รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

การศึกษากระบวนการเตรียมแป้งควินัวงอก และการนำไปใช้ในส่วนผสมของเค้ก

Study of the process of milled germinated quinoa flour and its utilization as an ingredient in cake

นางนภัสรพี เหลืองสกุล

ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากเงินรายได้ประจำปีงบประมาณ 2558

คณะอุตสาหกรรมเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

การศึกษากระบวนการเตรียมแป้งควินัวงอก และการนำไปใช้ในส่วนผสมของเค้ก

Study of the process of milled germinated quinoa flour and its utilization as an ingredient in cake

นางนภัสรพี เหลืองสกุล

b.12827563
i.

ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากเงินรายได้ประจำปีงบประมาณ 2558

คณะอุตสาหกรรมเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

RCH
น195ก
2558
สช.หมู่.....
เลขทะเบียน 145230
วัน.เดือน.ปี 31 ส.ค. 2560

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อโครงการ	การศึกษากระบวนการเตรียมแป้งควินัวงอกและการนำไปใช้ในส่วนผสมของเค้ก
แหล่งเงินทุน	เงินรายได้คณะอุตสาหกรรมเกษตร ประจำปีงบประมาณ 2558
ระยะเวลาทำการวิจัย	1 ปี ตั้งแต่ ตุลาคม 2557 ถึง กันยายน 2558
หัวหน้าโครงการ	ดร.นภัสรพี เหลืองสกุล
หน่วยงานต้นสังกัด	คณะอุตสาหกรรมเกษตร

บทคัดย่อ

การบริโภคธัญพืชงอกได้รับความนิยมในหลายทวีปทั่วโลก ควินัวเป็นพืชในกลุ่มเสมือนธัญพืชที่เป็นแหล่งของสารอาหารที่ดี เช่น สารต้านอนุมูลอิสระ แร่ธาตุ ฯลฯ การเพาะงอกเป็นกระบวนการทางธรรมชาติที่สามารถเพิ่มคุณค่าสารสำคัญที่ดีต่อสุขภาพ มีหลายปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อเปอร์เซ็นต์การงอก (เวลา อุณหภูมิ แสง ออกซิเจน สายพันธุ์ และความเครียดจากเกลือ) ในงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ในการศึกษาปัจจัย (สายพันธุ์ การแช่ และความเข้มข้นของเกลือ) ที่มีผลกระทบต่อเปอร์เซ็นต์การงอกของควินัว และผลของความเข้มข้นของเกลือต่อปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระ และนำไปพัฒนาผลิตภัณฑ์เค้กปราศจากกลูเต็น สำหรับปัจจัยด้านสายพันธุ์ศึกษาเปอร์เซ็นต์การงอกที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 72 ชั่วโมง ในควินัว 3 สายพันธุ์ (สีขาว สีแดง และสีดำ) พบว่า ควินัวสายพันธุ์สีดำให้เปอร์เซ็นต์การงอกสูงที่สุด ในปัจจัยด้านการแช่ การแช่เมล็ดควินัวก่อนเพาะงอกเป็นเวลา 6 ชั่วโมงทำให้เปอร์เซ็นต์การงอกของควินัวสายพันธุ์สีดำเพิ่มขึ้น อีกทั้งการแช่เมล็ดควินัวสีดำในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน (100, 200, 300, 400 และ 500 มิลลิโมลาร์) มีผลให้เปอร์เซ็นต์การงอกลดลง อย่างไรก็ตามความเข้มข้นของเกลือที่สูงขึ้นจะเพิ่มปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระ (FRAP) จนกระทั่งถึงความเข้มข้นที่เหมาะสม ในการศึกษานี้ความเข้มข้นของเกลือสูงสุดที่ 400 มิลลิโมลาร์ สามารถเพิ่มสารต้านอนุมูลอิสระขึ้นถึง 30.96 เปอร์เซ็นต์ (ที่ 400 มิลลิโมลาร์ 72 ชั่วโมง) เทียบกับเมล็ดที่ไม่ได้เพาะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

งอก นอกจากนี้การนำแป้งควินัวงอกทดแทนในแป้งข้าวเจ้าของผลิตภัณฑ์เค้กปราศจากกลูเต็น 3 ชนิด ได้แก่ เค้กสปันจ์ เค้กเนย และเค้กชิฟฟ่อน ในร้อยละ 0, 30 และ 50 พบว่า เมื่อทดแทนด้วยแป้งควินัวงอกในแป้งข้าวเจ้าเพิ่มขึ้น ทำให้ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระสูงขึ้น และมีการยอมรับด้านการทดสอบทางประสาทสัมผัสกับผู้ทดสอบจำนวน 30 คน ผู้ทดสอบให้การยอมรับได้ในระดับการทดแทนแป้งควินัวงอกในแป้งข้าวเจ้าร้อยละ 0 มากที่สุด และมีการยอมรับลดลงที่ร้อยละ 30 และ 50 ตามลำดับ

คำสำคัญ: สารต้านอนุมูลอิสระ, การเพาะงอก, ควินัว, ความเข้มข้นเกลือ, เค้กปราศจากกลูเต็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Research Title Study of the process of milled germinated quinoa flour and its utilization as an ingredient in cake

Researcher Dr.Naphatrapi Luangsakul

Faculty Faculty of Agro-Industry

ABSTRACT

Influence of quinoa variety, soaking and salt concentration on percentage of germination and the antioxidant activity of quinoa was studied. There are many factors (time, temperature, water, light, oxygen, variety and salt concentration) influencing the percentage of germination of seeds. This work aimed to study the factors (varieties, soaking and salt concentration) affecting the percentage of germination of quinoa, the effect of salt concentration on the antioxidant activity and germinated quinoa flour utilization as an ingredient in gluten-free cake. For variety factor, three varieties (white, red and black) of quinoa were studied for the percentage of germination at 30°C for 72 hrs. The study found that black variety gave the highest percentage of germination. Furthermore, soaking quinoa before germination for 6 hrs increased the percentage of germination of black quinoa. Additionally, soaking quinoa in NaCl solution in different concentrations (100, 200, 300, 400 and 500 mM) affected the percentage of germination significantly. The higher salt concentration would decrease the percentage of germination. However, the higher salt concentration would increase the antioxidant activity (FRAP) until the optimal salt concentration was reached. The optimal salt concentration in this study was 400 mM NaCl. It increased the antioxidant activity by 30.96% from the control (no soaking in NaCl solution). Besides using germinated quinoa flour instead of rice flour in gluten-free product (sponge cake, butter cake and chiffon cake). We found that increased of 0, 30 and 50% that using

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

germinated quinoa flour instead of rice flour also increased antioxidants but consumer can accept only 30% of germinated quinoa flour.

Keyword: Antioxidants, Germination, Quinoa, Salt concentration, Gluten-free cake

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

รายงานวิจัยฉบับนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากคณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง จากแหล่งทุนเงินรายได้ของคณะอุตสาหกรรมเกษตร ประจำปีงบประมาณ 2558 ผู้วิจัยจึงขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงต่อการสนับสนุนโครงงานวิจัยเรื่อง การศึกษากระบวนการเตรียมแป้งควินัวงอกและการนำไปใช้ในส่วนผสมของเค้ก

ดร. นภัสรพี เหลืองสกุล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	ก
กิตติกรรมประกาศ	จ
สารบัญ	ฉ
สารบัญตาราง	ช
สารบัญภาพ	ซ
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 ทฤษฎีและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง	4
บทที่ 3 วัสดุอุปกรณ์และวิธีการ	21
บทที่ 4 ผลการทดลอง	28
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง	38
เอกสารอ้างอิง	39
ภาคผนวก	44
ภาคผนวก ก การวิเคราะห์ทางเคมีกายภาพ	45
ภาคผนวก ข ส่วนผสมของเค้กปราศจากกลูเต็น	52
ภาคผนวก ค การทดสอบทางปะสาทสัมผัสของผู้บริโภค	53

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

		หน้า
ตารางที่ 2.1	คุณค่าทางโภชนาการของควินัว	5
ตารางที่ 4.1	ร้อยละการงอกของเมล็ดควินัวพันธุ์สีดำที่เพาะงอกในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้น 0 - 500 มิลลิโมลาร์ เป็นเวลา 72 ชั่วโมง	30
ตารางที่ 4.2	ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระของควินัวสีดำที่เพาะงอกในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ที่ความเข้มข้น 0 – 500 มิลลิโมลาร์ เป็นเวลา 72 ชั่วโมง	31
ตารางที่ 4.3	ปริมาณความชื้น (%), ค่าความสว่าง (L*), ความแข็ง, ความยืดหยุ่นและค่าการเกาะติดกันของเนื้อเค้ก ของเค้กสปันจ์ เค้กเนย และเค้กชิฟฟ่อนที่ทดแทนด้วยแป้งควินัวงอกในแป้งข้าวเจ้าร้อยละ 0, 30 และ 50	33
ตารางที่ 4.4	ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระของเค้กสปันจ์ เค้กเนย และเค้กชิฟฟ่อนที่ทดแทนด้วยแป้งควินัวงอกในแป้งข้าวเจ้า ร้อยละ 0, 30 และ 50 โดย FRAP assay	35
ตารางที่ 4.5	การทดสอบทางประสาทสัมผัสของเค้กสปันจ์ เค้กเนย และเค้กชิฟฟ่อน ที่ทดแทนด้วยแป้งควินัวงอกในแป้งข้าวเจ้าร้อยละ 0, 30 และ 50 กับผู้ทดสอบจำนวน 30 คน	36
ตารางที่ ก1	การตั้งค่าการวิเคราะห์เนื้อสัมผัสแบบ TPA ด้วยเครื่อง Texture analyzer	50
ตารางที่ ข1	ส่วนผสมของเค้กสปันจ์ เค้กเนย และเค้กชิฟฟ่อน ปราศจากกลูเต็น	52

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

		หน้า
ภาพที่ 4.1	ร้อยละการเพาะงอกของควินัว 3 สายพันธุ์ (สีขาว สีแดง และสีดำ) ที่ 30°C 72 ชั่วโมง	28
ภาพที่ 4.2	ร้อยละการงอกของควินัวสีดำ เปรียบเทียบระหว่างเมล็ดที่แช่ 6 ชั่วโมง ก่อนการเพาะงอก และ ไม่ได้แช่ก่อนการเพาะงอก	29
ภาพภาคผนวกที่ ก1	กราฟมาตรฐานโทรอกซ์ในการวิเคราะห์ความสามารถในการรีดิวซ์เฟอริก	47
ภาพภาคผนวกที่ ก2	เครื่องวัดความชื้น (Moisture halogen, ประเทศเยอรมัน)	48
ภาพภาคผนวกที่ ก3	เครื่องวัดสี (Chromameter Minolta CR-400, ประเทศญี่ปุ่น)	49
ภาพภาคผนวกที่ ก4	เครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส (Texture analyzer TA-XTplus, ประเทศอังกฤษ)	50
ภาพภาคผนวกที่ ก5	ตัวอย่างกราฟแรงกับเวลาในการวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัส (TPA)	51
ภาพภาคผนวกที่ ค1	ตัวอย่างแบบทดสองคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภคของเค้กเนย	54
ภาพภาคผนวกที่ ค2	ตัวอย่างแบบทดสองคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภคของเค้กชิฟฟ่อน	55
ภาพภาคผนวกที่ ค3	ตัวอย่างแบบทดสองคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภคของเค้กสปันจ์	56

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1. บทนำ

ธัญพืชโดยเฉพาะธัญพืชทั้งเมล็ดเป็นแหล่งที่อุดมด้วยใยอาหาร วิตะมิน เกลือแร่ และสารสำคัญ (phytochemicals) ต่างๆ เช่น สารฟีนอลิค สารแคโรทีนอยด์ วิตะมินอี ลิกแนน เบต้า-กลูแคน อินนูลิน สตาร์ชทนย่อย สเตอรอล และไฟเทท ปริมาณสารสำคัญที่พบในธัญพืชทั้งเมล็ดเหล่านี้พบได้ในในปริมาณเทียบเท่ากับที่พบในผักผลไม้ บทบาทของสารสำคัญต่างๆเหล่านี้มีบทบาทที่เป็นประโยชน์ต่อร่างกายมนุษย์มากกว่าสารโภชนาการพื้นฐาน ซึ่งสามารถช่วยให้เป็นโรคเรื้อรังต่างๆลดลง เช่น โรคหัวใจ โรคเบาหวาน และโรคมะเร็งบางชนิด (Liu และคณะ, 2000) รวมทั้งลดอัตราการตายลงได้ สารสำคัญต่างๆนี้รวมกันอยู่เป็นโครงสร้างที่ซับซ้อนในธัญพืชทั้งเมล็ด ซึ่งจะทำให้เกิดบทบาทที่เป็นประโยชน์ต่อร่างกายสูงกว่าการบริโภคสารเหล่านี้เดี่ยวๆ ไฟเบอร์สำคัญที่พบในธัญพืชทั้งเมล็ดที่สำคัญคือ arabinoxylans สารฟีนอลิคต่างๆที่มีบทบาทเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ เช่น phenolic acids, anthocyanidins, quinones, flavonols, chalcones, flavones, flavanones (Lloyd และคณะ, 2000) อย่างไรก็ตาม การเพาะงอกเมล็ดธัญพืชทั้งเมล็ดนี้ ยังทำให้สารสำคัญ เช่น สารฟีนอลิค รวมทั้งสารโภชนาการมีปริมาณสูงยิ่งขึ้น

กระบวนการงอก (germination) เป็นกระบวนการที่สามารถปรับปรุงคุณค่าทางโภชนาการเมล็ดพืชโดยเพิ่มคุณค่าสารอาหารในเมล็ดพืช การเพาะเมล็ดแต่เดิมเป็นกรรมวิธีพื้นบ้านของชาวตะวันออกโดยเฉพาะชาวจีน ซึ่งมีการปฏิบัติสืบมาหลายร้อยปี ต่อมามีการเผยแพร่มากขึ้น โดยเฉพาะชาวตะวันตกได้นำเมล็ดพืชงอกมาปรับปรุงคุณค่าทางอาหารในผลิตภัณฑ์หลายชนิด เช่นเป็นอาหารเสริมสำหรับเด็ก อาหารเสริมสุขภาพ และผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ เป็นต้น (Chavan และ Kadam, 1989)

การแช่ เป็นสิ่งจำเป็นเพื่อให้ปริมาณแป้งและน้ำเพียงพอต่อกระบวนการเกิดเจล (Gelatinization) ซึ่งแป้งในเมล็ดธัญพืชจะเกิดกระบวนการเกิดเจลได้สมบูรณ์ที่ปริมาณความชื้นร้อยละ 30 หรือมากกว่า สาร 2 ชนิดที่มักนำมาทำการทดลองเพื่อลดระยะเวลากระบวนการงอก คือ โซเดียมซัลเฟต (sodiumsulfate) และ เมตาไบซัลไฟต์ (metabisulfide) (Gariboldi, 1984) ซึ่งแต่เดิมทางภาคเหนือและบางส่วนของภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทยใช้เกลือ (sodiumchloride, NaCl) ในการลดระยะเวลาการแช่และเพิ่มคุณภาพในข้าวหุงสุก อีกทั้ง Han และ Lim (2009) มีการรายงานว่า การแช่ข้าวที่อุณหภูมิและเวลาแตกต่างกันทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพเกิดขึ้นอย่างมาก แต่ในงานวิจัยทาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิทยาศาสตร์มีการรายงานเกี่ยวกับการแช่สารละลายเกลือที่มีผลต่อสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพน้อยมาก (Umnajkitikorn และคณะ, 2013)

