ปัจจัยที่มีผลต่อการกระจายตัวของไอโอดีนในเกลือเม็ดด้วยเครื่องผสมต้นแบบ และความคงตัวของเกลือเม็ดเสริมไอโอดีนระหว่างการเก็บรักษา

FACTORS AFFECTING THE DISTRIBUTION OF IODINE IN GRANULAR SALT BY PROTOTYPE MIXER AND STABILITY OF IODIZED SALT DURING STORAGE

นิธิวัจน์ กสิพร้อง
NITIWAT KASIPRONG

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาอุตสาหกรรมเกษตร
คณะอุตสาหกรรมเกษตร
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2557
KMITL-2014-AI-M-054-208

ปัจจัยที่มีผลต่อการกระจายตัวของไอโอดีนในเกลือเม็ดด้วยเครื่องผสมต้นแบบและความคงตัวของเกลือเม็ดเสริมไอโอดีนระหว่างการเก็บรักษา

FACTORS AFFECTING THE DISTRIBUTION OF IODINE IN GRANULAR SALT BY PROTOTYPE MIXER AND STABILITY OF IODIZED SALT DURING STORAGE

นิธิวัจน์ กสิพร้อง

NITIWAT KASIPRONG

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาสุขาภิบาลอาหาร

คณะอุตสาหกรรมเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2557

KMITL-2014-AI-M-054-208

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FACTORS AFFECTING THE DISTRIBUTION OF IODINE IN GRANULAR SALT BY PROTOTYPE MIXER AND STABILITY OF IODIZED SALT DURING STORAGE

NITIWAT KASIPRONG

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF

MASTER OF SCIENCE IN FOOD SANITATION

FACULTY OF AGRO-INDUSTRY

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2014

KMITL-2014-AI-M-054-208

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

COPYRIGHT 2014

FACULTY OF AGRO-INDUSTRY

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะอุตสาหกรรมเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ ปัจจัยที่มีผลต่อการกระจายตัวของไอโอดีนในเกลือเม็ดด้วยเครื่องผสมต้นแบบและความคงตัวของเกลือเม็ดเสริมไอโอดีนระหว่างการเก็บรักษา

FACTORS AFFECTING THE DISTRIBUTION OF IODINE IN GRANULAR SALT BY PROTOTYPE MIXER AND STABILITY OF IODIZED SALT DURING STORAGE

ชื่อนักศึกษา นายนิธิวัจน์ กสิพร้อง

รหัสประจำตัว 52680513

ปริญญา วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา สุขาภิบาลอาหาร

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผศ.ดร.วริพัสย์ อารีกุล

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม -

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์	ลายมือชื่อ
ผศ.ดร.วริพัสย์ อารีกุล	
รศ.ดร.ประพันธ์ ปิ่นศิโรดม	
ผศ.ดร.ประมวล ศรีกาหลง	
ดร.ทิพย์วรรณ ปริญญาศิริ	

วัน / เดือน/ ปีที่สอบ 21 พฤษภาคม 2557 เวลา 09.30 น. เป็นต้นไป

สถานที่สอบ ณ ห้อง A 302 อาคารเจ้าคุณทหาร

คณะอุตสาหกรรมเกษตรรับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์ ดร.ประพันธ์ ปิ่นศิโรดม)

คณบดีคณะอุตสาหกรรมเกษตร

วันที่ 28 เดือน พ.ค. พ.ศ. 57

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
FACULTY OF AGRO-INDUSTRY
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ปัจจัยที่มีผลต่อการกระจายตัวของไอโอดีนในเกลือเม็ดด้วยเครื่องผสมต้นแบบและความคงตัวของเกลือเม็ดเสริมไอโอดีนระหว่างการเก็บรักษา
นักศึกษา	นายนิธิวัจน์ กสิพร้อง
รหัสประจำตัว	52680513
ปริญญา	วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต
สาขาวิชา	สุขาภิบาลอาหาร
พ.ศ.	2557
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	ผศ.ดร.วริพัสย์ อารีกุล

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการกระจายตัวของไอโอดีนในเกลือเม็ด และศึกษาอายุการเก็บรักษาเกลือเม็ดเสริมไอโอดีนในสภาวะเร่ง โดยผสมเกลือเม็ดกับสารละลายโพแตสเซียมไอโอเดตด้วยเครื่องผสมเกลือเม็ดที่สภาวะในการผสมต่างๆ อุณหภูมิ (40 50 และ 60 องศาเซลเซียส) ความเร็วรอบในการผสม (25, 35 และ 45 เฮิร์ต) และ ระยะเวลาที่ใช้ในการผสม (4, 8, 12 และ 16 นาที) แล้วเก็บตัวอย่างเกลือในตำแหน่งต่างๆ ที่กำหนดไว้จำนวน 5 ตำแหน่งของถังผสม ผลการทดลองพบว่า ทุกปัจจัยในการผสมมีผลต่อการกระจายตัวของไอโอดีนในเกลือเม็ดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) แต่ตัวอย่างเกลือเม็ดเสริมไอโอดีนทุกตัวอย่างมีค่าสัมประสิทธิ์ความผันแปรต่ำกว่าร้อยละ 20 ยกเว้นตัวอย่างจากการผสมที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ความเร็ว 25 เฮิร์ตเป็นเวลา 4 นาที โดยการเพิ่มอุณหภูมิและระยะเวลาในการผสมทำให้การกระจายตัวของไอโอดีนในเกลือเม็ดเพิ่มขึ้น สำหรับตำแหน่งของเครื่องผสม พบว่า ตำแหน่งที่ 4 และ 5 เป็นตำแหน่งที่มีปริมาณไอโอดีนในเกลือเม็ดสูงกว่าที่ตำแหน่งอื่นๆ ดังนั้นสภาวะที่เหมาะสมในการผสมคือ การผสมที่ความเร็วรอบ 35 เฮิร์ต อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส และเวลาในการผสม 8 นาที

ในการประเมินอายุการเก็บรักษาเกลือเม็ดเสริมไอโอดีนที่บรรจุในถุง HDPE เก็บไว้ที่อุณหภูมิ 50-70 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 สัปดาห์ พบว่าการลดลงของปริมาณไอโอดีนในเกลือเม็ดเสริมไอโอดีนเป็นปฏิกิริยาอันดับที่ 2 (Second order reaction) โดยมีค่าพลังงานก่อกัมมันต์ของปฏิกิริยา (Activation Energy : E_A) เท่ากับ 57.22 กิโลจูลต่อโมล่าร์ ดังนั้นอายุการเก็บรักษาเกลือเม็ดเสริมไอโอดีนที่มีปริมาณไอโอดีนเริ่มต้น 40 พีพีเอ็ม คือ 101 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส (อุณหภูมิห้อง) โดยปริมาณไอโอดีนในเกลือเม็ดเสริมไอโอดีนยังอยู่ในเกณฑ์ที่กฎหมายกำหนด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis	Factors affecting the distribution of iodine in granular salt by prototype mixer and stability of iodized salt during storage
Student	Mr.Nitiwat Kasiprong
Student ID	52680513
Degree	Master of Science
Program	Food Sanitation
Year	2014
Thesis Advisor	Assist. Prof. Dr.Varipat Areekul

ABSTRACT

The aims of this study were to evaluate the effects of mixing factors on the distribution of iodine in granular salt and to study the shelf-life of iodized granular salt at accerelated condition . The iodized granular salt was prepared by mixing salt with potassium iodate solution in the salt mixer. The mixing conditions were mixing temperatures (40, 50 and 60°c), mixing speeds (25, 35 and 45 Hz) and mixing times (4, 8,12 and 16 min). The samples were collected from 5 selected positions of the mixing tank. The results indicated that all factors affected the distribution of iodine in granular salt but all samples showed coefficient of variation (CV) below 20 % except sample with mixing condition of 60°C and 25 Hz for 4 min . As mixing time and mixing temperature increased, the distribution of iodine in granular salt increased. However, the position of 4 and 5 in mixing tank had higher iodine content compared to other position. Therefore, the optimum condition in this work was mixing time of 8 minutes and mixing speed and mixing temperature of 35 Hz and 40°C, respectively.

As evaluating shelf life of iodized granular salt in HDPE bag under storage temperature of 50-70°C for 24 weeks, the order reaction was calculated. The results indicated that the order reaction of iodine content decreasing in iodized salt was second order reaction and activation energy (E_A) was 57.22 $kJ.mol^{-1}$. Therefore, the shelf life of iodized granular salt containing 40 ppm at room temperature (30°C) was approximately 101 weeks in order to comply the regulation.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จได้ด้วยความกรุณาจากอาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.วริพัสย์ อารีกุล ที่ให้ความช่วยเหลือ ให้คำชี้แนะ และช่วยแก้ปัญหาตลอดจนให้ความรู้และประสบการณ์ที่ดีแก่ข้าพเจ้า

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.ประมวล ศรีกาหลง และ รศ.ดร.ประพันธ์ ปิ่นศิโรดม กรรมการสอบหัวข้อและโครงร่างวิทยานิพนธ์ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำตลอดจนข้อชี้แนะจนในที่สุดทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ องค์การทุนเพื่อเด็กแห่งสหประชาชาติ (หรือ ยูนิเซฟ) ประเทศไทย ในการสนับสนุนงานวิจัยในครั้งนี้ และเจ้าหน้าที่นักวิทยาศาสตร์ คณะอุตสาหกรรมเกษตรทุกท่านที่คอยให้คำปรึกษาและอำนวยความสะดวกในการทำการทดลอง

สำหรับคุณงามความดีอันใดที่เกิดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอมอบให้กับบิดามารดา ซึ่งเป็นที่รักและเคารพยิ่ง ตลอดจนครู อาจารย์ที่เคารพทุกท่านที่ได้ประสิทประสาทวิชาความรู้และถ่ายทอดประสบการณ์ที่ดีให้แก่ข้าพเจ้า

นิธิวัจน์ กสิพร้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ II

กิตติกรรมประกาศ III

สารบัญ IV

สารบัญตาราง VI

สารบัญรูป VII

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ความสำคัญและที่มา 1

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา 2

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย 2

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 3

2.1 ไอโอดีน 3

2.2 เกลือ 12

2.3 เกลือเสริมไอโอดีน 17

2.4 การศึกษาอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ 21

2.5 ปัจจัยที่มีผลต่อความคงตัวของไอโอดีนในเกลือเสริมไอโอดีน 27

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 29

บทที่ 3 วิธีดำเนินการทดลอง 32

3.1 อุปกรณ์ 32

3.2 วิธีการทดลอง 33

บทที่ 4 ผลการทดลอง 39

4.1 ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการกระจายตัวของไอโอดีนในเกลือเม็ด 39

4.2 ศึกษาอายุการเก็บรักษาเกลือเม็ดเสริมไอโอดีนในสภาวะเร่ง 47

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง.....51

บรรณานุกรม.....53

ภาคผนวก.....57

ภาคผนวก ก การวิเคราะห์ทางเคมี.....58

ภาคผนวก ข ผลการวิเคราะห์ปริมาณไอโอดีนและความชื้นในเกลือเม็ดที่สภาวะการผสมต่างๆ.....63

ประวัติผู้เขียน.....73

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติของไอโอดีน....4

ตารางที่ 2.2 ปริมาณไอโอดีนในอาหารประเภทต่างๆ....7

ตารางที่ 2.3 ความต้องการไอโอดีนในแต่ละวัน....8

ตารางที่ 2.4 เกณฑ์การประเมินภาวะโภชนาการของสารไอโอดีนโดยใช้ปริมาณไอโอดีนในปัสสาวะ....10

ตารางที่ 2.5 สถานการณ์โรคคอพอกเนื่องจากการขาดสารไอโอดีนของประเทศไทย (พ.ศ.2535 – พ.ศ.2546)....11

ตารางที่ 2.6 คุณลักษณะมาตรฐานทางฟิสิกส์และเคมีของเกลือบริโภค....16

ตารางที่ 2.7 มาตรฐานสารปนเปื้อนในเกลือบริโภค....16

ตารางที่ 2.8 ความสามารถในการละลายของสารประกอบไอโอดีนชนิดต่างๆ....17

ตารางที่ 2.9 การเปรียบเทียบกระบวนการผลิตเกลือเสริมไอโอดีนด้วยวิธีต่างๆ....20

ตารางที่ 2.10 ปริมาณไอโอดีนในเกลือของแต่ละประเทศ....20

ตารางที่ 4.1 ปริมาณไอโอดีนเฉลี่ยและปริมาณความชื้นเฉลี่ยในเกลือเม็ดของทุกตำแหน่งในเครื่องผสมที่สภาวะผสมต่างๆ....39

ตารางที่ 4.2 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของอิทธิพลของปัจจัยที่ศึกษา ต่อปริมาณไอโอดีนและความชื้นในเกลือเม็ดเสริมไอโอดีน....42

ตารางที่ 4.3 ค่าคงที่อัตราการสูญเสียปริมาณไอโอดีนในเกลือเม็ดเสริมไอโอดีน....48

ตารางที่ 4.4 อายุการเก็บรักษาเกลือเม็ดเสริมไอโอดีนที่อุณหภูมิต่างๆ....50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

รูปที่ 2.1 วัฏจักรของไอโอดีนในธรรมชาติ....4
รูปที่ 2.2 โครงสร้างของไทรอกซินหรือไทรอยด์ฮอร์โมน....6
รูปที่ 2.3 กลไกการสังเคราะห์ไทรอกซินหรือไทรอยด์ฮอร์โมน....6
รูปที่ 2.4 ร้อยละหญิงตั้งครรภ์ที่ขาดสารไอโอดีน โดยวิเคราะห์จากระดับไอโอดีนใน ปัสสาวะหญิงตั้งครรภ์ < 150 µg/L....12
รูปที่ 2.5 โครงสร้างของโซเดียมคลอไรด์....13
รูปที่ 2.6 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารตั้งต้นที่เปลี่ยนแปลงกับเวลา....22
รูปที่ 2.7 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารตั้งต้น A และอัตราการเกิดปฏิกิริยา....23
รูปที่ 2.8 ลักษณะการลดลงของความเข้มข้นของสารตั้งต้น A เมื่อเวลาเพิ่มขึ้น ตามรูปแบบของปฏิกิริยาอันดับศูนย์....24
รูปที่ 2.9 ลักษณะการลดลงของความเข้มข้นของสารตั้งต้น A เมื่อเวลาเพิ่มขึ้น ตามรูปแบบของปฏิกิริยาอันดับหนึ่ง....25
รูปที่ 3.1 เครื่องผสมเกลือเม็ดเสริมไอโอดีน (ต้นแบบ)....34
รูปที่ 3.2 ชุดถังผสม....34
รูปที่ 3.3 ชุดควบคุมการเติมสารละลายไอโอดีน....35
รูปที่ 3.4 ชุดควบคุมระบบให้ความร้อนกับตัวถังผสม....35
รูปที่ 3.5 ตำแหน่งการเก็บตัวอย่าง....36
รูปที่ 4.1 การเปลี่ยนแปลงของไอโอดีนในเกลือเม็ดเสริมไอโอดีน ภายใต้สภาวะการเก็บ 50 60 และ 70 องศาเซลเซียส ที่ระยะเวลาต่างๆ....48
รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่าง $\ln k$ และ1/T....49

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มา

เกลือเม็ดเป็นก้อนผลึกเกลือที่มีขนาดใหญ่มากกว่า 0.5 มิลลิเมตร นิยมใช้ในอุตสาหกรรมอาหารหมัก เช่น ผักดอง ซีอิ้ว ปลาร้า และ น้ำปลา เนื่องจากมีราคาถูก และที่สำคัญ ผลึกเกลือที่ขนาดใหญ่นี้จะค่อยๆ ละลาย และซึมเข้าสู่อาหาร ดังนั้น กิจกรรมจากเอนไซม์ในอาหารเอง หรือจุลินทรีย์ จะยังคงกิจกรรมในช่วงระยะหนึ่ง ก่อนที่จะถูกยับยั้งโดยความเข้มข้นของเกลือที่สูงขึ้น และดำเนินการหมักต่อโดยจุลินทรีย์กลุ่มอื่นๆ ทำให้เกิดกลิ่นรสเฉพาะที่ต้องการในอาหารหมักแต่ละชนิด ผู้ผลิตจึงนิยมใช้เกลือเม็ดมากกว่าเกลือป่น นอกจากนี้ เกลือเม็ดยังนิยมใช้ในการประกอบอาหารของร้านอาหารและครัวเรือน เนื่องจากเกลือเม็ดมีราคาถูกกว่าเกลือป่น จากการสำรวจในปี พ.ศ. 2552 ของกรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ รายงานว่า เด็กทารกประมาณร้อยละ 90 มีภาวะการขาดสารไอโอดีนที่จำเป็นต่อการสังเคราะห์ฮอร์โมนสำคัญที่ทำหน้าที่ในการพัฒนาระบบประสาทและสมองของเด็กทารก (จุรีรัตน์ ห่อเกียรติ, 2554) สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา จึงปรับปรุงประกาศกระทรวง เรื่องเกลือบริโภค โดยกำหนดให้เกลือบริโภคจะต้องมีปริมาณไอโอดีนไม่น้อยกว่า 20 มิลลิกรัม และไม่เกิน 40 มิลลิกรัมต่อเกลือบริโภค 1 กิโลกรัม ประกาศดังกล่าวครอบคลุมเกลือทุกชนิดที่ใช้เป็นอาหารหรือใช้เป็นส่วนผสมหรือเป็นส่วนประกอบของอาหาร จึงหมายความรวมถึงเกลือเม็ดที่ใช้เป็นส่วนผสมของอาหารในอุตสาหกรรมอาหารด้วย (ประกาศกระทรวงสาธารณสุข, 2554)

จากรายงานการสำรวจเกลือบริโภคที่จำหน่ายในประเทศไทยในพ.ศ. 2553 พบว่า ปริมาณไอโอดีนในเกลือบริโภคเสริมไอโอดีน มีค่าอยู่ระหว่าง 1.58 – 670.1 พีพีเอ็ม และผลการวิเคราะห์ปัจจัยหลัก (Factor analysis) พบว่าปัจจัยที่มีผลต่อเกลือเสริมไอโอดีนให้มีค่าอยู่ระหว่าง 20 - 40 พีพีเอ็มนั้น ได้แก่ กระบวนการผลิต และการควบคุมกระบวนการผลิต (วริพัสย์ อารีกุล และนิพัทธา ชาติสุวรรณ, 2553) ต่อมา สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังจึงได้ร่วมมือกับ สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยาและ องค์การทุนเพื่อเด็กแห่งสหประชาชาติ (หรือ ยูนิเซฟ) ในการสร้างเครื่องผสมเกลือเสริมไอโอดีน สำหรับผู้ประกอบการขนาดเล็กที่มีประสิทธิภาพและสามารถควบคุมคุณภาพของเกลือเสริมไอโอดีนให้เป็นไปตามที่กฎหมายกำหนด อย่างไรก็ตาม เครื่องผสมดังกล่าวเหมาะกับการผสมเกลือป่น และไม่สามารถใช้กับเกลือเม็ด (Areekul *et al.*, 2011) แต่เนื่องจากอาหารต่างๆ เช่น ปลาร้า ปลาแจ่ว ปลาส้ม ส้มฟัก ปูดอง ผักกาดดอง และผลไม้ดอง เป็นอาหารหมักที่ต้องใช้เกลือเม็ดเป็นส่วนประกอบ ซึ่งอาหารกลุ่ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังกล่าวเป็นอาหารที่นิยมบริโภคของประชาชนในภูมิภาคต่างๆ ดังนั้นสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง จึงได้ออกแบบและพัฒนาเครื่องผสมเกลือเม็ดเสริมไอโอดีนขึ้น โดยได้รับเงินสนับสนุนจากองค์การทุนเพื่อเด็กแห่งสหประชาชาติ เพื่อจัดหาเทคโนโลยีการผลิตที่เหมาะสมในกระบวนการผลิตเกลือเม็ดเสริมไอโอดีนสำหรับผู้ประกอบการขนาดเล็ก

นอกจากนี้ แม้ว่าจะมีการศึกษาอายุการเก็บรักษาเกลือเสริมไอโอดีนมานานแล้ว แต่การศึกษาต่างๆ ยังไม่ครอบคลุมถึงการศึกษาอายุการเก็บรักษาของเกลือเม็ดเสริมไอโอดีน ดังนั้น การศึกษาถึงสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตเกลือเม็ดเสริมไอโอดีน รวมถึงอายุการเก็บรักษาเกลือเม็ดเสริมไอโอดีนในสภาวะเร่ง จึงเป็นข้อมูลในการพัฒนากระบวนการผลิตเกลือเม็ดเสริมไอโอดีนให้เป็นไปตามที่กฎหมายกำหนด รวมถึงเป็นข้อมูลให้กับสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา ในการกำหนดอายุการเก็บรักษาเกลือเม็ดเสริมไอโอดีนอีกด้วย

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1.2.1 เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการกระจายตัวของไอโอดีนในการผลิตเกลือเม็ดเสริมไอโอดีน

1.2.2 เพื่อศึกษาอายุการเก็บรักษาเกลือเม็ดเสริมไอโอดีนในสภาวะเร่ง

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการกระจายตัวของไอโอดีนในการผลิตเกลือเม็ดเสริมไอโอดีน โดยการวางแผนแบบ Factorial in Complete Randomized Design (3 x 3 x 4 x 5) ที่กำหนดอุณหภูมิที่ใช้ในการผสม 3 ระดับ (40, 50 และ 60 องศาเซลเซียส) ความเร็วรอบที่ใช้ในการผสม 3 ระดับ (25, 35 และ 45 เฮิร์ต) ระยะเวลาที่ใช้ในการผสม 4 ช่วงเวลา (4, 8, 12 และ 16 นาที) และบริเวณตำแหน่งต่างๆ ของเครื่องผสมจำนวน 5 ตำแหน่ง ในถังผสมที่ดัดแปลงสำหรับการผสมเกลือเม็ด แล้ววิเคราะห์หาปริมาณไอโอดีนและความชื้นในเกลือเม็ดเสริมไอโอดีน จากนั้นศึกษาผลของอุณหภูมิในสภาวะเร่งต่างๆ 3 ระดับ (50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส) ต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณไอโอดีนในระหว่างการเก็บรักษาเกลือเม็ดเสริมไอโอดีน เป็นเวลา 6 เดือน และวิเคราะห์จลนพลศาสตร์ของการลดลงของปริมาณไอโอดีน จากนั้นคำนวณอายุการเก็บรักษาเกลือเม็ดเสริมไอโอดีน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ไอโอดีน (Iodine)

ไอโอดีนถูกค้นพบครั้งแรกในปี ค.ศ. 1811 โดยมิสเตอร์เบอร์นาร์ด เคอร์ทอยส์ (Davidson and Passmore, 1969) ในระหว่างการผลิตโพแตสเซียมไนเตรตได้สังเกตเห็นถังทองแดงซึ่งบรรจุของเหลวที่ได้จากสารสกัดเถ้าสาหร่ายทะเลถูกกัดกร่อน เมื่อเติมกรดซัลฟิวริกเข้มข้นลงไปในของเหลวดังกล่าวจะเกิดตะกอนสีดำตกลงมา ซึ่งตะกอนที่ได้นี้จะให้ไอสีม่วงเมื่อถูกความร้อน ซึ่งสารดังกล่าวคือไอโอดีน (จินตนา ชัยสุโรจน์, 2549) โดยไอโอดีน เป็นคำในภาษากรีกมาจาก Iodes มีความหมายว่า "สีม่วง" เป็นธาตุที่มีหมายเลขอะตอม 53 และจัดอยู่ในหมู่ 7 (ฮาโลเจน) ของตารางธาตุ มีสัญลักษณ์คือ I ธาตุชนิดนี้ละลายน้ำได้เล็กน้อยแต่จะละลายน้ำได้เพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นและละลายได้ดีในตัวทำละลายอินทรีย์ เช่น เบนซีน คาร์บอนไดซัลไฟด์ เอทานอล และเอทิลอีเทอร์

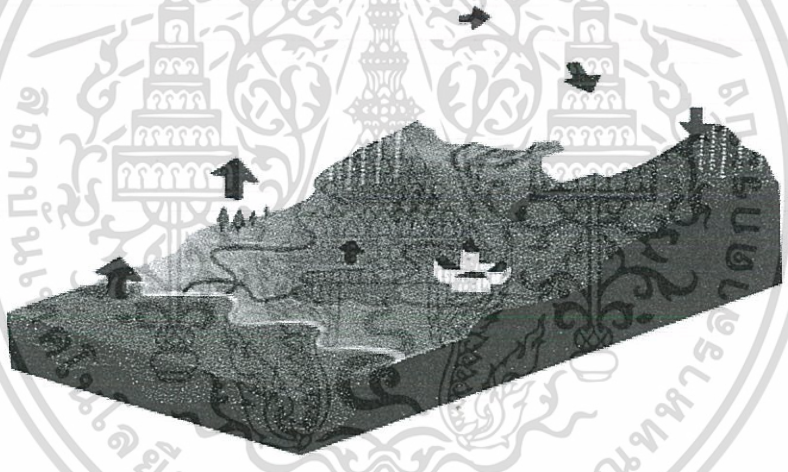
โดยทั่วไปไอโอดีน จะมีลักษณะเป็นของแข็งสีดำน้ำเงิน (bluish – black) สามารถเปลี่ยนสถานะจากของแข็งเป็นก๊าซหรือระเหิดได้ (นภา ตั้งเตรียมจิตมั่น, 2550) มีน้ำหนักอะตอม 126.9 จุดหลอมเหลว 113.6 องศาเซลเซียส และ จุดเดือด 185.24 องศาเซลเซียส โดยคุณสมบัติต่างๆ ของไอโอดีนสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 2.1 นอกจากนี้ไอโอดีนยังเป็นธาตุที่ร่างกายจำเป็นต้องได้รับจากอาหารเท่านั้น เพื่อใช้สร้างฮอร์โมนที่ทำหน้าที่ควบคุมอวัยวะต่างๆ ของร่างกายให้ทำงานอย่างปกติ และกระตุ้นพัฒนาการและการเจริญเติบโตของระบบประสาทและสมองจึงส่งผลต่อสติปัญญาและการเรียนรู้ในวัยเด็ก (สำนักโภชนาการ, 2546) ไอโอดีนพบได้ทั่วไปตามธรรมชาติ เช่น หิน ดิน น้ำ น้ำทะเล อากาศ และสิ่งมีชีวิต ซึ่งวัฏจักรของไอโอดีนในธรรมชาติแสดงดังรูปที่ 2.1 นอกจากนี้ยังพบในอาหารต่างๆ ในปริมาณที่แตกต่างกันโดยอาหารทะเลจะมีไอโอดีนสูงกว่าอาหารจากแหล่งอื่นๆในธรรมชาติ อีกทั้งยังพบมากในรูปเกลือไอโอเดตและไอโอไดด์ หรือเป็นสารประกอบอินทรีย์ที่พบในสิ่งมีชีวิต เช่น ในเลือด เนื้อเยื่อ น้ำนม เหงื่อ และปัสสาวะ ไอโอดีนมีความไวน้อยกว่าธาตุในกลุ่มฮาโลเจนด้วยกัน และถูกนำไปใช้ประโยชน์ในทางการแพทย์ การถ่ายภาพ และสีย้อมผ้า (กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์, 2553)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติของไอโอดีน

คุณสมบัติของไอโอดีน	
น้ำหนักโมเลกุล (กรัม/โมล)	253.809
สี	สีดำน้ำเงิน (bluish - black)
สถานะ	ของแข็ง
จุดหลอมเหลว (องศาเซลเซียส)	113.60
จุดเดือด (องศาเซลเซียส)	185.24
ความหนาแน่น (กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร)	4.93
ความดันไอที่ 25 องศาเซลเซียส (มิลลิเมตรปรอท)	0.305

ที่มา : Centers for Disease Control and Prevention (2013)



รูปที่ 2.1 วัฏจักรของไอโอดีนในธรรมชาติ
ที่มา : http://www.iccidd.org/p142000344.html

2.1.1 การย่อยและการดูดซึมไอโอดีน (นัยนา บุญทวียุวัฒน์, 2553)

ไอโอดีนในอาหารจะอยู่ในรูปของสารละลายไอโอไดด์อินทรีย์และอนินทรีย์ สารประกอบไอโอไดด์อินทรีย์โมเลกุลใหญ่ เช่นโปรตีนไอโอไดด์ จะถูกไฮโดรไลด์ด้วยเอนไซม์ที่ย่อยโปรตีน (Proteolytic enzyme) ในทางเดินอาหาร เกิดเป็นไอโอไดด์อิสระที่จะถูกดูดซึมเข้าสู่ร่างกาย ส่วนสารประกอบไอโอไดด์อนินทรีย์ เช่นโพแทสเซียมไอโอไดด์ (KI) จะถูกดูดซึมได้ทันที ส่วนโพแทสเซียมไอโอเดต (KIO_3) จะถูกรีดิวซ์ด้วยสารประกอบที่มีหมู่ซัลฟ์ไฮดริล (Sulfhydryl group, -SH) เช่น กลูตาไธโอน (Glutathione) ซึ่งเป็นไตรเปปไทด์ที่พบในเซลล์ทั่วไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และพลาสมาเกิดเป็นไอโอไดด์ดังสมการที่ 2.1 ไอโอไดด์จะถูกดูดซึมเข้าสู่กระแสเลือด และมากกว่าร้อยละ 40 จะสะสมในต่อมไทรอยด์

