้ำจะเพิ่มขึ้นร้อยละ (โดยน้ำหนัก) 50.4 เป็น 61.0 และอัตราการเพิ่มขึ้นของน้ำตาลในผลไม้จะเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 13.0 เป็น 16.9 เนื่องจากเมื่ออัตราส่วนระหว่างผลไม้และสารละลายน้ำตาลเพิ่มขึ้น น้ำที่ซึมออกจากชิ้นผลไม้ มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้น ของสารละลายเพียงเล็กน้อย เพราะมีสารละลายน้ำตาลปริมาณมาก ดังนั้น ความแตกต่างระหว่างปริมาณน้ำภายในเซลล์ผลไม้ และสารละลายภายนอกจึงมีค่าสูงอยู่ตลอดเวลาทำให้เกิดการถ่ายเทมวลมากอัตราการออสโมซิสจึงเร็วกว่าการใช้สารละลายน้ำตาลปริมาณน้อยอัตราส่วนระหว่างผลไม้และสารละลายน้ำตาลที่นิยมใช้ จะแตกต่างกันไปตามชนิดของผลไม้

Torreggiana. D.E. Fomi and A. Rizzoto. (1987:) ได้ศึกษามาตรฐานทางเคมีของมะขามป้อม โดยใช้ตัวอย่างมะขามป้อมจำนวน 19 ตัวอย่างโดยศึกษาเปรียบเทียบกับตัวอย่างผลของมะขามป้อมจากสวนสมุนไพรกรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ จันทบุรี และพบว่าผลมะขามป้อมแห้งที่จะนำมาใช้ประโยชน์ในทางยาควรมีคุณภาพดังนี้คือ มีปริมาณแฉ่ำไม่เกิน 4 % ปริมาณเถ้าที่ไม่ละลายในกรดไม่เกิน 1% ปริมาณความชื้นไม่เกิน 9% ปริมาณสิ่งสกปรกที่ละลายในน้ำ ไม่น้อยกว่า 26% ปริมาณสิ่งสกปรกที่ละลายในแอลกอฮอล์ไม่น้อยกว่า 20% โดยน้ำหนัก

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 เก็บข้อมูลพื้นฐาน

สำรวจพื้นที่ และเก็บข้อมูลปริมาณผลผลิต การปลูก การแปรรูป และการเก็บรักษา มะขามป้อม ในตำบลบ่อเกลือใต้ อำเภอบ่อเกลือ จังหวัดน่าน พร้อมทั้งเก็บตัวอย่างมะขามป้อมมาล้างทำความสะอาดด้วยน้ำสะอาด ก่อนนำไปเก็บที่ห้องแช่แข็ง อุณหภูมิ -20°C ก่อนนำมาทดลอง

3.2 เตรียมวัตถุดิบ วัสดุ อุปกรณ์และสารเคมี

3.2.1 วัตถุดิบ

1. ผลมะขามป้อม เก็บเกี่ยวจากตำบลบ่อเกลือใต้ อำเภอบ่อเกลือ จังหวัดน่าน โดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางผล 1.5 ซม. ถึง 2.5 ซม.

2. น้ำตาลทรายฟอกขาว

3.2.2 วัสดุ

1. ถุงพลาสติกทนร้อน พอลิโพรพิลีน(polypropylene)

3.2.3 อุปกรณ์

1. ตู้แช่แข็ง

2. ตู้แช่เย็น

3. ตู้อบลมร้อน รุ่น ULM 700 (Memmert, Germany)

4. เครื่องรีแฟกโตมิเตอร์ รุ่น Atago N-23 (Atago, Japan)

5 เครื่องชั่งไฟฟ้าความละเอียด 4 ตำแหน่ง รุ่น Pricisa 303A (Pricisa Instrument Ltd., Switzerland)

3.2.4 สารเคมี

1. โซเดียมเมตาไบซัลไฟด์

2. กรดซิตริก (กรดมะนาว)

3.3 ศึกษาผลของการให้ความร้อนมะขามป้อมต่อการถ่ายเทมวลสารระหว่างการแช่

1. นำมะขามป้อมตัวอย่างที่เตรียมไว้มาล้างน้ำสะอาด ใช้เข็มจิ้มแล้วแช่ด้วยน้ำเกลือ 24 ชั่วโมง เพื่อลดความฝาดและขมลง

2. นำมะขามป้อมออกจากน้ำเกลือและทำให้สะเด็ดน้ำ จากนั้นนำมะขามป้อมมาผ่านการให้ความร้อนตามระยะเวลาที่กำหนดคือ เวลา 0 นาที, 5 นาที และ 10 นาที

3 เตรียมสารละลายน้ำตาลความเข้มข้นร้อยละ 65 โดยละลายน้ำตาลทราย 650 กรัม ใน น้ำ 350 กรัม ต้มเดือด 1-2 นาที กรองด้วยผ้าขาวบาง

4. เติมกรดซิตริกหรือกรดมะนาวในปริมาณ 1 % โดยน้ำหนัก และโซเดียมเมตาไบ ซัลไฟต์ 0.2 % โดยน้ำหนัก กรองให้สะอาดและทิ้งให้เย็น

5. ชั่งน้ำหนักมะขามป้อมตัวอย่างละ 20 กรัม จากนั้นนำมาแช่ในสารละลายน้ำตาลความ เข้มข้นร้อยละ 65 โดยใช้อัตราส่วนมะขามป้อมต่อสารละลายน้ำตาลเป็น 1: 2 (น้ำหนัก: น้ำหนัก)

6. แยกมะขามป้อมออกจากสารละลายน้ำตาลทุก 1, 3, 6, และ 12 ชั่วโมงโดยทำจนกว่า การถ่ายเทมวลสารระหว่างมะขามป้อมและสารละลายน้ำตาลคงที่

7. ชั่งน้ำหนักมะขามป้อม, สารละลายน้ำตาลหลังแช่ และวัดปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (TSS) ของสารละลายน้ำตาลด้วย เครื่องรีแฟกโตมิเตอร์

8. ประเมินการถ่ายเทมวลสารระหว่างการแช่ห่อ และประเมินคุณภาพมะขามป้อมแช่ห่อที่ ในด้านคุณภาพทางประสาทสัมผัส ได้แก่ สี, ลักษณะปรากฏ, เนื้อสัมผัส, รสชาติ และกลิ่น

9. เลือกเวลาการให้ความร้อนมะขามป้อมที่เหมาะสมจากประสิทธิภาพการถ่ายเทมวลสาร และคุณภาพมะขามป้อมแช่ห่อ (แผนภูมิการทดลองแสดงในรูปที่ 3.3)

3.4 ศึกษาผลของความเข้มข้นสารละลายน้ำตาลต่อการถ่ายเทมวลสารระหว่างการแช่ห่อ มะขามป้อม

1. เตรียมมะขามป้อมตามข้อ 1 และ 2 ในการทดลองที่ 3.3 โดยให้ความร้อนตาม ระยะเวลาที่เลือกจากการทดลองที่ 3.3

2. เตรียมสารละลายน้ำตาลตามข้อ 3 และ 4 แต่ใช้ความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาล แตกต่างกัน คือ ร้อยละ 45, 55 และ 65

3. แช่มะขามป้อมในสารละลายตามข้อ 5 ในการทดลองที่ 3.3

4. ทำตามข้อ 6 ถึง 8 ในการทดลองที่ 3.3

5. เลือกความเข้มข้นสารละลายน้ำตาลที่เหมาะสมจากประสิทธิภาพการถ่ายเทมวลสาร และคุณภาพมะขามป้อมแช่ห่อ (แผนภูมิการทดลองแสดงในรูปที่ 3.4)

3.5 ศึกษาผลของอัตราส่วนผลไม้ต่อสารละลายน้ำตาลต่อการถ่ายเทมวลสารระหว่างการ แช่ห่อมะขามป้อม

1. เตรียมมะขามป้อมตามข้อ 1 และ 2 ในการทดลองที่ 3.2 โดยให้ความร้อนตาม ระยะเวลาที่เลือกจากการทดลองที่ 3.3

2. เตรียมสารละลายน้ำตาลตามข้อ 3 และ 4 โดยความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลที่เลือก จาก การทดลอง 3.4

3. แช่มะขามป้อมในสารละลายตามข้อ 5 ในการทดลองที่ 3.3 แต่ใช้อัตราส่วนมะขามป้อมต่อสารละลายน้ำตาลแตกต่างกันเป็น 1:1, 1:2 และ 1:4 (น้ำหนัก:น้ำหนัก)

4. ทำตามข้อ 6 ถึง 8 ในการทดลองที่ 3.4

5. เลือกอัตราส่วนมะขามป้อมต่อสารละลายน้ำตาลที่เหมาะสมจากประสิทธิภาพการถ่ายเทมวลสาร และคุณภาพมะขามป้อมแช่อิ่ม (แผนภูมิการทดลองแสดงในรูปที่ 3.5)

3.6 ศึกษาสภาวะการอบแห้งต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์มะขามป้อมแช่อิ่มอบแห้ง

1. เตรียมมะขามป้อมตามข้อ 1 และ 2 ในการทดลองที่ 3.3 โดยให้ความร้อนตามระยะเวลาที่เลือกจากการทดลองที่ 3.3

2. เตรียมสารละลายน้ำตาลตามข้อ 3 และ 4 โดยความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลที่เลือกจากการทดลอง 3.4

3. แช่มะขามป้อมในสารละลายตามข้อ 5 ในการทดลองที่ 3.3 โดยใช้อัตราส่วนมะขามป้อมต่อสารละลายน้ำตาลที่เลือกจากการทดลอง 3.5

4. แช่อิ่มจนการถ่ายเทมวลสารคงที่

5. นำมะขามป้อมแช่อิ่มมาทำแห้งในเตาอบลมร้อนที่อุณหภูมิ 50, 60 และ 70 °C จนมะขามป้อมแช่อิ่มมีความชื้นประมาณ 15%

6. ประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส ได้แก่ สี, ลักษณะปรากฏ, เนื้อสัมผัส, กลิ่น, รสชาติ และการยอมรับโดยรวม เลือกอุณหภูมิการทำแห้งที่เหมาะสมจากคุณภาพผลิตภัณฑ์มะขามป้อมแช่อิ่มอบแห้ง (แผนภูมิการทดลองแสดงในรูปที่ 3.6)

3.7 ศึกษาอายุการเก็บรักษามะขามป้อมแช่อิ่มอบแห้ง

1. นำมะขามป้อมแช่อิ่มอบแห้งที่ผลิตจากกระบวนการผลิตที่เหมาะสม (เลือกสภาวะจากการทดลองที่ 3.3-3.6) มาบรรจุแบบมีอากาศในถุงพลาสติกทนร้อนพอลิโพรพิลีน เก็บเป็นระยะเวลา 1 เดือน ที่อุณหภูมิห้องและอุณหภูมิแช่เย็น

2. ทุกสัปดาห์ สังเกตการเกิดขึ้นของเชื้อรา และประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส แบบ 7-point hedonic scale โดยใช้ผู้ชิม 40 คน โดยทดสอบด้าน สี, ลักษณะปรากฏ เนื้อสัมผัส, กลิ่น, รสชาติ และการยอมรับโดยรวม (แผนภูมิการทดลองแสดงในรูปที่ 3.7)

3.8 ประเมินคุณภาพที่เกี่ยวข้องกับการศึกษา

3.8.1 ความชื้น นำตัวอย่างเข้าเตาอบลมร้อนอุณหภูมิ 60 °C อบจนตัวอย่างมีน้ำหนักคงที่ คำนวณปริมาณความชื้นจาก

$$\text{ปริมาณความชื้น (\% น้ำหนักเปียก)} = \frac{\text{น้ำหนักเริ่มต้น} - \text{น้ำหนักสุดท้าย}}{\text{น้ำหนักเริ่มต้น}} \times 100$$

3.8.2 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ วัดด้วย Hand refractometer หน่วยเป็น °Brix

3.8.3 การถ่ายเทมวลสารระหว่างการแช่อิม คำนวณจากการเพิ่มขึ้นของสารละลายน้ำตาล ในมะขามป้อม จากการถ่ายเทสารละลายน้ำตาลสู่มะขามป้อม โดยประมาณจากการเพิ่มขึ้นของน้ำหนักมะขามป้อมเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำหนักเริ่มต้น หน่วยเป็น % และการลดลงของปริมาณของแข็งที่ละลายได้ของสารละลายน้ำตาล(°Brix)เปรียบเทียบกับปริมาณของแข็งที่ละลายได้ของสารละลายน้ำตาลเริ่มต้น หน่วยเป็น %

3.8.4 คุณภาพทางประสาทสัมผัส ประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของตัวอย่าง ได้แก่ ลักษณะปรากฏ, สี, กลิ่น, เนื้อสัมผัส, รสชาติ และการยอมรับโดยรวมประเมินด้วยผู้ชิม 40 คน โดยใช้แบบสอบถามแบบ 7 คะแนน (คะแนน 1 = ความชอบน้อยที่สุดจนถึง คะแนน 7 = ความชอบมากที่สุด)

3.9 การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

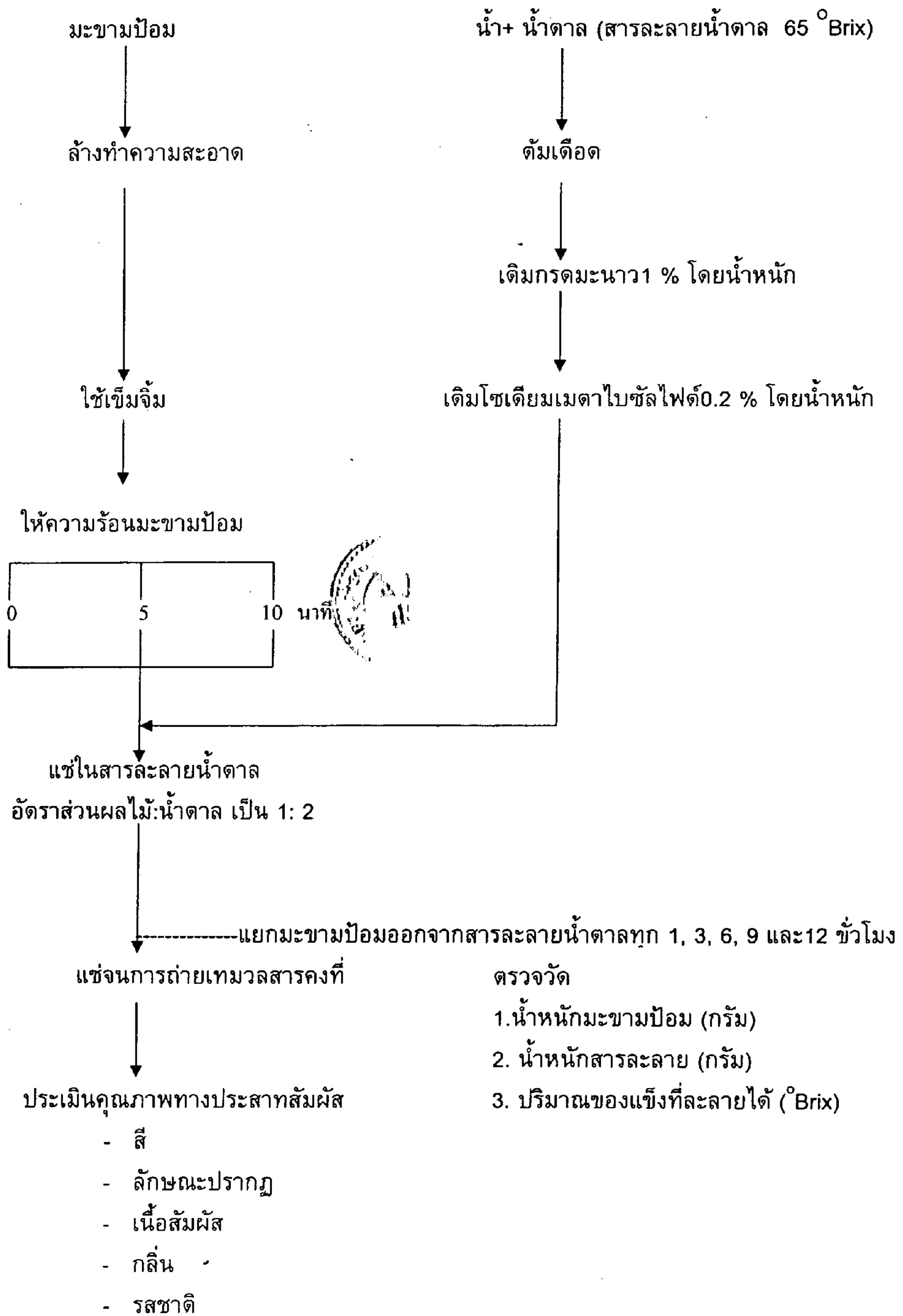
นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ(Analysis of variance, ANOVA) โดยใช้โปรแกรมทางสถิติ SPSS V.11.5 และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

3.10 การมุ่งเน้นขยายผลสู่ชุมชน, ผู้เรียน และสถานศึกษา

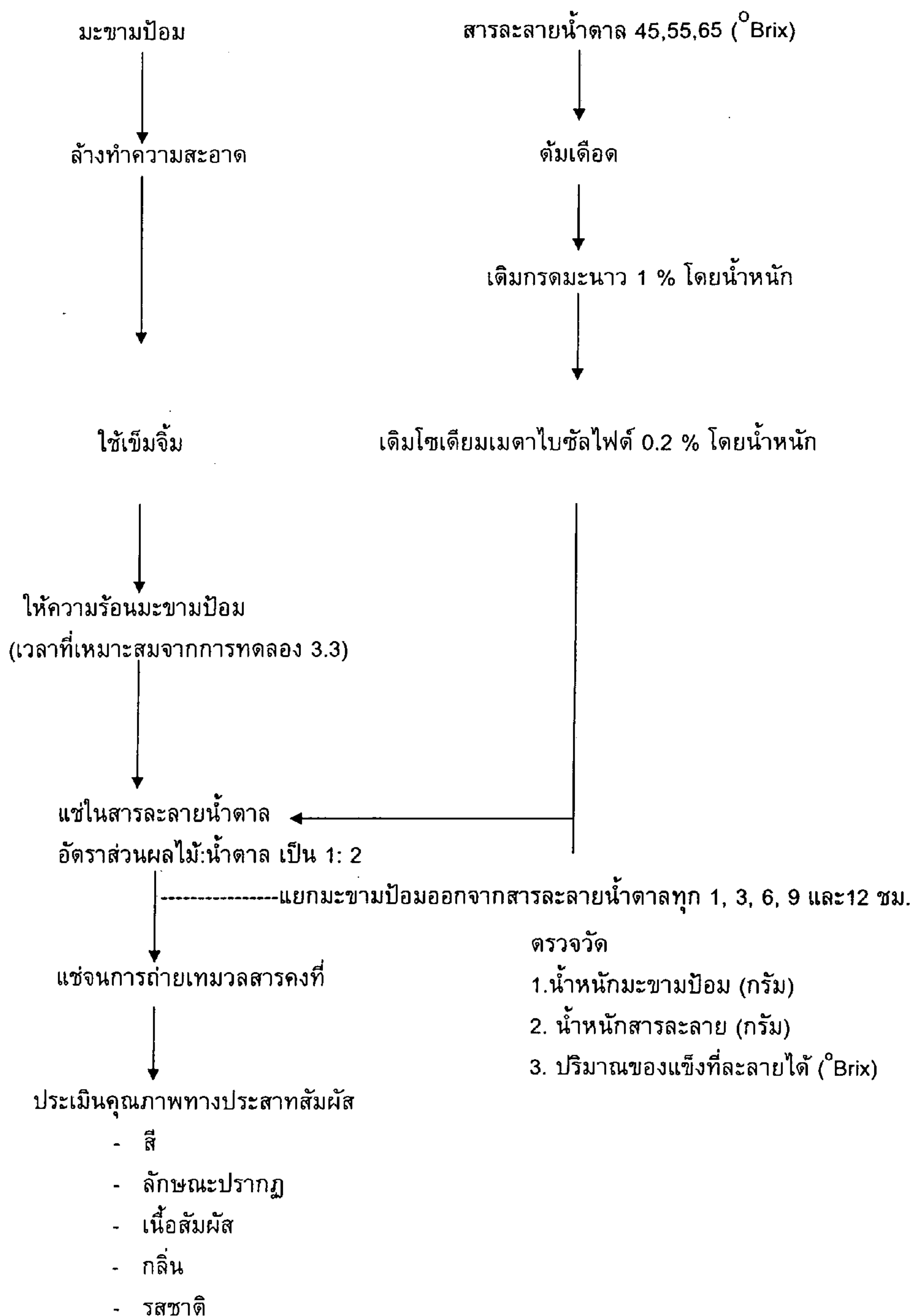
3.8.1 จัดแบบบูรณาการการเรียนรู้ให้กับนักเรียนช่วงชั้นที่ 1

