ปัจจัยที่มีผลต่อการงอกและสมบัติการต้านอนุมูลอิสระของควินัว และการใช้ควินัวงอกในเค้กปราศจากกลูเตน

FACTORS AFFECTING GERMINATION AND ANTIOXIDANT PROPERTIES OF QUINOA AND UTILIZATION OF THE GERMINATED QUINOA IN GLUTEN-FREE CAKE

ลักขณา เจตยะคามิน

LAKKANA CHETYAKAMIN

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร

คณะอุตสาหกรรมเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2560

KMITL-2017-AI-M-053-284

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ปัจจัยที่มีผลต่อการงอกและสมบัติการต้านอนุมูลอิสระของควินัว และการใช้ควินัวงอกในเค้กปราศจากกลูเตน

FACTORS AFFECTING GERMINATION AND ANTIOXIDANT PROPERTIES OF QUINOA AND UTILIZATION OF THE GERMINATED QUINOA IN GLUTEN-FREE CAKE

T148024

ลัคนา เจตยะคามิน

LAKKANA CHETYAKAMIN

สรหปู่
เลขทะเบียน 148024
วัน.เดือน.ปี 9 ต.ค. 2560

.b.....
.i.....

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร

คณะอุตสาหกรรมเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2560

KMITL-2017-AI-M-053-284

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FACTORS AFFECTING GERMINATION AND ANTIOXIDANT PROPERTIES OF QUINOA AND UTILIZATION OF THE GERMINATED QUINOA IN GLUTEN-FREE CAKE

LAKKANA CHETYAKAMIN

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF

MASTER OF FOODSCIENCES

FACULTY OF AGRO-INDUSTRY

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2017

KMITL-2017-AI-M-053-284

COPYRIGHT 2017

AGRO-INDUSTRY

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

คณะอุตสาหกรรมเกษตร
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ ปัจจัยที่มีผลต่อการงอกและสมบัติการต้านอนุมูลอิสระของควินัวและการใช้ควินัวงอกในเค้กปราศจากกลูเตน

FACTORS AFFECTING GERMINATION AND ANTIOXIDANT PROPERTIES OF QUINOA AND UTILIZATION OF THE GERMINATED QUINOA IN GLUTEN-FREE CAKE

ชื่อนักศึกษา นางสาวลัคนา เจตยะคามิน
รหัสประจำตัว 56608054
ปริญญา วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา วิทยาศาสตร์การอาหาร
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผศ.ดร.นภัสรพี เหลืองสกุล
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม -

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์	ลายมือชื่อ
ผศ.ดร.นภัสรพี เหลืองสกุล	
รศ.ดร.ประพันธ์ ปิ่นศิโรดม	
ผศ.ดร.ธงชัย พุฒทองศิริ	
รศ.เยาวลักษณ์ สุรพันธพิศิษฐ์	

วัน / เดือน/ ปีที่สอบ 24 กรกฎาคม 2560 เวลา 10.00 น. เป็นต้นไป
สถานที่สอบ ณ ห้อง A 303 อาคารเจ้าคุณทหาร

คณะอุตสาหกรรมเกษตรรับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์ ดร.ประพันธ์ ปิ่นศิโรดม)
คณบดีคณะอุตสาหกรรมเกษตร
วันที่ 26 เดือน กค. พ.ศ. 2560

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ปัจจัยที่มีผลต่อการงอกและสมบัติการต้านอนุมูลอิสระของควินัว และการใช้ควินัวงอกในเค้กปราศจากกลูเตน
นักศึกษา	นางสาวลัคนา เจตยะคามิน
รหัสนักศึกษา	56608054
ปริญญา	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิทยาศาสตรการอาหาร
พ.ศ.	2560
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	ผศ.ดร.นภัสรพี เหลืองสกุล

บทคัดย่อ

ในปัจจุบันการบริโภคธัญพืชงอกได้รับความนิยมในหลายทวีปทั่วโลก เนื่องจากมีคุณค่าทางอาหารมากกว่าพืชผักทั่วไป และเมล็ดที่ยังไม่งอก ควินัวเป็นพืชในกลุ่มเสมือนธัญพืชที่เป็นแหล่งของสารอาหารที่ดี เช่น สมบัติการต้านอนุมูลอิสระ เกลือแร่ ฯลฯ การเพาะงอกเป็นกระบวนการทางธรรมชาติที่สามารถเพิ่มคุณค่าสารสำคัญที่ดีต่อสุขภาพ มีหลายปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อร้อยละการงอก (เวลา อุณหภูมิ แสง ออกซิเจน สายพันธุ์ และความเครียดจากเกลือ) ในงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ในการศึกษาปัจจัย (สายพันธุ์ เวลาแช่ก่อนเพาะงอก ร่วมกับความเข้มข้นของเกลือโซเดียมคลอไรด์ และเวลาการเพาะงอก) ที่มีผลกระทบต่อร้อยละการงอกของควินัว และสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ จากนั้นนำไปพัฒนาผลิตภัณฑ์เค้กปราศจากกลูเตนโดยการแทนที่แป้งข้าวเจ้า สำหรับปัจจัยด้านสายพันธุ์ศึกษาร้อยละการงอกที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง สำหรับควินัว 3 สายพันธุ์ (สีขาว สีแดง และสีดำ) พบว่า ควินัวสายพันธุ์สีดำให้ร้อยละการงอกสูงที่สุด ในการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมต่อการเพาะงอกเมล็ดควินัวสีดำให้ได้ค่าร้อยละการงอกสูงสุด ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดสูงสุด และสมบัติการต้านอนุมูลอิสระมากที่สุด ในการทดลองแบบพื้นที่ผิวตอบสนอง (Response Surface Methodology, RSM) โดยออกแบบการทดลองแบบส่วนประสมกลาง (Central Composite Design, CCD) ซึ่งมีตัวแปรต้นคือ เวลาการเพาะงอก (X_1: 0 – 48 ชั่วโมง) ความเข้มข้นของเกลือโซเดียมคลอไรด์ (X_2: 0 – 500 มิลลิโมลาร์) และ เวลาแช่ก่อนการเพาะงอก (X_3: 3 – 12 ชั่วโมง) ตัวแปรตาม คือ ร้อยละการงอก ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด และสมบัติการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี FRAP, DPPH และ ABTS พบว่าสภาวะการงอกที่เหมาะสมในการผลิตควินัวงอก คือ เวลาการเพาะงอก 47.98 ชั่วโมง ความเข้มข้นของเกลือโซเดียมคลอไรด์ 221.65มิลลิโมลาร์ และแช่ก่อนการเพาะงอก 9.48 ชั่วโมง จากสมการทำนายสำหรับตัวแปรตาม ค่าร้อยละการงอก ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด และสมบัติการต้านอนุมูลอิสระสูงสุด พบว่า ที่การงอกร้อยละ 74.60 ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.70 มิลลิกรัม/กรัม และสมบัติการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี FRAP, DPPH และ ABTS เท่ากับ 285.44, 277.92 และ 214.57 ไมโครโมลโทร๊อกซ์/กรัม ตามลำดับ เมื่อทดสอบค่าทำนาย พบว่าค่าทดสอบจริงมีค่าน้อยกว่าค่าทำนายเล็กน้อย คือ การงอกร้อยละ 70 ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด 4.23 มิลลิกรัม/กรัม และสมบัติการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี FRAP, DPPH และ ABTS เท่ากับ 261.73, 235.67 และ 199.80 ไมโครโมลโทร๊อกซ์/กรัม ตามลำดับ เมื่อนำแป้งควินัวเพาะงอกจากสภาวะเหมาะสมที่เลือกไปวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ปริมาณเกลือแร่ และกรดอะมิโน เปรียบเทียบกับแป้งควินัวที่ไม่ได้เพาะงอก พบว่า ปริมาณความชื้น โปรตีน และเถ้าสูงขึ้น ส่วนปริมาณเกลือแร่ พบว่า มีปริมาณโซเดียมเพิ่มขึ้น ขณะที่ปริมาณแคลเซียมลดลงและ พบกรดอะมิโนทั้งหมดสูงขึ้น ยกเว้นไทโรซีน นอกจากนี้มีการนำแป้งควินัวงอกทดแทนในแป้งข้าวเจ้าของผลิตภัณฑ์เค้กปราศจากกลูเตน 3 ชนิด ได้แก่ เค้กสปันจ์ เค้กเนย และเค้กชิฟฟ่อน ในร้อยละ 0, 30 และ 50 พบว่า เมื่อทดแทนด้วยแป้งควินัวงอกในแป้งข้าวเจ้าเพิ่มขึ้น ทำให้ปริมาณความชื้นในเค้กเพิ่มขึ้น ค่าความสว่างลดลง อีกทั้งมีปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระสูงขึ้นในเค้กทั้ง 3 ชนิด สุดท้ายนี้ทการทดสอบทางประสาทสัมผัสกับผู้ทดสอบที่ไม่ได้ฝึกฝนจำนวน 30 คน พบว่า ผู้ทดสอบให้การยอมรับในระดับการทดแทนแป้งควินัวงอกในแป้งข้าวเจ้าที่ร้อยละ 30 ในเค้กปราศจากกลูเตนทั้ง 3 ชนิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis	Factors affecting germination and antioxidant properties of quinoa and utilization of the germinated quinoa in gluten-free cake
Student	Miss Lakkana Chetyakamin
Student ID.	56608054
Program	Food Science
Degree	Master of Science
Year	2017
Thesis Advisor	Asst. Prof. Dr. Naphatrapi Luangsakul

Abstract

Nowadays, germinated cereals have been popularly consumed all over the world because of their higher nutritional substances than these of ungerminated counterparts. Quinoa is a pseudocereal plant which is good source of antioxidants and minerals etc. Germination is the natural process to enhance the nutritional value for healthy aspects in food. There are many factors (time, temperature, light, oxygen, variety and salt stress) influencing the percentage of seed germination. This work aimed to study the factors (quinoa varieties, soaking time before germination, salt concentration and germination period) affecting the percentage of germination in quinoa and the antioxidant properties. The germinated quinoa powder was also substituted in rice flour to make three types of gluten-free cakes. For quinoa variety, three types of quinoa (white, red and black) were studied on the effect of percentage of germination. The black variety showed the significant highest percentage of germination. For the germination conditions were optimized by Response Surface Methodology (RSM) to gain the highest percentage of germination and antioxidant properties in the germinated quinoa. The Central composite design was used in the experiment. Three independent variables were investigated in this experiment: germination period (X_1: 0-48 hrs.), concentration of sodium chloride solution (X_2: 0-500 mM) and soaking time before germination (X_3: 3-12 hrs.). The dependent variables were percentage of germination, total phenolic content and antioxidant properties by FRAP, DPPH and ABTS analytical methods. The optimum germination condition for producing germinated quinoa were germination period of 47.98 hrs., NaCl concentration of 221.65 mM and soaking time before germination of 9.48 hrs. The predicted responses for the highest percentage of germination, total phenolic content and

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

antioxidant properties by FRAP, DPPH and ABTS were 74.60 percent of germination, 4.70 mg/g of total phenolic content and the antioxidant propertiesby FRAP, DPPH and ABTS of 285.4, 277.92 and 214. 57 μmol/ g respectively. The actual responses for the highest percentage of germination, total phenolic content and antioxidant properties by FRAP, DPPH and ABTS were 70 percentage of germination, 4.23 mg/g of total phenolic content and the antioxidant by FRAP, DPPH and ABTS of 261. 73, 235. 67 and 199. 80 μmol/ g respectively. Then, germinated quinoa flour was analyzed the chemical composition, minerals and amino acid profile compared with ungerminated quinoa flour. The moisture, protein and ash contents in germinated quinoa flour were increased. For minerals in germinated quinoa flour, sodium content was increased whereas calcium content was decreased. From amino acid profile, all amino acid were increased except tyrosine. In addition, the 30 and 50% substitution of the germinated quinoa flour to rice flour in making three types of gluten-free cakes (sponge, butter and chiffon cakes) were studied. The more substitution of germinated quinoa flour to rice flour was done, the more moisture content, the lightness and antioxidant properties in three types of cakes were obtained. For the sensory test to 30 untrained panelists, the 30% substitution of germinated quinoa flour to rice flour in making three types of gluten-free cakes showed the most acceptable scores.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. นภัสรพี เหลืองสกุล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้กรุณาสละเวลาให้คำปรึกษา ให้ความรู้ ช่วยเหลือ และแก้ไขสิ่งที่บกพร่อง และให้การสนับสนุนด้านทุนทรัพย์มาโดยตลอด อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อศิษย์ นับตั้งแต่แนวคิดตลอดจนกระทั่งวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. ประพันธ์ ปิ่นศิโรดม คณบดี คณะอุตสาหกรรมเกษตร ที่กรุณาให้ความอนุเคราะห์เป็นประธานในการสอบวิทยานิพนธ์ รวมถึงผู้ช่วยศาสตราจารย์ ธงชัย พุฒทองศิริ และรองศาสตราจารย์เยาวลักษณ์ สุรพันธพิศิษฐ์ ที่กรุณาสละเวลามาเป็นกรรมการในการสอบวิทยานิพนธ์ พร้อมทั้งให้คำปรึกษาชี้แนะ จนวิทยานิพนธ์สำเร็จไปได้ด้วยดี

ขอกราบขอบพระคุณ คณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้สถานที่ห้องปฏิบัติการ อุปกรณ์และเครื่องมือในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณ คุณวีระ เจตยะคามิน (บิดา)คุณสมพร ฮวยตระกูล (มารดา) ที่ให้การสนับสนุนทุนทรัพย์ด้านอื่นๆและให้กำลังใจเสมอจนสำเร็จการศึกษา ขอขอบคุณครอบครัวนางสาวชนากานต์ จันทร์ศิลา สำหรับการใช้สถานที่ทำเบเกอรีพร้อมด้วยเครื่องมือ และขอขอบคุณพี่ๆ เพื่อนๆ น้องๆ และ คุณวีรยุทธ รัตนชัย ซึ่งคอยให้ความช่วยเหลือและให้กำลังใจตลอดระยะเวลาในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ลัคนา เจตยะคามิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ III

กิตติกรรมประกาศ V

สารบัญ VI

สารบัญตาราง VIII

สารบัญภาพ X

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย 1

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย 3

1.3 ขอบเขตงานวิจัยของควินัว 3

บทที่ 2 ทฤษฎีและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง 4

2.1 การงอกของเมล็ด 4

2.2 ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการงอกของเมล็ด 5

2.3 การเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีระหว่างการงอก 6

2.4 สรีรวิทยาความเค้น 7

2.5 ธัญพืชเทียม 11

2.6 ควินัว 12

2.7 สารต้านออกซิเดชัน 13

2.8 วิธีวิเคราะห์สมบัติการต้านอนุมูลอิสระ 17

2.9 ผลิตภัณฑ์เบเกอรี 19

2.10 ขนมอบปราศจากกลูเตน 21

2.11 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 22

บทที่ 3 วิธีดำเนินการทดลอง 29

3.1 วัตถุดิบ 29

3.2 สารเคมี 29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 3 วิธีดำเนินการทดลอง 29

3.3 อุปกรณ์และเครื่องมือ 30

3.4 วิธีการดำเนินงานวิจัย 31

บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ 36

4.1 ผลการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อร้อยละการงอกของควินัว 36

4.2 ผลของความเข้มข้นเกลือ ระยะเวลาการแช่ก่อนการเพาะงอก และระยะเวลาการเพาะงอกที่มีผลต่อร้อยละการงอก สารประกอบฟีนอลิก และสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ 37

4.3 การทดสอบค่าสมการทำนาย 47

4.4 ผลการศึกษาองค์ประกอบทางเคมี ปริมาณเกลือแร่ และกรดอะมิโนในแป้งควินัวงอก 47

4.5 ศึกษาการใช้ประโยชน์จากแป้งควินัวงอกในเค้กปราศจากกลูเตน 50

บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ 56

บรรณานุกรม 58

ภาคผนวก 66

ก. การวิเคราะห์ทางเคมีกายภาพ 67

ข. การวิเคราะห์คุณภาพของเค้ก 72

ประวัติผู้วิจัย 81

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 ความเค้นทางสิ่งแวดล้อมหลักที่พืชอาจได้รับ 8

ตารางที่ 2.2 ความเค้นในการชักนำโปรตีนและเปบไทด์ในพืช 10

ตารางที่ 2.3 แสดงคุณค่าทางโภชนาการของควินัว 13

ตารางที่ 3.1 การวางแผนการทดลองแบบ Central composite design (CCD) 32

ตารางที่ 3.2 ส่วนผสมของเค้กสปันจ์ เค้กเนย และเค้กชิฟฟ่อน ปราศจากกลูเตน 34

ตารางที่ 4.1 การออกแบบการทดลองแบบส่วนประสมกลาง และค่าตอบสนองของปัจจัย 37

ตารางที่ 4.2 ผลการวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนของค่าตอบสนองปัจจัย 38

ตารางที่ 4.3 สมการทำนายจากการใช้วิธีพื้นที่ผิวตอบสนองของแต่ละปัจจัย 39

ตารางที่ 4.4 การทำนายสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตแป้งควินัวงอก 46

ตารางที่ 4.5 แสดงการเปรียบเทียบค่าทำนายร้อยละการงอก ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด และสมบัติการต้านอนุมูลอิสระที่ได้จากสมการทำนาย และค่าทดสอบจริง 47

ตารางที่ 4.6 องค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณ (ปริมาณความชื้น โปรตีน ไขมัน เถ้า และคาร์โบไฮเดรต) ของแป้งควินัวที่ไม่เพาะงอก และแป้งควินัวเพาะงอกด้วยเกลือโซเดียมคลอไรด์ 48

ตารางที่ 4.7 ปริมาณเกลือแร่ (โซเดียม โพแทสเซียม แมกนีเซียม แคลเซียม ทองแดง สังกะสี และเหล็ก) ของแป้งควินัวที่ไม่เพาะงอก และแป้งควินัวเพาะงอกด้วยเกลือโซเดียมคลอไรด์ 48

ตารางที่ 4.8 กรดอะมิโน (Amino acid profile) ของแป้งควินัวที่ไม่เพาะงอก และแป้งควินัวเพาะงอกด้วยเกลือโซเดียมคลอไรด์ 49

ตารางที่ 4.9 ปริมาณความชื้น (ร้อยละ) ค่าความสว่าง (L*) ค่าสีแดงเขียว (a*) ค่าสีเหลืองน้ำเงิน (b*) ของเนื้อเค้กสปันจ์ เค้กเนย และเค้กชิฟฟ่อนที่ทดแทนด้วยแป้งควินัวงอกในแป้งข้าวเจ้าร้อยละ 0, 30 และ 50 51

ตารางที่ 4.10 ความแข็ง ความยืดหยุ่น และค่าการเกาะติดกันของเนื้อเค้ก ของเค้กสปันจ์ เค้กเนย และเค้กชิฟฟ่อนที่ทดแทนด้วยแป้งควินัวงอกในแป้งข้าวเจ้าร้อยละ 0, 30 และ 50 52

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง(ต่อ)

หน้า

ตารางที่ 4.11 สมบัติการต้านอนุมูลอิสระของเค้กสปันจ์ เค้กเนย และเค้กชิฟฟ่อนที่ทดแทนด้วยแป้งควินัวงอกในแป้งข้าวเจ้า ร้อยละ 0, 30 และ 50 โดยวิธี FRAP DPPH และ ABTS 53

ตารางที่ 4.12 ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของเค้กสปันจ์ เค้กเนย และเค้กชิฟฟ่อนที่ทดแทนด้วยแป้งควินัวงอกในแป้งข้าวเจ้าร้อยละ 0, 30 และ 50 กับผู้ทดสอบจำนวน 30 คน (9-point Hedonic scale) 54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่ 2.1 โครงสร้างทางเคมีที่แตกต่างกันของโพลีฟีนอล..... 16
ภาพที่ 4.1 ร้อยละการงอกของควินัว 3 สายพันธุ์ (สีขาว สีแดง และสีดำ)
ที่เพาะงอก 30 องศาเซลเซียส 48ชั่วโมง..... 36
ภาพที่ 4.2 แผนภาพคอนทัวร์พล็อต (ก) และแผนภาพพื้นที่ผิวตอบสนอ 3 มิติ (ข)
แสดงผลของเวลาการเพาะงอก (X_1) ความเข้มข้นของเกลือโซเดียม
คลอไรด์ (X_2)และเวลาแช่ก่อนการเพาะงอก (X_3) ต่อร้อยละการงอก
ของเมล็ดควินัวสีดำ..... 40
ภาพที่ 4.3 แผนภาพคอนทัวร์พล็อต (ก) และแผนภาพพื้นที่ผิวตอบสนอง 3 มิติ (ข)
แสดงผลของเวลาการเพาะงอก (X_1) ความเข้มข้นของเกลือโซเดียม
คลอไรด์ (X_2)และเวลาแช่ก่อนการเพาะงอก (X_3) ต่อปริมาณฟีนอลิก
ทั้งหมด (มิลลิกรัม/กรัม)..... 41
ภาพที่ 4.4 แผนภาพคอนทัวร์พล็อต (ก) และแผนภาพพื้นที่ผิวตอบสนอง 3 มิติ (ข)
แสดงผลของเวลาการเพาะงอก (X_1) ความเข้มข้นของเกลือโซเดียม
คลอไรด์ (X_2)และเวลาแช่ก่อนการเพาะงอก (X_3) ต่อสมบัติการต้าน
อนุมูลอิสระ FRAP(ไมโครโมล/กรัม)..... 42
ภาพที่ 4.5 แผนภาพคอนทัวร์พล็อต (ก) และแผนภาพพื้นที่ผิวตอบสนอง 3 มิติ (ข)
แสดงผลของเวลาการเพาะงอก (X_1) ความเข้มข้นของเกลือโซเดียม
คลอไรด์ (X_2)และเวลาแช่ก่อนการเพาะงอก (X_3) ต่อสมบัติการต้าน
อนุมูลอิสระ DPPH(ไมโครโมล/กรัม)..... 43
ภาพที่ 4.6 แผนภาพคอนทัวร์พล็อต (ก) และแผนภาพพื้นที่ผิวตอบสนอง 3 มิติ (ข)
แสดงผลของเวลาการเพาะงอก (X_1) ความเข้มข้นของเกลือโซเดียม
คลอไรด์ (X_2)และเวลาแช่ก่อนการเพาะงอก (X_3) ต่อสมบัติการต้าน
อนุมูลอิสระ ABTS(ไมโครโมล/กรัม)..... 44
ภาพภาคผนวกที่ ก1 กราฟมาตรฐานกรดแกลลิกในการวิเคราะห์ฟีนอลิกทั้งหมด
(Total phenolic content)..... 68

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้า

ภาพภาคผนวกที่ ก2 กราฟมาตรฐานโทรอกซ์ในการวิเคราะห์ความสามารถในการรีดิวซ์เฟอริก..... 69
ภาพภาคผนวกที่ ก3 กราฟมาตรฐานโทรอกซ์ในการวิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ(DPPH)..... 70
ภาพภาคผนวกที่ ก4 กราฟมาตรฐานโทรอกซ์ในการวิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ (ABTS)..... 71
ภาพภาคผนวกที่ ข1 เครื่องวัดความชื้น (Moisture halogen, ประเทศเยอรมัน)..... 72
ภาพภาคผนวกที่ ข2 เครื่องวัดสี (Chromameter Minolta CR-400, ประเทศญี่ปุ่น)..... 73
ภาพภาคผนวกที่ ข3 เครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส (Texture analyzer TA-XTplus, ประเทศอังกฤษ)..... 74
ภาพภาคผนวกที่ ข4 ตัวอย่างกราฟแรงกับเวลาในการวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัส (TPA)..... 75
ภาพภาคผนวกที่ ข5 ตัวอย่างแบบทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสของเค้กสปันจ์..... 78
ภาพภาคผนวกที่ ข6 ตัวอย่างแบบทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสของเค้กเนย..... 79
ภาพภาคผนวกที่ ข7 ตัวอย่างแบบทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสของเค้กชิฟฟ่อน..... 80

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1. ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย

ธัญพืชทั้งเมล็ดที่ไม่ผ่านการขัดสีเป็นแหล่งที่สำคัญของ ใยอาหาร วิตามิน เกลือแร่ และสารพฤกษเคมีต่างๆ เช่น สารประกอบฟีนอล แคโรทีนอยด์ วิตามินอี ลิกแนนเบต้ากลูแคน อินูลิน แป้งที่ทนต่อการย่อยด้วยเอนไซม์ สเตอรอล และไฟเตท ปริมาณของสารสำคัญที่พบในธัญพืชทั้งเมล็ดเหล่านี้ สามารถพบได้ในปริมาณที่เทียบเท่ากับในผักผลไม้ สารพฤกษเคมีต่างๆเหล่านี้มีบทบาทที่เป็นประโยชน์ต่อร่างกายมนุษย์มากกว่าสารโภชนาการพื้นฐาน ซึ่งสามารถช่วยลดความเสี่ยงในการเกิดโรคเรื้อรังต่างๆลดลง เช่น โรคหัวใจ โรคเบาหวาน และโรคมะเร็งบางชนิด (Slavin, 2000; Liu, 2004) สารพฤกษเคมีเหล่านี้ในธัญพืชทั้งเมล็ดมักพบในลักษณะของสารประกอบเชิงซ้อน ซึ่งให้บทบาทที่เป็นประโยชน์กับร่างกายมากกว่าสารโมเลกุลเดี่ยว (Liu, 2004) ใยอาหารที่สำคัญที่พบในธัญพืชทั้งเมล็ดที่สำคัญคือ อะราบินอกไซแลนส์ สารประกอบฟีนอลต่างๆที่มีบทบาทเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ เช่น กรดฟีนอลิก แอนโทไซยานิดิน ควิโนน ฟลาโวนอล ชาลโคน ฟลาโวน และฟลาโวโนน (Lloyd และคณะ, 2000) อีกทั้งยังมีรายงาน การเพาะงอกธัญพืชทั้งเมล็ด ทำให้ปริมาณสารพฤกษเคมี เช่น สารประกอบฟีนอล และให้คุณค่าทางโภชนาการและคุณสมบัติเชิงกายภาพที่สูงกว่าธัญพืชปกติ (Prodanov และคณะ, 1997; Price, 1998; Rozan และคณะ, 1999, 2000)

กระบวนการงอก (Germination) เป็นกระบวนการที่สามารถปรับปรุงคุณค่าทางโภชนาการที่ดี โดยเพิ่มคุณค่าสารอาหารในเมล็ดพืช พบการใช้กันมายาวนานกว่าทศวรรษ (Kaukovirtar-Norja และคณะ, 2004) การเพาะเมล็ดแต่เดิมเป็นกรรมวิธีพื้นบ้านของชาวตะวันออก โดยเฉพาะชาวจีน ซึ่งมีการปฏิบัติสืบมาหลายร้อยปี ต่อมามีการเผยแพร่มากขึ้น โดยเฉพาะชาวตะวันตกได้นำเมล็ดพืชเพาะงอกมาปรับปรุงคุณค่าทางอาหารในผลิตภัณฑ์หลายชนิด เช่น เป็นอาหารเสริมสำหรับเด็ก อาหารเสริมเพื่อสุขภาพ และผลิตภัณฑ์เบเกอรี เป็นต้น (Chavan และ Kadam, 1989) อีกทั้งมีรายงานว่า กระบวนการงอกมีผลทำให้สารต้านอนุมูลอิสระ สารประกอบฟีนอลกรดอะมิโน และน้ำตาลรีดิวซ์ มีปริมาณเพิ่มขึ้น ซึ่งมีความสำคัญต่อสุขภาพของมนุษย์ (Abderrahim และคณะ, 2012) ในประเทศไทยมีการนำเมล็ดพืชมาเพาะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพื่อใช้เป็นชนิดของวัตถุดิบในอาหาร คือ นำเมล็ดถั่วเขียวมาผลิตถั่วงอก หรือเพาะเมล็ดถั่วเหลืองเพื่อทำเป็นถั่วงอกหัวโต และในช่วงหลายปีที่ผ่านมา ในไทยเองก็มีกระแสความสนใจในการผลิตข้าวกล้องงอก เนื่องจากพบว่าในข้าวกล้องงอกมีสาร GABA (gamma amino butyric acid) สูง ซึ่งสารนี้มีบทบาทสำคัญในการเป็นสารสื่อประสาท(neurotransmitter) ภายในระบบประสาทส่วนกลาง ป้องกันการเสื่อมของสมอง (นงนุช, 2555) กระบวนการเพาะงอกจึงเป็นกระบวนการดัดแปลงทางธรรมชาติ และเป็นกระบวนการที่ไม่ต้องลงทุนสูง ที่สามารถเพิ่มคุณค่าทางสารอาหาร และสาระสำคัญต่างๆ ในธัญพืชให้เพิ่มขึ้น ซึ่งล้วนเป็นสารที่มีประโยชน์ต่อร่างกายมนุษย์ ทำให้ร่างกายมีภูมิคุ้มกันในแง่ของการป้องกันโรค โดยเฉพาะโรคหัวใจ เบาหวาน และมะเร็งลำไส้

การเพาะงอกสามารถทำได้โดยการแช่เมล็ดในน้ำ สารอาหารที่อยู่ในเมล็ดจะมีการย่อยสลายไปตามกระบวนการทางชีวเคมี (มัณฑนา, 2555) ซึ่งแต่เดิมทางภาคเหนือและบางส่วนของภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทยใช้เกลือโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) ในการแช่เพื่อเพิ่มคุณภาพของข้าว Thammapat และคณะ (2015) ได้รายงานเกี่ยวกับการแช่ข้าว ถึงการเพิ่มขึ้นของความเข้มข้นของเกลือโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) ที่มีผลให้สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ เช่น สารประกอบฟีนอล ซึ่งออกฤทธิ์เป็นสารต้านอนุมูลอิสระมีปริมาณเพิ่มขึ้น และทำให้คุณภาพการปรุงดีขึ้น แต่ในงานวิจัยทางวิทยาศาสตร์ยังมีการรายงานเกี่ยวกับการแช่สารละลายเกลือที่มีผลต่อสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพน้อยมาก (Umnajkitikorn และคณะ, 2013)

เมล็ดควินัว (quinoa) (*Chenopodium quinoa* Willd.) เป็นพืชในกลุ่มเสมือนธัญพืช (pseudocereal) เป็นพืชใบเลี้ยงคู่ เมล็ดควินัวเป็นอาหารหลักของชาวอเมริกาใต้ มีการเพาะปลูกมากบริเวณเทือกเขาแอนดีสที่ความสูงจากระดับน้ำทะเล 4 พันเมตร เมื่อ 5 พันปีมาแล้ว สามารถปลูกได้ในที่ดินเค็ม และเทือกเขาสูง จัดเป็นพืชมหัศจรรย์ที่มีสารอาหารมากมาย ปัจจุบันได้รับความสนใจจากทั่วโลก โดยมีรายงานว่าประเทศที่มีการปลูกมากคือ โบลิเวียและเปรู มีการเพิ่มปริมาณการเพาะปลูกสูงขึ้นเนื่องจากความต้องการของตลาดมากขึ้น FAO ได้คัดเลือกให้เมล็ดควินัวเป็นหนึ่งในพืชที่เกี่ยวข้องกับความมั่นคงทางอาหารในศตวรรษที่ 21 สำหรับสารอาหารที่มีปริมาณสูงในเมล็ดควินัว ได้แก่ ปริมาณโปรตีนร้อยละ 15-17 ของน้ำหนักแห้ง ใยอาหาร มีวิตามินโดยเฉพาะ บีหนึ่ง และบีสอง วิตามินอีและกรดโฟลิค เกลือแร่สูง ได้แก่ สังกะสี เหล็กและแมกนีเซียม มีกรดอะมิโนที่จำเป็นต่อร่างกายครบ เมล็ดควินัวมี ไลซีน ทริโอนิน เมทไธโอนิน ซึ่งกรดอะมิโนสามชนิดนี้ขาดแคลนในธัญพืชทั่วไป นอกจากนี้โปรตีนในเมล็ดควินัวเป็นโปรตีนปราศจากกลูเตน ดังนั้น ควินัวจึงเป็นหนึ่งในวัตถุดิบสำหรับทำผลิตภัณฑ์ของผู้ที่มีภาวะแพ้กลูเตน สำหรับกรดไขมันอิสระที่พบในควินัวในปริมาณมาก คือ กรดปาล์มิติก กรดโอเลอิก กรดลิโนเลอิก และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรดแอลฟ่าลิโนเลนิก และยังพบสารต้านอนุมูลอิสระปริมาณมากในควินัว (Jacobsen, 2003; Radmila และคณะ, 2012; Peiretti และคณะ, 2013; Wu และคณะ, 2014) เมล็ดควินัวจึงเป็นอาหารที่ได้รับชื่อว่า superfood ล่าสุดองค์การสหประชาชาติประกาศให้ปี 2013 เป็น "ปีแห่งควินัว"

เมล็ดควินัวถือเป็นกลุ่มของพืชมหัศจรรย์ที่มีสารที่ทำให้เกิดประโยชน์ต่อร่างกายมนุษย์มาก การนำกระบวนการเพาะงอกมาทำให้เกิดการงอกในควินัวซึ่งจะมีการเปลี่ยนแปลงสารชีวเคมีต่างๆในเมล็ด และจากที่กล่าวข้างต้นเกี่ยวกับการแช่สารละลายเกลือที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของสารสำคัญในธัญพืช ในงานวิจัยนี้จึงสนใจศึกษาสภาวะการแช่เมล็ดควินัวในสารละลายเกลือที่เวลาแตกต่างกัน เพื่อเพิ่มสมบัติการต้านอนุมูลอิสระที่พบมากในควินัว และในงานวิจัยยังนำควินัวเพาะงอกที่ได้ไปใช้ในการทำผลิตภัณฑ์เค้กปราศจากกลูเตน เพื่อเพิ่มสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ

1.2. วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

5.1 เพื่อศึกษาผลของเกลือโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) ต่อการงอกของควินัว

5.2 เพื่อศึกษาผลของเกลือโซเดียมคลอไรด์ ต่อองค์ประกอบทางเคมี และสมบัติการต้านอนุมูลอิสระของควินัว

5.3 เพื่อศึกษาการใช้ประโยชน์จากแป้งควินัวงอกในเค้กปราศจากกลูเตน

1.3. ขอบเขตงานวิจัยของควินัว

ขอบเขตงานวิจัยนี้จะครอบคลุมเนื้อหาของการพัฒนาคุณภาพทางโภชนาการของเมล็ดควินัว โดยวิธีการเพาะงอก โดยศึกษาการงอกของเมล็ดควินัว 3 สายพันธุ์ คือ สีขาว สีแดง และสีดำ หาสายพันธุ์ที่มีร้อยละการงอกสูง หลังจากนั้นนำพันธุ์ที่คัดเลือกมาทำการเพาะงอกเพื่อหาเวลาการแช่ในเกลือโซเดียมคลอไรด์ที่เหมาะสม เพื่อทำให้เกิดความเครียดในเมล็ดและเพิ่มสมบัติการต้านอนุมูลอิสระในเมล็ดควินัวงอก ในขั้นตอนสุดท้ายของการศึกษานี้ คือ การนำแป้งควินัวงอกที่มีสมบัติการต้านอนุมูลอิสระสูง ไปผสมแทนที่แป้งข้าวเจ้าเพื่อทำเค้กปราศจากกลูเตน และตรวจวิเคราะห์สมบัติการต้านอนุมูลอิสระที่เหลืออยู่หลังกระบวนการแปรรูปเป็นเค้กปราศจากกลูเตน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

2.1. การงอกของเมล็ด

ในคำจำกัดความการงอกของเมล็ด หมายถึงขบวนการต่างๆอันซับซ้อนที่เกิดขึ้นภายในเมล็ด มีผลทำให้เกิดการเจริญเติบโตของต้นอ่อน นักสรีรวิทยา หรือนักชีวเคมี อาจให้คำจำกัดความของการงอกของเมล็ดแต่เพียงระยะที่รากอ่อนแทงทะลุส่วนของเปลือกหรือเยื่อหุ้มเมล็ดออกมาปรากฏให้เห็น ในขณะที่นักวิชาการทางพืชระบุว่า การงอกหมายถึง ระยะตั้งแต่ที่เมล็ดเริ่มมีขบวนการต่างๆ เกิดขึ้นภายในเมล็ดแห้งไปจนถึงระยะที่ต้นอ่อนเริ่มเจริญเติบโต และให้ต้นกล้าที่แข็งแรงพอที่จะเจริญเติบโตเป็นต้นพืชต่อไปได้ (อัมพร, 2543)

