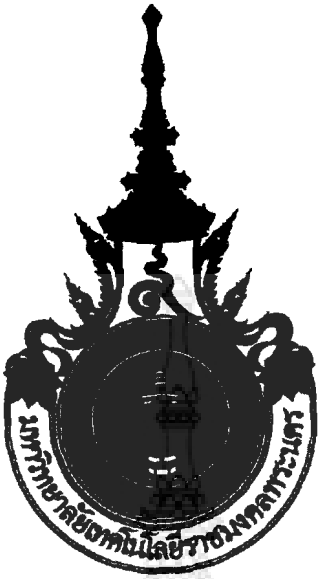
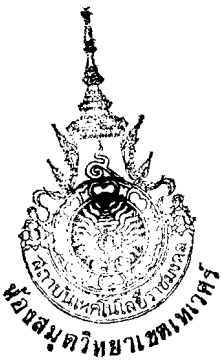




ข้าวเหนียวแก้วแช่แข็ง

นางวลัย หุตะโกวิท

นางสาวเกศรินทร์ มงคลวรวรรณ

นางสาวสุพรรณิการ์ โกสุม

ห้องสมุดวิทยาเขตพระนครเหนือ
วันที่ 15 MAY 2006
เลขทะเบียน.....
เลขหมู่.....

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร วิทยาเขตโชติเวช

รายงานผลการวิจัย ประจำปีงบประมาณ 2547

ข้อ 1 ชื่อผลงานคิดค้นหรือสิ่งประดิษฐ์

ภาษาไทย ข้าวเหนียวแก้วแซ่แข็ง

ภาษาอังกฤษ Khao Niew Kaew Frozen

ข้อ 2 ประวัติของหัวหน้าโครงการ

<u>หัวหน้าโครงการ</u>

ชื่อ นางวลัย นามสกุล หุตะโกวิท อายุ 55 ปี

คุณวุฒิ วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

ตำแหน่ง รองอธิการบดีฝ่ายบริหาร

สังกัด วิทยาเขตโชติเวช

<u>ผู้ร่วมโครงการ</u>

ชื่อ นางสาวเกศรินทร์ นามสกุล มงคลวรวรรณ อายุ 28 ปี

คุณวุฒิ วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

ตำแหน่ง หัวหน้าแผนกสารบรรณ

สังกัด วิทยาเขตโชติเวช

ชื่อ นางสาวสุพรรณิการ์ นามสกุล โกสุม อายุ 29 ปี

คุณวุฒิ คหกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

ตำแหน่ง สำนักงานฝ่ายกิจการนักศึกษา

สังกัด วิทยาเขตโชติเวช

ข้าวเหนียวแก้วแช่แข็ง

วลัย หุตะโกวิท เกศรินทร์ มงคลวรวรรณ และสุพรรณิการ์ โกสุม

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนครวิทยาเขตโชติเวช

บทคัดย่อ

การศึกษาอิทธิพลปริมาณน้ำตาลทรายต่อน้ำกะทิ 4 ระดับ ที่มีต่อข้าวเหนียวแก้ว พบว่าเมื่อปริมาณน้ำตาลทรายมากขึ้น ข้าวเหนียวแก้วมีค่าความสว่างลดลง โดยมีสีเขียวอ่อนใส มีลักษณะมันเงา กลิ่นหอมใบเตย เนื้อสัมผัสแข็งเล็กน้อย จากการทดสอบทางประสาทสัมผัส ข้าวเหนียวแก้วที่ปริมาณน้ำตาลต่อน้ำกะทิ 30 : 40 มีคะแนนความชอบเฉลี่ยทุกด้านสูงสุด ในระดับความชอบปานกลาง จากนั้นศึกษาปริมาณข้าวเหนียวเขี้ยวงู ที่ระดับ 20% และ 30% พบว่าปริมาณข้าวเหนียวที่เพิ่มขึ้น ค่าความสว่างมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น โดยข้าวเหนียวแก้วมีสีเขียวอมเหลือง ทดสอบทางด้านประสาทสัมผัส พบว่าอัตราส่วนข้าวเหนียวเขี้ยวงูที่ระดับ 30 % มีคะแนนความชอบเฉลี่ยสูงสุด ในระดับชอบปานกลาง จากนั้นนำมาศึกษาระยะเวลาการเก็บรักษาและการคืนตัวของข้าวเหนียวแก้วแช่แข็งที่ระยะเวลา 15, 30 และ 45 วัน โดยการนำข้าวเหนียวแก้วมาพักที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 10 นาที แล้วให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟที่ระดับความร้อน 30% เป็นเวลา 40 ,50 และ 60 วินาที พบว่าผู้ทดสอบให้การยอมรับข้าวเหนียวแก้วแช่แข็งที่ระยะเวลา 30 วัน โดยใช้ความร้อนด้วยไมโครเวฟที่ระดับความร้อน 30% เวลานาน 50 วินาที โดยข้าวเหนียวแก้วที่ได้มีสีเขียวเข้มขึ้น เมื่อทำการคืนตัวข้าวเหนียวแก้วมีเนื้อสัมผัสแห้ง ลักษณะที่ผู้ทดสอบให้การยอมรับอยู่ในระดับความชอบเล็กน้อย

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ

The effect of four levels of sugar to coconut milk on the qualities of Khao Niew Kaew was found that as sugar increased, the lightness of Khao Niew Kaew decreased. The color of Khao Niew Kaew was light green. The overall likeness of Khao Niew Kaew were moderately at 30 : 40 of sugar to coconut milk .The study on Khao Niew Kaew with the level at 20 and 30% of sticky rice was found that as the sticky rice increased, it was likely that the lightness increased. The color of Khao Niew Kaew was yellow-green. The hishest score of the likeness of Khao Niew Kaew was moderately at the level of 30 %. For the study of shelf-lives of Khao Niew Kaew for 15, 30 and 45 days, it was stored in refrigerator ($0^{\circ}C$) and Thawing in the room temperature ($30\pm2^{\circ}C$) for 10 minutes and heat by microwave (with 30% of power) for 45, 50 and 60 seconds. The study was found that Khao Niew Kaew stored for 30 days with 30% of power from microwave for 50 seconds was accepted. Khao Niew Kaew was dark green and increasingly hard. The result of the study was moderately accepted.

กิตติกรรมประกาศ

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ.....III

กิตติกรรมประกาศ.....V

สารบัญ.....VI

สารบัญตาราง.....VIII

สารบัญภาพ.....IX

บทที่ 1 บทนำ.....1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....1

1.2 วัตถุประสงค์.....2

1.3 ขอบเขตของการทดลอง.....2

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....2

บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....3

2.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับข้าว.....3

2.2 น้ำตาล.....15

2.3 กะทิ.....18

2.4 การแช่เยือกแข็ง.....19

2.5 การคืนตัวของผลิตภัณฑ์แช่เยือกแข็ง.....28

2.6 ไมโครเวฟ.....31

2.7 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....36

บทที่ 3 วิธีดำเนินงาน.....39

3.1 วัตถุดิบและอุปกรณ์.....39

3.2 วิธีการดำเนินการทดลอง.....39

3.3 สถานที่ดำเนินงาน.....40

3.4 ระยะเวลาการดำเนินงาน.....40

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 4 ผลการทดลองและการวิจารณ์ผลการทดลอง.....43
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง.....51
ข้อเสนอแนะ.....52
บรรณานุกรม.....53
ภาคผนวก ก.....55
ภาคผนวก ข.....62
ภาคผนวก ค.....65

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1 สารอาหารที่เป็นองค์ประกอบในข้าวขาว.....5
ตารางที่ 2 จำแนกประเภทของข้าวตามปริมาณอะไมโลส.....7
ตารางที่ 3 การแบ่งประเภทข้าวตามความคงตัวของแป้งสุก.....7
ตารางที่ 4 การแบ่งประเภทตามระดับอุณหภูมิแป้งสุก.....8
ตารางที่ 5 แสดงค่าความคงตัวของแป้งสุก.....13
ตารางที่ 6 แสดงค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าการสลายเมล็ดในด่างกับอุณหภูมิแป้งสุก.....13
ตารางที่ 7 เปรียบเทียบความหวานของน้ำตาลชนิดต่าง ๆ 15
ตารางที่ 8 คุณสมบัติของน้ำตาล.....17
ตารางที่ 9 แสดงคุณค่าของเนื้อมะพร้าว.....18
ตารางที่ 10 ปริมาณน้ำและอุณหภูมิที่จุดเยือกแข็งของอาหารบางชนิด.....20
ตารางที่ 11 การสูญเสียวิตามินต่าง ๆ ระหว่างการเก็บรักษาอาหารแช่เยือกแข็งบางชนิด.....25
ตารางที่ 12 แสดงอัตราส่วนของน้ำตาลทราย : น้ำกะทิ.....42
ตารางที่ 13 แสดงอัตราส่วนของน้ำตาลทราย : น้ำกะทิ : ข้าวเหนียวเขี้ยวงู.....42
ตารางที่ 14 แสดงค่าทางด้านกายภาพและประสาทสัมผัสในการศึกษาสูตรมาตรฐาน.....43
ตารางที่ 15 แสดงค่าทางด้านกายภาพและประสาทสัมผัสของน้ำตาลทราย : น้ำกะทิ.....44
ตารางที่ 16 แสดงค่าทางด้านกายภาพและประสาทสัมผัสของการศึกษาอัตราส่วน
ข้าวเหนียวเขี้ยวงู.....45
ตารางที่ 17 แสดงค่าทางด้านกายภาพและประสาทสัมผัสการศึกษาระยะเวลาการเก็บ
และการคืนตัว.....46

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่ 1 โครงสร้างพื้นฐานภายในเมล็ดข้าว.....4
ภาพที่ 2 โครงสร้างของอะไมโลสและอะไมโลเพกติน.....6
ภาพที่ 3 แสดงลักษณะของข้าวเหนียวแก้วแช่แข็ง.....47
ภาพที่ 4 แสดงข้าวเหนียวแก้วแช่แข็งที่ระยะเวลา15วันที่ผ่านให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ..... ...48
ภาพที่ 5 แสดงข้าวเหนียวแก้วแช่แข็งที่ระยะเวลา 30 วัน ที่ผ่านให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ 89
ภาพที่ 6 แสดงข้าวเหนียวแก้วแช่แข็งที่ระยะเวลา 45 วัน ที่ผ่านให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ 50
ภาพที่ 7 แผนผังแสดงกรรมวิธีการทำข้าวเหนียวแก้วแช่แข็ง.....60
ภาพที่ 8 ข้าวเหนียวแก้วสูตรมาตรฐาน.....61

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญของปัญหา

ขนมหวานจัดเป็นอาหารไทยที่นิยมกันมาตั้งแต่สมัยโบราณ คนไทยส่วนใหญ่จะนิยมทำขนมหวาน และขนมไทยเพื่อจัดเลี้ยงในงานบุญ งานสำคัญและพิธีกรรมต่าง ๆ โดยขนมไทยส่วนมากที่นำมาจัดเลี้ยงในงานล้วนมีความหมายที่เป็นมงคลทั้งสิ้น ซึ่งถือเป็นความเชื่อของคนไทยสมัยก่อน จนกระทั่งปัจจุบันนี้ขนมไทยเป็นที่แพร่หลายมากขึ้น และได้รับการอนุรักษ์ให้เป็นขนมทางวัฒนธรรม และประเพณีต่าง ๆ ซึ่งมีรับประทานกันทั่วไปมิใช่เพียงงานบุญเท่านั้น นอกจากนี้ก็ยังได้มีการจัดหาวัตถุดิบที่แปลกใหม่ และหลากหลายมาแปรรูปเป็นขนมไทยต่าง ๆ เพื่อนำมารับประทานกันในครอบครัว อีกทั้งยังสามารถทำขายเพื่อเพิ่มรายได้ ในการเลี้ยงครอบครัวอีกทางหนึ่งด้วย โดยขนมไทยส่วนใหญ่จะมีวัตถุดิบจำพวก แป้ง กะทิ น้ำตาล เป็นองค์ประหลัก ซึ่งล้วนแล้วแต่ เป็นวัตถุที่สามารถหาซื้อได้ง่ายในท้องตลาดทั่วไป และราคาไม่แพงมากนัก ขนมไทยแต่ละชนิดจะมีความแตกต่างกันขึ้นอยู่กับ กรรมวิธีการทำ ศิลปะ ฝีมือ ความปราณีต พิถีพิถัน เพื่อให้เกิดความสวยงามและน่ารับประทาน ซึ่งถือเป็นเอกลักษณ์เฉพาะตัวของขนมไทย

ข้าวเหนียวแก้วจัดเป็นขนมไทยโบราณที่ผู้บริโภค ไม่นิยมทำรับประทานกันในครัวเรือน ส่วนใหญ่จะซื้อมารับประทานกันมากกว่า เพราะกรรมวิธีการทำค่อนข้างยาก และสลับซับซ้อน ใช้เวลาค่อนข้างนาน จึงทำให้ผู้ทำการทดลองมีแนวคิด ที่จะทำข้าวเหนียวแก้วแช่แข็ง เพื่อยืดอายุการเก็บรักษาให้นานขึ้น และสะดวกในการนำมารับประทาน อีกทั้งเป็นการเพิ่มทางเลือกใหม่ให้กับผู้บริโภคอีกด้วย ข้าวเหนียวแก้วสำเร็จรูปแช่แข็งจะมีลักษณะ สี กลิ่น รสชาติ ใกล้เคียงกับของเดิมมากที่สุด โดยเมื่อต้องการรับประทานก็นำไปให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ แล้ววางทิ้งไว้ในอุณหภูมิห้องสักครู่ก่อนรับประทาน เพราะข้าวเหนียวแก้วควรรับประทานในอุณหภูมิห้องปกติดีที่สุด และสาเหตุสำคัญอีกประการหนึ่งก็คือ เนื่องจากข้าวเหนียวแก้วมีกะทิเป็นส่วนผสม ทำให้เกิดกลิ่นหืนได้ง่าย และมีอายุการเก็บรักษาสั้น ผู้ทำการทดลองจึงมีแนวคิดที่จะนำข้าวเหนียวแก้วไปแช่แข็ง เพื่อช่วยในการเก็บรักษาข้าวเหนียวแก้วให้นานขึ้น

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อหาสูตรมาตรฐานในการทำข้าวเหนียวแก้ว
2. เพื่อศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของข้าวเหนียวเขี้ยวงู น้ำตาลทราย น้ำกะทิ
3. เพื่อศึกษาอายุการเก็บรักษาและการคืนตัว

1.3 ขอบเขตของการทดลอง

การทดลองนี้เป็นการศึกษาสูตรมาตรฐานในการทำข้าวเหนียวแก้ว จำนวน 3 สูตร รวมไปถึงศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของ ข้าวเหนียวเขี้ยวงู น้ำตาลทราย และ น้ำกะทิ ตลอดจนศึกษาอายุการเก็บรักษาและการคืนตัวของข้าวเหนียวแก้วแช่แข็ง

1. ข้าวเหนียว (พันธุ์เขี้ยวงู)
2. น้ำตาลทราย (ตรามิตรผล)
3. เกลือ (ตราปรุงทิพย์)

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้สูตรมาตรฐานของข้าวเหนียวแก้ว
2. ได้ทราบอัตราส่วนที่เหมาะสมของข้าวเหนียวเขี้ยวงู น้ำตาลทราย น้ำกะทิ
3. ได้ทราบถึงระยะเวลาในการเก็บรักษาและการคืนตัวของข้าวเหนียวแก้วแช่แข็ง

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับข้าว

ข้าวเจ้าเป็นพืชตระกูลหญ้า (Graminae) มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Oryza sativa L.* ลักษณะของผลเป็นเดี่ยวชนิดที่มีเปลือกหุ้มเมล็ด (Covered caryopsis) เพาะปลูกกันมากในทวีปเอเชีย โดยเฉพาะในประเทศจีน อินเดีย ไทย เวียดนาม และฟิลิปปินส์ เป็นต้น (วุฒิชัย ,2535)

2.1.1 โครงสร้างของเมล็ดข้าว

เมล็ดข้าวประกอบด้วยโครงสร้าง 2 ส่วนใหญ่ ๆ คือ เปลือกหุ้มเมล็ด (Hull or Husk) และส่วนของผล (Caryopsis) ซึ่งเมื่อขัดสีเอาส่วนของเปลือกหุ้มเมล็ดออกแล้วจะเหลือส่วนผล ซึ่งส่วนผลนี้จะประกอบด้วยส่วนต่าง ๆ ดังนี้

2.1.1.1 เยื่อหุ้มผล (Pericarp) เป็นส่วนที่อยู่ถัดจากเปลือกหุ้มเมล็ด ทำหน้าที่ห่อหุ้มเมล็ดไว้ประกอบด้วยเซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลสสูง

2.1.1.2 เปลือกหุ้มผล (Seed coat) อยู่ถัดจากเยื่อหุ้มผลเข้าไป เป็นเนื้อเยื่อสองชั้นเรียงกัน ประกอบด้วยไขมันสูง

2.1.1.3 ชั้นอัลลูโรน (Aleurone layer) เป็นเซลที่มีผนังหนาเรียงต่อกันประมาณ 1-7 ชั้น หุ้มทั้งเมล็ด ประกอบด้วยโปรตีนและไขมันสูง

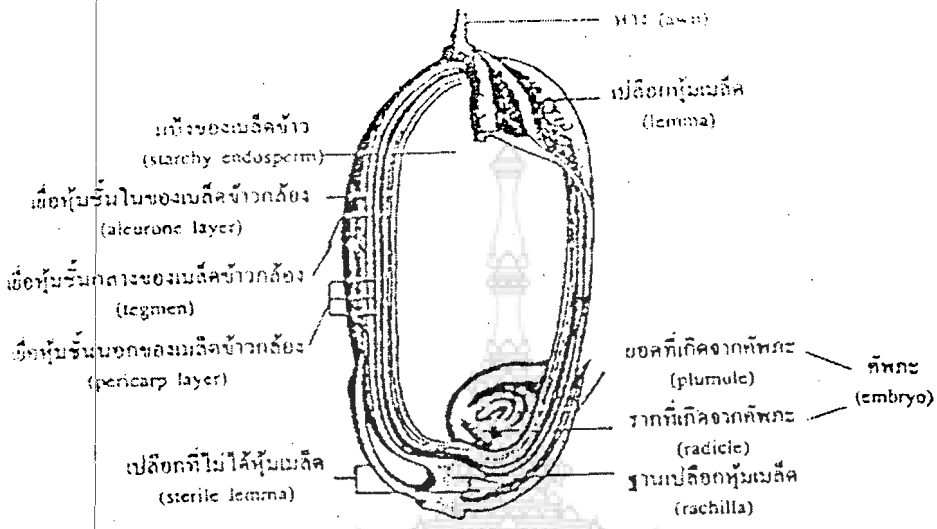
2.1.1.4 เอนโดสเปอร์ม (Endosperm) เป็นส่วนที่มีแป้งอยู่สูงถึงร้อยละ 90 ในรูปของเมล็ดแป้ง (Starch granule) ที่อัดตัวรวมกันแน่นรวมกันเป็นสารประกอบแป้ง (Starch compound) และในส่วนนี้ยังมีโปรตีนแทรกอยู่ระหว่างเม็ดแป้งประมาณร้อยละ 8-10

2.1.1.5 คัพภะหรือเอมบริโอ (Emberyo) จะอยู่ด้านล่างของเมล็ด เป็นแหล่งของสารอาหารจำพวก โปรตีน ไขมัน และวิตามินต่าง ๆ

2.1.2 ลักษณะของข้าวเหนียวเขี้ยวงู

ข้าวเหนียวพันธุ์ เขี้ยวงู ซึ่งเป็นข้าวเหนียวต้นปลูกได้เฉพาะฤดูนาปี ซึ่งได้ปรับปรุงพันธุ์ด้วยการทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางพันธุกรรม โดยใช้รังสีแกมม่า ขนาด 20 กิโลแรดอาบเมล็ดพันธุ์ข้าวขาวดอกมะลิ 105 แล้วนำมาปลูกคัดเลือกที่สถานทดลองข้าวบางเขน

และสถานีทดลองข้าวพิมาย และคณะกรรมการพิจารณาพันธ์ให้ใช้ขยายพันธ์ข้าวได้แก่ กข. 6 เมื่อวันที่ 5 พฤษภาคม 2520



ภาพที่ 1 โครงสร้างพื้นฐานภายในเมล็ดข้าว
ที่มา : ทศรฐ (2543)

สมบัติของข้าวเหนียวพันธุ์เขี้ยวงู

ผลผลิตข้าวเหนียวพันธ์เขี้ยวงู ประมาณ 666 กก./ ไร่ โดยมีระยะพักตัวของเมล็ดประมาณ 36 วัน ลักษณะทางกายภาพมีเมล็ดข้าวยาว 7.23 กว้าง 2.28 มม หนา 1.77 มม ความสูง ประมาณ 154 ซม. โดยมีคุณสมบัติเด่นได้แก่ ทนแล้งได้ดีพอสมควรทำให้ผลผลิตไม่ลดในฤดูการทำงานที่ฝนทิ้งช่วง คุณภาพการขัดสีดีและคุณภาพในการหุงต้มดีมากได้ข้าวสุกที่อ่อนนิ่มมีกลิ่นหอม ลำต้นแข็ง ไม่ล้มง่าย ปรับตัวเข้ากับสภาพแวดล้อมได้ดี ลักษณะต้นสูง เหมาะกับสภาพนาลุ่ม การแตกกออยู่ในเกณฑ์ดี รวงยาว ลักษณะเมล็ดยาว ให้ผลผลิตสูง ต้านทานโรคใบจุดสีน้ำตาล เก็บเกี่ยวง่าย นวดง่าย สมบัติด้อย เป็นพันธุ์ที่ปลูกได้เฉพาะในฤดูนาปี เนื่องจากข้าวพันธุ์นี้กำเนิดมาจากข้าวเจ้าเมื่อปลูกไปนาน ๆ จะกลายพันธุ์เป็นข้าวเจ้าได้ง่าย ไม่ต้านทานโรคขอบใบแห้ง ไม่ต้านทานเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลและแมลงบั่ว

2.1.3 องค์ประกอบที่สำคัญของข้าว

เมื่อนำข้าวเปลือกมากะเทาะเปลือกและขัดสีเอาส่วนของแกลบ และรำออกแล้วจะได้ข่าวสารที่มีสีข้าว ซึ่งเป็นส่วนของเอนโดสเปอร์มที่เราใช้บริโภค ดังนั้นข้าวจึงมีแป้งเป็นองค์ประกอบหลัก รองลงมา ได้แก่ โปรตีน ไขมัน เถ้า และเยื่อใย

ตารางที่ 1 สารอาหารที่เป็นองค์ประกอบในข้าวขาว

สารประกอบ	ปริมาณ (ร้อยละ)
ความชื้น	12.0
โปรตีน	6.7
ไขมัน	0.4
เยื่อใย	0.3
แป้ง	80.1
เถ้า	0.5

ที่มา :สุภาภรณ์ (2545)

2.1.3.1 คาร์โบไอเดรต จะสะสมอยู่ในรูปของสตาร์ช และน้ำตาล รวมทั้ง เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และเพนโตเซนซึ่งอยู่ในส่วนของเยื่อใย ในการขัดสีข้าวจะพบองค์ประกอบเหล่านี้มากในข้าวกล้อง ข้าวสาร รำหยาบ และรำละเอียด โดยสตาร์ชที่มีอยู่ในเมล็ดข้าวโดยทั่วไปจะประกอบด้วยอะไมโลสประมาณร้อยละ 12-35 และอะไมโลเปกตินร้อยละ 65-88

2.1.3.2 โปรตีน มักพบในส่วนของคัพภะประมาณร้อยละ 19-27 ของน้ำหนักของคัพภะ ซึ่งประกอบด้วยกรดอะมิโนที่จำเป็นอยู่หลายชนิด

2.1.3.3 ไขมัน เป็นองค์ประกอบที่พบมากในคัพภะ รำหยาบ และรำละเอียดตามลำดับ โดยไขมันส่วนใหญ่ประกอบด้วยกรดไขมันต่าง ๆ เช่น กรดพาลมิติก กรดโอเลอิค และกรดลิโนเลอิค เป็นต้น

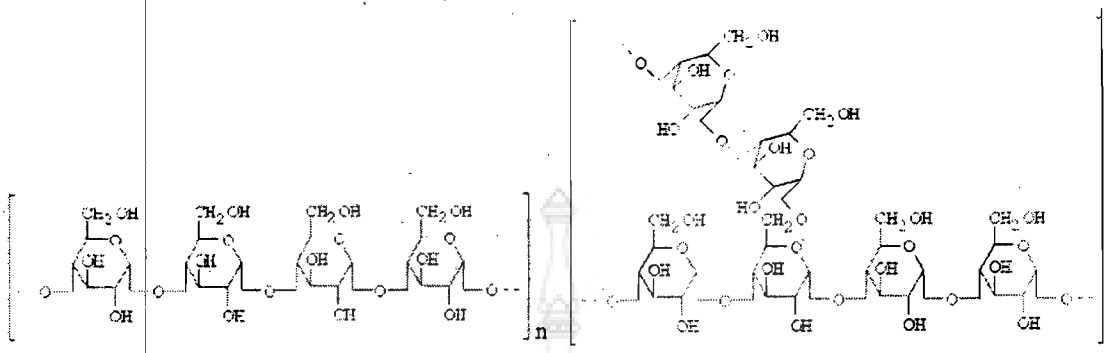
2.1.3.4 วิตามินเป็นองค์ประกอบที่พบในส่วนของรำหยาบ รำละเอียด และคัพภะ ที่ได้จากการขัดสี ซึ่งเป็นแหล่งของวิตามินบี 1 วิตามินบี 2 และไนอะซิน

2.1.3.5 เกลือแร่ เป็นองค์ประกอบที่พบมากที่สุดในส่วนของแกลบ รองลงมาคือ รำหยาบ คัพภะ และรำละเอียด ตามลำดับ โดยแร่ธาตุที่พบมากที่สุด ได้แก่ ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แมกซีเนียม ซิลิกอน และแคลเซียม

2.1.4 การเกิดเจลลาติไนส์ของเม็ดแป้ง

คาร์โบไฮเดรตที่เป็นองค์ประกอบในเมล็ดข้าวจะอยู่ในรูปของเม็ดแป้งซึ่งประกอบด้วยโพลีเมอร์ 2 ชนิด คือ อะไมโลส และอะไมโลเปกติน โดยอะไมเลสจะเป็นโพลีเมอร์ชนิดที่มีโครงสร้างเป็นสายโซ่ตรง ประกอบด้วยกลูโคสเชื่อมต่อกันด้วยพันธะแอลฟา 1,4 ไกลโคซิดิค ส่วนอะไมโลเปกตินจะมีโครงสร้างเป็นแบบกิ่งหรือสาขา ประกอบด้วยกลูโคสเชื่อมต่อกัน