3.8.2 นำไปจัดเป็นชุดการเรียนรู้ในสาระวิทยาศาสตร์ของช่วงชั้นที่ 1

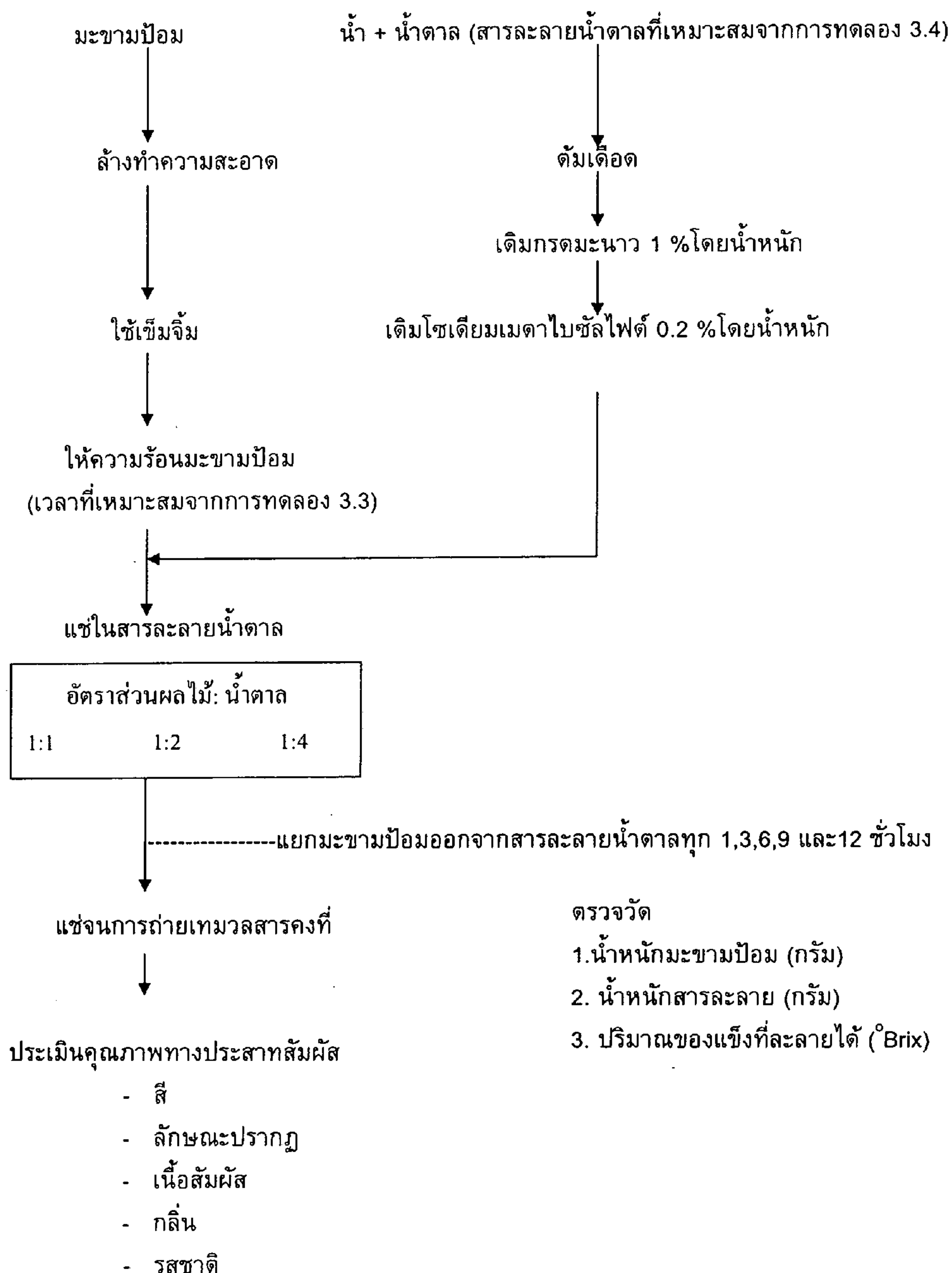
3.8.3 นำความรู้และประสบการณ์ที่ได้รับไปขยายผลสู่ชุมชน



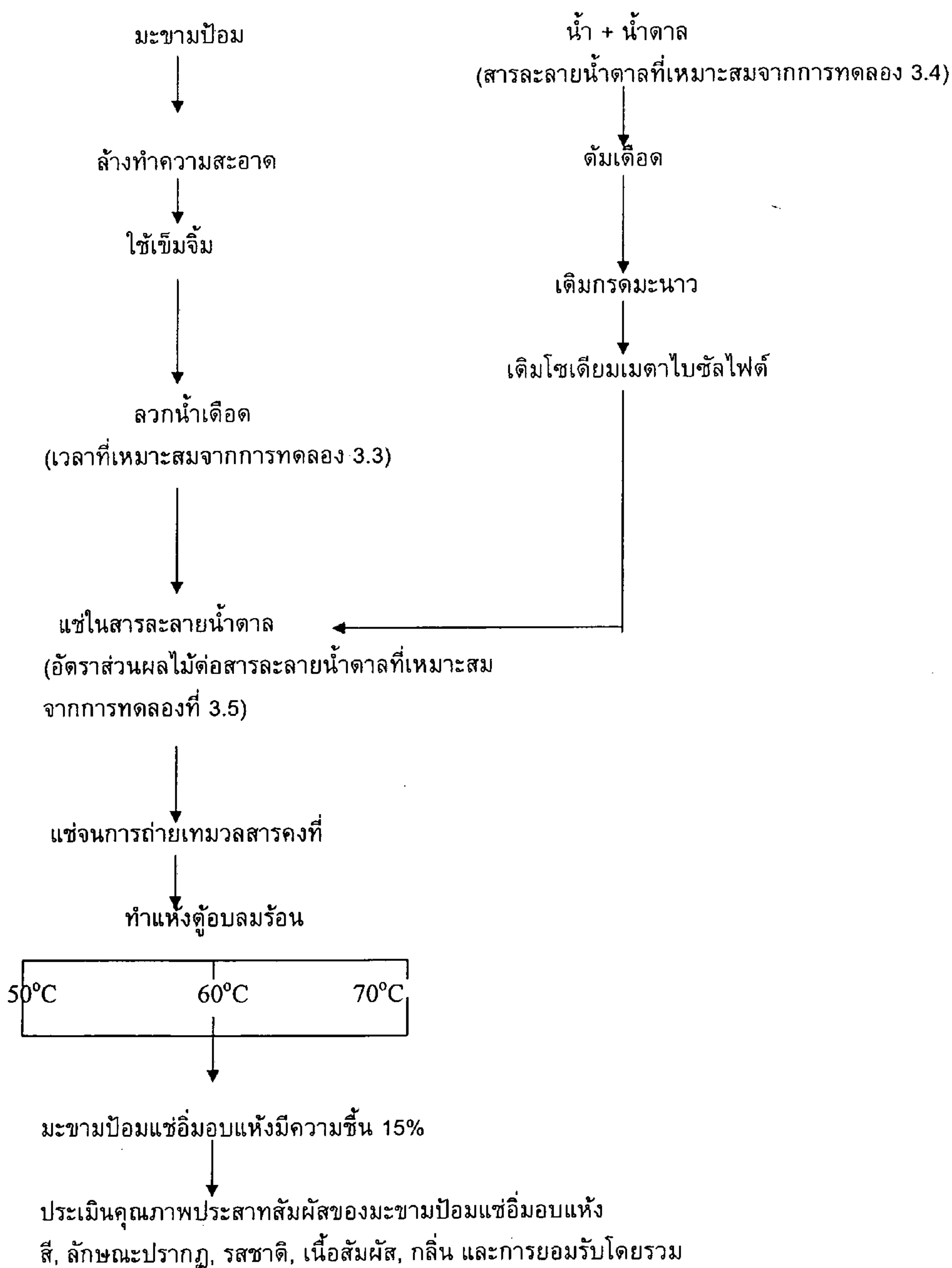
ภาพประกอบ 8 การศึกษาผลของการให้ความร้อนมะขามป้อมต่อการถ่ายเทมวลสารระหว่างการแช่



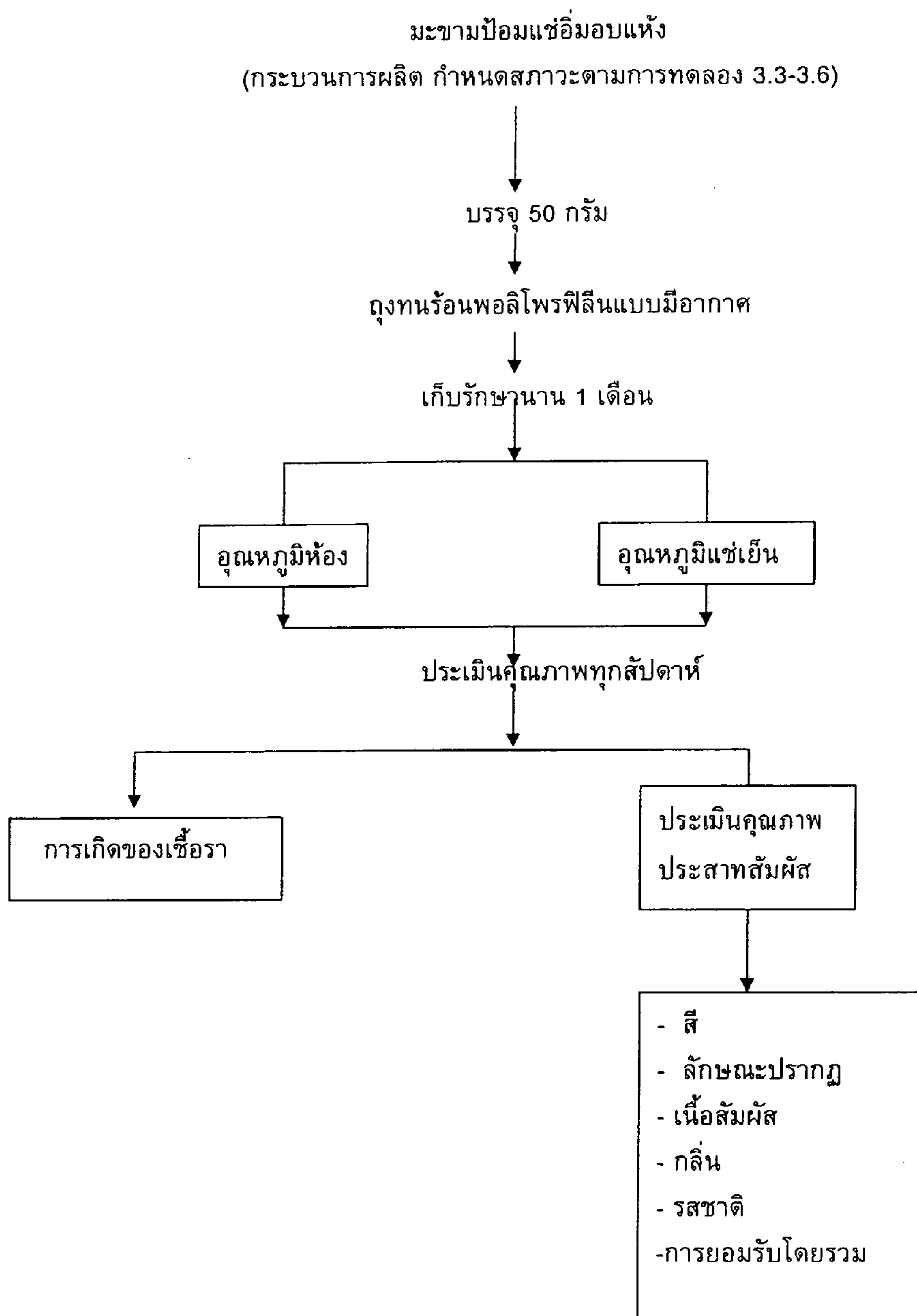
ภาพประกอบ 9 การศึกษาผลของความเข้มข้นสารละลายน้ำตาลต่อการถ่ายเทมวลสารระหว่างการแช่



ภาพประกอบ 10 การศึกษาผลของอัตราส่วนมะขามป้อมต่อสารละลายน้ำตาลต่อการถ่ายเทมวลสารระหว่างการแช่



ภาพประกอบ 11 การศึกษาสภาวะการอบแห้งต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์มะขามป้อมแช่อิ่มอบแห้ง



ภาพประกอบ 12 การศึกษาอายุการเก็บรักษามะขามป้อมแช่อิ่มอบแห้ง

บทที่ 4

ผลการทดลอง

การพัฒนากระบวนการผลิตมะขามป้อมแช่อิ่มอบแห้ง ทำโดยการศึกษาผลของการให้ความร้อนมะขามป้อม, ความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาล และอัตราส่วนผลไม้ต่อสารละลายน้ำตาลต่อการถ่ายเทมวลสารระหว่างการแช่อิ่ม จากนั้นศึกษาสภาวะการอบแห้งที่เหมาะสม และประเมินอายุการเก็บรักษามะขามป้อมแช่อิ่มอบแห้ง ซึ่งได้ผลการทดลองดังต่อไปนี้

4.1 ผลของการให้ความร้อนมะขามป้อมต่อการถ่ายเทมวลสารระหว่างการกระบวนการแช่อิ่ม

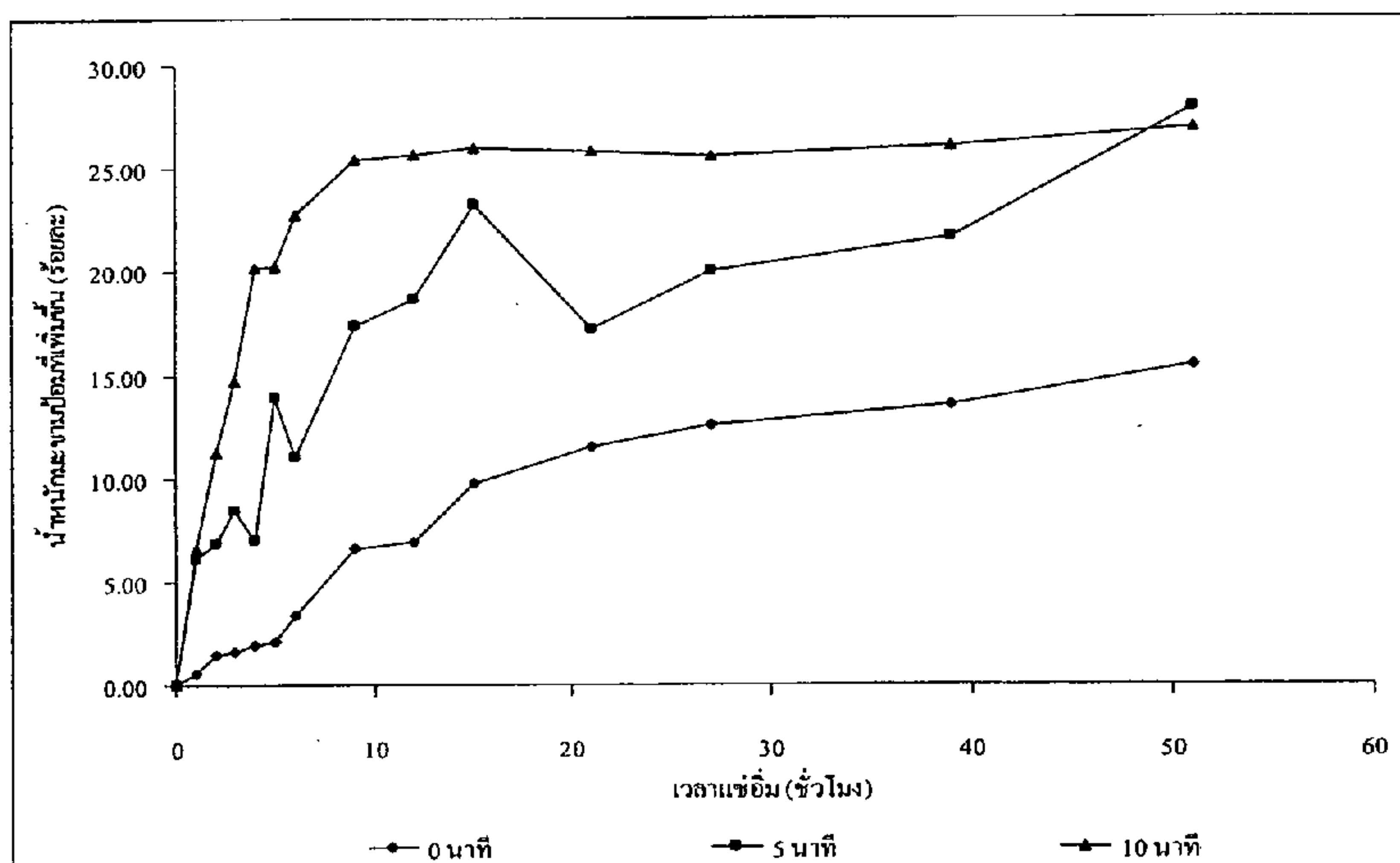
เมื่อนำมะขามป้อมแช่ในสารละลายน้ำตาล ความแตกต่างของความเข้มข้น ของตัวถูกละลาย (น้ำตาล) ในมะขามป้อม และสารละลายน้ำตาลจะทำให้เกิดความแตกต่าง ของแรงดันออสโมติกเกิดเป็นแรงขับให้มีการถ่ายเทมวลสารผ่านเยื่อเลือกผ่าน ได้แก่ น้ำจะซึมออกจากเซลล์มะขามป้อมสู่สารละลายน้ำตาลภายนอก และน้ำตาลจะซึมจากสารละลายน้ำตาลภายนอกสู่ภายในเซลล์มะขามป้อม ทำให้เกิดการสูญเสียน้ำจากมะขามป้อม และปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในมะขามป้อมเพิ่มขึ้น (มณฑล สุกใส, 2547:) โดยในการศึกษานี้ ประเมินการถ่ายเทมวลสารในระหว่างการแช่อิ่ม ด้วยการประมาณน้ำตาลที่ซึมจากสารละลายน้ำตาล ภายนอกสู่ภายในเซลล์มะขามป้อม จากค่าน้ำหนักมะขามป้อมแช่อิ่มที่เพิ่มขึ้น และการลดลงของปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในสารละลายน้ำตาล ในระหว่างการแช่อิ่ม

น้ำหนักมะขามป้อมที่เพิ่มขึ้นในระหว่างการแช่อิ่มมะขามป้อมที่ไม่ผ่านการให้ความร้อน(0 นาที) ผ่านการให้ความร้อน 5 และ 10 นาที แสดงในภาพประกอบ 13 พบว่าน้ำหนักมะขามป้อมที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากน้ำตาลจากสารละลายน้ำตาล 65 °Brix ซึมผ่านเข้าไปในเซลล์มะขามป้อม โดยน้ำหนักจะเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาที่แช่อิ่ม ก่อนที่จะคงที่ โดยน้ำหนักมะขามป้อมที่ผ่านการให้ความร้อน 10 นาทีจะเพิ่มขึ้นมากที่สุด รองลงมา คือ มะขามป้อมที่ผ่านการให้ความร้อน 5 นาทีและ 0 นาที ตามลำดับ