2.1.1. กระบวนการต่างๆในการงอกของเมล็ด

ในกระบวนการงอกของเมล็ดนั้น ขั้นตอนแรกที่เกิดขึ้นกับเมล็ด คือ การดูดซึมน้ำในระหว่างที่เมล็ดดูดซึมน้ำ เมล็ดจะอยู่ในสภาพหยุดนิ่ง แล้วถูกกระตุ้นให้มีการตื่นตัวขึ้น ซึ่งกระบวนการต่างๆที่เกิดขึ้นในระหว่างการงอกนั้น มีดังนี้

2.1.1. การดูดซึมน้ำ การดูดน้ำของเมล็ดจะแตกต่างกันไปตามชนิดของพืช ลักษณะเปลือกหุ้มเมล็ด องค์ประกอบทางเคมีของเมล็ด ขนาดเมล็ด และอุณหภูมิในขณะนั้น เมื่อน้ำถูกดูดเข้าไปถึงจุดอิ่มตัว ก็จะเกิดกระบวนการต่อไป (อัมพร, 2543) ซึ่งในระหว่างการดูดซึมน้ำของเมล็ดพันธุ์ ออร์แกเนลล์ต่างๆ ในเซลล์ของเมล็ดพันธุ์ถูกกระตุ้นให้ทำงานมากขึ้น ได้แก่

1.) ไมโทคอนเดรีย เป็นออร์แกเนลล์ในเซลล์ทั่วไป ประกอบด้วยเยื่อที่เรียกว่าเยื่อไมโทคอนเดรียชั้นใน (cristae) หน้าที่สำคัญของไมโทรคอนเดรีย คือ การหายใจ

2.) ไรโบโซม เป็นกลุ่มออร์แกเนลล์ขนาดเล็กที่พบในส่วนของไซโทพลาซึม ไรโบโซมเป็นออร์แกเนลล์ที่มีหน้าที่สังเคราะห์โปรตีน m-RNA (messenger ribonucleic acid) ซึ่งถูกสร้างขึ้นเมื่อเมล็ดสุกแก่ ทำหน้าที่ในการควบคุมการสังเคราะห์โปรตีนไปยังไรโบโซม เนื่องจากเซลล์ ออร์แกเนลล์ และโมเลกุลขนาดใหญ่ต่างๆ จะมีกิจกรรมมากขึ้น และมีขนาดใหญ่ขึ้น

3.) ไกลออกซิโซม (glyoxisome) เป็นชิ้นส่วนเล็กๆ ที่มีเยื่อเพียงชั้นเดียว พบในส่วนของไซโทพลาสซึม หน้าที่สำคัญของออแกเนลล์นี้คือ การเกิดกระบวนการเบตาออกซิเดชั่น (ß-oxidation) ที่เปลี่ยนกรดไขมันไปเป็นอะซิทิลโคเอ (acetyl CoA)

4.) เยื่อต่างๆ ออร์แกเนลล์ที่พบในเซลล์พืชส่วนใหญ่มีเยื่อหุ้มสองชั้น ซึ่งประกอบด้วยโปรตีนสองชั้น ห่อหุ้มไขมันไว้ตรงกลาง นอกจากนี้ จะมีเยื่อเพียงชั้นเดียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของผลงานทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.) เอนไซม์ในระหว่างการดูดอุ้มน้ำ จะมีเอนไซม์หลายชนิด ทั้งที่มีอยู่แล้วในเมล็ด และถูกสร้างขึ้นใหม่ ถูกกระตุ้นให้ทำงาน (บุญมี, 2546)

2.1.2. การหายใจ เมื่อน้ำถูกดูดซึมเข้าสู่เมล็ดในปริมาณที่เพียงพอ ก็จะไปกระตุ้นการทำงานขององค์ประกอบต่างๆ ภายในเซลล์ น้ำจะช่วยละลายโปรโตพลาสซึม ช่วยให้ออกซิเจนเข้าไปในเมล็ด ทำให้ย่อยอาหารที่มีการสะสมไว้ในเนื้อเยื่อส่วนต่างๆ ให้เป็นโมเลกุลเล็กๆ ส่งไปเลี้ยงส่วนของคัพภะ การย่อยอาหารต่างๆ ที่เก็บสะสมไว้ภายในเมล็ดจะมีพลังงานเกิดขึ้น พลังงานเหล่านี้จะถูกนำไปใช้ในการสร้างอาหารต่อไป

2.1.3. การเคลื่อนย้ายและการขนส่งอาหาร เมื่ออาหารที่เก็บสะสมไว้ในเมล็ดถูกย่อยเป็นโมเลกุลเล็กๆ ก็จะเคลื่อนย้ายไปยังจุดเจริญ (คัพภะ) เพื่อสร้างอาหารหรือสารใหม่ เพื่อใช้สำหรับการเจริญของต้นอ่อนต่อไป

2.1.4. เมตาบอลิซึม เมื่อส่วนของคัพภะได้รับพลังงานที่เกิดจากการหายใจ และได้รับแร่ธาตุต่างๆที่ส่งมาจากส่วนเนื้อเยื่อที่เก็บสะสมอาหาร ต้นอ่อนจะเริ่มมีการสังเคราะห์อาหารขึ้นใหม่ เพื่อใช้ในการเจริญเติบโต

2.1.5. การเจริญเติบโต หลังจากส่วนของต้นอ่อนมีการสังเคราะห์อาหารขึ้นใหม่ให้เพียงพอต่อการเจริญเติบโตแล้ว ปรากฏการณ์ที่เห็นได้ชัดคือ จะเกิดการยืดตัวของจุดเจริญซึ่งเกิดจากการแบ่งเซลล์และการยืดตัวของเซลล์ โดยทั่วไปส่วนของรากอ่อนจะเจริญก่อนส่วนลำต้นและยอดอ่อน (อัมพร, 2543)

2.2. ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการงอกของเมล็ด

เมล็ดที่เจริญเติบโตเต็มที่คือเมล็ดที่ได้ผ่านกระบวนการเปลี่ยนแปลงเป็นเมล็ดที่สุกแก่ สิ่งที่เกิดขึ้นในระหว่างการสุกแก่ คือ การสูญเสียน้ำและความชื้น เมล็ดที่เจริญเติบโตเต็มที่จะมีความชื้นประมาณร้อยละ 10-15 เมล็ดที่มีความชื้นต่ำ จะมีอัตราการหายใจและชีวเคมีต่างๆไปตลอด เมล็ดที่อยู่ในระยะที่พักตัว เมื่อใดที่มีสภาวะแวดล้อมต่างๆ ที่เหมาะสมสำหรับการงอกขึ้น เมล็ดที่ได้รับความชื้นพอเหมาะ มีออกซิเจนเพียงพอ และมีอุณหภูมิที่เหมาะสมที่งอกได้ การเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีของเมล็ดเริ่มถูกกระตุ้นใหม่ เมล็ดมีความชื้นสูง มีเมตาบอลิซึมเพิ่มขึ้น มีผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสัณฐานของเมล็ด ในที่สุดเกิดการงอกของเมล็ดได้ Koehler และคณะ (2007) ยังรายงานว่า แสง สารตัวกลางในการเพาะงอก การแช่ ระยะเวลาในการงอก ก็เป็นปัจจัยที่มีผลต่อการงอก ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของพืช ดังนั้นปัจจัยหลักที่เกี่ยวข้องกับการงอกของเมล็ดมีดังนี้

2.2.1. น้ำหรือความชื้น

เมล็ดที่นำมาทดสอบความงอกจะได้รับน้ำหรือความชื้นจากวัสดุเพาะโดยการดูดซับน้ำ ฉะนั้นน้ำหรือความชื้นในวัสดุเพาะต้องอยู่ในปริมาณที่พอเพียงที่เมล็ดจะดูดไปใช้ได้ หากวัสดุเพาะมีน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำซ้ำ ดัดแปลง เผยแพร่ หรือนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มากเกินไปจะกีดกั้นการดูดซึมออกซิเจนของเมล็ด ในขณะเดียวกันถ้าความชื้นในวัสดุเพาะต่ำเมล็ดจะงอกได้ช้าหรืออาจไม่งอก

2.2.2. ปริมาณอากาศ

ขบวนการงอกของเมล็ดที่เกี่ยวข้องกับเซลล์ที่มีชีวิตและต้องการพลังงาน จึงต้องการออกซิเจนสำหรับการหายใจ โดยทั่วไปเมล็ดจะงอกได้เมื่อมีความชื้นประมาณร้อยละ 20 ถ้ามีออกซิเจนมากขึ้นอัตราการงอกก็จะเพิ่มขึ้น แต่มีเมล็ดบางชนิดสามารถงอกได้ในที่มีออกซิเจนต่ำกว่าร้อยละ 20 เช่น ข้าว นอกจากนี้ คาร์บอนไดออกไซด์ยังมีส่วนเกี่ยวข้องกับการงอกของเมล็ด ปกติเมล็ดจะงอกได้ดีถ้าอากาศมีปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 0.03 ถ้ามีปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สูงมากอาจจะทำให้เมล็ดไม่งอกเลย

2.2.3. อุณหภูมิที่เหมาะสม

อุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการงอกของเมล็ดพืชทั่วๆไปอยู่ในช่วง 10-35 องศาเซลเซียส เมล็ดพืชบางชนิดงอกได้ที่อุณหภูมิคงที่ (constant temperature) ส่วนเมล็ดพืชบางชนิดต้องการอุณหภูมิสูงต่ำสลับกัน (alternating temperature)

2.2.4. แสง

เมล็ดพืชบางชนิดต้องการแสงเพื่อไปกระตุ้นการงอก แสงอาทิตย์ที่มีอยู่ตามธรรมชาติหรือแสงที่มีความเข้มข้นประมาณ 75-100 แรงเทียนพอเพียงในการกระตุ้นให้เมล็ดงอก หากเพาะเมล็ดพืชพวกที่ต้องการแสงในตู้เพาะ (germination) มักนิยมใช้ "Daylight Germinator" ซึ่งออกแบบให้มีแสงจากหลอดไฟฟ้าพวกฟลูออเรสเซนต์ (fluorescent) ซึ่งติดไว้ข้างตู้เพาะที่เป็นกระจกใสหรือฝ้า แสงสว่างส่องเข้าไปในตู้เพาะได้ แต่ไม่ทำให้อุณหภูมิภายในตู้เพาะสูงขึ้น นอกจากนี้ช่วงคลื่นแสงที่มีความถี่ต่างกันก็จะมีผลในการกระตุ้นหรือยับยั้งการงอกด้วย (จวงจันทร์, 2529; อัมพร, 2543)

2.3. การเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีระหว่างการงอก (นงนุช, 2555)

2.3.1. การเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีระหว่างการงอก เมื่อเมล็ดได้รับน้ำเข้าไป ส่งผลให้ขบวนการสังเคราะห์ต่างๆ ภายในเซลล์เริ่มทำงาน โดยสังเคราะห์สารที่จำเป็นต่อการทำงานของเซลล์ ขบวนการย่อยสลาย และขบวนการลำเลียงสารอาหารที่เก็บสะสมไว้ นำไปใช้สำหรับการเจริญเติบโตของเอ็มบริโอให้สามารถเจริญเติบโตเป็นต้นกล้าที่ปกติ ซึ่งขบวนการต่างๆ สามารถอธิบายได้ดังนี้ **การสังเคราะห์สารที่จะเป็นต่อการทำงานของเซลล์** สารที่จำเป็นต่อการทำงานของเซลล์ ได้แก่ เอนไซม์ ดีเอ็นเอ และอาร์เอ็นเอ ซึ่งเกี่ยวข้องกับการสร้างโปรตีน จะถูกชักนำในการสังเคราะห์เพิ่มขึ้นด้วย เอนไซม์ที่เกี่ยวข้องคือเอนไซม์ที่ถูกสร้างขึ้นขณะที่เมล็ดกำลังเจริญเติบโต จะถูกกระตุ้นให้ทำงาน เนื่องจากการเข้าไปของน้ำ เช่น อะมิเลส (amylase) และ กลูโคซิเดส (glucocidase) เอนไซม์ 2 ตัวนี้ จะปรากฏขึ้นทันทีหลังจากเมล็ดพันธุ์ดูดน้ำแล้วเริ่มสังเคราะห์ขึ้นใหม่ โดยผ่านการควบคุมของกรดนิวคลิอิก (nucleic acid) โดยพบใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ในเชิงพาณิชย์ ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เซลล์อะลิวโลน (aleulone) ในเมล็ดข้าว เอนไซม์ที่สังเคราะห์ขึ้นได้แก่ อะมิเลส ไรโบนิวคลิเอส (ribonuclease) โปรติเอส (protease) และไลเปส (lipase) เป็นต้น พลังงานที่ต้องใช้ในการสังเคราะห์โปรตีนต่างๆ ได้มาจากเอทีพี (ATP) ซึ่งผลิตในไมโทคอนเดรียที่ตื่นตัวภายหลังจากเมล็ดได้รับน้ำเข้ามา

2.3.2. การย่อยสลายสารอาหารที่สะสมในเมล็ดพันธุ์ สารอาหารที่เมล็ดพันธุ์เก็บสะสมไว้ในส่วนเนื้อเยื่อสะสมอาหาร ได้แก่ คาร์โบไฮเดรต โปรตีน และไขมัน จะถูกย่อยสลายโดยเอนไซม์ที่สร้างขึ้นมา คาร์โบไฮเดรตจะถูกย่อยสลายโดยเอนไซม์ ไฮโดรเลส (hydrolase) เช่น อะมิเลส และฟอสฟอริเลส (phosphorelase) ทำให้ข้าวกล้องงอกมีรสหวาน โปรตีนถูกย่อยโดยเอนไซม์ โปรติเอส (protease) ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่สร้างขึ้นมาใหม่ในระหว่างการงอกของเมล็ด ได้กรดอะมิโนเกิดขึ้นหลายชนิดที่สำคัญ ได้แก่ กรดแกมมาอะมิโนบิวทิริก (gamma aminobutyric acid) หรือกาบา (GABA) จากการสลายตัวของสารพอลิเมอร์ที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ต่างๆ เหล่านี้จึงทำให้เกิดสารชีวภาพที่มีคุณค่าต่อร่างกาย อีกทั้งยังช่วยปรับปรุงคุณภาพด้านประสาทสัมผัสของเมล็ดธัญพืช

จากการเปลี่ยนแปลงชีวเคมีในระหว่างการงอก จะเกิดการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นดังนี้ การเปลี่ยนแปลงโปรตีนและกรดอะมิโน การเปลี่ยนแปลงคาร์โบไฮเดรตและความหนืด การเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักแห้ง การเปลี่ยนแปลงของสารต่อต้านคุณค่าทางโภชนาการ

2.4. สรีรวิทยาความเค้น (Stress physiology) (สัมฤทธิ์, 2544)

ความเค้น คือ ปัจจัยภายนอกที่เป็นผลในการทำให้น้อยกว่าอัตราการเจริญเติบโตที่ได้ผลดีที่สุด ถ้าปัจจัยที่มีอยู่นั้นเกินขนาดก็จะฆ่าส่วนหรือเนื้อเยื่อ หรือสิ่งที่มีชีวิต

ศัพท์เทคนิคในสรรีวิทยาด้านความเค้นมีความแตกต่างกันมาก คำต่อไปนี้เป็นคำที่ใช้กันทั่วไป คือ

ความต้านทานในความเค้น (stress resistance) ความสามารถที่จะทนทานต่อความเค้นที่ให้จากภายนอก

การหลบหลีกในความเค้น หรือ (stress avoidance) ความสามารถที่จะป้องกันต่อความเค้นทีให้จากภายนอกที่สร้างขึ้นเท่ากับความเค้นภายในพืช

ความทนทานในความเค้น หรือ (stress tolerance) ความสามารถที่จะทนทานต่อความเค้นภายในที่ชักนำ โดยความเค้นที่ให้จากภายนอก

ความกร้าน หรือ (hardening) การพัฒนาการต่อความต้านทานในความเค้นที่กระตุ้นโดยการให้ความเค้นอย่างอ่อนๆ และ/หรือ ความเค้นที่ค่อยๆเพิ่มขึ้น พืชบางชนิดสามารถทำให้เกิดความกร้านไปในทางความเค้น

แผนการ หรือ (strategy) ลำดับแผนทางพันธุกรรมของการตอบสนองที่สามารถทำให้สิ่งมีชีวิตอยู่รอดได้ในสิ่งแวดล้อม

2.4.1. การตอบสนองในด้านการเผาผลาญและด้านสรีรวิทยา

เอกสารนี้ ... ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พืชสามารถตอบสนองต่อความเค้นในหลายๆ ทาง พืชอาจหลบหลีกผลกระทบของความเค้นโดยทำให้การเจริญเติบโตเสร็จสิ้นสมบูรณ์ในระหว่างช่วงที่มีความเค้นน้อยที่สุดหรือพืชอาจจะทนรับความเสียหาย ถ้าความเค้นนั้นมีอยู่และพืชไม่สามารถจะสู้ได้ ทางเลือกในการเผาผลาญอาจจะทำให้พืชสามารถหลีกเลี่ยงหรือทนทานต่อการกระทบของความเค้นได้

ตารางที่ 2.1 ความเค้นทางสิ่งแวดล้อมหลักที่พืชอาจได้รับ

ความเค้นทางสิ่งแวดล้อม	สาเหตุ
อุณหภูมิสูง	ความร้อน
อุณหภูมิต่ำ	ความเย็น
น้ำมากเกิน	น้ำท่วม
ขาดน้ำ	แห้งแล้ง ความเป็นไปได้ของน้ำต่ำ
ความเค็ม	เกลือ หรือ NaCl
รังสี	แสงที่เห็นได้ อุลตร้าไวโอเลท
สารเคมี	สารกำจัดศัตรูพืช โลหะหนัก มลพิษทางอากาศ
สิ่งที่มีชีวิต	เชื้อโรค การแข่งขัน

ที่มา: สัมฤทธิ์ (2544)

2.4.2. ความเค้นในด้านความเค็ม

พืชโดยทั่วไป (Mesophyte) เมื่อได้รับความเค็มในดินจะตอบสนองต่อเกลือด้วยเหตุที่เป็นปัจจัยของความเค้น พืชทนเค็ม หรือ Halophyte เท่านั้นที่จะปรับตัวทางรูปร่างและสรีรวิทยาให้เหมาะสมพอที่จะสู้กับสภาพแวดล้อมที่มีความเค็มได้ ผลกระทบโดยทั่วไปของความเค็มต่อพืชจะเนื่องมาจากการดูดขับเกลือซึ่งเป็นสาเหตุของการขาดน้ำ หรือ “ความแห้งทางสรีรวิทยา” หรือ “Physiological dryness” ในสิ่งแวดล้อมของราก และด้วยเหตุนี้การตอบสนองต่อความเค้นในด้านความเค็มหลากหลายรูปแบบจะคล้ายๆกับความเค้นในด้านน้ำ นอกเหนือจากนั้น การที่มีไอออน Na^+ และ Cl^- ในสภาพแวดล้อมของพืชอาจเป็นสาเหตุในผลกระทบที่เป็นพิษจำเพาะต่อพืชด้วยเหมือนกัน พืชพยายามจะปรับตัวในการดูดซับเกลือเพื่อสู้กับความแห้งทางสรีรวิทยา เพราะการดึงดูดเกลือเข้าไปในพืชผ่านสารละลายอินทรีย์และไอออน

1.) การยับยั้งในการเจริญเติบโต

ในพืชทั่วไปเกือบทั้งหมด ระดับของความเค็มจะอยู่ที่เหนือ 50 มิลลิโมลาร์ เป็นสาเหตุทำให้เสื่อมสภาพในการเจริญเติบโตของพืชทั้งการเจริญเติบโตของรากต่างกันมากในการตอบสนองต่อความเค็ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.) การยับยั้งในการแลกเปลี่ยนแก๊ซและการสังเคราะห์

การยับยั้งในการคายน้ำ การหายใจและการสังเคราะห์แสงโดยความเค็มได้รายงานในพืชหลายชนิดซึ่งถือว่าเป็นเพราะการปิดปากใบ ดังที่ได้สังเกตในพืช ถั่ว ฝ้าย ผักปวยเล้ง ฯลฯ อย่างไรก็ตามผลกระทบที่มิใช่ปากใบของความเค็มต่อการแยกย่อย คาร์บอนที่ได้จากการสังเคราะห์ก็ได้รับรายงานในพืชหลายชนิดเช่นกัน

3.) การแยกย่อยไนโตรเจน

การยับยั้งของการแยกย่อยไนโตรเจนโดยความเค็มได้รายงานในหลายกรณี การยับยั้งของน้ำย่อย Nitrate reductase น้ำย่อยจะลด Nitrate ไปเป็น Nitrite บางทีปฏิกิริยา ที่ไวมากในกระบวนการแยกย่อยไนโตรเจนซึ่งได้รายงานในถั่ว ข้าวโพด ฯลฯ น้ำย่อยของช่องที่แยกย่อยในแอมโมเนียมจะถูกยับยั้งด้วยเช่นกันโดย NaCl แต่ปกติ NaCl สูงกว่า 100 มิลลิโมลาร์ ความเค็มจะชักนำให้กำหนดในการแยกย่อยไนโตรเจนขึ้นใหม่จากยอดและราก และด้วยเหตุนี้ จึงเป็นสาเหตุการลดอัตราการเจริญเติบโต

4.) การขนย้ายและการดึงดูดแร่ธาตุอาหาร

การดึงดูด K^+ และประจุบวกเดี่ยวอื่นๆ ลดลง ได้มีรายงานในพืชสองสามชนิด การยับยั้งของการขนย้ายแร่ธาตุอาหารจากรากถึงยอดได้มีรายงานโดยเฉพาะในถั่ว เป็นผลกระทบที่แข่งขันกันของ Na^+ และ Cl^-

2.4.3. ผลกระทบทางชีวเคมีในกลไกของการป้องกันและความเป็นพิษ

การตอบสนองทางรูปร่างและสรีรวิทยาของพืชต่อความหลากหลายในประเภทของความเค้นได้ปรับปรับเปลี่ยนในระดับชีวเคมีและโมเลกุล ได้มีการดำเนินการพิสูจน์ในโมเลกุลที่เป็นเป้า ดังนั้นกลยุทธ์ที่เหมาะสมสามารถที่จะก่อให้เกิดการปกป้องพืชที่สำคัญทางเศรษฐกิจและต่อต้านความเค้นได้ ในหลายกรณีจึงพบว่า การตอบสนองต่อความเค้นของสิ่งมีชีวิตจะคล้ายกันที่ระดับโมเลกุล การตอบสนองเหล่านี้มีเป้าหมายไปในแนวทางป้องกันพืชที่จะช่วยให้ต่อต้านความเค้น ความเป็นไปได้อาศัยรูปแบบในการตอบสนองของโมเลกุลที่จะทำให้พืชไม่แสดงความผิดปกติใดๆ ในด้านรูปร่างหรือสรีรวิทยา

1.) การทำให้เนื้อเยื่อห่อหุ้มแตก

เนื้อเยื่อห่อหุ้มเซลล์และองค์ประกอบของเซลล์เป็นเป้าของการทำลายโดยความเค้นต่อสิ่งที่มีชีวิตหลายประเภทด้วยกัน ได้แก่ มลพิษทางอากาศ โลหะหนัก อุณหภูมิ ฯลฯ การทำให้เนื้อเยื่อห่อหุ้มแตกอาจจะเป็นผลกระทบขั้นแรกของความเค้น หรือผลที่จะเกิดตามมาในความผิดปกติของบางโมเลกุลซึ่งเป็นผลในการแตกสลายและการไม่เกาะจับติดกันของเนื้อเยื่อห่อหุ้ม การแตกสลายของเนื้อเยื่อห่อหุ้มอันเกิดจากการที่ได้รับมลพิษทางอากาศและโลหะหนักได้มีรายงาน การศึกษาในห้องปฏิบัติการกับเนื้อเยื่อห่อหุ้มตามธรรมชาติ และสังเคราะห์ ตัวอย่าง การแตกสลาย ของเนื้อเยื่อห่อหุ้ม การได้รับ NO_2 ได้มีรายงานซึ่งเป็นผลจากปรากฏการณ์ที่เพิ่ม และลดอะตอมของกรดไขมันที่มีอยู่ในเนื้อเยื่อห่อหุ้ม พืชชนิดที่มีปฏิกิริยาต่อออกซิเจนในส่วนห่อหุ้มเนื้อเยื่อ การได้รับ NO_2 ก่อให้เกิดปฏิกิริยาต่อเนื้อเยื่อห่อหุ้ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปฏิกิริยาที่สองที่เป็นสาเหตุของการได้รับออกซิเจนจากบรรยากาศให้กับลิปิดแล้วก่อให้เกิดไนไตรท์ ไอออนของไฮโดรเจน และ HNO_2 ซึ่งจะมีผลกระทบทางสรีรวิทยาของเซลล์

2.) การสะสมของสารที่เคลื่อนย้ายผ่านชั้นห่อหุ้ม

การสะสมของสารที่เคลื่อนย้ายผ่านชั้นห่อหุ้มในการตอบสนองต่อความเค็มและความแห้งแล้งได้สาธิตในการค้นคว้าหลายครั้ง สารที่ละลายในของเหลวจะช่วยป้องกันให้กับพืช มีผลกระทบที่เป็นพิษของความเค้น เพราะพืชชนิดที่ไวต่อสารพิษสะสมที่เคลื่อนย้ายผ่านชั้นห่อหุ้มได้น้อยน้อยกว่าพืชชนิดที่ทนทานต่อพิษระหว่างที่เกิดความเค้น สารที่เคลื่อนย้าย ผ่านชั้นห่อหุ้มที่สำคัญมากที่สุดซึ่งสะสมระหว่างความเค้น คือ กรดอะมิโนชนิด Proline การสะสมเกิดขึ้นขั้นแรกเพราะกรดอะมิโนชนิดนี้สังเคราะห์ขึ้นได้เอง แม้ว่าการลดลงในการแตกตัวของโมเลกุลซึ่งจะมีส่วนช่วยในการสร้างกรดอะมิโนชนิดนี้ ปัจจุบันพืชยาสูบที่ผ่านการตัดต่อทางพันธุกรรมด้วยปริมาณกรดอะมิโน Proline สูงกว่า 10 ถึง 18 เท่า ได้สร้างขึ้น ซึ่งเป็นชนิดที่ทนทานต่อความเค้นทางออสโมซิสกว่าพืชป่า การสะสมโปรตีนช่วยในการปรับกระบวนการออสโมซิสของพืช จึงอาจจะช่วยในการสะสมคาร์บอนและไนโตรเจนด้วย ในขณะที่ความเค้นนำไปสู่การเจริญเติบโตที่ช้าลง

3.) การชักนำโปรตีนจำเพาะ

บ่อยครั้งที่พืชผลิตโปรตีนใหม่ในการตอบสนองต่อความเค้นทางสิ่งมีชีวิตซึ่งถือว่าเป็นการให้สัญญาณและการตอบสนองต่อการป้องกัน ปัจจัยบางประการที่ปกติแล้วจะชักนำโปรตีนในการตอบสนองต่อความเค้นดังรายการดังตารางที่ 2.2 โปรตีนที่เกิดจากความเค้นที่ตรวจสอบแล้วอย่างกว้างขวางที่สุดคือโปรตีนที่ความร้อนทำให้หยุดนิ่ง หรือ Heat Shock Proteins (HPPs) ซึ่งสังเคราะห์ได้ในการตอบสนองต่ออุณหภูมิสูง โปรตีนเหล่านี้ได้สังเคราะห์ในการตอบสนองต่อการตอบสนองอุณหภูมิสูงที่ไม่ทำให้ตายและช่วยป้องกันในการต่อต้านจากการได้รับอุณหภูมิสูงที่ถึงตายในเวลาต่อมา

ตารางที่ 2.2 ความเค้นในการชักนำโปรตีนและเปบไทด์ในพืช

ชนิดโปรตีนและเปบไทด์	ความเค้นที่ชักนำโปรตีน
Aqquaporins	ความแห้งแล้ง
โปรตีนต่อต้านจุดเยือกแข็ง	อุณหภูมิต่ำ
โปรตีน BN28 (ในพืช *Brassica napus*)	อุณหภูมิต่ำ
Dehydrins	ความแห้งแล้ง อุณหภูมิต่ำ ความเค้นและกรดแอบไซซิก
โปรตีนที่ความร้อนทำให้หยุดนิ่ง (PHSs)	อุณหภูมิสูง
Osmotin และสารคล้าย Osmotin	ความเค็ม การเป็นแผล แอบไซซิกแอสิด เอธิลีน ฯลฯ โลหะหนัก
Phytochelatins	

ที่มา: สัมฤทธิ์ (2544)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรตีนจำนวนมากที่ก่อให้เกิดจุดกำเนิดล่าช้ากว่ากำหนด หรือโปรตีน Late embryogenesis abundant (LEA) เป็นอีกกลุ่มหนึ่งของโปรตีนซึ่งปกป้องพืชต้านทานความแห้งแล้ง โปรตีน LEA ที่สำคัญที่สุด คือ Dehydrins ซึ่งชักนำในการตอบสนองต่ออุณหภูมิต่ำ ความเค็ม และ แอบไซซิก แอซิด ที่ได้รับด้วยเหมือนกัน

โปรตีนเหล่านี้จะหายไปหลังจากความเค้นได้ถูกเอาออกไป มันเป็นโปรตีนที่มีโมเลกุลขนาดเล็ก Mr จากระยะ 9 กิโลดาลตัน (ข้าว) ถึง 200 กิโลดาลตัน (ข้าวสาลี) ในจุดกำเนิดที่เจริญเต็มที่และในต้นอ่อนของธัญพืชที่ได้รับความแห้งแล้งอาจจะสะสมได้สูงถึงร้อยละ 1 ของโปรตีนที่ละลายได้ทั้งหมด จึงคาดว่าโปรตีนเหล่านี้จะป้องกันพืชโดยทำให้โปรตีน หรือเนื้อเยื่อห่อหุ้มคงสภาวะอยู่ได้ภายใต้ความเค้นที่ขาดน้ำ

4.) ความเสียหายที่ชักนำด้วยอนุมูลอิสระ-ออกซิ่

การก่อกำเนิดอนุมูลอิสระและความเสียหายที่จะตามมาต่อส่วนประกอบของเซลล์ดูเหมือนว่าจะเป็นเหตุการณ์ที่สำคัญที่สุดระหว่างความเค้นในสิ่งมีชีวิต อนุมูลอิสระที่สำคัญที่สุดเป็นชนิดของออกซิเจนที่มีปฏิกิริยาหรือ Reactive Oxygen Species (ROS) หรือชนิดกึ่งกลางของออกซิเจนที่มีปฏิกิริยา หรือ Reactive Oxygen Intermediates (ROI) เช่น Superoxide anion ($O^{\cdot}_2$) และ Hydroxy free radical ($OH^{\cdot}$) และความเป็นพิษต่อพืชของ H_2O_2 ด้วยเหมือนกัน สำหรับ ROI จะเป็นพิษสูงมากและสามารถทำความเสียหายได้อย่างรุนแรงต่อส่วนประกอบของเซลล์ อนุมูลอิสระเหล่านี้อาจเป็นสาเหตุของการเพิ่มออกซิเจนในส่วนประกอบของเนื้อเยื่อห่อหุ้มเช่นกัน นอกจากนี้ยังกระทบถึงโมเลกุลของสิ่งมีชีวิต เช่น น้ำย่อยโปรตีน นิวคลิอิก แอซิด ฯลฯ การผลิต ROI ปกติแล้วจะเพิ่มขึ้นระหว่างสภาวะที่มีความเค้น หรือมีกลไกการป้องกันที่ดีที่เก็บกวาดอนุมูลอิสระเหล่านี้ออกไปซึ่งประกอบด้วยสารต่อต้านอนุมูลอิสระ หรือ Antioxidants ได้แก่สาร Ascorbate, Glutathione และน้ำย่อยอีกหลายชนิด สารเผาผลาญและน้ำย่อยเหล่านี้ถูกชักนำระหว่างเกิดความเค้น การชักนำจะเห็นได้ชัดในพืชชนิดที่ทนทานต่อความเค้นมากกว่าในพืชที่อ่อนแอ

2.5. ธัญพืชเทียม (Pseudo-cereal)

ธัญพืชเทียม (pseudo-cereal) เป็นพืชที่ไม่อยู่ในวงศ์เดียวกับหญ้า ซึ่งธัญพืชที่แท้จริงจะอยู่ในวงศ์เดียวกับหญ้า ซึ่งมีลักษณะเป็นใบเลี้ยงเดี่ยว ในขณะที่ธัญพืชเทียมเป็นพืชใบเลี้ยงคู่ ซึ่งมีการนำมาใช้เพื่อบดทำแป้งหรืออื่นๆ ที่อยู่ในลักษณะหน้าที่เหมือนกับธัญพืช ตัวอย่างของธัญพืชเทียม ได้แก่ อมาแรนท์ ควินัว เจีย และ บัควีท เป็นต้น (Berghofer, 2010)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6. ควินัว (*Chenopodium quinoa* Willd.)