ด้วยพันธะแอลฟา 1 ,4 ไกลโคซิดิคในช่วงที่เป็นสายตรง และแอลฟา 1,6 ไกลโคซิดิคในช่วงที่เป็นกิ่งหรือสาขา (วุฒิชัย , 2536)



อะไมโลส อะไมโลเปิกติน

ภาพที่ 2 โครงสร้างของอะไมโลสและอะไมโลเปิกติน
ที่มา : สุภาภรณ์ (2545)

2.1.5 คุณภาพทางเคมีของเมล็ดข้าวเหนียว

คุณภาพเมล็ดข้าวทางเคมี หมายถึง สัดส่วนและองค์ประกอบทางเคมีที่มีผลต่อคุณภาพ ข้าวสุก โดยมีผลทำให้ข้าวสุกนั้น นุ่ม เหนียว หรือร่วนขึ้นหม้อ ซึ่งคุณภาพข้าวสุกนี้จะขึ้นอยู่กับคุณภาพเมล็ดทางเคมี คือสัดส่วนของอะมิโลสลิและอะมิโลเพคติน ความคงตัวของแป้งสุก อุณหภูมิแป้งสุก การยืดตัวของเมล็ดข้าวสุก โปรตีน กลิ่นหอม ความชื้น และการเก็บรักษา (งามชื่น, 2536)

2.1.5.1 ปริมาณของอะไมโลส และ อะมิโลเพคติน (Amylose and Amylopectic content)

เมล็ดข้าวสารโดยทั่วไปมีองค์ประกอบส่วนใหญ่คือเม็ดสตาร์ช (stach grannule) ซึ่งภายในโครงสร้างจะประกอบด้วยอะมิโลเพคตินเป็นองค์ประกอบหลัก และมีอะมิโลสเป็นองค์ประกอบรอง อัตราส่วนของอะมิโลส และอะมิโลเพคตินเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้ข้าวสุกมีคุณสมบัติแตกต่างกันข้าวที่มีอะมิโลสสูงจะดูดน้ำ และขยายปริมาตรในระหว่างการหุงต้มได้มากกว่าข้าวอะมิโลสต่ำ ทำให้ข้าวสุกมีลักษณะทึบแสงไม่ร่วน และข้าวสุกขยายตัวตามปริมาตรได้มากกว่าหรือที่เรียกกันว่าหุงขึ้นหม้อ ส่วนความนุ่มและความเหนียวของข้าวสุก จะขึ้นกับสัดส่วนอะมิโลเพคตินในสตาร์ช ข้าวเหนียวมักมีอะมิโลเพคตินเกือบทั้งหมด ทำให้ดูดน้ำและขยายตัวน้อยกว่าข้าวเจ้า ข้าวสุกที่ได้จะเหนียวและนุ่มกว่า สำหรับข้าวเจ้าในประเทศไทย มี

ส่วนประกอบของสตาร์ชที่มีอะมิโลสอยู่ระหว่างร้อยละ 12-31 โดยข้าวที่มีความนุ่มเช่น ข้าวขาวดอกมะลิ 105 มี อะมิโลสร้อยละ 12 - 16 จัดเป็นข้าวอะมิโลสต่ำ (งามชื่น, 2536) ได้แบ่งประเภทข้าวตามปริมาณอะมิโลส ดังตารางที่2

ตารางที่ 2 การจำแนกประเภทของข้าวตามปริมาณอะมิโลส

ประเภทข้าว	ปริมาณอะไมโลส (ร้อยละ)	ลักษณะข้าวสุก
ข้าวเหนียว	1 - 2	เหนียวมาก
ข้าวเจ้าอะมิโลสต่ำมาก	2 - 9	เหนียว นุ่ม
ข้าวเจ้าอะมิโลสต่ำ	9 - 20	เหนียว นุ่ม
ข้าวเจ้าอะมิโลสปานกลาง	20 – 25	นุ่ม ค่อนข้างเหนียว
ข้าวเจ้าอะมิโลสสูง	25 - 33	ร่วน แข็ง

ที่มา :งามชื่น (2536)

2.1.5.2 ความคงตัวของแป้งสุก (Gel consistency)

ความคงตัวของแป้งสุก เป็นผลมาจากปริมาณของอะมิโลสเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้ข้าวสุกมีคุณภาพแตกต่างกัน ทั้งนี้เนื่องจากข้าวสุกเมื่อเย็นตัวแล้วจะมีความแข็งหรือความคงตัวแตกต่างกัน ข้าวที่มีความคงตัวของแป้งสุกอ่อน จะนุ่มกว่าข้าวพันธุ์ที่มีความคงตัวของแป้งใสโดยการต้มในสารละลายเบส แล้วทำให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง และวัดระยะทางที่แป้งไหลไปเมื่อวางบนพื้นราบสถาบันวิจัยข้าวนานาชาติ (ทศรฐ , 2543) ได้จัดแบ่งประเภทข้าวตามความคงตัวของแป้งสุกดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 การแบ่งประเภทข้าวตามความคงตัวของแป้งสุก

ความคงตัวของแป้งสุก	ระยะทางที่แป้งไหล (มม.) (แป้ง 100 มก. ใน KOH 0.2 N. 2 มล.)
แข็ง	น้อยกว่า 35
ค่อนข้างแข็ง	36-40
ปานกลาง	41-60
อ่อน	มากกว่า 60

ที่มา : ทศรฐ (2543)

2.1.5.3 อุณหภูมิแป้งสุก (Gelatinization temperature)

อุณหภูมิแป้งสุกหมายถึง อุณหภูมิที่เม็ดสตาร์ชเริ่มพองในน้ำร้อน และ

เปลี่ยนลักษณะทึบแสงเป็นโปร่งแสงในอุณหภูมิแป้งสุกมีความสัมพันธ์กับระยะเวลาการหุงต้ม ถ้าข้าวมีอุณหภูมิแป้งสุกสูงจะสุกช้ากว่าข้าวที่มีอุณหภูมิแป้งสุกต่ำ แม้ว่าระยะเวลาการหุงต้มจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิแป้งสุกก็ตาม แต่ความกว้างและความหนาของเมล็ดข้าวก็มีผลต่อเวลาหุงต้มด้วย ข้าวที่มีอุณหภูมิสุกเท่ากันแต่มีเมล็ดหนากว่าจะใช้หุงต้มนานกว่าสำหรับข้าวเหนียวหรือข้าวที่มีอะไมโลสต่ำ ที่อุณหภูมิแป้งสุกปานกลางหรือสูง จะให้เวลาหุงต้มนานกว่าเมล็ดข้าวจึงดูดน้ำได้มากทำให้ข้าวสุกมีลักษณะแฉะ ดังนั้นข้าวเหนียวหรือข้าวอะมิโลสต่ำควรมีอุณหภูมิแป้งสูงต่ำจึงจะมีคุณภาพดี สำหรับข้าวเจ้าอะมิโลสปานกลางหรือสูงจะไม่เกิดปัญหาดังกล่าว ได้แบ่งประเภทข้าวตามระดับอุณหภูมิแป้งสุก 3 ประเภท ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 การแบ่งประเภทข้าวตามระดับอุณหภูมิแป้งสุก

อุณหภูมิแป้งสุก (องศาเซลเซียส)	ประเภทอุณหภูมิแป้งสุก
ต่ำกว่า 70	ต่ำ
70-74	ปานกลาง
สูงกว่า 75	สูง

ที่มา : **ทศรฐ** (2543)

2.1.5.4 อัตราการยืดตัวของเมล็ดข้าวสุก (Elongation ration)

อัตราการยืดตัวของเมล็ดข้าวสุกเป็นผลมาจากการให้ความร้อนในระหว่าง การหุงต้มโดยเมล็ดข้าวจะขยายตัวออกรอบด้านโดยเฉพาะด้านยาว ซึ่งผู้บริโภคจะนิยมข้าวพันธุ์ที่มีอัตราการยืดตัวมากกว่าข้าวพันธุ์ที่มีอัตราการยืดตัวได้น้อย (ข้าวสุกที่ยืดตัวได้มากและไม่เหนียวติดกันจัดเป็นข้าวที่หุงขึ้นหม้อ) นอกจากนี้ การที่เมล็ดขยายตัวได้มากทำให้เนื้อภายในโปร่งไม่อัดแน่นและช่วยให้ข้าวนุ่มมากขึ้น พันธุ์ข้าวที่มีอัตราการยืดตัวดี ได้แก่ พันธุ์ข้าวบาสมาติ 370 ซึ่งสามารถยืดตัวได้มากกว่า 2 เท่า ของความยาวของเมล็ดข้าวสาร และข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ก็มีการยืดตัวดีทำให้ข้าวสุกมีขนาดยาวน่ารับประทานและนุ่ม แต่เนื่องจากข้าวมีอะมิโลสต่ำ ข้าวสุกจึงเหนียวและหุงไม่ขึ้นหม้อ

อัตราการยืดตัวของเมล็ดหาได้จากสัดส่วนของความยาวของข้าวสุกต่อความยาวของข้าวสาร หรือคำนวณได้จากสูตรของ Juliana and Perez (1984)

$$\text{อัตราการยืดตัวของเมล็ดข้าวสุก} = \frac{\text{ความยาวเฉลี่ยของข้าวสุก 10 เมล็ด}}{\text{ความยาวเฉลี่ยของข้าวสาร10 เมล็ด}}$$

2.1.5.5 ปริมาณโปรตีน (Protein content)

ปริมาณโปรตีน ในเมล็ดข้าวโดยทั่วไปมีอยู่ประมาณร้อยละ 9.8 ซึ่งนับว่า

น้อยแต่ก็มีผลกระทบต่อคุณภาพการหุงต้มและรับประทานเช่นกัน Juliano *et. Al.* (1965) ได้กล่าวว่าปริมาณโปรตีนมีความสัมพันธ์กับเวลาในการหุงต้มกล่าวคือ ทำให้ระยะเวลาหุงต้มข้าวสุกนานขึ้น เมื่อปริมาณโปรตีนเพิ่มขึ้น เนื่องจากโปรตีนเป็นตัวขัดขวางการซึมผ่านของน้ำเข้าไปในเมล็ด และโปรตีนยังมีความสัมพันธ์กับการดูดซึมน้ำของเมล็ด ความนุ่ม และความเหนียว กล่าวคือ ทำให้เมล็ดดูดซึมน้ำได้น้อยลง ข้าวสุกมีความนุ่มและความเหนียวลดลง Onate et. Al. (1964) พบว่าข้าวสุกไม่ว่าจะเป็นสายพันธุ์ใดก็ตามที่มีโปรตีนต่ำจะมีความอ่อนนุ่ม ความเหนียวและมีกลิ่นรสมากกว่าข้าวที่มีโปรตีนสูงกว่า

2.1.5.6 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพข้าวในระหว่างการเก็บรักษา

การเปลี่ยนแปลงจะเกิดขึ้นภายหลังการเก็บเกี่ยว 3-4 เดือน เนื่องจากปริมาณความชื้นลดลงทำให้มีผลต่อคุณสมบัติข้าวสุก คือ ทำให้ข้าวสุกแข็งและร่วนมากขึ้น ข้าวสุกขยายปริมาตรได้มากขึ้นหรือหุงขึ้นหม้อ เมล็ดข้าวจะดูดน้ำได้มากขึ้น น้ำข้าวจะใสขึ้น และใช้เวลาหุงต้มให้สุกนานขึ้นเล็กน้อย เมื่อต้มสุกจะไม่ค่อยแตกตัวออก

ผู้บริโภคบางคนนิยมข้าวเก่าที่หุงขึ้นหม้อและไม่แฉะมีรายงานว่าสามารถเร่งข้าวใหม่ให้กลายเป็นข้าวที่หุงขึ้นหม้อและไม่แฉะได้ โดยเพิ่มความร้อนให้ข้าวสารสูงถึง 110 องศาเซลเซียส ในภาชนะปิดฝา โดยไม่ให้ความร้อนสูญหายไป การเป่าลมร้อน 150 – 260 องศาเซลเซียสชั่วครู่ หรืออาจแช่เมล็ดข้าวสารในน้ำมันดอกทานตะวันที่ 60 องศาเซลเซียสค้างคืน ช่วยให้ความเหนียวของข้าวลดลง การนำข้าวเปลือกไปนึ่งในระยะเวลาสั้น ๆ จะช่วยลดความเหนียวของข้าวสุกได้ Juliano (1992) ได้เร่งข้าวใหม่ (ทั้งข้าวเหนียว และข้าวเจ้า) ให้เป็นข้าวเก่าโดยเก็บข้าวไว้ที่ 2-4 องศาเซลเซียส นานกว่า 4 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำไปเก็บที่ 42 องศาเซลเซียส นาน 4 ชั่วโมง พบว่าข้าวที่ได้มีเนื้อสัมผัสแข็งขึ้น

2.1.6 คุณภาพทางด้านกายภาพของเมล็ดข้าว

คุณภาพเมล็ดข้าวทางกายภาพ หมายถึง คุณสมบัติต่าง ๆ ของเมล็ดข้าวที่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า หรือ ชั่ง ตวง วัดได้ เช่นน้ำหนักเมล็ด (grain weight) สีข้าวกล้อง (pericarp color) ขนาดรูปร่างเมล็ด (grain dimension) ลักษณะท้องไข่ (chalkiness) ความใสของเมล็ด (grain tranlucency) ความขาวของข้าวสาร(whiteness of milled rice) และคุณภาพการสี

2.1.6.1 น้ำหนักเมล็ด

เป็นลักษณะที่คงที่มากที่สุด และ ควบคุมโดยพันธุกรรมเป็นส่วนใหญ่ น้ำหนักเมล็ดจะแปรไปตามขนาดและรูปร่างของเมล็ด ความชื้น ชนิดของดิน การใส่ปุ๋ย และสภาพภูมิอากาศก็มีผลกระทบต่อน้ำหนักเมล็ดด้วย จากการตรวจสอบน้ำหนักข้าวเปลือก 100

เมล็ดพันธุ์ข้าวไทย จำนวน 344 พันธุ์ พบว่ามีน้ำหนักแปรปรวนระหว่าง 1.16 – 4.17 กรัม ข้าวพันธุ์ดีของไทยที่รัฐบาลส่งเสริมให้ปลูกจะมีน้ำหนักเมล็ด 100 เมล็ดระหว่าง 2.25 – 3.67 กรัม

2.1.6.2 สีข้าวกล้อง

เกิดจากสารสีที่เยื่อหุ้มผล (pericarp) ส่วนเนื้อในเมล็ดของข้าวทุกชนิดมีสีขาวเสมอ จากการสำรวจพันธุ์ข้าวต่าง ๆ ในธนาคารเชื้อพันธุ์ข้าวของศูนย์วิจัยข้าวปทุมธานี พบว่า ข้าวกล้องมี 4 สี คือ ขาว น้ำตาล แดง และดำ (ม่วง) ส่วนใหญ่มีสีขาว ข้าวกล้องที่มีสีแดงและม่วง มีสารสีพวกแอนโทไซยานิน (anthocyanin pigment) ข้าวกล้องที่มีสีเข้มต้องใช้เวลาในการขัดรำนานหรือใช้แรงกดมาก เพื่อทำให้ส่วนของรำที่เป็นสีเข้มหลุดออก เป็นผลทำให้ข้าวหักมาก มีปริมาณข้าวสารน้อย ดั้งนั้น ข้าวกล้องที่มีสีอ่อนจึงเป็นที่นิยม เช่น สีขาว หรือสีน้ำตาล

2.1.6.3 ขนาดรูปร่างเมล็ด

ได้แก่ ความยาว ความกว้าง ความหนา และความป้อม หรือเรียวของเมล็ด ข้าวพวกอินดิก้า (Indica) จะมีรูปร่างเมล็ดเรียว ค่อนข้างป้อมพวกจาวานิก้า (Javanica) มีเมล็ดกว้างและหนาส่วนข้าวพวกจาปอนิก้า (Japonica) มีเมล็ดสั้นและกลม

ได้จำแนกขนาดเมล็ดและรูปร่างเมล็ดข้าวกล้องไว้ดังนี้ขนาดเมล็ดจำแนกตามความยาวของเมล็ดเป็น 4 พวก ดั้งนี้คือ

ขนาดเมล็ด	ความยาว (มิลลิเมตร)
ยาวมาก	มากกว่า 7.50
ยาว	6.61 – 7.50
ยาวปานกลาง	5.51 – 6.60
สั้น	น้อยกว่า 5.50

รูปร่างเมล็ดจำแนกตามอัตราส่วนระหว่างความยาวกับความกว้างเป็น 3 พวก

รูปร่างเมล็ด	ความยาว/ความกว้าง
เรียว	มากกว่า 3.0
ปานกลาง	2.1 – 3.0
ป้อม	น้อยกว่า 2.1

2.1.6.4 ลักษณะท้องไข่

ลักษณะท้องไข่ ได้แก่ จุดขาวขุ่นคล้ายชอล์กที่เกิดขึ้นในเนื้อเมล็ด เป็นลักษณะที่เกิดจากการจับตัวอย่างหลวม ๆ ของเม็ดสตาร์ช กับเม็ดโปรตีน ในเนื้อเมล็ด ลักษณะนี้ควบคุมโดยพันธุกรรมและสิ่งแวดล้อม ลักษณะท้องไข่เป็นปัจจัยอย่างหนึ่งที่บ่งบอกถึงคุณภาพและราคาของข้าว ข้าวที่เป็นท้องไข่มาก เมื่อนำไปสีจะมีข้าวหักมาก และไม่เป็นข้าวเกรดสูง เช่น ข้าว 100 เปอร์เซ็นต์ ได้เพราะข้าวเกรดสูงจะมีท้องไข่ได้ไม่เกินร้อยละ 0.5

2.1.6.5 ความใสของเมล็ด

ความใสหรือขุ่นของเมล็ด หมายถึง ความทึบแสง (opaque) หรือความใส (translucence) ของเนื้อเมล็ด ซึ่งจะสังเกตความแตกต่างได้ในข้าวเจ้า ส่วนในเมล็ดข้าวเหนียวจะมีลักษณะขุ่นอย่างเดียว ปัจจุบันยังไม่พบสาเหตุของความใสหรือขุ่นในเนื้อเมล็ดข้าวเจ้า แต่คาดว่าอาจจะเนื่องจากทั้งพันธุ์ข้าวและพื้นที่เพาะปลูก เพราะพันธุ์ข้าวขาวดอกมะลิ 105 ที่ปลูกในภาคตะวันออกเฉียงเหนือจะมีเมล็ดใส แต่ที่ปลูกในแถบภาคกลางบางแห่ง ข้าวสารจะค่อนข้างขุ่นเป็นต้น

2.1.6.6 ความขาวของข้าวสาร

ความขาวขึ้นกับปัจจัยหลายอย่าง เช่น ระดับการสี ซึ่งจะเป็นตัวกำหนดเกรดของข้าว อายุการเก็บข้าว โดยข้าวที่เก็บไว้นาน ๆ จะมีสีคล้ำกว่าข้าวใหม่ นอกจากนั้นยังพบว่า ข้าวสารที่มีโปรตีนสูงจะมีสีคล้ำกว่าข้าวโปรตีนต่ำ (ทศรฐ , 2543)

2.1.6.7 คุณภาพสี

สิ่งที่เป็นผลผลิตจากการสีข้าว ได้แก่ แกลบประมาณร้อยละ 20- 24 รำ ร้อยละ 8-10 และข้าวสารร้อยละ 68 -70 ของข้าวเปลือก ข้าวสารที่ได้ทั้งหมดจากการขัดขาวจะนำไปคัดแยกเป็นข้าวเต็มเมล็ดต้นข้าวและข้าวหัก ซึ่งจะได้แต่ละส่วนมากน้อยเพียงใดขึ้นกับ คุณภาพข้าวเปลือกก่อนสี ปัจจัยที่มีผลต่อสุขภาพการสี ได้แก่ พันธุ์ข้าว การปฏิบัติรักษาก่อนการเก็บเกี่ยว ระยะเวลาและวิธีการเก็บเกี่ยวที่เหมาะสม การตากข้าวก่อนนวดและหลังนวด การนวดข้าว การเก็บรักษา และกระบวนการสี

สำหรับข้าวเหนียวเขี้ยวงูมีลักษณะเรียวยาวความยาวของเมล็ดโดยเฉลี่ยประมาณ 7.42 มิลลิเมตร มีความกว้างประมาณ 2.31 มิลลิเมตร น้ำหนักเมล็ด 1000 เมล็ด ประมาณ 18.17 กรัม หุงสุกได้ในอุณหภูมิ 68 องศาเซลเซียส มีปริมาณอะมิโลส ในแป้งต่ำมาก ประมาณ 8 เปอร์เซ็นต์ ข้าวหุงสุกแล้วจะมีความนุ่มเหนียว

2.1.7 ปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพในการหุงต้มและการบริโภคข้าว

คุณภาพการหุงต้มและรับประทานคุณสมบัติทางเคมี และทางกายภาพมีความสำคัญต่อการทดสอบและ ประเมินคุณภาพการหุงต้มและ รับประทานเนื่องจากความนิยมในการรับประทานของผู้บริโภคในแต่ละประเทศจะแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับคุณภาพการหุงต้ม และการรับประทานดังเช่น ชาวญี่ปุ่น และเกาหลี นิยมข้าวนุ่มและเหนียวจับตัวกันเป็นก้อน คุณสมบัติ ทางเคมีและทางกายภาพที่มีผลต่อคุณภาพการหุงต้มและรับประทาน มีดังนี้

2.1.7.1 ปริมาณอะมิโลส (Amylose contet)

สตาร์ชในเมล็ดข้าวจะมีอะมิโลเพคตินเป็นองค์ประกอบหลักและมีอะมิโลส เป็นองค์ประกอบรอง ในสภาวะในเมล็ดแป้ง มีการจับกันของโมเลกุลอะมิโลส และอะมิโลเพคติน ส่วนที่เป็นผลึก จะเป็นบริเวณที่โมเลกุลของอะมิโลส และอะมิโลเพคตินจัดเรียงตัวกันหนาแน่นเป็นระเบียบ พองตัวยาก ซึ่งมีผลให้เม็ดแป้งไม่ละลายในน้ำเย็น แต่ในส่วนที่เป็นอสัณฐาน ของเม็ดแป้งเป็นส่วนที่โมเลกุลจัดเรียงกันอย่างหนาแน่นจะมีกลุ่มไฮดรอกซิลอิสระอยู่มาก จึงทำให้พองตัวง่ายและโดยทั่วไปนิยมแบ่งประเภทข้าวโดยใช้ปริมาณอะมิโลสเป็นหลัก เมื่อเติมน้ำลงในเม็ดแป้ง และทำให้ร้อนขึ้น โดยเพิ่มอุณหภูมิหรือเพิ่มเวลาในการให้ความร้อน ความร้อนจะทำลายพันธะระหว่างโมเลกุลในบริเวณที่เป็นผลึก ทำให้เม็ดแป้งสามารถรับน้ำเข้าไปในบริเวณอสัณฐาน ทำให้บริเวณนี้มีโมเลกุลของน้ำมาเกาะมากขึ้น ในขณะเดียวกันพันธะไฮโดรเจนในบริเวณผลึกจะเริ่มถูกทำลาย และเม็ดแป้งจะขยายทำให้เกิดการพองตัวขึ้น จนนี่สุดเม็ดแป้งจะพองเต็มที่ เรียกว่า การเจลลาติไนซ์เซชั่น ข้าวที่มีอะมิโลสสูงเม็ดแป้งจะพองตัวได้ยาก ต้องใช้พลังงานความร้อนมากเม็ดแป้งถึงจะพองตัว ทำให้ข้าวที่มีปริมาณ อะมิโลสสูงหุงยากและข้าวสุกที่ได้จะร่วนและแข็ง เมื่ออุณหภูมิลดลงอะมิโลสที่อยู่ใกล้กันก็จะเคลื่อนที่มาจับตัวกันใหม่เรียกว่า การคืนตัวกลับของแป้ง ข้าวที่มีอะมิโลสมากก็จะมีการคืนตัวของแป้งมากทำให้เมล็ดข้าวสุกที่ได้แข็งเนื่องจากน้ำที่อะมิโลส ดูดซึมไว้ถูกปล่อยออกมา

2.1.7.2 ปริมาณโปรตีน (Protein content)

โปรตีนที่เป็นองค์ประกอบในโครงสร้างของเมล็ดข้าวจะอยู่ในลักษณะที่เป็นกลุ่มแทรกอยู่ตามเม็ดแป้ง มีความหนาแน่นบริเวณขอบนอกเมล็ด และค่อยบางลงเมื่อเข้าไปถึงกลางเมล็ด เมื่อหุงต้มข้าว โปรตีนโดยเฉพาะส่วนที่อยู่นอกของเมล็ดจะเป็นตัวขัดขวางการดูดซับน้ำของเมล็ดแป้ง ทำให้เม็ดแป้งพองตัวได้ยาก จึงเป็นผลทำให้ต้องใช้ระยะเวลาในการหุงต้มนานขึ้น และเมล็ดข้าวที่มีปริมาณโปรตีนสูงเมื่อหุงสุก ข้าวจะมีลักษณะแข็งและเหนียวกว่าข้าวที่มีปริมาณโปรตีนต่ำ (สุภาภรณ์, 2545)

2.1.7.3 ความคงตัวของเจล (Gel consistency)

ความคงตัวของเจลขึ้นอยู่กับปริมาณอะมิโลส ที่ทำให้ข้าวมี คุณภาพการหุงต้มและรับประทานแตกต่างกัน ทั้งนี้เนื่องจากแป้งสุกเมื่อเย็นแล้วมีลักษณะแข็งหรือมีความคงตัวแตกต่างกัน มีการแบ่งประเภทข้าวจากค่าความคงตัวเป็น 3 ชนิดดังแสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 แสดงค่าความคงตัวของแป้งสุก

ประเภทของแป้งสุก	ระยะทางที่แป้งไหล (มม.) (แป้ง 100 มก. ใน KOH 0.2 N (2 มล.)
แป้งสุกแข็ง	26-40
แป้งสุกปานกลาง	41-60
แป้งสุกอ่อน	61-100

ที่มา: ทศรฐ (2543)

2.1.7.4 อุณหภูมิแป้งสุก (Gelatinization temperature)