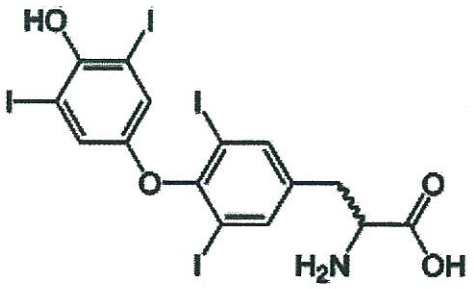
$$6R\text{-}SH + KIO_3 \longrightarrow 3R\text{-}S\text{-}S\text{-}R + KI + 3H_2O \qquad \text{(สมการที่ 2.1)}$$

2.1.2 ความสำคัญของไอโอดีน

เนื่องจากไอโอดีนเป็นส่วนประกอบสำคัญในการผลิตฮอร์โมนของต่อมไทรอยด์ซึ่งเป็นต่อมไร้ท่อที่มีขนาดใหญ่อยู่บริเวณลำคอด้านหน้าเป็นรูปผีเสื้อ ต่อมไทรอยด์นี้จะถูกสร้างขึ้นตั้งแต่ทารกอยู่ในครรภ์มารดา เมื่ออายุได้ 5 - 6 สัปดาห์ และมีหน้าที่ผลิตฮอร์โมนไทรอกซิน (Thyroxine)หรือไทรอยด์ฮอร์โมน ซึ่งมีโครงสร้างดังรูปที่ 2.2 ฮอร์โมนนี้เข้าสู่กระแสเลือด เพื่อควบคุมปฏิกิริยาทางเคมีส่วนต่างๆ ของร่างกาย มีบทบาทสำคัญในกระบวนการเผาผลาญอาหารและพลังงานในเซลล์ของร่างกาย อีกทั้งฮอร์โมนนี้ยังมีความจำเป็นสำหรับการสร้างความเจริญเติบโตของร่างกาย ระบบประสาท สมอง และเป็นตัวควบคุมระดับอุณหภูมิในร่างกายเพื่อให้ร่างกายมนุษย์ทำงานได้อย่างปกติ โดยต่อมไทรอยด์จะจับเอาสารไอโอดีนผ่านกระบวนการทางเคมีหลายขั้นตอน เพื่อสังเคราะห์เป็นฮอร์โมนไทรอกซินเพื่อนำไปใช้ควบคุมการทำงานของอวัยวะต่างๆ เช่น สมอง หัวใจ ตับและกล้ามเนื้อ ส่วนไอโอดีนที่เหลือจะถูกขับออกทางไต ปนออกมากับน้ำปัสสาวะ มีส่วนน้อยมากที่จะถูกขับออกทางลำไส้ปนมากับอุจจาระ

การสังเคราะห์ฮอร์โมนไทรอกซินของต่อมไทรอยด์จะอยู่ภายใต้การควบคุมของต่อมใต้สมองส่วนหน้า ซึ่งจะหลั่งฮอร์โมนอีกชนิดหนึ่งชื่อ Thyroid stimulating hormone (TSH) ฮอร์โมนนี้จะทำหน้าที่กระตุ้นต่อมไทรอยด์ให้สร้างฮอร์โมนไทรอกซิน ซึ่งกลไกการสังเคราะห์ฮอร์โมนไทรอกซินแสดงดังรูปที่ 2.3 เมื่อปริมาณฮอร์โมนไทรอกซินมีมากเกินความต้องการ อวัยวะต่างๆ ก็จะส่งสัญญาณไปยังต่อมใต้สมองส่วนหน้าเพื่อให้ต่อมไทรอยด์ลดการผลิตฮอร์โมนชนิดนี้ลง ซึ่งหากฮอร์โมนชนิดนี้มีมากเกินความต้องการ (Hyperthyroidism) จะทำให้เกิดอาการที่เรียกว่าไทรอยด์เป็นพิษ (Toxic goiter) ผู้ป่วยจะรู้สึกหงุดหงิด นอนไม่หลับ ตื่นเต้นง่าย ตาเบิ่งกว้าง (สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้, 2557)

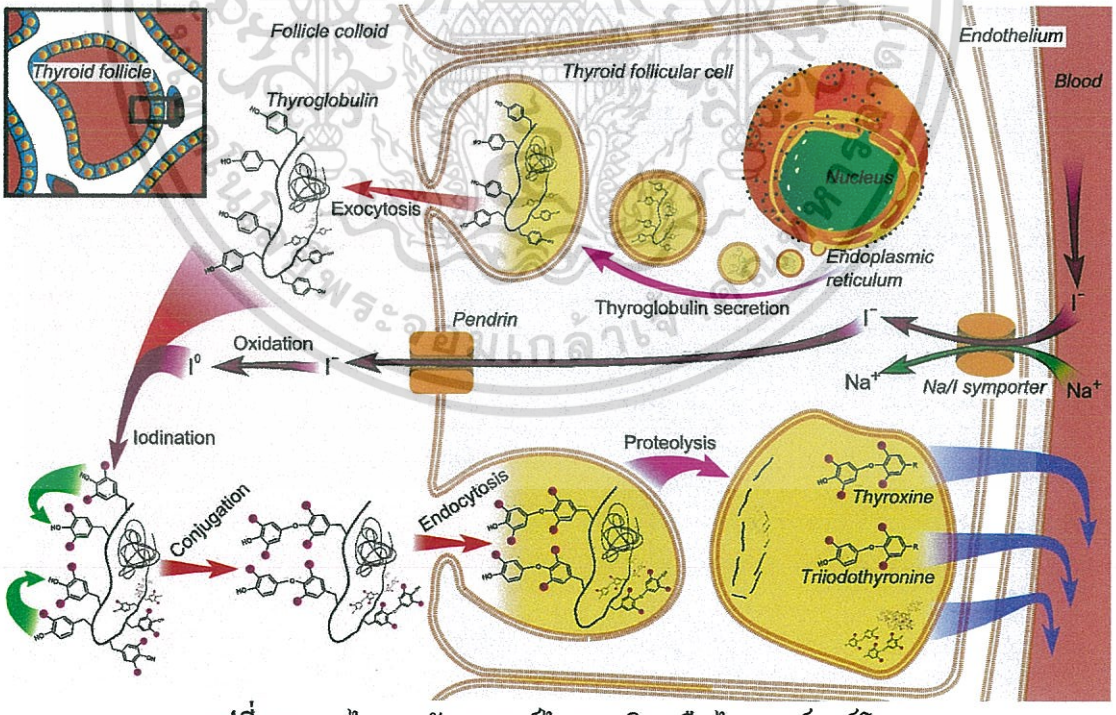
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 โครงสร้างของไทรอกซิน หรือไทรอยด์ฮอร์โมน

ที่มา : http://www.wikidoc.org/index.php/Thyroxine

เนื่องจากไอโอดีน เป็นแร่ธาตุที่มีความสำคัญในการสร้างฮอร์โมนไทรอกซินซึ่งมีความจำเป็นอย่างมากต่อการพัฒนาทางสติปัญญาดังที่กล่าวไว้ข้างต้น ดังนั้นหากได้รับไอโอดีนในปริมาณที่ไม่เพียงพอต่อความต้องการของร่างกาย จะส่งผลให้การเชื่อมโยงของระบบประสาทที่ไม่หนาแน่น ซึ่งอาจมีผลกระทบต่อความสามารถทางสติปัญญาของเด็กไปตลอดชีวิต โดยระดับสติปัญญา (ไอคิว) เฉลี่ยในกลุ่มประชากรที่ได้รับสารไอโอดีนในปริมาณที่ไม่พอเพียงต่อความต้องการอาจต่ำกว่าประชากรที่ได้รับสารไอโอดีนอย่างเพียงพอถึง 13.5 จุด (อวยพร ปะนะมณฑา, 2556)



รูปที่ 2.3 กลไกการสังเคราะห์ไทรอกซินหรือไทรอยด์ฮอร์โมน

ที่มา : http://en.wikipedia.org/wiki/File:Thyroid_hormone_synthesis.png

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.3 แหล่งของไอโอดีนในอาหาร

โดยทั่วไปอาหารทะเลเป็นแหล่งอาหารที่มีไอโอดีนมากที่สุด โดยในสัตว์ทะเลจะมีไอโอดีน 200-1,000 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม (สิริพันธุ์ จุลกรังคะ, 2545) สำหรับปริมาณไอโอดีนในเนื้อสัตว์ประเภทอื่นๆ ขึ้นอยู่กับอาหารที่สัตว์ได้รับ และปริมาณไอโอดีนในพืชที่เพาะปลูกบนบกและในน้ำจืดนั้น ขึ้นกับชนิดของดินและน้ำที่ใช้ปลูก (Mcguire and Beerman, 2011) ซึ่งปริมาณไอโอดีนในอาหารประเภทต่างๆ แสดงดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ปริมาณไอโอดีนในอาหารประเภทต่างๆ

รายการ	ปริมาณไอโอดีน (ไมโครกรัม/หน่วยการเสิร์ฟ)
เครื่องดื่ม เช่น โคลากระป๋อง ไวน์ ฯลฯ	1
ไขมันและซอส	1
ผลไม้ เช่น แอปเปิ้ล ส้ม แตงไทย ฯลฯ	2
ผักและผลิตภัณฑ์ เช่น ผักชี เห็ดกระป๋อง	6
เนื้อสัตว์	20
ไข่ต้ม ไข่ทอด	32
ปลาทูน่ากระป๋อง กุ้งเผา ปลาค็อดสุก	72
น้ำนมโค	25-768 ไมโครกรัม/ลิตร
น้ำ	1-18 ไมโครกรัม/ลิตร

ที่มา : จินตนา ชัยสุโรจน์ (2549)

2.1.4 ปริมาณที่ควรได้รับในแต่ละวัน

ปริมาณความต้องการไอโอดีนในคนจะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับอายุ โดยปกติต่อมไทรอยด์ต้องการไอโอดีน 60 ไมโครกรัมเพื่อสร้างฮอร์โมนไทรอกซินอย่างเพียงพอ ในผู้ใหญ่ปริมาณไอโอดีน 50-75 ไมโครกรัมต่อวันหรือ 1 ไมโครกรัมต่อน้ำหนักตัว 1 กิโลกรัมเพียงพอสำหรับป้องกันโรคคอพอก (จินตนา ชัยสุโรจน์, 2549) ซึ่งความต้องการไอโอดีนในช่วงอายุต่างๆ แสดงดังตารางที่ 2.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.3 ความต้องการไอโอดีนในแต่ละวัน

วัยของคน	ความต้องการไอโอดีน (ไมโครกรัมต่อวัน)
เด็กอายุ 0-59 เดือน	90
เด็กอายุ 6-12 ปี	120
ผู้ใหญ่ (อายุมากกว่า 12 ปี)	150
หญิงมีครรภ์	250
หญิงให้นมบุตร	250

ที่มา : World health Organization (2008)

2.1.5 ผลของการขาดไอโอดีน

สิริพันธุ์ จุลกรังคะ (2545) อธิบายถึงผลกระทบของการขาดสารไอโอดีนต่อร่างกายในช่วงอายุต่างๆ กล่าวคือ ในเด็กที่ขาดไอโอดีนจะเตี้ยแคระและสมองไม่เจริญ เรียกสภาวะนี้ว่า ครีติน-นิซึ่ม (Cretinism) ซึ่งเป็นโรคที่เป็นมาแต่กำเนิด โดยเกิดจากมารดาที่บริโภคไอโอดีนจำกัดหรือน้อยในระยะตั้งครรภ์ เด็กทารกเหล่านี้จะมีอาการแสดงออกหลายรูปแบบ เช่น ใบ้ หูหนวก ตาเหล่ มีกล้ามเนื้อหย่อนยานและอ่อนแอ ผิวหนังแห้ง รูปร่างสั้นเตี้ย เนื่องจากการเจริญของกระดูกชะงัก นอกจากนี้ยังส่งผลให้การพัฒนาของจิตใจหยุดชะงัก และมีอาการเดินกระตุก หรือเกร็ง หรืออาจเกิดความผิดปกติทางระบบสืบพันธุ์ ถ้าทำการแก้ไขในระยะแรกแก่ทารก การเจริญเติบโตของร่างกายก็จะดีขึ้น และสามารถพัฒนาทางจิตใจได้บ้าง แต่ประสาทสมองส่วนกลางที่ถูกทำลายไปนั้น ไม่สามารถฟื้นฟูให้กลับมาเป็นตามปกติได้

สำหรับในผู้ใหญ่ที่ขาดไอโอดีน ต่อมไทรอยด์จะโตขึ้นอย่างมากจนเห็นได้ชัดที่บริเวณคอ เรียกว่าคอพอก (Simple goiter) ทั้งนี้เนื่องจากเซลล์ของต่อมไทรอยด์จะเพิ่มจำนวนขึ้นมาก เพื่อช่วยในการดูดซึมไอโอดีนจากกระแสเลือด จึงมีขนาดใหญ่ขึ้น เนื่องจากไอโอดีนเป็นส่วนประกอบที่สำคัญของฮอร์โมนไทรอกซิน คนที่ต่อมไทรอยด์มีขนาดใหญ่มากจะกดหลอดลม ทำให้ไอ สำลัก หายใจลำบาก ถ้ากดหลอดอาหารจะกลืนอาหารลำบาก นอกจากนี้ยังพบภาวะไทรอยด์ฮอร์โมนต่ำ (Hypothyroidism) เป็นภาวะที่ร่างกายมีฮอร์โมนไทรอกซินไม่เพียงพอกับความต้องการของร่างกาย ทำให้เมแทบอลิซึมช้าผิดปกติ ในผู้ใหญ่เรียกว่า มิกเซดีม่า (Myxedema) มีผลทำให้ความคิดเฉื่อยชา ง่วงเหงาหาวนอน อ่อนเพลีย กินน้อยแต่น้ำหนักเพิ่ม ผิวแห้ง ผมร่วง ขี้หนาว อาการเหล่านี้จะค่อยเป็นค่อยไปอย่างช้าๆ และจะมีความเชื่องช้าในการพัฒนาเชาวน์ปัญญาอีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.6 ความเป็นพิษของไอโอดีน (จินตนา ชัยสุโรจน์, 2549)

ไอโอดีนเป็นแร่ธาตุที่มีประโยชน์ต่อร่างกาย ในขณะเดียวกันการบริโภคไอโอดีนในปริมาณที่มากเกินไปในครั้งเดียวหรือบริโภคเกินความต้องการของร่างกายจะเกิดอาการเป็นไข้ ลมพิษ ผิวหนังพุพอง ตาแดงและปอดบวม

สำหรับคนที่รับไอโอดีนมากกว่า 2,000 ไมโครกรัมต่อวันอย่างต่อเนื่องและเป็นเวลานาน อาจมีผลไปขัดขวางการรวมตัวของไอโอดีนกับไทโรซีนในต่อมไทรอยด์ ทำให้การสร้างฮอร์โมนไทรอกซินลดลง ส่งผลให้ Thyroid stimulating hormone (TSH) หลั่งออกมามากขึ้น และไปกระตุ้นการทำงานของต่อมไทรอยด์ เป็นสาเหตุทำให้เกิดภาวะไทรอยด์ฮอร์โมนต่ำ นอกจากนั้นการรับประทานไอโอดีนโดยตรงในปริมาณมาก (ประมาณ 2 กรัม) จะเกิดอาการปวดท้อง คลื่นไส้ ท้องร่วง เกิดแผลในกระเพาะอาหาร โลหิตจาง หัวใจเต้นเร็วผิดปกติ ไตวาย หมดสติและตาย

นอกจากนี้การสัมผัสกับสารนี้โดยตรงทางผิวหนัง จะทำให้ผิวหนังไหม้ ไอของสารไอโอดีนจะทำให้เกิดความระคายเคืองตา จมูกและปอด

2.1.7 สาเหตุของการขาดสารไอโอดีน

สิริพันธ์ จุลกรังคะ (2545) ได้อธิบายถึงสาเหตุของการขาดสารไอโอดีนไว้หลายสาเหตุ ซึ่งกล่าวโดยสรุปได้ดังนี้

2.1.7.1 จากธรรมชาติ สภาพแวดล้อมที่ขาดไอโอดีนพบได้ทั่วโลก ไม่จำกัดเฉพาะบริเวณที่ห่างไกลทุรกันดาร หรือบริเวณภูเขา เนื่องจากไอโอดีนถูกชะล้างออกจากดินและไหลลงสู่ทะเลเป็นระยะเวลากว่าล้านปี ทำให้ผลผลิตอาหารในภาคเกษตรและน้ำดื่มมีไอโอดีนในปริมาณเล็กน้อย ดังนั้นการบริโภคอาหารในท้องถิ่นหรืออาหารพื้นเมืองเป็นประจำอาจก่อให้เกิดความเสี่ยงจากการขาดสารไอโอดีน หากไม่ได้รับการเสริมไอโอดีนจากอาหารแหล่งอื่นๆ เช่น เกลือเสริมไอโอดีน

2.1.7.2 พื้นที่ที่ห่างไกลทะเล และการคมนาคมที่ลำบาก ทำให้อาหารทะเลเข้าไม่ถึง ประกอบกับอาหารทะเลมีราคาแพง ทำให้ได้รับไอโอดีนไม่เพียงพอต่อความต้องการในแต่ละวัน

2.1.7.3 ประชาชนทั่วไปขาดความรู้ถึงความรุนแรงของโรคขาดสารไอโอดีน โดยส่วนใหญ่รู้จักโรคนี้เพียงอาการคอพอก แต่ไม่ทราบถึงผลการเจริญเติบโตและพัฒนาการทางสติปัญญาของเด็ก

2.1.7.4 ประชาชนมีความเชื่อผิดๆ ว่าการบริโภคเกลือทะเลมีไอโอดีนเพียงพอต่อความต้องการ แต่ในความเป็นจริง เกลือทะเลและเกลือสินเธาว์มีปริมาณไอโอดีนใกล้เคียงกัน หรือมีน้อยมาก ในช่วง 2 -5 ไมโครกรัมต่อเกลือ 1 กิโลกรัมเท่านั้น ซึ่งไม่เพียงพอต่อความต้องการของร่างกายที่ต้องการไอโอดีนเฉลี่ยวันละ 150 ไมโครกรัม

2.1.7.5 เกลือเสริมไอโอดีนยังไม่ครอบคลุมในทุกๆ พื้นที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.7.6 ประชาชนบางพื้นที่ไม่นิยมบริโภคเกลือเสริมไอโอดีน เพราะอุปทานว่า เกลือเสริมไอโอดีนมีกลิ่นและรสชาติแตกต่างไปจากเกลือธรรมชาติ

2.1.8 การประเมินภาวะไอโอดีน

เนื่องจากการได้รับไอโอดีนในปริมาณที่มากหรือน้อยเกินไป จะทำให้เกิดภาวะผิดปกติในการทำงานของอวัยวะต่างๆ และมีอาการแทรกซ้อนตามมาอีกหลายประการดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้น ดังนั้นเพื่อเป็นการศึกษาและป้องกันปัญหาการได้รับไอโอดีนในปริมาณที่ไม่เหมาะสม จึงจำเป็นต้องตรวจประเมินการได้รับไอโอดีนในร่างกาย นัยนา บุญทวียุวัฒน์ (2553) กล่าวถึงดัชนีที่นิยมใช้ในการประเมินภาวะไอโอดีนซึ่งได้แก่ การประเมินปริมาณไอโอดีนในปัสสาวะ ระดับฮอร์โมนไทรอกซินอิสระ (Free T_4) และระดับฮอร์โมน TSH ในเลือด เป็นต้น ซึ่งแต่ละวิธีการมีรายละเอียดดังนี้

2.1.8.1 ปริมาณไอโอดีนในปัสสาวะ เป็นดัชนีชี้วัดภาวะการณ์ขาดสารไอโอดีนที่ใช้กันแพร่หลายทั่วโลก เนื่องจากการเก็บตัวอย่างปัสสาวะสามารถทำได้ง่ายและมากกว่าร้อยละ 90 ของไอโอดีนในร่างกายจะถูกขับออกมาในปัสสาวะ นอกจากนี้ระดับของไอโอดีนยังสะท้อนถึงปริมาณไอโอดีนที่ได้รับหรือภาวะการขาดไอโอดีนได้ทันที (สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้, 2556) โดยเกณฑ์การประเมินระดับความรุนแรงของการขาดสารไอโอดีนในปัสสาวะ แสดงดังตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 เกณฑ์การประเมินภาวะโภชนาการของสารไอโอดีนโดยใช้ปริมาณไอโอดีนในปัสสาวะ

ปริมาณไอโอดีนในปัสสาวะ (ไมโครกรัม/ลิตร)	ภาวะโภชนาการของสารไอโอดีน
< 20	ขาดสารไอโอดีนอย่างรุนแรง
20 - 49	ขาดสารไอโอดีนปานกลาง
50 - 99	ขาดสารไอโอดีนเล็กน้อย
100 - 199	เหมาะสม
200 – 299	เพิ่มความเสี่ยงต่อภาวะได้รับสารไอโอดีนมากเกินพอ
≥ 300	มีผลต่อสุขภาพ เพิ่มความเสี่ยงต่อภาวะคอพอกเป็นพิษและต่อมไทรอยด์อักเสบจากภูมิต้านทานตนเอง

ที่มา : ดัดแปลงมาจากศักดา พรึงลำภู และ วิชัย เอกพลากร (2551)

2.1.8.2 ระดับฮอร์โมนไทรอกซินอิสระ (Free T_4) เป็นการวัดระดับฮอร์โมนไทรอกซินอิสระในเลือด ซึ่งโดยปกติจะมีค่าอยู่ที่ 0.8 – 2.0 นาโนกรัมต่อเดซิลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.8.3 ระดับฮอร์โมน TSH ในเลือด เป็นดัชนีชี้วัดที่มีความแม่นยำ และมีความไวสูง โดยระดับฮอร์โมน TSH จะขึ้นกับระดับฮอร์โมนไทรอกซิน หากต่อมไทรอยด์สังเคราะห์ฮอร์โมนได้ตามปกติ ค่า TSH จะต่ำ หากต่อมไทรอยด์ไม่สามารถสังเคราะห์ฮอร์โมนไทรอกซิน หรือสังเคราะห์ได้น้อยเกินความต้องการของร่างกาย เช่นในกรณีการขาดสารไอโอดีน ต่อมใต้สมองจะหลั่ง TSH ออกมามากขึ้นเพื่อกระตุ้นต่อมไทรอยด์ ทำให้ค่า TSH สูงขึ้น โดยปกติระดับฮอร์โมน TSH ในเลือดจะอยู่ที่ระดับ 0.5 – 5.0 มิลลิหน่วย/ลิตร (สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้, 2556)

2.1.9 สถานการณ์โรคขาดสารไอโอดีนของประเทศไทย

จากความสำคัญของไอโอดีนที่มีต่อร่างกาย จึงมีการศึกษาสถานการณ์โรคขาดสารไอโอดีนในประเทศไทย ด้วยวิธีตรวจลำคอ เพื่อตรวจคอพอกและใช้อัตราคอพอกในเด็กนักเรียนประถมศึกษา เป็นดัชนีชี้วัด โดยให้เจ้าหน้าที่สถานีอนามัยร่วมกับครูอนามัยในโรงเรียนประถมศึกษาทุกโรงเรียนทั่วประเทศทำการตรวจหาอัตราคอพอกในเด็กนักเรียนและรายงานผลปีละ 1 ครั้ง พบว่าปัญหาโรคขาดสารไอโอดีนมีแนวโน้มลดลงดังตารางที่ 2.5 (สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา, 2554)

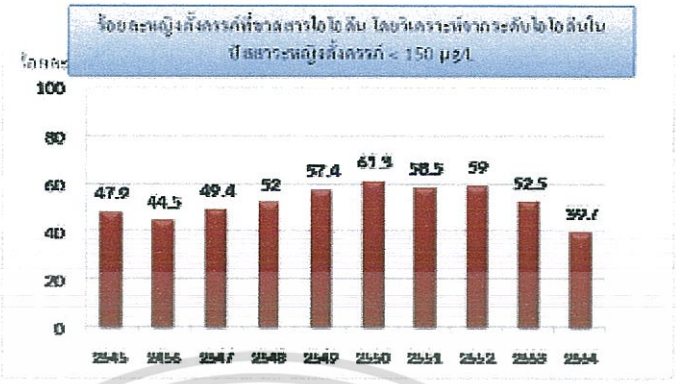
ตารางที่ 2.5 สถานการณ์โรคคอพอกเนื่องจากการขาดสารไอโอดีนของประเทศไทย (พ.ศ. 2535- 2546)

ปี พ.ศ.	อัตราคอพอก (%)
2535	12.2
2536	9.8
2537	7.9
2538	5.5
2539	4.3
2540	3.3
2541	2.6
2542	2.2
2543	2.1
2544	2.0
2545	1.7
2546	1.3

ที่มา : http://www.il.mahidol.ac.th/e-media/iodine/

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายงานฉบับนี้สอดคล้องกับการสำรวจของสำนักโภชนาการ กรมอนามัย (2555) ที่รายงานว่าภาวะการขาดสารไอโอดีนของหญิงตั้งครรภ์ในประเทศไทย มีแนวโน้มที่ลดลงดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 ร้อยละหญิงตั้งครรภ์ที่ขาดสารไอโอดีน โดยวิเคราะห์จากระดับไอโอดีนในปัสสาวะหญิงตั้งครรภ์ < 150 µg/L

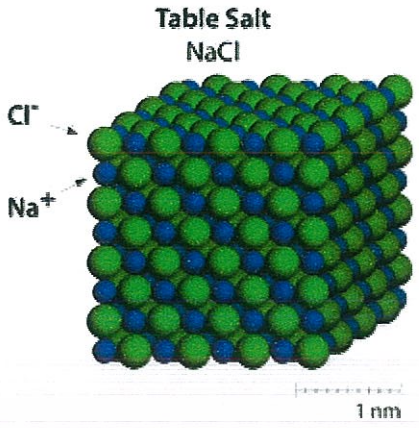
ที่มา : สำนักโภชนาการ กรมอนามัย (2555)

ผลการสำรวจสถานการณ์ภาวะขาดสารไอโอดีนของเด็กทารกในประเทศไทย ในปี พ.ศ.2552 โดยวิธีการตรวจวัดระดับ TSH โดยกรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ด้วยการเจาะส้นเท้าเด็กทารกจำนวน 760,000 คน พบว่า เด็กทารกร้อยละ 90 มีภาวะขาดสารไอโอดีน (กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์, 2552)

2.2 เกลือ (Salt)

เกลือหรือฮาไลต์ เป็นวัตถุผลึกสีขาวที่ใช้สำหรับปรุงแต่งรสชาติอาหารเพื่อให้มีรสเค็ม หรือใช้ในการถนอมอาหาร (พืชรัช ประสิทธิ์ผล, 2553) แต่ในทางเคมี เกลือเกิดจากโซเดียมไอออนและคลอไรด์ไอออนที่ยึดเหนี่ยวกันด้วยพันธะทางเคมีที่เรียกว่า พันธะไอออนิก (พันธะที่เกิดจากแรงดึงดูดทางไฟฟ้าสถิตระหว่างไอออนบวกและไอออนลบเนื่องจากมีการถ่ายโอนอิเล็กตรอน) โดยโครงสร้างของผลึกเกลือ ประกอบด้วยโซเดียมไอออนและคลอไรด์ไอออนที่เรียงเป็นแถวสลับกัน มีลักษณะคล้ายตาข่าย ซึ่งแต่ละไอออนจะมีไอออนชนิดตรงข้ามล้อมรอบอยู่ 6 ไอออน (รูปที่ 2.5) ซึ่งเกลือมีคุณสมบัติทั่วไปคือ น้ำหนักโมเลกุล เท่ากับ 5,834 ความถ่วงจำเพาะ 2.165 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร จุดหลอมเหลว 800.8 องศาเซลเซียส จุดเดือด 1,465 องศาเซลเซียส และน้ำเกลือสามารถเปลี่ยนเป็นน้ำแข็งได้ที่อุณหภูมิ -21.12 องศาเซลเซียส (สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ, 2556) นอกจากนี้เกลือยังมีคุณสมบัติในการดูดความชื้น (Hygroscopic) และจะมีคุณสมบัติมากขึ้นถ้าเกลือนั้นไม่บริสุทธิ์ (กล้าณรงค์ ศรีรอต, 2521)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.5 โครงสร้างของโซเดียมคลอไรด์

ที่มา : http://www.atomsinmotion.com/book/chapter4/salts

คำจำกัดความของเกลือจากหน่วยงานของรัฐมีดังนี้

มาตรฐานอุตสาหกรรม 2085-2544 เรื่องเกลือบริโภค ให้คำจำกัดความของเกลือบริโภคไว้ว่า "เกลือบริโภค หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่ประกอบด้วยโซเดียมคลอไรด์เป็นส่วนสำคัญ เหมาะสำหรับบริโภค โดยทั่วไปมีลักษณะเป็นผลึกใส หรือสีขาว ได้จากน้ำทะเล เกลือหินจากใต้ดิน หรือจากน้ำเกลือตามธรรมชาติ" (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2544)