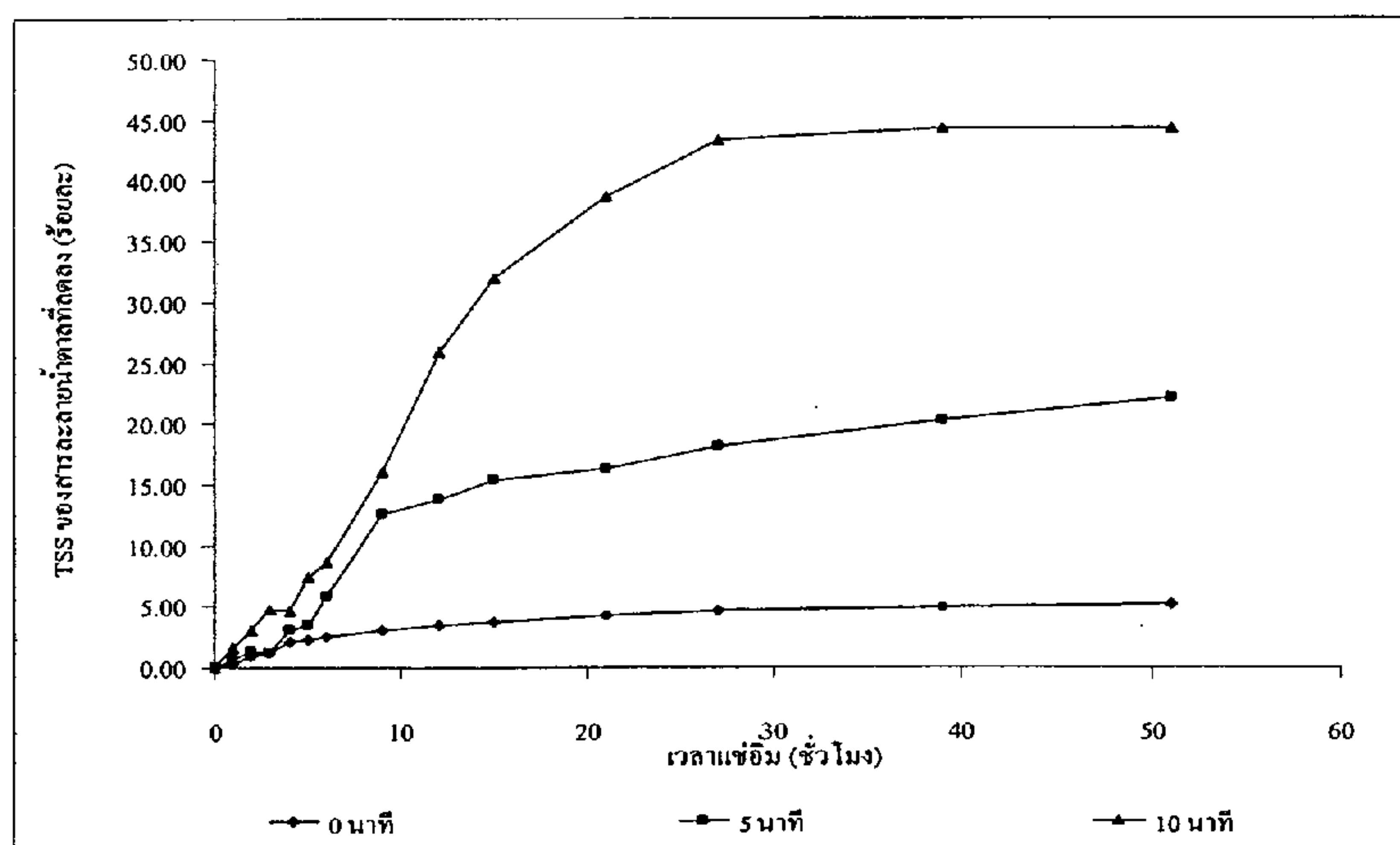
เมื่อพิจารณาปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในสารละลายน้ำตาล พบว่ามีการลดลง เนื่องจากการซึมผ่านของน้ำตาลเข้าสู่เซลล์ ของมะขามป้อม ซึ่งสอดคล้องกับ การเพิ่มขึ้นของน้ำหนักมะขามป้อม โดยภาพประกอบ 14 แสดงปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในสารละลายน้ำตาลที่ลดลงในระหว่างการแช่อิ่มมะขามป้อมที่ไม่ผ่านการให้ความร้อน (0 นาที) ผ่านการให้ความร้อน 5 และ 10 นาที พบว่าเมื่อนำมะขามป้อมที่ไม่ผ่านการให้ความร้อน (0 นาที) มาแช่ในสารละลายน้ำตาล ปริมาณของแข็งที่ละลายได้

ในสารละลายน้ำตาลค่อนข้างคงที่ แสดงให้เห็นว่า การซึมผ่านของสารละลายน้ำตาลเข้าสู่เซลล์มะขามป้อมน้อยมาก ในขณะที่เมื่อนำมะขามป้อมที่ผ่านการให้ความร้อนมาแช่ในสารละลายน้ำตาล น้ำตาลจะซึมผ่านเข้าสู่เซลล์มะขามป้อมมากกว่า ทำให้ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในสารละลายน้ำตาลลดลงมากกว่า โดยการซึมผ่านในมะขามป้อมที่ผ่านการให้ความร้อน 10 นาทีมากที่สุด รองลงมา คือ 5 และ 0 นาที ตามลำดับ

การถ่ายเทมวลสารในระหว่างการแช่อิ่ม จากการพิจารณาการซึมผ่านของน้ำตาลผ่านเซลล์มะขามป้อม ในมะขามป้อมที่ผ่านการให้ความร้อนมากขึ้น อาจจะเนื่องจากการให้ความร้อนก่อนการแช่อิ่มจะทำให้โครงสร้างของเซลล์ที่ต้านทานการถ่ายเทมวล เกิดการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางกายภาพอ่อนตัวลง และสูญเสียคุณสมบัติการเป็นเยื่อเลือกผ่าน จึงทำให้อัตราการถ่ายเทมวลสารของน้ำในผลไม้และน้ำตาลในสารละลายภายนอกสูงขึ้น และทำให้ลดเวลาในการออสโมซิสลง (Levi.1983.)



ภาพประกอบ 13 น้ำหนักระงาป้อมที่เพิ่มขึ้น (ร้อยละ) ในระหว่างการแช่ต้มมะขามป้อมที่ไม่ผ่านการให้ความร้อน (0 นาที) ผ่านการให้ความร้อน 5 และ 10 นาที ด้วยสารละลายน้ำตาล 65° Brix



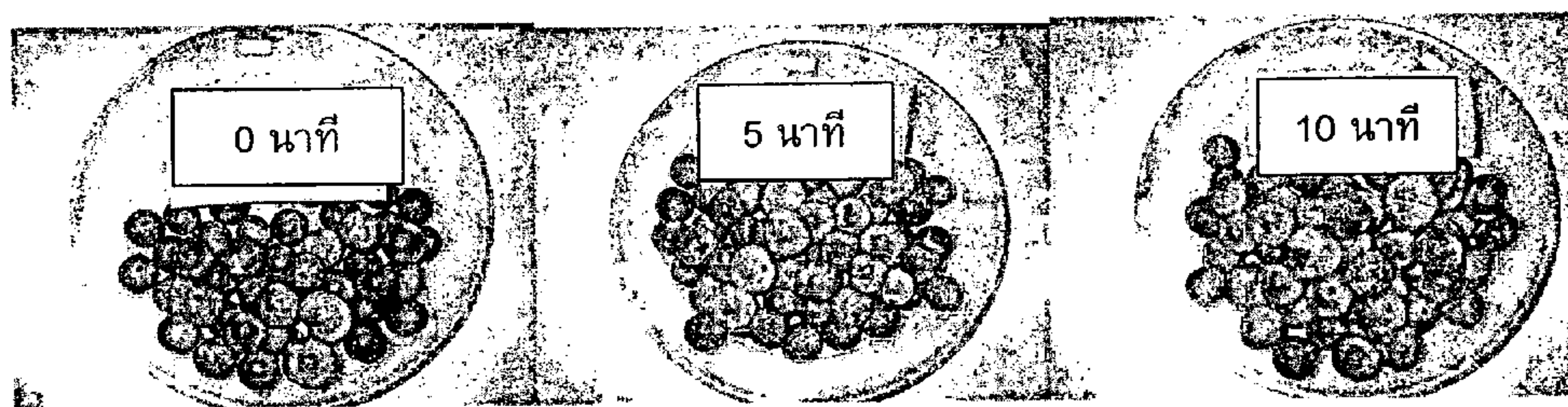
ภาพประกอบ 14 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในสารละลายน้ำตาลที่ลดลง (ร้อยละ) ในระหว่างการแช่ต้มมะขามป้อมที่ไม่ผ่านการให้ความร้อน (0 นาที) ผ่านการให้ความร้อน 5 และ 10 นาทีด้วยสารละลายน้ำตาล 65° Brix

จากนั้นเมื่อพิจารณาคุณภาพทางประสาทสัมผัสของมะขามป้อมที่ผ่านการให้ความร้อนแตกต่างกันและแช่อิ่ม(ภาพประกอบ 13 และภาพประกอบ 14) พบว่ามะขามป้อมที่ผ่านการให้ความร้อนที่เวลา 10 นาที ก่อนนำไปแช่อิ่มจะมีลักษณะปรากฏ เนื้อนุ่ม ยุ่ย เส้นใยฉีกขาดบางส่วน เนื่องจากโครงสร้างของเซลล์มะขามป้อมถูกทำลายจากความร้อน แต่มีสีเหลือง กลิ่นและรสชาติดี ส่วนมะขามป้อมที่ผ่านการให้ความร้อน 5 นาที มีลักษณะโครงสร้างของเซลล์ที่ถูกทำลายจากความร้อนน้อยลง ให้สีเหลืองปกติ กลิ่นและรสชาติไม่ดีขึ้น ในขณะที่มะขามป้อมที่ไม่ผ่านการให้ความร้อน (0 นาที) แช่อิ่ม จะลักษณะปรากฏ สี กลิ่น และรสชาติไม่ดี ซึ่งผลการทดลองสอดคล้องกับ (พรเพ็ญ เปรมโยธิน.2538: 40) ที่รายงานว่า การให้ความร้อนจะทำลายเอ็นไซม์ที่อยู่ในผักผลไม้ ซึ่งมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงต่างๆ เช่น การเปลี่ยนแปลงสี, กลิ่น และรสชาติ ทำให้ผลไม้มีความอ่อนนุ่ม ลดปริมาณจุลินทรีย์ กลิ่นฉุนและรสที่ขมฝาด

เมื่อพิจารณาเลือกสภาวะการให้ความร้อนมะขามป้อมก่อนการแช่อิ่มที่เหมาะสม พบว่าการให้ความร้อนมะขามป้อม 10 นาทีก่อนนำมาแช่อิ่มเป็นสภาวะที่เหมาะสมที่สุด เนื่องจากทำให้เกิดการซึมผ่านของสารละลายน้ำตาลสู่เซลล์มะขามป้อม ในระหว่างการแช่อิ่มมากและเร็วที่สุด และคุณภาพทางประสาทสัมผัสของมะขามป้อมที่ผ่านการแช่อิ่มดี กลิ่นดี และรสชาติหวาน

ตาราง 2 คุณภาพทางประสาทสัมผัสของมะขามป้อมที่ผ่านการให้ความร้อนเป็นระยะเวลาแตกต่างกันก่อนจะแช่อิ่ม

เวลาให้ความร้อน (นาที)	สี	ลักษณะปรากฏ	กลิ่น	รสชาติ
0	เหลืองซีด	เนื้อค่อนข้างแข็ง เส้นใยในเนื้อเหนียวและมองเห็นได้ชัด	มีกลิ่นฉุน	เปรี้ยวฝาดมาก
5	เหลืองปกติ	เนื้อนุ่ม มีรอยแตกบางส่วน เส้นใยในเนื้อเหนียว	กลิ่นฉุนเล็กน้อย	เปรี้ยวเล็กน้อย
10	เหลืองปกติ	เนื้อนุ่ม มีรอยแตกบางส่วนใยในเนื้ออ่อนนุ่ม	ไม่มีกลิ่นฉุน	หวาน



ภาพประกอบ 15 มะขามป้อมที่ไม่ผ่านการให้ความร้อน (0 นาที) ผ่านการให้ความร้อน 5 นาที และ 10 นาที ก่อนจะนำไปแช่อิ่ม

4.2 ผลของความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลต่อการถ่ายเทมวลสารระหว่างกระบวนการแช่อิ่ม

น้ำหนักมะขามป้อมที่เพิ่มขึ้นในระหว่างการแช่อิ่มมะขามป้อมที่ผ่านการให้ความร้อน 10 นาที เมื่อแช่ในสารละลายน้ำตาล 45, 55 และ 65 °Brix แสดงในภาพประกอบ 16 พบว่าน้ำหนักมะขามป้อมที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากน้ำตาลจากสารละลายน้ำตาลซึมผ่านเข้าไปในเซลล์มะขามป้อม โดยน้ำหนักจะเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาที่แช่อิ่ม ก่อนที่จะคงที่ โดยการเพิ่มขึ้นของน้ำหนักมะขามป้อมที่แช่ในสารละลายน้ำตาล 45 และ 55 °Brix ค่อนข้างใกล้เคียงกัน แต่การเพิ่มขึ้นของน้ำหนักมะขามป้อมมากที่สุด เมื่อใช้สารละลายน้ำตาล 65 °Brix

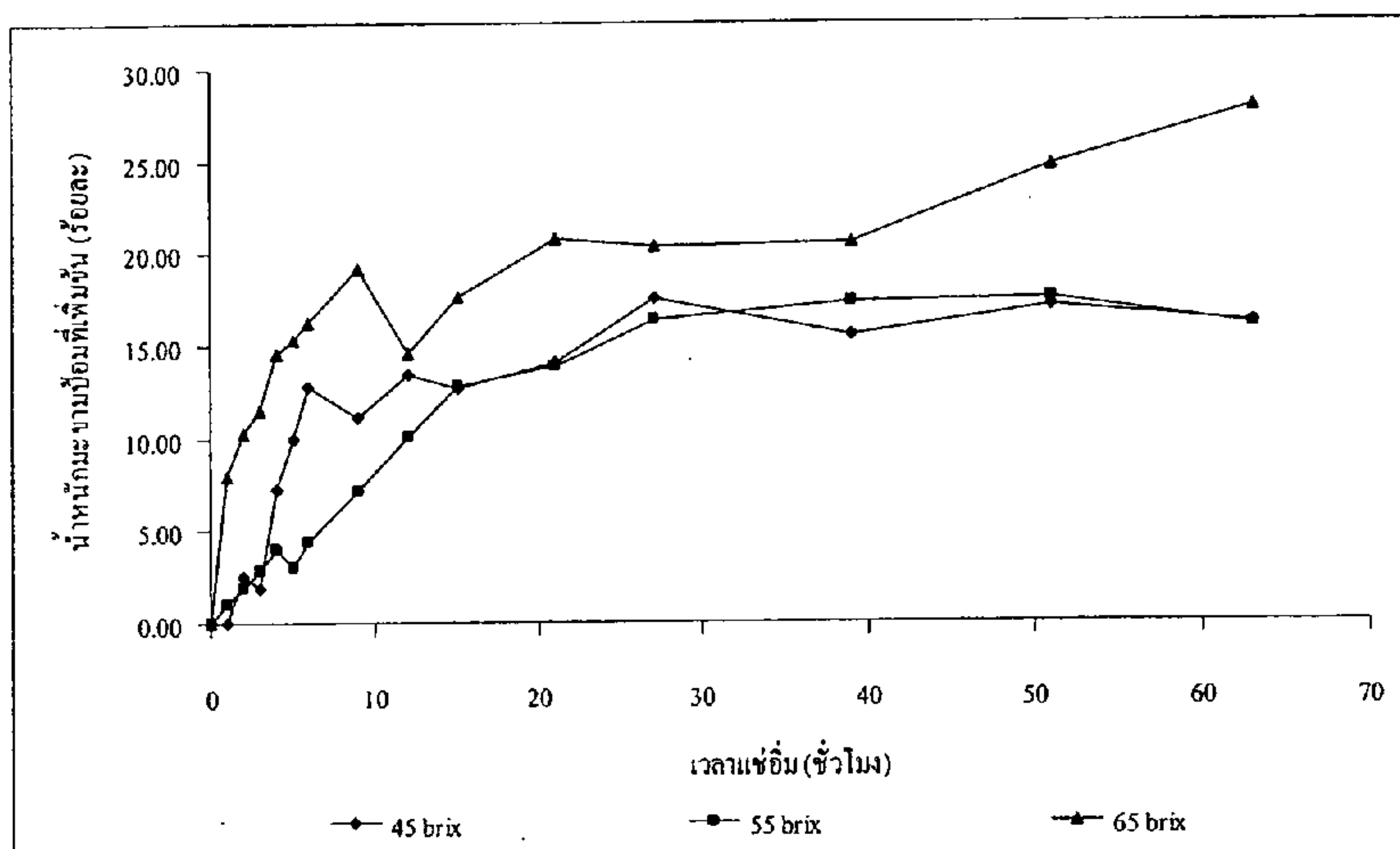
เมื่อพิจารณาปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในสารละลายน้ำตาล พบว่ามีการลดลง เนื่องจากการซึมผ่านของน้ำตาลเข้าสู่เซลล์ของมะขามป้อม ซึ่งสอดคล้องกับการเพิ่มขึ้นของน้ำหนักมะขามป้อม โดยภาพประกอบ 17 แสดงปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในสารละลายน้ำตาล ที่ลดลงในระหว่างการแช่อิ่มมะขามป้อมที่ผ่านการให้ความร้อน 10 นาที พบว่าเมื่อแช่ในสารละลายน้ำตาลความเข้มข้นสูงที่สุด คือ 65 °Brix จะทำให้การซึมผ่านของสารละลายน้ำตาลเข้าสู่เซลล์มะขามป้อมน้อยมากที่สุด ซึ่งจะเห็นได้จากปริมาณของแข็งในสารละลายน้ำตาลลดลงมากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับเมื่อแช่อิ่มในสารละลายน้ำตาล 45 และ 55 °Brix

เนื่องจากความแตกต่างของความเข้มข้นของตัวถูกละลาย จะทำให้เกิดความแตกต่างของแรงดันออสโมติก ระหว่างภายในเซลล์ของผลไม้ และ สารละลายน้ำตาล เกิดเป็นแรงขับให้มีการถ่ายเทมวลสารผ่านเยื่อเลือกผ่าน โดยน้ำจะซึมออกจากเซลล์สู่สารละลายภายนอก และตัวถูกละลายหรือน้ำตาลจะซึมจากภายนอกสู่ภายในเซลล์ ทำให้สูญเสียน้ำจากผลไม้ และปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในผลไม้เพิ่มขึ้น (มณฑล สุกใส. 2547:) ทั้งนี้ถ้าความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลยิ่งมากขึ้น จะเกิดความ