เป็นอุณหภูมิที่ทำให้แป้งกลายเป็นเจลและเปลี่ยนจากลักษณะทึบแสงเป็นโปร่งใสอุณหภูมิแป้งสุกมีความสัมพันธ์กับระยะเวลาหุงต้ม โดยทั่งไปต้องใช้เวลา 14-24 นาที เพื่อต้มเมล็ดข้าวให้สุกข้าวที่มีอุณหภูมิแป้งสุกสูงต้องใช้เวลาหุงต้มนานกว่าข้าวที่มีอุณหภูมิแป้งสุกต่ำ อุณหภูมิแป้งสุกสามารถคาดคะเนได้โดยการดูจากการทดสอบค่าการสลายเมล็ดในด่างของข้าวโดยสามารถแบ่งประเภทของข้าวตามระดับอุณหภูมิตามระดับอุณหภูมิแป้งสุกดังแสดงในตารางที่ 6

ตารางที่ 6 แสดงค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าการสลายเมล็ดในด่างกับอุณหภูมิแป้งสุก

อุณหภูมิแป้งสุก ° C	ประเภทอุณหภูมิแป้งสุก	ค่าการสลายเมล็ดในด่าง
55-69	ต่ำ	6-7
70-74	ปานกลาง	4-5
74.5-79	สูง	2-3

ที่มา: งามชื่น (2536)

อัตราการยืดตัวของเมล็ดแป้งสุก (Elogation ratio)

ในระหว่างการหุงต้มเมล็ดข้าวจะขยายตัวโดยรอบ โดยเฉพาะในด้านยาว ในข้าวบางพันธุ์ เมล็ดสามารถยืดตัวได้มาก ซึ่งเป็นลักษณะพิเศษเป็นที่นิยม การที่เมล็ดยืดตัวได้มากทำให้เมล็ดข้าวสุกไม่เหนียวติดกันคุณสมบัตินี้ช่วยให้ข้าวนั้นขึ้นหม้อดียิ่งขึ้น

2.1.7.5 กลิ่นหอมของข้าวสุก (Aroma)

เมื่อหุงข้าวสุกใหม่ ๆ จะได้กลิ่นซึ่งเกิดจากสารระเหย ซึ่งมีประมาณ 84 ชนิด ได้ได้แก่ ฟอร์มัลดิไฮด์ (Formaldehyde) แอมโมเนีย (NH_3) ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) กรดอะมิโน (Amino acid) ที่มีพันธะ-SH และสารประกอบที่มีหมู่คาร์บอนิล ซึ่งจากการศึกษาพบว่า สารระเหยในข้าวเก่าประกอบด้วย อะซิโตน (Acetone) อะซิตัลดิไฮด์ (Acetaldehyde) เพทานอล (Pentanol) และเมทธิลเอทธิคีโตน (Methyl-ethylketone) ส่วนข้าวหอมมะลิพบว่าเมื่อหุงสุกใหม่ ๆ จะมีกลิ่นหอมของสารระเหย 2-octy-1-pyrrolne

2.1.7.6 การเปลี่ยนแปลงข้าวในระหว่างการเก็บรักษา

หลังการเก็บเกี่ยวภายในเมล็ดข้าวมีการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติต่างๆ กรณีของข้าวเจ้าจากรายงานของนักวิทยาศาสตร์ซึ่งได้รวบรวม ข้อมูลต่าง ๆพอสรุปได้ดังนี้คือ คุณภาพในการขัดสีข้าวเมล็ดยาวที่เป็นข้าวเก่าจะมีเมล็ดแกร่งกว่าข้าวที่เก็บเกี่ยวใหม่ๆ นอกจากนี้การดูดซึมน้ำ (Water absorption) ของข้าวเก่าในระหว่างการหุงต้มก็เพิ่มขึ้นด้วยเช่นเดียวกัน แต่น้ำข้าวจะมีของแข็งแขวนลอย (Total soluble solid) อยู่น้อยลง หรือใสขึ้น ใสขณะที่ข้าวเมล็ดสั้น เช่น ข้าวจาปอนก้าเมื่อนำข้าวเก่าที่เก็บไว้นานมาหุงจนสุก จะมีความเหนียว ความนุ่ม และความเลื่อมมันต่ำกว่าข้าวที่เก็บเกี่ยวได้ใหม่ ๆ ในส่วนของข้าวเหนียวจากประสบการณ์ของผู้เขียนซึ่งบริโภคข้าวเหนียวเป็นอาหารหลักและอยู่ในท้องถิ่นที่ประชากรบริโภคข้าวเหนียวพบว่าข้าวเก่าที่เก็บไว้นานเมื่อหุงต้มสุกจะมีความเหนียว ความนุ่ม และความเลื่อมมัน ต่ำกว่าข้าวที่เก็บเกี่ยวใหม่ ๆ เช่นเดียวกัน

2.1.7.7 คุณค่าทางโภชนาการของข้าวเหนียว

ข้าวเหนียวเป็นธัญพืชที่มีคุณค่าทางอาหารสูงสุดชนิดหนึ่ง ให้แคลอรี่สูง โดยในข้าวเหนียว 60 กรัม ให้พลังงานความร้อนถึง 360 กิโลแคลอรี่ ซึ่งเป็นปริมาณพลังงานที่ได้มากกว่าข้าวเจ้าหรือแป้งสาลีที่มีน้ำหนักเท่ากันในข้าวเหนียวจำนวน 100 กรัม

- คาร์โบไฮเดรต
- โปรตีน
- ไขมัน
- ไฟเบอร์
- เหล็ก
- วิตามิน A
- วิตามิน B^1
- วิตามิน B^2

2.2 น้ำตาล

2.2.1 คุณสมบัติทางเคมีที่สำคัญของน้ำตาลซูโครส

การแตกตัวของน้ำตาลซูโครส น้ำตาลซูโครสเป็นน้ำตาลโมเลกุลคู่ซึ่งประกอบไปด้วยน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว 2 ตัวคือ น้ำตาลกลูโคสจับตัวกับน้ำตาลฟรักโทส ในสภาวะที่มีความร้อนสูงหรือมีน้ำย่อย หรือมีสภาพกรด/ด่างสูงก็จะมีการแตกตัวเป็นน้ำตาลเดี่ยวทั้งสองและก็จะดำเนินปฏิกิริยาแตกต่างออกไป จะได้สารประกอบต่างๆ หลายชนิด ขึ้นอยู่กับระดับความเป็นกรด/ด่าง สิ่งที่เกิดขึ้นหลังจากการแตกตัวของน้ำตาลทรายที่อุตสาหกรรมอาหารมักประสบปัญหาเสมอก็คือสภาพการเกิดสี ซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาของน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวเมื่อน้ำตาลซูโครสแตกตัวเป็นน้ำตาลฟรักโทสและกลูโคส

2.2.2 คุณสมบัติทางฟิสิกส์

2.2.2.1 การให้ความหวาน

น้ำตาลซูโครสจะมีคุณสมบัติการให้ความหวานที่ถูกกำหนดให้เป็นค่ามาตรฐาน มีค่าเท่ากับ 100 หน่วย (สารละลาย 20%) เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำตาลชนิดอื่นๆ ที่มีความเข้มข้นและอุณหภูมิเดียวกัน จะได้ผลลัพธ์ดังตารางที่ 7

ตารางที่ 7 เปรียบเทียบความหวานของน้ำตาลชนิดต่างๆ

ชนิดของน้ำตาล	ความหวาน (หน่วย)
น้ำตาลฟรักโทส	140-175
น้ำตาลฟรักโทสและกลูโคส (Invert sugar)	100-130
น้ำตาลซูโครส	100
น้ำตาลกลูโคส (Anhydrous)	70-75
น้ำตาลกลูโคส (Monohydrous)	60-75
น้ำตาลมอลโทส	30
น้ำตาลแลกโทส	15
น้ำตาลน้ำตาลกาแลกโทส	58

ที่มา : ขวัญจิตและรัชนาอร (2545)

2.2.2.2 ความหนาแน่นของสารละลายน้ำตาลซูโครส

ความหนาแน่นของสารละลายที่เกิดจากการเติมน้ำตาลซูโครสลงไป มีความสำคัญมากในการออกแบบเครื่องมือที่ใช้ในกระบวนการผลิต การคำนวณหาการถ่ายเทความร้อน น้ำหนักที่ไหลผ่าน ฯลฯ ต้องอาศัยค่าความหนาแน่นเป็นปัจจัยทั้งสิ้น

2.2.2.3 จุดเดือดที่เพิ่มขึ้นของสารละลาย (Boiling Point Elevation, BFE)

เป็นที่ทราบกันดีว่า เมื่ออาหารมีส่วนผสมของตัวถูกละลายมากขึ้น โดยเฉพาะน้ำตาล ผลทางฟิสิกส์ที่สำคัญอย่างหนึ่งคือ จุดเดือดของอาหารนั้นจะเพิ่มขึ้นนี้มีความสำคัญต่องานออกแบบกระบวนการการผลิตโดยเฉพาะกระบวนการใช้ความร้อน

2.2.2.4 การละลายตัวของน้ำตาล

การละลายน้ำตาลจะเป็นงานหลักของการปฏิบัติในอุตสาหกรรม เนื่องจากการรับซื้อน้ำตาลในรูปผลึก ก่อนการใช้จะต้องนำมาละลาย มีการเติมน้ำและให้ความร้อน แต่น้ำตาลจะละลายได้มากน้อยนั้นมีปัจจัยจำกัด

2.2.2.5 แรงตึงผิว (Surface tension)

แรงตึงผิวในอาหารเป็นตัวการทำให้เกิดฟองและเป็นคุณสมบัติที่สำคัญในการออกแบบระบบกวน ระบบขนถ่ายต่างๆ

2.2.2.6 ความหนืด (Viscosity)

ลักษณะที่เด่นสุดของน้ำตาลนอกจากให้ความหวานแล้วคือการสร้างความหนืดให้กับอาหาร ความหนืดแน่นแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ

1) Dynamic viscosity มีหน่วยที่รู้จักกันคือ centipoise (cP) หรือหน่วย SI คือ Pa.s

2) Kinematic viscosity (v) มีหน่วยเป็น centistokes (cSt) หรือหน่วย SI คือ m^2/s การที่สารละลายน้ำตาลมีความหนืดสูงจึงทำให้การแพร่กระจายตัวของอากาศหรือออกซิเจนเป็นไปได้ช้า จึงเป็นการป้องกันการเกิดออกไซด์หรือสนิมของภาชนะที่สัมผัสกับน้ำตาล

2.2.2.7 ความสามารถในการหยุดการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์

การเติมน้ำตาลลงในอาหารนอกจากจะเพิ่มแรงตึงผิว แรงดันออสโมติกแล้ว ยังทำการลดความอิสระของน้ำลงอีกด้วย ความอิสระของน้ำที่รู้จักกันดีในค่า water activity (A_w) ซึ่งค่า A_w ปกติของน้ำจะมีค่าเท่ากับ 1.00 และจะเริ่มลดลงเมื่อมีตัวละลายเพิ่มขึ้น จุลินทรีย์จะมีความสามารถจำกัดในการเติบโตในช่วง A_w ต่ำ

ตารางที่ 8 คุณสมบัติของน้ำตาล

คาร์โบไฮเดรต	ความหวาน (1)	ความสามารถในการละลายน้ำ 1 cc ที่อุณหภูมิห้อง (กรัม)	จุดหลอมเหลว °C	อุณหภูมิไหม้ °C	ความยากง่ายในการตกผลึก °C
น้ำตาลชั้นเดียว					
กลูโคส	3	1	86	170	3
ฟรุกโทส	1	4	95	110	5
กาแลกโทส	-	-	-	170	-
น้ำตาลสองชั้น					
ซูโครส	2	2	160	170	4
แลกโทส	5	1/5	-	-	1
มอลโทส	4	1	100	180	2

ที่มา : (ขวัญจิตและรัชนาอร, 2545)

2.2.3 หน้าที่ของน้ำตาล

1.ให้ความหวานแก่ผลิตภัณฑ์

2. เป็นอาหารของยีสต์ทำให้การหมักเกิดขึ้นเร็ว

3.ใช้เตรียมครีมชนิดต่างๆ สำหรับแต่งหน้าเค้ก

4. ช่วยในการตีครีมและตีไข่ให้มีความคงตัวและขึ้นฟู

5. ทำให้ผิวนอกของผลิตภัณฑ์มีสีสวย

6. เพิ่มคุณค่าทางโภชนาการ กลิ่น และรสของผลิตภัณฑ์

7. ช่วยเก็บความชื้น ทำให้ผลิตภัณฑ์นุ่มอยู่ได้นาน เพราะถ้าใช้น้ำตาลมาก เวลาอบจะสั้น เนื่องจากเกิดสีเหลืองบนผิวขนมเร็วขึ้น ความชื้นออกน้อย ขนมจึงนุ่มและสดอยู่ได้นาน แต่ขนมปังจะมีความเหนียวลดลง

2.2.4 วิธีเลือกซื้อน้ำตาล

1. เลือกน้ำตาลให้เหมาะสมกับชนิดของขนมอบ ที่ต้องการทำ

2. แห้งสนิท สะอาด ไม่มีฝุ่นผงเจือปน

2.2.5 **วิธีรักษาน้ำตาล**

ควรเก็บใส่ภาชนะที่มีฝาปิดสนิท โดยเฉพาะน้ำตาลทรายแดงชื้นกว่าน้ำตาลทรายขาว เมื่อเปิดใช้แล้วที่เหลือมักจะแห้งและจับกันเป็นก้อน (ขวัญจิตและรัชนาอร, 2545)

2.3 กะทิ

กะทิ คือ ส่วนที่ได้จากการคั้นน้ำมะพร้าวขูด ถ้าต้องการหัวกะทิแท้ๆ อาจบีบโดยไม่เติมน้ำหรือบางทีก็เติมน้ำบ้างเล็กน้อย แล้วแต่จะต้องการหัวกะทิที่ข้นเพียงใด กะทิที่คั้นจากมะพร้าวทิ้งไว้ไม่นานก็จะมีกลิ่นบูด ถ้าคั้นด้วยน้ำร้อนหรือน้ำอุ่นกะทิให้ความร้อนใกล้จะเดือดก็อาจจะเก็บกะทินั้นไว้ได้นานขึ้นเล็กน้อย ถ้าต้มจะข้นขึ้น ถ้าตั้งไฟไว้นานกะทิจะแตกมัน ด้วยเหตุที่มะพร้าวขูดและกะทิเสียง่ายจึงมีการขูดและคั้นกะทิเมื่อเวลาต้องการใช้ ซึ่งนับว่ายุ่งยาก ขณะนี้ได้มีการเก็บกะทิโดยระเหยน้ำออก ผ่านการต้มฆ่าเชื้อเติมสารกันบูด แล้วบรรจุในภาชนะที่ปิดสนิท

ตารางที่ 9 แสดงคุณค่าของเนื้อมะพร้าว

ความชื้น	ร้อยละ	51.7
ไขมัน	"	28.2
คาร์โบไฮเดรต	"	16.0
กาก	"	3.0
โปรตีน	"	3.2
แคลเซียม	มิลลิกรัม/100 กรัม	23.0
ฟอสฟอรัส	"	11.2
เหล็ก	"	2.5
วิตามิน B_1	"	0.05
วิตามิน B_2	"	0.03
ไนอาซีน	"	0.6
วิตามิน C	"	3

(ที่มา : ขวัญจิตและรัชนาอร, 2545)

2.3.1 **ลักษณะทั่วไปของกะทิ**

กะทิได้จากการคั้นเนื้อมะพร้าวที่ขูดออกมาและอาจจะเติมน้ำหรือไม่ก็ได้ เพราะมีลักษณะอิมิลชัน ชนิดน้ำมันในน้ำ ซึ่งหมายถึงลักษณะของน้ำมันจะกระจายอยู่ในสารละลายน้ำและถูกล้อมรอบ สภาพดังกล่าวเกิดจากระบบที่มีแรงตึงระหว่างผิว (interfacial tension) ระหว่าง

โมเลกุลของน้ำและไขมันต่ำเพราะมีโปรตีนเป็นตัวลดแรงตึงระหว่างผิวกะทิมีอิมิลซิฟายเออร์โดยธรรมชาติ ได้แก่ ฟอสโฟไลปิด (Phospholipid) ได้แก่ เลซิธิน (Lecithin) และเซพาลิน (Cephalic) อยู่ในกะทิ เลซิธิน เป็นอิมัลซิฟายเออร์ชนิดหนึ่งสามารถทำให้อิมัลซิฟายเออร์มีความคงตัวเพิ่มขึ้นได้ขณะที่ลดขนาดของเม็ดไขมันสารเหล่านี้สามารถทำให้ไขมันในกะทิมีสมบัติเปียกน้ำ กระจายตัวไหลได้และละลายได้ แต่ถึงแม้ว่าจะมีเลซิธินในกะทิยังไม่สามารถทำให้กะทิอยู่ตัวได้ เนื่องจากกะทิมีปริมาณของไขมันอยู่มาก เมื่อเทียบกับปริมาณโปรตีนความเข้มข้นของโปรตีนที่ระหว่างของผิวเม็ดไขมันกับน้ำมีไม่มากพอที่จะป้องกันการรวมตัว (Coalescence) โดยที่การเริ่มแยกตัวของชั้นเมื่อตั้งทิ้งไว้ 5-10 ช.ม. จนกระทั่งแยกชั้นสมบูรณ์ในเวลา 24 ชั่วโมง ถ้าเราลดอุณหภูมิของกะทิลงมาถึง 10 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 30 นาที สารละลายเกลือและน้ำกลั่นเมื่อกำจัดโปรตีน น้ำตาล หัวกะทิด้วยน้ำประปา สารละลายเกลือและน้ำกลั่น เมื่อกำจัดโปรตีน น้ำตาล เกลือแร่ ที่ละลายอยู่ออกไประบบอิมิลชั่นจะเปลี่ยนจากชนิดน้ำมันในน้ำเป็นน้ำในน้ำมัน (ขวัญจิต และรัชนาอร , 2545)

2.4 การแช่เยือกแข็ง

อาหารแช่แข็ง หมายถึง อาหารที่ผ่านขบวนการทำให้ส่วนที่เป็นน้ำในอาหารแข็งตัวเป็นผลึกน้ำแข็ง โดยใช้อุณหภูมิต่ำกว่าจุดเยือกแข็ง เช่น ผักผลไม้แช่แข็ง อาหารทะเลแช่แข็ง ขนมอบแช่แข็ง อาหารสำเร็จรูปแช่แข็ง ไอศครีม เป็นต้น

2.4.1 ความสำคัญของอาหารแช่แข็ง

อัตราการแข็งตัวของอาหารสดมีความสำคัญต่อคุณภาพอาหารมาก ถ้าใช้วิธีการทำให้อาหารแข็งตัวช้า ๆ (SLOW FREEZING) จะเกิดผลึกน้ำแข็งขนาดใหญ่แทรกอยู่ระหว่างเซลล์ มีผลทำให้เซลล์ขาดได้ เมื่อทำให้อาหารแช่แข็งละลาย น้ำจะไหลออกจากอาหาร ถ้าเซลล์ขาดจำนวนมากน้ำก็ยิ่งเกิดขึ้นมาก ซึ่งเป็นผลให้อาหารเสียรสชาติ และเสียคุณค่าอาหารได้มาก ดังนั้นในอุตสาหกรรมอาหารแช่แข็งจึงนิยมใช้วิธีการ ทำให้อาหารแข็งตัวอย่างรวดเร็ว (QUICK FREEZING) ใช้เวลาสั้น ซึ่งทำให้เกิดผลึกน้ำแข็งเล็ก ๆ ภายในเซลล์อาหาร เมื่อทำให้อาหารแช่แข็งละลาย อาหารจะดูดซึมน้ำกลับคืนสู่สภาพเดิมได้เป็นส่วนใหญ่ อาหารจึงยังคงมีคุณภาพดีคล้ายอาหารสดมาก

ในการผลิตอาหารแช่แข็งนั้นต้องเลือกอาหารที่มีคุณภาพดี เพราะการแช่แข็งไม่ได้ช่วยให้อาหารมีคุณภาพดีขึ้นกว่าเดิม การบรรจุอาหารแช่แข็งสามารถทำได้ทั้งก่อนและหลังการแช่แข็ง ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความเหมาะสมในด้านกระบวนการผลิตและการแช่แข็ง อาหารที่ผ่านการแช่แข็งแล้วจะถูกเก็บรักษาไว้ในห้องเย็น เพื่อรอการขนส่งหรือการจำหน่ายต่อไป อย่างไรตาม

สิ่งหนึ่งที่ต้องคำนึงในการผลิตอาหารแช่แข็ง คือ ภาชนะที่ใช้บรรจุอาหารแช่แข็ง ซึ่งต้องเลือกให้เหมาะสมถูกต้องเพื่อช่วยรักษาคุณภาพอาหาร และยืดอายุการเก็บรักษาอาหารแช่แข็ง (สุรางค์ รัตน์, 2536.)

2.4.2 ทฤษฎีการแช่เยือกแข็ง

การแช่เยือกแข็งจัดเป็นหน่วยปฏิบัติการหนึ่งที่ทำให้อาหารมีอุณหภูมิลดลงต่ำกว่าจุดเยือกแข็ง (freezing point) นิยมใช้ที่อุณหภูมิ -18 เซลเซียส หรือต่ำกว่า ซึ่งจะยืดอายุการเก็บรักษาอาหารได้นานเป็นเดือนหรือปี หากบรรจุอยู่ในภาชนะบรรจุที่เหมาะสมสำหรับอาหารสด เช่น ผักและผลไม้สด ภายหลังการเก็บเกี่ยวยังคงเป็นเซลล์ที่มีชีวิตอยู่ มีการหายใจเกิดขึ้นตลอดเวลาและมีความร้อนส่วนหนึ่งคายออกมา ดังนั้นในการกำหนดขนาดของเครื่องมือที่ใช้จะต้องคำนึงถึงความร้อนส่วนที่พืชคายออกมานี้ด้วย การแช่เยือกแข็งจะหยุดการหายใจและเมแทบอลิซึมภายในเซลล์

ความร้อนแฝงของน้ำขณะกลายเป็นผลึกน้ำแข็งก็จะถูกกำจัดออกไประหว่างการเปิดผลึกน้ำแข็ง เนื่องจากน้ำมีความร้อนจำเพาะสูง (4,200 จูล/กิโลกรัม/องศาเคลวิน) และการร้อนแฝงของการ fusion ก็สูงด้วย (335 กิโลจูล/กิโลกรัม) จึงต้องใช้พลังงานจำนวนหนึ่งในการทำให้อาหารแข็งตัว ซึ่งจะขึ้นอยู่กับสารให้ความเย็น (refrigerant) ที่ใช้ปริมาณน้ำในอาหารและจุดเยือกแข็งของอาหารบางชนิด

ตารางที่ 10 ปริมาณน้ำและอุณหภูมิที่จุดเยือกแข็งของอาหารบางชนิด

อาหาร	% น้ำในอาหาร	จุดเยือกแข็ง (องศาเซลเซียส)
ผัก	78-92	-0.8 ถึง -2.8
ผลไม้	87-95	-0.9 ถึง -2.7
เนื้อสัตว์	55-70	-1.7 ถึง -2.2
ปลา	65-81	-0.6 ถึง -2.0
น้ำนม	87	-0.5
ไข่	74	-0.5

ที่มา : Fellow, 1997

จุดเยือกแข็งของอาหาร คือ อุณหภูมิที่มีผลึกน้ำแข็งเล็กๆ เกิดขึ้นสมดุลกับน้ำที่อยู่รอบๆ และก่อนเกิดผลึกน้ำแข็งจะต้องมีนิวเคลียสของโมเลกุลน้ำเสียก่อน หลังจากนั้นจะเกิด nucleation

ทำให้เกิดการสร้างผลึกน้ำแข็งขึ้น nucleation มี 2 ชนิด คือ homogeneous nucleation และ heterogeneous nucleation ในอาหารส่วนใหญ่มักจะเกิดเป็น heterogeneous nucleation มากกว่า โดยเฉพาะระหว่างการทำ supercooling ถ้าการถ่ายเทความร้อนเกิดขึ้นด้วยอัตราที่สูง จะทำให้เกิด nuclei จำนวนมาก ดังนั้นการแช่เยือกแข็งอย่างรวดเร็วจะทำให้เกิดผลึกน้ำแข็งขนาดเล็กเป็นจำนวนมาก และอัตราการโตของก้อนผลึกน้ำแข็งจะถูกควบคุมได้ด้วยอัตราการถ่ายเทความร้อน โมเลกุลของน้ำจะเคลื่อนที่ไปยังผลึกน้ำแข็งที่กำลังโตขึ้น ขณะเดียวกันความเข้มข้นของตัวถูกละลายก็จะเพิ่มขึ้นระหว่างการแช่เยือกแข็ง ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของพีเอเอช ความหนืด และ redox potential ของของเหลวส่วนที่ยังไม่แข็งตัว ขณะที่อุณหภูมิลดลงเรื่อยๆ ตัวถูกละลายแต่ละชนิดอาจถึงจุดอิ่มตัวและบางชนิดก็อาจตกผลึกได้ อุณหภูมิที่เกิดผลึกของตัวถูกละลายแต่ละชนิดจะสมดุลกับของเหลวส่วนที่ไม่แข็งตัวและส่วนที่เป็นน้ำแข็ง เรียกว่า eutectic temperature ตัวอย่างเช่น ตัวถูกละลายที่เป็นน้ำตาลกลูโคสมี eutectic temperature เป็น -5 องศาเซลเซียส น้ำตาลซูโครสเป็น -14 องศาเซลเซียส โซเดียมคลอไรด์เป็น -21.13 องศาเซลเซียส และแคลเซียมคลอไรด์ -55 องศาเซลเซียส อย่างไรก็ตามในอาหารแต่ละชนิดจะมีตัวถูกละลายผสมของสารหลายชนิด ทำให้หาค่าของ eutectic temperature ที่แน่นอนได้ยาก ดังนั้นจังกำหนดค่าเป็น final eutectic temperature คือ eutectic temperature ต่ำที่สุดของตัวถูกละลายในอาหารชนิดนั้นๆ เช่น ไอศครีมเป็น -55 องศาเซลเซียส เนื้อสัตว์ -50 ถึง -60 องศาเซลเซียส และขนมปังเป็น -70 องศาเซลเซียส ดังนั้น การเกิดผลึกน้ำแข็งมากที่สุดจะเกิดขึ้นเมื่ออาหารมีอุณหภูมิถึง final eutectic temperature ซึ่งโดยทั่วๆ ไปการแช่เยือกแข็งจะไม่กระทำจนถึงอุณหภูมินี้ จึงมีน้ำบางส่วนเหลืออยู่ในอาหารในรูปของเหลวหรือส่วนที่ไม่แข็งตัวเป็นผลึกน้ำแข็ง