ประกาศกระทรวงสาธารณสุข เรื่องเกลือบริโภค ให้คำจำกัดความของเกลือบริโภคไว้ว่า "เกลือบริโภค หมายถึง เกลือแกงที่ใช้เป็นอาหารหรือใช้เป็นส่วนผสมหรือเป็นส่วนประกอบของอาหาร โดยเกลือบริโภคต้องมีปริมาณไอโอดีนไม่น้อยกว่า 20 มิลลิกรัม และไม่เกิน 40 มิลลิกรัมต่อเกลือบริโภค 1 กิโลกรัม" (ประกาศกระทรวงสาธารณสุข, 2554)

เกลือสามารถแบ่งตามประเภทต่างๆ ตามแหล่งที่มาของเกลือและลักษณะของเม็ดเกลือได้ดังนี้

2.2.1 แหล่งที่มา

กล้าณรงค์ ศรีรอต (2521) กล่าวว่า เกลือที่มาจากแหล่งที่แตกต่างกันจะมีสารเจือปน (Impurities) แตกต่างกันแหล่งที่มาของเกลือ สามารถแบ่งเป็น 2 ได้แก่

2.2.1.1 เกลือสมุทรหรือเกลือทะเล (Sea salt) เป็นเกลือที่ได้จากการระเหยน้ำออกจากน้ำทะเล โดยการปล่อยน้ำทะเลมากักไว้ในนาเกลือ และอาศัยแสงแดดเป็นตัวระเหยน้ำออกไปจนถึงจุดอิ่มตัว เกลือจะตกผลึกลงมา (กล้าณรงค์ ศรีรอต, 2521) โดยประเทศไทยมีแหล่งผลิตเกลือสมุทรที่สำคัญได้แก่ จังหวัดสมุทรสาคร จังหวัดสมุทรสงคราม จังหวัดเพชรบุรี จังหวัดสมุทรปราการ จังหวัดฉะเชิงเทรา จังหวัดชลบุรี และจังหวัดปัตตานี เป็นต้น (ลือชา วนรัตน์, 2537)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.1.2 เกลือสินเธาว์หรือเกลือหิน (Rock salt) เป็นการทำเหมืองเกลือจากผลึกเกลือที่จับตัวกันเป็นก้อนเกลือขนาดใหญ่ๆ ตามธรรมชาติเรียกว่าส่าดิน การสกัดเกลือจากส่าดินทำโดยการใช้น้ำละลายออกมาหรือการสกัดเป็นรูปหินและเกลือก็ได้ (กล้าณรงค์ ศรีรอต, 2521) หลังจากนั้นจึงนำสิ่งที่สกัดได้มาเข้าสู่กระบวนการผลิตเกลือ ซึ่งแบ่งได้เป็น 3 ประเภทตามวิธีการผลิตเกลือ ได้แก่ เกลือตากเกิดจากการสูบน้ำเกลือจากชั้นใต้ดิน (ชั้นบาดาล) ขึ้นมาขังในแปลงนาซึ่งเป็นพื้นดินที่บดอัดแน่น ตากด้วยแสงอาทิตย์เป็นเวลา 8-15 วันเกลือจะตกผลึก เกลือต้มได้จากการสูบน้ำเกลือจากชั้นบาดาลขึ้นมาต้มในหม้อต้มซึ่งทำด้วยเหล็กแผ่นเชื่อมเข้าด้วยกัน โดยใช้ฟืนหรือแกลบเป็นเชื้อเพลิง และเกลือดานเป็นเศษเกลือที่ติดค้างอยู่กับหม้อต้มหรือกระทะต้มเกลือ มีลักษณะเป็นแผ่นแข็งหนา มีสิ่งปนเปื้อนและตะกอนต่างๆ ปนอยู่ (ลือชา วนรัตน์, 2537)

2.2.2 ขนาดของผลึกเม็ดเกลือ (สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยมหิดล, 2556)

เกลือสามารถแบ่งตามลักษณะได้ 2 ชนิด ดังนี้ได้แก่

2.2.2.1 เกลือเม็ด (Crystal salt) เป็นเกลือที่มีผลึกขนาดใหญ่ ได้จากการผลิตด้วยวิธีการตาก พบทั้งเกลือสมุทรและเกลือสินเธาว์ โดยเกลือประเภทนี้นิยมใช้ในอุตสาหกรรมอาหารหมักดอง เช่น การดองผักผลไม้ หรือใช้ในอุตสาหกรรมอื่นๆ เช่นอุตสาหกรรมการผลิตไอศกรีม

2.2.2.2 เกลือป่น (Powder salt) เป็นเกลือที่มีผลึกขนาดเล็ก อาจได้จากการนำเกลือเม็ดมาบดหรือได้จากกระบวนการผลิตด้วยวิธีการต้ม เกลือประเภทนี้นิยมใช้ในอุตสาหกรรมอาหารที่ใช้เกลือเป็นส่วนประกอบเพื่อเพิ่มรสชาติหรือจำหน่ายเพื่อการบริโภคในครัวเรือน

2.2.3 การใช้เกลือในอุตสาหกรรมอาหาร

เนื่องจากเกลือเป็นสิ่งที่มีความสำคัญต่อมนุษย์และสัตว์มาตั้งแต่โบราณจนถึงปัจจุบัน รวมทั้งการนำเกลือมาใช้ประโยชน์อย่างแพร่หลาย ตัวอย่างเช่น การใช้เกลือในอุตสาหกรรมห้องเย็นเพื่อประโยชน์ในการรักษาอาหารสด การใช้เกลือในอุตสาหกรรมเคมีเพื่อเป็นสารตั้งต้นในการผลิตเคมีภัณฑ์หลายชนิด รวมถึงในอุตสาหกรรมอาหาร ซึ่งประโยชน์ของเกลือในอุตสาหกรรมอาหารสามารถจำแนกได้ดังนี้

2.2.3.1 เป็นสารเพิ่มรสชาติ (Flavoring agent) เกลือเป็นตัวทำให้เกิดรสเค็มขึ้นในอาหาร และรสเค็มนี้จะไปลดความเปรี้ยวให้น้อยลง พร้อมทั้งเพิ่มรสหวานขึ้น (ในแง่ของประสาทสัมผัส)

2.2.3.2 อาหารหมักดอง จุดมุ่งหมายสำคัญของการใช้เกลือในอาหารหมักดอง คือ รสเค็ม ซึ่งทำให้อาหารเก็บได้นาน และรสเปรี้ยวที่เกิดมาจาก Lactic acid fermentation โดยทฤษฎีของการเกิดรสเปรี้ยวนั้น เกิดจากความเข้มข้นของเกลือที่เหมาะต่อการเลือกจุลินทรีย์พวกแบคทีเรียแลคติกในอาหาร โดยเกลือร้อยละ 2.0 – 2.5 เป็นความเข้มข้นที่แนะนำให้ใช้ในการดองเปรี้ยวกะหล่ำปลี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และประมาณร้อยละ 5.3 ใช้ในการดองเปรี้ยวแตงกวา โดยในระยะเริ่มแรกของการหมักนั้น จุลินทรีย์ในอาหารจะมีอยู่หลายชนิด แต่ไม่สามารถเจริญเติบโตได้ เนื่องจากเกลือซึ่งเป็นตัวคัดเลือกและบังคับการเจริญเติบโต โดย ใน 2 วันแรกของการหมัก *Leuconostoc mesnteroides* เป็นแบคทีเรียแลคติกตัวแรกที่เจริญได้ดี และผลิตกรดแลคติกประมาณร้อยละ 0.7 – 1.0 จากนั้น *Lactobacillus plantarum* และ *Lactobacillus brevis* จะเจริญเติบโตได้ดีตามมาและสร้างกรดแลคติกต่อไปถึงร้อยละ 2 เมื่อค่าความเป็นกรด – ด่าง (pH) ของผลิตภัณฑ์เริ่มต่ำลง ยีสต์จะสามารถเจริญและผลิตก๊าซ รวมถึงแอลกอฮอล์ขึ้น หรือในกรณีที่เป็นยีสต์ประเภทที่สร้างแผ่นฟิล์ม(Film yeast) จะเห็นลักษณะของแผ่นฟิล์ม บนผิวของน้ำหมักได้

2.2.3.3 อุตสาหกรรมเนื้อสัตว์ ส่วนใหญ่ใช้เกลือเพื่อเพิ่มรสเค็ม เช่น ปลาเค็ม, หมูแฮม ส่วนผลิตภัณฑ์บางชนิดต้องการให้เกิดการหมักและการย่อยโปรตีนภายในผลิตภัณฑ์นั้นๆ โดยเอนไซม์ เช่น ปลาร้า, น้ำปลา, ซีอิ้ว เป็นต้น ซึ่งเกลือ จะชะลอการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ และในขณะที่เกลือกำลังแทรกซึมเข้าไปในอาหาร เอนไซม์หรือจุลินทรีย์ในอาหารจะย่อยโปรตีน เมื่อเกิดการออสโมสิส (Osmosis) น้ำในอาหารจะละลายโปรตีนออกมา นอกจากนี้ในผลิตภัณฑ์บางชนิดต้องการให้เกิดรสเปรี้ยวในผลิตภัณฑ์ เช่น ไส้กรอกเปรี้ยว, ปลาส้ม เป็นดังที่กล่าวไว้ข้างต้น

2.2.3.4 อุตสาหกรรมห้องเย็น น้ำเกลือได้ถูกใช้ในอุตสาหกรรมน้ำแข็งมาเป็นเวลานาน ทั้งนี้เนื่องจาก สารละลายเกลือจะมีจุดเยือกแข็งต่ำกว่า 0 องศาเซลเซียส โดยปกติมักใช้น้ำเกลือเป็นตัวหล่อเลี้ยงห้องเย็น ที่ต้องการการแช่เย็นที่อุณหภูมิ 25 – 50 องศาฟาเรนไฮน์

2.2.3.5 ใช้ในการจัดมาตรฐานอาหาร เกลือถูกใช้ในการจัดการมาตรฐานอาหารเพื่อคัดเลือกวัตถุดิบที่มีคุณภาพ เช่น การใช้น้ำเกลือในการกำหนดคุณภาพของถั่ว เป็นต้น

2.2.4 คุณสมบัติในการถนอมอาหารของเกลือ

เกลือถูกใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมอาหารอย่างแพร่หลาย นอกเหนือจากรสเค็มในอาหารแล้ว เกลือยังมีความสามารถในการป้องกันการเน่าเสียของอาหารได้ อันเนื่องมาจาก

2.2.4.1 เกลือเป็นตัวลดความชื้นหรือลดค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้ (water activity) ของอาหารลง เนื่องจากเมื่อเกลือละลายน้ำ น้ำจะถูกแรงดึงตัวเกาะกันกับเกลือทำให้คุณสมบัติหรือความเป็นอิสระของน้ำเปลี่ยนไป

2.2.4.2 สารละลายเกลือดึงน้ำออก (dehydration) จากเซลล์ เนื่องจากแรงดันออสโมติก (osmotic pressure) และเป็นเหตุให้เซลล์ของจุลินทรีย์สูญเสียน้ำอย่างรุนแรง (plasmolysis) และหยุดการเจริญเติบโต

2.2.4.3 เกลือมีความเป็นพิษต่อจุลินทรีย์โดยตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.4.4 น้ำเกลือลดการแพร่หรือการแทรกซึมของออกซิเจน ดังนั้นจุลินทรีย์ที่ต้องการใช้ออกซิเจนจะเจริญเติบโตได้ยากขึ้น รวมถึงปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์ (enzymatic browning) ที่ต้องการออกซิเจนจะลดลง

2.2.4.5 เกลือเป็นตัวทำลายเอนไซม์บางชนิด เนื่องจากความเข้มข้นเกลือที่พอเหมาะทำให้โปรตีนบางตัวเสียสภาพ (denature) และเสียสมบัติเชิงหน้าที่

2.2.5 มาตรฐานของเกลือ

เกลือที่ผลิตในประเทศไทยโดยส่วนใหญ่ มักไม่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์ด้วยวิธีการทางเคมี จึงมีแร่ธาตุอื่นๆ ปะปนมา เช่น แมกนีเซียมซัลเฟตและแมงกานีสซัลเฟต เป็นต้น ซึ่งสารกลุ่มนี้ทำให้เกลือดูดความชื้นหรือน้ำจากอากาศได้ดี ทั้งนี้เพื่อให้คุณภาพของเกลือที่ผลิตขึ้นมีมาตรฐาน สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (2544) จึงได้กำหนดมาตรฐานเกลือบริโภคไว้ดังข้อมูลในตารางที่ 2.6 และ 2.7

ตารางที่ 2.6 คุณลักษณะมาตรฐานทางฟิสิกส์และเคมีของเกลือบริโภค

คุณลักษณะ	เกณฑ์ที่กำหนด		
	ชนิดผง	ชนิดป่น	ชนิดเม็ด
ความชื้น ร้อยละไม่เกิน	4.0	6.0	7.0
สารที่ไม่ละลายในน้ำ ร้อยละไม่เกิน	0.1	0.3	0.5
โซเดียมคลอไรด์ ร้อยละไม่น้อยเกิน	96.0	94.0	93.0
สารประกอบของไอโอดีน (คิดเป็นไอโอดีน) มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม	30.0	30.0	30.0

ที่มา : สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (2544)

ตารางที่ 2.7 มาตรฐานสารปนเปื้อนในเกลือบริโภค

สารปนเปื้อน	เกณฑ์ที่กำหนดสูง (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)
ตะกั่ว	2.0
สารหนู	0.5
ทองแดง	2.0
แคดเมียม	0.5
ปรอท	0.1

ที่มา : สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (2544)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 เกลือเสริมไอโอดีน (Iodized salt)

จากสถานการณ์โรคขาดสารไอโอดีน (Iodine Deficiency Disorders หรือ IDD) ในประเทศไทยและหลายๆ ประเทศทั่วโลกดังที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น ทำให้หลายประเทศรวมทั้งประเทศไทยให้ความสนใจกับการเสริมไอโอดีนในอาหารชนิดต่างๆ เช่น ไข่ไก่ น้ำปลา และซอสปรุงรส เป็นต้น อย่างไรก็ตามเกลือเสริมไอโอดีนเป็นวิธีการที่ได้รับความนิยมอย่างมาก เนื่องจากมีต้นทุนการผลิตที่ต่ำ การควบคุมกระบวนการผลิตและการผลิตทำได้ง่าย ไม่ซับซ้อน และนอกจากนี้ความเค็มของเกลือยังเป็นตัวจำกัดปริมาณการบริโภคเพื่อไม่ให้ได้รับไอโอดีนในปริมาณที่มากเกินไป การเสริมไอโอดีนในเกลือของประเทศไทยได้ดำเนินการมาแล้วไม่ต่ำกว่า 40 ปี (วิสิฐ จะวะสิต, 2553) ซึ่งเกลือเสริมไอโอดีนทำโดยการนำเกลือทะเลหรือเกลือสินเธาว์มาผสมกับสารไอโอดีนในปริมาณเล็กน้อย แต่เป็นปริมาณที่เพียงพอต่อความต้องการของร่างกายและไม่ทำให้รสชาติของเกลือเปลี่ยนแปลง (สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยมหิดล, 2556) สารไอโอดีนที่นิยมใช้ในการผลิตเกลือเสริมไอโอดีนจะอยู่ในรูปของไอโอเดตและไอโอไดด์ ตัวอย่างเช่นโพแตสเซียมไอโอเดต (KIO_3), โพแตสเซียมไอโอไดด์ (KI) เป็นต้น โดยสารที่ใช้ในการเสริมไอโอดีนในเกลือเสริมไอโอดีนแต่ละชนิดมีความสามารถในการละลายที่แตกต่างกันดังตารางที่ 2.8

ตารางที่ 2.8 ความสามารถในการละลายของสารประกอบไอโอดีนชนิดต่างๆ

ชื่อสารประกอบ	สูตรเคมี	ไอโอดีน (%)	ความสามารถการละลายในน้ำ (กรัม/ลิตร)				
			0°C	20°C	30°C	40°C	60°C
ไอโอดีน	I_2	100	-	-	0.3	0.4	0.6
แคลเซียมไอโอไดด์	CaI_2	86.5	646	676	690	708	740
แคลเซียมไอโอเดต	$Ca(IO_3)_2.6H_2O$	65	-	1	4.2	6.1	13.6
โพแตสเซียมไอโอไดด์	KI	76.5	1280	1440	1520	1600	1760
โพแตสเซียมไอโอเดต	KIO_3	59.5	47.3	81.3	117	128	185
โซเดียมไอโอไดด์	$NaI.2H_20$	85	1590	1790	1900	2050	2570
โซเดียมไอโอเดต	$NaIO_3$	64	-	25	90	150	210

ที่มา : The International Council for the Control of Iodine Deficiency Disorders (2013)

จากตารางที่ 2.8 โพแตสเซียมไอโอไดด์มีความสามารถในการละลายสูงซึ่งเหมาะต่อการผลิตเกลือเสริมไอโอดีนโดยวิธีการพ่นน้ำยา (Spray mixing) แต่โพแตสเซียมไอโอไดด์ไม่มีความคงทนต่อสภาพแวดล้อม ความร้อน แสง และความชื้น จึงทำให้มีการสูญเสียสารไอโอดีนออกจากเกลือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เสริมไอโอดีน ดังนั้นเพื่อป้องกันปัญหาดังกล่าวจึงจำเป็นต้องมีการเติมสารเพิ่มความคงทน (stabilizer) เช่นโซเดียมไธโอซัลเฟต ($Na_2S_2O_3.5H_2O$) เป็นต้น

2.3.1 กระบวนการผลิตเกลือเสริมไอโอดีนตามความต่อเนื่องของกระบวนการผลิต

วิสิฐ จะวะสิต (2553) แบ่งกระบวนการผลิตเกลือเสริมไอโอดีนตามความต่อเนื่องของกระบวนการผลิตไว้ 2 แบบ คือ แบบต่อเนื่อง (Continuous process) และแบบไม่ต่อเนื่อง (Batch process) ซึ่งแต่ละกระบวนการมีรายละเอียดดังนี้

2.3.1.1 แบบต่อเนื่อง (Continuous process) เป็นการผสมไอโอดีนในเกลือแบบต่อเนื่องตลอดกระบวนการผลิต ตัวอย่างเช่น สายพานลำเลียง (Belt conveyor : UNICEF model) การซับเมอร์ชั่น (Submersion) สกรูลำเลียง (Screw conveyor) และสายพานลำเลียงดัดแปร (Modified belt conveyor) เป็นต้น ซึ่งกระบวนผลิตเกลือเสริมไอโอดีนแบบต่างๆ ข้างต้นมีวิธีการดังนี้

- แบบสายพาน ทำโดยการเทเกลือลงบนสายพาน จากนั้นเกลือจะถูกลำเลียงไปยังหัวฉีดสารโพแตสเซียมไอโอเดตหรือโพแตสเซียมไอโอไดด์ และตกลงสู่ท่อที่มีสกรูอยู่ภายในเกิดการผสมคลุกเคล้ากันระหว่างเกลือและสารละลาย จากนั้นเกลือจะถูกลำเลียงลงสู่เครื่องบรรจุหรือภาชนะรองรับหรือบนพื้นที่บรรจุด้วยมือ

- การซับเมอร์ชั่น เป็นการแช่เกลือในน้ำเกลือที่ประกอบด้วยโพแตสเซียมไอโอเดตประมาณ10 -15 นาที จากนั้นนำเกลือที่ได้มาทำให้แห้ง (Thaddeus *et al.*, 2013)

-แบบสกรูลำเลียง วิธีนี้ดัดแปลงจากกระบวนการผลิตเกลือเสริมไอโอดีนแบบสายพาน โดยเกลือจะถูกลำเลียงด้วยสายพานและผสมสารละลายโพแตสเซียมไอโอเดตหรือโพแตสเซียมไอโอไดด์ขณะที่เกลืออยู่บนสกรูลำเลียง

-แบบสายพานลำเลียงดัดแปร ใช้เครื่องมือคล้ายกับแบบ สายพาน โดยจะพ่นสารโพแตสเซียมไอโอเดตหรือโพแตสเซียมไอโอไดด์ลงบนเกลือที่อยู่ในถังผสม

2.3.1.2 แบบไม่ต่อเนื่อง (Batch process) เป็นการผสมไอโอดีนในเกลือแบบไม่ต่อเนื่อง ตัวอย่างเช่น การผสมโดยเครื่องจักร (Mechanical method) และการผสมด้วยมือ (Manual method) เป็นต้น ซึ่งกระบวนผลิตเกลือเสริมไอโอดีนแบบต่างๆ ข้างต้นมีวิธีการดังนี้

- เครื่องจักรเป็นวิธีการที่นิยมกันมาก ซึ่งเป็นการดัดแปลงรูปแบบจากถังผสมปูนที่ใช้ในงานก่อสร้าง โดยถังผสมจะมีลักษณะเป็นทรงกรวยทำจากพลาสติกหรือสแตนเลส ควบคุมการทำงานด้วยระบบมอเตอร์ทำให้ถังหมุนและมีการพ่นสารละลายโพแตสเซียมไอโอเดตหรือโพแตสเซียมไอโอไดด์ตามระยะเวลาที่กำหนดจนสารละลายหมด แล้วหมุนต่ออีกสักระยะก่อนเทเกลือลงสู่ภาชนะเพื่อบรรจุต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- การผสมด้วยมือ เป็นวิธีการผสมสารละลายโพแตสเซียมไอโอเดตหรือโพแตสเซียมไอโอไดด์ด้วยมือบนพื้นหรือภาชนะขนาดใหญ่ เช่น กะบะไม้ อ่างหรือกะละมังพลาสติกและถังไม้ไผ่ เป็นต้น โดยจะพ่นสารละลายโพแตส เซียมไอโอเดตหรือโพแตสเซียมไอโอไดด์ลงบนเกลือด้วยกระป๋องน้ำ ขวดน้ำ หรือกระบอกฉีดแล้วผสมด้วยมือ หรือ พลั่ว

2.3.2 กระบวนการผลิตเกลือเสริมไอโอดีนตามวิธีการผลิต (วิสิฐ จะวะสิต, 2553)

กระบวนการผลิตเกลือเสริมไอโอดีนตามวิธีการผลิตแบ่งออกเป็น 5 วิธี ได้แก่ วิธีการผสมแห้ง (Dry mixing) วิธีการหยด (Drip feed addition) วิธีการพ่น (Spray mixing) วิธีการซับเมอร์ชั่น (Submersion) และวิธีการเบลนเดอร์ (Blender process) ซึ่งแต่ละวิธีมีรายละเอียดดังนี้

2.3.2.1 วิธีการผสมแห้ง เหมาะสำหรับเกลือที่แห้งและละเอียดหรือเกลือป่น ทำได้โดยการพ่นผลึกโพแตสเซียมไอโอเดตลงในเกลือที่เคลื่อนที่บนสายพาน

2.3.2.2 วิธีการหยด เป็นวิธีที่นิยมใช้กับเกลือเม็ดหรือเกลือที่มีขนาดมากกว่า 1 เซนติเมตร และมีปริมาณความชื้นมากกว่าร้อยละ 5 แต่ไม่เหมาะกับเกลือที่มีขนาดน้อยกว่า 2 มิลลิเมตร (ICCIDD, 2013) ทำได้โดยการหยดสารละลายโพแตสเซียมไอโอเดตหรือโพแตสเซียมไอโอไดด์ในอัตราสม่ำเสมอลงสู่สายพานลำเลียงเกลือตลอดเวลา

2.3.2.3 วิธีการพ่น เหมาะสำหรับเกลือที่มีขนาดและปริมาณความชื้นไม่สม่ำเสมอ ทำได้โดยการพ่นสารละลายโพแตสเซียมไอโอเดตหรือโพแตสเซียมไอโอไดด์ภายใต้ความดันที่สม่ำเสมอให้เกิดเป็นละอองขนาดเล็กเคลือบลงบนเกลือที่ไหลมาตามสายพาน

2.3.2.4 วิธีการซับเมอร์ชั่น ดังที่กล่าวมาแล้วในหัวข้อ 2.3.1.1

2.3.2.5 วิธีเบลนเดอร์ เป็นวิธีการเสริมสารละลายโพแตสเซียมไอโอเดตหรือไอโอไดด์โดยการพ่นสารละลายดังกล่าวในเครื่องผสม เหมาะสำหรับผสมเกลือในขนาด 0.5 – 3 ตัน/ชั่วโมง

ICCIDD (2013) ได้เปรียบเทียบความเหมาะสมของวิธีการผลิตเกลือเสริมไอโอดีน 3 วิธี ได้แก่ วิธีการผสมแห้ง วิธีการหยด และวิธีการพ่น (ตารางที่ 2.9) พบว่าเกลือแต่ละชนิดมีวิธีการที่เหมาะสมในการผสมแตกต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.9 การเปรียบเทียบกระบวนการผลิตเกลือเสริมไอโอดีนด้วยวิธีต่างๆ

Method Criterion	Drip	Spray	Dry Mix
Salt Type: Refined powder, dry	++	+++	+++
Salt Type: Unrefined powder, dry	++	+++	+++
Salt Type: Unrefined powder, moist	++	++	++
Salt Type: Unrefined crystals, dry	++	++	+
Salt Type: Unrefined crystals, moist	+	++	+
Cost: Capital cost	Medium	Medium	High
Cost: Operating cost	Medium	Medium	High
Cost: Cost to consumer	Medium	Medium	High

ที่มา : The International Council for the Control of Iodine Deficiency Disorders (2013)

2.3.3 มาตรฐานของเกลือเสริมไอโอดีน

เนื่องจากปัญหาการขาดสารไอโอดีนในหลายๆ ประเทศ เกลือเสริมไอโอดีนจึงเป็นอีกแนวทางหนึ่งในการป้องกันปัญหาการขาดสารไอโอดีนที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย ดังนั้นจึงมีข้อกำหนดเกี่ยวกับปริมาณไอโอดีนในเกลือ ซึ่งสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 2.10

ตารางที่ 2.10 ปริมาณไอโอดีนในเกลือของแต่ละประเทศ

ประเทศ	ปริมาณไอโอดีนในเกลือ (ppm)	ประเทศ	ปริมาณไอโอดีนในเกลือ (ppm)
อิรัก	20 - 80	ศรีลังกา	15
บัลกาเรีย	28 - 55	มาเลเซีย	≥ 15
มาเซโดเนีย	20 - 30	ออสเตรเลีย	20
สวิสเซอร์แลนด์	20 - 30	โครเอเชีย	20 - 30
บังคลาเทศ	≥ 15	เนเธอร์แลนด์	50
เนปาล	≥ 15	โรมาเนีย	15 - 25
โอมาน	15 - 40	ไทย	20 - 40

ที่มา : นันทนา จงใจเทศ (ม.ป.ป.)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.4 การสูญเสียธาตุไอโอดีนในเกลือเสริมไอโอดีน

หากพิจารณาถึงสาเหตุในการสูญเสียธาตุไอโอดีนในเกลือเสริมไอโอดีน จะพบว่าการสูญเสียไอโอดีนจากสภาพแวดล้อมมีโอกาสเกิดขึ้นได้น้อย ทั้งนี้เนื่องจากสารที่ใช้เสริมไอโอดีนในเกลือเสริมไอโอดีนมีความคงตัวสูงต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน การสูญเสียธาตุไอโอดีนในเกลือเสริมไอโอดีน เกิดจาก สารละลายไอโอดีนไม่สามารถดูดซึมเข้าในผลึกเกลือได้ และเคลือบอยู่ที่ผิวหน้าของผลึกเกลือเท่านั้น อีกทั้งเกลือเสริมไอโอดีนมีความชื้นสูงกว่าเกลือทั่วไป เมื่อตั้งทิ้งไว้สารละลายไอโอดีนมีแนวโน้มจะเคลื่อนที่ออกจากผิวเกลือไปอยู่รวมกันด้านล่างตามแรงโน้มถ่วงของโลก (วิสิฐ จะวะสิต, 2553)

2.4 การศึกษาอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์

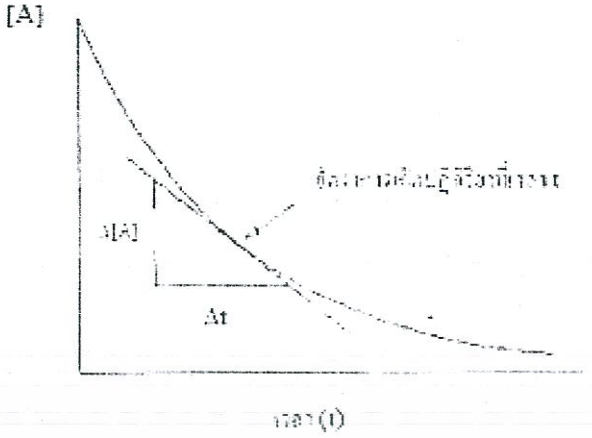
ยุทธนา พิมลศิริผล (2553) ได้อธิบายถึงการนำหลักการของปฏิกิริยาทางจลนพลศาสตร์ (Reaction kinetics) มาใช้ในการหาอัตราการเปลี่ยนแปลงและประเมินอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ ซึ่งสามารถอธิบายได้ดังนี้