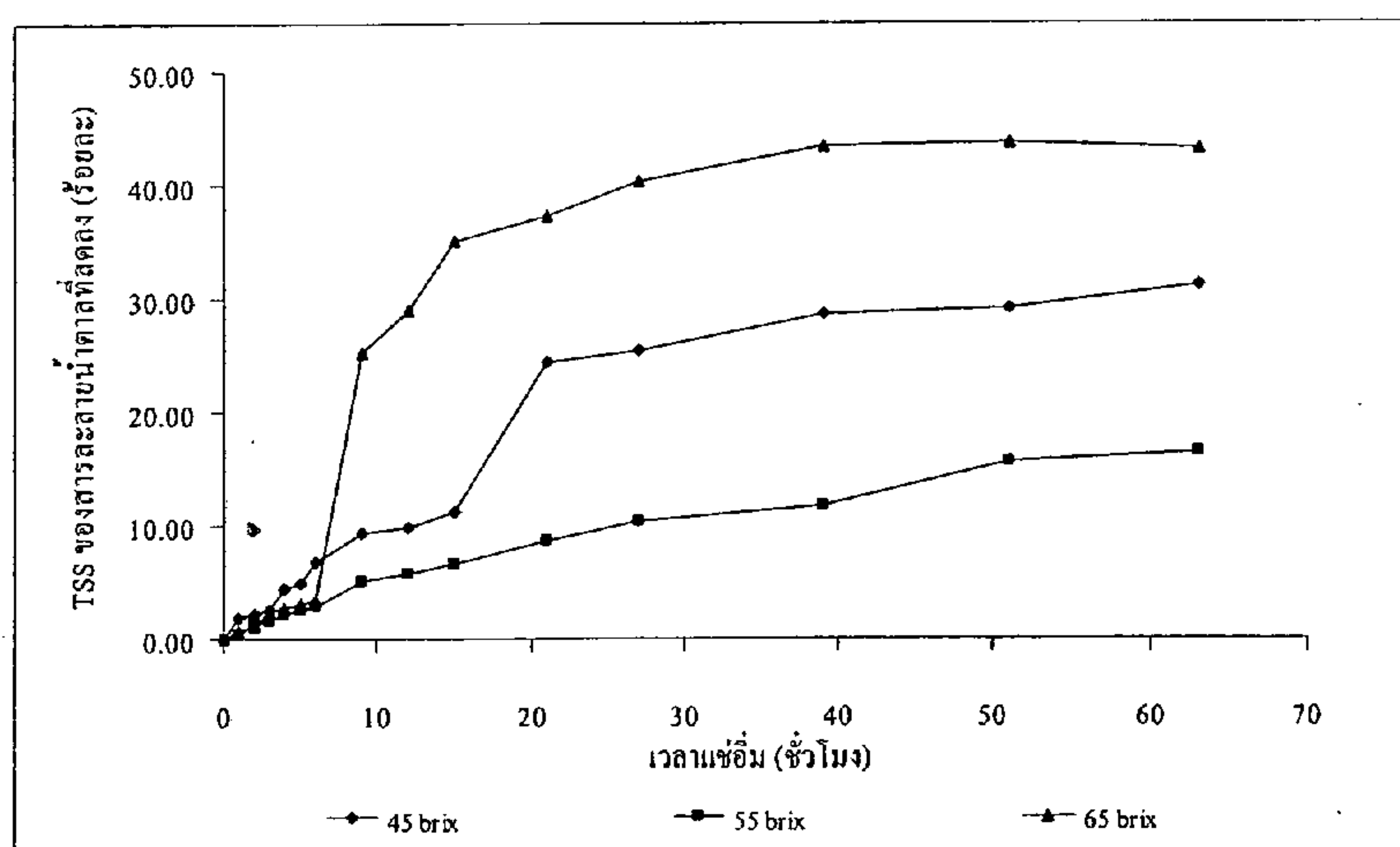
แตกต่างของแรงดันออสโมติกมากขึ้น การถ่ายเทมวลสารจะมากขึ้น (รุ่งนภา พงศ์สวัสดิ์มานิต.2535:) ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองนี้ที่พบว่า การซึมผ่านของสารละลายน้ำตาลเข้าสู่เซลล์มะขามป้อมจะมาก และเร็วที่สุดเมื่อใช้สารละลายน้ำตาลที่มีความเข้มข้นสูงที่สุด คือ 65 °Brix

จากนั้นเมื่อพิจารณาคคุณภาพทางประสาทสัมผัสของมะขามป้อมที่แช่ในสารละลายน้ำตาลความเข้มข้นแตกต่างกัน (ตาราง 3) พบว่า มะขามป้อมที่แช่ในสารละลายน้ำตาล 45 °Brix มีลักษณะที่ปรากฏไม่ดี มีผิวเหี่ยวยุบ มีกลิ่นฉุน และมีรสไม่ดีเปรี้ยว ฝาดและขม สำหรับมะขามป้อมที่แช่ในสารละลายน้ำตาล 55 °Brix มีลักษณะที่ปรากฏดีขึ้น มีกลิ่นฉุนลดลง รสเปรี้ยว ฝาดและขมน้อยลง ในขณะที่มะขามป้อมที่แช่ในสารละลายน้ำตาล 65 °Brix มีลักษณะปรากฏดี ผิวตึง เนื้อนุ่ม ร้อนจากเมล็ดง่าย ไม่มีกลิ่นฉุน และมีรสหวาน

เมื่อพิจารณาเลือกความเข้มข้นสารละลายน้ำตาลที่เหมาะสม พบว่าการแช่ในมะขามป้อมในสารละลายน้ำตาลความเข้มข้น 65 °Brix เป็นสภาวะที่เหมาะสมที่สุด เนื่องจากทำให้เกิดการซึมผ่านของสารละลายน้ำตาลสู่เซลล์มะขามป้อม ในระหว่างการแช่ในมาก และเร็วที่สุด และคุณภาพทางประสาทสัมผัสของมะขามป้อมที่ผ่านการแช่ในดี กลิ่นดี และรสชาติหวาน



ภาพประกอบ 16 น้ำหนักระงะขามป้อมที่เพิ่มขึ้น (ร้อยละ) ในระหว่างการแช่ขมิ้นมะขามป้อมที่ผ่านการให้ความร้อน 10 นาทีด้วยสารละลายน้ำตาล 45, 55 และ 65 °Brix



ภาพประกอบ 17 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในสารละลายน้ำตาลที่ลดลง (ร้อยละ) ในระหว่างการแช่ขมิ้นมะขามป้อมที่ผ่านการให้ความร้อน 10 นาทีด้วยสารละลายน้ำตาล 45, 55 และ 65 °Brix

ตาราง 3 คุณภาพทางประสาทสัมผัสของมะขามป้อมที่แช่ในสารละลายน้ำตาลที่มีความเข้มข้นแตกต่างกัน

ความเข้มข้น สารละลาย น้ำตาล (°Brix)	สี	ลักษณะปรากฏ	กลิ่น	รสชาติ
45	เหลืองคล้ำ	ผิวเหี่ยวยุบ เนื้อเหนียวแข็ง เห็นเส้นใยเห็นชัดเจน	กลิ่นฉุน	เปรี้ยว ฝาด ขม
55	เหลืองคล้ำ เล็กน้อย	ผิวยุบ มีรอยแตก เส้นใย เหนียวน้อยลง เห็นเส้นใยบ้าง	กลิ่นฉุน เล็กน้อย	เปรี้ยว ฝาด ขม เล็กน้อย
65	เหลือง	ผิวตึง เนื้อนิ่ม ร่อนจากเมล็ด ง่าย ไม่เห็นเส้นใย มีรอยแตก เล็กน้อย	ไม่มีกลิ่นฉุน	หวาน

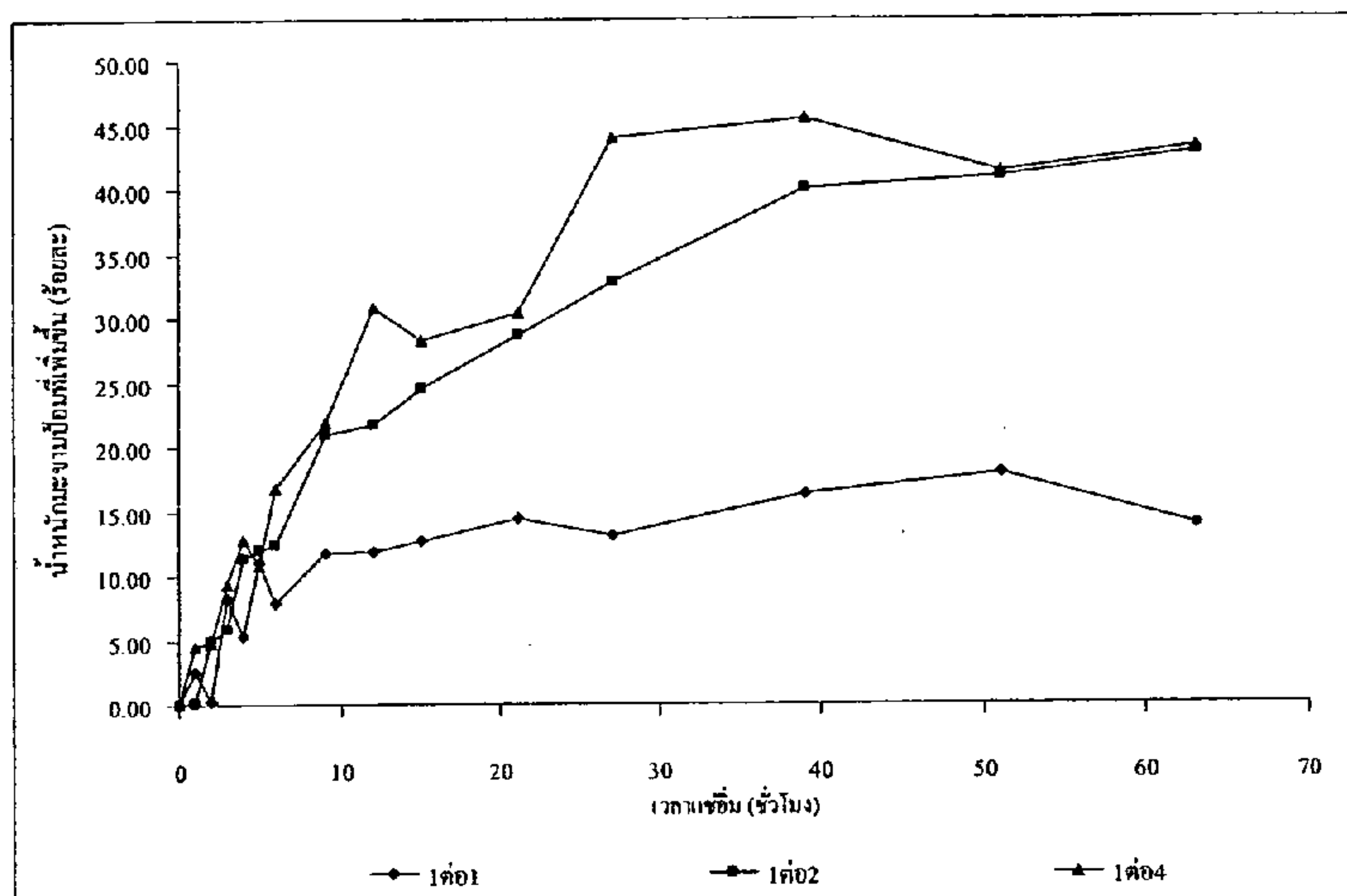
4.3 ผลของอัตราส่วนของมะขามป้อมต่อสารละลายน้ำตาลต่อการถ่ายเทมวลสารระหว่างกระบวนการแช่

น้ำหนักมะขามป้อมที่เพิ่มขึ้นในระหว่างการแช่มะขามป้อมที่ผ่านการให้ความร้อน 10 นาที เมื่อแช่ในสารละลายน้ำตาล 65 °Brix โดยใช้อัตราส่วนมะขามป้อมต่อสารละลายน้ำตาลเป็น 1:1, 1:2 และ 1:4 แสดงในภาพประกอบ 18 พบว่าน้ำหนักมะขามป้อมที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากน้ำตาลจากสารละลายน้ำตาลซึมผ่านเข้าไปในเซลล์มะขามป้อม โดยน้ำหนักจะเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาที่แช่ ก่อนที่จะคงที่ โดย

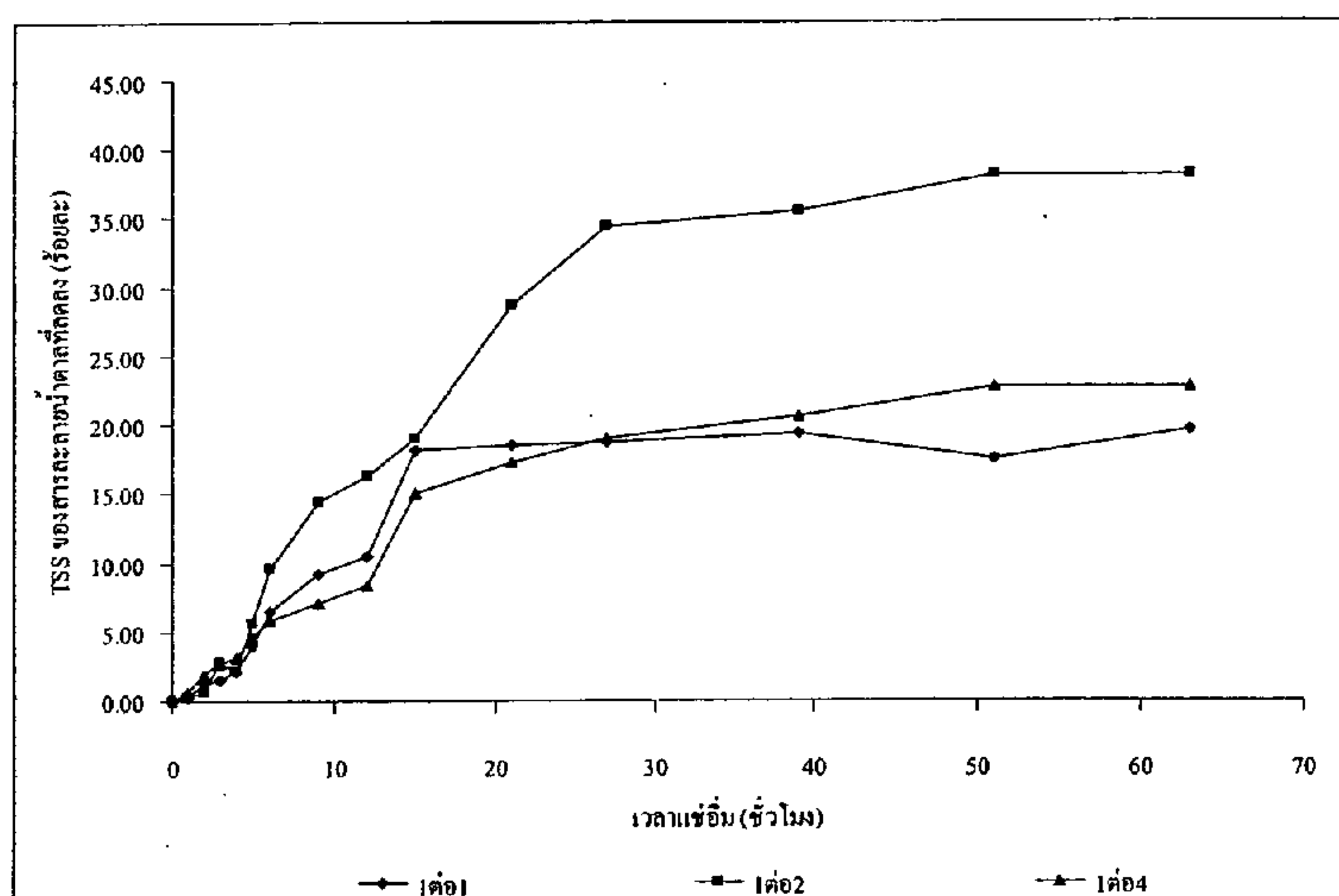
การเพิ่มขึ้นของน้ำหนักระฆาป้อมจะน้อยที่สุด เมื่อใช้อัตราส่วนของระฆาป้อมต่อสารละลายน้ำตาลเป็น 1:1 ในขณะที่การเพิ่มขึ้นของน้ำหนักระฆาป้อมมากกว่า เมื่อใช้อัตราส่วนของระฆาป้อมต่อสารละลายน้ำตาลเป็น 1:2 และ 1:4 ทั้งนี้การซึมผ่านของน้ำตาลค่อนข้างใกล้เคียงกันเมื่อใช้อัตราส่วน 1:2 และ 1:4

เมื่อพิจารณาปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในสารละลายน้ำตาล พบว่ามีการลดลงเนื่องจากการซึมผ่านของน้ำตาลเข้าสู่เซลล์ของระฆาป้อม ซึ่งสอดคล้องกับการเพิ่มขึ้นของน้ำหนักระฆาป้อม โดยภาพประกอบ 19 แสดงปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในสารละลายน้ำตาล ที่ลดลงในระหว่าง การแช่ระฆาป้อม โดยเมื่อแช่ด้วยอัตราส่วนระฆาป้อมต่อสารละลายน้ำตาลเป็น 1:2 จะมีการลดลงมากที่สุด แสดงการซึมผ่านของน้ำตาลจากสารละลายน้ำตาล เข้าสู่เซลล์ระฆาป้อมมากที่สุด รองลงมา คือ 1:1 และ 1:4 ตามลำดับ

ทั้งนี้ ปริมาณของสารละลายน้ำตาล จะมีผลต่อการถ่ายเทมวลสาร ระหว่างการแช่สารละลายน้ำตาลที่มากเพียงพอ จะทำให้เกิดการถ่ายเทมวลสารได้มาก เนื่องจากพื้นที่ผิวสัมผัสของผลไม้ต่อสารละลายน้ำตาลมากเพียงพอ และผลการศึกษานี้สอดคล้องกับ (รุ่งนภา พงศ์สวัสดิ์มานิต. 253 :) ที่รายงานว่า การใช้อัตราส่วนระหว่างผลไม้และสารละลายน้ำตาลเพิ่มขึ้นจะมีผลให้อัตราการสูญเสียน้ำ และอัตราการเพิ่มขึ้นของน้ำตาลมากขึ้นด้วย ดังจะเห็นได้จากการใช้อัตราส่วนระฆาป้อมต่อสารละลายน้ำตาลเป็น 1:1 น้อยเกินไป พื้นที่ผิวของระฆาป้อมไม่สามารถสัมผัสสารละลายน้ำตาลอย่างทั่วถึง และเมื่อเพิ่มอัตราส่วนเป็น 1:2 และ 1:4 ทำให้การซึมผ่านของน้ำตาล จากสารละลายน้ำตาลสู่เซลล์ระฆาป้อมมากขึ้น



ภาพประกอบ 18 น้ำหนักมะขามป้อมที่เพิ่มขึ้น (ร้อยละ) ในระหว่างการแช่ขี้มมะขามป้อม โดยใช้ อัตราส่วนมะขามป้อมต่อสารละลายน้ำตาลเป็น 1:1, 1:2 และ 1:4



ภาพประกอบ 19 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในสารละลายน้ำตาลที่ลดลง (ร้อยละ) ในระหว่างการ แช่ขี้มมะขามป้อม โดยใช้อัตราส่วนมะขามป้อมต่อสารละลายน้ำตาลเป็น 1:1, 1:2 และ 1:4

จากนั้นเมื่อพิจารณาคุณภาพทางประสาทสัมผัสของมะขามป้อมที่แช่ในสารละลายน้ำตาลความเข้มข้นแตกต่างกัน (ตาราง 4) พบว่า มะขามป้อมที่แช่อิ่มโดยใช้อัตราส่วนมะขามป้อมต่อสารละลายเป็น 1:1 พบว่าสารละลายน้ำตาลไม่ท่วมมะขามป้อม เกิดเชื้อราในระหว่างการแช่อิ่ม มะขามป้อมมีลักษณะที่ปรากฏไม่ดี มีกลิ่นฉุน และมีรสเปรี้ยว สำหรับมะขามป้อมที่แช่อิ่มโดยใช้อัตราส่วนมะขามป้อมต่อสารละลายเป็น 1:2 และ 1:4 มีลักษณะปรากฏดี ไม่มีกลิ่นฉุน รสหวาน

เมื่อพิจารณาเลือกอัตราส่วนมะขามป้อมต่อสารละลายน้ำตาล พบว่าการแช่อิ่มมะขามป้อมโดยใช้อัตราส่วนมะขามป้อมต่อสารละลายน้ำตาลเป็น 1:2 เหมาะสมที่สุด แม้ว่าการชิมผ่านการชิมผ่านของสารละลายน้ำตาลสู่เซลล์มะขามป้อมในระหว่างการแช่อิ่มมากและเร็วที่สุดเมื่อใช้อัตราส่วน 1:4 แต่ไม่มีความแตกต่างจากอัตราส่วน 1:2 มากนัก และคุณภาพทางประสาทสัมผัสของมะขามป้อมที่ผ่านการแช่อิ่มโดยใช้ทั้ง 2 อัตราส่วนค่อนข้างดี การเลือกใช้อัตราส่วนที่น้อยกว่า คือ 1:2 จะคุ้มค่ากว่า เมื่อพิจารณาการลดลงของต้นทุนการผลิตที่ใช้สารละลายน้ำตาลลดลง