น้ำบริสุทธิ์เมื่อแข็งตัวจะมีปริมาตรเพิ่มมากขึ้นประมาณ 9% ทำให้อาหารแช่เยือกแข็งมีปริมาตรเพิ่มขึ้น อัตราการขยายตัวของอาหารแต่ละชนิดจะผันแปรขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ ได้แก่

1. ปริมาณความชื้นในอาหาร อาหารที่มีความชื้นสูง หรือปริมาณน้ำมากจะขยายตัวได้มาก

2. การเรียงตัวของเซลล์ เซลล์พืชมี intercellular air space จึงจะช่วยทำให้ปริมาตรของพืชที่แช่เยือกแข็งไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก เช่น สตรอเบอรี่ทั้งผลแช่แข็งที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส มีการขยายตัวเพิ่มขึ้นประมาณ 3% แต่เมื่อบดเป็นเนื้อหยาบๆ แล้วแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิเดียวกันจะขยายตัวเพิ่มขึ้นประมาณ 8.2%

3. ความเข้มข้นของตัวถูกละลาย หากมีความเข้มข้นสูงจะลดจุดเยือกแข็งให้ต่ำลง ดังนั้น อุณหภูมิที่ใช้แช่เยือกแข็งทางการค้า อาจจะทำให้อาหารยังไม่แข็งตัวหรือขยายตัว

4. อุณหภูมิของตู้แช่เยือกแข็ง

ระหว่างการแช่เยือกแข็งความร้อนจะถูกพาจากภายในออกสู่ผิวนอกของอาหาร และถูกกำจัดออกไปด้วย freezing medium ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการถ่ายเทความร้อน ได้แก่

ก. ความสามารถในการนำความร้อนของอาหาร

ข. บริเวณพื้นที่ของอาหารที่ถ่ายเทความร้อนได้

ค. ระยะทางที่ความร้อนเดินทางออกมาจากอาหาร

ง. ความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างอาหารกับ freezing medium

จ. ความเป็นฉนวน (insulating effect) ของ boundary film ของอากาศรอบๆ อาหาร หากอาหารบรรจุอยู่ในภาชนะจะมีตัวกั้น (barrier) ต่อการถ่ายเทความร้อนเพิ่มขึ้น

2.4.3 **วิธีการแช่แข็ง แบ่งออกเป็น 2 วิธี คือ**

2.5.3.1 Chilling storage เป็นวิธีการเก็บถนอมอาหารที่อุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิเยือกแข็ง (freezing temperature) เล็กน้อย ปกติจะให้อุณหภูมิ 5-10 องศาเซลเซียส ความเย็นที่ทำให้อุณหภูมิต่ำ อาจจะมาจากน้ำแข็ง น้ำแข็งเติมเกลือ หรือการทำให้เย็นด้วยสารจำพวก refrigerant ของตู้เย็น การเก็บอาหารโดย chilling นี้ ทำให้ปฏิกิริยาทางเคมีและเอนไซม์ รวมทั้งผลของจุลินทรีย์ ที่จะเกิดขึ้นกับอาหารเกิดช้าลง วิธีนี้นิยมใช้ในการถนอมอาหารเป็นการชั่วคราว โดยเฉพาะอาหารสดที่เน่าเสียง่าย เช่น เนื้อ ไก่ อาหารทะเล และผักผลไม้ สำหรับการเก็บรักษาผลไม้ที่มีอุณหภูมิประมาณ 15 องศาเซลเซียส บางครั้งเรียกว่า common หรือ cellar storage

2.5.3.2 Cold storage เป็นวิธีการเก็บถนอมอาหาร โดยการแช่แข็ง (freezing) ที่อุณหภูมิต่ำมากๆ ปกติใช้อุณหภูมิต่ำกว่า -10 องศาเซลเซียส เพื่อให้น้ำที่มีอยู่ในอาหารกลายเป็นผลึกน้ำแข็ง อาหารแช่แข็งนี้สามารถเก็บรักษาได้นานเป็นปีๆ ในห้องเย็น ขบวนการแช่แข็งนี้ทำได้ 2 วิธี

1. การแช่แข็งอย่างช้าๆ (slow freezing) เป็นการทำให้อาหารเย็นแข็งอย่างช้าๆ โดยใช้อุณหภูมิต่ำกว่า 5 องศาเซลเซียส และใช้เวลาประมาณ 3-72 ชั่วโมง วิธีนี้ได้แก่ การแช่อาหารในช่องแช่แข็งของตู้เย็นที่ใช้ตามบ้าน ซึ่งมีอุณหภูมิระหว่าง -1 ถึง -15 องศาเซลเซียส พบว่าผลึกน้ำแข็งที่เกิดขึ้นในเนื้ออาหารมีขนาดใหญ่ ไปตำผนังเซลล์ของเนื้อสัตว์ ผักผลไม้ให้ฉีกขาดได้ ซึ่งมีผลต่อคุณภาพอาหาร หลังจากที่ผลึกน้ำแข็งละลายจนอาหารกลับสู่สภาพเดิม (thawing) อาหารนั้นจะมีลักษณะเละและชุ่มน้ำ และมีส่วนของเหลวภายในเซลล์ไหลออกมา ถ้าเป็นพวกเนื้อของเหลวที่ออกมาจะมีสีแดงคล้ำๆ เรียก dripping หรือ bleeding แต่ถ้าเป็นพวกผักผลไม้ให้เรียกว่า leakage

2. การแช่เย็นแข็งอย่างรวดเร็ว (quick freezing) เป็นการทำให้อาหารเย็นแข็งอย่างรวดเร็ว เวลาที่ใช้ไม่เกิน 30 วินาที วิธีนี้จะได้ผลึกน้ำแข็งขนาดเล็ก ไม่ทำลายเซลล์

ของอาหารมากเหมือนวิธีแรก เป็นวิธีที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมอาหารในปัจจุบัน ทำได้หลายวิธี ขึ้นอยู่กับชนิดของอาหาร และการออกแบบเครื่องแช่แข็ง เช่น การแช่แข็งด้วยการจุ่มโดยตรง (direct immersion) วิธีนี้ใช้กับอาหารที่มีรูปร่างไม่คงที่ และสารที่ให้ความเย็นต้องไม่มีพิษหรือปฏิกิริยากับอาหารนั้น สารละลายที่ให้ความเย็นเป็นสารละลายเหลือและน้ำตาล ปัจจุบันนิยมใช้พวกฟรีออน (freom) เพราะการถ่ายเทความร้อนจากอาหารเกิดขึ้นรวดเร็วกว่าการแช่แข็งโดยใช้ลมเย็นเป่าลงบนอาหาร (air blast) ทำโดยการเป่าอากาศเย็นลงบนอาหาร อุณหภูมิประมาณ -34.1 องศาเซลเซียส ความเร็วของลมอาจสูงมาก อาหารที่แช่แข็งวิธีนี้จึงควรบรรจุภาชนะหรือหีบห่อให้เรียบร้อย เพราะมิฉะนั้นจะเกิด freezer burn ได้ การแช่แข็งโดยการสัมผัสกับสารให้ความเย็นโดยทางอ้อม โดยให้อาหารหรือพับห่อของอาหารสัมผัสกับท่อของสารให้ความเย็น อุณหภูมิให้มีตั้งแต่ -17.8 ถึง -45.6 องศาเซลเซียส

2.4.4 ผลของการแช่เยือกแข็งต่ออาหาร

การแช่เยือกแข็งมีผลกระทบต่อคุณภาพของอาหารโดยตรง คือ ทำให้ เซลล์ของเนื้อเยื่อแตก เนื่องจากเกิดผลึกน้ำแข็งขนาดใหญ่ขึ้นเมื่อการแช่เยือกแข็งเกิดขึ้นอย่างช้าๆ การแช่เยือกแข็งจะมีผลน้อยมากต่อการเปลี่ยนแปลงของสารสี รสชาติ และคุณค่าทางโภชนาการของอาหาร ถึงแม้อาจมีการสูญเสียบ้างระหว่างการเตรียมวัตถุดิบหรือระหว่างการเก็บรักษาอาหารแช่เยือกแข็ง

อาหารที่อยู่ในรูปอิมัลชันเมื่อนำไปแช่เยือกแข็งจะทำให้ความคงตัวลดลง บางครั้งอาจทำให้โปรตีนตกตะกอนออกจากสารละลาย ตัวอย่างเช่น การแช่เยือกแข็งน้ำนม ทำให้เป็นข้อจำกัดในการใช้ประโยชน์จากน้ำนม สำหรับผลิตภัณฑ์ขนมอบหากนำไปแช่เยือกแข็งต้องใช้สตาร์ชที่มีสัดส่วนของอะไมโลเพกทินสูง เพื่อป้องกันไม่ให้สตาร์ชเกิด retrogradation ซึ่งจะมีผลทำให้ขนมปังแห้งแข็งระหว่างการแช่เยือกแข็งอย่างช้าๆ หรือระหว่างการเก็บรักษา

เมื่อนำอาหารแช่เยือกแข็งมาหลอมละลาย เซลล์จะไม่สามารถคืนรูปและเต่งเหมือนเดิม อาหารจะมีเนื้อนิ่ม มีของเหลวจากภายในเซลล์ออกมา เนื่องจากผนังเซลล์ถูกทำลาย อย่างไรก็ตาม หากกระบวนการแช่เยือกแข็งเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว ผลึกน้ำแข็งที่เกิดขึ้นภายในเซลล์และช่องว่างระหว่างเซลล์จะมีขนาดเล็ก จะมีผลเสียหายต่อผนังเซลล์น้อยมาก และไม่เกิดความแตกต่างระหว่างความดันไอน้ำด้วย เซลล์ไม่เหี่ยวลง หรือมีการสูญเสียน้ำออกจากเซลล์เพียงเล็กน้อยเท่านั้น ลักษณะเนื้อของอาหารแช่เยือกแข็งจะยังคงเหมือนเดิมมาก ทำให้อาหารแช่เยือกแข็งที่ได้มีคุณภาพดีและเมื่อนำไปหลอมละลายก็จะมีลักษณะปรากฏที่ดีด้วย

2.4.5 **ผลของการเก็บรักษาอาหารแช่เยือกแข็ง**

การเก็บรักษาอาหารแช่เยือกแข็งยิ่งลดอุณหภูมิให้ต่ำลงยิ่งลดอัตราการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากจุลินทรีย์และปฏิกิริยาทางชีวเคมีให้น้อยลง เพราะกระบวนการแช่เยือกแข็งและการเก็บรักษาไม่ได้ทำลาย activity ของเอนไซม์ และผลต่อจุลินทรีย์ก็มีความผันแปรไปตามอุณหภูมิด้วย การเก็บรักษาที่อุณหภูมิระหว่าง -4 ถึง -10 องศาเซลเซียส จะมีผลทำให้เกิด lethal effect ต่อจุลินทรีย์มากกว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำกว่านี้ (ระหว่าง -15 ถึง -30 องศาเซลเซียส)

นอกจากนี้ยังมีจุลินทรีย์บางชนิดที่ทนทานต่ออุณหภูมิต่ำ ยกเว้นจุลินทรีย์ประเภทยีสต์ รา แบคทีเรีย (gram ลบ เช่น Coliforms และ *Salmonella* species) ส่วนใหญ่ถูกทำลายได้เกือบทั้งหมด ส่วนแบคทีเรีย (gram บวก เช่น *Stapbylococcus aureus* และ Enterococci) สปอร์ของราค่อนข้างทนทานต่อการแช่เยือกแข็ง *Bacillus* species และ *Clostridium species* เช่น *C.botulinum* จะไม่ได้รับผลกระทบจากการแช่เยือกแข็งเลย ดังนั้นต้องควบคุมด้วยก๊าซออกซิเจน ภาวะความเป็นกรด หรือรมด้วยก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์)

สำหรับอุณหภูมิที่ใช้เก็บรักษาอาหารแช่เยือกแข็งโดยทั่วๆ ไป คือ ประมาณ -18 องศาเซลเซียส จะมีการสูญเสียคุณภาพทั้งที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงทางเคมีและอาหารบางชนิดอาจเกิดจาก activity ของเอนไซม์ด้วย และการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวจะเกิดได้เร็วขึ้น เมื่อความเข้มข้นของตัวถูกละลายสูงขึ้นรอบๆ ผลึกน้ำแข็ง ทำให้ water activity ลดลง (เช่น เหลือประมาณ 0.82 ที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส ในอาหารที่มีน้ำเป็นองค์ประกอบ) นอกจากนี้ยังมีการเปลี่ยนค่าพีเอชและ redox potential ด้วย ถ้าเอนไซม์ไม่ถูกทำลายขณะที่เซลล์เมมเบรนถูกทำลายด้วยผลึกน้ำแข็ง จะทำให้เอนไซม์เข้าไปปฏิกิริยากับตัวถูกละลายที่อยู่ภายในและมีความเข้มข้นมากขึ้น ตัวอย่างการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นต่ออาหารแช่เยือกแข็งระหว่างการเก็บรักษา มีดังนี้

2.5.5.1 การเสื่อมของสลายของสารสี ระหว่างการเก็บรักษาอาหารแช่เยือกแข็งประเภทผักสีเขียว คือ สารสีเขียวหรือคลอโรฟิลล์จะค่อยๆ สลายตัวอย่างช้าๆ ได้เป็นสีน้ำตาลของฟีโอไฟตินถึงแม้ผักจะผ่านการลวกแล้วก็ตาม ส่วนในผลไม้อาจมีการเปลี่ยนแปลงพีเอชเนื่องจากของเหลวภายในเซลล์มีความเข้มข้นมากขึ้น เมื่อเย็นจัดเกลือของสารบางชนิดจะมีการละลายลดลงและตกตะกอน เมื่อพีเอชของเซลล์พืชเปลี่ยนไปจะทำให้สีของแอนโทไซยานินเปลี่ยนไปด้วย

2.5.5.2 การสูญเสียวิตามิน วิตามินที่ละลายได้ดีในน้ำ เช่น วิตามินซีและกรดแพนโททีนิกจะสูญเสียได้ถึงแม้อุณหภูมิต่ำกว่าจุดเยือกแข็งก็ตาม หากอุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นจะมีการสูญเสียวิตามินซีเพิ่มขึ้น 6-20 เท่าในผัก และ 30-70 เท่าในผลไม้ ส่วนการสูญเสียวิตามินชนิดอื่นๆ ส่วนใหญ่จะเกิดจากของเหลวที่ไหลออกมา โดยเฉพาะอาหารประเภทเนื้อสัตว์และเนื้อปลา

ตัวอย่างการสูญเสียวิตามินชนิดต่างๆ ระหว่างการเก็บรักษาอาหารแช่เยือกแข็งบางชนิด และแสดงดังในตารางที่ 11

ตารางที่ 11 การสูญเสียวิตามินชนิดต่างๆ ระหว่างการเก็บรักษาอาหารแช่เยือกแข็งบางชนิด

อาหาร	% การสูญเสียระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส นาน 12 เดือน						
	วิตามินซี	วิตามินบีหนึ่ง	วิตามินบีสอง	ไนอะซิน	วิตามินบีหก	กรดแพนโททีนิก	แคโรทีน
ถั่วแขก	52	0-32	0	0	0-21	53	0-23
ถั่วลันเตา	11	0-16	0-8	0-8	7	29	0-4
ผลไม้	0-50	0-66	0-67	0-33	-	-	0-78
ชิ้นเนื้อสเต็ก*	-	8	9	0	24	22	-
ชิ้นเนื้อหมู*	-	0-18	0-37	0-5	0-8	18	-

เก็บรักษานาน 6 เดือน

ที่มา : *Fellow, 1997*

2.5.5.3 Activity ของเอนไซม์ที่เหลืออยู่ ผักหรือผลไม้ที่ผ่านการลวกไม่เพียงพอจะยังคงมีเอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดสเหลืออยู่ ซึ่งทำให้คุณภาพของผักและผลไม้ลดลง เนื่องจากปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่เร่งด้วยเอนไซม์ หากยังมีเอนไซม์ลิโพออกซิจิเนสจะทำให้เกิดกลิ่นและรสชาติที่ผิดปกติจากลิพิด ส่วนเอนไซม์ที่ย่อยสลายโปรตีนและลิพิดในเนื้อสัตว์ อาจทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของรสชาติและลักษณะเนื้อสัมผัสเมื่อเก็บรักษาไว้เป็นเวลานาน

2.5.5.4 ออกซิเดชันของลิพิด ปฏิกิริยานี้สามารถเกิดขึ้นได้อย่างช้าๆ ที่อุณหภูมิ –18 องศาเซลเซียส (นิธิยา ,2544)

2.4.6 การบรรจุผลิตภัณฑ์อาหารแช่แข็ง

ภาชนะบรรจุสำหรับผลิตภัณฑ์ อาหารแช่แข็ง ควรจะต้องมีคุณสมบัติป้องกันการสูญเสียความชื้น และสะดวกต่อการขนส่ง โดยทั่วไปการบรรจุอาหารแช่แข็งควรคำนึงถึงข้อกำหนดต่อไปนี้

2.5.6.1 ห้องบรรจุต้องสะอาด สามารถป้องกันการปนเปื้อนได้

2.5.6.2 ต้องบรรจุทันทีเวลาที่ใช้จากกระบวนการผลิตถึงช่วงการบรรจุ ไม่ควร

เกิน 1 ชั่วโมง

2.5.6.3 อุปกรณ์ที่ใช้ในการบรรจุและพนักงานบรรจุต้องสะอาด และระวังการปนเปื้อน

2.5.6.4 คุณสมบัติของวัสดุที่ใช้เป็นภาชนะบรรจุผลิตภัณฑ์แช่แข็งมีดังนี้

1. เป็นวัสดุที่คงตัวในสภาพอุณหภูมิต่ำได้ดี

2. เป็นวัสดุที่ไม่ยอมให้สิ่งต่อไปนี้ผ่านได้สะดวก น้ำ ไอน้ำ ออกซิเจน สารมีกลิ่น และแสง

3. เป็นวัสดุที่เหนียวและแข็งแรงพอที่จะรับปริมาณส่วนขยายจากเปลี่ยนสภาวะจากของเหลวเป็นน้ำแข็ง ในกรณีมีการห่อผลิตภัณฑ์ก่อนแช่แข็ง

4. เป็นวัสดุที่ยอมให้การถ่ายเทความร้อนออกจากผลิตภัณฑ์ เป็นไปได้ด้วยดีถ้ามีการบรรจุผลิตภัณฑ์ก่อนแช่แข็ง

5. ไม่เป็นวัสดุที่มีกลิ่นและรสแปลกปลอมไม่เป็นพิษต่อผลิตภัณฑ์อาหาร

6. เป็นวัสดุที่ทนต่อความร้อน ถ้าใช้กับอาหารสำเร็จรูปที่ต้องอุ่นอาหารก่อนรับประทาน

7. เป็นวัสดุที่ทนทานและสะดวกต่อการขนย้าย

ตัวอย่างเช่น การบรรจุเนื้อสัตว์สำหรับการแช่แข็งควรปฏิบัติดังต่อไปนี้

การบรรจุหีบห่อควรเลือกใช้วัสดุ ที่เหมาะสมต้องแยกบรรจุเนื้อเป็นสัตว์ ๆ ส่วนที่มีไขมันมาก ควรบรรจุในภาชนะที่มีความหนาพอที่จะกันไม่ให้ผลิตภัณฑ์ สัมผัสกับอากาศ และภาชนะควรทำจากวัสดุที่เคลือบไข (grease proof) การบรรจุหีบห่อมีความสำคัญต่อระยะเวลาที่ใช้ในการแช่แข็ง ตัวอย่างเช่น เนื้อขนาด 1 ปอนด์ แช่แข็งที่อุณหภูมิ -10° F ถ้าบรรจุหีบห่อจะใช้เวลาแช่แข็งนาน 4-7 ชั่วโมง ถ้าห่อด้วยแผ่นฟิล์มพลาสติกจะใช้เวลาถึง 6-4 ชั่วโมง และถ้าห่อด้วยเซลโลเฟน (cellophane) เคลือบไขจะใช้เวลาในการแช่แข็งมากขึ้น

2.4.7 การขนส่งอาหารแช่แข็ง

การขนส่งเป็นขั้นตอนสำคัญที่จะต้องรักษาระดับอุณหภูมิของอาหารแช่แข็งไม่ให้สูงขึ้น จึงต้องขนส่งด้วยรถขนส่งห้องเย็นที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า -20° C โดยเฉพาะอายุการเก็บรักษาปลาแช่แข็งขึ้นอยู่กับอุณหภูมิที่ใช้ในการเก็บ (อุณหภูมิของห้องเย็น) เช่น ปลาที่จับมาได้ใหม่ ๆ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ -20 ° C จะเก็บได้ นาน 8 เดือน ในขณะที่ถ้าเก็บที่ 15 องศาเซลเซียสจะเก็บได้เพียง 1 เดือน การที่อุณหภูมิสูงขึ้นไม่ว่าจะเป็นช่วงเวลานานเท่าไรจะเป็นผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ดังนั้นการขนส่งผลิตภัณฑ์แช่แข็งจากโรงงานห้องเย็นก็ดี ท่าเรือก็ดี ไปยังร้านขายปลีก มักมีปัญหาเรื่องอุณหภูมิเสมอ

โดยทั่วไปการขนส่งด้วยรถห้องเย็นนานที่สุดประมาณ 30 ชั่วโมง และเมื่อปลายทางอุณหภูมิของคอนเทนเนอร์ ไม่ควรเกิน -18° C ควรเป็น -20 ° C หรือต่ำกว่า

อย่างไรก็ตาม เพื่อหลีกเลี่ยงการเสื่อมสภาพระหว่างการขนส่ง ควรปฏิบัติดังนี้

1) ระยะ เวลาขนส่งสินค้าควรสั้นที่สุด

2) ควรทิ้งระยะห่างระหว่างผลิตภัณฑ์กับผนังคอนเทนเนอร์

3) ไม่ควรประหยัดเรื่องฉนวน

4) การปิดเปิดประตูถ้าจำเป็นให้มีน้อยที่สุด (มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช , 2539)

2.4.8 สิ่งที่ควรคำนึงในการถนอมอาหารโดยวิธีแช่แข็ง มีดังนี้

การเตรียมอาหารก่อนการแช่แข็ง การเลือกชนิดอาหารที่จะใช้แช่แข็ง เช่น เป็นผัก ผลไม้ควรล้าง และตัดแต่งให้เรียบร้อย ผักควรจะ scalding หรือ blanching ด้วยน้ำร้อนหรือไอน้ำก่อน เพื่อลดปฏิกิริยาของเอนไซม์ตลอดจนช่วยทำลายจุลินทรีย์

การแช่แข็ง ให้เลือกใช้วิธีการแช่แข็งตามความเหมาะสม ที่นิยมใช้ในปัจจุบัน คือ quick freezing เพราะให้ผลดีกว่า slow freezing กล่าวคือ quick freezing

1. ทำให้ผลึกการแข็งมีขนาดเล็ก วิธีทำลายเซลล์ของอาหารได้น้อยกว่า

2. ใช้เวลาเก็บอาหารยังคงสภาพเดิมมากกว่า

3. ป้องกันการเจริญของจุลินทรีย์ได้ผลกว่า

4.ป้องกันการทำงานของเอนไซม์ในอาหารได้เร็วกว่า อาหารที่ได้จาก quick freezing เมื่อ thawing แล้วจึงมีความใกล้เคียงกับอาหารสดมากกว่า slow freezing การเปลี่ยนแปลงที่อาจเกิดขึ้นได้ ขณะที่เก็บอาหารโดยการแช่แข็ง ระหว่างการเก็บรักษาอาหาร โดยการแช่แข็ง ปฏิกิริยาทางเคมีและเอนไซม์ของอาหารยังเกิดขึ้นอย่างช้าๆ ควรมีการควบคุม เพื่อป้องกันเกิด freeze burn

การเปลี่ยนแปลงระหว่าง thawing การเปลี่ยนแปลงที่หลังจากที่ผลึกน้ำแข็งละลายจนอาหารกลับสู่สภาพเดิม มักมีผลมาจากวิธีการแช่แข็งและการเก็บรักษา thawing ควรทำที่อุณหภูมิต่ำกว่า 10 องศาเซลเซียส และควรทำอย่างรวดเร็ว เพื่อป้องกันทำลาย เนื่องจากจุลินทรีย์อาหารหลังจาก thawing แล้วควรทำการ process ทันที่ ไม่ควรเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลานาน Precooke frozen foods

ในปัจจุบันมีการแช่แข็งอาหารกึ่งสำเร็จรูปหรืออาหารสำเร็จรูป เช่น ผลิตภัณฑ์จากเนื้อ หมู ไก่ กุ้ง ปลา อาหารพวกซุป ครีม สตู พาย และขนมปังต่างๆ ในการเตรียมอาหารก่อนการแช่แข็ง วิธีการนี้ไม่ควรทำลายจุลินทรีย์ออกให้มากที่สุด ไม่ควรมีจุลินทรีย์อยู่เกิน 100,000

colonies ต่ออาหารหนึ่งกรัม indicator bacteria ที่ใช้เป็นตัวตรวจหาสุขาภิบาลการแช่แข็งพวกนี้ใช้ Enterrococci เพราะทนความร้อนได้ดีกว่า Coliform หลังจากการเตรียมอาหาร ควรมีมาตรการป้องกันการเป็นมาของพวกเชื้อโรค หรือจุลินทรีย์ได้ดีกว่าอาหารดิบ เชื้อโรคที่ควรระวังคือ Staphylococcus aureus และ Clostridium botulinum (มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2535)

2.4.9 **ข้อดีและข้อเสียของอาหารแช่แข็ง**

1. อาหารแช่แข็งมีคุณค่าทางโภชนาการมากกว่าอาหารที่ถนอมโดยการใช้อุณหภูมิสูงเพราะความร้อนจะทำลายวิตามินในอาหารเกือบหมด

2. อาหารแช่แข็งมีลักษณะคล้ายอาหารสดมากกว่า อาหารที่ถนอมโดยวิธีอื่น ๆ จึงทำให้ราคาของผลิตภัณฑ์สูงตามไปด้วย แม้ว่าจะต้องเสียค่าใช้จ่ายในการผลิตที่สูงก็ตาม แต่ก็คุ้มกับผลที่ได้รับ