เมล็ดควินัว (quinoa) (*Chenopodium quinoa* Wild.) เป็นพืชในกลุ่มเสมือนธัญพืช (pseudocereal) เป็นอาหารหลักของชาวอเมริกาใต้ มีการเพาะปลูกมากบริเวณเทือกเขาแอนดีสมาหลายพันปีมาแล้ว เมล็ดควินัวจัดเป็นพืชมหัศจรรย์ที่มีสารอาหารมากมาย ในปัจจุบันควินัวเป็นเมล็ดพืชที่ได้รับความสนใจทั่วโลก โดยมีการรายงานว่าประเทศที่มีการปลูกมากคือ โบลิเวียและเปรู มีการเพิ่มปริมาณการเพาะปลูกสูงขึ้น เนื่องจากความต้องการของตลาดมากขึ้น FAO ได้คัดเลือกให้เมล็ดควินัวเป็นหนึ่งในพืชที่เกี่ยวข้องกับความมั่นคงทางอาหารในศตวรรษที่ 21 สำหรับสารอาหารที่มีสูงในเมล็ดควินัวได้แก่ ปริมาณโปรตีนร้อยละ 15-17 น้ำหนักแห้ง ใยอาหาร มีวิตามินบีโดยเฉพาะ บีหนึ่ง และบีสอง วิตามินอีและกรดโฟลิคก็มีปริมาณสูงเช่นกัน สำหรับเกลือแร่ เมล็ดควินัวมีปริมาณ สังกะสี เหล็ก และแมกนีเซียมอยู่สูง กรดอะมิโนที่จำเป็นต่อร่างกายในเมล็ดควินัวก็มีครบ เมล็ดควินัวมีไลซีน ทริโอนิน เมทไธโอนินอยู่สูง ซึ่งกรดอะมิโนสามตัวนี้ขาดแคลนในธัญพืช นอกจากนี้โปรตีนในควินัวเป็น gluten-free ดังนั้น ควินัวจึงเป็นหนึ่งในวัตถุดิบสำหรับทำผลิตภัณฑ์ของผู้ที่มีภาวะแพ้กลูเตน สำหรับกรดไขมันอิสระที่พบในควินัวที่พบในปริมาณมาก คือ palmitic acid, oleic acid, linoleic acid α-linolenic acid (Jacobsen, 2003 ; Peiretti และคณะ, 2013) สารต้านอนุมูลอิสระก็พบมากในเมล็ดควินัว เมล็ดควินัวจึงเป็นอาหารที่ได้รับชื่อว่า superfood ล่าสุดองค์การสหประชาชาติประกาศให้ปี 2013 เป็น "ปีแห่งควินัว"

เมล็ดควินัวถือเป็นกลุ่มของพืชมหัศจรรย์ที่มีสารที่ทำให้เกิดประโยชน์ต่อร่างกายมนุษย์มาก การนำกระบวนการเพาะงอกมาทำให้เกิดการงอกในควินัวซึ่งจะมีการเปลี่ยนแปลงสารชีวเคมีต่างๆ ในเมล็ด และจากที่กล่าวข้างต้นเกี่ยวกับการแช่สารละลายเกลือที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของสารสำคัญในธัญพืช จึงสนใจศึกษาสภาวะการแช่เมล็ดควินัวในสารละลายเกลือที่เวลาแตกต่างกัน เพื่อเพิ่มการสังเคราะห์สารต้านอนุมูลอิสระที่พบมากในควินัว (Pasko และคณะ, 2009) ซึ่งจะนำไปสู่การใช้ประโยชน์จากเมล็ดควินัวงอกที่มีสารสำคัญปริมาณสูงในผลิตภัณฑ์เบเกอรี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 วัตถุประสงค์วิจัย

1.2.1. ศึกษาผลของสายพันธุ์ การแช่ และความเข้มข้นของเกลือ ที่มีผลต่อร้อยละการงอกของควินัว

1.2.2. ศึกษาผลของความเข้มข้นของเกลือและระยะเวลาการเพาะงอก ที่มีผลต่อการเพิ่มขึ้นของสารต้านอนุมูลอิสระในควินัว

1.2.3. เพื่อใช้ประโยชน์จากแป้งเมล็ดควินัวงอกในเค้กเพื่อสุขภาพที่มีคุณค่าสารอาหารบางชนิดที่พบได้ในช่วงการเพาะงอกเมล็ดควินัวในปริมาณสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎี และวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

2.1. 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 (มีปริมาณเกรดอะมิโนสำหรับร่างกายสูง) เป็นธัญพืชเทียมที่มีแนวโน้มที่จะมีความสำคัญทางเศรษฐกิจในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้

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

ควินัวจัดเป็นพืชในเขตอบอุ่นและเขตกึ่งร้อน ขึ้นอยู่ในสภาพที่มีอุณหภูมิสูงถึง 35 °C ควินัวสามารถทนทานต่อสภาพอากาศหนาวเย็นจนเกิดน้ำค้างแข็งเล็กน้อย แต่ไม่ทนต่อสภาพอุณหภูมิต่อกว่า -3 °C ระดับสูงสุดของพื้นที่ที่มีการปลูกได้แก่ระดับ 4000 เมตร การออกดอกในบางพันธุ์ไม่ตอบสนองต่อความยาวของวัน ในขณะที่พันธุ์อื่นๆออกดอกในระยะต่อมาเมื่อความยาวของวันเพิ่มขึ้น ในอเมริกาใต้มีการปลูกควินัวในสภาพที่ดินมีความอุดมสมบูรณ์ต่ำในระดับที่ไม่สามารถปลูกธัญพืชชนิดอื่นๆได้ผล มีการเจริญเติบโตดีในสภาพที่มีการกระจายของฝนสม่ำเสมอ ในระยะแรกของการเจริญเติบโต และมีสภาพอากาศแห้งในช่วงต้นแก่และในช่วงเก็บเกี่ยว สามารถทนทานต่อสภาพฝนตกมากเกิดความต้องการในระยะแรกของการเจริญเติบโตและพัฒนาการ ยกเว้นในช่วงหลังหว่านเมล็ด ในสภาพที่ดินมีความชื้นสูงและระบายน้ำเลวมีผลต่อความงอกของเมล็ด ควินัวจึงจัดเป็นพืชที่สามารถทนทานต่อสภาพอากาศแห้งแล้งได้ดี โดยเฉพาะในระยะหลังของการเจริญเติบโตและต้นแก่ ในช่วงหลังของการแก่ของต้น ต้นอาจจะได้รับความเสียหายมากจากการที่มีฝนตกในระยะดังกล่าว หากมีปริมาณฝนตกมากพออาจจะทำให้เมล็ดที่ไม่พักตัวงอกได้ ในสภาพดังกล่าวการงอกของเมล็ดในพันธุ์เบาเกิดขึ้นมากกว่าในพันธุ์หนัก มีการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปลูกควินัวในดินที่มีสภาพ pH 6-8.5 สามารถขึ้นได้ในดินที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ ดินเค็มปานกลาง และมีความอิ่มตัวของด่างต่ำ

เมล็ดควินัวที่นำมาใช้ประโยชน์โดยทั่วไปมีการนำมาคั่วก่อนนำไปบดละเอียดเป็นแป้ง สามารถแปรรูปโดยการต้ม ใส่ในซุป หรือใช้ทำอาหารเช้าและพาสต้า เมื่อนำไปต้มในลักษณะเดียวกันกับการต้มข้าว เมล็ดมีรสชาติมัน ไม่ติดกัน ฟูและน่ารับประทาน สามารถนำไปใช้ประโยชน์ทดแทนแป้งข้าวสาลีเป็นบางส่วนในกากรผลิตขนมปังที่ไม่พองตัวเมื่ออบ 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 2.1 แสดงคุณค่าทางโภชนาการของควินัว

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

ที่มา: ดวงจันทร์ (2556)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2. การงอกของเมล็ด

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

2.2.1 กระบวนการต่างๆในการงอกของเมล็ด

ในกระบวนการงอกของเมล็ดนั้น ขั้นตอนแรกที่เกิดขึ้นกับเมล็ด คือ การดูดซึมน้ำในระหว่างที่เมล็ดดูดซึมน้ำ เมล็ดจะอยู่ในสภาพหยุดนิ่ง แล้วถูกกระตุ้นให้มีการตื่นตัวขึ้น ซึ่งกระบวนการต่างๆที่เกิดขึ้นในระหว่างการงอกนั้น มีดังนี้

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

1.) ไมโทคอนเดรีย เป็นออร์แกเนลล์ในเซลล์ทั่วไป ประกอบด้วยเยื่อที่เรียกว่า เยื่อไมโทคอนเดรียชั้นใน (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) ที่เปลี่ยนกรดไขมันไปเป็นอะซิทิล โคเอ (acetyl CoA)

4.) เยื่อต่างๆออร์แกเนลล์ที่พบในเซลล์พืชส่วนใหญ่มีเยื่อหุ้มสองชั้น ซึ่งประกอบด้วยโปรตีนสองชั้น ห่อหุ้มไขมันไว้ตรงกลาง นอกจากนี้ จะมีเยื่อเพียงชั้นเดียว

5.) เอนไซม์ในระหว่างการดูดอุ้มน้ำ จะมีเอนไซม์หลายชนิด ทั้งที่มีอยู่แล้วในเมล็ด และถูกสร้างขึ้นใหม่ ถูกกระตุ้นให้ทำงาน (บุญมี, ม.ป.ป.)

2.2.1.2 การหายใจ เมื่อน้ำถูกดูดซึมเข้าสู่เมล็ดในปริมาณที่เพียงพอ ก็จะไปกระตุ้นการทำงานขององค์ประกอบต่างๆ ภายในเซลล์ น้ำจะช่วยละลายโปรโตพลาสซึม ช่วยให้ออกซิเจนเข้าไปในเมล็ด ทำให้ย่อยอาหารที่มีการสะสมไว้ในเนื้อเยื่อส่วนต่างๆ ให้เป็นโมเลกุลเล็กๆ ส่งไปเลี้ยงส่วน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของคัพภะ การย่อยอาหารต่างๆ ที่เก็บสะสมไว้ภายในเมล็ดจะมีพลังงานเกิดขึ้น พลังงานเหล่านี้จะถูกนำไปใช้ในการสร้างอาหารต่อไป

2.2.1.3 การเคลื่อนย้ายและการขนส่งอาหาร เมื่ออาหารที่เก็บสะสมไว้ในเมล็ดถูกย่อยเป็นโมเลกุลเล็กๆ ก็จะเคลื่อนย้ายไปยังจุดเจริญ (คัพภะ) เพื่อสร้างอาหารหรือสารใหม่ เพื่อใช้สำหรับการเจริญของต้นอ่อนต่อไป

2.2.1.4 เมตาบอลิซึม เมื่อส่วนของคัพภะได้รับพลังงานที่เกิดจากการหายใจ และได้รับแร่ธาตุต่างๆที่ส่งมาจากส่วนเนื้อเยื่อที่เก็บสะสมอาหาร ต้นอ่อนจะเริ่มมีการสังเคราะห์อาหารขึ้นใหม่ เพื่อใช้ในการเจริญเติบโต

2.2.1.5 การเจริญเติบโต หลังจากส่วนของต้นอ่อนมีการสังเคราะห์อาหารขึ้นใหม่ให้เพียงพอต่อการเจริญเติบโตแล้ว ปรากฏการณ์ที่เห็นได้ชัดคือ จะเกิดการยืดตัวของจุดเจริญซึ่งเกิดจากการแบ่งเซลล์และการยืดตัวของเซลล์ โดยทั่วไปส่วนของรากอ่อนจะเจริญก่อนส่วนลำต้นและยอดอ่อน (อัมพร, 2543)

2.2.2 ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการงอกของเมล็ด

เมล็ดที่เจริญเติบโตเต็มที่คือเมล็ดที่ได้ผ่านกระบวนการเปลี่ยนแปลงเป็นเมล็ดที่สุกแก่ สิ่งที่เกิดขึ้นในระหว่างการสุกแก่ คือ การสูญเสียน้ำและความชื้น เมล็ดที่เจริญเติบโตเต็มที่จะมีความชื้นประมาณร้อยละ 10-15 เมล็ดที่มีความชื้นต่ำ จะมีอัตราการหายใจและชีวเคมีต่างๆ ไปตลอด เมล็ดที่อยู่ในระยะที่พักตัว เมื่อใดที่มีสภาวะแวดล้อมต่างๆที่เหมาะสมสำหรับการงอกขึ้น เมล็ดที่ได้รับความชื้นพอเหมาะ มีออกซิเจนเพียงพอ และมีอุณหภูมิที่เหมาะสมที่งอกได้ การเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีของเมล็ดเริ่มถูกกระตุ้นใหม่ เมล็ดมีความชื้นสูง มีเมตาบอลิซึมเพิ่มขึ้น มีผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสัณฐานของเมล็ด ในที่สุดเกิดการงอกของเมล็ดได้ Koehler และคณะ (2007) ยังรายงานว่า แสง สารตัวกลางในการเพาะงอก การแช่ ระยะเวลาในการงอก ก็เป็นปัจจัยที่มีผลต่อการงอก ซึ่งแต่ชนิดของพืช ดังนั้นปัจจัยหลักที่เกี่ยวข้องกับการงอกของเมล็ดมีดังนี้

2.2.2.1 น้ำหรือความชื้น

เมล็ดที่นำมาทดสอบความงอกจะได้รับน้ำหรือความชื้นจากวัสดุเพาะโดยการดูดซับน้ำ ฉะนั้นน้ำหรือความชื้นในวัสดุเพาะต้องอยู่ในปริมาณที่พอเพียงที่เมล็ดจะดูดไปใช้ได้ หากวัสดุเพาะมีน้ำมากเกินไปจะกีดกั้นการดูดซึมออกซิเจนของเมล็ด ในขณะเดียวกันถ้าความชื้นในวัสดุเพาะต่ำเมล็ดจะงอกได้ช้าหรืออาจไม่งอก

2.2.2.2 ปริมาณอากาศ

ขบวนการงอกของเมล็ดที่เกี่ยวข้องกับเซลล์ที่มีชีวิตและต้องการพลังงาน จึงต้องการออกซิเจนสำหรับการหายใจ โดยทั่วไปเมล็ดจะงอกได้เมื่อมีความชื้นประมาณร้อยละ 20 ถ้ามีออกซิเจนมากขึ้นอัตราการงอกก็จะเพิ่มขึ้น แต่มีเมล็ดบางชนิดสามารถงอกได้ในที่มีออกซิเจนต่ำกว่าร้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ละ 20 เช่น ข้าว นอกจากนี้ คาร์บอนไดออกไซด์ยังมีส่วนเกี่ยวข้องกับการงอกของเมล็ด ปกติเมล็ดจะงอกได้ดีถ้าอากาศมีปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 0.03 ถ้ามีปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สูงมากอาจจะทำให้เมล็ดไม่งอกเลย

2.2.2.3 อุณหภูมิที่เหมาะสม

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

2.2.2.4 แสง

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

2.2.3 การเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีระหว่างการงอก (นงนุช, 2555)