ควินัว (*Chinopodium* spp.) เป็นธัญพืชเทียม (pseudo-cereals) พืชใบเลี้ยงคู่ที่มีความแตกต่างจากพืชในวงศ์ Gramineae หลายประการ ในอดีตมีความสำคัญเป็นอาหารหลักในพื้นที่กวางขวาง มีการพัฒนาควินัวเป็นพืชปลูกในช่วง 300-5000 ปีก่อน ในหลายพื้นที่ในแถบเทือกเขาแอนดีส รวมทั้งอาร์เจนตินา โบลิเวีย ชิลี โคลอมเบีย เอควาดอร์และเปรู ในยุคอินคามีการปลูกอย่างกว้างขวาง พื้นที่ปลูกและการใช้ประโยชน์ลดลงหลังจากถูกยึดครองโดยสเปน แต่ในปัจจุบันมีการปลูกเป็นพืชอาหารรองสำหรับบริโภคในครัวเรือนหรือเพื่อจำหน่าย การนำไปใช้ประโยชน์ในรูปแบบอื่น เช่น เป็นอาหารสัตว์มีความสำคัญเพียงเล็กน้อย ในประเทศที่พัฒนาส่วนใหญ่ถูกแทนที่โดยธัญพืชที่ให้ผลผลิตสูง ทั้งนี้ได้มีการหันมาให้ความสนใจใหม่เนื่องมาจากมีคุณค่าทางอาหารสูง (มีปริมาณกรดอะมิโนสำหรับร่างกายสูง) เป็นธัญพืชเทียมที่มีแนวโน้มที่จะมีความสำคัญทางเศรษฐกิจในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้

ในทางพฤกษศาสตร์แตกต่างจากธัญพืช มีรากแก้วและลำต้นหลักในต้นกล้า ต้นไม่แตกกอ แต่มีการแตกกิ่งเป็นกลไกในการชดเชยการใช้ระยะปลูกที่ไม่เหมาะสม ข้อด้อยเมื่อเปรียบเทียบกับธัญพืช ได้แก่ ช่วงระยะเวลาตั้งแต่ดอกบานไปจนถึงเมล็ดแก่ยาวนานมากกว่า เมล็ดจัดเป็นแหล่งสะสมอาหารที่มีความแข็งแรงน้อยกว่าในธัญพืช และมีค่าสัมประสิทธิ์การเก็บเกี่ยวต่ำกว่า (ประมาณร้อยละ 30) สภาพภูมิอากาศที่เหมาะสมสำหรับธัญพืชเทียมในเขตอบอุ่นที่มีอุณหภูมิสูงอยู่ในช่วงฤดูร้อน

ควินัวจัดเป็นพืชในเขตอบอุ่นและเขตกึ่งร้อน ขึ้นอยู่ในสภาพที่มีอุณหภูมิสูงถึง 35 องศาเซลเซียส ควินัวสามารถทนทานต่อสภาพอากาศหนาวเย็นจนเกิดน้ำค้างแข็งเล็กน้อย แต่ไม่ทนต่อสภาพอุณหภูมิต่อกว่า –3 องศาเซลเซียส ระดับสูงสุดของพื้นที่ที่มีการปลูกได้แก่ระดับ 4000 เมตร การออกดอกในบางพันธุ์ไม่ตอบสนองต่อความยาวของวัน ในขณะที่พันธุ์อื่นๆออกดอกในระยะต่อมาเมื่อความยาวของวันเพิ่มขึ้น ในอเมริกาใต้มีการปลูกควินัวในสภาพที่ดินมีความอุดมสมบูรณ์ต่ำในระดับที่ไม่สามารถปลูกธัญพืชชนิดอื่นๆได้ผล มีการเจริญเติบโตดีในสภาพที่มีการกระจายของฝนสม่ำเสมอ ในระยะแรกของการเจริญเติบโต และมีสภาพอากาศแห้งในช่วงต้นแก่และในช่วงเก็บเกี่ยว สามารถทนทานต่อสภาพฝนตกมากเกิดความต้องการในระยะแรกของการเจริญเติบโตและพัฒนาการ ยกเว้นในช่วงหลังหว่านเมล็ด ในสภาพที่ดินมีความชื้นสูงและระบายน้ำเลวมีผลต่อความงอกของเมล็ด ควินัวจึงจัดเป็นพืชที่สามารถทนทานต่อสภาพอากาศแห้งแล้งได้ดี โดยเฉพาะในระยะหลังของการเจริญเติบโตและต้นแก่ ในช่วงหลังของการแก่ของต้น ต้นอาจจะได้รับความเสียหายมากจากการที่มีฝนตกในระยะดังกล่าว หากมีปริมาณฝนตกมากพออาจจะทำให้เมล็ดที่ไม่พักตัวงอกได้ ในสภาพดังกล่าวการงอกของเมล็ดในพันธุ์เบาเกิดขึ้นมากกว่าในพันธุ์หนัก มีการปลูกควินัวในดินที่มีสภาพ pH 6-8.5 สามารถขึ้นได้ในดินที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ ดินเค็มปานกลาง และมีความอิ่มตัวของด่างต่ำ

เมล็ดควินัวที่นำมาใช้ประโยชน์โดยทั่วไปมีการนำมาคั่วก่อนนำไปบดละเอียดเป็นแป้ง สามารถแปรรูปโดยการต้ม ใส่ในซุป หรือใช้ทำอาหารเช้าและพาสต้า เมื่อนำไปต้มในลักษณะเดียวกันกับการต้มข้าว เมล็ดมีรสชาติมัน ไม่ติดกัน ฟูและน่ารับประทาน สามารถนำไปใช้ประโยชน์ทดแทนแป้งข้าวสาลีเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น

บางส่วนในกากรผลิตขนมปังที่ไม่พองตัวเมื่ออบ ในบางครั้งมีการปลูกเพื่อนำมารับประทานเป็นผัก โดยรับประทานใบสดหรือหลังจากต้ม ใบและกิ่งก้านสามารถนำไปใช้เลี้ยงสัตว์ (พีรศักดิ์ และคณะ, 2544)

ควินัวเป็นอาหารที่อุดมไปด้วยสารที่เป็นประโยชน์ต่อสุขภาพ ประกอบไปด้วยกรดอะมิโนจำเป็นถึง 8 ชนิด สูงถึงร้อยละ 12-18 จัดว่าสูงสุดในบรรดาพืชทั้งหมด ซึ่งร่างกายจะนำมาสร้างเป็นโปรตีน เพื่อซ่อมแซมส่วนที่สึกหรอของร่างกาย โดยมีลักษณะคล้ายโปรตีนที่มีในนมแม่ มีไฟเบอร์มากกว่าข้าวกล้องถึงสองเท่า มีธาตุเหล็ก โพแทสเซียม และไขมันที่เป็นประโยชน์ แถมคาร์โบไฮเดรตต่ำ ไม่ทำให้ระดับน้ำตาลในเลือดสูงขึ้นอีกด้วย ควินัวเป็น 1 ใน 5 อาหารเสริมกล้ามเนื้อ ได้แก่ ปลา ควินัว เนื้อแดงไม่ติดมัน เนยแข็ง และเนยแข็งคอตเทจ (ดวงจันทร์, 2556)

ตารางที่ 2.3 คุณค่าทางโภชนาการของควินัว

สารอาหาร (ร้อยละของสารอาหารทั้งหมด)		**วิตามิน** (ร้อยละของวิตามินทั้งหมด)		**เกลือแร่** (ร้อยละของเกลือแร่ทั้งหมด)	
ใยอาหาร	21	โฟเลท	19	แมงกานีส	58
โปรตีน	16	ไทอามีน	13	แมกนีเซียม	30
คาร์โบไฮเดรต	63	ไรโบฟลาวิน	12	ฟอสฟอรัส	28
		วิตามินบี 6	11	ทองแดง	18
		วิตามินอี (α-tocopherol)	6	เหล็ก	15
				สังกะสี	13
				โพแทสเซียม	9
				ซีลีเนียม	7
				ไนอาซิน	4
				แคลเซียม	3
				โซเดียม	1

ที่มา: ดวงจันทร์ (2556)

2.7. สารต้านออกซิเดชัน (antioxidant)

สารต้านออกซิเดชัน หรือ แอนตี้ออกซิแดนท์ บางครั้งเรียกสารต้านอนุมูลอิสระ หรือสารต้านออกซิเดชัน ตรงกับภาษาอังกฤษคำว่า “Antioxidant” หรือ “Antiradical” หมายถึง สารที่ทำหน้าที่ยับยั้งหรือต่อต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน หรือขจัดอนุมูลอิสระ เป็นสารที่มีสมบัติยับยั้งปฏิกิริยาลูกโซ่ของอนุมูลอิสระ ในกรณีที่อยู่ในร่างกายสารแอนติออกซิแดนท์จะมีฤทธิ์ทำลายอนุมูลอิสระที่มีในร่างกาย โดยใช้ความเข้มข้นค่อนข้างต่ำ ก็มีผลในการยับยั้งหรือชะลอการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้อย่างมีนัยสำคัญ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกจากนี้แอนติออกซิแดนท์ยังถูกประยุกต์ใช้เพื่อเป็นสารยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันในผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมต่างๆ หลายชนิด เช่น ผลิตภัณฑ์อาหาร ผลิตภัณฑ์เครื่องสำอาง และผลิตภัณฑ์ยา

ในร่างกายสิ่งมีชีวิตจะมีระบบป้องกันการถูกทำลายของเซลล์และเนื้อเยื่อจากอนุมูลอิสระอยู่แล้ว ซึ่งประกอบไปด้วย แอนติออกซิแดนท์หลากหลายชนิดที่ทำหน้าที่แตกต่างกันไป เช่น เป็นเอนไซม์ หรือสารประกอบ แอนติออกซิแดนท์เหล่านี้ทำหน้าที่ในการป้องกันการเกิดอนุมูลอิสระและกำจัดอนุมูลอิสระ นอกจากนี้แอนติออกซิแดนท์บางชนิดยังทำหน้าที่ซ่อมแซมเซลล์ต่างๆ ที่ถูกทำลายโดยอนุมูลอิสระด้วย โดยปกติร่างกายมนุษย์จะสามารถผลิตแอนติออกซิแดนท์ได้เอง ซึ่งส่วนหนึ่งคือเอนไซม์และโปรตีนที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ อย่างไรก็ตามแอนติออกซิแดนท์ที่มีในร่างกายอาจจะไม่เพียงพอต่อความต้องการในบางครั้งและในแต่ละคนก็มีปริมาณความต้องการที่แตกต่างกัน ดังนั้นจึงจำเป็นต้องได้รับจากภายนอกด้วย สารแอนติออกซิแดนท์ส่วนหนึ่งสามารถได้รับจากอาหาร โดยเฉพาะผักและผลไม้ เป็นแหล่งแอนติออกซิแดนที่สำคัญได้แก่ วิตามินต่างๆ เช่น วิตามินซี (ascorbic acid) วิตามินเอ (retinoids) แคโรทีนอยด์ (carotenoids) และวิตามินอี (tocopherols และ tocotrienols) นอกจากนี้ยังมีสารในกลุ่มโพลีฟีนอล (polyphenols) เช่น ฟลาโวโนน ฟลาโวน ฟลาโวนอล และ แอนโทไซยานิน ซึ่งสามารถพบได้ในธัญพืชหรือพืชทั่วๆไป (อนุชิตา, 2555)

2.7.1. ชนิดของสารต้านออกซิเดชัน

สารต้านออกซิเดชันมีมากมายหลายชนิด แต่ชนิดที่ใช้ในอาหารได้ต้องผ่านการทดสอบแล้วว่าปลอดภัย เมื่อแบ่งตามแหล่งที่มา สามารถแบ่งได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่ คือ

1.) สารต้านออกซิเดชันที่ได้จากธรรมชาติ โดยพบอยู่ตามส่วนต่างๆ ของพืช เป็นสารประกอบพวก polyphenols ชนิดที่ใช้อยู่เกือบทั่วโลก ได้แก่ lecithin และ α-tocopherols เป็นต้น

2.) สารต้านออกซิเดชันที่ได้จากการสังเคราะห์ ได้แก่ butylated hydroxyanisol (BHA), propyl gallate (PG), butylated hydroxytoluene (BHT) และ tertiary butylated hydroquinone (TBHQ) (Dapkevicius และคณะ, 1998)

นอกจากนี้ ยังสามารถแบ่งสารต้านออกซิเดชันตามหน้าที่ได้เป็น 5 ประเภทใหญ่ๆ (Hudson, 1990) ดังนี้

1.) primary antioxidant

สารในกลุ่มนี้ส่วนใหญ่ได้แก่สารประกอบฟีนอลิค (phenolic substance) ทำหน้าที่หยุดปฏิกิริยาลูกโซ่ของการเกิดอนุมูลอิสระในปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน นอกจากนี้ยังรวมถึงสารโทโคฟีรอลธรรมชาติและสังเคราะห์ (natural and synthetic tocopherol) alkyl gallate, BHA, BHT, TBHQ และอื่นๆ ซึ่งสารในกลุ่มนี้จะทำหน้าที่เป็นตัวให้อิเล็กตรอน

2.) oxygen scavenger

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารในกลุ่มนี้ได้แก่ กรดแอสคอร์บิคหรือวิตามินซี ascorbyl palmitate erythobic acid (isoascorbic acid) และ sodium erythorbate เป็นต้น โดยสารในกลุ่มนี้จะเข้าทำปฏิกิริยากับออกซิเจน จึงเป็นการช่วยกำจัดออกซิเจนในระบบปิดได้

3.) secondary antioxidant

สารในกลุ่มนี้ได้แก่ dilauryl thiopropionate และ thiopropionic acid ทำหน้าที่สลายโมเลกุลของ lipid hydroperoxide ให้เป็นสารที่มีความเสถียร

4.) enzymic antioxidant

สารในกลุ่มนี้ได้แก่ เอนไซม์ต่างๆ ซึ่งแบ่งเป็น primary antioxidant enzyme และ ancillary antioxidant enzyme สารในกลุ่มนี้ทำหน้าที่กำจัดออกซิเจนหรืออนุพันธุ์ของออกซิเจน โดยเฉพาะไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2)

5.) chelating agent หรือ sequestrant

สารในกลุ่มนี้ เช่น กรดซิตริก กรดอะมิโน ethylenediaminatetra-acetic acid (EDTA) เป็นต้น สารในกลุ่มนี้ทำหน้าที่ไปจับกับไอออนของโลหะ เช่น เหล็กและทองแดง ซึ่งไอออนเหล่านี้เป็นไอออนที่ส่งเสริมและเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน ทำให้เกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่เสถียร

2.7.2 ผลของสารต้านออกซิเดชัน

เนื่องจากสารต้านออกซิเดชันมีหน้าที่หลายอย่าง เช่น ทำหน้าที่เป็นสารรีดิวซ์ (reducing agent) เป็นตัวขับไล่อนุมูลอิสระ จับกับไอออนโลหะที่เร่งให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ยับยั้งการเกิดออกซิเจนในรูปแอคทีฟซึ่งพบในขั้นตอนอินนิทิเอชันของปฏิกิริยาออกซิเดชัน ด้วยหน้าที่ต่างๆ เหล่านี้ จึงทำให้มีผลในการชะลอหรือยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันหรือสามารถหยุดปฏิกิริยาลูกโซ่ โดยการทำปฏิกิริยากับอนุมูล peroxyl เพื่อให้เป็นสารที่มีความเสถียร หรือเป็นสารที่ไม่ทำปฏิกิริยาออกซิเดชันอีกต่อไป หรือเป็นสารที่ไม่ใช่อนุมูลอิสระ (non-radical product) (Basu และคณะ, 1999)

2.7.3 สารประกอบฟีนอลิก

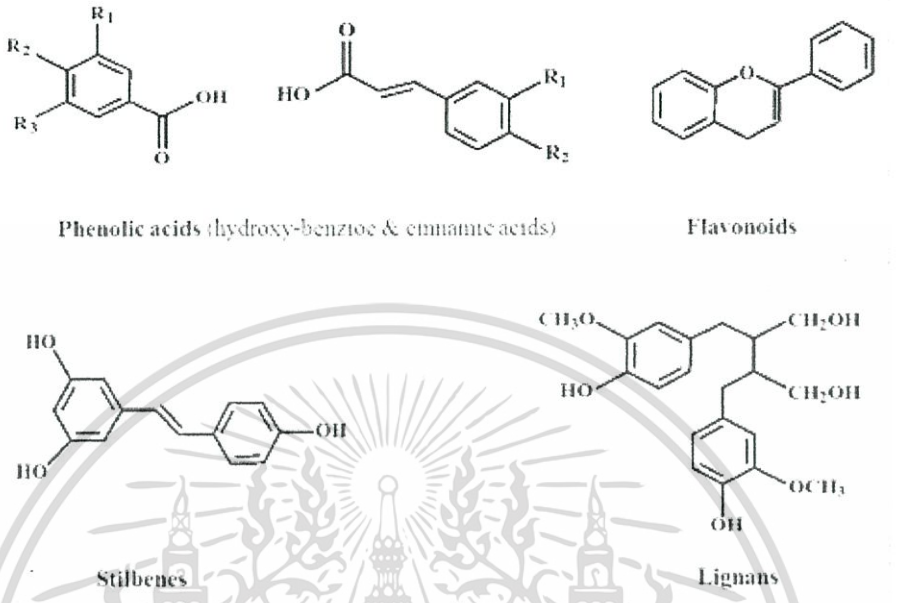
2.7.3.1 ลักษณะทั่วไปของสารประกอบฟีนอลิก

สารประกอบฟีนอลิกเป็นสารประกอบที่พบในธรรมชาติ ส่วนใหญ่พบในผักผลไม้ ธัญพืช และเครื่องดื่ม สารประกอบฟีนอลิกเป็นสารทุติยภูมิของพืชมีส่วนช่วยในการป้องกันรังสีอัลตร้าไวโอเล็ตและป้องกันการรุกรานจากจุลินทรีย์ก่อโรค (pathogens) สารประกอบฟีนอลิกที่พบในอาหารทำให้เกิดความขม ฝาด สี กลิ่น รส และเสถียรภาพของการเกิดออกซิเดชั่น ในช่วยปลายศตวรรษที่ 20 มีการศึกษาเกี่ยวกับโรคระบาดและมีการแนะนำว่าการบริโภคอาหารที่อุดมไปด้วยสารประกอบฟีนอลิก มีส่วนช่วยป้องกันการพัฒนาเซลล์มะเร็ง โรคหัวใจและหลอดเลือด โรคเบาหวาน โรคกระดูกพรุน โรคระบบประสาท (Pandey และ Rizvi, 2009)

สารประกอบฟีนอลิกมากกว่า 8000 ชนิดในพืช มักเกิดจาก phenylalanine หรือสารตั้งต้นอื่น เช่น shikinic acid ส่วนใหญ่เป็นแบบคอนจูเกตกับน้ำตาลที่เชื่อมกับหมู่ไฮดรอกซิลอย่างน้อย 1 หมู่ โพลีฟี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอลแบ่งออกเป็นกลุ่มที่ต่างกันตามหมู่ฟังก์ชันของวงแหวนฟีนอลและองค์ประกอบโครงสร้างพื้นฐานทางเคมีที่ต่างกัน สารโพลีฟีนอลที่สำคัญ ได้แก่ กรดฟีนอลิก ฟลาโวนอยด์ สทิลบีเนส และ ลิกแนน



ภาพที่ 2.1 โครงสร้างทางเคมีที่แตกต่างกันของโพลีฟีนอล

ที่มา: Pandey และ Rizvi (2009)

กรดฟีนอลิกที่พบมากในอาหารแบ่งออกเป็น 2 ชนิด ได้แก่ อนุพันธ์ของกรดเบนโซอิก และอนุพันธ์ของกรดซินนามิค โดยปกติพืชที่รับประทานได้จะมี hydroxylbenzoic acid ในปริมาณน้อย ส่วนมากมักพบในผลไม้สีแดง หัวไชเท้าสีดำ และหัวหอม มีความเข้มข้นสูงถึงหลายสิบมิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักสด โดยทั่วไปพบ hydroxylcinnamic acid มากกว่า hydroxylbenzoic acid (Pandey และ Rizvi, 2009)

2.7.3.2 คุณสมบัติของกิจกรรมทางชีวภาพของสารประกอบฟีนอลิก

สารประกอบฟีนอลิกแต่ละชนิดจะมีการย่อยและดูดซึมสารในทางเดินอาหารแต่ละส่วนแตกต่างกัน ทั้งนี้ไม่มีความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารประกอบฟีนอลิกในอาหารกับกิจกรรมชีวภาพในร่างกายมนุษย์ โดยปกติ aglycones ดูดซึมจากลำไส้เล็ก แต่ส่วนใหญ่ในอาหารจะพบโพลีฟีนอลในรูปแบบของเอสเทอร์ ไกลโคไซด์ หรือ โพลิเมอร์ ซึ่งไม่สามารถดูดซึมได้แบบปกติ ต้องมีการย่อยสลายก่อนโดยเอนไซม์ในลำไส้เล็กหรือจุลินทรีย์ในลำไส้ใหญ่ ในการดูดซึมนี้จะเกิดการผัน (conjugates) ในเซลล์ลำไส้ และต่อมาในตับ โดย methylation sulfation และ/หรือ glucuronidation ทำให้ดูดซึมเข้าสู่เลือดและเนื้อเยื่อในรูปแบบที่แตกต่างจากที่อยู่ในอาหาร

โครงสร้างทางเคมีของโพลีฟีนอลมีความสำคัญมีความสำคัญเกี่ยวกับอัตราและข้อจำกัดในการดูดซึม คุณสมบัติของกิจกรรมชีวภาพของโพลีฟีนอลแต่ละชนิดแตกต่างกัน มีรายงานพบผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ทางอ้อมจากการดูดซึม พบว่ามีปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระของพลาสมาเพิ่มขึ้นหลังการบริโภคอาหารที่อุดมไปด้วยโพลีฟีนอล (Pandey และ Rizvi, 2009)

2.8. วิธีวิเคราะห์สมบัติการต้านอนุมูลอิสระ

2.8.1. เทคนิคดีพีพีเอช (2,2-dephenyl-1-picrylhydrazyl radical scavenging capacity, DPPH assay)

ใช้รีเอเจนท์ 2,2-dephenyl-1-picrylhydrazyl ซึ่งเป็นอนุมูลอิสระที่เสถียรละลายในตัวทำละลายเมทานอล กลไกการต้านอนุมูลอิสระของ DPPH ของสารประกอบฟีนอลเกิดจากการให้อิเล็กตรอนอิสระแก่อนุมูล DPPH อนุมูล DPPH ในสารละลายที่ได้มีสีม่วงและจะเปลี่ยนเป็นสีเหลือง ในขั้นนี้จะเกิดอนุมูลฟีนอคซี (Phenoxy radical) ที่จะไปจับกันเอง ทำให้การเกิดปฏิกิริยาลูกโซ่ของการเกิดอนุมูลอิสระสิ้นสุดลง ดังสมการ

$$DPPH^{\cdot} + RH \longrightarrow DPPH\text{-}H + R^{\cdot}$$

สีม่วง สารตัวอย่าง สีเหลือง

ปริมาณการต้านอนุมูลอิสระจะรายงานผลเป็นค่า 50% effective concentration (EC_{50}) ซึ่งหมายถึง ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระที่ทำให้ความเข้มข้นของ DPPH เหลืออยู่ 50% หรืออาจรายงานเป็น % inhibition (รวินิภา และ ศิริจันทร์, 2556) ดังสมการ

$$\% \text{ inhibition} = \frac{Acontrol - Asample}{Acontrol} \times 100$$

2.8.2. เทคนิคเอบีทีเอส (2,2'-Azino-bis (3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid) cation radical scavenging assay, ABTS assay)

เป็นวิธีการวิเคราะห์ความสามารถในการต้านออกซิเดชัน (antioxidant capacity) ซึ่งใช้ reagent คือ 2,2'-Azino-bis (3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid) diammonium salt เป็น stable radical ใน aqueous solution สารละลายนี้มีสีเขียว ดูดกลืนแสงได้ดีที่ความยาวคลื่น 734 นาโนเมตร

การทำให้เกิด ABTS cation radical ทำได้หลายวิธีดังนี้

1. ใช้ enzyme reaction คือ ใช้เอนไซม์เร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันให้เกิด ABTS cation radical เช่น peroxidase, myoglobin เป็นต้น

2. ใช้ chemical reaction โดยใช้สารเคมี เช่น manganese dioxide, potassium persulfate, 2,2'-azo-bis-(2-amidinopropane) (ABAP) เป็นต้น

$$OH^{\cdot} + ABTS \longrightarrow ABTS^{\cdot+} + H_2O$$

Antioxidant (AH) จะทำปฏิกิริยากับ $ABTS^{\cdot+}$ ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

148024

$$ABTS^{\bullet+} + AH \longrightarrow ABTS + A^{\bullet}$$

ถ้าตัวอย่างมีความสามารถในการต้านออกซิเดชันได้สูง ก็จะทำให้ปริมาณของอนุมูลอิสระลดลง มีผลให้ความเข้มข้นของสารละลายสีเขียวลดลงด้วย โดยจะรายงานผลการทดลองเป็นค่า 50% effective concentration (EC_{50}) ซึ่งหมายถึง ปริมาณสารต้านออกซิเดชันที่ทำให้ความเข้มข้นของ $ABTS^{\bullet+}$ เหลืออยู่ 50% หรือรายงานผลเป็น 50% inhibition concentration (IC_{50}) ซึ่งหมายถึงปริมาณสารต้านออกซิเดชันที่ทำให้ความเข้มข้นของ $ABTS^{\bullet+}$ ลดลง ร้อยละ 50

การศึกษาความสามารถในการต้านออกซิเดชัน ในสารตัวอย่างนิยมรายงานเป็นค่า EC_{50}ทำโดยสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง % Remaining $ABTS^{\bullet+}$ที่คำนวณตามสมการ (1) กับความเข้มข้นของสารมาตรฐาน/ตัวอย่าง เพื่อหาค่า EC_{50}

$$\%\text{Remaining } ABTS^{\bullet+} = \frac{Abs\ sample}{Abs\ control} \times 100 \text{---------(1)}$$

และนอกจากนี้แล้วก็ยังมีรายงานในรูปของค่า IC_{50} ด้วย ซึ่งทำโดยการสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง % Inhibition $ABTS^{\bullet+}$ ที่คำนวณตามสมการ (2) กับความเข้มข้นของสารตัวอย่าง (แกนx) เพื่อหาค่า IC_{50}

$$\%\text{Inhibition } ABTS^{\bullet+} = \frac{Abs\ control - Abs\ sample}{Abs\ control} \times 100 \text{---------(2)}$$

2.8.3. เทคนิคเอฟอาร์เอพี (Ferric reducing antioxidant power, FRAP assay)

FRAP assay เป็นอีกวิธีหนึ่งที่ใช้ในการตรวจสอบความสามารถการต้านออกซิชัน โดยอาศัยปฏิกิริยารีดอกซ์ และติดตามการเปลี่ยนแปลงสีของสารประกอบเชิงซ้อน คือ เมื่อสารประกอบเชิงซ้อน ferric tripyridyltriazine (Fe^{3+}-TPTZ) ได้รับอิเล็กตรอนจากสารต้านออกซิเดชัน แล้วจะเปลี่ยนไปอยู่ในรูปสารประกอบเชิงซ้อน ferrous tripyridyltriazine (Fe^{2+}-TPTZ) ที่มีสีม่วงน้ำเงิน

วิธี FRAP สามารถติดตามปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นโดยวัดค่า absorbance ที่ 595 nm จากนั้นศึกษาความสามารถในการต้านออกซิเดชันในสารตัวอย่าง โดยการเปรียบเทียบกับสารมาตรฐาน Ferrous sulfate แล้วรายงานเป็นค่า FRAP value

ข้อดีของวิธีนี้คือ เสียค่าใช้จ่ายน้อย สะดวก รวดเร็ว มีขั้นตอนในการทดลองไม่ยุ่งยากซับซ้อน และมี reproducibility ดี (ปรียนันท์, 2549)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.9. ผลิตภัณฑ์เบเกอรี (อรอนงค์, 2538)

2.9.1. คุณสมบัติและการเปลี่ยนแปลงของวัตถุดิบในผลิตภัณฑ์เบเกอรี

2.9.1.1. สตาร์ช ที่มีในแป้ง เมื่อมีน้ำแทรกอยู่ แล้วได้รับความร้อนจากการอบจะมีผลให้เกิดเจล เมื่อทำให้เย็นจะคงตัวและมีลักษณะขุ่นขาวขึ้น ซึ่งเป็นผลมาจากอะมิโลสแยกออกจากเม็ดสตาร์ช ตกตะกอนให้สีขาวขุ่น เมื่อทิ้งผลิตภัณฑ์ขนมอบ เช่น ขนมปัง ไว้นานวันขึ้น ส่วนของอะมิโลเพกตินก็จะเกิดตะกอนขุ่นด้วย ทำให้ขนมปังร่วนและขุ่นมากขึ้น แต่ถ้านำขนมปังนั้นไปอบอีกครั้ง ส่วนของอะมิโลเพกตินจะคืนสภาพเป็นเจลอีกครั้งแต่อะมิโลสจะไม่เปลี่ยนแปลง

2.9.1.2. น้ำ เป็นวัตถุดิบหลักชนิดหนึ่งในการทำขนมปัง ส่วนขนมอบอื่นก็เป็นสิ่งจำเป็นที่มีในส่วนผสมซึ่งอาจจะไม่อยู่ในรูปน้ำโดยตรง แต่อยู่ในลักษณะของของเหลวในสารอื่น เช่น น้ำนม ไข่ และน้ำเชื่อม เป็นต้น น้ำเป็นสารประกอบที่มีคุณสมบัติเป็นตัวทำละลายที่ดี เนื่องจากเกาะเกี่ยวกันด้วยพันธะไฮโดรเจนซึ่งมีแรงดึงดูดลักษณะอิเลกโตรสแตติกต่ำ แตกแยกและรวมตัวใหม่ได้ง่าย ทำให้กระจายตัวและละลายสารทั้งประเภทอินทรีย์และอนินทรีย์ที่มีอยู่ตามธรรมชาติ จึงทำให้น้ำธรรมชาติไม่บริสุทธิ์ตามคุณลักษณะทางเคมี จึงต้องทำการกรอง หรือทำให้สะอาดก่อนนำมาใช้

2.9.1.3. เกลือ ตามความหมายทางวิทยาศาสตร์นั้น หมายถึงสารประกอบที่เกิดจากปฏิกิริยาของกรดกับเบส ซึ่งมีผลทำให้โลหะธาตุหรือธาตุคล้ายโลหะจากเบสเข้าแทนที่ไฮโดรเจนในโมเลกุลกรด ได้เกลือกับน้ำจึงทำให้เกลือที่เกิดจากกรดและเบสต่างกันมีคุณสมบัติต่างกันไป เช่นเกลือกรดมีคุณสมบัติเป็นกรดเหลืออยู่ เกลือด่างมีสมบัติของด่างอยู่ด้วย แต่สำหรับเกลือธรรมดาจะหมายถึง โซเดียมคลอไรด์ ซึ่งเป็นผลึกสีขาวมีรสเค็ม มีความบริสุทธิ์เกือบ 100%

2.9.1.4. ผงฟู คุณภาพหรือประสิทธิภาพของผงฟูที่ดีนั้น มิใช่ขึ้นอยู่กับปริมาณก๊าซที่ผลิตทั้งหมดเท่านั้น แต่จะขึ้นอยู่กับอัตราการเกิดก๊าซของผงฟูว่าเหมาะสมและให้ผลต่อลักษณะของผลิตภัณฑ์ได้ดีมากน้อยแค่ไหน ซึ่งลักษณะที่ดีของผงฟูนั้น ควรเกิดปฏิกิริยาให้ก๊าซในขณะผสม ให้ก๊าซน้อยหลังการผสมและก่อนอบ และจะให้ก๊าซเต็มที่จนหมดแต่เป็นไปอย่างสม่ำเสมอตั้งแต่เริ่มเข้าอบจนกระทั่งสุก จึงจะมีผลให้ลักษณะเนื้อขนมนุ่มมีรูพรุนคล้ายฟองน้ำอย่างสม่ำเสมอ และอยู่ตัวไม่ยุบหลังจากนำออกจากเตาอบ

2.9.1.5. น้ำตาล เป็นวัตถุดิบที่ให้ความหวานแก่ผลิตภัณฑ์เป็นหลัก ช่วยในการอุ้มน้ำ ให้สี น้ำตาล รวมทั้งกลิ่นรสและรสชาติของผลิตภัณฑ์เป็นที่ยอมรับแก่ผู้บริโภค น้ำตาลจะดูดซับน้ำช่วยให้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สตาร์ชหรือกัมจากพืชหรือโปรตีนเกิดเจลช้าและมีลักษณะนุ่ม ทำให้เนื้อสัมผัสขนมนุ่ม มีปริมาตรเพิ่มและสมมาตร

2.9.1.6. ไขมันและน้ำมัน ประกอบด้วยกรดไขมันและกลีเซอรอลในรูปไตรกลีเซอไรด์หลายชนิดปนกัน ถ้าอยู่ในสภาพของแข็งที่อุณหภูมิห้องเรียกว่า ไขมัน และอยู่ในสภาพของเหลวที่อุณหภูมิห้องเรียกว่า น้ำมัน กรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบนี้จะมี 2 ลักษณะคือ กรดไขมันที่อิ่มตัว และกรดไขมันที่ไม่อิ่มตัว โดยจำมีจำนวนคาร์บอนเป็นเลขคู่ระหว่าง 4-26 ถ้าไตรกลีเซอไรด์ประกอบด้วยกรดไขมันที่อิ่มตัวตั้งแต่คาร์บอน 12 หรือมากกว่าจะมีลักษณะเป็นของแข็งที่อุณหภูมิห้อง แต่ถ้าไตรกลีเซอไรด์ประกอบด้วยกรดไขมันที่ไม่อิ่มตัวมากจะหลอมเหลวได้ที่อุณหภูมิต่ำจึงเป็นของเหลวที่อุณหภูมิห้อง ดังนั้นชนิดและปริมาณของกรดไขมันจึงมีผลต่อลักษณะและคุณสมบัติของไขมันและน้ำมันที่พบในธรรมชาติ

เนยสด (butter) เป็นผลิตภัณฑ์ที่ทำมาจากไขมันที่มีในน้ำนม เป็นอิมัลชันของน้ำในน้ำมันที่มีส่วนประกอบของไขมันนมร้อยละ 80-81 และน้ำร้อยละ 14 ถ้าเป็นเนยสดที่มีรสเค็มจะมีเกลือในส่วนประกอบอีกร้อยละ 1-3 นอกจากนี้ จะมีอากาศแทรกอยู่ในเนยสดเนื่องจากกระบวนการผลิตอีกร้อยละ 1-5 เนยสดนี้มีคุณสมบัติในการตีให้เป็นครีมได้ไม่ดี และมีจุดหลอมละลายที่อุณหภูมิต่ำเมื่อนำไปใช้ในส่วนผสมของเค้กจึงมักจะทำให้เค้กมีปริมาตรต่ำ เนื้อเค้กหยาบกว่าการใช้เนยขาวหรือมาการีนที่ดัดแปรคุณสมบัติให้เกิดครีมและหลอมละลายที่อุณหภูมิสูงกว่า แต่ช่างทำขนมอบก็ยังนิยมใช้เนยสดอยู่เนื่องจากกลิ่นรสเฉพาะตัวของเนยสด เพื่อทำผลิตภัณฑ์ขนมอบอย่างพิเศษ โดยใช้เนยสดล้วนและระมัดระวังกรรมวิธีการผลิต หรือใช้ร่วมกับไขมันอื่นที่มีลักษณะเหมาะสมในสัดส่วนที่พอเหมาะให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่ดีมีคุณภาพตามความต้องการของผู้บริโภค

2.9.1.7. น้ำนม เป็นส่วนผสมลักษณะอิมัลชันของเม็ดไขมันเล็กๆในน้ำซึ่งละลายโปรตีน, น้ำตาล และแร่ธาตุต่างๆ โดยแบ่งเป็นส่วนผสมหลัก 2 ส่วนคือ ส่วนที่เป็นน้ำร้อยละ 87.75 และส่วนที่เป็นของแข็งร้อยละ 12.25 สำหรับส่วนของแข็งนี้ก็ประกอบด้วยสารอาหารต่างๆ คือ ไขมัน โปรตีน แร่ธาตุ แล็กโทส ทำให้น้ำนมมีความถ่วงจำเพาะมากกว่าน้ำธรรมดา

คุณลักษณะและคุณสมบัติของสารอาหารที่เป็นส่วนของแข็งในน้ำนมเหล่านี้มีผลต่อผลิตภัณฑ์เบเกอรีที่ใส่น้ำนมในส่วนผสมด้านกลิ่นรส สี ความนุ่ม ความคงตัว และคุณค่าทางอาหาร เป็นต้น

2.9.1.8. ไข่ ส่วนของไข่ซึ่งมีทั้งไข่แดงและไข่ขาวรวมกันนั้นมีคุณสมบัติที่ดีต่อผลิตภัณฑ์เบเกอรี ที่สำคัญคือ ให้คุณค่าทางอาหาร ทำให้ขนมขึ้นฟู ช่วยให้ไส้คัสตาร์ดข้น ช่วยรวมส่วนผสมอื่นให้เข้าเป็น

เอกสารนี้มีลิขสิทธิ์ สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำซ้ำ ดัดแปลง เผยแพร่ หรือนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื้อเดียวกัน และมีลักษณะเป็นอิมัลซิไฟเออร์ ทำให้เม็ดไขมันรวมตัวกับส่วนอื่นที่เป็นน้ำ เช่น มายองเนส และช่วยให้ไอศกรีมและลูกกวาดมีเนื้อเนียนไม่เป็นผลึก

ถ้าใช้เฉพาะไข่ขาว ซึ่งมีโปรตีน มูซิน (mucin) ที่ให้ลักษณะเป็นเจลของไข่ขาว ส่วนโปรตีนโอวัลบูมิน จะตกตะกอนจับกันเป็นก้อนเมื่อได้รับความร้อนหรือถูกตีให้ขึ้นฟู แต่ถ้าใช้เฉพาะไข่แดงซึ่งมีสารฟอสฟอลิพิด คือ เลซิทิน มีคุณสมบัติเป็นอิมัลซิไฟส์ทำให้ไข่แดงมีคุณสมบัติที่ช่วยให้น้ำมันหรือไขมันรวมอยู่กับน้ำเป็นเนื้อเดียวกันได้

2.10. ขนมอบปราศจากกลูเตน (ดวงฤทัย และคณะ, 2555)

กลูเตน (Gluten) เป็นโปรตีนที่เกิดขึ้นในระหว่างการนวดแป้งสาลีด้วยน้ำ โดยเกิดจากการรวมตัวกันของโปรตีนไกลอะดีน (Gliadin) และโปรตีนกลูเตนิน (Glutenin) ด้วยพันธะทางเคมีหลายชนิด ได้แก่ พันธะไดซัลไฟด์ พันธะโควาเลนต์ เป็นต้น ทำให้เกิดเป็นกลูเตน ที่มีความเหนียว และมีความยืดหยุ่นสูง ซึ่งการยืดตัวของกลูเตนมีผลทำให้โดของขนมปังสามารถอุ้มก๊าซที่เกิดขึ้นในระหว่างการหมักแป้งสาลีด้วยยีสต์ได้ดี ทำให้ขนมขึ้นฟู