2.4.1 ปฏิกิริยาทางจลนพลศาสตร์ (ยุทธนา พิมลศิริพล, 2553)

การศึกษาปฏิกิริยาทางจลนพลศาสตร์มักมีตัวแปรที่สนใจที่จำกัดและค่อนข้างมีผลโดยตรงต่อการเปลี่ยนแปลง โดยศึกษาความสัมพันธ์ของอัตราการเกิดปฏิกิริยาจากกลไกของปฏิกิริยา ความสัมพันธ์ของอัตราการเกิดปฏิกิริยาและปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยานั้น เช่น อุณหภูมิ ความเข้มข้นและตัวเร่งปฏิกิริยา ที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงทางเคมี เป็นต้น โดยการเปลี่ยนแปลงนี้อาจประเมินในลักษณะการเปลี่ยนแปลงคุณภาพแบบปฏิกิริยารวม (Overall reactions) ที่ไม่ขึ้นกับกลไกใดกลไกหนึ่ง ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงทางจลนพลศาสตร์จึงเกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นของสารตั้งต้นหรือค่าคุณภาพไปตามเวลา ซึ่งอาจจะเป็นหน่วยเวลาใดๆ ก็ได้ เช่น วินาที นาที ชั่วโมง วัน สัปดาห์ หรือเดือน

ในกรณีพิจารณาปฏิกิริยาการเปลี่ยนของ A ไปเป็น B (A $\rightarrow$ B) สามารถสร้างกราฟความสัมพันธ์ได้ดังรูปที่ 2.6 โดยอัตราการเปลี่ยนแปลงอาจเขียนได้ตามสมการที่ 2.2 และ 2.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารตั้งต้นที่เปลี่ยนแปลงกับเวลา

$$r_A = -d[A]/dt = k[A]^n \quad \text{(สมการที่ 2.2)}$$

$$r_B = d[B]/dt = k[B]^n \quad \text{(สมการที่ 2.3)}$$

เมื่อ r_A คือ อัตราการเปลี่ยนแปลงของ A เมื่อเวลาเปลี่ยนไป

r_B คือ อัตราการเปลี่ยนแปลงของ B เมื่อเวลาเปลี่ยนไป

k คือ ค่าคงที่อัตรา

$[A]$ คือ ความเข้มข้นของสารตั้งต้น A

$[B]$ คือ ความเข้มข้นของผลิตภัณฑ์ B

n คือ อันดับของปฏิกิริยา

สำหรับการประเมินอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์อาหารจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องพิจารณาเลือกตัวแปรที่เหมาะสม โดยปัจจัยคุณภาพที่สนใจควรต้องเป็นคุณภาพที่สามารถวัดได้และเป็นปัจจัยสำคัญที่บ่งชี้ถึงอายุการเก็บรักษาโดยตรง ซึ่งมักสัมพันธ์กับการยอมรับของผู้บริโภคหรือเกณฑ์ที่กฎหมายกำหนด โดยการลดลงของสาร A เมื่อเทียบกับเวลา ใช้ในคำนวณหาค่าคงที่อัตรา (k) จาก ค่าความชัน (slope) ซึ่งลักษณะการเปลี่ยนแปลงนี้อาจมีผลทำให้การดำเนินไปของปฏิกิริยานั้นแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับลักษณะการเปลี่ยนแปลงในแต่ละกลไก จึงทำให้ ปฏิกิริยาอันดับของแต่ละปฏิกิริยาไม่เท่ากัน

2.4.2 อันดับของปฏิกิริยา (ยุทธนา พิมลศิริพล, 2553)

อันดับของปฏิกิริยา (reaction order) เป็นการนำตัวเลขจากการทดลองมาสร้างความสัมพันธ์หรือรูปแบบการเปลี่ยนแปลงในลักษณะเช่นเดียวกัน อันดับของปฏิกิริยาสามารถเป็นเลขจำนวนเต็ม หรือ เศษส่วนก็ได้ แต่โดยทั่วไป การติดตามการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของอาหาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต่างๆ รายงานค่าอันดับของปฏิกิริยาเป็นตัวเลขจำนวนเต็ม เช่น ปฏิกิริยาอันดับศูนย์ หนึ่ง หรือสอง โดยความแตกต่างของอันดับของปฏิกิริยาแต่ละชนิดอธิบายได้ดังนี้

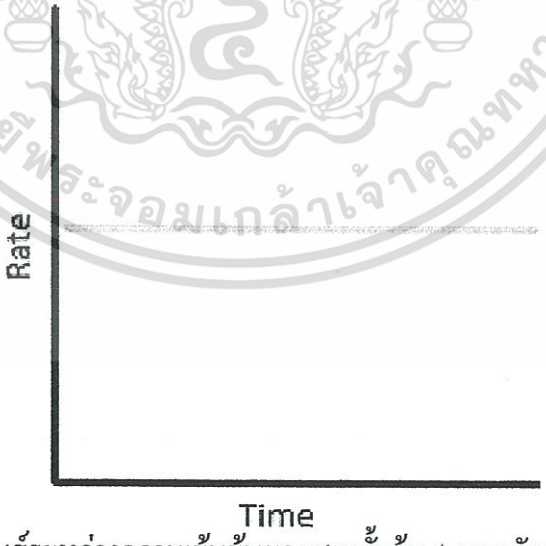
2.4.2.1ปฏิกิริยาอันดับศูนย์ (Zero order reactions) เป็นปฏิกิริยาการเปลี่ยนแปลงที่ไม่ขึ้นกับความเข้มข้นของสารตั้งต้น ทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยามีค่าคงที่ ลักษณะการเกิดปฏิกิริยาแสดงดังสมการที่ 2.4 ส่วนอัตราการเกิดปฏิกิริยาแสดงได้ดังสมการที่ 2.5

$$A \rightarrow \text{Product} \qquad \text{(สมการที่ 2.4)}$$

$$r_A = -d[A]/d[t] = k[A]^0 = k \qquad \text{(สมการที่ 2.5)}$$

การหาอันดับของปฏิกิริยาทำได้ด้วยการอินทิเกรตในรูปแบบของ Quality function แสดงดังสมการที่ 2.6 โดยเมื่อสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเกิดปฏิกิริยากับความเข้มข้นจะได้อัตราการเกิดปฏิกิริยาคงที่ (รูปที่ 2.7) ซึ่ง ถ้าเป็นความเข้มข้นมีหน่วยของปฏิกิริยาอันดับศูนย์เป็นโมลาร์ต่อวินาที ($mole.L^{-1}.sec^{-1}$) แต่ค่าคุณภาพอื่นๆ เช่นร้อยละ หน่วยที่ได้อาจเป็นร้อยละต่อวินาที ($\%.sec^{-1}$) หรือต่อหน่วยเวลาใดๆ เมื่อความสัมพันธ์ของข้อมูลต่อเวลาเป็นลักษณะเส้นตรงที่เพิ่มขึ้น หรือลดลง ของปัจจัยคุณภาพ กราฟแสดงความสัมพันธ์ดังกล่าวแสดงดังรูปที่ 2.8

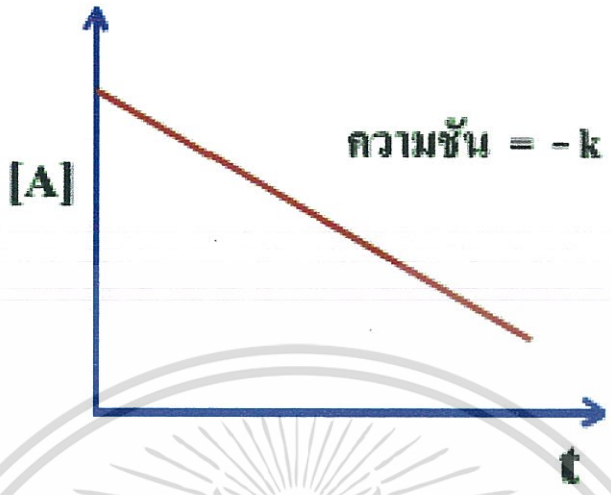
$$A_t - A_0 = -kt \qquad \text{(สมการที่ 2.6)}$$



รูปที่ 2.7 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารตั้งต้น A และอัตราการเกิดปฏิกิริยา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$[A] = -kt + [A]_0$$



รูปที่ 2.8 ลักษณะการลดลงของความเข้มข้นของสารตั้งต้น A เมื่อเวลาเพิ่มขึ้นตามรูปแบบของปฏิกิริยาอันดับศูนย์

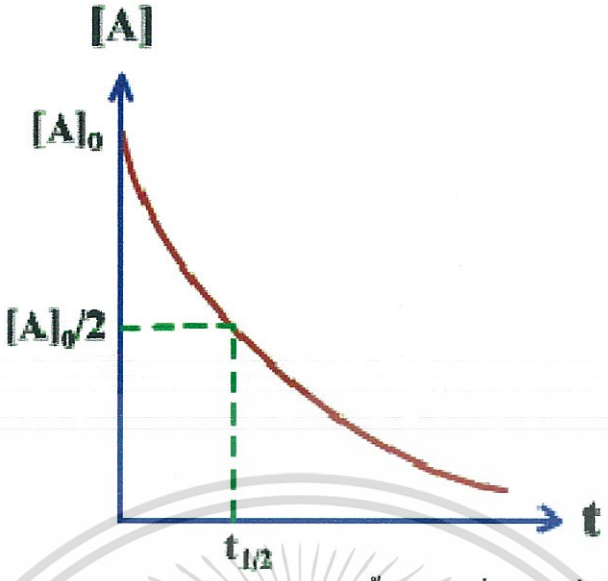
ที่มา : http://www.il.mahidol.ac.th/e-media/ap-chemistry2/kinetics/zero_order.htm

2.4.2.2 ปฏิกิริยาอันดับหนึ่ง (First order reaction) เป็นปฏิกิริยาที่ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารตั้งต้นยกกำลังหนึ่ง จึงเป็นอัตราการเกิดปฏิกิริยาที่ไม่คงที่ โดยแต่ในช่วงต้นการเกิดปฏิกิริยาจะเป็นไปอย่างรวดเร็วเนื่องจากมีความเข้มข้นของสารตั้งต้นมาก แต่อัตราการเกิดปฏิกิริยาลดลงเมื่อความเข้มข้นของสารตั้งต้นลดลงจนเริ่มเข้าสู่สภาวะคงที่ (รูปที่ 2.9) โดยรูปแบบของการเกิดปฏิกิริยาเป็นดังสมการที่ 2.7 และวิเคราะห์อันดับปฏิกิริยาได้ จากการอินทิเกรตในรูปแบบสมการที่ 2.8 ซึ่งหน่วยของปฏิกิริยาอันดับหนึ่งอาจเป็นต่อวินาที (sec^{-1}) เนื่องจากไม่ขึ้นกับความเข้มข้นนั่นเอง

$$r_A = -d[A]/dt = k[A]^1 \qquad \text{(สมการที่ 2.7)}$$

$$A = A_0 e^{-kt} \qquad \text{(สมการที่ 2.8)}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.9 ลักษณะการลดลงของความเข้มข้นของสารตั้งต้น A เมื่อเวลาเพิ่มขึ้นตามรูปแบบของปฏิกิริยาอันดับหนึ่ง

ที่มา : http://www.il.mahidol.ac.th/e-media/ap-chemistry2/kinetics/first_order.htm

2.4.2.3 ปฏิกิริยาอันดับสอง (Second order reaction) เป็นปฏิกิริยาปฏิกิริยาที่ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารตั้งต้นหนึ่งชนิดยกกำลังสอง หรือขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารตั้งต้นสองชนิด ซึ่งแต่ละชนิดยกกำลังหนึ่งหรืออาจเป็นความเข้มข้นของสาร 3 ชนิดก็ได้ แต่อัตราการเกิดปฏิกิริยาขึ้นกับสารตั้งต้นเพียง 2 ชนิด โดยรูปแบบของอัตราการเกิดปฏิกิริยาอาจเป็นดังสมการที่ 2.9, 2.10 หรือ 2.11 และวิเคราะห์อันดับของปฏิกิริยาได้ จากการอินทิเกรตในรูปแบบของสมการที่ 2.12 ซึ่งหน่วยของปฏิกิริยาอันดับสองอาจเป็นต่อความเข้มข้นต่อวินาที ($mole^{-1}.L.sec^{-1}$)

$$r = k_2[A]^2 \qquad \text{(สมการที่ 2.9)}$$

$$r = k_2[A][B] \simeq k_2[A]^2 \qquad \text{(สมการที่ 2.10)}$$

$$r = k_2[A][B] \qquad \text{(สมการที่ 2.11)}$$

$$1/A_t - 1/A_0 = kt \qquad \text{(สมการที่ 2.12)}$$

2.4.3 ผลของอุณหภูมิต่อการเกิดปฏิกิริยา

เมื่อพิจารณาปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีต่ออายุการเก็บรักษานั้น อุณหภูมิจะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่อนข้างมาก โดยที่อุณหภูมิต่ำ ปฏิกิริยาจะดำเนินไปอย่างช้าๆ และเมื่อเพิ่มอุณหภูมิการเก็บรักษาปฏิกิริยาจะดำเนินได้เร็วกว่า ดังนั้น ในการศึกษาอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ มักใช้อุณหภูมิเป็นปัจจัยหลัก ซึ่งการอธิบายการเปลี่ยนแปลงของปฏิกิริยาหรือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คุณภาพของอาหารด้วยแบบจำลอง จึงมักเกี่ยวข้องกับผลของอุณหภูมิเป็นส่วนใหญ่ โดยมีรูปแบบดังนี้

2.4.3.1. โมเดลเชิงเส้นตรง (Linear model)

เป็นโมเดลที่อธิบายอัตราการเปลี่ยนแปลงปฏิกิริยาที่ขึ้นกับอุณหภูมิ ดังสมการที่ 2.13

$$k = k_0 e^{b(T-T0)} \qquad \text{(สมการที่ 2.13)}$$

โดยที่ k_0 = อัตราที่อุณหภูมิ T0 (องศาเซลเซียส)

k = อัตราที่อุณหภูมิ T (องศาเซลเซียส)

b = ค่าคงที่คุณลักษณะของปฏิกิริยา

e = 2.7183

2.4.3.2 โมเดลของอาร์รีเนียส (Arrhenius model)

สมการของอาร์รีเนียสเป็นสมการที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย โดยมีรูปแบบความสัมพันธ์ดังสมการที่ 2.14

$$k = k_0 e^{-Ea/RT} \qquad \text{(สมการที่ 2.14)}$$

โดยที่ k_0 = ค่าคงที่ โดยมักเรียกว่า Pre-exponential หรือ Frequency factor

k = ค่าคงที่อัตราของปฏิกิริยา

E_A = พลังงานก่อกัมมันต์ (จูล/โมล)

R = ค่าคงที่ของก๊าซ (8.314 จูล.โมล$^{-1}$.องศาเคลวิน$^{-1}$)

T = อุณหภูมิสัมบูรณ์ (องศาเคลวิน)

อย่างไรก็ตามหน่วยของค่าคงที่ของก๊าซอาจจะใช้เป็น 1.9869 แคลอรี่.โมล$^{-1}$.องศาเคลวิน$^{-1}$ ก็ได้ การนำไปใช้จึงต้องคำนวณฐานของหน่วยเดียวกัน โดยความสัมพันธ์มีรูปแบบเป็น exponential จึงสามารถแปลงสมการให้อยู่ในรูปของสมการเส้นตรง เพื่อให้สามารถนำไปใช้งานได้ง่ายขึ้น ดังสมการที่ 2.15

$$lnk = lnk_0 - E_A/RT \qquad \text{(สมการที่ 2.15)}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยค่า E_A จะบ่งชี้ว่าปฏิกิริยามีความไวต่ออุณหภูมิมากหรือน้อยอย่างไร ในบางกรณี ถ้าค่า E_A สูง หมายถึงปฏิกิริยานี้ขึ้นกับอุณหภูมิอย่างมาก หรือที่อุณหภูมิสูงจะเกิดปฏิกิริยาอย่างรวดเร็ว ในขณะที่อุณหภูมิต่ำ จะเกิดปฏิกิริยาได้ช้า

2.5 ปัจจัยที่มีผลต่อความคงตัวของไอโอดีนในเกลือเสริมไอโอดีน

จากความจำเป็นของไอโอดีนต่อร่างกายของสิ่งมีชีวิตดังที่กล่าวไว้ข้างต้น ปริมาณไอโอดีนคงเหลือในเกลือเสริมไอโอดีนจึงมีความสำคัญอย่างมาก ทั้งนี้เพื่อให้ผู้บริโภคเกลือเสริมไอโอดีนได้รับไอโอดีนในปริมาณที่เพียงพอต่อความต้องการของร่างกาย และเพื่อให้เป็นไปตามกฎหมายกำหนด จึงมีรายงานการวิจัยที่เกี่ยวข้องกับปัจจัยที่มีผลต่อความคงตัวของไอโอดีนในเกลือเสริมไอโอดีนดังนี้

Kelly (1953) สรุปปัจจัยที่มีผลต่อความคงตัวของไอโอดีนในเกลือเสริมไอโอดีนจำนวน 7 ปัจจัย ประกอบด้วยความชื้นของเกลือ และ ความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ แสงและความร้อน ความบริสุทธิ์ของเกลือ ความเป็นกรดและด่างของเกลือที่ได้จากการผสม และสารที่ใช้ในการเสริมไอโอดีนในเกลือเสริมไอโอดีน ต่อมา Shi (2004) รายงานว่า สารกลุ่มรีดิวซิง (Reducing agent) มีบทบาทสำคัญต่อความคงตัวของไอโอดีนในเกลือเสริมไอโอดีน โดยสารกลุ่มรีดิวซิงจะรีดิวซ์โพแตสเซียมไอโอเดตในเกลือเสริมไอโอดีน ให้กลายเป็นไอโอดีน ซึ่งมีความคงตัวน้อยกว่า

ปิยะฉัตร มาลัยวงศ์ (2543) กล่าวว่า การปรุงอาหาร ไม่มีผลต่อความคงตัวของเกลือเสริมไอโอดีน แต่ภาชนะที่ใช้ในการปรุงอาหารและองค์ประกอบอื่นๆ ในอาหาร ได้แก่ กรดแอสคอบิค และ โซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ เป็นต้น มีผลต่อความคงตัวของไอโอดีนในอาหาร

นอกจากนี้ยังมีการทดลองเพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อความคงตัวของไอโอดีนในเกลือเสริมไอโอดีน ซึ่งสามารถสรุปออกมาเป็นหัวข้อได้ดังนี้

2.5.1 ความชื้น

Diosady *et al.* (1997) ได้ศึกษาผลของความชื้นสัมพัทธ์ต่อปริมาณของไอโอดีนในเกลือเสริมไอโอดีนในระหว่างการเก็บรักษา 12 เดือนที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส โดยเก็บตัวอย่างที่ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 60 และ 100 พบว่า เมื่อเวลาผ่านไป 6 เดือน ที่ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 60 มีการสูญเสียปริมาณไอโอดีนในเกลือเสริมไอโอดีนตั้งแต่ร้อยละ 0-20 และที่ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 100 มีการสูญเสียปริมาณไอโอดีนในเกลือเสริมไอโอดีนถึงร้อยละ 98.5 สอดคล้องกับผลการทดลองของ Waszkowiak and Buszka (2008) ที่ได้ทดลองเก็บเกลือเสริมไอโอดีนในภาชนะปิด ที่ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 60 และ 90 เป็นเวลา 150 วัน พบว่าการเก็บเกลือเสริมไอโอดีนในสภาวะที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความชื้นสัมพัทธ์สูง ทำให้การสูญเสียปริมาณไอโอดีนในเกลือเสริมไอโอดีนเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ

2.5.2 บรรจุภัณฑ์

Diosady and Venkatesh (1997) ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างชนิดของบรรจุภัณฑ์กับความคงตัวของไอโอดีนในเกลือเสริมไอโอดีน โดยการเก็บเกลือเสริมไอโอดีนในบรรจุภัณฑ์ชนิด High density polyethylene (HDPE) และ Low density polyethylene (LDPE) ที่ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 60 และ 100 พบว่า เกลือเสริมไอโอดีนที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์ชนิด HDPE มีปริมาณการสูญเสียไอโอดีนมากกว่าเกลือเสริมไอโอดีนที่บรรจุในบรรจุภัณฑ์ชนิด LDPE ภายใต้การเก็บรักษาที่ความชื้นสัมพัทธ์เดียวกัน นอกจากนี้ บรรจุภัณฑ์ที่อากาศสามารถซึมผ่านได้ ก็มีผลต่อการสูญเสียไอโอดีนในเกลือเสริมไอโอดีนเช่นกัน โดย Waszkowiak and Buszka (2008) ทำการทดลองเก็บเกลือเสริมไอโอดีนในภาชนะที่ยอมและไม่ยอมให้อากาศผ่าน ที่ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 60 เป็นเวลา 150 วัน พบว่า ภาชนะที่ยอมให้อากาศผ่านได้ มีการสูญเสียปริมาณไอโอดีนในเกลือเสริมไอโอดีนมากกว่าภาชนะที่ไม่ยอมให้อากาศผ่าน

2.5.3 แสง อุณหภูมิและความร้อน

Bhatnagar *et al.* (1997) ศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิต่อปริมาณคงเหลือของไอโอดีนในเกลือเสริมไอโอดีน โดยการให้ความร้อนต่อเกลือเสริมไอโอดีนที่อุณหภูมิ 80 – 350 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที พบว่าอุณหภูมิมีผลต่อการสูญเสียปริมาณไอโอดีนในเกลือเสริมไอโอดีน กล่าวคือ เมื่ออุณหภูมิที่ใช้สูงขึ้น ทำให้การสูญเสียปริมาณไอโอดีนในเกลือเสริมไอโอดีนมีมากขึ้น โดยการให้ความร้อนต่อเกลือเสริมไอโอดีนที่อุณหภูมิ 350 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 30 นาที มีปริมาณการสูญเสียไอโอดีนในตัวอย่างที่ 1 และ 2 เท่ากับร้อยละ 13.9 และ 18.5 ตามลำดับ นอกจากอุณหภูมิแล้วแสงแดดก็มีผลต่อการสูญเสียเช่นกัน โดย Johnson and herrington (1927) ศึกษาผลของแสงแดดต่อความคงตัวของเกลือเสริมไอโอดีน ที่ได้จากการผสมเกลือกับสารละลายไอโอไดด์ 3 ตัวอย่าง และจากการผสมเกลือกับสารละลายไอโอเดต 1 ตัวอย่างบนจานคริสตัลเปิด ที่วางไว้บริเวณใต้หน้าต่างที่ได้รับแสงแดด พบว่า เมื่อเวลาผ่านไป 63 สัปดาห์ เกลือเสริมไอโอดีนที่ได้จากการผสมเกลือกับสารละลายไอโอไดด์มีการสูญเสียปริมาณไอโอดีนร้อยละ 73, 90 และ 24 ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.4 ความบริสุทธิ์ของเกลือ

Shi (2004) ทดลองผสมสารละลายโซเดียมไฮโปรคลอไรด์ 84 ลิตร (ประกอบด้วยโซเดียมไฮโปคลอไรท์ และ โซเดียมไฮดรอกไซด์ 110 และ 20 กรัม/ลิตร ตามลำดับ) กับเกลือ 151.7 ตัน จากนั้นบรรจุเกลือที่ได้ในถุงโพลิเอธิลีน (ประมาณ 15 กิโลกรัม/ถุง) จากการทดลองพบว่าในสภาวะที่มีการให้ความร้อนที่ 120 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 ชั่วโมงและการเก็บในสภาพชื้น (ใกล้สระน้ำ) เป็นเวลา 18 เดือน ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณของไอโอดีนในเกลือเสริมไอโอดีน

2.5.5 สารที่ใช้เสริมไอโอดีนในเกลือเสริมไอโอดีน

Waszkowiak and Buszka (2008) ศึกษาความคงตัวของไอโอดีนต่อการให้ความร้อนโดยการย่าง และเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ (4 และ -18 องศาเซลเซียส) ในผลิตภัณฑ์ลูกชิ้นเนื้อ (Meatballs) ซึ่งจากการทดลองพบว่า การใช้เกลือเสริมไอโอดีนด้วยโพแตสเซียมไอโอเดตมีความเสถียรมากกว่าการใช้เกลือเสริมไอโอดีนด้วยโพแตสเซียมไอโอไดด์ ซึ่งอาจเกิดจากโพแตสเซียมไอโอเดตจะกลายเป็นโพแตสเซียมไอโอไดด์ และกลายเป็นไอโอดีนอิสระซึ่งไม่มีความคงตัว

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จันทรกานต์ ทองเปลว (2542) ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณไอโอดีน และความสม่ำเสมอในกระบวนการผลิตเกลือเสริมไอโอดีนในผู้ผลิต 53 รายใน 15 จังหวัด ระหว่าง เดือนสิงหาคม พ.ศ. 2540 ถึงเดือนมีนาคม พ.ศ. 2541 พบว่า ร้อยละ 80 ของผู้ผลิตเกลือเสริมไอโอดีนในประเทศเป็นผู้ผลิตรายเล็ก ที่มีกำลังการผลิตน้อยกว่า 100 ตันต่อเดือน โดยร้อยละ 90 ใช้วิธีการผสมไอโอดีนในเกลือแบบผสมทีละครั้ง และร้อยละ 50 ของจำนวนนี้ ใช้วิธีการผสมในกระบะ กะละมัง และกองเกลือบนพื้น นอกจากนี้ยังพบว่า ปริมาณความชื้นและขนาดของเม็ดเกลือ ไม่มีผลต่อปริมาณไอโอดีนในวิธีการผสมส่วนใหญ่ สำหรับสัดส่วนของสารละลายไอโอดีนต่อเกลือ ก็เป็นอีกปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณไอโอดีน การผสมด้วยเครื่องผสมปูนดัดแปลงของกระทรวงสาธารณสุข เครื่องผสมปูนดัดแปลงของวิทยาลัยเทคนิคเชียงใหม่ และการใช้กระบะ มีปริมาณไอโอดีนในเกลือเสริมไอโอดีนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) อีกทั้งยังพบว่า ความผิดพลาดในการเตรียมน้ำยาไอโอดีนและปริมาณสารละลายไอโอดีนที่ใช้ต่อปริมาณเกลือ เป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อปริมาณไอโอดีนในวิธีการผสมทุกวิธี นอกเหนือจากนี้ ปัจจัยอื่น ๆ ที่มีผลต่อปริมาณไอโอดีน ได้แก่ การกระจายตัวของสารละลายไอโอดีนและความเอาใจใส่ของผู้ผลิตในขั้นตอนการผลิต ค่ามัธยฐานของปริมาณไอโอดีนในทุกวิธีการเสริมไอโอดีนในเกลือมีค่าน้อยกว่า 50 พีพีเอ็ม และร้อยละ 20 ของตัวอย่างเกลือ มีปริมาณไอโอดีนน้อยกว่า 100 พีพีเอ็ม สำหรับค่าสัมประสิทธิ์ความผันแปร(%CV) นั้นทุกวิธีมีความแปรปรวนของปริมาณไอโอดีนสูง นอกจากนี้ ปัจจัยในเรื่องวิธีการผสม เป็นปัจจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำคัญที่มีผลต่อความสม่ำเสมอของไอโอดีนในเกลือ โดยในโรงงาน ที่มีกำลังผลิตขนาดใหญ่ 1 แห่ง และในวิธีการเสริมไอโอดีนในเกลือแบบกะละมัง มีค่าสัมประสิทธิ์ความผันแปรต่ำ