2.2.3.1 การเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีระหว่างการงอก เมื่อเมล็ดได้รับน้ำเข้าไป ส่งผลให้ขบวนการสังเคราะห์ต่างๆ ภายในเซลล์เริ่มทำงาน โดยสังเคราะห์สารที่จำเป็นต่อการทำงานของเซลล์ ขบวนการย่อยสลาย และขบวนการลำเลียงสารอาหารที่เก็บสะสมไว้ นำไปใช้สำหรับการเจริญเติบโตของเอ็มบริโอให้สามารถเจริญเติบโตเป็นต้นกล้าที่ปกติ ซึ่งขบวนการต่างๆ สามารถอธิบายได้ดังนี้ **การสังเคราะห์สารที่จะเป็นต่อการทำงานของเซลล์** สารที่จำเป็นต่อการทำงานของเซลล์ ได้แก่ เอนไซม์ ดีเอ็นเอ และอาร์เอ็นเอ ซึ่งเกี่ยวข้องกับการสร้างโปรตีน จะถูกชักนำในการสังเคราะห์เพิ่มขึ้นด้วย เอนไซม์ที่เกี่ยวข้องคือ เอนไซม์ที่ถูกสร้างขึ้นขณะที่เมล็ดกำลังเจริญเติบโต จะถูกกระตุ้นให้ทำงาน เนื่องจากการเข้าไปของน้ำ เช่น อะมิเลส(amylase) และกลูโคซิเดส (glucocidase) เอนไซม์ 2 ตัวนี้ จะปรากฏขึ้นทันทีหลังจากเมล็ดพันธุ์ดูดน้ำแล้วเริ่มสังเคราะห์ขึ้นใหม่ โดยผ่านการควบคุมของกรดนิวคลิอิก (nucleic acid) โดยพบในเซลล์อะลิวโลน (aleulone) ในเมล็ดข้าว เอนไซม์ที่สังเคราะห์ขึ้นได้แก่ อะมิเลส, ไรโบนิวคลิเอส(ribonuclease), โปรติเอส(protease) และไลเปส (lipase) เป็นต้น พลังงานที่ต้องใช้ในการสังเคราะห์โปรตีนต่างๆ ได้มาจากเอทีพี (ATP) ซึ่งผลิตในไมโทคอนเดรียที่ตื่นตัวภายหลังจากเมล็ดได้รับน้ำเข้ามา

2.2.3.2 การย่อยสลายสารอาหารที่สะสมในเมล็ดพันธุ์ สารอาหารที่เมล็ดพันธุ์เก็บสะสมไว้ในส่วนเนื้อเยื่อสะสมอาหาร ได้แก่ คาร์โบไฮเดรต โปรตีน และไขมัน จะถูกย่อยสลายโดยเอนไซม์ที่สร้างขึ้นมา คาร์โบไฮเดรตจะถูกย่อยสลายโดยเอนไซม์ ไฮโดรเลส (hydrolase) เช่น อะมิเลส และฟอสฟอริเลส(phosphorelase) ทำให้ข้าวกล้องงอกมีรสหวาน โปรตีนถูกย่อยโดยเอนไซม์ โปรติเอส (protease) ซึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นเอนไซม์ที่สร้างขึ้นมาใหม่ในระหว่างการงอกของเมล็ด ได้กรดอะมิโนเกิดขึ้นหลายชนิดที่สำคัญ ได้แก่ กรดแกมมาอะมิโนบิวทิริก (gamma aminobutyric acid) หรือกาบา (GABA) จากการสลายตัวของสารพอลิเมอร์ที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ต่างๆ เหล่านี้จึงทำให้เกิดสารชีวภาพที่มีคุณค่าต่อร่างกาย อีกทั้งยังช่วยปรับปรุงคุณภาพด้านประสาทสัมผัสของเมล็ดธัญพืช

จากการเปลี่ยนแปลงชีวเคมีในระหว่างการงอก จะเกิดการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นดังนี้ การเปลี่ยนแปลงโปรตีนและกรดอะมิโน การเปลี่ยนแปลงคาร์โบไฮเดรตและความหนืด การเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักแห้ง การเปลี่ยนแปลงของสารต่อต้านคุณค่าทางโภชนาการ

2.3. โครงสร้างที่สำคัญของต้นกล้าพืชใบเลี้ยงคู่

ต้นกล้าของพืชใบเลี้ยงคู่มีองค์ประกอบที่สำคัญดังต่อไปนี้คือ

2.3.1 ราก มีหน้าที่ยึดต้นกล้าให้ติดกับดิน ดูดน้ำและแร่ธาตุอาหารส่งไปให้ใบเลี้ยงและยอดอ่อน รากแก้วคือ รากที่เจริญเติบโตและพัฒนามาจากรากอ่อนเรียกว่า primary root เมื่อเมล็ดเริ่มงอก รากแก้วมักมีสีขาว ยาวรี และยืดตัวอย่างรวดเร็ว ที่ปลายรากแก้วมีรากขนอ่อนจำนวนมาก เมื่อต้นกล้าเจริญขึ้น จะมีรากแขนง (secondary root) แตกออกมาจากรากแก้ว บางครั้งอาจมีรากแขนงแตกออกมาจากส่วนของไฮโปคอททิล (hypocotyls) หรือส่วนที่อยู่เหนือขึ้นไป

2.3.2 ไฮโปคอททิล(Hypocotyl)คือ ส่วนของต้นกล้าที่อยู่ระหว่างปลายรากแก้วกับข้อของใบเลี้ยง (cotyledonary node) ในเมล็ดพืชที่มีการงอกแบบ epigeal germination นั้น ไฮโปคอททิล เป็นส่วนที่ยืดตัวดึงเอาใบเลี้ยงให้โผล่ขึ้นไปเหนือผิวดิน สำหรับเมล็ดที่มีการงอกแบบ hypogeal germination ส่วนของไฮโปคอททิล ไม่มีการยืดตัว ภายในไฮโปคอททิล มีท่อน้ำ ท่ออาหาร (vascular tissue) ทำหน้าที่ลำเลียงอาหาร น้ำและแร่ธาตุต่างๆจากรากขึ้นไปให้ส่วนของลำต้น และขนย้ายอาหารที่สร้างจากส่วนของลำต้นลงไปสู่ราก

2.3.3 อีพิคอททิล(Epicotyl)คือ ส่วนของต้นกล้าที่อยู่ระหว่างข้อของใบเลี้ยงกับยอดอ่อนหรือใบจริงคู่แรก ในเมล็ดพืชที่มีการงอกแบบ hypogeal germination ซึ่งส่วนของใบเลี้ยงตกค้างอยู่ในเปลือกใต้ผิวดินนั้น อีพิคอททิลเป็นส่วนที่ยืดตัวดึงเอายอดอ่อนให้โผล่ขึ้นไปเหนือผิวดิน ในพืชบางชนิดบนอีพิคอททิลจะพบใบเกล็ด (scale leaf) อยู่ใต้ใบจริง ส่วนในพืชที่เมล็ดมีการงอกแบบ epigeal germination นั้น ส่วนของอีพิคอททิลมีการยืดตัวเพียงเล็กน้อย ภายในอีพิคอททิลมีท่อน้ำท่ออาหาร ซึ่งเชื่อมต่อระหว่างท่อน้ำท่ออาหารในไฮโปคอททิลกับท่อน้ำท่ออาหารในส่วนของใบอ่อนและยอดอ่อน

2.3.4 ใบเลี้ยง (Cotyledon) เป็นส่วนหนึ่งของคัพภะ เมื่อเมล็ดงอก ใบเลี้ยงของเมล็ดที่มีการงอกแบบ epigeal germination เป็นส่วนแรกของต้นกล้าที่ทำหน้าที่สังเคราะห์แสง ใบเลี้ยงในต้นกล้าแบบนี้มีการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพิ่มขนาดใหญ่ขึ้นเมื่อโผล่ขึ้นมาเหนือผิวดิน หน้าที่ที่สำคัญของใบเลี้ยง คือ การสร้างอาหารให้กับต้นกล้าในระยะแรกของการเจริญเติบโต จนกว่าใบจริงจะทำหน้าที่สร้างอาหารเองได้ (จวงจันทร์, 2529)

2.3 ผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ (อรอนงค์, 2538)

2.3.1 คุณสมบัติและการเปลี่ยนแปลงของวัตถุดิบในผลิตภัณฑ์เบเกอรี่

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

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

2.3.1.3 เกลือ ตามความหมายทางวิทยาศาสตร์นั้น หมายถึงสารประกอบที่เกิดจากปฏิกิริยาของกรดกับเบส ซึ่งมีผลทำให้โลหะธาตุหรือธาตุคล้ายโลหะจากเบสเข้าแทนที่ไฮโดรเจนในโมเลกุลกรด ได้เกลือกับน้ำจึงทำให้เกลือที่เกิดจากกรดและเบสต่างกันมีคุณสมบัติต่างกันไป เช่นเกลือกรดมีคุณสมบัติเป็นกรดเหลืออยู่ เกลือด่างมีสมบัติของด่างอยู่ด้วย แต่สำหรับเกลือธรรมดาจะหมายถึงโซเดียมคลอไรด์ ซึ่งเป็นผลึกสีขาวมีรสเค็ม มีความบริสุทธิ์เกือบ 100%

2.3.1.4 ผงฟู คุณภาพหรือประสิทธิภาพของผงฟูที่ดีนั้น มิใช่ขึ้นอยู่กับปริมาณก๊าซที่ผลิตทั้งหมดเท่านั้น แต่จะขึ้นอยู่กับอัตราการเกิดก๊าซของผงฟูว่าเหมาะสมและให้ผลต่อลักษณะของผลิตภัณฑ์ได้ดีมากน้อยแค่ไหน ซึ่งลักษณะที่ดีของผงฟูนั้น ควรเกิดปฏิกิริยาให้ก๊าซในขณะผสม ให้ก๊าซน้อยหลังการผสมและก่อนอบ และจะให้ก๊าซเต็มที่จนหมดแต่เป็นไปอย่างสม่ำเสมอตั้งแต่เริ่มเข้าอบจนกระทั่งสุก จึงจะมีผลให้ลักษณะเนื้อขนมนุ่มมีรูพรุนคล้ายฟองน้ำอย่างสม่ำเสมอ และอยู่ตัวไม่ยุบหลังจากนำออกจากเตาอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.1.5 น้ำตาล เป็นวัตถุดิบที่ให้ความหวานแก่ผลิตภัณฑ์เป็นหลัก ช่วยในการอุ้มน้ำ ให้สีน้ำตาล รวมทั้งกลิ่นรสและรสชาติของผลิตภัณฑ์เป็นที่ยอมรับแก่ผู้บริโภค น้ำตาลจะดูดซับน้ำช่วยให้สตาร์ชหรือกัมจากพืชหรือโปรตีนเกิดเจลช้าและมีลักษณะนุ่ม ทำให้เนื้อสัมผัสขนมนุ่ม มีปริมาตรเพิ่มและสมมาตร

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

เนยสด (butter) เป็นผลิตภัณฑ์ที่ทำมาจากไขมันที่มีในน้ำนม เป็นอิมัลชันของน้ำในน้ำมันที่มีส่วนประกอบของไขมันนม 80-81% และน้ำ 14% ถ้าเป็นเนยสดที่มีรสเค็มจะมีเกลือในส่วนประกอบอีก 1-3% นอกจากนี้ จะมีอากาศแทรกอยู่ในเนยสดเนื่องจากกระบวนการผลิตอีก 1-5% เนยสดนี้มีคุณสมบัติในการตีให้เป็นครีมได้ไม่ดี และมีจุดหลอมละลายที่อุณหภูมิต่ำเมื่อนำไปใช้ในส่วนผสมของเค้กจึงมักจะทำให้เค้กมีปริมาตรต่ำ เนื้อเค้กหยาบกว่าการใช้เนยขาวหรือมาร์การีนที่ดัดแปรคุณสมบัติให้เกิดครีมและหลอมละลายที่อุณหภูมิสูงกว่า แต่ช่างทำขนมอบก็ยังนิยมใช้เนยสดอยู่เนื่องจากกลิ่นรสเฉพาะตัวของเนยสด เพื่อทำผลิตภัณฑ์ขนมอบอย่างพิเศษ โดยใช้เนยสดล้วนและระมัดระวังกรรมวิธีการผลิต หรือใช้ร่วมกับไขมันอื่นที่มีลักษณะเหมาะสมในสัดส่วนที่พอเหมาะให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่ดีมีคุณภาพตามความต้องการของผู้บริโภค

2.3.1.7 น้ำนม เป็นส่วนผสมลักษณะอิมัลชันของเม็ดไขมันเล็กๆในน้ำซึ่งละลายโปรตีน, น้ำตาล และแร่ธาตุต่างๆ โดยแบ่งเป็นส่วนผสมหลัก 2 ส่วนคือ ส่วนที่เป็นน้ำ 87.75% และส่วนที่เป็นของแข็ง 12.25% สำหรับส่วนของแข็งนี้ก็ประกอบด้วยสารอาหารต่างๆ คือ ไขมัน โปรตีน แร่ธาตุ แล็กโทส ทำให้น้ำนมมีความถ่วงจำเพาะมากกว่าน้ำธรรมดา

คุณลักษณะและคุณสมบัติของสารอาหารที่เป็นส่วนของแข็งในน้ำนมเหล่านี้มีผลต่อผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ที่ใส่น้ำนมในส่วนผสมด้านกลิ่นรส สี ความนุ่ม ความคงตัว และคุณค่าทางอาหาร เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.1.8 ไข่ ส่วนของไข่ซึ่งมีทั้งไข่แดงและไข่ขาวรวมกันนั้นมีคุณสมบัติที่ดีต่อผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ ที่สำคัญคือ ให้คุณค่าทางอาหาร ทำให้ขนมขึ้นฟู ช่วยให้ไส้คัสตาร์ดข้น ช่วยรวมส่วนผสมอื่นให้เข้าเป็นเนื้อเดียวกัน และมีลักษณะเป็นอิมัลซิไฟเออร์ ทำให้เม็ดไขมันรวมตัวกับส่วนอื่นที่เป็นน้ำ เช่น มายองเนส และช่วยให้ไอศกรีมและลูกกวาดมีเนื้อเนียนไม่เป็นผลึก

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

2.3.2 ขนมอบปราศจากกลูเต็น (ดวงฤทัย และคณะ, 2555)

กลูเต็น (Gluten) เป็นโปรตีนที่เกิดขึ้นในระหว่างการนวดแป้งสาลีด้วยน้ำ โดยเกิดจากการรวมตัวกันของโปรตีนไกลอะดีน (Gliadin) และโปรตีนกลูเตนิน (Glutenin) ด้วยพันธะทางเคมีหลายชนิด ได้แก่ พันธะไดซัลไฟด์ พันธะโควาเลนต์ เป็นต้น ทำให้เกิดเป็นกลูเต็น ที่มีความเหนียว และมีความยืดหยุ่นสูง ซึ่งการยืดตัวของกลูเต็นมีผลทำให้โดของขนมปังสามารถอุ้มก๊าซที่เกิดขึ้นในระหว่างการหมักแป้งสาลีด้วยยีสต์ได้ดี ทำให้ขนมขึ้นฟู

โปรตีนไกลอะดีน และโปรตีนกลูเตนิน ทั้ง 2 ชนิดนี้เป็นโปรตีนที่พบมากที่สุดในข้าวสาลี และมีปริมาณใกล้เคียงกัน นอกจากนั้นยังสามารถพบไกลอะดีนและกลูเตนินได้ในข้าวบาร์เลย์ และข้าวไรน์

หน้าที่ของกลูเต็น จากคุณสมบัติของกลูเต็น ที่มีความเหนียว และความยืดหยุ่นสูง ทำให้โดของขนมปัง สามารถกักเก็บก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ที่เกิดขึ้นในระหว่างการหมักแป้งขนมปังด้วยยีสต์ได้ดี ทำให้โดของขนมปังขึ้นฟูได้หลายเท่า และเมื่อนำไปอบความร้อนทำให้โปรตีนเสียสภาพ เกิดการจับตัวกับส่วนที่เป็นแป้ง เกิดเป็นโครงสร้างของขนมปัง ทำให้ขนมปังไม่ยุบตัวหลังจากอบจนขนมปังสุก