โปรตีนไกลอะดีน และโปรตีนกลูเตนิน ทั้ง 2 ชนิดนี้เป็นโปรตีนที่พบมากที่สุดในข้าวสาลี และมีปริมาณใกล้เคียงกัน นอกจากนั้นยังสามารถพบไกลอะดีนและกลูเตนินได้ในข้าวบาร์เลย์ และข้าวไรน์

หน้าที่ของกลูเตน จากคุณสมบัติของกลูเตน ที่มีความเหนียว และความยืดหยุ่นสูง ทำให้โดของขนมปัง สามารถกักเก็บก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ที่เกิดขึ้นในระหว่างการหมักแป้งขนมปังด้วยยีสต์ได้ดี ทำให้โดของขนมปังขึ้นฟูได้หลายเท่า และเมื่อนำไปอบความร้อนทำให้โปรตีนเสียสภาพ เกิดการจับตัวกับส่วนที่เป็นแป้ง เกิดเป็นโครงสร้างของขนมปัง ทำให้ขนมปังไม่ยุบตัวหลังจากอบจนขนมปังสุก

การแพ้ต่อกลูเตน (Celiac Desease) การแพ้ต่อกลูเตนเรียกว่า โรคซีลิแอค ซึ่งแตกต่างจากการแพ้โปรตีนในข้าวสาลี โดยผู้ป่วยจะไวต่อการรับประทานกลูเตน เนื่องจากกลูเตนจะกระตุ้นให้เปิดปฏิกิริยาในระบบภูมิคุ้มกันจนเกิดการหลั่งสาร IgA ซึ่งเป็นคนละชนิดกับการแพ้โปรตีนในแป้งสาลี เมื่อรับประทานอาหารที่มีส่วนผสมหรือทำจากแป้งสาลี กลูเตนจะผ่านเข้าสู่ลำไส้เล็ก จากนั้นเม็ดเลือดขาวจะเข้ามาจับกลูเตนเพื่อทำลาย โดยหลั่งสารอักเสบที่เซลล์ผนังลำไส้ ทำให้ไม่สามารถดูดซึมสารอาหารได้ นอกจากนี้ยังพบว่าผู้ป่วยมีภาวะย่อยน้ำตาลในนมไม่ได้ (Lactose Intolerance) จึงมีอาการท้องเสียร่วมด้วย ปัจจุบันพบว่า คนทั่วโลกแพ้กลูเตนเป็นจำนวนมาก เมื่อได้รับกลูเตนเป็นเวลานาน เด็กจะมีภาวะทุพโภชนาการ เติบโตช้า ขาดสารอาหาร เนื่องมาจากลำไส้เล็กไม่สามารถดูดซึมสารอาหารได้ จนนับเป็นปัญหาสาธารสุขที่สำคัญไปทั่วโลก ส่วนอาหารที่สามารถใช้ทดแทน ได้แก่ แป้งข้าวเจ้า แป้งข้าวเหนียว แป้งข้าวโพด ซึ่งปัจจุบันมีการผลิตแป้งข้าวเจ้าที่มีสี เช่น แป้งข้าวกล้อง แป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่ และแป้งข้าวหอมนิล (สวามินี และ ณัฐิรา, 2559)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แป้งข้าวเจ้าเป็นแป้งที่ได้รับความสนใจในการนำมาพัฒนาเป็นขนมปังหรือขนมอบปลอดกลูเตนมาก เพราะแป้งข้าวเจ้ามีคุณสมบัติที่ดีหลายประการ ได้แก่ เป็นแป้งที่มีลักษณะเป็นผงละเอียดสีขาว มีรสหวาน ย่อยง่าย และในแป้งข้าวเจ้าไม่มีโปรตีนไกลอะดีน (Gliadin) ที่จะรวมตัวกับโปรตีนกลูเตนิน (Glutenin) ซึ่งเป็นโปรตีนที่พบมากในแป้งสาลี ทำให้เกิดเป็นกลูเตน

2.11. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.11.1. งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงสารสำคัญและปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการงอก

อัมพร และคณะ (2544) ศึกษาการเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการโดยการผลิตเมล็ดพืชงอก 4 ชนิด ดังนี้ เมล็ดข้าวเจ้าพันธุ์หอมมะลิ 105 เมล็ดถั่วลิสงพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 เมล็ดงาดำพันธุ์ มก.18 และเมล็ดข้าวโพดพันธุ์สุวรรณ 3601 ศึกษากรรมวิธีการผลิตเมล็ดงอกที่เหมาะสม จากการศึกษาพบว่า เมล็ดข้าวงอกที่เวลาเพาะ 72 ชั่วโมง มีปริมาณน้ำตาลรีดิวซิ่ง (2637.60 มิลลิกรัมกลูโคส/100 กรัมน้ำหนัก) เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับเมล็ดปกติ (129 มิลลิกรัมกลูโคส/100 กรัมน้ำหนัก) เมล็ดถั่วลิสงงอกที่เวลาเพาะ 72 ชั่วโมง มีปริมาณโปรตีน (ร้อยละ 32.91) เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับเมล็ดปกติ (ร้อยละ 29.51) เมล็ดงาดำงอกที่เวลาเพาะ 24 ชั่วโมงมีปริมาณไขมัน (ร้อยละ 50.07) ลดลงเมื่อเทียบกับเมล็ดปกติ (ร้อยละ 62.38) มีปริมาณกรดโอเลอิก (ร้อยละ 41.35) เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับเมล็ดปกติ (ร้อยละ 40.49) สำหรับเมล็ดข้าวโพดงอกมีปริมาณโปรตีนและเยื่อใย (ร้อยละ 9.02 และ 2.61) เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับเมล็ดปกติ (ร้อยละ 8.47 และ 2.07)

ภณิดา และ เสาวลักษณ์ (2550) รายงานการพบสาร GABA ในข้าวขาว 1.70 มิลลิเมตร/100 กรัม ข้าวกล้อง 6.04 มิลลิลิตร/100 กรัม ข้าวกล้องงอกที่งอก 24 ชั่วโมง 11.02 มิลลิลิตร/100 กรัม ข้าวกล้องงอกที่งอก 48 ชั่วโมง 27.73 มิลลิลิตร/100 กรัม ข้าวกล้องงอกที่งอก 72 ชั่วโมง 69.21 มิลลิลิตร/100 กรัม ข้าวกล้องงอกที่งอก 96 ชั่วโมง 149.03 มิลลิลิตร/100 กรัมซึ่งมีแนวโน้มของปริมาณสาร GABA ที่เพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการเพาะงอกที่เพิ่มขึ้น

วรรณวิไล (2550) ได้ศึกษาผลของกระบวนการงอกของเมล็ดข้าวกล้องหอมมะลิและข้าวกล้องมันปู ที่มีต่อสมบัติทางเคมีกายภาพ คุณภาพการหุงต้ม และคุณภาพการรับประทาน โดยทำการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมต่อการงอก 2 ปัจจัย คือ (1) เวลาที่ใช้ในการแช่ของข้าวกล้องหอมมะลิ (6 และ 12 ชั่วโมง) และข้าวกล้องมันปู (12 และ 24 ชั่วโมง)และ (2) เวลาที่ใช้ในการเพาะของข้าวกล้องหอมมะลิ (0, 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมง) และข้าวกล้องมันปู (0, 12, 24 และ 36 ชั่วโมง) ผลการศึกษาสำหรับข้าวทั้งสองชนิดพบว่าเมื่อเพิ่มระยะเวลาการแช่และระยะเวลาการเพาะเมล็ดข้าวมีร้อยละการงอกเพิ่มขึ้นมีการขยายตัวทางด้านกว้างมากกว่าด้านยาวและขยายเพิ่มมากขึ้นตามระยะเวลาในการแช่และการเพาะเมล็ดข้าวงอกมีปริมาณเอนไซม์ α–อะมิเลส ค่าความคงตัวของแป้งสุก และค่าการสลายตัวในด่างเพิ่มขึ้นแต่มีปริมาณโปรตีนปริมาณอะมิโลสค่าความแข็งของข้าวหลังการหุงสุกระยะเวลาในการหุงสุก และร้อยละการดูดน้ำของเมล็ดลดลง ซึ่งเป็นแนวโน้มช่วยปรับปรุงคุณภาพการรับประทานให้ดีขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ยุพกนิษฐ์ และ วาสนา (2553) ศึกษาการผลิตข้าวงอกนึ่งพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 พบว่าปริมาณสาร GABA และวิตามินบี 1 ขึ้นอยู่กับระยะเวลาในการแช่และการงอก โดยการแช่น้ำที่เวลา 24 ชั่วโมง และระยะเวลาเพาะงอก 48 ชั่วโมง ทำให้ข้าวกล้องงอกทั้งแบบมีเปลือกและแบบกะเทาะเปลือกมีปริมาณ GABA สูงสุด

ศุรัฐนันท์ และคณะ (2554) ศึกษาวิธีการและระยะเวลาในการงอกต่อคุณภาพทางเคมีและกายภาพของแป้งข้าวกล้องงอกจากข้าวกล้องพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ปัจจัยที่ศึกษา คือ วิธีในการงอก 2 วิธี ได้แก่ การงอกด้วยวิธีการแช่น้ำและการงอกบนผ้าขาวบางที่เปียกน้ำ ที่ระยะเวลาการงอก 8 ระดับ ได้แก่ 12, 24, 36, 48, 60, 72, 84 และ 96 ชั่วโมง จากผลการทดลองพบว่า การแช่น้ำทำให้แป้งข้าวกล้องงอกมีค่าความหนืดสูงสุดและค่าการคืนตัวสูงกว่าการงอกบนผ้าขาวบางเปียกน้ำ ขณะที่ปริมาณของน้ำตาลรีดิวซ์กับปริมาณกรดแกมมาอะมิโนบิวทิริก (GABA) อิสระต่ำกว่าการงอกบนผ้าขาวบางที่เปียกน้ำในระยะเวลาการงอกเดียวกัน สำหรับการงอกทั้ง 2 วิธี เมื่อใช้ระยะเวลาในการงอกเพิ่มขึ้นค่าความหนืดสูงสุดและค่าการคืนตัวลดลง แต่มีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์เพิ่มขึ้น

ศุรัฐนันท์ และคณะ (2557) ศึกษาผลของสารละลายร่วมกับระยะเวลาในการแช่ข้าวต่อคุณภาพทางเคมีและทางกายภาพของแป้งข้าวกล้องงอกที่ผลิตจากข้าวกล้องพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ปัจจัยที่ทดลอง คือ สารละลาย 5 ชนิด ได้แก่ น้ำกรอง, สารละลายบัฟเฟอร์ซิเทรต pH 3, สารละลายไคโตซาน pH 3, สารละลายบัฟเฟอร์ซิเทรต pH 5 และสารละลายไคโตซาน pH 5 ที่ระยะเวลาการแช่ต่างกัน พบว่าแป้งข้าวกล้องงอกที่แช่ในสารละลายไคโตซาน pH 5 มีปริมาณสาร GABA อิสระ, ความหนืดสูงสุด และค่าการคืนตัวสูงกว่าแป้งข้าวกล้องงอกที่แช่ในสารละลายบัฟเฟอร์ซิเทรตpH 3 และสารละลายไคโตซาน pH 3 สำหรับการแช่ข้าวกล้องในทุกสารละลาย เมื่อใช้ระยะเวลาในการงอกเพิ่มขึ้น ค่าความหนืดสูงสุดและค่าการคืนตัวลดลง แต่มีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ และปริมาณ GABA อิสระเพิ่มขึ้น

Malleshi และ Desikachar (1982) ศึกษาการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารเสริมสำหรับเด็กอ่อน โดยนำข้าวฟ่าง และ ถั่วเขียว แช่น้ำที่ 16 ชั่วโมง และเพาะงอกที่ 48 และ 24 ชั่วโมงตามลำดับ นำมาบดและทำแห้งหลังจากกำจัดส่วนลำต้นและรำออก แป้งข้าวฟ่างบริสุทธิ์ผสมกับแป้งถั่วเขียวในอัตราส่วน 70 : 30 ทำให้ผลิตภัณฑ์มีความหนืดลดลง เนื่องจากเอนไซม์อะไมเลสที่เพิ่มขึ้นขณะกำลังงอก

Alexander และคณะ (1984) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของสารอาหารในข้าวบาร์เลย์เพาะงอก โดยนำข้าวบาร์เลย์แช่ในน้ำปริมาณ 3 เท่าของข้าวบาร์เลย์เป็นเวลา 6 ชั่วโมง และทำการเพาะงอกที่ 22 องศาเซลเซียส ในสภาวะทั้งที่มีแสงและมืด โดยมีการงอกอย่างน้อยที่สุดร้อยละ 90 ต้นกล้างอกมีความยาว 7 เซนติเมตร นำต้นกล้างอกที่ได้ไปทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งแล้วบดเป็นผงพบข้าวบาร์เลย์งอกมีปริมาณเพิ่มขึ้นของค่าเถ้า ใยอาหาร โปรตีน ไขมัน วิตามินซี Zn และ P ทั้งที่เพาะงอกในที่มีแสง (84 ชั่วโมง) และในที่มืด (120 ชั่วโมง) การเพาะในที่มีแสงทำให้มีปริมาณ Ca และ Fe เพิ่มขึ้น ในขณะที่การเพาะในที่มืดเพิ่มวิตามินบี 2 ปริมาณ phytic acid ลดลงหลังการเพาะงอก คุณภาพของโปรตีนดีขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจากมีค่า protein efficiency ratio (PER), net protein ratio (NPR), และ net protein utilization (NPU) สูงขึ้น สรุปผลทั้งหมดพบว่าสภาวะที่เพาะในที่มืดเป็นสภาวะที่เหมาะสมมากกว่าการเพาะในที่มีแสง

Varanyanond และคณะ (2005) รายงานว่า การตรวจสอบสาร GABA ในคัพภะข้าวหอมไทย 2 พันธุ์คือ ข้าวขาวดอกมะลิ 105 และ ปทุมธานี 1 โดยพบว่าการนำคัพภะข้าวแช่น้ำเป็นเวลา 4 ชั่วโมงที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสทำให้เกิดสาร GABA สูงสุดในข้าวหอมปทุมธานีส่วนข้าวขาวดอกมะลิ 105 มีสารต่ำกว่าเล็กน้อย

Lui และคณะ (2005) ศึกษากิจกรรมของเอนไซม์กลูตาเมทดีคาร์บอกซิเลสในข้าวญี่ปุ่นพันธุ์ไฮมิโนริ โดยแช่ข้าวในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ 0.5 มิลลิโมลาร์ และ สารละลายเมอร์คิวริกคลอไรด์ 1 มิลลิโมลาร์ที่เวลาต่างกัน พบว่า การแช่ข้าวในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ 4 ชั่วโมง ให้กิจกรรมของเอนไซม์กลูตาเมทดีคาร์บอกซิเลสเพิ่มขึ้นร้อยละ 58 เทียบกับการแช่ในน้ำกลั่นที่สภาวะเดียวกัน ขณะที่การแช่ข้าวในสารละลายเมอร์คิวริกคลอไรด์ 4 ชั่วโมง ยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์กลูตาเมทดีคาร์บอกซิเลสเกือบทั้งหมด

Komatsuzuki และคณะ (2007) ศึกษาการใช้สภาวะของระยะเวลาการแช่ข้าวกล้องด้วยสภาวะที่แตกต่างกัน พบว่าการแช่ที่เวลา3 ชั่วโมง แล้วบ่มด้วยก๊าซที่ 35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 21 ชั่วโมง เพื่อให้เกิดการงอก พบว่าข้าวกล้องงอกมีสาร GABA สูงกว่าการบ่มที่สภาวะปกติของอากาศและรายงานว่า การแช่ข้าวแล้วนำไปบ่มต่อ ให้สาร GABA สูงกว่าการแช่เพียงอย่างเดียวไปตลอดจนข้าวงอก

Bohn และคณะ (2008) รายงานว่า การเพาะงอกในธัญพืชอาจจะลดปริมาณสารยับยั้งสารทางโภชนาการ เช่น สาร phytic acid โดยการย่อยของเอนไซม์ phytase ทำให้เกิดการปลดปล่อยสาร phosphate, inositol และเกลือแร่ต่างๆที่เป็นประโยชน์ต่อร่างกาย

Donkor และคณะ (2012) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของสารสำคัญต่างๆของธัญพืช 7 ชนิด คือ ข้าวสาลี ข้าวโอ๊ต ข้าวบาร์เลย์ ข้าวไรน์ ข้าวฟ่าง บัควีท และ ข้าวกล้อง โดยทำการเพาะธัญพืชดังกล่าวเป็นเวลา 5 วัน ในสภาวะมืด ควบคุมอุณหภูมิและความชื้นที่ 16.5 องศาเซลเซียส, 98 %RH ตามลำดับ พบว่าธัญพืชเพาะงอกโดยเฉพาะข้าวไรน์มีปริมาณของกลุ่มสารประกอบฟีนอลสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ Radical scavenging activities ของสารประกอบฟีนอลของธัญพืชไม่งอกอยู่ในช่วงร้อยละ 13-73 และของธัญพืชเพาะงอกทุกชนิดอยู่ในช่วงร้อยละ 14-53 สาร Inositol phosphate (InsP) 4, 5 and 6 พบได้ในธัญพืชทุกชนิด แต่ InsP 6 พบในปริมาณที่ต่ำธัญพืชงอกทุกชนิดที่ศึกษามีสาร GABA สูงขึ้นกว่าที่ไม่งอก ในการศึกษายังสรุปได้ว่า ข้าวบาร์เลย์งอก ข้าวฟ่างงอกและข้าวไรน์งอกมีศักยภาพสูงในการเป็นธัญพืชที่เมื่อนำเพาะงอกแล้วให้สารโภชนาการและสารสำคัญต่างๆ ในปริมาณสูง

Liu และ คณะ (2014) ศึกษาผลของการแช่เมล็ดข้าวด้วย proline ภายใต้สภาวะความเครียดจากเกลือ ที่มีผลกับการงอกของข้าว โดยทดลองการแช่ในสารโพรลีน ที่ความเข้มข้น 0, 5, 15, 30 และ 45 มิลลิโมล/ลิตร เป็นเวลา 2 วัน จากนั้นนำมาเพาะในเพลทที่เติมเกลือโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้น 100

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มิลลิโมล/ลิตร เปรียบเทียบกับที่เพาะโดยใช้น้ำกลั่น โดยเพาะให้งอกในที่มืด หลังจากทดสอบพบว่า การแช่โพรลีน 15 และ 30 มิลลิโมล/ลิตร ช่วยเพิ่มการทำงานของเอนไซม์อะมิเลส

Thammapat และคณะ (2015) ศึกษาผลจากความเครียดของเกลือโซเดียมคลอไรด์และอุณหภูมิที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงสารสำคัญในข้าวเหนียวฮาง โดยได้ทำการแช่ข้าวเหนียว 500 กรัม ในเกลือโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้นร้อยละ 0, 1.5 และ 3 ในอัตราส่วน 1:3 (น้ำหนัก/ปริมาตร) เป็นเวลา 6 ชั่วโมง และแช่ข้าวเหนียวในน้ำกลั่นที่อุณหภูมิต่างกันที่ 30, 45 และ 60 องศาเซลเซียส โดยเปรียบเทียบกับข้าวเหนียวที่ไม่ได้แช่ พบว่าโซเดียมคลอไรด์และอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น ทำให้สารสำคัญในข้าวเหนียวฮางได้แก่ gamma-oryzanol กรดไขมัน และปริมาณฟีนอลทั้งหมด มีปริมาณเพิ่มขึ้น

2.11.2. งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาควินัว

Pasko และคณะ (2009) ศึกษาปริมาณแอนโทไซยานิน สารประกอบฟีนอล และ กิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระใน อมาแรนท์ และ ควินัว และหน่ออ่อนระหว่างเจริญเติบโต มีการทดสอบสารต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี FRAP, ABTS และ DPPH assay พบว่า การเพาะอมาแรนท์เป็นเวลา 4 วัน และควินัว 6 วัน ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ทำให้กิจกรรมของสารต้านอนุมูลอิสระที่ตรวจสอบได้จากทุกวิธีมีค่าสูงสุด

Alvarez-Jubete และคณะ (2010) ศึกษาผลของการเพาะงอกและการอบที่มีต่อองค์ประกอบฟีนอลและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของควินัว อมาแรนท์ บัควีท และข้าวสาลี เมื่อวัดความสามารถในการรีดิวซ์เฟอริกด้วยวิธี FRAP assay พบว่า ควินัว ที่ผ่านการเพาะงอก ทำให้มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระสูงขึ้นที่ 164 มิลลิกรัมโทรล็อกซ์/100 กรัมน้ำหนักแห้ง ซึ่งเพิ่มขึ้นจากเมล็ดที่ไม่ได้เพาะ (92.1 มิลลิกรัมโทรล็อกซ์/100 กรัมน้ำหนักแห้ง) ซึ่งเมื่อทำการอบขนมปัง พบว่าความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของควินัวลดลง (71.4 มิลลิกรัมโทรล็อกซ์/100 กรัมน้ำหนักแห้ง)

Dini และคณะ (2010) ศึกษาฤทธิ์ของสารต้านอนุมูลอิสระ และสารต้านอนุมูลอิสระในเมล็ดควินัวขมและหวานก่อนและหลังการประกอบอาหาร โดยได้ทำการวิเคราะห์ ฟีนอลิก, แคโรทีนอยด์, วิตามินซี และสารต้านอนุมูลอิสระ โดยหลังการศึกษาพบว่า ในเมล็ดควินัวขม มีปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าในเมล็ดควินัวหวาน แต่หลังจากการประกอบอาหารจะมีปริมาณลดลง ในเมล็ดควินัวหวานพบสารต้านอนุมูลอิสระหลักคือ ฟีนอลิกฟลาโวนอยด์ และแคโรทีนอยด์ ในขณะที่ในเมล็ดควินัวขมพบฟีนอลิกและฟลาโวนอยด์ และได้ข้อสรุปว่า ควินัวทั้งสองชนิดเป็นแหล่งที่มีสารประกอบของสารต้านอนุมูลอิสระอยู่ในปริมาณมาก

Stikic และคณะ (2012) ทดสอบความเป็นไปได้ในการใช้ประโยชน์จากควินัวในเซอร์เบีย โดยการประเมินผลผลิตภายใต้เงื่อนไขของสนามน้ำฝน รวมถึงลักษณะทางเคมี และคุณภาพของเมล็ดควินัว และการทดสอบทางเคมี ทางเทคโนโลยี และด้านประสาทสัมผัสของขนมปังที่เติมเมล็ดควินัว (ร้อยละ 10, 15 และ 20) หลังการทดสอบพบว่า มีความเป็นไปได้ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ที่มีคุณค่าทาง

เอกสารนี้มีลิขสิทธิ์ ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โภชนาการและได้รับการยอมรับด้านประสาทสัมผัส ในขนมปังที่เติมเมล็ดควินัวทำให้มีปริมาณโปรตีน น้ำมัน และใยอาหารสูงขึ้น มีเกลือแร่สูงขึ้น ขนมปังที่เติมควินัวร้อยละ 20 ให้ผลด้านรีโอโลยีของโดในทางที่ดี และขนมปังที่เติมควินัวร้อยละ 15 ได้รับการยอมรับด้านประสาทสัมผัสร้อยละ 100

Peiretti และคณะ (2013) ได้ศึกษากรดไขมันและคุณค่าทางโภชนาการในเมล็ดและต้นที่ระยะการเจริญเติบโตที่แตกต่างกันในควินัว โดยแบ่งตามลักษณะทางสัณฐานวิทยาที่เปลี่ยนแปลงไปเป็น 6 ระยะ คือ 1) ระยะเริ่มต้นของการเจริญเติบโตทางลำต้น 2) ระยะกลางของการเจริญเติบโตทางลำต้น 3) ระยะสุดท้ายของการเจริญเติบโตทางลำต้น 4) ระยะแตกยอดใหม่ 5) ระยะออกดอก และ 6) ระยะที่ออกเมล็ด พบว่า น้ำหนักของแห้ง น้ำหนักสด โปรตีนหยาบ ปริมาณพลังงานรวม ในเมล็ดมีอยู่สูงกว่าในต้นหลังจากเจริญเติบโต ในขณะที่ปริมาณลิปิดในเมล็ดสูงกว่าในช่วงวงจรการเจริญเติบโต 2-3 เท่ากรดไขมันได้แก่ palmitic acid, oleic acid, linolenic acid ในเมล็ดมี 823 กรัม/กิโลกรัมกรดไขมันทั้งหมด กรดไขมันที่พบในระยะการเจริญเติบโตแตกต่างจากน้ำมันในเมล็ด โดยพบ α-linolenic acid และ polyunsaturated fatty acid ในปริมาณจาก 385 ถึง 474 กรัม/กิโลกรัมกรดไขมันทั้งหมด และจาก 611 ถึง 691 กรัม/กิโลกรัมกรดไขมันทั้งหมด ตามลำดับ

Escuredo และคณะ (2014) ตรวจสอบองค์ประกอบของกรดอะมิโนในเมล็ดควินัวด้วยเทคนิค NIR โดยเลือกใช้โพรบชนิด fiber obtic เพื่อลดระยะเวลาในการตรวจวิเคราะห์ โดยได้ทำการวิเคราะห์ปริมาณโปรตีนในเบื้องต้นด้วยวิธีทางเคมี (Kjeldhal method) และตรวจสอบกรดอะมิโนด้วย HPLC (diode-araydetector) เพื่อสร้างโมเดลในการวิเคราะห์ด้วย NIR จากผลการตรวจสอบกรดอะมิโน 18 ชนิดด้วย HPLC ได้แก่ alanine, arginine, aspatic acid, cysteine, glutamic, histidine, isoleucine, leucine, lysine, methionine, phenylalanine, proline, serine, threonine tryptophan, tyrosine และ valineแต่ค่าทางเคมีที่วิเคราะห์ใน glutamic, glycine, histidine และ methionine ไม่เพียงพอในการสร้างสมการที่ใช้ในการตรวจสอบ NIR แต่ เทคนิคนี้เป็นทางเลือกที่ใช้เวลาในการวิคราะห์น้อย ต้นทุนไม่สูงมาก และการวิเคราะห์มีความน่าเชื่อถือ

Gomez-Caravaca และคณะ (2014) ศึกษาเมล็ดควินัวหวานที่ผ่านกระบวนการขัดสี ในการทดสอบแบ่งเป็น 2 ระดับ คือ การขัดสีที่ร้อยละ 20 และ 30 โดยวิเคราะห์ผลที่มีต่อปริมาณซาโปนินและฟีนอลิก พบว่า เมล็ดควินัวที่ผ่านกระบวนการขัดสีมีผลทำให้ฟีนอลิกและ ซาโปนินลดลง โดยเมล็ดควินัวที่ไม่ผ่านการขัดสี ให้ปริมาณ ฟีนอลิกและ ซาโปนินสูงที่สุด

2.11.3. งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาการงอกภายใต้สภาวะความเครียดจากเกลือ

ศรัณยพร (2559) ศึกษาผลของความเค็มต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิก แอนโทไซยานิน และฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของข้าวกล้องงอก โดยเปรียบเทียบผลของความเค็มจากเกลือโซเดียมคลอไรด์ในข้าว 3 พันธุ์ ได้แก่ ปทุมธานี1 หอมนิล และไรซ์เบอรี่ โดยทำการแช่ข้าวกล้องในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้น 0, 50, 100 และ 150 มิลลิโมลาร์ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง พบว่า สารประกอบฟี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอลิก แอนโทไซยานิน และฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของข้าวหอมนิลเพิ่มสูงขึ้นตามความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์ที่เพิ่มขึ้น

Hariadi และคณะ (2010) ศึกษาความสัมพันธ์ของไอออนและออสโมติกในการเจริญเติบโตของควินัวในสภาวะความเค็ม โดยแช่เมล็ดก่อนปลูกด้วยการใช้สารละลายโซเดียมคลอไรด์หลายระดับตั้งแต่ 0-500 มิลลิโมลาร์ พบว่า ความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์ที่เพิ่มขึ้นส่งผลต่อการเจริญของต้นควินัว โดยเมื่อความเข้มข้นเพิ่มขึ้นความยาวของยอดและรากลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

Eisa และคณะ (2012) ศึกษาความสัมพันธ์ของความเค็มจากเกลือโซเดียมคลอไรด์ที่มีต่อต้นควินัว โดยใช้เกลือโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้น 0-500 มิลลิโมลาร์ พบว่าความเข้มข้นของเกลือโซเดียมคลอไรด์ 100 มิลลิโมลาร์ มีการเจริญสูงสุดโดยมีน้ำหนักสดของต้น ใบ และราก สูงที่สุด และเมื่อความเข้มข้นเพิ่มขึ้นเป็น 200 จนถึง 500 มิลลิโมลาร์ มีผลให้การเจริญลดลง โดยน้ำหนักสดของต้น ใบ และรากลดลง และให้ผลผลิตลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

Umnajkitikorn และคณะ (2013) ศึกษาการเพิ่มคุณสมบัติการต้านอนุมูลอิสระของข้าวไทยสายพันธุ์ข้าวก่ำดอยสะเก็ดด้วยการใช้ความเค็ม โดยแช่เมล็ดข้าวในเกลือโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้น 25, 75, 150 และ 300 มิลลิโมลาร์ 12 ชั่วโมง และนำไปเพาะงอกบนวุ้นที่เติมเกลือโซเดียมคลอไรด์ร้อยละ 0.7 พบว่า ความเข้มข้นของเกลือโซเดียมคลอไรด์ที่เพิ่มขึ้นมีผลทำให้ร้อยละการงอกของเมล็ดลดลง โดยที่ 150 มิลลิโมลาร์ร้อยละการงอกลดลงถึงร้อยละ 17 และ 300 มิลลิโมลาร์ ยับยั้งการงอกของเมล็ด เมื่อนำไปวิเคราะห์สมบัติการต้านอนุมูลอิสระ พบว่าเพาะงอกที่ความเข้มข้นเกลือโซเดียมคลอไรด์ 150 มิลลิโมลาร์ 4 วัน สามารถเพิ่มสมบัติการต้านอนุมูลอิสระสูงสุด

Brakez และคณะ (2014) เปรียบเทียบผลของโซเดียมคลอไรด์และน้ำทะเลต่อการงอกของเมล็ดควินัว (*Chenopodium quinoa* willd) โดยเพาะงอกเมล็ดด้วยสารละลายโซเดียมคลอไรด์ 50, 100, 150 และ 200 มิลลิโมลาร์ และน้ำทะเลเจือจางที่ร้อยละ 10, 20, 30 และ 40 พบว่า เมล็ดควินัวสามารถงอกและเจริญภายใต้สภาวะความเค็มของเกลือโซเดียมคลอไรด์ที่ 200 มิลลิโมลาร์ และน้ำทะเลร้อยละ 40 โดยเมื่อความเค็มเพิ่มขึ้นมีผลทำให้การเจริญช้าลง

Peterson และ Murphy (2015) ศึกษาความต้านทานต่อความเค็มจากเกลือโซเดียมคลอไรด์ในการปลูกควินัว โดยใช้เกลือโซเดียมคลอไรด์และโซเดียมซัลเฟตที่มีค่าการนำไฟฟ้า 0, 8, 16 และ 32 เดซิซีเมนต์ต่อเมตร โดยพบว่า ความสูงของต้นมีค่าลดลงเมื่อค่าการนำไฟฟ้าสูงขึ้น

2.11.4. งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการใช้ประโยชน์จากควินัวในการทำเบเกอรีปราศจากกลูเตน

Rothschild และคณะ (2015) ศึกษา ผลของการอบควินัว ต่อ คุณสมบัติทางเคมีกายภาพ และทางประสาทสัมผัสของเค้กปราศจากกลูเตน โดยอบเมล็ดควินัวที่ 177 องศาเซลเซียส 15, 30 และ 45 นาที นำเมล็ดควินัวที่ไม่ได้อบ (ควบคุม) และเมล็ดควินัวอบ มาใช้ในส่วนผสมของเค้กช็อกโกแลตเปรียบเทียบกับเค้กช็อกโกแลตทางการค้า โดยทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัส และวิเคราะห์คุณภาพ

เอกสารนี้มีลิขสิทธิ์ ห้ามนำไปใช้ในการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สี แอคติวิตีของน้ำ ปริมาณความชื้น ความนุ่ม น้ำหนัก และความสูง พบว่า ควินัวที่อบในเวลานานขึ้นมีความชื้นลดลง และมีความหนืดของแบทเทอร์เค้กเพิ่มขึ้น เค้กที่ทำจากแป้งควินัวที่ไม่ได้อบมีคะแนนคุณภาพทางประสาทสัมผัสสูงที่สุด ทั้งด้านคุณลักษณะ สี และเนื้อสัมผัส ในด้านรสชาติผู้บริโภคให้การยอมรับในเค้กทุกชนิด แต่ในเค้กช็อกโกแลตมีคะแนนความชอบสูงที่สุด

Turkut และคณะ (2016) ศึกษา ผลของแป้งควินัวต่อความหนืดของแบทเทอร์ขนมปังปราศจากกลูเตนและคุณภาพของขนมปัง โดยทดแทนแป้งควินัวในแป้งปราศจากกลูเตน (แป้งข้าว มันฝรั่ง และบัควีท) ในอัตราส่วนร้อยละ 0, 12.5, 25, 37.5 และ 50 พบว่า เมื่ออัตราส่วนที่ทดแทนด้วยแป้งควินัวสูงขึ้นมีผลให้ปริมาตรเจาะเพาะของขนมปังมีแนวโน้มลดลงแต่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และปริมาณความชื้นลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และเมื่อทดสอบทางประสาทสัมผัสพบว่า การทดแทนที่ร้อยละ 25 มีคะแนนการยอมรับสูง และมีเนื้อสัมผัสที่นุ่มกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีดำเนินการทดลอง

3.1. วัตถุดิบ

3.1.1. เมล็ดควินัวพันธุ์สีขาว (white quinoa) จากบริษัท วิลล่า มาร์เก็ท เจ พี จำกัด

3.1.2. เมล็ดควินัวพันธุ์สีแดง (red quinoa) จากบริษัท วิลล่า มาร์เก็ท เจ พี จำกัด

3.1.3. เมล็ดควินัวพันธุ์สีดำ (black quinoa) จากบริษัท วิลล่า มาร์เก็ท เจ พี จำกัด

3.1.4. แป้งข้าวเจ้า (rice flour) จากบริษัท โรงเส้นหมี่ซอเฮง จำกัด

3.1.5. น้ำตาลทรายเบเกอรี่ (caster sugar) จากกลุ่มบริษัท น้ำตาลไทยรุ่งเรือง

3.1.6. เกลือป่น (salt) จากบริษัท อุตสาหกรรมเกลือบริสุทธิ์ จำกัด

3.1.7. ครีมออฟทาร์ทาร์ (cream of tartar) บริษัท เจอาร์ เอฟแอนด์บี จำกัด

3.1.8. ผงฟูดับเบิ้ลแอคติ้ง (sodiumbicarbonate) จากบริษัท เคซีจี คอร์ปอเรชั่น จำกัด

3.1.9. น้ำมันถั่วเหลือง (soy bean oil) จากบริษัท ธนากรผลิตภัณฑ์น้ำมันพืช จำกัด

3.1.10. เนยสดชนิดจืด (butter unsalted) จากบริษัท อุตสาหกรรมนมไทย จำกัด

3.1.11. นมสดชนิดจืด (whole milk) จากบริษัท ซีพี-เมจิ จำกัด

3.1.12. ไข่ไก่สด (egg) จากบริษัท เจริญโภคภัณฑ์อาหาร จำกัด (มหาชน)

3.1.13. กลิ่นสังเคราะห์ (flavor) จากบริษัท เกรทฮิลล์ จำกัด

3.2. สารเคมี

3.2.1. Methanol 95% HPLC grade (ACI Labscan Co., Ltd., Thailand)

3.2.2. Ethanol 95 % HPLC grade (ACI Labscan Co., Ltd., Thailand)

3.2.3. 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (Sigma Aldrich Corp., USA)