ตาราง 5 คุณภาพทางประสาทสัมผัสของมะขามป้อมที่แช่อิ่มในสารละลายน้ำตาลเมื่อใช้อัตราส่วนมะขามป้อมต่อสารละลายน้ำตาลแตกต่างกัน

อัตราส่วน มะขามป้อมต่อ สารละลาย น้ำตาล	สี	ลักษณะปรากฏ	กลิ่น	รสชาติ
1:1	เหลืองคล้ำมาก	ผิวเหี่ยวยุบ มีรอยแตก เกิดเชื้อราที่ผิว	กลิ่นฉุน	เปรี้ยว
1:2	เหลืองคล้ำ เล็กน้อย	ผิวอวบอืด มีรอยแตก เส้นใยอ่อนนุ่ม ร่อนจากเมล็ดง่าย	ไม่มีกลิ่นฉุน	หวาน
1:4	เหลืองคล้ำ เล็กน้อย	ผิวอวบอืด เนื้อนุ่ม ร่อนจากเมล็ดง่าย ไม่เห็นเส้นใย	ไม่มีกลิ่นฉุน	หวาน

4.4 ผลของสภาวะการอบแห้งต่อคุณภาพของมะขามป้อมแช่อิ่มอบแห้ง

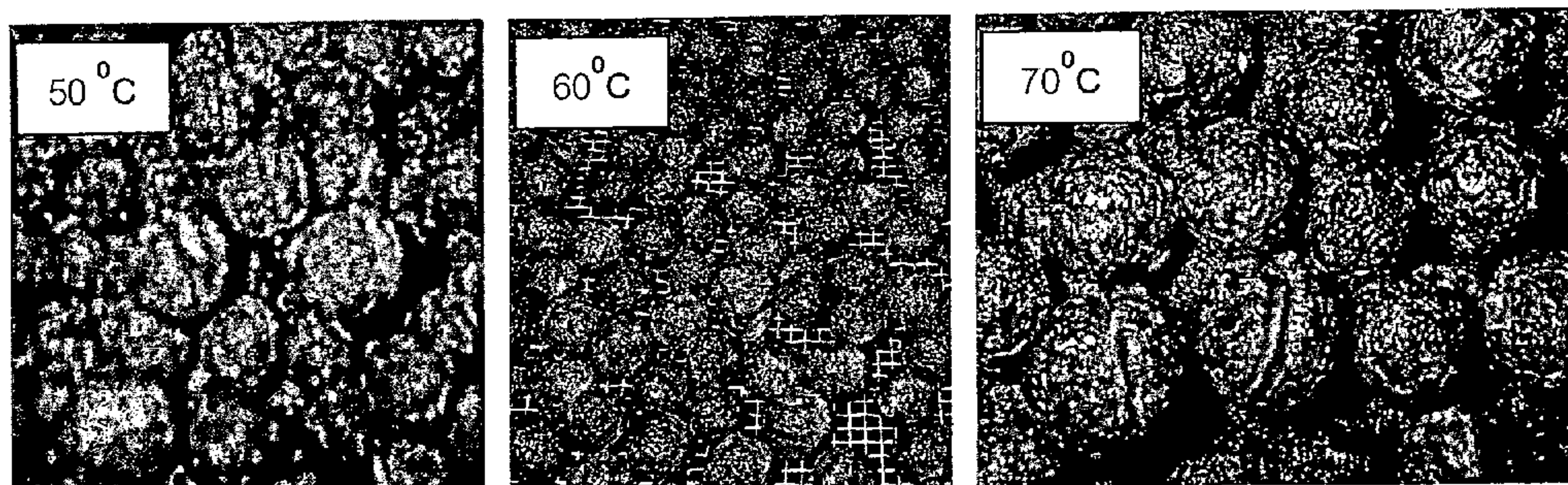
หลังจากนำมะขามป้อมที่ผ่านการให้ความร้อน 10 นาที แช่ในสารละลายน้ำตาลความเข้มข้น 65 °Brix โดยใช้อัตราส่วนมะขามป้อมต่อสารละลายน้ำตาลเป็น 1:2 จนกระทั่งการถ่ายเทมวลสารใน

ระหว่างการแช่ต้มคงที่ นำมะขามป้อมแช่ต้มไปอบแห้งด้วยลมร้อนอุณหภูมิ 50,60 และ 70°C จนกระทั่งความชื้นของมะขามป้อมแช่ต้มอบแห้ง เป็นร้อยละ 15 พบว่า ระยะเวลาในการอบแห้งจนได้ความชื้นที่ต้องการจะสั้นกว่า เมื่อใช้อุณหภูมิในการอบแห้งสูงกว่า ระยะเวลาในการอบแห้งที่อุณหภูมิ 50°C จะมากกว่าที่ 60 และ 70 °C (ตาราง 5)

เมื่อพิจารณาคุณภาพทางประสาทสัมผัส พบว่า เมื่ออบแห้งที่อุณหภูมิ 50°C ใช้เวลาการอบนานที่สุด และทำให้เกิดผิวสัมผัสเหี่ยวยุบแห้ง แข็งกระด้าง และมีสีคล้ำมาก แต่เมื่อใช้อุณหภูมิอบแห้ง 70°C แม้จะใช้เวลาในการอบแห้งน้อยที่สุด แต่มะขามป้อมมีคุณภาพทางประสาทสัมผัสไม่ดี ผิวแตกเห็นได้ชัด เมล็ดข้างในแตกแยกออกจากกัน เนื้อแข็งมากกระด้าง และมีสีเหลืองคล้ำเกือบเป็นสีดำ ดังนั้นอุณหภูมิในการอบแห้งที่ 60°C เป็นสภาวะการอบแห้งที่เหมาะสมที่สุด เพราะมะขามป้อมแช่ต้มอบแห้งมีรอยแตกที่ผิวเล็กน้อย ลักษณะเนื้อเหนียวนุ่มร้อนออกจากเมล็ดได้ง่าย เส้นใยฉีกขาดได้ง่าย สีเหลืองคล้ำน้อยกว่า (ตาราง 5)

ตาราง 5 สภาวะการอบแห้งและคุณภาพของมะขามป้อมแช่ต้มอบแห้ง

อุณหภูมิ ลมร้อน (°C)	ความชื้น (ร้อยละ)		เวลาอบแห้ง (ชั่วโมง)	คุณภาพทางประสาทสัมผัส
	ก่อนอบ	หลังอบ		
50	59.74	15.07	35	ผิวสัมผัสเหี่ยวยุบแห้งและแข็งมาก
60	43.36	15.02	24	ผิวมีรอยแตกบางส่วน ลักษณะเนื้อเหนียว นุ่ม ร้อนออกจากเมล็ดได้ง่าย เส้นใยฉีกขาดได้ง่าย สีเหลืองคล้ำ
70	43.44	15.04	21	ผิวมีรอยแตกเห็นได้ชัด เมล็ดข้างในแตกแยกออกจากกัน สีเหลืองคล้ำเกือบเป็นสีดำ



ภาพประกอบ 20 มะขามป้อมแช่อิ่มที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 50,60 และ 70(°C)

4.5 อายุการเก็บรักษาของมะขามป้อมแช่อิ่มอบแห้ง

เมื่อนำมะขามป้อมที่ผ่านการให้ความร้อน 10 นาที แช่ในสารละลายน้ำตาลความเข้มข้น 65 °Brix โดยใช้อัตราส่วนมะขามป้อมต่อสารละลายน้ำตาลเป็น 1:2 จนกระทั่งการถ่ายเทมวลสารในระหว่างการแช่อิ่มคงที่ และอบแห้งด้วยลมร้อนอุณหภูมิ 70°C จนมีความชื้นประมาณร้อยละ 15 มาบรรจุในถุงพลาสติกและเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ($25 \pm 5^{\circ}\text{C}$) และอุณหภูมิแช่เย็น ($4 \pm 2^{\circ}\text{C}$) เป็นเวลา 4 สัปดาห์พบว่า ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ไม่พบเชื้อราปรากฏในตัวอย่างมะขามป้อมแช่อิ่มอบแห้ง (ตารางที่ 4.5) ซึ่งอาจจะเนื่องมาจากกระบวนการออสโมติกในระหว่างการแช่มะขามป้อมในสารละลายน้ำตาล ทำให้น้ำจะซึมออกจากเซลล์สู่สารละลายภายนอก และตัวถูกละลายหรือน้ำตาลจะซึมจากภายนอกสู่ภายในเซลล์ ซึ่งการสูญเสียน้ำจากมะขามป้อมและการเพิ่มขึ้น ของปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (น้ำตาล) ในมะขามป้อมทำให้ ค่า A_w ลดลงในระดับที่จุลินทรีย์ไม่สามารถเจริญเติบโตได้ (มณฑล สุกใส.2547:) นอกจากนี้ การอบแห้งจนมะขามป้อมแช่อิ่มมีความชื้นต่ำลงถึงร้อยละ 15 สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ได้

ตาราง 6 การเกิดเชื้อราที่สังเกตได้ในมะขามป้อมแช่อิ่มอบแห้ง ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง และ อุณหภูมิแช่เย็น

การเก็บรักษา มะขามป้อมแช่อิ่ม อบแห้ง	ระยะเวลาการเก็บรักษา (สัปดาห์)			
	สัปดาห์ที่ 1	สัปดาห์ที่ 2	สัปดาห์ที่ 3	สัปดาห์ที่ 4
อุณหภูมิห้อง	ไม่ปรากฏเชื้อรา	ไม่ปรากฏเชื้อรา	ไม่ปรากฏเชื้อรา	ไม่ปรากฏเชื้อรา
อุณหภูมิแช่เย็น	ไม่ปรากฏเชื้อรา	ไม่ปรากฏเชื้อรา	ไม่ปรากฏเชื้อรา	ไม่ปรากฏเชื้อรา

จากการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านสี ลักษณะที่ปรากฏ เนื้อสัมผัส กลิ่น รสชาติ ของมะขามป้อมแช่อิ่มอบแห้ง ด้วยผู้ชิมจำนวน 40 คน แบบ 7-points hedonic scale แสดงผลการ ประเมินดังตาราง 6 พบว่า ด้านลักษณะปรากฏ ผู้ชิมให้คะแนนความชอบมะขามป้อมแช่อิ่มที่เก็บรักษา ที่อุณหภูมิห้องมากที่สุดเมื่อเก็บรักษา 3 สัปดาห์ และน้อยที่สุดเมื่อเก็บรักษา 4 สัปดาห์ แต่ผู้ชิมให้ คะแนนลักษณะปรากฏของมะขามป้อมแช่อิ่มอบแห้งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P \geq 0.05$) ตลอด ระยะเวลาการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 4 สัปดาห์ อย่างไรก็ตามเป็นที่น่าสังเกตว่าคะแนน ลักษณะปรากฏค่อนข้างต่ำ (3.10-3.18) ในระดับไม่ชอบเล็กน้อย ทั้งนี้เนื่องจากมะขามป้อมมี ลักษณะปรากฏค่อนข้างแห้ง ผิวแตก และมีรอยย่น สำหรับมะขามป้อมแช่อิ่มอบแห้งที่เก็บที่อุณหภูมิแช่ อิ่ม ผู้ชิมให้คะแนนลักษณะปรากฏของมะขาม ป้อมแช่อิ่มอบแห้งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P \geq 0.05$) เช่นกันตลอดช่วงการเก็บรักษา โดยคะแนนอยู่ในช่วง 2.73-3.10 ซึ่งต่ำกว่าที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง

สำหรับสี ผู้ชิมให้คะแนนมากกว่าลักษณะปรากฏ โดยมะขามป้อมแช่อิ่มอบแห้งที่เก็บรักษาที่ อุณหภูมิห้องได้คะแนนสูงสุด เมื่อเก็บรักษา 3 สัปดาห์ และน้อยที่สุดในสัปดาห์แรก ทั้งนี้ความชอบอยู่ใน เกณฑ์ชอบเล็กน้อย (5.20-5.45) โดยไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \geq 0.05$) ตลอด การเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 4 สัปดาห์ สำหรับมะขามป้อมแช่อิ่มอบแห้งที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ แช่เย็น จะได้รับคะแนนด้านสีต่ำกว่าเล็กน้อย อยู่ในช่วง 4.75-5.40 หรือความชอบอยู่ในเกณฑ์เฉยๆถึง ชอบเล็กน้อย โดยคะแนนไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \geq 0.05$) ตลอดการเก็บรักษา เป็นเวลา 4 สัปดาห์เช่นกัน

ผู้ชิมให้คะแนนยอมรับด้านกลิ่นของมะขามป้อมแช่อิ่มอบแห้งที่เก็บที่อุณหภูมิห้องมากที่สุด เมื่อ เก็บ 2 และ 3 สัปดาห์ และให้คะแนนน้อยที่สุด เมื่อเก็บรักษา 4 สัปดาห์ แต่ไม่มีความแตกต่างกันของ คะแนนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \geq 0.05$) ตลอดการเก็บรักษา โดยความชอบด้านกลิ่นอยู่ในเกณฑ์

ชอบปานกลาง (5.93-6.20) และผู้ชิมให้คะแนนด้านกลิ่นของมะขามป้อมแช่อิ่มอบแห้งที่เก็บอุณหภูมิแช่เย็นมากกว่า โดยคะแนนอยู่ในช่วง 6.08-6.33 โดยคะแนนไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \geq 0.05$) ตลอดการเก็บรักษาเป็นเวลา 4 สัปดาห์เช่นกัน

สำหรับด้านรสชาติ ผู้ชิมให้คะแนนมะขามป้อมแช่อิ่มอบแห้งที่เก็บอุณหภูมิห้องมากที่สุดเมื่อเก็บรักษา 1 และ 4 สัปดาห์ และให้คะแนนน้อยที่สุด เมื่อเก็บรักษา 2 และ 3 สัปดาห์ แต่ไม่มีความแตกต่างกันของคะแนนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \geq 0.05$) ตลอดการเก็บรักษา โดยความชอบด้านรสชาติอยู่ในเกณฑ์ชอบเล็กน้อยถึงชอบปานกลาง (5.60-6.08) และผู้ชิมให้คะแนนด้านรสชาติของมะขามป้อมแช่อิ่มอบแห้งที่เก็บอุณหภูมิแช่เย็นมากกว่า โดยคะแนนอยู่ในช่วง 5.78-6.40 โดยคะแนนไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \geq 0.05$) ตลอดการเก็บรักษาเป็นเวลา 4 สัปดาห์เช่นกัน

ผู้ชิมให้คะแนนด้านเนื้อสัมผัสของมะขามป้อมแช่อิ่มค่อนข้างน้อย โดยตัวอย่างที่เก็บที่อุณหภูมิห้อง ได้คะแนนในช่วง 2.60-2.73 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ไม่ชอบปานกลาง และไม่มีความแตกต่างกันของคะแนนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \geq 0.05$) ตลอดการเก็บรักษา และผู้ชิมให้คะแนนด้านเนื้อสัมผัสเพิ่มขึ้นเล็กน้อย สำหรับมะขามป้อมแช่อิ่มอบแห้งที่เก็บอุณหภูมิแช่เย็น โดยคะแนนอยู่ในช่วง 2.78-2.95 โดยคะแนนไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \geq 0.05$) ตลอดการเก็บรักษาเป็นเวลา 4 สัปดาห์เช่นกัน

เมื่อให้ผู้ชิมประเมินการยอมรับโดยรวม พบว่า ผู้ชิมให้คะแนนยอมรับโดยรวม ของมะขามป้อมแช่อิ่มที่เก็บอุณหภูมิห้องลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) เมื่อเก็บรักษา 2 สัปดาห์ อย่างไรก็ตามผู้ชิมยังคงให้การยอมรับมะขามป้อมแช่อิ่มอบแห้งที่เก็บรักษาเป็นเวลา 4 สัปดาห์ โดยคะแนนอยู่ในช่วง 5.25-6.20 ซึ่งอยู่ในช่วงเกณฑ์ความชอบเล็กน้อยถึงความชอบปานกลาง และเมื่อประเมินมะขามป้อมแช่อิ่มอบแห้งที่เก็บอุณหภูมิแช่เย็น จะได้รับคะแนนการยอมรับโดยรวมมากกว่า โดยอยู่ในช่วง 5.73-6.40 โดยไม่มีความแตกต่างของคะแนนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \geq 0.05$) ตลอดการเก็บรักษาเป็นเวลา 4 สัปดาห์

ตาราง 7 คุณภาพทางประสาทสัมผัสของมะขามป้อมแช่อิ่มอบแห้งบรรจุถุงพลาสติกและเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ($25 \pm 5^{\circ}\text{C}$) และอุณหภูมิแช่เย็น ($4 \pm 2^{\circ}\text{C}$) เป็นเวลา 4 สัปดาห์

คุณภาพทางประสาทสัมผัส	ระยะเวลาการเก็บรักษา (สัปดาห์)	การเก็บรักษาตัวอย่าง	
		อุณหภูมิห้อง	อุณหภูมิแช่เย็น
ลักษณะปรากฏ	1	3.18 ^{a*}	2.78 ^a
	2	3.18 ^a	3.10 ^a
	3	3.30 ^a	3.08 ^a
	4	3.10 ^a	2.73 ^a
สี	1	5.20 ^a	4.75 ^a
	2	5.45 ^a	4.83 ^a
	3	5.43 ^a	5.40 ^a
	4	5.35 ^a	5.28 ^a
กลิ่น	1	5.95 ^a	6.08 ^a
	2	6.20 ^a	6.33 ^a
	3	6.20 ^a	6.25 ^a
	4	5.93 ^a	6.28 ^a
รสชาติ	1	6.08 ^b	6.23 ^a
	2	5.60 ^b	5.78 ^a
	3	5.60 ^b	5.80 ^a
	4	6.08 ^b	6.40 ^a
เนื้อสัมผัส	1	2.68 ^a	2.95 ^a
	2	2.73 ^a	2.95 ^a
	3	2.60 ^a	2.85 ^a
	4	2.70 ^a	2.78 ^a
การยอมรับโดยรวม	1	6.20 ^b	6.40 ^a
	2	5.25 ^a	5.73 ^a
	3	6.00 ^b	6.25 ^a
	4	6.03 ^b	6.33 ^a

* ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรเดียวกันในแนวคอลัมน์ในช่วงระยะเวลาการเก็บรักษา 4 สัปดาห์ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง และข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษากระบวนการผลิตมะขามป้อมแช่อิ่มอบแห้ง โดยการศึกษาผลของการให้ความร้อนแก่มะขามป้อม, ความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาล และ อัตราส่วนมะขามป้อมต่อสารละลายน้ำตาล ต่อประสิทธิภาพการแช่อิ่ม และคุณภาพมะขามป้อมแช่อิ่ม ศึกษาสภาวะอบแห้ง และอายุการเก็บรักษาของมะขามป้อมแช่อิ่มอบแห้ง ตลอดจนมีการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสเพื่อวิเคราะห์การยอมรับผลิตภัณฑ์

5.1 สรุปผลการทดลอง

5.1.1 ในระหว่างการแช่อิ่มมีการซึมผ่านของน้ำจากมะขามป้อมสู่สารละลายน้ำตาลและการซึมผ่านของน้ำตาลจากสารละลายน้ำตาลผ่านเซลล์มะขามป้อม ซึ่งประเมินจากการเพิ่มขึ้นของน้ำหนักของมะขามป้อมและการลดลงของปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในสารละลายน้ำตาล เมื่อให้ความร้อนแก่มะขามป้อมมะขามป้อม โครงสร้างของเซลล์ที่ต้านทานการถ่ายเทมวลเกิดการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางกายภาพ อ่อนตัวลง และสูญเสียคุณสมบัติการเป็นเยื่อเลือกผ่าน จึงทำให้อัตราการถ่ายเทมวลสารของน้ำในผลไม้และน้ำตาลในสารละลายภายนอกสูงขึ้น เมื่อพิจารณาเลือกสภาวะการให้ความร้อนมะขามป้อมก่อนการแช่อิ่มที่เหมาะสม พบว่าการให้ความร้อนมะขามป้อม 10 นาทีก่อนนำมาแช่อิ่มเป็นสภาวะที่เหมาะสมที่สุด เนื่องจากทำให้เกิดการซึมผ่านของสารละลายน้ำตาลสู่เซลล์มะขามป้อมในระหว่างการแช่อิ่มมากและเร็วที่สุด และคุณภาพทางประสาทสัมผัสของมะขามป้อมที่ผ่านการแช่อิ่มดี