3. อาหารแช่แข็ง มีอายุการเก็บรักษาที่สั้นกว่าอาหารแห้งหรือ อาหารกระป๋อง มาก

4. ห้องหรือตู้เก็บรักษาผลิตภัณฑ์รวมทั้งการขนส่งจะต้องใช้ห้องแช่แข็ง จะเก็บในอุณหภูมิปกติเหมือนผลิตภัณฑ์อื่น ๆ ไม่ได้

5. ผลิตภัณฑ์แช่แข็งอาจสูญเสียโภชนะไปพร้อมกับผลึกน้ำแข็งที่ละลายได้ โดยเฉพาะใช้วิธีแช่แข็งที่ไม่มีประสิทธิภาพ (ลาวัลย์, 2542)

2.5 การคืนตัวของผลิตภัณฑ์แช่เยือกแข็ง (Thawing of Frozen Products)

การคืนตัวของผลิตภัณฑ์แช่เยือกแข็ง หมายถึง กระบวนการที่ตรงกันข้ามกับการแช่เยือกแข็งจัดเป็นกระบวนการให้ความร้อนแก่ผลิตภัณฑ์แช่เยือกแข็ง เพื่อทำให้ผลึกน้ำแข็งละลายกลับคืนสู่สภาพเดิม ซึ่งจัดเป็นงานขั้นสุดท้ายของการแช่เยือกแข็งก่อนที่จะนำไปบริโภคหรือแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์อื่นต่อไป ตามปกติอัตราการคืนตัวที่อุณหภูมิห้องจะใช้เวลานานมากโดยเฉพาะอาหารที่มีขนาดใหญ่ ชิ้นหนา ทำให้เสียเวลาและเปลืองพื้นที่ที่ต้องใช้เพื่อการคืนรูปดังกล่าวโดยเฉพาะในระดับอุตสาหกรรม นอกจากนี้ยังมีผลกระทบต่อคุณภาพของวัตถุดิบที่นำมาคืนรูปด้วย เพราะเมื่อใช้เวลานานจะเปิดโอกาสให้จุลินทรีย์เจริญเติบโตได้ที่ผิวนอกของอาหารซึ่งจะคืนตัวก่อนเป็นผลให้มีจำนวนจุลินทรีย์เริ่มต้นสูงขึ้น ซึ่งกระทบต่อการแปรรูปในขั้นต่อไปและยังอาจทำให้คุณภาพด้านกลิ่นรส เนื้อสัมผัสและสีเปลี่ยนไปด้วย โดยเฉพาะผลิตภัณฑ์พวกเนื้อสัตว์และปลา เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าวจึงควรทราบวิธีการเร่งอัตราการคืนตัวให้เร็วขึ้น ซึ่งสามารถทำได้หลายวิธีดั้งนี้ (คณาจารย์ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร, 2539)

2.5.1 **ธรรมชาติของการคืนสภาพอาหารแช่เยือกแข็ง** (Nature of Thawing)

การคืนสภาพหรือการละลายน้ำแข็ง คือ การให้ความร้อนแก่อาหารแช่แข็ง เพื่อให้น้ำแข็งละลาย ส่วนการแช่แข็งนั้น คือ การดึงความร้อนในอาหารออกให้เกิดผลึกน้ำแข็งในอาหาร ดังนั้นกระบวนการทั้งสองนี้ คือ การย้อยกลับกันนั้นเอง ซึ่งจะมีความสัมพันธ์ของอุณหภูมิอาหารกับเวลา โดยทั่วไปการละลายอาหารแช่แข็งใช้เวลานานกว่าการแช่แข็ง ขึ้นกับธรรมชาติของน้ำนั้นเอง กระบวนการแช่แข็งกับการละลายน้ำแข็งนั้นย้อนกลับกันในแง่ของการให้และการดึงความร้อน ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิ อาหาร กับเวลาในการปฏิบัติของการแช่แข็งกับการคืนสภาพของอาหารแช่แข็งจึงต่างกัน

น้ำแข็งนั้นมีคุณสมบัติในการเป็นตัวนำความร้อนได้ดีกว่าน้ำถึง 4 เท่า และยังมีคุณสมบัติในการกระจายความร้อนดีกว่าน้ำถึง 9 เท่า ดังนั้นเมื่อคิดเปรียบเทียบในสภาพที่อุณหภูมิเท่ากันและในสภาพที่ไม่มีการเคลื่อนย้ายของน้ำในอาหาร พอสรุปได้ว่า น้ำแข็งนั้นจะส่งผ่านความร้อนและเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิได้เร็วกว่าน้ำ

การละลายน้ำแข็งตามธรรมชาติ จะเกิดการละลายที่ผิวหน้าอาหารก่อน ดั้งนั้นในทันทีที่อาหารเป็นน้ำแข็งหมด ความร้อนจะส่งผ่านและเปลี่ยนอุณหภูมิได้อย่างรวดเร็วจึงปรากฏการละลายที่ผิวหน้าอาหารอย่างเร็ว แต่เมื่อผิวหน้าเปลี่ยนสภาพเป็นน้ำ น้ำก็จะหน่วงเหนี่ยวการส่งผ่านและเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของอาหารให้ช้าลง ยิ่งเวลาผ่านไป ชั้นของน้ำก็จะหนามากขึ้นจะยิ่งชะลอการส่งผ่านความร้อน ทำให้การละลายเริ่มช้าลง

2.5.2 **วิธีการคืนสภาพ**

การทำให้น้ำแข็งในอาหารแช่แข็งละลายสู่สภาพเดิมนั้นต้องคำนึงถึงประสิทธิภาพของวิธีที่จะเลือกใช้ต้องไม่ทำลายคุณภาพและลักษณะของอาหาร วิธีการคืนสภาพมีหลายวิธี ดังนี้ (มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช, 2539)

2.5.2.1 ใช้การหมุนเวียนของน้ำเย็น

กระทำได้โดยการนำผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการแช่เยือกแข็ง มาแช่ลงในภาชนะที่มีน้ำเย็นอุณหภูมิประมาณ 20 องศาเซลเซียส โดยให้น้ำนั้นมีการหมุนเวียนตลอดเวลาเพื่อช่วยให้การถ่ายเทความร้อนเป็นไปได้ดีขึ้นและช่วยรักษาอุณหภูมิของผิวหน้าอาหารไม่ให้สูงเกินไป แต่วิธีนี้จะทำให้เกิดการสูญเสียสารอาหารบางชนิดที่ละลายน้ำได้ อย่างไรก็ตามวิธีนี้เป็นวิธีที่ประหยัดค่าใช่จ่ายและยังเป็นที่นิยมใช้กันในโรงงานอุตสาหกรรมอาหาร

2.5.2.2 ใช้เตาอบ

วิธีนี้นิยมใช้กับผลิตภัณฑ์ที่ต้องผ่านวิธีการหุงต้มโดยการอบให้สุกไปพร้อมกันกับการคืนตัว แล้วพร้อมที่จะนำไปรับประทานได้เลย

2.5.2.3 การใช้กระแสไฟฟ้าผ่านแผ่นขั้วไฟฟ้า

ทำได้โดยการนำอาหารที่ผ่านการแช่เยือกแข็งไปแช่ลงในของเหลวที่เป็นตัวกลางซึ่งมักจะเป็นน้ำ โดยแผ่นขั้วไฟฟ้า 2 แผ่นจุ่มอยู่ ต่อกับวงจรไฟฟ้ากระแสสลับที่มีความต่างศักย์ 380 โวลต์ มีสวิตปิดเปิดได้อัตโนมัติเพื่อควบคุมไม่ให้เกิดความร้อนสูงเกินไป นับว่าเป็นวิธีที่เหมาะสมอีกวิธีหนึ่งเพราะอัตราการคืนตัวโดยวิธีนี้จะเร็วกว่าวิธีแรกถึง 3 เท่า

2.5.2.4 การใช้ไมโครเวฟ

เป็นการอาศัยความร้อนที่เกิดขึ้นจากช่วงความถี่ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในระดับไมโครเวฟวิธีนี้จะประหยัดเวลาและเนื้อที่ได้มากและสามารถจัดทำเป็นกระบวนการแบบต่อเนื่องได้ดี การสูญเสียในรูปของน้ำที่ไหลเยิ้มออกมาน้อยที่สุด ผลิตภัณฑ์ไม่ต้องสัมผัสกับของเหลวอื่นที่ทำให้สูญเสียคุณค่า แต่เป็นวิธีที่ต้องลงทุนสูง

สิ่งที่ต้องคำนึงถึงในการละลายน้ำแข็ง ได้แก่

1. ระมัดระวังการให้ความร้อนสูงเกินไป
2. ใช้เวลาในการละลายน้อยที่สุด
3. ระวังไม่ให้อาหารเกิดการสูญเสียน้ำมากเกินไป (วิไล, 2545)

2.5.3 วิธีการคืนสภาพที่เหมาะสม

การคืนสภาพของอาหารแช่แข็งแบ่งออกเป็น 2 วิธี ตามเวลาที่ใช้คือ การคืนสภาพแบบเร็ว (Fast thawing) และการคืนสภาพแบบช้า (Slow thawing) จากการศึกษาพบว่าการคืนสภาพที่รวดเร็วนั้น จะให้อาหารคืนสภาพที่เหมาะสมคือ วิธีที่เร็วที่สุด แต่อุณหภูมิไม่สูงเกินไปจนเชื้อจุลินทรีย์ที่ผิวหน้า หรือในอาหารสามารถเจริญได้อย่างรวดเร็ว ปัจจุบันในระดับครัว เรือน นิยมใช้เตาอบไมโครเวฟสำหรับคืนสภาพของอาหารแช่แข็ง เนื่องจากเตาไมโครเวฟนั้นให้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่แพร่เข้าสู่อาหารไปให้ความร้อนแก่โมเลกุลของน้ำและอาหารโดยตรงด้วยไดอิเล็กทริก ฮีทิง (Dieiectic heating) โมเลกุลของน้ำแข็งทั้งภายในและผิวหน้าอาหารได้รับการกระตุ้นให้สั่นไหว เกิดความร้อนขึ้นพร้อมกัน การละลายน้ำแข็งจึงเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วและสมบูรณ์กว่า

2.5.3.1 การคืนสภาพของอาหารสำเร็จรูปแช่แข็ง

อาหารสำเร็จรูปแช่แข็งที่มีวางขายในท้องตลาดปัจจุบันมีมากมายหลายชนิดทั้งอาหารคาวและอาหารหวาน ซึ่งส่วนใหญ่จะมีคำแนะนำการคืนสภาพไว้บนฉลาก โดยมักจะระบุให้คืนสภาพด้วยไมโครเวฟ 3-5 นาที และแกงเขียวหวานไก่ให้คืนสภาพด้วยไมโครเวฟ 5-6 นาที และซาลาเปาแช่แข็ง ซึ่งแนะนำให้นึ่งในน้ำเดือดนาน 8 นาที

2.5.3.2 การคืนสภาพของอาหารกึ่งสำเร็จรูปแช่แข็ง

อาหารกึ่งสำเร็จรูปแช่แข็งเป็นกลุ่มอาหารคาวแช่แข็งอีกประเภทหนึ่ง ที่ได้รับการยอมรับในตลาดทั่วไปและต่างประเทศเป็นอย่างมาก เช่น กุ้งชุบแป้งแช่แข็ง ลูกชิ้นชุบแป้งแช่แข็ง ปลาชุบแป้ง ขนมปังแช่แข็งและอื่น ๆ ซึ่งจะมีคำแนะนำบนฉลากให้นำไปทอดในน้ำมันเดือดจนเหลืองกรอบโดยไม่ต้องคืนสภาพหรือละลายน้ำแข็งก่อน
(มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช, 2539)

การประกอบอาหารแช่เยือกแข็ง วิธีการประกอบอาหารแช่เยือกแข็งก็คล้ายคลึงกับอาหารสด เพียงแต่ว่าต้องละลายก่อน แต่ก็ไม่จำเป็นเสมอไป วิธีที่ดีที่สุดสำหรับหุงต้มพวกผักแช่เยือกแข็งดิบ ทำโดยใส่น้ำน้อย ๆ เดือดพล่าน ทั้งที่ยังแข็ง ๆ อยู่ ปิดฝา ไม่ควรทิ้งให้ละลายก่อนหุงต้ม เพราะจะทำให้สูญเสียวิตามิน และเน่าเสียได้ ยกเว้นผักเพียงไม่กี่อย่าง เช่น ข้าวโพดทั้งฝักถ้าไม่ทำให้ละลายก่อนจะทำให้เกล็ดน้ำแข็งภายในหรืออาจจะทำให้สุกเกินไปผักใบบางอย่าง เช่น สปีแนค ซึ่งลักษณะคล้ายผักบุ้งหรือผักปลัง ควรทำให้ละลายเพียงให้ผักแยกออกจากกัน การลวกผัก และแช่เยือกแข็งผักจะมีผลต่อเส้นใยผัก ดังนั้นเวลาหุงต้มจึงสั้นกว่าผักสด เนื่องจากการลวกก่อนแช่เยือกแข็งมิได้ทำให้อาหารปราศจากเชื้อจุลินทรีย์ ดังนั้นการรับประทานหรือชิมจะต้องหุงต้มก่อน การหุงต้มจะต้องทำทันทีที่เอาออกจากตู้เย็น

ผลไม้แช่เยือกแข็งหลายชนิดที่ไม่ต้องหุงต้มก่อนบริโภค เพียงแต่ทำให้ละลายก่อนเท่านั้นผลไม้บางชนิด เช่น สตรอเบอรี่ ควรบริโภคเมื่อเกล็ดน้ำแข็งละลายไปบ้างเท่านั้น ผลไม้บางอย่าง เช่น พีช หลังจากละลายแล้วจะเปลี่ยนเป็นสีคล้ำได้อย่างรวดเร็ว ผลไม้แช่เยือกแข็งที่จะนำมาประกอบอาหารอื่น เช่น พาย แยม จะทำให้สะดวกขึ้นถ้าเพียงให้ละลายบางส่วน

เนื้อสัตว์ รวมทั้งปลา และไก่ จะทำให้ละลายก่อนหรือหุงต้มทั้งแข็ง ๆ ก็ได้ ถ้ายังไม่ละลาย ระยะเวลาการหุงต้มต้องนานขึ้น มีผู้ทดลองเกี่ยวกับเรื่องนี้ปรากฏว่าการละลายจะมีผลต่อคุณภาพของเนื้อสุกรน้อยมาก ไม่ว่าจะทำให้ละลายโดยทิ้งไว้ในอุณหภูมิห้อง ในตู้เย็น ในเตาอบอุ่น ๆ หรือโดยการอบ

อาหารสำเร็จรูปจะทิ้งให้ละลายก่อนบริโภคหรืออุ่นอีกครั้งก็ได้ อาจโดยตั้งบนเตาไฟ ใช้หม้อตุ๋น ใช้ไฟอ่อน ๆ อบก็ได้แล้วแต่ชนิดอาหาร อาหารบางอย่างถ้าอุ่นอีกครั้งจะทำให้มีความคล้ายคลึงกับของใหม่ ๆ ขึ้น (พรพล, 2542)

2.6. ไมโครเวฟ

ไมโครเวฟ คือ คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความถี่สูง อยู่ในช่วง 300 – 300,000 เมกกะเฮิร์ต มีแหล่งกำเนิดมาจากหลอดแมกนิตรอน สามารถเคลื่อนที่เป็นเส้นตรง และสามารถทะลุผ่านสสารซึ่งมีคุณสมบัติโปร่งใสได้ สำหรับความถี่ของคลื่นไมโครเวฟที่อนุญาตให้ใช้ในอุตสาหกรรมอาหารและในระดับครัวเรือนคือ 915 และ 2540 เมกกะเฮิร์ต ตามลำดับ

2.6.1 คุณสมบัติที่สำคัญของไมโครเวฟ

Harlfinger (1992) ได้อธิบายถึงคุณสมบัติที่สำคัญของคลื่นไมโครเวฟไว้ดังนี้

2.6.1.1 การส่งผ่าน (Transmission)

คลื่นไมโครเวฟมีคุณสมบัติที่ทะลุผ่านวัสดุหรือภาชนะที่เป็นแก้ว กระเบื้อง เซรามิก กระดาษ ไม้ และพลาสติกบางชนิดได้ โดยไม่มีการดูดซับพลังงานจึงไม่ทำให้เกิดความร้อนขึ้นจากคุณสมบัตินี้จึงสามารถนำวัสดุเหล่านี้มาใช้บรรจุอาหารเพื่อใช้ในเตาไมโครเวฟได้

2.6.1.2 การสะท้อน (Reflection)

คลื่นไมโครเวฟจะไม่สามารถทะลุผ่านวัสดุหรือภาชนะที่เป็นโลหะ เช่น เหล็ก และอะลูมิเนียม แต่จะสะท้อนกลับ ด้วยเหตุนี้โลหะจึงไม่ควรนำมาใช้ในการประกอบอาหารในเตาไมโครเวฟ แต่ประโยชน์ของการสะท้อนของโลหะได้ถูกนำมาใช้ทำผนังของเตาอบไมโครเวฟเพื่อป้องกันการรั่วไหลของคลื่นออกสู่ภายนอก และยังให้เกิดการสะท้อนจากด้านข้างและด้านล่าง จึงทำให้ชิ้นอาหาร ได้รับคลื่นทั่วทุกด้าน

2.6.1.3 การดูดกลืน (Absorption)

คลื่นไมโครเวฟดูดกลืนได้ดีในโมเลกุลของน้ำ น้ำมัน และน้ำตาลซึ่งเป็นส่วนประกอบที่สำคัญของอาหารทุกชนิดทำให้เกิดการขัดสีกันเนื่องจากการชนและการสั่นสะเทือนของโมเลกุลในอาหารจนเกิดความร้อนขึ้น จึงทำให้ชิ้นอาหารสุก และพลังงานที่ใช้จะหมดไปหลังจากการสั่นสะเทือนของโมเลกุล จึงไม่หลงเหลือคลื่นอยู่ภายในชิ้นอาหาร และไม่มีสิ่งตกค้างที่เป็นอันตรายเหมือนการใช้รังสีทั่วไป (สุภาภรณ์, 2546)

2.6.2 การเกิดความร้อนด้วยไมโครเวฟ

เมื่อคลื่นไมโครเวฟถูกดูดซับเข้าสู่ชิ้นอาหารจะเกิดความร้อนได้ในสองแบบร่วมกันซึ่ง ได้แก่

2.6.2.1 Ionic Polarization เป็นการเกิดความร้อน เนื่องจากผลของการเคลื่อนที่ของไอออนในสารละลายเมื่อเข้าไปอยู่ในสนามไฟฟ้า แต่ละไอออนจึงมีประจุไฟฟ้าประจำตัวจะถูกกระตุ้นและเร่งให้มีการเคลื่อนที่ จึงทำให้เกิดการเสียดสีกันขึ้นกับไอออนอื่น ๆ และมีการเปลี่ยนพลังงานจลน์มาเป็นพลังงานความร้อน แล้วจึงมีการกระจายความร้อนไปสู่ส่วนอื่น ๆ ต่อไป การเกิดความร้อนแบบนี้ เกิดได้ในของเหลวภายในเซลล์ซึ่งอยู่ในรูปของสารละลาย

2.6.2.2 Dipole Rotation เป็นการเกิดความร้อนกับสารประกอบมีขั้ว (porla) ได้แก่ น้ำนั่นเอง ในสภาพปกติสารประกอบนั้นจะเรียงตัวประจุบวกและลบอย่างไม่มีระเบียบ

(random oriented) เมื่อเข้าไปอยู่ในสนามไฟฟ้า ประจุบวกและประจุลบของสารนั้นจะเคลื่อนที่เปลี่ยนทิศทางเพื่อเรียงตัวอย่างมีระเบียบ

การเคลื่อนที่ด้วยการหมุนตัวกลับไปกลับมาจะเกิดอย่างรวดเร็วตามระดับความถี่ของคลื่นไมโครเวฟคือ 915 – 2450 ล้านครั้งต่อ 1 นาที ซึ่งผลของความเร็วในการหมุนตัวและการเสียดสีกันทำให้เกิดความร้อนขึ้นและเป็นลักษณะการเกิดความร้อนที่สำคัญ

ความร้อนที่เกิดขึ้นจากทั้งสองรูปแบบดั้งกล่าวที่จุดซึ่งอาหารสัมผัสกับไมโครเวฟแล้วจึงกระจายตัวออกไปยังส่วนอื่นเนื่องจากผลของการเดือดของน้ำโดยการนำความร้อนด้วยและเป็นไปอย่างต่อเนื่อง ซึ่งการเกิดความร้อนจากสาเหตุต่าง ๆ ดังกล่าวนี้ ทำให้เกิดได้อย่างรวดเร็วเมื่อเทียบกับวิธีการหุงต้มโดยความร้อนแบบดั้งเดิม

2.6.3 ระยะความลึกที่คลื่นไมโครเวฟผ่านชิ้นอาหาร

อาหารจะเกิดความร้อนได้เมื่อกระทบกับคลื่นไมโครเวฟ ดังนั้นการที่ไมโครเวฟจะทะลุผ่านเข้าไปในชิ้นอาหารได้มากก็นับว่าเป็นการดีที่จะทำให้เกิดความร้อนได้อย่างทั่วถึงแต่ธรรมชาติของไมโครเวฟนั้นเมื่อกระทบกับสารประกอบ ไดอิเล็กทริกจะเกิดความร้อนขึ้นแล้วพลังงานจะลดลงยิ่งอาหารชนิดใดมีค่า loss factor สูงก็จะให้ความร้อนสูง แต่ขณะเดียวกันพลังงานในการเจาะทะลุเข้าไปในชิ้นอาหารก็ยิ่งลดลง จึงทำให้ทะลุผ่านเข้าไปในชิ้นอาหารได้ระยะที่ต่างกันด้วยคลื่นไมโครเวฟที่มีความถี่ 915 MHz จะทะลุผ่านเข้าไปในชิ้นอาหารได้ลึกกว่าคลื่นไมโครเวฟที่มีความถี่ 2450 MHz ซึ่งปัจจัยที่มีผลต่อการทะลุผ่านเข้าไปในชิ้นอาหารนับว่ามีความสำคัญต่อการออกแบบหรือเลือกใช้ให้เหมาะสมกับลักษณะอาหารเช่น ถ้าชิ้นอาหารที่จะแปรรูปด้วยไมโครเวฟแต่มีความหนามาก ก็ควรจะเลือกคลื่นไมโครเวฟที่ต่ำกว่า

2.6.4 องค์ประกอบอาหารกับไมโครเวฟ

อาหารต่าง ๆ มีส่วนประกอบที่แตกต่างกันมากรวมทั้งส่วนประกอบที่จำเป็นต้องใช้ในการปรุงแต่งอาหารเช่น เกลือ น้ำตาล น้ำมัน แป้ง ล้วนแต่มีผลแตกต่างกันไป เมื่อนำมาหุงต้มด้วยไมโครเวฟซึ่งควรจะต้องศึกษาเพื่อสามารถใช้ได้อย่างถูกต้อง ในกรณีของอาหารโปรตีนจากเนื้อสัตว์ที่มีเนื้อเยื่อเกี่ยวพันอยู่เป็นปริมาณสูงจะมีความเหนียวมากเมื่อนำมาหุงต้มด้วยไมโครเวฟเพราะเป็นการให้ความร้อนอย่างรวดเร็วเกินไปจนพวกเนื้อเยื่อเกี่ยวพันไม่มีโอกาสที่จะสลายตัวได้เลยจึงมักจะเหนียวกว่าการใช้วิธีให้ความร้อนแบบดั้งเดิม อาหารประเภทไข่ที่กะเทาะเปลือกออกแล้วจะหุงต้มด้วยไมโครเวฟได้อย่างรวดเร็วเช่น การทำไข่ตุ๋น ไข่ลวก สังขยาจะใช้ไมโครเวฟได้ดี แต่ถ้าเป็นไข่ทั้งฟองแล้วห้ามใช้เพราะจะมีการระเบิด น้ำตาลที่ใช้ปรุงแต่งรสชาติอาหาร การเคี่ยวน้ำเชื่อม หรือการทำลูกกวาดลูกอมจะไม่มีปัญหาจะเกิดความร้อนได้รวดเร็วด้วยไมโครเวฟ แต่

สำหรับเกลือแกง และเกลือในรูปอื่นในรูปของเกลือแร่ต่าง ๆ เช่น แคลเซียมคาร์บอเนต แมกนีเซียมคาร์บอเนต ที่อยู่ในน้ำและอาหารจะทำให้การดูดซับคลื่นไมโครเวฟได้ต่ำ มีผลให้เกิดความร้อนได้ช้า

2.6.5 **ภาชนะบรรจุสำหรับไมโครเวฟ**

ภาชนะบรรจุที่ใช้กับไมโครเวฟนับว่ามีบทบาทสำคัญมากโดยเฉพาะอาหารสำเร็จรูปที่พร้อมรับประทานซึ่งเพียงนำมาให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟก็รับประทานได้นั้น จำเป็นต้องเลือกใช้วัสดุในการทำภาชนะบรรจุให้เหมาะสมรวมถึงขนาดและรูปแบบ วัสดุใดที่ดูดซับคลื่นไมโครเวฟได้ดีนั้นไม่เหมาะสมที่จะใช้เพราะจะแบ่งรับพลังงานไปจากอาหารที่บรรจุอยู่ ส่วนวัสดุที่สะท้อนคลื่นไมโครเวฟก็ไม่เหมาะสมเช่นกัน เพราะจะทำหน้าที่เหมือนเป็นเกราะบังอาหารไว้ไม่ให้กระทบกับไมโครเวฟได้เช่น ภาชนะที่ทำด้วยโลหะทั้งหลายไม่เหมาะสมที่จะใช้อาจจะก่อให้เกิดประกายไฟขึ้น และคลื่นที่สะท้อนกลับจะทำให้แมกนิตรอนของเครื่องเสื่อมเสียมีอายุของการใช้งานสั้นลง ซึ่งควรระมัดระวังการใช้ภาชนะที่เป็นโลหะ ส่วนวัสดุที่เหมาะสมนั้น ควรเป็นชนิดที่ยอมให้คลื่นไมโครเวฟทะลุผ่านได้ดี คือ วัสดุที่มีค่า loss tangent ต่ำนั้นเองซึ่งได้แก่ กระดาษ แก้ว พลาสติก เครื่องเคลือบดินเผาหรือเซรามิก วัสดุประเภทพลาสติกมีความเป็นไปได้สูงมากในโลกของเทคโนโลยีปัจจุบัน ชนิดที่ใช้แล้วทิ้งไปเลยได้แก่ ชนิดที่เป็นโฟม มีความนิยมสูงมาก แต่ถ้าจะนำมาใช้กับตู้อบไมโครเวฟ ควรระวังเมื่อมีไขมันอยู่ด้วย ขณะให้ความร้อนจะหลอมเหลวและบิดเบี้ยวง่าย ส่วนพลาสติกชนิดอื่น ๆ มีหลายชนิด และแต่ละชนิดมีสมบัติของค่า loss tarngent ที่แตกต่างกันในช่วง 0.0001 ถึง 0.04 ชนิดที่ค่าต่ำสุดได้แก่ polystyrene และสูงขึ้นเรื่อย ๆ ได้แก่ polypropylene, polyethylene, polysulfone, polycarbonate และสูงสุดคือ mylon สมบัติที่ต้องพิจารณาอีกคือ ความคงทนต่อความร้อนขณะที่ต้องสัมผัสกับอาหารร้อนนับว่าสำคัญในการเลือกใช้ พบว่า polysulfone จะทนความร้อนได้สูงที่สุดถึง 400 °F สามารถล้าง และนำมาใช้ใหม่ได้ แต่มีราคาค่อนข้างแพง รูปร่างของภาชนะบรรจุก็มีผลบ้างต่อการทำให้ร้อนเร็วหรือช้าเมื่อใช้ไมโครเวฟ ภาชนะที่มีรูปร่างกลม ปากกว้าง และมีมุมเอียงเข้าหาส่วนก้นที่แคบกว่าจะให้ผลดีกว่าภาชนะที่มีรูปร่างเป็นสี่เหลี่ยม เพราะมีมุมอับที่จะรับคลื่นไมโครเวฟได้น้อย