รัชดา พวงจันทน์แดง (2555) ศึกษาประสิทธิภาพของเครื่องต้นแบบในการผสมเกลือเสริมไอโอดีนแบบริบบอนคู่ด้วยหัวฉีดสเปรย์ โดยวางแผนการทดลองแบบแฟคตอเรียลสุ่มสมบูรณ์ ในการผสมที่สภาวะต่างๆ คือความชื้นเกลือ 3 ระดับ (ร้อยละ 2.5, 3.5 และ 4.5) ความเร็วในการผสม 2 ระดับ (35 และ 45 เฮิร์ต) อุณหภูมิการผสม 2 ระดับ (อุณหภูมิห้อง และ 40 องศาเซลเซียส) และระยะเวลาการผสม 6 ช่วงเวลา (3, 6, 9, 12, 15 และ 18 นาที) ที่มีผลต่อการกระจายตัวของปริมาณไอโอดีน โดยวิเคราะห์ปริมาณไอโอดีนจากตัวอย่างเกลือในถังผสมที่ตำแหน่งต่างๆ จำนวน 5 ตำแหน่ง พบว่ามีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) อยู่ระหว่าง $\pm$ 0.49 ถึง $\pm$ 1.46 เมื่อใช้เวลาในการผสมนานกว่า 3 นาที มีค่าสัมประสิทธิความผันแปร (%CV) ในช่วงร้อยละ 1.53 ถึง 4.06 เท่านั้น ซึ่งต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานที่กฎหมายใช้ในการตรวจสอบประสิทธิภาพการผสม คือ SD ไม่เกิน $\pm$10 และ %CV ไม่เกิน 20 อยู่มาก แสดงว่าเครื่องผสมต้นแบบนี้มีประสิทธิภาพสูงมากในการกระจายตัวของไอโอดีนในเกลือเสริมไอโอดีนได้อย่างทั่วถึงและสม่ำเสมอในทุกสภาวะการผสมที่ศึกษา และจากการแก้ไขประกาศกระทรวงสาธารณสุข เรื่อง เกลือบริโภค ฉบับที่ 153 พ.ศ. 2537 เป็น เกลือบริโภค พ.ศ. 2553 และ พ.ศ. 2554 ตามลำดับ ที่เน้นให้ผู้ผลิตเกลือบริโภคที่ใช้เป็นอาหารหรือส่วนผสมหรือส่วนประกอบของอาหาร ต้องดำเนินการขอเลขสารบบอาหาร และแสดงบนฉลากเกลือบริโภคให้ชัดเจน โดยผู้ผลิตต้องปฏิบัติตามข้อกำหนดการขออนุญาตสถานที่ผลิตและการขออนุญาตผลิตภัณฑ์ ซึ่งต้องมีปริมาณไอโอดีนอยู่ระหว่าง 20 – 40 มิลลิกรัมต่อเกลือบริโภค 1 กิโลกรัม จึงได้สร้างคู่มือเพื่อใช้เป็นแนวทางในการควบคุมคุณภาพเกลือบริโภคเสริมไอโอดีนให้ได้มาตรฐาน ประกอบด้วย ขั้นตอนการขอเลขสารบบอาหาร แนวทางการตรวจสอบและการควบคุมสถานที่ผลิต การควบคุมคุณภาพ การจัดทำแผนการควบคุมคุณภาพวัตถุดิบ กระบวนการผลิตและผลิตภัณฑ์เกลือบริโภคเสริมไอโอดีน

เอมวดี เกียรติศิริ (2541) รายงานผลิตภัณฑ์อาหาร 4 ประเภท ที่ใช้เกลือทะเลและเกลือสินเธาว์ ทั้งแบบเกลือไม่เสริม และ เสริมไอโอดีน รวม 4 ชนิด ตามวิธีการถนอมรักษาแบบพื้นบ้าน โดยวิเคราะห์ปริมาณไอโอดีนในไข่เค็มและเนื้อเค็มที่ไม่ผ่านการปรุง ปรุงสุกแล้ว ผักเสี้ยนดอง และผักกาดดองเปรี้ยว ที่อายุการเก็บต่างๆ และพบว่า ไข่เค็มและเนื้อเค็มที่ไม่ผ่านการปรุง ที่วันแรกของการเก็บถนอม มีปริมาณไอโอดีนสูงที่สุด ปริมาณไอโอดีนในไข่เค็มที่ต้มสุกและเนื้อเค็มที่ทอด มีปริมาณน้อยกว่าที่ยังไม่ผ่านการปรุงระหว่างร้อยละ 9.1-14.8 และร้อยละ 6.7-17.1 ตามลำดับ และลดลงเป็นลำดับในระหว่างการเก็บรักษาที่มากขึ้น ไข่เค็มที่อายุการเก็บ 28 วัน และ เนื้อเค็มที่อายุการเก็บ 7 วัน เริ่มมีการเน่าเสีย ปริมาณไอโอดีนในผักดองทั้ง 2 ชนิด จะเพิ่มขึ้นตามอายุการเก็บรักษาในน้ำดอง ในขณะที่น้ำดองของผักดองทั้ง 2 ชนิด มีปริมาณไอโอดีนลดลงตามลำดับ และเริ่ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มีการเน่าเสียที่อายุการเก็บ 28 วัน โดยผลิตภัณฑ์อาหารทั้ง 4 ประเภทที่ใช้เกลือสินเธาว์เสริมไอโอดีน จะมีปริมาณไอโอดีนคงอยู่มากกว่าผลิตภัณฑ์ ที่ใช้เกลือทะเลเสริมไอโอดีน เกลือทะเล และเกลือสินเธาว์ตามลำดับ คะแนนการยอมรับโดยรวมของผลิตภัณฑ์อาหารที่ใช้เกลือเสริมไอโอดีน อยู่ ระหว่าง "ชอบเล็กน้อย" และ "ชอบปานกลาง" ผู้วิจัยสรุปผลการศึกษาว่า เกลือเสริมไอโอดีนสามารถใช้ในการถนอมอาหารทั้ง 4 ประเภทนี้ โดยเปลี่ยนแปลงคุณภาพของอาหารหรือการยอมรับในผลิตภัณฑ์ เมื่อเปรียบเทียบกับ เกลือไม่เสริมไอโอดีน

ฉัชนลิน เจริญจิตร์ (2556) ศึกษาการกระจายตัวในการผสมเกลือเสริมไอโอดีนของเครื่องผสมเกลือเสริมไอโอดีนชนิดริบบอนคู่ต้นแบบ โดยการเติมสารละลายโพแตสเซียมไอโอเดตลงไปในเกลือป่นด้วยวิธีการหยดและวิเคราะห์การกระจายตัวของไอโอดีนในเกลือป่น โดยกำหนดปัจจัยในการศึกษาคือ อุณหภูมิ (50,60และ 70 องศาเซลเซียส) ความเร็วรอบในการผสม (25, 35 และ 45 rpm) และ ระยะเวลาที่ใช้ในการผสม (4, 8, 12 และ16 นาที) ทำการสุ่มเก็บตัวอย่างเกลือในตำแหน่งต่างๆ จำนวน 5 ตำแหน่งของถังผสมผลการทดลองพบว่าทุกๆ สภาวะในการผสมมีผลต่อการกระจายตัวของไอโอดีนในเกลือบริโภค โดยระยะเวลาและอุณหภูมิในการผสมทำให้การกระจายตัวของไอโอดีนในเกลือบริโภคดีขึ้น สภาวะที่เหมาะสมในการผสมสารละลายไอโอดีนและเกลือบริโภค คือ ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบ 25 rpm เป็นระยะเวลา 12 นาที สำหรับการศึกษาความคงตัวของเกลือบริโภคเสริมไอโอดีนในระหว่างการเก็บรักษาโดยวิเคราะห์ปริมาณไอโอดีนในเกลือ โดยกำหนดปัจจัยในการเก็บรักษาเป็นอุณหภูมิ3 ระดับ (50,60และ 70 องศาเซลเซียส) โดยเปรียบเทียบกับอุณหภูมิห้อง การเปิด-ปิดถุงเก็บ และระยะเวลาในการเก็บรักษาทุกๆ 2 สัปดาห์เป็นเวลา 6 เดือนพบว่าการเปลี่ยนแปลงปริมาณไอโอดีนด้วยวิธีการเก็บรักษาแบบเปิดถุงและปิดถุงมีค่าความชันในแต่ละอุณหภูมิที่แตกต่างกันโดยแบบเปิดถุง มีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงปริมาณไอโอดีนสูงกว่าแบบปิดถุง และศึกษาอัตราการเกิดปฏิกิริยา ของการเปลี่ยนแปลงปริมาณไอโอดีนของเกลือเสริมไอโอดีน โดยวัดจากปริมาณไอโอดีนที่ลดลงที่อุณหภูมิเร่งระดับต่างๆ (อุณหภูมิห้อง, 50 ,60 และ 70 องศาเซลเซียส) พบว่าที่อุณหภูมิ 60 และ 70 องศาเซลเซียสปฏิกิริยาอันดับหนึ่งมีค่าความสัมพันธ์ r^2มากที่สุด และตามประกาศกระทรวงสาธารณสุขกำหนดปริมาณไอโอดีนในเกลือบริโภคให้มีค่าไม่น้อยกว่า 20 พีพีเอ็ม ดังนั้นจึงสามารถหาอายุการเก็บที่สภาวะเร่งที่อุณหภูมิต่างๆ โดยใช้สภาวะการเก็บเกลือแบบเปิดพบว่าที่อุณหภูมิเร่ง 50 องศาเซลเซียสจะสามารถเก็บได้ 19 สัปดาห์, ที่อุณหภูมิเร่ง 60 องศาเซลเซียสจะสามารถเก็บได้ 17 สัปดาห์, ที่อุณหภูมิเร่ง 70 องศาเซลเซียสจะสามารถเก็บได้ 9 สัปดาห์ ซึ่งเทียบได้กับเกลือป่นเสริมไอโอดีนในปัจจุบันมีอายุการเก็บ 5 ปี ที่อุณหภูมิห้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
วิธีดำเนินการทดลอง

3.1 อุปกรณ์

3.1.1 วัตถุดิบ

เกลือเม็ดขนาด 5-10 มิลลิเมตร	บริษัทเพชรสาคร ประเทศไทย
โพแตสเซียมไอโอเดต (KIO_3)	Calibre ประเทศอินเดีย

3.1.2 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

โพแตสเซียมไอโอไดด์ (KI)	Merck ประเทศเยอรมนี
กรดซัลฟิวริก (H_2SO_4)	Merck ประเทศเยอรมนี
โซเดียมไธโอซัลเฟต ($Na_2S_2O_3.5H_2O$)	Merck ประเทศเยอรมนี
สตาร์ช (Starch)	Merck ประเทศเยอรมนี

3.1.3 เครื่องมือและอุปกรณ์

เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง	SartoriusTE214S ประเทศเยอรมนี
เครื่องชั่ง 2 ตำแหน่ง	Metter Toledo PE3000 ประเทศสวิตเซอร์แลนด์
ตู้ควบคุมอุณหภูมิ	Memmert UFB400 ประเทศเยอรมนี
เครื่องปิดผนึกถุง	Champ PFS-300 ประเทศไทย
เครื่องแก้ว	Pyrex ประเทศเยอรมนี
ถุงโพลีพอพิลีน (Polypropylene)	บริษัท พ.ศิริพลาสติก ประเทศไทย
ถุง HDPE	บริษัท พ.ศิริพลาสติก ประเทศไทย
เครื่องผสมเกลือเม็ดเสริมไอโอดีน (ต้นแบบ)	คณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ประเทศไทย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 วิธีการทดลอง

3.2.1 ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการกระจายตัวของไอโอดีนในเกลือเม็ด

3.2.1.1 เครื่องผสมเกลือเม็ดเสริมไอโอดีน (ต้นแบบ)

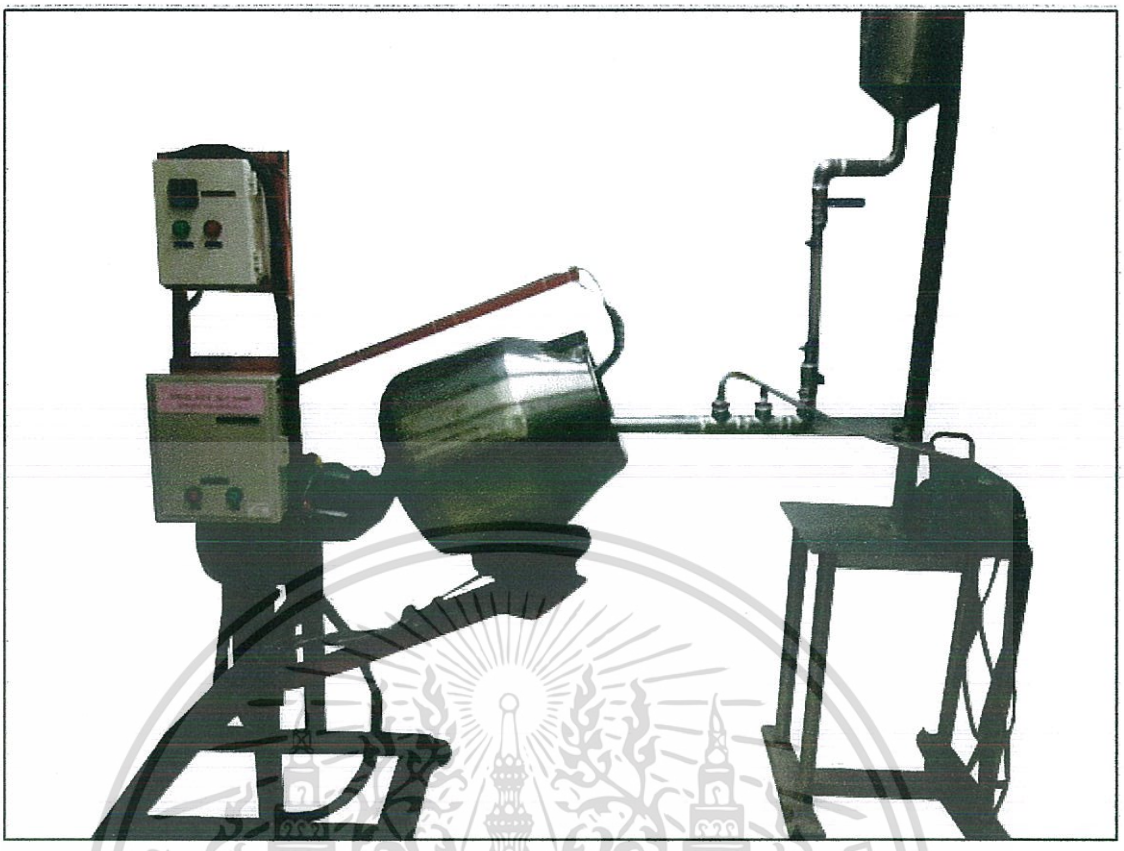
เครื่องผสมเกลือเม็ดเสริมไอโอดีน (ต้นแบบ) เป็นเครื่องโม่ผสม ที่ใช้หลักการสเปรย์สารละลายไอโอดีนลงในเครื่องผสม ออกแบบและพัฒนาโดยสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ซึ่งได้รับทุนสนับสนุนจากองค์การทุนเพื่อเด็กแห่งสหประชาชาติ (หรือ ยูนิเซฟ) โดยเครื่องผสมเกลือเม็ดเสริมไอโอดีน (ต้นแบบ) ประกอบด้วยส่วนประกอบ 3 ส่วน ได้แก่ ชุดถังผสม ชุดควบคุมการเติมสารละลายไอโอดีน และชุดควบคุมระบบให้ความร้อนกับตัวถังผสม ดังรูปที่ 3.1

- ชุดถังผสม ผลิตจากสแตนเลส เบอร์ 304 มีลักษณะเป็นถังทรงกระบอกที่มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 50 เซนติเมตร บริเวณปากถังเรียวเคบมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 30 เซนติเมตร (รูปที่ 3.2) สามารถผสมเกลือได้ครั้งละ 10-20 กิโลกรัม ภายในประกอบด้วยใบผสมที่มีลักษณะเป็นครีบ 2 ใบทำมุม 15 องศากับถังผสม ติดอยู่คนละด้านกับถังผสม ทำหน้าที่ในการคลุกเคล้าสารละลายไอโอดีนและเกลือเม็ด ถังผสมขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ขนาด 1 แรงม้า และควบคุมความเร็วรอบของถังผสมด้วยอินเวอร์เตอร์ ยี่ห้อ Mitsubishi รุ่น Freqrol – S500

- ชุดควบคุมการเติมสารละลายไอโอดีน ประกอบด้วยถังสแตนเลสสำหรับบรรจุสารละลายไอโอดีน ท่อลำเลียงสารละลายใช้เป็นตัวกำหนดปริมาณของสารละลายไอโอดีนที่จะสเปรย์ลงในถังผสม มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.5 เซนติเมตร ยาว 40 เซนติเมตร และหัวฉีดแบบเกลียวที่มีรูเปิด 1 มิลลิเมตร โดยมีปั๊มยี่ห้อ ABM รุ่น 4EKF56CX-4 เป็นตัวฉีดสารละลายไอโอดีนเข้าสู่ถังผสม (รูปที่ 3.3)

- ชุดควบคุมระบบให้ความร้อนกับตัวถังผสม ประกอบด้วยหัวจ่ายไฟรุ่น KB5 สำหรับให้ความร้อนบริเวณถังผสม ตู้ควบคุมอุณหภูมิทำหน้าที่ในการควบคุมอุณหภูมิภายในถังผสมโดยการเปิด – ปิดวาล์วแก๊ส และหัววัดอุณหภูมิชนิด Pt 100 Ω ติดตั้งบริเวณปากถังด้านบนเพื่อใช้ในการวัดอุณหภูมิภายในถังผสม

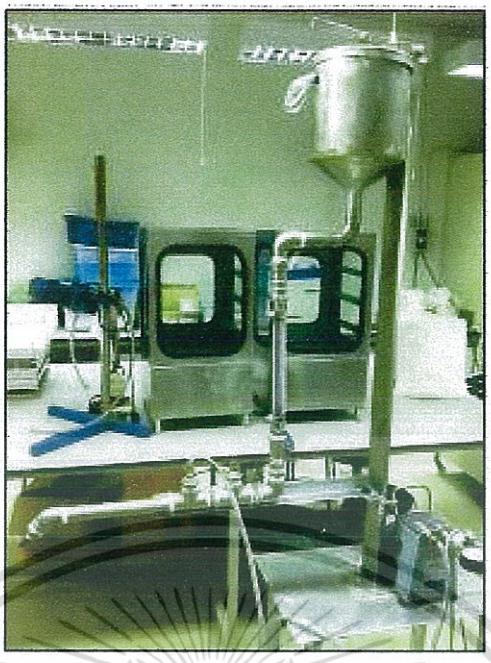
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



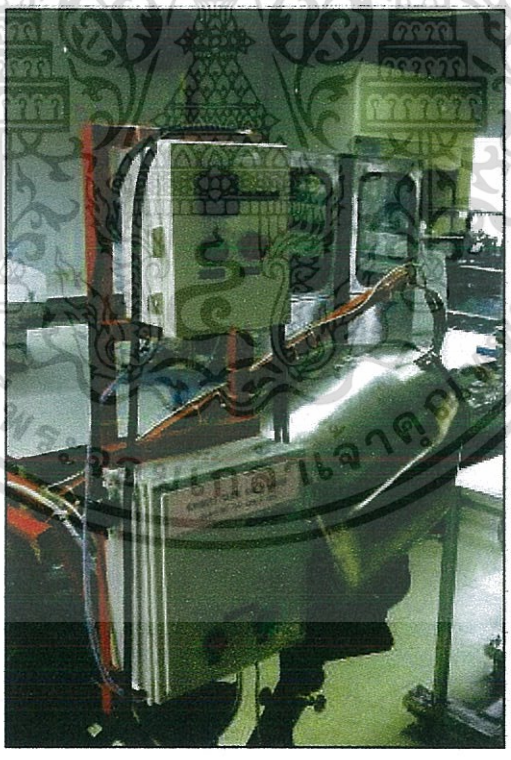
รูปที่ 3.1 เครื่องผสมเกลือเม็ดเสริมไอโอดีน (ต้นแบบ)

รูปที่ 3.2 ชุดถังผสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 ชุดควบคุมการเติมสารละลายไอโอดีน



รูปที่ 3.4 ชุดควบคุมระบบให้ความร้อนกับตัวถังผสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.1.2 การเตรียมตัวอย่างเกลือเม็ด

นำเกลือเม็ดที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 5-10 มิลลิเมตรมาวิเคราะห์ปริมาณความชื้นและปริมาณไอโอดีนเริ่มต้นดังนี้

- การวิเคราะห์หาความชื้น (มอก.2085-2544) ตามข้อ 3.2.1.5

- การวิเคราะห์ปริมาณไอโอดีนด้วยวิธีไตเตรชันตามวิธีของ AOAC (1984) ตามข้อ 3.2.1.6

3.2.1.3 การเตรียมสารละลายโพแตสเซียมไอโอเดต

ชั่งโพแตสเซียมไอโอเดต (KIO_3) น้ำหนัก 6.36 กรัม ละลายด้วยน้ำกลั่น จากนั้นปรับปริมาตรในขวดปรับปริมาตรขนาด 1 ลิตร แล้วเขย่าให้เข้ากันเพื่อให้ได้สารละลายโพแตสเซียมไอโอเดตเข้มข้นร้อยละ 0.6360 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร

นำสารละลายโพแตสเซียมไอโอเดตบรรจุในท่อที่มีความจุ 158.44 มิลลิลิตร ต่อการผสมเกลือเม็ด 15 กิโลกรัมต่อครั้ง ทำให้ได้ ปริมาณไอโอดีนใน เกลือเม็ดเสริมไอโอดีน 40 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (พีพีเอ็ม)

3.2.1.4 ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการกระจายตัวของไอโอดีนในเกลือเม็ด

กำหนดสภาวะในการผสมดังนี้ อุณหภูมิที่ใช้ในการผสม 3 ระดับ (40, 50 และ 60 องศาเซลเซียส) ความเร็วรอบในการผสม 3 ระดับ (25, 35 และ 45 เฮิร์ต) และ ระยะเวลาที่ใช้ในการผสมรวม 16 นาที จากนั้นเก็บตัวอย่างทุกๆ 4 นาที ในตำแหน่งต่างๆ ที่กำหนดไว้ของเครื่องผสม ดังรูปที่ 3.5 จำนวน 5 ตำแหน่ง โดยสุ่มเก็บตัวอย่างเกลือ ตำแหน่งละ 300 กรัม บรรจุใส่ถุงโพลีพอพิลีน (Polypropylene) และปิดผนึกด้วยเครื่องปิดผนึก แล้วเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องและนำไปวิเคราะห์ปริมาณไอโอดีนและความชื้นภายใน 30 วันหลังจากทำการผสม

รูปที่ 3.5 ตำแหน่งการเก็บตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.1.5 การวิเคราะห์ปริมาณความชื้น (มอก.2085, 2544)

นำตัวอย่างเกลือเม็ดมาบดให้ละเอียด จากนั้นสุ่มชั่งตัวอย่างเกลือเม็ดที่บดแล้ว 5 กรัมด้วยเครื่องชั่ง 4 ตำแหน่งแล้วนำตัวอย่างไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 145 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง นำมาตั้งทิ้งไว้ให้เย็นในเดซิกเคเตอร์ แล้วจึงชั่งน้ำหนัก ทำการอบตัวอย่างอบซ้ำจนมีน้ำหนักคงที่ โดยปริมาณความชื้นสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 3.1

$$\text{ความชื้น ร้อยละ} = \frac{(M_1 - M_2)}{M_1} \times 100 \qquad \text{(สมการที่ 3.1)}$$

เมื่อ M_1 คือมวลของเกลือตัวอย่างก่อนอบ (กรัม)

M_2 คือมวลของเกลือตัวอย่างหลังอบ (กรัม)

3.2.1.6 การวิเคราะห์ปริมาณไอโอดีน

วิเคราะห์ปริมาณไอโอดีนด้วยวิธีไตเตรชันตามวิธีของ AOAC Official Methods of Analysis (1984) โดยการชั่งตัวอย่างเกลือเม็ดเสริมไอโอดีน 50 กรัมแล้วเจือจางด้วยน้ำกลั่นจนมีปริมาตร 250 มิลลิลิตร จากนั้นแบ่งสารละลายเกลือปริมาตร 50 มิลลิลิตรมาวิเคราะห์ โดยเติมกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 2 นอร์มอลจำนวน 1 มิลลิลิตรและโพแตสเซียมไอโอไดด์เข้มข้นร้อยละ 10 จำนวน 5 มิลลิลิตร เก็บสารละลายที่ได้ในที่มืดเป็นเวลา 10 นาที จากนั้นนำมาไตเตรตด้วยสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟตเข้มข้น 0.005 นอร์มอล โดยใช้น้ำแป้งเป็นอินดิเคเตอร์ ซึ่งปริมาณไอโอดีนคำนวณได้จากสมการที่ 3.2

$$\text{I (ppm)} = \frac{(0.005\text{N}\,Na_2S_2O_3 \times \text{Vol}\,Na_2S_2O_3\,(mL) \times 21.222\,(\text{g/eg I}) \times 250\,(mL))}{0.05\,(kg) \times 50\,(mL)} \qquad \text{(สมการที่ 3.2)}$$

3.2.1.7 การวิเคราะห์การกระจายตัวของสารละลายไอโอดีน

นำผลการวิเคราะห์ปริมาณไอโอดีนของเกลือแต่ละตำแหน่งของเครื่อง มาวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์ความผันแปร (Coefficient of variation, %CV) ตามสมการดังต่อไปนี้

$$\%CV = (SD/mean) \times 100 \qquad \text{(สมการที่ 3.3)}$$

เมื่อ SD คือค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

Mean คือค่าเฉลี่ย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.2 ศึกษาอายุการเก็บรักษาเกลือเม็ดเสริมไอโอดีนในสภาวะเร่ง

นำเกลือเม็ดเสริมไอโอดีนที่มีปริมาณไอโอดีน 40 พีพีเอ็ม จำนวน 300 กรัม บรรจุใส่ถุง HDPE และปิดผนึกแล้วนำไปเก็บในตู้ควบคุมอุณหภูมิที่อุณหภูมิ 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส และ สุ่มเก็บตัวอย่างทุก 2 สัปดาห์ เป็นเวลา 6 เดือน แล้ววิเคราะห์หาปริมาณไอโอดีนตามวิธีการในข้อ 3.2.1.6

ศึกษาอายุการเก็บรักษาเกลือเม็ดเสริมไอโอดีนด้วยโปรแกรม Microsoft Excel 2007 โดยการสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณไอโอดีนในเกลือเม็ดเสริมไอโอดีนกับเวลา เพื่อหาอัตราการสูญเสียปริมาณไอโอดีนในเกลือเม็ดเสริมไอโอดีนต่อเวลาและอันดับการเกิดปฏิกิริยา รวมทั้งสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ln k และ 1/T เพื่อคำนวณค่าพลังงานก่อกัมมันต์ของปฏิกิริยาจากสมการของ Arrhenius (สมการที่ 3.1)

$$lnk = lnk_0 - E_A / RT \qquad \text{(สมการที่ 4.1)}$$

ศึกษาอายุการเก็บรักษาเกลือเม็ดเสริมไอโอดีนที่อุณหภูมิต่างๆ โดยการนำอัตราการสูญเสียปริมาณไอโอดีนในเกลือเม็ดเสริมไอโอดีนต่อเวลาในการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่างๆ มาแทนค่าลงในสมการของปฏิกิริยาต่างๆ

3.2.3 การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

นำผลการวิเคราะห์ปริมาณความชื้นและปริมาณไอโอดีนจากการทดลองอย่างน้อย 2 ซ้ำ มาวิเคราะห์ทางสถิติเพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการกระจายตัวของไอโอดีนในเกลือเม็ดตามแผนการทดลองแบบ Factorial in Complete Randomized Design (3 x 3 x 4 x 5) โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test ที่ระดับความเชื่อมั่น $p>0.05$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลอง

4.1 ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการกระจายตัวของไอโอดีนในเกลือเม็ด

จากการศึกษาผลของปัจจัยการผสมที่มีผลต่อการกระจายตัวของไอโอดีนในเกลือเม็ด โดยผสมเกลือเม็ดและสารละลายโพแตสเซียมไอโอเดตด้วยเครื่องผสมเกลือเม็ดเสริมไอโอดีน (ต้นแบบ) ด้วยวิธีการสเปรย์สารละลายโพแตสเซียมไอโอเดตลงบนเกลือเม็ด 15 กิโลกรัม การทดลองนี้กำหนดสภาวะในการผสมดังนี้ อุณหภูมิในการผสม 3 ระดับ (40, 50 และ 60 องศาเซลเซียส) ความเร็วรอบในการผสม 3 ระดับ (25, 35 และ 45 เฮิร์ต) และ ระยะเวลาที่ใช้ในการผสม รวม 16 นาที โดยสุ่มเก็บตัวอย่างทุกๆ 4 นาที (4, 8, 12 และ 16 นาที) ในตำแหน่ง ที่กำหนดไว้ 5 ตำแหน่ง รวมจำนวนทั้งสิ้น 180 ตัวอย่าง นำตัวอย่างที่ได้ภายหลังจากการผสมที่สภาวะต่างๆ มาวิเคราะห์หาปริมาณไอโอดีนและปริมาณความชื้นในเกลือเม็ด ซึ่งจากการวิเคราะห์ปริมาณไอโอดีนเฉลี่ยและปริมาณความชื้นเฉลี่ยในเกลือเม็ดของทุกตำแหน่งในเครื่องผสม ให้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ปริมาณไอโอดีนเฉลี่ยและปริมาณความชื้นเฉลี่ยในเกลือเม็ดของทุกตำแหน่งในเครื่องผสมที่สภาวะผสมต่างๆ

อุณหภูมิ (°C)	ความเร็วรอบ (Hz)	เวลา (นาที)	ปริมาณไอโอดีน (ppm)	CV (%)	ปริมาณความชื้น (%)
40	25	4	38.30 ± 5.43	14.19	5.18 ± 0.75
		8	38.41 ± 2.62	6.82	4.75 ± 0.80
		12	37.36 ± 2.63	7.05	4.79 ± 0.68
		16	37.78 ± 2.49	6.58	4.59 ± 0.67
	35	4	38.35 ± 7.27	18.97	5.06 ± 1.15
		8	37.83 ± 4.57	12.07	4.68 ± 0.75
		12	38.24 ± 4.14	10.82	4.71 ± 0.92
		16	38.64 ± 4.30	11.14	4.70 ± 0.69
	45	4	37.01 ± 5.29	14.31	5.90 ± 1.06
		8	38.39 ± 5.26	13.71	5.63 ± 0.81
		12	37.08 ± 3.55	9.58	5.51 ± 0.81
		16	37.92 ± 3.38	8.91	5.40 ± 0.89