5.1.2 ความแตกต่างของความเข้มข้นของตัวถูกละลาย จะทำให้เกิดความแตกต่างของแรงดันออสโมติกระหว่างภายในเซลล์ของผลไม้ และ สารละลายน้ำตาล เกิดเป็นแรงขับให้มีการถ่ายเทมวลสารผ่านเยื่อเลือกผ่านมากขึ้น เมื่อพิจารณาเลือกความเข้มข้นสารละลายน้ำตาลที่เหมาะสม พบว่าการแช่อิ่มมะขามป้อม ในสารละลายน้ำตาลความเข้มข้น 65 °Brix เป็นสภาวะที่เหมาะสมที่สุด เนื่องจากทำให้เกิดการซึมผ่านของสารละลายน้ำตาลสู่เซลล์มะขามป้อม ในระหว่างการแช่อิ่มมากและเร็วที่สุด และคุณภาพทางประสาทสัมผัสของมะขามป้อมที่ผ่านการแช่อิ่มดี

5.1.3 ปริมาณของสารละลายน้ำตาลต้องมากเพียงพอที่จะสัมผัสพื้นผิวของผลไม้ เมื่อพิจารณาเลือกอัตราส่วนมะขามป้อมต่อสารละลายน้ำตาล พบว่าการแช่อิ่มมะขามป้อมโดยใช้อัตราส่วนมะขามป้อมต่อสารละลายน้ำตาลเป็น 1:2 เหมาะสมที่สุด เพราะทำให้การซึมผ่านและการซึมผ่านของสารละลายน้ำตาลสู่เซลล์มะขามป้อมมาก คุณภาพทางประสาทสัมผัสของมะขามป้อมที่ผ่านการแช่อิ่มดี และคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์

5.1.4 สภาวะการอบแห้งมะขามป้อมแช่อิ่มที่เหมาะสมคือ อุณหภูมิร้อน 60°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เพราะทำให้มะขามป้อมแช่อิ่มมีคุณภาพทางประสาทสัมผัสที่ดี และใช้เวลาในการอบไม่นานเกินไป

5.1.5 ไม่พบเชื้อราปรากฏในมะขามป้อมแช่อิ่มอบแห้งที่บรรจุถุงพลาสติกและเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ($25\pm 5^{\circ}\text{C}$) และอุณหภูมิแช่เย็น ($4\pm 2^{\circ}\text{C}$) เป็นเวลา 4 สัปดาห์ และผู้ชิมให้คะแนนทางประสาทสัมผัสไม่แตกต่างกัน ($p < 0.05$) ในระหว่างการเก็บรักษา 4 สัปดาห์ โดยผู้ชิมให้การยอมรับด้านสี กลิ่นและรสชาติ แต่ไม่ยอมรับด้านลักษณะปรากฏ และเนื้อสัมผัส อย่างไรก็ตามผู้ชิมให้การยอมรับโดยรวมแก่ผลิตภัณฑ์มะขามป้อมแช่อิ่มอบแห้งทั้งที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องและแช่เย็น

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ควรมีการศึกษาการพัฒนาระบวนการผลิตมะขามป้อมแช่อิ่มอบแห้งที่มีความชื้นสูงกว่าร้อยละ 15 เพื่อให้มีลักษณะปรากฏและเนื้อสัมผัสที่ดีขึ้น

5.2.2 ควรมีการศึกษาการลดระยะเวลาในการแช่อิ่มและอบแห้งให้รวดเร็วและมีประสิทธิภาพมากขึ้น

5.2.3 ควรมีการศึกษาคูณค่าทางโภชนาการของมะขามป้อมแช่อิ่มอบแห้ง เพื่อเปรียบเทียบกับมะขามป้อมสด

บรรณานุกรม

บรรณานุกรม

- กรุณา วงษ์กระจ่าง. (2535). การทำแห้งสับประรดด้วยวิธีออสโมซิส. วิทยานิพนธ์ วท.ม. จุฬาลงกรณ์ มหาวิทยาลัย. ถ่ายเอกสาร
- กล้าณรงค์ ศรีรอด. (2542). สารให้ความหวาน (Sweeteners). กรุงเทพมหานคร : จาร์พาเทค เซ็นเตอร์.
- กุลยา จันทรอรุณ. (2540). วิธีการผลิตผัก และผลไม้อบแห้ง. สำนักงานสภาสถาบันราชภัฏพิบูลสงคราม. จังหวัดพิษณุโลก.
- แก้วเกษม ปราบริบูรณ์. (2521). การทำงานเป็นหน่วยในกระบวนการผลิตอาหาร. วารสารศูนย์บริการวิชาการ. มหาวิทยาลัยขอนแก่น. มหาวิทยาลัยขอนแก่น. 58 – 64.
- กองโภชนาการ กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข. ตารางแสดงคุณค่าทางโภชนาการของอาหารไทย. (2535). ถ่ายเอกสาร
- จินตนา ศรีสุข. (2548). การแปรรูปผักและผลไม้แช่อิ่ม. วารสารศูนย์บริการวิชาการ 1(11) มหาวิทยาลัยขอนแก่น. 58 – 64
- จิราภรณ์ สอดจิตร์. (2528). อาหารการกิน. วารสารดีเด่นประเภทบันเทิงคดีสำหรับเยาวชน. 694(2). 21– 27.
- จุฑามาศ นิวัฒน์. (2542). การทำแห้งสับประรดด้วยวิธี ออสโมซิส. วิทยานิพนธ์ ปริญญาโท มหาวิทยาลัย. เกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ; สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ชูขวัญ ทรัพย์มณี. (2548). วารสารเกษตรกรรมธรรมชาติ. ฉบับที่. 6/15 – 67
- ธารธรรมแก้ว เชื้อเมือง. (2537). การถนอมอาหารและการแปรรูป. กรุงเทพฯ; สำนักพิมพ์กำแก้ว
- นพพร ล้ำเลิศกุล. (2549). การอบแห้งผลไม้. จุลชีววิทยาทางอาหาร. มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่.
- ประทีน มณีรัตน์. (2548). พืชสมุนไพรมะขามป้อม. วารสารพืชสมุนไพรในปอเกลื้อ 6/(2).
- ประสงค์ พุงเกล้า. (2546). การทำแห้งผักและผลไม้ด้วยวิธีออสโมซิส (Osmotic Dehydration of Fruits and Vegetables). คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา. ถ่ายเอกสาร.
- พรเพ็ญ เปรมโยธิน. (2538). ตัวแปรที่มีผลต่อการทำแห้งผักและผลไม้. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. กรุงเทพฯ ; สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- พันธ์ณรงค์ จันทรแสงสี. (2540). สารให้ความหวาน. วารสารเกษตรนเรศวร. 3 : 6-7
- ไพบุลย์ ธรรมรัตน์वासिक. (2532). กรรมวิธีแปรรูปอาหาร. ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร. คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. กรุงเทพฯ; สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์.
- ภัทรชัย เทียนชัย และสมชาติ โสภณธนฤทธิ์. (2535.) การศึกษาวิเคราะห์การอบแห้งสับประรดแช่อิ่ม. วารสารเกษตรศาสตร์(วิทย.) 25: 206-218.

- ภัทรภูมิ ลิ้มบุญสนธิ์ และประภัทร อิมละเอียด.(2546). ผลของน้ำตาลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของน้ำมะม่วง (ปริญญาตรีวิทยาศาสตร์บัณฑิต). ภาควิชาคหกรรมศาสตร์, กรุงเทพมหานคร: มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. ถ่ายเอกสาร
- มารีนา นุ้ยหนิม,สมชาติ โสภณรณฤทธิ์ และ บุษบา บุญนาค. (2536). แนวทางการอบแห้งที่เหมาะสมที่สุด. วารสารเกษตรศาสตร์.27(4) : 7-10
- มณฑล สุกใส. (2547). วิศวกรรมอาหาร นิสิตระดับปริญญาโทวิศวกรรมอาหารมหาวิทยาลัยมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.ถ่ายเอกสาร
- เย็นจิตร เตชะดำรงสิน. และ ทวีผล เตชาติวงศ์ ณ.อยุธยา. (2540). มาตรฐานทางเคมีของผลมะขามป้อม. วารสารกรมวิทยาศาสตร์. 39(1) :11- 12.
- รุ่งนภา พงศ์สวัสดิ์มานิต. (2535).วิศวกรรมแปรรูปอาหาร. การถนอมอาหาร. ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร. คณะเทคโนโลยีการเกษตร. กรุงเทพฯ;สำนักพิมพ์โอเอสพริ้นติ้งเฮ้าส์.
- เลอพงษ์ ชูเทพ.(2526). ผลิตภัณฑ์การแปรรูปอาหาร. ภาควิชาเกษตรศาสตร์คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี วิทยาลัยครูอุตรดิตถ์. ถ่ายเอกสาร
- วิชัย หฤทัยธนาสันต์. (2521). หลักการถนอมอาหารและแปรรูปผักและผลไม้เบื้องต้น. การอาหารมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- วิไล ลังสาทอง. (2546). การแช่หิม. เทคโนโลยีการแปรรูปอาหาร. กรุงเทพฯ; สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- วีระ พุ่ม (2539) หลักการแปรรูป และถนอมอาหาร. คณะวิทยาศาสตร์ และ เทคโนโลยีสถาบันราชภัฏกาญจนบุรี. ถ่ายเอกสาร
- ศิริลักษณ์ สินขวาลัย. (2522). อาหารและโภชนาการ. ทฤษฎีอาหาร. เกษตร คณะคหกรรมศาสตร์ กรุงเทพฯ; วิทยาลัยเทคโนโลยี และอาชีวศึกษา.
- อดิศักดิ์ เอกโสวรรณ. (2549). วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร. วารสารวิชาการ ปีที่ 26(1)172 – 182.
- อ่อนรวี รัตนพันธุ์. (2533). หลักการทำแห้งผลไม้ด้วยวิธี Osmotic (Osmotic Dehydration of Fruits).อาหาร.
- อาณัติ นิติธรรมยง. (2540) ชนิดของสารให้ความหวาน และการใช้. วารสารนิเวศวิทยา. 24 : 62-68
- Adesina, A.A.and J.O. Aina. (1990). Preservation of american star apple fruite (*Chlrysophylum albidum*) bysomatic dehydration. Trop. Sci. 30 : 49-53.
- Bailon, G, L, (1990). Osmotic dehydration of mango and its effect on quality. M. Sci. Thesis. AIT, Bangkok.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ตารางแสดงผลการทดลองการให้ความร้อนมะขามป้อมต่อการถ่ายเทมวลสาร
ระหว่างการแช่ต้ม

ตารางแสดงผลการทดลองมะขามป้อมก่อนแช่ต้มที่ไม่ผ่านการให้ความร้อน(0 นาที)

เวลา (ชม.)	น้ำหนัก มะขามป้อม (กรัม) ก่อนแช่	น้ำหนัก มะขามป้อม (กรัม) หลังแช่	น้ำหนัก มะขามป้อม ที่เพิ่มขึ้น (ร้อยละ)	ความ เข้มข้น (^o Brix()) ก่อนแช่	ความ เข้มข้น (^o Brix()) หลังแช่	ความ เข้มข้น สารละลาย ที่เพิ่มขึ้น (ร้อยละ)
0	30.7680	30.7680	0.00	65.00	65.00	0.00
1	30.4537	30.6231	0.56	65.00	64.80	0.31
2	30.1589	30.6029	1.47	65.00	64.40	0.92
3	30.0704	30.5585	1.62	65.00	64.20	1.23
4	30.2346	30.8165	1.92	65.00	63.60	2.15
5	30.5371	31.1639	2.05	65.00	63.50	2.31
6	30.9395	31.9838	3.38	65.00	63.40	2.46
9	30.5396	32.5551	6.60	65.00	63.00	3.08
12	30.9441	33.0901	6.94	65.00	62.80	3.38
15	30.5603	33.5386	9.75	65.00	62.60	3.69
21	30.6849	34.2023	11.46	65.00	62.20	4.31
27	30.9755	34.8548	12.52	65.00	62.00	4.62
39	30.9245	35.1020	13.51	65.00	61.80	4.92
51	30.8895	35.6585	15.44	65.00	61.60	5.23

ตารางแสดงผลการทดลองการให้ความร้อนมะขามป้อมก่อนแช่อิ่มในเวลา 5 นาที

เวลา (ชม.)	น้ำหนัก (กรัม) ก่อนแช่	น้ำหนัก (กรัม) หลังแช่	น้ำหนัก มะขามป้อม ที่เพิ่มขึ้น (ร้อยละ)	ความเข้มข้น (°Brix) ก่อนแช่	ความ เข้มข้น (°Brix) หลังแช่	ความ เข้มข้น สารละลาย ที่เพิ่มขึ้น (ร้อยละ)
0	31.8858	31.8858	0.00	65	65	0.00
1	31.649	33.5762	6.09	65	64.6	0.62
2	31.627	33.7792	6.80	65	64.1	1.38
3	31.2702	33.9048	8.43	65	64.2	1.23
4	31.9668	34.1984	6.98	65	63	3.08
5	30.4879	34.7362	13.93	65	62.8	3.38
6	32.3529	35.9146	11.01	65	61.2	5.85
9	30.8596	36.2123	17.35	65	56.8	12.62
12	31.0143	36.8021	18.66	65	56	13.85
15	30.0228	36.9995	23.24	65	55	15.38
21	31.7087	37.1718	17.23	65	54.4	16.31
27	31.4567	37.7675	20.06	65	53.2	18.15
39	31.3388	38.1196	21.64	65	51.8	20.31
51	30.6676	39.2232	27.90	65	50.6	22.15

ตารางแสดงผลการทดลองการให้ความร้อนมะขามป้อมก่อนแช่อิ่มที่เวลา 10 นาที

เวลา (ชม.)	น้ำหนัก (กรัม) ก่อนแช่	น้ำหนัก (กรัม) หลังแช่	น้ำหนัก มะขามป้อม ที่เพิ่มขึ้น (ร้อยละ)	ความ เข้มข้น (°Brix) ก่อนแช่	ความ เข้มข้น (°Brix) หลังแช่	ความ เข้มข้น สารละลาย ที่เพิ่มขึ้น (ร้อยละ)
0	30.7791	30.7791	0.00	65.00	65.00	0.00
1	30.8863	32.9242	6.60	65.00	63.97	1.58
2	30.7131	34.1699	11.26	65.00	62.98	3.11
3	30.5332	35.0316	14.73	65.00	61.92	4.74
4	30.2768	36.4003	20.23	65.00	61.97	4.66
5	30.7615	36.9995	20.28	65.00	60.20	7.38
6	30.9311	37.9785	22.78	65.00	59.41	8.60
9	30.5300	38.2827	25.39	65.00	54.60	16.00
12	30.6286	38.4931	25.68	65.00	48.20	25.85
15	30.6451	38.6017	25.96	65.00	44.24	31.94
21	30.8233	38.7839	25.83	65.00	39.86	38.68
27	30.9778	38.9014	25.58	65.00	36.84	43.32
39	30.7165	38.7328	26.10	65.00	36.20	44.31
51	30.6248	38.8834	26.97	65.00	36.20	44.31

ภาคผนวก ข

ตารางแสดงผลการศึกษาผลของความเข้มข้นสารละลายน้ำตาลต่อการถ่ายเทมวลสารระหว่างการแช่ไข่มะขามป้อมที่ 45 °Brix

เวลา (ชม.)	น้ำหนัก		น้ำหนัก		Tss		Tss		น้ำหนัก	
	มะขามป้อม ก่อนแช่ (กรัม)	มะขามป้อม หลังแช่ (กรัม)	มะขามป้อม ที่เพิ่มขึ้น (ร้อยละ)	น้ำตาล ก่อนแช่ (°Brix)	น้ำตาล หลังแช่ (°Brix)	น้ำตาล ที่ลดลง (ร้อยละ)	น้ำตาล ก่อนแช่ (°Brix)	น้ำตาล หลังแช่ (°Brix)	น้ำตาล ที่ลดลง (ร้อยละ)	น้ำตาล ที่ลดลง (ร้อยละ)
0	20.3721	20.3721	0.00	45.0	45.0	0.00	45.0	45.0	0.00	0.00
1	20.5452	20.5555	0.05	45.0	45.0	1.82	44.2	44.2	1.82	1.82
2	20.4411	20.9644	2.56	45.0	45.0	2.22	44.0	44.0	2.22	2.22
3	20.7089	21.1093	1.93	45.0	45.0	2.58	43.8	43.8	2.58	2.58
4	20.5030	21.9794	7.20	45.0	45.0	4.44	43.0	43.0	4.44	4.44
5	20.4243	22.4569	9.95	45.0	45.0	5.00	42.8	42.8	5.00	5.00
6	20.0621	22.6312	12.81	45.0	45.0	6.76	42.0	42.0	6.76	6.76
9	20.5652	22.8418	11.07	45.0	45.0	9.38	40.8	40.8	9.38	9.38
12	20.1924	22.9008	13.41	45.0	45.0	9.78	40.6	40.6	9.78	9.78

ตารางแสดงผลการศึกษาผลของความเข้มข้นสารละลายน้ำตาลต่อการถ่ายเทมวลสารระหว่างการเชื่อมมะขามป้อมที่ 45 °Brix

เวลา (ชม.)	น้ำหนัก มะขามป้อม		น้ำหนัก มะขามป้อม		น้ำหนัก มะขามป้อม		Tss สารละลายน้ำตาล		Tss สารละลายน้ำตาล		น้ำหนัก สารละลายน้ำตาล	
	ก่อนแช่ (กรัม)	หลังแช่ (กรัม)	ที่เพิ่มขึ้น (ร้อยละ)	ที่เพิ่มขึ้น (ร้อยละ)	ก่อนแช่ (°Brix)	หลังแช่ (°Brix)	ก่อนแช่ (ร้อยละ)	หลังแช่ (ร้อยละ)	ก่อนแช่ (°Brix)	หลังแช่ (°Brix)	ที่ลดลง (ร้อยละ)	ที่ลดลง (ร้อยละ)
15	20.4636	23.0602	12.69	12.69	45.0	40.0			40.0	40.0		11.18
21	20.2828	23.1425	14.10	14.10	45.0	34.0			34.0	34.0		24.44
27	20.1032	23.6285	17.54	17.54	45.0	33.6			33.6	33.6		25.40
39	20.4924	23.6794	15.55	15.55	45.0	32.1			32.1	32.1		28.64
51	20.3449	23.8318	17.14	17.14	45.0	31.9			31.9	31.9		29.16
63	20.5628	23.8842	16.15	16.15	45.0	30.9			30.9	30.9		31.24

ตารางแสดงผลการศึกษาผลของความเข้มข้นสารละลายน้ำตาลต่อการถ่ายภาพมวลสารระหว่างการแช่ส้มมะขามป้อมที่ 55 (°Brix)

เวลา (ชม.)	น้ำหนัก มะขามป้อม ก่อนแช่ (กรัม)	น้ำหนัก มะขามป้อม หลังแช่ (กรัม)	น้ำหนัก มะขามป้อม ที่เพิ่มขึ้น (ร้อยละ)	Tss สารละลายน้ำตาล ก่อนแช่ (°Brix)	Tss สารละลายน้ำตาล หลังแช่ (°Brix)	น้ำหนัก สารละลายน้ำตาล ที่ลดลง (ร้อยละ)
0	20.4999	20.4999	0.00	55.0	55.0	0.00
1	20.0944	20.3089	1.07	55.0	54.8	0.36
2	20.0683	20.4385	1.84	55.0	54.3	1.27
3	20.1598	20.7343	2.85	55.0	54.2	1.45
4	20.0665	20.8643	3.98	55.0	53.8	2.18
5	20.3740	20.9997	3.07	55.0	53.6	2.55
6	20.4037	21.2934	4.36	55.0	53.4	2.91
9	20.4344	21.9010	7.18	55.0	52.2	5.09
12	20.1176	22.1476	10.09	55.0	51.8	5.82