2.6.6 **การใช้ไมโครเวฟในการแปรรูปอาหาร**

การใช้ประโยชน์จากไมโครเวฟที่ประยุกต์มาประดิษฐ์เป็นเครื่องมือเครื่องใช้ในยุคใหม่นี้ได้เริ่มเมื่อ พ. ศ. 2438 โดยกลุ่มวิศวกรของบริษัท Raytheon และสามารถผลิตตู้อบไมโครเวฟใบแรกสำเร็จเมื่อปี พ. ศ. 2488 โดยเรียกชื่อว่า "Radarange" และได้ทำการพัฒนาเรื่อยมาจนสามารถจำหน่ายเป็นการค้าในรูปของตู้อบไมโครเวฟ

2.6.6.1 การ tempering คือ การให้ความร้อนกับอาหารแช่เยือกแข็งเพื่อให้คืนกลับสภาพเดิมแต่ไม่ถึงระดับการ thaw เพราะจะเพิ่มอุณหภูมิให้อยู่ในระดับที่อาหารนั้นยังคงรูปที่จะพอนำมาหั่นตัดหรือบดได้ซึ่งอยู่ในระดับประมาณ -4°ซ ทำให้ช่วยย่นระยะเวลาขึ้นมากเมื่อเทียบกับการ tempering โดยวิธีอื่น เครื่องนี้นิยมใช้ในระดับคลื่นความถี่ที่ 915 MHz เพราะจะทะลุผ่านชิ้นอาหารเข้าไปได้ลึก พลังงานที่ใช้เพิ่มอุณหภูมิดังกล่าวค่อนข้างนิยมมาก

2.6.6.2 การทำแห้ง โดยใช้พลังงานไมโครเวฟ ได้ดำเนินการแล้วในระดับอุตสาหกรรมเช่นกัน และเป็นวิธีที่ช่วยพัฒนาวิธีการทำแห้งแบบเก่าที่ใช้ลมร้อนเป่าเพราะช่วยย่นระยะเวลาในช่วงหลังของการทำแห้งอาหารหลายชนิดโดยเปลี่ยนจากระบบความร้อนแบบใช้แรงลมซึ่งมักเกิด casehardening เพราะช่วงหลังของการทำแห้งนั้น อัตราการระเหยน้ำจากภายในชิ้นอาหารจะช้าลงเนื่องจากความร้อนผ่านเข้าไปได้ช้า ถ้าใช้ไมโครเวฟเข้าช่วยจะผ่านทะลุเข้าไปได้ดีกว่าจึงทำให้น้ำภายในร้อนและระเหยออกได้ซึ่งพบว่าการใช้ไมโครเวฟเข้าช่วยนี้เป็นผลดีกับคุณภาพของอาหารแห้งหลายชนิดด้วยกัน ผลิตภัณฑ์ชนิดแรกที่ใช้ได้ในระดับอุตสาหกรรมและให้ผลดีคือ มันฝรั่งทอดกรอบ นอกจากนี้ยังใช้ในการทำแห้งผลิตภัณฑ์จากแป้งเช่น มะกะโรนี หอมแห้ง ใช้ในการทำแห้งไข่แดงที่ผ่านการทำให้สุกได้เป็นอย่างดี นอกจากการทำแห้งในแบบธรรมดายังมีการนำไมโครเวฟไปช่วยเสริมในระบบการทำแห้งภายใต้สูญญากาศสำหรับอาหารที่เสื่อมง่ายเมื่อถูกความร้อนรวมไปถึงการทำแห้งด้วยการแช่เยือกแข็ง (freeze drying) ซึ่งนับว่าเป็นการพัฒนาทั้งระบบเครื่องมือและวิธีการแปรรูปไปอีกระดับหนึ่งในความก้าวหน้าทางเทคโนโลยี (คณาจารย์ภาควิชาวิทยาศาสตร์, 2543)

2.6.6.3 การใช้ไมโครเวฟในการหุงต้ม การใช้ไมโครเวฟในการหุงต้มเพื่อที่จะรักษาคุณค่าทางอาหาร การใช้ไมโครเวฟจะสามารถรักษาสารอาหารต่าง ๆ ได้ดีกว่าการหุงต้มธรรมดา ทั้งนี้เพราะว่าการกระจายความร้อนในอาหารเป็นไปอย่างสม่ำเสมอ นอกจากนี้ไมโครเวฟยังช่วยลดการละลายของสารอาหารออกมาอีกด้วย ไมโครเวฟยังใช้ในการละลายสารอาหารสำเร็จรูปแช่เยือกแข็งซึ่งพบว่าวิธีนี้ช่วยลดค่าใช้จ่ายของระบบการจัดการอาหารในโรงพยาบาล และยังสามารถรักษาอาหารอยู่ในสภาพถูกสุขลักษณะได้ดีกว่า นอกจากนี้ไมโครเวฟยังช่วยรักษากลิ่นรสของอาหารหลังจากการหุงต้มอีกด้วย

2.6.6.4 การใช้ไมโครเวฟในสถานบริการอาหาร เนื่องจากสถานบริการอาหาร เช่น ภัตตาคาร โรงพยาบาล สถานจำหน่ายอาหารขนาดใหญ่ มักจะพบกับปัญหาในการปรุงหรืออุ่นอาหารจำนวนมากเพื่อบริการให้ทันกับลูกค้า การใช้วิธีหุงต้มแบบเก่าย่อมต้องใช้เวลานานและให้คุณค่าทางอาหารลดลงฉะนั้นการลดเวลาในการหุงต้มมาเพียงแต่รักษาคุณค่าทางอาหารแล้วยังป้องกันไม่ให้แบคทีเรียเจริญขยายพันธุ์ในช่วงที่อาหารอยู่ที่ 25 – 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน พลังงานความร้อนที่เกิดขึ้นจากวิธีไมโครเวฟเป็นลักษณะความร้อนที่เกิดขึ้นภายในวัตถุ

ไม่ใช่เป็นลักษณะการนำความร้อนจากภายนอกเข้าไปยังภายในประโยชน์ในการใช้ไมโครเวฟใน สถานบริการ ไม่เพียงแต่ลดเวลาการรอคอยของผู้รับบริการยังสามารถเพิ่มจำนวนให้บริการต่อครั้ง ลดการสูญเสียพลังงานที่ใช้ และไม่ทำให้กลิ่นรสเสียไป

2.6.6.5 การใช้ไมโครเวฟในกระบวนการอบแห้งแบบแช่เยือกแข็ง การใช้พลังงานไมโครเวฟในกระบวนการอบแห้งแบบแช่เยือกแข็ง พบว่า ปริมาณความชื้นในก้อนเนื้อสัตว์ลดจากร้อยละ 60 ให้เหลือเกือบจะศูนย์นั้น ถ้าใช้วิธีการให้ความร้อนแบบแผ่รังสีความร้อน จะใช้เวลาถึง 22 ชั่วโมง ในขณะที่การใช้พลังงานความร้อนจากไมโครเวฟจะใช้เวลาเพียง 2.5 ชั่วโมง โดยเฉพาะในช่วงสุดท้ายของการลดปริมาณความชื้น กล่าวคือในการลดปริมาณความชื้นจาก 10% เหลือ 5% จะต้องใช้เวลา 2 ชั่วโมง โดยวิธีการให้ความร้อนแบบแผ่รังสีความร้อน แต่ถ้าใช้วิธีไมโครเวฟจะใช้เวลาเพียง 8 นาที เท่านั้น คลื่นความถี่ไมโครเวฟที่ใช้ประมาณ 915 เมกะไซเกิลต่อวินาที การใช้คลื่นความถี่ต่ำไม่เพียงแต่มีประสิทธิภาพการทะลุผ่านของพลังงานไมโครเวฟแล้ว ยังช่วยลดเงินทุนในเรื่องเครื่องมืออีกด้วย

2.6.6.6 การใช้ไมโครเวฟในกระบวนการแปรรูปด้วยความร้อน มีการศึกษาการใช้ไมโครเวฟเพื่อฆ่าเชื้อแบคทีเรีย ในกระบวนการแปรรูปด้วยความร้อนสูงใน พ.ศ. 2487 ได้มีการใช้พลังงานรังสีเพื่อฆ่าเชื้อในเหล้าไวน์ที่คลื่นความถี่ 26-34 เมกะไซเกิล ซึ่งได้ชี้ให้เห็นว่าการใช้ไมโครเวฟในกระบวนการฆ่าเชื้อนั้น เป็นวิธีที่จะทำให้ความร้อนเข้าไปในภาชนะบรรจุได้อย่างรวดเร็วคือทำให้อุณหภูมิถึงอุณหภูมิฆ่าเชื้อในระยะเวลาสั้น และมีการกระจายความร้อนอย่างสม่ำเสมอ ถ้าภาชนะบรรจุมีขนาดใหญ่คลื่นความถี่ที่ใช้ควรเป็น 915 เมกะไซเกิลต่อวินาที ซึ่งจะทำให้การทะลุผ่านของพลังงานอย่างเพียงพอ นอกจากนี้ยังทดลองการใช้ไมโครเวฟในการฆ่าเชื้อแยม พบว่า ได้ประสบความสำเร็จเมื่อใช้ไมโครเวฟที่มีกำลัง 4 กิโลวัตต์ เวลา 5-15 วินาที ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิเริ่มต้นของแยม ข้อได้เปรียบการใช้ไมโครเวฟฆ่าเชื้อในแยมคือไม่ทำให้คุณสมบัติการอยู่ตัวของแยมเปลี่ยนไปและไม่ทำให้เนื้อผลไม้ลอยตัว

2.6.6.7 การใช้คลื่นความถี่สูงสำหรับอบผลิตภัณฑ์ขนมอบต่าง ๆ ผลิตภัณฑ์ขนมอบทั้งหลายสามารถให้ความร้อนโดยวิธีไดอิเล็กตริกที่คลื่นความถี่ 100 เมกะไซเกิลต่อวินาที หรือจะใช้คลื่นความถี่ไมโครเวฟที่ 900 เมกะไซเกิลต่อวินาที หรือที่ 2450 เมกะไซเกิลต่อวินาทีได้ (ไพบูลย์ 2532)

2.7 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

กัลยานี (2545) การศึกษาการทำบะจ่างแช่แข็ง โดยศึกษาการยอมรับของผู้บริโภคในผลิตภัณฑ์บะจ่างแช่แข็ง วัดคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัส ด้านสี กลิ่น รสชาติ และเนื้อ

สัมผัส ปรากฏว่าผลที่ได้ของบะจ่างแช่แข็งที่อุณหภูมิ -12 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการเก็บรักษา 30 วัน ผู้ชิมให้การยอมรับทางด้าน สี กลิ่น รสชาติ และเนื้อสัมผัส ในระดับชอบมาก

เบญจพร (2546)ศึกษาการพัฒนาผลิตภัณฑ์พัฟเพสตรี้แช่แข็งโดยใช้ฟลาวมันสำปะหลังทดแทนแป้งสาลี ได้ศึกษาอายุการเก็บแป้งพัฟเพสตรี้แช่แข็งที่ – 18 องศาเซลเซียส เวลา 3 เดือน ตรวจสอบคุณภาพของแป้งพัฟเพสตรี้แช่แข็งทุก 2 สัปดาห์ โดยนำมาวางไว้ที่อุณหภูมิห้อง 45 นาที แล้วนำไปอบด้วยไมโครเวฟ พบว่าค่าสีของแป้งพัฟเพสตรี้แช่แข็งมีสีเข้มขึ้น ส่วนค่าความแข็ง และปริมาตรความพองตัวของแป้งพัฟเพสตรี้หลังอบที่ระยะเวลา 2-8 สัปดาห์ไม่เปลี่ยนแปลง แต่ค่าความแข็งจะมีค่าสูงขึ้นและปริมาตรการพองตัวลดลง ที่การแช่แข็งระยะเวลา 10-12 สัปดาห์ และแป้งพัฟเพสตรี้แช่แข็งไม่มีกลิ่นหืนแสดงว่าแป้งพัฟเพสตรี้มีอายุการเก็บไม่น้อยกว่า 3 เดือน

สุภาภรณ์ (2545) การศึกษาการปรับปรุงคุณภาพข้าวหุงสุกเร็วโดยใช้วิธีการแช่เยือกแข็งร่วมกับการใช้ไมโครเวฟในการผลิต ซึ่งจะศึกษาข้าวสองพันธุ์คือ ข้าวขาวดอกมะลิ 105 และข้าวขาวตาแห้ง ทำให้ข้าวเกิดเจลลาติไนส์ด้วยอุโมงค์ไอน้ำที่อุณหภูมิ 100 และ 105 ตามลำดับ เป็นเวลา 30 นาที จากนั้นนำไปแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ – 20 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง แล้วทำแห้งด้วยอุโมงค์ไมโครเวฟ 32 นาที สุดท้ายอบด้วยตู้อบลมร้อน 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที หลังจากนั้นนำข้าวหุงสุกเร็วจากข้าวขาวดอกมะลิ 105 มาคืนรูปด้วยไมโครเวฟและการเติมน้ำเดือดจะใช้ระยะเวลา 3 และ 4 นาที ตามลำดับ ในขณะที่ข้าวหุงสุกเร็วที่ผลิตจากข้าวขาวตาแห้งใช้ระยะเวลาในการคืนรูป 5 และ 8 นาที ตามลำดับ

นันทพร (2546) การพัฒนาผลิตภัณฑ์โดนัทแป้งข้าวหอมมะลิทดแทนแป้งสาลีหน้าพิซซ่าแช่เยือกแข็ง พบว่าสามารถใช้แป้งข้าวหอมมะลิทดแทนแป้งข้าวสาลีได้ร้อยละ 40 เมื่อนำมาศึกษาอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ โดนัทหน้าพิซซ่าสามารถเก็บรักษาโดยแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส การคืนรูปด้วยไมโครเวฟที่ความร้อนระดับสูงใช้เวลา 2 นาที ต่อจำนวนพิซซ่า 2 ชิ้น พบว่าผู้บริโภคให้การยอมรับผลิตภัณฑ์ในระดับชอบปานกลาง โดยสามารถเก็บรักษาโดนัทหน้าพิซซ่าที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส มากกว่า 8 สัปดาห์

กมลทิพย์ (2542) ศึกษาการดัดแปรงสตาร์ชโมแป้งข้าวเพื่อทำแป้งผสมสำหรับประกอบอาหารทอดแช่เยือกแข็ง สามารถใช้แป้งข้าวเจ้าและแป้งข้าวเหนียวในการทำแป้งชุบทอด ในอัตราส่วน แป้งต่อน้ำ 1 :1.75 และ 1:1.425 โดยนำไปผ่านการแช่เยือกแข็งละลาย 4 รอบ แล้ว

นำไปให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ พบว่าผลิตภัณฑ์ที่ใช้แป้งข้าวเจ้าและแป้งข้าวเหนียวมีปริมาณน้ำมันและค่าการแตกหักไม่แตกต่างกัน

บทที่ 3
วิธีดำเนินงาน

3.1 วัตถุดิบและอุปกรณ์

3.1.1 วัตถุดิบ

1. ข้าวเหนียวเขี้ยวงู
2. น้ำกะทิ (มะพร้าวขูดขาว)
3. เกลือป่น (ตราปรุงทิพย์)
4. น้ำตาลทราย (ตรามิตรผล)
5. น้ำปูนใส
6. น้ำใบเตย

3.1.2 อุปกรณ์

1. กะทะทอง
2. พายไม้
3. เขียง
4. มีด
5. ถ้วยตวงของแห้ง
6. ช้อนตวง
7. ถ้วยตวงของเหลว
8. อ่างผสม
9. ถาด
10. เครื่องปั่นผสมยี่ห้อ Mulinex
11. ผ้าขาวบาง
12. พิมพ์ถ้วยรูปหัวใจพลาสติก
13. เตาอบไมโครเวฟ SHARP รุ่น A3R77BPX
14. เครื่องชั่งแบบละเอียด HG Series
15. ลังถึง

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

16. ตู้แช่แข็ง
17. เตาแก๊ส

3.1.3 อุปกรณ์สำหรับวิเคราะห์คุณภาพ

1. อุปกรณ์สำหรับวิเคราะห์คุณภาพทางด้านกายภาพ

   เครื่องวัดค่าสี (HNNDY COLORIMETER รุ่น NR-3000)

2. อุปกรณ์สำหรับวิเคราะห์คุณภาพ

   แบบสอบถาม

   เครื่องคอมพิวเตอร์

   โปรแกรมสำเร็จรูป (SPSS 10)

3.2 สถานที่ดำเนินงาน

ห้องปฏิบัติการอาหารและโภชนาการ-พัฒนาผลิตภัณฑ์ (524) คณะคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร วิทยาเขตโชติเวช

3.3 ระยะเวลาในการดำเนินงาน

เดือนพฤศจิกายน 2547 - เดือนตุลาคม 2548

3.4 วิธีการดำเนินการทดลอง

1. ศึกษาสูตรพื้นฐานในการทำข้าวเหนียวแก้ว โดยนำสูตรข้าวเหนียวแก้วจำนวน 3 สูตร ดังแสดงในภาคผนวก มาทำการทดลอง แล้วนำมาวัดค่าทางด้านกายภาพ ค่าสี โดยใช้เครื่อง Colorimeter และประเมินคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัส โดยวางแผนการทดลองแบบ RCBD (Randomized Complete Block Design) โดยวัดคะแนนความชอบใช้สเกล 9 ระดับ (9-Point Hedonic Scale) ในด้านสี กลิ่น รสชาติ ความมันเงา และความชอบโดยรวม โดยใช้ผู้ทดสอบจำนวน 30 คน ทำการทดลองทั้งหมด 3 ซ้ำ ค่าที่ได้นำมาวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS

2. ศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของข้าวเหนียวเขี้ยวงู น้ำตาลทราย และ น้ำกะทิ

2.1 ศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของน้ำตาลทราย : น้ำกะทิ โดยวางแผนการทดลองแบบ Factorial in RCBD ทำการศึกษาทั้งหมด 4 สูตร ได้แก่ 30 : 30 , 30 : 40 , 40 : 30 และ 40 : 40 ของส่วนผสมทั้งหมด ดังแสดงในตารางที่ 13 แล้วนำมาวัดค่าทางด้านกายภาพ ค่าสี โดยใช้เครื่อง Colorimeter และประเมินคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัส โดยวัดคะแนนความชอบใช้สเกล 9 ระดับ (9-Point Hedonic Scale) ในด้านสี กลิ่น รสชาติ ความมันเงา และความชอบโดยรวม โดยใช้ผู้ทดสอบจำนวน 30 คน ทำการทดลองทั้งหมด 3 ซ้ำ ค่าที่ได้นำมาวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS

2.2 ศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของ ข้าวเหนียวเขี้ยวงู โดยจะศึกษาทั้งหมด 2 ระดับ คือ 20 % และ 30 % ของส่วนผสมทั้งหมด ดังตารางที่ 14 โดยวางแผนการทดลองแบบ t – test แล้วนำมาวัดค่าทางด้านกายภาพ ค่าสี โดยใช้เครื่อง Colorimeter และประเมินคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัส โดยวัดคะแนนความชอบใช้สเกล 9 ระดับ (9-Point Hedonic Scale) ในด้านสี กลิ่น รสชาติ ความมันเงา และความชอบโดยรวม โดยใช้ผู้ทดสอบจำนวน 30 คน ทำการทดลองทั้งหมด 3 ซ้ำ ค่าที่ได้นำมาวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS

3. เพื่อศึกษาอายุการเก็บรักษาและการคืนตัว โดยนำข้าวเหนียวแก้วที่พัฒนาได้ มาวางแผนการทดลองแบบ Factorial in RCBD ไปแช่แข็งที่อุณหภูมิ - 1 องศาเซลเซียส ศึกษาระยะเวลาในการเก็บรักษาที่ 15 , 30 และ 45 วัน แล้วนำมาทำการละลาย (Thrawing) ที่อุณหภูมิห้อง 10 นาที ให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟที่ระดับความร้อน 30% เป็นเวลา 40 ,50 และ 60 วินาที แล้วนำมาวัดค่าทางด้านกายภาพ ค่าสี โดยใช้เครื่อง Colorimeter และ

ประเมินคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัส โดยวัดคะแนนความชอบใช้สเกล 9 ระดับ (9-Point Hedonic Scale) ในด้านสี กลิ่น รสชาติ ความมันเงา และความชอบโดยรวม โดยใช้ผู้เชี่ยวชาญในการทดสอบจำนวน 10 คน ค่าที่ได้นำมาวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS

ตารางที่ 13 แสดงอัตราส่วนของ น้ำตาลทราย : น้ำกะทิ

อัตราส่วนเป็น (%) ของ น้ำตาลทราย : น้ำกะทิ	อัตราส่วนเป็น (กรัม) ของ น้ำตาลทราย :น้ำกะทิ
30 : 30	186 : 200
30 : 40	186 : 236
40 : 30	277 : 200
40 : 40	277 : 236

ตารางที่ 14 แสดงอัตราส่วนของน้ำตาลทราย : น้ำกะทิ : ข้าวเหนียวเขี้ยวงู

อัตราส่วนเป็น (%) ของ น้ำตาลทราย : น้ำกะทิ	อัตราส่วนเป็น (กรัม) ของ น้ำตาลทราย :น้ำกะทิ
30 : 40 : 20	186 : 236 : 130
30 : 40 : 30	186 : 236 : 180

3.5 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

1. การศึกษาสูตรมาตรฐานของข้าวเหนียวแก้วแช่แข็ง

นำข้าวเหนียวแก้วจากการศึกษาสูตรพื้นฐาน 3 สูตร มาวัดค่าสี พบว่าสูตรที่ 3 จะมีสีเขียวอมเหลืองมากกว่าทั้ง 2 สูตร โดยมีค่าความสว่างเล็กน้อย (L*= 36.07) , สีเขียว (a*= -6.47) และ สีเหลือง (b*=10.64) เมื่อนำมาทดสอบทางด้านประสาทสัมผัส พบว่าสูตรที่ 3 จะมีคะแนนความชอบเฉลี่ยทุกด้านสูงสุด และมีความแตกต่างจากสูตรที่ 1 และ 2 ผู้ทดสอบให้คะแนนความชอบทางด้านสี ความมันเงา และความชอบโดยรวมในระดับความชอบมาก โดยได้ค่าเฉลี่ย 8.07 , 8.07 , 8.17 ตามลำดับ กลิ่น รสชาติ อยู่ในระดับความชอบปานกลาง โดยได้ค่าเฉลี่ย 7.87 , 7.90 ตามลำดับ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ดังตารางที่ 15 จึงนำสูตรที่ 3 เป็นสูตรมาตรฐานในการศึกษาต่อไป

ตารางที่ 14 แสดงค่าทางด้านกายภาพและประสาทสัมผัสในการศึกษาสูตรมาตรฐาน

คุณภาพที่วัด		สูตรที่		
		1	2	3
คุณภาพทางด้านกายภาพ ด้านสี				
	L*	37.10[a]	31.21[a]	36.07[a]
	a*	-7.10[a]	-4.34[a]	-6.47[a]
	b*	12.93[a]	7.85[c]	10.64[b]
คุณภาพทางด้านประสาทสัมผัส				
	สี	7.17[b]	6.37[c]	8.07[a]
	กลิ่น	6.87[b]	6.20[c]	7.87[a]
	รสชาติ	6.67[b]	6.27[c]	7.90[a]
	ความมันเงา	7.00[b]	6.40[c]	8.07[a]
	ความชอบโดรวม	7.03[b]	6.30[c]	8.17[a]

หมายเหตุ ตัวอักษรในแนวนอนแตกต่างกันหมายถึง ค่าที่มีความ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ทางสถิติที่ ($p \leq 0.05$)

2. การศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการทำข้าวเหนียวแก้ว

2.1 จากศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของ น้ำตาลทราย : น้ำกะทิ พบว่าผู้ทดสอบให้การยอมรับที่ระดับ น้ำตาลทราย : น้ำกะทิ คือ 30 : 40 ของส่วนผสมทั้งหมด โดยข้าวเหนียวแก้วมีสีเขียวอมเหลือง ที่ระดับค่าความสว่าง (L*= 35.42) , สีเขียว (a*= - 5.97) และ สีเหลือง (b*=10.38) ซึ่งมีค่าสีใกล้เคียงกับสูตรพื้นฐานที่ผู้ทดสอบให้การยอมรับ เมื่อนำมาทดสอบทางด้านประสาทสัมผัสพบว่าอัตราส่วนที่ 30 : 40 มีคะแนนความชอบเฉลี่ยทุกด้านสูงสุด และมีความแตกต่างจากสูตรที่ 1 , 3 และ 4 ลักษณะของข้าวเหนียวแก้วที่ได้จะมีสีเขียวอ่อนใส มีกลิ่นหอมใบเตย แข็งเล็กน้อย มีความมันเงามาก ผู้ทดสอบให้คะแนนความชอบทางด้าน สี กลิ่น รสชาติ และความมันเงา ที่ระดับ ความชอบปานกลาง โดยได้ค่าเฉลี่ย 7.67 , 7.43 , 7.90 , 7.83 ตามลำดับ และความชอบโดยรวมอยู่ระดับความชอบมากโดยได้ค่าเฉลี่ย 8.10 มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ดังตารางที่ 16 จึงนำสูตรที่ได้มาทำการศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของข้าวเหนียวต่อไป