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ย ได้จากการคำนวณจากตำแหน่งการเก็บทั้ง 5 จุด ของถังผสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 (ต่อ) ปริมาณไอโอดีนเฉลี่ยและปริมาณความชื้นเฉลี่ยในเกลือเม็ดของทุกตำแหน่งในเครื่องผสมที่สภาวะผสมต่างๆ

อุณหภูมิ (°C)	ความเร็วรอบ (Hz)	เวลา (นาที)	ปริมาณไอโอดีน (ppm)	CV (%)	ปริมาณความชื้น (%)
50	25	4	38.47 ± 5.00	13.00	4.45 ± 1.39
		8	36.91 ± 1.96	5.30	4.57 ± 0.78
		12	37.13 ± 1.81	4.89	4.59 ± 0.92
		16	37.00 ± 1.69	4.56	4.12 ± 1.03
	35	4	39.99 ± 7.69	19.24	5.18 ± 1.09
		8	38.97 ± 4.69	12.03	5.00 ± 0.65
		12	38.49 ± 4.05	10.52	4.71 ± 0.61
		16	37.91 ± 3.26	8.61	4.10 ± 0.51
	45	4	38.25 ± 5.26	13.76	5.45 ± 1.10
		8	37.71 ± 4.54	12.04	4.96 ± 1.15
		12	38.07 ± 4.06	10.67	4.87 ± 1.31
		16	36.98 ± 2.87	7.76	4.36 ± 1.14
60	25	4	38.40 ± 8.10	21.11	5.17 ± 0.80
		8	37.46 ± 3.37	9.01	4.74 ± 0.54
		12	37.05 ± 2.84	7.67	4.36 ± 0.45
		16	36.76 ± 3.12	8.50	3.86 ± 0.32
	35	4	38.63 ± 5.51	14.27	6.27 ± 0.87
		8	37.62 ± 3.92	10.43	5.59 ± 0.76
		12	37.41 ± 3.88	10.38	5.42 ± 0.82
		16	37.73 ± 3.52	9.34	4.78 ± 0.70
	45	4	37.94 ± 5.77	15.20	5.04 ± 1.31
		8	37.52 ± 4.83	12.87	4.82 ± 1.17
		12	37.04 ± 3.52	9.50	4.62 ± 1.10
		16	36.93 ± 3.13	8.46	3.89 ± 0.89

<u>หมายเหตุ</u> ค่าเฉลี่ย ได้จากการคำนวณจากตำแหน่งการเก็บทั้ง 5 จุด ของถังผสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การผสมเกลือเม็ดและสารละลายโพเตสเซียมไอโอเดตนั้น เป็นการผสมของแข็งและของเหลว โดยสารละลายโพแตสเซียมไอโอเดตจะเกาะ (Adhesion) หรือเคลือบ (Coating) อยู่ตามรูพรุนที่ผิวของเกลือ (วิสิฐ จะวะสิต, 2553) ซึ่งจากการผสมที่สภาวะต่างๆ จะได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.1 เมื่อพิจารณาปริมาณไอโอดีนในเกลือเม็ดเฉลี่ยในถังผสมทั้ง 5 ตำแหน่ง พบว่า ปริมาณไอโอดีนเฉลี่ยในเกลือเม็ดที่ได้จากการผสมที่สภาวะการผสมต่างๆ มีค่าอยู่ระหว่าง 36.76 – 39.99 พีพีเอ็ม ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) อยู่ระหว่าง 1.69 – 8.10 พีพีเอ็ม และค่าสัมประสิทธิ์ความผันแปร (%CV) อยู่ระหว่าง 4.56 – 21.11 โดยเมื่อพิจารณาที่สภาวะการผสมหนึ่งๆ พบว่าเมื่อเพิ่มเวลาในการผสม มีผลทำให้ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานและค่าสัมประสิทธิ์ความผันแปรมีค่าลดลง เช่น การผสมที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบในการผสม 25 เฮิร์ต พบว่า ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานมีค่าลดลงจาก 5.00 เป็น 1.69 พีพีเอ็ม และค่าสัมประสิทธิ์ความผันแปรมีค่า ลดลงจากร้อยละ 13.00 เป็น 4.56 เมื่อเพิ่มระยะเวลาในการผสมจาก 4 เป็น 16 นาที แสดงให้เห็นว่า การเพิ่มระยะเวลาในการผสม จะทำให้การกระจายตัวของไอโอดีนในเกลือเม็ดดีขึ้น เนื่องจาก การเพิ่มเวลาในการผสมจะทำให้ใบกวนในถังผสมคลุกเคล้าสารละลายโพแตสเซียมไอโอเดตและเกลือเม็ดให้มีความสม่ำเสมอกันมากขึ้น นอกจากนี้ ยังพบว่า ค่าสัมประสิทธิ์ความผันแปรที่เวลาในการผสมเท่ากับหรือมากกว่า 8 นาที ทำให้ไอโอดีนในเกลือเสริมไอโอดีนกระจายตัวดี และมีค่าสัมประสิทธิ์ความผันแปรต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐาน ตามคู่มือพัฒนาผู้ประกอบการผลิตเกลือบริโภคเสริมไอโอดีนของสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา หรือ ไม่เกินร้อยละ 20 (สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา, 2553 ค) แสดงว่า การผลิตเกลือเม็ดบริโภคเสริมไอโอดีนด้วยเครื่องมือนี้ จะต้องใช้เวลาไม่ต่ำกวา 8 นาที ไอโอดีนจึงจะกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอตามเกณฑ์ที่กำหนด

ความชื้นในเกลือเม็ดเริ่มต้น มีค่าร้อยละ 2.38 เมื่อคำนวณสารละลายไอโอดีนที่เติมลงไป ทำให้เกลือมีความชื้นประมาณร้อยละ 3.44 ผลการทดลองพบว่า ปริมาณความชื้นเฉลี่ยในเกลือเม็ด มีค่าอยู่ระหว่างร้อยละ 3.86 – 6.27 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ระหว่างร้อยละ 0.32 – 1.39 ซึ่งจะเห็นได้ว่าปริมาณความชื้นที่ได้จากการทดลองมากกว่าความชื้นที่ประมาณการณ์ไว้ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากเวลาในการทดลองอยู่ในช่วงเดือนกรกฎาคม – สิงหาคม ซึ่งเป็นช่วงที่มีความชื้นสัมพัทธ์ในบรรยากาศสูง และเกลือมีความสามารถในการดูดความชื้น (กล้าณรงค์ ศรีรอต, 2521) จึงทำให้ปริมาณความชื้นในเกลือเม็ดที่ได้สูงกว่าค่าที่ประมาณไว้ โดยเมื่อพิจารณาที่ปริมาณความชื้นในเกลือเม็ดที่ได้จากการผสมที่สภาวะการผสมต่างๆ จะพบว่าเมื่อเวลาที่ใช้ในการผสมเพิ่มขึ้น จะทำให้ค่าเฉลี่ยปริมาณความชื้นในเกลือเม็ดมีค่าลดลง เช่น การผสมเกลือเม็ดและสารละลายโพแตสเซียมไอโอเดตที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบในการผสม 45 เฮิร์ต พบว่าการเพิ่มระยะเวลาในการผสมจาก 4 เป็น 16 นาที จะทำให้ปริมาณความชื้นเฉลี่ยในเกลือเม็ดมีค่าลดลงจากร้อยละ 5.45 เป็น 4.36 ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากการเพิ่มระยะเวลาในการผสมจะทำให้เกลือเม็ดได้รับความ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ร้อนนานขึ้น จึงทำให้ความชื้นบางส่วนระเหยออกไปจากเกลือเม็ด อย่างไรก็ตาม ตัวอย่างเกลือทุกตัวอย่างในทุกๆ สภาวะการผสม แม้ว่าปริมาณน้ำสูงกว่าเกลือเม็ดเริ่มต้น และสูงกว่าค่าที่ประมาณไว้ แต่ปริมาณความชื้นเฉลี่ยในเกลือเม็ดมีค่าไม่เกินร้อยละ 7.00 ซึ่งต่ำกว่าค่ามาตรฐานที่กำหนดไว้โดยสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2544)

จากผลการวิเคราะห์ปริมาณไอโอดีนในเกลือ สามารถกล่าวได้ว่า เครื่องผสมเกลือเม็ดเสริมไอโอดีน (ต้นแบบ) มีประสิทธิภาพในการผสมสารละลายไอโอดีนให้กระจายตัวบนเกลือเม็ดอย่างสม่ำเสมอ และมีค่าสัมประสิทธิ์ความผันแปรไม่เกินร้อยละ 20 ยกเว้นการผสมที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบ 25 เฮิร์ตเป็นเวลา 4 นาที ดังนั้นการผสมเกลือเม็ดและสารละลายไอโอดีนด้วยเครื่องผสมนี้ จึงควรใช้เวลามากกว่า 4 นาที และไม่เกิน 8 นาที จึงทำให้ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานและค่าสัมประสิทธิ์ความผันแปรมีค่าต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานที่กฎหมายใช้ในการตรวจสอบประสิทธิภาพการผสม นอกจากนี้ปริมาณความชื้นเฉลี่ยของเกลือเม็ดที่ได้ไม่เกินค่าที่มาตรฐานกำหนด

เมื่อนำผลที่ได้จากการทดลองทั้งหมดจำนวน 180 ทรีตเมนต์ (ตารางภาคผนวกที่ ข1 – ข9) มาวิเคราะห์ทางสถิติตามแผนการทดลองแบบ Factorial in CRD เพื่อหาอิทธิพลของปัจจัยแต่ละตัวและปัจจัยร่วมต่างๆ ต่อปริมาณไอโอดีนในเกลือเม็ดเสริมไอโอดีน ได้ผลดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของอิทธิพลของปัจจัยที่ศึกษา ต่อปริมาณไอโอดีนและความชื้นในเกลือเม็ดเสริมไอโอดีน

ปัจจัย		ปริมาณไอโอดีน (ppm)	ปริมาณความชื้น (%)
อุณหภูมิ (°C)	40	37.94 ± 4.39^{a}	5.07 ± 0.93^{a}
	50	37.99 ± 4.24^{a}	4.66 ± 1.06^{c}
	60	37.54 ± 4.46^{b}	4.88 ± 1.07^{b}
ความเร็ว (Hz)	25	37.59 ± 3.83^{b}	4.60 ± 0.87^{b}
	35	38.32 ± 4.86^{a}	5.01 ± 0.96^{a}
	45	37.57 ± 4.32^{b}	5.04 ± 1.19^{a}

ns : Non-significant difference ($p > 0.05$)

sig : Significant difference ($p \leq 0.05$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 (ต่อ) ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของอิทธิพลของปัจจัยที่ศึกษา ต่อปริมาณไอโอดีนและความชื้นในเกลือเม็ดเสริมไอโอดีน

ปัจจัย		ปริมาณไอโอดีน (ppm)	ปริมาณความชื้น (%)
ระยะเวลา (min)	4	38.37 ± 6.15^{a}	5.30 ± 1.17^{a}
	8	37.87 ± 4.06^{b}	4.97 ± 0.90^{b}
	12	37.54 ± 3.43^{c}	4.84 ± 0.93^{b}
	16	37.51 ± 3.14^{c}	4.42 ± 0.91^{c}
ตำแหน่ง	1	33.35 ± 1.92^{d}	4.16 ± 0.72^{d}
	2	34.47 ± 1.88^{c}	4.34 ± 0.75^{c}
	3	37.05 ± 1.50^{b}	4.69 ± 0.74^{b}
	4	42.08 ± 2.97^{a}	5.68 ± 0.98^{a}
	5	42.16 ± 2.88^{a}	5.95 ± 0.90^{a}
อุณหภูมิ x ความเร็ว		Sig	Sig
อุณหภูมิ x ระยะเวลา		Sig	Sig
อุณหภูมิ x ตำแหน่ง		Sig	Ns
ความเร็ว x ระยะเวลา		Ns	Ns
ความเร็ว x ตำแหน่ง		Sig	Sig
ระยะเวลา x ตำแหน่ง		Sig	Ns
อุณหภูมิ x ความเร็ว x ระยะเวลา		Ns	Ns
อุณหภูมิ x ความเร็ว x ตำแหน่ง		Sig	Ns
อุณหภูมิ x ระยะเวลา x ตำแหน่ง		Ns	Ns
ความเร็ว x ระยะเวลา x ตำแหน่ง		Sig	Ns
อุณหภูมิ x ความเร็ว x ระยะเวลา x ตำแหน่ง		Sig	Ns

ns : Non-significant difference ($p > 0.05$)

sig : Significant difference ($p \leq 0.05$)

จากตารางที่ 4.2 พบว่าปัจจัยต่างๆ อันได้แก่ อุณหภูมิในการผสม ความเร็วรอบในการผสม ระยะเวลาที่ใช้ในการผสม และตำแหน่งของเครื่องผสม มีผลต่อปริมาณไอโอดีนเฉลี่ยในเกลือเม็ดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ซึ่งผลของปัจจัยต่างๆ ต่อค่าเฉลี่ยปริมาณไอโอดีนในเกลือเม็ดสามารถอธิบายได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การควบคุมอุณหภูมิที่ใช้ในการผสม เนื่องจาก เกลือเม็ดมักทำจากเกลือสมุทร จึงเป็นเกลือที่มีความบริสุทธิ์ต่ำกว่า และสารที่ปนเปื้อนอาจดูดความชื้น ทำให้เกลือแฉะ ส่งผลให้ไอโอดีนที่เกาะที่ผิวของเกลือละลายและไหลมารวมอยู่ที่ก้นภาชนะ ดังนั้น การใช้อุณหภูมิในการผสม อาจทำให้ได้เกลือที่มีความชื้นต่ำ และไอโอดีนจะเกาะที่ผิวของเกลือได้ดี อุณหภูมิในการผสมในการทดลองนี้ คือ 40, 50 และ 60 องศาเซลเซียส ปริมาณไอโอดีนเฉลี่ยในเกลือเม็ดเสริมไอโอดีนมีค่าเท่ากับ 37.94, 37.99 และ 37.54 พีพีเอ็ม ตามลำดับ โดยการผสมที่อุณหภูมิ 40 และ 50 องศาเซลเซียส ไม่มีผลต่อความแตกต่างของปริมาณไอโอดีนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) แต่การเพิ่มอุณหภูมิในการผสมเป็น 60 องศาเซลเซียส ทำให้ปริมาณไอโอดีนมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของรัชดา พวงจันทน์แดง (2555) ซึ่งรายงานว่าการให้ความร้อนในการผสมเกลือป่นไม่มีผลต่อปริมาณไอโอดีนเฉลี่ยในเกลือป่นที่ได้ ซึ่งการใช้อุณหภูมิที่ 40 และ 50 องศาเซลเซียส เมื่อสเปรย์สารละลายโพแตสเซียมไอโอเดตลงไปบนเกลือเม็ด น้ำจะระเหยอย่างช้าๆ ทำให้ได้การคลุกผสมที่ดี แต่การใช้อุณหภูมิในการผสมที่ 60 องศาเซลเซียสมีปริมาณไอโอดีนต่ำกว่า การผสมที่ 40 และ 50 องศาเซลเซียส ($p \leq 0.05$) อาจเนื่องจากการใช้อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ทำให้สารละลายโพแตสเซียมไอโอเดตที่พ่นกระจายในถังผสม เกาะติดกับถังและเกิดการระเหยอย่างรวดเร็ว จึงแห้งติดกับบริเวณพื้นผิวของถังผสมและไม่กระจายอยู่ในส่วนของเกลือ ดังนั้นอุณหภูมิที่เหมาะสมในการผสมเกลือเม็ดและสารละลายโพแตสเซียมไอโอเดต คือ 40 องศาเซลเซียส เนื่องจากอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสนั้น ให้ผลเช่นเดียวกัน แต่ใช้พลังงานมากกว่า

ความเร็วรอบเป็นปัจจัยในการผสมเกลือ เนื่องจาก การใช้ความเร็วรอบที่ช้า อาจทำให้เกิดการคลุกผสมได้ช้า และการกระจายตัวของไอโอดีนไม่ดี ส่วนการใช้ความเร็วสูง แม้ว่าจะทำให้การคลุกผสมและการกระจายตัวของไอโอดีนดีกว่า แต่เป็นการสิ้นเปลืองพลังงานและอาจทำให้เม็ดเกลือแตกหัก การทดลองนี้ เป็นการผสมเกลือเม็ดและสารละลายโพแตสเซียมไอโอเดตที่ความเร็วรอบ 25, 35 และ 45 เฮิร์ต ปริมาณไอโอดีนเฉลี่ยในเกลือเม็ดเสริมไอโอดีน มีค่าเท่ากับ 37.59, 38.32 และ 37.57 พีพีเอ็ม ตามลำดับ โดยปริมาณไอโอดีนเฉลี่ยในเกลือเม็ดในการผสมที่ความเร็วรอบ 25 และ 45 เฮิร์ต ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) แต่การใช้ความเร็วรอบ 35 เฮิร์ต ทำให้ปริมาณไอโอดีนในเกลือเม็ดเสริมไอโอดีนมีค่าสูงกว่าในการผสมที่ความเร็วรอบ 25 และ 45 เฮิร์ต ทั้งนี้อาจเนื่องมาจาก ความเร็วรอบในการผสมที่ 25 เฮิร์ต ทำให้สารละลายโพแตสเซียมไอโอเดตที่เป็นของเหลว มีโอกาสที่จะเคลือบอยู่ที่ผิวของถังผสม และอาจแห้งติดบริเวณพื้นผิวของถังผสม ส่วนความเร็วรอบในการผสมที่ 45 เฮิร์ต ทำให้เกลือเม็ดเคลื่อนที่อย่างรวดเร็วในถังผสม โอกาสที่สารละลายโพแตสเซียมไอโอเดตจะเคลือบที่ผิวของผลึกเกลือจึงลดลง ดังนั้น การผสมที่ความเร็วรอบ 35 เฮิร์ต จึงให้ผลที่ดีกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การหาระยะเวลาที่เหมาะสมเป็นปัจจัยที่สำคัญในการผสมเกลือเม็ดเสริมไอโอดีน เนื่องจากการใช้เวลาในการคลุกเคล้าที่นานขึ้น ทำให้ไอโอดีนกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอในเกลือ ผลของระยะเวลาที่ใช้ในการผสมต่อปริมาณไอโอดีนเฉลี่ยในเกลือเม็ด พบว่าที่ระยะเวลาในการผสม 4, 8, 12 และ 16 นาที ค่าเฉลี่ยปริมาณไอโอดีนในเกลือเม็ดจะมีค่าเท่ากับ 38.37, 37.87, 37.54 และ 37.51 พีพีเอ็ม ตามลำดับ โดยที่ระยะเวลาในการผสม 4 นาที ปริมาณไอโอดีนเฉลี่ยในเกลือเม็ดจะมีค่าสูงที่สุดและค่อยๆ ลดลงเล็กน้อยเมื่อเวลาในการผสมเพิ่มขึ้น ในทางตรงกันข้าม ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานนั้นมีค่าลดลง แสดงว่า การเพิ่มระยะเวลาในการผสมมีผลทำให้การกระจายตัวของสารละลายโพแตสเซียมไอโอเดตในเกลือเม็ดดีขึ้น ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากในช่วงแรกของการผสมสารละลายโพแตสเซียมไอโอเดตจะถูกสเปรย์ไปที่ตำแหน่งของถังผสม และยังไม่ผสมคลุกเคล้ากัน ทำให้ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ได้มีค่าสูง แต่เมื่อระยะเวลาในการผสมเพิ่มขึ้น ใบกวนภายในถังผสมจะทำหน้าที่ในการคลุกเคล้าสารละลายโพแตสเซียมไอโอเดตและเกลือเม็ดให้มีความสม่ำเสมอกันมากขึ้น ทำให้ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานมีแนวโน้มที่ลดลง สอดคล้องกับงานวิจัยของรัชดา พวงจันทน์แดง (2555) ที่รายงานว่าการเพิ่มระยะเวลาในการผสมเกลือและสารละลายไอโอดีนจะทำให้การกระจายตัวของไอโอดีนเป็นไปอย่างสม่ำเสมอ จากผลการทดลองพบว่า ระยะเวลาการผสมที่ 12 และ 16 นาที มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานใกล้เคียงกัน และ มีปริมาณไอโอดีนไม่แตกต่างกัน แต่ระยะเวลาการผสมที่ 4 และ 8 นาที มีค่าสัมประสิทธิ์ความผันแปรเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานตามคู่มือพัฒนาผู้ประกอบการผลิตเกลือบริโภคเสริมไอโอดีนของสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา หรือไม่เกินร้อยละ 20 (สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา, 2553ค) อย่างไรก็ตามการผสมที่ 4 นาที พบว่ามีตัวอย่างที่มีค่าสัมประสิทธิ์ความผันแปรสูงกว่าที่กำหนด ดังนั้น สภาวะในการผสมควรมากกว่า 4 นาทีและไม่เกิน 8 นาที

ตำแหน่งของเครื่องผสมเป็นปัจจัยที่สำคัญในการบ่งบอกถึงประสิทธิภาพของเครื่องในการคลุกเคล้าเกลือเม็ดและสารละลายโพแตสเซียมไอโอเดต ซึ่งหากเครื่องมือมีประสิทธิภาพดี ปริมาณไอโอดีนของตัวอย่างในทุกๆ ตำแหน่งของเครื่องควรมีค่าใกล้เคียงกัน ผลของตำแหน่งของเครื่องผสมต่อปริมาณไอโอดีนเฉลี่ยในเกลือเม็ด พบว่าในตำแหน่งที่ 1, 2, 3, 4 และ 5 ของเครื่องผสม ค่าเฉลี่ยปริมาณไอโอดีนในเกลือเม็ดจะมีค่าเท่ากับ 33.35, 34.47, 37.05, 42.08 และ 42.16 พีพีเอ็ม ตามลำดับ โดยตำแหน่งที่ 4 และ 5 เป็นตำแหน่งที่มีปริมาณไอโอดีนเฉลี่ยในเกลือเม็ดสูงที่สุด ส่วนตำแหน่งที่ 1 เป็นตำแหน่งที่มีปริมาณไอโอดีนเฉลี่ยในเกลือเม็ดต่ำที่สุด ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากตำแหน่งที่ 4 และ 5 เป็นตำแหน่งที่มีการสเปรย์สารละลายโพแตสเซียมไอโอเดตลงไปในถังผสม ทำให้ปริมาณการได้รับสารละลายโพแตสเซียมไอโอเดตในตำแหน่งดังกล่าวสูงกว่าในตำแหน่งอื่นๆ และเนื่องจากตำแหน่งที่ 1 เป็นตำแหน่งที่ห่างจากหัวสเปรย์ จึงทำให้ปริมาณการได้รับสารละลายโพแตสเซียมไอโอเดตน้อยกว่าตำแหน่งอื่นๆ นอกจากนี้ยังแสดงให้เห็นว่า เครื่องผสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ยังไม่สามารถคลุกเคล้าเกลือเม็ดและสารละลายโพแตสเซียมไอโอเดตให้เข้ากันได้ในทุกตำแหน่งของเครื่อง ตำแหน่งที่ติดตั้งหัวสเปรย์ มีปริมาณไอโอดีนสูงกว่า จึงควรปรับตำแหน่งของหัวสเปรย์เข้าไปด้านใน หรือปรับมุมองศาของถังผสม ที่ทำให้เกิดการคลุกผสมที่ดีขึ้น อย่างไรก็ตามค่าสัมประสิทธิ์ความผันแปรของทุกตัวอย่าง มีค่าไม่เกินร้อยละ 20 ตามคู่มือพัฒนาผู้ประกอบการผลิตเกลือบริโภคเสริมไอโอดีนของสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา

เมื่อพิจารณาอิทธิพลร่วมพบว่าเกือบทุกปัจจัยที่ศึกษามีอิทธิพลร่วมกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ยกเว้นความเร็ว x ระยะเวลา, อุณหภูมิ x ความเร็ว x ระยะเวลา และ อุณหภูมิ x ระยะเวลา x ตำแหน่ง แสดงให้เห็นว่าปัจจัยทุกปัจจัยที่ศึกษามีความสำคัญต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณไอโอดีน

จากตารางที่ 4.2 พบว่าผลของปัจจัยต่างๆ อันได้แก่ อุณหภูมิในการผสม ความเร็วรอบในการผสม ระยะเวลาที่ใช้ในการผสม และตำแหน่งของเครื่องผสม มีผลต่อปริมาณความชื้นเฉลี่ยในเกลือเม็ดที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยผลของปัจจัยต่างๆ สามารถอธิบายได้ดังนี้

อุณหภูมิในการผสม พบว่าที่อุณหภูมิในการผสม 40, 50 และ 60 องศาเซลเซียส ปริมาณความชื้นเฉลี่ยในเกลือเม็ดจะมีค่าเท่ากับร้อยละ 5.07, 4.66 และ 4.88 ตามลำดับ โดยจากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการใช้อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสจะทำให้ปริมาณความชื้นเฉลี่ยในเกลือเม็ดมีค่าต่ำที่สุด และที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสปริมาณความชื้นเฉลี่ยจะมีค่าสูงที่สุด ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการใช้อุณหภูมิในการผสมที่สูงขึ้นจะทำให้ปริมาณความชื้นในเกลือเม็ดลดลง แต่การเพิ่มอุณหภูมิจาก 50 เป็น 60 องศาเซลเซียสทำให้ปริมาณความชื้นเฉลี่ยในเกลือเม็ดสูงขึ้น ทั้งนี้เมื่อเปรียบเทียบปริมาณความชื้นเฉลี่ยที่ได้กับปริมาณไอโอดีนเฉลี่ยที่สภาวะเดียวกันจะพบว่าผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Areekul *et al.* (2011) ที่กล่าวว่าปริมาณไอโอดีนจะมีแนวโน้มที่ลดลงเมื่อปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้น

ความเร็วรอบในการผสม พบว่าที่ความเร็วรอบในการผสม 25, 35 และ 45 เฮิร์ต ปริมาณความชื้นเฉลี่ยในเกลือเม็ดจะมีค่าเท่ากับร้อยละ 4.60, 5.01 และ 5.04 ตามลำดับ ซึ่งพบว่าที่ความเร็วรอบ 25 เฮิร์ต ปริมาณความชื้นเฉลี่ยในเกลือเม็ดมีค่าต่ำที่สุด และเมื่อความเร็วรอบในการผสมเพิ่มขึ้นจะทำให้ปริมาณความชื้นเฉลี่ยในเกลือเม็ดมีแนวโน้มที่สูงขึ้น ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากความเร็วรอบในการผสมที่มากเกินไปจะทำให้ระยะเวลาในการได้รับความร้อนของเกลือเม็ดน้อยลง

ระยะเวลาที่ใช้ในการผสม พบว่าการเพิ่มระยะเวลาในการผสมจาก 4 เป็น 16 นาที ปริมาณความชื้นเฉลี่ยในเกลือเม็ดจะมีค่าลดลงจากร้อยละ 5.30 เหลือเพียง ร้อยละ 4.42 ซึ่งจะเห็นได้ว่าการเพิ่มระยะเวลาในการผสมจะทำให้ปริมาณความชื้นเฉลี่ยในเกลือเม็ดมีแนวโน้มที่ลดลง ทั้งนี้เนื่องจากการเพิ่มระยะเวลาในการผสม จะทำให้เกลือเม็ดได้รับความร้อนนานขึ้น ซึ่งส่งผลให้ปริมาณความชื้นเฉลี่ยในเกลือเม็ดลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตำแหน่งของเครื่องผสม พบว่าที่ตำแหน่งที่ 1, 2, 3, 4 และ 5 ของเครื่องผสม ค่าเฉลี่ยปริมาณความชื้นในเกลือเม็ดจะมีค่าเท่ากับร้อยละ 4.16, 4.34, 4.69, 5.68 และ 5.95 ตามลำดับ โดยตำแหน่งที่ 4 และ 5 ของถังผสม ปริมาณความชื้นเฉลี่ยในเกลือเม็ดจะมีค่าสูงที่สุด และตำแหน่งที่ 1 ของถังผสม ปริมาณความชื้นเฉลี่ยในเกลือเม็ดจะมีค่าต่ำที่สุด ทั้งนี้อาจเนื่องจากตำแหน่งที่ 4 และ 5 เป็นตำแหน่งที่มีการสเปรย์สารละลายโพแตสเซียมไอโอเดตลงไปในถังผสมดังที่กล่าวไว้ข้างต้น