3.2.4. Ferric chloride hexahydrate (Sigma Aldrich Corp., USA)

3.2.5. Acetic acid HPLC grade (ACI labscan Co., Ltd., Thailand)

3.2.6. Sodium acetate trihydrate (Sigma Aldrich Corp., USA)

3.2.7. Sodium carbonate (Sigma Aldrich Corp., USA)

3.2.8. Folin-Ciocalteu reagent (Sigma Aldrich Corp., USA)

3.2.9. 6-hydroxy-2,5,7,8-tetramethylchroman-2-carboxylic acid (Sigma Aldrich Corp., USA)

3.2.10. 2,2'-Azino-bis diammonium salt (ABTS) (Sigma Aldrich Corp., USA)

3.2.11. Potassium peroxo disulfate (Sigma Aldrich Corp., USA)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.12. 2,4,6-tri-2-pyridyl-2-triazine (TPTZ) (Sigma Aldrich Corp., USA)

3.2.13. Hydrochloric acid 36% HPLC grade (ACI labscan Co., Ltd., Thailand)

3.2.14. Acetone HPLC grade (ACI labscan Co., Ltd., Thailand)

3.2.15. Liquid nitrogen (Linde, Thailand)

3.2.16. Sodium chloride (Sigma Aldrich Corp., USA)

3.2.17. distilled water (dH_2O)

3.2.18. deionized water (dIH_2O)

3.3. อุปกรณ์และเครื่องมือ

3.3.1. อุปกรณ์และเครื่องมือผลิตแป้งควินัวงอก

3.3.1.1. เครื่องทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (tray freeze dryer) ยี่ห้อ Scanlaf รุ่น Coolsafe 90-80 A ประเทศเดนมาร์ก

3.3.1.2. เครื่องบดถั่วและเครื่องเทศ (spice and nut grinder) ยี่ห้อ Cuisinart รุ่น SG-10 ประเทศจีน

3.3.1.3. เครื่องบดแบบเข็ม (pin mill) ยี่ห้อ Philip-Cucina รุ่น ZM 1000 ประเทศอินโดนีเซีย

3.3.2. อุปกรณ์และเครื่องมือผลิตเค้ก

3.3.2.1. เครื่องชั่งดิจิตอล ทศนิยม 2 ตำแหน่ง ยี่ห้อ Pioneer รุ่น PA 4102 ประเทศสหรัฐอเมริกา

3.3.2.2. เครื่องตีผสมเค้กยี่ห้อ Kidchen Aid รุ่น Heavy duty ประเทศไทย

3.3.2.3. เตาอบแบบใช้แก๊ส ขนาดถาดภายใน 90*62*30 เซนติเมตร ประเทศไทย

3.3.2.4. ตะแกรงร่อนขนาด 80 เมซ

3.3.2.5. พิมพ์เค้กอลูมิเนียม ขนาด 8*12*1.5 นิ้ว

3.3.3. อุปกรณ์และเครื่องมือวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี กายภาพ และประสาทสัมผัส

3.3.3.1. เครื่องปั่นเหวี่ยงยี่ห้อ (Hurmle รุ่น Z206A, ประเทศเยอรมัน)

3.3.3.2. วอเท็กซ์มิกเซอร์ยี่ห้อ (Scientific Industries รุ่น Genie 2, ประเทศสหรัฐอเมริกา)

3.3.3.3. เครื่อง (UV-Vis Spectrophotometry รุ่น Shimatsu UV 1601, ประเทศญี่ปุ่น)

3.3.3.4. เครื่องชั่งดิจิตอล ทศนิยม 4 ตำแหน่ง ยี่ห้อ (Mettler Toledo, ประเทศเยอรมัน)

3.3.3.5. เครื่อง Texture analyzer (รุ่น TA-XT plus, ประเทศอังกฤษ)

3.3.3.6. เครื่องวัดความชื้น Moisture halogen ยี่ห้อ (Mettler Toledo, ประเทศเยอรมัน)

3.3.3.7. เครื่องวัดสียี่ห้อ (Minolta รุ่น CR-400, ประเทศญี่ปุ่น)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.3.8. เครื่อง Scanner ยี่ห้อ (Canon รุ่น 9000F Mark II, ประเทศญี่ปุ่น)

3.3.3.9. เวอร์เนียร์คาลิเปอร์ดิจิตอล ทศนิยม 2 ตำแหน่ง

3.4. วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.4.1. การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อร้อยละการงอกของควินัว

3.4.1.1. ศึกษาผลของสายพันธุ์ต่อร้อยละการงอก

นำเมล็ดควินัวจำนวน 3 สายพันธุ์ ได้แก่ พันธุ์สีขาว สีแดง และสีดำ ทำการล้างด้วยน้ำกลั่นให้สะอาด จากนั้นทำการเพาะงอก โดยนำเมล็ดมาเรียงในจานพลาสติก (petri dish) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 เซนติเมตร โดยใช้กระดาษเพาะเมล็ดชุ่มน้ำ จานละ 10 เมล็ด จำนวน 100 เมล็ด ที่ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง ทำซ้ำ สายพันธุ์ละ 3 ซ้ำ นับจำนวนเมล็ดที่มีรากงอกมากกว่า 0.02 มิลลิเมตร รายงานร้อยละการงอกของเมล็ด

คัดเลือกสายพันธุ์ที่มีร้อยละการงอกสูงสุดเพื่อใช้ในการทดลองขั้นต่อไป

3.4.1.2. การวิเคราะห์ทางสถิติ

วิเคราะห์ความแตกต่างของข้อมูลผลของสายพันธุ์ต่อร้อยละการงอก โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มอย่างสมบูรณ์ (Completely Randomized Design, CRD) ทำการทดลอง 3 ซ้ำวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance, ANOVA) และทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วย Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ด้วยโปรแกรมวิเคราะห์ผลทางสถิติ SPSS

3.4.2. การศึกษาผลของความเข้มข้นของเกลือโซเดียมคลอไรด์ ระยะเวลาการแช่ก่อนการเพาะงอก และระยะเวลาการเพาะงอกที่มีผลต่อร้อยละการงอก สารประกอบฟีนอลิก และสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ

นำเมล็ดควินัวสายพันธุ์ที่คัดเลือกจาก 3.4.1 ล้างให้สะอาดด้วยน้ำกลั่น และทำการแช่ในเกลือโซเดียมคลอไรด์ ที่ความเข้มข้น 0, 250 และ 500 มิลลิโมลาร์ เป็นเวลา 3, 7.5 และ 12 ชั่วโมง และเพาะงอกในเกลือโซเดียมคลอไรด์ ที่ความเข้มข้น 0, 250 และ 500 มิลลิโมลาร์ ที่ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 0, 24 และ 48 ชั่วโมง โดยใช้ออกแบบการทดลองแบบส่วนประสมกลาง (Central composite design: CCD) ดังแสดงในตารางที่ 3.1 และมีการนำเสนอข้อมูลแบบพื้นที่ผิวตอบสนอง (Response surface methodology: RSM) โดยใช้โปรแกรม Design expert v.10 ในการประมานผลข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 การวางแผนการทดลองแบบ Central composite design (CCD)

สิ่งทดลองที่ n	เวลาการแช่ก่อนเพาะงอก (ชั่วโมง)	เวลาการเพาะงอก (ชั่วโมง)	ความเข้มข้นของเกลือ (มิลลิโมลาร์)
1	12	48	500
2	7.5	24	250
3	3	48	500
4	7.5	24	250
5	12	0	500
6	7.5	24	250
7	3	48	0
8	12	0	0
9	7.5	24	0
10	7.5	24	250
11	7.5	24	500
12	3	24	250
13	12	24	250
14	7.5	0	250
15	12	48	0
16	3	0	500
17	3	0	0
18	7.5	24	250
19	7.5	24	250
20	7.5	48	250

สิ่งทดลองทั้ง 20 การทดลอง ในตารางที่ 3.1 นำมาวิเคราะห์ค่าต่างๆ ดังนี้

3.4.2.1. วิเคราะห์ร้อยละการงอก

นับจำนวนเมล็ดที่มีรากงอกยาวอย่างน้อย 0.02 มิลลิเมตร ของแต่ละสิ่งทดลอง โดยรายงานผลเป็นค่าร้อยละการงอก

3.4.2.2. วิเคราะห์ปริมาณฟีนอลิก

เตรียมแป้งดวินัวเพื่อวิเคราะห์ โดยนำเมล็ดดวินัวที่ผ่านการเพาะงอกในแต่ละสิ่งทดลอง มาทำแห้งด้วยวิธีการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งด้วยเครื่องทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง เป็นเวลา 40 ชั่วโมง และนำตัวอย่างมาบดหยาบด้วยเครื่องบด (Cuisinart) และบดละเอียดด้วยเครื่องบดแบบเข็ม (pin mill) แล้วนำมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สกัด (รายละเอียดการสกัดแสดงดังภาคผนวก ก1.1) เก็บตัวอย่างที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส นำมาวิเคราะห์ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด (Total phenolic content) ดัดแปลงจากวิธีของ Miliauskas และคณะ (2004) รายละเอียดดังแสดงในภาคผนวก ก1.2

3.4.2.3. วิเคราะห์สมบัติการต้านอนุมูลอิสระ

เตรียมแป้งควินัวเพื่อวิเคราะห์ เช่นเดียวกับข้อ 3.4.2.2 นำมาวิเคราะห์สมบัติการต้านอนุมูลอิสระ ด้วยวิธี FRAP DPPH และ ABTS ดังแปลงจากวิธีของ Wu และคณะ (2003) รายละเอียดดังแสดงในภาคผนวก ก1.3-1.5

3.4.2.4. การวิเคราะห์ทางสถิติ

ผลการทดลองที่ได้นำไปหาสมการความสัมพันธ์ระหว่างค่าตัวแปรต้น (ระยะเวลาการแช่ก่อนเพาะงอก ระยะเวลาการเพาะงอก และความเข้มข้นของเกลือโซเดียมคลอไรด์) กับ ตัวแปรตาม (ร้อยละการงอก ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด สมบัติการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี FRAP DPPH และ ABTS) และรายงานผลด้วยการวิเคราะห์พื้นที่ผิวตอบสนอง (Response surface surface methodology: RSM) โดยใช้โปรแกรม design expert v.10

3.4.3. การทดสอบค่าสมการทำนาย

จากผลการทดลอง 3.4.2 นำค่าตัวแปรต้นที่เหมาะสม มาผลิตแป้งควินัวงอกตามข้อ 3.4.2.2 และนำไปวิเคราะห์ค่าเพื่อทดสอบค่าสมการทำนายที่ได้ โดยวิเคราะห์ค่าร้อยละการงอก ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด และ สมบัติการต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี FRAP DPPH และ ABTS

3.4.3.1 วิเคราะห์ร้อยละการงอก

นำเมล็ดควินัวมาเพาะงอกโดยใช้สภาวะที่ได้จากสมการ 3.4.2 วิเคราะห์ค่าร้อยละการงอก โดยนับจำนวนเมล็ดที่มีรากงอกยาวอย่างน้อย 0.02 มิลลิเมตร ของแต่ละสิ่งทดลอง และรายงานผลเป็นค่าร้อยละการงอก

3.4.3.2 วิเคราะห์ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด

นำเมล็ดควินัวมาเพาะงอกโดยใช้สภาวะที่ได้จากสมการ 3.4.2 มาเตรียมแป้งเพื่อวิเคราะห์เช่นเดียวกับข้อ 3.4.2.2 และนำมาวิเคราะห์ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด (Total phenolic content) ดัดแปลงจากวิธีของ Miliauskas และคณะ (2004) รายละเอียดดังแสดงในภาคผนวก ก1.2

3.4.3.3 วิเคราะห์สมบัติการต้านอนุมูลอิสระ

นำเมล็ดควินัวมาเพาะงอกโดยใช้สภาวะที่ได้จากสมการ 3.4.2 มาเตรียมแป้งเพื่อวิเคราะห์เช่นเดียวกับข้อ 3.4.2.2 และนำมาวิเคราะห์สมบัติการต้านอนุมูลอิสระ FRAP, DPPH และ ABTS ดัดแปลงจากวิธีของ Wu และคณะ (2003) รายละเอียดดังแสดงในภาคผนวก ก1.3-1.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.4 ศึกษาองค์ประกอบทางเคมี ปริมาณเกลือแร่ และกรดอะมิโนในแป้งควินัวงอกที่เลือก

นำเมล็ดควินัวที่ไม่ได้เพาะงอก และเมล็ดควินัวที่เพาะงอกในสภาวะที่ได้จาก 3.4.2 มาเตรียมแป้งโดยบดหยาบด้วยเครื่องบดหยาบ (Cuisinart) และบดละเอียดด้วยเครื่องบดแบบเข็ม (pin mill) แล้วนำไปทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง และนำแป้งวิเคราะห์ค่าต่างๆ ดังนี้

1.) องค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณ (ปริมาณความชื้น โปรตีน ไขมัน ใยอาหาร และคาร์โบไฮเดรต) ตามวิธีของ AOAC (2012)

2.) ปริมาณเกลือแร่ (Minerals) ได้แก่ โซเดียม โพแทสเซียม แมกนีเซียม แคลเซียม ทองแดง สังกะสี และเหล็ก ตามวิธีของ AOAC (2012)

3.) กรดอะมิโน (Amino acid profile) ตามวิธีของ AOAC (1989)

3.4.5. ศึกษาการใช้ประโยชน์จากแป้งควินัวงอกในเค้กปราศจากกลูเตน

นำแป้งควินัวงอกที่มีสมบัติการต้านอนุมูลอิสระปริมาณสูงที่ได้จากข้อ 3.4.2 ทดแทนแป้งข้าวเจ้าในผลิตภัณฑ์เค้กปราศจากกลูเตน 3 ชนิด คือ เค้กสปันจ์ เค้กเนย และเค้กชิฟฟ่อน โดยใช้สูตรพื้นฐานตามตาราง 3.2 ที่การทดแทนระดับต่างๆ ร้อยละ 0, 30 และ 50 นำไปวิเคราะห์คุณภาพเค้ก การทดสอบทางประสาทสัมผัส และสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ

ตารางที่ 3.2 ส่วนผสมของเค้กสปันจ์ เค้กเนย และเค้กชิฟฟ่อน ปราศจากกลูเตน

ส่วนผสม	เค้กสปันจ์			เค้กเนย			เค้กชิฟฟ่อน		
	1*	2*	3*	1*	2*	3*	1*	2*	3*
แป้งข้าวเจ้า (กรัม)	150	105	75	150	105	75	140	98	70
แป้งควินัว (กรัม)	0	45	75	0	45	75	0	42	70
ไข่ (ฟอง)	7	7	7	3	3	3	5	5	5
ผงฟู (กรัม)	10	10	10	1.3	1.3	1.3	4	4	4
น้ำตาล (กรัม)	125	125	125	-	-	-	150	150	150
น้ำตาลไอซิ่ง (กรัม)	-	-	-	100	100	100	-	-	-
เกลือ (กรัม)	1.67	1.67	1.67	-	-	-	-	-	-
เนยสดชนิดจืด (กรัม)	-	-	-	150	150	150	-	-	-
เนยสดชนิดจืดละลาย (กรัม)	150	150	150	-	-	-	-	-	-
น้ำมันพืช (กรัม)	-	-	-	-	-	-	40	40	40
นมสด (กรัม)	122	122	122	-	-	-	75	75	75
ครีมออฟทาร์ทาร์ (กรัม)	-	-	-	-	-	-	1.17	1.17	1.17
กลิ่นนมเนย (กรัม)	5	5	5	5	5	5	5	5	5
สารเสริมคุณภาพ SP	7.5	7.5	7.5	-	-	-	-	-	-

หมายเหตุ 1* เค้กที่ไม่ใส่แป้งควินัว, 2*และ 3* เค้กที่ใส่แป้งควินัวเป็นส่วนผสมร้อยละ 30 และ 50 ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.5.1. การวิเคราะห์คุณภาพของเค้ก

1.) การวัดปริมาณความชื้น รายละเอียดดังแสดงในภาคผนวก ข1

2.) การวัดค่าสี คือค่า L*, a* และ b* รายละเอียดดังแสดงในภาคผนวก ข2.1

3.) การวิเคราะห์เนื้อสัมผัส รายละเอียดดังแสดงในภาคผนวก ข2.2

4.) การวัดปริมาตรจำเพาะของเค้ก ด้วยวิธีการแทนที่ด้วยงา รายละเอียดดังแสดงในภาคผนวก ข2.3

3.4.5.2. การทดสอบทางประสาทสัมผัส

นำตัวอย่างเค้กทั้ง 3 ชนิด คือ เค้กสปันจ์ เค้กเนย และเค้กชิฟฟ่อน นำมาทดสอบทางประสาทสัมผัสกับผู้ทดสอบชิมจำนวน 30 คน เป็นบุคคลทั่วไป โดยใช้การทดสอบแบบ Hedonic 9-point scale ทดสอบทางด้าน สี (color), กลิ่น (odor), รสชาติ (flavor), เนื้อสัมผัส (Hardness) และ ความชอบโดยรวม (overall liking) รายละเอียดแบบสอบถามดังแสดงในภาคผนวก ข2.4

3.4.5.3. การวิเคราะห์สมบัติการต้านอนุมูลอิสระของเค้ก

นำตัวอย่างเค้กมาบดละเอียดด้วยเครื่องบดแบบหยาบ (Cuisinart) และนำไปทำแห้งด้วยวิธีการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง และนำมาสกัด (รายละเอียดการสกัดแสดงดังภาคผนวก ก1.1) และเก็บที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส เพื่อนำมาวิเคราะห์สมบัติการต้านอนุมูลอิสระ ตามวิธี FRAP, DPPH และ ABTS ดัดแปลงมาจาก Wu และคณะ (2003) รายละเอียดดังแสดงในภาคผนวก ก1.3-1.5

3.4.5.4. การวิเคราะห์ทางสถิติ

วิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติของคุณภาพของเค้ก ตัวแปรต้น คือ ร้อยละการทดแทนด้วยแป้งควินัวงอกในแป้งข้าวเจ้าที่ร้อยละ 0,30 และ 50 และตัวแปรตาม คือ ปริมาณความชื้น ค่าสี เนื้อสัมผัส ปริมาตรจำเพาะ และสมบัติการต้านอนุมูลอิสระของเค้กแต่ละชนิด โดยวางแผนการทดลองแบบ สุ่มอย่างสมบูรณ์ (Completely Randomized Design, CRD) ทำการทดลอง 3 ซ้ำ วิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance, ANOVA) และทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วย Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ด้วยโปรแกรมวิเคราะห์ผลทางสถิติ SPSS

วิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติของการทดสอบทางประสาทสัมผัสของเค้กแต่ละชนิด โดยวางแผนการทดลองแบบบล็อกสุ่มแบบสมบูรณ์ (Randomized Complete Block Design, RCBD) วิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance, ANOVA) และทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วย Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ด้วยโปรแกรมวิเคราะห์ผลทางสถิติ SPSS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

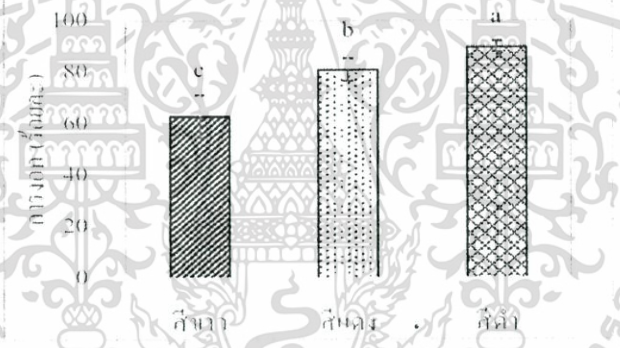
บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์

4.1. ผลการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อร้อยละการงอกของควินัว

4.1.1 ผลของสายพันธุ์ต่อร้อยละการงอก

จากการศึกษาผลของสายพันธุ์ที่มีผลต่อการงอกของควินัว โดยการเพาะงอกเมล็ดควินัว 3 สายพันธุ์ ได้แก่ สีขาว สีแดง และ สีดำบนกระดาษเพาะเมล็ดชุ่มน้ำโดยวางในถาดเพาะเมล็ดที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส 48 ชั่วโมง ติดตามผลโดยรายงานเป็นร้อยละการงอกของเมล็ดทั้ง 3 สายพันธุ์ ผลของสายพันธุ์แสดงดังภาพที่ 4.1 จึงเลือกสายพันธุ์สีดำ เพื่อทำการศึกษาผลของการแช่ที่มีผลต่อการงอกต่อไป



ภาพที่ 4.1 ร้อยละการงอกของควินัว 3 สายพันธุ์ (สีขาว สีแดง และสีดำ) ที่เพาะงอก 30 องศาเซลเซียส 48 ชั่วโมง

* ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันบนแท่งกราฟแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ภาพที่ 4.1 แสดงให้เห็นว่า ค่าร้อยละการงอกของเมล็ดควินัวสายพันธุ์สีดำ มีค่าสูงสุด (ร้อยละ 89.75) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ซึ่งสูงกว่าสายพันธุ์สีแดง และสายพันธุ์สีขาว ที่ร้อยละ 81 และ 62.75 ตามลำดับ สายพันธุ์ที่แตกต่างกันมีผลต่อร้อยละการงอกของเมล็ดพันธุ์ สอดคล้องกับผลการศึกษาของ Zhang และคณะ (2014) พบว่า ข้าวกล้องงอกสองสายพันธุ์ให้ค่าร้อยละการงอกและปริมาณสารสำคัญในข้าวกล้องงอกสองสายพันธุ์มีความแตกต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการทดลองข้างต้น สามารถคัดเลือกสายพันธุ์ที่เหมาะสมกับการเพาะงอกจากค่าร้อยละการงอกสูงสุดคือ พันธุ์สีดำ นำไปทดลองหาสภาวะการเพาะงอกที่เหมาะสมต่อไป

4.2. ผลของความเข้มข้นของเกลือ ระยะเวลาการแช่ก่อนการเพาะงอก และระยะเวลาการเพาะงอกที่มีผลต่อร้อยละการงอก สารประกอบฟีนอลิก และสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ

การศึกษาเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมของความเข้มข้นเกลือ ระยะเวลาการแช่ก่อนการเพาะงอก และระยะเวลาการเพาะงอก ในการผลิตแป้งควินัวงอก โดยใช้การวางแผนการทดลองแบบพื้นที่ผิวตอบสนอง (Response Surface Methodology: RSM) ออกแบบการทดลองด้วยวิธี ส่วนประสมกลาง (Central Composite Design) โดยกำหนดให้ X_1 คือระยะเวลาการเพาะงอก X_2 คือ ความเข้มข้นของเกลือโซเดียมคลอไรด์ และ X_3 คือ ระยะเวลาการแช่ก่อนการเพาะงอก ผลตอบสนอง (response) ที่ทำการตรวจสอบ คือ ร้อยละการงอก ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด สมบัติการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี FRAP DPPH และ ABTS รายละเอียดและค่าตอบสนองของปัจจัยต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 การออกแบบการทดลองแบบส่วนประสมกลาง และค่าตอบสนองของปัจจัย

การทดลอง	เวลาเพาะงอก (ชั่วโมง)	ความเข้มข้นของ NaCl (มิลลิโมลาร์)	เวลาแช่ (ชั่วโมง)	ร้อยละการงอก (ร้อยละ)	ฟีนอลิก (มิลลิกรัมแกลลิก/กรัมตัวอย่าง)	FRAP (ไมโครโมลโทร๊อกซ์/กรัมตัวอย่าง)	DPPH (ไมโครโมลโทร๊อกซ์/กรัมตัวอย่าง)	ABTS (ไมโครโมลโทร๊อกซ์/กรัมตัวอย่าง)
1	24	250	3	66	3.64	226	237	180.5
2	24	250	7.5	68	3.9	262.4	253.3	200.4
3	48	250	7.5	69	4.62	297	272.7	210.6
4	48	0	12	87	3.34	212.8	223.3	162
5	24	0	7.5	67	2.36	178.5	188.3	139.8
6	0	0	12	6	2.01	172.1	162.3	133.3
7	0	250	7.5	15	3.41	230	219.7	185
8	24	250	7.5	67	3.9	244.5	253.7	194.4
9	24	250	7.5	69	3.89	253.6	251	197.1
10	0	500	3	0	1.88	161.7	149	123.5
11	24	250	7.5	69	3.88	239.5	250.3	191.1
12	24	250	7.5	68	3.87	263.7	250.7	203.7
13	0	0	3	1	1.69	152.6	142.3	118.8
14	24	250	12	73	3.91	249	257.3	195.9
15	48	500	3	26	3.01	190	205.7	153.8
16	24	250	7.5	68	3.88	260	252.3	199.5
17	48	0	3	78	2.72	184.9	202.3	149.5
18	0	500	12	0	1.86	166.4	157.7	127.5
19	24	500	7.5	34	2.44	181.2	192.3	141.8
20	48	500	12	31	3.29	194.7	215.7	157

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 ผลการวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนของค่าตอบสนองของปัจจัย

Source	p-value Prob>F					
	df	ร้อยละการงอก	ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด	สมบัติการต้านอนุมูลอิสระ FRAP	สมบัติการต้านอนุมูลอิสระ DPPH	สมบัติการต้านอนุมูลอิสระ ABTS
Model	9	<0.0001****	<0.0001****	<0.0001****	<0.0001****	<0.0001****
A-Time	1	<0.0001****	<0.0001****	0.0001****	<0.0001****	<0.0001****
B-Conc	1	<0.0001****	<0.0001****	0.8355 ns	0.7862 ns	0.9880 ns
C-Soak	1	<0.0001****	0.0017**	0.0334*	<0.0001****	0.0033**
AB	1	<0.0001****	<0.0001****	0.5837 ns	0.3259 ns	0.9731 ns
AC	1	0.0308*	<0.0001****	0.7777 ns	0.7140 ns	0.8136 ns
BC	1	0.0308*	<0.0001****	0.2188 ns	0.0044**	0.1178 ns
A^2	1	<0.0001****	<0.0001****	0.0829 ns	0.0041**	0.1894 ns
B^2	1	<0.0001****	<0.0001****	<0.0001****	<0.0001****	<0.0001****
C^2	1	0.0103*	<0.0001****	0.0455*	0.0141*	0.0323*
Lack of fit	5	0.0581 ns	0.1424 ns	0.4629 ns	0.0943 ns	0.6756 ns
R^2	-	0.99	0.99	0.85	0.99	0.97

* . มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p<0.05$

** มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p<0.01$

*** มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p<0.001$

**** มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p<0.0001$

ns ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

เมื่อนำข้อมูลของค่าตอบสนองของแต่ละปัจจัย มาวิเคราะห์ค่าความแปรปรวน เพื่อพิจารณาผลของเวลาการเพาะงอก ความเข้มข้นของเกลือโซเดียมคลอไรด์ และเวลาแช่ก่อนการเพาะงอกของควินัวสีดำ ที่มีผลต่อค่าตอบสนอง ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.2 พบว่า เวลาการเพาะงอก และเวลาแช่ก่อนการเพาะงอก มีผลต่อค่าร้อยละการงอก ปริมาณฟีนอลิก และสมบัติการต้านอนุมูลอิสระทั้ง 3 วิธีการ ส่วนความเข้มข้นเกลือโซเดียมคลอไรด์ มีผลต่อค่าร้อยละการงอก และปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด แต่ไม่มีผลต่อสมบัติการต้านอนุมูลอิสระอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งจากการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลที่ได้พบว่าข้อมูลที่ได้จาก ค่าร้อยละการงอก ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด และสมบัติการต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี FRAP DPPH และ ABTS ให้สมการ (model) ที่สามารถนำมาใช้ทำนายผลได้ เนื่องจากค่าตอบสนองในแต่ละค่าข้างต้นมี Lack of fit ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และมีค่าสัมประสิทธิ์การอธิบาย

เอกสารนี้มีลิขสิทธิ์ ไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(Coefficient, R^2) ของค่าตอบสนองอยู่ที่ 0.85 – 0.99 แสดงถึงความเป็นไปได้ที่จะนำสมการ ดังแสดงในตารางที่ 4.3 ซึ่งเป็นสมการกำลังสอง (Quadratic model) มาใช้เพื่อทำนายความสัมพันธ์ของเวลาการเพาะงอก ความเข้มข้นของเกลือโซเดียมคลอไรด์ และเวลาแช่ก่อนการเพาะงอก ที่มีผลต่อคุณภาพของแป้งควินัวงอก และเมื่อพิจารณาข้อมูลข้างต้นพบว่า ตัวแปรตอบสนองมีต่อคุณภาพของแป้งควินัวงอก ได้แก่ ร้อยละการงอก ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด และสมบัติการต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี FRAP DPPH และ ABTS จึงนำไปหาสภาวะที่เหมาะสม (optimization) ต่อไป

ตารางที่ 4.3 สมการทำนายจากการใช้วิธีพื้นที่ผิวตอบสนองของแต่ละปัจจัย

ตัวแปรตาม	สมการทำนายกำลังสอง	R^2
ร้อยละการงอก	$= 67.74+26.90(X_1)-14.80(X_2)+2.60(X_3)-12.62(X_1X_2)+1.13(X_1X_3)$ $-1.12(X_2X_3)-25.09(X_1)^2+16.59(X_2)^2+2.41(X_3)^2$	0.99
ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด	$= 3.88+0.61(X_1)+0.036(X_2)+0.15(X_3)+0.025(X_1X_2)+0.075(X_1X_3)$ $-0.085(X_2X_3)-0.15(X_1)^2-1.47(X_2)^2-0.090(X_3)^2$	0.99
สมบัติการต้านอนุมูลอิสระ (FRAP)	$= 253.01+19.66(X_1)+7.98(X_3)-71.75\ (X_2)^2-14.10(X_3)^2$	0.85
สมบัติการต้านอนุมูลอิสระ (DPPH)	$= 251.53+28.87(X_1)+8.00(X_3)-2.79(X_2X_3)-4.81(X_1)^2-60.71(X_2)^2$ $-3.86(X_3)^2$	0.99
สมบัติการต้านอนุมูลอิสระ (ABTS)	$= 196.35+14.48(X_1)+4.96(X_3)-53.53(X_2)^2-6.13(X_3)^2$	0.97

X_1 คือ ระยะเวลาการเพาะงอก

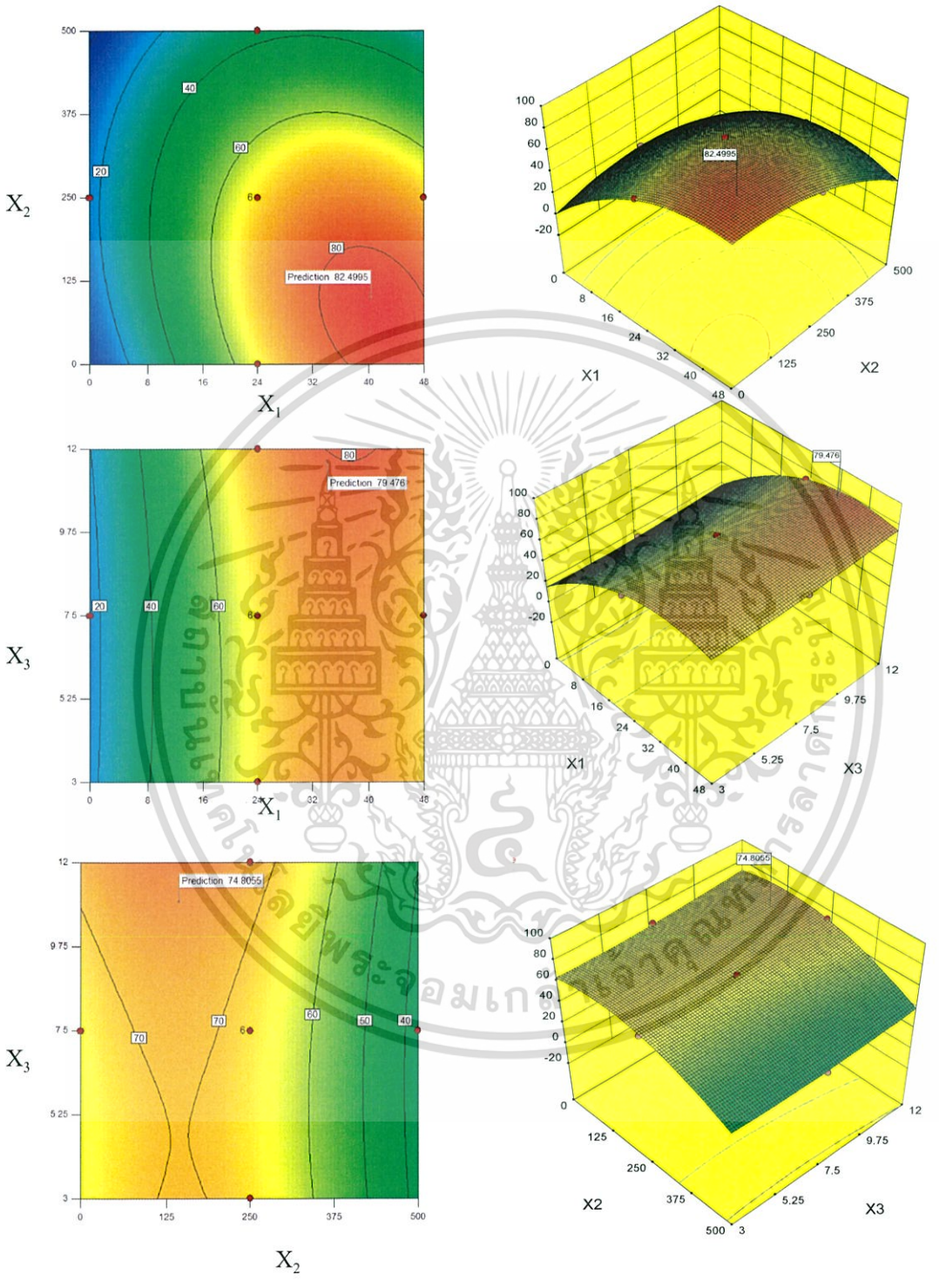
X_2 คือ ความเข้มข้นของเกลือโซเดียมคลอไรด์

X_3 คือ ระยะเวลาแช่ก่อนการเพาะงอก

ผลของเวลาการเพาะงอก ความเข้มข้นของเกลือโซเดียมคลอไรด์ และเวลาแช่ก่อนการเพาะงอกต่อค่าร้อยละการงอกของควินัวสีดำ แสดงดังภาพที่ 4.2 ซึ่งแสดงพื้นที่ผิวตอบสนอง และแผนภาพคอนทัวร์พล็อต พบว่า ระยะเวลาการแช่ก่อนเพาะงอก และระยะเวลาเพาะงอก มีผลต่อค่าร้อยละการงอก โดยเมื่อทำการแช่และเพาะงอกระยะเวลานานขึ้น ทำให้ค่าร้อยละการงอกของเมล็ดควินัวเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับ วรรณวิไล (2550) พบว่า เมื่อเพิ่มระยะเวลาการแช่และระยะเวลาเพาะงอกเมล็ดข้าวกล้องทำให้เมล็ดข้าวมีร้อยละการงอกเพิ่มขึ้น Bradford (1986) รายงานว่า การแช่เมล็ดก่อนการเพาะงอกในช่วงระยะเวลาที่เหมาะสม จะช่วยให้เมล็ดมีการงอกได้ง่ายขึ้น และระยะเวลาการเพาะงอกที่นานขึ้น ทำให้ร้อยละการงอกสูงขึ้น ในขณะที่ความเข้มข้นของเกลือโซเดียมคลอไรด์ที่สูงขึ้น มีผลทำให้ค่าร้อยละการงอกลดลง สอดคล้องกับผลการทดลองของ Anaya และคณะ (2015) ซึ่งรายงานว่า ผลของความเข้มข้นของเกลือโซเดียมคลอไรด์ (0-200 มิลลิโมลาร์) ทำให้ร้อยละการงอกของถั่วปากอ้าลดลงตามลำดับ และ