ตารางแสดงผลการศึกษาของความเข้มข้นสารละลายน้ำตาลต่อการถ่ายเทมวลสารระหว่างการแช่ส้มเขียวหวานที่ 55 °Brix)

เวลา (ชม.)	น้ำหนัก มะขามป้อม ก่อนแช่ (กรัม)	น้ำหนัก มะขามป้อม หลังแช่ (กรัม)	น้ำหนัก มะขามป้อม ที่เพิ่มขึ้น (ร้อยละ)	Tss สารละลายน้ำตาล ก่อนแช่ (°Brix)	Tss สารละลายน้ำตาล หลังแช่ (°Brix)	น้ำหนัก สารละลายน้ำตาล ที่ลดลง (ร้อยละ)
15	20.2678	22.8526	12.75	55.0	51.4	6.55
21	20.3610	23.1773	13.83	55.0	50.2	8.73
27	20.3001	23.6269	16.39	55.0	49.3	10.36
39	20.2937	23.8152	17.35	55.0	48.6	11.64
51	20.3911	23.9559	17.48	55.0	46.4	15.64
63	20.5078	23.8009	16.06	55.0	46.0	16.36

ตารางแสดงผลการศึกษาของความเข้มข้นสารละลายน้ำตาลต่อการถ่ายเทมวลสารระหว่างการเชื่อมมะขามป้อมที่ 65 ($^{\circ}\text{Brix}$)

เวลา (ชม.)	น้ำหนัก		น้ำหนัก		Tss		Tss		น้ำหนัก	
	มะขามป้อม ก่อนแช่ (กรัม)	มะขามป้อม หลังแช่ (กรัม)	มะขามป้อม หลังแช่ (กรัม)	ที่เพิ่มขึ้น (ร้อยละ)	สารละลายน้ำตาล ก่อนแช่ ($^{\circ}\text{Brix}$)	สารละลายน้ำตาล หลังแช่ ($^{\circ}\text{Brix}$)	สารละลายน้ำตาล ก่อนแช่ ($^{\circ}\text{Brix}$)	สารละลายน้ำตาล หลังแช่ ($^{\circ}\text{Brix}$)	สารละลายน้ำตาล ที่ลดลง (ร้อยละ)	น้ำหนัก
0	20.98	20.98	20.98	0.00	65.0	65.0	65.0	65.0	0.00	0.00
1	20.33	20.33	21.95	7.97	65.0	65.0	65.0	64.6	0.62	0.62
2	20.22	20.22	22.29	10.24	65.0	65.0	65.0	64.2	1.23	1.23
3	20.59	20.59	22.97	11.56	65.0	65.0	65.0	63.5	2.31	2.31
4	20.19	20.19	23.14	14.61	65.0	65.0	65.0	63.2	2.77	2.77
5	20.44	20.44	23.57	15.31	65.0	65.0	65.0	63.0	3.08	3.08
6	20.54	20.54	23.87	16.21	65.0	65.0	65.0	62.8	3.38	3.38
9	20.13	20.13	23.99	19.18	65.0	65.0	65.0	48.6	25.23	25.23
12	20.95	20.95	24.00	14.56	65.0	65.0	65.0	46.2	28.92	28.92

ตารางแสดงผลการศึกษาผลของความเข้มข้นสารละลายน้ำตาลต่อการถ่ายภาพมวลสารระหว่างการเชื่อมมะขามป้อมที่ 65 (°Brix)

เวลา (ชม.)	น้ำหนัก		น้ำหนัก		Tss		Tss		น้ำหนัก
	มะขามป้อม	น้ำหนัก	มะขามป้อม	น้ำหนัก	สารละลายน้ำตาล	หลังแช่	สารละลายน้ำตาล	หลังแช่	
	ก่อนแช่	(กรัม)	หลังแช่	ที่เพิ่มขึ้น	ก่อนแช่	(°Brix)	หลังแช่	(°Brix)	ที่ลดลง
	(กรัม)		(ร้อยละ)						(ร้อยละ)
15	20.83	24.50	17.62		65.0		42.2		35.08
21	20.60	24.87	20.73		65.0		40.8		37.23
27	20.85	25.10	20.38		65.0		38.8		40.31
39	20.88	25.17	20.55		65.0		36.8		43.38
51	20.57	25.67	24.79		65.0		36.6		43.69
63	20.25	25.89	27.85		65.0		36.9		43.23

ภาคผนวก ค

ตารางแสดงผลการทดลองของอัตราส่วนผลไม้ต่อสารละลายการถ่ายภาพมวลสารระหว่างการใช้มะขามป้อมที่ 1:1

เวลา (ชม.)	น้ำหนัก		น้ำหนัก		น้ำหนัก		น้ำหนัก		น้ำหนัก	
	มะขามป้อม	ก่อนแช่	ก่อนแช่	หลังแช่	มะขามป้อม	ก่อนแช่	ก่อนแช่	หลังแช่	สารละลายน้ำตาล	สารละลายน้ำตาล
	(กรัม)	(กรัม)	(กรัม)	(กรัม)	ที่เพิ่มขึ้น	(ร้อยละ)	ที่เพิ่มขึ้น	(ร้อยละ)	ที่เพิ่มขึ้น	(ร้อยละ)
0	20.3721	20.3721	20.3721	20.3721	0.00	0.00	65.0	65.0	0.00	0.00
1	20.4452	20.4452	20.9565	20.9565	2.50	65.0	64.8	64.8	0.31	0.31
2	20.2411	20.2411	20.2889	20.2889	0.24	65.0	64.2	64.2	1.23	1.23
3	20.4089	20.4089	22.1093	22.1093	8.33	65.0	64.0	64.0	1.54	1.54
4	20.3032	20.3032	21.3794	21.3794	5.30	65.0	63.6	63.6	2.15	2.15
5	20.2243	20.2243	22.4569	22.4569	11.04	65.0	62.4	62.4	4.00	4.00
6	20.0621	20.0621	21.6312	21.6312	7.82	65.0	60.8	60.8	6.46	6.46
9	20.2652	20.2652	22.6418	22.6418	11.73	65.0	59.0	59.0	9.23	9.23
12	20.2924	20.2924	22.7008	22.7008	11.87	65.0	58.2	58.2	10.46	10.46

ตารางแสดงผลการทดลองของอัตราส่วนผลไม้ต่อสารละลายต่อการถ่ายภาพมวลสารระหว่างการเชื่อมมะขามป้อมที่ 1:1

เวลา (ชม.)	น้ำหนัก มะขามป้อม ก่อนแช่ (กรัม)	น้ำหนัก มะขามป้อม หลังแช่ (กรัม)	น้ำหนัก มะขามป้อม ที่เพิ่มขึ้น (ร้อยละ)	น้ำหนัก สารละลายน้ำตาล ก่อนแช่ (กรัม)	น้ำหนัก สารละลายน้ำตาล หลังแช่ (กรัม)	น้ำหนัก สารละลายน้ำตาล ที่เพิ่มขึ้น (ร้อยละ)
15	20.4636	23.0602	12.69	65.0	53.2	18.15
21	20.2228	23.1425	14.44	65.0	53.0	18.46
27	20.1032	22.7285	13.06	65.0	52.8	18.77
39	20.2924	23.5874	16.24	65.0	52.4	19.38
51	20.3449	23.9818	17.88	65.0	53.6	17.54
63	20.3628	23.1840	13.85	65.0	52.2	19.69

ตารางแสดงผลการทดลองของอัตราส่วนผลไม่ต่อสารละลายต่อการถ่ายเทมวลสารระหว่างการเชื่อมะขามป้อมที่ 1:2

เวลา (ชม.)	น้ำหนัก มะขามป้อม ก่อนแช่ (กรัม)	น้ำหนัก มะขามป้อม หลังแช่ (กรัม)	น้ำหนัก มะขามป้อม ที่เพิ่มขึ้น (ร้อยละ)	น้ำหนัก สารละลายน้ำตาล ก่อนแช่ (กรัม)	น้ำหนัก สารละลายน้ำตาล หลังแช่ (กรัม)	น้ำหนัก สารละลายน้ำตาล ที่เพิ่มขึ้น (ร้อยละ)
0	20.0825	20.0825	0.00	65.0	65.0	0.00
1	20.4220	20.4558	0.17	65.0	64.8	0.31
2	20.2853	21.2923	4.96	65.0	64.6	0.62
3	20.4949	21.6937	5.85	65.0	63.2	2.77
4	20.1944	22.4848	11.34	65.0	63.6	2.15
5	20.4323	22.8888	12.02	65.0	61.4	5.54
6	20.6983	23.2719	12.43	65.0	58.8	9.54
9	20.2410	24.4684	20.89	65.0	55.6	14.46
12	20.4203	24.8626	21.75	65.0	54.4	16.31

ตารางแสดงผลการทดลองของอัตราส่วนผลไม้น้ำต่อสารละลายต่อการถ่ายเทมวลสารระหว่างการแช่ส้มมะขามป้อมที่ 1:2

เวลา (ชม.)	น้ำหนัก มะขามป้อม ก่อนแช่ (กรัม)	น้ำหนัก มะขามป้อม หลังแช่ (กรัม)	น้ำหนัก มะขามป้อม ที่เพิ่มขึ้น (ร้อยละ)	น้ำหนัก สารละลายน้ำตาล ก่อนแช่ (กรัม)	น้ำหนัก สารละลายน้ำตาล หลังแช่ (กรัม)	น้ำหนัก สารละลายน้ำตาล ที่เพิ่มขึ้น (ร้อยละ)
15	20.2446	25.2033	24.49	65.0	52.6	19.08
21	20.4045	26.2423	28.61	65.0	46.3	28.77
27	20.2396	26.8887	32.85	65.0	42.6	34.46
39	20.4358	28.6235	40.07	65.0	41.9	35.54
51	20.4453	28.8035	40.88	65.0	40.2	38.15
63	20.2221	28.8862	42.84	65.0	40.2	38.15

ตารางแสดงผลการทดลองของอัตราส่วนผลไม้ต่อสารละลายต่อการถ่ายภาพมวลสารระหว่างการแช่ไขมันขามป้อมที่ 1:4

เวลา (ชม.)	น้ำหนัก มะขามป้อม ก่อนแช่ (กรัม)	น้ำหนัก มะขามป้อม หลังแช่ (กรัม)	น้ำหนัก มะขามป้อม ที่เพิ่มขึ้น (ร้อยละ)	น้ำหนัก สารละลายน้ำตาล ก่อนแช่ (กรัม)	น้ำหนัก สารละลายน้ำตาล หลังแช่ (กรัม)	น้ำหนัก สารละลายน้ำตาล ที่เพิ่มขึ้น (ร้อยละ)
15	20.9653	26.8862	28.24	65.0	55.2	15.08
21	20.9142	27.2631	30.36	65.0	53.8	17.23
27	20.0640	28.8985	44.03	65.0	52.6	19.08
39	20.1114	29.2455	45.42	65.0	51.6	20.62
51	20.8597	29.4828	41.34	65.0	50.2	22.77
63	20.6696	29.6115	43.26	65.0	50.2	22.77

ตารางแสดงผลภาวะการอบแห้งของมะขามป้อมแช่ส้ม

อุณหภูมิ °C	70					
	ก่อนอบ	หลังอบ	ก่อนอบ	หลังอบ	ก่อนอบ	หลังอบ
ความชื้น	59.74	15.07	43.36	15.02	43.44	15.04
น้ำหนัก	2.0516	1.0401	2.0401	1.0398	2.0576	1.0165
เวลา(ชม.)		35		24		21

ตารางแสดงคะแนนประเมินคุณภาพทางประสาธน์สัมผัส มะขามป้อมเชื่อมอบแห้งที่เก็บในอุณหภูมิห้อง

คุณภาพทางประสาธน์สัมผัส	สัปดาห์ที่			
	1	2	3	4
ลักษณะที่ปรากฏ	3.18	3.18	3.3	3.1
สี	5.2	5.45	5.43	5.35
กลิ่น	5.95	6.2	6.2	5.93
รสชาติ	6.08	5.6	5.6	6.08
เนื้อสัมผัส	2.68	2.73	2.6	2.7
การยอมรับโดยรวม	6.2	5.25	6	6.03

ตารางแสดงคะแนนประเมินคุณภาพทางประสาธน์สัมผัส มะขามป้อมแอ้มอบแห้งที่เก็บอุณหภูมิในตู้เย็น

คุณภาพทางประสาธน์สัมผัส	สัปดาห์ที่			
	1	2	3	4
ลักษณะที่ปรากฏ	2.78	3.1	3.08	2.73
สี	4.75	4.83	5.4	5.28
กลิ่น	6.08	6.33	6.25	6.28
รสชาติ	6.23	5.78	5.8	6.4
เนื้อสัมผัส	2.95	2.95	2.85	2.78
การยอมรับโดยรวม	6.4	5.73	6.25	6.33

ภาคผนวก ง

แผนการจัดการเรียนรู้สาระ วิทยาศาสตร์ ชั้นประถมศึกษาปีที่ 1
 แผนการเรียนรู้ที่ 1 เรื่อง ชีวิตพืช (ส่วนประกอบต้นมะขามป้อม)
 วันที่..... เดือน.....พ.ศ.....

สาระสำคัญ

พืชมีโครงสร้างหรือส่วนประกอบที่สำคัญของต้นมะขามป้อม คือ ราก ลำต้น ใบ ดอก และผล ซึ่งแต่ละส่วนทำหน้าที่แตกต่างกัน

ผลการเรียนรู้ที่คาดหวัง(จุดประสงค์การเรียนรู้)

1. นักเรียนสามารถเล่าเรื่องบรรยายเรื่องที่ศึกษา สังเกต ส่วนต่าง ๆ ของ ต้นมะขามป้อม ได้
2. นักเรียนสามารถอธิบายหน้าที่แต่ละส่วนของต้นมะขามป้อม ได้ถูกต้อง
3. นักเรียนเกิดความคิดริเริ่มสร้างสรรค์ ในการคิดประดิษฐ์ชิ้นงานทางด้านศิลปะ
4. นักเรียนมีความรับผิดชอบในภาระหน้าที่ที่ได้รับมอบหมายจนสำเร็จ

สาระการเรียนรู้

ส่วนประกอบที่สำคัญของต้นมะขามป้อม ได้แก่ ราก ลำต้น ใบ ดอก และผล
 ส่วนประกอบของพืชทำหน้าที่คือ

- รากมีหน้าที่ดูดน้ำและอาหารไปเลี้ยงส่วนต่าง ๆ
- ลำต้นทำหน้าที่ชูกิ่งก้านใบ
- ใบทำหน้าที่หายใจและปรุงอาหาร
- ดอกทำหน้าที่ผสมพันธุ์
- ผลทำหน้าที่แพร่พันธุ์

กระบวนการจัดการเรียนรู้

1. นำบทกลอนผลไม้ ท่องให้นักเรียนฟังและให้นักเรียนท่องไปพร้อม ๆ กัน นำบทกลอนมาสนทนา โดยครูตั้งคำถาม ในกลอนเอ่ยถึงสิ่งใดบ้าง ใครเคยรับประทานสิ่งใดรสชาติเป็นอย่างไร ที่บ้านใครมีต้นไม้ที่อยู่ในคำกลอนบ้าง
2. ให้นักเรียนแบ่งกลุ่มสำรวจต้นมะขามป้อมในบริเวณหมู่บ้าน และพื้นที่ใกล้เคียง โดยสังเกตเปรียบเทียบลักษณะ ของราก ลำต้น ใบ ดอก ผล แล้วจดบันทึก และนำผลงานของแต่ละกลุ่มนำเสนอหน้าชั้นเรียน
3. นักเรียนร่วมกันอภิปราย และวาดภาพต้นมะขามป้อม พร้อมทั้งชี้ส่วนประกอบของต้นมะขามป้อม
4. ทำแบบฝึกหัด

กระบวนการวัดผลประเมินผล (เกณฑ์/เครื่องมือ)

1. การสังเกต
2. ตรวจผลงาน
3. ตรวจแบบฝึกหัด

เครื่องมือที่ใช้ในการวัดผล

1. แบบสังเกต
2. แบบฝึกหัด

แหล่งการเรียนรู้

1. แผนภูมิคำกลอน “ผลไม้”
2. กระดาษใบงาน
3. พืช(ต้นมะขามป้อม)ในบริเวณหมู่บ้าน

ส่วนประกอบของแผนการจัดการเรียนรู้

1. ใบงาน
2. แบบฝึกหัด

แผนการจัดการเรียนรู้สาระ วิทยาศาสตร์

ชั้นประถมศึกษาปีที่ 1

แผนการเรียนรู้ที่ 2 เรื่อง ชีวิตพืช (ประโยชน์ของมะขามป้อม)

วันที่..... เดือน..... พ.ศ.....

สาระสำคัญ

ส่วนประกอบของมะขามป้อมในแต่ละส่วนมีประโยชน์ต่อมนุษย์ สัตว์ และสิ่งแวดล้อม
ผลการเรียนรู้ที่คาดหวัง(จุดประสงค์การเรียนรู้)

1. สามารถบอกถึงประโยชน์ของมะขามป้อมจากการสอบถามและการค้นคว้าหาความรู้
2. สามารถทำงานร่วมกับผู้อื่นได้เป็นอย่างดี

สาระการเรียนรู้

มะขามป้อมมีประโยชน์ต่อมนุษย์ สัตว์ และสิ่งแวดล้อมมากมายเช่น

- ใช้เป็นอาหาร
- ใช้เป็นยารักษาโรค
- เพื่อความสวยงาม
- ทำเป็นของใช้

กระบวนการจัดการเรียนรู้

1. นำเข้าสู่บทเรียนโดยร่วมกันร้องเพลง "รำวงผักผลไม้"
2. สันทนาการร่วมกัน โดยการตั้งคำถาม และตอบคำถาม
 - นักเรียนรู้จักต้นมะขามป้อม ใช้ประโยชน์อะไรได้บ้าง
 - ส่วนใดของมะขามป้อมรับประทานได้
 - นักเรียนเคยเห็นชาวบ้านนำส่วนไหนของมะขามป้อมมาทำยารักษาโรคบ้าง
 - ส่วนไหนของมะขามป้อมที่เรานำมาปลูกสร้างบ้านเรือนได้
3. ให้นักเรียนแบ่งกลุ่มหาชื่อส่วนประกอบของต้นมะขามป้อม จดบันทึกลงในใบงาน
วาดรูปภาพ จัดป้ายนิเทศ ตามหัวข้อ ส่วนที่ใช้เป็นอาหาร ส่วนที่ใช้เป็นยา ส่วนที่นำเป็นของใช้
ส่วนที่ให้ความสวยงาม เสร็จแล้วแต่ละกลุ่มนำเสนอผลงาน
4. สรุปผล ทำแบบฝึกหัด

กระบวนการวัดผลประเมินผล (เกณฑ์/เครื่องมือ)

1. การสังเกตการร่วมกิจกรรมการเรียนรู้
2. ตรวจผลงาน
3. ตรวจแบบฝึกหัด

เครื่องมือที่ใช้ในการวัดผล

1. แบบสังเกต
2. แบบฝึกหัด

แหล่งการเรียนรู้

1. ต้นมะขามป้อมรอบ ๆ บริเวณหมู่บ้านบ้านนาบง
2. ใบงาน
3. ป้ายนิเทศ รูปภาพ สีเมจิก สีเทียน
4. กระดาษสี
5. บุคคล บิดามารดา ครู
6. บริเวณโรงเรียน

ส่วนประกอบของแผนการสอน

1. ใบงาน
2. แบบฝึกหัด

แผนการจัดการเรียนรู้สาระ วิทยาศาสตร์

ชั้นประถมศึกษาปีที่ 1

แผนการเรียนรู้ที่ 3 เรื่อง ชีวิตพืช (ปัจจัยการเจริญเติบโตของต้นมะขาม

วันที่..... เดือน.....พ.ศ.....