ตารางที่15 แสดงค่าทางด้านกายภาพและประสาทสัมผัสของอัตราส่วนน้ำตาลทราย : น้ำกะทิ

คุณภาพที่วัด	อัตราส่วน น้ำตาลทราย : น้ำกะทิ			
	30 : 30	30 : 40	40 : 30	40 : 40
คุณภาพทางด้านกายภาพ ด้านสี				
L*	31.11 ^{b}	35.42 ^{a}	25.33 ^{c}	22.50 ^{c}
a*	-6.58 ^{ab}	-5.97 ^{ab}	-7.82 ^{b}	-4.57 ^{a}
b*	8.42 ^{ab}	10.38 ^{a}	6.15 ^{b}	5.39 ^{b}
คุณภาพทางด้านประสาทสัมผัส				
สี	6.97 ^{b}	7.67 ^{a}	5.20 ^{c}	5.13 ^{c}
กลิ่น	6.17 ^{b}	7.43 ^{a}	6.63 ^{b}	6.17 ^{b}
รสชาติ	6.43 ^{b}	7.90 ^{a}	5.73 ^{c}	5.73 ^{c}
ความมันเงา	6.37 ^{b}	7.83 ^{a}	6.17 ^{b}	6.17 ^{b}
ความชอบโดยรวม	6.67 ^{b}	8.10 ^{a}	5.73 ^{c}	5.70 ^{c}

หมายเหตุ ตัวอักษรในแนวนอนแตกต่างกันหมายถึง ค่าที่มีความ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ทางสถิติที่ ($p \leq 0.05$)

2.2 จากการศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของข้าวเหนียวเขี้ยวงู ที่ระดับ 20% และ 30% พบว่าผู้ทดสอบให้การยอมรับอัตราส่วนของข้าวเหนียวเขี้ยวงูที่ระดับ 30% มากที่สุด โดยข้าวเหนียวแก้วมีลักษณะที่วัดด้านสี จะมีสีเขียวอมเหลือง ที่ระดับค่าความสว่าง (L^*=25.62) , สีเขียว (a^*= - 8.26) และ สีเหลือง (b^*=12.65) เมื่อนำทดสอบทางด้านประสาทสัมผัส พบว่าอัตราส่วนข้าวเหนียวเขี้ยวงูที่ระดับ 30 % มีคะแนนความชอบเฉลี่ยทุกด้านสูงสุด มีความแตกต่างจากข้าวเหนียวเขี้ยวงูที่ระดับ 20 % ลักษณะที่ได้มีสีเขียวอ่อนใส กลิ่นหอมใบเตย มีความมันเงา รสชาติหวาน ผู้ทดสอบให้คะแนนความชอบ สี กลิ่น รสชาติ ความมันเงา และความชอบโดยรวมที่ระดับความชอบปานกลาง โดยได้ค่าเฉลี่ย 7.56 , 7.53 , 7.80 , 7.40 , 7.90 ตามลำดับ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) แสดงว่าปริมาณข้าวเหนียวที่เพิ่มขึ้นทำให้ค่าความสว่างมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นดังตารางที่ 17 จึงนำสูตรที่ได้มาทำการศึกษาอายุการเก็บรักษาและการคืนตัวต่อไป

ตารางที่ 16 แสดงค่าทางด้านกายภาพและประสาทสัมผัสการศึกษาอัตราส่วนข้าวเหนียวเขี้ยวงู

คุณภาพที่วัด	อัตราส่วนข้าวเหนียวเขี้ยวงู	
	20%	30%
คุณภาพทางด้านกายภาพ ด้านสี		
L^*	24.94[a]	25.62[a]
a^*	-7.64[a]	-8.26[a]
b^*	11.09[a]	12.65[a]
คุณภาพทางด้านประสาทสัมผัส		
สี	6.93[b]	7.56[a]
กลิ่น	6.60[b]	7.53[a]
รสชาติ	6.80[b]	7.80[a]
ความมันเงา	6.66[b]	7.40[a]
ความชอบโดยรวม	7.03[b]	7.90[a]

หมายเหตุ ตัวอักษรในแนวนอนแตกต่างกันหมายถึง ค่าที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ ($p \leq 0.05$)

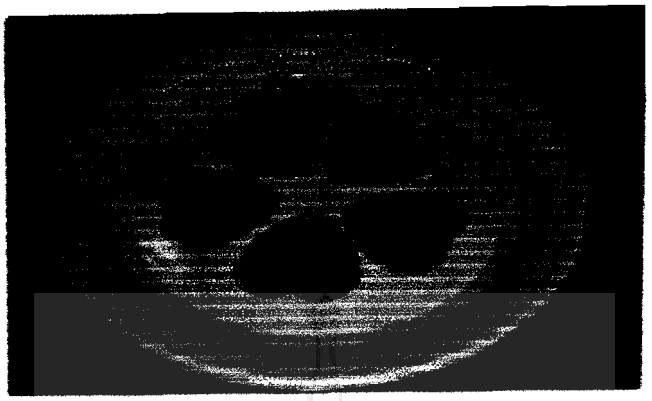
3. การศึกษาระยะเวลาการเก็บรักษาและการคืนตัว

จากการศึกษาระยะเวลาการเก็บรักษาและการคืนตัวของข้าวเหนียวแก้วแช่แข็ง พบว่าระยะเลาการเก็บและการคืนตัวที่ 15 , 30 และ 45 วัน ไม่มีความแตกต่างกันในทุกด้าน จึงพิจารณาเลือกที่ระยะเวลาการเก็บ 30 วัน ให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟที่ระดับความร้อน 30 % เวลา 50 วินาที โดยข้าวเหนียวแก้วมีลักษณะที่วัดได้ทางด้านสี จะมีสีเขียวอมเหลือง ที่ระดับค่าความสว่าง (L*= 28.92) , สีเขียว (a*= -2.67) และ สีเหลือง (b*= 5.84) เมื่อนำทดสอบทางด้านประสาทสัมผัส ผู้ทดสอบให้ระดับความชอบทางด้าน สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส ความมันเงา และความชอบโดยรวมในระดับ ความชอบเฉย ๆ โดยให้คะแนนเฉลี่ย 5.92 , 5.50 ,5.58 , 5.67 5.33 , 5.33 ตามลำดับ เมื่อนำมาวิเคราะห์ผลทางสถิตแสดงว่า ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับ ($p > 0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 18 จะเห็นได้ว่าที่ระยะเวลาการเก็บนานขึ้นผลิตภัณฑ์มีค่าความสว่างลดลง เนื่องจากระหว่างการเก็บรักษาอาหารแช่เยือกแข็งสารสีเขียวหรือคลอโรฟีลล์จะค่อย ๆ สลายตัวอย่างช้า ๆ ได้เป็นสีน้ำตาลของฟีโอไฟติน ดังนั้นผลิตภัณฑ์ข้าวเหนียวแก้วแช่แข็งจึงมีสีเขียวเข้มขึ้น

ตารางที่ 17 แสดงค่าทางด้านกายภาพและประสาทสัมผัสการศึกษาระยะเวลาการเก็บและการคืนตัว

คุณภาพทางด้านกายภาพ	ระยะเวลาการเก็บ/วัน								
	15			30			45		
	40 วินาที	50 วินาที	60 วินาที	40 วินาที	50 วินาที	60 วินาที	40 วินาที	50 วินาที	60 วินาที
L*	31.61^{a}	29.76^{ab}	27.21^{ab}	27.10^{ab}	28.92^{ab}	31.26^{a}	28.8^{ab}	26.17^{a}	24.73^{b}
a*	-4.69^{bc}	-4.50^{bc}	-6.74^{bc}	-3.99^{bc}	-2.67^{ab}	-3.96^{ab}	-5.47^{bc}	-4.30^{bc}	-5.64^{bc}
b*	10.65^{a}	9.31^{ab}	9.65^{ab}	6.07^{ab}	5.84^{d}	7.08^{cd}	9.31^{ab}	7.63^{abc}	7.97^{bc}
คุณภาพทางด้านประสาทสัมผัส	40 วินาที	50 วินาที	60 วินาที	40 วินาที	50 วินาที	60 วินาที	40 วินาที	50 วินาที	60 วินาที
สี	5.58^{abc}	5.83^{ab}	5.58^{abc}	5.50^{abc}	5.92^{a}	5.08^{cd}	5.42^{abc}	5.00^{d}	5.33^{bcd}
กลิ่น	6.00^{a}	5.33^{abc}	5.00^{cd}	5.41^{abc}	5.50^{abc}	5.08^{bcd}	5.83^{ab}	4.50^{d}	5.12^{bcd}
รสชาติ	5.75^{ab}	5.33^{abc}	5.25^{bc}	5.92^{ab}	5.58^{abc}	5.75^{ab}	6.00^{a}	5.00^{a}	5.25^{bc}
เนื้อสัมผัส	6.17^{a}	5.75^{abc}	5.75^{abc}	5.33^{bdc}	5.67^{ab}	5.92^{ab}	6.08^{a}	4.92^{a}	5.12^{cd}
ความมันเงา	6.00^{a}	5.25^{a}	5.67^{a}	5.42^{a}	5.33^{a}	5.25^{a}	5.83^{a}	5.00^{a}	5.33^{a}
ความชอบโดยรวม	5.92^{a}	5.58^{abc}	5.83^{ab}	5.50^{abc}	5.33^{abc}	5.83^{ab}	6.00^{a}	5.08^{c}	5.25^{bc}

หมายเหตุ ตัวอักษรในแนวนอนแตกต่างกันหมายถึง ค่าที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ ($p \leq 0.05$)



(1)

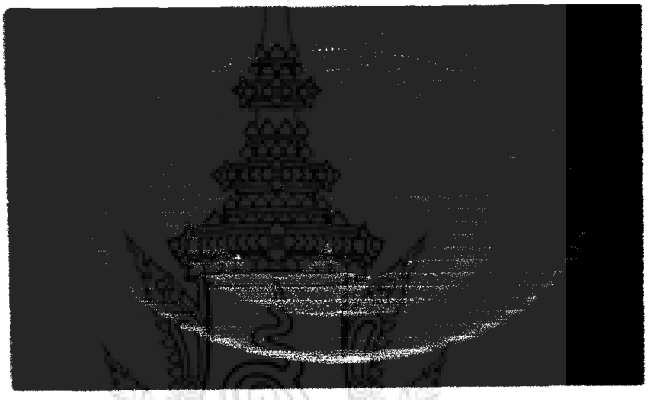
(2)

(3)

ภาพที่ 3 แสดงลักษณะของข้าวเหนียวแก้วแช่แข็ง

1. คือ ข้าวเหนียวแก้วแช่แข็งที่ระยะเวลา 15 วัน
2. คือ ข้าวเหนียวแก้วแช่แข็งที่ระยะเวลา 30 วัน
3. คือ ข้าวเหนียวแก้วแช่แข็งที่ระยะเวลา 45 วัน

(1)

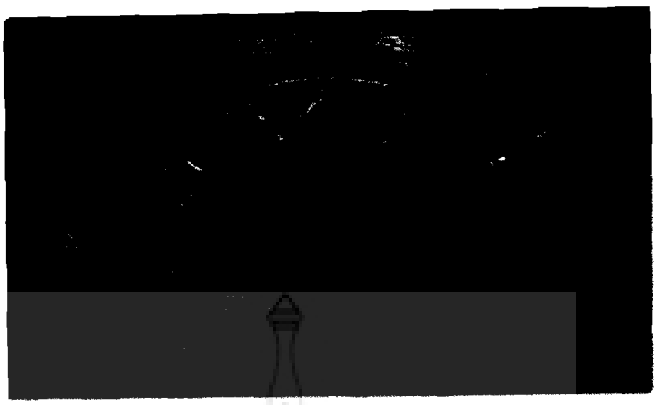


(2)

(3)

ภาพที่ 4 แสดงข้าวเหนียวแก้วแช่แข็งที่ระยะเวลา 15 วันให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ

1. คือ ระยะเวลาในการแช่แข็ง 15 วัน ระดับความร้อน 30% เวลา 40 วินาที
2. คือ ระยะเวลาในการแช่แข็ง 15 วัน ระดับความร้อน 30% เวลา 50 วินาที
3. คือ ระยะเวลาในการแช่แข็ง 15 วัน ระดับความร้อน 30% เวลา 60 วินาที



(1)

(2)

(3)

ภาพที่ 6 แสดงข้าวเหนียวแก้วแช่แข็งที่ระยะเวลา 45 วันแล้วนำมาให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ

1. คือ ระยะเวลาในการแช่แข็ง 45 วัน ระดับความร้อน 30% เวลา 40 วินาที
2. คือ ระยะเวลาในการแช่แข็ง 45 วัน ระดับความร้อน 30% เวลา 50 วินาที
3. คือ ระยะเวลาในการแช่แข็ง 45 วัน ระดับความร้อน 30% เวลา 60 วินาที

บทที่ 4
สรุปผลการทดลอง

1. จากการศึกษาสูตรมาตรฐานของข้าวเหนียวแก้ว โดยศึกษาสูตรพื้นฐานทั้งหมด 3 สูตร พบว่าสูตรที่ได้รับการยอมรับจากผู้ทดสอบมากที่สุด คือ สูตรที่ 3 ของสุภาภรณ์ ปานนิล นำมาวัดคุณภาพทั้งทางด้านกายภาพ และประเมินคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัส ผู้ทดสอบให้การยอมรับในระดับความชอบมาก (8.1) ทำการวิเคราะห์ความแตกต่างโดยใช้วิธี LSD (Least Sienificant Difference) จะพบว่าทางด้านสี กลิ่น รสชาติ ความมันเงา และความชอบโดยรวม มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

2. การศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการทำข้าวเหนียวแก้ว

2.1 จากการศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของน้ำตาลทราย : น้ำกะทิ พบว่าสูตรที่ได้รับการยอมรับจากผู้ทดสอบมากที่สุดคือ น้ำตาลทราย 30 % : น้ำกะทิ 40 % นำมาวัดคุณภาพทางด้านกายภาพ และประเมินคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัส ผู้ทดสอบให้การยอมรับในระดับความชอบปานกลาง ทำการวิเคราะห์ความแตกต่างโดยใช้วิธี LSD (Least Sienificant Difference) จะพบว่าทางด้านสี กลิ่น รสชาติ ความมันเงา และความชอบโดยรวม มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

2.2 จากการศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของข้าวเหนียวเขี้ยวงู พบว่าสูตรที่ได้รับการยอมรับจากผู้ทดสอบมากที่สุดคือ ปริมาณข้าวเหนียวเขี้ยวงูที่ระดับ 30 % นำมาวัดคุณภาพทางด้านกายภาพ และเมินคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัส โดยผู้ทดสอบให้การยอมรับที่ระดับความชอบปานกลาง ทำการวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี LSD (Least Sienificant Difference) จะพบว่าทางด้านสี กลิ่น รสชาติ ความมันเงา และความชอบโดยรวม มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

3. จากการศึกษาอายุการเก็บรักษาและการคืนตัว พบว่าผู้ทดสอบให้การยอมรับที่ระยะเวลาการเก็บ 30 วัน นำไปให้ความร้อนด้วยเตาอบไมโครเวฟที่ระดับความร้อน 30% เวลา 50 วินาที โดยนำมาวัดคุณภาพทางด้านกายภาพ และทางด้านประสาทสัมผัส พบว่าผู้เชี่ยวชาญในการทดสอบ ให้การยอมรับในระดับคะแนนความชอบเฉย ๆ ทำการวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี LSD (Least Sienifican Differenc) พบว่า กลิ่น สี รสชาติ เนื้อสัมผัส ความมันเงา และความชอบโดยรวม ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

ข้อเสนอแนะ

1. เนื่องจากในการศึกษาใช้วิธีการแช่เยือกแข็งแบบช้า จึงทำให้เกิดผลึกน้ำแข็งขนาดใหญ่ ซึ่งจะส่งผลต่อความเป็นรูพรุนของเมล็ดข้าวเหนียวในขั้นตอนการคืนตัว ทำให้คะแนนความชอบโดยรวมของข้าวเหนียวแก้วหลังเก็บอยู่ในระดับความชอบเล็กน้อย แต่จากการศึกษาพบว่า มีแนวโน้มที่มีอายุการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ดังนั้นในการศึกษาครั้งต่อไปจึงควรจะมีการศึกษาการใช้การแช่เยือกแข็งแบบเร็ว เพื่อทำให้เกิดผลึกน้ำแข็งขนาดเล็กอย่างสม่ำเสมอ และควรศึกษาภาชนะบรรจุที่เหมาะสมและสามารถยืดอายุการเก็บรักษาข้าวเหนียวแก้วแช่แข็งให้นานขึ้น

2. การละลายน้ำแข็งของข้าวเหนียวแก้วแช่แข็งก่อนนำไปใช้ ควรวางไว้ที่อุณหภูมิห้องอย่างน้อย 10 นาที หากน้อยกว่านี้ พบว่าข้าวเหนียวแก้วแช่แข็งบางส่วนที่ยังแข็งเมื่อนำไปให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟจะทำให้ข้าวเหนียวแก้วไหม้ได้ เพราะน้ำแข็งมีค่าการนำความร้อนมากกว่า น้ำ แต่ถ้าวางข้าวเหนียวแก้วไว้นานกว่า 10 นาทีไม่พบข้อเสียใด ๆ

บรรณานุกรม

กัลยานี ชื่นสังข์ และ ปวีณา โพธิ์นาคเงิน.2545. **บะจ่างแช่แข็ง**. คหกรรมศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาอาหารและโภชนาการสถาบันเทคโนโลยีราชมงคลวิทยาเขตโชติเวช.

กล้าณรงค์ ศรีรอต และ เกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ. 2543. **เทคโนโลยีของแป้ง**. พิมพ์ครั้งที่ 2. มหา วิทยาเกษตรศาสตร์.

ขวัญจิต สุขเจริญ และ รัชนาอร มานพคำ. 2545. **ขนมตาลแช่แข็ง**. คหกรรมศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาอาหารและโภชนาการสถาบันเทคโนโลยีราชมงคลวิทยาเขตโชติเวช.

คณาจารย์ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอาหาร.**วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร**. 2539. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

คณาจารย์ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอาหาร. **วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีกาอาหาร**. 2543. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

งามชื่น คงเสรี. 2536. **เอกสารประกอบการบรรยายการฝึกอบรมหลักสูตรวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยว**. ฝ่ายฝึกอบรม สถาบันวิจัยข้าว กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

จรรยา สุบรรณ์. **ตำหรับการถนอมอาหาร**. มปป. กรุงเทพฯ : แพร่พิทยา.

นิธิยา รัตนาปนนท์. 2544. **หลักการแปรรูปอาหารเบื้องต้น**. กรุงเทพฯ: โอ.เอส.พริ้นติ้ง.เฮาส์.

นันทพร สมัครรัตน์. 2546. **การพัฒนาผลิตภัณฑ์โดนัทแป้งข้าวหอมมะลิทดแทนแป้งสาลีหน้าพิซซ่าแช่เยือกแข็ง**. บัณฑิตวิทยาลัยมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ทศรฐ อินแปลง. 2543. **การศึกษากระบวนการผลิตภัณฑ์ข้าวเหนียวสำเร็จรูปบรรจุกระป๋อง**. บัณฑิตมหาวิทยาลัยสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

เบญจพร มีเกาะ. 2546. **การพัฒนาผลิตภัณฑ์พัฟเพสตรี้แช่แข็งโดยใช้ฟลาวมันสำปะหลังทอดแทนแป้งสาลี**. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

พลพล รมย์นุกูล. 2542. **การถนอมอาหาร**. ภาควิชาคหกรรมศาสตร์คณะวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีสถาบันราชภัฏนครราชสีมา.

ไพบูลย์ ธรรมรัตน์วาสิก. 2532. **กรรมวิธีการแปรรูปอาหาร**. กรุงเทพฯ :โอ.เอส.พริ้นติ้ง. เฮาส์.

มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช. 2539. **การถนอมและการแปรรูปอาหาร**. นนทบุรี. มหาวิทยาลัย สุโขทัยธรรมาธิมิราช.

ลาวัลย์ เบญจศีล. 2542. **วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหารเบื้องต้น**. กรุงเทพฯ.

วิไล รังสาดทอง. 2545. **เทคโนโลยีการแปรรูปอาหาร**. พิมพ์ครั้งที่2. กรุงเทพฯ: เท็กซ์ แอนด์ เจอร์นัล พับลิเคชั่น จำกัด.

วุฒิชัย นาครักษา. 2535. **เทคโนโลยีธัญพืช**. ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะเทคโนโลยีเกษตรสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

วุฒิชัย นาครักษา. 2536. **คาร์โบไฮเดรตในอาหาร**. ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะเทคโนโลยี เกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

สุภาภรณ์ ธัญญะวานิช. 2545. **การปรับปรุงคุณภาพข้าวหุงสุกเร็วโดยวิธีการแช่เยือกแข็งร่วมกับการใช้ไมโครเวฟในการผลิต**. วิทยานิพนธ์ สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร คณะวิทยาศาสตร์. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

สุภาภรณ์ ปานนิล. **กุลสตรีข้างครัว**. มปป. กรุงเทพฯ :บวรสารการพิมพ์.

สุรางค์รัตน์ กัญมาศ. 2536. **ภาชนะบรรจุอาหาร**. ศูนย์วิจัยและพัฒนาอาชีวศึกษา กรมอาชีวศึกษา.

Fellows,P.J. 1990. **Food processing technology : principle and practice**. West Sussex England : Ellis Horwood.

ภาคผนวก ก
สูตรมาตรฐานของข้าวเหนียวแก้วแช่แข็ง

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

สูตรพื้นฐานข้าวเหนียวแก้ว

โดยคัดเลือกจากสูตร 3 สูตร ทั้ง 3 สูตรมีส่วนผสมดังนี้

ข้าวเหนียวแก้วสูตรที่ 1

ส่วนผสม

ข้าวเหนียวหอม	3/4	ถ้วยตวง
มะพร้าวขูดอย่างขาว (คั้นกะทิข้น)	3/4	ถ้วยตวง
น้ำตาลทรายขาวจัด	250	กิโลกรัม
เกลือป่น	1/4	ช้อนชา
น้ำปูนใส	1/2	ช้อนโต๊ะ
น้ำลอยดอกไม้สด	1/4	ถ้วยตวง

น้ำใบเตยคั้น และน้ำดอกอัญชันคั้นโดยไม่ใช้น้ำ

วิธีทำ

1. แช่ข้าวเหนียว 4 ชั่วโมง
2. นึ่งข้าวเหนียวให้สุก
3. กะทิตั้งไฟอ่อนพอเดือด ใส่ข้าวเหนียวลงปิดฝาไว้ 20 นาที
4. นำข้าวเหนียวใส่กะทะทอง โรยน้ำตาลทราย และเกลือป่น ใส่น้ำปูนใส และน้ำลอยดอกไม้ และน้ำใบเตย หรือน้ำดอกอัญชัน (หรือแบ่งกวน 2 สี) กวนข้าวเหนียวคนเบาๆ จนข้นค่อนข้างแห้ง
5. ผึ่งขนมให้เย็นตักขนม ใส่กระทงกระดาษเล็กๆ รองด้วยพิมพ์ขนาดเท่ากัน ใส่ขนมลงให้เต็มถ้วยพูนสวย ไม่ต้องกดผึ่งลมให้หน้าแห้งขึ้นเล็กน้อย
6. อบขนมด้วยดอกไม้หอม และควันเทียนอบ

วิธีรับประทาน

เป็นขนมหวานชนิดหนึ่ง รับประทานหลังอาหาร

วิธีเก็บ

เก็บในภาชนะแห้งสะอาด ปิดสนิท เก็บไว้นานประมาณ 1 สัปดาห์ (จรรยา สุบรรณ์, มปป.)