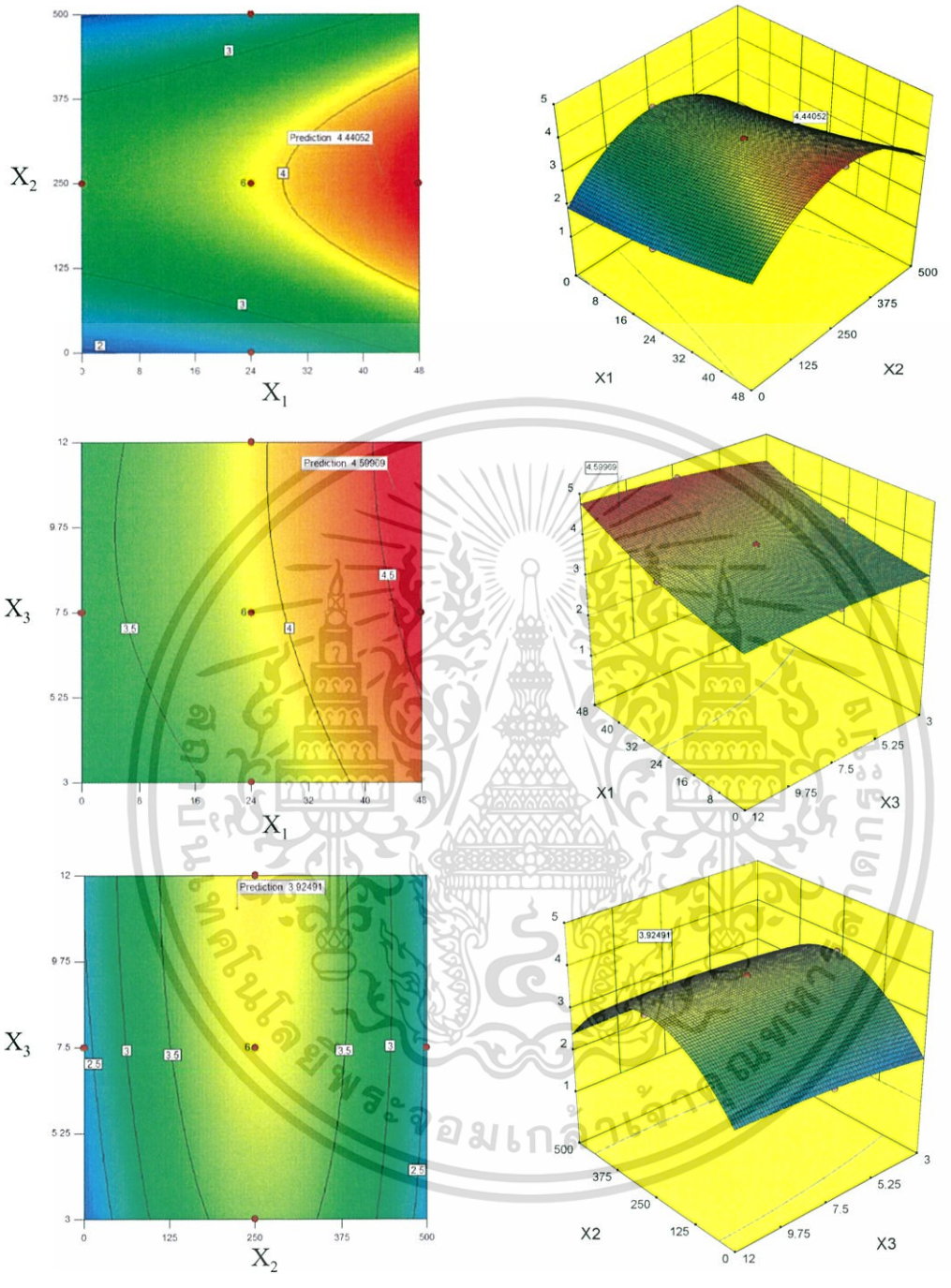
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สุมาลี (2555) รายงานว่า ในสภาวะที่มีเกลือสะสมอยู่ ทำให้รากพืชดูดน้ำไปใช้ได้ยากขึ้น แต่ทั้งนี้ความเครียดจากเกลือมีผลทำให้มีการสร้างสารต้านอนุมูลอิสระเพิ่มขึ้น



ภาพที่ 4.2 แผนภาพคอนทัวร์พล็อต (ก) และแผนภาพพื้นที่ผิวตอบสนอง 3 มิติ (ข) แสดงผลของเวลาการเพาะงอก (X_1) ความเข้มข้นของเกลือโซเดียมคลอไรด์ (X_2) และเวลาแช่ก่อนการเพาะงอก (X_3) ต่อร้อยละการงอกของเมล็ดควินัวสีดำ

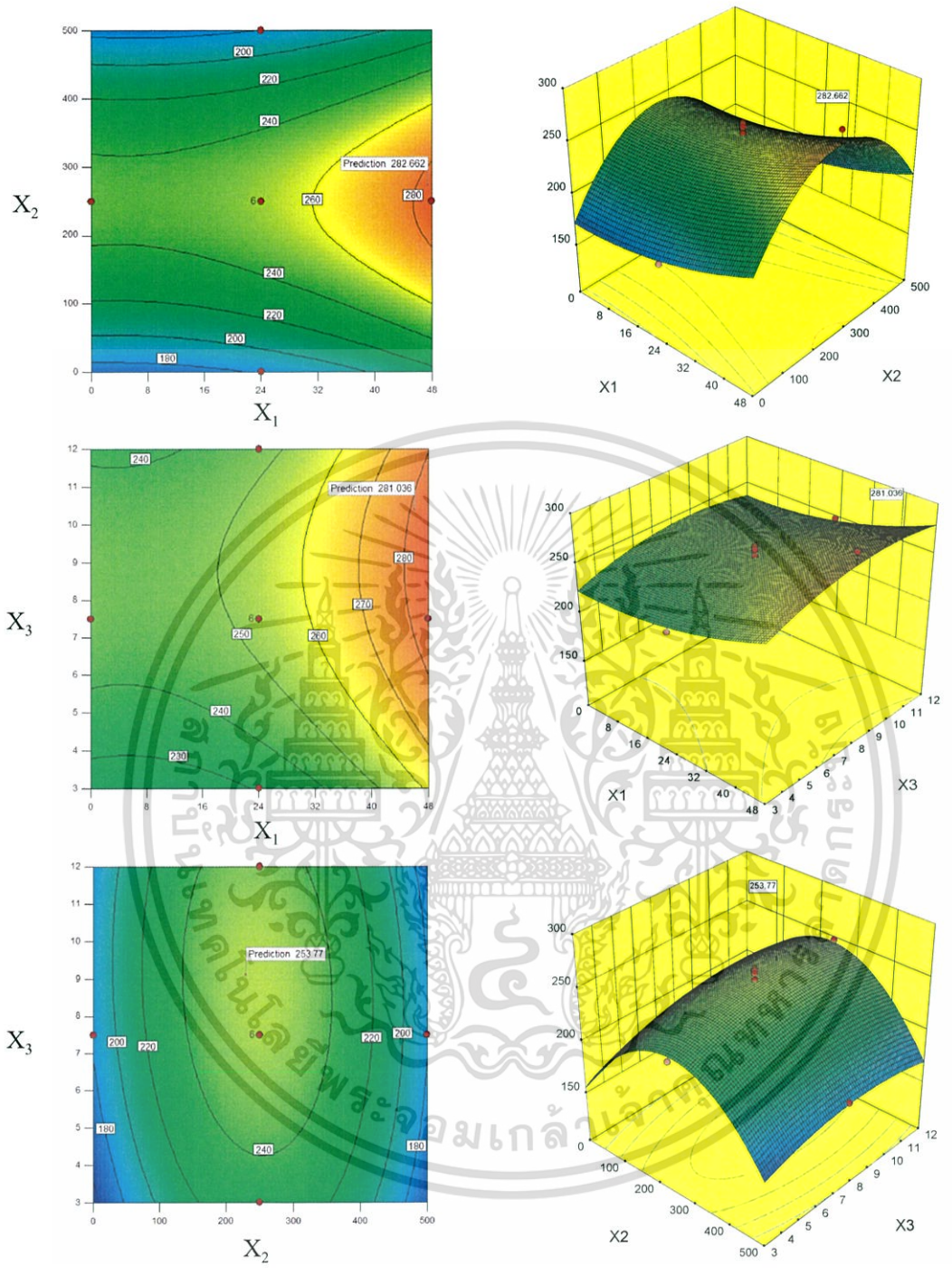
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) (ข)

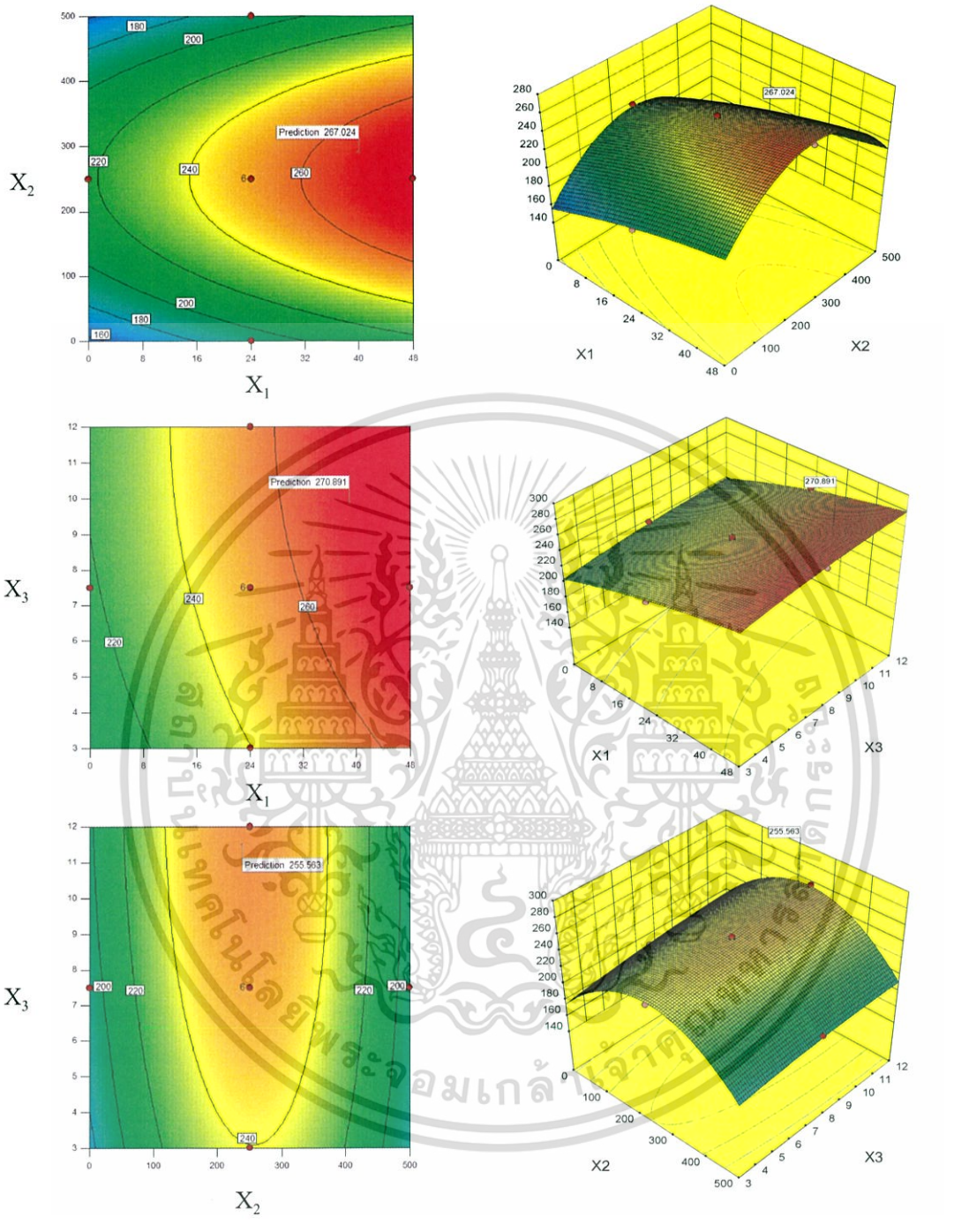
ภาพที่ 4.3 แผนภาพคอนทัวร์พล็อต (ก) และแผนภาพพื้นที่ผิวตอบสนอง 3 มิติ (ข) แสดงผลของเวลาการเพาะงอก (X_1) ความเข้มข้นของเกลือโซเดียมคลอไรด์ (X_2) และเวลาแช่ก่อนการเพาะงอก (X_3) ต่อปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด (มิลลิกรัม/กรัม)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



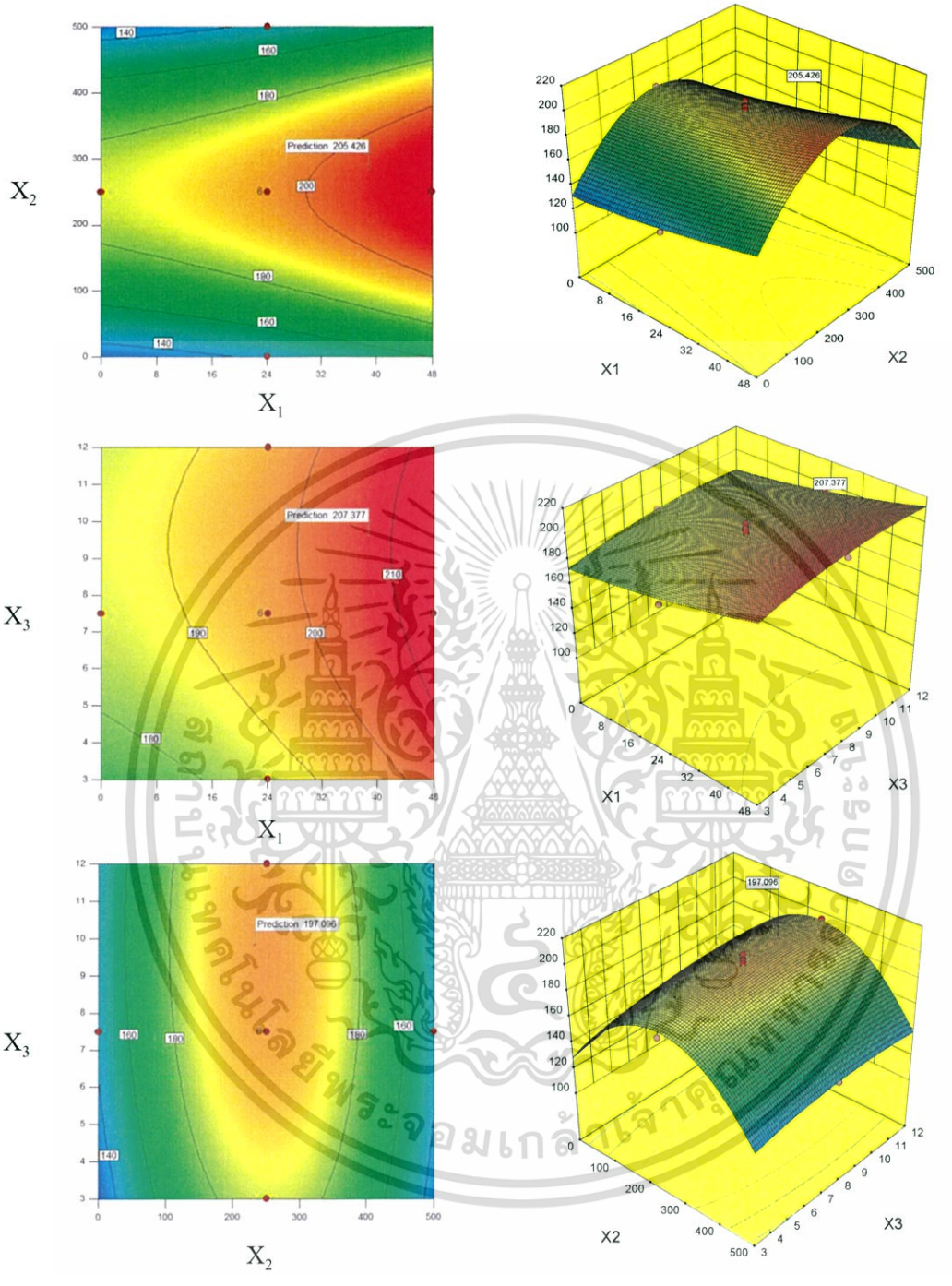
ภาพที่ 4.4 แผนภาพคอนทัวร์พล็อต (ก) และแผนภาพพื้นที่ผิวตอบสนอง 3 มิติ (ข) แสดงผลของเวลาการเพาะงอก (X_1) ความเข้มข้นของเกลือโซเดียมคลอไรด์ (X_2) และเวลาแช่ก่อนการเพาะงอก (X_3) ต่อสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ FRAP (ไมโครโมลโทร๊อกซ์/กรัม)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.5 แผนภาพคอนทัวร์พล็อต (ก) และแผนภาพพื้นที่ผิวตอบสนอง 3 มิติ (ข) แสดงผลของเวลาการเพาะงอก (X_1) ความเข้มข้นของเกลือโซเดียมคลอไรด์ (X_2) และเวลาแช่ก่อนการเพาะงอก (X_3) ต่อสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ DPPH (ไมโครโมลโทร๊อกซ์/กรัม)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.6 แผนภาพคอนทัวร์พล็อต (ก) และแผนภาพพื้นที่ผิวตอบสนอง 3 มิติ (ข) แสดงผลของเวลาการเพาะงอก (X_1) ความเข้มข้นของเกลือโซเดียมคลอไรด์ (X_2) และเวลาแช่ก่อนการเพาะงอก (X_3) ต่อสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ ABTS (ไมโครโมลโทร๊อกซ์/กรัม)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากภาพที่ 4.3 4.4 4.5 และ 4.6 แสดงผลของเวลาการเพาะงอก ความเข้มข้นของเกลือโซเดียมคลอไรด์ และเวลาแช่ก่อนการเพาะงอก ที่มีความสัมพันธ์กัน ต่อปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด และสมบัติการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี FRAP DPPH และ ABTS เมื่อพิจารณาจากภาพ พบว่า ระยะเวลาการแช่ก่อนเพาะงอก และระยะเวลาเพาะงอกที่นานขึ้น ส่งผลต่อปริมาณฟีนอลิก และสมบัติการต้านอนุมูลอิสระทั้ง 3 วิธีการวัดที่เพิ่มขึ้น ซึ่ง Abderrahim และคณะ (2012) พบว่า เมื่อเพาะงอกคานิฮัว ในเวลานานขึ้น ส่งผลให้มีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด และสมบัติการต้านอนุมูลอิสระสูงขึ้นจนถึงช่วงเวลาที่เหมาะสม (72 ชั่วโมง) หลังจากนั้นจะมีผลให้สมบัติการต้านอนุมูลอิสระลดลง (96 ชั่วโมง) ส่วนปัจจัยความเข้มข้นของเกลือโซเดียมคลอไรด์ พบว่า เมื่อความเข้มข้นของเกลือโซเดียมคลอไรด์สูงขึ้น ทำให้ค่าปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด และสมบัติการต้านอนุมูลอิสระทั้ง 3 วิธีการวัด มีค่าสูงขึ้นจนถึงความเข้มข้นที่เหมาะสมซึ่งมีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด และสมบัติการต้านอนุมูลอิสระสูงสุด จากนั้นเมื่อความเข้มข้นเพิ่มขึ้นอีกจะทำให้ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด และสมบัติการต้านอนุมูลอิสระลดลง สอดคล้องกับ Thammapat และคณะ (2015) พบว่า ผลของความเครียดของเกลือโซเดียมคลอไรด์มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสารสำคัญในข้าวเหนียวฮาง ได้แก่ แกมมาออไรซานอล กรดไขมัน และปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด มีปริมาณเพิ่มขึ้น Umnajkitikorn และคณะ (2013) รายงานว่า การแช่เมล็ดข้าวในความเข้มข้นเกลือโซเดียมคลอไรด์สูงขึ้นจนถึงระดับที่เหมาะสม (ที่ 150 มิลลิโมลาร์) สามารถเพิ่มสมบัติการต้านอนุมูลอิสระสูงสุด จากนั้นจะลดลง และ ศรัณยพร (2559) พบว่าการเพาะงอกข้าวสามสายพันธุ์ในเกลือโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้นสูงขึ้นมีผลให้ปริมาณฟีนอลิก และสมบัติการต้านอนุมูลอิสระเพิ่มขึ้นสูงสุดที่ความเข้มข้น 150 มิลลิโมลาร์ อีกทั้ง สุมาลี (2555) รายงานว่า พืชที่ได้รับความเครียดจากเกลือ จะสะสมสารบางชนิด เช่น compatible solute ทำให้พืชสามารถดูดน้ำไปใช้ได้ และพบว่าทำให้พืชมีการสะสมไอออนโซเดียม ในไซโตพลาสซึมของเซลล์มากขึ้น และเป็นอันตรายต่อเซลล์ ดังนั้นพืชจึงต้องขับไอออนโซเดียมออกจากเซลล์ ทำให้พืชมีกลไกที่จะสร้างสารต้านอนุมูลอิสระเพื่อปกป้องเซลล์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 การทำนายสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตแป้งควินัวงอก

ค่าตอบสนอง	เงื่อนไขที่เหมาะสม					
	เป้าหมาย	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	น้ำหนัก	ค่าทำนาย	ความพอใจ
เวลาเพาะงอก	in range	0	48	1	47.98	1
เกลือโซเดียมคลอไรด์	in range	0	500	1	221.65	1
เวลาแช่ก่อนเพาะงอก	in range	3	12	1	9.48	1
ร้อยละการงอก	maximize	0	87	1	74.60	0.86
ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด	maximize	3.5	4.62	1	4.70	1
สมบัติการต้านอนุมูลอิสระ (FRAP)	maximize	250	297	1	285.44	0.75
สมบัติการต้านอนุมูลอิสระ (DPPH)	maximize	230	272.7	1	277.92	1
สมบัติการต้านอนุมูลอิสระ (ABTS)	maximize	160	210.6	1	214.57	1

เมื่อทำนายสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตแป้งควินัวงอก โดยการใช้เทคนิคพื้นที่ผิวตอบสนอง โดยพิจารณาสมการจากค่า Desirability ซึ่งเป็นความสัมพันธ์ที่ผู้วิจัยสามารถกำหนดคุณลักษณะของตัวแปรตามที่ต้องการได้ อาทิ ค่าต่ำสุด ค่าสูงสุด หรือในช่วงที่กำหนด (Derringer และ Suich, 1980) โดยการทดลองนี้กำหนดค่าคุณลักษณะของตัวแปรคือ ค่าร้อยละการงอก ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด และสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ FRAP DPPH และ ABTS เท่ากับสูงสุด (maximize) และเวลาการเพาะงอก ความเข้มข้นของเกลือโซเดียมคลอไรด์ และเวลาการแช่ก่อนเพาะงอกอยู่ในช่วงที่กำหนด (0 – 48 ชั่วโมง 0 – 500 มิลลิโมลาร์ และ 3 – 12 ชั่วโมง ตามลำดับ) ดังแสดงในตารางที่ 4.4 พบว่า สภาวะที่เหมาะสมในการผลิตแป้งควินัวงอก คือ การใช้เวลาการเพาะงอก 47.98 ชั่วโมง ความเข้มข้นของเกลือโซเดียมคลอไรด์ 221.65 มิลลิโมลาร์ และแช่ก่อนการเพาะงอก 9.48 ชั่วโมง (Desirability เท่ากับ 0.92) โดยให้ค่าร้อยละการงอกเท่ากับร้อยละ 74.60 ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด 4.70 มิลลิกรัม/กรัม สมบัติการต้านอนุมูลอิสระ FRAP DPPH และ ABTS เท่ากับ 285.44, 277.92 และ 214.57 ตามลำดับ จากนั้นทำการทดลองเพื่อทดสอบค่าทำนายในการทดลองต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3. การทดสอบค่าสมการทำนาย

จากค่าสมการทำนายที่ได้จากข้อ 4.2 นำมาวิเคราะห์ค่าต่างๆ ได้แก่ ร้อยละการงอก ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด และสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ โดยนำเมล็ดควินัวสีดำมาเพาะงอก ตามสภาวะที่ได้จาก 4.2 คือ ใช้เกลือโซเดียมคลอไรด์ที่ความเข้มข้น 221.65 มิลลิโมลาร์ แช่ก่อนการเพาะงอกเป็นเวลา 9.48 ชั่วโมง และเพาะงอกเป็นเวลา 47.98 ชั่วโมง จากนั้นนำไปวิเคราะห์ค่าร้อยละการงอก ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด และสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ เพื่อทดสอบค่าจริง ผลแสดงดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 การเปรียบเทียบค่าทำนายร้อยละการงอก ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด และสมบัติการต้านอนุมูลอิสระที่ได้จากสมการ และค่าทดสอบจริง

การวิเคราะห์	ค่าทำนาย	ค่าทดสอบจริง
ร้อยละการงอก (ร้อยละ)	74.60	70
ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด (มิลลิกรัม/กรัม)	4.70	4.23
สมบัติการต้านอนุมูลอิสระ FRAP (ไมโครโมลโทร๊อกซ์/กรัม)	285.44	261.73
สมบัติการต้านอนุมูลอิสระ DPPH (ไมโครโมลโทร๊อกซ์/กรัม)	277.92	235.67
สมบัติการต้านอนุมูลอิสระ ABTS (ไมโครโมลโทร๊อกซ์/กรัม)	214.57	199.80

ผลการทดสอบค่าทำนาย และค่าทดสอบจริงที่ได้ ได้แก่ ร้อยละการงอก ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด และสมบัติการต้านอนุมูลอิสระผลแสดงดังตารางที่ 4.5 พบว่า ค่าทดสอบจริงที่ได้ มีค่าใกล้เคียงกับค่าทำนาย ซึ่งค่าทดสอบจริงมีค่าน้อยกว่าค่าทำนายเล็กน้อย อาจเนื่องมาจาก ความเปลี่ยนของอายุของเมล็ดพันธุ์ในการที่เก็บรักษาก่อนการเพาะงอกที่นาน ทำให้คุณภาพของเมล็ดพันธุ์ต่ำลง จากผลการทดลองข้างต้นใช้เวลาการเพางอกที่ 47.98 ชั่วโมง ความเข้มข้นของเกลือโซเดียมคลอไรด์ 221.65 มิลลิโมลาร์ และระยะเวลาแช่ก่อนการเพาะงอกที่ 9.48 ชั่วโมง ใช้ในการผลิตแป้งควินัวงอก เพื่อศึกษาองค์ประกอบทางเคมี ปริมาณเกลือแร่ และนำไปใช้ในการผลิตเค้กปราศจากกลูเตนในการทดลองต่อไป

4.4. ผลการศึกษาองค์ประกอบทางเคมี ปริมาณเกลือแร่ และกรดอะมิโนในแป้งควินัวงอก

นำแป้งที่ได้จากเมล็ดควินัวที่เพาะงอกโดยใช้สภาวะที่ได้จาก 4.2 และ แป้งจากเมล็ดควินัวที่ไม่ได้เพาะงอก วิเคราะห์ค่าต่างๆได้แก่ องค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณ (ปริมาณความชื้น โปรตีน ไขมัน เถ้า และคาร์โบไฮเดรต) ดังแสดงในตารางที่ 4.6 ปริมาณเกลือแร่ (Minerals) ได้แก่ โซเดียม โพแทสเซียม แมกนีเซียม แคลเซียม ทองแดง สังกะสี และ เหล็ก ดังแสดงในตารางที่ 4.7 และ กรดอะมิโน (Amino acid profile) ดังแสดงในตารางที่ 4.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.6 องค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณ (ปริมาณความชื้น โปรตีน ไขมัน เถ้า และคาร์โบไฮเดรต) ของแป้งควินัวที่ไม่เพาะงอก และแป้งควินัวเพาะงอกด้วยเกลือโซเดียมคลอไรด์

องค์ประกอบทางเคมี	ปริมาณขององค์ประกอบทางเคมี (กรัม/100กรัม น้ำหนักแห้ง)	
	แป้งควินัวไม่เพาะงอก	แป้งควินัวเพาะงอก
ปริมาณความชื้น	7.85	9.20
โปรตีน	11.30	12.90
ไขมัน	5.63	5.50
เถ้า	1.98	2.40
คาร์โบไฮเดรตทั้งหมด	73.24	70

จากการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของแป้งควินัวที่ไม่เพาะงอก และแป้งควินัวที่เพาะงอกด้วยเกลือโซเดียมคลอไรด์ดังแสดงในตารางที่ 4.6 พบว่า ปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้นเล็กน้อย อาจเนื่องจากกระบวนการเพาะงอกซึ่งมีการดูดน้ำเพื่อใช้ในการเจริญของเมล็ด และเมื่อนำไปทำแห้ง โดยใช้ระยะเวลาเท่ากับเมล็ดที่ไม่ได้เพาะงอก จึงทำให้ความชื้นสูงกว่าเมล็ดไม่ได้เพาะงอกเล็กน้อย ทั้งนี้ ความชื้นของแป้งควินัวที่เพาะงอกยังไม่เกินร้อยละ 14 ซึ่งเป็นที่คุณภาพที่ยอมรับในแป้งอเนกประสงค์ทั่วไป (สำนักพัฒนาระบบและรับรองมาตรฐานสินค้าพืช กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2556) เถ้าและปริมาณโปรตีนเพิ่มขึ้นขึ้นเล็กน้อย ซึ่งปริมาณโปรตีนที่เพิ่มขึ้น สัมพันธ์กับปริมาณกรดอะมิโนในแป้งควินัวงอกที่สูงขึ้นดังแสดงในตารางที่ 4.8 ส่วนไขมันและคาร์โบไฮเดรต มีค่าลดลง อาจเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงไปเป็นพลังงานของพืชซึ่งใช้ในการเจริญของเมล็ด (นงนุช, 2555)

ตารางที่ 4.7 ปริมาณเกลือแร่ (โซเดียม โพแทสเซียม แมกนีเซียม แคลเซียม ทองแดง สังกะสี และ เหล็ก) ของแป้งควินัวที่ไม่เพาะงอก และแป้งควินัวเพาะงอกด้วยเกลือโซเดียมคลอไรด์

ชนิดเกลือแร่	แป้งควินัวไม่เพาะงอก	แป้งควินัวเพาะงอก
โซเดียม (มิลลิกรัม/กิโลกรัม)	0.23	83.50
โพแทสเซียม (กรัม/100กรัม)	0.27	0.61
แมกนีเซียม (มิลลิกรัม/100กรัม)	0.15	0.16
แคลเซียม (มิลลิกรัม/กิโลกรัม)	538.27	360.67
ทองแดง (มิลลิกรัม/กิโลกรัม)	4.38	4.76
สังกะสี (มิลลิกรัม/กิโลกรัม)	25.79	25.17
เหล็ก (มิลลิกรัม/กิโลกรัม)	41.32	43.92

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริมาณเกลือแร่จากตารางที่ 4.7 แสดงให้เห็นว่า ธาตุสังกะสี และแคลเซียมมีแนวโน้มลดลง ส่วนปริมาณเกลือแร่มีแนวโน้มสูงขึ้นได้แก่ โพแทสเซียม แมกนีเซียม ทองแดง เหล็ก โดยเฉพาะธาตุโซเดียมในแป้งควินัวเพาะงอกที่ 83.50 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ซึ่งสูงขึ้นอย่างมาก ซึ่งส่งผลให้ธาตุแคลเซียมลดลง ยงยุทธ (2558) กล่าวว่า กิริยาระหว่างโซเดียมกับแคลเซียม เมื่อรากพืชดูดโซเดียมได้มากขึ้น ทำให้อัตราส่วน โซเดียม/แคลเซียมสูงขึ้น ทำให้พืชมีปัญหาการขาดแคลเซียม ซึ่งเกิดจากการเปลี่ยนแปลงสมดุลของแคลเซียม (Calcium homeostasis) ซึ่งเป็นการตอบสนองหลักของพืชต่อความเครียดจากสภาวะความเค็มจากเกลือ (Amirjani, 2010)

ตารางที่ 4.8 กรดอะมิโน (Amino acid profile) ของแป้งควินัวที่ไม่เพาะงอก และแป้งควินัวเพาะงอกด้วยเกลือโซเดียมคลอไรด์

ชนิดกรดอะมิโน	ปริมาณกรดอะมิโน (มิลลิกรัม/100กรัม)	
	แป้งควินัวไม่เพาะงอก	แป้งควินัวเพาะงอก
อะลานีน	224.20	265.81
อาร์จินีน	921.36	1291.33
กรดแอสปาร์ติก	248.36	389.36
กรดกลูตามิก	393.87	543.66
ไกลซีน	430.64	488.65
ฮิสทิดีน	120.73	179.64
ไอโซลิวซีน	150.42	204.29
ลิวซีน	283.19	378.42
ไลซีน	385.36	504.79
เมทไทโอนีน	1209.60	1322.32
ฟีนิลอะลานีน	129.81	172.02
โพรลีน	243.84	325.29
เซอรีน	260.84	317.26
ทริโอนีน	70.35	130.70
ทริปโทฟาน	104.07	130.76
ไทโรซีน	167.21	92.79
วาลีน	224.29	264.46
รวม	5568.14	7001.55

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 4.8 พบว่า ผลรวมของกรดอะมิโนทั้งหมดสูงขึ้น โดยพบผลรวมของกรดอะมิโนในแป้งควินัวที่ไม่เพาะงอก 5568.14 มิลลิกรัม/100กรัม หลังจากผ่านการเพาะงอกด้วยเกลือโซเดียมคลอไรด์ในสภาวะที่เหมาะสมพบ 7001.55 มิลลิกรัม/100 กรัม ยกเว้นกรดอะมิโนไทโรซีนซึ่งมีค่าลดลง ซึ่ง Mouhamad และคณะ (2016) รายงานว่า พืชที่เติบโตภายใต้ความเครียดเกลือจะมีกลไกสำหรับการอยู่รอดของพืชที่แตกต่างกัน เช่น ความผิดปกติทางสรีรวิทยา แรงดันดันออสโมติก การดูดน้ำ ซึ่งพบว่าในข้าวสองสายพันธุ์ที่เจริญในสภาวะความเค็มจากเกลือ มีปริมาณกรดอะมิโนสูงขึ้น ซึ่งแตกต่างกันในสองสายพันธุ์ ซึ่งกรดอะมิโนไทโรซีนที่มีค่าลดลง อาจเกิดได้จากกรดอะมิโนชนิดนี้ใช้ในการสังเคราะห์กรดอะมิโนชนิดอื่น หรือถูกใช้เป็นแหล่งพลังงาน โดยอาจเกิดจากปฏิกิริยาออโต้ฟอสโฟรีเรชัน (autophosphorelation) ซึ่งจะเกิดการสูญเสียหมู่ไฮดรอกซิล (OH^-) 1 โมโลกุลจากโครงสร้างของไทโรซีน โดยไทโรซีน 2 โมเลกุล จะถูกแทนที่ด้วย ฟีนิลอะลานีน 1 โมเลกุล (Smith และคณะ, 2009) นอกจากนี้ Rodriguez และคณะ (2008) พบว่า ในการเพาะงอกถั่วลันเตา และถั่วเลนทิลในที่มืดและที่มีแสงเป็นเวลา 6 วัน ทำให้กรดอะมิโนไทโรซีนมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยในแป้งควินัวที่ไม่เพาะงอกในงานวิจัย พบกรดอะมิโนโพรลีน 243.84 มิลลิกรัม/100 กรัม และในแป้งควินัวที่เพาะงอกด้วยเกลือโซเดียมคลอไรด์พบ 325.29 มิลลิกรัม/100กรัม มีค่าสูงขึ้น ซึ่งวิชิตพล และคณะ (2553) กล่าวว่า การปรับตัวของพืชบางชนิดภายใต้สภาวะความเค็ม จะมีกลไกเพื่อลดความเครียด โดยการสะสมกรดอะมิโนและอนุพันธ์กรดอะมิโนบางชนิด เช่น โพรลีน กลูตาเมต และไกลซีนบีเทน เป็นต้น Amirjani (2010) รายงานว่า เมื่อมีการใช้เกลือโซเดียมคลอไรด์ในถั่วเหลือง พบว่าที่ความเข้มข้นเกลือโซเดียมคลอไรด์ 50, 100 และ 200 มิลลิโมลาร์ ส่งผลให้มีการสะสมโพรลีนสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดย Ruiz และคณะ (2017) กล่าวว่า กรดอะมิโนโพรลีน ช่วยรักษาสมดุลของความเครียดจากออกซิเดชันในสภาวะเกลือโซเดียมคลอไรด์ ทำให้พืชมีความทนทานต่อสภาวะความเครียดจากเกลือได้ดี