สาระสำคัญ

ต้นมะขามป้อมจะเจริญเติบโตได้ต้องอาศัยปัจจัยต่าง ๆ ได้แก่ น้ำ แสงแดด อากาศ แร่ธาตุ

ผลการเรียนรู้ที่คาดหวัง(จุดประสงค์การเรียนรู้)

1. นักเรียนสามารถอธิบายได้ว่า แสง น้ำ อากาศ แร่ธาตุ เป็นปัจจัยที่ทำให้ต้นมะขามป้อมเจริญเติบโต
2. เกิดทักษะ ในการปฏิบัติ บันทึกผลการทดลอง และสรุปความเห็น เกี่ยวกับการทดลองว่า พืช(ต้นมะขามป้อม)ต้องการน้ำ แสงแดด ในการเจริญเติบโต
3. นำเสนอผลการทดลอง และสามารถทำงานร่วมกับผู้อื่นได้อย่างดี

สาระการเรียนรู้

1. ต้นมะขามป้อมจะสามารถเจริญเติบโตได้ดีเมื่อได้รับน้ำ แสงแดด อากาศและอาหาร (แร่ธาตุ)
2. ถ้าต้นมะขามป้อมขาดแสงแดด จะทำให้ใบเหลืองและตาย ถ้าขาดน้ำจะทำให้เหี่ยวเฉาและตาย ถ้าต้นมะขามป้อมขาดอากาศจะตาย ถ้าต้นมะขามป้อมขาดแร่ธาตุจะไม่เจริญเติบโตเท่าที่ควร

กระบวนการจัดการเรียนรู้

1. นำนักเรียนสำรวจบริเวณแหล่งที่ปลูกต้นมะขามป้อม พิจารณาการเจริญเติบโตของต้นมะขามป้อมในโรงเรียน ร่วมกันหาสาเหตุของความแตกต่างของต้นมะขามป้อม
2. ศึกษาสภาพจริงของต้นมะขามป้อม นำสาเหตุที่พบมาวิเคราะห์ และทำการทดลองหาข้อสรุป
3. บันทึกผลการทดลอง และนำเสนอหน้าชั้น
4. ร่วมกันอภิปรายสรุปเป็นแผนผังความคิด เรื่องปัจจัยการเจริญเติบโตของต้นมะขามป้อม

กระบวนการวัดผลประเมินผล (เกณฑ์/เครื่องมือ)

1. การสังเกตการร่วมกิจกรรมการเรียนรู้
2. ตรวจผลงาน
3. สังเกตการตอบคำถามจากการเรียนรู้

แหล่งการเรียนรู้

1. ปุ๋ยวิทยาศาสตร์
2. ปุ๋ยคอก
3. ดันมะขามป้อมในบริเวณโรงเรียน / แหล่งการเรียนรู้ในชุมชน
4. วิทยากรในชุมชน
5. ใบงาน

ส่วนประกอบของแผนการสอน

1. ใบงาน
2. แบบฝึกหัด

แผนการจัดการเรียนรู้สาระ วิทยาศาสตร์ ชั้นประถมศึกษาปีที่ 1
 แผนการเรียนรู้ที่ 4 เรื่อง ชีวิตพืช (การบำรุงรักษาต้นมะขามป้อม)
 วันที่..... เดือน.....พ.ศ.....

ต้นมะขามป้อมเป็นสิ่งมีชีวิต เช่นเดียวกับสัตว์ และมนุษย์ ถ้ามีการดูแล บำรุง รักษา อย่างถูกวิธี
 ต้นมะขามป้อมจะเจริญเติบโตได้ดี

ผลการเรียนรู้ที่คาดหวัง(จุดประสงค์การเรียนรู้)

1. นักเรียนมีเจตคติที่ดีต่อต้นมะขามป้อม
2. นักเรียนมีความรับผิดชอบและสามารถดูแลต้นมะขามป้อมให้เจริญเติบโต ได้อย่างถูกวิธี

สาระการเรียนรู้

พืชเป็นสิ่งมีชีวิต ต้องการน้ำ อากาศ แสงแดด แร่ธาตุ ถ้าเราให้ทุกอย่างอย่าง ถูกวิธี พืชจะ
 เจริญเติบโต ให้ผลผลิตดีขึ้นกว่า การปล่อยปละละเลยไม่ดูแล

กระบวนการจัดการเรียนรู้

1. ครูเล่านิทาน ให้นักเรียนฟัง แล้วครูกับนักเรียนร่วมกันสรุป
2. สนทนาร่วมกัน เกี่ยวกับอาชีพ บิดามารดา ด้วยคำถาม บ้านมีอาชีพอะไร บ้านใครทำนา บ้านใครปลูกผัก ใครเคยไปช่วยพ่อแม่ ทำนา พ่อดูแลการปลูกต้นข้าวอย่างไร ได้ผลผลิตเป็นอย่างไร
3. ให้นักเรียนดูแลต้นมะขามป้อม ด้วยวิธีการอย่างดี เทียบกับต้นมะขามป้อมอย่างเดียวกันแต่ไม่ดูแลอย่างดี จดบันทึกข้อมูลนำเสนอหน้าชั้น
4. สรุปผลการปลูกต้นมะขามป้อมถ้ามีการดูแลอย่างดี และถูกวิธี จะทำให้ต้นมะขามป้อมเจริญเติบโตได้ดี

กระบวนการวัดผลประเมินผล (เกณฑ์/เครื่องมือ)

1. แบบสังเกตการร่วมกิจกรรมการเรียนรู้
2. แบบตรวจผลงาน
3. การตรวจแบบฝึกหัด

แหล่งการเรียนรู้

1. ต้นไม้ที่ใช้ในการทดลอง
2. ต้นมะขามป้อมในบริเวณโรงเรียน
3. แหล่งการเรียนรู้ในชุมชนบริเวณที่ทำการเกษตรกรรม
4. วิทยากรในชุมชน
5. ใบงาน

ส่วนประกอบของแผนการสอน

1. ใบงาน
2. แบบฝึกหัด

ใบงาน

กิจกรรมที่ 1 ให้นักเรียนสำรวจต้นมะขามป้อมที่มีอยู่ในบริเวณโรงเรียน และอยู่ในบริเวณหมู่บ้านบาง แล้วจดบันทึกจำนวน ลงในกระดาษที่ครูแจกโดยใส่เครื่องหมาย / (ถ้านักเรียนทำไม่ได้ ให้ถาม พี่ พ่อ แม่ หรือครูในโรงเรียน)

จำนวนต้นที่พบ	ส่วนประกอบของพืช																			
	ราก				ลำต้น				ใบ				ดอก				ผล			
	ใหญ่	เล็ก	มาก	น้อย	ใหญ่	เล็ก	มาก	น้อย	ใหญ่	เล็ก	มาก	น้อย	ใหญ่	เล็ก	มาก	น้อย	ใหญ่	เล็ก	มาก	น้อย

สรุปผลกิจกรรม.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

แบบสังเกตการเข้าร่วมกิจกรรม

แบบบันทึกกิจกรรมครั้งที่.....วิชา.....ชั้น.....

เรื่อง.....

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.....

ชื่อ - สกุล	ทำงาน ร่วมกับ ผู้อื่นได้ดี	เป็นผู้ แสวงหา ความรู้	สามารถ รวบรวม ข้อมูลได้	มีวินัย ใฝ่ เรียนรู้ ทำงาน สำเร็จตามที่ ได้รับ มอบหมาย	ควบคุม ตนเอง ได้	ความ รับผิดชอบ ต่องาน	สรุป	
							ผ่าน	ไม่ ผ่าน

หลักเกณฑ์

0 ควรปรับปรุง

0 - 4 คะแนน

1 พอใช้

5 - 7 คะแนน

2 ดีมาก

8 - 10 คะแนน

.....ผู้บันทึกข้อมูล

การวัดและประเมินผล

พฤติกรรมที่ต้องการวัด และประเมินผล	วิธีการ	เครื่องมือ
ความรู้ – ความคิด	1. สังเกตจากการตอบคำถามและการซักถามปัญหาและการแสดงความคิดเห็น 2. สังเกตจากการอภิปรายกลุ่มย่อย 3. การตรวจผลงาน	1. ใบงาน 2. สมุดบันทึกของนักเรียน
ด้านทักษะกระบวนการ	1. ให้ปฏิบัติกิจกรรมการทดลอง (กระบวนการกลุ่ม) 2. ให้อภิปรายกลุ่มย่อยและนำเสนอผลงาน	1. แบบบันทึกการประเมินการทดลอง 2. แบบประเมินโครงงาน
ด้านจิตวิทยาศาสตร์	สังเกตและบันทึกผลการสังเกต	1. สมุดบันทึกการเข้าเรียน 2. แบบสังเกตพฤติกรรมรายบุคคล

บันทึกหลังการสอน

ผลการสอน.....

.....

.....

.....

.....

ปัญหาอุปสรรค.....

.....

.....

.....

ข้อเสนอแนะ.....

.....

.....

แบบประเมินพฤติกรรมและคุณลักษณะที่พึงประสงค์

คำชี้แจง ให้ผู้ประเมินทำเครื่องหมาย / ลงในช่องที่ตรงกับความเป็นจริง โดยมีเกณฑ์ในการประเมินดังนี้

- 5 หมายถึง ปฏิบัติหรือแสดงคุณลักษณะนั้นเด่นชัดที่สุด (5 คะแนน)
- 4 หมายถึง ปฏิบัติหรือแสดงคุณลักษณะนั้นค่อนข้างเด่นชัด (4 คะแนน)
- 3 หมายถึง ปฏิบัติหรือแสดงคุณลักษณะนั้นปานกลาง (3 คะแนน)
- 2 หมายถึง ปฏิบัติหรือแสดงคุณลักษณะนั้นน้อย (2 คะแนน)
- 1 หมายถึง ปฏิบัติหรือแสดงคุณลักษณะนั้นน้อยที่สุด (1 คะแนน)

พฤติกรรมที่แสดงออก	ระดับการปฏิบัติ				
	1	2	3	4	5
1 แต่งกายถูกต้องตามระเบียบ					
2 แสดงกริยา วาจา สุภาพเรียบร้อย					
3 กระตือรือร้น สนใจต่อการเรียน					
4 ให้ความร่วมมือในการปฏิบัติกิจกรรมในชั้นเรียน					
5 ชักถามครูเมื่อมีข้อสงสัยในบทเรียนและเรื่องต่างๆ					
6 มีน้ำใจกับเพื่อนๆ และยอมรับฟังความคิดเห็นของคนอื่น					
7 ปฏิบัติงานที่ได้รับมอบหมายด้วยความตั้งใจส่งทันตามกำหนด					
8 มีความมั่นใจในตนเอง แสดงความคิดเห็นในชั้นเรียน					
9 ศึกษาความรู้จากแหล่งต่างๆ ในชุมชน โรงเรียน					
10 นำความรู้ที่ได้จากการศึกษาไปใช้ในชีวิตประจำวัน					
รวม					

ลงชื่อ.....

(.....)

ผู้ประเมิน

เกณฑ์การประเมินผลปฏิบัติการทดลอง

รายการประเมิน	ระดับความคิดเห็น			
	ดีมาก (4)	ดี (3)	พอใช้ (2)	ปรับปรุง (1)
1. ความรู้ ความคิด จุดประสงค์การทำการงานที่ชัดเจน สาระสำคัญของภาระงานครบถ้วน เนื้อหาสาระถูกต้อง แสดงความคิดริเริ่มสร้างสรรค์ 2. กระบวนการเรียนรู้ วางแผนและเตรียมการที่เป็นระบบ ปฏิบัติการงานเป็นไปตามแผน ประเมินการทำการงานและมีการปรับปรุง ร่วมมือในการทำงานของสมาชิกกลุ่ม 3. การเสนอผลงานหรือเขียนรายงาน สื่อสารได้ชัดเจน เข้าใจง่าย รูปแบบการนำเสนอเหมาะสม ข้อมูลการทำการงานสมบูรณ์ สรุปผลการทำการงานได้ตรงตามจุดประสงค์ เอกสารอ้างอิง/แหล่งข้อมูล				

4. ความคิดเห็นเพิ่มเติม

.....

.....

.....

.....

แบบประเมินผลการปฏิบัติงานผู้เรียน

คำชี้แจง

จงทำเครื่องหมาย ✓ ลงในช่องตรงข้อความที่ท่านเห็นด้วย และเสนอความคิดเห็นเพิ่มเติม
โดยจำแนกระดับความคิดเห็นออกเป็น 4 ระดับ ดังนี้

มากที่สุด	หมายถึง	ผู้เรียนมีพฤติกรรมการแสดงออกด้านนั้นได้มากที่สุด = 4
มาก	หมายถึง	ผู้เรียนมีพฤติกรรมการแสดงออกด้านนั้นได้มาก = 3
พอใช้	หมายถึง	ผู้เรียนมีพฤติกรรมการแสดงออกด้านนั้นได้น้อย = 2
ปรับปรุง	หมายถึง	ผู้เรียนมีพฤติกรรมการแสดงออกด้านนั้นได้น้อยที่สุด = 1

สถานะของผู้ประเมิน

- ☐ ผู้สอน.....
- ☐ ผู้เรียน ชื่อ..... ชั้น.....
- เลขที่..... กลุ่ม

แบบบันทึกการประเมินการทดลอง

กิจกรรมที่สังเกต.....วันที่สังเกต.....

ชื่อกลุ่ม.....ชั้น.....

สมาชิกได้แก่ 1.....2.....
3.....4.....
5.....6.....

ที่	รายการพฤติกรรม	คุณภาพการปฏิบัติ			ไม่ปฏิบัติ
		ดีมาก 4 คะแนน	ปานกลาง 3 คะแนน	พอใช้ 2 คะแนน	ปรับปรุง 1 คะแนน
1	มีการปรึกษากันก่อนทำงาน	.....	.....	.....	.....
2	จัดเตรียมวัสดุ/อุปกรณ์พร้อมและเหมาะสมก่อนปฏิบัติงาน	.....	.....	.....	.....
3	ปฏิบัติงานตามขั้นตอนและวิธีการที่ตกลงกัน	.....	.....	.....	.....
4	ขณะปฏิบัติงานมีการปรึกษาและให้ความช่วยเหลือกัน	.....	.....	.....	.....
5	ระมัดระวังเพื่อให้เกิดความปลอดภัยขณะทำการทดลอง	.....	.....	.....	.....
6	การทดลองเป็นไปตามวัตถุประสงค์	.....	.....	.....	.....
7	ผลการทดลองเสร็จภายในเวลาที่กำหนด	.....	.....	.....	.....
8	เก็บวัสดุ/อุปกรณ์เป็นระเบียบหลังเลิกทำการทดลอง	.....	.....	.....	.....
9	การนำเสนอผลการทดลอง	.....	.....	.....	.....
10	การสรุป/วิเคราะห์การทดลอง	.....	.....	.....	.....
รวม		.....	.....	.....	.....

ลงชื่อ.....

(.....)

ผู้ประเมิน

**เกณฑ์การประเมินผลภาระงาน
การสืบค้นข้อมูล วิชาวิทยาศาสตร์**

รายการประเมิน	ระดับคะแนน			
	3	2	1	หมายเหตุ
1. รูปแบบของรายงาน				
2. ความสมบูรณ์ของเนื้อหา				
3. ความทันสมัยของเนื้อหา				
4. การนำเสนอหน้าชั้น				
สื่อสารชัดเจน เข้าใจง่าย				
รูปแบบการนำเสนอเหมาะสม				
ข้อมูลของรายงานสมบูรณ์				
สรุปข้อมูลได้ตรงตามจุดประสงค์				
คะแนนรวม				

ข้อเสนอแนะ/การแก้ไข

.....

.....

.....

การแปลผล

17-21 ดีเยี่ยม

12-16 ดี

7-11 พอใช้

ใบความรู้ 1

ลักษณะโดยทั่วไปของมะขามป้อม

ลำต้น มะขามป้อมเป็นไม้ยืนต้น ขนาดกลางสูงประมาณ 8-12 เมตร โดเต็มที่วัดรอบลำต้นได้ประมาณ 80 เซนติเมตร ลำต้นคดงอเปลือกนอกสีน้ำตาลอมเทา ผิวค่อนข้างเรียบลอกออกเป็นแผ่นๆ ได้เปลือกในสีชมพูสด เรือนยอดแผ่กระจายรูปทรงกลม ปลายกิ่งมักลู่ลง พุ่มใบโปร่ง เนื้อไม้สีแดงอมน้ำตาล

ใบ เป็นใบเลี้ยงคู่ ใบมีลักษณะเป็นรีแบบขนนก ใบย่อยมีขนาดเล็ก ใบเป็นช่อ แต่ละช่อมีใบย่อยเล็กๆ มีรอยหยักเว้าเล็กน้อย ขอบใบเรียบสีเขียวอ่อน กว้าง 0.25-0.50 เซนติเมตรเรียงชิดกัน ก้านใบสั้นมาก ใบย่อยจำนวน 22 คู่

ลักษณะดอก ดอกแยกเพศกัน แต่เกิดบนกิ่งและต้นเดียวกัน มีสีเหลืองอ่อนอัดเป็นพวง ดอกตัวผู้ขนาดเล็กก้านสั้นมีจำนวนมาก ดอกตัวเมียมีขนาดเล็ก ดอกเพศผู้มีเกสรเพศผู้ 3

ลักษณะผล มะขามป้อมผลมีรูปร่างทรงกลมฉ่ำน้ำมีเนื้อหนาเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.2-2 เซนติเมตร ผลที่อ่อนมีสีเขียวอ่อน ผลที่แก่จะมีสีเขียวค่อนข้างใส มีเส้นริ้วๆตามยาวพอสังเกตเห็น 6 เส้น เนื้อ

เมล็ด มี 1 เมล็ดใน 1 ผล เปลือกหุ้มเมล็ดแข็ง 6 สัน และในเมล็ดมีน้ำมัน

ใบความรู้ 2

เรื่อง การใช้ประโยชน์จากมะขามป้อม

ผลสด มีรสเปรี้ยวอมฝาด คั้นน้ำดื่มกินแก้กระหาย ลดไข้ แก้ไอ แก้หวัด ใช้ผสมน้ำผึ้งขับพยาธิ รักษาโรคเบาหวาน โรคบิด โรคหวัด

ผลแห้ง บดให้เป็นผงชงกิน แก้กตเลือด ท้องเสีย โรคบิด โรคดีซ่าน และโรคโลหิตจาง เมล็ด เมล็ดใช้ชงน้ำร้อน แก้โรคเบาหวาน โรคน้ำดี คลื่นไส้อาเจียน โรคหลอดลมอักเสบใบ ต้มน้ำอาบ ลดไข้ ใบสดนำมาตำพอกหรือทาบริเวณแผล ผื่นคัน ผื่นหนังอักเสบได้

ใบแห้ง ใช้ย้อมเส้นใย เช่น ขนสัตว์ ไหม ให้สีน้ำตาลหรือเหลือง

เปลือก ใช้เปลือกที่แห้งแล้วบดเป็นผงละเอียดโรยแผลสด

ราก ใช้เป็นยาลดไข้พอก

ประวัติย่อผู้วิจัย

ประวัติย่อผู้วิจัย

ชื่อ ชื่อสกุล	นางศุภการย์ ดีพรมกุล
วันเดือนปีเกิด	6 พฤษภาคม 2508
สถานที่เกิด	อำเภอเมือง จังหวัดน่าน
สถานที่อยู่ปัจจุบัน	27 หมู่ 3 ตำบลน้ำเกีฮ่วน อำเภอเมือง จังหวัดน่าน 55000
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	ครู/ชำนาญการ โรงเรียนบ้านนาดอก
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	โรงเรียนบ้านนาดอก ตำบลบ่อเกลือใต้ อำเภอบ่อเกลือ จังหวัด น่าน
ประวัติการศึกษา	
พ.ศ. 2527	มัธยมศึกษาปีที่ 6 โรงเรียนสตรีศรีน่าน ตำบลในเวียง อำเภอเมือง จังหวัดน่าน
พ.ศ. 2529	ประกาศนียบัตรชั้นสูง สาขาวิชาการประถมศึกษา วิทยาลัยครูอุดรดิตถ์
พ.ศ. 2531	ปริญญาตรี สาขาการอนุบาลศึกษา วิทยาลัยครูอุดรดิตถ์
พ.ศ. 2550	ปริญญาโท (การศึกษามหาบัณฑิต) สาขาวิทยาศาสตร์ศึกษา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