การแพ้ต่อกลูเต็น (Celiac Desease) การแพ้ต่อกลูเต็นเรียกว่า โรคซีลิแอค ซึ่งแตกต่างจากการแพ้โปรตีนในข้าวสาลี โดยผู้ป่วยจะไวต่อการรับประทานกลูเต็น เนื่องจากกลูเต็นจะกระตุ้นให้เปิดปฏิกิริยาในระบบภูมิคุ้มกันจนเกิดการหลั่งสาร IgA ซึ่งเป็นคนละชนิดกับการแพ้โปรตีนในแป้งสาลี เมื่อรับประทานอาหารที่มีส่วนผสมหรือทำจากแป้งสาลี กลูเต็นจะผ่านเข้าสู่ลำไส้เล็ก จากนั้นเม็ดเลือดขาวจะเข้ามาจับกลูเต็นเพื่อทำลาย โดยหลั่งสารอักเสบที่เซลล์ผนังลำไส้ ทำให้ไม่สามารถดูดซึมสารอาหารได้ นอกจากนี้ยังพบว่าผู้ป่วยมีภาวะย่อยน้ำตาลในนมไม่ได้ (Lactose Intolerance) จึงมีอาการท้องเสียร่วมด้วย ปัจจุบันพบว่า คนทั่วโลกแพ้กลูเต็นเป็นจำนวนมาก เมื่อได้รับกลูเต็นเป็นเวลานาน เด็กจะมีภาวะทุพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โภชนาการ เติบโตช้า ขาดสารอาหาร เนื่องมาจากลำไส้เล็กไม่สามารถดูดซึมสารอาหารได้ จนนับเป็นปัญหาสาธารสุขที่สำคัญไปทั่วโลก ส่วนอาหารที่สามารถใช้ทดแทน ได้แก่ แป้งข้าวเจ้า แป้งข้าวเหนียว แป้งข้าวโพด ซึ่งปัจจุบันมีการผลิตแป้งข้าวเจ้าที่มีสี เช่น แป้งข้าวกล้อง แป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่ และแป้งข้าวหอมนิล (สวามินี และ ณัฐิรา, 2559)

แป้งข้าวเจ้าเป็นแป้งที่ได้รับความสนใจในการนำมาพัฒนาเป็นขนมปังหรือขนมอบปลอดกลูเต็นมาก เพราะแป้งข้าวเจ้ามีคุณสมบัติที่ดีหลายประการ ได้แก่ เป็นแป้งที่มีลักษณะเป็นผงละเอียดสีขาว มีรสหวาน ย่อยง่าย และในแป้งข้าวเจ้าไม่มีโปรตีนไกลอะดีน (Gliadin) ที่จะรวมตัวกับโปรตีนกลูเตนิน (Glutenin) ซึ่งเป็นโปรตีนที่พบมากในแป้งสาลี ทำให้เกิดเป็นกลูเต็น

2.4 สารที่มีคุณสมบัติเป็นแอนติออกซิแดนท์

สารแอนติออกซิแดนท์ หรือสารต้านออกซิเดชัน (antioxidants) คือสารที่ทำหน้าที่ต่อต้านหรือยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชัน (oxidation) สารเหล่านี้อาจมีในอาหารตามธรรมชาติ เช่น วิตามินซี วิตามินอี และเบต้า-แคโรทีน หรือเป็นสารเคมีที่สังเคราะห์ขึ้นเพื่อใช้เป็นวัตถุเจือปนอาหาร เช่น BHA, BHT, gallate เป็นต้น ในร่างกายจะมีสารแอนติออกซิแดนท์เพื่อทำหน้าที่ยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชัน โดยทำหน้าที่กำจัดอนุมูลอิสระ (free radical scavengers) ป้องกันไม่ให้อนุมูลอิสระทำปฏิกิริยากับสารชีวโมเลกุลต่างๆ ที่จะก่อผลเสียต่อร่างกาย

อนุมูลอิสระ (free radicals) คือ กลุ่มของสารที่มีอิเล็กตรอนวงนอกสุดไม่เป็นจำนวนคู่ มี unpaired electron ซึ่งทำให้ไม่เสถียร ว่องไวในการเข้าทำปฏิกิริยากับสารชีวโมเลกุลอื่นๆ เช่น ไขมัน โปรตีน คาร์โบไฮเดรต กรดนิวคลีอิก ฯลฯ ซึ่งผลจากการทำปฏิกิริยาอาจก่อให้เกิดความผิดปกติขึ้นในเซลล์ ผนังเซลล์ เนื้อเยื่อ หรืออวัยวะต่างๆ และอาจทำให้เกิดโรคบางชนิด เช่น โรคหัวใจและหลอดเลือด มะเร็งในบางอวัยวะ โรคข้ออักเสบ ต้อกระจก ฯลฯ

อนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นในร่างกายตามปกติมีหลายชนิด ตัวอย่างเช่น superoxide radical ($O_2^{\bullet-}$), hydroxyl radical ($OH^{\bullet}$), peroxy radical ($ROO^{\bullet}$), nitric oxide radical ($NO^{\bullet}$) และ non-radical derivatives เช่น ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2), singlet oxygen (O_2), ozone (O_3), hypochlorous acid (HOCl) เป็นต้น โดยปกติอนุมูลอิสระที่เกิดจากกระบวนการเมตาบอลิซึมในเซลล์เมื่อมีการใช้ออกซิเจน จะมีระบบเอนไซม์หลายชนิดทำหน้าที่กำจัด เช่น catalase, glutathione peroxidase กระตุ้นการเปลี่ยนไฮโดรเจนเปอร์ไซด์เป็นน้ำและออกซิเจน หรือ superoxide dismutase เปลี่ยน superoxide anions เป็น H_2O_2 และยังมีสารโมเลกุลเล็กอีกหลายชนิดช่วยในการกำจัดอนุมูลอิสระ เช่น วิตามินซี วิตามินอี กรดยูริก แคโรทีนอยด์ ยูบิควิโนน (ubiquinone) เป็นต้น การกำจัดอนุมูลอิสระจะช่วยป้องกันไม่ให้เกิดปฏิกิริยาลูกโซ่ (chain reaction or propagation) ที่จะทำให้เกิดอนุมูลอิสระเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในภาวะที่ร่างกายเกิดสภาวะ oxidative stress คือสภาวะที่ร่างกายไม่สามารถป้องกันหรือควบคุมปริมาณอนุมูลอิสระให้อยู่ในระดับที่ไม่ก่ออันตราย เช่น เมื่อมีอนุมูลอิสระจากกระบวนการเมตาบอลิซึมเกิดขึ้นในปริมาณมาก เช่น ผิวหนังได้รับรังสีอัลตราไวโอเล็ตกระตุ้นให้เกิดอนุมูลอิสระมากขึ้นหรือการได้รับยา สารเคมีบางชนิด หรือมีโรคบางชนิด หรือได้รับอนุมูลอิสระที่มาจากสิ่งแวดล้อมที่เป็นพิษ โดยการหายใจเอาควันพิษที่มีอนุมูลอิสระเข้าปอด เช่น ควันบุหรี่ ควันจากท่อไอเสียรถยนต์ หรือมลพิษจากโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ ในสภาวะ oxidative stress นี้ร่างกายจะต้องการสารแอนติออกซิแดนท์จากอาหารในปริมาณที่เพิ่มมากขึ้นกว่าปกติ

ผักและผลไม้เป็นแหล่งที่ดีของสารแอนติออกซิแดนท์จากอาหาร ซึ่งในพืชจะมีสารที่ทำหน้าที่เป็นแอนติออกซิแดนท์ทั้งที่เป็นสารอาหารและไม่ใช่สารอาหาร เรียกว่า phytochemicals ซึ่งเป็นสารจากพืชที่ไม่ใช่สารอาหารแต่มีประโยชน์ต่อร่างกาย ในปัจจุบันทุกประเทศจะมีการแนะนำให้ประชากรบริโภคผักผลไม้เป็นประจำ เนื่องจากมีข้อมูลจำนวนมากที่ยืนยันว่า ชุมชนที่บริโภคผักและผลไม้ในปริมาณมากจะมีอุบัติการโรคมะเร็งในบางอวัยวะน้อย เช่น มะเร็งในทางเดินอาหาร มะเร็งปอด มะเร็งต่อมลูกหมาก มะเร็งเต้านม เป็นต้น (Block และคณะ, 1992)

สารแอนติออกซิแดนท์ที่มาจากอาหารตามธรรมชาติแบ่งได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่ คือ กลุ่มที่เป็นสารอาหารและกลุ่มที่ไม่ใช่สารอาหาร ดังนี้

สารแอนติออกซิแดนท์ที่เป็นสารอาหาร (nutrient antioxidants) ที่สำคัญ ได้แก่ วิตามินซี (ascorbic acid) วิตามินอี (α-tocopherol) และเบต้า-แคโรทีน (beta-carotene) ซึ่งอาจเรียกว่า provitamin A เพราะสามารถเปลี่ยนเป็นวิตามินเอได้ในทางเดินอาหาร วิตามินซีละลายน้ำ ส่วนวิตามินอีและเบต้า-แคโรทีนมีประสิทธิภาพในการป้องกันปฏิกิริยาลูกโซ่ที่กระตุ้นโดยอนุมูลอิสระ (chain breaking antioxidants) วิตามินทั้งสามนี้อาจทำหน้าที่ตามลำพัง หรือทำงานร่วมกันในการป้องกันปฏิกิริยาออกซิเดชัน

สารแอนติออกซิแดนท์ที่ไม่ใช่สารอาหาร (non-nutrient antioxidants) ผักและผลไม้นอกจากเป็นแหล่งของวิตามินซี และเบต้า-แคโรทีนแล้วยังมีสารที่เรียกว่าไฟโตเคมิคัล ซึ่งมีการศึกษาพบว่า สารเหล่านี้มีคุณสมบัติเป็นแอนติออกซิแดนท์ช่วยกำจัดอนุมูลอิสระได้ และช่วยป้องกันโรคบางชนิด เช่น มะเร็ง โรคหัวใจและหลอดเลือด เป็นต้น (Bravo, 1998) สารเหล่านี้ส่วนใหญ่มีโครงสร้างเป็นสารประเภทฟีนอล (phonolic structure, C_6) ซึ่งอาจมีโครงสร้างที่มีฟีนอลเพียงโมเลกุลเดียวหรืออาจประกอบด้วยฟีนอลจำนวนมาก (polyphenols) เชื่อมกันเป็นสารโมเลกุลใหญ่ (highly polymerized compounds) อาจมีน้ำหนักโมเลกุลมากกว่า 30000 Da เช่น ลิกนิน หรือแทนนิน เป็นต้น

ในอดีตสารโพลีฟีนอลจัดเป็นสารที่ไม่ต้องการให้มีในอาหารเพราะบางชนิดสามารถต้านการใช้ประโยชน์ของสารอาหาร เช่น ตกตะกอนโปรตีนหรือคาร์โบไฮเดรต ทำให้ไม่ถูกดูดซึมหรือไม่ถูกย่อย หรือทำให้ผักและผลไม้บางชนิดมีสีน้ำตาลเมื่อผ่านการปอก หั่นหรือคั้นน้ำ และสารเหล่านี้ทำให้อาหารจากพืชบางชนิดมีรสฝาดหรือขม แต่ก็มีการใช้ประโยชน์จากสารพอลีฟีนอลในการผลิตอาหารบางชนิด ตัวอย่างเช่น การผลิตใบชา ในกระบวนการผลิตจะทำให้เกิดพอลิเมอร์ของสารโพลีฟีนอล ซึ่งทำให้ใบชา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีน้ำตาลดำและมีกลิ่นหอมของชา หรือการผลิตผักและผลไม้ตากแห้งบางชนิดต้องการให้เกิดสีน้ำตาลน่ารับประทาน เช่น ตังฉ่าย ไชโป๊ กล้วยตาก เป็นต้น

ในปัจจุบันมีการศึกษาพบว่าสารกลุ่มโพลีฟีนอลหลายชนิดมีคุณสมบัติเป็นแอนติออกซิแดนท์ ช่วยกำจัดอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นในร่างกายได้ ทำให้โพลีฟีนอลได้รับความสนใจ มีการนำมาใช้เป็นส่วนผสมของอาหารเพื่อสุขภาพ หรือใช้เป็นส่วนประกอบผลิตภัณฑ์เสริมอาหารต่างๆ เช่น อัดเป็นเม็ดหรือบรรจุในแคปซูล เป็นต้น

สารโพลีฟีนอลที่มีมากในพืช ได้แก่ กรดฟีนอลิก (phenolic acids) ฟลาโวนอยด์ (flavonoids) และแทนนิน

ฟลาโวนอยด์เป็นโพลีฟีนอลที่มีในพืชทั่วไป โครงสร้างทางเคมีประกอบด้วยฟีนอล ตั้งแต่ 2 หมู่ขึ้นไป ตัวอย่างสารฟลาโวนอยด์ ได้แก่

-ฟลาโวนส์ (flavones) ได้แก่ นาริงจินิน (naringinin) และ เฮสเพอริดิน (hesperidin) มีมากในผลไม้ตระกูลส้มและลูกพรุน

-ฟลาโวนอลส์ (flavonols) เช่น เคอซิติน (quercetin) ไมริซิติน (myricetin) และเคมเฟอรอล (kaemferol) มีมากในชาเขียว ในใบชาดำเป็น theaflavins

-ไอโซฟลาโวนส์ (isoflavones) เช่น เจนนิสตีน (genistein) และไดด์เซน (daidzein) มีมากในพืชตระกูลถั่ว

-แอนโธไซยานิน (anthocyanins) เป็นรงควัตถุที่ให้สีในพืช เช่น สีของดอกไม้ ผลไม้ มีคุณสมบัติละลายน้ำได้ (มลศิริ, 2545)

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.5.1 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 mg glucose/100 g wt) เพิ่มขึ้น เมื่อเทียบกับเมล็ดปกติ (129 mg glucose/100 g wt) เมล็ดถั่วลิสงงอกที่เวลาเพาะ 72 ชั่วโมง มีปริมาณโปรตีน (32.91%) เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับเมล็ดปกติ (29.51%) เมล็ดงาดำงอกที่เวลาเพาะ 24 ชั่วโมงมีปริมาณไขมัน (50.07%) ลดลงเมื่อเทียบกับเมล็ดปกติ (62.38%) มีปริมาณกรดโอเลอิก (41.35%) เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับเมล็ดปกติ (40.49%) สำหรับเมล็ดข้าวโพดงอกมีปริมาณโปรตีนและเยื่อใย (9.02% และ 2.61%) เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับเมล็ดปกติ (8.47% และ 2.07%)

ภณิดา และเสาวลักษณ์ (2550) รายงานการพบสาร GABA ในข้าวขาว 1.70 มิลลิเมตร/100 กรัม ข้าวกล้อง 6.04 มิลลิลิตร/100 กรัม ข้าวกล้องงอกที่งอก 24 ชั่วโมง 11.02 มิลลิลิตร/100 กรัม ข้าว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กล้องงอกที่งอก 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–อะมิเลสค่าความคงตัวของแป้งสุกและค่าการสลายตัวในด่างเพิ่มขึ้นแต่มีปริมาณโปรตีนปริมาณอะมิโลสค่าความแข็งของข้าวหลังการหุงสุกระยะเวลาในการหุงสุกและร้อยละการดูดน้ำของเมล็ดลดลงซึ่งเป็นแนวโน้มช่วยปรับปรุงคุณภาพการรับประทานให้ดีขึ้น

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 และค่าการคืนตัวสูงกว่าแป้งข้าวกล้องงอกที่แช่ในสารละลายบัฟเฟอร์ซิเทรต pH 3 และสารละลายไคโตซาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

pH 3 สำหรับการแช่ข้าวกล้องในทุกสารละลาย เมื่อใช้ระยะเวลาในการงอกเพิ่มขึ้น ค่าความหนืดสูงสุดและค่าการคืนตัวลดลง แต่มีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ และปริมาณ GABA อิสระเพิ่มขึ้นVaranyanond และคณะ (2005) รายงานว่า การตรวจสอบสาร GABA ในคัพภะข้าวหอมไทย 2 พันธุ์คือ ข้าวขาวดอกมะลิ 105 และ ปทุมธานี 1 โดยพบว่าการนำคัพภะข้าวแช่น้ำเป็นเวลา 4 ชั่วโมงที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสทำให้เกิดสาร GABA สูงสุดในข้าวหอมปทุมธานีส่วนข้าวขาวดอกมะลิ 105 มีสารต่ำกว่าเล็กน้อย