4.5. ศึกษาการใช้ประโยชน์จากแป้งควินัวงอกในเค้กปราศจากกลูเตน

4.5.1. ผลการวิเคราะห์คุณภาพของเค้ก

ผลของการศึกษาการนำแป้งควินัวงอกมาใช้ในผลิตภัณฑ์เค้กปราศจากกลูเตน โดยทดแทนด้วยแป้งควินัวงอกในแป้งข้าวเจ้าในปริมาณร้อยละ 0, 30 และ 50 นำมาทำเค้ก 3 ชนิด คือ เค้กสปันจ์ เค้กเนย และเค้กชิฟฟ่อน เค้กที่ได้นำไปวิเคราะห์ค่าปริมาณความชื้น ความสว่างของเค้ก ดังแสดงในตารางที่ 4.9 วัดค่าเนื้อสัมผัสของเค้กโดยรายงานเป็นค่าความแข็ง ความยืดหยุ่น และค่าการเกาะติดกันของเนื้อเค้ก ผล และวัดปริมาตรจำเพาะของเค้ก ดังแสดงในตารางที่ 4.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.9 ปริมาณความชื้น (ร้อยละ) ค่าความสว่าง (L*) ค่าสีแดงเขียว (a*) ค่าสีเหลืองน้ำเงิน (b*) ของเนื้อเค้กสปันจ์ เค้กเนย และเค้กชิฟฟ่อนที่ทดแทนด้วยแป้งควินัวงอกในแป้งข้าวเจ้าร้อยละ 0, 30 และ 50

ชนิดเค้ก	แป้งควินัวที่ทดแทนในแป้งข้าวเจ้า (ร้อยละ)	ความชื้น (ร้อยละ)	ความสว่าง (L*)	ค่าสีแดงเขียว (a*)	ค่าสีเหลืองน้ำเงิน (b*)
เค้กสปันจ์	0	$28.39^{a}\pm0.22$	$75.80^{a}\pm0.56$	$3.66^{b}\pm0.12$	$26.55^{a}\pm0.63$
	30	$27.90^{a}\pm0.31$	$56.16^{b}\pm0.92$	$6.67^{a}\pm0.08$	$16.95^{b}\pm0.74$
	50	$25.16^{b}\pm1.03$	$49.42^{c}\pm0.86$	$7.64^{a}\pm0.11$	$12.88^{c}\pm0.56$
เค้กเนย	0	$22.98^{a}\pm2.30$	$77.03^{a}\pm1.17$	$1.73^{c}\pm0.16$	$24.39^{a}\pm1.04$
	30	$18.93^{b}\pm0.62$	$50.65^{b}\pm1.41$	$7.19^{b}\pm0.21$	$11.69^{b}\pm0.26$
	50	$17.33^{c}\pm0.37$	$46.20^{c}\pm1.35$	$7.99^{a}\pm0.33$	$10.25^{c}\pm0.24$
เค้กชิฟฟ่อน	0	$37.26^{a}\pm2.00$	$81.21^{a}\pm1.02$	$3.08^{c}\pm0.89$	$22.31^{a}\pm1.98$
	30	$36.17^{a}\pm0.36$	$64.57^{b}\pm1.76$	$6.43^{b}\pm0.23$	$11.72^{b}\pm0.51$
	50	$36.00^{a}\pm1.16$	$57.29^{c}\pm1.74$	$7.41^{a}\pm0.14$	$10.75^{b}\pm0.36$

[a] Mean ± SD ตัวอักษรที่แตกต่างกันในเค้กแต่ละชนิดแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

จากตารางที่ 4.9 ผลจากการศึกษาความชื้นพบว่า เค้กสปันจ์และเค้กเนยมีปริมาณความชื้นลดลงเมื่อมีการทดแทนแป้งควินัวงอกในแป้งข้าวเจ้าเพิ่มขึ้น โดยเค้กสปันจ์ที่ไม่ใส่แป้งควินัวงอกมีค่าความชื้นสูงสุดร้อยละ 28.39 และลดลงเมื่อใส่แป้งควินัวงอกร้อยละ 30 และ 50 ที่ร้อยละ 27.90 และ 25.16 ตามลำดับ ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยเค้กเนยที่ไม่ใส่แป้งควินัวงอกมีปริมาณความชื้นสูงสุดร้อยละ 22.98 และลดลงเมื่อใส่แป้งควินัวงอกร้อยละ 30 และ 50 ที่ร้อยละ 18.93 และ 17.33 ตามลำดับ ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ซึ่งสอดคล้องกับ Turkut และคณะ (2016) รายงานว่า เมื่อทดแทนแป้งควินัวในอัตราสูงขึ้นมีผลทำให้ค่าความชื้นของขนมปังลดลง ส่วนเค้กชิฟฟ่อนทั้งที่ไม่ใส่แป้งควินัวงอก และมีแป้งควินัวงอกร้อยละ 30 และ 50 มีปริมาณความชื้นร้อยละ 37.26 36.17 และ 36.00 ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) เนื่องมากจากเค้กชิฟฟ่อนมีการขึ้นฟูด้วยไข่ขาวเป็นหลัก จึงมีโครงสร้างไข่ขาวที่ช่วยให้ความชื้นสูญเสียออกไปได้ช้ากว่า เมื่อเทียบกับเค้กสปันจ์และเค้กชิฟฟ่อน

สำหรับค่าความสว่าง L ค่าสีแดง a* และค่าสีเหลือง b* ในตารางที่ 4.9 พบว่าการทดแทนแป้งควินัวงอกในแป้งข้าวเจ้าที่เพิ่มขึ้นมีผลทำให้ค่าความสว่างและค่าสีเหลืองในเค้กทั้ง 3 ชนิดลดลง และค่าสี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แดงสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ซึ่งเป็นผลมาจากวัตถุดิบควินัวสีดำที่นำมาทำแป้งควินัวงอก สีดำที่ไม่ได้ถูกขัดสีของเมล็ดควินัว ทำให้ค่าความสว่างของเค้กลดลง

ตารางที่ 4.10 ค่าความแข็ง ความยืดหยุ่น และค่าการเกาะติดกันของเนื้อเค้ก ของเค้กสปันจ์ เค้กเนย และเค้กชิฟฟ่อนที่ทดแทนด้วยแป้งควินัวงอกในแป้งข้าวเจ้าร้อยละ 0, 30 และ 50

ชนิดเค้ก	แป้งควินัวที่ทดแทนในแป้งข้าวเจ้า (ร้อยละ)	ปริมาตรจำเพาะ (ซม^3/กรัม)	ความแข็ง (g.force)	ความยืดหยุ่น	ค่าการเกาะติดกันของเนื้อเค้ก
เค้กสปันจ์	0	4.13^{a}±0.02	690.31^{c}±34.18	0.916^{a}±0.01	0.734^{a}±0.02
	30	3.60^{b}±0.01	723.19^{b}±40.01	0.903^{b}±0.01	0.736^{a}±0.00
	50	3.44^{b}±0.02	762.64^{a}±106.61	0.881^{c}±0.02	0.690^{b}±0.01
เค้กเนย	0	3.36^{a}±0.01	1175.26^{c}±71.07	0.787^{b}±0.33	0.506^{a}±0.03
	30	3.20^{ab}±0.01	1802.15^{b}±189.42	0.774^{ab}±0.02	0.512^{a}±0.04
	50	3.15^{b}±0.02	2537.21^{a}±100.54	0.808^{a}±0.02	0.526^{a}±0.03
เค้กชิฟฟ่อน	0	4.90^{a}±0.01	679.13^{a}±54.58	0.876^{a}±0.01	0.738^{a}±0.01
	30	3.75^{b}±0.01	667.28^{a}±126.13	0.872^{a}±0.01	0.744^{a}±0.01
	50	3.30^{b}±0.02	689.64^{a}±101.01	0.863^{a}±0.02	0.745^{a}±0.02

[a] Mean ± SD ตัวอักษรที่แตกต่างกันในเค้กแต่ละชนิดแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

สำหรับผลการวิเคราะห์เนื้อสัมผัสของเค้กจากตารางที่ 4.10 พบว่า ค่าความแข็ง (hardness) ของเค้กสปันจ์ เค้กเนย มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณร้อยละของการทดแทนแป้งควินัวงอกในแป้งข้าวเจ้าที่เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ส่วนเค้กชิฟฟ่อน พบว่า ค่าความแข็งไม่มีความแตกต่างเมื่อปริมาณการทดแทนด้วยแป้งควินัวงอกเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ค่าความยืดหยุ่น (spinginess) ของเค้กสปันจ์ มีค่าลดลงตามปริมาณร้อยละการทดแทนด้วยแป้งควินัวงอกที่เพิ่มขึ้น ส่วนในเค้กเนย และเค้กชิฟฟ่อน ค่าความยืดหยุ่นสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ในส่วนของค่าการเกาะติดกันของเนื้อเค้ก (Cohesiveness) ในเค้กเนยและเค้กชิฟฟ่อน มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งแสดงถึงการยึดเกาะกันของเนื้อเค้กที่ดีขึ้น ในขณะที่เค้กสปันจ์มีค่าลดลงตามปริมาณการทดแทนด้วยแป้งควินัวงอกที่เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

จากการวัดปริมาตรจำเพาะของเค้กปราศจากกลูเตน 3 ชนิด ได้แก่ เค้กสปันจ์ เค้กเนย และเค้กชิฟฟ่อน ที่ทดแทนด้วยแป้งควินัวงอกในแป้งข้าวเจ้าร้อยละ 0, 30 และ 50 พบว่า ในเค้กทั้ง 3 ชนิดที่ มีการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทดแทนด้วยแป้งควินัวงอกเพิ่มขึ้น มีผลทำให้ปริมาตรจำเพาะของเค้กลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) สอดคล้องกับ Turkut และคณะ (2016) พบว่า เมื่อทดแทนแป้งควินัวในขนมปังในอัตราส่วนเพิ่มขึ้น ทำให้ปริมาตรจำเพาะของผลิตภัณฑ์มีแนวโน้มลดลง แต่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

4.5.2. การทดสอบทางประสาทสัมผัส

ผลของการทดแทนด้วยแป้งควินัวงอกในแป้งข้าวเจ้าในปริมาณต่างๆ นำมาทำเค้ก 3 ชนิด คือ เค้กสปันจ์ เค้กเนย และเค้กชิฟฟ่อน มีส่วนผสมของแป้งควินัวงอกร้อยละ 0, 30 และ 50 นำไปทดสอบทางประสาทสัมผัสของเค้ก โดยการทดสอบชิมจากผู้ทดสอบจำนวน 30 คนโดยทดสอบด้าน กลิ่น สี เนื้อสัมผัส รสชาติ และความชอบโดยรวม ผลแสดงดังตารางที่ 4.11

ตารางที่ 4.11 ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของเค้กสปันจ์ เค้กเนย และเค้กชิฟฟ่อน ที่ทดแทนด้วยแป้งควินัวงอกในแป้งข้าวเจ้าร้อยละ 0, 30 และ 50 กับผู้ทดสอบจำนวน 30 คน (9-point Hedonic scale)

แป้งควินัวงอกที่ทดแทนในแป้งข้าวเจ้า (ร้อยละ)	กลิ่น	สี	เนื้อสัมผัส	รสชาติ	ความชอบโดยรวม
เค้กสปันจ์					
0	8.07^{a}±0.78	8.10^{a}±0.66	7.67^{a}±1.06	7.83^{a}±0.74	7.97^{a}±0.85
30	6.13^{b}±1.48	5.87^{b}±1.10	6.73^{b}±1.20	6.03^{b}±1.30	6.13^{b}±1.25
50	4.00^{c}±1.44	4.37^{c}±1.24	5.10^{c}±1.45	4.33^{c}±1.15	4.20^{c}±1.19
เค้กเนย					
0	7.43^{a}±0.82	7.17^{a}±0.79	4.80^{a}±0.92	6.53^{a}±0.82	6.63^{a}±0.67
30	5.60^{b}±1.67	5.40^{b}±1.00	4.57^{a}±0.86	5.13^{b}±1.07	5.27^{b}±1.05
50	3.73^{c}±1.14	3.67^{c}±1.15	4.00^{b}±0.79	3.70^{c}±0.99	3.77^{c}±0.94
เค้กชิฟฟ่อน					
0	8.07^{a}±1.39	7.73^{a}±1.17	8.07^{a}±1.05	8.03^{a}±0.96	8.20^{a}±1.00
30	6.43^{b}±1.25	6.30^{b}±0.99	7.20^{b}±0.96	6.67^{b}±0.99	7.00^{b}±0.74
50	3.87^{c}±1.98	4.37^{c}±1.22	5.10^{c}±1.75	4.53^{c}±1.20	4.63^{c}±1.38

[a] Mean ± SD ตัวอักษรที่แตกต่างกันในเค้กแต่ละชนิดแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 4.11 พบว่า ในเค้กสปันจ์ เค้กเนย และเค้กชิฟฟ่อนเมื่อมีการทดแทนแป้งควินัวงอกในแป้งข้าวเจ้าเพิ่มขึ้น มีผลให้ค่าคะแนนความชอบของกลิ่น สี เนื้อสัมผัส รสชาติ และความชอบโดยรวมของเค้กมีคะแนนความชอบลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) กลิ่น สีดำ และรสชาติขม ของควินัวสีดำที่เป็นวัตถุดิบ มีผลต่อคะแนนความชอบของเค้กทั้ง 3 ชนิด เค้กสปันจ์ และเค้กชิฟฟ่อน ผู้ทดสอบยอมรับการทดแทนแป้งควินัวงอกในแป้งข้าวเจ้าได้เพียงร้อยละ 30 ส่วนในเค้กเนยพบว่ายังต้องมีการพัฒนาสูตรต่อไปเนื่องจากเนื้อสัมผัสร่วนมาก

4.5.3. วิเคราะห์สมบัติการต้านอนุมูลอิสระของเค้ก

ผลของการศึกษาปฏิกิริยาสารต้านอนุมูลอิสระในเค้กปราศจากกลูเตน 3 ชนิด คือ เค้กสปันจ์ เค้กเนย และเค้กชิฟฟ่อนที่มีส่วนผสมของแป้งควินัวงอกร้อยละ 0, 30 และ 50 โดยทำการวิเคราะห์ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี FRAP, DPPH และ ABTS ผลแสดงดังตารางที่ 4.12

ตารางที่ 4.12 สมบัติการต้านอนุมูลอิสระของเค้กสปันจ์ เค้กเนย และเค้กชิฟฟ่อนที่ทดแทนด้วยแป้งควินัวงอกในแป้งข้าวเจ้า ร้อยละ 0, 30 และ 50 โดยวิธี FRAP, DPPH และ ABTS

แป้งควินัวงอกที่ทดแทนในแป้งข้าวเจ้า (ร้อยละ)	FRAP (ไมโครโมลโทร๊อกซ์/กรัม)	DPPH (ไมโครโมลโทร๊อกซ์/กรัม)	ABTS (ไมโครโมลโทร๊อกซ์/กรัม)
เค้กสปันจ์			
0	22.85[a]±1.76	11.60[a]±0.20	12.60[a]±0.23
30	28.49[b]±0.26 (24.68*)	15.20[b]±0.68 (31.03*)	17.65[b]±0.30 (40.08*)
50	35.14[c]±0.40 (53.78*)	19.24[c]±0.35 (65.86*)	21.22[c]±0.32 (68.41*)
เค้กเนย			
0	11.37[a]±1.64	8.76[a]±0.35	9.07[a]±0.37
30	16.59[b]±0.30 (45.91*)	11.83[b]±0.14 (35.04*)	13.77[b]±0.60 (51.82*)
50	20.36[c]±0.26 (79.17*)	14.87[c]±0.85 (69.75*)	16.02[c]±0.55 (76.63*)
เค้กชิฟฟ่อน			
0	23.49[a]±0.83	12.62[a]±0.33	14.17[a]±0.53
30	28.00[b]±0.42 (19.20*)	16.24[b]±0.97 (28.68*)	17.70[b]±0.67 (24.91*)
50	38.18[c]±0.90 (62.54*)	18.45[c]±0.40 (46.20*)	22.08[c]±0.63 (55.82*)

[a] Mean ± SD ตัวอักษรที่แตกต่างกันในเค้กแต่ละชนิดแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

* ร้อยละการเพิ่มขึ้นของปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระในเค้กแต่ละชนิด

จากตารางที่ 4.12 พบว่าเค้กทั้ง 3 ชนิดที่มีการทดแทนแป้งควินัวงอกในแป้งข้าวเจ้าเพิ่มสูงขึ้น มีผลทำให้มีสมบัติการต้านอนุมูลอิสระในทั้ง 3 วิธีการ (FRAP DPPH และ ABTS) มีค่าสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ซึ่งจากตารางจะเห็นได้ว่าเค้กชิฟฟ่อนมีปริมาณของสารต้านอนุมูลอิสระสูงที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รองลงมาเป็น เค้กสปันจ์ ส่วนเค้กเนย ให้ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระน้อยที่สุดในทั้ง 3 วิธีการ (FRAP DPPH และ ABTS) เนื่องจาก การอบเค้กเนย ต้องใช้ความร้อนในการอบและใช้เวลาอบนานกว่าเค้กชิฟฟ่อนและเค้กสปันจ์ ซึ่งความร้อนมีอิทธิพลต่อการสลายตัวของสารต้านอนุมูลอิสระ ซึ่งผลดังกล่าวสอดคล้องกับ Alvarez-Jubete และคณะ (2010) พบว่า เมื่อนำแป้งควินัวที่เพาะงอกซึ่งมีปฏิกิริยาการต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าเมล็ดที่ไม่ได้เพาะงอก นำมาทำขนมปัง พบว่า การทำขนมปังโดยกระบวนการอบ ทำให้ปฏิกิริยาการต้านอนุมูลอิสระลดลงอย่างมาก

ทั้งนี้ความแปรปรวนของข้อมูลจากการวิเคราะห์ปฏิกิริยาการต้านอนุมูลอิสระของธัญพืชขึ้นอยู่กับปัจจัยมากมาย เช่น พันธุศาสตร์ กระบวนการทางการเกษตร หรือสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน (Nsimba และคณะ, 2008)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

จากผลการทดสอบร้อยละการงอกของเมล็ดควินัว 3 สายพันธุ์ คือ สีขาว สีแดง และสีดำ พบว่าปัจจัยสายพันธุ์มีอิทธิพลต่อร้อยละการงอกของเมล็ดควินัว โดยควินัวพันธุ์สีดำให้ร้อยละการงอกสูงที่สุด

ระยะเวลาการเพาะงอก ความเข้มข้นของเกลือโซเดียมคลอไรด์ และระยะเวลาแช่ก่อนการเพาะงอกที่ระดับต่างกันมีความสัมพันธ์กับร้อยละการงอก ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด และสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ โดยพบว่าสภาวะที่เหมาะสมคือ การเพาะงอกที่เวลา 47.98 ชั่วโมง ความเข้มข้นเกลือโซเดียมคลอไรด์ 221.65 มิลลิโมลาร์ และแช่ก่อนการเพาะงอกเป็นเวลา 9.48 ชั่วโมง โดยที่ค่าความพอใจ (desirability) เท่ากับ 0.92 โมเดลนี้ได้ทำนายร้อยละการงอกเท่ากับร้อยละ 74.60 ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด 4.70 มิลลิกรัม/กรัม สมบัติการต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี FRAP, DPPH และ ABTS เท่ากับ 285.44, 277.92 และ 214.57 ไมโครโมลโทร็อกซ์/กรัม เมื่อทำการทดสอบสมการตามสภาวะดังกล่าว ได้ค่าร้อยละการงอกเท่ากับร้อยละ 70 ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด 4.23 มิลลิกรัม/กรัม และสมบัติการต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี FRAP, DPPH และ ABTS เท่ากับ 261.73, 235.67 และ 199.80 ไมโครโมลโทร็อกซ์/กรัม

เมื่อนำแป้งควินัวที่เพาะงอกในเกลือโซเดียมคลอไรด์ในสภาวะดังสมการทำนายข้างต้น มาวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ปริมาณเกลือแร่ และกรดอะมิโน เปรียบเทียบกับแป้งควินัวที่ไม่ได้เพาะงอก พบว่าในแป้งควินัวที่เพาะงอกในเกลือโซเดียมคลอไรด์มีองค์ประกอบทางเคมี (ปริมาณความชื้น โปรตีน เถ้า) เพิ่มขึ้นเล็กน้อย ปริมาณเกลือแร่ทั้งหมดเพิ่มขึ้นยกเว้น แคลเซียม และมีกรดอะมิโนทั้งหมดสูงขึ้น ยกเว้น ไทโรซีน

การใช้แป้งควินัวงอกทดแทนในแป้งข้าวเจ้า ร้อยละ 0, 30 และ 50 ในเค้กปราศจากกลูเตน 3 ชนิด คือ เค้กสปันจ์ เค้กเนย และเค้กชิฟฟ่อน นำไปวิเคราะห์คุณภาพของเค้ก พบว่า เมื่อทดแทนแป้งควินัวงอกในปริมาณเพิ่มขึ้นมีผลทำให้ความชื้นลดลง ความสว่างลดลง ค่าสีแดงเพิ่มขึ้น และค่าสีเหลืองลดลง ซึ่งเมื่อนำไปวัดปริมาตรจำเพาะของเค้ก พบว่า เมื่อทดแทนแป้งควินัวงอกเพิ่มขึ้นทำให้ปริมาตรจำเพาะลดลง จากนั้นนำไปทดสอบเนื้อสัมผัส พบว่าเค้กเนยมีความแข็งเพิ่มขึ้นเมื่อทดแทนแป้งควินัวงอกสูงขึ้น และมีค่าการเกาะติดกันได้ไม่ดี ซึ่งเมื่อนำไปทดสอบทางประสาทสัมผัส พบว่า ผู้ทดสอบชิมสามารถยอมรับได้ในเค้กสปันจ์และเค้กชิฟฟ่อน ที่ทดแทนด้วยแป้งควินัวงอกร้อยละ 30 ส่วนเค้กเนย มีคะแนนด้านเนื้อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัมผัสน้อยจากเนื้อสัมผัสที่ร่วน และเมื่อนำไปวิเคราะห์สมบัติการต้านอนุมูลอิสระในเค้กที่มีการทดแทนด้วยแป้งควินัวงอกในแป้งข้าวเจ้า มีผลให้สมบัติการต้านอนุมูลอิสระในเค้กสูงขึ้นร้อยละ 19.20 – 79.17

ข้อเสนอแนะ

ในการทดลองนี้พบเนื้อสัมผัสของเค้กปราศจากกลูเตนยังมีเนื้อสัมผัสที่ร่วนอยู่บ้าง ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมในการพัฒนาคุณภาพด้านเนื้อสัมผัสของเค้กต่อไป โดยอาจใช้สารไฮโดรคอลลอยด์เพื่อเสริมคุณภาพของเค้ก และในการวิเคราะห์สมบัติการต้านอนุมูลอิสระของเค้ก ควรหาวิธีการสกัดที่เหมาะสม โดยอาจมีการสกัดไขมันในเค้กออกก่อนนำไปสกัดเพื่อวิเคราะห์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

จวงจันทร์ ดวงพัตรา. 2529. **การทดสอบและวิเคราะห์คุณภาพเมล็ดพันธุ์.** กลุ่มหนังสือเกษตร, กรุงเทพมหานคร. หน้า 22-58.

ดวงจันทร์ เฮงสวัสดิ์. 2556. **คิโนอา สุยอดของธัญพืชในอนาคต.** วารสารอาหาร, 43(4), 17-19.

ดวงฤทัย ธำรงโชติ, วิภาวัน จุลยา และรุ่งทิวา วงศ์ไพศาลฤทธิ์. 2555. **ขนมปังและขนมอบปลอดกลูเตน.** เพชรประกาย, กรุงเทพมหานคร. 120 หน้า.

นงนุช วงศ์สินชวน. 2555. **การเพาะข้าวกล้องงอก.** วารสารรูสมิแล, 33(2), 57-62.

บุญมี ศีริ. 2546. **วิทยาการเมล็ดพันธุ์.** ภาควิชาพืชไร่ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น. หน้า 12-56.

ปรียนันท์ บัวสด. 2549. **การตรวจสอบความสามารถในการเป็นสารแอนตี้ออกซิแดนท์ของเครื่องดื่มชาโดยวิธีไซคลิกโวลแทมเมตรี.** สาขาเคมีวิเคราะห์, มหาวิทยาลัยศิลปากร. 228.

ปานมนัส ศิริสมบูรณ์. 2554. **เทคโนโลยีเนื้อสัมผัสของผลผลิตเกษตรและอาหาร.** คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 311 หน้า.

พีรศักดิ์ วรสุนทโรสถ, สุนทร ดุริยะประพันธ์, ทักษิณ อาชวาคม, สายันต์ ตันพานิช, ชลธิชา นิวาส ประกฤติ และ ปรียานันท์ ศรสูงเนิน. 2544. **ทรัพยากรพืชในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ 10 ธัญพืช.** สถาบันวิจัยวิทยศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วท.). 62 หน้า.

ภณิดา นาคเกลี้ยง และเสาวลักษณ์ หีบใบ. 2550. **ข้าวกล้องงอกและแนวทางการใช้ประโยชน์ (Properties and application of Germinated Brown Rice).** รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์สนับสนุนโครงการโดยสำนักงานกองทุนสนับสนุนการทำวิจัย (สกว.) สำนักงานภาค.

มัณฑนา นครเรียบ. 2555. **ประโยชน์ที่ดีต่อสุขภาพของข้าวกล้องงอกและข้าวฮางงอก.** วารสารวิทยาศาสตร์ แห่งมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี. 9(1), 70-79.

ยงยุทธ โอสถสภา. 2558. **ธาตุอาหารพืช.** มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพมหานคร. 548 หน้า.

ยุพกนิษฐ์ พ่วงวีระกุล และ วาสนา กล้าหาญ. 2553. **การเปลี่ยนแปลงปริมาณวิตามินบี 1 และ แกมมาอะมิโนบิวทิริกแอซิดในการผลิตข้าวงอกนึ่งขาวดอกมะลิ 105 ระดับโรงงานต้นแบบ.** การประชุมวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 48, 155-161.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วรรณวิไล ฤทธิเดช. 2550. **ผลของการงอกที่มีต่อสมบัติทางเคมีกายภาพ คุณภาพการหุงต้ม และคุณภาพการรับประทาน ของข้าวกล้องหอมมะลิ และข้าวกล้องมันปู.** วิทยานิพนธ์ระดับปริญญาโท สาขาอุตสาหกรรมเกษตร, มหาวิทยาลัยนเรศวร.

วิชิตพล มีแก้ว, ณัฐพล ขันธปราบ และ สุรศักดิ์ ละลอกน้ำ. 2553. **การปรับตัวของพืชภายใต้ภาวะที่มีความเค็ม.** วารสารก้าวทันโลกวิทยาศาสตร์ ปีที่ 10(2), 28-36.

ศรัณยพร มากทรัพย์. 2559. **ผลของความเค็มต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิก แอนโทไซยานิน และฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของข้าวกล้องงอก.** วารสารวิชาการสาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยศิลปากร ปีที่ 3(6) เดือนพฤศจิกายน-ธันวาคม, 182-193.

ศุรัฐนันท์ คงวรรณ, กมลวรรณ แจ้งชัด และ พัชรี ตั้งตระกูล. 2554. **ผลของสภาพการงอกต่อสมบัติความหนืดและปริมาณ GABA ของแป้งข้าวกล้องงอกที่ผลิตจากข้าวกล้อง.** การประชุมวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 49, 210-217

ศุรัฐนันท์ คงวรรณ, กมลวรรณ แจ้งชัด และ อนุวัตร แจ้งชัด. 2557. **ผลของไคโตซานและสารละลายกรดที่มีต่อคุณภาพทางเคมีเชิงฟิสิกส์ และปริมาณกรดแกมมาอะมิโนบิวทาริก (กาบา) ของแป้งข้าวกล้องงอกพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105.** การประชุมวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 52, 51-58.

สวามินี นวลแขกุล และ ณัฐิรา อ่อนน้อม. 2559. **ขนมอร่อยไม่ใช้แป้งสาลี.** อมรินทร์ Cuisine. กรุงเทพมหานคร. 107.

สัมฤทธิ์ เฟื่องจันทร์. 2544. **สรีรวิทยาการพัฒนาการพืช.** คลังนานาวิทยา. กรุงเทพมหานคร. 665 หน้า.

สุมาลี ชูกำแพง. 2555. **พืชในสภาวะเครียดเกลือ.** วารสารพฤกษศาสตร์ไทยครั้งที่ 4(1), 15-24.

สำนักพัฒนาระบะและรับรองมาตรฐานสินค้าพืช กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 2556. **หลักเกณฑ์และมาตรฐานประกอบการตจรวจรับรองสินค้าเกษตรด้านพืช.** สำนักพัฒนาระบะและรับรองมาตรฐานสินค้าพืช กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. กรุงเทพมหานคร. 278 หน้า.

อนุชิตา มุ่งงาม. 2555. **แอนติออกซิแดนท์ในธัญพืช.** มาหาสารคาม: มหาวิทยาลัยมหาสารคาม. 230 หน้า.

อรอนงค์ นัยวิกุล. 2538. **คุณสมบัติและการเปลี่ยนแปลงของวัตถุดิบในผลิตภัณฑ์เบเกอรี่และการคำนวณเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์ขนมอบ.** ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร, คณะอุตสาหกรรมเกษตร. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 70 หน้า.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัมพร แซ่เอียว. 2543. **คุณค่าทางโภชนาการและการใช้ประโยชน์ของแป้งจากเมล็ดพืชงอก.** วิทยานิพนธ์ระดับปริญญาโท สาขาวิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกษตร ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

อัมพร แซ่เอียว, เพ็ญขวัญ ชมปรีดา, จวงจันทร์ ดวงพัตรา และอนุวัตร แจ้งชัด. 2544. **คุณค่าทางโภชนาการของเมล็ดพืชงอกและแป้งจากเมล็ดพืชงอก.** การประชุมวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 39, 465-471.

Abderrahim, F., Huanatico, E., Repo-Carrasco-Valencia, R., Arribas, S.M., Gonzalez, M.C. and Condezo-Hoyos, L. 2012. Effect of germination on total phenolic compound, total antioxidant capacity, Maillard reaction products and oxidative stress markers in canihua (*Chenopodium pallidicaule*). **Journal of Cereal Science.** 56, 410-417.

Alexander, J.C., Garbriel, H.G., and Reichertz, J.L. 1984. Nutritional value of germinated barley. **Canadian Institute of Food Science and Technology Journal.** 17, 224-228.

Alvarez-Jubete, L., Wijngaard, H., Arendt, E.K., and Gallagher, E. 2010. Polyphenol composition and *in vitro* antioxidant activity of amaranth, quinoa, buckwheat and wheat as affected by sprouting and baking. **Food Chemistry**. 119, 770-778.

Amirjani, M.R. 2010. Effect of salinity stress on growth, mineral composition, proline content, antioxidant enzymes of soybean. **Amirican Journal of Plant Physiology.** 5(6), 350-360.

Anaya, F., Fghire, R., Wahbi, S. and Loutfi, K. 2015. Influence of salicylic acid on seed germination of *Vicia faba* L. under salt stress. **Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences.** http://dx.doi.org/10.1016/j.jssas.2015.10.002.

AOAC. 1989. In-house method analysis. 72 th ed. **Association of Official Analytical Chemists.** Arlington, VA.

AOAC. 2012. In-house method analysis. 72 th ed. **Association of Official Analytical Chemists.** Arlington, VA.

Basu, T.K., Temple, N.J. and Garg, M.L. 1999. **Antioxidants in Human Health.** In Croft, K.D. (Ed.), *Antioxidant effects of plant phenolic compounds* (pp. 109-121) New York: CABI Publishing.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Berghofer, E. and Schoenlechner, R., 2010. **Pseudocereals–an overview**. Vienna-Austria: Departament of Food Science and Technology, University of Natural Resources and Applied Life Sciences.

Bohn, L., Meyer, A., and Rasmussen, S. 2008. Phytate: Impact on environment and human nutrition. A challenge for molecular breeding. **Journal of Zhejiang University Science B**. 9, 165–191.

Bradford, K.J. 1986. Manipulation of seed water relations via osmotic priming to improve germination under stress conditions. **Horticultural Sciences**. 21, 1105-1112.

Brakez, M., Harrouni, M.C., Tachbibi, N. and Daoud, S. 2014. Comparative effect of NaCl and seawater on germination of quinoa seed (*Chenopodium quinoa* Willd). **Emirates Journal of Food and Agriculture**. 26(12), 1091-1096.

Chavan, J. K. , Kadam, S. S. and Beuchat, L.R. 1989. Nutritional improvement of cereals by fermentation. **Critical Reviews Food Science and Nutrition.** 28(5), 349-400.

Derringer, G. and Suich, R. 1980. Simultaneous optimization of several response variables. **Journal of Quality Technology**. 12, 214-219

Dini, I., Tenore, G.C., and Dini, A. 2010. Antioxidant compound contents and antioxidant activity before and after cooking in sweet and bitter *Chenopodium quinoa* seeds. **LWT-Food Science and Technology**. 43, 447-451.

Donkor, O.N., Stojanovlka, L., Ginn, P., Ashton, J., and Vasiljevic, T. 2012. Germinated grains-Sources of bioactive compounds. **Journal of Food Chemistry**. 135, 950-959.

Eisa, S., Hussin, S., Geissler, N. and Koyro, H.W. 2012. Effect of NaCl salinity on water relations, photosynthesis and chemical composition of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) as a potential cash crop halophyte. **Australian Journal of Crop Science**. 6(2), 357–368.

Escuredo, O., Gonzalez Martin, M.I., Moncada, G.W., Fischer, S., and Hernandez Hierro, J.M. 2014. Amino acid profile of the quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) using near infrared spectroscopy and chemometric techniques. **Journal of Cereal Science**. 60, 67-74.

Gariboldi, F. 1984. Rice Parboiling. *In:* FAO Agricultural Services Bulletin. FAO, Italy, 77.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Gomez-Caravaca, A.M., Iafelice, G., Verardo, V., Marconi, E., and Caboni, M.F. 2014. Influence of pearling process on phenolic and saponin content quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). **Food Chemistry**. 157, 174-178.

Hariadi, Y., Marandon, K., Tian, Y., Jacobsen, S.E. and Shabala, S. 2011. Ionic and osmotic relations in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) plants grown at various salinity levels. **Journal of Experimental Botany**. 62, 185–193.

Jacobsen, S.E. 2003. The worldwide potential for quinoa (*Chinopodium quinoa* Willd.). **Food Reviews International**. 19, 167-177.

Kaukovirta-Norja, A., Wilhelmson, A., and Poutanen, K. 2004. Germination: a means to improve the functionality of oat. **Agricultural and Food Science**. 13, 100-112.

Koehler, P., Hartmann, G., Wieser, H., and Rychlik, M. 2007. Changes of folates, dietary fiber, and proteins in wheat as affected by germination. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. 55(12), 4678–4683.

Komatsuzuki, N., Tsukahara, K., Toyoshima, H., Suzuki, T., Shimizu, N. and Kimura, T. 2007. Effect of soaking and gaseous treatment on GABA content in germinated brown rice. **Journal of Food Engineering**. 78, 556-560.

Liu, R.H. 2004. Potential synerfy of phytochemicals in cancer prevention: Mechanism of action. **Journal of Nutrition**. 134, 3479S-3485S.

Liu, H., Sha, H., Wang, J., Liu, Y., Zou, D., and Zhao, H. 2014. Effect of soaking with exogenous proline on seed germination of rice under salt stress. **Journal of Northeast Agricultural University**. 21(3), 1-6

Lloyd, B. J., Siebenmorgen, T. J. and Beers, K. W. 2000. Effects of commercial processing on antioxidants in Rice Bran. **Cereal Chemistry**. 77(5), 551-555.

Lui, L.L., Zhai, H.Q. and Wan, J.M. 2005. Accumulation of gamma-aminobutyric acid in giant embryo rice grain in relation to glutamate decarboxylase activity and its gene expression during water soaking. **Cereal Chemistry**. 82, 191-196

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Malleshi, N.G., and Desikachar, H.S.R. 1982. Formulation of a wearing food with low hot paste viscosity based on malted ragi (*Eleusine caracana*) and green gram (*Phaseolus radiates*). **Food Science and Technology**. 19(3), 193-195.