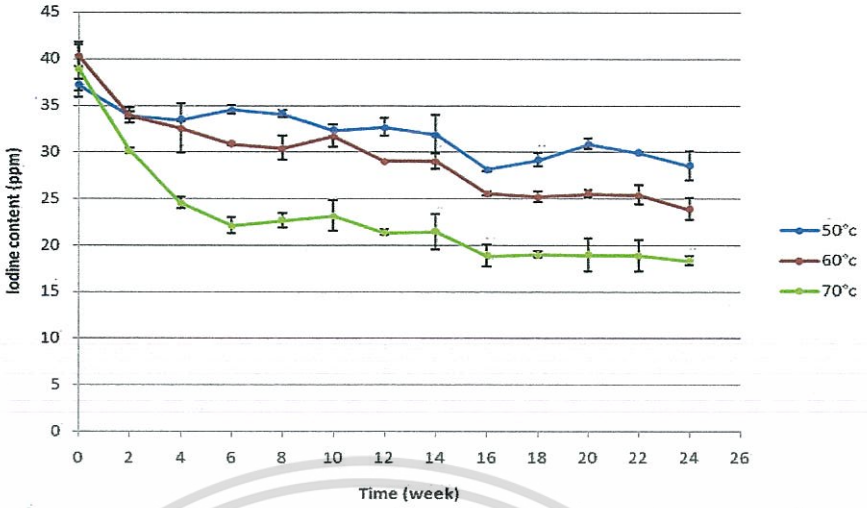
เมื่อพิจารณาอิทธิพลร่วมพบว่าเกือบทุกปัจจัยที่ศึกษาไม่มีอิทธิพลร่วมกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ยกเว้นอุณหภูมิ x ความเร็ว, อุณหภูมิ x ระยะเวลา และ ความเร็ว x ตำแหน่ง ทั้งนี้อธิบายได้จากผลของปัจจัยต่างๆ ต่อปริมาณความชื้นเฉลี่ยในเกลือเม็ดที่กล่าวไว้ข้างต้น

4.2 ศึกษาอายุการเก็บรักษาเกลือเม็ดเสริมไอโอดีนในสภาวะเร่ง

จากการศึกษาการเก็บรักษาเกลือเม็ดเสริมไอโอดีนในสภาวะเร่ง โดยนำเกลือเม็ดเสริมไอโอดีนที่มีปริมาณไอโอดีน 40 พีพีเอ็ม จำนวน 300 กรัม บรรจุใส่ถุง HDPE และปิดผนึกแล้วนำไปเก็บในตู้ควบคุมอุณหภูมิที่อุณหภูมิ 50 - 70 องศาเซลเซียส และ สุ่มเก็บตัวอย่างเป็นเวลา 6 เดือน พบว่าปริมาณไอโอดีนในเกลือเม็ดเสริมไอโอดีนมีการเปลี่ยนแปลงดังรูปที่ 4.1

จากข้อมูลในรูปที่ 4.1 แสดงให้เห็นว่า เมื่อเพิ่มระยะเวลาในการเก็บเกลือ มีผลทำให้ปริมาณไอโอดีนในเกลือเม็ดเสริมไอโอดีนลดลงในทุกสัปดาห์ของการเก็บรักษา โดยเมื่อสิ้นสุดการทดลองการเก็บเกลือเม็ดเสริมไอโอดีนที่อุณหภูมิ 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียสปริมาณไอโอดีนลดลงจาก 37.16, 40.30 และ 38.81 เหลือเพียง 28.52, 23.86 และ 18.32 พีพีเอ็ม หรือ ค่าลดลงร้อยละ 23.25, 40.79 และ 52.80 ตามลำดับ สอดคล้องกับผลการทดลองของ Bhatnagar *et al.* (1997) ที่แสดงให้เห็นว่า การเพิ่มอุณหภูมิจะส่งผลให้ปริมาณไอโอดีนในเกลือเสริมไอโอดีนมีปริมาณลดลง ทั้งนี้อาจเนื่องจากสารกลุ่มรีดิวซิงในเกลือเม็ดเสริมไอโอดีนจะรีดิวซ์โพแตสเซียมไอโอเดตให้กลายเป็นไอโอดีน ซึ่งเป็นสารที่ไม่คงตัว (Shi, 2004) เนื่องจากไอโอดีนเป็นสารที่ระเหิดได้ มีอุณหภูมิจุดเดือดเท่ากับ 185.24 องศาเซลเซียส ทำให้ไอโอดีนอยู่ในสถานะที่เป็นไอ ซึ่งไม่สามารถตรวจวิเคราะห์ได้ด้วยวิธีการไตเตรต นอกจากนี้ ผลการทดลองยังแสดงให้เห็นว่า การเก็บเกลือเม็ดเสริมไอโอดีนที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียสเพียง 16 สัปดาห์ จะทำให้ปริมาณไอโอดีนในเกลือเม็ดเสริมไอโอดีนมีค่าต่ำกว่า 20 พีพีเอ็ม ซึ่งต่ำกว่าเกณฑ์ที่กฎหมายกำหนด (ประกาศกระทรวงสาธารณสุข, 2554)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1 การเปลี่ยนแปลงของไอโอดีนในเกลือเม็ดเสริมไอโอดีน ภายใต้สภาวะการเก็บ 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส ที่ระยะเวลาต่างๆ

เมื่อนำข้อมูลที่ได้จากการทดลองมาวิเคราะห์ปฏิกิริยาทางจลนพลศาสตร์ เพื่อหา อันดับปฏิกิริยาของปริมาณไอโอดีนที่ลดลงในระหว่างการเก็บรักษา โดยสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณไอโอดีนในเกลือเม็ดเสริมไอโอดีนกับเวลา เพื่อหาอัตราการสูญเสียปริมาณไอโอดีนในเกลือเม็ดเสริมไอโอดีนต่อเวลาในการเก็บที่อุณหภูมิหนึ่งๆ (k) ได้ผลดังตารางที่ 4.3 โดยพบว่า ปฏิกิริยาอันดับศูนย์, ปฏิกิริยาอันดับหนึ่ง และ ปฏิกิริยาอันดับสอง พบว่าค่า k ของทุกๆ อันดับปฏิกิริยาจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น เช่น ปฏิกิริยาอันดับศูนย์ เมื่อเพิ่มอุณหภูมิจาก 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส ทำให้ค่า k เพิ่มขึ้นจาก 0.008 เป็น 0.015 พีพีเอ็ม/สัปดาห์ แสดงให้เห็นชัดเจนว่าการเพิ่มอุณหภูมิ จาก 50 เป็น 70 องศาเซลเซียสทำให้ค่า k เพิ่มขึ้น 1.875 เท่า แต่เพิ่มอุณหภูมิ จาก 60 เป็น 70 องศาเซลเซียสเพิ่มขึ้นเพียงร้อยละ 15.5 เท่านั้น

ตารางที่ 4.3 ค่าคงที่อัตราการสูญเสียปริมาณไอโอดีนในเกลือเม็ดเสริมไอโอดีน

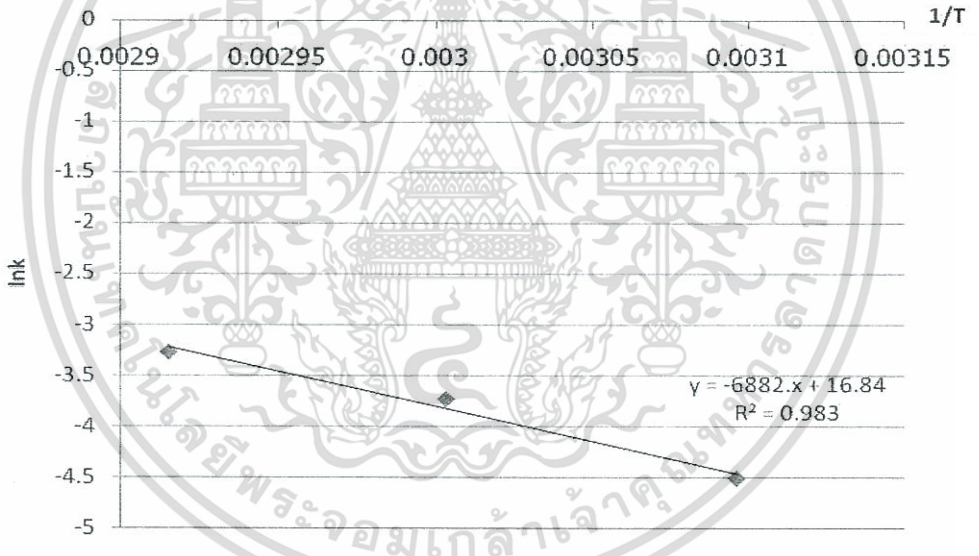
อุณหภูมิ	ปฏิกิริยาอันดับศูนย์		ปฏิกิริยาอันดับหนึ่ง		ปฏิกิริยาอันดับสอง	
(°C)	k (ppm/week)	R^2	k (week^{-1})	R^2	k (ppm^{-1}.week^{-1})	R^2
50	0.008	0.796	0.009	0.791	0.011	0.782
60	0.013	0.860	0.018	0.896	0.024	0.918
70	0.015	0.669	0.024	0.757	0.038	0.830

เมื่อพิจารณาได้จากค่าสัมประสิทธิ์ (Coefficient of determination, R^2) พบว่า การลดลงของปริมาณไอโอดีนในเกลือเม็ดเสริมไอโอดีนในระหว่างการเก็บรักษาเป็นปฏิกิริยาอันดับที่ 2 (Second

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

order reaction) หรือ ปฏิกิริยาขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของปริมาณไอโอดีนชนิดยกกำลังสอง โดยมีค่า R^2 ที่สูงกว่าปฏิกิริยาลำดับอื่นๆ ในทุกๆ อุณหภูมิ โดยมีค่า R^2 อยู่ระหว่าง 0.782- 0.918 ในขณะที่ปฏิกิริยาลำดับที่ศูนย์ และปฏิกิริยาลำดับที่หนึ่งโดยมีค่า R^2 อยู่ระหว่าง 0.669- 0.860 และ 0757-0.896 ทั้งนี้ค่า R^2 ที่มีค่าใกล้กับ 1 แสดงถึงความแม่นยำของการทำนายที่เพิ่มขึ้น หรือ กล่าวได้ว่า ค่า k หรือคงที่อัตราการสูญเสียปริมาณไอโอดีนในเกลือเม็ดเสริมไอโอดีนมีใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการทดลอง

เมื่อนำข้อมูลจากตารางที่ 4.3 มาสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ln k และ 1/T จะได้กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ln k และ 1/T ดังรูปที่ 4.2 ซึ่งจากกราฟจะพบว่าค่าความชันที่ได้มีค่าเท่ากับ 6,882 องศาเคลวิน และเมื่อคำนวณค่าพลังงานก่อกัมมันต์ของปฏิกิริยา (Activation Energy : E_A) จากสมการของ Arrhenius พบว่า มีค่าพลังงานก่อกัมมันต์ของปฏิกิริยาเท่ากับ 57.22 กิโลจูล/โมล่าร์ ซึ่งพลังงานดังกล่าว เป็นพลังงานที่น้อยที่สุดที่ต้องใช้ในการเกิดปฏิกิริยาเคมีที่ทำให้เกิดการสูญเสียไอโอดีนที่อุณหภูมิใดๆ



รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่าง ln k และ1/T

เมื่อนำค่าพลังงานก่อกัมมันต์ของปฏิกิริยามาคำนวณหาอัตราการสูญเสียปริมาณไอโอดีนในเกลือเม็ดเสริมไอโอดีนต่อเวลาในการเก็บที่อุณหภูมิใดๆ (k) จากนั้นคำนวณหาอายุการเก็บรักษาเกลือเม็ดเสริมไอโอดีนที่อุณหภูมินั้นๆ ของการเก็บรักษา โดยกำหนดให้ปริมาณไอโอดีนลดลงจาก 40 เป็น 20 พีพีเอ็ม ผลการคำนวณแสดงดังตารางที่ 4.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 อายุการเก็บรักษาเกลือเม็ดเสริมไอโอดีนที่อุณหภูมิต่างๆ

อุณหภูมิการเก็บรักษา (°C)	ค่าคงที่อัตราการสูญเสียไอโอดีน ($ppm^{-1}.week^{-1}$)	อายุการเก็บรักษา (สัปดาห์)
30 (อุณหภูมิห้อง)	0.0028	101
40	0.0058	49
50	0.0115	24
60	0.0218	13
70	0.0398	7

จากตารางที่ 4.4 พบว่าอายุการเก็บรักษาเกลือเม็ดเสริมไอโอดีนที่มีปริมาณไอโอดีนในเกลือเม็ด 40 พีพีเอ็ม ให้มีไอโอดีนเหลือ 20 พีพีเอ็ม หรือเป็นค่าต่ำสุดที่กฎหมายกำหนด (ประกาศกระทรวงสาธารณสุข, 2554) โดยการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง หรือ 30 องศาเซลเซียส คือ 101 สัปดาห์ หรือประมาณ 2 ปี ส่วนการเก็บที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส จะทำให้อายุการเก็บรักษาลดลงประมาณครึ่งหนึ่ง หรือ 49 สัปดาห์ ซึ่งอุณหภูมิทั้ง 2 สามารถพบได้จริงในประเทศไทย ส่วนการเพิ่มอุณหภูมิในการเก็บรักษา มีผลทำให้ไอโอดีนลดลงอย่างรวดเร็ว ตามปฏิกิริยาอันดับสอง โดยลดลงเหลือเพียง 7 สัปดาห์ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลการทดลอง

ปัจจัยการผสมที่มีผลต่อการกระจายตัวของไอโอดีนในเกลือเม็ด พบว่า อุณหภูมิ ระยะเวลาความเร็วรอบ และตำแหน่งของเครื่อง มีผลต่อปริมาณไอโอดีนในเกลือเม็ดเสริมไอโอดีนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) การเพิ่มระยะเวลาในการผสม มีผลให้การกระจายตัวของไอโอดีนในเกลือเม็ดดีขึ้น และปริมาณความชื้นในเกลือเม็ดมีค่าลดลง และ ความเร็วรอบในการผสมมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณไอโอดีนเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) และการเพิ่มความเร็วรอบในการผสมจะทำให้ปริมาณความชื้นในเกลือเม็ดเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ อุณหภูมิในการผสมยังมีผลต่อแนวโน้มการลดลงของปริมาณไอโอดีนเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) และการผสมที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสทำให้ปริมาณความชื้นในเกลือเม็ดมีค่าต่ำที่สุด สำหรับตำแหน่งของเครื่องผสม พบว่าตำแหน่งมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณไอโอดีนเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยตำแหน่งที่ 4 และ 5 ของเครื่องผสม เป็นตำแหน่งที่มีปริมาณไอโอดีนเฉลี่ยในเกลือเม็ดสูงที่สุด อย่างไรก็ตาม เครื่องผสมเกลือเม็ดเสริมไอโอดีนดังกล่าวมีประสิทธิภาพในการผสมเกลือเม็ดกับสารละลายโพแตสเซียมไอโอเดต โดยการกระจายตัวของไอโอดีนในเกลือเม็ดมีความสม่ำเสมอในทุกๆ ตำแหน่งของเครื่องผสม (ค่าสัมประสิทธิ์ความผันแปรมีค่าไม่เกิน 20) โดยมีสภาวะที่เหมาะสมในการผสมคือ การผสมที่ความเร็วรอบ 35 เฮิร์ต อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส และเวลาในการผสมมากกว่า 4 แต่ไม่เกิน 8 นาที

การลดลงของปริมาณไอโอดีนในระหว่างการเก็บเกลือเม็ดเสริมไอโอดีนที่อุณหภูมิ 50 ถึง 70 องศาเซลเซียส เป็นไปตาม ปฏิกิริยาอันดับที่ 2 ที่มีค่า อัตราการสูญเสียปริมาณไอโอดีนในเกลือเม็ดเสริมไอโอดีนต่อเวลาอยู่ระหว่าง 0.011 ถึง 0.038 พีพีเอ็ม/สัปดาห์ การลดลงของปริมาณไอโอดีนมีค่าพลังงานก่อกัมมันต์ของปฏิกิริยา มีค่าเท่ากับ 57.22 กิโลจูล/โมล่าร์ และ อายุการเก็บรักษาเกลือเม็ดเสริมไอโอดีนที่มีปริมาณไอโอดีนเริ่มต้นในเกลือเม็ดเสริมไอโอดีน 40 พีพีเอ็ม คือ 101 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส

ข้อเสนอแนะ

1. เนื่องจากตำแหน่งการสเปรย์สารละลายไอโอดีน เป็นปัจจัยที่มีความสำคัญต่อปริมาณไอโอดีนในเกลือเม็ด เพื่อให้การผสมเกลือเม็ดและสารละลายไอโอดีนมีประสิทธิภาพมากขึ้น ควรศึกษาเพิ่มเติมถึงตำแหน่งในการสเปรย์ที่เหมาะสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. เนื่องจากเครื่องผสมเกลือเม็ดเสริมไอโอดีน (ต้นแบบ) สามารถผสมเกลือเม็ดและสารละลายไอโอดีนได้ตามคู่มือพัฒนาผู้ประกอบการผลิตเกลือบริโภคเสริมไอโอดีนของสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา ดังนั้นจึงควรพัฒนาขนาดของเครื่องผสมเกลือเม็ดเสริมไอโอดีนดังกล่าวให้มีขนาดใหญ่ขึ้น และสามารถผสมเกลือเม็ดและสารละลายไอโอดีนให้ได้ในปริมาณมากขึ้น เพื่อประยุกต์ใช้เครื่องผสมเกลือเม็ดเสริมไอโอดีนนี้ในระดับอุตสาหกรรมต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์. 2553. **ไอโอดีน.** [Online].
เข้าถึงได้จาก : http://www.dmsc.moph.go.th/webroot/BQSF/File/VARITY/IODINE.HTM.

กระทรวงสาธารณสุข. 2554. **ประกาศกระทรวงสาธารณสุข เรื่องเกลือบริโภค.** กรุงเทพฯ : กระทรวงสาธารณสุข.

กล้าณรงค์ ศรีรอต. 2521. **เกลือ : คุณสมบัติและการใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร.** กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

จันทรกานต์ ทองเปลว. 2542. "เกลือเสริมไอโอดีนในประเทศไทยและปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพเกลือเสริมไอโอดีน." วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (อาหารและโภชนาการเพื่อการพัฒนา), มหาวิทยาลัยมหิดล.

จินตนา ชัยสุโรจน์. 2549. "สารไอโอดีน." **วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี.** เนื่องในงานสัปดาห์วิทยาศาสตร์ 16-18 สิงหาคม 2549 : 55-63.

จุรีรัตน์ ห่อเกียรติ. 2554. **บทบาทของ อย. และหน่วยงานที่เกี่ยวข้องในการป้องกันและแก้ไขปัญหาโรคขาดสารไอโอดีน.** [Online]. เข้าถึงได้จาก : http://www.fda.moph.go.th/journal/032554/01.pdf.

ณัชนลิน เจริญจิตร์. 2556. "ประสิทธิภาพการผสมไอโอดีนในเกลือบริโภคด้วยเครื่องผสมต้นแบบแบบริบบอนคู่ด้วยการหยด." วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

นันทยา จงใจเทศ. ม.ป.ป. **ความรู้เรื่องเกลือเสริมไอโอดีน.** กรุงเทพฯ : กลุ่มงานวิจัยอาหารเพื่อโภชนาการ. สำนักโภชนาการ.

นัยนา บุญทวียุวัฒน์. 2553. **ชีวเคมีทางโภชนาการ (Nutritional Biochemistry).** กรุงเทพฯ : เจริญดีมั่นคงการพิมพ์.

นภา ตั้งเตรียมจิตมั่น. 2550. **ไอโอดีน.** [Online].
เข้าถึงได้จาก : http://www.uniserv.buu.ac.th/forum2/topic.asp?TOPIC_ID=1972.

ปิยะฉัตร มาลัยวงศ์. 2543. "การศึกษาความคงตัวของไอโอดีนในเกลือเสริมโพแทสเซียมไอโอเดทโดยใช้รูปแบบจำลอง ของสภาวะการหุงต้มที่ต่างกัน." วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (อาหารและโภชนาการเพื่อการพัฒนา), มหาวิทยาลัยมหิดล.

พีชรัช ประสิทธิ์ผล. 2553. **เกลือบำบัดโรคจากมหาสมุทรแห่งความเค็ม.** กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์แบงค์คอกบุ๊คส์.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ยุทธนา พิมลศิริพล. 2553. **เทคนิคการประเมินอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์อาหาร.** เชียงใหม่ : นพบุรีการพิมพ์.

รัชดา พวงจันทน์แดง. 2555. "ประสิทธิภาพของเครื่องผสมเกลือบริโภคเสริมไอโอดีนแบบริบบอนคู่ด้วยหัวฉีดสเปรย์และแนวทางการควบคุมคุณภาพสำหรับผู้ประกอบการ." วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

ลือชา วนรัตน์. 2537. **การผลิตและการกระจายเกลือเสริมไอโอดีนในระดับชุมชนและอุตสาหกรรมครัวเรือน.** กรุงเทพฯ : กองโภชนาการ กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข.

ลือชา วนรัตน์. 2537. **การผลิตและการกระจายเกลือธรรมชาติ.** กรุงเทพฯ : กองโภชนาการ กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข.

วิสิฐ จะวะสิต. 2553. **การเสริมสารอาหารในอาหาร.** กรุงเทพฯ : พิมพ์ดี.

วริพัสย์ อารีกุล และ นิพัทธา ชาติสุวรรณ. 2553. **รายงานฉบับสมบูรณ์ การวิเคราะห์ปริมาณไอโอดีนในเกลือ.** เสนอต่อ สำนักอาหาร สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา.

สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้. 2556. **ไอโอดีนกับสติปัญญา.** [Online]. เข้าถึงได้จาก : http://www.il.mahidol.ac.th/e-media/iodine/.

สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้. 2557. **สำรวจโรคฮอร์โมน.** [Online]. เข้าถึงได้จาก : http://www.il.mahidol.ac.th/e-media/hormone/chapter4/goiter.htm.

สิริพันธุ์ จุลกรังคะ. 2545. **โภชนศาสตร์เบื้องต้น.** กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา. 2553ค. **คู่มือพัฒนาผู้ประกอบการผลิตเกลือบริโภคเสริมไอโอดีน.** สำนักอาหาร, สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา.

สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา. 2554. **Face sheet อาหาร.** ฉบับที่ 31. กรุงเทพฯ : สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา.

สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ. 2556. **เกลือ...คุณค่าที่มากกว่าความเค็ม.** [Online]. เข้าถึงได้จาก : http://nstda.or.th/rural/public/100%20articles-stkc/45.pdf

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. 2544. **เกลือบริโภค.** กรุงเทพฯ : กระทรวงอุตสาหกรรม.

สำนักโภชนาการ. 2546. **ปริมาณสารอาหารอ้างอิงที่ควรได้รับประจำวันสำหรับคนไทย พ.ศ.2546.** [Online]. เข้าถึงได้จาก : http://nutrition.anamai.moph.go.th/temp/main/view.php?group=3&id=67.

ศักดา พรึงลำภู และ วิชัย เอกพลากร. 2551. **ภาวะโภชนาการของสารไอโอดีนในเด็ก.** [Online]. เข้าถึงได้จาก : www.hiso.or.th/hiso/picture/reportHealth/report/report6_13.pdf.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อวยพร ปะนะมณฑา. 2556. โครงการเสริมไอโอดีนเสริมไอคิวในเด็กนักเรียน. [Online]. เข้าถึงได้จาก : http://www.md.kku.ac.th/library/main/eproceeding/Sym_90_91.pdf.

เอมวดี เกียรติศิริ. 2541. **การศึกษาปริมาณไอโอดีนในผลิตภัณฑ์อาหารที่ถนอมด้วยเกลือเสริมไอโอดีน.** [Online]. เข้าถึงได้จาก : http://www.tnrr.in.th.

Areekul, V., Srikalong, P., Danwisathkarnchana, N., Chatsuwan, N., Puangjundang, R., Jarernjit, N. Yamsang, N. Klaebhirun, N. and Dachboon, W. 2011. "Process Development and Quality Control System for Iodized Salt." Final report submitted to UNICEF Thailand.

Areekul, V., Srikalong, P., Danwisathkarnchana, N. and Kasiprong, N. 2012. "Development for Iodized Granular Salt Mixing Machine (Phase I)." Final report submitted to UNICEF Thailand.

Association of Official Analytical Chemists. 1984. **Official methods of analysis.** 14th ed. Method 33.147. Washington, DC : AOAC.

Bhatnagar, A., Maharda, N.S., AMbardar, V.K., Dham, D.N., Magdum, M. and Sankar, R. 1997. "Iodine loss from iodised salt on heating." **Indian journal of Pediatrics.** 64(6) : 883-885.

Buszka, K.S. and Waszkowiak, K. 2007. "Stability of Iodinated salts during roasting and storage of pork meatballs." **Polish Journal of Food and Nutrition Sciences.** 57(3) : 335-338.

Centers of Disease Control and Prevention. 2013. **Iodine.** [Online]. เข้าถึงได้จาก : www.atsdr.cdc.gov/ToxProfiles/tp158-c4.pdf.

Davidson, S. and Passmore, R. 1969. **Human Nutrition and Dietetics.** London : E&S Livingstone.

Diosady, L.L. and Venkatesh, M.G. 1997. "Stability of Iodine in Iodized salt." [Online]. เข้าถึงได้จาก : http://chem-eng.utoronto.ca/~diosady/sltstblty.html.

Diosady, L.L., Alberti, J.O., Venkatesh, M.G. and Stone, T.G. 1997. "Stability of iodine in iodized salt used for correction of iodine-deficiency disorders." **Food and Nutrition Bulletin.** 18(4) : 388-396.

Johnson, A.H. and Herrington, B.L. 1927. "Factors influencing the loss of iodine from iodized salt." **J. Agric. Res.** 35 : 167.

Kelly, F.C. 1953. "Studies on the stability of iodine compounds in iodized salt." **Bulletin of the World Health Organization.** 9(2) : 217-230.

McGuire, M. and Beerman, K.A. 2011. **Nutritional sciences : from fundamentals to food.** Australia : Wadsworth.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Shi, H. 2004. "Adding an oxidant increases the stability of iodine in iodized salt." **Food and nutrition Bulletin.** 25(2) : 137-141.

The International Council for the Control of Iodine Deficiency Disorders. 2013. "How salt is iodized." [Online]. เข้าถึงได้จาก : http://www.iccidd.org/p142000382.html.

Thaddeus, P.A., Romylee, A.E., Imee, S.M., Vincent Paul, S.V. and Isidora Margarita, M.Y. 2013. "Alternative methods of producing iodized salt." [Online]. เข้าถึงได้จาก : http://scinet.dost.gov.ph/union/UploadFiles/download.

Waszkowiak, K. and Buszka, K.S. 2008. "Effect of storage conditions on potassium iodide stability in iodised table salt and collagen preparations." **International Journal of Food Science and Technology.** 43(5) : 895-899.