Alexander และคณะ (1984) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของสารอาหารในข้าวบาร์เลย์เพาะงอกโดยนำข้าวบาร์เลย์แช่ในน้ำปริมาณ 3 เท่าของข้าวบาร์เลย์เป็นเวลา 6 ชั่วโมง และทำการเพาะงอกที่ 22°C ในสภาวะทั้งที่มีแสงและมืด โดยมีการงอกอย่างน้อยที่สุด 90% ต้นกล้างอกมีความยาว 7 เซนติเมตรนำต้นกล้างอกที่ได้ไปทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งแล้วบดเป็นผงพบข้าวบาร์เลย์งอกมีปริมาณเพิ่มขึ้นของค่าเถ้า ใยอาหาร โปรตีน ไขมัน วิตามินซี Zn และ P ทั้งที่เพาะงอกในที่มีแสง(84 ชั่วโมง) และในที่มืด (120 ชั่วโมง) การเพาะในที่มีแสงทำให้มีปริมาณ Caและ Fe เพิ่มขึ้น ในขณะที่การเพาะในที่มืดเพิ่มวิตามินบี 2 ปริมาณ phytic acid ลดลงหลังการเพาะงอก คุณภาพของโปรตีนดีขึ้นเนื่องจากมีค่า protein efficiency ratio (PER), net protein ratio (NPR), and net protein utilization (NPU) สูงขึ้น สรุปผลทั้งหมดพบว่าสภาวะที่เพาะในที่มืดเป็นสภาวะที่เหมาะสมมากกว่าการเพาะในที่มีแสง

Lui และคณะ (2005) ศึกษากิจกรรมของเอนไซม์กลูตาเมทดีคาร์บอกซิเลสในข้าวญี่ปุ่นพันธุ์ไฮมิโนริ โดยแช่ข้าวในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ 0.5 mM และ สารละลายเมอร์คิวริกคลอไรด์ 1 mMที่เวลาต่างกัน พบว่า การแช่ข้าวในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ 4 ชั่วโมง ให้กิจกรรมของเอนไซม์กลูตาเมทดีคาร์บอกซิเลสเพิ่มขึ้นร้อยละ 58 เทียบกับการแช่ในน้ำกลั่นที่สภาวะเดียวกัน ขณะที่การแช่ข้าวในสารละลายเมอร์คิวริกคลอไรด์ 4 ชั่วโมง ยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์กลูตาเมทดีคาร์บอกซิเลสเกือบทั้งหมดKomatsuzuki และคณะ (2007) ศึกษาการใช้สภาวะของระยะเวลาการแช่ข้าวกล้องด้วยสภาวะที่แตกต่างกัน พบว่าการแช่ที่เวลา3 ชั่วโมง แล้วบ่มด้วยก๊าซที่ 35°C เป็นเวลา 21 ชั่วโมง เพื่อให้เกิดการงอกพบว่าข้าวกล้องงอกมีสาร GABA สูงกว่าการบ่มที่สภาวะปกติของอากาศและรายงานว่า การแช่ข้าวแล้วนำไปบ่มต่อ ให้สาร GABA สูงกว่าการแช่เพียงอย่างเดียวไปตลอดจนข้าวงอก

Bohn และคณะ (2008) รายงานว่า การเพาะงอกในธัญพืชอาจจะลดปริมาณสารยับยั้งสารทางโภชนาการ เช่นสาร phytic acid โดยการย่อยของเอนไซม์ phytaseทำให้เกิดการปลดปล่อยสาร phosphate, inositol และเกลือแร่ต่างๆที่เป็นประโยชน์ต่อร่างกาย

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

145230

Donkor และคณะ (2012) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของสารสำคัญต่างๆของธัญพืช 7 ชนิด คือ ข้าวสาลี ข้าวโอ๊ต ข้าวบาร์เลย์ ข้าวไรน์ ข้าวฟ่าง บัควีท และ ข้าวกล้อง โดยทำการเพาะธัญพืชดังกล่าวเป็นเวลา 5 วัน ในสภาวะมืด ควบคุมอุณหภูมิและความชื้นที่ 16.5°C, 98 %RH ตามลำดับ พบว่า ธัญพืชเพาะงอกโดยเฉพาะข้าวไรน์มีปริมาณของกลุ่มสารประกอบฟีนอลสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ Radical scavenging activities ของสารประกอบฟีนอลของธัญพืชไม่งอกอยู่ในช่วง 13%-73% และของธัญพืชเพาะงอกทุกชนิดอยู่ในช่วง 14-53% สาร Inositol phosphate (InsP) 4, 5 and 6 พบได้ในธัญพืชทุกชนิด แต่InsP 6 พบในปริมาณที่ต่ำธัญพืชงอกทุกชนิดที่ศึกษามีสาร GABA สูงขึ้นกว่าที่ไม่งอกในการศึกษายังสรุปได้ว่า ข้าวบาร์เลย์งอก ข้าวฟ่างงอกและข้าวไรน์งอกมีศักยภาพสูงในการเป็นธัญพืชที่เมื่อนำเพาะงอกแล้วให้สารโภชนาการและสารสำคัญต่างๆในปริมาณสูง

Liu และ คณะ (2014) ศึกษาผลของการแช่เมล็ดข้าวด้วย prolineภายใต้สภาวะความเครียดจากเกลือ ที่มีผลกับการงอกของข้าว โดยทดลองการแช่ในสาร prolineที่ความเข้มข้น 0, 5, 15, 30 และ 45 mmol/L เป็นเวลา 2 วัน จากนั้นนำมาเพาะในเพลทที่เติมสารละลายโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้น 100 mmol/L เปรียบเทียบกับที่เพาะโดยใช้น้ำกลั่น โดยเพาะให้งอกในที่มืด หลังจากทดสอบพบว่า การแช่ proline15 และ 30 mmol/L ช่วยเพิ่มการทำงานของเอนไซม์อะมิเลส

Thammapat และคณะ (2015) ศึกษาผลจากความเครียดของเกลือโซเดียมคลอไรด์และอุณหภูมิที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงสารสำคัญในข้าวเหนียวฮาง โดยได้ทำการแช่ข้าวเหนียว 500 กรัม ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้นร้อยละ 0, 1.5 และ 3 ในอัตราส่วน 1:3 (w/v) เป็นเวลา 6 ชั่วโมง และแช่ข้าวเหนียวในน้ำกลั่นที่อุณหภูมิต่างกันที่ 30, 45 และ 60 องศาเซลเซียส โดยเปรียบเทียบกับข้าวเหนียวที่ไม่ได้แช่ พบว่าโซเดียมคลอไรด์และอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น ทำให้สารสำคัญในข้าวเหนียวฮาง ได้แก่ gamma-oryzanolกรดไขมัน และปริมาณฟีนอลทั้หมด มีปริมาณเพิ่มขึ้น

2.5.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาควินัว

Alvarez-Jubete และคณะ (2010) ศึกษาผลของการเพาะงอกและการอบที่มีต่อองค์ประกอบฟีนอลและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของควินัว อมาแรนท์บัควีท และข้าวสาลี เมื่อวัดความสามารถในการรีดิวซ์เฟอริกด้วยวิธี FRAP assay พบว่า ควินัว ที่ผ่านการเพาะงอก ทำให้มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระสูงขึ้นที่ 164 mgTE/100g dwb ซึ่งเพิ่มขึ้นจากเมล็ดที่ไม่ได้เพาะ (92.1 mgTE/100g dwb) ซึ่งเมื่อทำการอบขนมปัง พบว่าความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของควินัวลดลง (71.4 mgTE/100g dwb)

Dini และคณะ (2010) ศึกษาฤทธิ์ของสารต้านอนุมูลอิสระ และสารต้านอนุมูลอิสระในเมล็ดควินัวขมและหวานก่อนและหลังการประกอบอาหาร โดยได้ทำการวิเคราะห์ ฟีนอลิก, แคโรที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอยด์, 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 มีความเป็นไปได้ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ที่มีคุณค่าทางโภชนาการและได้รับการยอมรับด้านประสาทสัมผัส ในขนมปังที่เติมเมล็ดควินัวทำให้มีปริมาณโปรตีน น้ำมัน และใยอาหารสูงขึ้น มีธาตุอาหารสูงขึ้น 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 ในขณะที่ปริมาณลิปิดในเมล็ดสูงกว่าในช่วงวงจรฟฟการเจริญเติบโต 2-3 เท่ากรดไขมันได้แก่ palmitic acid, oleic acid, linolenic acid ในเมล็ดมี 823 กรัมต่อกิโลกรัมกรดไขมันทั้งหมด กรดไขมันที่พบในระยะการเจริญเติบโตแตกต่างจากน้ำมันในเมล็ด โดยพบ α-linolenic acid และ polyunsaturated fatty acid ในปริมาณจาก 385 ถึง 474 กรัมต่อกิโลกรัมกรดไขมันทั้งหมด และจาก 611 ถึง 691 กรัมต่อกิโลกรัมกรดไขมันทั้งหมด ตามลำดับ

Escuredo และคณะ (2014) ตรวจสอบองค์ประกอบของกรดอะมิโนในเมล็ดควินัวด้วยเทคนิค NIR โดยเลือกใช้โพรบชนิด fiber obticเพื่อลดระยะเวลาในการตรวจวิเคราะห์ 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 valineแต่ค่าทางเคมีที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิเคราะห์ใน glutamic, glycine, histidine และ methionine ไม่เพียงพอในการสร้างสมการที่ใช้ในการตรวจสอบ NIR แต่ เทคนิคนี้เป็นทางเลือกที่ใช้เวลาในการวิคราะห์น้อย ต้นทุนไม่สูงมาก และการวิเคราะห์มีความน่าเชื่อถือ

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วัสดุอุปกรณ์และวิธีการ

3.1. วัตถุดิบ

เมล็ดควินัวพันธุ์สีขาว (white quinoa) (New Organics, Villa Market, Thailand)

เมล็ดควินัวพันธุ์สีแดง (red quinoa) (New Organics, Villa Market)

เมล็ดควินัวพันธุ์สีดำ (black quinoa) (New Organics, Villa Market)

แป้งข้าวเจ้า

น้ำตาลทรายเบเกอรี่

เกลือป่น

ผงฟูดับเบิ้ลแอคติ้ง

ครีมออฟทาร์ทาร์

น้ำมันถั่วเหลือง

เนยสดชนิดจืด

นมสดชนิดจืด

ไข่ไก่สด

กลิ่นสังเคราะห์ นมเนย

3.2. สารเคมี

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

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

Ferric chloride hexahydrate (Sigma Aldrich Corp., USA)

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

Sodium acetate trihydrate (Sigma Aldrich Corp., USA)

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

Potassium persulfate (Sigma Aldrich Corp., USA)

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

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

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Liquid nitrogen (Linde, Thailand)

Sodium chloride (Sigma Aldrich Corp., USA)

3.3. เครื่องมือและอุปกรณ์

3.3.1 อุปกรณ์ในการผลิตแป้งควินัวเพาะงอกและเค้ก

กระดาษเพาะเมล็ด

เครื่องทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งยี่ห้อ (Scanlaf รุ่น Coolsafe 90 - 80 A, ประเทศเดนมาร์ก)

เครื่องบดถั่วและเครื่องเทศยี่ห้อ (Cuisinart รุ่น SG – 10, ผลิตประเทศจีน)

เครื่องชั่งดิจิตอล ทศนิยม 2 ตำแหน่ง ยี่ห้อ (Pioneer รุ่น PA 4102, ผลิตประเทศสหรัฐอเมริกา)

เครื่องบดแบบเข็ม (pin mill) (รุ่น ZM 1000, ผลิตประเทศอินโดนีเซีย)

ตะแกรงร่อน 80 mesh

อ่างผสมสแตนเลส

พิมพ์เค้กอะลูมิเนียมขนาด 8 นิ้ว

เครื่องตีผสมยี่ห้อ (Kitchen Aid)

เตาอบเค้กแบบแก๊ส

3.3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีกายภาพ และประสาทสัมผัส

เครื่องปั่นเหวี่ยงยี่ห้อ (Hurmle รุ่น Z206A, ผลิตประเทศเยอรมัน)

วอเท็กซ์มิกเซอร์ยี่ห้อ (Scientific Industries รุ่น Genie 2, ผลิตประเทศสหรัฐอเมริกา)

เครื่อง (UV-Vis Spectrophotometry รุ่น Shimatsu UV 1601, ผลิตประเทศญี่ปุ่น)

เครื่องชั่งดิจิตอล ทศนิยม 4 ตำแหน่ง ยี่ห้อ (Mettler Toledo, ผลิตประเทศเยอรมัน)

เครื่อง Texture analyzer (รุ่น TA-XT plus, ผลิตประเทศอังกฤษ)

เครื่องวัดความชื้น Moisture halogen ยี่ห้อ (Mettler Toledo, ผลิตประเทศเยอรมัน)

เครื่องวัดสียี่ห้อ (Minolta รุ่น CR-400, ผลิตประเทศญี่ปุ่น)

เครื่อง Scanner ยี่ห้อ (Canon รุ่น 9000F Mark II, ผลิตประเทศญี่ปุ่น)

โถสำหรับดูดความชื้น (desiccator)

อุปกรณ์เครื่องแก้ว

เวอร์เนียร์คาลิเปอร์ดิจิตอล ทศนิยม 2 ตำแหน่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4. วิธีการทดลอง

3.4.1. การศึกษาผลของสายพันธุ์ การแช่ และความเข้มข้นของเกลือที่มีผลต่อร้อยละการงอกของเมล็ดควินัว

3.4.1.1. ศึกษาผลของสายพันธุ์ต่อร้อยละการงอก

นำเมล็ดควินัวจำนวน 3 สายพันธุ์ ได้แก่ พันธุ์สีขาว สีแดง และสีดำ มาทำการเพาะงอก โดยนำเมล็ดเพาะในจานพลาสติก (petri dish) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 เซนติเมตร โดยใช้กระดาษเพาะเมล็ดชุ่มน้ำ จานละ 10 เมล็ด จำนวน 100 เมล็ด ที่ 30°Cเป็นเวลา 72 ชั่วโมง ทำซ้ำ สายพันธุ์ละ 3 ซ้ำ นับจำนวนเมล็ดที่มีรากงอกมากกว่า 0.02 มิลลิเมตร รายงานร้อยละการงอกของเมล็ด

คัดเลือกสายพันธุ์ที่มีร้อยละการงอกสูงสุดเพื่อใช้ในการทดลองขั้นต่อไป

3.4.1.2. ศึกษาผลของการแช่ต่อร้อยละการงอก

นำเมล็ดควินัวสายพันธุ์ที่คัดเลือกจาก 3.4.1.1 มาทำการทดสอบผลของการแช่ต่อร้อยละการงอก โดยแช่ในน้ำกลั่น 10 กรัมต่อ 100 มิลลิลิตรที่ 30°C เป็นเวลา 6 ชั่วโมง ก่อนนำไปเพาะงอกในจานเพาะเมล็ดที่ 30°Cเป็นเวลา 72 ชั่วโมงเช่นเดียวกับ 3.4.1.1 เปรียบเทียบกับเมล็ดที่ไม่ได้ทำการแช่ โดยนับจำนวนเมล็ดที่มีรากงอกมากกว่า 0.02 มิลลิเมตร รายงานร้อยละการงอกของเมล็ด

คัดเลือกเงื่อนไขการแช่ที่มีร้อยละการงอกสูงสุดเพื่อใช้ในการทดลองต่อไป

3.4.1.3. ศึกษาผลของความเข้มข้นเกลือต่อร้อยละการงอก

นำเมล็ดควินัวสายพันธุ์ที่คัดเลือกจาก 3.4.1.1 มาทำการทดสอบผลของความเข้มข้นเกลือต่อร้อยละการงอกโดย นำเมล็ดแช่ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้น 100, 200, 300, 400 และ 500 มิลลิโมลาร์10 กรัมต่อ 100 มิลลิลิตรที่ 30°C เป็นเวลา 6 ชั่วโมง (เวลาที่เหมาะสมคัดเลือกจาก 3.4.1.2) แล้วนำมาเพาะลงบนจานเพาะเมล็ดดังวิธี 3.4.1.1 โดยใช้กระดาษเพาะเมล็ดที่แช่สารละลายโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้นดังข้างต้น ที่ 30°Cเป็นเวลา 72 ชั่วโมง นับจำนวนเมล็ดที่มีรากงอกมากกว่า 0.02 มิลลิเมตร รายงานร้อยละการงอกของเมล็ด