Miliauskas, G., Venskutonis, P.R., and Van Beek, T.A. 2004. Screening of radical scavenging activity of some medicinal plants and aromatic plant extract. **Food Chemistry**. 85, 231-237.

Mouhamad, R.S., Iqbal, M., Qamar, M.A., Mutlag, L.A., Razaq, I.B., Abbas, M. and Hussain, F. 2016. Effect of gravistimulation on amino acid profile of pea, rice, corn, wheat during early growth stages. **Information Processing in Agriculture**. 3, 244-251.

Nsimba, R.Y., Ktkuzaki, H. and Konishi, Y. 2008. Antioxidant activity of various extracts and fractions of *Chenopodium quinoa* and *Amaranthus spp.* Seeds. **Food Chemistry**. 106 (2), 760-766.

Pandey, K.B. and Rizvi, S.I. 2009. Plant polyphenols as dietary antioxidants in human health and disease. **Oxidative Medicine and Cellular Longevity**. 2(5), 270-278.

Pasko, P., Barton, H., Zagrodzki, P., Gorinstein, S., Folta, M., and Zachwieja, Z. 2009. Anthocyanins, total polyphenols and antioxidant activity in amaranth and quinoa seeds and sprouts during their growth. **Food Chemistry**. 115, 994-998.

Peiretti, P. G. , Gai, F. , and Tassone, S. 2013. Fatty acid profile and nutritive value of quinoa (*Chinopodium quinoa* Willd.) seeds and plants at different growth stages. **Journal of Animal Feed Science and Technology**. 183, 56-61.

Peterson, A. and Murphy, K. 2015. Tolerance of lowland quinoa cultivars to sodium chloride and sodium sulfate salinity. **Crop Science**. 55, 331-338.

Price, T.V. 1998. Seed sprout production for human consumption – A review. **Canadian Institute of Food Science and Technology Journal**. 21, 57-65.

Prodanov, M., Sierra, L. and Vidal-Valverde, C. 1997. Effect of germination on the thiamine, riboflavin and niacin contents in legumes. **Zeitschrift fur Lebensmittel-Untersuchung und – Forschung**. 205, 48-52.

Radmila, S., Djordje, G., Mirjana, D., Vucelic-Radovic, B., Zorica, J., Milojkovic-Opsenica, D., Jacobsen, S.E., and Mirjana, M. 2012. Agronomical and nutritional evaluation of quinoa seeds

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(*Chinopodium quinoa* Willd.) as an ingredient in bread formulations. **Journal of Cereal Science.** 55, 132-138.

Rodriguez, C., Frias, J., Vidal-Valverde, C. and Hernandez, A. 2008. Correlations between some nitro fractions, lysine, histidine, tyrosine, and ornithine contents during germination of peas, beans, and lentils. **Food Chemistry**. 108(1), 245-252.

Rothschild, J., Rosentrater, K.A., Onwulata, C., Signh, M., Menutti, L., Jambazian, P and Omary, M.B. 2015. Influence of quinoa roasting on sensory and physicochemical properties of allergen-free, gluten-free cakes. **Agricultural and Biosystems Engineering.** http://lib.dr.iastate.edu/howtocite.html.

Rozan, P., Kuo, Y.H., and Lambein, F. 1999. Free amino acids present in edible seed sprouts sold for human consumtion. **Amino Acids**. 17, 101-102.

Rozan, P., Kuo, Y.H. and Lambein, F. 2000. Free amino acids present in commercially available seedlings sold for human consumption. A Potential hazard for consumers. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. 48, 716-723.

Ruiz, K.B., Rapparini, F., Bertazza, G., Silva, H., Torrigiani, P. and Biondi, S. 2017. Comparing salt-induced responses at the transcript level in a *salares* and coastal-lowlands landrace of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd). **Environmental and Experimental Botany.** 139, 127-142.

Slavin, J.L. 2000. Mechanisms for the impact of whole grain foods on cancer risk. **Journal of the American College of Nutrition**. 19, 300S-307S.

Smith, J.E., Sheng, Z.M. and Kallen, R.G. 2009. Effects of tyrosine⟶phenylalanine mutations on auto and trans-phosphorylation reactions catalyzed by the insulin receptor ß-subunit cytoplasmic domain. **DNA and Cell Biology**. 13(6), 593-604.

Stikic, R., Glamoclija, D., Demin, M. Vucelic-Radovic, B., Jovanovic, Z., Milojkovic-Opsenica, D., Jacobsen, S.E., and Milovanovic, M. 2012. Agronomical and nutritional evaluation of quinoa seeds (*Chenopodium quinoa* Willd.) as an ingredient in bread formulations. **Journal of Cereal Science.** 55, 132-138.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thammapat, P., Meeso, N., and Siriamornpun, S. 2015. Effect of NaCl and soaking temperature on the phenolic compounds, α-tocopherol, γ-oryzanol and fatty acids of glutinous rice. **Food Chemistry**. 175, 218-224.

Turkut, G.M., Hulya, C., Seher, K. and Sebnem, T. 2016. Effect of quinoa flour on gluten-free bread batter rheology and bread quality. **Journal of Cereal Science**. 69, 174-181.

Umnajkitikorn, K., Faiyue, B. and Saengnil, K. 2013. Enhancing antioxidant properties of germinated Thai rice (*Oryza sativa* L.) cv. Kum Doi Saket with salinity. **Rice Research**. 1(103) doi: 1.103 10.4172/jrr.1000103.

Varanyanond, W., Tungtrakul, P., Surojanametakul, V., Wattanasiritham, L. and Luxiang, W. 2005. Effects of water soaking on gamma-aminobutyric acid (GABA) in germ if different Thai rice varieties. **Kasetsart Journal**. 39, 411-415.

Wu, H.C., Chen, H.M. and Shiau, C.Y. 2003. Free amino acids and peptides as related to antioxidant properties in protein hydrolysates of mackerel (*Scomber austriasicus*).

Wu, G., Morris, C.F. and Murphy, K. 2014. Evaluation of texture differences among varieties of cooked quinoa. **Journal of Food Science**. 79, 2337-2345.

Zhang, Q., Xiang, J., Zhang, L., Zhu, X., Evers, J., Werf, W., and Duan, L. 2014. Optimizing soaking and germination conditions to improve gamma-aminobutyric acid content in japonica and indica germinated brown rice. **Journal of Functional Foods**. 10, 283-291.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก
การวิเคราะห์ทางเคมีกายภาพ

ก 1 การวิเคราะห์ทางเคมี

ก 1.1 การสกัดตัวอย่างควินัวงอกเพื่อวิเคราะห์สารต้านอนุมูลอิสระ

1. เมทานอล 70%
2. กรดไฮโดรคลอริก ความเข้มข้น 0.16 มิลลิโมลาร์
3. อะซิโตน 70%

วิธีการ

1. นำตัวอย่างเมล็ดควินัวงอก หรือเค้กขนาดชิ้น 5*5 เซนติเมตร ทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง ด้วยเครื่องทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งเป็นเวลา 40 ชั่วโมงเก็บในเดสซิเคเตอร์
2. นำตัวอย่างที่ทำแห้งแล้วมาทำการป่นด้วยเครื่องป่นเครื่องเทศ
3. ชั่งตัวอย่างละ 1 กรัม เพื่อทำการสกัดขั้นแรก ด้วยสารผสมเมทานอล: ไฮโดรคลอริก: น้ำกลั่น ที่อัตราส่วน 8: 1: 1 ปริมาตร 40 มิลลิลิตร กวนทิ้งไว้เป็นเวลา 2 ชั่วโมง
4. เทส่วนใสเก็บไว้ นำส่วนที่เหลือสกัดซ้ำด้วย อะซิโตน ปริมาตร 40 มิลลิลิตร กวนทิ้งไว้เป็นเวลา 2 ชั่วโมง
5. เทสารผสมรวมกัน ปั่นเหวี่ยงแยกตะกอนด้วยเครื่องปั่นเหวี่ยงที่ 5000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที
6. นำสารสกัดที่ได้ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ -20°C เพื่อวิเคราะห์ต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก 1.2 การตรวจสอบฟีนอลิกทั้งหมด (Total phenolic content) ดัดแปลงจาก Miliauskas และคณะ (2004)

สารเคมี

1. เตรียมสารละลาย Folin-Ciocalteu's phenol reagent เจือจางในน้ำกลั่นอัตราส่วน 1:10
2. เตรียมสารละลาย โซเดียมคาร์บอเนต ความเข้มข้น 1 โมลาร์ในน้ำกลั่น
3. กรดแกลลิก ในเอทานอลความเข้มข้น 250 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร

วิธีการ

1. ผสมสารละลายตัวอย่างปริมาตร 500 ไมโครลิตร กับสารละลาย Folin-Ciocalteu's phenol reagent เจือจาง 5 มิลลิลิตร
2. ผสมให้เข้ากันดีแล้วเติมสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต 4 มิลลิลิตร
2. ผสมให้เข้ากันดีแล้ววางไว้ในที่มืดที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 15 นาที
3. เตรียมแบลงค์โดยใช้น้ำกลั่นผสมกับสารละลายแทนตัวอย่าง
4. เตรียมกราฟมาตรฐานโดยใช้สารละลายกรดแกลลิก ที่ความเข้มข้น 0, 50, 100, 150, 200, 250 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร (เตรียมจากสารละลายเข้มข้น 250 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร)
5. นำตัวอย่างไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 765 นาโนเมตรและเปรียบเทียบค่าการดูดกลืนแสงที่ได้กับกราฟมาตรฐาน (ภาพผนวกที่ ก1)

ภาพภาคผนวกที่ ก1 กราฟมาตรฐานกรดแกลลิกในการวิเคราะห์ฟีนอลิกทั้งหมด (Total phenolic content)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก 1.3 การตรวจสอบ Ferric reducing antioxidant power (FRAP) ดัดแปลงจาก Wu และคณะ (2003)

สารเคมี

1. สารละลาย Acetate buffer ความเข้มข้น 300 มิลลิโมลาร์ค่าความเป็นกรด-ด่าง 3.6

2. สารละลาย TPTZ (2,4,6-trityridyl-s-triazinel) ในความเข้มข้น 40 มิลลิโมลาร์Hydrocholoric acid (HCl)

3. สารละลาย $FeCl_3.6H_2O$ ความเข้มข้น 20 มิลลิโมลาร์

4. เตรียมสารละลาย FRAP โดยทำการผสม 2.5 มิลลิลิตรของสารละลาย Acetate buffer ที่ได้จาก (1) กับ 2.5 มิลลิลิตรของสารละลาย TPTZ ที่ได้จาก (2) และ 2.5 มิลลิลิตรของ $FeCl_3.6H_2O$ ที่ได้จาก (3) ทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 30นาที

5. 6-hydroxy-2,5,7,8-tetramethylchroman-2-carboxylic acid (Trolox) ในเมทานอลความเข้มข้น 1000 ไมโครโมลาร์

วิธีการ

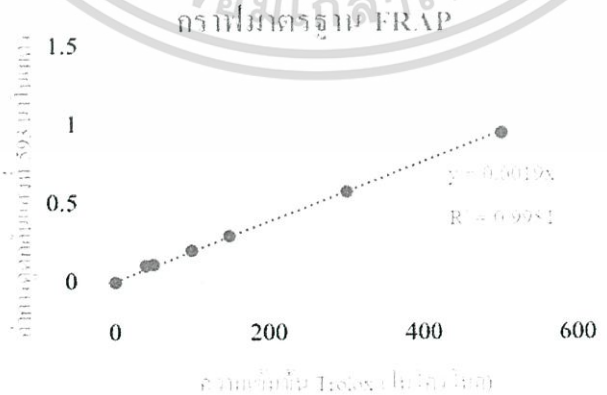
1. ผสมสารละลายตัวอย่างปริมาตร 0.15 มิลลิลิตรกับสารละลาย FRAP 2.85 มิลลิลิตร

2. ผสมให้เข้ากันดีแล้ววางไว้ในที่มืดที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 40 นาที

3. เตรียมแบลงค์โดยใช้น้ำกลั่นแทนตัวอย่าง

4. เตรียมกราฟมาตรฐานโดยใช้สารละลาย Trolox ที่ความเข้มข้น 0, 40, 50, 100, 150, 300, 500 ไมโครโมลาร์ (เตรียมจากสารละลายเข้มข้น 1000 ไมโครโมลาร์โดยนำมาเจือจางด้วยเมทานอล)

5. นำตัวอย่างไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 593 นาโนเมตรและเปรียบเทียบค่าการดูดกลืนแสงที่ได้กับกราฟมาตรฐาน (ภาพผนวกที่ ก2)



ภาพภาคผนวกที่ ก2 กราฟมาตรฐานโทรอกซ์ในการวิเคราะห์ความสามารถในการรีดิวซ์เฟอริก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก 1.4 การตรวจสอบ 2,2-dephenyl-1-picrylhydrazyl radical scavenging capacity (DPPH) ดัดแปลงจาก Wu และคณะ (2003)

สารเคมี

1. เตรียมสารละลาย 2,2-diphynyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) ความเข้มข้น 0.15 มิลลิโมลาร์ ในเอทานอล 95 เปอร์เซ็นต์

2. 6-hydroxy-2,5,7,8-tetramethylchroman-2-carboxylic acid (Trolox) ในเมทานอลความเข้มข้น 1000 ไมโครโมลาร์

วิธีการ

1. ผสมสารละลายตัวอย่างปริมาตร 1.5 มิลลิลิตรกับสารละลาย DPPH 1.5 มิลลิลิตร

2. ผสมให้เข้ากันดีแล้ววางไว้ในที่มืดที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 30 นาที

3. เตรียมแบลงค์โดยใช้น้ำกลั่นผสมกับสารละลายแทนตัวอย่าง

4. เตรียมกราฟมาตรฐานโดยใช้สารละลาย Trolox ที่ความเข้มข้น 0, 10, 20, 30, 50, 70, 100 ไมโครโมลาร์ (เตรียมจากสารละลายเข้มข้น 1000 ไมโครโมลาร์)

5. เซทค่า 0 โดยใช้เมทานอลผสมน้ำกลั่นในอัตราส่วน 1:1

6. นำตัวอย่างไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 517 นาโนเมตรและเปรียบเทียบค่าการดูดกลืนแสงที่ได้กับกราฟมาตรฐาน (ภาพผนวกที่ ก3)

ภาพภาคผนวกที่ ก3 กราฟมาตรฐานโทรอกซ์ในการวิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ (DPPH)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก 1.5 การตรวจสอบ 2,2-azinobis(3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid radical scavenging activity (ABTS) ดัดแปลงจาก Wu และคณะ (2003)

สารเคมี

1. เตรียมสารละลาย 2,2-azinobis(3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid radical scavenging activity (ABTS) ความเข้มข้น 7.4 มิลลิโมลาร์ ในน้ำปราศจากอิออน

2. เตรียมสารละลายโพแทสเซียมเปอร์ออกโซไดซัลเฟต ($K_2O_8S_2$) ความเข้มข้น 2 มิลลิโมลาร์ ในน้ำปราศจากอิออน

3. ผสมสารละลาย ABTS reagent โดยผสมสารละลาย ABTS และ โพแทสเซียมเปอร์ออกโซไดซัลเฟต ในอัตราส่วน 1:1

4. 6-hydroxy-2,5,7,8-tetramethylchroman-2-carboxylic acid (Trolox) ในเมทานอลความเข้มข้น 1000 ไมโครโมลาร์

วิธีการ

1. เตรียมสารละลาย ABTS reagent โดยผสมสารละลาย ABTS reagent 1 มิลลิลิตร กับเมทานอล 50 มิลลิลิตร และปรับความเข้มข้นเมทานอลโดยวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 734 นาโนเมตรให้ได้ค่าการดูดกลืนอยู่ที่ 1.1±0.02

2. ผสมสารละลายตัวอย่างปริมาตร 0.15 มิลลิลิตรกับสารละลาย ABTS reagent 2.85 มิลลิลิตร

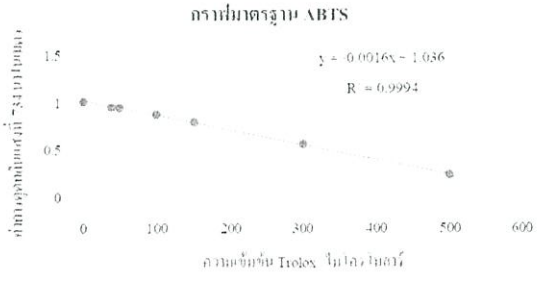
3. ผสมให้เข้ากันดีแล้ววางไว้ในที่มืดที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 2 ชั่วโมง

4. เตรียมแบลงค์โดยใช้น้ำกลั่นผสมกับสารละลายแทนตัวอย่าง

5. เตรียมกราฟมาตรฐานโดยใช้สารละลาย Trolox ที่ความเข้มข้น 0, 40, 50, 100, 150, 300, 500 ไมโครโมลาร์ (เตรียมจากสารละลายเข้มข้น 1000 ไมโครโมลาร์)

6. เซทค่า 0 โดยใช้เมทานอล

7. นำตัวอย่างไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 734 นาโนเมตรและเปรียบเทียบค่าการดูดกลืนแสงที่ได้กับกราฟมาตรฐาน (ภาพผนวกที่ ก4)

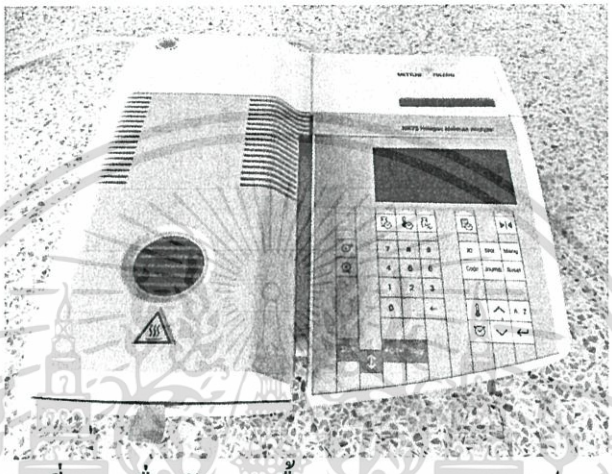


ภาพภาคผนวกที่ ก4 กราฟมาตรฐานโทรอกซ์ในการวิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ (ABTS)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข
การวิเคราะห์คุณภาพของเค้ก

ข 1 การวิเคราะห์ความชื้น



ภาพภาคผนวกที่ ข1 เครื่องวัดความชื้น (Moisture halogen, ประเทศเยอรมัน)

นำตัวอย่างเค้กสปันจ์ เค้กเนย และเค้กชิฟฟ่อนที่มีส่วนผสมของแป้งควินัวงอกร้อยละ 0, 30 และ 50 ขนาดชิ้น 5*5 เซนติเมตร มาทำการวิเคราะห์ความสว่างโดยการนำตัวอย่างมาบดผสมด้วยเครื่องบดถั่วและเครื่องเทศ Cuisinart เป็นเวลา 5 วินาที ทำการวิเคราะห์ความชื้นด้วยเครื่อง Moisture Halogen ตัวอย่างละ 3 ซ้ำ

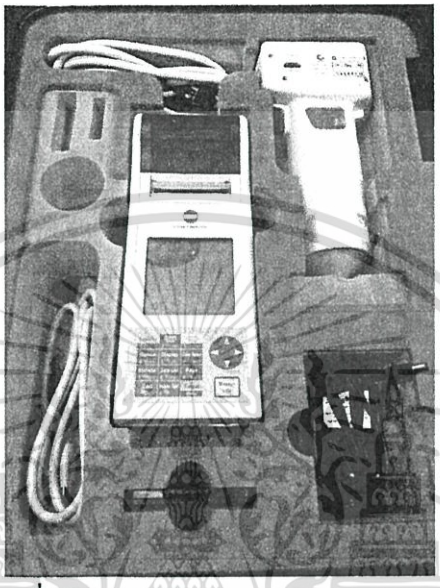
วิธีการตรวจสอบ

1. อบ ถาดอะลูมิเนียม (Aluminium pan) ในตู้อบไฟฟ้าอุณหภูมิ 120 องศา เป็นเวลา 30 นาที จากนั้นทำให้เย็นในโถดูดความชื้น 30 นาที
2. เปิดเครื่องวัดความชื้น และตั้งค่าการวัดความชื้นโหมดธัญพืช ที่อุณหภูมิ 180 องศา
3. กด Tare น้ำหนักถาดอะลูมิเนียม และใส่ตัวอย่างเค้ก 2-3 กรัม
4. อบตัวอย่างน้อย 3 ครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข 2 การวิเคราะห์ทางกายภาพ

ข 2.1 การวิเคราะห์ค่าสี



ภาพภาคผนวกที่ ข2 เครื่องวัดสี (Chromameter Minolta CR-400, ประเทศญี่ปุ่น)

เป็นการตรวจสอบค่าสว่างของตัวอย่างด้วยเครื่องวัดสี โดยวัดค่าสีในระบบ CIE โดยค่า

L* คือ ความสว่างของสี (lightness) โดยมีค่าจาก 0 คือสีดำ ถึง 100 คือสีขาว

a* คือ ค่าสีแดงเขียว (redness) โดย –a* มีสีเขียวไปจนถึง +a* มีสีแดง

b* คือ ค่าสีเหลืองน้ำเงิน (yellowness) โดย –b* มีสีน้ำเงินไปจนถึง +b* มีสีเหลือง

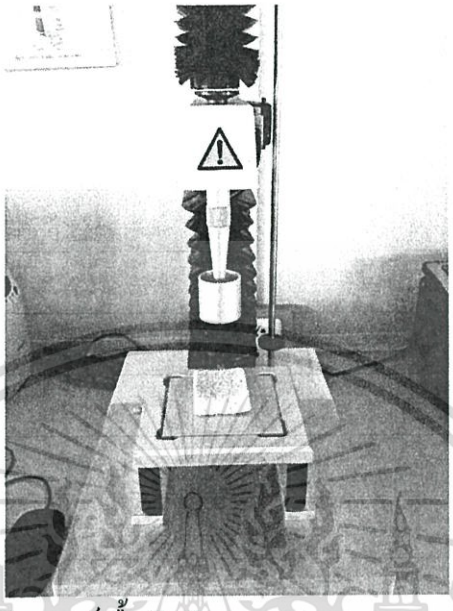
โดยก่อนการวัดสีทุกครั้งต้องทำการปรับค่ามาตรฐานสีของเครื่อง (calibration) โดยการวางหัววัดทาบบนผิวหน้าของแผ่นสีขาวมาตรฐาน กดปุ่ม calibrate เครื่องวัดสีจะทำการวัดและบันทึกค่าสีขาวของแผ่นสีขาวมาตรฐานไว้

วิธีการตรวจสอบ

นำตัวอย่างเค้กสปันจ์ เค้กเนย และเค้กชิฟฟ่อนที่มีส่วนผสมของแป้งควินัวงอกร้อยละ 0, 30 และ 50 ขนาดชิ้น 5*5 เซนติเมตร มาทำการวิเคราะห์ความสว่างโดยการนำตัวอย่างมาบดผสมด้วยเครื่องบดถั่วและเครื่องเทศ เป็นเวลา 5 วินาที และทำการวัดความสว่างด้วยเครื่องวัดสี โดยบันทึกค่า L* ทุกตัวอย่าง ตัวอย่างละ 3 ซ้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข 2.2 การวิเคราะห์เนื้อสัมผัสของเค้ก

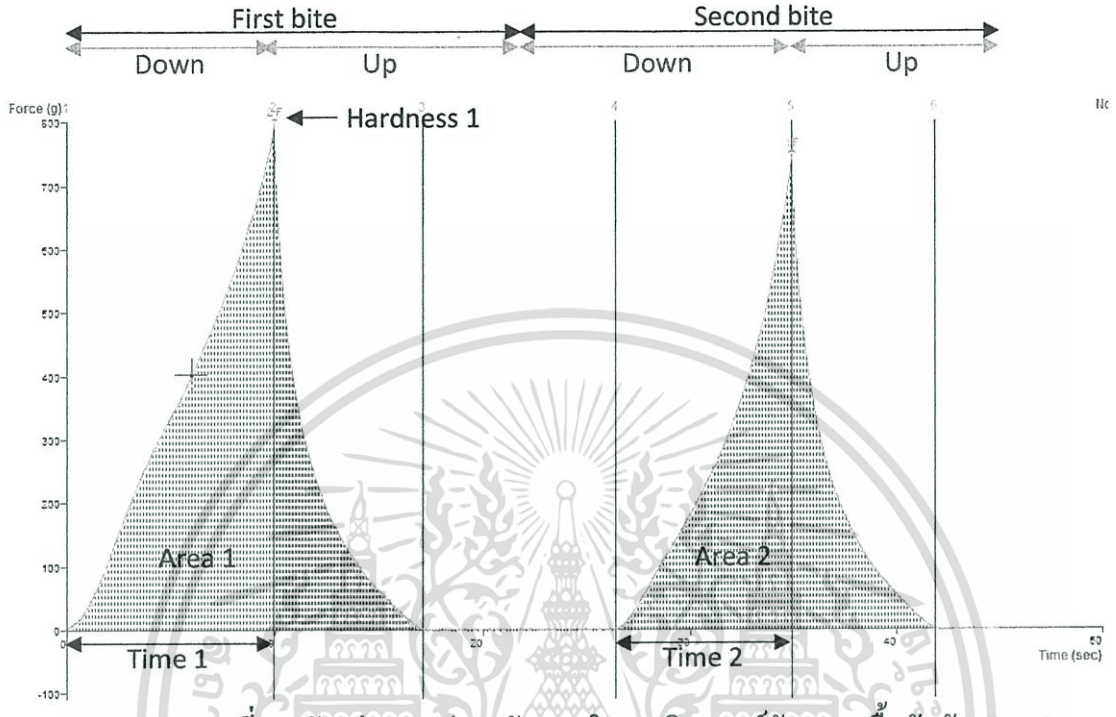


ภาพภาคผนวกที่ ข3 เครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส (Texture analyzer TA-XTplus, ประเทศอังกฤษ)

เตรียมตัวอย่างเค้กแต่ละชนิดเพื่อทำการวิเคราะห์เนื้อสัมผัส โดยตัดเค้กให้ได้ชิ้นขนาด 5*5 เซนติเมตร และตัดหน้าเค้กออกให้ได้ความหนา 2 เซนติเมตร และนำไปวัดเนื้อสัมผัสโดยใช้เครื่อง Texture analyzer รุ่น TA-XT plus โดยใช้หัววัด P /35 ตั้งค่าการวิเคราะห์แบบ TPA โดยตั้งค่า ความเร็วก่อนทดสอบ 2 มิลลิเมตร/วินาที ความเร็วทดสอบ 1 มิลลิเมตร/วินาที ความเร็วหลังทดสอบ 10 มิลลิเมตร/วินาที และระยะทาง 10 มิลลิเมตร โดยบันทึกค่าความแข็ง (hardness) ความยืดหยุ่น (springiness) และค่าการเกาะติดของตัวอย่าง (cohesiveness) ดังแสดงในตารางภาคผนวกที่ ก1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างกราฟการวิเคราะห์เนื้อสัมผัส (TPA) แสดงดังภาพภาคผนวกที่ ข4



ภาพภาคผนวกที่ ข4 ตัวอย่างกราฟแรงกับเวลาในการวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัส (TPA)

จากภาพภาคผนวกที่ ข4 การกดลงครั้งแรก เสมือนการกัดลงครั้งที่ 1 จุด B เป็นจุดแรงสูงสุดในการกดครั้งแรก เรียกว่าค่าความแข็งที่ 1 (Hardness 1) ระยะ Time2 เป็นระยะเวลาซึ่งสมมูลกับระยะทางในการกดลงต่ำสุดครั้งที่ 2 ระยะ Time1 เป็นระยะเวลาซึ่งสมมูลกับระยะทางในการกดลงต่ำสุดครั้งที่ 1 ตามร้อยละความเครียดที่กำหนดไว้ อัตราส่วน Time2 ต่อ Time1 เรียกว่า การเด้ง (Springiness) เดิมเรียกว่าความยืดหยุ่น (Elasticity) หากวัสดุมีการคืนรูปได้มากหลังจากการกดครั้งที่ 1 จะมีระยะการกดครั้งที่ 2 มาก ถ้าอัตราส่วนมีค่าใกล้ 1 แสดงว่าวัสดุมีความเด้งมากหรือยืดหยุ่นมาก อัตราส่วน Area2 ต่อ Area1 เรียกว่าความยึดตัวกันเอง (Cohesiveness) ซึ่งแสดงถึงความสามารถที่วัสดุรักษาโครงสร้างเดิมไว้ได้ (ปานมนัส, 2554)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข 2.3 การวัดปริมาตรจำเพาะของเค้กด้วยวิธีการแทนที่ด้วยงา (AACC, 2000)

เตรียมตัวอย่างเค้กทั้ง 3 ชนิดที่อบด้วยปริมาณแบทเทอร์เท่ากันคือ 500 กรัม โดยใช้พิมพ์ขนาด 8*12*1.5 นิ้ว มาตัดเป็นชิ้นสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 5*5 เซนติเมตร โดยตัดชิ้นส่วนที่ขนมฟูขึ้นสูงที่สุดนำไปวัดปริมาตรจำเพาะของเค้ก

การตรวจสอบค่าปริมาตรจำเพาะ (specific volume) โดยวิธี rapeseed displacement ใช้เมล็ดงาในการแทนที่ ชั่งน้ำหนักของเค้ก (1) ที่จะทำการตรวจสอบ แล้วใส่ลงในภาชนะที่มีความสูงและความกว้างมากกว่าขนมเค้กที่จะทำการตรวจสอบ เติมเมล็ดงาให้เต็มช่องว่างทั้งด้านขอบข้างและด้านบนของภาชนะ วัดปริมาตรของเมล็ดงา (2) ที่ใช้เติมลงไปทั้งหมด โดยตวงด้วยกระบอกตวง แล้ววัดปริมาตรของภาชนะโดยการเติมเมล็ดงาให้เต็มภาชนะ แล้ววัดปริมาตรของเมล็ดงา (3) นั้นด้วยกระบอกตวง จากนั้นนำมาคำนวณหาปริมาตรจำเพาะ

วิธีคำนวณ

$$\text{ปริมาตรจำเพาะ (ลูกบาศก์เซนติเมตร/กรัม)} = \frac{\text{ปริมาตรเมล็ดงา (3)} - \text{ปริมาตรเมล็ดงา (2)}}{\text{น้ำหนักขนมเค้ก (1)}}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข 2.4 การทดสอบทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภค

เตรียมตัวอย่างเค้กสปันจ์ เค้กเนย และเค้กชิฟฟ่อนที่มีส่วนผสมของแป้งควินัวงอกร้อยละ 0, 30 และ 50 มาทำการทดสอบทางประสาทสัมผัสกับผู้ทดสอบชิมจำนวน 30 คน เป็นบุคคลทั่วไป โดยใช้คะแนนความชอบโดยวิธี 9-point Hedonic Scale โดยปัจจัยที่ทำการทดสอบประกอบด้วย ด้านสี (color), กลิ่น (odor), รสชาติโดยรวม (flavor), เนื้อสัมผัส (Hardness) และ ความชอบโดยรวม (overall liking) ตัวอย่างแบบสอบถามดังแสดงในภาพภาคผนวกที่ ข5-7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพภาคผนวกที่ ข5 ตัวอย่างแบบทดสองคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภคของเค้กสปันจ์

แบบทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัส

ชื่อ-นามสกุล.....วันที่.....

ตัวอย่าง : เค้กสปันจ์

คำอธิบาย: เค้กที่ใช้ไข่เป็นส่วนประกอบสำคัญในการขึ้นฟู โดยใช้แป้ง gluten free เป็นส่วนผสม (แป้งข้าวเจ้าและควินัว)

คำชี้แจง : กรุณาชิมตัวอย่างผลิตภัณฑ์ทั้งสามตัวอย่างและให้คะแนนตามความพอใจของท่านให้ตรงกับรหัสของผลิตภัณฑ์ตามเกณฑ์การให้คะแนนดังต่อไปนี้

1 = ไม่ชอบมากที่สุด 2 = ไม่ชอบมาก 3 = ไม่ชอบปานกลาง 4 = ไม่ชอบเล็กน้อย 5 = เฉยๆ
6 = ชอบเล็กน้อย 7 = ชอบปานกลาง 8 = ชอบมาก 9 = ชอบมากที่สุด

คุณลักษณะ	รหัส		
	214	147	537
กลิ่น			
สี			
เนื้อสัมผัส			
รสชาติโดยรวม			
ความชอบโดยรวม			

ข้อเสนอแนะ

.....

.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพภาคผนวกที่ ข6 ตัวอย่างแบบทดสองคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภคของเค้กเนย

แบบทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัส

ชื่อ-นามสกุล.....วันที่.....

ตัวอย่าง : เค้กเนย

คำอธิบาย: เค้กที่ใช้เนยเป็นส่วนประกอบสำคัญในการขึ้นฟู โดยใช้แป้ง gluten free เป็นส่วนผสม (แป้งข้าวเจ้าและควินัว)

คำชี้แจง : กรุณาชิมตัวอย่างผลิตภัณฑ์ทั้งสามตัวอย่างและให้คะแนนตามความพอใจของท่านให้ตรงกับรหัสของผลิตภัณฑ์ตามเกณฑ์การให้คะแนนดังต่อไปนี้

1 = ไม่ชอบมากที่สุด 2 = ไม่ชอบมาก 3 = ไม่ชอบปานกลาง 4 = ไม่ชอบเล็กน้อย 5 = เฉยๆ
6 = ชอบเล็กน้อย 7 = ชอบปานกลาง 8 = ชอบมาก 9 = ชอบมากที่สุด

คุณลักษณะ	รหัส		
	213	149	539
กลิ่น			
สี			
เนื้อสัมผัส			
รสชาติโดยรวม			
ความชอบโดยรวม			

ข้อเสนอแนะ

.....

.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพภาคผนวกที่ ข7 ตัวอย่างแบบทดสองคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภคของเค้กชิฟฟ่อน

แบบทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัส

ชื่อ-นามสกุล.....วันที่.....

ตัวอย่าง : เค้กชิฟฟ่อน

คำอธิบาย: เค้กที่ใช้ไข่ขาวเป็นส่วนประกอบสำคัญในการขึ้นฟู โดยใช้แป้ง gluten free เป็นส่วนผสม (แป้งข้าวเจ้าและควินัว)

คำชี้แจง : กรุณาชิมตัวอย่างผลิตภัณฑ์ทั้งสามตัวอย่างและให้คะแนนตามความพอใจของท่านให้ตรงกับรหัสของผลิตภัณฑ์ตามเกณฑ์การให้คะแนนดังต่อไปนี้

1 = ไม่ชอบมากที่สุด 2 = ไม่ชอบมาก 3 = ไม่ชอบปานกลาง 4 = ไม่ชอบเล็กน้อย 5 = เฉยๆ
6 = ชอบเล็กน้อย 7 = ชอบปานกลาง 8 = ชอบมาก 9 = ชอบมากที่สุด

คุณลักษณะ	รหัส		
	212	148	538
กลิ่น			
สี			
เนื้อสัมผัส			
รสชาติโดยรวม			
ความชอบโดยรวม			

ข้อเสนอแนะ

.....

.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ – นามสกุล	นางสาวลัคนา เจตยะคามิน
วัน เดือน ปีเกิด	29 พฤษภาคม 2534 จังหวัดกรุงเทพมหานคร
ที่อยู่	297 ซอยสุขสวัสดิ์ 22 แขวงบางปะกอก เขตราษฎร์บูรณะ จังหวัดกรุงเทพมหานคร 10140
ประวัติการศึกษา	- พ.ศ. 2555 จบการศึกษาหลักสูตร วิทยาศาสตร์บัณฑิต คณะเทคโนโลยีการเกษตร สาขาพืชสวน สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง - พ.ศ. 2556 ศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์การอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังและสำเร็จการศึกษาในปี 2560
การนำเสนอผลงาน	- นำเสนอผลงานด้วยโปสเตอร์ เรื่อง **Influence of Quinoa Variety, Soaking and Salt Concentration on Percentage of Germination and Antioxidant Activity of Quinoa** ในงานประชุมวิชาการบัณฑิตศึกษาระดับนานาชาติ Food Innovation Asia Conference 2016 (FIAC 2016) ครั้งที่ 18 ณ ศูนย์การประชุมไบเทค เขตบางนา กรุงเทพมหานคร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้