World health Organization. 2008. **Assessment of iodine deficiency disorders and monitoring their elimination.** [Online]. เข้าถึงได้จาก : http://www.who.int/nutrition/publications/micronutrients/iodine_deficiency/en/.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

การวิเคราะห์ทางเคมี

1. การวิเคราะห์ปริมาณไอโอดีนในเกลือโดยวิธีการไตเตรต

1.1 หลักการ

การหาปริมาณไอโอดีนในเกลือที่อยู่ในรูปไอโอเดตโดยวิธี Iodometric titration มีปฏิกิริยา 2 ขั้นตอน คือ

ปฏิกิริยาขั้นที่ 1 การรีดิวซ์ไอโอเดตให้อยู่ในรูปของไอโอดีนอิสระ (free iodine)

$$\underset{\text{(Iodized salt)}}{IO^{3-}} + \underset{(H_2SO_4)}{6H^+} \longrightarrow I^- + 3H_2O$$

$$I^- + \underset{\text{(from KI)}}{5I^-} \longrightarrow 3I_2 + 3H_2O$$

ข้อควรระวัง : สภาวะต้องเป็นกรดและ KI ต้องมากพอ

ปฏิกิริยาขั้นที่ 2 การหาปริมาณไอโอดีน

$$\underset{\text{Iodine}}{I_2} + \text{starch} \longrightarrow \text{purple complex}$$

$$\underset{\text{Iodine}}{I_2} + \underset{\text{Sodium thiosulfate}}{2Na_2S_2O_3} \longrightarrow \underset{\text{Sodium iodide}}{2NaI} + \underset{\text{Sodium tetrathionate}}{Na_2S_4O_6}$$

จุดยุติ : สารละลายใสไม่มีสี

1.2 อุปกรณ์

1.2.1 กระบอกตวงขนาด 50 หรือ 100 มิลลิลิตร

1.2.2 บิวเรต ขนาด 50 หรือ 100 มิลลิลิตร

1.2.3 ปิเปตขนาด 1, 2 และ 5 มิลลิลิตร

1.2.4 เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง

1.2.5 ขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 สารเคมี

1.3.1 กรดซัลฟิวริกเข้มข้น 2 นอร์มอล

1.3.2 โซเดียมไธโอซัลเฟตเข้มข้น 0.005 นอร์มอล

1.3.3 โพแตสเซียมไอโอไดด์เข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์

1.3.4 น้ำแป้ง

1.3.5 น้ำกลั่น

1.4 ขั้นตอนการตรวจวิเคราะห์

1.4.1 ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่าง

1.4.1.1 ชั่งตัวอย่างเกลือ 50 กรัมใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร

1.4.1.2 เติมน้ำกลั่น 250 มิลลิลิตร เขย่าให้เกลือละลาย

1.4.1.3 แบ่งตัวอย่างสารละลายเกลือ 50 มิลลิลิตร

1.4.1.4 เติมสารละลายกรดซัลฟิวริกความเข้มข้น 2 นอร์มอล จำนวน 1 มิลลิลิตร

1.4.1.5 เติมสารละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์เข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์ จำนวน 5 มิลลิลิตร (ถ้ามีไอโอดีนสารละลายจะเปลี่ยนเป็นสีเหลือง) ปิดปากขวดและเก็บในที่มืด 10 นาที

หมายเหตุ : ถ้าสารละลายที่ได้ไม่มีสีเหลือง ให้ทำการเติมน้ำแป้งเลย หากไม่มีการเปลี่ยนสีแสดงว่าตัวอย่างนั้นไม่มีไอโอดีน

1.4.2 ขั้นตอนการเตรียมบิวเรตและการไตเตรต

1.4.2.1 เตรียมบิวเรตโดยเติมสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟตเข้มข้น 0.005 นอร์มอลลงในบิวเรต ปรับปริมาตรและไล่ฟองอากาศ

1.4.2.2 นำขวดสารละลายที่ได้จากข้อ 5 ออกจากที่มืด

1.4.2.3 เติมน้ำแป้งจำนวน 2 มิลลิลิตร (สารละลายที่ได้จะมีสีน้ำเงินเข้ม)

1.4.2.4 นำไปไตเตรตกับสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟตเข้มข้น 0.005 นอร์มอลจนกระทั่งสารละลายเปลี่ยนเป็นสีชมพูและจางหายไปในที่สุด

1.4.2.5 บันทึกปริมาตรสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟตที่ใช้ไปในการไตเตรตแล้วนำไปคำนวณหาปริมาณไอโอดีนจากสมการ

$$\text{I (ppm)} = \frac{(0.005\text{N}\,Na_2S_2O_3 \times \text{Vol}\,Na_2S_2O_3(mL) \times 21.222(\text{g/eg I}) \times 250(mL))}{0.05(kg) \times 50(mL)}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5 การเตรียมสารละลาย

1.5.1 สารละลายกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 2 นอร์มอล

1.5.1.1 ปิเปตกรดซัลฟิวริกเข้มข้น จำนวน 6 มิลลิลิตร

1.5.1.2 ใส่ในขวดปรับปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร ที่มีน้ำกลั่นบรรจุอยู่ 90 มิลลิลิตร

1.5.1.3 ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ได้ตามที่กำหนด

1.5.1.4 เขย่าให้เข้ากัน เก็บในขวดสีชา ที่อุณหภูมิห้อง

หมายเหตุ ในการไตเตรตแต่ละครั้ง ใช้กรดซัลฟูริก 2 นอร์มอล ครั้งละ 1 มิลลิลิตร

1.5.2 สารละลายโพแตสเซียมไอโดไดด์เข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์

1.5.2.1 ชั่งโพแตสเซียมไอโอไดด์ 100 กรัม

1.5.2.2 ใส่ในขวดปรับปริมาตรขนาด 1000 มิลลิลิตร

1.5.2.3 ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นในขวดปรับปริมาตรขนาด ให้ได้ตามที่กำหนด

1.5.2.4 เขย่าให้เข้ากัน บรรจุในขวดสีชา เก็บในที่มืดและเย็น (เก็บไว้ใช้ได้นาน 6 เดือน)

หมายเหตุ ในการไตเตรตแต่ละครั้ง ใช้สารละลายโพแทสเซียมไอโดไดด์เข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์ ครั้งละ 5 มิลลิลิตร

1.5.3 น้ำแป้ง

1.5.3.1 เตรียมสารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัวประมาณ 500 มิลลิลิตร (โดยใส่น้ำกลั่นในบีกเกอร์ขนาด 1,000 มิลลิลิตร จำนวน 500 มิลลิลิตร นำไปให้ความร้อน จากนั้นเติมโซเดียมคลอไรด์พร้อมทั้งคนจนกระทั่งได้ โซเดียมคลอไรด์อิ่มตัว คือ *โซเดียมคลอไรด์มากพอจนไม่ละลาย*)

1.5.3.2 ชั่ง Soluble starch 5 กรัม เติมน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร ให้ความร้อนจนแป้งละลายหมด คือ มีลักษณะข้นใส

1.5.3.3 เทใส่ขวดปรับปริมาตรขนาด 500 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรให้ได้ตามที่กำหนด โดยใช้สารละลายโซเดียมคลอไรด์อิ่มตัวที่เตรียมไว้เป็นตัวปรับปริมาตร

1.5.3.4 เขย่าให้เข้ากันบรรจุในขวดสีชา เก็บในที่มืดและเย็น (เก็บไว้ใช้ได้นาน 1 เดือน หากสารละลายแป้งมีการตกตะกอน ก่อนนำไปใช้ต้องทำให้ร้อนเพื่อให้สารละลายใส)

หมายเหตุ ในการไตเตรตแต่ละครั้ง ใช้น้ำแป้งครั้งละ 2 มิลลิลิตร

1.5.4 สารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟตเข้มข้น 0.005 นอร์มอล

1.5.4.1 ชั่งโซเดียมไธโอซัลเฟต 1.24 กรัม

1.5.4.2 ละลายด้วยน้ำที่ไม่มี CO_2 (น้ำกลั่นต้มทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง)

1.5.4.3 ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นในขวดปรับปริมาตรขนาด 1000 มิลลิลิตร ให้ได้ตามที่กำหนด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5.4.4 เขย่าให้เข้ากัน บรรจุในขวดสีชา เก็บในที่มืดและเย็น (เก็บไว้ใช้ได้นาน 1 เดือน) และ ก่อนนำไปใช้ ควรทำการ standardization

1.6 การ Standardization โซเดียมไธโอซัลเฟต

1.6.1 อบ $K_2Cr_2O_7$ ที่อุณหภูมิ 100 °C นาน 2 ชม. ทิ้งให้เย็นในเดซิกเคเตอร์

1.6.2 ชั่ง $K_2Cr_2O_7$ 0.01 - 0.0115 กรัม ใส่ในขวดรูปชมพู่ ขนาด 250 มิลลิลิตร (บันทึกน้ำหนัก)

1.6.3 เติมน้ำที่ไม่มี CO_2 (น้ำกลั่นต้มทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง) 10 มิลลิลิตร

1.6.4 เติมโพแตสเซียมไอโอไดด์ 0.1 กรัม เขย่าให้เข้ากัน

1.6.5 ปิเปตกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 1 นอร์มอล จำนวน 5 มิลลิลิตร เติมลงไป

1.6.6 ปิดปากขวดเขย่าให้เข้ากันและนำไปเก็บในที่มืด 10 นาที

1.6.7 เตรียมบิวเรต โดยเติมโซเดียมไธโอซัลเฟตที่ต้องการหาความเข้มข้นที่แน่นอนลงในบิวเรต

1.6.8 เอาขวดออกจากที่มืด หยดน้ำแป้ง 2-3 หยด สารละลายเปลี่ยนเป็นสีน้ำเงิน

1.6.9 นำมาไตเตรตกับโซเดียมไธโอซัลเฟตในบิวเรตที่เตรียมไว้โดยสารละลายจะเปลี่ยนจากสีน้ำเงินเป็นไม่มีสี

1.6.10 บันทึกปริมาตรของโซเดียมไธโอซัลเฟตที่ใช้ไปในการไทเทรต แล้วนำไปคำนวณหาความเข้มข้นของโซเดียมไธโอซัลเฟตจากสมการ

$$Na_2S_2O_3\ (\text{mol/L}) = \frac{\text{g of } K_2Cr_2O_7 \times 1000}{vol\ of\ Na_2S_2O_3 \times 49.032}$$

2. การวิเคราะห์ปริมาณความชื้นในเกลือ

2.1 อุปกรณ์

2.1.1 เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง

2.1.2 ตู้ควบคุมอุณหภูมิ

2.1.3 เดซิกเคเตอร์

2.2 ขั้นตอนการตรวจวิเคราะห์

2.2.1 ชั่งเกลือตัวอย่างที่บดแล้วประมาณ 5 กรัม และบันทึกค่าน้ำหนักที่แน่นอน

2.2.2 อบเกลือในตู้ควบคุมอุณหภูมิ ที่อุณหภูมิ 145 $\pm$ 5 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2 ชั่วโมง

2.2.3 ปล่อยให้เย็นในเดซิกเคเตอร์

2.2.4 ชั่งน้ำหนักหลังการอบ และอบซ้ำจนน้ำหนักคงที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 การคำนวณ

$$\text{ความชื้น ร้อยละ} = \frac{(M_1 - M_2)}{M_1} \times 100$$

เมื่อ M_1 คือมวลของเกลือตัวอย่างก่อนอบ (กรัม)

M_2 คือมวลของเกลือตัวอย่างหลังอบ (กรัม)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

ผลการวิเคราะห์ปริมาณไอโอดีนและความชื้นในเกลือเม็ดที่สภาวะการผสมต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข1 ปริมาณไอโอดีนและปริมาณความชื้นในเกลือเม็ดที่ตำแหน่งและเวลาต่างๆ ในการผสมเกลือเม็ดที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบในการผสม 25 เฮิร์ต

Mixing condition	Mixing time (min)	Rep	Dup	Iodine content (ppm) in sampling position of mixer					Moisture content (%) in sampling position of mixer				
				1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
40 °C 25 Hz	4	1	1	31.20	29.01	36.57	46.31	42.04	4.17	4.57	4.57	5.84	4.86
			2	30.66	29.12	36.13	45.55	42.37	4.27	4.53	4.29	5.56	4.96
		2	1	36.68	35.47	40.62	39.85	44.89	5.16	5.37	4.63	6.29	6.40
			2	36.68	36.68	38.87	42.92	44.45	5.02	5.86	4.67	6.23	6.28
	8	1	1	35.58	35.47	37.12	43.14	39.63	4.25	4.27	4.11	5.32	4.95
			2	35.69	35.58	37.34	42.81	40.84	2.15	4.12	4.29	5.57	4.87
		2	1	37.77	36.13	36.24	39.42	41.82	4.62	4.66	5.16	5.40	5.71
			2	38.87	36.13	36.57	40.29	41.71	4.69	4.81	4.97	5.51	5.49
	12	1	1	34.60	37.01	35.80	38.87	39.09	4.26	4.40	4.18	5.88	5.18
			2	34.60	36.79	35.47	39.20	38.98	4.11	4.10	4.42	5.85	5.11
		2	1	34.05	35.36	36.13	40.62	42.70	4.27	4.61	4.15	5.47	5.63
			2	35.47	35.26	35.04	39.96	42.15	4.15	4.49	4.38	5.13	6.11
	16	1	1	34.82	35.58	36.13	39.31	39.42	4.15	4.00	4.18	5.24	5.00
			2	35.15	35.26	37.99	40.18	39.09	4.29	3.84	4.21	5.15	5.06
		2	1	33.94	36.24	39.42	42.48	38.87	3.60	4.17	4.39	5.28	5.61
			2	35.04	36.02	39.42	41.82	39.42	3.74	4.04	4.69	5.32	5.89

ตารางที่ ข2 ปริมาณไอโอดีนและปริมาณความชื้นในเกลือเม็ดที่ตำแหน่งและเวลาต่างๆ ในการผสมเกลือเม็ดที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบในการผสม 35 เฮิร์ต

Mixing condition	Mixing time (min)	Rep	Dup	Iodine content (ppm) in sampling position of mixer					Moisture content (%) in sampling position of mixer				
				1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
40 °C 35 Hz	4	1	1	31.20	29.56	36.68	48.83	47.41	3.58	3.72	4.88	6.25	6.50
			2	31.20	29.56	36.13	49.16	48.17	3.52	3.72	4.79	6.05	6.19
		2	1	31.53	32.30	37.23	45.88	41.93	3.93	4.20	5.01	6.74	6.17
			2	31.31	31.86	37.23	46.09	43.69	4.08	4.19	5.03	6.67	5.88
	8	1	1	34.16	32.85	36.13	44.45	38.32	3.64	4.00	4.44	5.46	4.81
			2	33.28	33.28	35.58	45.88	40.95	3.53	3.91	4.57	5.48	4.87
		2	1	33.07	34.05	36.46	44.23	42.15	4.02	4.21	4.81	5.88	5.28
			2	32.85	35.58	36.79	43.90	42.70	3.89	4.25	4.93	6.00	5.52
	12	1	1	32.41	35.36	36.13	43.80	43.80	3.73	3.91	3.59	5.91	5.38
			2	32.41	36.68	37.77	44.34	43.47	3.69	4.04	3.71	5.94	5.42
		2	1	33.39	34.93	37.66	40.51	43.14	4.01	4.10	4.79	5.37	6.07
			2	33.72	35.26	37.66	39.63	42.70	3.99	4.06	4.84	5.52	6.14
	16	1	1	34.60	34.49	36.68	44.12	46.42	3.70	3.54	4.55	5.26	5.75
			2	34.49	35.47	36.90	44.89	46.75	3.85	3.79	4.34	5.42	5.57
		2	1	34.16	35.04	37.77	40.51	41.93	4.32	4.44	4.72	5.16	5.47
			2	34.49	35.36	37.23	39.85	41.71	4.28	4.37	4.60	5.40	5.38

ตารางที่ ข3 ปริมาณไอโอดีนและปริมาณความชื้นในเกลือเม็ดที่ตำแหน่งและเวลาต่างๆ ในการผสมเกลือเม็ดที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบในการผสม 45 เฮิร์ต

Mixing condition	Mixing time (min)	Rep	Dup	Iodine content (ppm) in sampling position of mixer					Moisture content (%) in sampling position of mixer				
				1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
40 °C 45 Hz	4	1	1	31.20	32.85	34.71	43.25	38.65	4.88	4.74	5.19	6.73	6.18
			2	31.20	33.39	35.36	43.25	38.10	4.85	4.69	5.05	6.98	5.90
		2	1	30.66	32.85	36.79	43.25	45.88	4.73	5.35	6.42	7.28	7.77
			2	30.66	33.17	36.35	42.26	46.31	4.95	5.11	6.49	7.14	7.50
	8	1	1	35.04	34.93	36.24	44.01	44.12	5.16	4.68	5.44	6.41	5.89
			2	34.49	34.05	36.35	44.01	43.36	5.21	4.74	4.97	6.51	5.54
		2	1	30.66	33.39	37.44	44.23	45.66	4.55	6.08	5.02	6.35	6.72
			2	30.88	33.07	36.79	43.25	45.88	4.50	5.76	5.23	7.12	6.75
	12	1	1	33.94	32.85	36.13	40.51	40.95	4.64	4.77	4.76	5.92	6.32
			2	33.39	32.85	36.13	40.07	41.61	4.43	4.34	4.57	5.91	6.27
		2	1	32.30	34.49	38.32	41.61	39.74	4.72	5.75	5.78	7.02	5.93
			2	32.08	34.49	38.32	41.82	39.96	4.74	5.82	5.74	6.67	6.02
	16	1	1	34.49	34.49	36.90	42.81	39.53	4.24	4.36	4.69	5.78	6.30
			2	34.49	33.94	37.12	41.93	39.96	4.26	4.21	4.55	5.71	6.18
		2	1	34.05	37.77	36.24	44.01	40.51	4.77	5.51	5.28	6.60	6.75
			2	33.72	37.23	36.13	43.58	39.42	4.74	5.50	5.49	6.59	6.57

ตารางที่ ข4 ปริมาณไอโอดีนและปริมาณความชื้นในเกลือเม็ดที่ตำแหน่งและเวลาต่างๆ ในการผสมเกลือเม็ดที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบในการผสม 25 เฮิร์ต

Mixing condition	Mixing time (min)	Rep	Dup	Iodine content (ppm) in sampling position of mixer					Moisture content (%) in sampling position of mixer				
				1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
50 °C 25 Hz	4	1	1	31.75	31.53	37.12	45.44	46.09	5.02	5.06	5.44	6.90	6.43
			2	31.97	31.31	36.68	45.99	46.31	5.17	5.04	5.29	6.44	6.10
		2	1	35.04	37.66	37.12	40.62	41.71	3.11	2.89	2.72	3.77	3.45
			2	35.69	37.23	37.34	40.51	42.26	3.22	2.85	2.68	3.74	3.64
	8	1	1	34.49	34.71	37.34	38.32	37.55	4.65	4.88	5.26	5.46	5.81
			2	34.93	35.04	37.01	38.32	37.44	4.61	4.91	5.14	5.63	5.91
		2	1	34.38	36.68	36.68	41.06	38.21	3.69	3.66	3.64	4.49	4.20
			2	34.49	36.79	36.13	41.06	37.66	3.74	3.78	3.56	4.48	3.93
	12	1	1	35.47	37.77	36.79	37.66	41.39	4.80	4.60	5.23	5.87	6.27
			2	35.15	38.32	36.68	37.77	41.28	4.71	4.89	5.13	5.81	5.91
		2	1	35.69	36.68	37.44	36.24	38.21	3.45	3.53	3.54	4.62	4.27
			2	34.38	35.36	36.79	35.69	37.77	3.30	3.40	3.87	4.15	4.38
	16	1	1	34.60	35.04	37.88	36.90	40.18	4.25	4.26	5.09	5.09	5.55
			2	35.47	35.58	38.10	37.12	40.29	4.57	4.47	5.18	5.08	6.05
		2	1	36.68	34.16	38.10	37.88	37.88	2.49	3.10	3.46	3.37	3.93
			2	36.13	35.04	37.77	37.12	37.99	2.51	2.64	3.73	3.58	3.93

ตารางที่ ข5 ปริมาณไอโอดีนและปริมาณความชื้นในเกลือเม็ดที่ตำแหน่งและเวลาต่างๆ ในการผสมเกลือเม็ดที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบในการผสม 35 เฮิร์ต

Mixing condition	Mixing time (min)	Rep	Dup	Iodine content (ppm) in sampling position of mixer					Moisture content (%) in sampling position of mixer				
				1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
50 °C 35 Hz	4	1	1	30.66	31.31	43.69	47.63	50.04	4.18	3.70	4.88	5.54	5.67
			2	30.77	31.09	43.25	47.96	49.82	3.92	3.96	4.72	5.98	5.67
		2	1	30.11	33.61	39.85	47.74	45.44	4.16	4.56	5.12	6.80	6.92
			2	30.22	33.72	39.53	47.63	45.66	3.94	4.86	5.08	6.81	7.04
	8	1	1	33.94	34.49	38.43	45.33	43.03	4.58	4.03	4.92	6.04	5.52
			2	33.94	34.93	37.88	44.34	42.92	4.36	4.21	5.14	6.07	5.02
		2	1	33.07	33.94	38.21	41.93	44.56	4.22	4.47	5.07	5.32	6.04
			2	32.41	35.26	43.69	41.71	45.33	4.36	4.59	4.98	5.32	5.81
	12	1	1	33.94	34.38	37.34	42.04	45.44	3.66	4.14	4.06	5.52	5.08
			2	34.71	34.38	37.23	42.15	45.00	3.67	4.13	4.23	5.15	4.78
		2	1	33.83	34.82	38.54	40.84	42.92	4.59	4.81	4.98	5.70	5.35
			2	33.72	35.26	38.87	41.06	43.25	4.32	4.58	4.72	5.41	5.32
	16	1	1	33.94	34.93	36.68	43.58	42.70	3.85	3.14	3.87	4.49	4.95
			2	34.05	35.15	36.57	43.47	43.25	3.45	3.37	4.32	4.41	4.93
		2	1	34.82	35.47	38.87	38.32	39.31	3.80	3.67	4.01	4.61	4.57
			2	34.82	35.58	38.87	38.21	39.53	3.80	3.74	4.02	4.42	4.52

ตารางที่ ข6 ปริมาณไอโอดีนและปริมาณความชื้นในเกลือเม็ดที่ตำแหน่งและเวลาต่างๆ ในการผสมเกลือเม็ดที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบในการผสม 45 เฮิร์ต

Mixing condition	Mixing time (min)	Rep	Dup	Iodine content (ppm) in sampling position of mixer					Moisture content (%) in sampling position of mixer				
				1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
50 °C 45 Hz	4	1	1	31.20	31.97	35.47	44.34	42.04	5.13	5.51	5.76	7.44	6.47
			2	30.77	31.86	35.58	44.56	41.82	5.13	5.47	5.58	7.53	6.62
		2	1	34.60	34.93	39.42	46.31	42.70	3.59	3.94	5.42	5.95	5.25
			2	34.38	34.60	39.63	45.99	42.81	3.58	3.99	5.71	5.78	5.19
	8	1	1	31.42	32.85	36.24	41.5	42.04	5.15	5.02	5.48	7.04	6.33
			2	31.75	32.74	36.68	41.06	41.50	5.20	4.58	5.33	6.93	6.29
		2	1	33.39	35.04	37.77	42.15	45.22	3.13	3.54	4.02	5.19	5.08
			2	33.39	34.71	37.34	42.37	45.11	3.06	3.68	4.03	4.95	5.14
	12	1	1	32.19	33.61	35.26	42.26	43.47	4.99	4.68	5.76	7.18	6.45
			2	32.19	34.38	35.47	42.37	43.58	4.89	4.80	5.97	7.05	6.76
		2	1	35.58	35.80	37.99	41.50	43.14	3.28	3.12	3.72	4.57	4.90
			2	35.26	35.36	37.55	41.50	43.03	3.12	3.23	3.68	4.55	4.73
	16	1	1	31.75	34.16	35.26	41.06	37.66	4.50	4.62	5.39	6.09	5.70
			2	31.75	33.94	36.02	40.40	37.99	4.53	4.93	5.53	6.11	5.82
		2	1	35.04	36.68	37.23	40.62	39.96	2.67	3.15	3.24	4.12	3.52
			2	35.58	36.35	37.55	40.40	40.18	2.64	3.37	3.24	4.21	3.74

ตารางที่ ข7 ปริมาณไอโอดีนและปริมาณความชื้นในเกลือเม็ดที่ตำแหน่งและเวลาต่างๆ ในการผสมเกลือเม็ดที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบในการผสม 25 เฮิร์ต

Mixing condition	Mixing time (min)	Rep	Dup	Iodine content (ppm) in sampling position of mixer					Moisture content (%) in sampling position of mixer				
				1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
60 °C 25 Hz	4	1	1	25.18	30.11	35.04	49.27	49.82	5.18	4.85	5.38	6.06	6.56
			2	26.28	30.11	36.13	49.82	50.36	4.89	4.91	5.41	6.13	6.55
		2	1	33.61	32.85	37.88	44.89	43.90	4.34	5.12	4.01	5.81	4.92
			2	33.72	32.41	38.32	44.67	43.58	4.05	4.36	4.04	5.97	4.94
	8	1	1	32.85	33.94	36.68	41.61	37.23	4.44	4.29	4.59	5.78	5.55
			2	32.30	33.94	37.23	42.70	37.23	4.50	4.54	4.88	5.59	5.65
		2	1	34.16	36.02	38.43	39.96	42.37	3.85	4.25	4.34	4.84	4.95
			2	34.38	36.24	38.32	40.40	43.25	4.09	4.42	4.48	4.80	4.89
	12	1	1	32.85	35.04	36.13	40.51	39.42	4.28	4.55	4.48	5.09	4.69
			2	32.30	33.94	35.04	41.06	39.42	4.20	4.51	4.50	5.37	4.85
		2	1	35.15	36.35	37.55	36.68	41.71	3.53	3.87	4.25	4.29	4.35
			2	35.69	35.91	37.23	36.90	42.15	3.86	3.63	4.13	4.39	4.36
	16	1	1	30.66	33.94	36.13	36.13	42.70	3.75	4.03	3.72	4.01	4.17
			2	30.66	33.94	35.58	36.68	42.70	3.78	4.15	3.77	4.20	4.45
		2	1	35.58	38.21	36.68	38.76	38.87	3.41	3.33	4.09	4.09	4.03
			2	35.69	38.32	36.68	38.32	38.87	3.32	3.35	3.86	3.71	3.93

ตารางที่ ข8 ปริมาณไอโอดีนและปริมาณความชื้นในเกลือเม็ดที่ตำแหน่งและเวลาต่างๆ ในการผสมเกลือเม็ดที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบในการผสม 35 เฮิร์ต

Mixing condition	Mixing time (min)	Rep	Dup	Iodine content (ppm) in sampling position of mixer					Moisture content (%) in sampling position of mixer				
				1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
60 °C 35 Hz	4	1	1	35.04	33.94	35.04	42.70	44.89	5.98	5.17	5.90	7.07	6.96
			2	34.49	33.94	35.04	42.70	44.89	6.07	5.32	5.78	7.09	6.95
		2	1	31.42	35.58	36.79	46.53	44.78	5.71	5.92	4.96	7.10	7.44
			2	31.20	34.49	36.35	47.41	45.44	5.88	5.63	5.31	7.16	8.05
	8	1	1	33.94	33.94	35.04	41.61	39.42	4.78	4.57	5.49	6.68	5.63
			2	33.39	35.04	35.04	42.15	39.42	4.64	4.81	5.71	6.83	5.81
		2	1	32.30	36.13	37.77	43.58	41.82	4.64	5.34	5.64	6.82	5.82
			2	31.75	36.13	37.77	44.56	41.61	4.68	5.29	5.84	6.73	5.97
	12	1	1	33.94	33.94	35.04	40.51	39.42	4.79	4.59	5.13	5.25	6.43
			2	33.94	35.58	35.04	39.42	38.32	4.80	4.62	4.99	5.36	6.15
		2	1	33.28	34.93	35.91	41.71	45.66	4.64	4.85	4.96	7.18	6.06
			2	32.85	35.15	36.57	41.82	45.11	5.00	5.01	5.18	7.20	6.13
	16	1	1	31.75	33.94	36.13	41.06	41.61	3.71	4.08	4.43	4.51	4.48
			2	32.30	33.94	36.13	40.51	41.61	3.80	4.06	4.57	4.89	4.71
		2	1	33.94	37.23	38.87	39.20	42.92	4.47	4.84	4.96	5.55	6.16
			2	34.82	37.01	38.87	39.53	43.14	4.56	4.45	5.65	5.74	5.90

ตารางที่ ข9 ปริมาณไอโอดีนและปริมาณความชื้นในเกลือเม็ดที่ตำแหน่งและเวลาต่างๆ ในการผสมเกลือเม็ดที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบในการผสม 45 เฮิร์ต

Mixing condition	Mixing time (min)	Rep	Dup	Iodine content (ppm) in sampling position of mixer					Moisture content (%) in sampling position of mixer				
				1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
60 °C 45 Hz	4	1	1	31.20	31.75	36.68	44.89	44.01	4.58	5.11	5.77	7.85	5.61
			2	31.20	32.30	36.68	45.44	43.58	4.91	5.22	5.75	7.89	5.98
		2	1	32.63	32.96	36.13	44.56	43.80	3.41	3.73	3.60	5.74	4.67
			2	32.52	32.63	36.02	45.88	43.90	3.33	3.53	3.81	5.55	4.74
	8	1	1	32.85	31.2	35.58	40.51	40.07	4.60	4.97	4.81	6.00	7.28
			2	33.39	32.30	35.58	41.06	41.06	4.56	4.90	4.91	6.31	7.12
		2	1	33.94	33.39	36.24	44.34	45.55	3.26	3.25	4.02	4.86	5.07
			2	33.28	33.61	36.57	43.90	45.99	3.22	3.31	4.04	4.88	4.95
	12	1	1	32.30	34.16	36.90	40.62	39.42	3.93	4.89	5.12	6.57	6.13
			2	31.20	33.94	36.46	40.95	39.74	3.90	5.01	5.24	6.42	6.04
		2	1	33.28	34.82	37.34	39.31	43.25	3.06	3.23	3.64	4.38	4.87
			2	33.39	34.49	37.23	39.20	42.70	3.21	3.35	3.87	4.62	4.90
	16	1	1	32.30	32.85	35.69	40.84	39.96	3.77	2.51	4.20	5.32	5.14
			2	32.30	33.39	36.13	41.82	41.06	3.94	2.45	4.40	5.17	4.78
		2	1	34.49	36.68	36.24	40.29	39.31	2.56	3.48	3.43	4.08	4.40
			2	33.50	36.90	36.46	39.53	38.87	2.76	3.35	3.36	4.12	4.53

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ – นามสกุล	นายนิธิวัจน์ กสิพร้อง
วัน เดือน ปีเกิด	28 ตุลาคม 2529 ที่ชลบุรี
ที่อยู่	23/7 ม.7 ตำบลห้วยใหญ่ อำเภอบางละมุง จังหวัดชลบุรี 20260
	โทร.08-6565-0561
ประวัติการศึกษา	2550 วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาอุตสาหกรรมเกษตร (เกียรตินิยมอันดับ 1)
	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ประสบการณ์การทำงานและผลงานวิจัย

พ.ศ. 2550	การใช้แป้งดัดแปรเก็บกลิ่นควันเทียนเหลวด้วยเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย
	(The use of Modified starch in the encapsulation by spray dryer)
พ.ศ. 2551 – ปัจจุบัน	ตำแหน่งหัวหน้างาน บริษัทไทยกูลิโกะ จำกัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้