คัดเลือกความเข้มข้นสารละลายโซเดียมคลอไรด์ที่ให้ร้อยละการงอกสูงสุดเพื่อใช้ในการทดลองขั้นต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.1.4. การวิเคราะห์ทางสถิติ

วิเคราะห์ความแตกต่างของข้อมูลในข้อที่ 3.4.1.1, 3.4.1.2 และ 3.4.1.3 โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มอย่างสมบูรณ์ (Completely Randomized Design, CRD) ทำการทดลอง 3 ซ้ำ วิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance, ANOVA) และทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วย Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ด้วยโปรแกรมวิเคราะห์ผลทางสถิติ SPSS

3.4.2. การศึกษาผลของความเข้มข้นของเกลือและระยะเวลาการเพาะงอกที่มีผลต่อปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระ

นำเมล็ดควินัวสายพันธุ์ที่คัดเลือกจาก 3.4.1.1 มาทำการเพาะงอกในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ดังข้อ 3.4.1.3 เป็นเวลา 12, 24, 36 และ 48 ชั่วโมง และนำเมล็ดในแต่ละสิ่งทดลองมาทำแห้งด้วยวิธีการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งด้วยเครื่องทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง เป็นเวลา 40 ชั่วโมง และนำตัวอย่างมาบดละเอียดด้วยเครื่องบดถั่วและเครื่องเทศ

3.4.2.1. การเตรียมตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์สารต้านอนุมูลอิสระ

นำตัวอย่างบดละเอียดสกัด (Pásko และคณะ, 2009) โดยชั่งตัวอย่าง 1 กรัม แช่ในสารผสม เมทานอล: กรดไฮโดรคลอริก 0.16 โมลาร์: น้ำกลั่น ในอัตราส่วน 1: 1: 1 กรองแยกของเหลว นำส่วนที่เหลือสกัดซ้ำด้วยอะซิโตนร้อยละ 70 นำสารผสมเมทานอลข้างต้นมาผสมกับสารสกัดที่ได้ แล้วนำไปปั่นเหวี่ยงแยกสารสกัดด้วยเครื่องปั่นเหวี่ยงที่ 5000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที นำสารสกัดตัวอย่างที่ได้เก็บที่อุณหภูมิ -20°C เพื่อรอการวิเคราะห์สารต้านอนุมูลอิสระต่อไป (รายละเอียดดังแสดงในภาคผนวก ก1)

3.4.2.2. การวิเคราะห์สารต้านอนุมูลอิสระ

วิเคราะห์ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธีการ Ferric reducing antioxidant power (FRAP) (Alvarez-Jubete และคณะ, 2010) รายงานปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระจากการคำนวณโดยใช้กราฟมาตรฐานของปริมาณ trolox โดยรายงานเป็น Trolox equivalent (mg TE/100 g sample) (รายละเอียดดังแสดงในภาคผนวก ก1)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.2.3. การวิเคราะห์ทางสถิติ

วิเคราะห์ความแตกต่างของข้อมูล วางแผนการทดลองแบบ 2 ปัจจัย สุ่มอย่างสมบูรณ์ (Factorial in Completely Randomized Design, Factorial in CRD) โดยปัจจัย คือ ความเข้มข้นของเกลือ และ เวลา ทำการทดลอง 3 ซ้ำวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance, ANOVA) และทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วย Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ด้วยโปรแกรมวิเคราะห์ผลทางสถิติ SPSS

3.4.3 การศึกษาการนำแป้งเมล็ดควินัวงอกมาใช้ในผลิตภัณฑ์เค้กปราศจากกลูเต็น

นำตัวอย่างเมล็ดควินัวบดละเอียดที่คัดเลือกจากการวิเคราะห์ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระสูงสุดดังข้อ 3.4.2 มาทำการบดละเอียดด้วยเครื่องบดแบบเข็ม (pin mill) ความละเอียด 0.25 ไมครอน และเก็บไว้ในโถดูดความชื้นก่อนนำไปทำผลิตภัณฑ์เค้ก 3 ชนิด ได้แก่ เค้กสปันจ์ เค้กเนย และเค้กชิฟฟ่อน จากส่วนผสมดังแสดงใน ภาคผนวก ข

3.4.3.1 การเตรียมตัวอย่างเค้ก

3.4.3.1.1 เค้กสปันจ์

ผสมส่วนผสมทั้งหมดยกเว้นเนยสดละลาย ด้วยความเร็วสูงสุดประมาณ 5 นาที และลดความเร็วลงใส่เนยละลายตีจนเข้ากัน เทใส่พิมพ์สี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาด 8 นิ้วรองกระดาษไขเคลือบ อบที่อุณหภูมิ 180 °C เป็นเวลา 25 นาที หรือจนสุกเหลือง

3.4.3.1.2 เค้กเนย

ตีเนยสดกับน้ำตาลให้ขึ้นฟู ใส่ไข่และกลิ่นวานิลลา ตีจนเข้ากัน ค่อยๆใส่แป้งและผงฟูที่ร่อนแล้วจนหมด ตีต่อให้เข้ากัน เทใส่พิมพ์สี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาด 8 นิ้วทาเนยและรองแป้งบางๆ อบที่อุณหภูมิ 180 °C เป็นเวลา 45 นาที หรือจนสุกเหลือง

3.4.3.1.3 เค้กชิฟฟ่อน

แบ่งน้ำตาลทราย 2 ส่วน นำส่วนที่ 1 ผสมกับนมสด ไข่แดง น้ำมันพืช วานิลลา ให้เข้ากันและใส่ส่วนผสมแป้งตามลงไป ผสมให้เข้ากัน จากนั้น ตีไข่ขาวให้ขึ้นฟูใส่น้ำตาลทรายส่วนที่ 2 และครีมออฟทาร์ทาร์ ให้ตั้งยอดอ่อน ผสมส่วนผสมทั้ง2 ส่วนให้เข้ากันอย่างเบามือ และเทใส่พิมพ์สี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาด 8 นิ้วรองกระดาษไขเคลือบ อบที่อุณหภูมิ 180 °C เป็นเวลา 25 นาทีหรือจนสุกเหลือง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.3.2 การวิเคราะห์คุณภาพของเค้ก

1) การวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพของเค้ก

นำตัวอย่างเค้กสปันจ์ เค้กเนย และเค้กชิฟฟ่อน ที่มีส่วนผสมของแป้งควินัวงอกร้อยละ 0, 30 และ 50 มาทำการตรวจวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ปริมาณความชื้น วิเคราะห์สี การทดสอบทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภค และการวิเคราะห์เนื้อสัมผัสของเค้ก

ก. การวัดปริมาณความชื้น (Moisture Halogen: Mettler Toledo, ประเทศเยอรมัน) รายละเอียดดังแสดงในภาคผนวก ก2

ข. การวัดความสว่าง (Chromameter: Minolta CR-400, ประเทศญี่ปุ่น) รายละเอียดดังแสดงในภาคผนวก ก2

ค. การวิเคราะห์เนื้อสัมผัส (Texture analyzer: TA-XT plus, ประเทศอังกฤษ) รายละเอียดดังแสดงในภาคผนวก ก2

2) การวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีของเค้ก

นำตัวอย่างเค้กสปันจ์ เค้กเนย และเค้กชิฟฟ่อน ที่มีส่วนผสมของแป้งควินัวงอกร้อยละ 0, 30 และ 50 ตัดชิ้นขนาด 5*5 เซนติเมตร มาทำการปั่นผสม และนำเค้กไปเตรียมสารสกัดตัวอย่าง ดังแสดงในภาคผนวก ก1 และทำการวิเคราะห์สารต้านอนุมูลอิสระในเค้ก

ก. การวิเคราะห์สารต้านอนุมูลอิสระ ตามวิธีของ Alvarez-Jubete, 2010 กราฟมาตรฐานที่ใช้ในการคำนวณสารต้านอนุมูลอิสระ และวิธีการวิเคราะห์รายละเอียดดังแสดงในภาคผนวก ก1

3) การทดสอบทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภค (Hedonic 9-point Scale)

นำตัวอย่างเค้กทั้ง 3 ชนิด คือ เค้กสปันจ์ เค้กเนย และเค้กชิฟฟ่อน นำมาทดสอบประสาทสัมผัสของผู้บริโภคกับผู้ทดสอบจำนวน 30 คน โดยรายงานผลเป็นค่า สี (color), กลิ่น (odor), รสชาติ (flavor), เนื้อสัมผัส (Hardness) และ ความชอบโดยรวม (overall liking) ตัวอย่างแบบทดสอบดังแสดงในภาคผนวก ค

3.4.3.3 การวิเคราะห์ทางสถิติ

วิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติของคุณสมบัติทางกายภาพของเค้ก ปริมาณความชื้น ความสว่าง และเนื้อสัมผัส และคุณสมบัติทางเคมีของเค้ก ได้แก่ สารต้านอนุมูลอิสระในเค้ก 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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

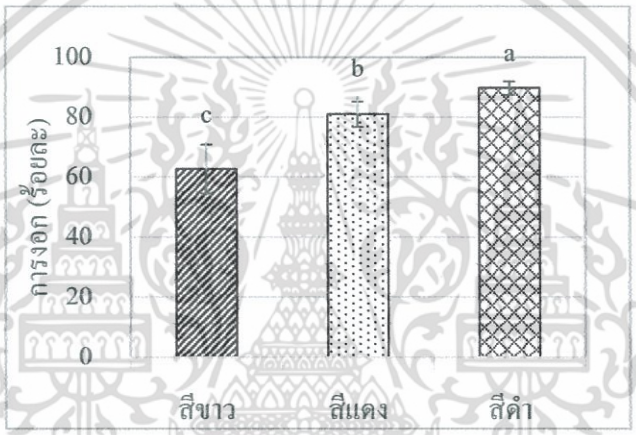
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลอง

4.1 ผลของการศึกษาสายพันธุ์ การแช่ และความเข้มข้นของเกลือที่มีผลต่อการงอกของควินัว

จากการศึกษาผลของสายพันธุ์ที่มีผลต่อการงอกของควินัว โดยการเพาะงอกเมล็ดควินัว 3 สายพันธุ์ ได้แก่ สีขาว สีแดง และ สีดำบนกระดาษเพาะเมล็ดชุ่มน้ำโดยวางในถาดเพาะเมล็ดที่อุณหภูมิ 30 °C เป็นเวลา 72 ชั่วโมง ติดตามผลโดยรายงานเป็นร้อยละการงอกของเมล็ดทั้ง 3 สายพันธุ์ ผลของสายพันธุ์แสดงดังภาพที่ 4.1 จึงเลือกสายพันธุ์สีดำ เพื่อทำการศึกษาผลของการแช่ที่มีผลต่อการงอกต่อไป



ภาพที่ 4.1 ร้อยละการงอกของควินัว 3 สายพันธุ์ (สีขาว สีแดง และสีดำ) ที่เพาะงอก 30 °C 72 ชั่วโมง

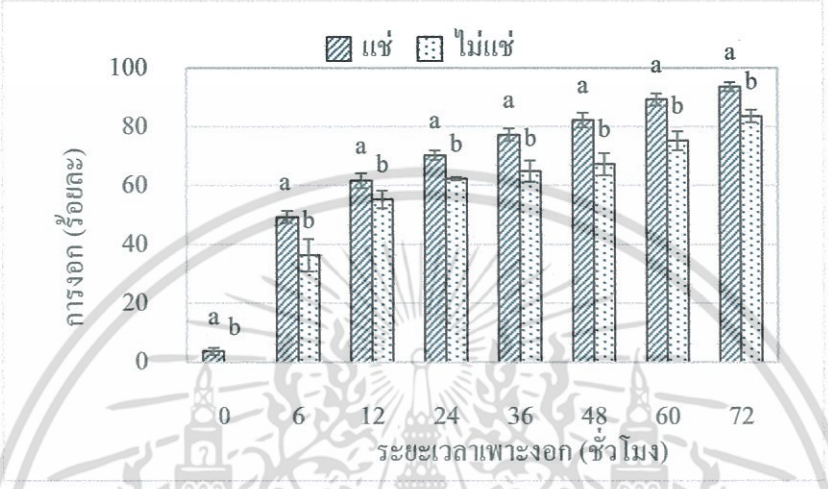
* ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันบนแท่งกราฟแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ภาพที่ 4.1 แสดงให้เห็นว่า ค่าร้อยละการงอกของเมล็ดควินัวสายพันธุ์สีดำ มีค่าสูงสุด (ร้อยละ 89.75) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ซึ่งสูงกว่าสายพันธุ์สีแดง และสายพันธุ์สีขาว ที่ร้อยละ 81 และ 62.75 ตามลำดับ สอดคล้องกับผลการศึกษาของ Zhang และคณะ (2014) พบว่า ข้าวกล้องงอก 2 สายพันธุ์ให้ค่าร้อยละการงอกและปริมาณสารสำคัญในข้าวกล้องงอกสองสายพันธุ์มีความแตกต่างกัน

จากการทดลองข้างต้น สามารถคัดเลือกสายพันธุ์ที่เหมาะสมกับการเพาะงอกจากค่าร้อยละการงอกสูงสุดคือ พันธุ์สีดำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการศึกษาผลของการแช่ที่มีผลต่อการรงอกของควินัว โดยการนำเมล็ดควินัวพันธุ์สีดำ (สายพันธุ์ที่คัดเลือก) มาทำการทดลองเปรียบเทียบการแช่ก่อนเพาะงอกเป็นเวลา 6 ชั่วโมง และนำไปเพาะงอกที่ 30°C เป็นเวลา 72 ชั่วโมง โดยเปรียบเทียบร้อยละการงอกที่เพิ่มขึ้นหลังการแช่ก่อนเพาะงอก ผลดังแสดงในภาพที่ 4.2 จึงเลือกวิธีการแช่เมล็ดควินัวก่อนการเพาะงอกที่เวลา 6 ชั่วโมง เพื่อศึกษาต่อไป



ภาพที่ 4.2 ร้อยละการงอกของควินัวสีดำ เปรียบเทียบระหว่างเมล็ดที่แช่ 6 ชั่วโมงก่อนการเพาะงอก และไม่ได้แช่ก่อนการเพาะงอก

* ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันบนแท่งกราฟ แสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ดังภาพที่ 4.2 พบว่า การแช่ควินัวเป็นเวลา 6 ชั่วโมง ก่อนนำไปเพาะงอก สามารถทำให้เมล็ดควินัวมีร้อยละการงอกเพิ่มสูงขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับเมล็ดที่ไม่ผ่านการแช่ ซึ่ง Bradford (1986) รายงานว่า การแช่เมล็ดก่อนการเพาะงอกในช่วงระยะเวลาที่เหมาะสม จะช่วยให้เมล็ดมีการงอกได้ง่ายขึ้น

ดังนั้น จึงเลือกวิธีการแช่เมล็ดควินัวก่อนการเพาะงอกที่เวลา 6 ชั่วโมง เพื่อศึกษาการทดลองต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการศึกษาผลของความเข้มข้นโดยการเพาะงอกเมล็ดควินัวพันธุ์สีดำ ในความเข้มข้นเกลือโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้นแตกต่างกันตั้งแต่ 0 – 500 มิลลิโมลาร์ ที่ 30°C เป็นเวลา 72 ชั่วโมง โดยรายงานผลเป็นร้อยละการงอกของเมล็ด ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ร้อยละการงอกของเมล็ดควินัวพันธุ์สีดำที่เพาะงอกในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้น 0-500 มิลลิโมลาร์ ที่ 30°C เป็นเวลา 72 ชั่วโมง