ข้าวเหนียวแก้วสูตรที่ 2

ส่วนผสม

ข้าวสารเหนียวแห้งเขี้ยวงู	1 ½	ถ้วยตวง
หัวกะทิขาว	3/4	ถ้วยตวง
น้ำตาลทรายขาว	1 ¼	ถ้วยตวง
เกลือป่น	1/4+1/8	ช้อนชา
น้ำปูนใสสีชมพูปานกลาง	1	ช้อนโต๊ะ
งาดำคั่วหอม	3/4	ช้อนโต๊ะ

วิธีทำ

1. แช่ข้าวเหนียวในที่อุ่นประมาณ 1/2 ชั่วโมง นำไปนึ่งต่อประมาณ 20 นาที หรือแค่พอสุกเท่านั้น

2. นำกะทิใส่หม้อตั้งไฟอ่อนคนบ่อยๆ พอเดือดยกลง ใส่ข้าวเหนียวที่นึ่งแล้วลงไปคนให้ทั่วปิดฝาไว้ 15 นาที

3. ใส่ข้าวเหนียวลงในกะทะทอง โรยน้ำตาล เหลือ นำปูนลงบนข้าวเหนียว ตั้งไฟอ่อนป่านกลาง คนเบาๆ จนกระทั่งเหนียวดี

4. ตักขนมใส่ถาด ขนาด 4 ½ x4 ½ x1 ½ นิ้วฟุต 3 ถาด ผึ่งขนมให้เย็น ตัดแบ่งเป็น 9 ชิ้น ม้วนกระดาษให้เป็นกรวย ใส่งาโรยบนข้าวเหนียวแก้ว แต่งหน้าให้ดูสวยงามขึ้น

5. วิธีจัดเสิร์ฟ ตักขนม 1 ชิ้น ใส่จานหวานเฉพาะคน พร้อมด้วยช้อนหวาน

เทคนิคการประกอบ

1. ใส่น้ำปูนใสให้ขนมกรอบ ปูนแดง 1/8 ช้อนชา กับน้ำ 4 ช้อนโต๊ะ

2. ใช้กะทิขาวและน้ำตาลทรายขาว จะทำให้ขนมขาว ด้วยกะทิขาวได้จากการกระเทาะผิวดำออกก่อนขูดมะพร้าว

3. การนึ่งข้าวเหนียวนานจะทำให้เวลากวนข้าวเหนียวเละเช่นเดียวกับการคนแรงๆ

4. ข้าวสารเหนียวเขี้ยวงู เป็นข้าวสารเหนียวชนิดดี เมล็ดสวย

5. วิธีนึ่งข้าวเหนียวใช้ผ้าขาวบางปูลังถึงชั้นบน ใส่ข้าวเหนียวตรงกลางไม่ต้องเกลี่ย ให้ไอน้ำขึ้นได้ ปิดกระดาษ 2 ชั้นบนลังถึง ปิดฝา ซ้อนลังถึงชั้นบน บนหม้อน้ำเดือดชั้นล่างนึ่งด้วยไฟแรง น้ำเดือด 20 นาที (จรรยา สุบรรณ์, 2532)

ข้าวเหนียวแก้วสูตรที่ 3

ส่วนผสม

ข้าวเหนียวเขี้ยวงู	1	ถ้วยตวง
หัวกะทิขาว	1	ถ้วยตวง
น้ำตาลทรายขาว	1	ถ้วยตวง
เกลือป่น	1/4	ช้อนชา
น้ำใบเตย	1/3	ถ้วยตวง
น้ำปูนใส	1	ช้อนโต๊ะ

วิธีทำ

1. แช่ข้าวเหนียว 30 นาที นำไปนึ่ง 20 นาที จนข้าวเหนียวสุกดี
2. นำน้ำกะทิ น้ำใบเตย น้ำปูนใส เกลือ ผสมคนให้เข้ากัน ใส่ข้าวเหนียวที่นึ่งสุกลงไปแช่ 15 นาที
3. ผสมน้ำตาลทรายกับข้าวเหนียว คนเบา ๆ ให้เข้ากัน
4. เทใส่กะทะทองคนเบา ๆ จนข้าวเหนียวแห้งเรียงเม็ดกัน เทใส่ภาชนะวางไว้ให้เย็น (สุภาภรณ์ ปานนิล , มปป.)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

สูตรมาตรฐานข้าวเหนียวแก้ว

ส่วนผสม	น้ำหนัก (กรัม)	เปอร์เซ็น
ข้าวเหนียวเขี้ยวงู	180	30.00
หัวกะทิขาว	236	40.00
น้ำตาลทรายขาว	186	30.00
เกลือป่น	1.4	0.19
น้ำใบเตย	90	12.80
น้ำปูนใส	10	1.40

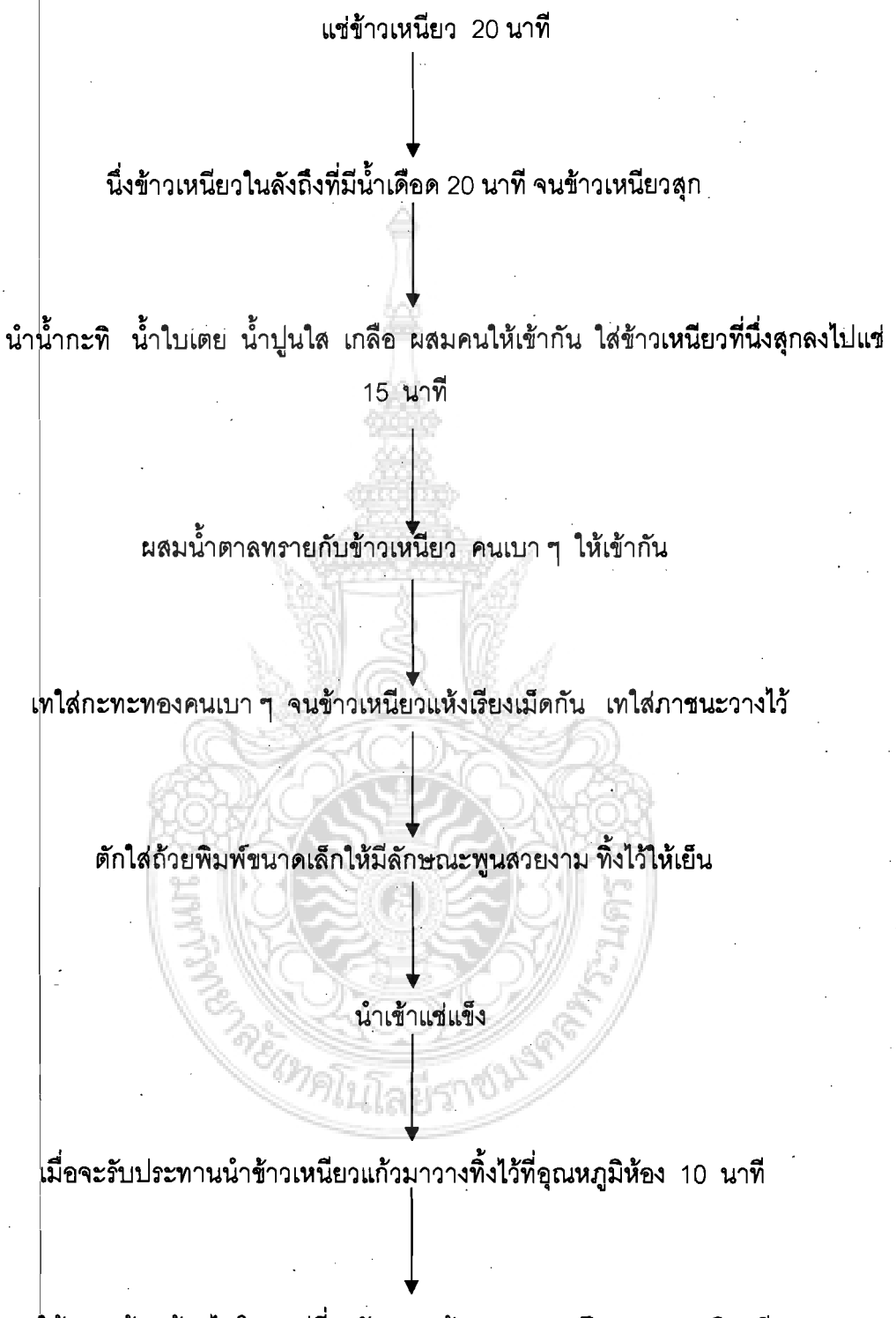
วิธีทำ

1. แช่ข้าวเหนียว 30 นาที นำไปนึ่ง 20 นาที จนข้าวเหนียวสุกดี
2. นำน้ำกะทิ น้ำใบเตย น้ำปูนใส เกลือ ผสมคนให้เข้ากัน ใส่ข้าวเหนียวที่นึ่งสุกลงไปแช่ 15 นาที
3. ผสมน้ำตาลทรายกับข้าวเหนียว คนเบา ๆ ให้เข้ากัน
4. เทใส่กะทะทองคนเบา ๆ จนข้าวเหนียวแห้งเรียงเม็ดกัน เทใส่ภาชนะวางไว้ให้เย็น (สุภาภรณ์ ปานนิล , มปป.)

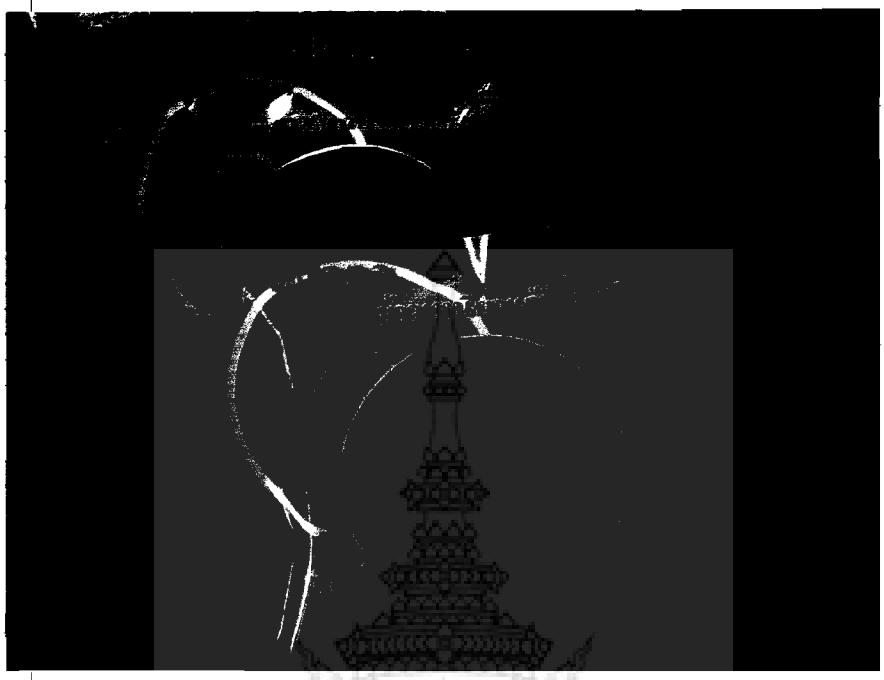
เทคนิค

1. ถ้าข้าวเหนียวเป็นข้าวใหม่ควรแช่ไม่เกิน 10 -15 นาที เพื่อจะทำให้ข้าวเหนียวแก้วไม่แฉะ
2. ขณะคนข้าวเหนียวควรคนแบบกลับไม้พายไปมา เพื่อไม่ให้เมล็ดข้าวเหนียวหัก
3. ไฟที่ใช้ควรใช้ไฟอ่อนเพราะหากใช้ไฟแรงจะทำให้ข้าวเหนียวไหม้ก่อนที่จะแห้ง

กรรมวิธีการทำข้าวเหนียวแก้วแช่แข็ง



ภาพที่ 7 แผนผังแสดงกรรมวิธีการทำข้าวเหนียวแก้วแช่แข็ง



ภาพที่8 ข้าวเหนียวแก้ว

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

ภาคผนวก ข
แบบประเมินทางประสาทสัมผัส

แบบประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส

วันที่...../...../.....

ผลิตภัณฑ์ ข้าวเหนียวแก้วแช่แข็ง

คำแนะนำ กรุณาทดสอบตัวอย่างจากซ้ายไปขวาแล้วให้คะแนน 1-9 ตามลำดับความชอบดังสเกลนี้

9 คะแนน ชอบมากที่สุด

8 คะแนน ชอบมาก

7 คะแนน ชอบปานกลาง

6 คะแนน ชอบน้อย

5 คะแนน เฉย ๆ

4 คะแนน ไม่ชอบน้อย

3 คะแนน ไม่ชอบปานกลาง

2 คะแนน ไม่ชอบมาก

1 คะแนน ไม่ชอบมากที่สุด

รหัส	สี	กลิ่น	รสชาติ	ความมันเงา	ความชอบโดยรวม

ข้อเสนอแนะ.....

.....

แบบประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส

วันที่...../...../.....

ผลิตภัณฑ์ ข้าวเหนียวแก้วแช่แข็ง

คำแนะนำ กรุณาทดสอบตัวอย่างของข้าวเหนียวแก้วที่ผ่านการแช่แข็ง 15 , 30 และ 45 วัน นำมาให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟที่ระยะเวลา 40, 50 และ 60 วินาที โดยชิมเปรียบเทียบกับตัวอย่างมาตรฐานที่ไม่ผ่านการแช่แข็ง ให้คะแนนตามลำดับระดับความชอบตามสเกลดังนี้

9 คะแนน ชอบมากที่สุด

8 คะแนน ชอบมาก

7 คะแนน ชอบปานกลาง

6 คะแนน ชอบน้อย

5 คะแนน เฉย ๆ

4 คะแนน ไม่ชอบน้อย

3 คะแนน ไม่ชอบปานกลาง

2 คะแนน ไม่ชอบมาก

1 คะแนน ไม่ชอบมากที่สุด

รหัส	สี	กลิ่น	รสชาติ	เนื้อสัมผัส	ความมันเงา	ความชอบโดยรวม

ข้อเสนอแนะ.....

.....

ภาคผนวก ค
ตารางวิเคราะห์ทางสถิติ

การศึกษาสูตรพื้นฐาน 3 สูตร

Post Hoc Tests
TRT
Homogeneous Subsets

COLOUR

Duncan [a,b]

TRT	N	Subset 1	Subset 2	Subset 3
2.00	30	6.3667		
1.00	30		7.1667	
3.00	30			8.0667
Sig.		1.000	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.
Based on Type III Sum of Squares
The error term is Mean Square(Error) = .700.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 30.000.

b. Alpha = .05.

FLAVER

Duncan [a,b]

TRT	N	Subset 1	Subset 2	Subset 3
2.00	30	6.2000		
1.00	30		6.8667	
3.00	30			7.8667
Sig.		1.000	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.
Based on Type III Sum of Squares
The error term is Mean Square(Error) = .513.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 30.000.

b. Alpha = .05.

TASTE

Duncan [a,b]

TRT	N	Subset 1	Subset 2	Subset 3
2.00	30	6.2667		
1.00	30		6.6667	
3.00	30			7.9000
Sig.		1.000	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.
Based on Type III Sum of Squares
The error term is Mean Square(Error) = .561.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 30.000.

b. Alpha = .05.

OIL

Duncan [a,b]

TRT	N	Subset 1	Subset 2	Subset 3
2.00	30	6.4000		
1.00	30		7.0000	
3.00	30			8.0667
Sig.		1.000	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.
Based on Type III Sum of Squares
The error term is Mean Square(Error) = .527.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 30.000.

b. Alpha = .05.

OVERALL

Duncan [a,b]

TRT	N	Subset 1	Subset 2	Subset 3
2.00	30	6.3000		
1.00	30		7.0333	
3.00	30			8.1667
Sig.		1.000	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.
Based on Type III Sum of Squares
The error term is Mean Square(Error) = .637.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 30.000.

b. Alpha = .05.

ค่าสีสูตรพื้นฐาน

General Linear Model

Between-Subjects Factors

		N
TRT	1.00	3
	2.00	3
	3.00	3
REP	1.00	3
	2.00	3
	3.00	3

Post Hoc Tests
TRT
Homogeneous Subsets

L

Duncan [a,b]

TRT	N	Subset 1
2.00	3	31.2133
3.00	3	36.0700
1.00	3	37.0967
Sig.		.051

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.
Based on Type III Sum of Squares
The error term is Mean Square(Error) = 6.545.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

b. Alpha = .05.

A

Duncan [a,b]

TRT	N	Subset 1
1.00	3	-7.1000
2.00	3	-4.3400
3.00	3	-1.4667
Sig.		.152

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.
Based on Type III Sum of Squares
The error term is Mean Square(Error) = 14.683.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

b. Alpha = .05.

B

Duncan[a,b]

TRT	N	Subset 1	Subset 2	Subset 3
2.00	3	7.8867		
3.00	3		10.6367	
1.00	3			12.9267
Sig.		1.000	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.
Based on Type III Sum of Squares
The error term is Mean Square(Error) = .611.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

b. Alpha = .05.

การศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของน้ำตาลทราย : น้ำกะทิ

Post Hoc Tests
TRT
Homogeneous Subsets

SUGAR

Duncan [a,b]

TRT	N	Subset 1	2	3	4
1.00	30	30.0000			
2.00	30		30.0000		
3.00	30			40.0000	
4.00	30				40.0000
Sig.		1.000	1.000	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.
Based on Type III Sum of Squares
The error term is Mean Square(Error) = .000.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 30.000.

b. Alpha = .05.

COCONUT

Duncan [a,b]

TRT	N	Subset 1	2	3	4
1.00	30	30.0000			
3.00	30		30.0000		
2.00	30			40.0000	
4.00	30				40.0000
Sig.		1.000	1.000	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.
Based on Type III Sum of Squares
The error term is Mean Square(Error) = .000.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 30.000.

b. Alpha = .05.

COLOUR

Duncan[a,b]

TRT	N	Subset 1	2	3
4.00	30	5.1333		
3.00	30	5.2000		
1.00	30		6.9667	
2.00	30			7.6667
Sig.		.777	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.
Based on Type III Sum of Squares
The error term is Mean Square(Error) = .824.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 30.000.

b. Alpha = .05.

FLAVER

Duncan[a,b]

TRT	N	Subset 1	2
1.00	30	6.1667	
4.00	30	6.5000	
3.00	30	6.6333	
2.00	30		7.4333
Sig.		.055	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.
Based on Type III Sum of Squares
The error term is Mean Square(Error) = .782.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 30.000.

b. Alpha = .05.

TASTE

Duncan[a,b]

TRT	N	Subset 1	2	3
3.00	30	5.7333		
4.00	30	5.7333		
1.00	30		6.4333	
2.00	30			7.9000
Sig.		1.000	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.
Based on Type III Sum of Squares
The error term is Mean Square(Error) = .455.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 30.000.

b. Alpha = .05.

OIL

Duncan [a,b]

TRT	N	Subset 1	Subset 2
3.00	30	6.1667	
4.00	30	6.2667	
1.00	30	6.3667	
2.00	30		7.8333
Sig.		.338	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.
Based on Type III Sum of Squares
The error term is Mean Square(Error) = .568.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 30.000.

b. Alpha = .05.

OVERALL

Duncan [a,b]

TRT	N	Subset 1	Subset 2	Subset 3
4.00	30	5.7000		
3.00	30	5.7333		
1.00	30		6.6667	
2.00	30			8.1000
Sig.		.856	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.
Based on Type III Sum of Squares
The error term is Mean Square(Error) = .504.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 30.000.

b. Alpha = .05.

ค่าสีอัตราส่วนที่เหมาะสมของน้ำตาลทราย : น้ำกะทิ

General Linear Model

Between-Subjects Factors

		N
TRT	1.00	3
	2.00	3
	3.00	3
	4.00	3
REP	1.00	4
	2.00	4
	3.00	4

Post Hoc Tests
TRT
Homogeneous Subsets

L

Duncan[a,b]

		Subset		
TRT	N	1	2	3
4.00	3	22.5000		
3.00	3	25.3267		
1.00	3		31.1267	
2.00	3			35.4167
Sig.		.072	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.
Based on Type III Sum of Squares
The error term is Mean Square(Error) = 2.518.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

b. Alpha = .05.

A

Duncan [a,b]

TRT	N	Subset 1	Subset 2
3.00	3	-7.8167	
1.00	3	-6.5833	-6.5833
2.00	3	-5.9700	-5.9700
4.00	3		-4.5700
Sig.		.133	.108

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.
Based on Type III Sum of Squares
The error term is Mean Square(Error) = 1.586.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

b. Alpha = .05.

B

Duncan [a,b]

TRT	N	Subset 1	Subset 2
4.00	3	5.3867	
3.00	3	6.1467	
1.00	3	8.5433	8.5433
2.00	3		10.3767
Sig.		.110	.303

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.
Based on Type III Sum of Squares
The error term is Mean Square(Error) = 3.965.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

b. Alpha = .05.

การศึกษาอัตราส่วนของข้าวเหนียวเขี้ยวงู

T-Test

Paired Samples Statistics

		Mean	N	Std. Deviation	Std. Error Mean
Pair 1	COLOUR1	6.8333	30	.9499	.1734
	COLOUR2	7.5000	30	1.0422	.1903
Pair 2	FLAVER1	6.7667	30	1.1351	.2072
	FLAVER2	7.4333	30	.8584	.1567
Pair 3	TASTE1	7.1000	30	.8030	.1466
	TASTE2	7.5000	30	1.0086	.1841
Pair 4	OIL1	7.0333	30	.9279	.1694
	OIL2	7.1667	30	1.4404	.2630
Pair 5	OVERALL1	7.0667	30	.7849	.1433
	OVERALL2	7.8667	30	.8604	.1571

Paired Samples Correlations

		N	Correlation	Sig.
Pair 1	COLOUR1 & COLOUR2	30	.470	.009
Pair 2	FLAVER1 & FLAVER2	30	.072	.706
Pair 3	TASTE1 & TASTE2	30	.277	.139
Pair 4	OIL1 & OIL2	30	.589	.001
Pair 5	OVERALL1 & OVERALL2	30	.524	.003

Paired Samples Test

	Paired Differences					t	df	Sig. (2-tailed)
	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference Lower	Upper			
Pair 1 COLOUR1 - COLOUI	-.6667	1.0283	.1877	-1.0507	-.2827	-3.551	29	.001
Pair 2 FLAVER1 - FLAVER2	-.6667	1.3730	.2507	-1.1793	-.1540	-2.660	29	.013
Pair 3 TASTE1 - TASTE2	-.4000	1.1017	.2011	-.8114	.14E-02	-1.989	29	.056
Pair 4 OIL1 - OIL2	-.1333	1.1666	.2130	-.5689	.3023	-.626	29	.536
Pair 5 OVERALL1 - OVERA	-.8000	.8052	.1470	-1.1007	-.4993	-5.442	29	.000

การศึกษาระยะเวลาการเก็บและการคืนตัว 15 ,30 และ 45

General Linear Model

Between-Subjects Factors

		N
TRT	1.00	30
	2.00	30
	3.00	30
	4.00	30
REP	1.00	12
	2.00	12
	3.00	12
	4.00	12
	5.00	12
	6.00	12
	7.00	12
	8.00	12
	9.00	12
	10.00	12

Post Hoc Tests
TRT
Homogeneous Subsets

DAY

Duncan [a,b]

		Subset			
TRT	N	1	2	3	4
1.00	30	.0000			
2.00	30		15.0000		
3.00	30			30.0000	
4.00	30				45.0000
Sig.		1.000	1.000	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.
Based on Type III Sum of Squares
The error term is Mean Square(Error) = .000.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 30.000.

b. Alpha = .05.

TIME

Duncan [a,b]

TRT	N	Subset 1	Subset 2
1.00	30	.0000	
2.00	30		50.0000
3.00	30		50.0000
4.00	30		50.0000
Sig.		1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.
Based on Type III Sum of Squares
The error term is Mean Square(Error) = 56.075.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 30.000.

b. Alpha = .05.

COLOUR

Duncan [a,b]

TRT	N	Subset 1	Subset 2	Subset 3
1.00	30	.0000		
4.00	30		6.8667	
3.00	30			7.4000
2.00	30			7.5667
Sig.		1.000	1.000	.286

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.
Based on Type III Sum of Squares
The error term is Mean Square(Error) = .363.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 30.000.

b. Alpha = .05.

FLAVER

Duncan [a,b]

TRT	N	Subset 1	Subset 2	Subset 3
1.00	30	.0000		
4.00	30		6.7333	
2.00	30		7.0000	7.0000
3.00	30			7.4333
Sig.		1.000	.244	.060

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.
Based on Type III Sum of Squares
The error term is Mean Square(Error) = .777.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 30.000.

b. Alpha = .05.

TEST

Duncan[a,b]

TRT	N	Subset 1	Subset 2
1.00	30	.0000	
2.00	30		7.1333
4.00	30		7.3667
3.00	30		7.5333
Sig.		1.000	.063

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.
Based on Type III Sum of Squares
The error term is Mean Square(Error) = .614.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 30.000.

b. Alpha = .05.

OIL

Duncan[a,b]

TRT	N	Subset 1	Subset 2	Subset 3
1.00	30	.0000		
4.00	30		7.0000	
2.00	30		7.0667	7.0667
3.00	30			7.6333
Sig.		1.000	.821	.056

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.
Based on Type III Sum of Squares
The error term is Mean Square(Error) = 1.292.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 30.000.

b. Alpha = .05.

TEXTURE

Duncan[a,b]

TRT	N	Subset 1	Subset 2
1.00	30	.0000	
3.00	30		7.4667
4.00	30		7.4667
2.00	30		7.5667
Sig.		1.000	.633

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.
Based on Type III Sum of Squares
The error term is Mean Square(Error) = .571.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 30.000.

b. Alpha = .05.

OVERALL

Duncan [a,b]

TRT	N	Subset 1	Subset 2
1.00	30	.0000	
4.00	30		7.2333
2.00	30		7.3667
3.00	30		7.5667
Sig.		1.000	.097

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.
Based on Type III Sum of Squares
The error term is Mean Square(Error) = .531.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 30.000.

b. Alpha = .05.

ค่าสีการศึกษาระยะเวลาการเก็บและการคืนตัว

General Linear Model

Between-Subjects Factors

		N
TRT	1.00	3
	2.00	3
	3.00	3
	4.00	3
	5.00	3
	6.00	3
	7.00	3
	8.00	3
	9.00	3
	10.00	3
REP	1.00	10
	2.00	10
	3.00	10

Post Hoc Tests
TRT
Homogeneous Subsets

DAY

Duncan[a,b]

		Subset									
TRT	N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1.00	3	.0000									
2.00	3		15.0000								
3.00	3			15.0000							
4.00	3				15.0000						
5.00	3					30.0000					
6.00	3						30.0000				
7.00	3							30.0000			
8.00	3								45.0000		
9.00	3									45.0000	
10.00	3										45.0000
Sig.		1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.
Based on Type III Sum of Squares
The error term is Mean Square(Error) = .000.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

b. Alpha = .05.

TIME

Duncan[a,b]

TRT	N	Subset 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1.00	3	.0000									
2.00	3		40.0000								
5.00	3			40.0000							
8.00	3				40.0000						
3.00	3					50.0000					
6.00	3						50.0000				
9.00	3							50.0000			
4.00	3								60.0000		
7.00	3									60.0000	
10.00	3										60.000
Sig.		1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.00

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.
Based on Type III Sum of Squares
The error term is Mean Square(Error) = .000.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

b. Alpha = .05.

L

Duncan[a,b]

TRT	N	Subset 1	2	3
1.00	3	.0000		
10.00	3		24.7300	
9.00	3		26.1733	26.1733
5.00	3		27.1000	27.1000
4.00	3		27.2067	27.2067
8.00	3		28.8233	28.8233
6.00	3		28.9233	28.9233
3.00	3		29.7600	29.7600
7.00	3			31.2567
2.00	3			31.6133
Sig.		1.000	.094	.074

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.
Based on Type III Sum of Squares
The error term is Mean Square(Error) = 9.467.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

b. Alpha = .05.

A

Duncan[a,b]

TRT	N	Subset 1	2	3
4.00	3	-6.7367		
10.00	3	-5.6367	-5.6367	
8.00	3	-5.4700	-5.4700	
2.00	3	-4.6867	-4.6867	
3.00	3	-4.5000	-4.5000	
9.00	3	-4.2967	-4.2967	
5.00	3	-3.9833	-3.9833	
7.00	3	-3.9600	-3.9600	
6.00	3		-2.6667	-2.6667
1.00	3			.0000
Sig.		.140	.116	.108

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.
Based on Type III Sum of Squares
The error term is Mean Square(Error) = 3.740.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

b. Alpha = .05.

B

Duncan[a,b]

TRT	N	Subset 1	2	3	4	5
1.00	3	.0000				
6.00	3		5.8400			
5.00	3		6.0733	6.0733		
7.00	3		7.0800	7.0800		
9.00	3		7.6233	7.6233	7.6233	
10.00	3			7.9667	7.9667	
3.00	3				9.3133	9.3133
8.00	3				9.3600	9.3600
4.00	3				9.6467	9.6467
2.00	3					10.6467
Sig.		1.000	.078	.062	.052	.181

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.
Based on Type III Sum of Squares
The error term is Mean Square(Error) = 1.165.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

b. Alpha = .05.