ความเข้มข้นของเกลือโซเดียมคลอไรด์ (มิลลิโมลาร์)	การงอกของเมล็ด (ร้อยละ)
0	*90.25[a]±1.2
100	94.5[a]±1.3
200	76.25[b]±3.9
300	74.25[b]±3.9
400	72.75[b]±2.01
500	58[c]±3.6

[a] Mean ± SD ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ดังตารางที่ 4.1 แสดงให้เห็นว่า ความเข้มข้นของสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ มีผลต่อร้อยละการงอกของเมล็ดควินัว โดยความเข้มข้นที่เพิ่มขึ้น มีผลให้ร้อยละการงอกของเมล็ดควินัวลดลง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Anaya และคณะ (2015) ซึ่งรายงานว่า ผลของความเข้มข้นเกลือ (0 - 200 mM) ทำให้ร้อยละการงอกของถั่วปากอ้าลดลงตามลำดับ และ สุมาลี (2555) รายงานว่า ในสภาวะที่มีเกลือสะสมอยู่ ทำให้รากพืชดูดน้ำไปใช้ได้ยากขึ้น แต่ทั้งนี้ ความเครียดจากเกลือมีผลทำให้มีการสร้างสารต้านอนุมูลอิสระเพิ่มขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ผลของการศึกษาความเข้มข้นของเกลือและระยะเวลาการเพาะงอกที่มีผลต่อปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระในควินัว

จากการศึกษาผลของความเข้มข้นของเกลือโซเดียมคลอไรด์และระยะเวลาการเพาะงอกที่มีผลต่อปฏิกิริยาสารต้านอนุมูลอิสระ โดยการเพาะเมล็ดควินัวในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ที่ความเข้มข้น 0, 100, 200, 300, 400 และ 500 mM เป็นเวลา 72 ชั่วโมงและทำการวิเคราะห์ความสามารถการต้านอนุมูลอิสระ ด้วยวิธี FRAP assay ผลดังแสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระของควินัวสีดำที่เพาะงอกในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ที่ความเข้มข้น 0 – 500 mM เป็นเวลา 72 ชั่วโมง (mgTE/100 g sample) โดยวิธี FRAP assay

สารละลายโซเดียมคลอไรด์ (มิลลิโมล)	ปฏิกิริยาสารต้านอนุมูลอิสระ (mg TE/100 g sample) (FRAP)				
เวลาการเพาะงอก (ชั่วโมง)	0	12	24	48	72
0	82.9^{Ac} ±3.3	85.4^{Dd} ±4.9	88.7^{Dc} ±4.0	92.6^{Db} ±5.0	96.3^{Da} ±2.0
100	82.9^{Ac} ±3.3	92.1^{BCd} ±0.9	101.2^{BCc} ±4.5	112.3^{BCb} ±3.2	120.1^{BCa} ±0.5
200	82.9^{Ac} ±3.3	92.1^{Bd} ±2.9	94.8^{Bc} ±1.9	111.0^{Bb} ±1.5	118.0^{Ba} ±1.0
300	82.9^{Ac} ±3.3	95.2^{Cd} ±0.5	101.2^{Cc} ±2.2	115.0^{Cb} ±2.4	121.7^{Ca} ±2.1
400	82.9^{Ac} ±3.3	103.3^{Ad} ±4.50	111.6^{Ac} ±2.6	122.0^{Ab} ±4.0	126.1^{Aa} ±3.4
500	82.9^{Ac} ±3.3	99.3^{Bd} ±3.1	106.8^{Bc} ±1.6	116.4^{Bb} ±2.6	122.4^{Ba} ±2.4

[A] Mean ± SD ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันในแต่ละคอลัมน์มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

[a] Mean ± SD ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันในแต่ละแถวมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

จากตารางที่ 4.2 แสดงให้เห็นว่าหลังจากการเพาะเมล็ดควินัวในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ที่ความเข้มข้น 0, 100, 200, 300, 400 และ 500 mM เป็นเวลา 72 ชั่วโมง พบว่าระยะเวลาในการเพาะงอกที่เพิ่มขึ้นทำให้ปฏิกิริยาสารต้านอนุมูลอิสระสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) และเมื่อความเข้มข้นของเกลือสูงขึ้น ทำให้เมล็ดควินัวงอกมีค่าปฏิกิริยาสารต้านอนุมูลอิสระเพิ่มขึ้น ซึ่งหมายถึงการมีการรีดิวซ์เฟอริกที่เพิ่มสูงขึ้น ซึ่งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ซึ่งในการศึกษานี้ ความเข้มข้นโซเดียมคลอไรด์ที่เหมาะสมที่สุดในการเพาะงอกคือ 400 mM เมื่อเกินความเข้มข้นที่ 400 mM ทำให้ปฏิกิริยาสารต้านอนุมูลอิสระลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ซึ่งที่ 400 mM ให้ปริมาณการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ริดิวซ์เฟอริกสูงสุด ที่เวลา 72 ชั่วโมง มีปฏิริยาสารต้านอนุมูลอิสระ 126.1 mg TE/100g sample เมื่อทำการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่า ปัจจัยในด้านระยะเวลาการเพาะงอก และความเข้มข้นของเกลือ มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($p \leq 0.05$) จากข้างต้นสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Thammapat และคณะ (2015) พบว่าผลของความเครียดของเกลือโซเดียมคลอไรด์มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสารสำคัญในข้าวเหนียวฮาง ได้แก่ แกมมาออไรซานอล กรดไขมัน และปริมาณฟีนอลทั้งหมด มีปริมาณเพิ่มขึ้น และสุมาลี (2555) รายงานว่า พืชที่ได้รับความเครียดจากเกลือ จะสะสมสารบางชนิด เช่น compatible solute ทำให้พืชสามารถดูดน้ำไปใช้ได้ และพบว่าทำให้พืชมีการสะสม Na^+ในไซโตพลาสซึมของเซลล์มากขึ้น และเป็นอันตรายต่อเซลล์ ดังนั้น พืชจึงต้องขับ Na^+ออกจากเซลล์ ทำให้พืชมีกลไกที่จะสร้างสารต้านอนุมูลอิสระเพื่อปกป้องเซลล์ ทั้งนี้เมล็ดควินัวที่เพาะงอกในระยะเวลาเพิ่มขึ้น มีผลให้การรีดิวซ์เฟอริกเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 ผลของการศึกษาการนำแป้งควินัวงอกมาใช้ในผลิตภัณฑ์เค้กปราศจากกลูเต็น

ผลของการศึกษาการนำแป้งควินัวงอกมาใช้ในผลิตภัณฑ์เค้กปราศจากกลูเต็น โดยทดแทนด้วยแป้งควินัวงอกในแป้งข้าวเจ้าในปริมาณร้อยละ 0, 30 และ 50 นำมาทำเค้ก 3 ชนิด คือ เค้กสปันจ์ เค้กเนย และเค้กชิฟฟ่อน เค้กที่ได้นำไปวิเคราะห์ค่าปริมาณความชื้น ความสว่าง ของเค้ก และวัดค่าเนื้อสัมผัสของเค้กโดยรายงานเป็นค่าความแข็ง ความยืดหยุ่น และค่าการเกาะติดกันของเนื้อเค้ก ผลดังแสดงในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ปริมาณความชื้น (ร้อยละ), ค่าความสว่าง (L*), ความแข็ง, ความยืดหยุ่น และค่าการเกาะติดกันของเนื้อเค้ก ของเค้กสปันจ์ เค้กเนย และเค้กชิฟฟ่อนที่ทดแทนด้วยแป้งควินัวงอกในแป้งข้าวเจ้าร้อยละ 0, 30 และ 50

ชนิดเค้ก	แป้งควินัวที่ทดแทนในแป้งข้าวเจ้า (ร้อยละ)	ความชื้น (ร้อยละ)	ความสว่าง (L*)	ความแข็ง (g.force)	ความยืดหยุ่น	ค่าการเกาะติดกันของเนื้อเค้ก
เค้กสปันจ์	0	28.39^{a}±0.22	75.80^{a}±0.56	690.31^{b}±34.18	0.916^{a}±0.01	0.734^{a}±0.02
	30	27.90^{a}±0.31	56.16^{b}±0.92	603.19^{c}±40.01	0.903^{b}±0.01	0.736^{a}±0.00
	50	25.16^{b}±1.03	49.42^{c}±0.86	762.64^{a}±106.61	0.881^{c}±0.02	0.690^{b}±0.01
เค้กเนย	0	22.98^{a}±2.30	77.03^{a}±1.17	1175.26^{c}±71.07	0.787^{b}±0.33	0.506^{b}±0.03
	30	18.93^{b}±0.62	50.65^{b}±1.41	1802.15^{b}±189.42	0.774^{ab}±0.02	0.492^{b}±0.04
	50	17.33^{c}±0.37	46.20^{c}±1.35	2537.21^{a}±100.54	0.808^{a}±0.02	0.546^{a}±0.03
เค้กชิฟฟ่อน	0	37.26^{a}±2.00	81.21^{a}±1.02	811.13^{a}±54.58	0.836^{b}±0.01	0.708^{b}±0.01
	30	36.17^{a}±0.36	64.57^{b}±1.76	667.28^{b}±126.13	0.872^{a}±0.01	0.744^{a}±0.01
	50	36.00^{a}±1.16	57.29^{c}±1.74	699.64^{b}±101.01	0.863^{a}±0.02	0.745^{a}±0.02

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

จากตารางที่ 4.3 ผลจากการศึกษาความชื้นพบว่า เค้กสปันจ์และเค้กเนยมีปริมาณความชื้นลดลงเมื่อมีการทดแทนแป้งควินัวงอกในแป้งข้าวเจ้าเพิ่มขึ้น โดยเค้กสปันจ์ที่ไม่ใส่แป้งควินัวงอกมีค่าความชื้นสูงสุดร้อยละ 28.39 และลดลงเมื่อใส่แป้งควินัวงอกร้อยละ 30 และ 50 ที่ร้อยละ 27.90 และ 25.16 ตามลำดับ ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยเค้กเนยที่ไม่ใส่แป้งควินัวงอกมีปริมาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความชื้นสูงสุดร้อยละ 22.98 และลดลงเมื่อใส่แป้งควินัวงอกร้อยละ 30 และ 50 ที่ร้อยละ 18.93 และ 17.33 ตามลำดับ ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ส่วนเค้กชิฟฟ่อนทั้งที่ไม่ใส่แป้งควินัวงอก และมีแป้งควินัวงอกร้อยละ 30 และ 50 มีปริมาณความชื้นร้อยละ 37.26, 36.17 และ 36.00 ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) เนื่องมากจากเค้กชิฟฟ่อนมีการขึ้นฟูด้วยไข่ขาวเป็นหลัก จึงมีโครงสร้างไข่ขาวที่ช่วยให้ความชื้นสูญเสียออกไปได้ช้ากว่า เมื่อเทียบกับเค้กสปันจ์และเค้กชิฟฟ่อน

สำหรับค่าความสว่าง L ในตารางที่ 4.3 พบว่าการทดแทนแป้งควินัวงอกในแป้งข้าวเจ้าที่เพิ่มขึ้นมีผลทำให้ค่าความสว่างของเค้กทั้ง 3 ชนิดลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ซึ่งเป็นผลมาจากวัตถุดิบควินัวสีดำที่นำมาทำแป้งควินัวงอก สีดำที่ไม่ได้ถูกขัดสีของเมล็ดควินัว ทำให้ค่าความสว่างของเค้กลดลง

สำหรับผลการวิเคราะห์เนื้อสัมผัสของเค้กจากตารางที่ 4.3 พบว่า ค่าความแข็ง (hardness) ของเค้กสปันจ์ เค้กเนย มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณร้อยละของการทดแทนแป้งควินัวงอกในแป้งข้าวเจ้าที่เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ส่วนเค้กชิฟฟ่อน พบว่า ค่าความแข็งลดลงตามปริมาณการทดแทนด้วยแป้งควินัวงอกที่เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ค่าความยืดหยุ่น (spinginess) ของเค้กสปันจ์ มีค่าลดลงตามปริมาณร้อยละการทดแทนด้วยแป้งควินัวงอกที่เพิ่มขึ้น ส่วนในเค้กเนย และเค้กชิฟฟ่อน ค่าความยืดหยุ่นสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ในส่วนของค่าการเกาะติดกันของเนื้อเค้ก (Cohesiveness) ในเค้กเนยและเค้กชิฟฟ่อน มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งแสดงถึงการยึดเกาะกันของเนื้อเค้กที่ดีขึ้น ในขณะที่เค้กสปันจ์มีค่าลดลงตามปริมาณการทดแทนด้วยแป้งควินัวงอกที่เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลของการศึกษาปฏิกิริยาสารต้านอนุมูลอิสระในเค้กปราศจากกลูเต็น 3 ชนิด คือ เค้กสปันจ์ เค้กเนย และเค้กชิฟฟ่อนที่มีส่วนผสมของแป้งควินัวงอกร้อยละ 0, 30 และ 50 โดยทำการวิเคราะห์ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี FRAP assay ผลแสดงดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระของเค้กสปันจ์ เค้กเนย และเค้กชิฟฟ่อนที่ทดแทนด้วยแป้งควินัวงอกในแป้งข้าวเจ้า ร้อยละ 0, 30 และ 50 โดย FRAP assay

ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระ (mg TE/100g sample)			
แป้งควินัวงอกที่ทดแทนในแป้งข้าวเจ้า (ร้อยละ)	เค้กสปันจ์	เค้กเนย	เค้กชิฟฟ่อน
0	28.59^{a}±2.20	14.23^{a}±2.05	29.40^{a}±1.04
30	42.72^{b}±1.43 (14.13*)	31.90^{b}±0.44 (17.67*)	53.22^{b}±0.63 (23.82*)
50	65.48^{c}±1.46 (36.89*)	53.11^{c}±1.34 (38.88*)	67.66^{c}±0.46 (38.26*)

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

* ร้อยละการเพิ่มขึ้นของปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระในเค้กแต่ละชนิด

จากตารางที่ 4.4 พบว่าเค้กทั้ง 3 ชนิดที่มีปริมาณแป้งควินัวงอกเพิ่มสูงขึ้นมีผลทำให้มีปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระคงอยู่มากขึ้นตามลำดับ เค้กชิฟฟ่อนสูงที่สุด 67.66 mg TE/100g sample ตามด้วยเค้กสปันจ์และเค้กเนย ที่ 65.48 และ 53.11 mg TE/100g sample ตามลำดับ ซึ่งจากตารางจะเห็นได้ว่าเค้กชิฟฟ่อนมีปริมาณของสารต้านอนุมูลอิสระสูงที่สุดรองลงมาเป็น เค้กสปันจ์ ส่วนเค้กเนย ให้ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระน้อยที่สุด เนื่องจาก การอบเค้กเนย ต้องใช้ความร้อนในการอบและใช้เวลาอบนานกว่าเค้กชิฟฟ่อนและเค้กสปันจ์ ซึ่งความร้อนมีอิทธิพลต่อการสลายตัวของสารต้านอนุมูลอิสระ ซึ่งผลดังกล่าวสอดคล้องกับ Alvarez-Jubete และคณะ (2010) พบว่า เมื่อนำแป้งควินัวที่เพาะงอกซึ่งมีปฏิกิริยาการต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าเมล็ดที่ไม่ได้เพาะงอก นำมาทำขนมปัง พบว่า การทำขนมปังโดยกระบวนการอบ ทำให้ปฏิกิริยาการต้านอนุมูลอิสระลดลงอย่างมาก

ทั้งนี้ความแปรปรวนของข้อมูลจากการวิเคราะห์ปฏิกิริยาการต้านอนุมูลอิสระของธัญพืช ขึ้นอยู่กับปัจจัยมากมาย เช่น พันธุศาสตร์ กระบวนการทางการเกษตร หรือสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน (Nsimba และคณะ, 2008)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลของการทดแทนด้วยแป้งควินัวงอกในแป้งข้าวเจ้าในปริมาณต่างๆ นำมาทำเค้ก 3 ชนิด คือ เค้กสปันจ์ เค้กเนย และเค้กชิฟฟ่อน มีส่วนผสมของแป้งควินัวงอกร้อยละ 0, 30 และ 50 นำไปทดสอบทางประสาทสัมผัสของเค้ก โดยการทดสอบชิมจากผู้ทดสอบจำนวน 30 คนโดยทดสอบด้าน กลิ่น สี เนื้อสัมผัส รสชาติ และความชอบโดยรวม ผลแสดงดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 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 ($p < 0.05$)

จากตารางที่ 4.5 พบว่า ในเค้กสปันจ์ เค้กเนย และเค้กชิฟฟ่อนเมื่อมีการทดแทนแป้งควินัวงอกในแป้งข้าวเจ้าเพิ่มขึ้น มีผลให้ค่าคะแนนความชอบของกลิ่น สี เนื้อสัมผัส รสชาติ และความชอบโดยรวมของเค้กมีคะแนนความชอบลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กลิ่น สีดำ และรสชาติความขม ของควิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นัวสีดำที่เป็นวัตถุดิบ มีผลต่อคะแนนความชอบของเค้กทั้ง 3 ชนิด เค้กสปันจ์ และเค้กชิฟฟ่อน ผู้ทดสอบยอมรับการทดแทนแป้งควินัวงอกในแป้งข้าวเจ้าได้เพียงร้อยละ 30 ส่วนในเค้กเนยพบว่ายังต้องมีการพัฒนาสูตรต่อไปเนื่องจากเนื้อสัมผัสร่วนมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

1. ปัจจัยด้านสายพันธุ์ส่งผลต่อร้อยละการงอกของเมล็ดควินัว โดยควินัวพันธุ์สีดำให้ร้อยละการงอกสูงที่สุด ส่วนปัจจัยด้านการแช่ พบว่า การแช่ที่ 6 ชั่วโมงก่อนการเพาะงอก สามารถเพิ่มร้อยละการงอกของควินัวสายพันธุ์สีดำได้ และความเข้มข้นของเกลือโซเดียมคลอไรด์ที่เพิ่มขึ้น ทำให้ร้อยละการงอกของเมล็ดควินัวพันธุ์สีดำลดลง
2. ความเข้มข้นของเกลือโซเดียมคลอไรด์ที่เพิ่มขึ้น มีอิทธิพลต่อการเพิ่มขึ้นของสารต้านอนุมูลอิสระจนถึงความเข้มข้นสูงที่สุดที่พืชทนได้ในการทดลองนี้ความเข้มข้นที่สูงที่สุดคือ 400 มิลลิลาร์ จากนั้นจะลดลง หรือไม่เปลี่ยนแปลง ทั้งนี้ ความเข้มข้นที่สูงเกินไป จะมีผลในการยับยั้งการเจริญเติบโตของเมล็ด
3. การใช้แป้งควินัวงอกทดแทนในแป้งข้าวเจ้า ร้อยละ 0,30 และ 50 ในเค้กปราศจากกลูเต็น ผู้ทดสอบสามารถยอมรับได้ในเค้กสปันจ์และเค้กชิฟฟ่อน ที่ทดแทนด้วยแป้งควินัวงอกร้อยละ 30 และพบว่า เค้กที่มีการทดแทนด้วยแป้งควินัวงอกในแป้งข้าวเจ้า มีผลให้ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระในเค้กสูงขึ้นร้อยละ 14 - 38

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

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, กรุงเทพฯ. 120 หน้า.

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

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

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.** สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วท.). 62 หน้า.

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

มลศิริ วีโรทัย. 2545. **เทคโนโลยีของผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพ**. สถาบันพัฒนาคุณภาพวิชาการ (พว.), กรุงเทพมหานคร. 260 หน้า.

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

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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.

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

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

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

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

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.

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.

Block, G., Patterson, B. and Subar, A. 1992. Fruit, vegetables, and cancer prevention: a review of the epidemiological evidence. **Nutrition and Cancer**. 18(1), 1-29.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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.

Bravo, L. 1998. Polyphenols: chemiatry, dietary sources, metabolism, and nutritional significance. **Nutrition Reviews**. 56(11), 317-33.

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

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., andVasiljevic, T. 2012. Germinated grains-Sources of bioactive compounds. **Journal of Food Chemistry**. 135,950-959.

Escuredo, O., Gonzalez Martin, M.I., Moncada, G.W., Fischer, S., and Hernandez Hierro, J.M. 2014. Amino acid profile of the quinoa (*Chenopodiumquinoa*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.

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 (*Chenopodiumquinoa*Willd.). **Food Chemistry**. 157, 174-178.

Han, J.A. and Lim, S.T. 2009. Effect of presoaking on textural, thermal, and digestive properties of cooked Brown Rice. **Cereal Chemistry**, 86(1), 100-105.

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

Koehler, P., Hartmann, G., Wieser, H., andRychlik, 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.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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, 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

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.

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 (*Chinopodiumquinoa*Willd.) seeds and plants at different growth stages. **Journal of AnimalFeed Science and Technology**. 183, 56-61.

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.

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.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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.

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 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น 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 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก 1.2 การตรวจสอบ Ferric reducing antioxidant power (FRAP) ดัดแปลงจาก Alvarez-Jubete และคณะ (2014)

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

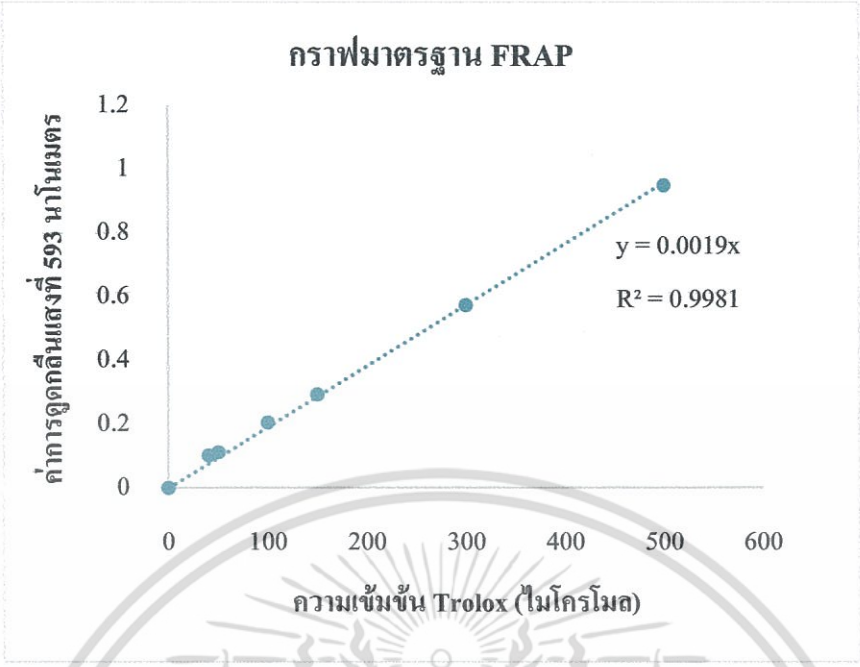
2. ผสมให้เข้ากันดีแล้ววางไว้ในที่มืดที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 40 นาที

3. เตรียมแบลงค์โดยใช้น้ำกลั่นแทนตัวอย่าง

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

5. นำตัวอย่างไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 593 นาโนเมตรและเปรียบเทียบค่าการดูดกลืนแสงที่ได้กับกราฟมาตรฐาน (ภาพผนวกที่ ก1)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพภาคผนวกที่ ก1 กราฟมาตรฐานโทรอกซ์ในการวิเคราะห์ความสามารถในการรีดิวซ์เฟอริก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก 2 การวิเคราะห์ทางกายภาพ

ก 2.1 การวิเคราะห์ความชื้น

ภาพภาคผนวกที่ ก2 เครื่องวัดความชื้น (Moisture halogen, ประเทศเยอรมัน)

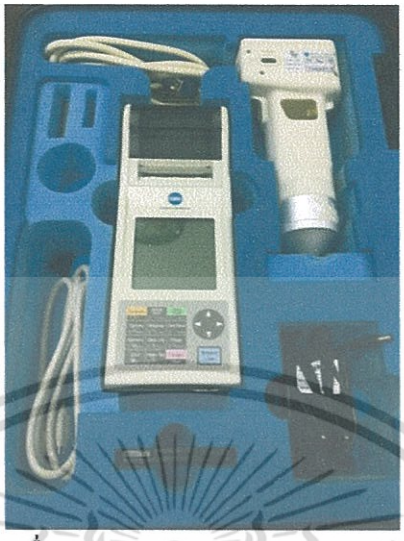
นำตัวอย่างเค้กสปันจ์ เค้กเนย และเค้กชิฟฟ่อนที่มีส่วนผสมของแป้งควินัวงอกร้อยละ 0, 30 และ 50 ขนาดชิ้น 5*5 เซนติเมตร มาทำการวิเคราะห์ความสว่างโดยการนำตัวอย่างมาบดผสมด้วยเครื่องบดถั่วและเครื่องเทศ Cuisinart เป็นเวลา 5 วินาที ทำการวิเคราะห์ความชื้นด้วยเครื่อง Moisture Halogen ตัวอย่างละ 3 ซ้ำ

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 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก 2.2 การวิเคราะห์ความสว่าง



ภาพภาคผนวกที่ ก3 เครื่องวัดสี (Chromameter Minolta CR-400, ประเทศญี่ปุ่น)

เป็นการตรวจสอบค่าสว่างของตัวอย่างด้วยเครื่องวัดสี โดยวัดค่าสีในระบบ CIE โดยค่า

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

โดยก่อนการวัดสีทุกครั้งต้องทำการปรับค่ามาตรฐานสีของเครื่อง (calibration) โดยการวางหัววัดทาบบนผิวหน้าของแผ่นสีขาวมาตรฐาน กดปุ่ม calibrate เครื่องวัดสีจะทำการวัดและบันทึกค่าสีขาวของแผ่นสีขาวมาตรฐานไว้

วิธีการตรวจสอบ

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก 2.3 การวิเคราะห์เนื้อสัมผัสของเค้ก

ภาพภาคผนวกที่ ก4 เครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส (Texture analyzer TA-XTplus, ประเทศอังกฤษ)

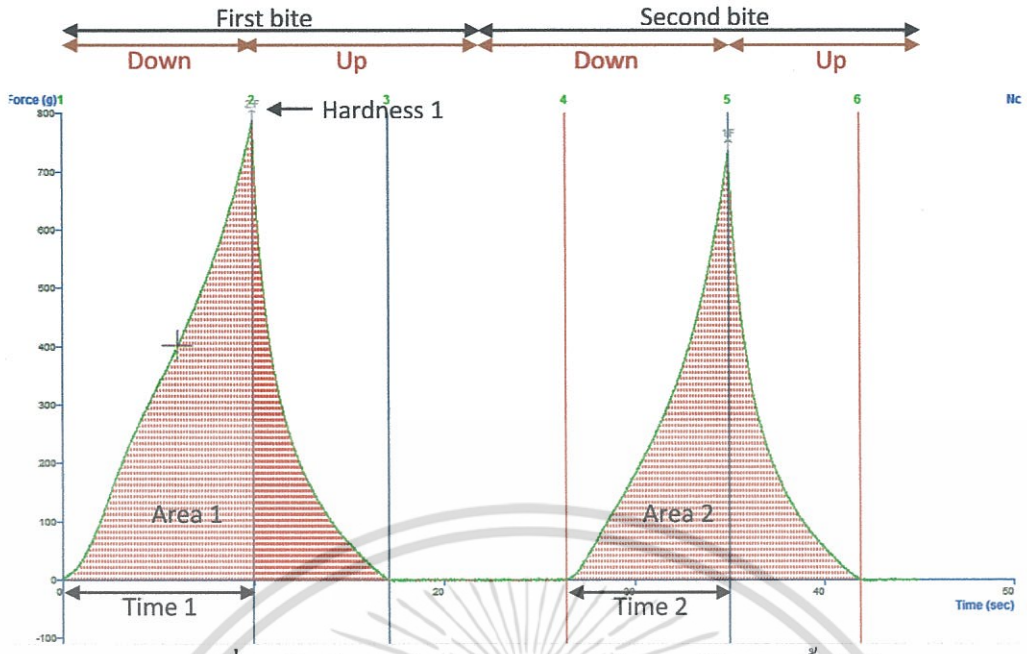
เตรียมตัวอย่างเค้กแต่ละชนิดเพื่อทำการวิเคราะห์เนื้อสัมผัส โดยตัดเค้กให้ได้ขนาด 5*5 เซนติเมตร และตัดหน้าเค้กออกให้ได้ความหนา 2 เซนติเมตร และนำไปวัดเนื้อสัมผัสโดยใช้เครื่อง Texture analyzer รุ่น TA-XT plus โดยบันทึกค่าความแข็ง (hardness) ความยืดหยุ่น (springiness) และค่าการเกาะติดของตัวอย่าง (cohesiveness) โดยใช้หัววัด P /35 ตั้งค่าการวิเคราะห์แบบ TPA ดังแสดงในตารางที่ 3.2

ตารางที่ ก1 แสดงการตั้งค่าการวิเคราะห์เนื้อสัมผัสแบบ TPA ด้วยเครื่อง Texture analyzer รุ่น TA-XT plus

Pre-test speed	2 mm/sec
Test speed	1 mm/sec
Post-test speed	10 mm/sec
Distance	10 mm

ตัวอย่างกราฟการวิเคราะห์เนื้อสัมผัส (TPA) แสดงดังภาพภาคผนวกที่ ก5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพภาคผนวกที่ ก5 ตัวอย่างกราฟแรงกับเวลาในการวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัส (TPA)

จากภาพภาคผนวกที่ ก5 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 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข
ส่วนผสมของเค้กปราศจากกลูเต็น

ตารางที่ ข 1 ส่วนผสมของเค้กสปันจ์ เค้กเนย และเค้กชิฟฟ่อน ปราศจากกลูเต็น

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* เค้กที่ใส่แป้งควินัวเป็นส่วนผสม 30 และ 50% ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

การทดสอบทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภค

เตรียมตัวอย่างเค้กสปันจ์ เค้กเนย และเค้กชิฟฟ่อนที่มีส่วนผสมของแป้งควินัวงอกร้อยละ 0, 30 และ 50 มาทำการทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภค โดยใช้คะแนนความชอบโดยวิธี 9-point Hedonic Scale โดยเลือกกลุ่มเป้าหมายเป็นกลุ่มนักศึกษาและบุคลากร จำนวน 30 คน จากสถาบันการศึกษาระดับอุดมศึกษา 2 แห่ง ได้แก่ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง และมหาวิทยาเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพวิทยาเขตพระนครใต้ โดยปัจจัยที่ทำการทดสอบประกอบด้วย ด้านกลิ่น สี เนื้อสัมผัส รสชาติโดยรวม และความชอบโดยรวม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพภาคผนวกที่ ค1 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		
	214	147	537
กลิ่น			
สี			
เนื้อสัมผัส			
รสชาติโดยรวม			
ความชอบโดยรวม			

ข้อเสนอแนะ

.....

.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพภาคผนวกที่ ค2 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		
	213	149	539
กลิ่น			
สี			
เนื้อสัมผัส			
รสชาติโดยรวม			
ความชอบโดยรวม			

ข้อเสนอแนะ

.....

.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ ค3 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		
	212	148	538
กลิ่น			
สี			
เนื้อสัมผัส			
รสชาติโดยรวม			
ความชอบโดยรวม			

ข้อเสนอแนะ

.....

.....

.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

T145230

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้